TÜBİTAK

Tek Yönlü Katılaştırılmış Alternatif Kurşunsuz Lehim Malzemesi Olan Sn-Bi-In-Zn Alaşım Sisteminin Farklı Kompozisyonlarda Mekanik, Termal ve Elektriksel Özelliklerinin Belirlenmesi

Program Kodu: 3001

Proje No: 116F010

Proje Yürütücüsü:

Prof. Dr. Sezen AKSÖZ

Danışman:

Prof.Dr.Necmettin MARAŞLI

Bursiyer:

Pınar ATA ESENER

TEMMUZ 2018
KAYSERİ

Önsöz

Bu projede, tek yönlü katılaştırılmış, Sn-Bi-In-Zn kurşunsuz alaşım sistemindeki, dokuz farklı kompozisyonun mekanik, termal ve elektriksel özellikleri belirlenmiştir.

Bu projeye maddi destek veren TÜBİTAK 3001 Ar-Ge Programı' na ve projenin yapılmasında her türlü desteği veren Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesine teşekkür ederim.

Projede Danışman olarak yer alan sayın hocam Prof.Dr. Necmettin Maraşlı'ya, bursiyer olarak görev alan sevgili öğrencim Pınar Ata Esener'e ve deneysel süreçlerde bize yardımcı olan Dr. Esra Öztürk'e teşekkür ederim.

TÜBİTAK

İçindekiler

Önsöz i
İçindekiler ii
Tablo Listesi iv
Şekil Listesi. v
Özet vii
Abstract ix
1. GİRİŞ 1
1.1 Alaşımların Belirlenmesi 1
2. LİTERATÜR ÖZETİ 3
3. GEREÇ VE YÖNTEM 5
3.1 Deneysel Süreç 5
3.1.1 Sn-Bi-In-Zn Alaşımlarının Üretimi 6
3.1.1.1 Numune Kalıbının Hazırlanması 6
3.1.1.2 Numune Kalıbının Döküm Fırınına Yerleştirilmesi ve Dökümün Yapılması 8
3.1.2 Isıl İletkenliğinin Sıcaklıkla Değişiminin Ölçümü 11
3.1.2.1 Numunenin Lineer Isı Akış Sistemine Yerleştirilmesi 11
3.1.2.2 Lineer Isı Akış Sisteminde Bir Deneyin Yapılışı 12
3.1.2.3 Alaşımların Isı İletkenliğinin Hesaplanması 13
3.1.2.4 Isıl Sıcaklık Katsayısının Hesaplanması 15
3.1.3 Alaşımların Elektriksel İletkenliğinin Ölçümü 16
3.1.3.1 Elektriksel Sıcaklık Katsayısının Hesaplanması 19
3.1.4 Isı İletkenliğe Elektron ve Fononların Katkısının Hesabı 19
3.1.5 Alaşımların Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi 24
3.1.5.1 Sn-In-Bi-Zn Alaşım Sisteminin Mikrosertlik Değerlerinin Belirlenmesi 24
3.1.5.2 Sn-In-Bi-Zn Alaşım Sisteminin Çekme-Dayanım Değerlerinin Belirlenmesi 25
3.1.6 Alaşımların Mikroyapı-Elementel Tayini (SEM-EDX) 26
3.1.7 Alaşımların Termal Özelliklerinin Belirlenmesi 32

3.1.8 Sn-Zn-Cu alaşımının Termal, Mikroyapı ve Mekanik Özellikleri 35
3.1.8.1 Isı İletkenliğin Sıcaklıkla Değişiminin Ölçümü 35
3.1.8.2 Mikroyapı-Elementel Tayini (SEM-EDX) 36
3.1.8.3 Alaşım Sisteminin Çekme-Dayanım ve Mikrosertlik Analizi.....38
3.1.8.4 Alaşımların Termal Özelliklerinin Belirlenmesi 38
4. BULGULAR VE SONUÇ 40
KAYNAKLAR.....44

Tablo Listesi

Tablo 1. Termofiziksel özellikleri belirlenecek alternatif lehim alaşımları 3

Tablo 2. Sn-Bi-In-Zn dörtlü alaşım sisteminin farklı kompozisyonları için katı fazların bazı elektriksel ve termal özellikleri 15

Tablo 3. Sn-Bi-In-Zn dörtlü alaşım sisteminin farklı kompozisyonları için ısıl iletkenliğine elektron ve fonon bileşenlerinin sıcaklığa bağlılığı 22

Tablo 4. Alternatif lehim alaşımlarının spesifik ısı ve entalpi değerleri 34

Tablo 5. Sn-5Bi-5In-6Zn alaşımına ait termofiziksel özellikler 40

Tablo 6. Sn-[X] Bi-2In-9Zn (X:4,9,14,24) alaşımlarına ait termofizksel özellikler 42

Tablo 7. Sn-[X]Bi-5In-9Zn (X:1,6,10,16) alaşımlarına ait termofizksel özellikler 42

Tablo 8. Sn-Zn-Cu alaşımına ait intermetalik fazlar 43

TÜBİTAK

Şekil Listesi

Şekil 1. Ağırlıkça 0,2,5 ve 10 In sabit tutularak oluşturulan Sn-In-Zn faz diyagramı [13] 2

Şekil 2. (a) Sn-Bi-2In-9Zn ve (b) Sn-Bi-Sin-9Zn alaşımları için oluşan faz dengeleri [13] 2

Şekil 3. Grafitten yapılmış olan pota, huni ve numune kalıbının fotoğrafı [1] 7

Şekil 4. Lineer ısı akış tekniğinde kullanılan numune kalıbının (a) Fotoğrafı, (b) Şematik gösterimi [43].....7

Şekil 5. Numune kalıbı yapımında kullanılan küçük torna tezgâhı.....8

Şekil 6. Numune dökümünde kullanılan huni [41] 8

Şekil 7. (a) Numune potası ve üst boşluğun silikon yapıştırıcı ile birleşiminin fotoğrafı, (b) Numune potası ve alt-üst desteklerin şematik gösterimi [44] 9

Şekil 8. a)Döküm Fırını b)Vakumlu Eritme Fırını.....9

Şekil 9. Grafitten yapılmış potanın şematik gösterimi [43].....10

Şekil 10. Hassas kesme cihazı 10

Şekil 11. Numunenin ve ısıl çiftlerin konumlarının şematik çizimi [43].....11

Şekil 12. Lineer ısı akış sisteminin genel görünüşü [43].....12

Şekil 13. Sn-Bi-In-Zn alaşım sisteminin %5 ağ. In ve % 2 ağ. In sabit olduğu ısıl iletkenlik değerlerinin sıcaklıkla değişimi.....14

Şekil 14. Dört nokta sisteminin genel görünüşü 17

Şekil 15. Sn-Bi-In-Zn alaşım sisteminin ve saf metallerin elektriksel iletkenlik değerlerinin sıcaklıkla değişimi 18

Şekil 16. Sn-Bi-In-Zn alaşım sisteminin %5 ağ. In ve % 2 ağ. In sabit olduğu elektriksel iletkenlik değerlerinin sıcaklıkla değişimi 19

Şekil 17. Sn-Bi-In-Zn alaşım sisteminin ısıl iletkenlik değerlerine fonon ve elektron katkılarının sıcaklıkla değişimi.....22

Şekil 18. Future Tech FM-700 model dijital sertlik ölçüm cihazı.....24

Şekil 19a. Sn-[x]Bi-2In-9Zn (x= 4, 9, 14 ve 24 ağ. % Bi) mikrosertlik ve çekme dayanım grafiği 25

Şekil 19b. Sn-5Bi-5In-6Zn ve Sn-[x]Bi-5In-9Zn (x= 1, 6, 10 and 16 ağ. % Bi) mikrosertlik ve çekme- dayanım grafiği 26

Şekil 20. Soğuk kalıplama yöntemiyle kalıplandıktan sonra metalografik işlemlere tabi tutulan numune 26

Şekil 21. EDX analizi ile lehim alaşımlarının (Sn-[x]Bi-2In-9Zn (x= 4, 9, 14 and 24 ağ. % Bi), Sn- 5Bi-5In-6Zn ve Sn-[x]Bi-5In-9Zn (x= 1, 6, 10 and 16 ağ. % Bi)) kimyasal bileşim analizi.....31

Şekil 22a. Sn-5Bi-5In-6Zn ve Sn-[x]Bi-5In-9Zn (x= 1, 6, 10 and 16 ağ. % Bi) alaşımlarının DSC analizleri 33

Şekil 22b. Sn-[x]Bi-2In-9Zn (x= 4, 9, 14 ve 24 ağ. % Bi) alaşımlarının DSC analizleri.....34

Şekil 23. Sn-Zn-Cu alaşımlarının ısıl iletkenlik değerlerinin sıcaklıkla değişimi (Saf Sn[46], Saf Zn[46], Saf Cu[46]).....35

Şekil 24. EDX analizi ile Sn-Zn-Cu alaşımlarının kimyasal bileşim analizi.....37

Şekil 25. Sn-Zn-Cu alaşımlarının mikrosertlik ve çekme-dayanım grafği.....38

Şekil 26. Sn-Zn-Cu alaşımına ait DSC analizleri.....39

Özet

Kurşun-Kalay (Pb-Sn) lehim alaşımının termofiziksel yönden birçok avantajı olmasına rağmen, çevre ve sağlık yönünden oluşturduğu problemlerden dolayı alternatif lehim alaşımlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Kurşunsuz lehim alaşımlarına yönelik birçok çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalardaki temel amaç, mevcut lehim alaşımlarından daha iyi özelliklere sahip fakat sağlık ve çevreye daha duyarlı bir lehim alaşımı tespit etmektir. Bu amaçla yapılan çalışmalarda mevcut lehim alaşımlarına katkılama yapılarak, bu lehim alaşımının maliyet, iletkenlik, dayanıklılık, toksit durumu, güvenirlik gibi özelliklerini belirlemektir. Böylece, mevcut alaşımın, diğer lehim alaşımlarına göre üstünlük veya eksiklikleri incelenerek veri tabanı oluşturup, elde edilen veriler ışığında malzemede gerek duyulan iyileştirmeler yapılmaktadır. Kullanım alanına göre uygun özellikteki malzeme seçimi, bu malzemeleri kullanacak mühendis ve bilim adamlarına alaşımların bilinmeyen özellikleri hakkında önemli bilgiler sağlamış olacaktır. Bu çalışmanın amacı da Sn-In-Zn lehim alaşımına Bi ilavesi yapılarak mikroyapı, mekanik ve termal yönden incelemektir.

