

**NANO KARBON KATKILI DÜŞÜK SICAKLIK LEHİMLERİNİN  
KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bahattin AYAR

Danışman

Prof. Dr. Şükrü TALAŞ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

Haziran 2019

Bu tez çalışması 15.FEN.BİL.43 numaralı proje ile BAPK tarafından desteklenmiştir.

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**NANO KARBON KATKILI DÜŞÜK SICAKLIK LEHİMLERİNİN**  
**KARAKTERİZASYONU**

**Bahattin AYAR**

**Danışman**  
**Prof. Dr. Şükrü TALAŞ**

**METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANA BİLİM DALI**

**Haziran 2019**

## TEZ ONAY SAYFASI

Bahattin AYAR tarafından hazırlanan “NANO KARBON KATKILI DÜŞÜK SICAKLIK LEHİMLERİNİN KARAKTERİZASYONU” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 18/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. Şükrü TALAŞ

**Başkan** : Prof. Dr. Şükrü TALAŞ  
A. Kocatepe Üniv., Teknoloji Fak.

**Üye** : Doç. Dr. Yusuf KAYALI  
A. Kocatepe Üniv., Teknoloji Fak

**Üye** : Dr. Öğr. Üye. Rıza KARA  
Uşak Üniv. Teknik Bil. MYO

İmza

  
.....  
  
.....  
  
.....

Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
...../...../..... tarih ve  
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Prof. Dr. İbrahim EROL

Enstitü Müdürü

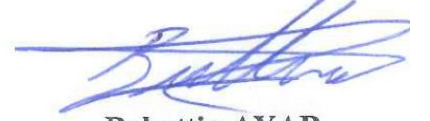
**BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI**  
**Afyon Kocatepe Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

**15/Mayıs/2019**



**Bahattin AYAR**

**ÖZET**  
Yüksek Lisans Tezi

NANO KARBON KATKILI DÜŞÜK SICAKLIK LEHİMLERİNİN  
KARAKTERİZASYONU

Bahattin AYAR

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Şükrü TALAŞ

Elektrik ve elektronik endüstrisinde elektronik parçaların kolaylıkla birleştirilmesinde ve ayrıca elektriksel iletkenlik sağlamak amacıyla lehim yapılmaktadır. Lehimlerin dayanımları ve elektronik özellikleri yani iletkenlikleri iyileştirildiğinde daha az enerji kaybı ve uzun hizmet süresi sağlanabilecektir.

Bu projede endüstriyel olarak kullanılan lehimlerin mekanik, fiziksel ve elektriksel özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu projede, kurşunlu ve kurşunsuz lehimlere ergimede, ağırlıkça yüzde nano aktif karbon (0 = katkısız, 1 = 0,1, 2 = 0,2, 3 = 0,3, 4 = 0,45) oranlarında ilave edilmiştir. Numuneler daha sonra hassas kesme cihazında kesilip SEM görüntüleri alınmıştır. DTA ile ergime noktası tayini ve faz dönüşümleri karakteristikleri incelenmiştir. XRD yöntemi ile fazların tespiti yapılmış ve sahip oldukları fazların sayısı ve türünde değişim olup olmadığı incelenmiştir. Ayrıca üretilen lehimler Cu plakalar üzerine lehim yapılarak çekme deneyine tabi tutulmuştur. Bunun dışında numunelere basma deneyi, elektriksel özdirenç ölçümü ve mikrosertlik deneyleri yapılmıştır. Bu araştırmada, lehimleme işlemi, yumuşak lehimleme prensipleri ve aktif karbon hakkında geniş bilgi verilmiş ve bu doğrultuda deneysel çalışmalar yapılmıştır.

**2019, x + 63 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Kurşunsuz lehim, Kurşunlu lehim, Aktif nano karbon, İletkenlik

**ABSTRACT**  
M.Sc. Thesis

THE CHARACTERIZATION OF LOW MELTING POINT SOLDERS  
CONTAINING NANO CARBON

Bahattin AYAR

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metallurgical and Materials Engineering

**Supervisor:** Prof. Şükrü TALAŞ

In the electrical and electronics industry, solder is easily assembled with electronic components and also to provide electrical conductivity. When the strengths and electronic properties of the solders, ie their conductivity, are improved, less energy loss and longer service life will be achieved. In this project, it is aimed to improve the mechanical, physical and electrical properties of industrially used solders.

In this project, lead and lead-free solders were produced by adding percent by weight nano-active carbon (0 = no additive, 1 = 0.1, 2 = 0,2, 3 = 0,3, 4 = 0,45) while melting. The samples were then cut on a precision cutting device and SEM images were taken. Melting point determination and phase transformation characteristics of the produced samples were investigated by DTA. The phases were determined by XRD method and the changes in the number and type of phases were examined. In addition, the produced solders were soldered onto copper plates and subjected to a tensile test. Apart from this, samples were subjected to tensile test, electrical resistivity measurement and microhardness tests. In this study, extensive information about soldering process, soft soldering principles and activated carbon was given and experiments were carried out in this direction.

**2019, x + 63 pages**

**Keywords:** Lead free solder, lead based solder, Active nano carbon, Conductivity

## TEŞEKKÜR

Bu alıőmanın tez konusu olarak seilmesinde, planlanmasında ve yürütülmesinde bana yön veren, her konuda destek ve ilgisini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım sayın hocam Prof. Dr. Şükrü TALAŞ'a sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım. Elif ÖZKAN'a da döküm ve karakterizasyon hakkında yaptığı çok değerli yardımlarından dolayı da teşekkür ederim.

Bu tezi 15.FEN.BİL.43 proje numarasıyla destekleyen Afyon Kocatepe Üniversitesi, BAPK birimine Őükranlarımı sunarım.

Bahattin AYAR  
AFYONKARAHİSAR, 2019

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
RESİMLER DİZİNİ .....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ .....	3
2.1 Lehimleme ve Lehim .....	3
2.2 Yumuşak Lehimleme .....	4
2.2.1 Yumuşak Lehimlemenin Avantajları .....	5
2.3 Sert Lehimleme .....	5
2.3.1 Sert Lehimlemenin Avantajları .....	6
2.3.2 Sert Lehimleme, Yumuşak Lehimleme ve Kaynakla Birleştirmenin Karşılaştırılması .....	7
2.4 Lehimlemede İşlem Basamakları .....	7
2.5 Lehimleme Parametreleri .....	9
2.5.1 Yüzey Enerjisi ve Yüzey Gerilimi .....	9
2.5.2 Malzemelerin Islatma Kabiliyeti .....	10
2.5.3 İlave Dolgu Metalinin Yayılma Özellikleri .....	11
2.5.4 Aktif Kapiler Kuvvet İle Lehimleme Aralığı Arasındaki İlişki .....	12
2.5.5 Lehimleme Aralığı .....	13
2.5.6 Lehimleme Sıcaklığı ve uygulama süresi .....	15
2.5.7 Lehimlemede Yüzey Temizliği.....	16
2.6 Lehimlemenin Termal Döngüsü.....	16
2.7 Yumuşak Lehimleme .....	17
2.7.1 Yumuşak Lehim Alaşımlarında Aranılan Özellikler.....	18
2.7.2 Yumuşak Lehim Alaşımı .....	18
2.7.3 Kurşunlu Lehim Alaşımı.....	19



2.7.4 Kurşunsuz Lehim Alaşımaları .....	22
2.7.5 Yumuşak Lehimleme Tekniklerinin Uygulaması .....	25
2.8 Aktif Nano Karbon.....	25
2.8.1 Karbon.....	25
2.8.2 Aktif Karbon Tanımı.....	26
2.8.3 Aktif Karbon Kullanım alanları .....	27
2.8.4 Aktif Karbon ve Genel Özellikleri .....	27
3. MATERİYAL VE METOD .....	32
3.1 Numunelerin Üretilmesi.....	32
3.2 Numunenin Kesilmesi .....	34
3.3 Numunenin Metalografik işlemi .....	35
3.4 Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) ve EDX .....	35
3.5 Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (TG-DSC/TG-DTA/TG) .....	36
3.6 X-Işını Kırınımı (XRD).....	36
3.7 Basma Deneyi .....	37
3.8 Çekme-Kesme ve Basma Dayanım Testi.....	37
3.9 Elektriksel İletkenlik Ölçümü .....	38
3.10 Mikro Sertlik Ölçümü ve Yüzey Islatma Açısı Ölçümü .....	38
4. BULGULAR .....	40
4.1 Kurşunlu ve Kurşunsuz Lehimlerin SEM Görüntüleri .....	40
4.2 Kurşunlu ve Kurşunsuz Lehimlerin EDX Analizi .....	48
4.3 DTA Sonuçları Analizi.....	49
4.4 XRD Sonuçları Analizi .....	50
4.5 Basma Deneyi Sonuçları .....	51
4.6 Bindirme Çekme Deneyi Sonuçları.....	52
4.7 Mikrosertlik Deneyi Sonuçları .....	54
4.8 Elektriksel Özdirenç Deneyi Sonuçları .....	55
4.9 Islatma Yüzey Açısının Ölçüm Sonuçları .....	56
5. SONUÇLAR.....	57
6. KAYNAKLAR.....	59
6.1 İnternet Kaynakları Erişim Tarihi.....	62
ÖZGEÇMİŞ.....	63

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

---

Ag	Gümüş
Sn	Kalay
Pb	Kurşun
Cu	Cu
Cd	Kadmiyum
g	yer çekimi ivmesi (m/s <sup>2</sup> )
$\gamma$	sıvı yüzey gerilimi (J/m <sup>2</sup> ya da N/m)
$\rho$	sıvının yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )
r	tüpün yarıçapı (m)
$\theta$	temas açısı
$\gamma_{SV}$	katı/buhar arayüzeyinde yüzey gerilimi
$\gamma_{LV}$	sıvı/buhar arayüzeyinde yüzey gerilimi
$\gamma_{SL}$	katı/sıvı arayüzeyinde yüzey gerilimi

---

### Kısaltmalar

---

AB	Avrupa Birliği
ASTM	American Standards Testing and Manufacturing
BHN	Brinell Sertlik
BSE	Geri Yansımali Elektron Dedektörü
DKP	Sıcak Haddelenmiş Sac
DTA	Diferansiyel Taramalı Kalorimetri
EDX-	Energy Dispersive X-ray Spectroscopy
HMK	Hacim Merkezli Küp
PBDE	Polybrominated Diphenyl Ether
RMA	Rosin Mildly Activated
ROHS	Restriction On Hazardous Substances
SEM	Taramalı Elektron Mikroskopisi
SIR	Yüzey İzalasyon Direnci
XRD	X-Işını Kırınımı

---

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Lehimlemede Aşamaları, a) Lehimin Altlık Üzerinde Ergitilmesi, b) Çözünmesi c).....	8
Şekil 2.2 Bir Katının Yüzey Enerjisini Tanımlamak İçin Atomlar Arasındaki Etkileşimi Gösteren Şematik Diyagram.....	9
Şekil 2.3 Bir Damla Üzerinde Etkin Olan Ara Yüzey Gerilimi ve Temas Açısı ( $\theta$ ).....	10
Şekil 2.4 $\theta$ Temas Açısı ve Yüzey Gerilimi Arasındaki İlişki, a) İyi ve b) Kötü Islatma Örnekleri.....	11
Şekil 2.5 Katı Bir Yüzey Üzerinde Sıvı Metalin Yayılmasının Gösterilmesi.....	12
Şekil 2.6 Kapiler Yükselme (a) ve Azalma (b) .....	13
Şekil 2.7 Lehimleme Bölgesinin Mukavemeti Üzerine Lehimleme Aralığının Etkisinin Şematik Gösterilmesi.....	14
Şekil 2.8 Kapiler Aralık Basıncı Değeri İle İki Plaka Arası Lehimleme Aralığı Arasındaki İlişki.....	15
Şekil 2.9 Kurşun–Kalay Faz Diyagramı.....	22
Şekil 2.10 Grafit'te ve Elmas'ta Atomların Düzeni .....	26
Şekil 2.11 Fulleren'de Atomların Bağlanması.....	26
Şekil 2.12 Grafit Kristallerinin Yapısı .....	29
Şekil 3.1 Basma Test Numunesi Özellikleri .....	37
Şekil 3.2 Bindirme kayma dayanımı test numunesi özellikleri .....	38
Şekil 4.1 Kurşun-kalay faz diyagramı (A.Karaaslan, 2010). .....	40
Şekil 4.2 Cu-kalay faz diyagramı (A. Karaaslan, 2010). .....	44
Şekil 4.3 Kurşunlu lehimin DTA sonuçları (katkı oranları 0 = katkısız, 1 = ağ. % 0.1, 2 = ağ.% 0.2, 3 = ağ. % 0.3, 4 = ağ. % 0.45) .....	49
Şekil 4.4 Kurşunsuz lehimin DTA sonuçları (katkı oranları 0 = katkısız, 1 = ağ. % 0.1, 2 = ağ.% 0.2, 3 = ağ. % 0.3, 4 = ağ. % 0.45) .....	49
Şekil 4.5 Kurşunlu numunelerin XRD pikleri.....	50
Şekil 4.6 Kurşunsuz numunelerin XRD pikleri .....	50
Şekil 4.7 Kurşunlu lehimlerin basma dayanımı grafiği (katkı oranları 0 = katkısız, 1 = ağ. % 0.1, 2 = ağ.% 0.2, 3 = ağ. % 0.3, 4 = ağ. % 0.45).....	51
Şekil 4.8 Kurşunsuz lehimlerin basma dayanımı grafiği (katkı oranları 0 = katkısız, 1 = ağ. % 0.1, 2 = ağ.% 0.2, 3 = ağ. % 0.3, 4 = ağ. % 0.45 ).....	52
Şekil 4.9 Saf ve aktif karbon katkılı kurşunsuz lehimlerle birleştirilmiş olan lehim bağlantılarının çekme deneyi test sonuçları .....	52
Şekil 4.10 Katkısız ve aktif karbon katkılı kurşunlu lehimlerle üretilmiş olan bindirme lehim bağlantılarının çekme deneyi test sonuçları .....	53

<b>Şekil 4.11</b> Kurşunlu ve kurşunsuz numunelerin mikrosertlik deneyi sonuçları (katkı oranları 0 = katkısız, 1 = ağ. % 0.1, 2 = ağ.% 0.2, 3 = ağ. % 0.3, 4 = ağ. % 0.45).....	55
<b>Şekil 4.12</b> Elektriksel özdirenç deneyi ölçüm sonuçları (katkı oranları 0 = katkısız, 1 = ağ. % 0.1, 2 = ağ. % 0.2, 3 = ağ. % 0.3, 4 = ağ. % 0.45).....	56
<b>Şekil 4.13</b> Katkı oranlarına göre yüzey ıslatma açıları .....	56

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Çizelge 2.1</b> Lehim Telleri Özellikler Tablosu.....	3
<b>Çizelge 2.2</b> Lehim Alaşımalarının Önemli Özellikleri .....	18
<b>Çizelge 2.3</b> Lehim Bileşim Oranları.....	21
<b>Çizelge 2.4</b> Lehim Alaşımalarının Ötektik Sıcaklık ve Bileşim Özellikleri.....	23
<b>Çizelge 3.1</b> Kurşunlu–Kurşunsuz Lehimin Katkı Oranları.....	32

## RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
<b>Resim 2.1</b> Aktif Karbon .....	27
<b>Resim 2.2</b> Küresel Aktif Karbon.....	31
<b>Resim 3.1</b> Kurşunsuz-Kurşunlu lehim telleri.....	33
<b>Resim 3.2</b> DESIS marka hassas terazi .....	33
<b>Resim 3.3</b> Lehim potası ve Cu döküm kalıbı.....	34
<b>Resim 3.4</b> Metkon Hassas Kesme Cihazı .....	34
<b>Resim 3.5</b> Metkon Parlatma Cihazı ve Alümına Solüsyonu.....	35
<b>Resim 3.6</b> SEM Cihazı.....	35
<b>Resim 3.7</b> Netzsch Marka DTA Cihazı.....	36
<b>Resim 3.8</b> Bruker Marka D8 Advance Model XRD Cihazı.....	36
<b>Resim 3.9</b> SHIMADZU marka AGS 100 modeli üniversal çekme basma test cihazı .....	37
<b>Resim 3.10</b> Bindirme lehimlenen numunelerin görünüşü .....	38
<b>Resim 3.11</b> Mikrosertlik cihazı .....	39
<b>Resim 4.1</b> Aktif Nano Karbon İlave Edilmiş a) ağ.% 0,1, b) ağ.% 0,2, c) ağ.% 0,3, d) ağ.% 0,45 Pb-Sn lehimlerinin SEM görüntüleri, 10kX.....	41
<b>Resim 4.2</b> a) ağ.% 0,1 b) ağ.% 0,2 c) ağ.% 0,3 d) ağ. % 0,45 oranlarında aktif nano karbon ilave edilen kurşunlu lehimlerin 1Kx büyütmedeki makro görüntüleri.....	43
<b>Resim 4.3</b> a) ağ.% 0,1, b) ağ.% 0,2 c) ağ.% 0,3 d) ağ.% 0,45 oranlarında aktif nano karbon içeren kurşunsuz lehimlerin 10Kx büyütmedeki görüntüleri.....	45
<b>Resim 4.4</b> a) ağ.% 0,1 b) ağ.% 0,2 c) ağ.% 0,3 d) ağ.% 0,45 oranlarında aktif nano karbon içeren kurşunsuz lehimlerin 1 Kx büyütmedeki makro görüntüleri.....	46
<b>Resim 4.5</b> a) saf kurşunlu b) saf kurşunsuz lehimlerin 10 Kx büyütmedeki görüntüsü ile c) saf kurşunlu ve d) saf kurşunsuz lehimlerin 1 Kx büyütmedeki makro görüntüsü .....	47
<b>Resim 4.6</b> Ağ. % 0,45 aktif nano karbon içeren kurşunlu lehimin EDX analizi .....	48
<b>Resim 4.7</b> Ağ. % 0,45 aktif nano karbon içeren kurşunsuz lehimin SEM-EDX analizi.....	48

## 1. GİRİŞ

Asırlar boyunca insanlar tarafından yapılan sayısız eserlerin en önemli özelliklerinden birisi faydalı parçaları biraraya getirmek ve kullanmaktır. Bunu yaparken, zeka ve yeteneklerini kullanarak, doğada bulunduğu veya ürettiği parçaları biraraya getirip daha faydalı objelere dönüştürmüştür. Cam, seramik ve metalik parçaların birleştirilmesinde yüzyıllardır kullanılan lehim tekniği, ince, kalın, aynı veya farklı kalınlık ve farklı yapısal özellikteki parçaların eritilmeden birleştirilmesine, daha düşük ergime sıcaklığına sahip alaşımı veya metali kullanarak yardımcı olan yöntemdir. Birçok küçük veya büyük boyutlu gerek makine veya faydalı araç gereçlere ait parçanın uygun yerlerde kullanılabilmesi için bir çok birleştirme tekniklerinden faydalanılarak monte edilmesi gerekir. Kesitleri birbirinden çok farklı olan ve / veya farklı yapısal özellikteki metal ve alaşımlarının birbiriyle birleştirilmesinde, daha çok metalürjik uygunsuzluktan dolayı veya bazı durumlarda aşırı oksidasyon gibi şiddetli reaksiyonların varlığı bu metal ve alaşımlarının ark ile veya arksız kaynaklı birleştirilmesine imkan vermemektedir. İlave olarak, sıvı ve gaz sızdırmazlığı ve yüksek statik ve dinamik dayanımın da istenmesi ile beraber, endüstriyel uygulaması olan klasik ve modern birleştirme yöntemlerinin kullanılması pek mümkün olmayabilir. Böyle durumlarda, lehim kullanılarak birleştirme bir hayat kurtaran çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Her ne kadar tek bir türü olmasada lehim kullanarak birleştirme veya lehimleme tekniği sıklıkla endüstride kullanılan beş ana birleştirme yöntemlerinde bir tanesidir. Klasik metal endüstrisinde kullanılan lehimleme hassas olmaktan biraz uzak olsada, aynı teknikler, çok küçük ve hassas ve hatta ısıya duyarlı parçaların, örneğin elektronik parçaların, birleştirilmesinde de kullanılırlar.

Günümüzde lehimleme, elektrik–elektronik imalat sektöründen makine-otomobil–imalat sanayileri dahil olmak üzere, uçak-uzay ve havacılık uygulamalarından, radyo ve telefonlar, gıda maddeleri için teneke kutularının sızdırmalıkları, su ve gaz hatlarına ait günlük tesisat işleri dahil birçok alanda kullanılan önemli bir birleştirme tekniği haline gelmiştir. Elektronik devrelerde gerek kapalı bir fonksiyonel işlevli bir sistemi oluşturmak ve gerekse ilgili sistemin arızalı alanlarını onarmak için bazen bu parçaların bozunma sınırının altında, belirli sıcaklıkta eriyebilen tellere “lehim” denir. Lehimlerin

sayesinde elektrik akımı, devre elemanlarının içerisinde farzedilen görevleri yerine getirecek şekilde dolaşabilmektedir. Çoğunlukla, elektronik devre imalat endüstrisinde, birçok elektronik parçaların devre oluşturmak için kolaylıkla ve dayanıklı bir şekilde birleştirilmesinde ve ayrıca elektriksel iletkenlik özelliği kazandırmak amacıyla (düşük sıcaklık) lehim yapılmaktadır. Elektrik ve elektronik sektöründe kullanılan lehim telleri az miktarda safsızlıkla beraber kalay ve kurşun metallerinin karışımından yani alaşımından oluşur ve ayrıca içerisindeki kalayın miktarı arttıkça lehim kalitesi yükselir. Artan kalay miktarı ile beraber, lehim ergime sıcaklığı azalmaktadır. Lehimin kalitesi kullanılacağı devrenin sıcaklık hassaslığına göre değişmektedir. Bu çalışmada, lehimlerin mekanik ve iletkenlik değerine karbonun etkisi, ağırlıklı olarak elektrik-elektronik sektörlerinde kullanılan yumuşak lehimleme süreçleri açısından incelenmiştir.



## 2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

### 2.1 Lehimleme ve Lehim

Aynı tür ve/veya farklı özelliklere sahip iki alaşım veya metali kendilerini ergitmeden birleştirilmeyi mümkün kılan metal veya alaşıma denir. Bu alaşım veya metalin kullanılarak yapıldığı birleştirme işlemine lehimleme denir. İki ya da daha fazla metalik veya seramik esaslı malzemenin, ergime sıcaklıklarının altında ilave metal ergitilerek, yapılan birleştirme işlemlerinin genel adıdır. Lehimleme ile alüminyum (ag) hariç, Cu, pirinç, DKP çelik saclar, değişik paslanmaz saclar, çinko (zn) ve kalay (sn) kaplı çelik saclarında birleştirilmesi mümkündür. Lehimle birleştirilecek metaller aynı cinsten olduğunda, kaynaklı birleştirme yöntemlerinden bir tanesiyle çoğunlukla rahatlıkla birleştirilebilir, tersi durumda ise, yani farklı özellikteki metaller ve alaşımlar söz konusu olduğunda, bazen, tekniklerimiz istenilen performans, kalite ve yapısal özellikte birleştirme sağlayamamaktadır (MEB 2011a). Elektrik ve elektronik sektöründe kullanılan lehim teli kalay ve kurşun metallerinin karışımından oluşturulmuştur. Lehimin kalitesi kullanılacağı devrenin hassaslığına göre değişmektedir (MEB 2011b).

Çizelge 2.1 Lehim Telleri Özellikler Tablosu.

Lehim karışım oranı (Ag,Sn,Pb,Cu, Cd, Zn)	Ergime ısısı (°C)	Lehimleme sıcaklığı (°C)	Uygulama yerleri	Lehimleme işlemi
%63 Sn- %37 Pb	183	220–230	Hassas elektronik gereçler	Sızdırmalı lehimleme
%60 Sn- %40 Pb	190	240–250	Elektronik devre elamanları	Yumuşak lehimleme
%50 Sn- %50 Pb	215	260–280	Elektronik devreler ve ince iletkenler	Yumuşak lehimleme
%40 Sn- %60 Pb	238	280–300	Kalın iletkenler ve iri lehimler	Orta sert lehimleme
%40 Ag- %20 Cd-%19 Cu-%21 Zn	620	700–750	Cu, Nikel, Çelik ve alaşımlarında	Sert lehimleme

Elektrik-elektronik devrelerindeki parçaların birbirine tutturulmasında düşük sıcaklık veya yumuşak lehimleme tekniği kullanılır. Yumuşak lehimde direnç değerinin çok düşük olması, elektrik akımının iletilmesini önemli ölçüde kolaylaştırmaktadır (MEB 2011b).

