

**SACX300, SACX305 VE SACX0307 ÜÇLÜ  
KURŞUNSUZ LEHİM ALAŞIMLARININ Cu  
(BAKIR) ALTLIK ÜZERİNDE ISLATMA  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**2015  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
FİZİK**

**Alaattin BOZMAOĞLU**

**SACX300, SACX305 VE SACX0307 ÜÇLÜ KURŞUNSUZ LEHİM  
ALAŞIMLARININ Cu (BAKIR) ALTLIK ÜZERİNDE ISLATMA  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Alaattin BOZMAOĞLU**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Fizik Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK**

**Haziran 2015**

Alaattin BOZMAOĞLU tarafından hazırlanan “SACX300, SACX305 VE SACX0307 ÜÇLÜ KURŞUNSUZ LEHİM ALAŞIMLARININ Cu (BAKIR) ALTLIK ÜZERİNDE ISLATMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Ahmet Mustafa ERER  
Tez Danışmanı, Fizik Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Fizik Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir. 16/ 06/ 2015

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Kadir DEMİR (BEÜ)



Üye : Doç. Dr. Gökhan GÖKOĞLU (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Ahmet Mustafa ERER (KBÜ)

...../...../2015

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.”*

Alaattin BOZMAOĞLU

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **SACX300, SACX305 VE SACX0307 ÜÇLÜ KURŞUNSUZ LEHİM ALAŞIMLARININ Cu (BAKIR) ALTLIK ÜZERİNDE ISLATMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Alaattin BOZMAOĞLU**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Fizik Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Yrd. Doç. Dr. Ahmet Mustafa ERER**

**Haziran 2015, 77 sayfa**

Bu çalışmada Sn-Ag-Cu üçlü lehim alaşımlarının üç farklı Sn, Ag ve Cu miktarına göre 250°C, 280°C ve 310°C’lerde saf Cu altlık üzerinde ıslatma özellikleri incelenmiştir. Temas açısı ıslatma derecesini gösteren önemli bir parametredir. Sessile (Sessile) damla yöntemi ile elde edilen temas açısı değerlerine göre, SACX300, SACX305 ve SACX0307 kurşunsuz lehim alaşımlarının ıslatabilirlikleri araştırılmış ve kendi aralarında kıyaslanmıştır. Bakır iletkenlerin, elektrik ve elektronik devreler vb. gibi yerlerde sıklıkla kullanılması nedeniyle altlık malzemesi olarak Cu seçilmiştir. Damlalar yüksek hızlı kamera ile gözlemlenmiş, Cu altlık üzerinde elde edilen damlaların temas açılarının ölçümünde CorelDraw 15.0 programı kullanılmıştır. Elde edilen temas açılarının zamana göre değişim grafikleri oluşturulmuştur. Bu grafikler incelendiğinde en düşük temas açısı değerlerinin yüksek sıcaklıklarda elde edildiği görülmüştür.

Kullanılan üçlü alaşımlarının içinde en iyi ıslatma özelliklerine de SACX305'in sahip olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Sözcükler :** Kurşunsuz lehim, sesil (sessile) damla yöntemi, temas açısı, yüzey ve arayüzey gerilimleri.

**Bilim Kodu :** 202.1.166

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **INVESTIGATION OF WETTING PROPERTIES OF SACX300, SACX305 AND SACX0307 TERNARY SOLDER ALLOYS ON Cu SUBSTRATE**

**Alaattin BOZMAOĞLU**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Physics**

**Thesis Advisor:**

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

**June 2015, 77 pages**

In this study, the wetting properties of three different Sn-Ag-Cu ternary solder alloys have been investigated according to the various amount of Sn, Ag and Cu at 250°C, 280°C and 310°C. The contact angle is an important parameter indicating the degree of wetting. According to the contact angle values obtained by the sessile drop method, the wettabilities of SACX300, SACX305 and SACX0307 lead-free solder alloys have been studied and compared with each other. Due to widely using of Cu in electronics industry, Cu has been chosen as substrate material. Drops have been observed with a high speed camera and CorelDraw 15.0 software has been used in measurements of contact angles on Cu substrate. The graphs of the contact angles with respect to time have been created. When the graphs are analysed, it has been observed that the lowest values of contact angles are obtained at higher temperatures.

It is stated that SACX305 lead-free ternary solder alloy has the best wetting specifications among the ternary solder alloys which are used in this study.

**Keywords** : Lead-free solder alloy, sessile drop method, contact angle, surface and interface tension.

**Science Code** : 202.1.166



## 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 Yrd. Doç. Dr. A. Mustafa ERER'e sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Sevgili eőime ve aileme manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xvi
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	4
KURAMSAL TEMELLER .....	4
2.1. SIVI METAL ALAŞIMLARIN ISLATABİLİRLİKLERİ.....	4
2.1.1. Temas Açısı .....	4
2.1.2. Temas Açısı Ölçüm Yöntemleri .....	5
2.1.2.1. Kılcal (Kapiler) Yükselme.....	5
2.1.2.2. Wilhelmly Levha (Plate) Yöntemi.....	7
2.1.2.3. DuNouy Halka Yöntemi .....	8
2.1.2.4. Damla Ağırlığı Yöntemi .....	9
2.1.2.5. Donnan Pipeti Yöntemi.....	10
2.1.2.6. Asılı (Pendant) Damla Yöntemi.....	10
2.1.2.7. Sesil (Sessile) Damla Yöntemi .....	12
2.1.2.8. Oscillating Jet Yöntemi.....	14
2.1.2.9. Maksimum Kabarcık Yöntemi.....	14
2.2. YÜZEY ENERJİSİ VE YÜZEY GERİLİMİ.....	15

	<b><u>Sayfa</u></b>
2.3. SIVILARIN KATI YÜZEYLERİ ISLATMASI.....	17
2.4. İLERLEME VE GERİLEME TEMAS AÇILARI.....	19
2.5. KATI ALTLIK MALZEMENİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN TEMAS AÇISINA ETKİSİ .....	20
2.6. TEMAS AÇISI ÜZERİNE YERÇEKİMİNİN ETKİSİ.....	22
2.7. ISLATMANIN KİMYASAL REAKSİYONLARLA İLİŞKİSİ .....	22
2.8. ADSORPSİYON .....	24
2.8.1. Adsorpsiyon Mekanizmaları.....	25
2.8.2. Fiziksel Adsorpsiyon .....	26
2.8.3. Kimyasal Adsorpsiyon.....	26
2.8.4. İyonik Adsorpsiyon .....	27
2.8.5. Kohezyon ve Adezyon Kuvvetleri.....	27
2.9. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	29
BÖLÜM 3 .....	39
DENEYSEL YÖNTEM .....	39
3.1. ALAŞIMLARIN VE ALTLIK MALZEMESİNİN HAZIRLANIŞI.....	39
3.2. KULLANILAN DENEYSEL DÜZENEK .....	40
3.3. DENEYİN YAPILIŞI.....	42
BÖLÜM 4 .....	47
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....	47
4.1. TEMAS AÇISI ÖLÇÜMLERİ.....	47
4.2. TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOPU (SEM) GÖRÜNTÜLERİ VE KİMYASAL ANALİZ (EDX) SONUÇLARI.....	55
BÖLÜM 5 .....	74
SONUÇLAR .....	74
KAYNAKLAR .....	75
ÖZGEÇMİŞ .....	77

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Kılcal yükselme prensibine dayalı olarak yüzey gerilimin, ölçülmesi .....	5
Şekil 2.2. Kılcal yükselme prensibine dayalı olarak yüzey gerilimin ölçülmesi .....	6
Şekil 2.3. Wilhelmy levha yöntemleri: koparma ve statik .....	7
Şekil 2.4. DuNouy yüzey gerilim cihazı ve arayüzey geriliminin halka yöntemi ile ölçülmesi .....	8
Şekil 2.5. Traube stalogrammetresi.....	9
Şekil 2.6. Asılı damla geometrisi .....	11
Şekil 2.7. Sıvı damla koordinatları.....	12
Şekil 2.8. Maksimum kabarcık basıncı .....	15
Şekil 2.9. Bir katının yüzey enerjisini tanımlamak için atomlar arasındaki etkileşimi gösteren şematik diyagram .....	16
Şekil 2.10. Yüzey gerilmesi ile yüzey enerjisi arasındaki ilişki .....	16
Şekil 2.11. Üç ara yüzey gerilimi ve temas açısı ( $\theta$ ) arasındaki ilişki .....	17
Şekil 2.12. Sıvının bir miktar yer değiştirmesine bağlı ara yüzey değişmesi .....	18
Şekil 2.13. İlerleme ve gerileme açıları .....	20
Şekil 2.14. Johnson'un idealize ettiği pürüzlü yüzey.....	22
Şekil 2.15. Aksay modeli .....	24
Şekil 2.16. Adezyon ve Kohezyon kuvvetleri.....	28
Şekil 2.17. Adezyon ve Kohezyon kuvvetleri arasındaki ilişki .....	29
Şekil 2.18. Bakır altlık üzerinde vakum ortamında ölçülen kurşunsuz lehimlerin temas açıları değerleri.....	30
Şekil 2.19. Bakır altlık üzerinde Sn-3,5Ag lehimlerinin sıcaklığın bir fonksiyonu olmak üzere RMA ve RA flux'ları kullanılarak elde edilen temas açıları.....	31
Şekil 2.20. Bakır altlık üzerinde Sn-3,8Ag-0,7Cu lehimlerinin sıcaklığın bir fonksiyonu olmak üzere RMA ve RA flux'ları kullanılarak elde edilen temas açıları .....	32
Şekil 2.21. Erimiş Sn-3,0Ag-0,5Cu ile farklı altlıklar arasındaki temas açıları.....	33
Şekil 2.22. Sn-Ag-Cu/Cu temas açısının 490 K'de zamana bağlılığı .....	34

## Sayfa

Şekil 2.23. Denge temas açısı ve sıcaklık arasındaki ilişki.....	34
Şekil 2.24. Sn-3Ag-0,5Cu'nun temas açısının zaman ve sıcaklıkla değişimi.....	35
Şekil 2.25. Düz ve pürüzlü Cu altlık üzerinde Sn-0,7Cu kurşunsuz lehim alaşımı için temas açıların zamana bağlı değişimi.....	37
Şekil 2.26. Düz ve pürüzlü Cu altlık üzerinde Sn-0,3 Ag-0,7Cu kurşunsuz lehim alaşımı için temas açıların zamana bağlı değişimi .....	38
Şekil 3.1. Deney esnasında kullanılan deney setinin genel görünüşü.....	40
Şekil 3.2. Deney düzeneğinin şematik gösterimi .....	41
Şekil 3.3. SACX300 kurşunsuz lehim alaşımının 250 °C, 280 °C ve 310 °C'deki görüntüleri .....	43
Şekil 3.4. SACX305 kurşunsuz lehim alaşımının 250 °C, 280 °C ve 310 °C'deki görüntüleri .....	43
Şekil 3.5. SACX0307 kurşunsuz lehim alaşımının 250 °C, 280 °C ve 310 °C'deki görüntüleri .....	44
Şekil 3.6. SACX300 kurşunsuz lehim alaşımının 250 °C, 280 °C ve 310 °C'deki temas açısı ölçüm görüntüleri .....	45
Şekil 3.7. SACX305 kurşunsuz lehim alaşımının 250 °C, 280 °C ve 310 °C'deki temas açısı ölçüm görüntüleri .....	45
Şekil 3.8. SACX0307 kurşunsuz lehim alaşımının 250 °C, 280 °C ve 310 °C'deki temas açısı ölçüm görüntüleri .....	46
Şekil 4.1. SACX300 kurşunsuz lehim alaşımının zamana bağlı olarak 250°C'deki deney sonuçları.....	48
Şekil 4.2. SACX300 kurşunsuz lehim alaşımının zamana bağlı olarak 280°C'deki deney sonuçları.....	48
Şekil 4.3. SACX300 kurşunsuz lehim alaşımının zamana bağlı olarak 310°C'deki deney sonuçları.....	49
Şekil 4.4. SACX305 kurşunsuz lehim alaşımının zamana bağlı olarak 250°C'deki deney sonuçları.....	49
Şekil 4.5. SACX305 kurşunsuz lehim alaşımının zamana bağlı olarak 280°C'deki deney sonuçları.....	50
Şekil 4.6. SACX305 kurşunsuz lehim alaşımının zamana bağlı olarak 310°C'deki deney sonuçları.....	50
Şekil 4.7. SACX0307 kurşunsuz lehim alaşımının zamana bağlı olarak 250°C'deki deney sonuçları.....	51
Şekil 4.8. SACX0307 kurşunsuz lehim alaşımının zamana bağlı olarak 280°C'deki deney sonuçları.....	51
Şekil 4.9. SACX0307 kurşunsuz lehim alaşımının zamana bağlı olarak 310°C'deki deney sonuçları.....	52

Şekil 4.10. SACX300 kurşunsuz lehim alaşımının zamana bağlı olarak farklı sıcaklıklardaki temas açısı ortalamaları.....	53
Şekil 4.11. SACX305 kurşunsuz lehim alaşımının zamana bağlı olarak farklı sıcaklıklardaki temas açısı ortalamaları.....	53
Şekil 4.12. SACX0307 kurşunsuz lehim alaşımının zamana bağlı olarak farklı sıcaklıklardaki temas açısı ortalamaları.....	54
Şekil 4.13. SACX300, SACX305 ve SACX0307 kurşunsuz lehim alaşımının farklı sıcaklıklardaki temas açısı ortalamaları.....	54
Şekil 4.14. SACX300 alaşımının 250 °C'deki SEM görüntüsü .....	56
Şekil 4.15. SACX300 alaşımının 250 °C'deki EDX analizi (1 no'lu bölge) .....	56
Şekil 4.16. SACX300 alaşımının 250 °C'deki EDX analizi (2 no'lu bölge) .....	57
Şekil 4.17. SACX300 alaşımının 250 °C'deki EDX analizi (3 no'lu bölge) .....	57
Şekil 4.18. SACX300 alaşımının 280 °C'deki SEM görüntüsü .....	58
Şekil 4.19. SACX300 alaşımının 280 °C'deki EDX analizi (1 no'lu bölge) .....	58
Şekil 4.20. SACX300 alaşımının 280 °C'deki EDX analizi (2 no'lu bölge) .....	59
Şekil 4.21. SACX300 alaşımının 280 °C'deki EDX analizi (3 no'lu bölge) .....	59
Şekil 4.22. SACX300 alaşımının 310 °C'deki SEM görüntüsü .....	60
Şekil 4.23. SACX300 alaşımının 310 °C'deki EDX analizi (1 no'lu bölge) .....	60
Şekil 4.24. SACX300 alaşımının 310 °C'deki EDX analizi (2 no'lu bölge) .....	61
Şekil 4.25. SACX300 alaşımının 310 °C'deki EDX analizi (3 no'lu bölge) .....	61
Şekil 4.26. SACX305 alaşımının 250 °C'deki SEM görüntüsü .....	62
Şekil 4.27. SACX305 alaşımının 250 °C'deki EDX analizi (1 no'lu bölge) .....	62
Şekil 4.28. SACX305 alaşımının 250 °C'deki EDX analizi (2 no'lu bölge) .....	63
Şekil 4.29. SACX305 alaşımının 250 °C'deki EDX analizi (3 no'lu bölge) .....	63
Şekil 4.30. SACX305 alaşımının 280 °C'deki SEM görüntüsü .....	64
Şekil 4.31. SACX305 alaşımının 280 °C'deki EDX analizi (1 no'lu bölge) .....	64
Şekil 4.32. SACX305 alaşımının 280 °C'deki EDX analizi (2 no'lu bölge) .....	65
Şekil 4.33. SACX305 alaşımının 280 °C'deki EDX analizi (3 no'lu bölge) .....	65
Şekil 4.34. SACX305 alaşımının 310 °C'deki SEM görüntüsü .....	66
Şekil 4.35. SACX305 alaşımının 310 °C'deki EDX analizi (1 no'lu bölge) .....	66
Şekil 4.36. SACX305 alaşımının 310 °C'deki EDX analizi (2 no'lu bölge) .....	67
Şekil 4.37. SACX305 alaşımının 310 °C'deki EDX analizi (3 no'lu bölge) .....	67
Şekil 4.38. SACX0307 alaşımının 250 °C'deki SEM görüntüsü .....	68

## **Sayfa**

Şekil 4.39. SACX0307 alaşımının 250 °C'deki EDX analizi (1 no'lu bölge) .....	68
Şekil 4.40. SACX0307 alaşımının 250 °C'deki EDX analizi (2 no'lu bölge) .....	69
Şekil 4.41. SACX0307 alaşımının 250 °C'deki EDX analizi (3 no'lu bölge) .....	69
Şekil 4.42. SACX0307 alaşımının 280 °C'deki SEM görüntüsü .....	70
Şekil 4.43. SACX0307 alaşımının 280 °C'deki EDX analizi (1 no'lu bölge) .....	70
Şekil 4.44. SACX0307 alaşımının 280 °C'deki EDX analizi (2 no'lu bölge) .....	71
Şekil 4.45. SACX0307 alaşımının 280 °C'deki EDX analizi (3 no'lu bölge) .....	71
Şekil 4.46. SACX0307 alaşımının 310 °C'deki SEM görüntüsü .....	72
Şekil 4.47. SACX0307 alaşımının 310 °C'deki EDX analizi (1 no'lu bölge) .....	72
Şekil 4.48. SACX0307 alaşımının 310 °C'deki EDX analizi (2 no'lu bölge) .....	73
Şekil 4.49. SACX0307 alaşımının 310 °C'deki EDX analizi (3 no'lu bölge) .....	73

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 2.1. Bazı Sn-bazlı lehim alaşımlarının literatürde yer alan temas açıları ...	36
Çizelge 2.2. Cu altlık üzerinde lehim alaşımları için elde edilen denge temas açıları .....	38
Çizelge 3.1. Kurşunsuz lehim alaşımlarının kimyasal bileşimleri (kütle%).....	39



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

- $a$  : Damla tepe kavis yarıçapı  
 $Ag$  : Gümüş  
 $Ar$  : Argon  
 $b$  : Yüzey eğim yarıçapı  
 $Bi$  : Bizmut  
 $Cu$  : Bakır  
 $d$  : Levha genişliği  
 $D_d$  : Damla çapı  
 $F$  : Kuvvet  
 $g$  : Yerküre çekim sabiti  
 $h$  : Yükseklik  
 $k$  : Boltzman sabiti  
 $m$  : Kütle  
 $n$  : Damla sayısı  
 $P_{mak.}$  : Maksimum kabarcık basıncı  
 $Pb$  : Kurşun  
 $r$  : Yarıçap  
 $R_1$  : x-z koordinatlarının kesişme noktasındaki eğrilik yarıçapı.  
 $r_m$  : eğim yarıçapı  
 $r_w$  : Wenzel oranı  
 $s$  : yay uzunluğu  
 $Sn$  : Kalay  
 $x, z, \emptyset$  : Koordinat düzlemi  
 $w$  : Levha uzunluğu  
 $W$  : Levha ağırlığı  
 $W_K$  : Levhanın koptuğu anda terazide saptanan değer

Zn	: Çinko
$\alpha$	: Eğim açısı
$\beta$	: Düzeltme faktörü
$\gamma$	: Arayüzey gerilimi
$\gamma_{KG}$	: Katı-Gaz arasındaki arayüzey gerilimi
$\gamma_{KS}$	: Katı-Sıvı arasındaki arayüzey gerilimi
$\gamma_{SG}$	: Sıvı-Gaz arasındaki arayüzey gerilimi
$\Delta P$	: Yükselen sıvının hidrostatik basıncı
$\Delta p$	: Buhar basıncı
$\Delta \rho$	: Yoğunluk farkı
$\theta$	: Temas açısı
$\theta_a$	: İlerleme temas açısı
$\theta_e$	: Kutupsal açı
$\theta_r$	: İlerleme temas açısı
$\theta'$	: Görünen temas açısı
$\rho$	: Yoğunluk
$\rho_1$	: Ortam (sıvı-gaz) yoğunluğu
$\rho_2$	: Sıvı yoğunluğu

## **KISALTMALAR**

EDX	: Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (Enerji Dağılımı X-Işını Spektrometresi)
SEM	: Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
PBB	: Polybrominated Biphenyl (Çoklu Bromlanmış Bifenil)
PBDE	: Polybrominated Diphenyl Ether (Çoklu Bromlanmış Difenil Eter)
RA	: Rosin Activated (Rosin Etkin)
RMA	: Rosin Midly Activated (Rosin Hafif Etkin)

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Lehimleme işlemi, katı bir metal yüzey ile erimiş lehim arasında bir bağlantı noktası oluşumudur [1]. Devre kartları, çip teknolojileri gibi hem elektronik hem de mikroelektronik alanlarında pek çok uygulamada lehim yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle lehimleme işlemi elektronik sanayinde hâlâ önemini korumaktadır. Bu işlemin en önemli faktörlerinden biri de bu işlemde kullanılan uygun nitelikteki lehimdir.

Kurşun içeren lehimler (Sn-Pb) hem mükemmel özellikleri hem de ekonomik olmaları sebebiyle uzun yıllardır yaygın olarak elektronik endüstrisinde kullanılmaktadır [2]. Kurşunun zehirliliği ile ilgili endişeler, elektronik cihazlar ve bileşenlerinde kurşun içeren kullanımında yasaklamayla sonuçlanmıştır. Çevre kirliliğini önleme tedbirleri çerçevesinde Avrupa Birliği, 1 Temmuz 2006 tarihinden itibaren bir takım zararlı maddelerin kullanımının yasaklamıştır. Avrupa Birliği'nin resmi yayın organı olan "Official Journal of the European Union" un 13 Şubat 2003 tarihli sayısında son haliyle yayınlanan "Zararlı Maddelerin Kullanımının Kısıtlanması (Restriction on Hazardous Substances)" bildirgesine göre 1 Temmuz 2006 tarihinden itibaren piyasaya sürülecek olan yeni elektrikli ve elektronik ürünlerde kurşun, cıva, kadmiyum, altı değerli krom, çoklu bromlanmış difenil eter (PBDE-Polybrominated Diphenyl Ether) kullanımı birkaç özel durum dışında yasaklanmıştır. Yasaklama Avrupa Birliği ülkeleri bünyesinde üretim, pazarlama ve ihracat faaliyetleri yürüten bütün kişi ve kuruluşları ürünlerin kaynağına bakılmaksızın etkilemektedir. Bu kurallar belirtilen tarihten önce piyasaya sürülmüş cihazların tamir ve yeniden kullanımında gerekli olan yedek parçaları bağlayıcı nitelikte değildir [3].

% 37 oranında kurşun içeren geleneksel lehimlerin zehirliliği üzerine artan sağlık ve çevresel endişeler ve yukarıda bahsedilen yasaklamalar sebebi ile araştırmacılar özellikle elektronik uygulamalara uygun, alternatif kurşunsuz lehim alaşımları bulmaya yönelmişlerdir [4]. Sn-Pb lehim alaşımlarının yerini alan kurşunsuz lehim alaşımlarında mükemmel ıslatabilirliğe ulaşmak için Sn-Ag-Cu kurşunsuz lehimler üzerinde pek çok çalışma yapılmıştır.

Son zamanlarda Sn-Ag, Sn-Cu, Sn-Zn, Sn-Ag-Bi ve Sn-Ag-Cu içeren kurşunsuz lehim alaşımları geliştirilmiştir. Bu lehim alaşımları arasında neredeyse ötektik Sn-Ag-Cu lehim alaşımları, uygun erime noktalarının yanı sıra iyi mekanik ve kabul edilebilir ıslatma özellikleri sebebiyle kurşunlu lehimlerin yerine geçebilecek birincil adaylardır [5].

Metalik sıvılar ve katı maddelerin fiziksel kimyası ve fiziği bugünkü modern metalürjide önemli bir yer teşkil etmektedir. Bir metal alaşım eriyiği ile yüksek ergime sıcaklığına sahip olan katı madde veya malzeme yüzeyi arasındaki temas sırasında birçok fiziksel ve kimyasal etkileşimler meydana gelmektedir. Bu nedenle lehimlenebilme ya da lehimlenebilirlik bu özelliklere doğrudan bağlıdır. Lehimlenebilirlik, iki yüzeyin ıslatılabilirliğine bağlıdır ki bu elektronik aletlerin üretim verimliliği ve güvenilirlikleri için önemlidir. Islanabilirlik iki önemli faktör ile karakterize edilebilir. Bunlar temas durumundaki açı derecesi ve ıslatma oranıdır. Temas (Islatma) açısı bir sıvı tarafından bir yüzeyin ıslatma ya da ıslatabilirlik derecesinin bir ölçümüdür. Islatma çalışmalarındaki en büyük zorluk tekrarlanabilir sonuçların elde edilmesidir. Bu da esas olarak temas açısının hassasiyetine bağlıdır. Bunun sonucu olarak ıslatma konusundaki etkiler yoğun olarak tartışılmaktadır. Yıllar boyu bir sıvı tarafından katı bir yüzeyin ıslatılabilirliği değişik yöntemler kullanılarak geliştirilmeye çalışılmıştır. Bunların arasında “sesil damla” ve “ıslatma denge” teknikleri en uygun, bilinen ve güvenilir verilerin alınmasını sağlayan yöntemlerdir. Bir katı üzerindeki sıvının ıslatma davranışlarını etkileyen en önemli faktörler, altlık malzemesinin yüzeyinin pürüzsüzlüğü ve heterojenliği, sistem sıcaklığı, atmosfer, ısı akışı, yayılan sıvının özellikleri gibi faktörlerdir [6].

Bu çalışmada, Sn-Ag-Cu (SAC) üçlü kurşunsuz lehim alaşımlarının Cu malzemeyi ıslatabilirliği incelenmiştir. Piyasada yaygın olarak kullanılan ve ağırlıkça değişik

oranlarda Sn, Ag ve Cu içeren üçlü kurşunsuz lehim alaşımlarının belirlenen sıcaklıklarda Cu altlık üzerine damlatılarak sıcaklığın ıslatma özelliklerine etkisi de gözlenmiştir. Deneysel yapılan sıcaklıklar lehimleme ortamı düşünülerek tespit edilmiştir. Altlık malzemesi olarak, günümüzde elektrik ve elektronik devrelerde en fazla lehim yapılan ya da lehimlemeye maruz kalan iletken olduğu düşünülerek seçilmiştir.

Lehimleme esnasında gerçekleşen fiziksel ve kimyasal etkileşimler, taramalı elektron mikroskobu (scanning electron microscope, SEM) görüntülerinin ve enerji dağılımı X-ışını spektroskopisi (energy-dispersive X-ray spectroscopy EDX) analizlerinin incelenmesi ile değerlendirilmiştir.

## BÖLÜM 2

### KURAMSAL TEMELLER

#### 2.1. SIVI METAL ALAŞIMLARIN ISLATABİLİRLİKLERİ

Islatabilirlik boyama, spreyleme, kaynaklama ve lehimleme gibi teknolojik uygulamalar da yaygın olarak yer alan önemli bir fizikokimyasal parametredir ve bir sıvının katı bir yüzeyi üzerinde yayılma eğilimi olarak tanımlanabilir [7]. Katı madde yüzeylerinin sıvı metal alaşımları ile ıslatabilirlik derecesinin ölçülmesi için malzeme çiftleri arasındaki etkileşim, fiziksel adsorpsiyon ve adezyon kuvveti ile bu kuvvetin yaptığı işi belirlemek gerekir. Bundan dolayı temas açısı ölçümünde ıslatabilirlik önemli bir kavramdır.

##### 2.1.1. Temas Açısı

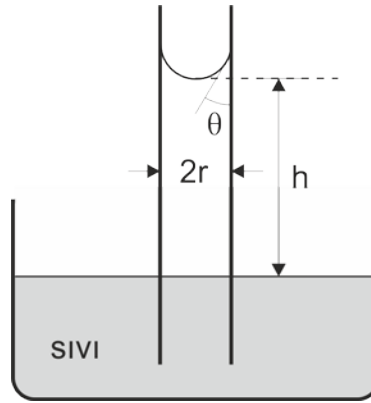
Düz yatay bir katı yüzey üzerinde yer alan bir su damlasını düşündüğümüzde, katı yüzeyi ile yüzey arasında bir açı oluşur. Bu açının büyüklüğü damlanın şekline, damlanın şekli ise sıvının yüzey gerilimine bağlı olarak belirlenir. Yüzey gerilimi de sıvının kendi molekülleri arasındaki çekim kuvvetleri (kohezyon kuvvetleri) ve sıvı-katı arası çekim kuvvetlerinin (adezyon kuvvetleri) göreceli büyüklüğü ile ilişkilidir. Kohezyon kuvvetleri, adezyon kuvvetlerinden ne kadar büyükse temas açısı o kadar büyüktür. Bütün bu ilişkiler sebebiyle ıslatabilirlik genel olarak temas açısı ( $\theta$ ) ile tanımlanır. Temas açısının ıslatabilirlik üzerinde bu kadar etkin olmasından dolayı bir sonraki bölümde temas açısı ölçüm yöntemleri, temas açısını etkileyen durumlar ve yüzey gerilimi ile yüzey enerjisinin temas açısı ile ilişkisi hakkında bilgiler verilecektir.

### 2.1.2. Temas Açısı Ölçüm Yöntemleri

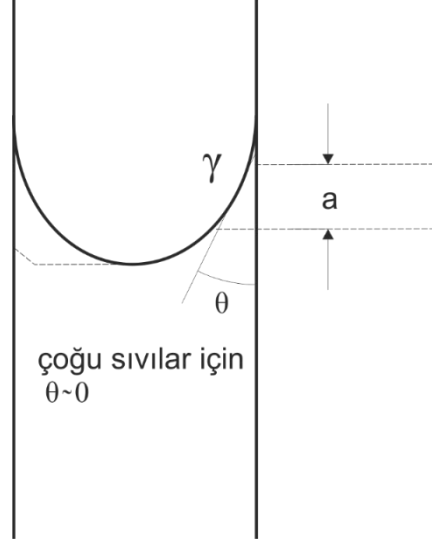
Islatma sistemlerinin temel unsurları, katı fazı ıslatan sıvının temas açısı ve yüzey gerilimidir. Sıvıların yüzey gerilimi ve temas açısının ölçümünde birbirinden farklı çok sayıda yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden birkaçı aşağıdaki gibidir [8].

1. Kılcal (Kapiler) yükselme yöntemi
2. Wilhelmy plaka (plate) yöntemi
3. DuNouy halka yöntemi
4. Basit damlalık yöntemi
5. Donnan pipeti yöntemi
6. Asılı (Pendant) damla yöntemi
7. Sesil damla (Sessile drop) yöntemi
8. Oscillating jet yöntemi
9. Maksimum kabarcık yöntemi

#### 2.1.2.1. Kılcal (Kapiler) Yükselme Yöntemi



Şekil 2.1. Kılcal yükselme prensibine dayalı olarak yüzey geriliminin ölçülmesi [8].



Şekil 2.2. Kılcal yükselme prensibine dayalı olarak yüzey gerilimin ölçülmesi.

Şekil 2.2’de bir sıvı menüsküsünde değme açısı ve kuvvet bileşenleri büyütülmüş olarak gösterilmiştir. Birçok sıvı için temas açısı ( $\theta$ ) (şekilde fazlaca büyütülmüş) diyagramın sol tarafında görüldüğü gibi sıfıra yakındır [8].

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 ya da yukarı doğrudur. Bu olay, kılcal borularda açık olarak görülür. Kılcal borularda sıvıların yükselmesine ya da alçalmasına "kapilarite" denir. Nedeni, yüzey gerilimidir. Kılcalda, yüzey gerilim nedeniyle yükselen sıvı, yer çekimi ile dengelenir.

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 aşağı düzeydedir, 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 yayılır. Sıvı kılcal boru içinde yükselir ve 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 eder.

İç yarıçapı  $r$  olan ve yüzeyini ıslatan bir sıvı içine daldırılmış bir boru düşünelim. Sıvı, yüzey gerilim nedeniyle boru içinde yükselmeye başlar. Yukarı doğru olan sıvı

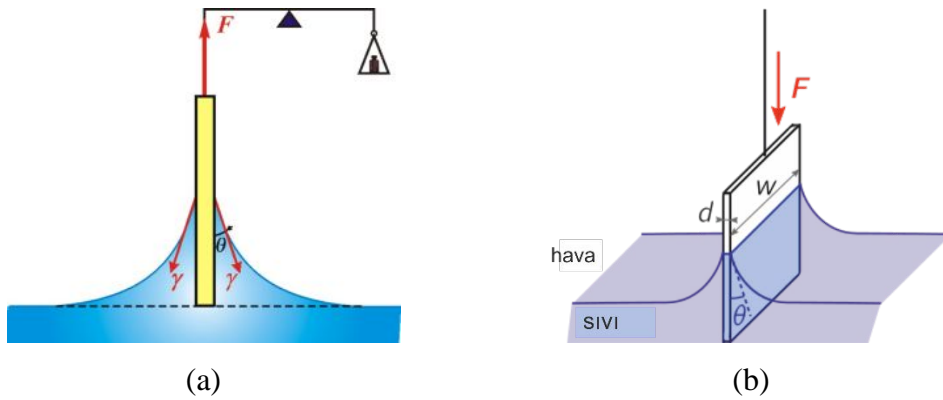


hareketi yani yükselme, yüzey gerilim ile sıvıyı aşağıya doğru çekmeye çalışan yer çekimi kuvveti dengeye geldiği zaman durur.