Projede öncelikle Sn-Bi-In-Zn sistemine ait 9 kompozisyon tespit edildi. Kompozisyon tespiti yapılıken, lehimleme teknolojosi için önemli bir kriter olan alaşımların erime sıcaklığı dikkate alınarak yapıldı. Bu alaşımlar arasında Sn-5Bi-5In-6Zn alaşımı Pb-Sn lehim alaşımıyla aynı erime sıcaklığına sahip olması sebebiyle daha dikkat çekici oldu. Bu alaşımın mekanik yönden dahi iyi özelliklere, elektrik ve ısı iletkenliği yönüyle aynı olduğu tespit edildi. Ayrıca mikroyapısında ara faz içermediği görüldü. Erime sıcaklıklarının aynı olması sebebiyle birçok üretim tesisindeki havyaların ve dalga lehim makinelerinin değiştirilmesine veya yenilenmesine gerek duyulmayacağı ciddi bir ekonomik bütçeye kazanç sağlayacağı tespit edildi.

Sn-In-Zn alaşımına bizmut katkılanarak termofiziksel özellikleri incelendi. Bunun için iki farklı alaşım sistemi seçildi; Sn-[X] Bi-2In-9Zn (X:4,9,14,24), Sn-[X]Bi-5In-9Zn (X:1,6,10,16). Bu iki alaşım sisteminin mekanik, termal ve mikroyapıları incelendi. Sn-[X] Bi-2In-9Zn (X:4,9,14,24) alaşım sisteminin daha kararlı bir yapıya sahip olduğu görüldü.

Ayrıca bu dokuz alaşım için, ısı iletime elektron ve fonon katkısı hesaplandı. Yapılan hesaplamalar sonucunda sıcaklığın artışıyla fononların etkisindeki azalmanın alaşımdaki Bi bileşimine bağlılığın olmadığı görüldü, yani fonon etkisindeki azalmanın alaşım da elementin türüne ve özelliğine bağlı olmadığı gözlemlendi.

Projeyi bir adım daha geliştirmek için projeye sonradan ilave edilen Sn-Zn-Cu alaşımının ısıl iletkenliği, DSC analizi, çekme-dayanım, mikrosertlik ve mikroyapı analizi yapıldı. Sn-Zn-Cu

alaşım sistemindeki Cu_6Sn_5, Cu_5Zn_8, CuZn, $CuZn_6$ intermetalik fazları tespit edildi. İntermetalik bileşikler, hem kullanım sıcaklığı hem de mekanik özellikler açısından metalik malzemeler ile seramik malzemeler arasındaki boşluğu doldurmaya aday olduğu için seçildi. Böylece daha önce termofiziksel özellikleri tespit edilmeyen bu alaşım grubunun özellikleri belirlenerek bilim insanlarına kullanım kolaylığı sağlaması amacıyla literatüre sunuldu.

Anahtar Kelimeler: Metal Alaşımlar, Lehimleme Teknolojisi, Termofiziksel Özellikler

Abstract

Beside many thermo-physical advantages of lead-tin (Pb-Sn) solder alloys they cause critical environmental and health problems. Many studies exist on lead-free solder alloy systems in the literature and the main idea of this study is to create a new lead-free solder alloy system which is environmental and health friendly and has better characteristics compared to others. For this reason, in the present study, material contribution is done to the existing solder alloy systems to determine the optimized properties like conductivity, hardness, toxic amount and reliability. Thus, we aimed to create a data base which constitute by determining the favorable and adverse properties of the alloys systems. So that necessary improvements could be made accordingly. The suitable election of the chosen solder systems will give significant information about the unknown properties of the solder systems for engineers and scientists who use these systems. The main target of this study is to determine the mechanical, thermal and microstructural properties of Bi-doped Sn-In-Zn solder alloy systems.

Nine different compositions specified in Sn-Bi-In-Zn alloy system. The melting temperature was the initial criteria in composition determining period. Sn-5Bi-5In-6Zn solder system was remarkable because it has the same melting temperature as Pb-Sn solder system. After deeper studies it was seen that it has better mechanical properties while having same electrical and thermal properties as Pb-Sn system. Also in the microstructure, no interphase was observed. Because of the common melting temperature, it is considered that there will be no need to change or renew the soldering iron and wave solder machines. This was an important saving for our budged.

The thermo-physical properties of Sn-In-Zn alloy system were determined by adding various amount of Bi. For the experiments, two different alloy systems were chosen (Sn-[x]Bi-2In-9Zn (x:4, 9, 14, 24), Sn-[x]Bi-5In-9Zn (x:1, 6, 10, 16)). The mechanical, thermal and microstructural properties of the systems were investigated. After experiments it was seen that the system Sn-[x]Bi-2In-9Zn has more stable structure than the other solder alloys.

Also, the phonon contribution to the thermal conductivity was calculated for these nine alloy systems. After the calculations it was seen that the decreasing in phonon effect by increasing temperature didn't depend on the Bi content in the solder system. In other words, it was considered that the decrement in phonon effect didn't depend on the element or the element's properties.

To develop the project, thermal conductivity, DSC analysis, strength test, microhardness and microstructure tests were done to the Sn-Zn-Cu alloy system that was added later. In this system Cu_6Sn_5, Cu_5Zn_8, CuZn and $CuZn_6$ intermetallic phases were determined. Intermetallics were chosen as a good candidate to fill the hole between metallic and ceramic materials in terms of mechanical properties and operation temperature. Thereby, the properties of these alloy groups were determined for the first time and they were gained to the literature to provide information to the scientists.

Keywords: Metallic Alloys, Soldering Technology, Thermophysical Properties.

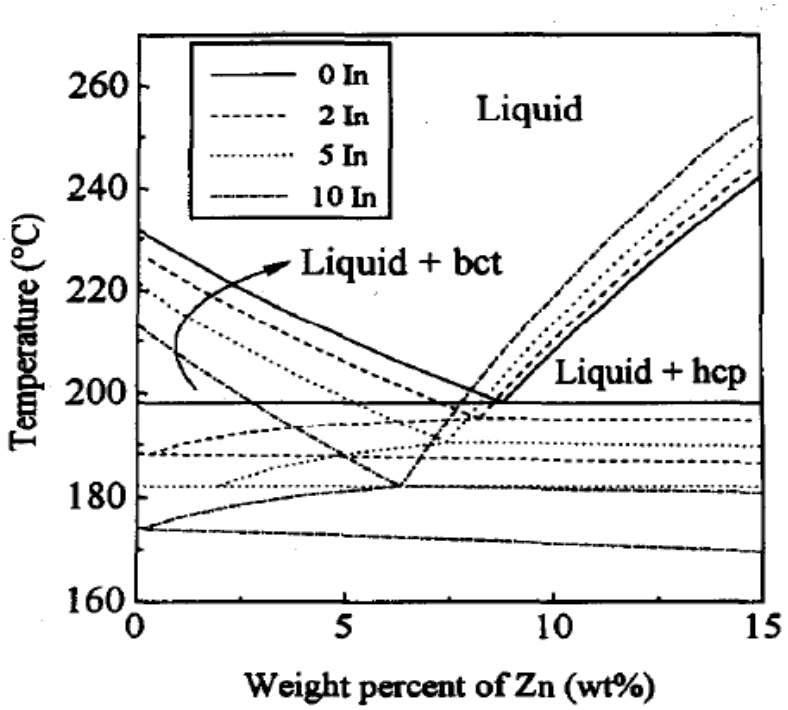
1.GİRİŞ

Kurşun-Kalay (Pb-Sn) lehim alaşımının termofiziksel yönden birçok avantajı olmasına rağmen, çevre ve sağlık yönünden oluşturduğu problemlerden dolayı alternatif lehim alaşımlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Kurşunsuz lehim alaşımlarına yönelik birçok çalışmalar mevcuttur McCormack (1993), Ghosh (1994), McCormack (1994), Kattner (1994), Loomans (1994), Artaki (1994), Kang (1994), Wood (1994). Bu çalışmalardaki temel amaç, mevcut lehim alaşımlarından daha iyi özelliklere sahip fakat sağlık ve çevreye daha duyarlı bir lehim alaşımı tespit etmektir. Bu amaçla yapılan çalışmalarda mevcut lehim alaşımlarına katkılama yapılarak, bu lehim alaşımının maliyet, iletkenlik, dayanıklılık, toksit durumu, güvenirlik gibi özelliklerini belirlemektir. Böylece, mevcut alaşımın, diğer lehim alaşımlarına göre üstünlük veya eksiklikleri incelenerek veri tabanı oluşturup, elde edilen veriler ışığında malzemede gerek duyulan iyileştirmeler yapılmaktadır. Kullanım alanına göre uygun özellikteki malzeme seçimi, bu malzemeleri kullanacak mühendis ve bilim adamlarına alaşımların bilinmeyen özellikleri hakkında önemli bilgiler sağlamış olacaktır. Bu çalışmanın amacı da Sn-In-Zn lehim alaşımına Bi ilavesi yapılarak mikroyapı, mekanik ve termal yönden incelemektir.