Lehim işleminin sorunsuz gerçekleşmesi için endüstriyel olarak üretilen çeşitli lehim pastaları mevcuttur. R sınıfı pastalar yalnızca reçine bazlıdır ve lehim pastasının lehimleme / akış gücünü artıracak ilave aktivatörler içermez. Yüzeydeki pasta artıkları, estetik problemi yaratır ve lehimleme sonrası devre bütünlüğünü etkilemez. RMA (Rosin Mildly Activated - Hafifçe Aktive edilmiş Reçine) sınıfı pastalar da reçine bazlıdır fakat genellikle halojenür şeklinde bir aktivite katkısı içerir. Bu aktivatörün taşıyıcı içinde izin verilen sınırı % 0.05'tir. Yüzeye montaj lehim uygulamalarında en yaygın olarak kullanılan pasta sınıfı budur. Yüzey İzolasyon Direnci (SIR) sonuçları bu tür pasta artıklarının yüzeyde kaldığında elektronik devre için zararsız olduğunu göstermektedir. Ayrıca pasta içerisindeki reçine miktarı da (katı madde miktarı) değiştirilerek daha az artık, daha estetik bir görünüm sağlanır. Solvent sistemindeki ve katı madde miktarındaki değişimler baskı hızını ve pastanın şablon üzerindeki ömrünü artırabilir. Pastaya, katı reçine ayrıldıktan sonra akış kabiliyetini sürdürmesi için eklenen katkıları arasında organik asitler ve halojenür bazlı aktivatörler sayılabilir. Organik pastalar, reçine veya suda çözünür maddelerdir. Pastalarda kullanılan Rosin tahta sakızı ve suda çözünür olmayan diğer reçinedir. Organik akıllar çoğunlukla elektrik ve elektronik devre yapımında kullanılır. Bunlar, yüksek sıcaklıkta kimyasal olarak kararsız fakat oda sıcaklığında korozif değildir.

## **2.2 Yumuşak Lehimleme**

Yumuşak lehim 450°C nin altında lehimleme yapmak için kullanılır. Lehimli bağlantıya fazla yük binmez ve kuvvet uygulanacağı durumlarda kullanılmaz. Bu sıcaklıkta yapılan lehim işlemi, ısıya karşı hassas malzeme kullanan konstrüksiyonlarda en uygun ve kolay birleştirme şeklidir. Yumuşak lehim alaşımlarının ana bileşenleri Pb-Sn dir. Lehimdeki Sn oranı % 5-70 arasında değişir ve bu aralık, lehime 183°C'den 312°C'ye kadar bir erime aralığı sağlar. Bu tür lehimler, Cu, pirinç, Ni, Fe ve diğer kaplanmış metallerin birleştirilmesinde kullanılır. % 63 Sn, % 37 Pb alaşımlı yumuşak lehim, ötektik (183°C)

erime noktasıyla kolayca kullanılabilirdiğinden, elektronikte ve fabrika montaj işlemlerinde geniş bir şekilde kullanılır. % 60 Sn, % 40 Pb ve % 50-50 Pb-Sn alaşımlarında elektrik ile ilgili alanlarda ve diğer genel kullanım alanlarında kullanılır.

### **2.2.1 Yumuşak Lehimlemenin Avantajları**

Yumuşak lehim bağlantıları, kapiler etki ile sıvı metalin akışını düzenlemede, birleştirilecek yüzeylerin ıslatılması ve katılma aşamalarını kapsar. Kullanılan ısı kaynağının ve lehim malzemesinin birleştirilecek olan bölgelere hassasça uygulanmadığı durumlarda bile ergime olduğu sürece bu geçerlidir. Lehim malzemeleri klasik kimyasal yapıştırıcıların tersine metalik olmayan malzemelere yapışmaz ve birleştirme için ön işleme şarttır. Yumuşak lehimleme sıcaklıkları düşük olduğundan oksigaz kaynağında olduğu gibi, gibi bölgesel ısıtmaya gerek kalmamaktadır ancak sert lehimleme için bu gereklidir. Yumuşak lehimleme birleşme bölgesinin geometrisinde serbestlik sağlar ve dolayısıyla çok farklı şekilli parçaların birleştirilmesinde bile iyi sonuçlar alınır. Yumuşak lehimlenmiş birleştirmeler gerektiğinde tamir etmek için rahatlıkla sökülebilir ve tekrar lehimlenebilir. Manuel veya aletle yapılan yumuşak lehimlemede kullanılan ekipmanlar basit olup otomasyona da uygundur (Kaya 2008).

### **2.3 Sert Lehimleme**

Sert lehim işlemi, 595°C'den 1175°C'ye kadar sıcaklıklarda eriyen lehim alaşımları ile lehimleme işlemidir. Sert lehim, yumuşak lehime göre daha kuvvetli bir bağlantı yapar. Lehim alaşımı olarak alüminyum, Cu, Ag, Zn, Ni, Mg, Au gibi metallerin alaşımları kullanılır. Isıtma işlemi alev, indüktif, elektrik direnç veya erimiş metal banyoları yardımıyla yapılır. Lehimleme işleminin sıralaması dikkate alındığında şu maddelere dikkat edilmesi gerekir. İlk önce yüzeyler, mekanik veya kimyevi usüllerle temizlenip, asitli lehim pastası veya lehim tozu uygulanarak yüzeylerdeki tekrarlı oksitlenmeler önlenir. Birleştirilecek parçaların yüzeyleri arasında 0,05 - 0,13 mm boşluk olmalıdır ki lehim havya ile eritilince kılcallıktan dolayı ince bir lehim tabakası getirecektir. Isı kaynağı olarak herhangi bir sıcak metal parçası da kullanılabilir. Oksigaz veya doğalgaz alevi yanında endüktif ısıtma, elektrik direnç ısıtma, fırında ısıtma veya erimiş metal banyoları kullanılan diğer metodlardır. Elektronikte, mikro elemanların bağlanmasında, küçük lehim parçalarının kullanımı ile lehimleme sağlanırken, endüstriyel olarak

lehimleme işlemleri ise seri üretime uygun bir şekilde yapılır. Elektronik parçalar, plakete monte edilir ve erimiş lehim banyosunun içinden geçirilir. Genellikle, metaller havayla temas ettiklerinde ve ısıtıldıklarında oksitlenme eğilimi gösterirler ve bu oksit oluşumuna engel olmak için ve metal yüzeyini verimli bir şekilde temizlemek için lehim yaparken lehim pastası kullanılır. Çabucak hazırlanabilecek etkili bir pasta, distile su içinde 3x ZnCl<sub>2</sub> ve 1 x NH<sub>4</sub>.Cl eritilmesi ile yapılır.

### **2.3.1 Sert Lehimlemenin Avantajları**

Karmaşık ve çok bileşenli ürünlerin ekonomik olarak imal edilebilmesi bu yöntemle mümkündür. Genellikle iç gerilim değerleri düşük olup, dağılımıda iyidir. Lehimin ısı transfer yönelimi ana malzemenin türüne ve geometrisine göre değişir. Eski kablolu sistemlerde koruyucu metal kaplama olarak kullanılan lehimler, kablonun uzun süre korunabilmesi için kullanılmaktaydı. Döküm yöntemi ile üretilmiş metalik malzemelerin talaşlı veya talaşsız şekillendirilmiş diğer metalik malzemelerle birleştirebilmeye imkan tanır. Bazı metal dışı malzemeleri metalik esaslı malzemelerle birleştirebilme imkanı olabilir. Kalınlık farkları fazla olan metalleri birleştirebilmede uygun bir yöntemdir. Birbirinden yapısal ve tür olarak farklı metalleri birleştirebilmek ve örneğin porozite gibi içerisinde boşluklar içeren gözenek yapıları metalleri birleştirebilme mümkündür. Birleştirilen ana metallerin şekil gibi geometrik özelliklerini ve içyapı ve reaksiyon bölgesi gibi metalurjik özelliklerini uzun süre koruyabilmesi lehimle mümkündür. Sürekli ve süreksiz fiber ve ikinci faz partikülleri ile güçlendirilmiş hafif kompozit malzemelerin lehimlenmesi kısmen mümkündür. Lehimler ve lehimlenmiş parçalar için güvenilir ve tekrarlanabilir standartlara uygun kalite kontrol teknikleri kullanılabilir (Kaya 2008).

Sert lehimleme, endüstride bir çok sektörde örneğin otomotiv, uçak endüstrisi, uzay sanayi, nükleer sanayideki uygulamalarda, beyaz eşya ve makine sektöründeki imalatlarda kullanılan kesicilerin imalatında, havalandırma ve ısıtma ile ilgili sektörde, tesisat işleri, tıbbi cihazların imalatı ve müzik aletlerinin imalatı gibi bir çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Dayanıklı bir bağlantı, uygun pasta kullanıldığı zaman homojen sızdırmaz bağlantılar sert lehimlemeyle hızlı ve ucuz olarak elde edilebilmektedir. Üretim sırasında, işçinin kolayca ulaşamayacağı bölgelere lehimin

yürümesi mümkün olup, diğer yöntemlerle birleştirilemeyen karmaşık şekilli veya geometrik olarak problemlı parçaların sert lehimlemeyle birleştirilebilirliği vardır. Kalınlıkları değişen ve birbirlerinden farklı döküm ve hadde alaşımlarından oluşan ana metaller, bir fırında ya da daldırma ile tek seferde birleştirilebilmektedir (Varol 2013, Uzun 2002).

### **2.3.2 Sert Lehimleme, Yumuşak Lehimleme ve Kaynakla Birleştirmenin Karşılaştırılması**

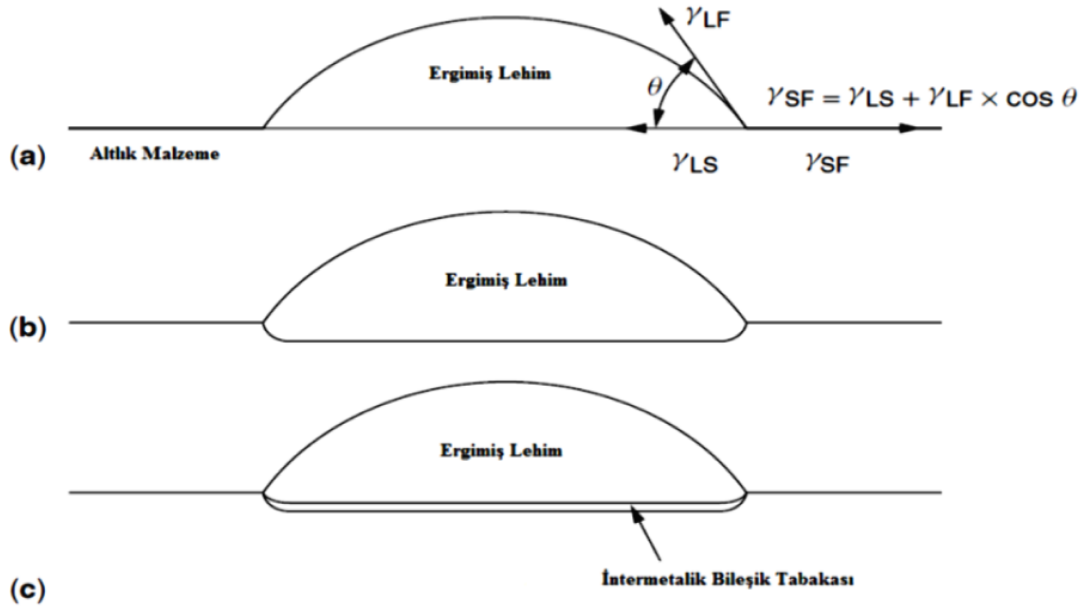
Yumuşak lehimlemenin karakteristikleri genellikle sahip oldukları ergime sıcaklığına göre değişir. Yumuşak lehim için kullanılacak olan alaşımın ergime sıcaklığı 450°C'den aşağı olmalıdır ve malzeme katı haldedir. Dekapan veya lehim pastası olarak adlandırılan oksit çözücüler, yüzey temizliği için gerekli olup havanın etkisinden lehimin korur. Aynı zamanda, yüzey enerjisini azaltarak lehimin yürümesini veya ıslatma açısının düşürülmesini de sağlar. Buna karşın sert lehimleme ise yumuşak lehimden farklıdır. Örneğin, sert lehimin alaşımının ergime ısısı genel olarak 540°C'den yüksek olmaktadır. Ana malzeme bu yöntemde katı halde kalırken, bazı durumlarda işlem sıcaklığını artırmak gerekebilir. İşlem sıcaklığı bu durumda 540°C -1620°C arasındadır. Hem yumuşak ve hem de sert lehimlemede, metalurjik bağ oluşur. Gerekli olduğunda veya lehimin reaktif olması durumunda, hava yerine inert gaz veya indirgeyici gaz kullanımı mümkündür veya vakum lehimleme atmosferinde gerçekleşir. Eğer lehimin ergime sıcaklığı ana malzemenin sıcaklığına yakınsa, bu durumda, ana altlık malzemenin lehimin altında kalan kısmı, lehimle beraber eriyebilir (Jadidi 2013).

### **2.4 Lehimlemede İşlem Basamakları**

Lehimleme işleminin oluşması için, lehimin kaplanacak yüzeyin tamamına yayılmasını sağlayacak yüzey enerjisini düşürücü pasta/flux, birleşmeyi sağlamak için uygun lehim alaşımı, lehim alaşımını eritmek için de ısı kaynağı şarttır. Lehimlenen yüzey ile ısı uygulanarak eritilen lehim alaşımı arasında reaksiyon olması gerekir.

Yumuşak veya sert lehimleme işleminin her ikisinde sırasıyla, ön yüzey temizleme ve yüzeye kimyasal pastanın uygulanması ve son olarak lehimleme aşamalarından oluşur. Ön temizleme, birleştirilecek olan yüzeydeki kaba kirlerin ve oksit esaslı tabakanın

kaldırılmasına yardımcı olur ve mekanik veya kimyasal olarak temizlenir. Çözücülerin yani pastaların veya dekapanların aktif bir şekilde yüzeydeki oksit tabakasını kaldırması beklenir. Bazı durumlarda, lehim alaşımının erken soğuması iç gerilim ile ilgili bir durum oluşturabilir bunu önlemek için lehimin ergime sıcaklığının yaklaşık olarak 20-30°C altında, birleştirilecek olan parçaların yüzeyine ön ısıtma işlemi uygulanır. Islanabilirliği artırmak için de ön lehimleme işlemide bazen ön ıslatma amacıyla gerçekleştirilir. Ön ıslatma/kaplama işlemi genellikle oksitlenmesi daha güç metallerde kullanılır. Kalay gibi metaller ön ıslatma için yaygın olarak kullanılır. Lehimleme üç adımda gerçekleşir. İlk olarak lehim substrat malzemenin üzerinde ergitilir ve arayüzey yüzey gerilimini dengelemek için  $\theta$  temas açısıyla yüzeye yayılır. Altlık malzemesi ergimiş lehim ile metalurjik bir bağ yapar ve ara yüzeyde yeni bileşimde bir difüzyon tabakası oluşturur. Şekil 2.1'de lehimleme işlemi gösterilmiştir. Lehimleme sonrasındaki soğutma, daha çok lehimlenecek komponentlerin termal dayanımları göz önünde bulundurularak veya arzu edilen mikroyapı için kontrollü olarak gerçekleştirilir (Yavuz 2015).



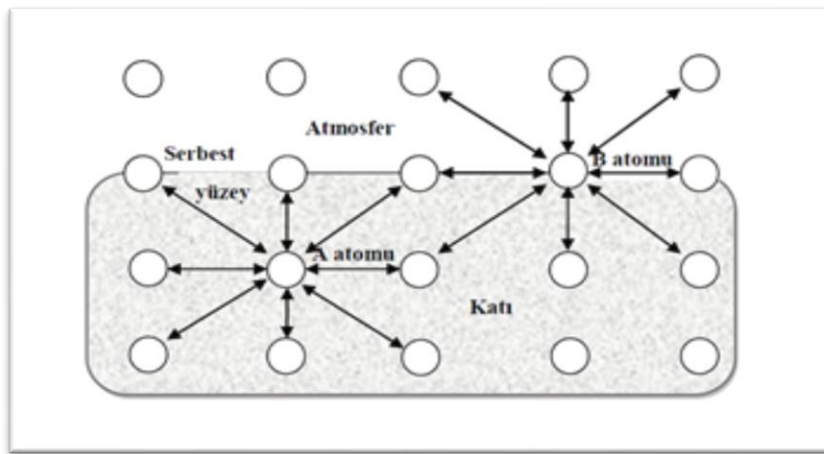
**Şekil 2.1** Lehimlemede Aşamaları, a) Lehimin Altlık Üzerinde Ergitilmesi, b) Çözünmesi c) İntermetalik Bileşik Tabakasının Oluşması.

## 2.5 Lehimleme Parametreleri

Lehimlemede bağlantı kalitesini etkileyen pek çok kontrol edilebilen faktörler mevcuttur. Bu faktörlerin lehimdeki önemi ve üzerlerinde etkin parametreler ortaya çıkarsa, lehimleme uygulamasının kaliteside artar. Lehimleme birleşmesini etkileyen faktörler, malzemenin yüzey gerilimi, malzemelerin yüzeyi ıslatma kabiliyeti, kapiler kuvvet etkisiyle lehim aralığını doldurma kapasitesi, yüzey pürüzlülüğü, lehimlemede yürüme aralığı, lehimleme sıcaklığı, lehimlemede ısıyı tutma zamanı, metallerin metalurjik bağ yapmak için çözünmesi, yüzey hazırlığının türü ve etkisi ve ayrıca dolgu alaşımlarındaki elementlerin buharlaşma basıncı önemli bir etkendir (Uzun 2002).

### 2.5.1 Yüzey Enerjisi ve Yüzey Gerilimi

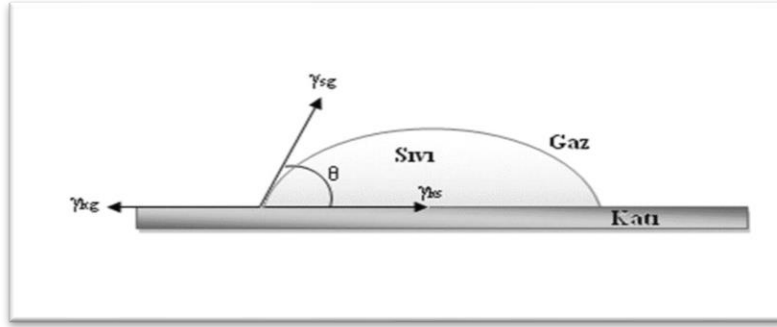
Bir katının veya sıvının yüzey enerjisini tanımlayabilmek için, malzeme yüzeyindeki atomların etki eden atmosfer ile etkileşimi göz önünde bulundurulması gerekir. Şekil 2.2’de katı bir malzemenin yüzeydeki ve altındaki atomların birbirleri ile etkileşimi şematik olarak gösterilmiştir. Katının içerisindeki atomlar (A) komşuları olan diğer (A) atomlarıyla temas halinde olduğundan sahip oldukları enerji seviyesi dengededir. Yüzeydeki atom (B) ise, en az bir eksik komşu atomdan dolayı A atomlarına göre enerji paylaşımı açısından daha kararsızdır. Yüzeydeki atomlar doğal olarak çevreleyen atmosferde bulunan gaz atomlarıyla da temas halindedir. Yüzey atomunun (B) sahip olduğu potansiyel enerjisi, içerdeki (A) atomunkine göre daha yüksektir. Yüzeydeki atomların sahip olduğu enerji, bu katının yüzey enerjisi olarak tanımlanır (Uzun 2002).



Şekil 2.2 Bir Katının Yüzey Enerjisini Tanımlamak İçin Atomlar Arasındaki Etkileşimi Gösteren Şematik Diyagram (Uzun 2002).

### 2.5.2 Malzemelerin Islatma Kabiliyeti

Lehimleme işleminde, ilave dolgu metali ergir fakat ana metal ergimez. Dolayısıyla sıvı ilave dolgu metalinin katı ana metali ıslatma kabiliyeti, birleşmenin gerçekleşip gerçekleşmeyeceğini bizlere gösteren en önemli parametredir. Islatma işlemini tanımlamak için, sıvı bir damlanın katı bir yüzey üzerinde olduğu düşünülmektedir (Uzun 2002). Altlık üzerindeki lehim damlası üzerinde aktif olan yüzey kuvvetleri Şekil 2.3’de verilmiştir.



Şekil 2.3 Bir Damla Üzerinde Etkin Olan Ara Yüzey Gerilimi ve Temas Açısı ( $\theta$ )

Burada,

- $\gamma_{SV}$ : katı/buhar arayüzeyinde yüzey gerilimi.
- $\gamma_{LV}$ : sıvı/buhar arayüzeyinde yüzey gerilimi.
- $\gamma_{SL}$ : katı/sıvı arayüzeyinde yüzey gerilimi.

Yüzey ıslatma, gaz basıncıyla sıvının bir yüzey üzerinde yayılması olayıdır ve yüzeyi ıslatma kolaylığı, ıslatılabilirlik olarak bilinir. Bir sıvı damlası tarafından altlık katı malzemenin ıslatılabilirliği, sıvının katı üzerine yaptığı temas açısına doğrudan bağlıdır. Genel olarak ıslatmada ölçü olarak, Young-Dupre temas açısı ( $\theta$ ) kullanılmaktadır. Bu temas açısı ( $\theta$ ), Şekil 2.3’de görüldüğü etkin olan gibi üç arayüzeyin gerilmelerinin dengesi tarafından belirlenir (Bozmaoğlu 2015).

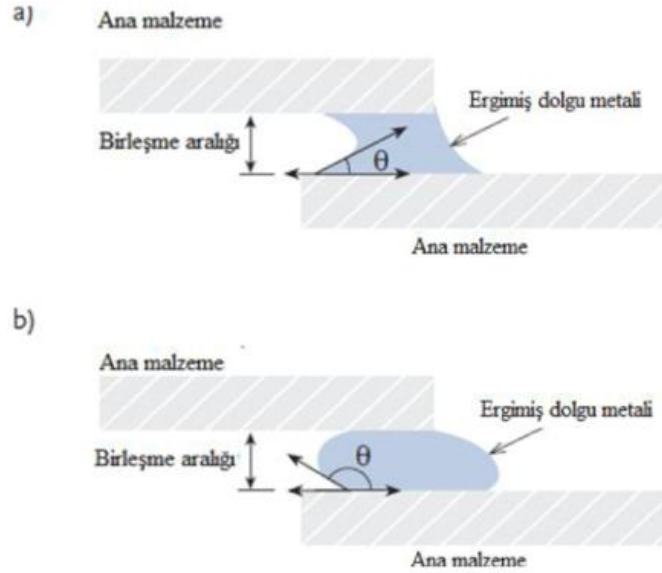
$$\gamma_{SV} - \gamma_{SL} = \gamma_{LV} \cos\theta \quad (2.1)$$

$\theta$  ıslatma açısının 90 dereceden küçük olması ıslatmayı kolaylaştırır. İyi bir ıslatmanın ve sorunsuz bir bağlantının oluşabilmesi için, pratik uygulamada  $\theta < 60^\circ$  olması gerekir. Denklem 2,  $\theta < 90^\circ$ ’nin ,  $\gamma_{SV} > \gamma_{SL}$  koşuluna uyduğunu göstermektedir. Daha iyi bir ıslatma şu şekilde sağlanabilir:



- $\gamma_{SV}$ 'nin arttırılmasıyla,
- $\gamma_{SL}$ 'nin azaltılmasıyla ve
- $\gamma_{LV}$ 'nin azaltılmasıyla.