Kılcalda yükselme yöntemi, gerçek yüzey gerilimine en yakın sonuçları verir. Bu yöntemle sıvıların arayüzey gerilimi saptanamaz. Ancak sıvıların yüzey gerilimi saptanabilir [8].

### 2.1.2.2. Wilhelmy Levha yöntemi

Uygulanışına göre, koparma (ayırma) yöntemi ve statik yöntem olmak üzere iki yöntemdir. Her iki yöntemde düzenek, esas itibariyle bir terazi ile ince bir mika levha veya lamdan oluşur. Terazinin bir kolu ucuna levha asılır ve sıvıya daldırılır.



Şekil 2.3. Wilhelmy levha yöntemleri: a) koparma b) statik [8].

Koparma yönteminde, yüzey gerilimi saptanacak olan sıvıyı içeren kap içine levha daldırılır ve kap yavaş yavaş alçaltılır. Diğer kola ilave edilen ağırlıklardan koptuğu andaki çekim kuvveti teraziden saptanır. Sıvının yüzey gerilimi ( $\gamma$ ) aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

$$\gamma = \frac{W_k - W}{2(d + w)} \quad (2.1)$$

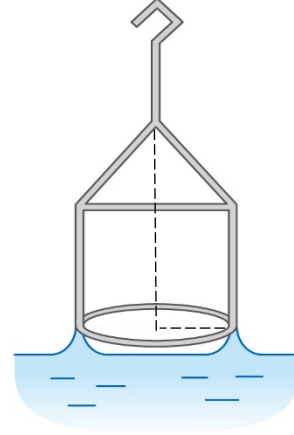
Statik yöntemde ise levha yöntemi, yüzey gerilimdeki değişmelerin ölçülmesi için statik bir yöntem olarak da kullanılabilir. Levha, bir sıvı içine daldırılmış durumda iken, yüzey gerilimi değişikçe, levhayı sabit dalışta tutmak için gerekli kuvvet değişikliği ölçülür [8].

### 2.1.2.3. DuNouy Halka Yöntemi

Yüzey ve yüzeylearası gerilimin ölçülmesinde DuNouy yüzey gerilim cihazı "DuNouy Tensiometer" kullanılır. Bu yöntemde, halkanın kopması için gereken kuvvet ölçülür.



(a)



(b)

Şekil 2.4. a) DuNouy yüzey gerilim cihazı b) arayüzey geriliminin halka yöntemi ile ölçülmesi.

DuNouy yüzey gerilim cihazında plâtin-iridyumdan yapılmış bir halka vardır. Bu halka, yüzey ya da yüzeylearası gerilimi ölçülecek sıvıya daldırılır. Halkayı, daldırıldığı yüzeyden ya da arayüzeylerden koparmak için gerekli kuvvet, burulmuş bir tel ile sağlanır ve kalibre edilmiş bir kadran üstünde din olarak kaydedilir. Yüzey gerilimi, eşitlik (2.2) ile verilir:

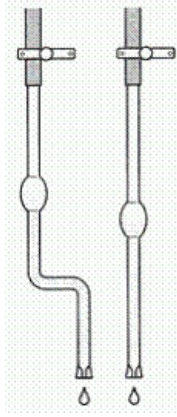
$$\gamma = \frac{F\beta}{4\pi r} \quad (2.2)$$

Temas açısının sıfır olmasının sağlanması için plâtin halka her kullanılıştan sonra kuvvetli asitte ya da bünzen alevinde dikkatle temizlenmelidir. Bu yöntemde, düzeltme faktörü uygulanmaz ise ölçmelerde hata % 25'i bulabilir. Zira halkanın yapıldığı telin yarıçapı ve yüzeyden yükselen sıvı hacmi gibi faktörler, denklemde yer almamaktadır.  $\beta$  uygulandığı takdirde % 0.25 gibi bir hata ile sonuç alınabilir,  $\beta$

faktörünün değeri, aletin prospektüsünde verilir. Bazı cihazlarda kadran doğrudan yüzey gerilimi din/cm olarak göstermektedir [8].

#### 2.1.2.4. Damla Ağırlığı Yöntemi

Yüzey gerilimini belirleme yöntemlerinden bir tanesi de belli bir hacimdeki sıvının damla sayısını saymaktır. Bunun için Traube Stalogmometresi kullanılabilir.



Şekil 2.5. Traube stalogmometresi [9].

$V$  hacmindeki sıvının akması sırasında oluşan  $r$  yarıçapındaki bu damlaların kütle ve ağırlığı sırasıyla aşağıdaki bağıntılarla verilir.

$$m = \frac{V}{n} \rho \quad (2.3)$$

$$mg = 2\pi r \gamma \quad (2.4)$$

Burada  $n$  damla sayısı,  $\rho$  sıvının yoğunluğu,  $g$  yerçekim ivmesi,  $2\pi r$  stalogmometrenin alt ucunun çevresidir. Stalogmometre ile daha çok yüzey gerilimi bilinen bir sıvı yardımıyla başka bir sıvının yüzey gerilimi belirlenir. Aynı stalogmometre kullanılmak üzere (2.3) ve (2.4) no'lu eşitlikler iki ayrı sıvı için ayrı ayrı yazılıp taraf tarafa oranlanırsa sırayla;

$$\frac{m_2}{m_1} = \left( \frac{n_1}{n_2} \right) \left( \frac{\rho_2}{\rho_1} \right) \quad (2.5)$$

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{\gamma_2}{\gamma_1} \quad (2.6)$$

bağıntıları bulunur. Eğer iki sıvının yoğunlukları birbirine yakınsa  $\rho_1 = \rho_2$  alınarak son iki bağıntıdan yüzey gerilimleri ile damla sayıları arasında;

$$\frac{\gamma_2}{\gamma_1} = \frac{n_1}{n_2} \quad (2.7)$$

veya  $\rho_1 \neq \rho_2$  ise

$$\frac{\gamma_2}{\gamma_1} = \left( \frac{n_1}{n_2} \right) \left( \frac{\rho_2}{\rho_1} \right) \quad (2.8)$$

eşitlikleri elde edilir [9].

#### 2.1.2.5. Donnan Pipeti Yöntemi

Bu yöntem ile, birbiriyle karışmayan sıvıların ara yüzey gerilimi saptanır. Pipet içine, arayüzey gerilimi bilinen karışmayan sıvılardan özkütlesi küçük olan konur, pipet diğer sıvıya daldırılır. Pipetin üst hava musluğu açılarak özkütlesi küçük olan sıvının belirli miktarının damlalar halinde, ikinci sıvının yüzeyine çıkması sağlanır ve damla sayısı sayılır. Bu kez pipet içine, dıştaki sıvıya karşı arayüzey gerilimi saptanacak sıvı konur ve önceki gibi damla sayısı saptanır. Damla sayıları ve arayüzey gerilimleri oranlanır [8].

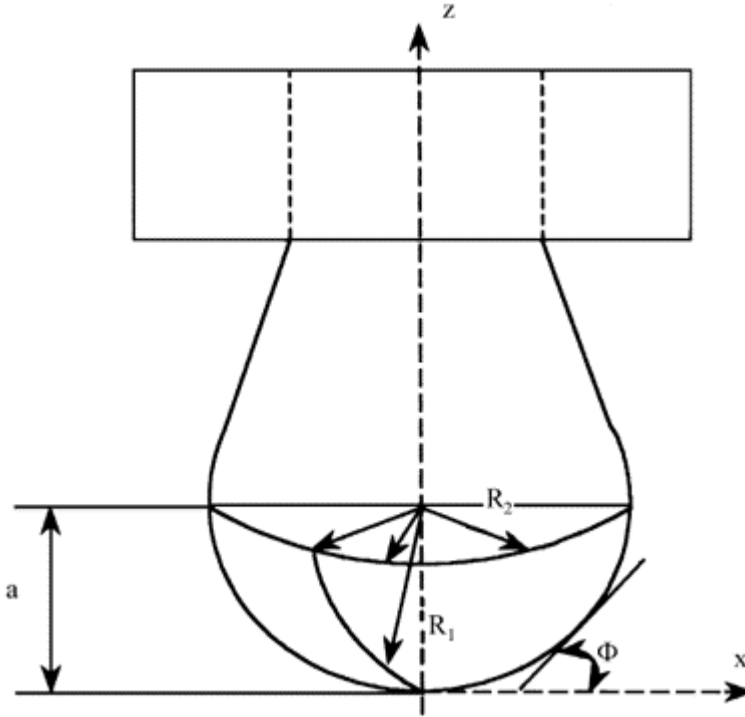
#### 2.1.2.6. Asılı (Pendant) Damla Yöntemi

Asılı damla yöntemi, katı-sıvı arasındaki ara yüzey gerilimini ölçümünde çok yönlü, en uygun ve muhtemelen en popüler yöntemdir. Asılı damla yöntemi, mekanik

denge de süspanسیون haline getirilmiş bir sıvı damla profiline belirlenmesini içerir. Damla profili, yerçekimi ve yüzey güçleri arasındaki dengeyle belirlenir. Lineer olmayan bir diferansiyel eşitlik aracılığıyla ara yüzey gerilimi için damla profiline bağlı Laplace eşitliğine dayalı Bashforth ve Adams'ın eşitliği aşağıda verilmiştir :

$$\frac{1}{\frac{R_1}{a}} + \frac{\sin\varnothing}{\frac{x}{a}} = -B \frac{z}{a} + 2 \quad (2.9)$$

$$B = \frac{a^2 g \Delta \rho}{\gamma} \quad (2.10)$$



Şekil 2.6. Asılı damla geometrisi [10].

$R_1$  ve  $\varnothing$  geometrik olarak şu şekilde tanımlanabilirler [10] :

$$R_1 = \frac{ds}{d\varnothing} = \frac{\left[ 1 + \left( \frac{dz}{dx} \right)^2 \right]^{3/2}}{\frac{d^2z}{dx^2}} \quad (2.11)$$

$$\sin\varnothing = \frac{\frac{dz}{dx}}{\left[1 + \left(\frac{dz}{dx}\right)^2\right]^{1/2}} \quad (2.12)$$

### 2.1.2.7. Sesil (Sessile) Damla Yöntemi

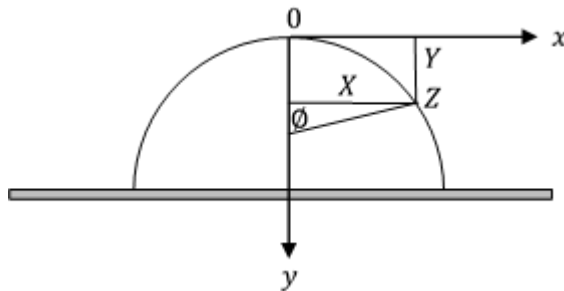
Yatay katı yüzey üzerinde duran ve değişim yüzeyi gösteren sıvı damlası şematik olarak Şekil 2.7'de görülmektedir. Bu damlanın yerçekimi kuvvet alanı içindeki sıvı yüzeyini tanımlamak için eşitlik (2.13) kullanılmaktadır.

$$\frac{1}{\frac{r_m}{b}} + \frac{\sin\varnothing}{\frac{x}{b}} = 2 + \frac{z}{b} \frac{(\rho_2 - \rho_1) r_m B^2}{\gamma_{SG}} \quad (2.13)$$

Bu eşitlikte,  $r_m$  meridyen kısmın düz yüzeyinde eğim yarıçapı,  $b$  ise en yüksek seviyede damlanın yüzey eğiminin yarıçapıdır ( $R_1 = R_2 = b$ ). Burada

$$\frac{(\rho_2 - \rho_1) r_m B^2}{\gamma_{SG}} \quad (2.14)$$

ifadesi  $\beta$  ile de gösterilebilir.  $(\rho_2 - \rho_1)$ , 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  $\varnothing$  koordinatları,  $\gamma_{SG}$  yüzey gerilimi, sıvı yoğunluğu ve ivmeyle ilişkilendirilir.



Şekil 2.7. Sıvı damla koordinatları [10].

Sıvı damla yüzeyindeki nokta koordinatlarını ölçerek, sıvının gerilmesi yoğunluğuna göre belirlenebilmektedir. Aynı zamanda eşitlik çözümleri ile katı yüzeyiyle temas noktası dâhil herhangi bir noktadaki sıvı yüzeyi eğimi bulunabilir (temas açısı). Böylece sıvı damla metodu,  $\gamma_{SG}$  ve  $\theta$  değerlerinin hesaplanmasını sağlar. Sıvı yüzeyi şeklini bilerek içindeki hacmi tanımlamak mümkündür. Eşitlik (2.13)'ün çözümü tam olarak belirtilememesine rağmen belirli bir doğruluk derecesiyle yaklaşık olarak integrali alınabilir. Bu eşitliğin en doğru çözümleri için Bashforth ve Adams'ın çıkardığı çizelgeler kullanılmaktadır. Burada  $\gamma$ , Eşitlik (2.15) ile hesaplanmaktadır.

$$\gamma = \frac{g r_m b^2}{\beta} \quad (2.15)$$

$b$  ve  $\beta$ ; ölçülmüş  $x_1$ ,  $x_2$  ve  $\emptyset$  koordinatları kullanılarak Bashforth ve Adams'ın tablolarından belirlenir.  $x$  ve  $z$ 'nin ölçümleri çoğunlukla  $\theta = 90^0$ 'de seçilen  $\emptyset$  değeri ile ortaya çıkar. Böyle ölçümler en doğru olanlarıdır. Sıvı ile ıslanmanın iyi elde edildiği,  $\theta < 90^0$  ölçümleri daha az doğrudur. Fakat özel ölçümlerle daha doğru sonuçlar elde edilebilir. Damlacık hattının  $x$ ,  $y$  ve  $\emptyset$  koordinatlarının değerlerini bulmak için damla görünüşü fotoğraflanır. Baskıya göre maksimum damlacık çapının ( $2x$ ),  $\theta = 90^0$  de  $z$ 'ye olan mesafesi optik mikroskop ile belirlenir. Fotoğraf üzerinden ıslatma açısını ölçmek için başka metotlar da kullanılmaktadır.

Temas anındaki damla fotoğraflarından Bashforth ve Adams'ın tablolarını kullanarak veya ıslanma düzleminin yanındaki damlacık kenarına bir teğet çizilerek ıslatma açısı eşitlik (2.16) kullanılarak hesaplanabilir. Damla kenarına normal teğet çizme metodu haricinde küresel kısmın formülü eşitlik (2.17) ile de damlacık boyutlarından (damla hacmi yüksekliğinden) ıslatma açısı hesaplanabilir. Burada damla yüzeyinin küresel olduğu kabul edilir.

$$\tan\theta = \frac{2ha}{a^2 - h^2} \quad (2.16)$$

$$\cos\theta = 1 - \frac{3\pi h^2}{3\theta - \pi h^3} \quad (2.17)$$

Burada  $h$  damla yüksekliğini,  $2a$  çevre uzunluğunun (perimetre) çapını göstermektedir. Eğer damlacık çok büyük ise, eğim ihmal edilerek ıslatma açısı eşitlik (2.18)'deki gibi ifade edilebilir.

$$\cos\theta = 1 - \frac{\rho_2 g h}{2\gamma_{SG}} \quad (2.18)$$

Eşitlik (2.18) sadece çok büyük sıvı damla çapları 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 esnasında kapalı ortam kullanıldığı için damlaya direkt temas edilmemekte ve numunenin tekrar ısıtılması da gerekmemektedir [10].

#### 2.1.2.8. Oscillating Jet Yöntemi

Çok kısa bir sürede (yaklaşık 0,01 saniye) yüzey gerilimin ölçülebilmesi avantajı bulunan dinamik bir yöntemdir. Sıvı, basınçla küçük bir delikten geçirilir. Delikten fişkıran sıvı, eliptik bir kesite sahiptir ve kararsızlığından dolayı tercih ettiği dairesel kesite salınım yapar. Delikten geçen sıvının geçerken oluşturduğu dairesel kesitin fotoğrafı alınarak boyutları ile sıvının yüzey gerilimi arasında bağıntı kurulur veya akış hızından hesaplanabilir [8].

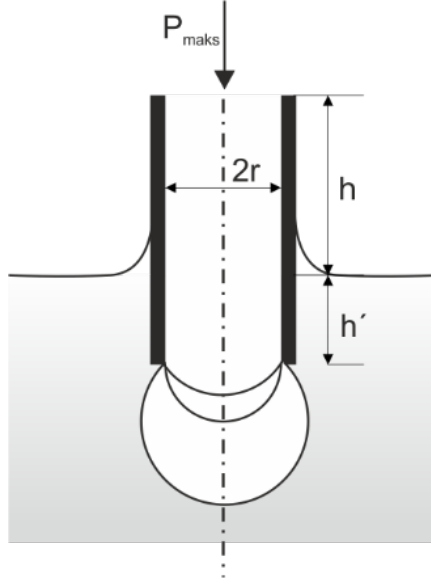
#### 2.1.2.9. Maksimum Kabarcık Yöntemi

İçinde  $h$  yüksekliğinde sıvı bulunan kılcal borunun alt ucundan kabarcık çıkana dek üst ucundan gönderilen havaya uygulanan basınç, deneysel yoldan ölçülebilmektedir. Maksimum kabarcık basıncı adı verilen bu nicelik için eşitlik (2.19) yazılabilir.

$$P_{max} = h\rho g + h'\rho g = \frac{2\gamma}{r} + h'\rho g \quad (2.19)$$



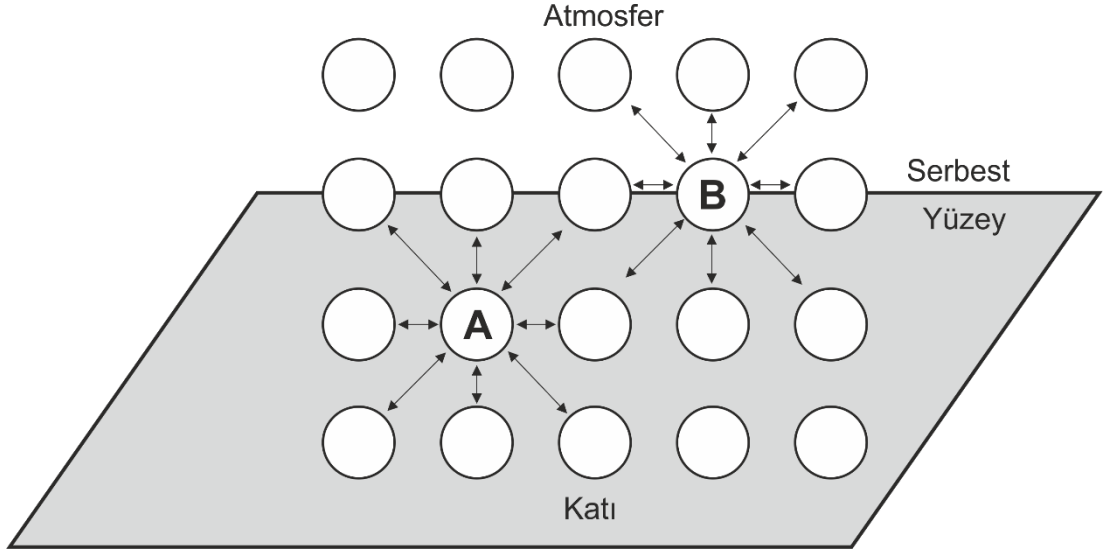
Şekil 2.8'deki gibi kılcal borudaki  $h$  yüksekliği ve kılcal borunun sıvı yüzeyinden derinliğine eşit olan  $h'$  yüksekliği ve  $P_{maks}$  basıncı deneysel yoldan ölçülür ve kullanılan sıvının  $\rho$  yoğunluğu ve  $g$  yerçekimi ivmesi bilindiğine göre yüzey gerilimi ( $\gamma$ ) bu bağıntıdan hesaplanır [10].



Şekil 2.8. Maksimum kabarcık basıncı [10].

## 2.2. YÜZEY ENERJİSİ VE YÜZEY GERİLİMİ

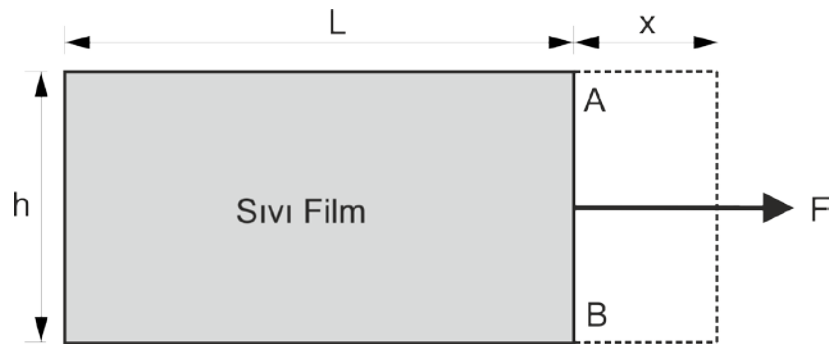
Malzeme yüzeyindeki atomların temas halinde buldukları atmosfer ile etkileşimi, bir katı veya sıvının yüzey enerjisini tanımlayabilmek için, dikkat edilmesi gereken bir niceliktir. Katı bir malzemenin iç bölgesindeki ve serbest yüzeyindeki atomların birbirleri ile olan etkileşimleri şematik olarak Şekil 2.9'de gösterilmektedir. Katı içindeki atom (A), komşu atomlarla ilişki halinde olması 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 atomunkine (A) göre daha yüksektir. Serbest yüzeydeki bu enerji, bu katının yüzey enerjisi olarak tanımlanır.



Şekil 2.9. Bir katının yüzey enerjisini tanımlamak için atomlar arasındaki etkileşimi gösteren şematik diyagram [10].

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. Buharlaşıma ve herhangi bir reaksiyon meydana gelmediği kabul edilen bir damlanın katı bir yüzey üzerinde yayıldığı zaman, hacmi sabit kalır. Bu nedenle sadece sıvının yüzey enerjisinde bir değişme söz konusudur.

Yüzey gerilimi ile yüzey enerjisi arasındaki ilişkiyi, belirli şartlar altında tanımlamaya çalışırsak Şekil 2.10'da görüldüğü gibi,  $L$  uzunluğunda ve  $h$  genişliğinde bir sıvı film düşünelim. Bu sıvı filmi yüzeyi elastik bir zar ile kaplanmış bir pakete benzetebiliriz. Bu sıvının,  $L$  uzunluğundaki AB engeline temas ettiği yüzeyinin ortasında dik olarak etki eden bir çekme kuvveti oluşur. Bu kuvvet, sıvı filmin diğer yüzeyine ( $L$ ) paraleldir ve sıvı filmi  $x$  mesafesi kadar büyütür.



Şekil 2.10. Yüzey gerilmesi ile yüzey enerjisi arasındaki ilişki [10].

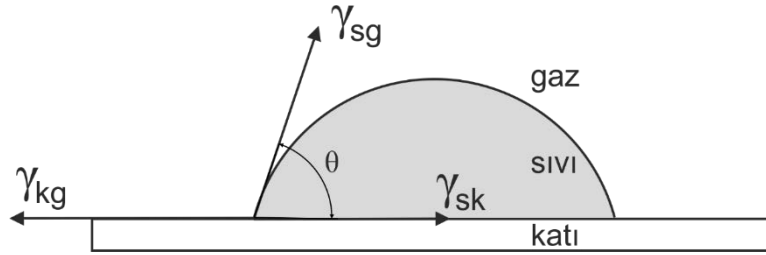
Dolayısıyla sıvı filmin alanında da bir artış olur. Bu artışı,  $xh$  olarak ifade edebiliriz. Bu mesafe artışında yapılan işi tanımlayacak olursak,  $Fx$  sonucunu buluruz. Alan içindeki artışa zıt olarak, sabit sıcaklıkta sıvı filmin yaptığı iş,  $2\gamma xh$  olarak tanımlanabilir ( $\gamma$  sıvının yüzey gerilimi). Buradaki iki (2) çarpanı, sıvının iki adet yüzeyindeki yüzey gerilimini ifade eder. Böylece sabit sıcaklıkta yapılan iş için aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

$$Fx = 2\gamma xh \quad (2.20)$$

Eşitlik yeniden düzenlendiğinde  $F/h = 2\gamma$  veya tek yüzey için  $F/h = \gamma$  eşitlikleri bulunacaktır. Böylece sabit sıcaklıkta yüzey enerjisinin yüzey gerilimine eşit olduğu görülecektir. Yüzey enerjisinin birimi  $Jm^{-2}$ , yüzey geriliminin birimi ise  $Nm^{-1}$ 'dir. Bu parametre, sıvı ile atmosfer arasındaki arayüzey özelliğini ifade eder. Sıcaklık ve atmosfer değiştiği zaman, sıvının yüzey gerilimi de değişecektir.

### 2.3. SIVILARIN KATI YÜZEYLERİ ISLATMASI

Islatma gaz basıncıyla sıvının yayılması olayıdır ve ıslatmanın kolaylığı ıslatılabilirlik olarak ifade edilir. Bir sıvı tarafından katının ıslatılabilirliği, sıvının katı üzerine yaptığı temas açısının terimleri içerisinde tanımlanır. Genel olarak ıslatmada, Young-Dupre tarafından önerilen temas açısı ( $\theta$ ) terimi Eşitlik (2.21)'de kullanılmaktadır. Bu temas açısı ( $\theta$ ), şekil 2.11'de görüldüğü gibi üç arayüzeyin gerilmelerinin dengesi tarafından belirlenir.

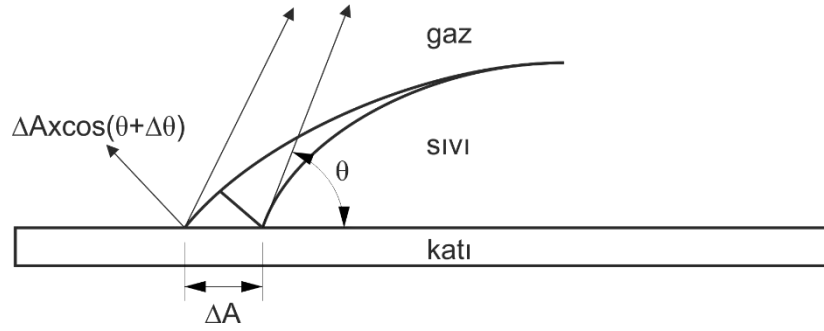


Şekil 2.11. Üç ara yüzey gerilimi ve temas açısı ( $\theta$ ) arasındaki ilişki [10].

$$\gamma_{KG} - \gamma_{KS} = \gamma_{SG} \cos \theta \quad (2.21)$$

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 belirlemektedir.

Bununla birlikte ıslatma sadece arayüzey 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 değişir. Bu anda sıvının alanı, Şekil 2.12’de görüldüğü gibi,  $\Delta A x (\theta + \Delta\theta)$  kadar artar.



Şekil 2.12. Sıvının bir miktar yer değiştirmesine bağlı ara yüzey değişimi [10].

Dolayısıyla; sistemin toplam enerjisindeki değişim eşitlik (2.22) ile açıklanabilir.

$$\Delta F = \Delta A (\gamma_{KS} - \gamma_{KG}) + \Delta A \gamma_{SG} \cos(\theta + \Delta\theta) \quad (2.22)$$

Bir denge şartında  $\Delta F$  çok küçük bir miktar değişim için (0) sifıra çok yakın olduğundan aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

$$\lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} = 0 \quad (2.23)$$

(2.22) ve (2.23)’den (2.24) elde edilir.

$$\gamma_{KG} - \gamma_{KS} = \gamma_{SG} \cos \theta \quad (2.24)$$

Burada; denge temas açısı  $\theta < 90^\circ$  olduğunda ( $90^\circ$ 'den  $0^\circ$ 'ye değişimde) ıslatmanın iyileşmesi, denge temas açısı  $\theta > 90^\circ$  olduğunda ( $90^\circ$ 'den  $180^\circ$ 'ye değişimde) ıslatmanın kötüleşmesi anlamına gelmektedir. Temas açısına bağlı olarak yayılma, dalma veya yapışma ıslatması gibi üç farklı ıslatma tipi oluşabilir:

Denge temas açısı sıfır olduğunda sıvı katı üzerine sonsuz olarak yayılır. Bu durumdaki ıslatma, yayılma ıslatması olarak isimlendirilir. Bu tip ıslatma, katının yüzey alanının azalması ve sıvının yüzey alanının, katı ve sıvı arayüzey alanı kadar artması ile sonuçlanır. Denge temas açısı  $90^\circ$ 'den küçük olduğunda ıslatma, dalma ıslatması olarak tanımlanmaktadır. Dalma ıslatması sıvının iki katı arasında bulunduğu durumlarda söz konusudur. Denge temas açısı sıvının katı levhalara yayılma derecesine bağlı olarak değişmektedir. Sıvının katı levhalara yayılma derecesine bağlı olarak katı levhalar sıvı yüzeyi kendilerine doğru çeker. Bu şekilde sıvı iki katı levha arasına nüfuz eder. Bu durumda katı yüzey alanı azalır, katı-sıvı arayüzey alanı artar.

#### **2.4. İLERLEME VE GERİLEME TEMAS AÇILARI**

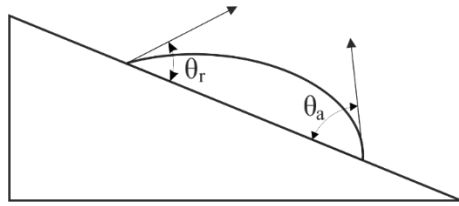
Temas açısı terimi genellikle dengeli bir temas açısını gösterir. Bununla birlikte arayüzey ilerlerken gözlenen temas açısı ve arayüzey gerilerken gözlenen temas açısı pratikte daima farklıdır. Bu temas açıları, ilerleme temas açısı ( $\theta_a$ ) ve gerileme temas açısı ( $\theta_r$ ) olarak ifade edilir. İki temas açısı arasındaki fark yüzey pürüzlülüğünden kaynaklanmaktadır. Yüzey çok pürüzlü olduğunda iki temas açısı arasındaki fark büyük olur. Bu durumda denge temas açısı eşitlik (2.25) ile açıklanabilir [10].

$$\cos\theta_e = (\cos\theta_a + \cos\theta_r) / 2 \quad (2.25)$$

Islatma süresince sıvı damla buharlaşırken temas açısı  $\theta_a$ 'dan  $\theta_r$ 'ye değişir. Özellikle reaktif sistemlerde ıslatma arayüzey reaksiyonlarıyla birleştiğinde gerileme temas açısı bir problemdir. Gerileme temas açısı oluşurken sıvı, denge alanından daha geniş bir alan üzerinde katıyla temasa geçer. Bu durumda Şekil 2.13'de gösterildiği gibi katı temas süresince sıvıyla tepkimeye girer ya da sıvı tarafından

kirletilerek temas açısındaki azalma daha hızlı olarak gerçekleşir ve böylelikle tepkimeye girmiş malzemenin temas açısı ölçülüyor olabilir.

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



Şekil 2.13. İlerleme ve gerileme açıları ( $\theta_r$  ve  $\theta_a$  sırasıyla ilerleme ve gerileme temas açılarını göstermektedir [20].

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

Dengeli bir temas açısı oluşurken katı ve sıvı yüzeyler arasındaki temas açısı ( $\theta$ ) eşitlik (2.26)'da belirtilmiştir.

$$\cos\theta = \frac{\gamma_{KG} - \gamma_{KS}}{\gamma_{SG}} \quad (2.26)$$

Eşitlik (2.29), katı ve gaz arayüzey oluşumunda elde edilen serbest enerjinin sıvı gaz arayüzeyinin oluşumu için gerekli serbest enerjiye oranını veren temas açısının kosinüsünü göstermektedir. Bir sıvının yüzey alanı onun en önemli karakteristiğidir ve sıvının düzlem geometrik alanıyla belirlenebilir. Fakat bir katı-gaz arayüzeyin 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  $r_w(\gamma_{KG} - \gamma_{KS})$  olacaktır ve pürüzlü yüzey için temas açısı ( $\theta$ ), eşitlik (2.27)'deki gibi olacaktır.

$$\cos \theta' = r_w \frac{\gamma_{KG} - \gamma_{KS}}{\gamma_{SG}} \quad (2.27)$$

Eşitlik (2.26), (2.27)'de yerine konulursa Eşitlik (2.28) belirlenir.

$$\cos \theta' = r_w \cos \theta \quad (2.28)$$

Bu denklem Wenzel eşitliği olarak isimlendirilir ve  $r_w$  değerine Wenzel oranı denir [10]. Görünen temas açısı  $\theta'$  ile gerçek temas açısı  $\theta$  birbirine zıttır. Çünkü pürüzlü bir yüzey yakından incelenmesiyle bir yüzeydeki gerçek temas açısının düz olarak dikkate alındığını açığa çıkaracaktır. Bu denklem temas açısı  $90^\circ$  den küçük olduğunda  $\theta' < \theta$  ve pürüzlü yüzeyin temas açısını küçülttüğü anlamına gelir. Bir başka ifade ile  $\theta > 90^\circ$  olduğunda  $\theta' > \theta$  olur ve pürüzlü yüzey temas açısını artırır.