1.1 Alaşımların Belirlenmesi

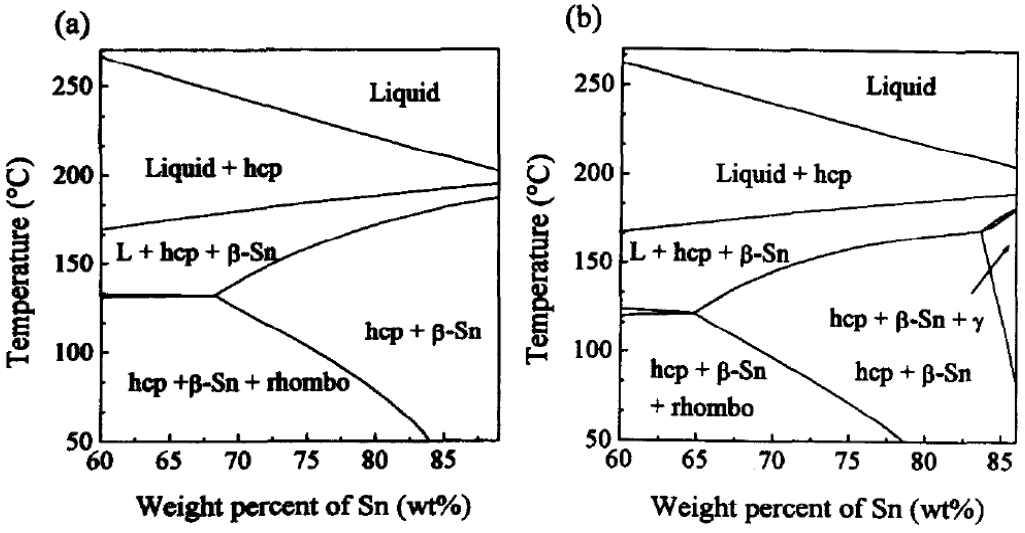
Alternatif olarak belirlenecek lehim alaşımının, Pb-Sn lehim alaşımlarının yerini alabilmesi için yaklaşık olarak aynı erime sıcaklığına sahip olması gerekir. Bununla birlikte kalay bazlı kurşunsuz lehim alaşımlarının erime sıcaklığı ya çok yüksek ya da çok düşüktür. Bunlar arasında 198^0 C eriyen Sn-8.8 Zn Massalski (1991) ötektik reaksiyon en umut vericidir. Bu alaşım 183^0 C'den daha yüksek erime sıcaklığına sahip olsa da alternatif lehim alaşımı tercihinde bir başlangıç noktası olabilir. Sn-Zn alaşımları oksidasyon ve korozyona karşı hassastır. Bu nedenle tercih noktasında bir dezavantaj olarak düşünülebilir. Fakat kurşun içeren lehim alaşımlarında oluşan cüruf tehlikeli madde sınıfına girdiği için yok etmek çok daha pahalı olmaktadır. Günümüz lehimleme teknolojisi cüruf oluşumunu en aza indirip, verimliliği artırmayı hedeflemektedir. Bu nedenle Sn-Zn temelli çok bileşenli sistemler alternatif lehim alaşımı olarak tercih edilebilir. Bu çalışmada da Sn-Zn alaşımına Bi ve In ilavesi yapılmıştır. Çünkü Sn-Bi ve Sn-In alaşımlarının sırasıyla 139^0C ve 120^0C'de ötektik reaksiyon göstermektedir Morris (1993). Bu durumda Bi ve In ilavesi yapılması alaşımın erime sıcaklığını düşüreceği için tercih edilmiştir. Fakat en önemli soru "Yapılacak Bi ve In ilavesi ne kadar olmalıdır?" Yoon (1997) ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada Sn-Zn alaşımına In ilavesi derinlemesine incelenmiştir. Şekil 1 de görüldüğü gibi Sn-Zn-In alaşım sistemine In ilavesini ağırlıkça 0,2,5 ve 10 tutarak faz sınırları hesaplanmıştır. Şekil 1'de

görüldüğü gibi In miktarı arttıkça alaşım ötektik noktadan daha çok sapma göstermiş ve düşük sıcaklılarda γ fazında çökelme meydana gelmiştir.



Şekil 1. Ağırlıkça 0,2,5 ve 10 In sabit tutularak oluşturulan Sn-In-Zn faz diyagramı Yoon (1993)

Tercih edilecek alternatif lehim alaşımında basitleştirilmiş bir faz alanı ve mikroyapı aranacağı için, eklenecek In miktarı 2 ve 5 olarak tercih edilmiştir. Çinko miktarı Sn-9Zn olarak sabitlenerek, Sn-2In-9Zn ve Sn-5In-9Zn olarak 2 tane üçlü kompozisyon belirlenmiştir. Son olarak seçilen bu iki üçlü alaşım sistemine hangi oranlarda Bi ilavesi yapılacağıdır. Yine Yoon (1993) ve arkadaşları tarafından yapılan ve Şekil 2 de gösterilen faz diyagramlarında Sn-2In-9Zn ve Sn-5In-9Zn alaşım sistemlerine Bi ilavesinin faz sınırlarına etkisi incelenmiştir.



Şekil 2. (a) Sn-Bi-2In-9Zn ve (b) Sn-Bi-Sin-9Zn alaşımları için oluşan faz dengeleri Yoon (1993)

Yapılan incelemede Bi ilavesi arttıkça, her iki alaşımda da sıvılaşma sıcaklığı artarken, katılaşma sıcaklığı azalmaktadır. Bu da hamurumsu bölge genişliğini artırmaktadır ki, lehim alaşımlarında bu özellik tercih edilmektedir. Bu nedenle tercih edilecek Bi miktarının konsantrasyonu minimum tutulup basit faz bölgeleri tercih edilmiştir. Bu özellikler göz önünde tutularak aşağıdaki tabloda verilen sekiz alaşım tercih edilmiştir. Ayrıca Sn-5Bi-5In-6Zn alaşımı Sn-Pb lehim teli alaşımıyla aynı erime sıcaklığına sahip olduğu için özellikle inceleme altına alınmıştır.

Tablo 1. Termofiziksel özellikleri belirlenecek alternatif lehim alaşımları

Alaşımlar	
Sn-Bi-2In-9Zn (%ağ.)	**Sn-Bi-5In-9Zn (%ağ.)**
65Sn-24Bi-2In-9Zn	70Sn-16Bi-5In-9Zn
75Sn-14Bi-2In-9Zn	70Sn-16Bi-5In-9Zn
80Sn-9Bi-2In-9Zn	80Sn-6Bi-5In-9Zn
85Sn-4Bi-2In-9Zn	85Sn-1Bi-5In-9Zn

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Lehimler, çoğu mühendislik malzemelerinin temelidir Flemings (1974). Bu ise lehim alaşımlarının, mikroyapı, fiziksel özellikler ve katılaşma sürecindeki parametreler arasındaki ilişkilerle ilgili geniş ölçüde teorik ve deneysel çalışmalara yol açmıştır. Lehimlerin ötektik bir bileşime sahip olması tercih edilmektedir. Ötektik alaşımın erime noktası, alaşımı oluşturan malzemelerin erime sıcaklıklarından daha düşüktür ve daha da önemlisi alaşım tek bir erime noktasına sahiptir. Bu nedenle, sıcaklık ötektik noktaya erişince eklemin tamamı, iki arayüzeyi aynı anda kaynaştırmak için erir Kattner (2002), Shen (2005a), Shen (2005b), Tu (2007). Ag, In, Bi, Pb, Cu, Sb, Zn, Sn gibi lehim malzemeleri bilgisayar sanayisinde çeşitli mikroelektronik bağlantılar için kullanılan en bilinen malzemelerdendir. Katılarda ısısal iletkenliği deneysel olarak tayin edebilmek için, farklı sıcaklıklar ve farklı ısı iletkenlik değerlerine sahip çeşitli maddeler için bir takım değişik metotlar uygulamak gerekmektedir. Maddenin cinsi ve sıcaklık aralığına uygun bir metot, diğerleri arasından tercih edilir. Bütün durumlar için uygulanabilecek tek bir metot yoktur. Bir metodun uygunluğu, maddenin fiziksel özelliği, numunenin uygun geometrik yapısı, istenilen sonuçların doğruluğu, deneyin hızı, zaman ve gerekli finansal destek gibi hususlarla belirlenir Armstrong (1947), Berget (1887),

Berget (1888), Biot (1816), Ditmars (1957), Flynn (1969), Fourier (1955), Honda (1917), Laubitz (1969), Lees (1908), Schofield (1925), White (1959), White (1969).

Isısal iletkenliğin belirlenmesinde kullanılan en yaygın metotlardan biri radyal ısı akış metodudur. Radyal ısı akış metodu kararlı durum metotlarındandır ve numunenin geometrisine bağlı olarak silindirik veya küresel radyal ısı akış metodu olarak adlandırılır. Bu metot, alaşımların ve saf malzemelerin ısısal iletkenliklerinin ölçümünde sıklıkla kullanılır Akbulut (2009), Aksöz (2010).