$\theta \leq 90^\circ$  olduğu zaman yüzeyde lehim tarafından bir ıslatma gerçekleşir ancak  $\theta \geq 90^\circ$  olursa, o zaman yüzeyde ıslatma yoktur veya altlık malzemeyi ıslatma oldukça azdır. Farklı metallerin ıslatma kabiliyeti az, uygun ve iyi olarak sınıflandırılırlar. Yani, Ti, Zr ve alaşımları, seramikler, cam ve titanyum karbür gibi bileşik, element ve alaşımlar az ıslatma kabiliyetine sahiptir. Al, dökme demir, W, Mo, Ta ve refrakter oksitler oluşturan metalleri %5'den fazla içeren alaşımlar uygun bir ıslatma değerine sahiptir. Cu, Ni, Co-alaşımları, çelikler ve değerli olan metallerin ıslatma veya lehimleme kabiliyeti oldukça iyidir (Jadidi 2013).

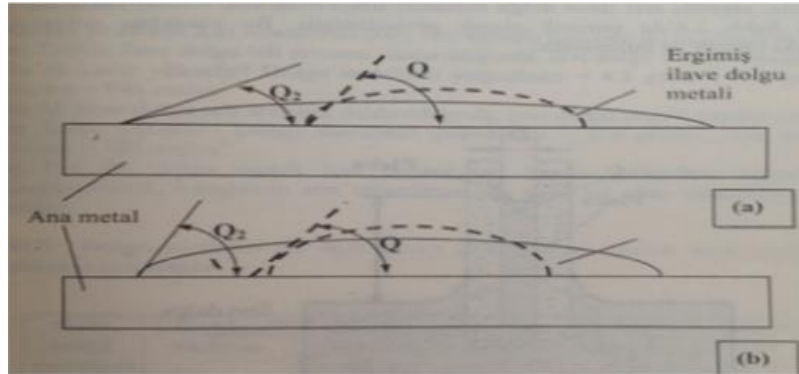


**Şekil 2.4**  $\theta$  Temas Açısı ve Yüzey Gerilimi Arasındaki İlişki, a) İyi ve b) Kötü ıslatma Örnekleri (Jadidi 2013).

### 2.5.3 İlave Dolgu Metalinin Yayılma Özellikleri

Sıvının damlacığın kenar yüzeyinin, altlık metal yüzeyine iyice yapışıp yapışmaması, sıvı dolgu metalinin yüzeydeki yayılma özelliğini belirleyen bir ölçüdür. Yüzeyde yayılma, ergimiş metal sıvısının ıslatma veya kontak açısı ( $\theta$ ) ile ilgili bir özelliktir. Şekil 2.4a'da görüleceği gibi, ıslatma açısı ( $\theta$ ) sıfır dereceye yaklaştıkça sıvı, katı altlık yüzeyinde tamamen yayılır ve  $\theta$  açısı sıfır dereceden uzaklaştıkça sıvı, katı yüzeyinde tamamen yayılır.  $\theta$  kontak açısı sıfır dereceden uzaklaştıkça, katı yüzeyindeki ergimiş damlanın yüzey alanı bir maksimum değere ulaşır ve yüzeye yayılma yavaşlar (Şekil 2.4(b)).

Yayılma oranı, sıvının yüzey enerjisi tarafından kontrol edilen viskozitesi tarafından engellenir (Uzun 2002).



**Şekil 2.5** Katı Bir Yüzey Üzerinde Sıvı Metalin Yayılmasının Gösterilmesi a) Ana Metal Yüzey Enerjisi Düşük Ve Ergimiş İlave Dolgu Metalinin Yüzeyiyle Küçük  $\theta$  Açısı Oluşturmuş, b) Ana Metal Yüzey Enerjisi Yüksek Ve Ergimiş İlave Dolgu Metalinin Yüzeyiyle  $\theta$  Açısı Artmış Ve Sıvı Metalin Yayılması Azalmış (Uzun 2002).

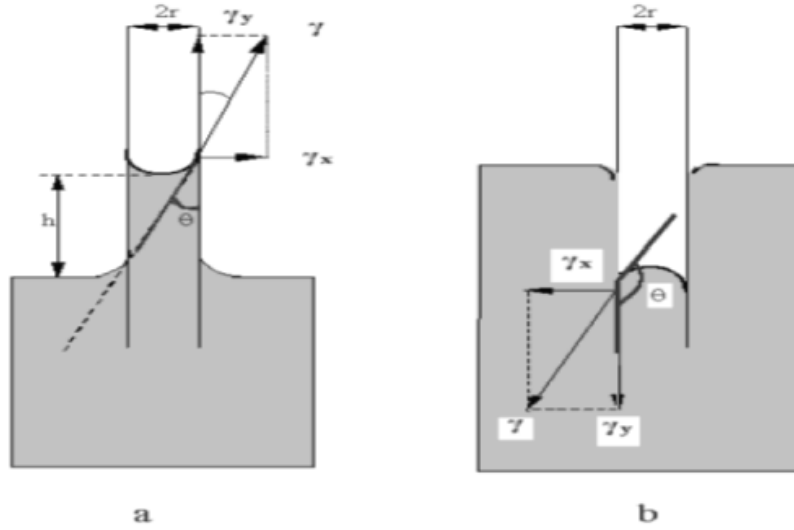
#### 2.5.4 Aktif Kapiler Kuvvet İle Lehimleme Aralığı Arasındaki İlişki

Kapilerite veya akış olayı, lehimleme için düşünülecek olursa, altlık parçalarının yüzeylerinin ergimiş ilave metalle tamamen ıslatılarak iyi bir lehimleme elde edilmesini sağlayan fiziksel olgudur. Doldurulması gereken boşluklar, etkili bir kapiler akışa olanak verecek şekilde tasarlanmalıdır.

Kapilerite, sıvı metalin moleküllerinin birbirlerine ve katı metal moleküllerine karşı gösterdiği ilginin bir sonucudur. İyi tasarlanmış bir birleştirmede ve koruyucu bir atmosfer altında çalışıldığında ilave metal tamamen birleşme boşluğuna çekilerek hiçbir açıklık bırakmadan doldurma işlemini tamamlar. Bu şekilde katılmış lehim malzemesi titreşime veya şok darbelerine maruz kalsa dahi sızdırmazlık özelliğini sürdürür. Dolayısıyla kapiler çekim, sızdırmaz birleştirmelerin yapılmasını kolaylaştırır. Kapiler çekim etkisi aynı zamanda, sıvıların küçük ve dar alanlarla sınırlanmış yüzeylerdeki akışını da belirleyen etkidir (Kaya 2008).

Eğer ıslatma kontak açısı ( $\theta$ )  $90^\circ$ 'den küçük olursa, yüzey enerjisi pozitif bir kapiler kuvvet etkisiyle artacaktır. Birbirine paralel ve dik pozisyonda, aralarında D mesafesi kadar bir aralık olan iki plaka sıvı içerisine daldırılırsa bir kapiler kuvvet meydana gelir. Bu kapiler kuvvet altında, sıvı belirli bir h mesafesi kadar plaka boşluğu arasında yükselecektir. Aralarında belirli bir mesafe bulunan plakaların, ergimiş sıvı ilave dolgu

metaline daldırıldığında, sıvının yükselme miktarı Şekil 2.10’da şematik olarak gösterilmiştir. Bu yükselme miktarı aşağıdaki formülle bulunur (Uzun 2002).



Şekil 2.6 Kapiler Yükselme (a) ve Azalma (b)

$$h = \frac{2\gamma\cos\theta}{\rho gr} \quad (2.2)$$

burada:

$\gamma$ : sıvı yüzey gerilimini ( $J/m^2$  ya da  $N/m$ )

$\theta$ : temas açısını

$\rho$ : sıvının yoğunluğunu ( $kg/m^3$ )

$g$ : yer çekimi ivmesini ( $m/s^2$ )

$r$ : tüpün yarıçapını (m), ifade eder (Tosun 2013).

### 2.5.5 Lehimleme Aralığı

Lehimleme aralığı, birleştirme mukavemetini etkileyen en önemli faktördür. Şekil 2.7’de makaslama mukavemeti ile lehimleme aralığı arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram verilmiştir. Bu diyagramda üç farklı bölge mevcuttur. Dar lehimleme aralıklarında, lehimleme aralığı küçüldükçe, makaslama mukavemeti de azalmaktadır. Bu makaslama mukavemeti, birleşme bölgesindeki dolgu metali içerisinde gözeneklerin bulunmasına, dolgu metalinin uygunsuz akışının sebep olduğu eksik dolgu metalinin varlığına bağlanabilir. Eğer arayüzeyde metallerarası bileşiklerde var ise, dar lehimleme aralığında

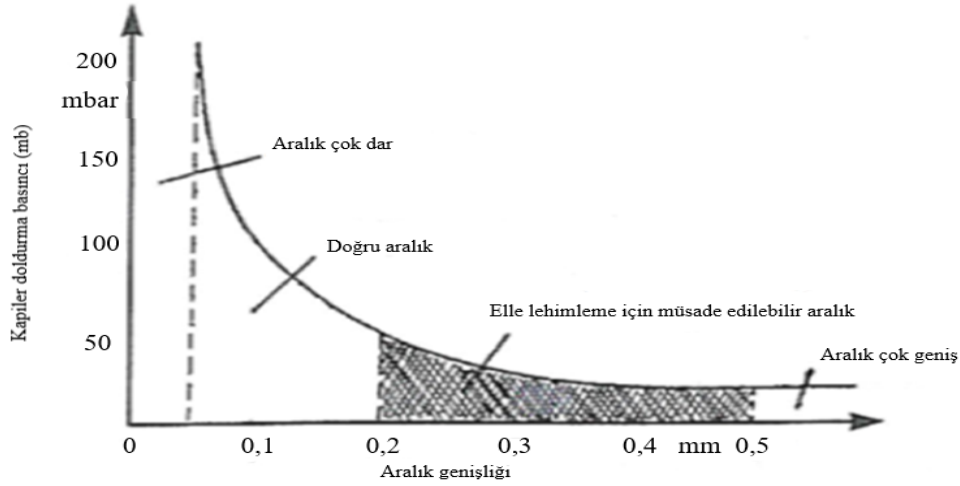
hacimsel olarak gevrek fazların oranı da fazla olacaktır. Bu da makaslama mukavemetini olumsuz yönde etkileyecektir. İkinci bölge ile gösterilen lehimleme aralığında, makaslama mukavemeti artmakta olup, hemen hemen ana metalinkine yakın bir hale gelmektedir. Mukavemetteki bu artış, dolgu metali ile anametalin iyi bir metalurjik bağ oluşmasının meydana getirdiği bir artıştır. Üçüncü bölge ile gösterilen lehimleme aralığında, yetersiz dolgu metalinin mevcudiyeti ve gözeneklerin varlığı da bu bölgedeki makaslama mukavemetini azaltacaktır. Ayrıca dolgu metali ile anametal karışımının yetersiz olması nedeniyle, mukavemet değeri sadece dolgumetalinin mekanik özelliklerine bağlı kalacaktır (Uzun 2002).



Şekil 2.7 Lehimleme Bölgesinin Mukavemeti Üzerine Lehimleme Aralığının Etkisinin Şematik Gösterilmesi.

Lehimleme aralığı ile kapiler doldurma basıncı arasında bir ilişki söz konusudur . Lehimleme aralığı büyüdükçe, kapiler dolgu basıncı düşmektedir. Şekil 2.8’de lehimleme aralığı ile kapiler dolgu basıncı arasındaki ilişkiyi gösteren bir şematik diyagram verilmiştir. Diyagramda görüleceği gibi lehimleme aralığı 0,2mm’yi geçince , kapiler doldurma basıncı 50 milibar (~0,05 atmosfer ) değerine düşmektedir .Uygun bir lehimleme aralığı 0,03 - 0,2 mm arasında seçilmelidir. Lehimleme işleminde 0,5mm’den büyük lehimleme aralığı uygun değildir (Uzun 2002).

- Yumuşak Sert lehimde: 0,1...0,25 mm
- Sert lehimde: 0,05...0,2 mm seçilen yönteme bağlı olarak lehimin optimum kalınlığıdır.



Şekil 2.8 Kapiler Aralık Basıncı Değeri İle İki Plaka Arası Lehimleme Aralığı Arasındaki İlişki (Uzun 2002).

### 2.5.6 Lehimleme Sıcaklığı ve uygulama süresi

Lehimin sıcaklığı ve bu sıcaklıkta tutulma süresi, ıslatma ve alaşımınma özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir ve sıcaklık arttıkça bu özellikler de artmaktadır. Lehimleme sıcaklığı ilave metalin ergime noktası üzerinde ancak ana metallerin ergime sıcaklıkları altında malzemelere, yonteme ve üründen beklenen özellikleri sağlayacak şekilde seçilmelidir. Genellikle ısıtma enerjisi maliyetlerini azaltmak, ana metaller üzerindeki ısı etkisini en aza indirmek (tane büyümesi, temperleme, çarpılma, vb.), ana metal – ilave metal etkileşimlerini azaltmak ve fikstür vb. lehimleme ekipmanlarının ömrünü arttırmak için mümkün olduğu kadar düşük lehimleme sıcaklıkları ve sıcakta tutma süreleri tercih edilir. İlave metallerin ergimesi sürecinde lehimlemeyi etkileyen önemli bir faktör de likidasyon'dur. Ergime sırasında sıcaklık solidüs noktasından likidüs noktasına doğru artarken, sıvı ve katı ilave metal fazlarının bileşimleri değişir. Eğer ilk ergiyen ilave metal parçaları akıp birleşme bölgesinden uzaklaşırsa, kalan katı fazlar orijinal bileşimden daha büyük bir ergime derecesine sahip olur ve ergimeden bölgede kalabilir. Bu olaya "likidasyon" adı verilmektedir.

Dar ergime aralıklı ilave metaller ayrışma eğilimi göstermez ve ana metalde çözünme ve difüzyon hızları düşük olduğu sürece aşırı dar birleşme boşluklarında çok serbestçe akıp ilerlerler. Geniş ergime aralıklı ilave metallerin hızlı ısıtılması veya birleşme bölgesine ana metaller lehimleme sıcaklığına çıkarıldıktan sonra uygulanması bu ayrışmayı (likidasyonu) en aza indirmektedir. Bununla beraber likidasyon tamamen ortadan

kaldırılmaz. Dolayısıyla daha yavaş akış eğilimi gösteren geniş ergime aralıklı lehim malzemeleriyle çalışıldığında, daha geniş birleşme boşluklarına ihtiyaç duyulur (Varol 2013).

### **2.5.7 Lehimlemede Yüzey Temizliği**

Kaliteli bir lehim bağlantısı elde edebilmek için iş parçası yüzeylerinin temiz ve oksitlerden arındırılmış olması gereklidir. Ana ve ilave metal yüzeylerindeki yağ, kir ve oksitler lehimlemeden önce dikkatle temizlenmeli ve lehimleme işlemi temizlemeden mümkün olduğu kadar kısa bir süre sonra yapılmalıdır. Temizleme süresi kullanılan metallere ve içinde buldukları koşullara bağlıdır. Temizleme işlemleri genellikle mekanik ve kimyasal olarak iki gruba ayrılır. Kimyasal temizleme yağ ve gres kalıntılarını ortadan kaldırmada en etkili yöntemdir. Oksitleri ortadan kaldırmak için de kullanılırlar. Mekanik temizleme yöntemleri taşlama, tel fırçayla fırçalama veya herhangi bir talaşlı işlem olabilir. Ergimiş ilave metalin akışını etkileyen bir diğer önemli faktör yüzey pürüzlülüğüdür. Genellikle düzgün bir yüzeyi ıslatabilen bir sıvı pürüzlü bir yüzeyi daha da fazla ıslatır. Pürüzlü bir yüzey akışı laminardan türbülansa çevirir ve dolayısıyla akış süresini uzatarak alaşımın ve diğer etkileşimlerin oluşma olasılığını artırır. Bazı durumlarda yüzey pürüzlülüğü birleşme bölgesindeki homojenliği sağlar (Varol 2013).

### **2.6 Lehimlemenin Termal Döngüsü**

Tipik bir lehimleme işlemi çevrimi ön ısıtma, ısıtma ile lehimin ergime sıcaklığına çıkarma, lehimleme ve soğutmadan oluşur. Ön ısıtma işlemi, lehimin ve altlık malzemenin ergime sıcaklıklarının altında bir değerdedir. Birleştirilecek olan parçaların kalınlığı ön ısıtma süresini ve bekleme süresini de belirler. Lehimlenecek parçalar hızlı ama homojen bir şekilde ısıtılarak lehimin düzgün yayılmasına imkan sağlamalıdır. Isıtma hızının yüksekliği, ısıl gerilimden dolayı şekil bozukluğu yaratma riski taşıdığı için bunun sınırlandırılması gerekir. Geometri, genel boyut, boyutlar arasında büyük fark olan veya çatlama hassas olan parçalarda birden fazla bekleme aşaması şarttır. Lehimlemedeki geçen süre, lehimin parça üzerinde yürümesine izin verecek kadar minimum bir süre olmalıdır. Teorik ve gerçek ölçümler, lehimin ergimeyi takiben parçalar arasındaki boşluğu doldurma işleminin 0.1 sn kadar kısa bir süre içinde

gerçekleştiğini gösterir. Lehimin kontrollü bir şekilde soğutulması, bağlantının iç gerilimsiz bir şekilde katılaşmasını sağlar (Jadidi 2013).

## 2.7 Yumuşak Lehimleme

Yumuşak lehimleme  $T_m \leq 450^\circ\text{C}$  sıcaklıklarda, bir lehimin ergidiği ve birleştirilecek parçaların temas yüzeyleri arasına lehimin yüksek sıcaklığın vermiş olduğu kapiler etkiyle yayıldığı bir birleştirme yöntemidir. Eritme kaynağı yerine lehimleme kullanılması için; Metallerin kaynak kabiliyetinin kötü olması, farklı metallerin birleştirilmesi, yoğun kaynak ısısının, birleştirilen parçalara zarar verebilmesi, bağlantı geometrisinin kaynağa izin vermemesi, yüksek dayanım gerekli olmaması şartlarının bir ya da daha fazlasının bulunması gereklidir.

Yumuşak lehimlemede anametaller erimezken, lehim ise altlık ile metalürjik bağ yapmak üzere esas metali ıslatır. Yumuşak lehimleme, sert lehimleme veya eritme kaynağına göre daha düşük enerji girdisine ihtiyaç duyması, değişik ısıtma yöntemlerinin kullanılabilmesi, bağlantıda iyi elektrik ve ısıl iletkenlik sağlaması ve tamiri, yeniden yapılmasının kolaylığı avantajlarına sahiptir. Ancak, dizaynı değişmedikçe bağlantı dayanımının düşük olması kaçınılmazdır; yüksek sıcaklıklarda bağlantının muhtemelen zayıflaması veya bazen ergimesi de yumuşak lehimlemenin dezavantajlarıdır. Yumuşak lehim alaşımları genel olarak, her ikisi de düşük  $T_m$ 'ye sahip olan, Sn ve Pb alaşımlarıdır. Kurşun zehirleyicidir ve çoğu yumuşak lehim alaşımındaki yüzdesi en aza indirilmiştir. Kalay ise yumuşak lehimleme sıcaklıklarında kimyasal olarak aktiftir ve başarılı bir bağlantı için ıslatmayı destekler. Cu'nun yumuşak lehimlenmesinde, Cu ve kalay, bağlantıyı güçlendiren metallerarası bileşikler oluşturur. Gümüş ve antimon da bazen yumuşak lehim alaşımı olarak kullanılmaktadır.

Lehimleme işlemi sırasında metallerin ısıtılması, yüzeylerde oksit oluşumunu hızlandırır. Bu oksitler yok edilmelidir, aksi takdirde ilave metalin ana metalleri ıslatmasını ve bağlantıyı engelleyecektir. Lehimleme işlemi öncesi metal yüzeylerine uygulanan kimyasal bir bileşik olan dekapan kaplaması yüzeyleri havadan ve oksit oluşumundan koruyacaktır. Dekapanlar veya pastalar, lehimleme sıcaklığında ergime sağlayarak, yüzeydeki oksit filmlerini sökme ve oksitleri ana malzeme yüzeylerinden uzaklaştırma, ayrıca ısıtma sırasında yüzeydeki oksitlenmeyi engelleme, yüzeylerdeki yüzey enerjisini

düşürerek ıslatmayı artırma ve korozif ve iletken olmayan atık oluşturma görevleri vardır (Tosun 2013).

### 2.7.1 Yumuşak Lehim Alaşımlarında Aranılan Özellikler

Genel olarak bir lehim alaşımının elektriksel, mekanik özellikleri ve ergime sıcaklığı istenen seviyede olmalıdır. Yaygın olarak kullanılan Pb-Sn alaşımlarının alternatifleri tanımlamaya çalışıldığında, bu alaşımların özelliklerinin, Pb-Sn alaşımlarıyla kıyaslanabilir veya daha üstün olması gerekmektedir. Lehim alaşımlarının ana özellikleri üretilebilirlikleri, güvenilirlikleri ve çevresel uygunluklarıdır. Bunların yanında ergime sıcaklıkları, lehimlenebilirlik, akıcılık, yoğunluk, ısı ve elektriksel özellikler, korozyon ve oksidasyon davranışları, yüzey gerilimi, yeniden çalışılabilirlik ve maliyet gibi, lehim alaşımının lehimleme ile alakalı çoğu fiziksel özellikleri de kapsamaktadır. Ayrıca kurşunsuz bir lehim alaşımı, çevre ve insan sağlığına zararsız olmalıdır. Çizelge 2.2’de kurşunsuz lehim alaşımlarının özellikleri verilmektedir (Omaç 2016).

Çizelge 2.2 Lehim Alaşımlarının Önemli Özellikleri.

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

### 2.7.2 Yumuşak Lehim Alaşımı

Yumuşak lehim teli kalay (Sn) ve kurşun (Pb) alaşımından oluşur. Kurşun içeren lehimler (Pb-Sn) hem mükemmel özellikleri hem de ekonomik olmaları sebebiyle uzun yıllardır yaygın olarak elektronik endüstrisinde kullanılmaktadır. Kurşunun zehirliliği ile ilgili endişeler, elektronik cihazlar ve bileşenlerinde kurşun içeren kullanımında yasaklamaya sonuçlanmıştır. Çevre kirliliğini önleme tedbirleri çerçevesinde Avrupa Birliği (AB), 1



Temmuz 2006 tarihinden itibaren bir takım zararlı maddelerin kullanımının yasaklanmıştır. 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 (RoHS-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. Ağırlıkça % 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. Pb-Sn 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 (Bozmaoğlu 2015).

### **2.7.3 Kurşunlu Lehim Alaşımı**

Lehimlemede kurşun- kalay alaşımları çok yaygın olarak kullanılır. Kurşun-kalay kaplı metal ve diğer kurşun alaşımlı dökümler, kalay, bakır ve çelik gibi metallerle bağ yapma kabiliyeti açısından daha etkilidir. Kurşun alaşımları, düşük sıcaklıkta ergiyen alaşımların geniş bir grubunu oluşturmaktadırlar. Kalayla her oranda alaşım oluşturmaya yatkındırlar. Bu alaşımlar, endüstride yaygın bir şekilde kalay-kurşun-lehimi olarak da kullanılmaktadır. Lehim bir çok mühendislik malzemesinin temelini oluşturur. Bundan dolayı katılaştırma işlemi, fiziksel özellikler ve mikro yapı gibi özelliklerin deneysel ve teoriksel olarak incelemeleri yapılmaktadır. Kurşun-kalay lehim bilgisayar endüstrisinde çeşitli mikro elektronik bağlantılar için kullanılan en bilindik malzemedir. Kurşun-kalay lehimlerinin farklı bileşimleri gelişmiş yapısal ve elektronik uygulamalar için önemli bir potansiyeldir. Lehim alaşımlarına yoğun ilgi süper yüksek plastik özellikleri, düşük erime sıcaklığı, ısınabilirlik ve iyi termal ve elektriksel iletkenlik özellikleri ve düşük

maliyetinden dolayıdır. Kalay hava ile temasta kolaylıkla oksitlenmez, korozyona karşı da dirençlidir. Bu özelliğinden dolayı diğer metallerin kaplamasında kullanılır. Yoğunluğu  $7.28 \text{ g/cm}^3$  olup erime sıcaklığı  $232^\circ\text{C}$ 'dir.  $1200^\circ\text{C}$  sıcaklıkta fazla miktarda buharlaşmaya başlar, tetragonal fazlı olan içyapı yumuşaktır ve kolayca deforme olabilir. Kalay pek çok metalle alaşım yapar, özellikle erime noktası yüksek metallerle serbest olarak alaşım yapar. Sn kaplandığı metalin oksitlenmesini önler, kolaylıkla şekil verilebilir ve lehimlenebilir özelliğiyle metalin sonraki şekil değiştirme işlemlerine olanak sağlar.