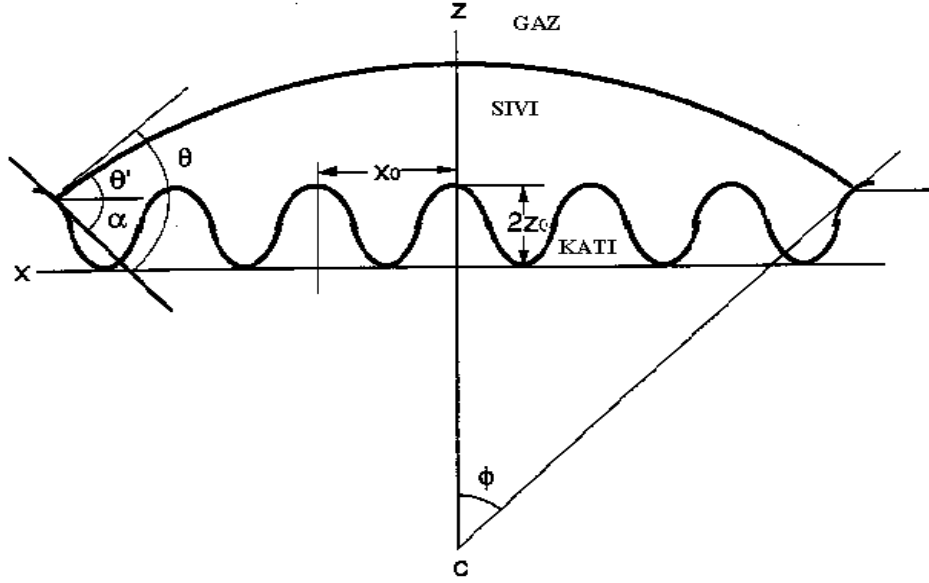
Johnson ve arkadaşları Şekil 2.13, (2.29) ve (2.30) de görülen idealize edilmiş bir model kullanarak katı yüzey pürüzlülüğünün etkisini hesaplamışlardır. Onların idealize etmiş olduğu katı yüzey bir damlanın merkezine doğru hareketinin kesitini göstermektedir. Katı yüzey (z) eksenine etrafında dairesel simetrikdir.  $y, z, \Phi$ , sistemi tanımlamak için kullanılan silindirik koordinatlardır [10].

$$z = z_0 \left( 1 + \cos \frac{2\pi x}{x_0} \right) \quad (2.29)$$

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

$$\theta' = \theta - \alpha \quad (2.30)$$

$\alpha$ 'nın değeri, görünür temas açısı ve gerçek temas açısı arasındaki farkına uyarlanmaktadır. Şekil 2.14'deki ilişkiye göre  $\theta'$  geometrik bir şekilde  $\Phi$ 'ye eşittir.



Şekil 2.14. Johnson'un idealize ettiği pürüzlü yüzey [10].

Johnson ve arkadaşları, Şekil 2.14'de görüldüğü gibi yüzey üzerinde ilerleyen herhangi bir dairede yarı kararlı bir denge olduğuna işaret etmişlerdir. İfade ettikleri modelde sıvı yeterli mikroskobik titreşim enerjisiyle ilerlerken, sıvı serbest enerjinin daha küçük olduğu enerji bariyerleri boyunca yarı kararlı dengeye taşındığını ifade etmişlerdir. Hesapladıkları temas açısındaki değişiklik eğiliminin deneysel sonuçlarla yaklaşık olarak benzer olduğunu bildirmişlerdir. Bununla birlikte yüzey pürüzlülüğünü idealize ettikleri için, enerji bariyerlerinin daha geniş ve ilerleme temas açısı ile gerileme temas açısı arasındaki farkın gerçekten daha büyük olduğunu kabul etmişlerdir.

Katı yüzey yeterli şekilde parlatıldığında dengeli temas açısı ile gerileme temas açısı arasındaki fark ve dengeli temas ile gerileme temas arasındaki fark azalır. Bununla birlikte böyle bir yüzeyde dahi katı-sıvı arasında reaksiyon ve sonuçta reaksiyon ürünü oluşabilir. Bu nedenle gerileme temas açısı ıslatma ölçümleri için elverişli değildir.

## 2.6. YERÇEKİMİNİN TEMAS AÇISI ÜZERİNE ETKİSİ

Temas açısı, dünya üzerinde ölçüldüğü sürece yerçekiminden etkilendiği kabul edilmektedir. Bu yüzden yerçekimi etkisinin minimize edilmesine dikkat etmek gerekmektedir. Bu amaçla temas açısı ölçümleri, genelde küçük damlalar



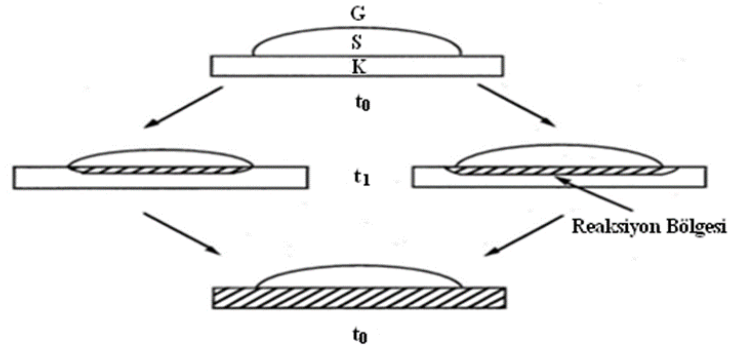
kullanılarak veya serbest düşme gibi sıfır yerçekimi şartları altında yapılmaktadır. Küresel kap modeli kullanılarak yapılan temas açısı ölçümlerinde, geniş temas açısı veya damlanın yavaş düşmesi şartlarında yerçekimi etkisi artabilir. Bunun tersi olarak yine geniş damla şartlarında, damla üzerindeki eğim sıfır kabul edildiğinde temas açısının yerçekiminden etkilenmediği kabul edilmektedir. Bununla birlikte yer çekiminin temas açısı üzerindeki etki ve derecesi literatürde tam olarak belirlenememiştir.

## 2.7. ISLATMANIN KİMYASAL REAKSİYONLARLA İLİŞKİSİ

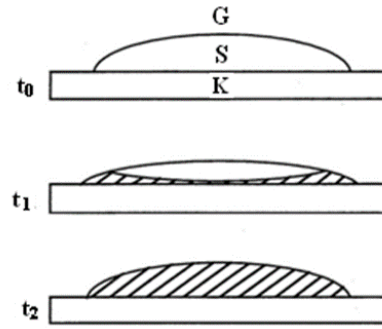
Aksay ve arkadaşları arayüzey-ıslatma ilişkisini teorik olarak değerlendirmiş ve kimyasal reaksiyonlara bağlı olarak aşağıda belirtilen dört tür model tanımlamışlardır:

- 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 diğerleriyle uyumlu olarak sarılır.
- d) Arayüzeyde bir bileşim şekillenir.

Islatma fazlarının oluşumu Şekil 2.15 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 arayüzey serbest enerjisi ile ilerlerken reaksiyonun serbest enerjisinden dolayı  $t = t_0$  anında sırasıyla  $\Delta\gamma_{KS}$  veya  $\Delta\gamma_{SG}$  olarak değişecektir. Bu durumda, sıvıyla ilişkili olarak reaksiyon bölgesi şartları tarafından belirlenmiş olan iki tür ıslatma vardır.



(a)



(b)

Şekil 2.15. 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).

## 2.8. ADSORPSİYON

Adsorpsiyon, çözelti ya da gaz fazındaki bir bileşenin derişiminin bir katı madde yüzeyinde ya da oluşan iki faz arasındaki ara yüzeyde artması olayıdır. Başka bir ifadeyle moleküllerin, temas ettikleri yüzeydeki çekme kuvvetlerine bağlı olarak yüzeyde tutunması olarak tanımlanabilir. Olay fazlardan birindeki bir bileşenin diğer fazdaki maddenin (katı faz) yüzeyinde birikerek çözülden ayrılması şeklindedir. Birçok fiziksel, kimyasal ve biyolojik sistemlerde adsorpsiyon etkisine rastlanılmakta, lehim endüstrisi ve lehimleme olaylarında adsorpsiyon özellikleri sıkça kullanılmaktadır. Adsorplayan madde yüzeyi ile adsorplanan kimyasal arasındaki çekim kuvvetlerine bağlı olarak gerçekleşen üç tür adsorpsiyon mekanizması aşağıda tanımlanmaktadır [10].

### 2.8.1. Adsorpsiyon Mekanizmaları

Sabit basınçta gaz, sıvı veya çözünmüş maddelerin aktiflenmiş bir katı ile etkileşimi sonucunda katı ile etkileşen maddenin hacminin azaldığı, sabit hacimde tutulduğunda ise basıncının düştüğü gözlenir. Bu durumda moleküllerin bir kısmı katı tarafından tutulur. Bu olay akışkan fazda çözünmüş haldeki belirli bileşenlerin bir katı adsorban yüzeyine tutunmasına dayanan ve faz yüzeyinde görülen yüzeyde tutunma olayıdır. Katı örgüsü içinde bulunan iyonlar çekim kuvvetlerince dengelenmiştir. Ancak katı yüzeyindeki atomların dengelenmemiş kuvvetleri, çözültideki maddeleri katı yüzeyine çekerler ve yüzey kuvvetleri dengelenmiş olur. Bu şekilde çözültideki maddelerin katı yüzeyine adsorpsiyonu gerçekleşir. Gaz sıvı ya da çözünmüş madde moleküllerinin katı yüzey üzerinde tutunması olayına “adsorpsiyon (yüze tutunma)” denir. Adsorpsiyon ve adsorpsiyon olayları aynı anda gerçekleşiyor ise bu kez “sorpsiyon” olayından söz edilir. Moleküllerin tutunduğu yüzeye “adsorplayıcı” (adsorban) ve yüzeyde tutunan moleküllere ise “adsorplanan” adı verilir. Adsorplayıcının yüzeyine tutunan gaz veya buhar moleküllerinin, adsorpsiyona yol açan etken ortadan kalkınca, yüzeyden ayrılması olayına da “desorpsiyon” denir. Adsorpsiyon, sıvı ya da gaz fazında çözünmüş halde bulunan maddelerin katı bir yüzey üzerinde kimyasal ve fiziksel kuvvetlerle tutulmaları işlemi olarak da tanımlanabilir.

Adsorpsiyon olayının sebebi, adsorplayıcı katının sınır yüzeyindeki moleküller arasındaki kuvvetlerin dengelenmemiş olmasıdır. Katı yüzeydeki iyonların dengelenmemiş kuvvetleri tarafından çözültide çözünmüş maddeler katı yüzeyine doğru çekilecek ve yüzey kuvvetleri dengelenmiş olacaktır. Böylece çözültide çözünmüş maddelerin katı yüzeyine adsorpsiyonu gerçekleşecektir. Aynı adsorplayıcı, bazı gazları adsorpladığı halde bazılarını hiç adsorplamayacaktır. Bu durum adsorpsiyon olayının seçimli olduğunu gösterir. Belli miktardaki gazın katı tarafından adsorpsiyonunda, gaz veya katı yüzeyi yanında ortamın sıcaklığı ve gaz basıncı da etkilidir. Adsorpsiyon olayı oldukça hızlı bir şekilde gerçekleşir. Adsorplayıcının doygunluğa yaklaşması oranında adsorpsiyon hızı da azalır [11].

Adsorpsiyon mekanizması temelde fiziksel adsorpsiyon, kimyasal adsorpsiyon ve iyonik adsorpsiyon olmak üzere üçe ayrılır.

### **2.8.2. Fiziksel Adsorpsiyon**

Fiziksel adsorpsiyon, düşük adsorpsiyon ısısı ile karakterize edilmekte ve denge çok kolay bir şekilde kurulmaktadır. Yeni kimyasal bağların oluşumundan daha çok, sürekli dipol, zorlanmış dipol ve kuadropol etkileşmelerini içeren moleküller arası kuvvetler yardımıyla olan fiziksel adsorpsiyon, Van der Waals kuvvetlerini içermektedir. Bu nedenle fiziksel adsorpsiyona “Van der Waals adsorpsiyonu” da denilmektedir.

Fiziksel adsorpsiyon kendiliğinden gerçekleşme eğilimindedir. Ancak bu eğilim desorpsiyon ile engellenmektedir. Her adsorplanan madde miktarı için, çevredeki buharlaşma ve yoğunlaşma arasındaki dengeye benzer bir adsorpsiyon denge durumundan söz etmek mümkündür. Her sıcaklık için bir adsorpsiyon denge durumu vardır ve sıcaklık artışı ile adsorpsiyon azalmaktadır.

Fiziksel adsorpsiyon, karışımlardaki bileşenlerin bir fazdan diğer faza aktarılmasında; adsorbanların yüzey alanını, gözenek büyüklüğünü, gözeneklerin dağılımını belirlemede ve heterojen katalizli reaksiyonlarda önem kazanmaktadır. Fiziksel adsorpsiyon ısısı düşük olup, çoğu gazlarda sıvılaşma ısısı düzeyindedir. Bu tür adsorpsiyonda, adsorblanmış tabaka birden fazla molekül kalınlığında olabilmektedir. Fiziksel adsorpsiyon çok hızlı gerçekleştiğinden hız, moleküllerin yüzeye aktarım hızı ile denetlenmektedir [11].

### **2.8.3. Kimyasal Adsorpsiyon**

Kimyasal adsorpsiyon, adsorban ile adsorplanan arasındaki elektron aktarımıyla gerçekleşen ve adsorban ile adsorplanan arasında kimyasal bağların oluştuğu adsorpsiyon türüdür. Ayrıca bu tip adsorpsiyon genellikle oldukça yüksek sıcaklıklarda gerçekleşmektedir. Kimyasal adsorpsiyonun gerçekleştiği yaklaşık 200 °C'nin üstündeki sıcaklıklarda aktivasyon enerjisi, kimyasal bağları kırabilecek veya yeni bağ oluşturabilecek büyüklüktedir. Kimyasal adsorpsiyon “aktiflenmiş adsorpsiyon” olarak da adlandırılmaktadır.

Kimyasal adsorpsiyonda aktivasyon enerjisi kimyasal reaksiyon ısısı düzeyindedir. Adsorplanmış tabaka tek moleküler kalınlıktadır. Kimyasal adsorpsiyon hızı fiziksel adsorpsiyona göre daha düşüktür. Çünkü kimyasal adsorpsiyon süreçleri belirli bir aktivasyon enerjisi ile karakterize edilmekte ve bu yüzey ancak belirli bir minimum sıcaklık üzerindeki sıcaklıklarda reaksiyon hızla olmaktadır.

Kimyasal adsorpsiyon yalnızca bir tabakalı yani monomoleküler olabildiği halde, fiziksel adsorpsiyon tek tabakalı ya da çok tabakalı yani multimoleküler olabilmektedir. Çoğu fiziksel adsorpsiyon süreci tersinir olarak yürütülebildiği halde, kimyasal adsorpsiyonlar ise genellikle tersinmez bir süreçte ilerlemektedir. Kimyasal adsorpsiyonda adsorplanan moleküller adsorbana büyük kimyasal bağlarla bağlanmakta ve adsorbanın yüzeyinden ayrılamamaktadırlar [11].

#### **2.8.4. İyonik Adsorpsiyon**

İyonik adsorpsiyon, adsorplanan ve adsorplayıcı arasındaki elektrostatik çekim kuvvetlerinin etkisi ile iyonların yüzeydeki yüklü bölgelere tutunması olayıdır. Burada adsorplayıcı ve adsorplanan maddenin zıt elektrik yüklerine sahip olması ve yüzeylerin birbirini çekmesi önemlidir. Elektrik yükü fazla olan ve küçük çaplı iyonlar daha iyi adsorplanırlar.

Adsorpsiyon işlemini yukarıda özetlenen adsorpsiyon çeşitlerinden biri ile açıklamak zordur. Birçok durumda fiziksel ve kimyasal aktivasyon birlikte olur. Bu nedenle bir adsorpsiyon olayında fiziksel ve kimyasal adsorpsiyonu ayırt etmek kolay değildir. Bazı maddeler düşük sıcaklıklarda fiziksel, yüksek sıcaklıklarda ise kimyasal olarak adsorplanabilirler. Birçok adsorpsiyon olayında farklı adsorpsiyon türleri birlikte veya ardarda görülebilmektedir [11].

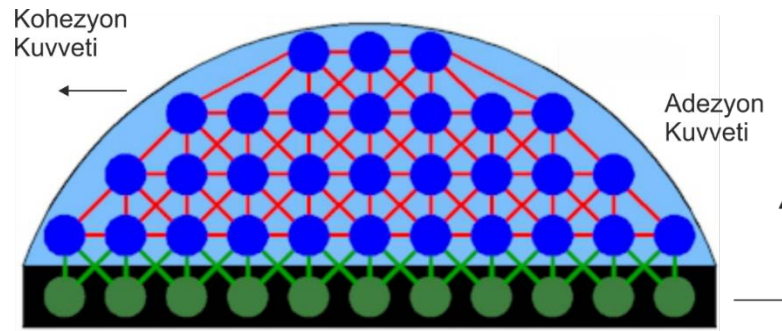
#### **2.8.5. Kohezyon ve Adezyon Kuvvetleri**

Katı, sıvı veya gaz hâli farketmeksizin bir maddenin atomları arasında birbirlerine karşı çeşitli kuvvet etkileşimleri vardır. Aralarında uygun bir mesafe bulunan iki atom arasında çekme kuvveti etkilidir. Eğer iki atom, bu çekme kuvvetinin etkisi ile

birbirine çok fazla yaklaşırsa bu defa birbirlerini itmeye başlarlar. İtme ve çekme kuvvetlerinin dengelendiği mesafede atomlar en kararlı konumlarında bulunur.

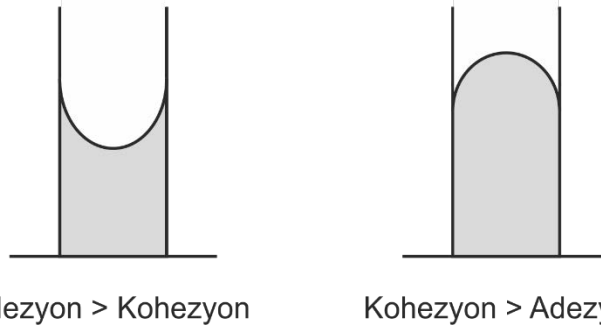
Bir atomu kararlı konumundan ayırmak, yani diğer atoma yaklaştırmak veya uzaklaştırmak için enerjiye ihtiyaç vardır. Gereken bu enerji miktarı katı madde atomları için büyük, sıvılar için küçük, gazlar için ise ihmal edilebilecek kadar azdır. Böylece katı madde katılığını muhafaza eder, sıvılar ise moleküller arası kuvvetlerin gaz hâlimden oldukça büyük olması sebebiyle, katılar gibi hacimlerini muhafaza eder, fakat akışkan bir özellik kazanırlar. Bir maddenin atomları arasındaki bu çekme kuvvetlerine kohezyon adı verilir.

Atomlar arası kuvvetler sadece aynı madde içerisinde tesir göstermezler. Bir maddenin atomu ile diğer bir maddenin atomu arasında da çekme kuvvetleri mevcuttur ve buna da adezyon kuvveti adı verilir. Bir bardak içerisindeki suyu ele aldığımızda; su moleküllerinin kendi aralarındaki çekme kuvvetleri kohezyon, bardak molekülleri ile su molekülleri arasındaki çekim kuvvetleri ise adezyon kuvvetidir (Şekil 2.16).



Şekil 2.16. Adezyon ve kohezyon kuvvetleri [10].

Sıvıların ince tüpler içerisindeki yükselme veya alçalma hareketi de, tamamen bu iki kuvvet arasındaki etkileşim ile bağıntılı olan yüzey gerilimi ile ilişkilidir. İnce tüpler içerisinde ayrıca, yüzey gerilimi nedeniyle sıvının en üst seviyesinde bir de Şekil 2.17’de görüldüğü gibi içbükey veya dışbükey bir kavis gözlenir.



Şekil 2.17. Adezyon ve Kohezyon kuvvetleri arasındaki ilişki [10].

Eğer adezyon kuvveti, kohezyon kuvvetinden büyükse ıslanma koşulu sağlanır, kohezyon kuvvetinin adezyon kuvvetinden büyük olması durumunda ise ıslanmama koşulu sağlanır.

Kural olarak; sıvının kohezyon kuvveti eğer içinde bulunduğu kılcal yapının duvarlarıyla arasındaki adezyon kuvvetinden büyükse, sıvı seviyesi düşmeye eğilimlidir ve sıvının üst yüzeyinde de dışbükey bir eğri görülür. Ancak eğer durum bunun tam tersiyse, yani kılcal yapının duvarları ve sıvı arasındaki çekim kuvveti daha yüksekse, sıvı bu kez yükselmeye eğilim gösterir ve üst yüzeyde de içbükey bir kavis görülür.

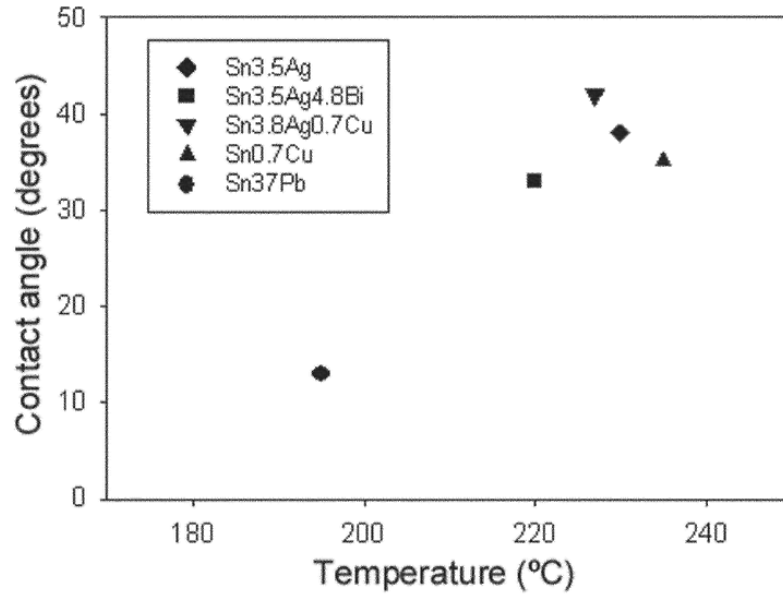
Islaklık hissi de, doğal olarak bu iki kuvvet arasındaki etkileşim ile ilişkilidir. Hatta kimya ve fizikte “ıslaklık” veya “ıslanma”, bu kuvvetler arasındaki bağıntıya göre adlandırılır.

## 2.9. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Arenas ve Acoff ıslatma-denge ve sessile damla metotlarının, ıslatalabilirliğin belirlenmesinde önemli rol oynayan temas açısı ölçümünde, yaygın kullanılan metotlar olduklarını belirtmişlerdir. Bununla birlikte temas açısının ölçümünde sonuçları etkileyebilecek yüzey etkisi, flux, zaman ve sıcaklık gibi parametrelerin kontrol altında tutulması gerektiğini ifade etmişlerdir.

Yine aynı çalışmalarında Arenas ve Acoff dört farklı Sn-3,5Ag, Sn-3,5Ag-4,8Bi, Sn-3,8Ag-0,7Cu kurşunsuz lehim alaşımlarının temas açıları, arıtkan madde kullanılarak ve kullanılmadan ölçülmüştür. Temas açıları 10° ve 30° değerleri arasında RMA (Rosin Midly Activated) ve RA (Rosin Activated) arıtkan maddeleri kullanılarak

elde edilmiştir. Test edilen lehimler arasında Sn-3,5Ag-4,8Bi mükemmel ıslatma göstermiş ve en düşük temas açısı değerine sahip olmuştur. Bütün alaşımları için en düşük temas açıları RMA arıtkan maddesi kullanılarak elde edilmiştir (240°C’de 17°, 260°C’de 18°). 240°C - 280°C değer aralığındaki teması açısının sıcaklık etkisinin, kullanılan arıtkan maddeye bağlı olduğu saptanmıştır. RA arıtkan maddesi için sıcaklık arttığında temas açısı değerinin azaldığı, ancak RMA arıtkan maddesi kullanıldığında temas açısı değerinde hafif bir artış olduğu ve çoğu zaman temas açısının sıcaklıktan bağımsız olduğu sonucuna varılmıştır. Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> ve Cu<sub>3</sub>Sn olarak adlandırılan metallere arası bileşiklerinin, lehim-bakır ara yüzeyinde meydana geldiği saptanmıştır.



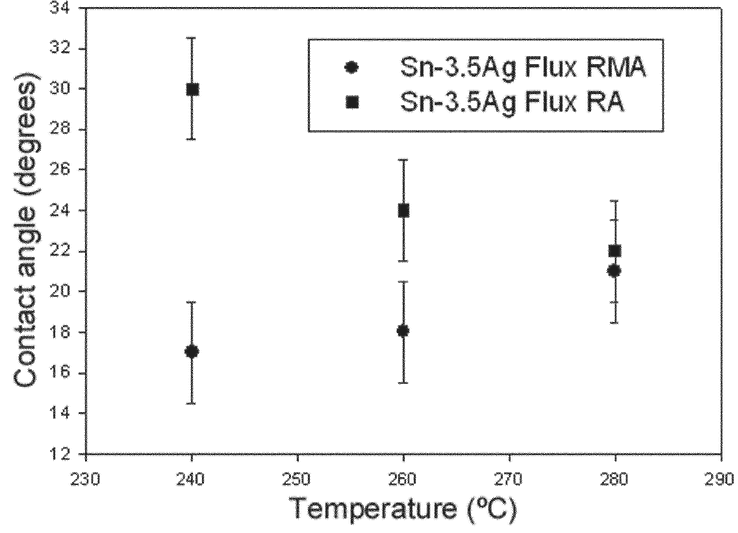
Şekil 2.18. Cu altlık üzerinde vakum ortamında ölçülen kurşunsuz lehimlerin temas açıları değerleri [12].

Burada Şekil 2.18 vakum ortamında yapılan denemelerin sonuçlarını göstermektedir. Yapılan araştırmalarda kurşunsuz lehimler için temas açıları değerinin 33° - 42° arasında değiştiği görülmüştür. Bu değerlerin ticari olarak kullanılan Sn-37Pb lehim alaşımı için elde edilen değerden oldukça yüksek olduğu söylenmiştir. Lehim alaşımı için ölçülen temas açısı değerinin literatür ile uyumlu olduğu belirtilmiştir.

Kurşunsuz lehim alaşımları için gözlenen temas açısı değerlerinin Vianco ve Fear’ın çalışmalarında belirttikleri gibi kurşunsuz olması nedeniyle lehim-buhar arayüzey gerilimindeki artışla açıklamanın mümkün olabileceği vurgulanmıştır.



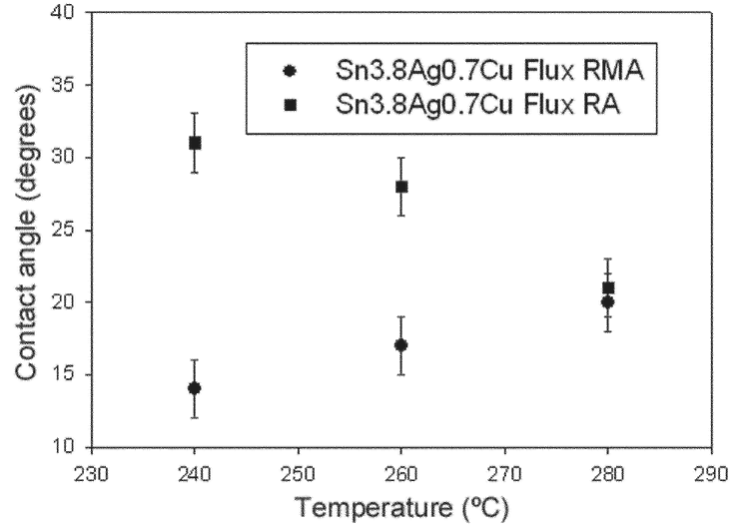
Bu sonuçlar, kurşunsuz lehim alaşımlarının ıslatma davranışlarını geliştirmek için en uygun flux'ın kullanılmasının gerekli olduğunu göstermiştir.



Şekil 2.19. Bakır altlık üzerinde Sn-3,5Ag lehimlerinin sıcaklığın bir fonksiyonu olmak üzere RMA ve RA flux'ları kullanılarak elde edilen temas açıları [12].

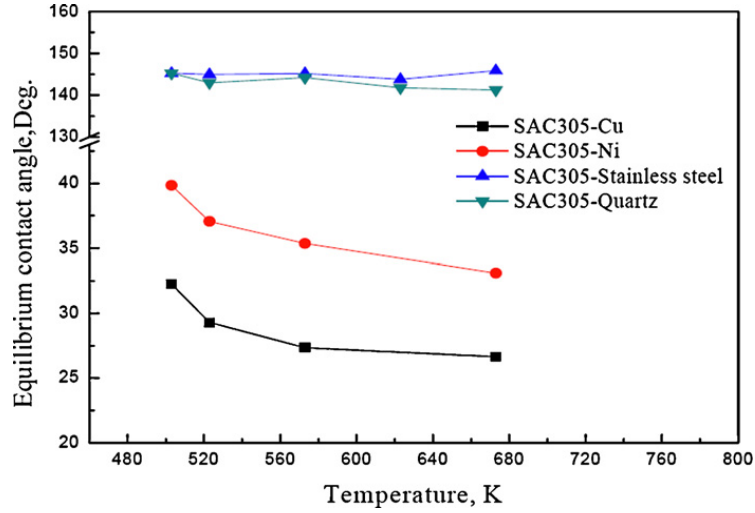
Şekil 2.19, flux kullanılarak Sn-3,5Ag alaşımı için ölçülen temas açısı değerlerini göstermektedir. Temas açısı değerlerinin 17° - 30° arasında değiştiği belirtilmiştir. En düşük temas açısı değerinin 240°C ve 260°C'lerde arıtkan madde kullanıldığında elde edildiği saptanmıştır. RA arıtkan madde kullanıldığında sıcaklıktaki artışların temas açısında azalma ile sonuçlandığı, ancak RMA arıtkan madde kullanıldığında temas açısı değerlerinin 240°C ve 260°C'ler arasında sabit kaldığı ve 280°C'de çok hafif bir artış gözlemlendiği sonucuna ulaşılmıştır. Islatmada arıtkan maddenin etkisinin lehim-arıtkan madde-bakır sistemi için Young-Dupre denklemi ile açıklanabileceğini tespit edilmiştir. arıtkan madde-bakır yüzey enerjisindeki artış,  $\gamma_{fb}$  ya da  $\gamma_{fs}$ 'deki azalmanın, ıslatmayı artırarak temas açısını azaltacağı vurgulanmıştır. Arıtkan madde ilavesi ile artan bu değişimler sonucunda ıslatmanın gelişmekte olduğu söylenmiştir. Bütün durumlarda sıcaklıktaki yükselmenin yayılmayı artırması beklenmiştir. Ancak bu durum, bazı arıtkan maddeler için mümkün olmuştur. Yüksek sıcaklıkların, kimyasal reaksiyonlar yüzünden arıtkan madde-lehim yüzey gerilimini arttıracakları belirtilmiştir. Benzer bulguların bazı lehim sistemleri için Loomans ve arkadaşlarının çalışmalarında rapor edildiği belirtilmiştir [12].

Arenas ve Acoff ayrıca, Sn-Ag ikili lehime %0,7Cu eklendiğinde Şekil 2.20’da gösterildiği üzere 17°-30° aralığında temas açısı değerleri elde etmiş ve bu değerlerin Sn-3,5Ag için elde edilen değerlerle aynı olduklarını belirtmişleridir. Bu sonuçtan yola çıkarak %0,7Cu eklenmesinin ıslatma üzerinde etkisi olmadığı sonucuna varmışlardır [12].