Malzemeler için bir diğer önemli termofiziksel özelliklerden olan elektriksel özdirenç ve iletkenlik değerleri de özellikle metalurjik çalışmalarda (örneğin elektromanyetik uygulama alanlarında) sıklıkla kullanılır. Elektriksel özdirenç ölçümlerinde genellikle iki farklı ölçüm tekniği kullanılır. Bu teknikler; kontak uçları kullanarak doğrudan direnç ölçülmesi ve kontaksız indüksiyon ölçümleridir. Katı malzemeler için özdirenç ölçümlerinde genellikle Ohm kanununun bir uygulaması olan ve kontak uçları kullanılarak yapılan dört nokta tekniği kullanılır. Bu sistem için de, elektriksel iletkenlik ölçümleri dört nokta yöntemiyle yapılmıştır Çadırlı (2011), Çadırlı (2011).

Termal analiz yöntemlerinden bir tanesi olan DSC (Diferansiyel taramalı kalorimetri) malzemelerin termal özellikleri hakkında bilgi verir. (DSC), numune ve referansın kontrollü bir sıcaklık programına tabi tutulurken numuneye ve referansa ısı akış farkının sıcaklık fonksiyonu olarak ölçüldüğü bir teknik olarak tanımlanır Wunderlich (1990). Numunenin içine veya dışına doğru ısı akışını doğrudan ölçebilecek bir ısı akış ölçer mevcut değildir, bu nedenle ısıyı ölçmek için diğer dolaylı teknikler kullanılmalıdır. Diferansiyel tarama kalorimetresi bu tekniklerden biridir; örnek arasında geliştirilen sıcaklık farkını ve ısı akışının hesaplanması için bir referans kullanır. İlave edilen ısı (kaydedilir), örnekte oluşan endotermik veya ekzotermik reaksiyonlar sonucu kaybedilen veya kazanılan ısıyı karşılar Skoog (1981), Karamazı (2015). Böylece elde edilen eğrilerden camsı geçiş sıcaklığı, entalpi, erime ve kristallenme sıcaklıkları gibi uygulamalar elde edilebilir.

Malzemelerin uygulanan mekanik zorlamalar altındaki davranışı, mekanik özellikler olarak adlandırılır. Mekanik özellikler esas olarak atomlar arası bağ kuvvetlerinden kaynaklanır. Fakat bununla birlikte malzemenin içyapısının da büyük etkisi vardır ve iç yapısal değişiklikler yapılarak mekanik özellikler önemli oranda değiştirilebilir. Sertlik ve çekme-dayanımı da önemli mekanik özelliklerdendir. Bir malzemenin yüzeyine uygulanan yüke, malzemenin gösterdiği dirence o malzemenin *sertliği* veya *mikrosertliği* denir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan dört çeşit sertlik ölçme yöntemi vardır. Bunlar; Brinell sertlik ölçme yöntemi,

Rockwell sertlik ölçme yöntemi, Knoop sertlik ölçme yöntemi, Vickers sertlik ölçme yöntemidir Karamazı (2015). Proje de malzemeye uygun ve imkânlar dâhilinde olan Vickers sertlik ölçme yöntemi kullanılmıştır. Vickers sertlik ölçümünde yüzeyleri arasında 136^{o} açı bulunan bir elmas piramit uç bulunur. Darbelere karşı daha hassas olduğundan en sert malzemeler bile bu metotla ölçülebilir. Uygulanan yük 10 g ile 1000 g arasında değişmektedir. Uç, numuneye belli bir kuvveti 5-30 saniye kadar süre de uygulayarak, numune üzerinde kare şeklinde iz oluşturur. İzin köşegen boyutları (*d*), cihaz mikroskobundan okunarak doğrudan hesaplanır Askeland (1990), Colling (1995), Weissbach (1993).

Çekme dayanımı, mühendislik gerilme-birim şekil değişimi eğrisindeki maksimum gerilmedir. Bu çekme zorlanması altında bir yapının taşıyabileceği maksimum gerilmeye karşılık gelir. Bu büyüklükteki gerilmenin yapıya bir süre etkimesi durumunda kopma oluşacaktır. Gerilme seviyesi maksimum değere ulaştığında numunenin herhangi bir noktasında boyun verme olarak adlandırılan kesit daralması meydana gelir. Bu noktadan sonra deformasyon sadece bu bölgede yoğunlaşır ve nihai kırılma yine bu bölgede meydana gelir. Kopma dayanımı ise kopma (kırılma) anındaki gerilmeyi işaret eder. Lehim malzemelerinde bir diğer önemli husus da sünekliktir. Süneklik, kırılmaya kadar malzeme de oluşabilecek plastik deformasyon miktarının bir ölçüsüdür. Sayısal olarak ya yüzde uzama olarak veya kesit alanında yüzde daralma olarak ifade edilir Callister (2015).

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1 Deneysel Süreç

Tek yönlü katılaştırılmış alternatif lehim alaşımı olan Sn-Bi-In-Zn sistemine ait Sn-%5 ağ.Bi-%5 ağ.In-%6ağ.Zn, Sn-%1ağ.Bi-%5ağ.In-%9ağ.Zn, Sn-%6ağ.Bi-%5ağ.In-%9ağ.Zn, Sn-%10ağ.Bi-%5ağ.In-%9ağ.Zn, Sn-%16ağ.Bi-%5ağ.In-%9ağ.Zn, Sn-%4ağ.Bi-%2ağ.In-%9ağ.Zn, Sn-%9ağ.Bi-%2ağ.In-%9ağ.Zn, Sn-%14ağ.Bi-%2ağ.In-%9ağ.Zn, Sn-%24ağ.Bi-%2ağ.In-%9ağ.Zn (Sn-5Bi-5In-6Zn, Sn-1Bi-5In-9Zn, Sn-6Bi-5In-9Zn, Sn-10Bi-5In-9Zn, Sn-16Bi-5In-9Zn, Sn-4Bi-2In-9Zn, Sn-9Bi-2In-9Zn, Sn-14Bi-2In-9Zn, Sn-24Bi-2In-9Zn) dokuz farklı alaşıma aşağıda listelenen deneysel süreçler sırasıyla uygulanmıştır.

1.1.Sn-In-Bi-Zn sistemine ait 9 farklı alaşım hazırlandı ve her bir alaşım için hazırlanan numune kalıplarına dökümleri yapıldı.

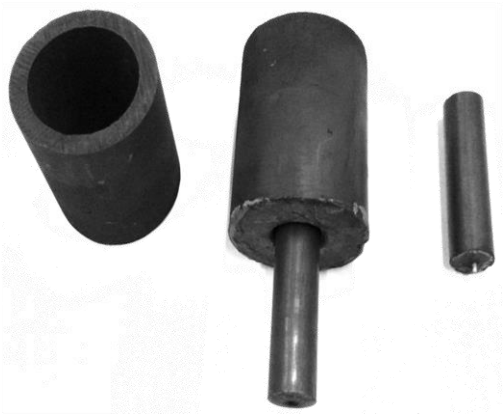
1.2. Sn-In-Bi-Zn sistemine ait her bir alaşımın ısı iletkenliklerinin sıcaklıkla değişimi, lineer ısı akış yöntemiyle ölçüldü.
1.3. Sn-In-Bi-Zn sistemindeki dokuz farklı alaşımın elektriksel iletkenliklerinin sıcaklıkla değişimi, dört nokta yöntemiyle ölçüldü.
1.4. Wiedeman-Franz kanunu kullanılarak elektriksel iletkenlikleri hesaplanıp, ısı iletkenliğe fononların ve elektronların katkısı hesaplandı.
1.5. Sn-In-Bi-Zn sistemine ait her bir alaşımın mikrosertlikleri ve çekme–gerilme dayanımı ölçümleri yapıldı.
1.6. Sn-In-Bi-Zn sistemindeki dokuz farklı alaşımın mikro yapılarının tayini için SEM görüntüleri alınıp, EDX analizleri yapıldı.
1.7. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) yöntemini kullanarak her bir numunenin termal özellikleri belirlendi.
1.8. Birinci gelişme raporunda da belirtildiği gibi, projeyi geliştirmek ve bir adım daha ileriye taşımak adına, projeye ilave edilen Sn-Zn-Cu alaşım sistemine ait termofiziksel özellikler belirlendi.

Aşağıda her bir basamak için yapılan işlemler detaylı bir şekilde anlatılacaktır. Başvuru formunda belirtilen iş-zaman çizelgesinde belirtilen basamakların hepsi sırasıyla tamamen tamamlanmıştır. Ayrıca konu bütünlüğü tamamlamak amacıyla iş-akış çizelgesinin 7. basamağındaki elektriksel iletkenliğin sıcaklıkla değişimi de ölçülmüştür.

3.1.1 Sn-Bi-In-Zn Alaşımlarının Üretimi

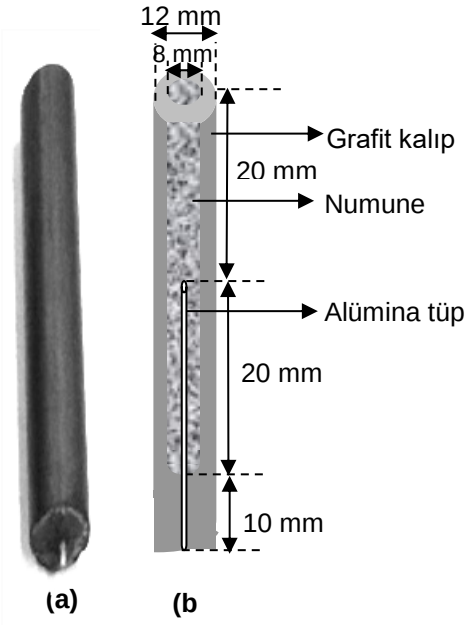
3.1.1.1 Numune Kalıbının Hazırlanması

Şekil 3. de fotoğrafı görülen pota, huni ve numune kalıbının yapımı için grafit kullanıldı. Deneylerde incelenecek olan alaşımların dökümünün yapılabilmesi amacıyla yüksek sıcaklığa dayanıklı özel grafitten numune kalıpları hazırlandı. Numune kalıbı olarak grafit kullanmamızın sebebi ise ısı iletkenliğinin metallerinkine yakın olması, çoğu metal ile etkileşmeye girmemesi ve kolay işlenebilir bir malzeme olmasıdır. Numune kalıbının fotoğrafı ve şematik gösterimi Şekil 4.’de verilmiştir.