Sn ortam sıcaklığında hava, su ve zayıf asitler ile bazlara karşı dayanıklıdır. Kalay ayrıca lehim alaşımı, bronz, kızıl döküm ve beyaz metal alaşımlarının imal edilmesinde kullanılır. Kurşun bronzu, içindeki kalay elementi, yatak malzemesinin Brinell Sertliğini yükseltir. Aynı zamanda kalay tabanlı alaşımlar son zamanlarda anotlara göre daha yüksek depolama kapasitesiyle lityum iyon bataryalarına potansiyel alternatif anot malzemesi olarak yoğun bir şekilde araştırılmaktadır.

Konserve kutularında, erime noktaları düşük olduğu için yangın söndürme tesisatlarında kullanılır. Otomotiv endüstrisinde de sürtünmesiz motor yataklamalarında, kaportanın kaplanmasına, radyatör içerisinde, yağ ve hava filtrelerinde de kullanılır. Sn'nin uçak ve gemi endüstrisi ile elektronik ve elektrik sanayinde çok geniş bir kullanım alanı vardır. Matbaacılık, mutfak malzemeleri ve cam endüstrisinde, kimya sanayinde boya, parfüm, sabun, poliüretan üretiminden diş macunu üretimine kadar geniş bir alanda kullanılmaktadır.

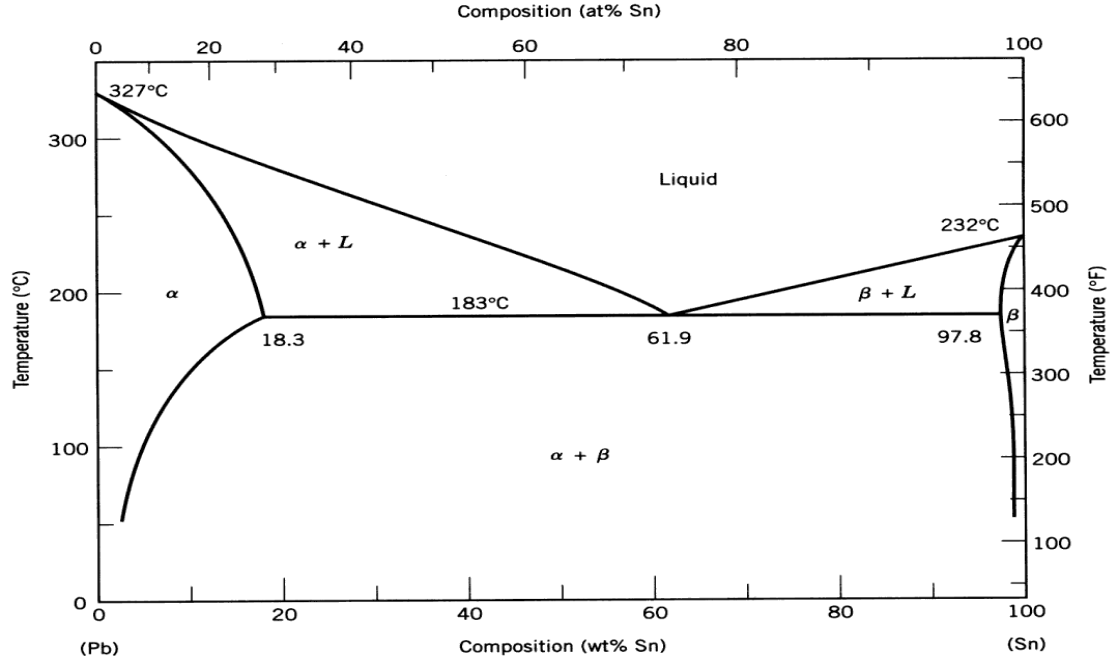
Pb'un yoğunluğu  $11.34 \text{ g/cm}^3$  olup, erime sıcaklığı ise  $327^\circ\text{C}$ dir. Kristal yapısı yüzey merkezli kübiktir. Yumuşak ve esnek olan ve iyi işlenebilen kurşun mekanik olarak dayanımı azdır. Dayanımı artırmak için, başka elementlerle alaşımlandırılması gerekir. Elektriği Sn'a göre daha az iletir ancak korozyona karşı dayanıklıdır. Pb bazlı alaşımların, ikili ve üçlü alaşımları kolay ve güvenilir dökülebilmesi, uygun sertlik ve aşınma direnci gibi özelliklerinden dolayı çok uzun zamandır yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yaygın özellikle modern toplumda, mikro elektronik parçalarda ve çoğunlukla lehim tabanlı kullanılmaktadır.

Kurşun zehirli olduğundan, yiyecek maddeleri ile temas ettirilmemelidir. Kurşunun başlıca kullanım yerleri yatak metalleri, düşük erimeli alaşımlar, lehim imalatı, mermi, akü plakaları, kablo ve matbaa harfi yapımıdır. Büyük miktarda kurşun, Cu döküm alaşımları için kullanılır. Kurşun aşınmayı minimize edici bir alaşım elemanı olarak kullanılabilir. Ses geçirmeyen stüdyo duvarlarında kullanılır, korozyona karşı dayanıklı olmasından dolayı aşındırıcı sıvıları saklamakta kullanılır. Radyasyonu en az geçiren madde olmasından dolayı X-ışını ekipmanlarında ve nükleer santrallerde radyasyon kalkanı olarak kullanılır (Ekici 2014).

**Çizelge 2.3** Lehim Bileşim Oranları (MEB 2011a).

<b>Yumuşak Lehim Çubuklarının Bileşimleri</b>					
	<b>Lehim Çubuk Bileşimi %</b>			<b>İşlem Sıcaklığı °C</b>	<b>Kullanım Yerleri</b>
	<b>Sembol</b>	<b>(Sn)</b>	<b>(Pb)</b>		
Kurşun lehim 98,5	LPb 98,5	1,5	98,5	320	Yük ve kuvvet istenmeyen yerlerde
Kalay lehim 25	LSn 25	25	75	257	Alev ile lehim yapılan yerlerde
Kalay lehim 35	LSn 35	35	65	237	Su oluklarının lehiminde
Kalay lehim 40	LSn 40	40	60	223	Hassas parçalarda
Kalay lehim 60	LSn 60	60	40	185	Elektrik kablolarının lehimi
Kalay lehim 90	LSn 90	90	10	219	Gıda maddeleri aletlerinin lehimi
Özel lehim		63	37	183	Düşük sıcaklıktaki hassas parçalarda
Diğer lehimler				60-100	Yangın güvenliği tesisatlarında

Lehim tellerinin mekanik ve fiziksel özellikleri, alaşımdaki elementlerin oranlarına göre farklılık gösterir. Bu özellikler lehimin kullanıldığı yerlere ve birleştirmelere göre de değişmektedir. Çizelge 2.3’de lehim bileşim oranları ve kullanım yerleri verilmiştir (MEB 2011a).



Şekil 2.9 Kurşun–Kalay Faz Diyagramı (Karaaslan 2010).

Lehim alaşım sistemleri periyodik tablonun sonlarında bulunan, düşük erime noktalı, yüksek atom ağırlıklı metallere dayandırılır. Bu alaşımların bileşenlerinin erime noktaları 40°C'den 220°C'ye kadar değişen bir sıcaklık aralığına sahiptir, fakat bütün klasik kurşun-kalay lehimleri 180-220°C arasında erir. Pb-Sn ötektik diyagramı Şekil 2.9'da verilmiştir (MEB 2011a).

Kalayın kurşunla olan alaşımına yumuşak yada kalay lehim adı verilir. İki çeşit Pb-Sn lehim alaşımı önemlidir. İzotermik olarak eriyen, ötektik sıcaklığına (183°C) dayananlar ve bir sıcaklık aralığının üzerinde eriyen, ötektiğin katılaşmasından önce çökelen proötektik kalay. Saf metaller ve %63 Sn- %37 Pb'deki ötektik lehim hariç, bütün lehim alaşımlarının erime sıcaklıkları alaşım bileşimlerine bağlı olarak değişir. Her alaşım farklı özelliklere sahiptir. En genel katkı elementleri Al, Sb, As, Bi, Cd, Cu, Fe, Ni, Zn, P ve S (Altın 2010).

#### 2.7.4 Kurşunsuz Lehim Alaşımları

Pb-Sn lehim alaşımlarına bir alternatif olarak, endüstride birçok kurşunsuz lehim alaşımı önerilmektedir. Bu kurşunsuz lehim alaşımları ikili, üçlü ve dörtlü alaşım sistemlerinden oluşur ve halihazırda ötektik kurşunsuz lehimlerin çoğu Sn bazlıdır. Özel bir sınıf olarak Sn ile birlikte Au, Ag ve Cu gibi asil metaller içeren ötektik alaşımları da vardır. Sn ile

lehim yapmak için Bi, In, Zn, Sb ve Ge gibi elementler tercih edilmektedir. Çizelge 2.4’de lehim malzemesi olarak kullanılan bazı metal alaşımlarının özellikleri verilmektedir.

**Çizelge 2.4** Lehim Alaşımlarının Ötektik Sıcaklık ve Bileşim Özellikleri.

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

Kurşunsuz alaşım sistemlerinde en önemli element, kalaydır. Düşük ergime sıcaklığına sahiptir. Yayılma ve ıslatabilme yeteneği sebebiyle, kullanılan çoğu lehim alaşımının temel elementidir. Oda sıcaklığında deformasyon sertleşmesine uğramadan kolayca şekillendirilebilmektedir. Doğal beyaz kalay, tetragonal bir yapıya sahiptir. Allotropik olan beyaz kalay,  $\beta$ -Sn olarak bilinmekte ve 13°C sıcaklık da kararlıdır. Kalay 13°C altında ise elmas yapısına sahip ve çok gevrek olan  $\alpha$ -Sn veya gri kalay olarak bilinmektedir. Saf kalay ve alaşımları, oda sıcaklığında yeniden kristalleşebilmektedir. Saf kalay 5,3 BHN sertliğinde ve çok yumuşaktır. Kalayın en önemli özelliklerinden birisi de, yüksek korozyon direncidir. Atmosfer korozyonuna karşı direnci çok yüksektir. Oldukça fazla sayıda ikili alaşım sistemine sahiptir.

#### **Sn-Cu**

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

#### **Sn- Ag**

Sn-Ag lehim alaşımları, kurşun içeren lehim alaşımlarına alternatif diğer bir alaşım olarak geliştirilmiştir. Tipik Sn-Ag alaşımları, %3-%5 arasında gümüş içermektedir. Sn-Ag ikili sistemin ötektik bileşimi, Sn-3,5Ag’dür ve ötektik sıcaklığı 221°C dir. Sn-Ag ötektik alaşımı mukavemet, sürünme direnci ve bulk (kütle) malzemenin termomekanik yorulma

davranışı olarak, iyi mekanik özelliklere sahiptir. Yapılan bazı çalışmalarda bu alaşıma % 1 Zn ilavesi yapılarak, Sn-Ag alaşımının sürünme deformasyonu ve gerilme özellikleri iyileştirilmiştir. Yüksek sıcaklıklarda yüksek dayanıma ve güvenilirliğe sahiptir.

### **Sn- Bi**

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

### **Sn-In**

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

### **Sn-Zn**

Sn-Pb alaşımlarının alternatifini olarak geliştirilen bir alaşımdır. Kurşun kullanımının sağlık ve çevre güvenliği için uygun olmaması, önemli bir konu haline gelmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda, ergime sıcaklığının ötektik Sn-Pb alaşımına yakın olması (198°C) nedeniyle, Sn-9Zn kurşunsuz lehim alaşımları en cazip lehim alaşımları olarak görülmektedir. Ergime sıcaklığının ötektik Sn-Pb alaşımına yakın olması (198°C) Sn-Zn kurşunsuz lehim alaşımları cazip hale getirmektedir. HMK yapılı  $\beta$ -Sn ve hegzagonal yapılı Zn'den oluşan Sn-9Zn alaşımı, katı eriyikte ağ %1'den daha az Zn çözebilen ve 198°C' de eriyen bir alaşımdır . Sn-Zn ikili alaşımları, mükemmel mekanik özelliklere sahiptirler (Omaç 2016).

Lehim ek telinin eridiği ve birleştirdiği parçaların yüzeylerinde oluşturduğu en düşük yüzey sıcaklığına çalışma sıcaklığı denir. Lehim ek telinin eridiği ve birleştirdiği parçaların yüzeylerinde oluşturduğu en uygun sıcaklığa birleşme sıcaklığı denir. Çalışma sıcaklığı ile birleşme sıcaklığı birbiri ile orantılıdır. Hiçbir zaman çalışma sıcaklığı birleşme sıcaklığı üzerinde olmamalıdır. Çalışma sıcaklığının altındaki birleştirmelerde lehim ek teli erimiş olsa dahi uygun bir birleştirme sağlanmaz.

## 2.7.5 Yumuşak Lehimleme Tekniklerinin Uygulaması

Yumuşak lehimleme işleminde çeşitli ısı kaynağı kullanılırken, lehimleme işleminin sınıflandırılması, sadece ısıtmaya değil aynı zamanda işlemin yapılış şekli ile de adlandırılır. Örneğin, havya ile, elektrik dirençle, üfleçle, indüksiyon ve fırında lehimleme ısı kaynağına göre sınıflandırmadır. Buna karşın, daldırma ile yapılan lehimlede yapılış şekline göre sınıflandırmadır (Uzun 2002).

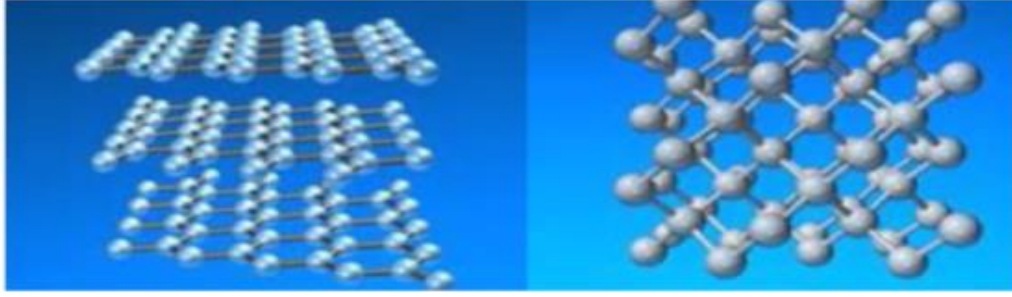
## 2.8 Aktif Nano Karbon

### 2.8.1 Karbon

Yeryüzünün en önemli elementlerinden olan karbon, yerkabuğunun yaklaşık % 0,2'sini oluşturur. Periyodik cetvelin 4A grubunda yer alır ve atom numarası 6'dır. Doğada bulunan karbonun üç izotopu ( $^{11}\text{C}$ ,  $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$ ) vardır. Aynı elementin atomlarının uzayda farklı şekilde dizilmesi sonucunda oluşan geometrik şekillerdeki yapılarına allotrop denir. Karbon dört allotropa sahiptir; bunlar, amorf karbon, grafit, elmas ve fulleren'dir. Kristalleşmiş türleri arasında, ancak elmas ve grafit çok iyi tanımlanmıştır. Bunlar oldukça saf Karbondan oluşur. Biçimsiz (amorf) Karbon, doğal ya da yapay kömürlerde, çeşitli maddelerle karışmış ya da bileşik olarak bulunur. Şekil 2.10'da elmas ve grafitin atom dizilimi görülmektedir (Anonim 2009).

Grafit siyah, parlak renkli katı bir maddedir. Grafit karbonlu maddeler içeren tortulların başkalaşım geçirmesiyle oluşmuştur. Grafit yapısında C atomunun son yörüngesindeki elektronların üçü diğer atomların elektronları ile bağ yaparken bir elektron serbest haldedir. Bağ yapımına katılmayan bu serbest elektron grafiti iyi bir iletken yapmıştır. Grafitte karbon atomları, altıgen halkalar şeklinde ve tabakalar halindedir. Grafitin en önemli özellikleri yumuşak ve yağlı olması ve iyi bir elektrik iletkeni olmasıdır. Elektrik elektronik sanayiinde kullanılmaktadır. İletken, sağlam ve esnek olması nedeniyle elektrik motorlarında fırça olarak kullanılmaktadır. Ayrıca kurşun kalemlerde kullanılmaktadır. Grafitin erime sıcaklığı yüksektir. Grafit aynı zamanda esnek bir yapıdadır. Korozyona ve oksidasyona karşı dirençlidir. Radyo dalgalarını absorbe etme yeteneği vardır. Yüksek sıcaklıklara dayanabilmesi demir çelik endüstrisinde metal ergitme işlemlerinde kullanılmasını sağlamıştır.

Elmas'ta, karbon atomları,  $sp^3$  hibritleşmesi yaparak tetrahedral bir düzendedir (Şekil 2.10 da görülmektedir). Elmasta, Karbon atomları arasındaki bağlar, çok kuvvetlidir. Bu nedenle de çok sert ve kararlı bir yapıya sahiptir. Mavi elmas (yarı iletken) hariç, elektriği iletmezler. Moleküller arasındaki kuvvetli bağlar sebebiyle, ısı iletkenliği çok iyidir (Anonim 2009).



Şekil 2.10 Grafite ve Elmas'ta Atomların Düzeni.

Fulleren, genellikle 6 karbon atomunun düzlemsel olarak birbiri ile bağlanarak oluşturduğu içi boş küresel, silindirik ve halkasal yapıdadır (Şekil 2.11'de görülmektedir). 5'li veya 7'li halkalar şeklinde birleştiği zaman yapı düzlemsellikten uzaklaşır. En küçük boyutu 60 Karbonludur ve yapısı futbol topuna benzemektedir (Akdoğan ve Küçükıldırım, 2006).



Şekil 2.11 Fulleren'de Atomların Bağlantısı.

## 2.8.2 Aktif Karbon Tanımı

Aktif Karbon, gözenekli iç yapıya ve büyük yüzey alanına sahip bir malzemedir. Aktif Karbonun kimyasal yapısı grafitin rastgele ya da amorf yapılı ham hali olarak



tanımlanabilir. Üretim prosesi kimyasal ve termal prosesler olmak üzere ikiye ayrılır. Kimyasal aktivasyon hammadde yapısında bozunma ve susuzlaştırma aşamalarıyla sağlanır. Bu işlem genellikle odun bazlı aktif karbonlarda uygulanır. Bu yöntem farklı proses şekillerinde karbonizasyon ve birincil oksidasyonun ardından aktifleştirme adımını içerir. Aktif Karbon hemen hemen tüm sanayi dallarında hava, gaz, su ve endüstriyel alanlarda kullanılır. Yüksek karbon içeriğine sahip maddelerden fiziksel veya kimyasal aktivasyon işlemleriyle hazırlanan, yüksek yüzey alanı ve gözenek hacmine sahip adsorptif özelliği çok yüksek olan karbonlu bir adsorbenttir.

### 2.8.3 Aktif Karbon Kullanım alanları

Su ve atıksuların, fizikokimyasal arıtma uygulamalarında adsorbant olarak kullanılır. Hava filtrelerinde ve gaz arıtma sistemlerinde adsorbant olarak kullanılır. Meyve suyu ve bira, şarap gibi alkollü içeceklerin üretiminde istenmeyen renk ve koku bileşenlerinin uzaklaştırılmasında kullanılır (ağartma ve durultma işlemleri). Altın madenciliğinde olduğu gibi, liç prosesi ile cevher zenginleştirilen sistemlerde adsorbant olarak kullanılır. Maden sektöründe gerekli durumlarda reaktif uzaklaştırmak amacı ile kullanılır.

### 2.8.4 Aktif Karbon ve Genel Özellikleri

Aktif karbon, büyük kristal formu ve oldukça geniş iç gözenek yapısı ile karbonlu adsorbanlar ailesini tanımlamada kullanılan genel bir terimdir. Aktif karbonlar, insan sağlığına zararsız, kullanışlı ürünlerdir. Aktif karbonun hem endüstride hem de güncel hayatta pek çok uygulamada yer almasını sağlayan fiziksel ve kimyasal özellikler bulunmaktadır (Anonim 2009a).



**Resim 2.1** Aktif Karbon.

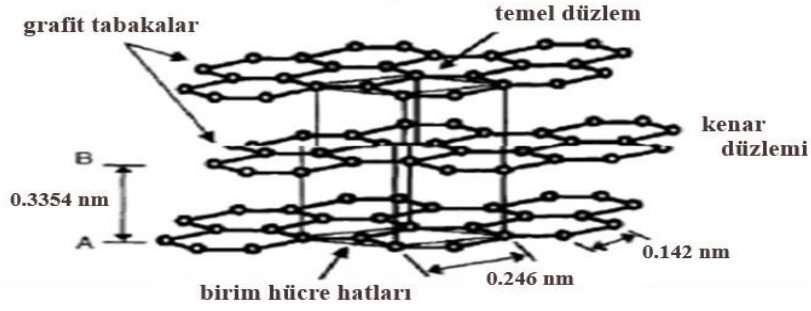
Aktif karbon imalatında tercih edilen hammaddeler ve üretim yöntemi ilgili kullanım alanı, prosesin yapısı, ortamdaki uzaklaştırılacak istenmeyen maddelerin özellikleri,

maliyet unsurları faktörlerine göre tercih edilir. Hammadde seçiminde ise orman yangını ve selüloz artıklarından, odundan, meyve çekirdeklerine, kömür veya hayvansal kökenli kan veya serumlarından elde edilir. Burada seçim tamamen kullanım yeri ile ilgilidir (Akdoğan ve Küçükıldırım, 2006). Çeşitli hammaddelerin başlangıç maddesi olarak kullanılması ile üretilen aktif karbonlar, üretim proseslerine ve kullanılan hammaddelerin özelliklerine bağlı olarak gözenekler içerirler. Üretim sonrası uygulanan çeşitli kimyasal ve ısıl işlemler, başlangıçtaki gözenek yapısını geliştirebilir ve yeni mikro gözeneklerin oluşmasını sağlayabilir.

Aktif karbonun ana bileşeni % 85-95 arasında karbondur. Ayrıca hidrojen, azot, sülfür ve oksijen gibi elementleri de içerir. Tipik bir aktif karbonun elementel bileşiminde ağ. % 88 C, % 0.5 H, % 0.5 N, % 1 S ve % 6-7 O<sub>2</sub> bulunur. Aktif karbonun O<sub>2</sub> içeriği kaynak madde ve hazırlanışına göre ağ. % 1- 20 arasında değişir. En yaygın olarak kullanılan aktif karbonlar 800-1500 m<sup>2</sup>/g yüzey alanına, 0.2-0.6 cm<sup>3</sup>/g gözenek hacmine sahiptir (Bansal ve Goyal 2005).

Aktif karbon yüksek porozite, geniş yüzey alanı ve yüksek yüzey reaktivitesi gibi kendine özgü yüzey özellikleri sayesinde sadece adsorbent olarak değil aynı zamanda katalizör ve katalizör desteği olarak da kullanılır (Dias et al, 2007).