Şekil 2.20. Bakır altlık üzerinde Sn-3,8Ag-0,7Cu lehimlerinin sıcaklığın bir fonksiyonu olmak üzere RMA ve RA flux’ları kullanılarak elde edilen temas açıları [12].

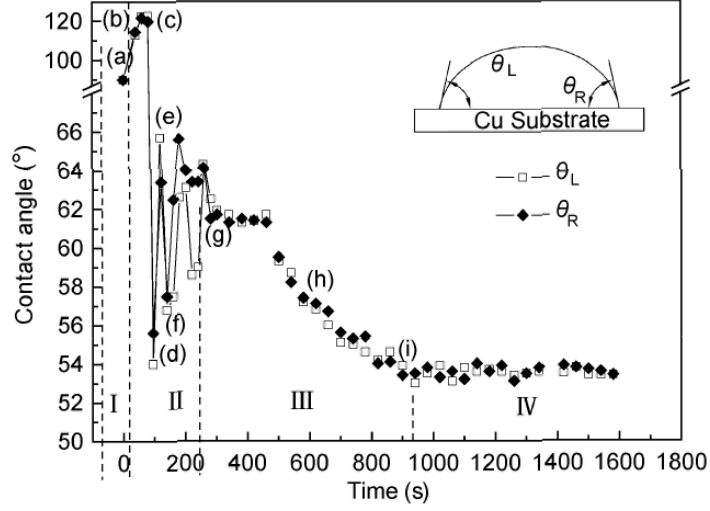
Zang ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarında bu tezde de kullandığımız SACX305’in Cu, Ni, paslanmaz çelik ve kuartz üzerindeki ıslatma özelliklerini ve temas açılarını incelemişler, sıcaklığın dengeye temas açısına etkisini göstermişlerdir. Şekil 2.21’te de görüldüğü üzere sıcaklık arttıkça denge temas açısının azaldığını ve SACX305 ile Cu altlık arasındaki denge temas açısının, Ni altlık ile olandan daha düşük olduğu sonucuna varmışlardır [13].



Şekil 2.21. Erimiş Sn-3,0Ag-0,5Cu ile farklı altlıklar arasındaki temas açıları [13].

Erer ve arkadaşları da Ar atmosfer ortamında sessile damla metodu kullanarak Sn-Ag kurşunsuz lehim alaşımlarının, Cu altlık üzerindeki ıslatma özelliklerini araştırdıkları çalışmalarında, deneysel sonuçların  $\gamma_{SL}$  ve  $\gamma_{LV}$ 'nin düşüşünden dolayı, temas açısının artan sıcaklıkla orantılı olarak düştüğünü göstermişlerdir. Ayrıca yaptıkları deneylerde de Sn-3,5Ag bileşiği için en düşük temas açısını 300 °C'de 22° olarak elde etmişlerdir. Bu tez çalışmasında sadece sıcaklığın ıslatma özelliklerine etkisi değil aynı zamanda, zamanın da etkisi incelenmiştir [3].

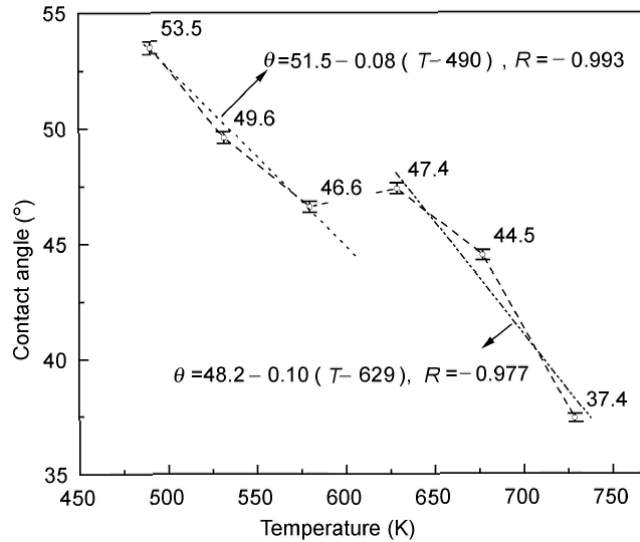
Zhang ve arkadaşları yaptıkları üçlü lehim alaşımlarının Cu altlık üzerindeki temas açısı ölçümlerinde, temas açısı oluşumunun dört aşamaya bölünebileceğini belirtmişlerdir. Şekil 2.22'de de görüldüğü gibi temas açısının ilk aşamada ani olarak yükseldiğini, ikinci aşamada inişli çıkışlı değişimler olduğunu, daha sonra sürekli bir azalma olduğunu ve yaklaşık 15 dakika sonra 53,5° ( $\pm 0,3^\circ$ ) değerinde sabitlendiğini yaptıkları araştırmada göstermişlerdir [5].



Şekil 2.22. Sn-Ag-Cu/Cu temas açısının 490 K’de zamana bağlılığı.  $\theta_L$  ve  $\theta_R$  yatay bir çizgide değildirler. İlk üç noktalı çizgi, çerçevenin alt bölgesini aşmaktadır [5].

Ayrıca 490-729 K aralığında sabit temas açısının sıcaklığa bağımlılığını araştırdıklarında ıslatabilirliğin artan sıcaklıkla iyileştiğini de göstermişlerdir (Şekil 2.23).

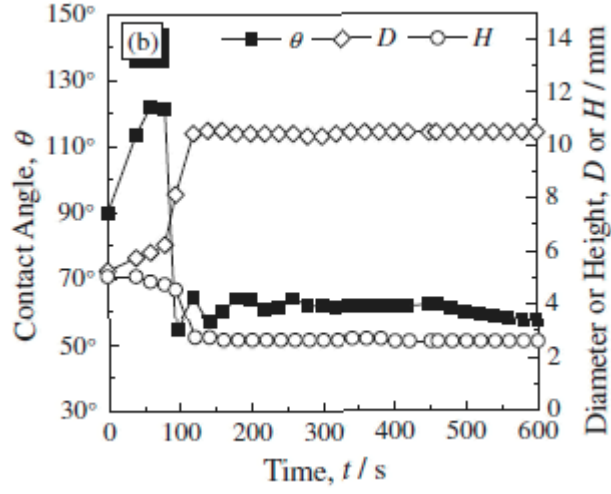
Aynı çalışma, metaller arası bileşiklerin (IMCs) de yukarıda bahsedilen üçüncü aşamada oluştuğunu ortaya koymuştur.



Şekil 2.23. Denge temas açısı ve sıcaklık arasındaki ilişki [5].

Zhang ve arkadaşları da yaptıkları çalışmada, üçlü lehim alaşımlarında, temas açılarının sadece sıcaklıkla lineer olarak azalmadığını ayrıca zamanla da değiştiğini

belirtmişlerdir (Şekil 2.24). Örneğin, 723 K'de Sn-3Ag-0,5Cu için temas açısında 6,6°'lik bir ani düşüş gözlemlenmiştir [7].



Şekil 2.24. Sn-3Ag-0,5Cu'nun temas açısının zaman ve sıcaklıkla değişimi [7].

Zhang ve arkadaşları aynı çalışmalarında oksidasyonun da önemini ortaya koymuşlardır. Sn-9Zn'nin Cu altlık üzerindeki ıslatma özelliklerini incelediklerinde, temas açısının ne zamanla ne de sıcaklıkla değişmediğini, yaklaşık 116,4°'de sabit kaldığını gözlemlenmiştir. Bu zayıf ıslatabilirlik Zn elementinin kolay oksidasyonu ile açıklanmıştır. Deneyler esnasında erimiş Sn-9Zn'nin yüzeyinde, Cu altlık üzerinde yayılmayı önemli ölçüde engelleyen katı ve kalın bir ZnO film oluştuğunu ifade edilmiştir [7]. Bu sebepten dolayı Sn-Ag-Cu lehim alaşımları için zaten az olan oksidasyon ihtimalini daha da azaltmak için bu tez için yapılan deneyler saf Ar (99,999%) atmosferinde yapılması tercih edilmiştir.

Yine aynı çalışmada farklı metotlar ve atmosferler kullanılarak, literatüre geçmiş bazı temas açısı ölçümleri incelenmiş ve Sn-Pb'nin yerini alması düşünülen Sn-bazlı ikili veya üçlü lehim alaşımlarının temas açıları, ötektik Sn-40Pb alaşımın Cu altlık üzerindeki temas açısından oldukça yüksek olduğu rapor edilmiştir (Çizelge 2.2). Bu nedenle Sn-bazlı kurşunsuz lehim alaşımları üzerine araştırmaların önemi vurgulanmıştır.

Çizelge 2.1. Bazı Sn-bazlı lehim alaşımlarının literatürde yer alan temas açıları [7].

Lehim Alaşım	Flux	Sıcaklık, (K)	Temas Açısı, (°)	Metod*	Atmosfer
Sn-40Pb (mass%)	ZnCl <sub>2</sub>	523	7°	ST	
Sn-30In (at%)		710	41°	SD	Ar
Sn-9Zn (mass%)	HCl	523	46°	WB	
Sn-3,8Ag (at%)		523	58°	SD	Ar-H <sub>2</sub>
Sn-8Zn-3Bi (mass%)	ZnCl <sub>2</sub>	523	34°	ST	
Sn-3,8Ag-0,46Cu (at%)		523	56°	SD	Ar-H <sub>2</sub>
Sn-4Bi-8In (at%)		430	66°	SD	Ar
Sn-14Bi-5In (at%)		483	92°	SD	Ar
Sn-3,8Ag-0,74Cu (at%)		523	61°	SD	Ar-H <sub>2</sub>
Sn-9Zn-1Bi-2Cu (mass%)	Kolofonik Asit	523	41°	SD	

\* ST: Yayılma Testi, SD : Sesil Damla Metodu, WB : Damla Denge Metodu

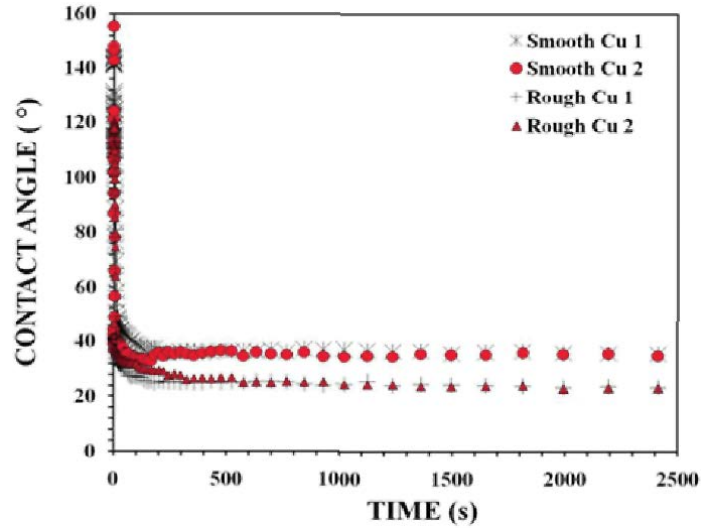
Vianco Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> metaller arası bileşiğin lehimleme esnasında, Cu<sub>3</sub>Sn bileşiğinin ise Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> ve Cu altlık arasında, katı-hale geçiş esnasında oluştuğunu rapor etmiştir [14].

Lee and Mohamad, Sn-Ag-Cu/Cu arayüzeyindeki tepkimeleri detayları ile incelemiş ve Sn-Ag-Cu kurşunsuz lehimlerin elektronik endüstrisindeki öneminden bahsetmişlerdir. İnce, sürekli ve değişmeyen metaller arası bileşik (IMCs) katmanlarının iyi bir bağ için temel gereklilik olduğu sonucuna varmışlardır. Metaller arası bileşikler (IMCs) olmadan altlık/lehim arayüzeyi zayıftır. Çünkü bağlanmada metalürjik etkileşim gerçekleşmez. Tersine kalın metaller arası bileşikler (IMCs) doğasında bulunan kırılma nedeniyle lehimin dayanıklılığını azaltabilir. Ek olarak, kalın metaller arası bileşiklerin (IMCs), fiziksel özellikleri bozan yapısal kusurlara yol açması muhtemeldir. Hem Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> hem de Cu<sub>3</sub>Sn metaller arası fazlar lehimleme şartlarına bağlı olarak arayüzeyde bulunur. Cu<sub>3</sub>Sn'in kalınlığının Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>'in kalınlığından daha küçük olması beklenir. Bunun sebebi Cu<sub>3</sub>Sn'nin katı-hal difüzyonuyla oluşmasıdır [15].

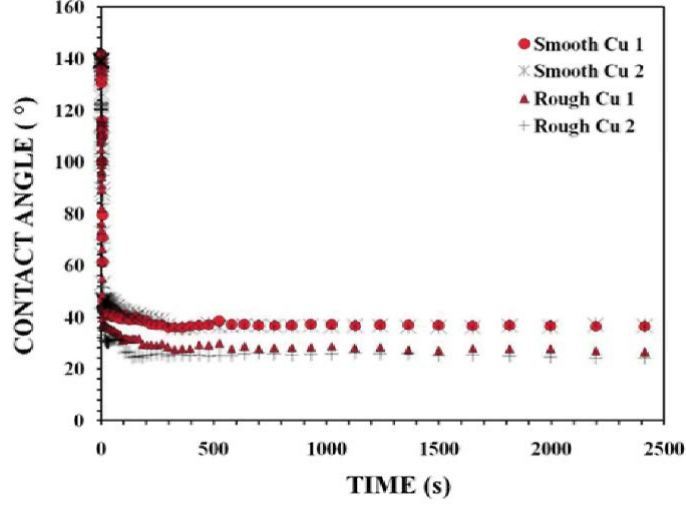
Chen ve arkadaşları kurşunsuz lehimlerin mevcut faz diyagramlarını ve lehim/altlık içeren materyal sistemlerini araştırmıştır. Lehimleme esnasında kalın metaller arası bileşiklerin oluşumundan kaçınılması gerektiğini belirtmiştir [16].

Chen ve arkadaşları, artan metaller arası bileşik (IMCs) kalınlıklarının artan lehimleme süresinden kaynaklandığı sonucuna varmışlardır. Bundan dolayı  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ 'in genellikle artan lehimleme süresiyle büyüdüğü gerçeğine rağmen,  $\text{Cu}_3\text{Sn}$ 'nin kalınlığı  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ 'in azalan kalınlığıyla artar [17].

Satyanaran ve Parabhu yüzey pürüzlülüğünün ıslatma davranışına etkisini, Cu altlık üzerinde Sn-0,7Cu ve Sn-0,3Ag-0,7Cu kurşunsuz lehim alaşımları kullanarak incelemiştir (Şekil 2.25 ve 2.26).



Şekil 2.25. Düz ve pürüzlü Cu altlık üzerinde Sn-0,7Cu kurşunsuz lehim alaşımı için temas açılarının zamana bağlı değişimi [18].



Şekil 2.26. Düz ve pürüzlü Cu altlık üzerinde Sn-0,3 Ag-0,7Cu kurşunsuz lehim alaşımı için temas açılarının zamana bağlı değişimi [18].

Çizelge 2.2’de görüldüğü üzere denge temas açılarını Sn-0,7Cu için düz yüzeyde 34°, pürüzlü yüzeyde 23°; Sn-0,3Ag-0,7Cu için düz yüzeyde 36°, pürüzlü yüzeyde ise 26° olarak elde etmişlerdir [18].

Çizelge 2.2. Cu altlık üzerinde lehim alaşımları için elde edilen denge temas açıları [18].

Lehim Alaşımı	Yüzey	Pürüzlülük, ( $\mu m$ )	Denge Temas Açısı, ( $^{\circ}$ )
Sn-0,7Cu	Düzgün	0,018	34,78
		0,019	35,45
Sn-0,7Cu	Pürüzlü	0,918	23,15
		0,932	23,95
Sn-0,3Ag-0,7Cu	Düzgün	0,031	36,44
		0,017	36,50
Sn-0,3Ag-0,7Cu	Pürüzlü	1,039	26,70
		0,918	26,40

Satyanaran ve Parabhu, Ni kaplı Al altlık üzerinde, Sn-0,7Cu ve Sn-0,3Ag-0,7Cu kurşunsuz lehim alaşımlarının katılma sürecinde reaktif ıslatma özelliklerini inceledikleri başka bir çalışmalarında temas açılarını, Sn-0,7Cu için 22° – 26° aralığında, Sn-0,3Ag-0,7Cu için ise 20° – 22° elde etmişlerdir. Elde edilen yakın sonuçlara rağmen, Sn-0,3Ag-0,7Cu’nun altlık üzerindeki yayılma özelliklerinin Sn-0,7Cu’ya göre daha iyi olduğu sonucuna varmışlardır [19].



## BÖLÜM 3

### DENEYSEL YÖNTEM

#### 3.1. ALAŞIMLARIN VE ALTLIK MALZEMESİNİN HAZIRLANIŞI

Deneyde kullanılan kurşunsuz lehim alaşımları (SACX300, SACX305 ve SACX0307) elektronik sanayinde yaygın olarak kullanılmaları sebebiyle seçilmiştir. Seçilen kurşunsuz lehim alaşımları Esmen Elektronik A.Ş tarafından temin edilmiştir.

Çizelge 3.1. Kurşunsuz lehim alaşımlarının kimyasal bileşimleri (kütle%).

Alaşımlar	Sn	Ag	Cu	Pb	Cd	Sb	Bi	Diğer
SACX300	Denge	3,0±0,2	0,05	0,10	0,002	0,12	0,10	0,132
SACX305	Denge	2,8-3,2	0,5±0,2	0,1	0,002	0,1	0,1	0,132
SACX0307	98,5-99	0,3±0,05	0,7±0,05	0,1	0,002	0,05	0,05	0,112

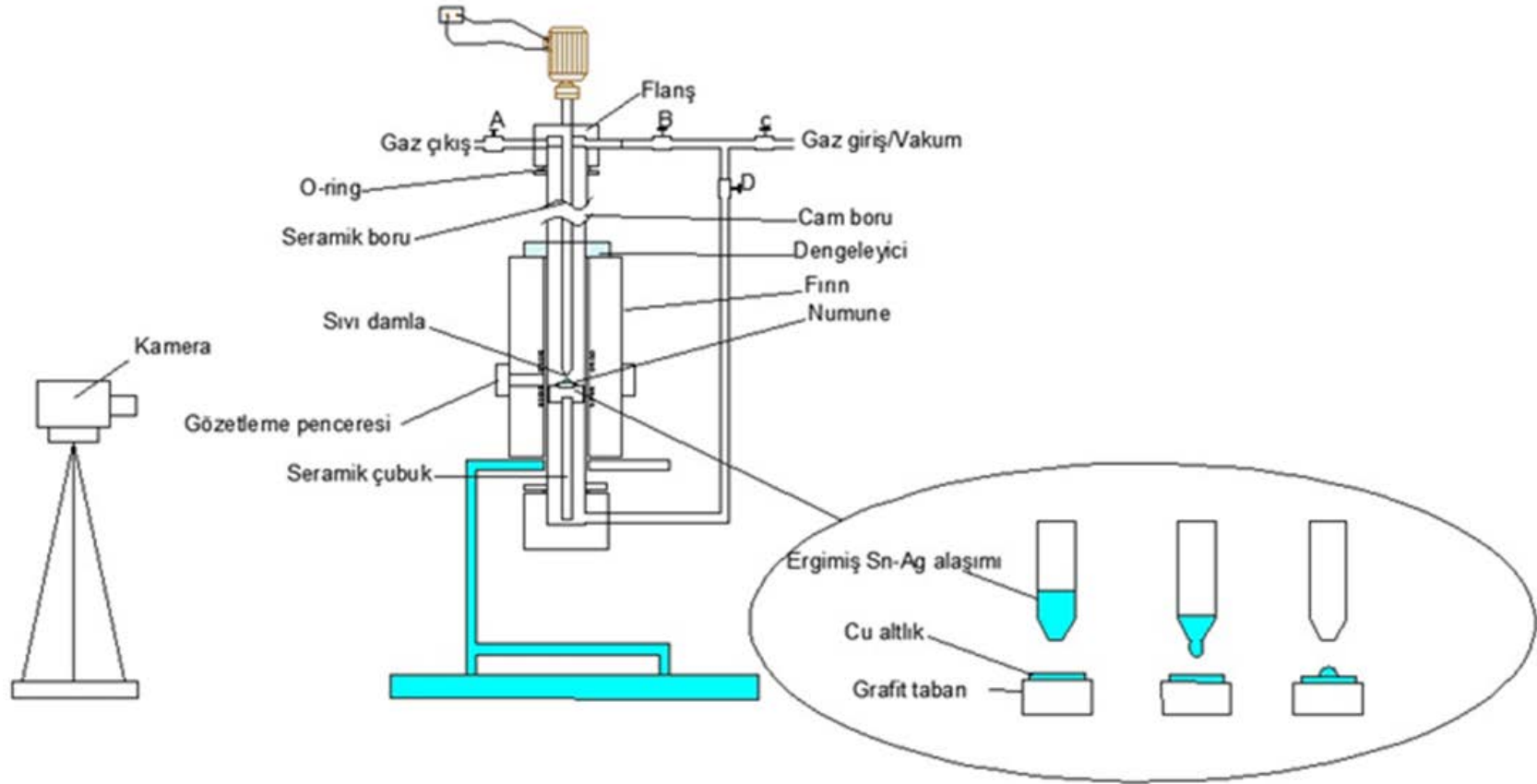
Kurşunsuz lehim alaşımların elde edilmesinden sonra altlık malzemenin hazırlanmasına geçildi. Altlık malzeme olarak lehimlemede yaygın olarak kullanılması sebebiyle % 99,85 saflıkta elektrolit bakır (Cu) levhalar kullanıldı. Tüm deneylerde standart elde edebilmek amacıyla bütün levhalar Boskay Metal A.Ş. bünyesindeki elektrik atölyesinde eşit boyutlarda (12x18x3mm) kesildi. Kesilen bakır (Cu) altlıklar Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü Metal Laboratuvarı'nda bakalit ile kaplandı. Daha sonra da Cu altlıkların damlamanın gerçekleşeceği yüzeyi 6, 3 ve 1µm'lik elmas pasta ile sırasıyla 400, 600, 800, 1000 ve 1200 mesh'lik zımparalar ile zımparalandı ve parlatıldı.

### 3.2. KULLANILAN DENEYSEL DÜZENEK

Şekil 3.1.'de deney esnasında kullanılan deney setinin genel görünüşü, Şekil 3.2'de ise deneylerde kullanılan temas açısı ölçüm sistemi düzeneği verilmiştir. Düzeneği meydana getiren temel parçalar; 300x300x200 mm boyutlarında elektrik fırını, dış çapı 15,60 mm, iç çapı 11,10 mm 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 kuartz cam tüp, % 99,999 saflıkta Argon gazı, 1 hp gücünde step motor ve kumanda sistemi ile hızlı çekim yapabilen kameradan (Casio Pro EX-F1 600 fps) oluşmaktadır.



Şekil 3.1. Deney esnasında kullanılan deney setinin genel görünüşü.



Şekil 3.2. Deney düzeneğinin şematik gösterimi [10].

### 3.3. DENEYİN YAPILIŞI

Deneye kurşunsuz lehim alaőımlarından yaklaşık 1,5 g ađırlıđında parçalar kesilerek başlandı. Kesilen lehimler ucunda lehimin dűşebileceđi ve belirli bir çapta delik bulunan seramik tűpűn içerisine kondu ve lehim űzerine baskı oluőturması maksadıyla elik çubuk yerleőtirildi. Bakalit kaptan ıkarılan Cu altlık, temizlenerek seramik tűp ile aralarında yaklaşık 1 cm olacak Őekilde grafit taban űzerine yerleőtirildi.

Hazırlanan bu sistem kuartz cam tűp içine kondu ve gaz akıőı sağlamak maksadıyla altında ve űstűnde delikleri bulunacak Őekildi vidalı aparatlar ile kapatıldı. Hazırlanan sistemin istenilen sıcaklığa ulaőabilmesi için fırın içine yerleőtirildi. Daha sonra damlamayı kolaylaőtırmak maksadıyla mikron mertebesinde hareket sağlayabilen step motor sisteme bağlandı.

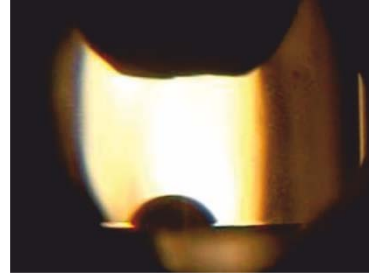
Deney sistemi bu Őekilde hazırlandıktan sonra damlamayı kayıt altına alabilmek için 300 fps çekim yapabilen bir kamera fırının gűzlem penceresinin karőtısına yerleőtirildi. Gerekli son kontroller yapıldıktan sonra sisteme ilk olarak 10 dakika boyunca űst vanadan daha sonra ise deney sonuna kadar alt vanadan olmak űzere yűksek saflıkta Argon gazı verilmeye başlandı. Alt vanadan 10 dakika gaz akıőı sağlandıktan sonra istenilen sıcaklığı ulaőtirmek için fırın açıldı. Fırının açılmasından yaklaşık 30 dakika sonra damlamanın gerçekleŐmesi beklendiği için kayıt yapabilmek maksadıyla kamera hazır duruma getirildi. Damlamayı kolaylaőtırmak için step motor çalıőtırıldı ve yaklaşık 3-7 dakika sonra gerçekleŐen damlama kayıt edildi. Damlama sonrası damlanın yapısını gűzlemlemek amacıyla kayıt yaklaşık 10 dakika daha devam ettirildi. Bu kayıttan sonra sistem kapatılarak deney sonlandırıldı.

Tűm bu iŐlemler her bir kurşunsuz lehim ve sıcaklık için ű uygun sonuç alınıncaya kadar tekrarlandı.

Elde edilen her uygun sonucun video gűrűntűlerinden, Corel Video Studio programı kullanılarak 5, 10, 30, 60, 90, 120 ve 150. saniyelerdeki fotođraf gűrűntűleri alındı (Őekil 3.3-5).



(a)

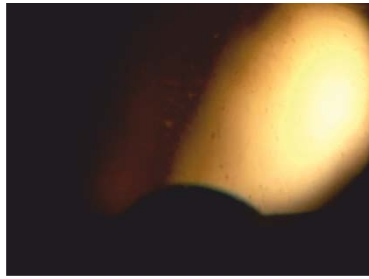


(b)

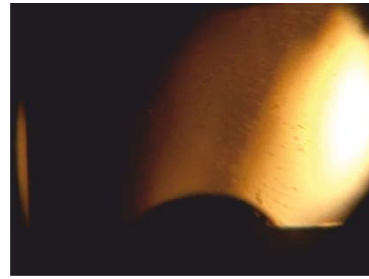


(c)

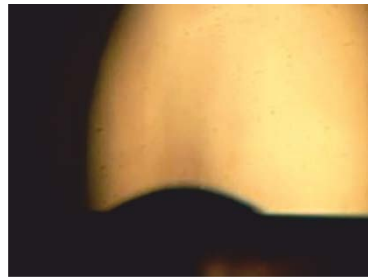
Şekil 3.3. SACX300 kurşunsuz lehim alaşımının a) 250°C, b) 280°C ve c) 310°C'deki görüntüleri.



(a)



(b)



(c)

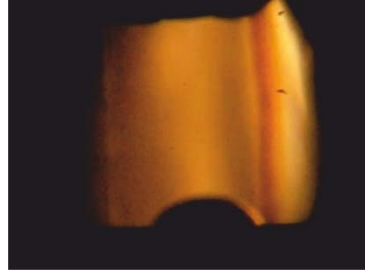
Şekil 3.4. SACX305 kurşunsuz lehim alaşımının a) 250°C, b) 280°C ve c) 310°C'deki görüntüleri.



(a)



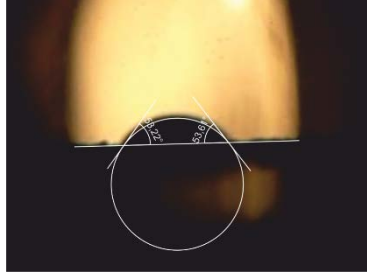
(b)



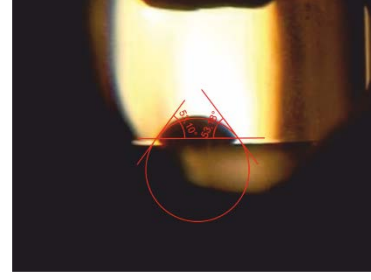
(c)

Şekil 3.5. SACX0307 kurşunsuz lehim alaşımının a) 250°C, b) 280°C ve c) 310°C'deki görüntüleri.

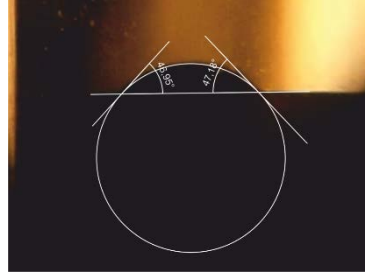
Daha sonra bu görüntülerden CorelDraw15.0 programı kullanılarak damlanın hata payını minimize etmek amacıyla ilerleme ve gerileme açı ölçümleri Şekil 3.6-8'deki gibi ölçülüp kaydedildi. Elde edilen veriler kullanılarak her bir kurşunsuz lehim ve sıcaklık için zamana göre ıslatma açılarını gösteren grafikler SigmaPlot12.0 programı kullanılarak oluşturuldu.



(a)

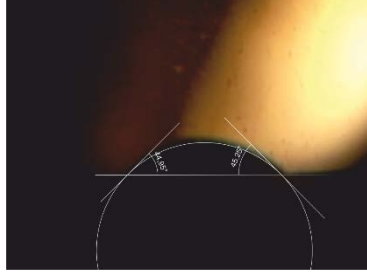


(b)

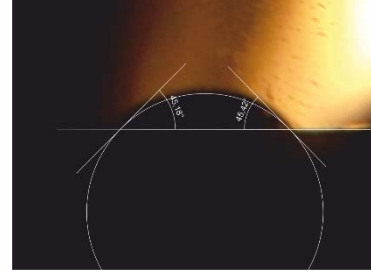


(c)

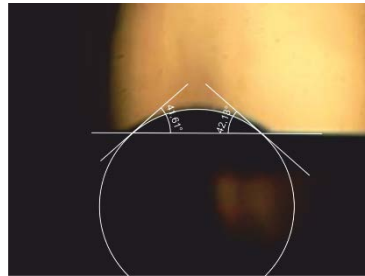
Şekil 3.6. SACX300 kurşunsuz lehim alaşımının a) 250°C, b) 280°C ve c) 310°C'deki temas açısı ölçüm görüntüleri.



(a)

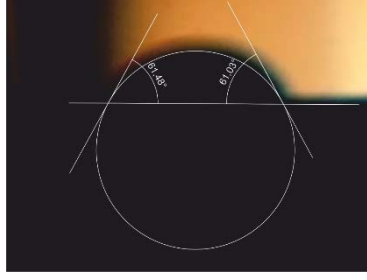


(b)

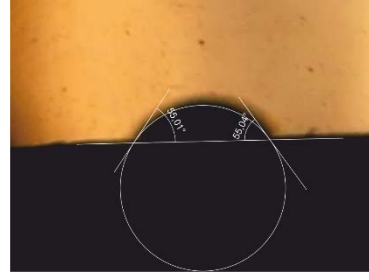


(c)

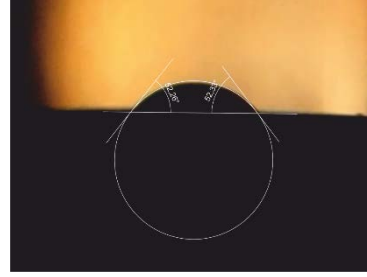
Şekil 3.7. SACX305 kurşunsuz lehim alaşımının a) 250°C, b) 280°C ve c) 310°C'deki temas açısı ölçüm görüntüleri.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.8. SACX0307 kurşunsuz lehim alaşımının a) 250°C, b) 280°C ve c) 310°C'deki temas açısı ölçüm görüntüleri.