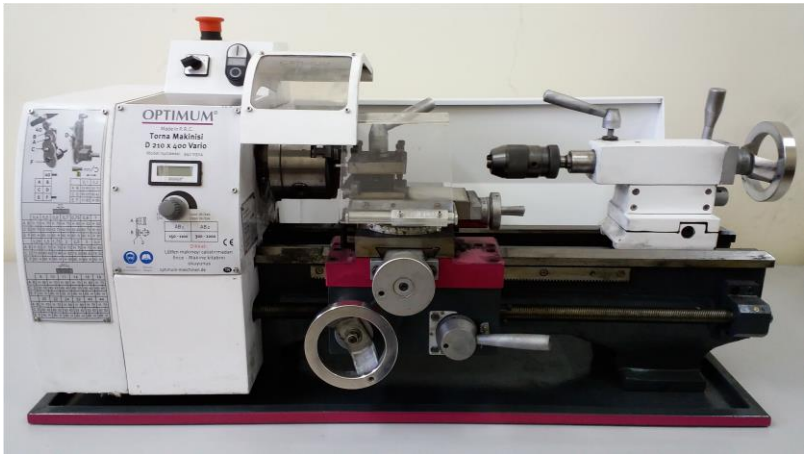
Şekil 3. Grafitten yapılmış olan pota, huni ve numune kalıbının fotoğrafı

Numune kalıbı silindirik boru şeklinde tek parçadan oluşmaktadır. 12 mm çapa ve 250 mm uzunluğa sahip grafit çubuklar Şekil 5.'de gösterilen tornada işlenmektedir. Grafit kalıplar iç çapı 8 mm, dış çapı 12 mm ve boyu 50 mm olacak şekilde hazırlandı.



Şekil 4. Lineer ısı akış tekniğinde kullanılan numune kalıbının (a) Fotoğrafı, (b) Şematik gösterimi Aksöz (2013)

Alümina tüp için kalıbın alt kısmında çapı 1.2 mm olan bir delik açıldı. 33 mm uzunluktaki alümina tüplerin bir ucu oksijen kaynağıyla kapatılırken bir ucu açık bırakıldı. Alümina tüpün kapalı ucundan itibaren 30 mm'lik kısmı numune kalıbının içine yerleştirildi ve döküm esnasında sızıntı olmaması için silikonla kapatıldı ve kuruması beklendi. Numune kalıbının üzerine rahat döküm yapabilmek için 30 mm çapında, 40 mm boyunda bir huni Şekil 6'da gösterildiği gibi numune kalıbının üzerine yerleştirildi.



Şekil 5. Numune kalıbı yapımında kullanılan küçük torna tezgâhı



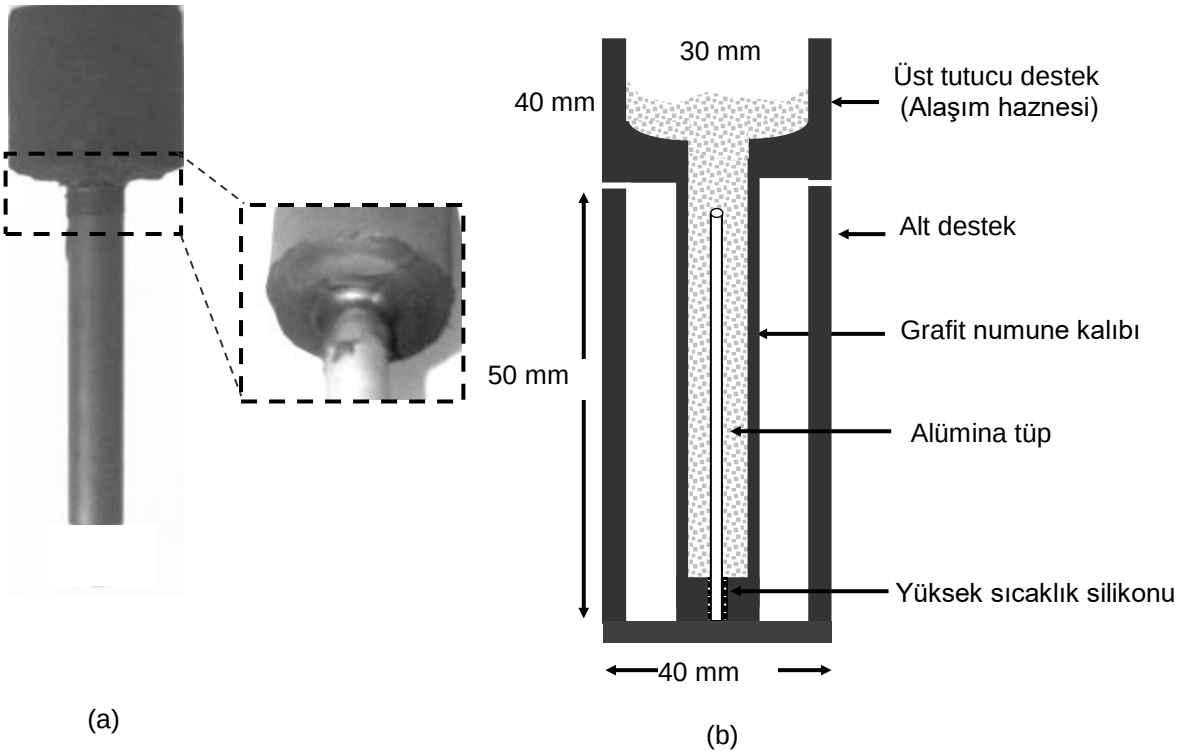
Şekil 6. Numune dökümünde kullanılan huni

3.1.1.2 Numune Kalıbının Döküm Fırınına Yerleştirilmesi ve Dökümün Yapılması

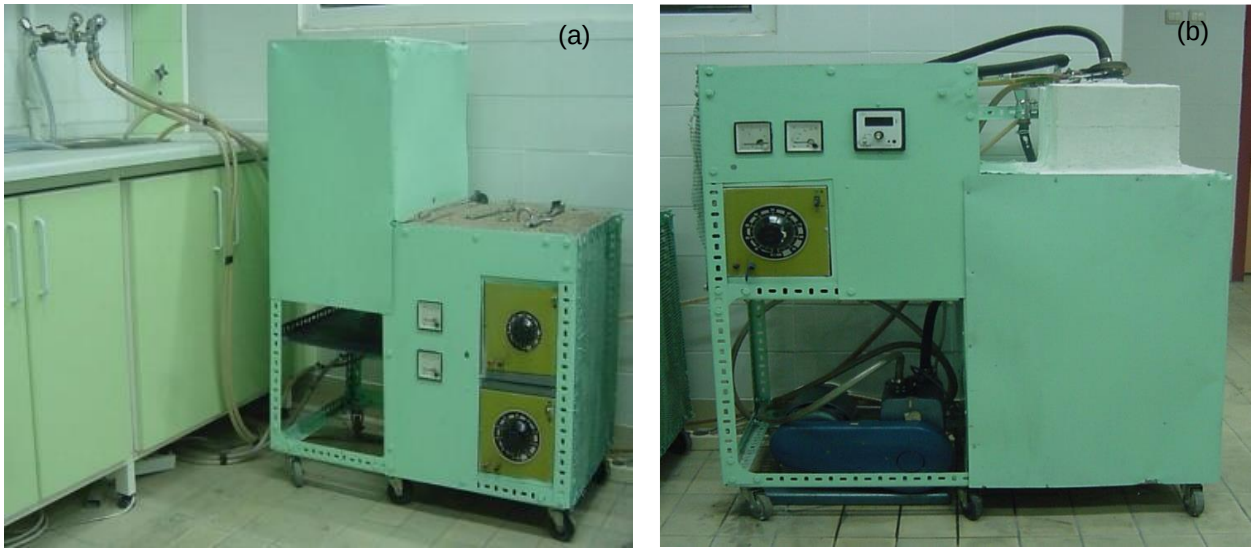
Şekil 7'de gösterildiği gibi hazırlanan numune kalıbı boş bir grafit potanın içine yerleştirilir. Boş potaya yerleştirilen numune kalıbı iki tel ile bağlanarak kalıbın döküm fırının içine rahatça girip çıkarılması sağlanır. Bu tel yardımıyla numune kalıbı döküm fırınının içerisine yerleştirilir. Döküm fırını, eriyik haldeki alaşımın özel numune kalıbı içerisine dökümünün yapılması ve alaşımın kalıp içerisinde tek yönlü (doğrusal) olarak katılaştırılmasında kullanılmaktadır. Döküm fırınının fotoğrafı Şekil 8'de verilmiştir Keşlioğlu (2002). Böylece numune kalıbımız döküme hazır hale getirilir.