Aktif karbon, özellikleri ve yapısı itibari ile grafitte benzer. Grafit, karbon atomlarının altıgen yapı oluşturmak üzere düz tabakalardan meydana gelir. Bu tabakalar içinde karbon atomlarının üç elektronu kovalent bağ yapmakta, geriye kalan bir elektron ise bağ yapılar arasında salınmaktadır (Güneysu 2003). Bu durum karbon atomları arasında çifte bağ oluşumunu sağlamaktadır. Grafit kristalleri birleşik altıgen tabakalar halinde birbirlerine 3,354 Å uzaklıkta zayıf Van der Waals kuvvetleriyle bağlanmaktadır. Karbon atomları arasında zayıf bir bağın bulunması ve tabakaların birbiri üzerinden kolayca kayabilmesi sebebiyle grafit, yumuşak bir maddedir.



**Şekil 2.12** Grafit Kristallerinin Yapısı.

Hammaddelerin karbonizasyonu sırasında aktif karbon atomlarının altıgen tabakalarını içeren mikro kristaller gibi küçük aromatik çekirdekler meydana gelir. Her ne kadar mikro kristallerin yapısı grafitin bir benzeri ise de birçok şekilde farklılıklar gösterirler. Düz yüzeylerin sonunda halka yapısında mikro kristalleşme oluşması nedeniyle genellikle farklılaşmış “heterosiklik” yapılar gözlenir. Heterosiklik iki şeye etki etme eğilimindedir;

1. Komşu düz yüzeylerin birbirinden ayrılma mesafesine,
2. Sorptiv özelliğine.

### **Kimyasal Özellikler:**

Aktif karbonun adsorplama kapasitesi sadece gözenek yapısı ile değil yüzeyin kimyasal doğası ile de tanımlanmaktadır. Aktif karbonun yüzey yapısını aydınlatmak için IR temelli spektroskopik yöntemler kullanılır. İnfrared spektrumlarıyla aktif karbonun oluşumu esnasında yüzeyinde meydana gelen değişiklikler takip edilebilmektedir. Aktif karbonun kimyasal yapısı, X-ışını analizi ile de incelenmektedir. Çalışma prensibi olarak örneğe X-ışını gönderilerek kırılma ve dağılma verileri toplanması temel alınmaktadır. Bu analiz ile aktif karbonun grafit yapılı küçük kristallerden oluştuğu gözlemlenmiştir. Aktif karbonun yapısında tek atomlar ve/veya fonksiyonel gruplar halinde pek çok heteroatom (oksijen, hidrojen, azot ve diğerleri) bulunur. Oksijen, karbon matrisindeki en baskın grup heteroatomdur. Karbon-oksijen yüzey bileşikleri, aktif karbonun yüzey reaksiyonlarını ve yüzey davranışlarını etkileyen en önemli merkezlerdir. Sulu çözeltide

karbon taneciklerinin yüzey yükü, yüzey fonksiyonel grupların doğası tarafından kontrol edilir.

Aktif karbonun yapısındaki grafit kristalitlerinin kenar bölgelerine oksijen içerikli doymamış karbon grupları bağlıdır. Aktif karbondaki bulunan başlıca fonksiyonel gruplar aşağıda gösterilmiştir. Bu gruplar hem önemli reaksiyon merkezleri görevi yapmakta ve hem de aktif karbonun polaritesini artırmaktadır. Bu yüzey oksitleri arasında en sık rastlananlar; karboksil grupları, fenolik gruplar, lakton halkaları, kinon türünden yapı taşları, siklik peroksitler ve karboksilik asit anhidritleridir (Strelko et al, 2002).

Oluşan kompleks bileşikler, 4 farklı yüzey oksitleri formundadır.

1. Güçlü karboksilik gruplar
2. Zayıf karboksilik gruplar
3. Fenol grupları
4. Karbonil grupları.

Yapıdaki bu asidik oksitlerin ayrılması, alkali çözeltiler ile nötralizasyonla sağlanır.

İnert gaz atmosferi ve vakum altında yapılan ısıtma işlemi de bu grupların karbondan uzaklaştırılmasını sağlayabilir (Strelko, 1999).

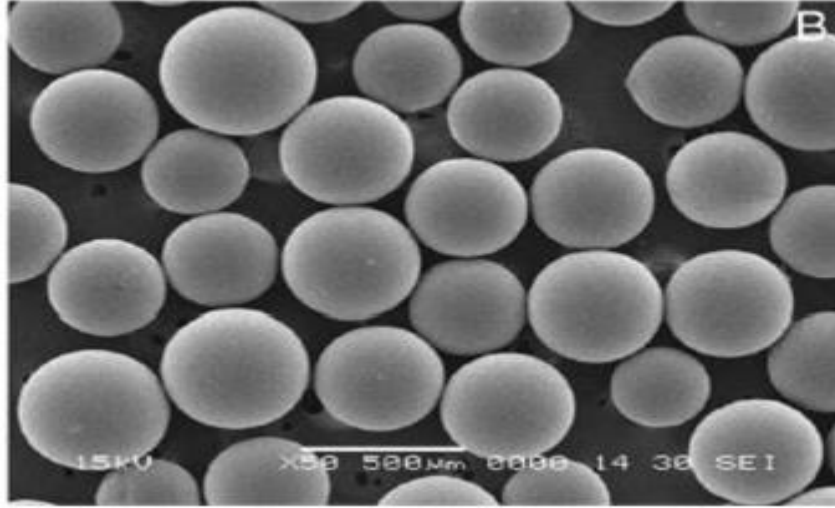
Aktif karbon hem asidik hem de bazik özellikler sergilemektedir. Asidik ve bazik gruplar genellikle bir arada bulunur ve yüzeyin asidik karakterinin artmasıyla bazik konsantrasyon azalmaktadır. Asidik özellikler, fenolik ve karboksilik asit gruplarının varlığı ile açıklanabilir. Ancak bazik karakteri açıklamak çok daha zordur.

Asidik yüzey grupların doğası oldukça iyi anlaşılmış olmasına rağmen, yüzey bazikliğinin kökeni hala tartışma konusudur. Bunun nedenlerinden biri karbon yüzeylerinin bazik davranışı için grafit katmanlarının bazikliği olabilir. Ancak, bu baziklik nispeten zayıftır. Asit ile birlikte oksijen kemisorpsiyon bazikliği oksijen fonksiyonel gruplar nedeniyle olabileceğini düşündürmektedir ve poliaromatik katmanların kenarlarında pirontipi yapıların varlığı öne sürülmüştür (Boehm, 2002).

Aktif karbonun önemli özelliklerinden biri de elektriği geçirmesi ve elektron taşımasıdır. Aktif karbonların büyük bir kısmı distile edilmiş suda serbest bırakıldığı zaman pozitif

kutba giderler. Bu negatif yüklenme karbonun hazırlandığı metoda büyük ölçüde bağlı olarak değişebilir. Aktivasyon sıcaklığı karbonun mineral bileşiklerinin elektriksel yüklenmeyi etkilediği tespit edilmiştir (Güneysu 2003).

Kullanılan hammaddeye bağlı olarak aktif karbonlar % 1-20 arasında mineral madde içerir. Bu mineral madde içeriğini silikatlar, alüminatlar, az miktarda kalsiyum, magnezyum, demir, potasyum, sodyum, kurşun, çinko, bakır ve vanadyum gibi inorganik maddeler oluşturmaktadır. Gazlardan ve çözeltilerden elektrolitlerin ve elektrolit olmayan bileşenlerin adsorpsiyonunda, aktif karbon yapısındaki mineral madde içeriği rol oynamaktadır. Yapıda bulunabilecek demir, kalsiyum ve diğer alkali bileşikler, su buharı ile yapılan aktivasyon sırasında katalizör görevi görmektedir (Addoun et al, 2002).



**Resim 2.2** Küresel Aktif Karbon.

### 3. MATERYAL VE METOD

#### 3.1. Numunelerin Üretilmesi

Bu projede, aktif nano karbon içeren kurşunlu ve kurşunsuz lehimler üretilmiştir. Üretilen numuneler karakterizasyon ve mekanik testlere tabi tutulmuştur. Katkılı ve katkısız lehimler Çizelge 3.1’de verilen oranlarda aktif nano karbon içeren kurşunlu ve kurşunsuz lehimlere ergime esnasında ilave edilerek üretilmiştir. Aktif nano karbon oranları 0,1, 0,2, 0,3, 0,45 ağırlıkça yüzde oranlarında olup kayıplarında olacağı düşünülerek %10 daha fazla ilave edilmiştir. Kurşunlu lehim olarak elektronikçi lehimini olarak adlandırılan Pb60/40Sn lehimini ve kurşunsuz olarak Ag ve Cu içeren lehimlerden en az bir tanesi (Örn. Sn3Ag0.5Cu, Sn3.5Ag0.5Cu ve Sn97Cu3) karşılaştırma olarak kullanılmıştır. Yapılan araştırmalarda, Co, TiO<sub>2</sub>, Ag vb nano partiküllerinin ergime sıcaklığı üzerinde etkilerinin ciddi derecede olduğu görülmüştür bu nedenle katı halde yapılan ilavelerin etkisini nano boyutta görmek amacıyla aktif karbon ilave edilmiştir.

**Çizelge 3.1** Kurşunlu–Kurşunsuz Lehimin Katkı Oranları.

<b>Kurşunlu ve Kurşunsuz Lehim Teli</b>	<b>Ağ.% oranlarında aktif karbon içerir</b>	<b>Kurşunlu/Kurşunsuz Lehim Teli</b>
Saf Kurşunlu	-	30 gr
Kurşunlu-1	0,1 gr	30 gr
Kurşunlu-2	0,2 gr	30 gr
Kurşunlu-3	0,3 gr	30 gr
Kurşunlu-4	0,45 gr	30 gr
Saf Kurşunsuz	-	30gr
Kurşunsuz-1	0,1gr	30gr
Kurşunsuz-2	0,2gr	30gr
Kurşunsuz-3	0,3 gr	30gr
Kurşunsuz-4	0,45 gr	30gr



**Resim 3.1** Kurşunsuz-Kurşunlu Lehim Telleri.

Resim 3.1’de verilen Kurşunlu ve kurşunsuz lehim telleri Resim 3.2’de gösterilen DESIS marka hassas terazi ile tartılmıştır. Terazi ile tartılan lehim tellerine Resim 3.3’de verilen HAWCON SJ-360 markalı lehim potasında, yaklaşık 250C° sıcaklık aralığında ergime esnasında ağırlıkça % 0,1 ,% 0,2 ,% 0,3 ,% 0,45 oranlarında aktif nano karbon ilave edilip daha sonra Resim 3.3’de verilen 7.8 mm çapındaki bakır kalıba dökülerek katkılı ve katkısız lehimler üretilmiştir.



**Resim 3.2** DESIS Marka Hassas Terazi.



**Resim 3.3.** Lehim Potası ve Cu Döküm Kalıbı.

### **3.2 Numunenin Kesilmesi**

Numuneler METKON marka FINOCUT hassas kesme cihazı kullanılarak kesilmiştir. Kesme işlemi sırasında numunelerin yapısının bozulmamasına ayrıca dikkat edilmiş ve numuneler parlatmaya hazır hale getirilmiştir. METKON FINOCUT kesme cihazı Resim 3.4’de verilmiştir.



**Resim 3.4** Metkon Hassas Kesme Cihazı.



### 3.3 Numunenin Metalografik işlemleri

Numunelere kesme işlemi yapıldıktan sonra metalografik incelemeler için numuneler hazırlanmıştır. Numunemiz hassas olduğu için zımpara işlemine tabi tutulmadan direkt parlatma işlemine geçilmiştir. Parlatma işlemi Resim 3.5 de verilen METKON markalı, dönüş hızı ayarlanabilen parlatma diskinde çuha üzerine dökülen 1 µm alümina solüsyonu ile yapılmıştır.



**Resim 3.5** Metkon Parlatma Cihazı ve Kullanılan Alümina Solüsyonu.

### 3.4 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve EDX

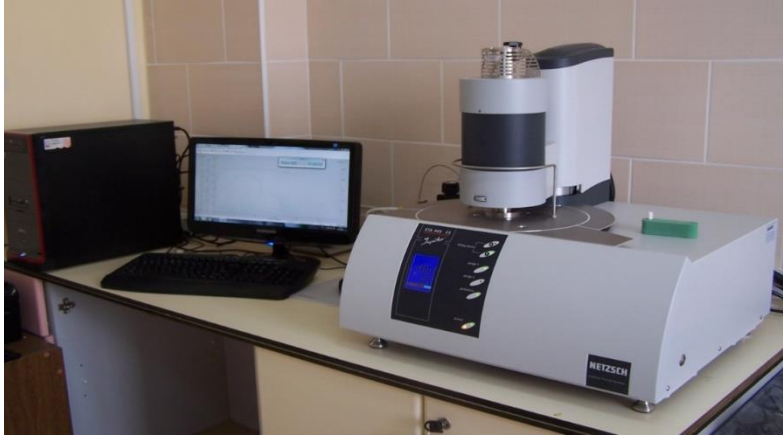
Lehimlerin mikroyapı incelemesinde Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji ve Araştırma merkezi (TUAM) da bulunan LEO 1430 VP model taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Cihazın üzerinde ikincil elektron (secondary electron), geri yansıyan elektron (backscattered electron) ve X ışınları (EDX- Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) detektörü bulunmaktadır. Cihaz görüntü üzerinde nokta, çizgi, alan ve haritalama yöntemleri ile kalitatif ve semi-kantitatif olarak elementer analizleri yapabilmektedir. Resim 3.6 da kullanılan SEM cihazının resmi verilmiştir.



**Resim 3.6** SEM Cihazı.

### 3.5 Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (TG-DSC/TG-DTA/TG)

Üretilen numunelerin DTA analizi Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji ve Araştırma Merkezi (TUAM) da bulunan NETZSCH marka cihaz ile gerçekleştirilmiştir. Analizi yapılan katkılı ve katkısız lehimlerin ergime noktası tayini ve faz dönüşümleri karakteristikleri incelenmiştir. Resim 3.7’de NETZSCH marka DTA cihazının resmi ve bilgileri verilmiştir. DTA analizi oda sıcaklığı ile 300 °C aralığında yapılmıştır ve 10°C/dak ısıtma hızında deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verilerden ilk endotermik pikin açısının değiştiği sıcaklık ergime sıcaklığı olarak alınmıştır.



Resim 3.7 Netzsch Marka DTA Cihazı.

### 3.6 X-Işını Kırınımı (XRD)

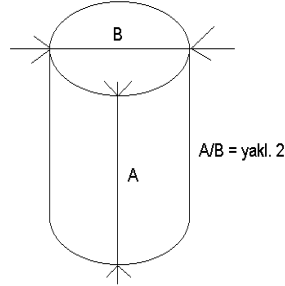
Ergitme ve döküm işlemleri sırasında alaşımların mikro yapısında oluşan fazların belirlenmesi amacıyla üretilen numulere Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji ve Araştırma merkezi (TUAM) da bulunan BRUKER D8 ADVANCE XRD cihazı ile gerçekleştirilmiştir. 1° / dak ilerleme hızında tarama yapılmış ve bakır hedef ( $K\alpha = 1.547\text{\AA}$ ) monokromatik X ışını kullanılmıştır.



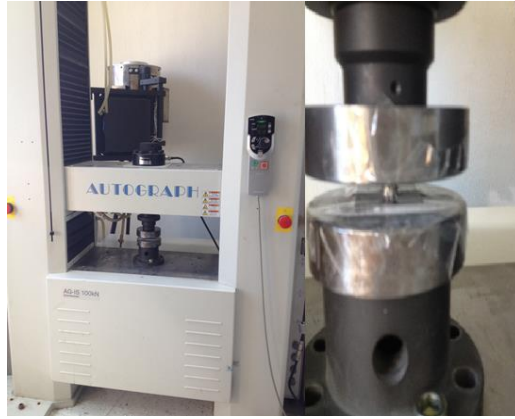
Resim 3.8 Bruker Marka D8 Advance Model XRD Cihazı.

### 3.7 Basma Deneyi

Basma deneyleri için numuneler döküm işleminden hemen sonra çap/boy oranı 2 olacak şekilde kesilmiş ve basma deneyine tabi tutulmuştur. Bu deney için SHIMADZU marka AGS 100 modeli üniversal çekme basma test cihazı kullanılmıştır. Her iki deneyde ilerleme hızı 2mm/dakika olarak ayarlanmıştır.



Şekil 3.1 Basma Test Numunesi Özellikleri.

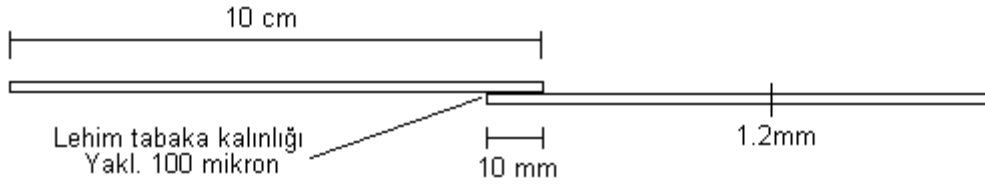


Resim 3.9 SHIMADZU Marka AGS 100 Modeli Üniversal Çekme Basma Test Cihazı.

### 3.8 Çekme-Kesme ve Basma Dayanım Testi

Üretilen lehimlerin kesme dayanımlarının test edilmesi amacıyla Şekil 3.2’de görüldüğü gibi bindirme lehim bağlantı numuneleri hazırlanmıştır. Katkılı ve katkısız kurşunlu lehimlerin üretilmesi aşmasında lehim yapılırken uygulama sıcaklığı yaklaşık olarak 200°C ayarlanmıştır ve kurşunlu lehimler için uygulama sıcaklığı yaklaşık olarak 270°C olarak seçilmiştir. Lehimleme yapıldıktan sonra lehimlenen bölgeye 1kg yük uygulanmıştır ve lehim kalınlığının homojen olması sağlanmıştır. Daha sonra, numuneler, SHIMADZU marka AGS 10 model 1kN luk çekme cihazı kullanılmıştır. Ön yükmeden sonra çekme işlemi gerçekleştirilmiştir. Deney sonucunda Kuvvet-Uzama değerleri alınarak test tamamlanmıştır. Testlerden sonra, her bir numunenin gerilimini

heaplamak için kırılma alanları en boy olarak ölçülmüş ve kesme alanı bulunarak kuvvet/kesme alanı ilişkisi kullanılmıştır. Buradan elde edilen değerler grafikleştirilmiştir.



Şekil 3.2 Bindirme Kayma Dayanımı Test Numunesi Özellikleri.



Resim 3.10 Bindirme Lehimlenen Numunelerin Görünüşü.

### 3.9 Elektriksel İletkenlik Ölçümü

Elektriksel iletkenlik ölçümü için ortam sıcaklığı 25°Cyi geçemeyecek şekilde test problemleri ile, GWINSTEK marka GOM 802 model miliohm metre kullanılarak elektriksel direnç ölçümü yapılmıştır. Cihaz ile beraber gelen 4 nokta ölçüm problemleri daha önceden basma deneyi için kesilmiş olan numunelerin bir tarafına dokundurularak ve değişik pozisyonlar uygulanarak ölçüm yapılmıştır. Ölçüm sonuçları daha sonra ohm/mm olarak veya ohm.mm olarak hesaplanmıştır.

### 3.10 Mikro Sertlik Ölçümü ve Yüzey Islatma Açısı Ölçümü

Mikrosertlik cihazı kullanılarak, 25 gr ön yükü 3 farklı bölgeden ölçümler yapılmıştır. Vickers elmas uç seçilmiş ve düşük yükte ölçümler yapıldıktan sonra değerlerin ortalaması alınmıştır. Yüzey ıslatma açıları Cu üzerine bırakılan bir miktar (yaklaşık 100 mg

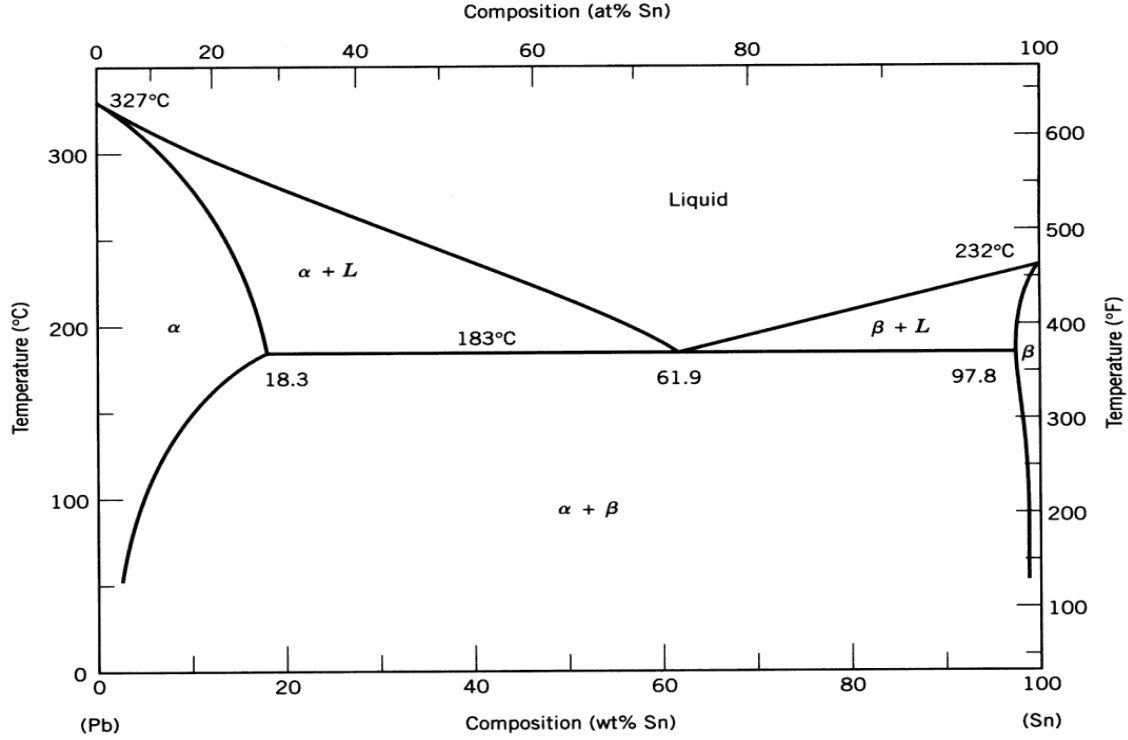
ağırlığındaki) lehimlerin ergitilmesi sonrasında resimleri çekilerek bilgisayar ortamında dijital olarak ölçülmüştür.