## BÖLÜM 4

### ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

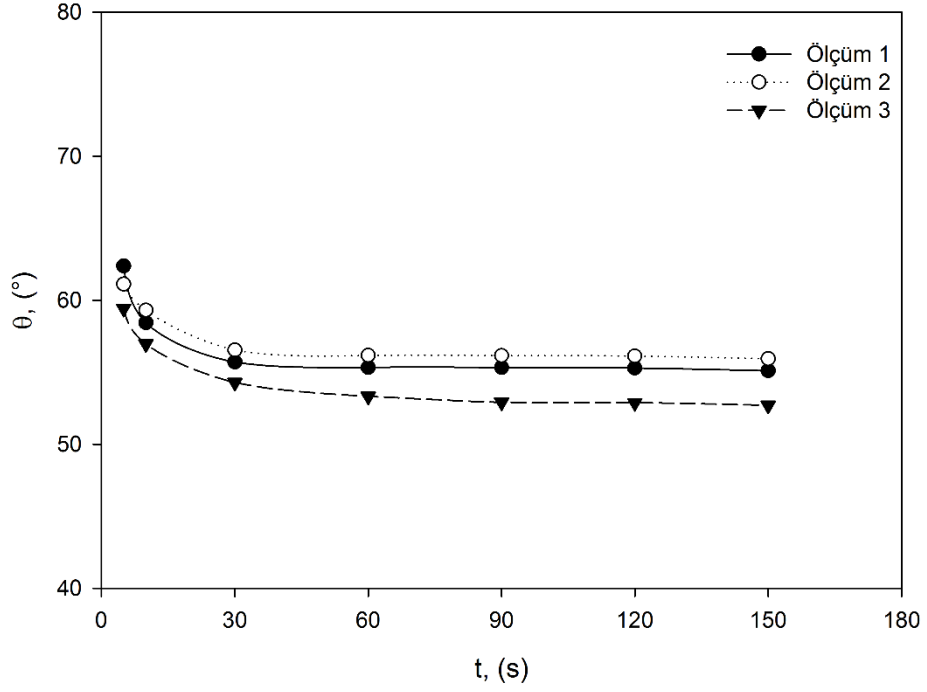
#### 4.1. TEMAS AÇISI ÖLÇÜMLERİ

Şekil 4.1-9 SACX300, SACX305 ve SACX0307 kurşunsuz lehim alaşımlarının 280-310 °C' lerdeki zamana bağlı temas açılarını göstermektedir.

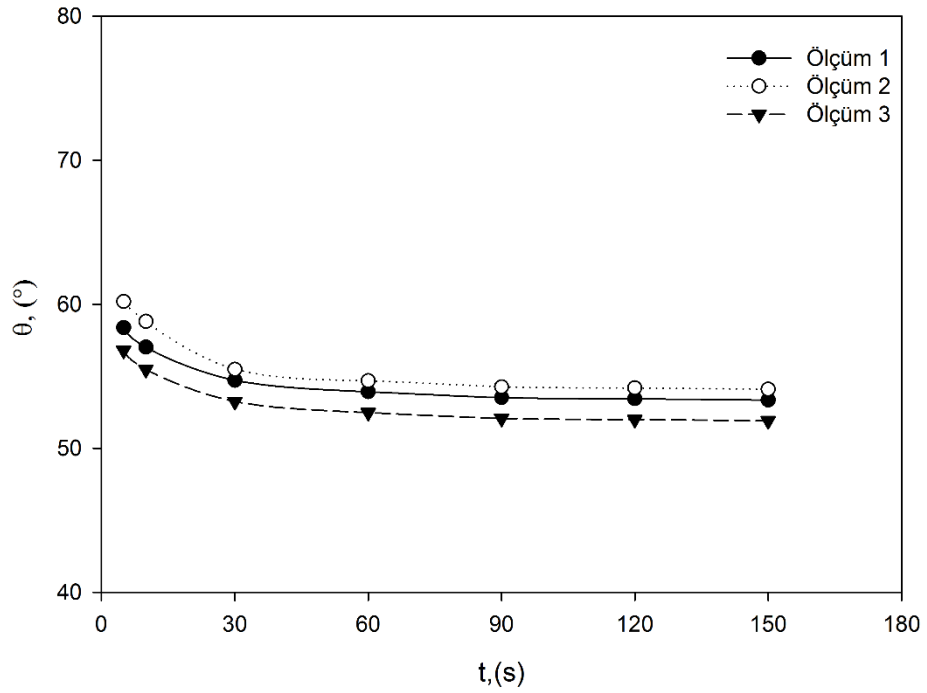
Sonuçlar incelendiğinde, alaşımı oluşturan bileşenlerden bağımsız bir şekilde, temas açısının hızlı bir düşüş gösterdiği, neredeyse denge konumuna geldiği görülmektedir. Zamanın daha fazla ilerlemesi ile temas açısında keskin değişikliklerin olmadığı da elde edilen grafiklerde görülmektedir.

Ayrıca Şekil 4.10-12, sıcaklık arttıkça  $\theta$ 'da belirgin bir düşüş olduğunu da bariz şekilde göstermektedir. Sıcaklık ve temas süresinin artmasıyla  $\theta$ 'daki düşüşler iki noktadan açıklanabilir.

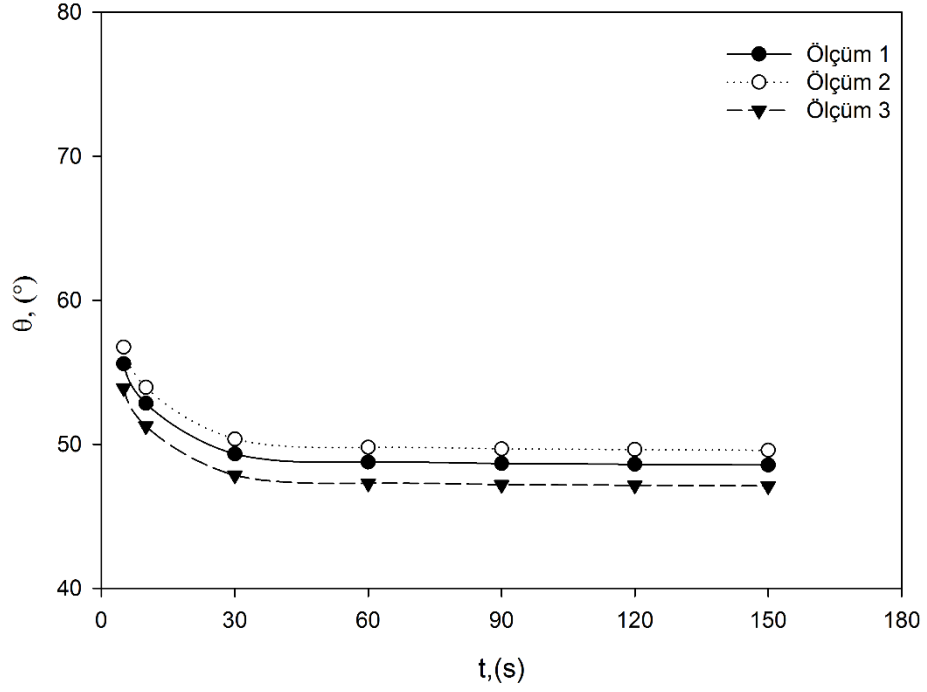
Birincisi; Sıcaklık arttıkça kurşunsuz lehim alaşımlarının viskozitesi düşmesi sonucu damlanın yayılma kabiliyeti yani ıslatabilirliği artmıştır. İkincisi ise; sıcaklığın artması sonucu damla yüzeyi ve damla/altlık arayüzey enerjisinde bir azalma olabilir. Young denklemi denge temas açısını etkileyen parametreleri vermektedir. Bunun yanı sıra  $\gamma_{KG}$  altlık malzemesinin özelliği ile ilgilidir ve sıcaklık ile ihmal edilebilir derecede etkilenir. Dolayısı ile  $\gamma_{KG}$  sabit bir değer olarak kabul edilebilir.



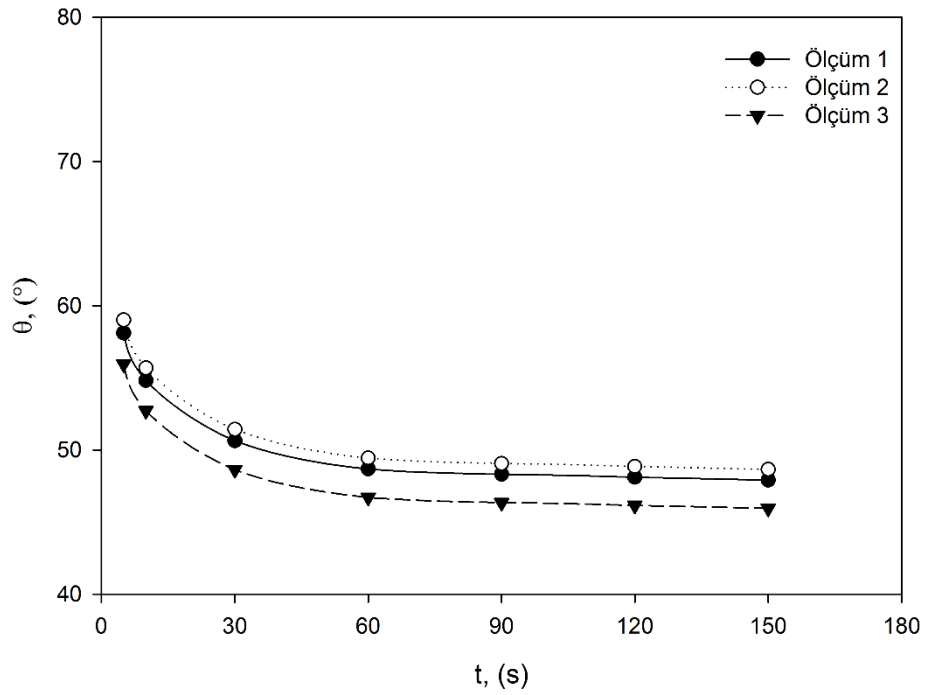
Şekil 4.1. SACX300 kurşunsuz lehim alaşımının zamana bağlı olarak 250°C'deki deney sonuçları.



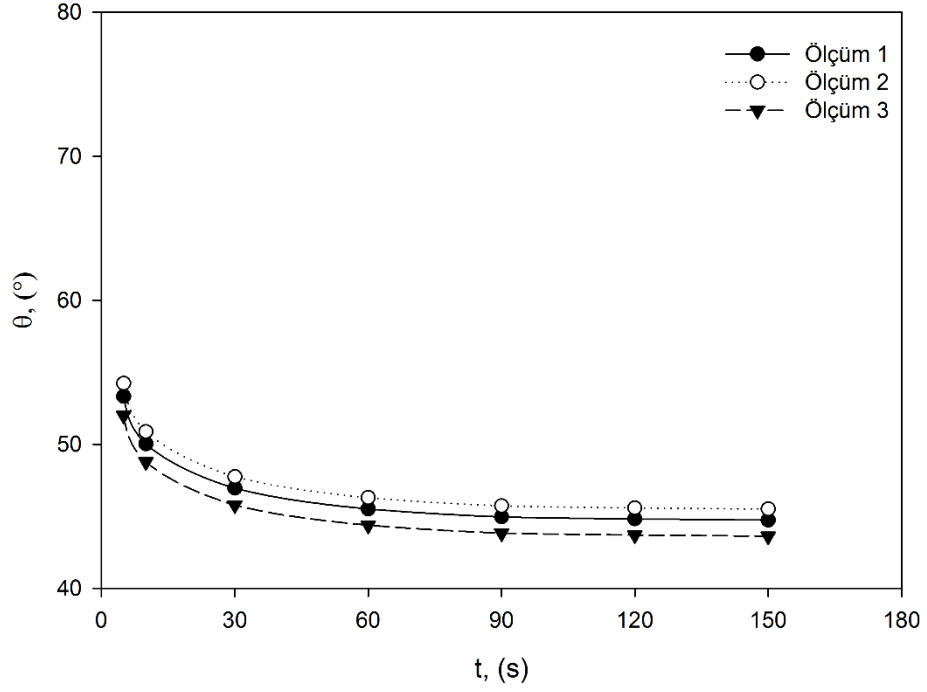
Şekil 4.2. SACX300 kurşunsuz lehim alaşımının zamana bağlı olarak 280°C'deki deney sonuçları.



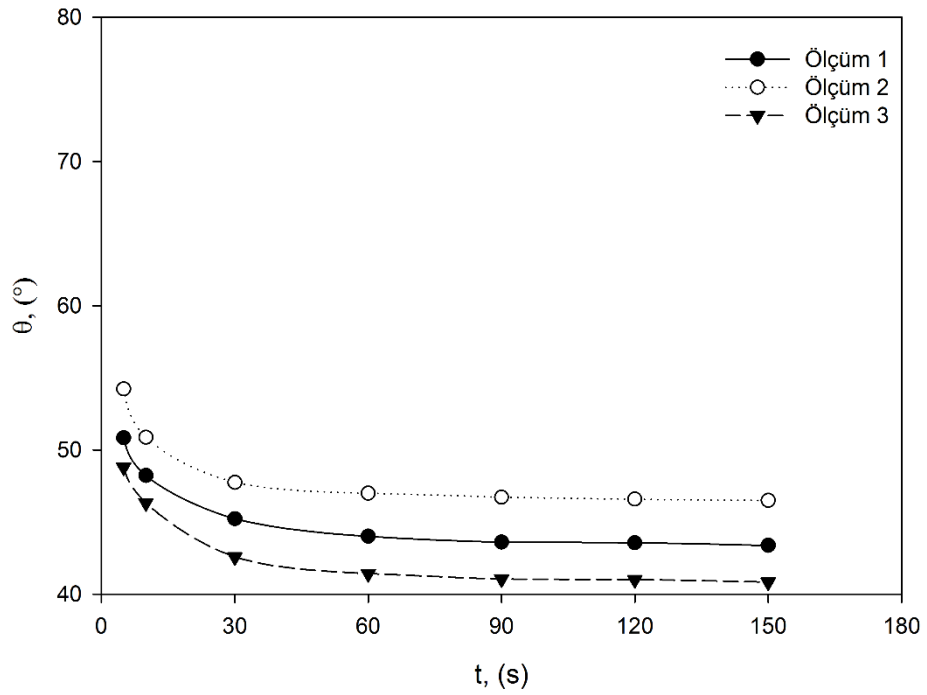
Şekil 4.3. SACX300 kurşunsuz lehim alaşımının zamana bağlı olarak 310°C'deki deney sonuçları.



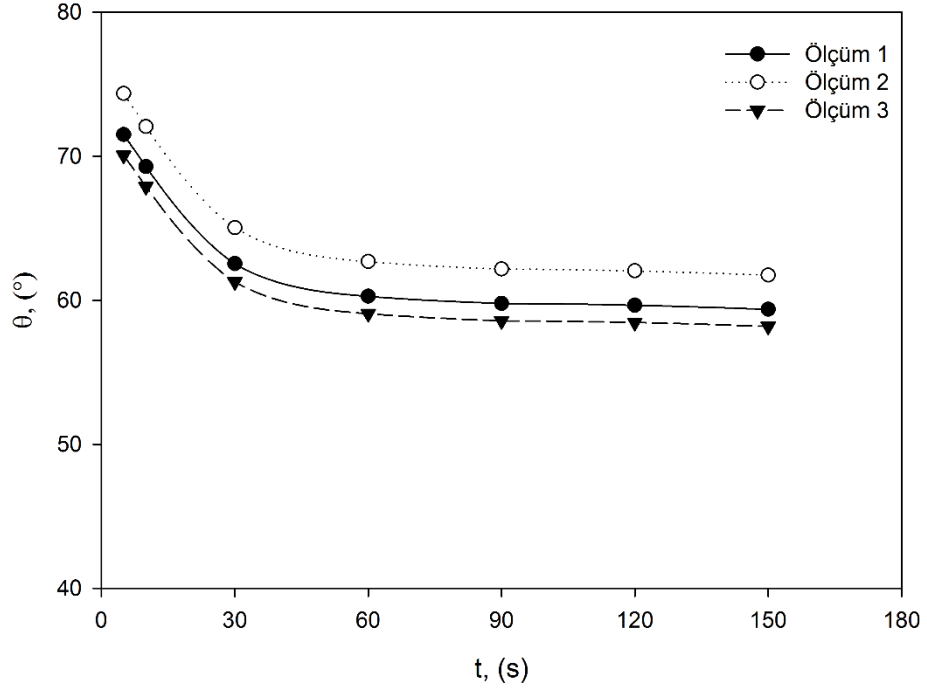
Şekil 4.4. SACX305 kurşunsuz lehim alaşımının zamana bağlı olarak 250°C'deki deney sonuçları.



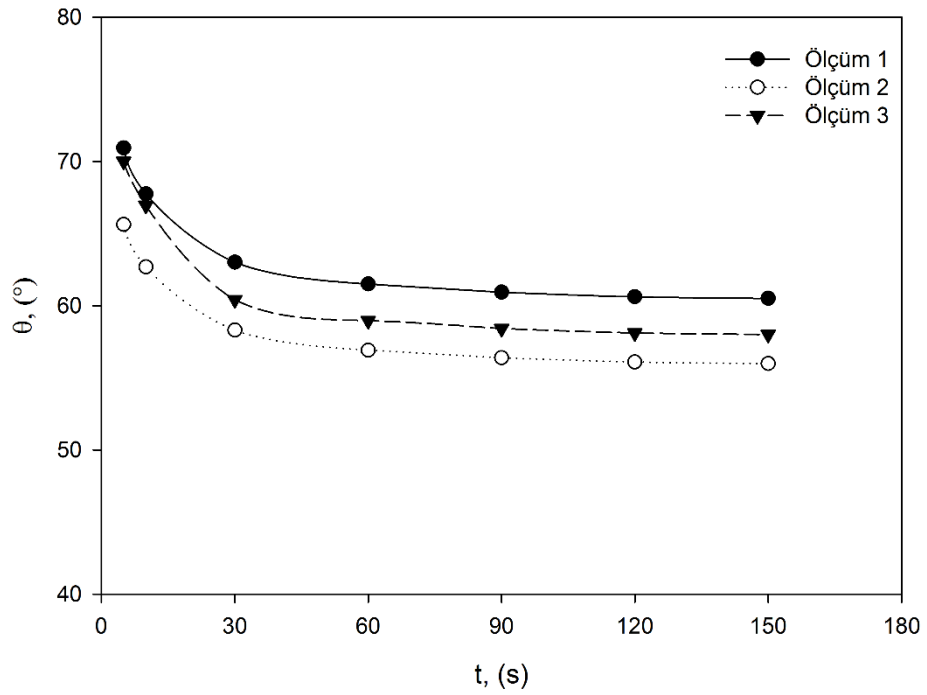
Şekil 4.5. SACX305 kurşunsuz lehim alaşımının zamana bağlı olarak 280°C'deki deney sonuçları.



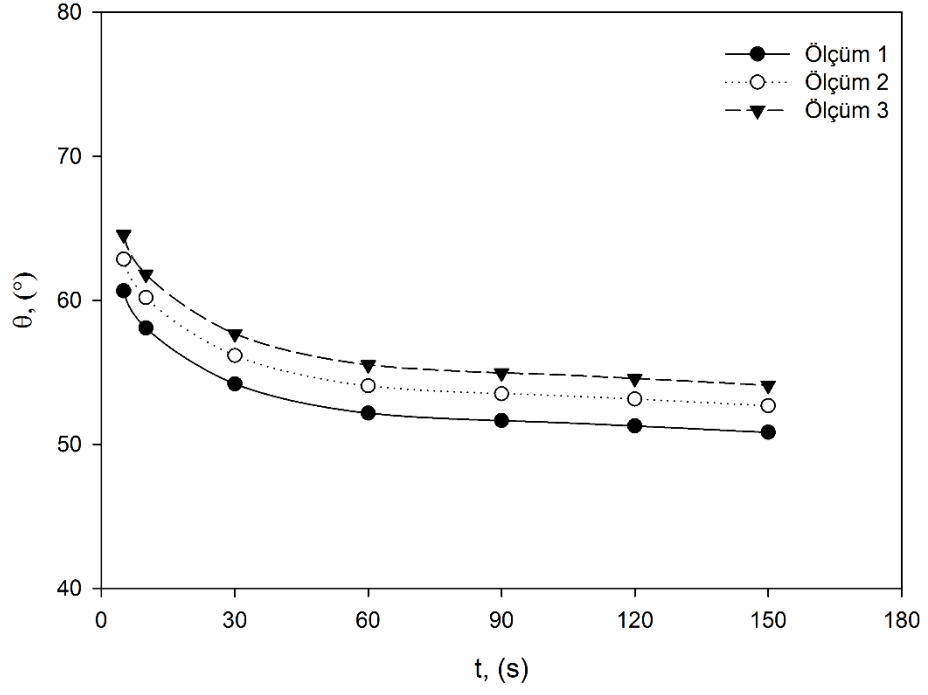
Şekil 4.6. SACX305 kurşunsuz lehim alaşımının zamana bağlı olarak 310°C'deki deney sonuçları.



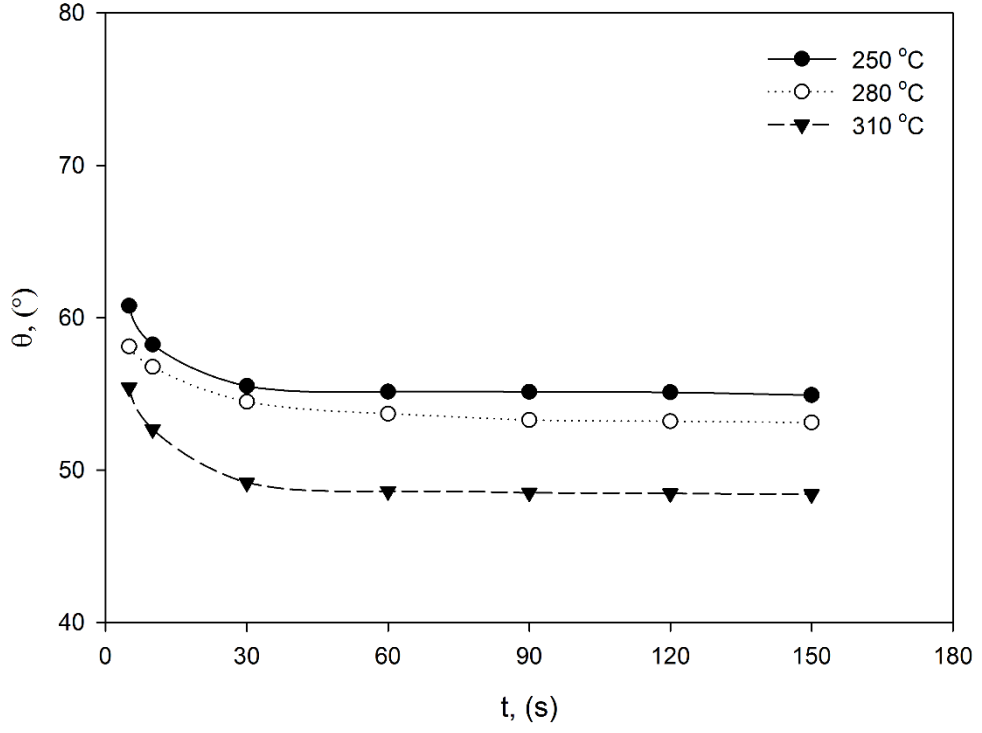
Şekil 4.7. SACX0307 kurşunsuz lehim alaşımının zamana bağlı olarak 250°C'deki deney sonuçları.



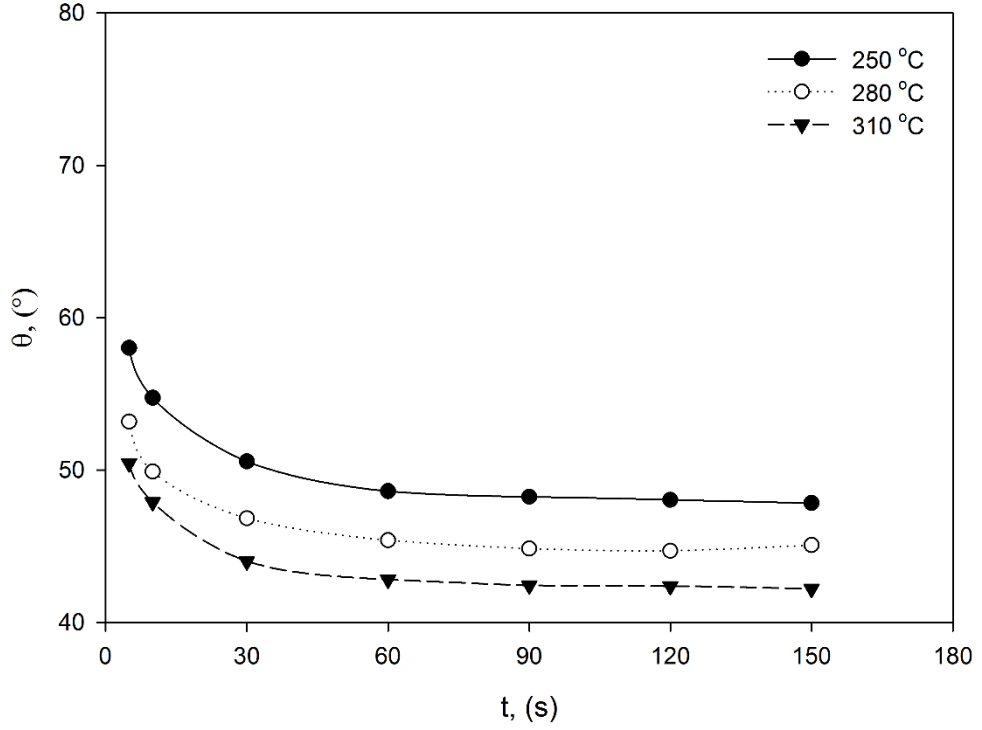
Şekil 4.8. SACX0307 kurşunsuz lehim alaşımının zamana bağlı olarak 280°C'deki deney sonuçları.



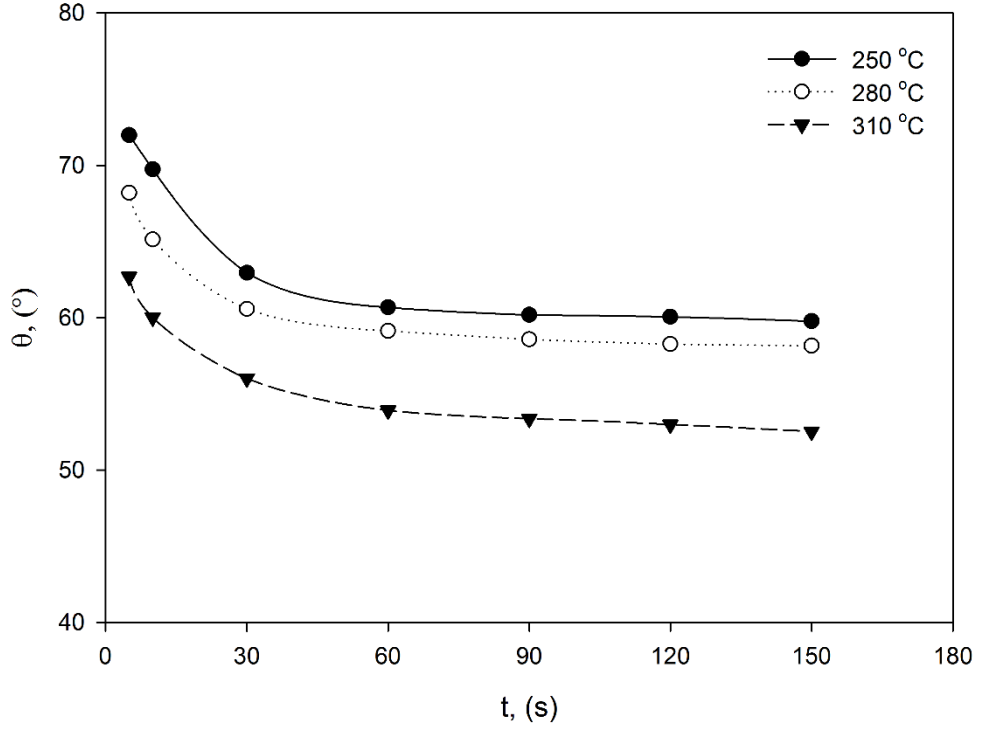
Şekil 4.9. SACX0307 kurşunsuz lehim alaşımının zamana bağlı olarak 310°C'deki deney sonuçları.



Şekil 4.10. SACX300 kurşunsuz lehim alaşımının zamana bağlı olarak farklı sıcaklıklardaki temas açısı ortalamaları.

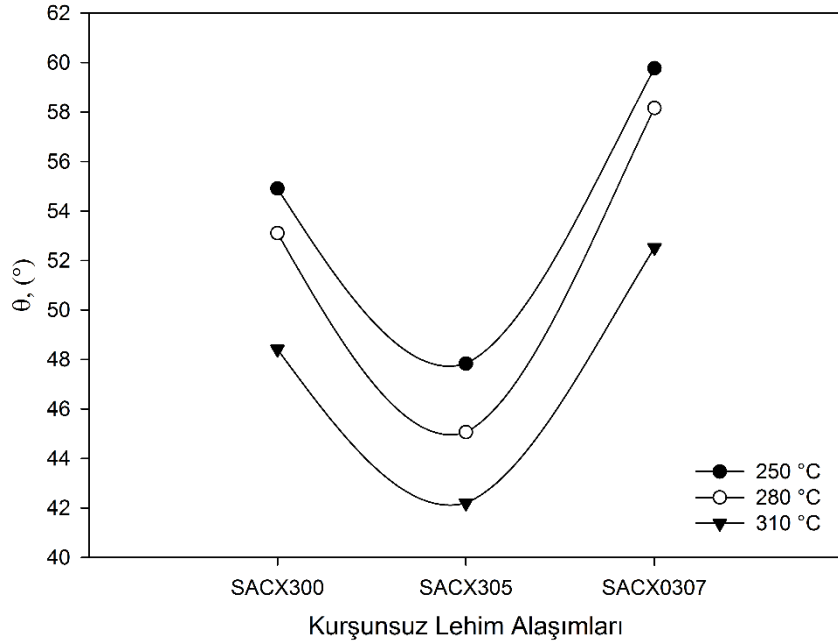


Şekil 4.11. SACX305 kurşunsuz lehim alaşımının zamana bağlı olarak farklı sıcaklıklardaki temas açısı ortalamaları.



Şekil 4.12. SACX0307 kurşunsuz lehim alaşımının zamana bağlı olarak farklı sıcaklıklardaki temas açısı ortalamaları.

Şekil 4.13 ise 250 °C, 280 °C ve 310 °C sıcaklıklarda, SACX300, SACX305 ve SACX0307 için elde edilen temas açılarını ve ortalamalarını göstermektedir.



Şekil 4.13 SACX300, SACX305 ve SACX0307 kurşunsuz lehim alaşımının farklı sıcaklıklardaki temas açısı ortalamaları.