Kompozisyonları belli olan alaşımları hazırlamak için % 99.99 saflıkta olan Sn, Bi, In ve Zn elementleri kullanıldı. Gerekli hesaplamalar yapıldıktan sonra, hassas terazi ile ölçümleri yapılan elementler alaşım yapmak için hazır hale getirildi. Grafit potanın içerisi iyice temizlenerek erime sıcaklığı düşük olan metal alta, yüksek olan metal ise üste gelecek şekilde potaya yerleştirilmelidir. Pota bir tel yardımıyla vakumlu eritme fırınına indirilerek vakumlu eritme fırını ısıtılır. Vakumlu eritme fırını, alaşım yapılacak metallerin vakumlu ortamda oksitlenmeden eritilmesinde kullanılır. Şekil 8'de fotoğrafı verilen vakumlu eritme

fırını, iç içe geçmiş iki alümina tüp, vakum pompası, sıcaklık kontrolcüsü, varyak (transformatör) ve soğutma sisteminden oluşur Keşlioğlu (2002). Eritilen metaller grafit karıştırıcı ile karıştırılarak alaşımın homojen olması sağlanır. İnce bir grafit çubuk ile sıvı alaşım tekrar karıştırılarak numune kalıbı içerisinde olabilecek hava kabarcıklarının dışarıya çıkması sağlanır. Döküm fırınının alt ısıtıcısı kapatılır, üst ısıtıcı çalışır haldeyken numune kalıbının altında bulunan soğutma kazanından su geçirilerek tek yönlü katılaştırma başlatılır. Tek yönlü katılaştırmanın amacı numune kalıbının hiç boşluk kalmayacak şekilde tamamen doldurulmasıdır.

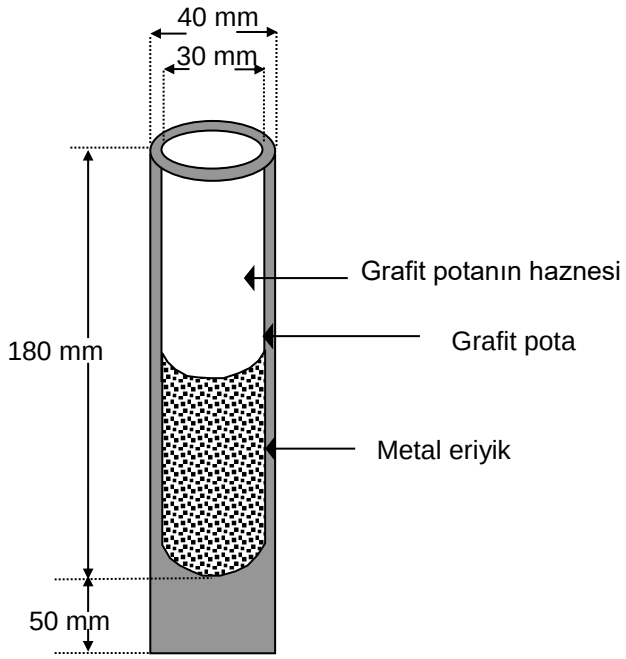


Şekil 7. (a) Numune potası ve üst boşluğun silikon yapıştırıcı ile birleşiminin fotoğrafı, (b) Numune potası ve alt-üst desteklerin şematik gösterimi Engin (2009)



Şekil 8.a)Döküm Fırını b)Vakumlu Eritme Fırını

Sıvı haldeki alaşım, vakumlu eritme fırınından tel yardımıyla çıkarılarak maşa ile sıkıca tutulup katılaşmaya meydan vermemek için hızlı bir şekilde döküm fırınına yerleştirilen numune kalıbına huni yardımıyla dökülür. Şekil 9'da vakumlu eritme fırınında alaşımı oluşturacak metalleri eritmede kullanılan grafit pota görülmektedir.



Şekil 9. Grafitten yapılmış potanın şematik gösterimi Aksöz (2013)



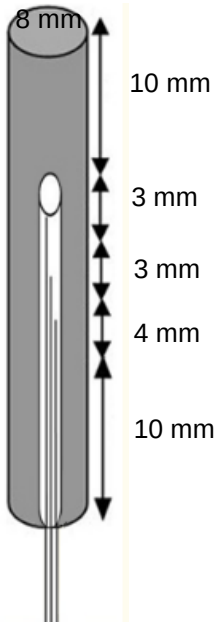
Şekil 10. Hassas kesme cihazı

Katılaşma esnasında boşlukların oluşmaması ve numunenin üstten katılaşmasını önlemek için alaşım grafit çubukla sık sık karıştırılır. Katılaşma tamamlandıktan sonra üst ısıtıcı da kapatılarak fırının soğuması beklenir. Fırın tamamen soğuduktan sonra dökümü yapılan numune fırından çıkarılır ve huni kısmı ayrılır. Böylece, katılaşan ve simetrik hale gelen numuneler grafit kalıplardan çıkarılır ve Şekil 10'da gösterilen hassas kesme cihazı ile 30 mm standart uzunlukta kesilir ve lineer ısı akış sistemine yerleştirilmeye hazır hale getirilir.

3.1.2 Isıl İletkenliğinin Sıcaklıkla Değişiminin Ölçümü

3.1.2.1 Numunenin Lineer Isı Akış Sistemine Yerleştirilmesi

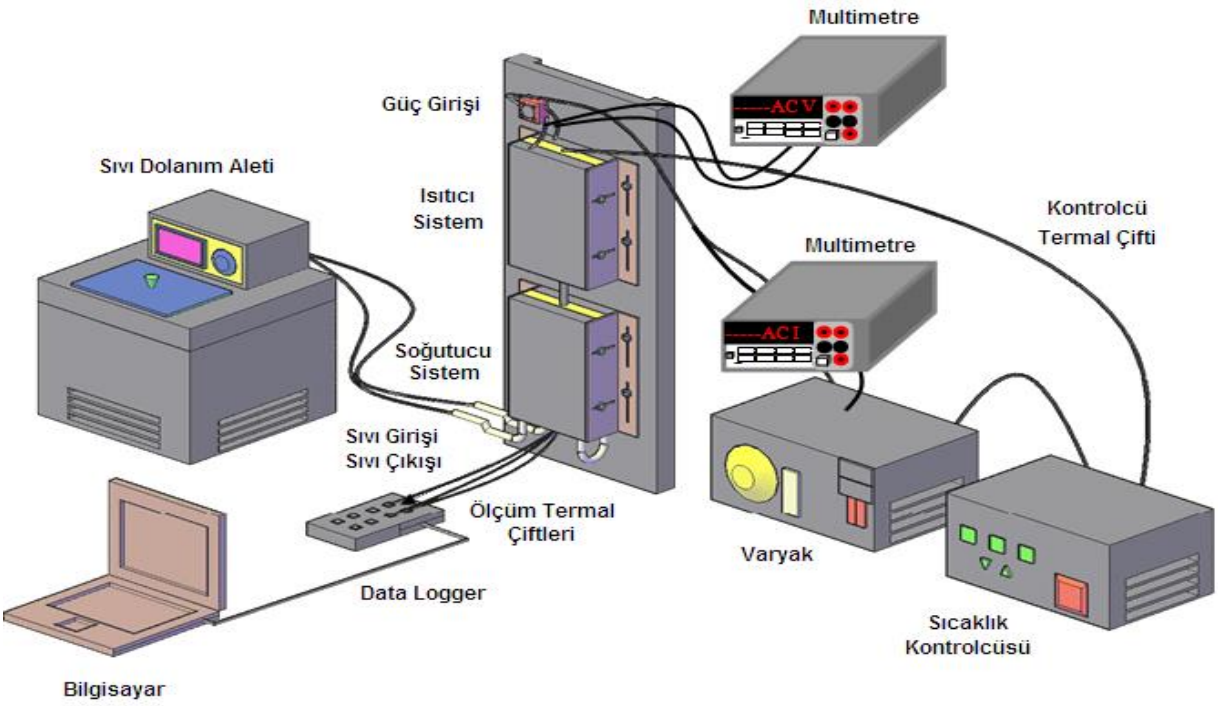
30 mm uzunluktaki numunenin 10 mm uzunluktaki her iki ucu sıkıca soğuk ve sıcak bakır numune tutucu tabakalardaki iki deliğin içine yerleştirildi. Böylece numune içinde doğrusal bir sıcaklık gradyenti elde etmek ve radyal ısı kaybını önlemek için ısıtıcı ve soğutucu sistemler arasında 10 mm' lik bir kısım açıkta kaldı. Bakır tabakalar sonra soğutucu ve ısıtıcı sistem içine yerleştirildi. Sonrasında, ısıl çiftler Şekil 11'de olduğu gibi soğutucu sistemdeki 3 mm'lik boşluğa yerleştirildi. Numunenin farklı üç bölümündeki sıcaklık, Şekil 11'de gösterildiği gibi hazırlanan numune içine yerleştirilen ısıl çiftlerle ölçüldü.



Şekil 11. Numunenin ve ısıl çiftlerin konumlarının şematik çizimi Aksöz (2013)

Üç ısıl çift 2−3 mm aralıklarla yerleştirilip ve ölçüm esnasında kaymamaları için bantla masaya sabitlendi. Isıtıcı ve soğutucu sistemler aralarında 10 mm olacak şekilde bir metal tabaka üzerine yerleştirildikten sonra metal tabaka, ısı iletimi üzerine konveksiyon etkisini azaltmak ve numune içine doğru sabit bir doğrusal sıcaklık gradyenti elde etmek için, ısıtıcı

sistem üstte soğutucu sistem altta olacak biçimde Şekil 12'de gösterildiği gibi düşey olarak sabitlendi. Isıl çiftleri numune içine yerleştirmeden önce, ısıl çiftler arasındaki uzaklığı (ΔX) ölçmek için ısıl çiftlerin konumlarının optik mikroskopla fotoğrafları alındı. Sonra bütün ısıl çiftler birlikte dış çap 1.2 mm × iç çap 1.0 mm × uzunluk 20 mm ebatlarındaki alümina tüplerin içine yerleştirildi ve daha sonra ısıl çiftlerin uçları veri kaydedici (data logger) ve bilgisayardan oluşan ölçme ünitesine bağlandı.