**Resim 3.11** Mikrosertlik Cihazı.

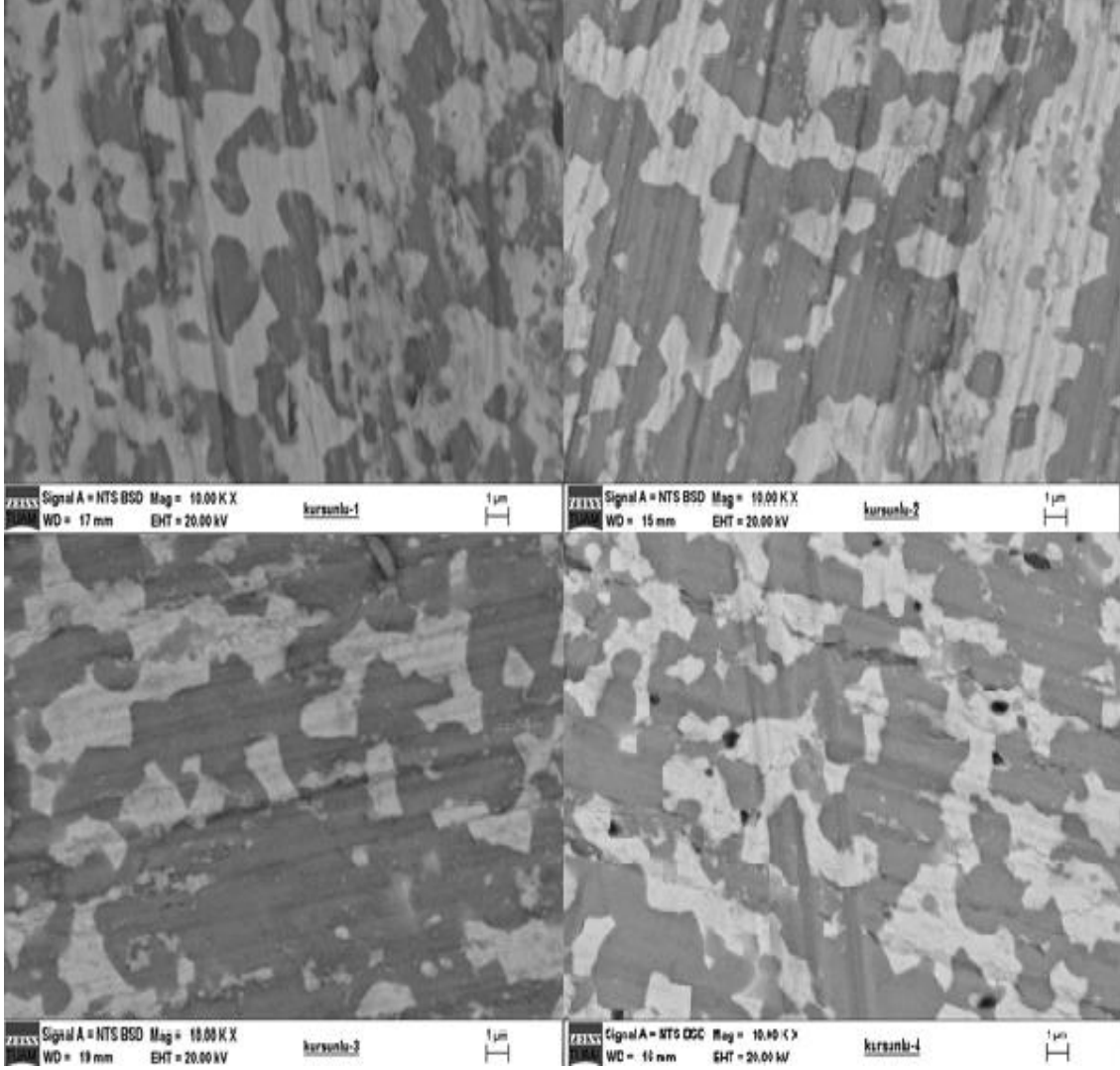
## 4. BULGULAR

### 4.1 Kurşunlu ve Kurşunsuz Lehimlerin SEM Görüntüleri



Şekil 4.1 Kurşun–Kalay Faz Diyagramı (Karaaslan 2010).

Şekil 4.1’de verilen Pb-Sn faz diyagramına göre, Pb yaklaşık olarak ağırlık % 19 oranında Sn çözerken, kalay ise yaklaşık olarak ağırlık % 2 oranında Pb’yi katı çözelti olarak bulundurur. Bu fazlar sırasıyla kurşunca zengin olan  $\alpha$  fazı ve kalayca zengin  $\beta$  fazı olarak adlandırılır. Metalografik olarak hazırlanan numuneler SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) ile incelenmiştir. Şekil 4.2’de verilen mikroyapıda, BSE (Geri Yansımali Elektron Dedektörü) kullanıldığı için atom numarasına göre sınıflandırmakta ve yüksek miktarda kurşun içeren  $\alpha$  fazı beyaz ve koyu gri renkli bölge ise kalayca zengin olan  $\beta$  fazı olan bölgedir.



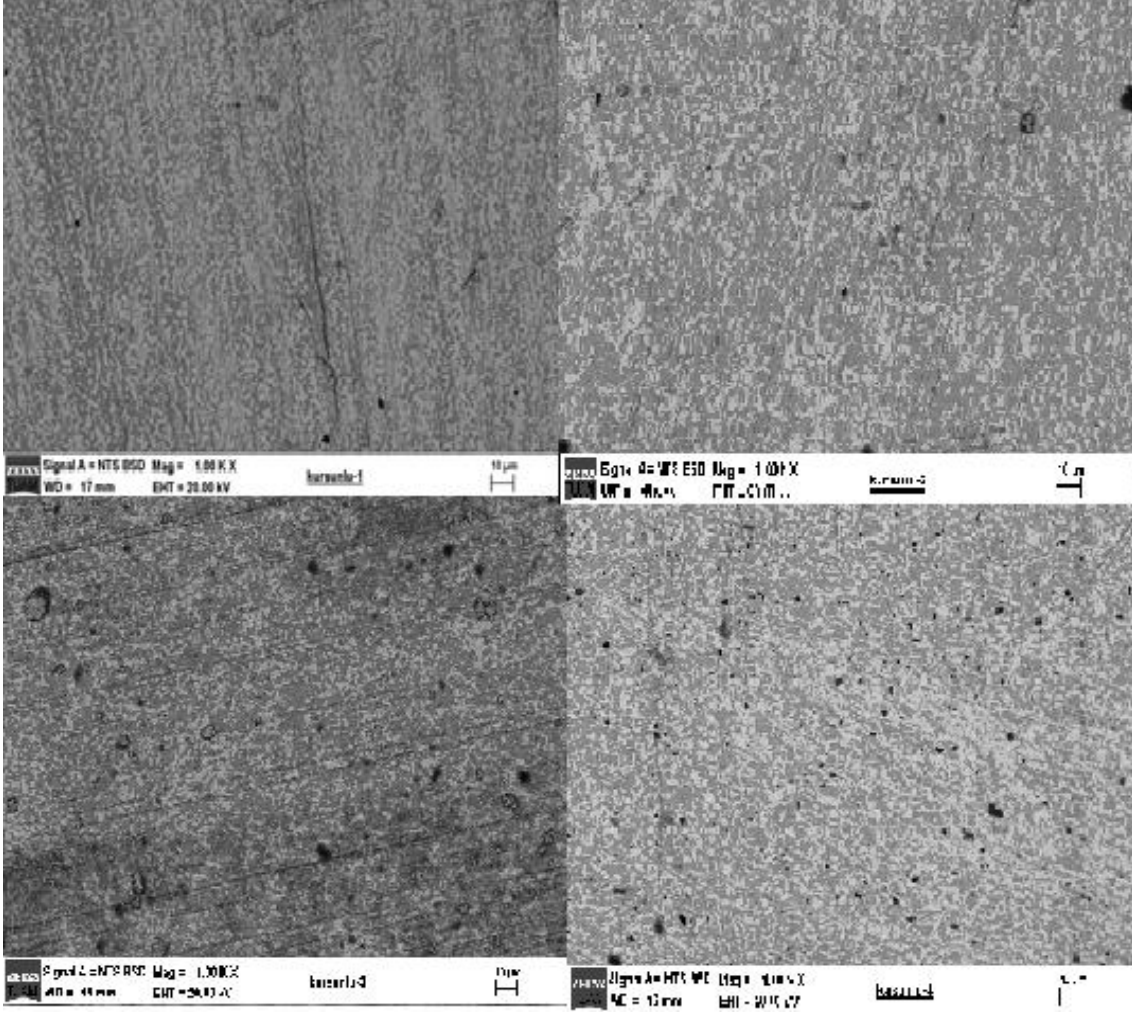
**Resim 4.1** Aktif Nano Karbon İlave Edilmiş a) Ağ.% 0,1, b) Ağ.% 0,2, c) Ağ.% 0,3, d) Ağ.% 0,45 Pb–Sn Lehimlerinin SEM Görüntüleri, 10kX.

Resim 4.1’de ağırlıkça yüzde oranlarında ilave edilen aktif nano karbon içeren kurşunlu lehimlerin SEM iç yapı resimleri verilmiştir. Resim 4.1a’da verilen SEM resminde, döküm sırasında oluşan döküm boşlukları mevcuttur. Bu boşluklar özellikle akışkan olan sıvının soğuk kalıba dökülmesiyle beraber, sıvı içerisinde çözülmüş halde bulunan gazların hızlı bir şekilde açığa çıkmasıyla oluşmaktadır. Döküm boşluklarının yanında boşluklara benzeyen oluşumlarda vardır. Bu oluşumlar, nano karbonun oluşturduğu,  $\alpha$  fazı içerisinde çok azda olsa bulunan nano partiküllerdir. İlave edilen karbon miktarının azlığı nedeniyle, karbonun döküm içerisindeki boşluklara girebildiği veya  $\alpha$  ve  $\beta$  katı fazlarında kısmen çözülebildiği düşünülmektedir. Literatürde, kurşunun ne kadar karbon çözebileceği belirtilmemiştir, ancak, her iki  $\alpha$  ve  $\beta$  katı fazlarının bir miktar karbon

çözembildiği düşünölmektedir. Genel olarak mikroyapılar parçalı bir yapıya sahipken, hızlı katılaşmanın ardından küçölen tanelerin ısıl işlem görmediği için tane incelmesine girdiği düşünölmektedir. Çünkü, döküm sırasında kullanılan alüminyum kalıbın ergiyiğin hızlı soğumasına sebep olduğu ve hızlı katılaşmaya bağlı olarak, ergiyik içerisindeki artan çekirdek sayısının tanelerin incelmesine sebep olduğu düşünölmektedir. Resim 4.1b'de ise ağ. % 0.2 oranında aktif nano karbon ilave edilen kurşunlu numunede Resim 4.1a'ya benzer şekilde az miktarda karbon yapı içerisinde bulunduğu düşünölmekte ve döküm sırasında meydana gelen çekme boşlukları ve döküm sonrasında ilerleyen çatlaklar rahatlıkla görölmektedir. Şekil 4.1a'ya göre taneler daha iri olarak görölmekte ve kurşunca zengin  $\beta$  fazının homojen şekilde dağıldığı düşünölmektedir. Benzer şekilde, hızlı soğumadan dolayı  $\beta$  fazında küçük tanecikler şeklinde dağıldığı ve bunun da, Resim 4.1 den anlaşıldığı üzere,  $\beta$  fazının ergime sıcaklığının  $\alpha$  fazından düşük olması ve sıvı fazdan daha geç ayrılması nedeniyle olduğu düşünölmektedir.

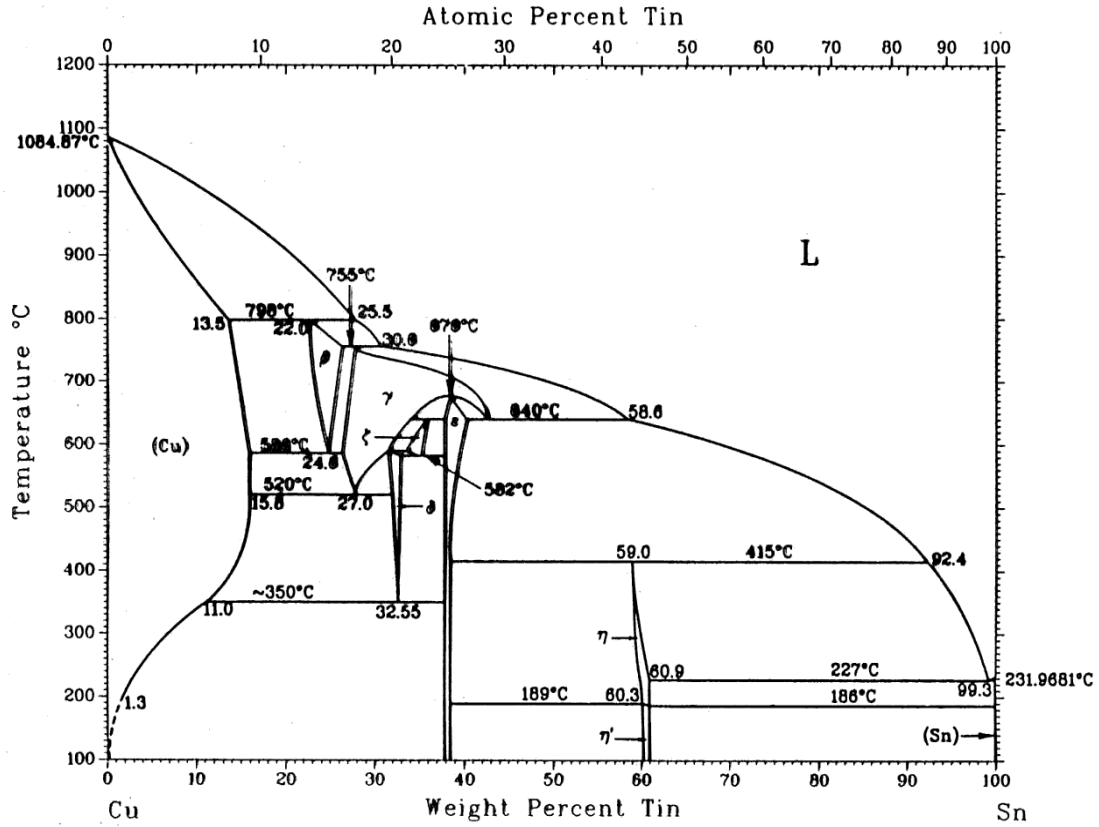
Kullanılan lehimlerin ötektik bileşime sahip olduğuda düşünölmürse, her iki fazın aynı anda oluşması gerekirken, ötektik altı durumlarda  $\alpha$  fazı önce oluşmakta ve  $\beta$  fazı ise sıvıdan çökeltmektedir. Bu durumda, daha geç katılaşan ve hızlı katılaşma ile fazla çekirdek sayısına ulaşan  $\beta$  fazının tane küçömesine maruz kaldığı düşünölmektedir. Resim 4.1c'de ağ. % 0,3 oranında aktif nano karbon ilave edilen kurşunlu numune SEM görüntüsüne bakıldığında  $\alpha$  fazının daha baskın şekilde ortaya çıktığını ve yine  $\beta$  fazının çok küçük tanelere parçalandığı görölmektedir. Döküm sırasında numune Resim 4.1b'de olduğu gibi daha erken katılaşan  $\beta$  fazının hem soğuma etkisiyle hem de mekanik olarak parçalandığı düşünölmektedir. Resim 4.1b'nin alt kısmında görölen çok küçük tanelerin, mekanik etkiyle  $\alpha$  fazından koptuğu ve şekillerinin düzgün olmadığı düşünölmektedir. Bu yapıda da, karbonun yapı içerisine karıştığı görölmektedir. Ancak, makro resimde karbon içerdiği düşünölen partiköllerin yapı içerisinde toplanarak biriktiği bu şekildeki oluşumun nano tozları toplayarak yapı içerisindeki homojen dağılmış olduğu düşünölmektedir. Resim 4.1d'de ağ. % 0,45 oranında ilave edilen aktif nano karbon içeren kurşunlu numunenin SEM görüntüsünde özellikle kurşunca zengin olan fazların ara yüzeylerine karbonca zengin fazların yerleştiği ve boyutların 1 $\mu$  küçük veya eşit olduğu görölmektedir. Bu malzemede de, dökümden sonra açığa çıkan çatlaklar görölmektedir.





**Resim 4.2** a) Ağ.% 0,1 b) Ağ.% 0,2 c) Ağ.% 0,3 d) Ağ. % 0,45 Oranlarında Aktif Nano Karbon İlave Edilen Kurşunlu Lehimlerin 1Kx Büyütmedeki Makro Görüntüleri.

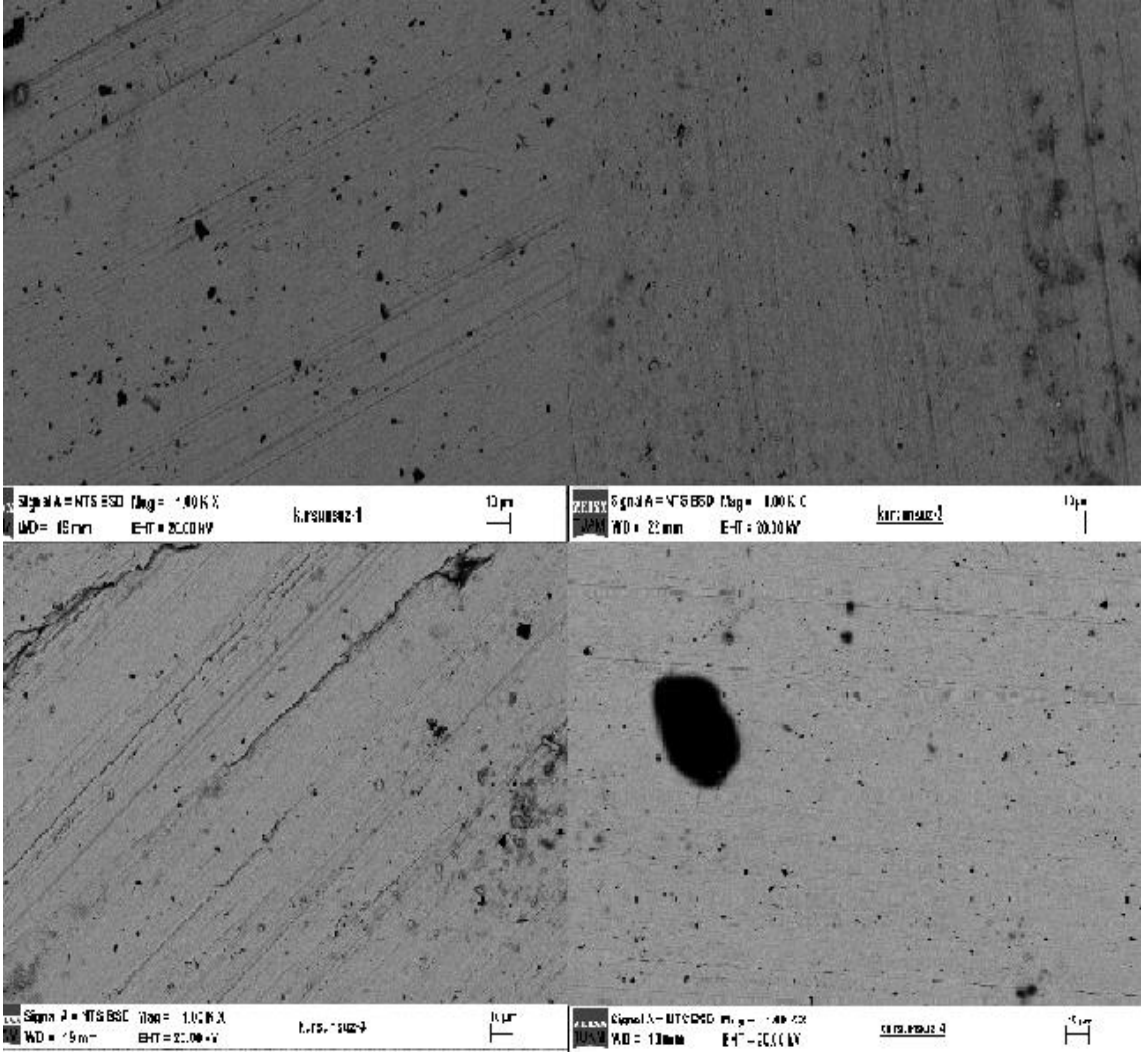
Aynı mikroyapının düşük büyütme resmine, Resim 4.2'e baktığımızda daha önce bahsedilen katılma boşlukları ve kolonsal tane yapıları rahatlıkla görülebilmektedir.



Şekil 4.2 Cu-Sn Faz Diyagramı (Karaaslan 2010).

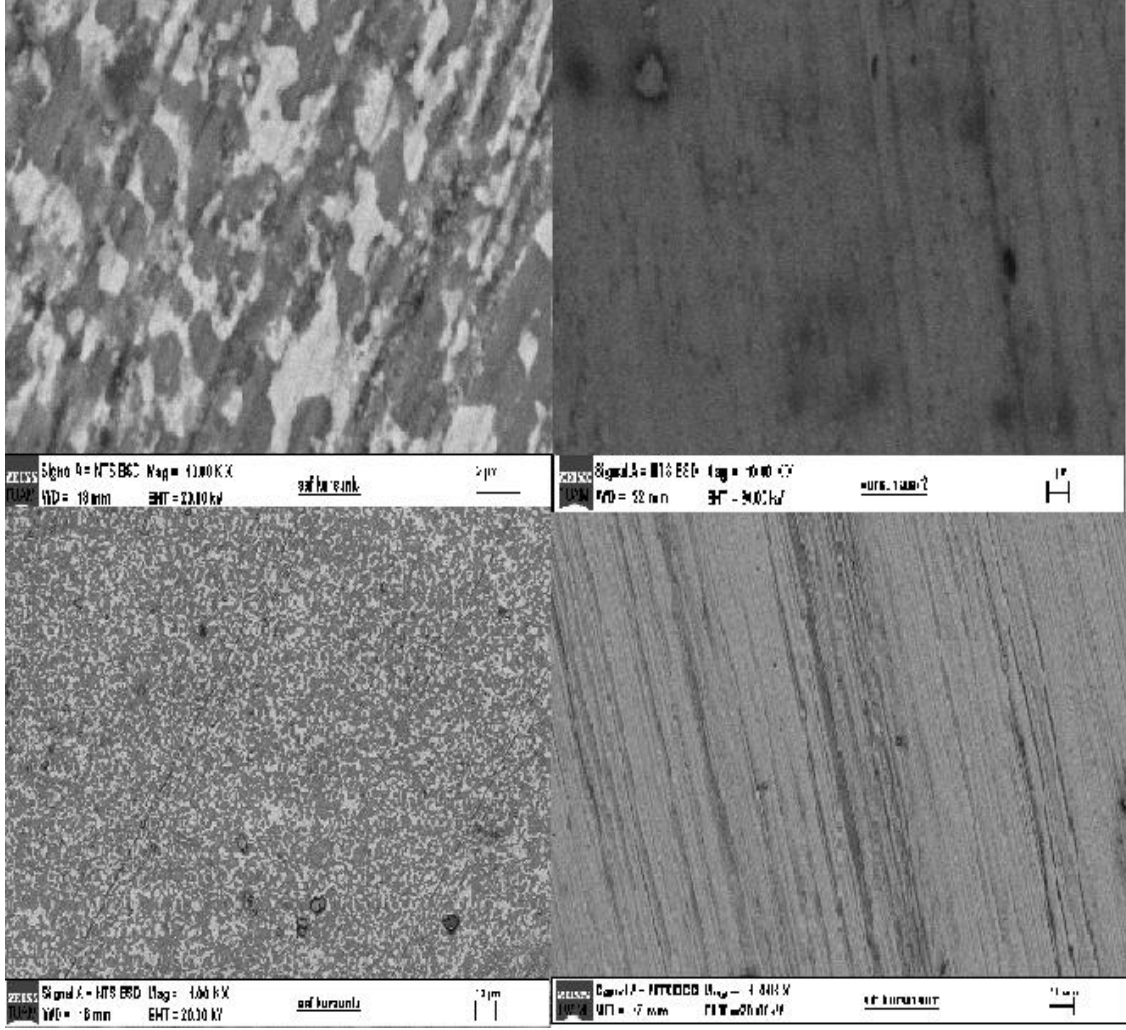
Cu'a kalay ilavesi ile elde edilen alaşım, kalay bronzu olarak adlandırılır. Şekil 4.2'de Cu-kalay referans faz diyagramına göre, kalay'ın bakır kristalleri içindeki yayınma hızı düşük olduğundan  $\alpha$  karışık kristallerinde kalay'ın artan çözünürlüğü 350°C'nin üzerinde gerçekleşmektedir. Ağ. % 15.5 Sn içeren kalay bronzu tek faz olarak bulunmaktadır. Pratik olarak önemli olan kısım ise, çok az miktarda Cu içeren kalay alaşımıdır. Ağ. % 0.32 kadar Cu içeren kurşunlu lehim alaşımlarının ortalama ergime sıcaklığı 233°C civarındadır ve Cu-kalay faz diyagramında görüldüğü gibi, artan Cu oranıyla beraber bu sıcaklık artmaktadır. Cu - Sn faz diyagramı referans alınırsa Cu'lu kalay esaslı kurşunsuz lehimlerde ikinci bir faz görülmez ve tek fazlı katı hal fazı oluşturur. Resim 4.3'de katkısız ve aktif karbon içeren kalay esaslı Cu içeren lehimlerin dökümden sonraki SEM görüntüleri verilmiştir. Bütün resimlerde ağırlıkça farklı oranlarda ilave edilen aktif nano karbon katkıları rahatlıkla mikroyapıda siyah noktalar olarak görülmektedir.





**Resim 4.4** a) Ağ. % 0,1 b) Ağ. % 0,2 c) Ağ. % 0,3 d) Ağ. % 0,45 Oranlarında Aktif Nano Karbon İeren Kurşunsuz Lehimlerin 1 Kx Büyütmedeki Makro Görüntüleri.