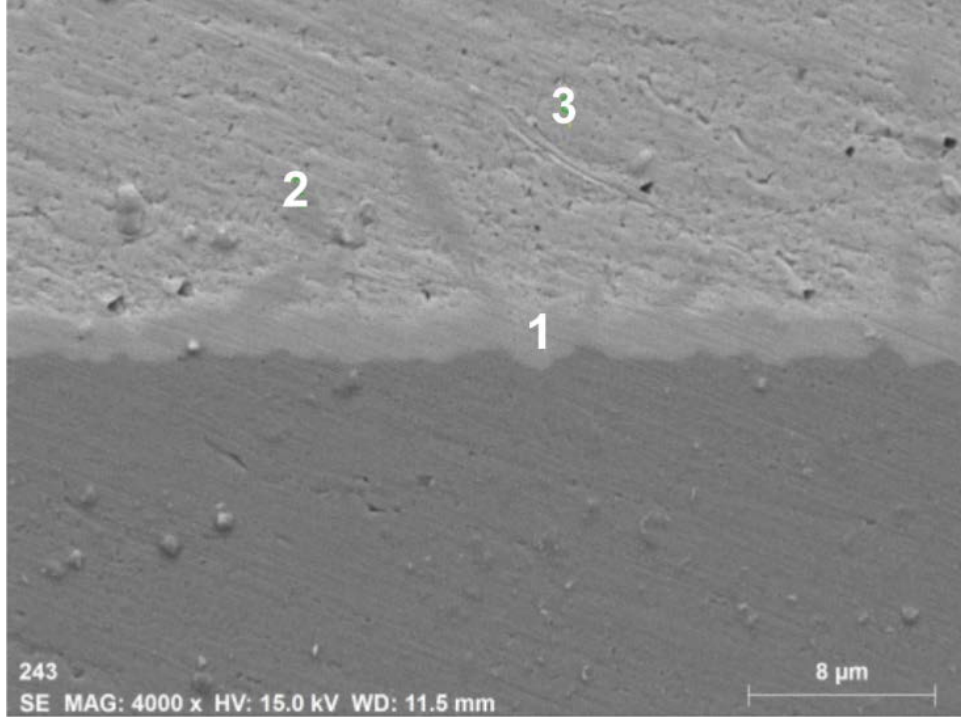


## 4.2. TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOPU (SEM) GÖRÜNTÜLERİ VE KİMYASAL ANALİZ (EDX) SONUÇLARI

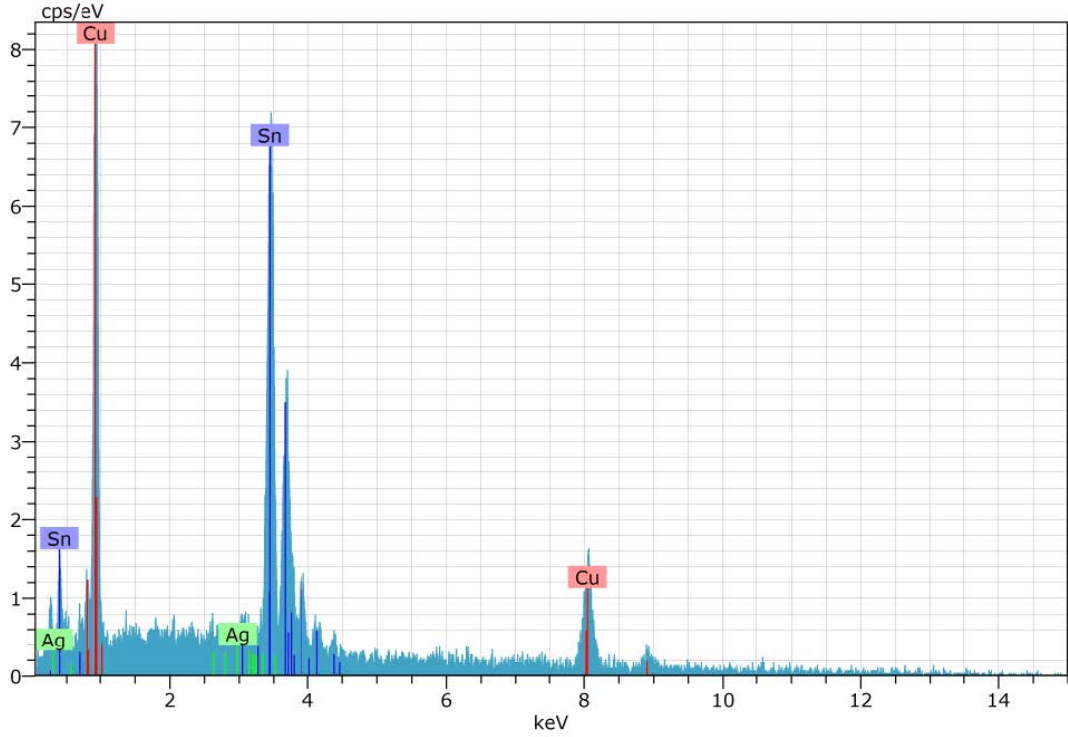
Kurşunsuz lehim alaşımları ile Cu altlık arasında sadece fiziksel değil kimyasal etkileşimler ve faz geçişler olduğu bilinmektedir. Deneyde kullanılan SACX300, SACX305 ve SACX0307 ile Cu altlık arasında görülen kimyasal etkileşimler sonucu  $Cu_6Sn_5$  ve  $Cu_3Sn$  fazlarının oluşma ihtimali bilindiğinden dolayı numunelerin elektron mikroskobunda (SEM) görüntülerinin incelenmesine karar verilmiştir.

Şekil 4.14, 4.18, 4.22, 4.26, 4.30, 4.34, 4.38 ve 4.42’de de görüldüğü üzere numunelerin kesit görüntülerinde kontrast farklılığı bulunan bölgeler dikkat çekmektedir. Bunun üzerine aynı numuneler içinde kimyasal analiz (EDX) de yapılmasına gerek görülmüştür.

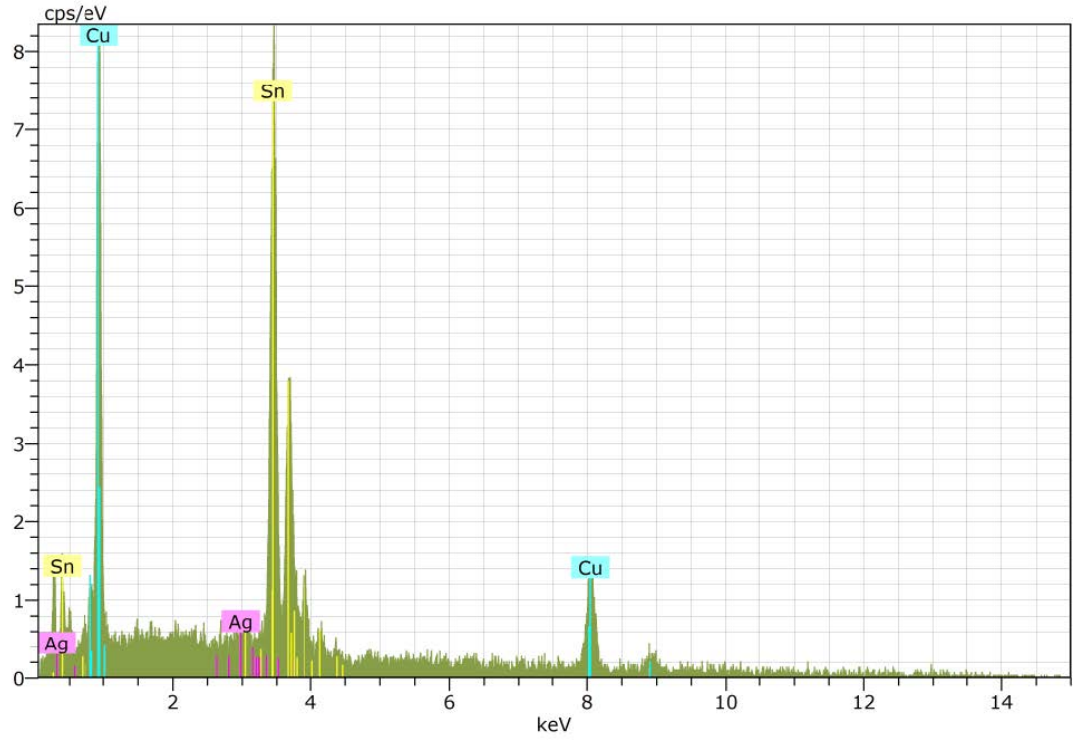
Şekil 4.14 - 4. 30 hem numunelerin taramalı elektron mikroskop (SEM) görüntülerini hem de kimyasal analiz sonuçlarını göstermektedir.



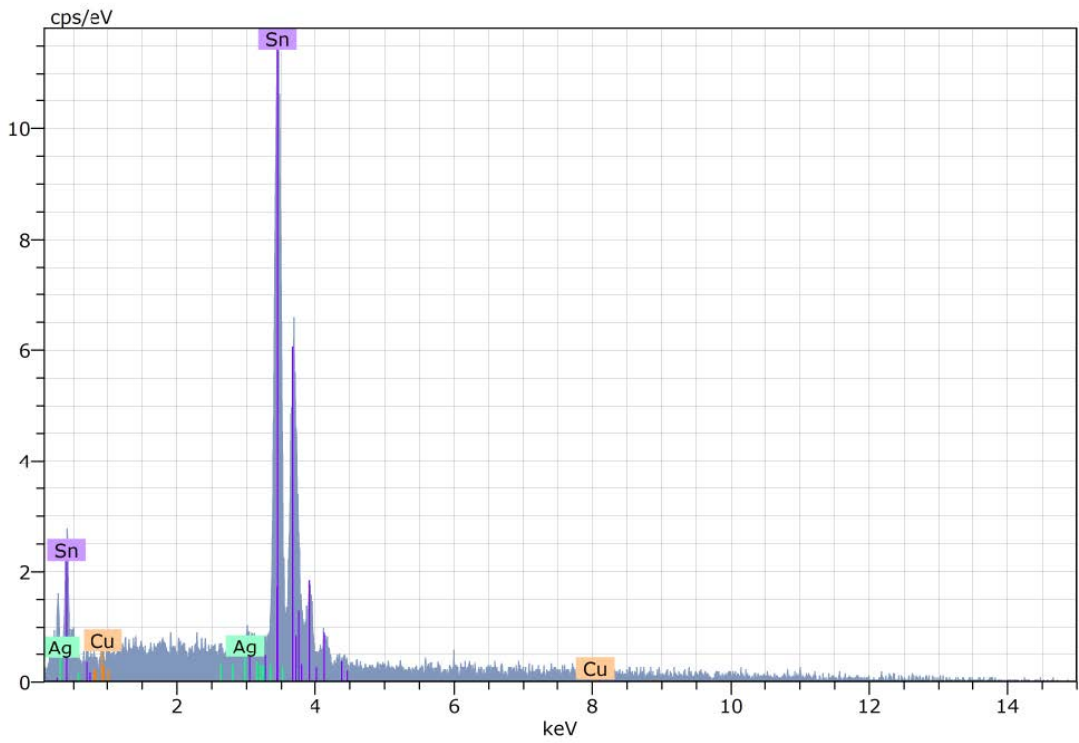
Şekil 4.14. SACX300 alaşımının 250°C'deki SEM görüntüsü.



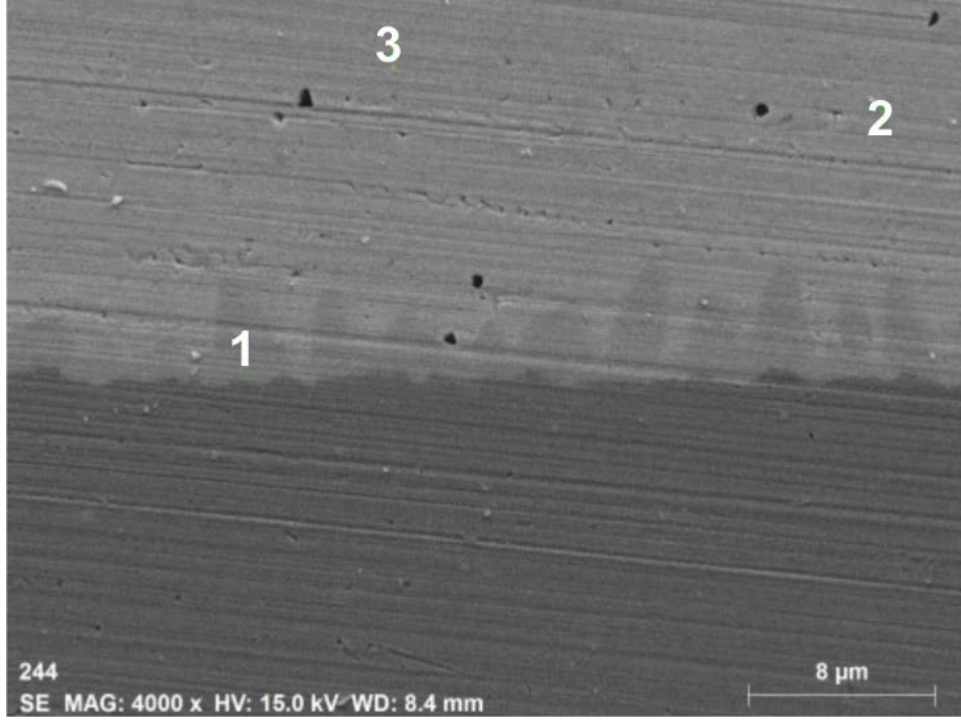
Şekil 4.15. SACX300 alaşımının 250°C'deki EDX analizi (1 no'lu bölge).



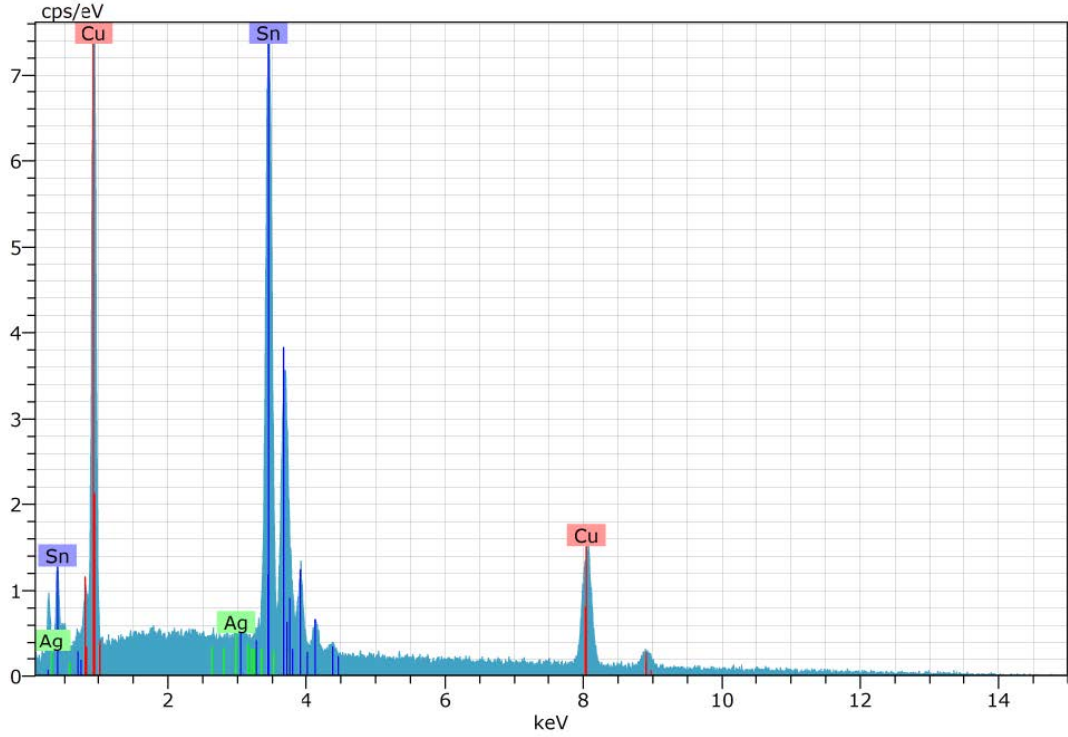
Şekil 4.16. SACX300 alaşımının 250°C'deki EDX analizi (2 no'lu bölge).



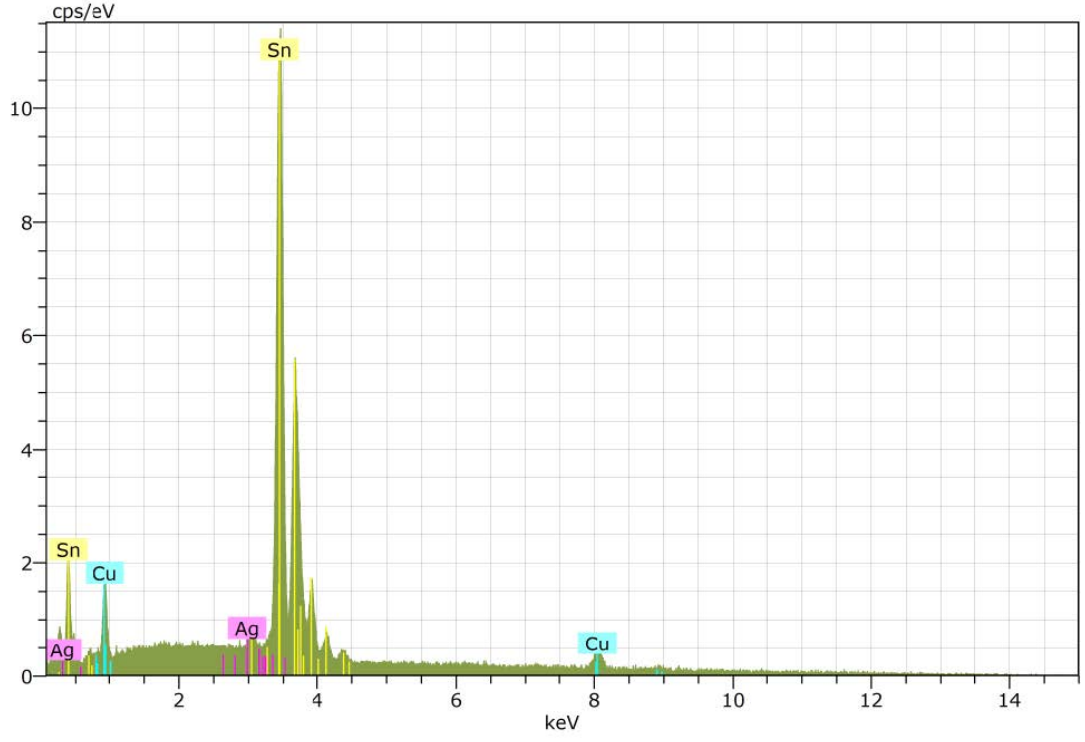
Şekil 4.17. SACX300 alaşımının 250°C'deki EDX analizi (3 no'lu bölge).



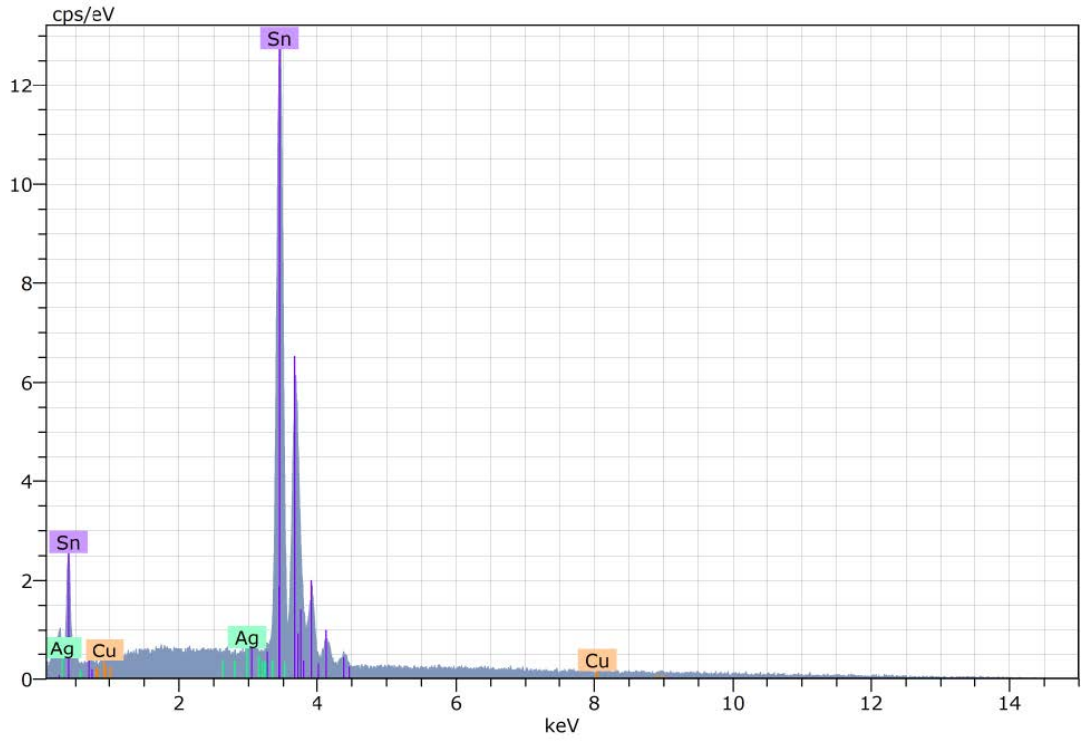
Şekil 4.18. SACX300 alaşımının 280°C'deki SEM görüntüsü.



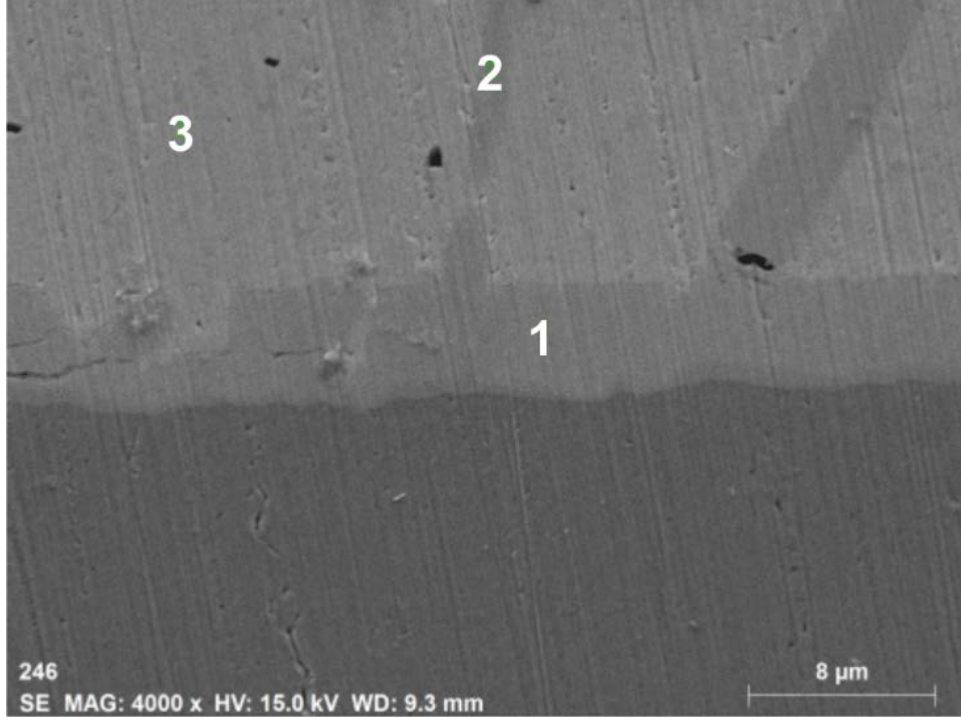
Şekil 4.19. SACX300 alaşımının 280°C'deki EDX analizi (1 no'lu bölge).



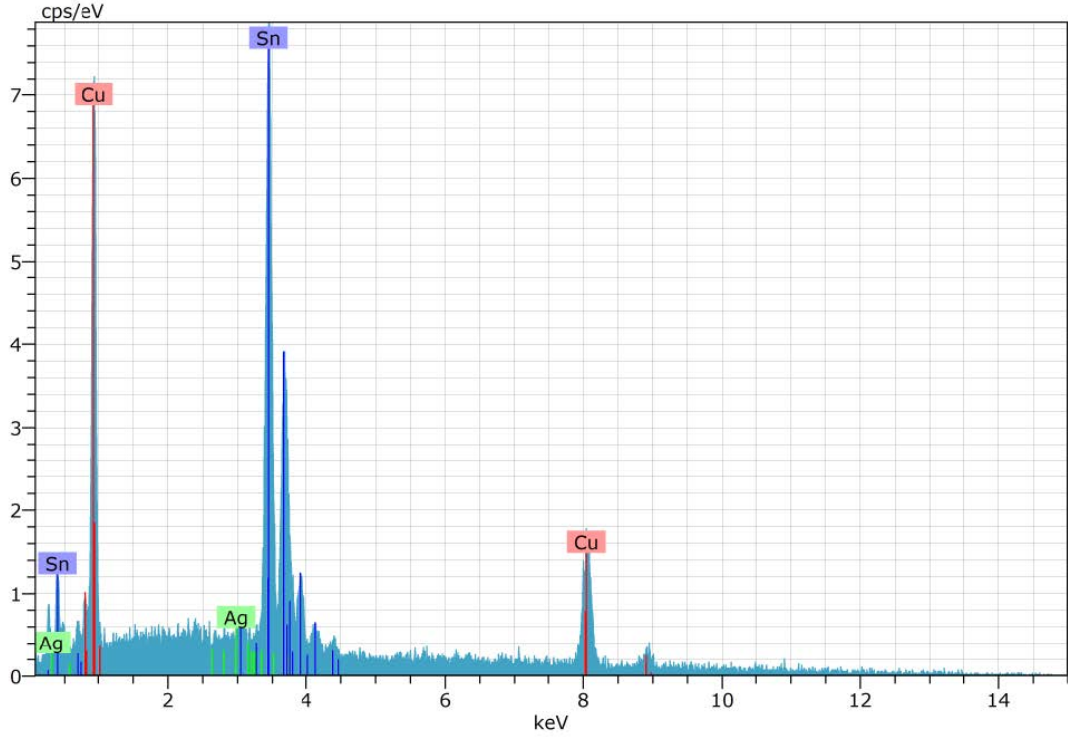
Şekil 4.20. SACX300 alaşımının 280°C'deki EDX analizi (2 no'lu bölge).



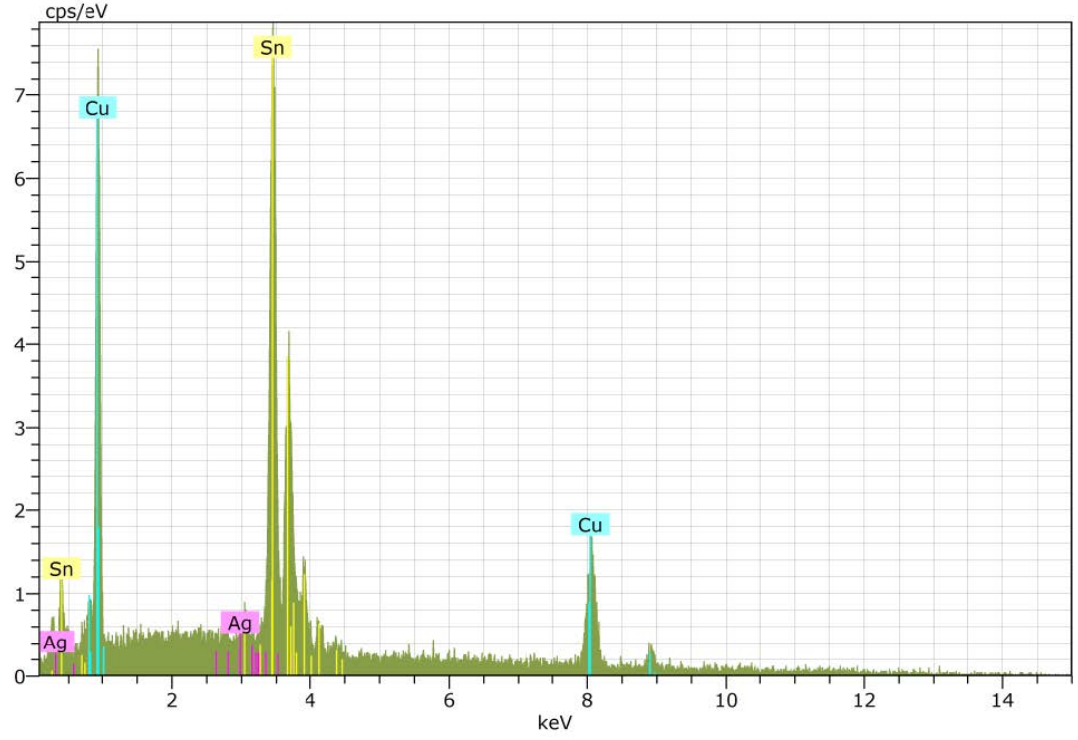
Şekil 4.21. SACX300 alaşımının 280°C'deki EDX analizi (3 no'lu bölge).



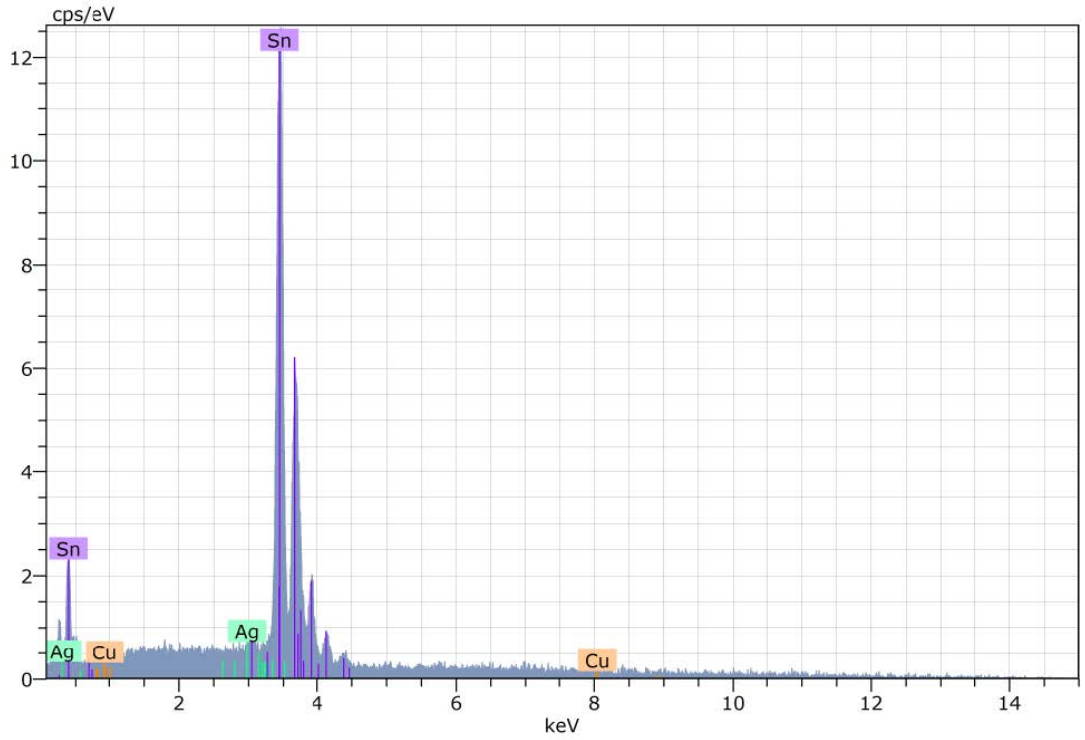
Şekil 4.22. SACX300 alaşımının 310°C'deki SEM görüntüsü.



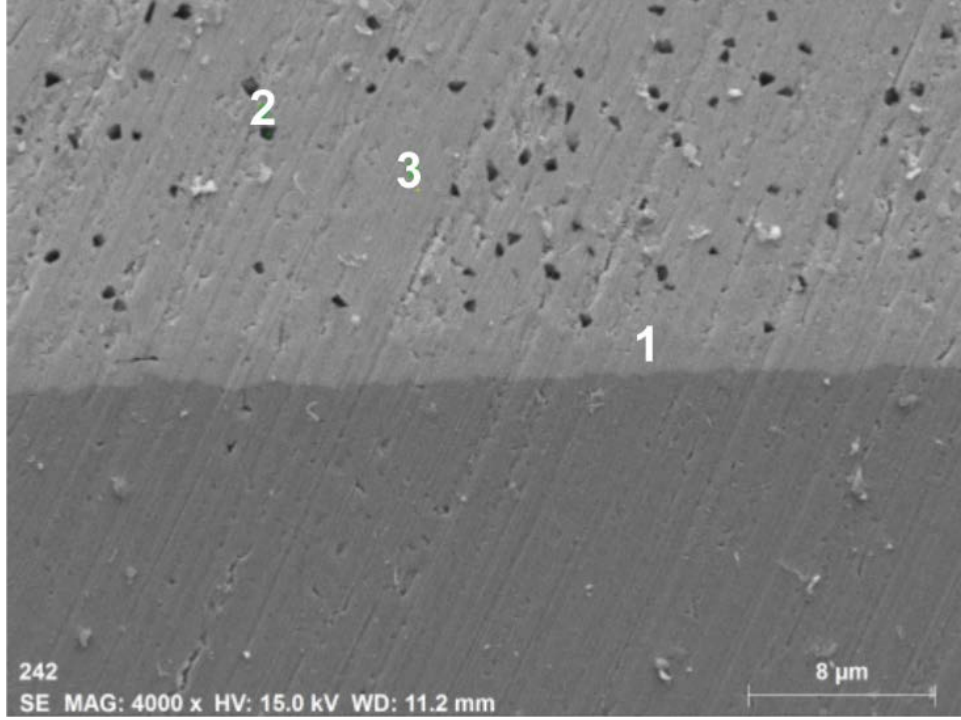
Şekil 4.23. SACX300 alaşımının 310°C'deki EDX analizi (1 no'lu bölge).