Şekil 12. Lineer ısı akış sisteminin genel görünüşü Aksöz (2013)

3.1.2.2 Lineer Isı Akış Sisteminde Bir Deneyin Yapılışı

Isıl iletkenlik katsayısının hassas bir şekilde ölçülebilmesi sıcaklık kontrolünün çok iyi olmasıyla mümkündür bu yüzden ısıtıcı sistemin sıcaklığı ±0.01 K hassasiyetle Eurotherm 2604 tipi sıcaklık kontrolcüsü ile kontrol edilir ve soğutucu sistemin sıcaklığı ise ±0.01 K hassasiyetle Poly Science dijital 9702 model ısıtma/soğutma kapalı devre akışkan dolaşım sistemi ile sabit tutulur. Numune her sıcaklık için en az yaklaşık iki saat boyunca kararlı halde tutulur. Hareketsiz ısıl çiftlerin sıcaklıkları Pico TC−08 veri−kaydedici ile ısıtma boyunca kaydedilir ve iki ısıl çift arasındaki sıcaklık farkı ΔT veri−kaydedici kayıtlarından okunur. Potansiyel farkı ve akım AC olarak Hewlett−Packard 34401−A tipi multimetre ile ölçülür ve kayıt edilir. Deneye başlamadan önce soğutucu Poly Science dijital 9702 model ısıtma/soğutma dolaşım banyosu açılarak 278 K sıcaklıkta soğutucu sistemin sıcaklığı sabitlendi. Isıtıcı sisteme güç sağlayan varyak en düşük seviyesinde açılıp yavaş yavaş

ısıtıldı. Isıtıcı sistem kontrolcüsünde set sıcaklığı 313 K olarak ayarlandı ve sabit bir sıcaklık gradyenti için sistemin kararlı hale gelmesi beklendi. Kararlı hale gelince veri-kaydedici ile 3 farklı noktanın sıcaklıkları ölçülerek kaydedildi. Benzer şekilde numune 20 K adımlarla malzemenin erime sıcaklığının 10 K altına kadar ısıtıldı ve böylece alaşımların ısıl iletkenlikleri lineer ısı akış sistemi ile sıcaklığın fonksiyonu olarak ölçüldü.

3.1.2.3 Alaşımların Isı İletkenliğinin Hesaplanması

Lineer ısı akış sisteminde radyal, ısı kaybı veya kazancı olmadığı varsayılarak, numune üzerindeki sıcaklığın kararlı olduğu durumda ısıl iletkenlik tek boyutlu Fourier ısı iletim kanunundan,

$$K = -\frac{Q\,\Delta X}{A\,\Delta T} \qquad (1)$$

ile ifade edilir. Burada K katının ısıl iletkenliği, Q ısı akış hızı veya numune boyunca akan güç girişi, A ısı akışına dik olan yüzey alanı, $\Delta X = X_2 - X_1$ uzunluğu T_1 ve T_2 sıcaklıklarının ölçüldüğü noktalar arasındaki uzaklık ve $\Delta T = T_2 - T_1$ ise X_2 ve X_1 noktaları arasındaki sıcaklık farkıdır.

Bu deneysel teknikteki başlıca zorluk, çubuk numune üzerinden akan ısı akış hızının yani giriş gücünün ölçülmesiydi. Bu zorluğu aşmak için, her bir kararlı hal için numune üzerindeki *Q* ısı akış hızının,

$$Q = Q_{NV} - Q_{NY} \qquad (2)$$

yani Q_{NV} ve Q_{NY} arasındaki farka eşit olduğu varsayıldı. Deneysel sistemde numune yokken (Q_{NY}) ve numune varken (Q_{NV}) verilen giriş gücü ise kararlı hal durumları altında ısıtıcının üzerindeki voltaj düşmesi ve ısıtıcıdan geçen akım ölçülerek sırasıyla

$$Q_{NY} = V_{NY}.I_{NY} \qquad (3)$$

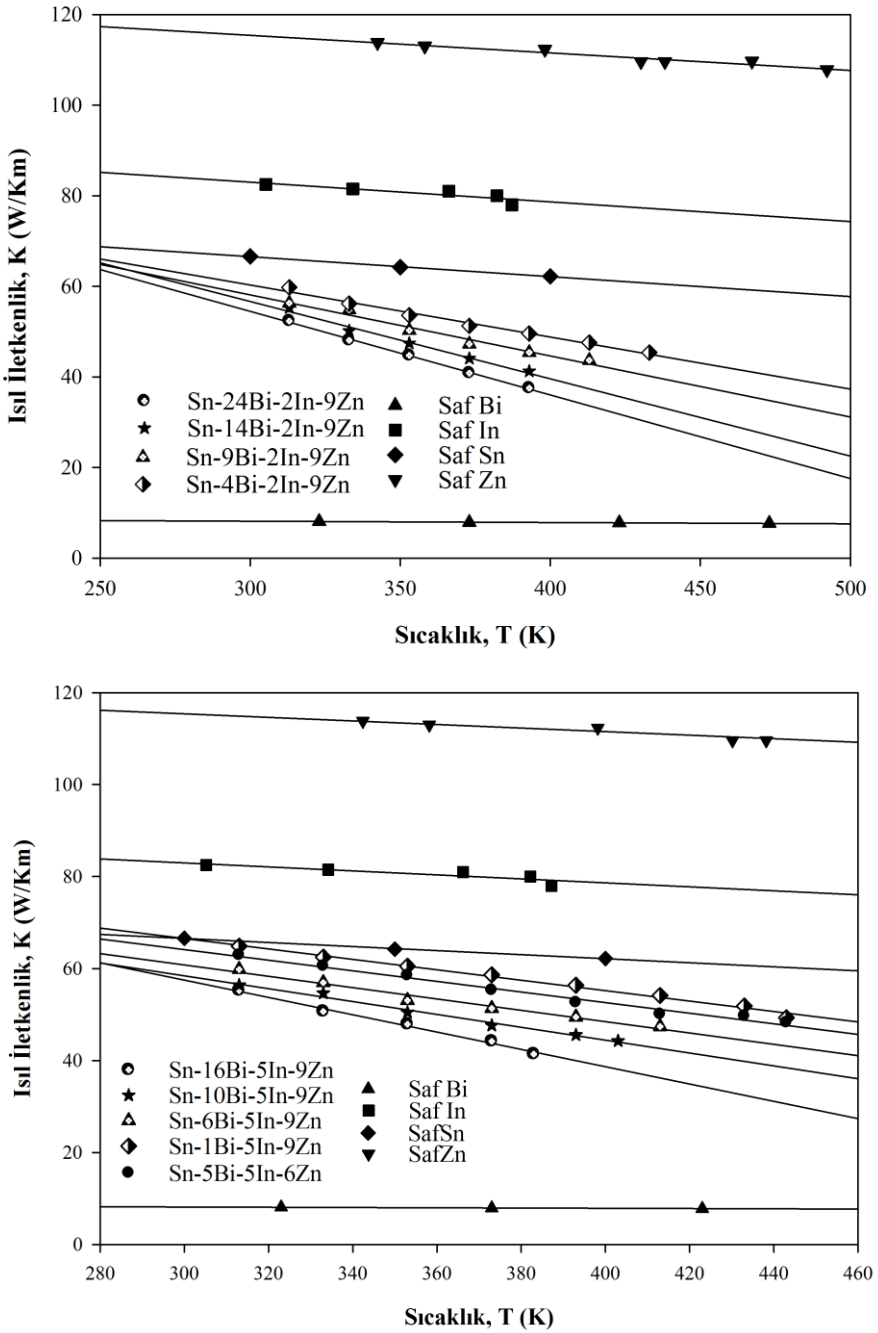
ve

$$Q_{NV} = V_{NV}.I_{NV} \qquad (4)$$

bağıntılarından bulundu.

Eşitlik 1'den ısıl iletkenliği tespit etmek için; numunenin kesit alanını, çubuk boyunca en az iki noktanın sıcaklığını, sıcaklık ölçümlerinin yapıldığı noktalar arası uzaklığı ve giriş gücünü tespit etmek gereklidir. Kesit alanını (πr^2) tespit etmek için çubuk numunenin yarıçapı optik mikroskopla ölçüldü. Alaşımların katı fazının ısı iletkenlik katsayısının ölçümünde biri kontrolcü ve diğer üç tanesi ise sıcaklık ölçümü için olmak üzere 4 adet K tipi termal çift

kullanıldı. Isıl çiftlerin sıcaklıkları Pico TC−08 veri−kaydedici ile bilgisayara aktarılarak ısıtma boyunca kaydedildi ve iki ısıl çift arasındaki sıcaklık farkı ΔT veri−kaydedici kayıtlarından tutuldu. İki ısıl çift arasındaki uzaklık ısıl çiftlerin konum fotoğrafından ölçüldü.



Şekil 13. Sn-Bi-In-Zn alaşım sisteminin %5 ağ. In ve % 2 ağ. In sabit olduğu ısıl iletkenlik değerlerinin sıcaklıkla değişimi

Her bir kararlı hal sıcaklığında en az iki saat beklenilerek Hewlett Packard 34401-A model multimetre ile ısıtıcı sistem üzerindeki potansiyel düşüşü ile ısıtıcıdan geçen akım ölçüldü ve

güç girişi hesaplandı. Isıl iletkenliğin sıcaklıkla değişimi eşitlik 1'den, Q, ΔX, A ve ΔT ölçülen değerleri kullanılarak tespit edildi. Bu verilerden faydalanılarak Sn-Bi-In-Zn alaşım sisteminin ısıl iletkenlik değerlerinin sıcaklığa göre değişim grafikleri çizildi. Bu çalışmada alaşımlara ait ölçülen ısıl iletkenlik değerleri saf Bi Touloukian (1970),saf In Touloukian (1970),saf Zn Touloukian (1970) ve saf Sn Touloukian (1970) metallerinin ısıl iletkenlik değerleri ile karşılaştırılarak ısı iletkenliğin sıcaklığa bağlı değişim eğrileri Şekil 13. de gösterildi. Şekil 13'den görüleceği üzere ısıl iletkenlik değeri sıcaklık arttıkça azalmaktadır.