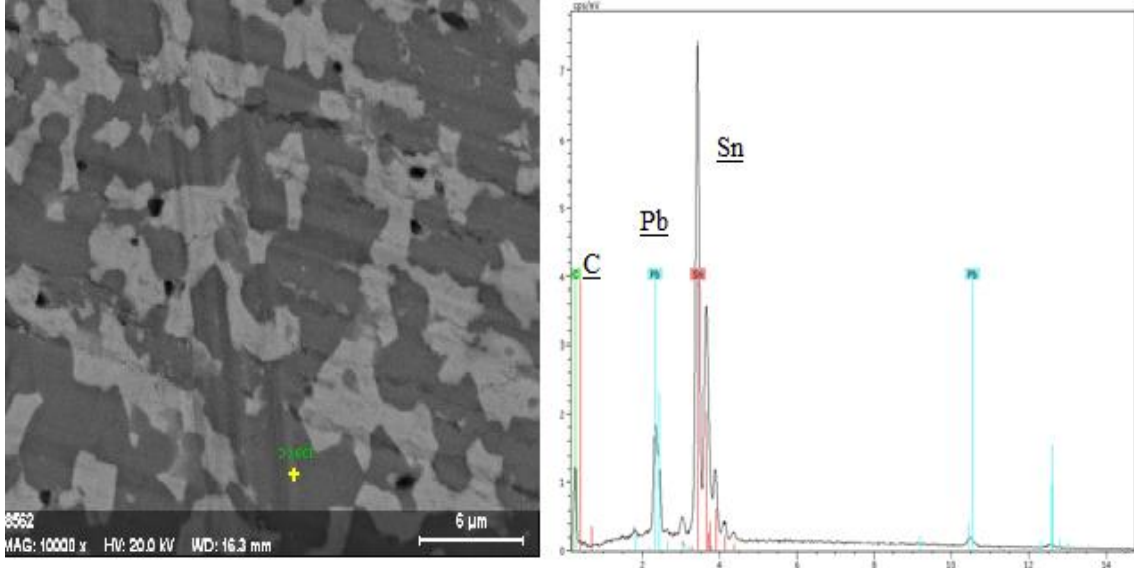
Ağırlıka yüzdeleri farklı, aktif nano karbon ilave edilen kurşunsuz lehimlerin, makro büyütmedeki görüntülerine baktığımızda kurşunlu lehimlerde görülen kolonsal tane yapısı ve tane sınırının kurşunsuz lehimlerde olmadığı görülmüştür. Her bir fazın çözünürlük değerleri farklı olması nedeniyle ekirdekleme ve büyüme aşamasında tane oluşumu beklenmektedir. Ancak, tek fazlı olan kurşunsuz lehimlerde katkı oranından bağımsız olarak tane oluşumu görülmemektedir.



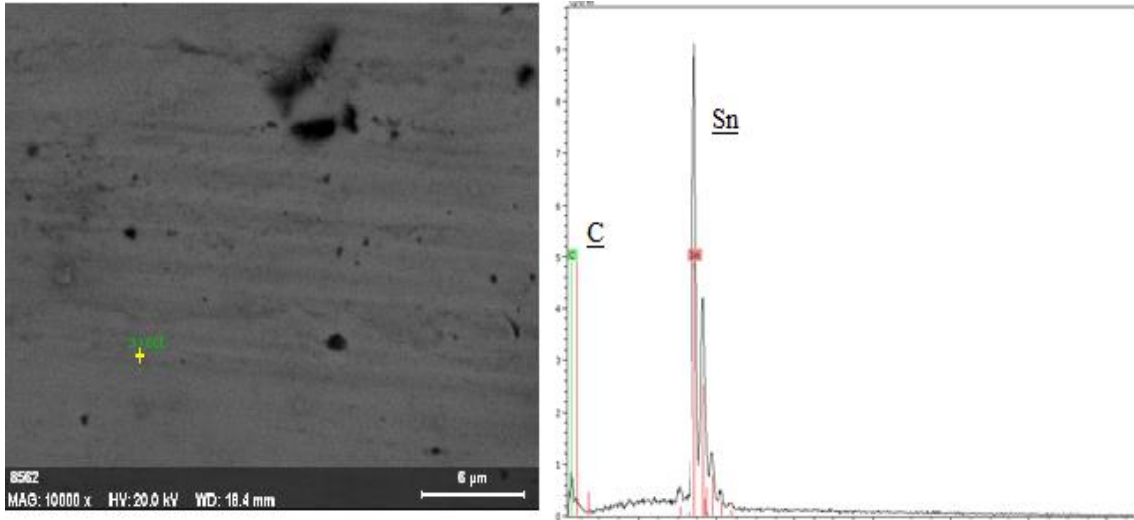
**Resim 4.5** a) Saf Kurşunlu b) Saf Kurşunsuz Lehimlerin 10 Kx Büyütmedeki Görüntüsü ile c) Saf Kurşunlu ve d) Saf Kurşunsuz Lehimlerin 1 Kx Büyütmedeki Makro Görüntüsü.

Saf kurşunlu numunenin yani aktif nano karbon ilave edilmemiş kurşunlu lehimin taneler  $\alpha$  ve  $\beta$  fazıdan oluştuğu ve fazın homojen şekilde dağılmış olduğu ve saf kurşunsuz numunenin yani aktif nano karbon ilave edilmemiş kurşunsuz lehime göre çift fazlı yapıda olduğu görülmektedir. Şekil 4.5c ve Şekil 4.5d makro resimlerinde de saf kurşunlu lehimin homojen dağıldığını ve nadiren döküm hatası olduğu gözlemlenmiştir. Buna karşın saf kurşunsuz lehimde büyütme ile beraber herhangi bir faz yapısı görülmediği gözlemlenmiştir.

## 4.2. Kurşunlu ve Kurşunsuz Lehimlerin EDX Analizi



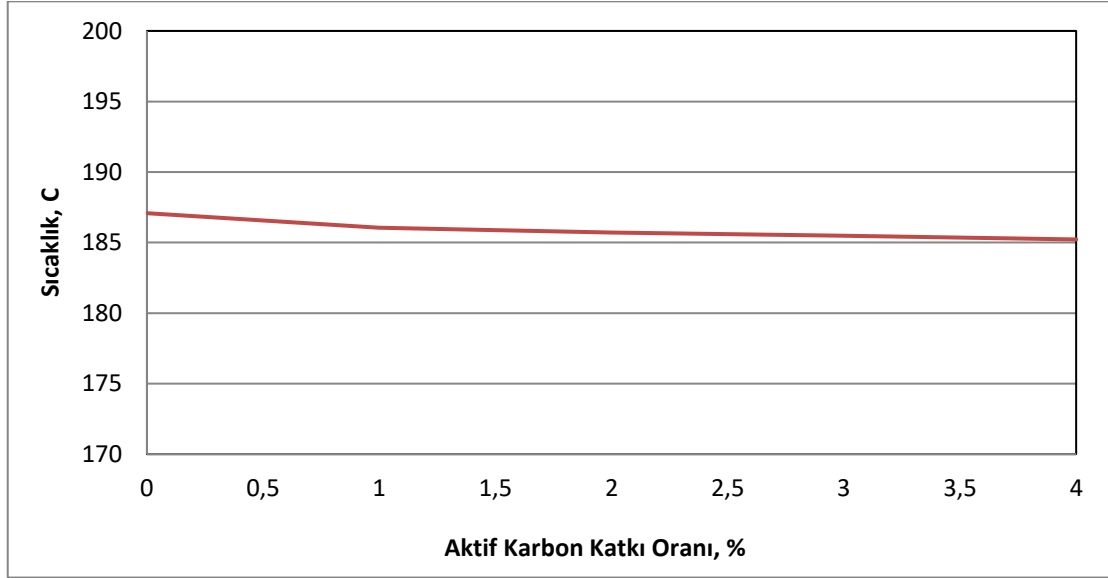
**Resim 4.6** Ağ. % 0,45 Aktif Nano Karbon İçeren Kurşunlu Lehimin EDX Analizi.



**Resim 4.7** Ağ. % 0,45 Aktif Nano Karbon İçeren Kurşunsuz Lehimin SEM-EDX Analizi.

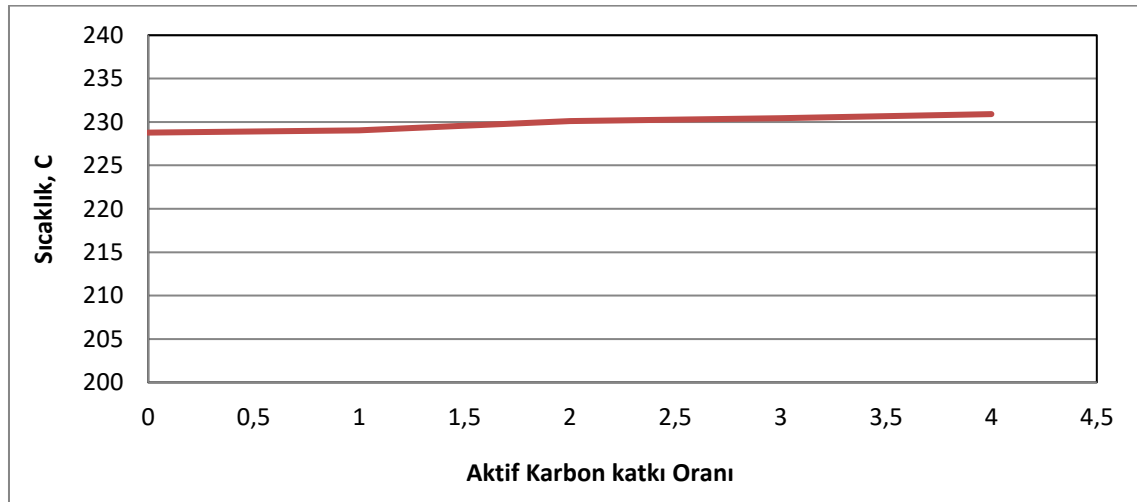
Resim 4.6 ve Resim 4.7 de ağ. % 0,45 aktif nano karbon içeren kurşunlu ve kurşunsuz numunelerin SEM-EDX resimleri verilmiştir. Bu resimlerin EDX analizleri  $\alpha$  ve  $\beta$  fazında da karbon bulunduğuna işaret etmemektedir. Ayrıca, kalay ve kurşunun EDX analizine göre yapıda bulunduğu görülmektedir.

### 4.3. DTA Sonuçları Analizi



Şekil 4.3 Kurşunlu Lehimin DTA Sonuçları (Katkı Oranları 0 = Katkısız, 1 = Ağ. % 0.1, 2 = Ağ. % 0.2, 3 = Ağ. % 0.3, 4 = Ağ. % 0.45).

Kurşunlu lehimlerde ergime başlangıç noktasında birkaç derecelik artış görülürken ergime en alt noktasında sıcaklıkta bir düşüş görülmektedir. Katkısız lehimdeki ergime en alt sıcaklığının katkı oranına bağlı olarak düşmesi ilave aktif nanokarbonun etkisiyle olduğu düşünülmektedir.

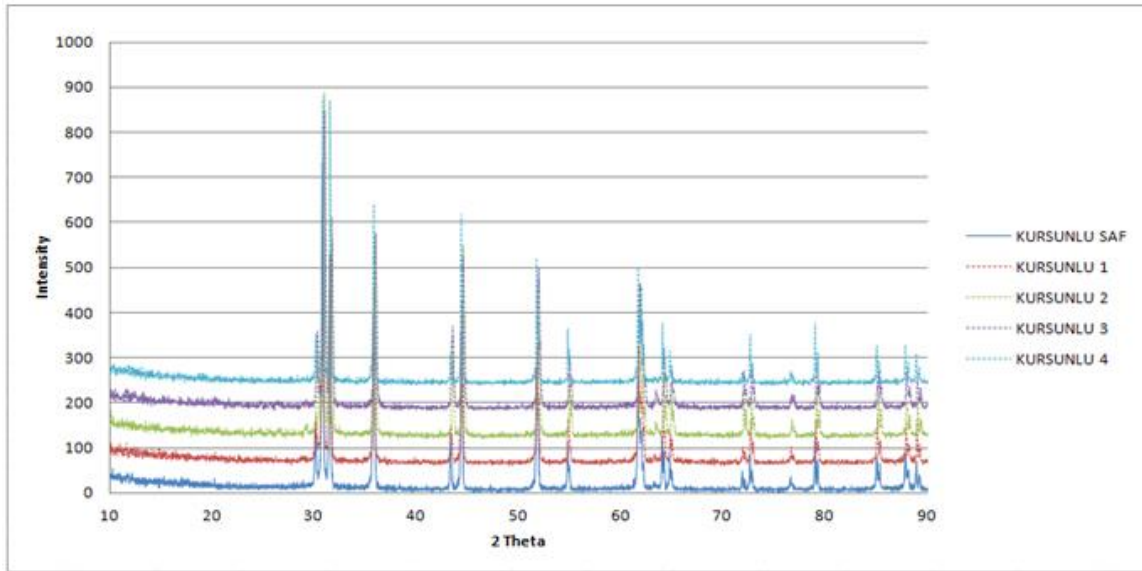


Şekil 4.4 Kurşunsuz Lehimin DTA Sonuçları (Katkı Oranları 0 = Katkısız, 1 = Ağ. % 0.1, 2 = Ağ. % 0.2, 3 = Ağ. % 0.3, 4 = Ağ. % 0.45).

Buna karşın kurşunsuz lehimlerde ergime başlangıç ve ergime minimum noktasının düşük olduğu ve aktif nano karbon miktarıyla beraber bu sıcaklıkların arttığı

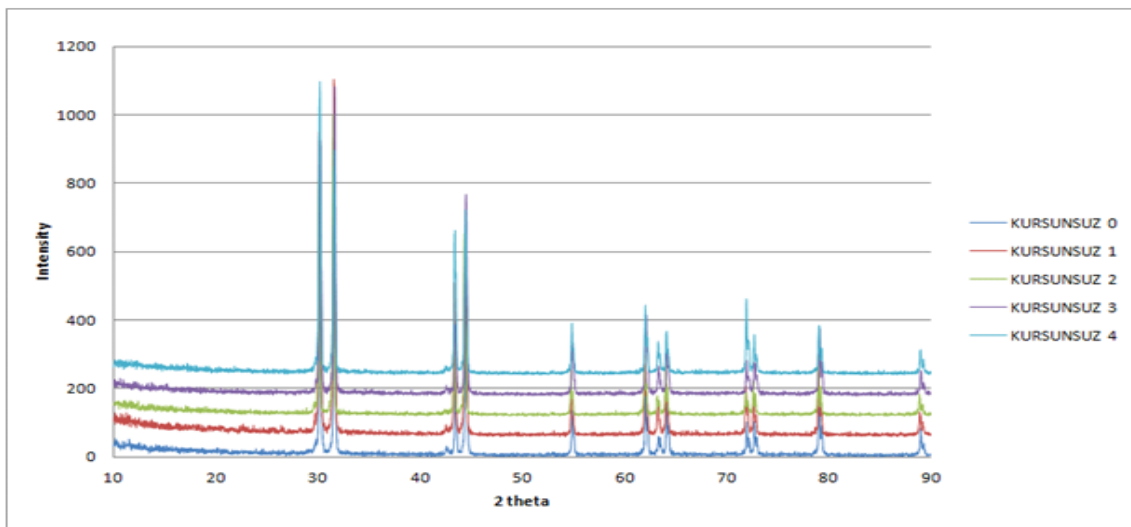
görülmektedir. Aktif nano karbon miktarı kurşunlu lehimin ergime sıcaklığını azaltan bir etki gösterirken kurşunsuz lehimlerde aktif nano karbon miktarına bağlı olarak ergime sıcaklığını arttıran bir etki göstermektedir.

#### 4.4 XRD Sonuçları Analizi



Şekil 4.5 Kurşunlu Numunelerin XRD Pikleri.

Şekil 4.5’da saf kurşunlu ve ağırlıkça farklı oranlarda aktif nano karbon ilave edilen kurşunlu lehimlerin XRD pikleri verilmiştir. Bu grafiğe göre kurşunlu lehimlerin  $\alpha$  ve  $\beta$  fazından oluştuğu ve artan aktif nano karbon miktarına bağlı olarak pik şiddetlerinde değişim olmadığı görülmüştür.



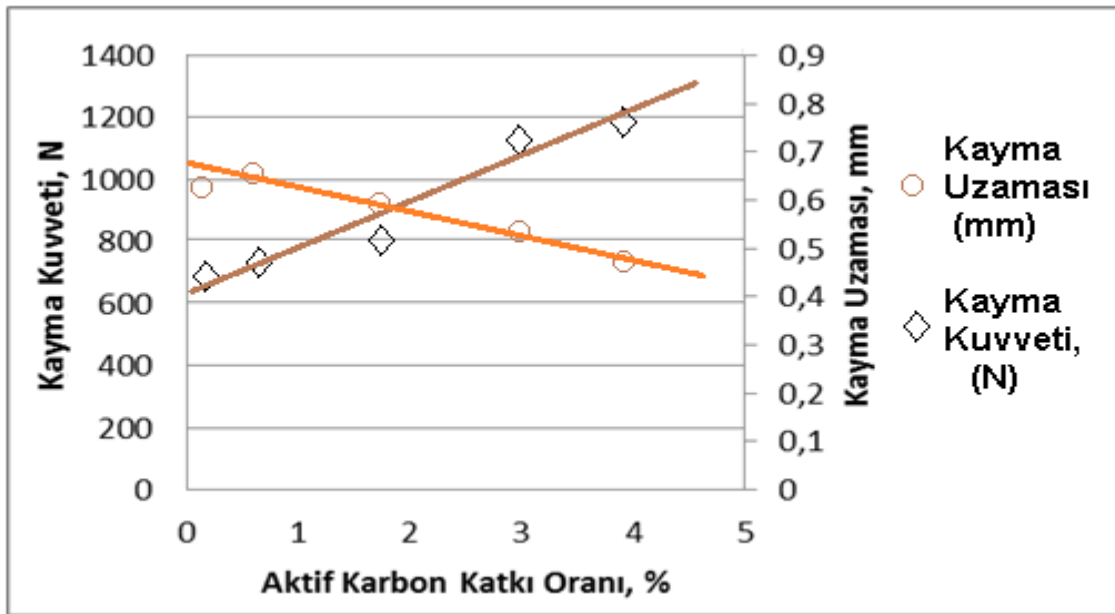
Şekil 4.6 Kurşunsuz Numunelerin XRD Pikleri.



Şekil 4.6’de saf kurşunsuz ve ağırlıkça farklı oranlara aktif nano karbon ilave edilen kurşunsuz lehimlerin XRD pikleri verilmiştir. Kurşunlu numunelerin XRD pikleri gibi kurşunsuz numunelerin XRD pikleri sonuçlarında yeni pik ortaya çıkmamıştır. Bu durumda ağırlıkça farklı miktarlarda ilave edilen aktif nano karbon ilavelerinin yeni faz oluşumuna herhangi bir katkısı olmadığı düşünülmektedir.

#### 4.5 Basma Deneyi Sonuçları

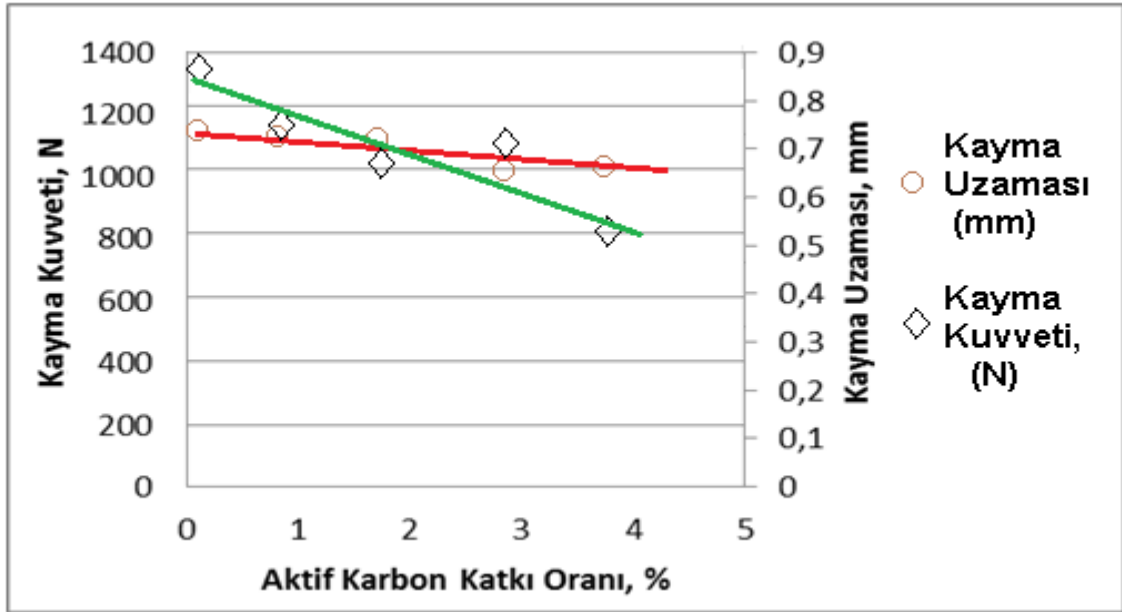
Basma deneyleri çap/yükseklik oranı 2 olan numuneler kullanılarak yapılmıştır. Basma deney sonuçları Şekil 4.7 ‘de ve Şekil 4.8’de verilmiştir. Basma deneylerinde genel olarak, kurşunlu ve kurşunsuz farketmemekle beraber aşağı yönlü bir eğilim mevcuttur. Kesme dayanımları dikkate alındığında, benzer bir durum burada da geçerlidir. Basma dayanımları, kurşunsuz lehimlerde, kurşun içeren lehimlere göre daha yüksek çıkmıştır. Katkı oranlarının, kesme dayanımlarında olduğu gibi, yumuşatma etkisi yarattığı gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, koagülasyon veya daha farklı bir mekanizma ile veya daha ilave kayma düzlemlerinin ortaya çıkması ile bu durum ortaya çıkabilmektedir.



Şekil 4.7 Kurşunlu Lehimlerin Basma Dayanımı Grafiği (Katkı Oranları 0 = Katkısız, 1 = Ağ. % 0,1, 2 = Ağ. % 0,2, 3 = Ağ. % 0,3, 4 = Ağ. % 0,45).

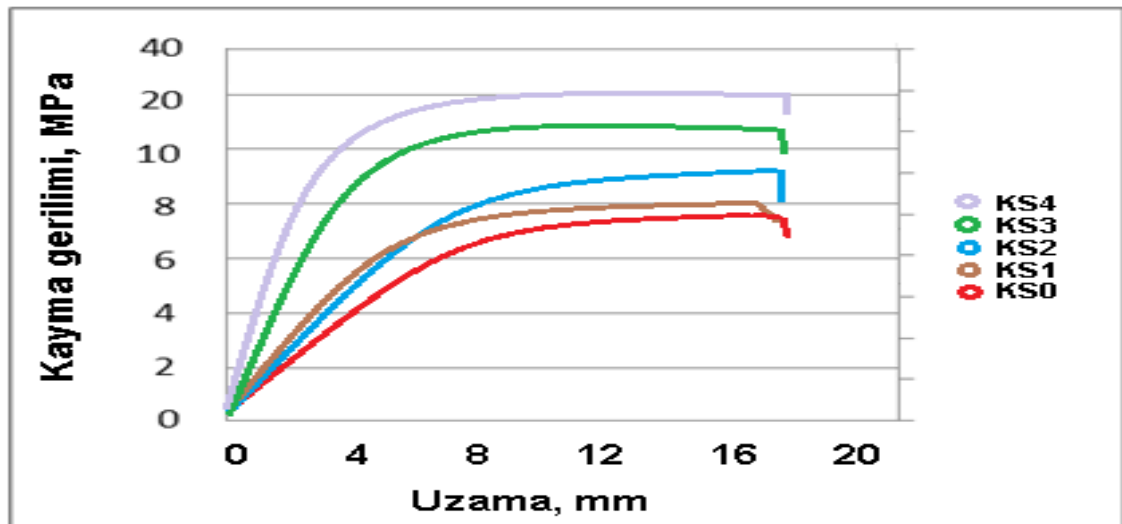
Kurşunlu numunelerin Şekil 4.7’de artan katkı oranına bağlı olarak (aktif nano karbon) basma dayanımları artmaktadır. Kayma uzama yani numunenin şekil değiştirmesi artmaktadır. Buna bağlı olarak numunelerin kayma kuvvetleri azalmaktadır. Kurşunsuz

lehimde ise basma kuvveti ve basma gerilmesi azalan bir davranış göstermektedir (Şekil 4.8). Kayma gerilmeleri hesaplandığında kurşunlu ve kurşunsuz lehimlerin benzer bir davranış göstererek aşağı yönlü bir eğilime sahip oldukları görülmektedir.