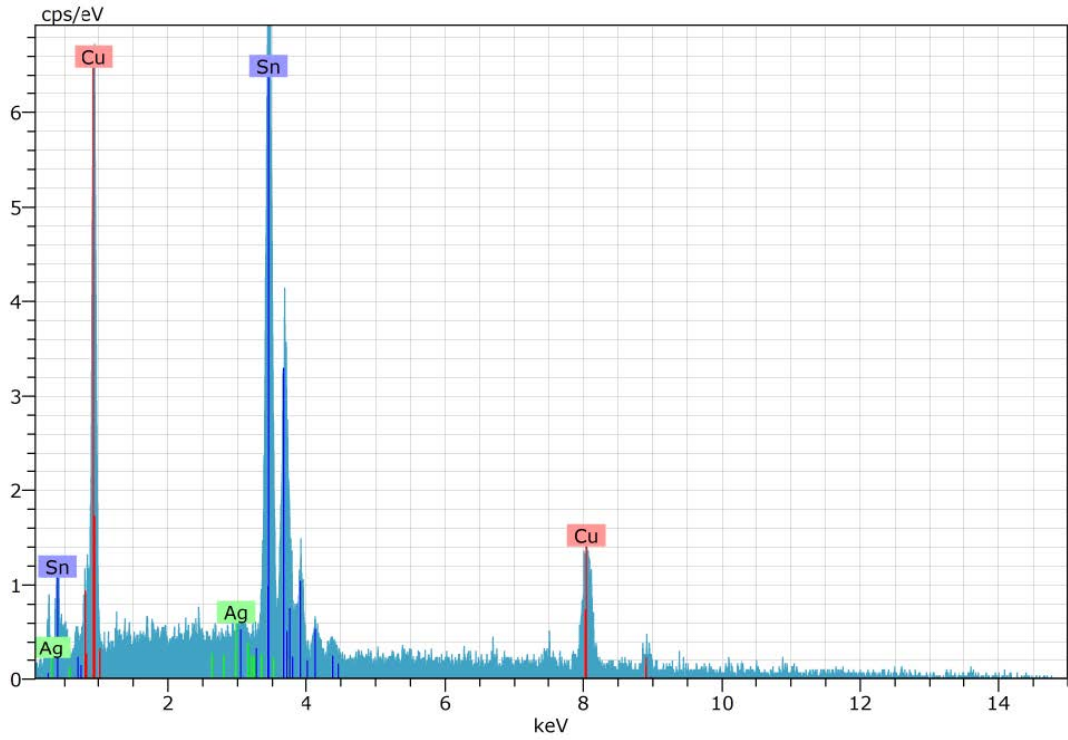
Şekil 4.24. SACX300 alaşımının 310°C'deki EDX analizi (2 no'lu bölge).



Şekil 4.25. SACX300 alaşımının 310°C'deki EDX analizi (3 no'lu bölge).

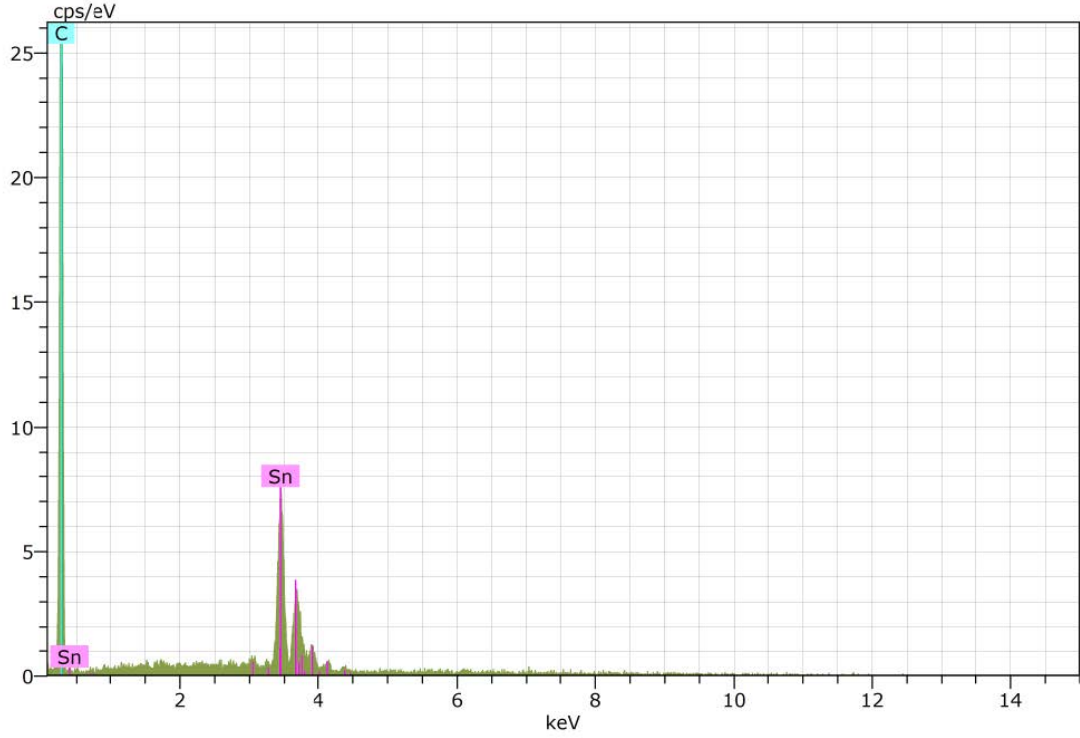


Şekil 4.26. SACX305 alaşımının 250°C'deki SEM görüntüsü.

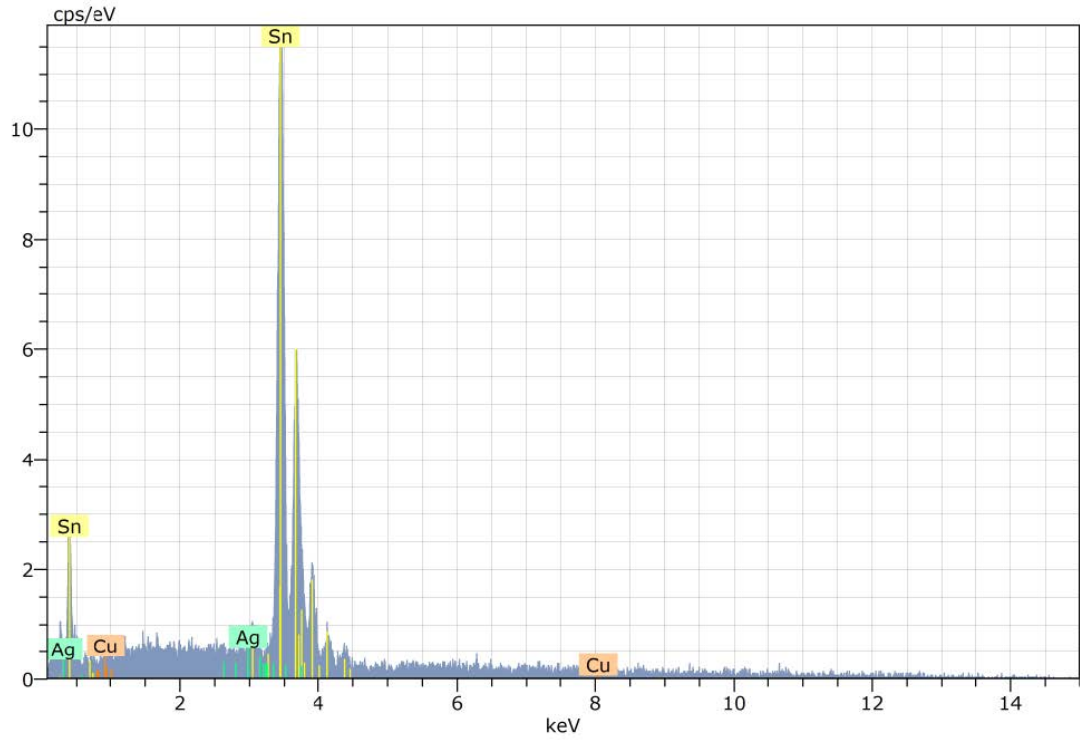


Şekil 4.27. SACX305 alaşımının 250°C'deki EDX analizi (1 no'lu bölge).

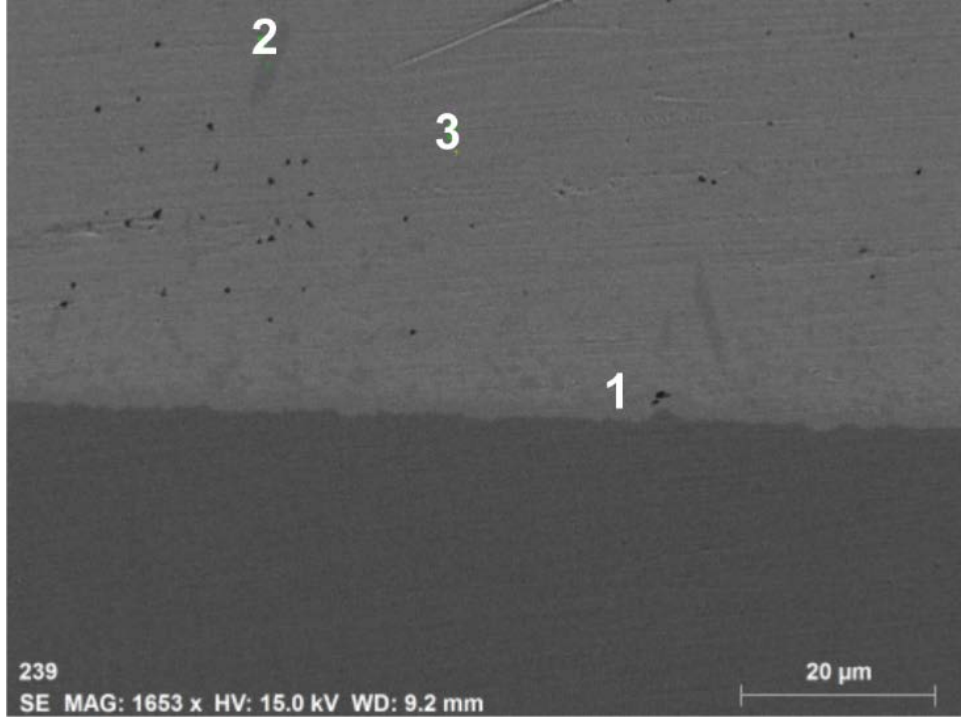




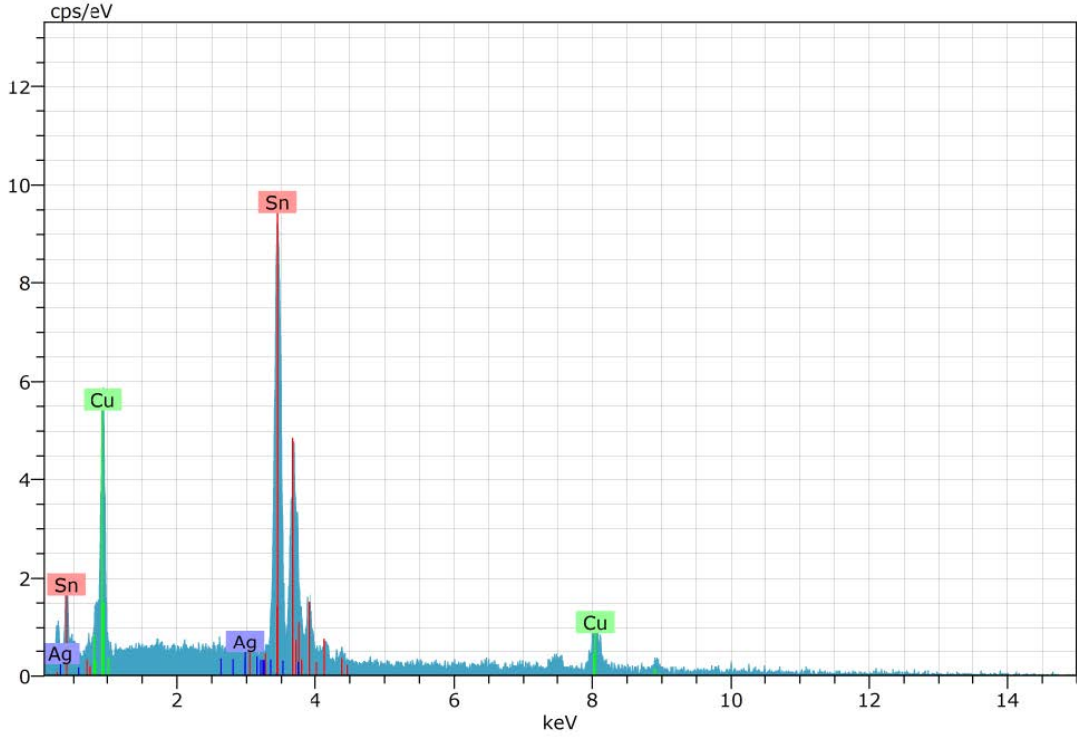
Şekil 4.28. SACX305 alaşımının 250°C'deki EDX analizi (2 no'lu bölge).



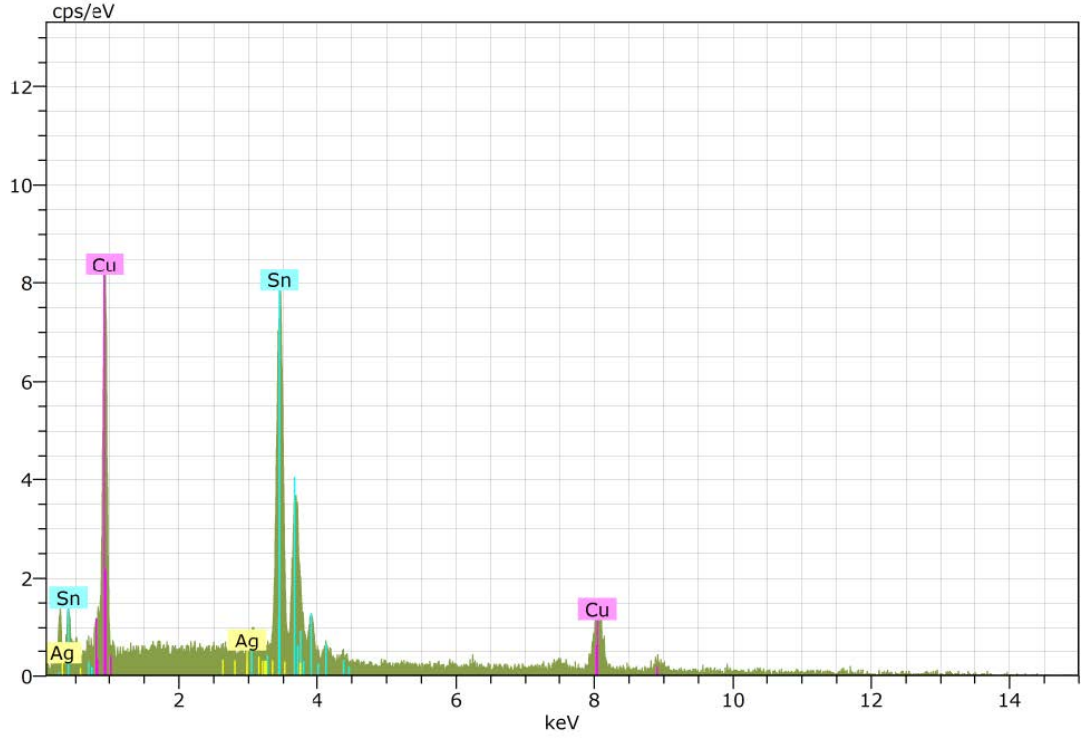
Şekil 4.29. SACX305 alaşımının 250°C'deki EDX analizi (3 no'lu bölge).



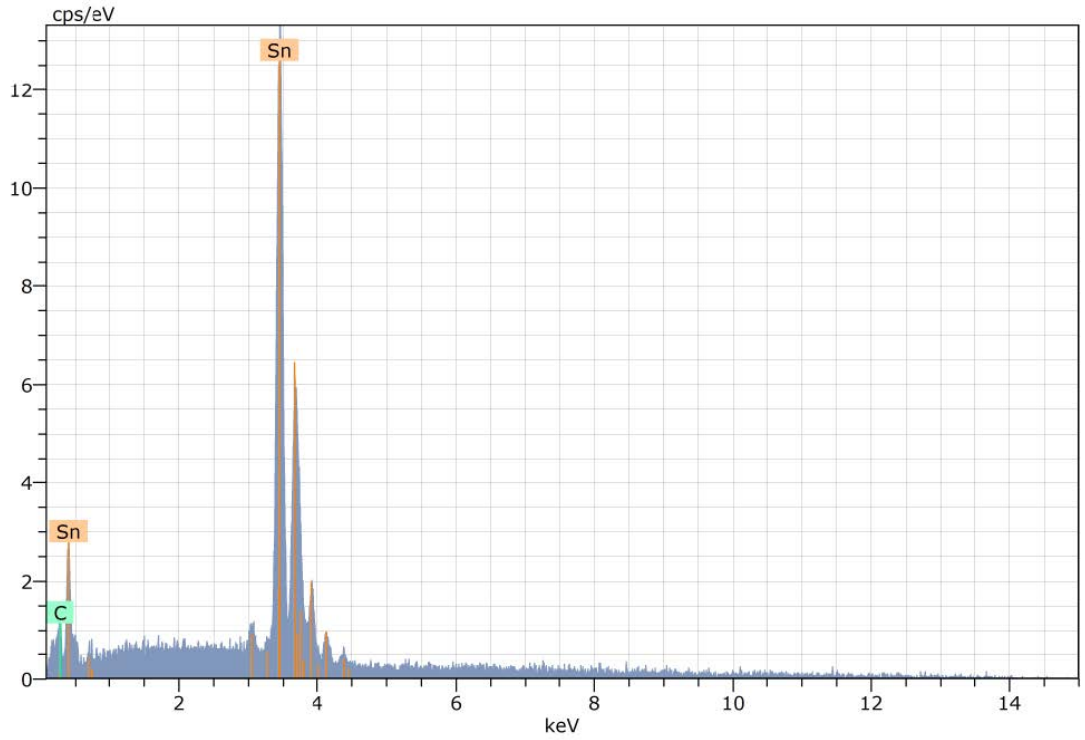
Şekil 4.30 SACX305 alaşımının 280°C'deki SEM görüntüsü



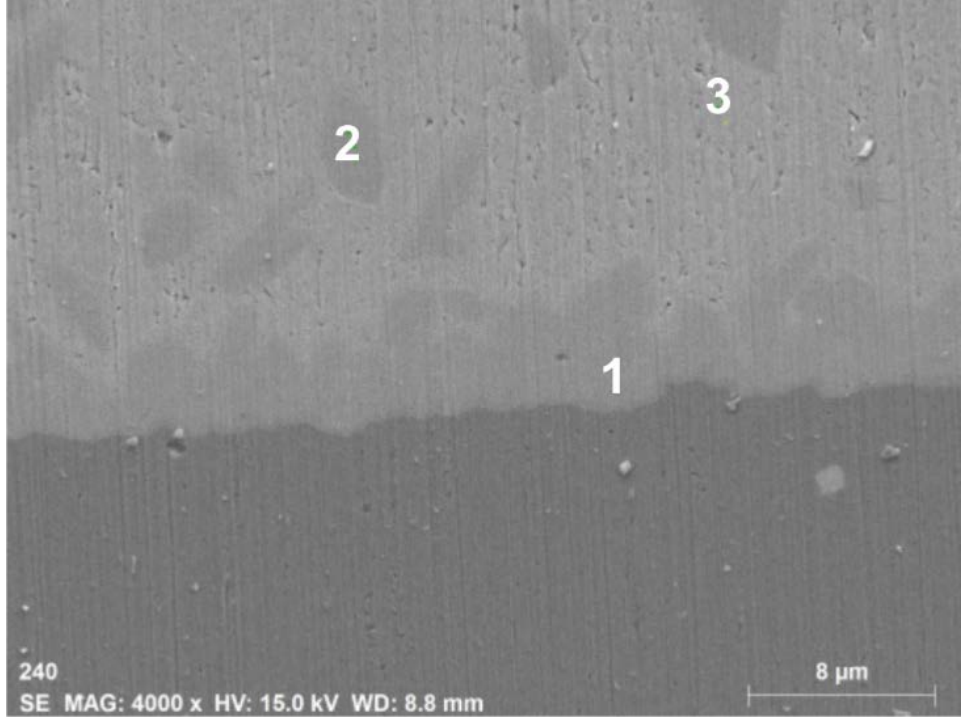
Şekil 4.31. SACX305 alaşımının 280°C'deki EDX analizi (1 no'lu bölge).



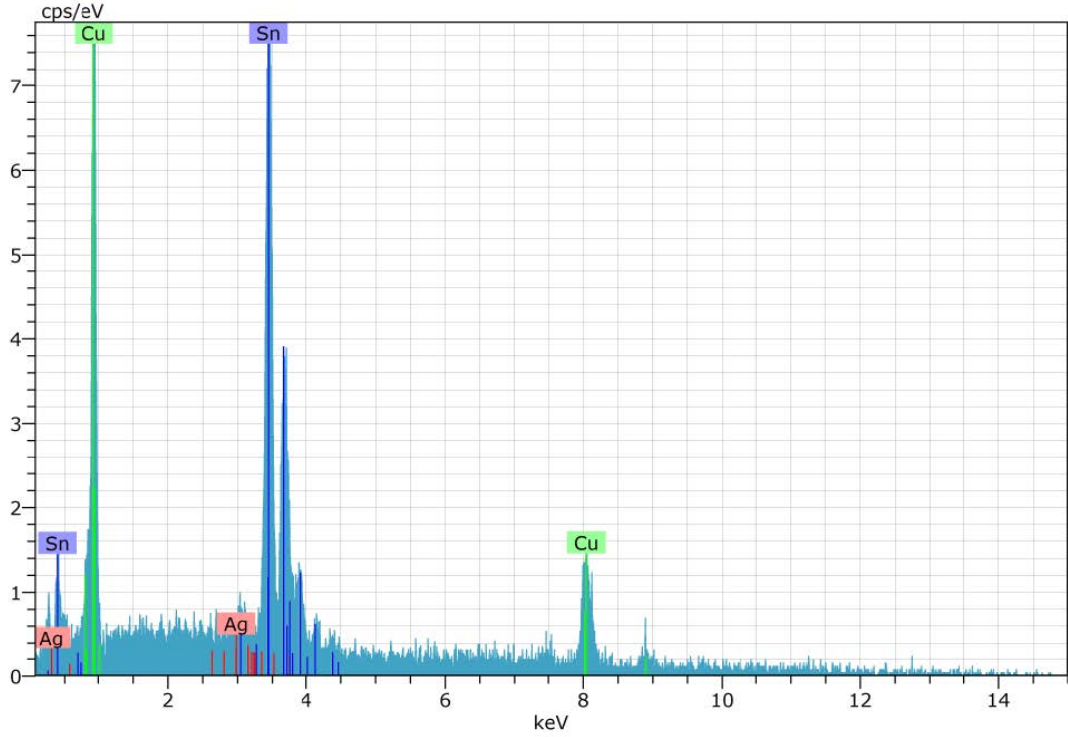
Şekil 4.32. SACX305 alaşımının 280°C'deki EDX analizi (2 no'lu bölge).



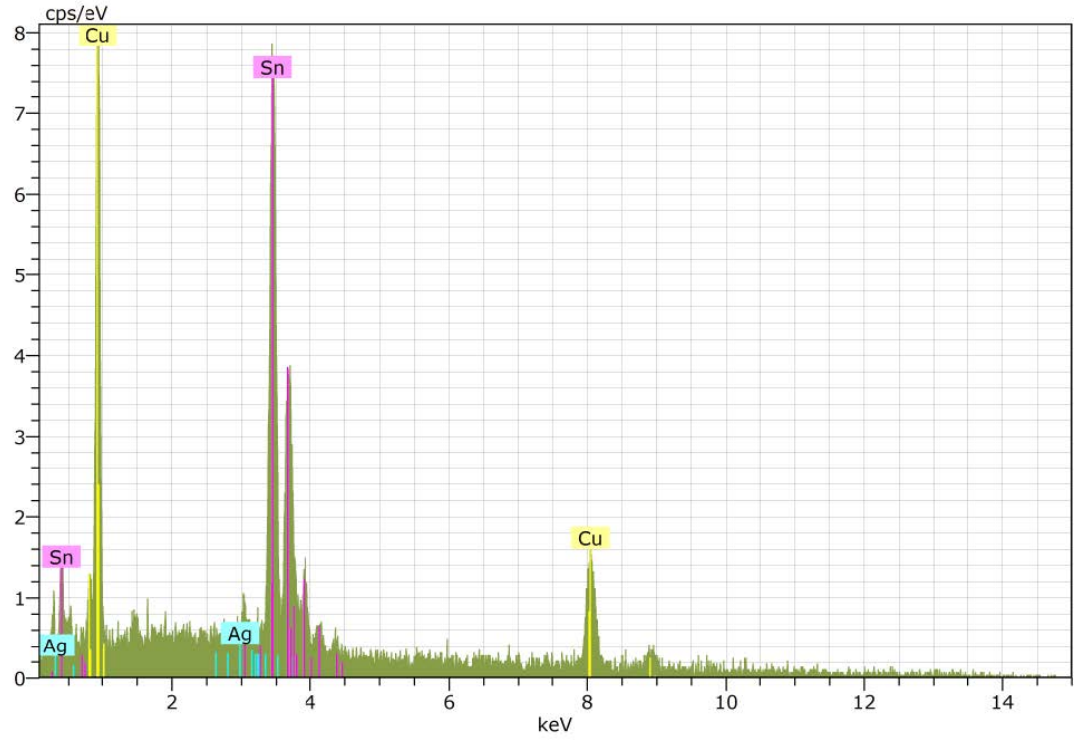
Şekil 4.33. SACX305 alaşımının 280°C'deki EDX analizi (3 no'lu bölge).



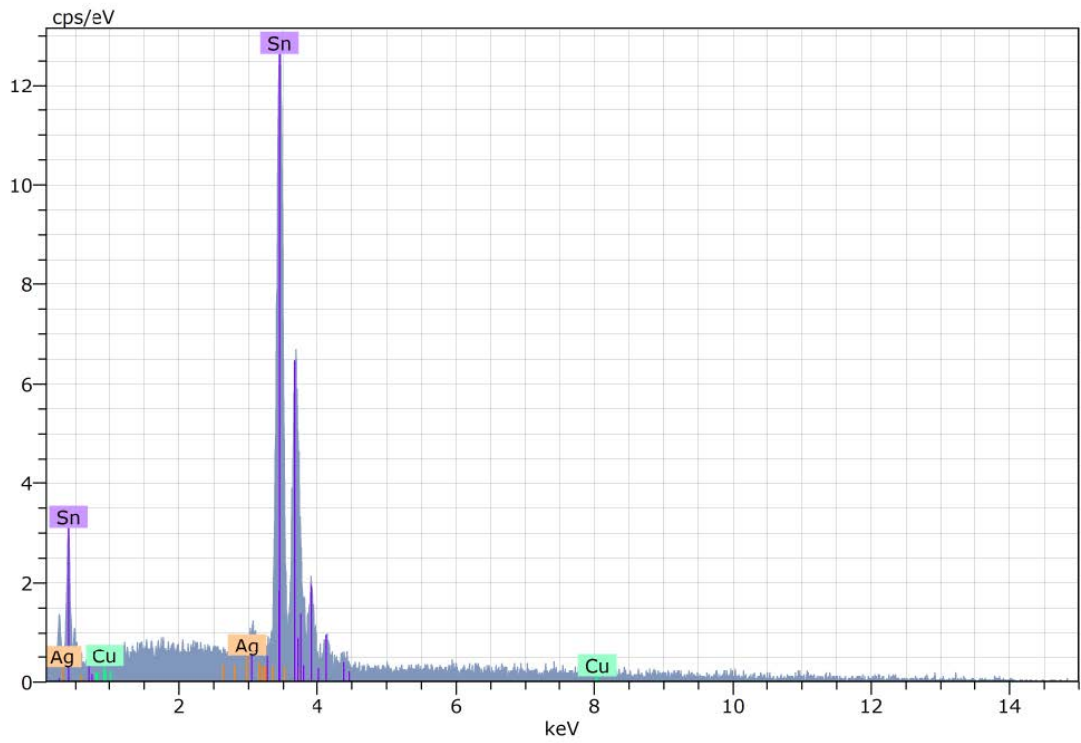
Şekil 4.34. SACX305 alaşımının 310°C'deki SEM görüntüsü.



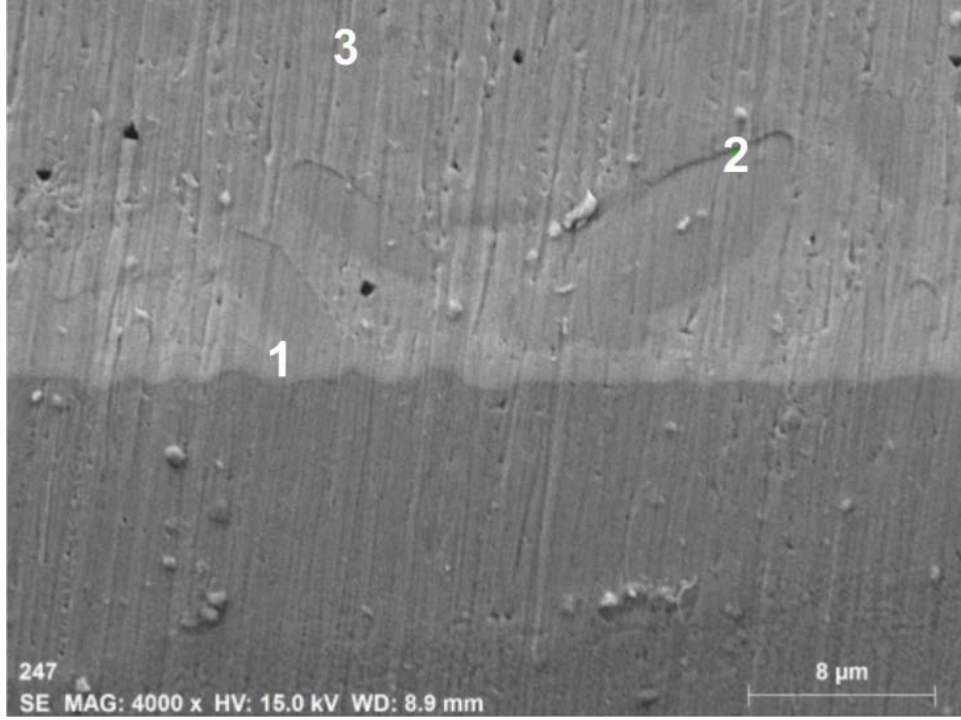
Şekil 4.35. SACX305 alaşımının 310°C'deki EDX analizi (1 no'lu bölge).



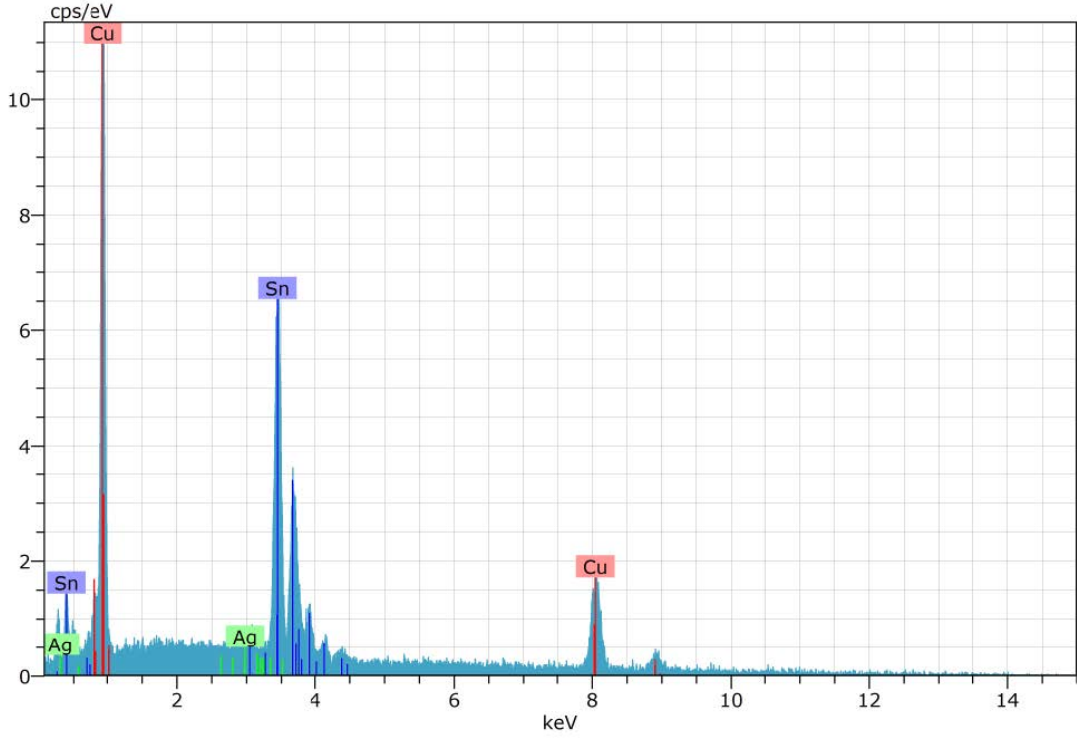
Şekil 4.36. SACX305 alaşıımının 310°C'deki EDX analizi (2 no'lu bölge).