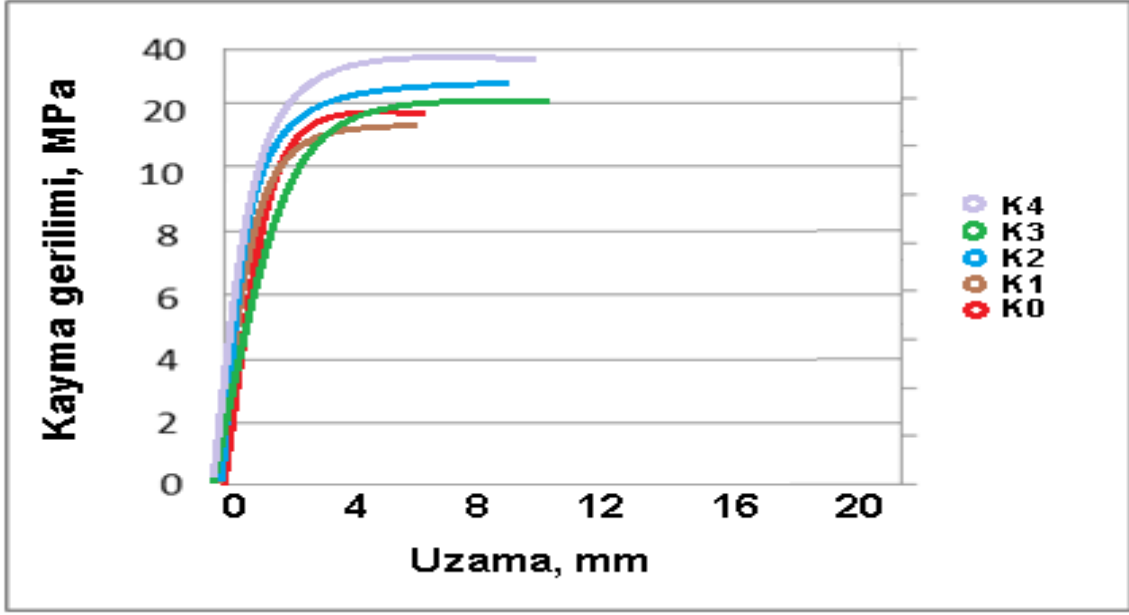


Şekil 4.8 Kurşunsuz Lehimlerin Basma Dayanımı Grafiği (Katkı Oranları 0 = Katkısız, 1 = Ağ. % 0,1, 2 = Ağ. % 0,2, 3 = Ağ. % 0,3, 4 = Ağ. % 0,45 ).

#### 4.6 Bindirme Çekme Deneyi Sonuçları



Şekil 4.9 Saf ve Aktif Karbon Katkılı Kurşunsuz Lehimlerle Birleştirilmiş Olan Lehim Bağlantılarının Çekme Deneyi Test Sonuçları.



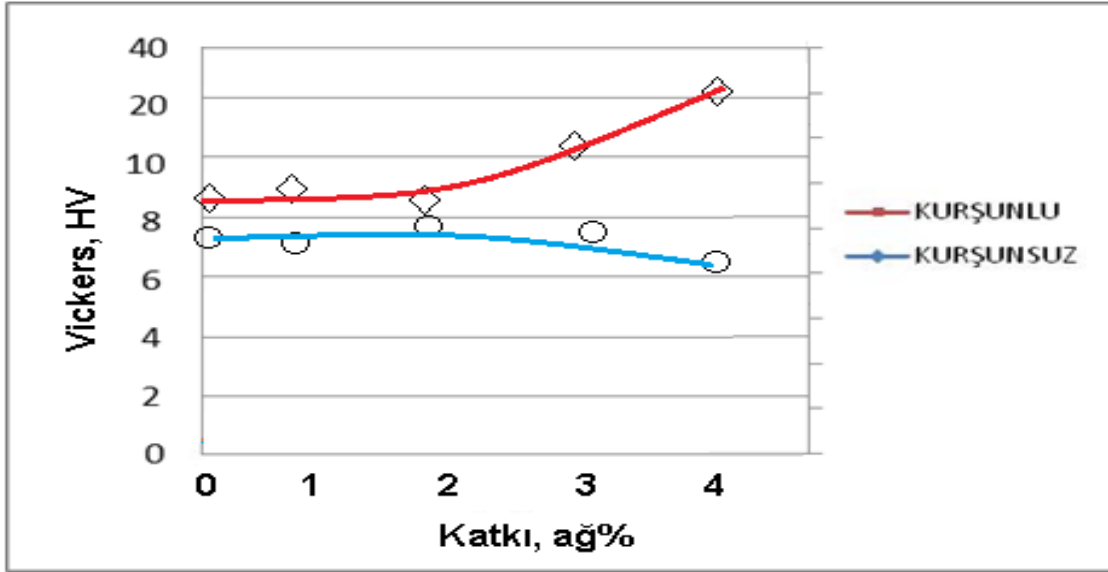
Şekil 4.10 Katkısız ve Aktif Karbon Katkılı Kurşunlu Lehimlerle Üretilmiş Olan Bindirme Lehim Bağlantılarının Çekme Deneyi Test Sonuçları.

Katkısız ve aktif karbon katkılı lehimlerin dayanımlarının test edilmesi için iki Cu plaka kullanılarak bindirme yöntemiyle lehimlenmiştir. Daha sonra, çekme testine tabi tutulan numunelerin sonuçları kurşunsuz numuneler için Şekil 4.9'da ve kurşunlu numuneler için Şekil 4.10'de verilmiştir. Test sırasında kuvvet uzama diyagramı elde edildiği için kesme alanına bu kuvvet değeri bölünmüştür. Çekme deneyi, aslında bağlantının çekme kayma dayanımı ölçmektedir. Her iki grubun sonuçları, bindirme kayma dayanımlarının artan katkı miktarıyla beraber genel olarak kademeli olarak arttığını ancak kurşunlu lehimlerde bu artışın sınırlı kaldığını göstermektedir. Çekme testine tabi tutulan bütün numuneler, lehimlenmiş bölgeden kopmuş olup, numunelerin uzama değerleri ise artan aktif karbon miktarı ile artış göstermesi özellikle kurşunsuz lehimlerde daha belirgin olmaktadır. Bu durum, kurşunsuz lehimlerle yapılan bindirme birleştirme numunelerindeki aktif karbonun lehimleme sırasında toparlanmaya sebep olduğunu düşündürmektedir. Çünkü, aktif karbon ikinci faz olmadığı için çekirdeklenme veya diğer mekanizmalarla faz yapısını kısmen etkilemektedir. Ancak genel olarak, kurşunlu lehimle üretilen bindirme numunelerinin dayanımları kurşunlu olanlara göre daha düşük çıkmıştır.

Sahip oldukları tek faz yapısından dolayı, kurşunsuz lehimle kullanılarak lehimlenen numunelerin toplam uzama değerleri, genellikle aynı kalırken kurşunlu lehimler birleştirilmiş olanlarda ise bu değerlerin değişiklik göstermektedir.

#### **4.7 Mikrosertlik Deneyi Sonuçları**

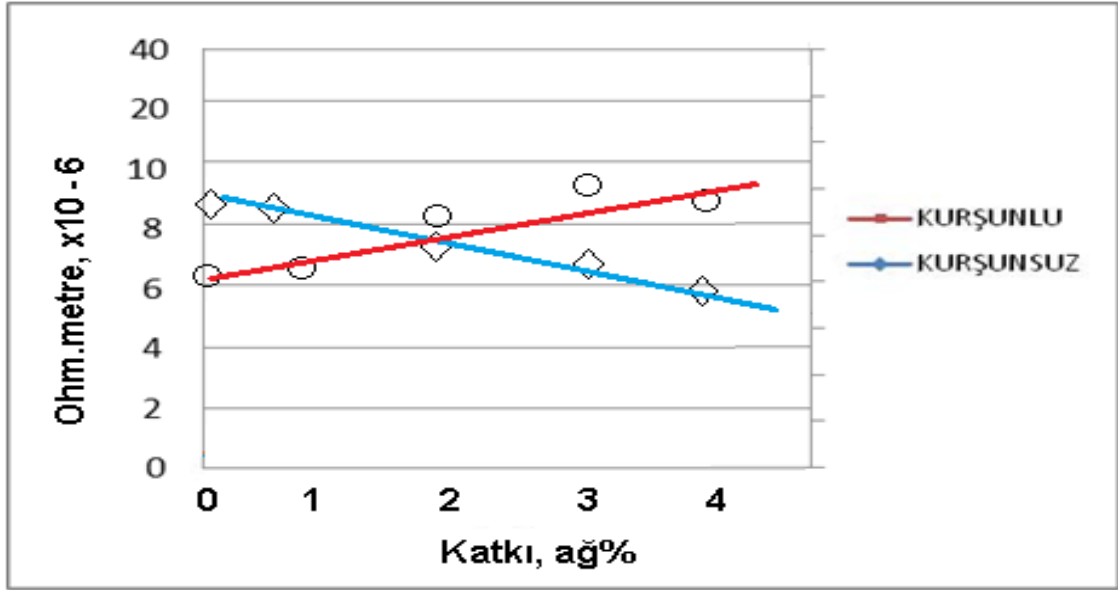
Her iki aktif karbon katkılı ve katkısız kurşunlu ve kurşunsuz lehimler üzerinde yapılan mikrosertlik deneyleri sonucunda, artan aktif karbon miktarı ile sertlik değişimlerinin ilişkili olmadığı görülmüştür. Sadece, kurşunlu lehimlerin sertlik değeri katkı oranına göre ertmiştir; diğerlerinde ise genel olarak sabit bir değerde veya yakın bir değerde olduğu görülmüştür. Ölçülen sertlik değerlerinin kurşunlu lehimler için en yüksek katkı oranında yüksek çıkması birinci olarak kurşunlu lehim içerisinde bulunan alfa ve beta fazlarından her bir fazın veya enazından bir fazın bir miktar karbon çözmesinden kaynaklanmaktadır. Bunun yanın da ikinci sebep ise, katkı miktarı artan yani hacimce artan aktif karbonun matris deformasyon miktarına negatif etki ettiği düşünülmektedir. Sonuç olarak, artan, bu durumda üçüncü faz olmaktadır, faz oranı nedeniyle matriste dislokasyon hareketinin zorlanması veya matris sertleşmesi etkisiyle sertliğinin arttığı düşünülmektedir. Artan aktif karbon miktarının diğer bir etkisinde katılma sırasında ortaya çıkmaktadır. Daha önce belirtildiği gibi, kurşunlu lehimlerde katılma sonrası çekilen resimlerde, tane boyutlarının ince olduğu bunun yabancı inert katılma ajanlarının bulunmasından kaynaklandığı düşünülmüştür; bu teoriyi ilerletecek olursak, ince taneli yapıların sertliklerinin daha yüksek olması muhtemel olup, kurşunlu, yani çift faz etkisi gösteren lehimlerde bu nedenle sertlik daha yüksek çıkmaktadır.



Şekil 4.11 Kurşunlu ve Kurşunsuz Numunelerin Mikrosertlik Deneyi Sonuçları (Katkı Oranları 0 = Katkısız, 1 = Ağı. % 0.1, 2 = Ağı. % 0.2, 3 = Ağı. % 0.3, 4 = Ağı. % 0.45).

#### 4.8. Elektriksel Özdirenç Deneyi Sonuçları

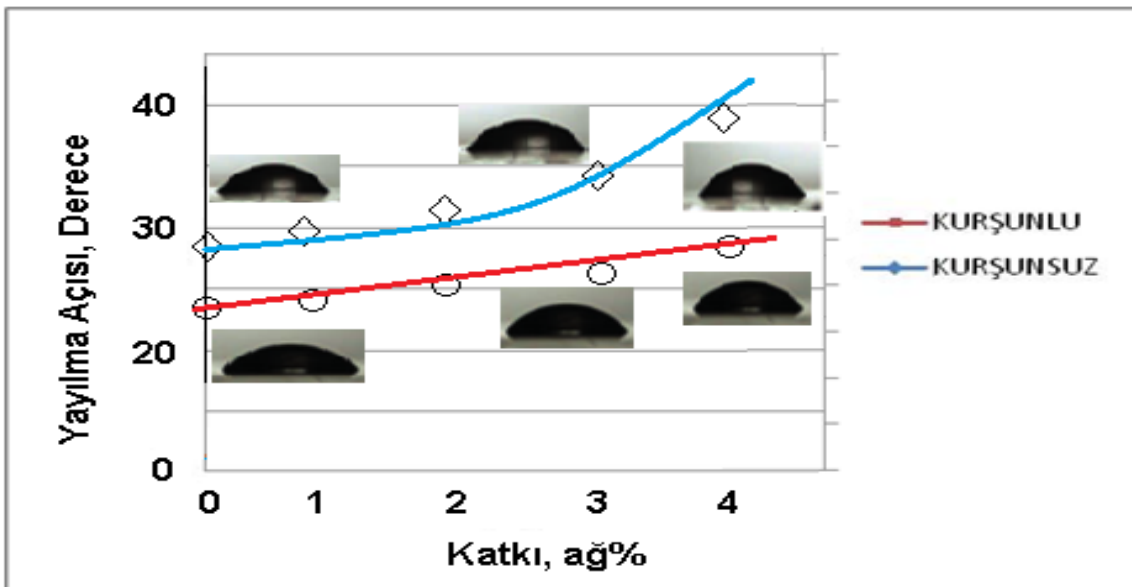
Elektriksel ölçümlerde elde edilen sonuçlar Şekil 4.11’de verilmiştir. Bir metalin veya iletkenin özdirenci kesit alanının büyüklüğüne ve uzunluğuna bağlı olması nedeniyle, alansal ölçüm yerine uzunluk ve kesitin dikkate alındığı bir yöntem kullanılmıştır. Kullanılan lehim çubuğun efektif kesit alanı ve uzunluğu dikkate alındığı için ölçüm sonuçları ohm.metre olarak hesaplanmıştır. Bu değerlere göre, kurşunsuz lehim numunelerinde artan katkı oranına göre elektriksel direnç değerleri azalmakta buna karşın kurşunlu lehimlerin dirençlerinde artış görülmüştür. Kurşunsuz lehimlerin dirençlerinin azaldığına dair literatürde araştırma sonuçları mevcuttur ancak aktif nano karbon veya aktif karbon katkılı kurşunlu lehimler için literatür oldukça sınırlıdır.



Şekil 4.12 Elektriksel Özdirenç Deneyi Ölçüm Sonuçları (Katkı Oranları 0 = katkısız, 1 = Ağ. % 0.1, 2 = Ağ. % 0.2, 3 = Ağ. % 0.3, 4 = Ağ. % 0.45).

#### 4.9 Islatma Yüzey Açısının Ölçüm Sonuçları

Yüzey ıslatma açıları genellikle lehimlenebilirliğin bir sonucudur. Bu sonuç, lehimin alt tabaka ile yapmış olduğu etkileşimi ve uyumluluğu hakkında bilgi verir. Şekil 4.13 katkı oranlarına göre yapılan ölçüm sonuçlarını vermektedir. Bu sonuçlara göre, artan aktif karbon oranıyla beraber yüzey ıslatma açısının arttığı yani, yüzey geriliminin arttığını göstermektedir. Yüzey ıslatma deneyinden elde edilen resimlerde grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.13 Katkı Oranlarına Göre Yüzey Islatma Açıları.

## 5. SONUÇLAR

Bu tezde Kurşunsuz lehimlerin ve kurşunlu lehimlerin içeriğine artan miktarda ağ %0,1 – ağ %0,2 – ağ %0,3 ve ağ %0,45 oranlarında aktif karbon eklenmesiyle elde edilen değişiklikler incelenmiş ve aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

1. Mikro sertlik: Mikrosertlik deneyleri sonucunda, artan aktif karbon miktarı ile sertlik değişimlerinin ilişkili olmadığını görülmüştür. Sadece, kurşunlu lehimlerin sertlik değeri katkı oranına göre artmıştır; diğerlerinde ise genel olarak sabit bir değerde veya yakın bir değerde olduğu gözlemlenmiştir
2. Basma ve kayma: Kurşunlu numunelerin artan katkı oranına bağlı olarak (aktif nano karbon) basma dayanımları arttığı gözlemlenmiştir. Kayma uzama yani numunenin şekil değiştirmesi arttığı ve buna bağlı olarak numunelerin kayma kuvvetleri azaldığı gözlemlenmiştir. Kurşunsuz numunelerde ise basma kuvveti ve basma gerilmesi azalan bir davranış gösterdiği gözlenmiştir Kayma gerilmeleri hesaplandığında kurşunlu ve kurşunsuz lehimlerin benzer bir davranış göstererek aşağı yönlü bir eğilime sahip oldukları görülmüştür.
3. Bindirme ve çekme dayanımı: Her iki grubun sonuçları, bindirme kayma dayanımlarının artan katkı miktarıyla beraber genel olarak kademeli olarak arttığını ancak kurşunlu lehimlerde bu artışın sınırlı kaldığını görülmüştür. Kurşunsuz lehimlerin dayanımları kurşunlu lehimlere göre genel olarak daha düşük olduğu görülmüştür.
4. XRD sonuç: Kurşunlu numunelerin XRD pikleri gibi kurşunsuz numunelerin XRD pikleri sonuçlarında yeni pik ortaya çıkmamıştır. Bu durumda ağırlıkça farklı miktarlarda ilave edilen aktif nano karbon ilavelerinin yeni faz oluşumuna herhangi bir katkısı olmadığı düşünülmektedir.
5. DTA sonuç: Aktif nano karbon miktarı kurşunlu lehimin ergime sıcaklığını azaltan bir etki gösterirken kurşunsuz lehimlerde aktif nano karbon miktarına bağlı olarak ergime sıcaklığını arttıran bir etki gösterdiği görülmüştür.
6. Elektrik direnci: Kurşunsuz lehim numunelerinde artan aktif karbon oranına göre elektrik direncinde azalma gözlemlenmiştir. Kurşunlu lehim numunelerinde artan aktif karbon oranına göre elektrik direncinde artış gözlemlenmiştir.

7. Islatma yüzey açısı: Kurşunlu ve kursunsuz lehimlerde artan aktif karbon oranıyla beraber yüzey ısılatma açısının arttığı yani, yüzey geriliminin arttığını gözlenmiştir.



## 6. KAYNAKLAR

- Ago, H., Petritsch, K., Shaffer, MSP., Windle, A. H., & Friend, R. H. (1999). Composites of carbon nanotubes and conjugated polymers for photovoltaic devices. *Advanced Materials*. **11**: 15, 1281-1285.
- Akdoğan, A., Küçükıldırım, B.O. (2006). Nanomalzemeler ve Uygulamaları, *Makine Teknolojisi*, **99**: 114-117
- Altın, M. (2010) Aktif Karbonlu Filtre İle EN 779 Standardına Ait f8 Sınıfı Malzemenin Toz Tutma Kapasitesinin Karşılaştırılması, Y. Lisans Tezi, Mustafa Kemal Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay
- Bozmaoğlu, A. (2015) SACX300, SACX305 ve SACX307 Üçlü Kurşunsuz Lehim Alaşımlarının Bakır(Cu) Altlık Üzerinde Islatma Özelliklerinin İncelenmesi, Karabük Üniversitesi, Y. Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Coşgun, N. (2016) Nanoboyutlu Aktif Karbon İçeren Pamuklu Kumaş İle Cu(II) İyonlarının Kapalı Devre Su Sistemlerinde Giderimi”, Y. Lisans Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.
- Çınar, S (2010) Bakır ve Alaşımlarının Sert Lehiminde Farklı Kimyasal Kompozisyonlara Sahip İlave Tellerin Bağlantının Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerine Etkisi, Y. Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Dai, H. (2002). Carbon Nanotubes: Synthesis, Integration, and *Properties*. *Acc Chemical Research*. **35**: 1035-1044
- Ekici, F (2014) Pb-Sn İkili Metalik Alaşımlarının (Pb-% x ağı.Sn(x= 25, 50, 61.9, 75) Termofiziksel Özelliklerinin Araştırılması, Y. Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Hamada, N., Sawada, S.I., Oshiyama, A. (1992). New One Dimensional Conductors, Graphite Microtubules, *Physics Review Letters*, **68**: 1579–1581

- İşcan, O. (2009) Katodun Atomik Yapısının Nano Karbon Üretimi Üzerine Etkiler, Y. Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eylül.
- Jadidi, A, (2013) Karbonlu Çelik Malzemelerin Lehim Pastası Kullanılarak Fırında Sert Lehimlemesine Etki Eden Parametrelerin Deneysel Olarak Optimizasyonu, Y. Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir
- Kaya, Y.Ö. (2008) Lehimleme Tekniğinde İşlem Otomasyon ve İşlem Parametrelerinin Etkilerinin İncelenmesi, Y. Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul
- Lowe, C.R. (2000). Nanobiotechnology: the fabrication and applications of chemical and biological nanostructures. *Current Opinion in Structural Biology*. **10**: 428-434
- MEBa, (2011) Lehimleme ve Baskı Devre, Ankara (2011).
- MEBb, (2011) Lehimleme, Ankara (2011).
- Omaç, F. (2016) Sn-Zn-(XAl) Üçlü Kurşunsuz Lehim Alaşımlarının Islatma Özelliklerinin İncelenmesi, Y. Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Tosun, M, (2013) Galvanizli Saçların MIG-Sert LehimlemeYöntemiyle Birleştirilmesinin Araştırılması, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Uzun, H. (2002). Sert lehimleme Prensipleri”, Değişim Yayınları ,1 ,İstanbul (2002).
- Varol, F. (2013), MIG Lehimleme Yöntemi ile Dual Fazlı Çelik Saçların Birleştirilebilirliğinin ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya
- Yavuz, G. (2015) Ultrasonik Lehimleme Cihazı Tasarımı ve Ultrasonik Yöntemle Lehimleme Uygulamaları”, Y. Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yıldırım, A. (2013). Yüzey işlevsel nano karbon kullanılarak yeni nesil hibrit polimerlerin hazırlanması ve yapı- özellik ilişkilerinin araştırılması. Doktora Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.

Zhang, J., Kong, L.B., Wang, B., Luo, Y.C., Kang, L. (2009). In- Situ Electrochemical Polymerization of Multi- Walled Carbon Nanotub/Polyaniline Composite Films for Electrochemical Supercapacitor. *Synthetic Metals*. **159**: 260-266.

Bansal, R.C. and Goyal, M. (2005) Activated Carbon Adsorption, New York CRC press.

Güneysu, S. (2003). Pirina'nın Aktif Karbon Olarak Değerlendirilmesi Y. Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

## 6.1 İnternet Kaynakları

## Erişim Tarihi

1- <http://www.yaklasansaat.com>

14.05.2019

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Bahattin AYAR  
Doğum Yeri ve Tarihi : Kırıkkale, 1985  
Yabancı Dili : İngilizce  
İletişim (Telefon/e-posta) : 05448397358

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Kurtuluş Lisesi (1999-2002)  
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi Metal öğretmenliği bölümü (2006-2011)  
Afyon Kocatepe Üniversitesi Malzeme Mühendisliği bölümü (2013-2015)  
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, (2011-2019)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Alstom Transport Yüksek Hızlı Tren projesi (2013-2014)  
: CAF/TMS Yüksek Hızlı Tren projesi (2014-2016)  
: SİEMENS/TMS Yüksek Hızlı Tren projesi (2016-devam ediyor).