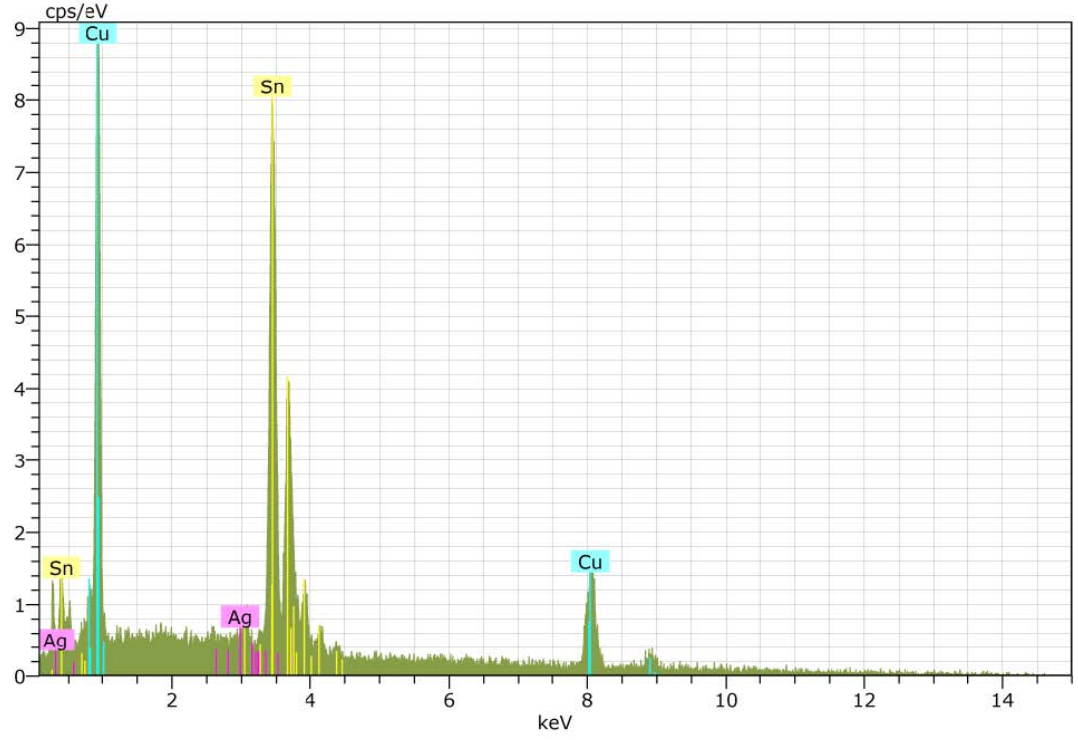
Şekil 4.37. SACX305 alaşıımının 310°C'deki EDX analizi (3 no'lu bölge).



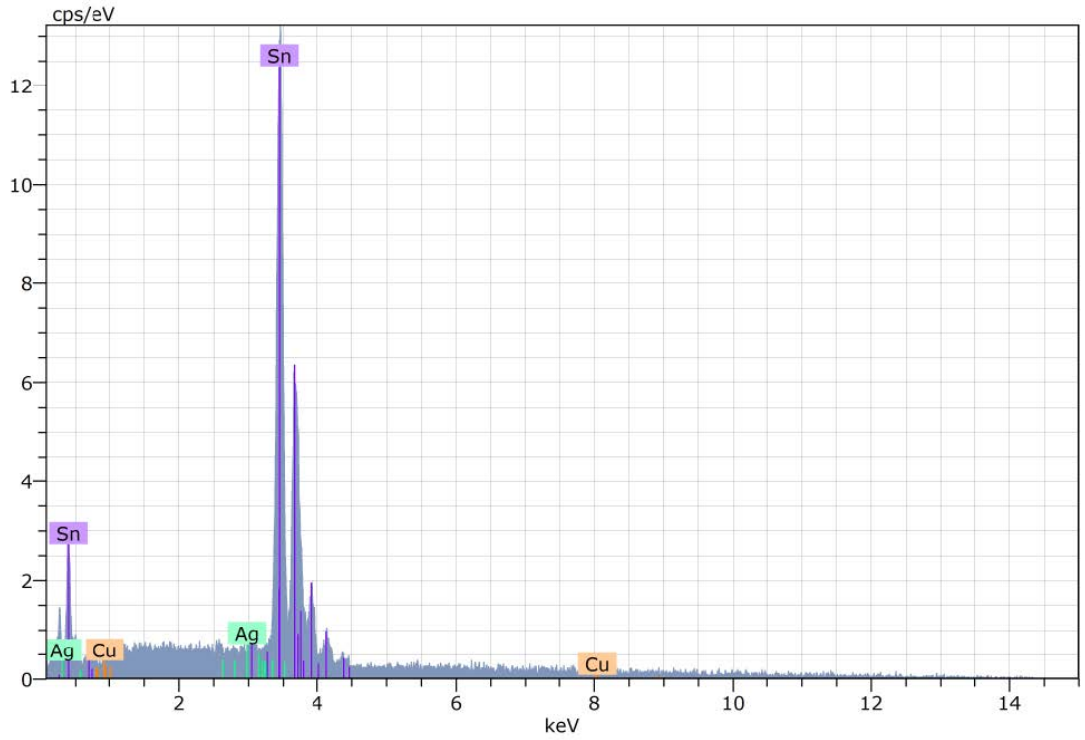
Şekil 4.38. SACX0307 alaşımının 250°C’deki SEM görüntüsü.



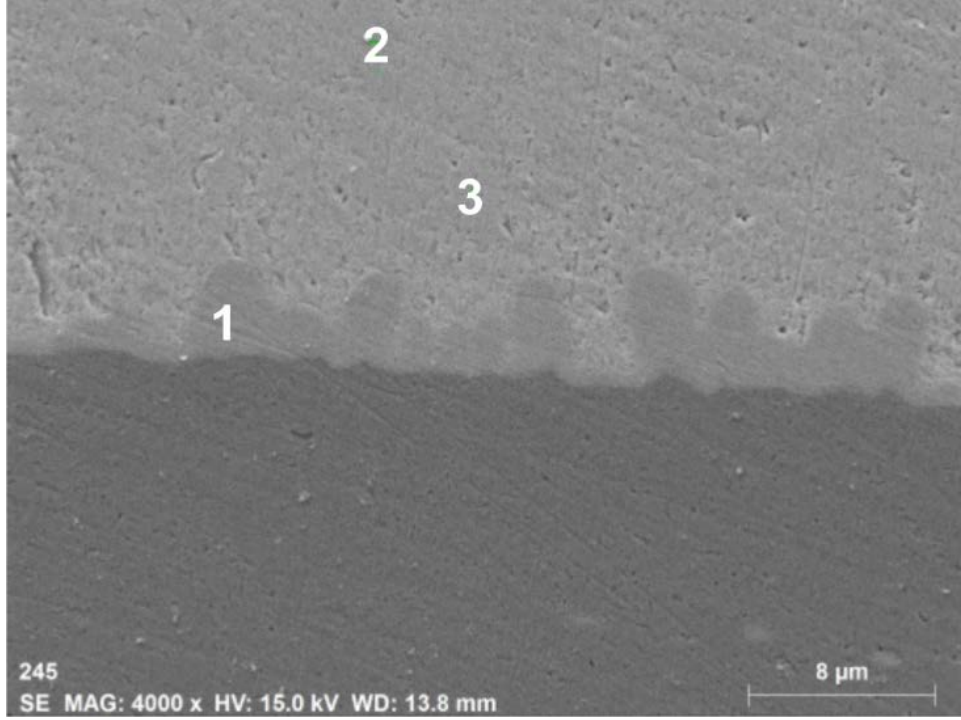
Şekil 4.39. SACX0307 alaşımının 250°C’deki EDX analizi (1 no’lu bölge).



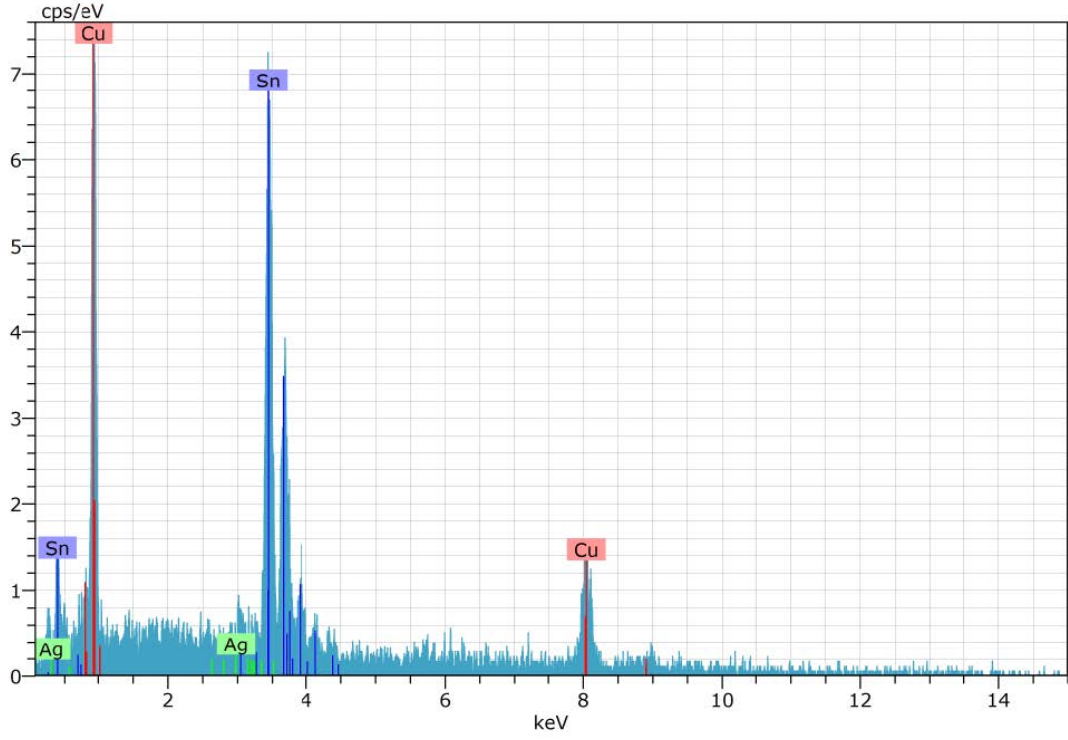
Şekil 4.40. SACX0307 alaşımının 250°C’deki EDX analizi (2 no’lu bölge).



Şekil 4.41. SACX0307 alaşımının 250°C’deki EDX analizi (3 no’lu bölge).

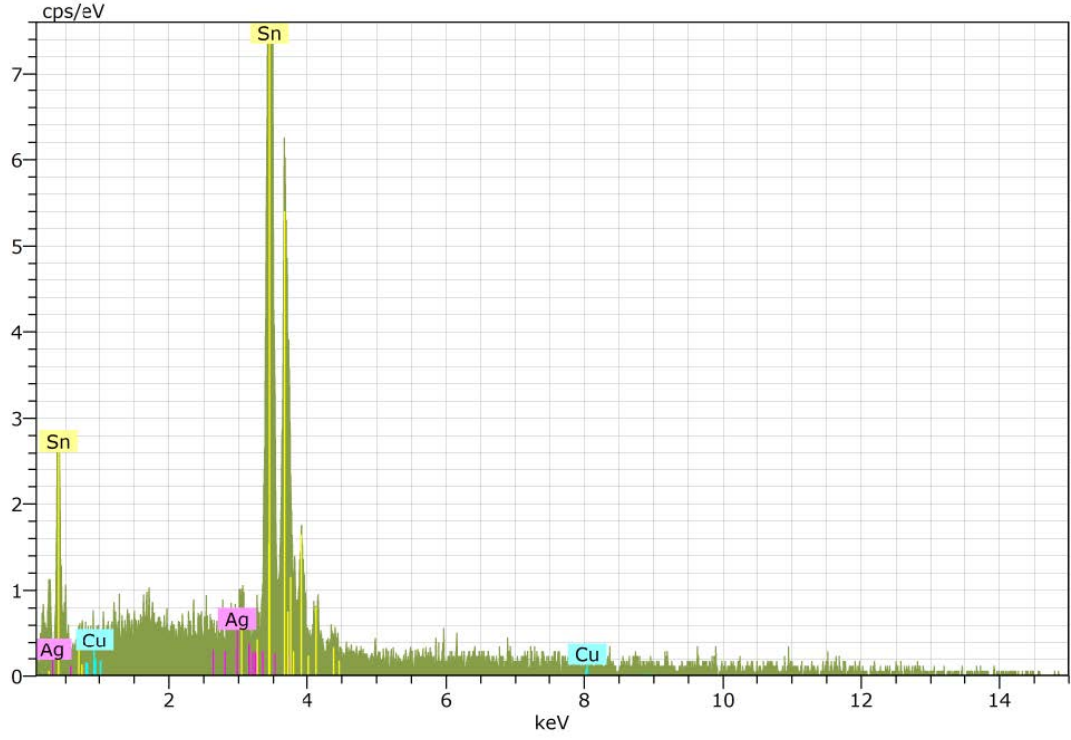


Şekil 4.42. SACX0307 alaşımının 280°C’deki SEM görüntüsü.

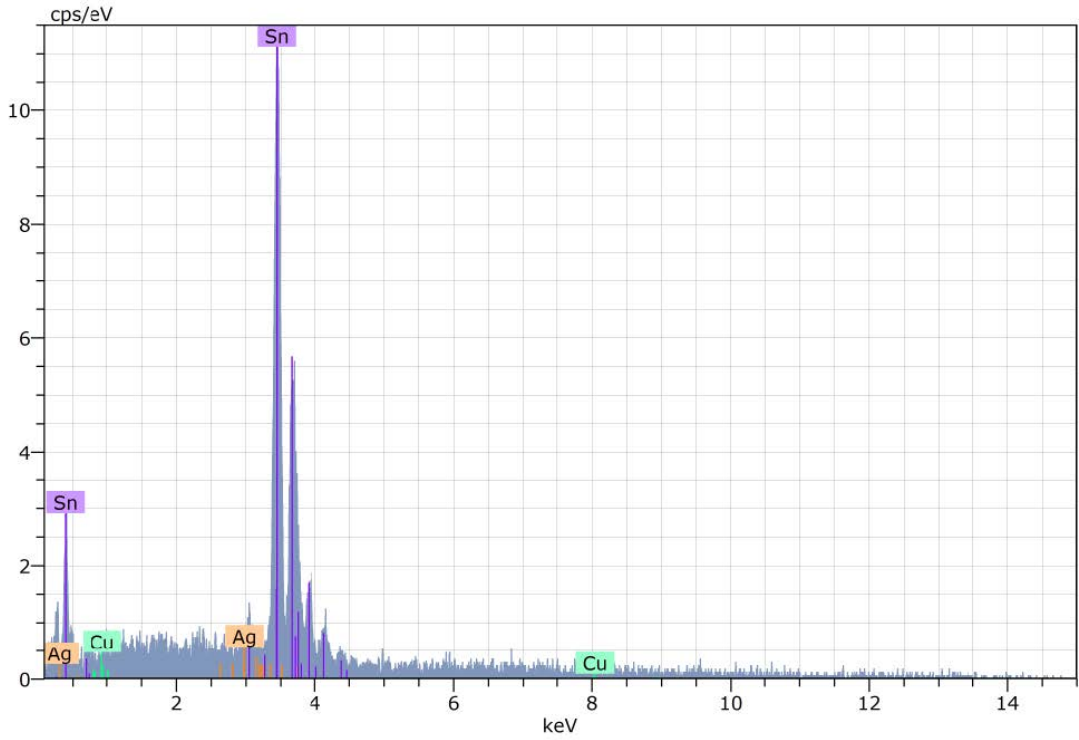


Şekil 4.43. SACX0307 alaşımının 280°C’deki EDX analizi (1 no’lu bölge).

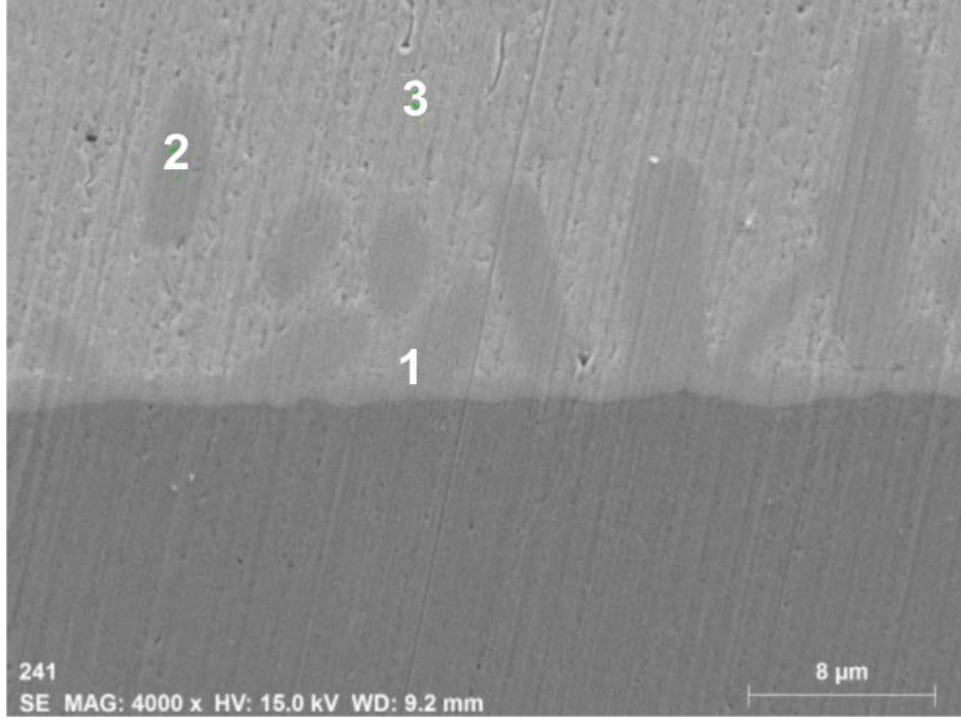




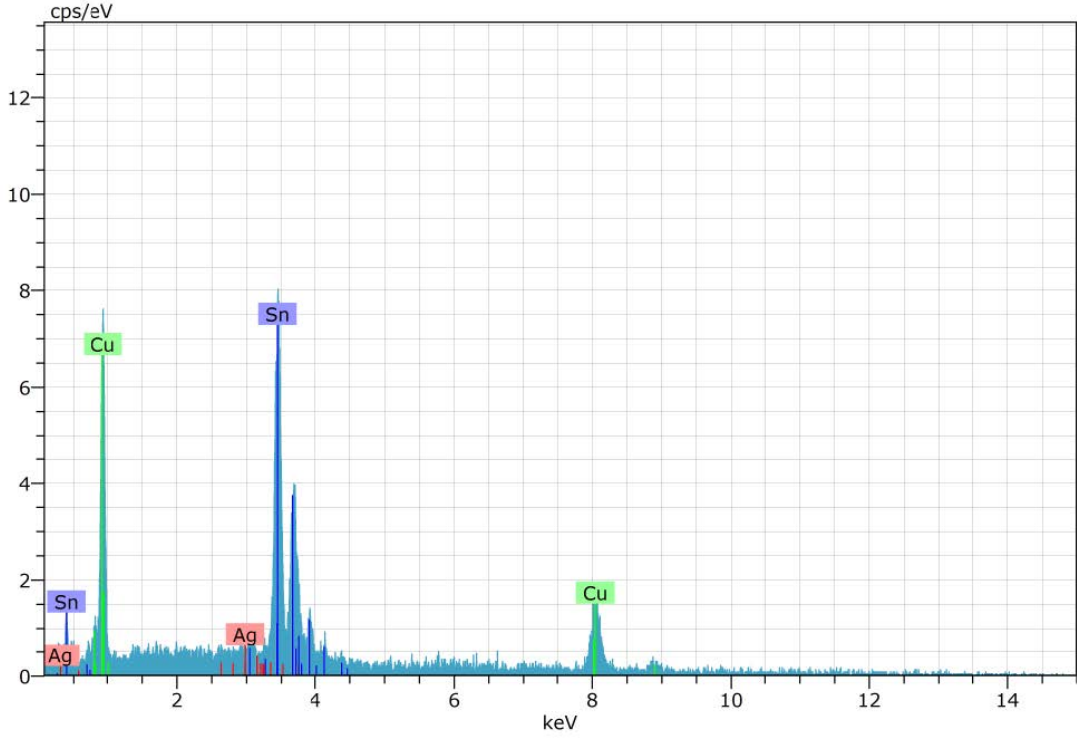
Şekil 4.44. SACX0307 alaşımının 280°C'deki EDX analizi (2 no'lu bölge).



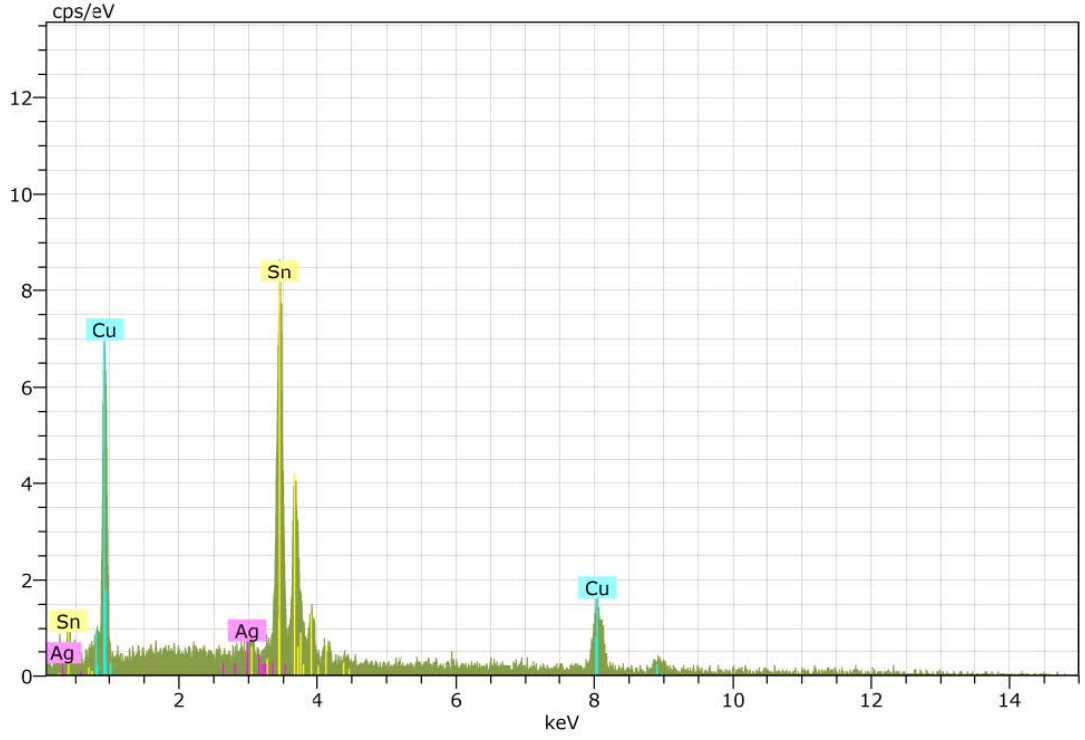
Şekil 4.45. SACX0307 alaşımının 280°C'deki EDX analizi (3 no'lu bölge).



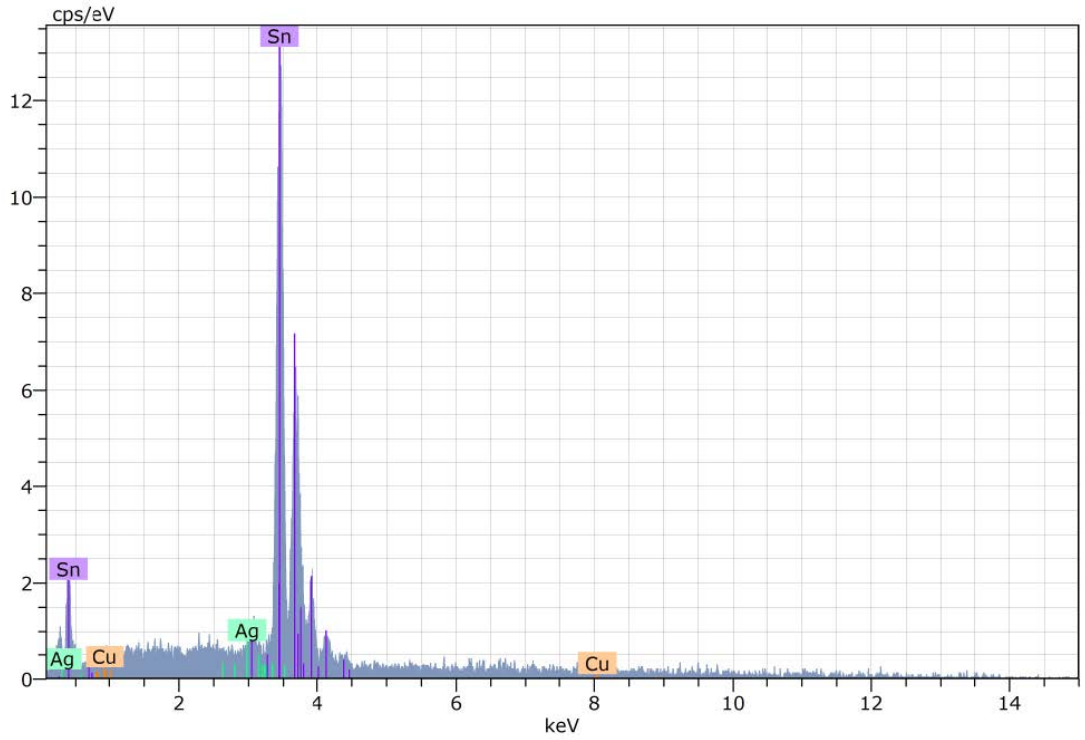
Şekil 4.46. SACX0307 alaşımının 310°C’deki SEM görüntüsü.



Şekil 4.47. SACX0307 alaşımının 310°C’deki EDX analizi (1 no’lu bölge).



Şekil 4.48. SACX0307 alaşımının 310°C'deki EDX analizi (2 no'lu bölge).



Şekil 4.49. SACX0307 alaşımının 310°C'deki EDX analizi (3 no'lu bölge).

## BÖLÜM 5

### SONUÇLAR

Sn içerisindeki Ag oranı sabit kalmak üzere Cu ilavesinin temas açısını düşürdüğü, alaşım içinde Ag oranı düşerken Cu oranının artmasının da temas açısını iyileştirdiği gözlenmiştir.

SACX300, SACX305 ve SACX0307 kurşunsuz lehim alaşımlarının sıcaklığa bağlı olarak temas açılarının ve yüzey gerilimlerinin azaldığı tespit edilmiştir.

En düşük temas açısının SACX305 için 310 °C’de 41,90° olarak elde edilmiştir.

Alaşım içerisindeki Ag ve Cu miktarlarından bağımsız olarak temas açısı ilk 30 sn. içerisinde dengeye yakın bir duruma gelmektedir.

Taramalı elektron mikroskopu (SEM) incelemeleri sonucunda mikro yapıda ikincil intermetalik fazların oluştuğu gözlenmiştir. Söz konusu fazların, denge diyagramları incelendiğinde  $Cu_6Sn_5$  ve  $Cu_3Sn$  oldukları anlaşılmıştır.

İlk olarak  $Cu_6Sn_5$  fazının saçaklı yapıda oluştuğu,  $Cu_3Sn$  fazının ise daha sonra  $Cu_6Sn_5$  ile Cu altlık arasında tabaka şeklinde meydana geldiği tespit edilmiştir.

Bununla birlikte  $Cu_3Sn$  fazının  $Cu_6Sn_5$  fazına göre çok daha ince olduğu ve oluşumunun daha uzun sürdüğü yapılan analizlerden ve literatür araştırmalarından anlaşılmıştır.

## KAYNAKLAR

1. Yoon, S. W., Choi, W. K., and Lee, H. M. "Calculation of surface tension and wetting properties of sn-based solder alloys", *Scripta Materialia*, 40 (3): 297-302 (1998).
2. Sukanuma, K., Huh, S., Kim, K., Nakase, H., and Nakamura, Y. "Effect of content on properties of Sn-Ag binary alloy solder", *Materials Transactions*, 42 (2): 286-291 (2001).
3. Acar, H., "Kurşunsuz lehim uygulamasına geçiş gereksinimleri", Teknik Rapor, *Yiğit Teknik*, 1 (2005).
4. Erer, A. M., Candan, E., Guven, M. H., and Turen Y. "Measurement and prediction of contact angles of Pb-free Sn-Ag solder alloys on Cu substrate", *Eur. Phys. J. Appl. Phys.*, 54 (1): 11302 (2011).
5. Zhang, X., Yuan, Z., Zhao, H., Zang, L. and Li, J. "Wetting behaviour and interfacial characteristic of Sn-Ag-Cu solder alloy on Cu substrate", *Chinese Science Bulletin*, 55 (9): 797-801 (2010).
6. Türen, Y., "Tandış refrakteri (MgO)-sıvı çelik arayüzey ıslatma özelliklerinin araştırılması", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 4 (2003).
7. X. Zhang, H. Matsuura, F. Tsukihashi, and Z. Yuan, "Wettability of Sn-Zn, Sn-Ag-Cu and Sn-Bi-Cu alloys on copper substrates", *Material Transactions*, 53 (5): 926-931 (2012).
8. Gönül, N., "Çok Fazlı Sistemler I Yüzey Kimyası ve Kolloidler", *Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Yayınları No:81*, Ankara, 48-56 (2000).
9. İnternet: Yüzüncü Yıl Üniversitesi, "Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, KMÜ 308 Kimya Mühendisliği Laboratuvarı Deney Föyü", [http://chemeng.yyu.edu.tr/dosyalar/Deney1\\_1314.docx](http://chemeng.yyu.edu.tr/dosyalar/Deney1_1314.docx) (2015).
10. Erer, A. M., "İkili kurşunsuz lehim alaşımı (Sn-Ag) sistemlerinin Cu altlık üzerindeki ıslatma özelliklerinin incelenmesi", Doktora Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Zonguldak, 1-29 (2011).
11. Öz, B., "Doğal Zeolitlerin modifiye edilmesiyle elde edilen anyonik reçinelerin sulardaki bazı metal iyonlarının gideriminde kullanımı", Yüksek Lisans Tezi, *Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Çorum, 3-5 (2012).

12. Arenas, M. F. and Acoff, V. L., "Contact angle measurement of Sn-Ag and Sn-Cu lead-free solders on copper substrates", *Journal of Electronic Materials*, 33 (12): 1452-1458 (2004).
13. Zang, L., Yuan, Z., Xu, H., and Xu, B., "Wetting process and interfacial characteristic of Sn-3,0Ag-0,5Cu on different substrates at temperature ranging from 503 K to 673 K", *Applied Surface Science*, 257 (11): 4877-4884 (2011).
14. Vianco, P. T., "An overview of surface finishes and their role in printed circuit board solderability and solder joint performance," *Circuit World*, 25 (1): 6–24 (1999).
15. Lee, L. M. and Mohamad A. A., "Interfacial reaction of Sn-Ag-Cu lead- free solder alloy on Cu: a review", *Advances in Materials Science and Engineering*, 2013 (2013).
16. Chen, S. W., Wang, C. H., Lin, S. K. and Chiu, C. N., "Phase diagrams of Pb-free solders and their related materials systems," *Journal of Materials Science*, 18 (1–3): 19–37 (2007).
17. Yu, D. Q. and Wang, L., "The growth and roughness evolution of intermetallic compounds of Sn-Ag-Cu/Cu interface during soldering reaction", *Journal of Alloys and Compounds*, 458 (1-2): 542–547 (2008).
18. Prabhu, K. N. and Satyanarayan, "Wetting behaviour of lead-free solders on copper substrates", *Research & Technology in the Coming Decades (CRT 2013), National Conference on Challenges in*, Ujire, 1-5 (2013).
19. Prabhu, K. N. and Satyanarayan, "Study of reactive wetting of Sn-0,7Cu and Sn-0,3Ag-0,7Cu lead free solders during solidification on nickel coated Al substrates", *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 7 (1): 806-809 (2013).

## **ÖZGEÇMİŞ**

Alaattin BOZMAOĞLU 1976 yılında Karabük'te doğdu, ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. 1994 yılında Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Fizik Mühendisliği (İng.) Bölümü'nde öğrenimine başlayıp 1999 yılında mezun oldu. Aynı yıl Millî Eğitim Bakanlığı'nda İngilizce Öğretmeni olarak göreve başladı. 1999-2013 yılları arasında Karabük'te yer alan bazı okullarda görev yaptı. 2011 yılında Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans programını 2015 Haziran ayında tamamladı. 2013 yılında çalışmaya başladığı Safranbolu Atatürk Anadolu Lisesi'nde halen görevine devam etmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres : Cemal Caymaz Mah. Ünsal Sok. Prestij Sit. A Blok D:9  
Safranbolu / KARABÜK  
Tel : (505) 4093278  
E-posta : abozmaoglu@hotmail.com