3.1.2.4 Isıl Sıcaklık Katsayısının Hesaplanması

Verilen bir bileşim için katı fazın ısıl iletkenliğinin sıcaklığa bağlılığı doğrusaldır. Katı fazın ısısal iletkenliğinin sıcaklığa bağlı değişimini ifade eden denklem ise,

$$K_K = K_{K0}\left[1+\alpha_T\left(T-T_0\right)\right] \tag{5}$$

şeklinde ifade edilir. Burada, K_K katı faza ait T sıcaklığındaki ısıl iletkenlik katsayısı, K_{K0} ise T_0=300 K oda sıcaklığındaki ısıl iletkenlik katsayısı ve α_T ise ısıl sıcaklık katsayısıdır.
Denklem (5)'den ısıl sıcaklık katsayısını veren bağıntı,

$$\alpha_T = \frac{K_K - K_{K0}}{K_{K0}(T-T_0)} = \frac{1}{K_{K0}}\frac{\Delta K}{\Delta T} \tag{6}$$

olarak yazılabilir. Isıl sıcaklık katsayısının ısıl iletkenliğin sıcaklığa bağlı grafiğinin eğiminden yararlanılarak Denklem (6)'den elde edildiği görülmektedir. Şekil 13'den ısıl iletkenliğin sıcaklığa bağlı grafiğinin eğiminden elde edilen sonuçlar Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2. Sn-Bi-In-Zn dörtlü alaşım sisteminin farklı kompozisyonları için katı fazların bazı elektriksel ve termal özellikleri

Malzeme	Erime Sıcaklığı, K	Elektriksel İletkenliğ Sıcaklık Katsayısı α (K^{-1})x10^{-3}	Isıl İletkenliğin Sıcaklık Katsayıs α (K^{-1})x10^{-3}	Erime Sıcaklığında Elektriksel İletkenlik σ (x10^8/Ωm)	Erime Sıcaklığında Isıl İletkenlik K (W/Km)
Sn-5Bi-5In-6Zn	455	1.90	1.80	0.04018	46.28
Sn-1Bi-5In-9Zn	453	1.80	1.70	0.04218	49.15
Sn-6Bi-5In-9Zn	430	2.00	2.10	0.03951	44.82
Sn-10Bi-5In-9Zn	415	2.20	2.40	0.03711	42.52
Sn-16Bi-5In-9Zn	397	2.40	3.30	0.03443	39.13
Sn-4Bi-2In-9Zn	446	1.70	1.90	0.04289	43.55
Sn-9Bi-2In-9Zn	427	2.00	2.30	0.03669	40.91
Sn-14Bi-2In-9Zn	412	2.00	3.00	0.03536	37.38
Sn-24Bi-2In-9Zn	408	2.50	3.40	0.02888	34.59

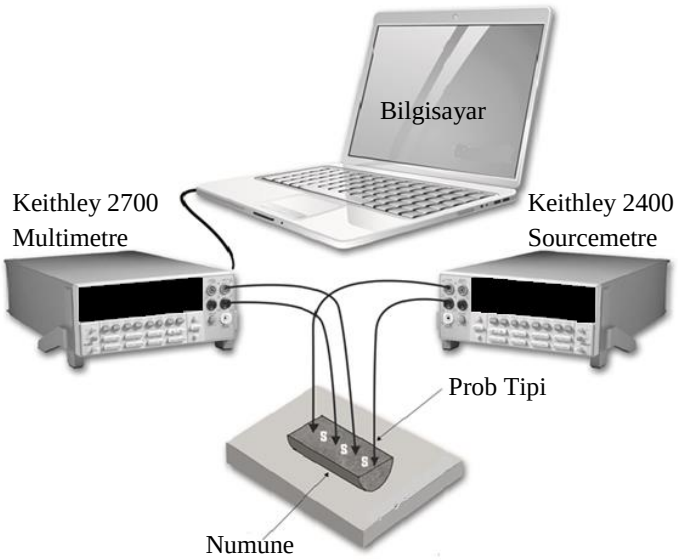
3.1.3 Alaşımların Elektriksel İletkenliğinin Ölçümü

Elektriksel iletkenlik ve özdirenç (dirençlilik) bir malzemenin karakteristik özelliğidir. Malzemelerin özdirençlerinin belirlenebilmesi için numune içinde elektrik alan oluşturacak bir akım kaynağına, bu elektrik alan nedeniyle numune içinde meydana gelen elektrik akımının şiddetine ve keyfi seçilen herhangi iki nokta arasında meydana gelen V potansiyel düşmesinin belirlenmesine ihtiyaç vardır.

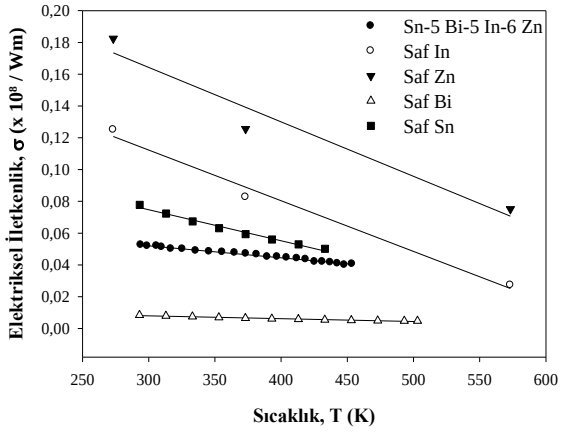
Akım ve gerilim ölçümlerinin hassas bir şekilde yapılabilmesi için sırasıyla Keithley 2400 model sourcemetre ve Keithley 2700 model multimetre kullanıldı. Bir maddenin elektriksel özdirenci, maddenin üzerinden geçen akımı ve bunun meydana getirdiği *V* geriliminin oranı ile bulunur. Homojen bir numunenin elektriksel özdirenci (ρ) belirlenmek istendiğinde, malzemenin geometrik özelliklerinin de bilinmesi gereklidir. Elektriksel özdirenç ifadesi aşağıdaki şekilde verilebilir:

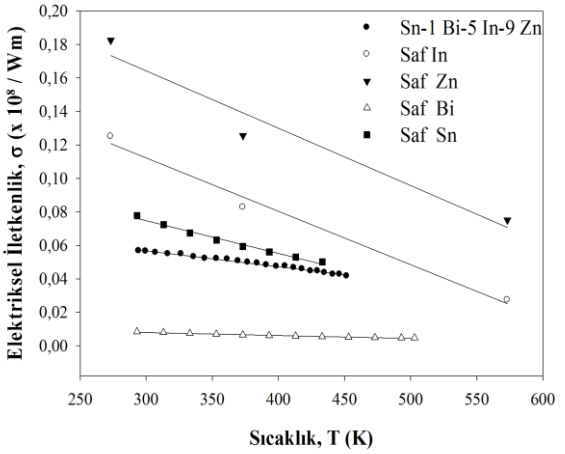
$$\rho = \frac{V}{I} G \qquad (7)$$

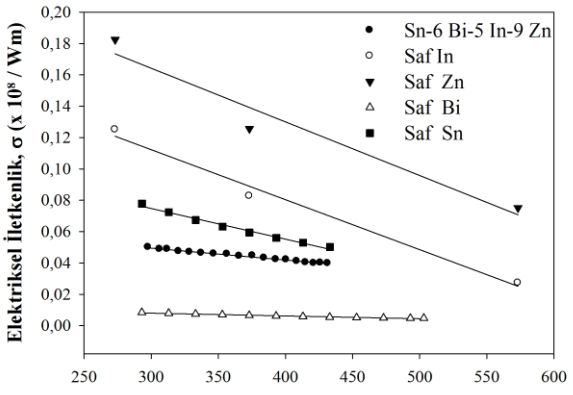
Burada *G;* numunenin yüzey geometrik sınırlarını ve kalınlığını, elektriksel kontakların numune üzerindeki konumlarını, kontakların diziliş düzenlerini içeren bir katsayıdır ve *"Geometrik Düzeltme Katsayısı / Faktörü"* (Resistivity Correction Factor, RCF) olarak tanımlanır. Şekil 14'de görüldüğü gibi elektriksel iletkenliğinin belirlenebilmesi için kurulan düzenekte kontaklardan ikisi numune üzerinden akan akımı ölçmek için, diğer ikisi ise herhangi iki nokta arasındaki potansiyel farkı ölçmek için kullanılır. Sn-Bi-In-Zn alaşımının sıcaklığa bağlı elektriksel özdirenç (iletkenlik) değerlerinin ölçümünde dört nokta iletkenlik ölçüm metodu kullanıldı. Şekil 15. de alaşımların elektriksel iletkenlik değerlerinin sıcaklıkla olan değişimi saf Bi Pietenpol (1929), saf In Rudnev (2003), saf Sn Pietenpol (1929) ve saf Zn Rudnev (2003), elektriksel iletkenliklerinin sıcaklıkla değişimi ile kıyaslanarak çizildi. Elektriksel iletkenlik değerleri artan sıcaklıkla azalmaktadır.

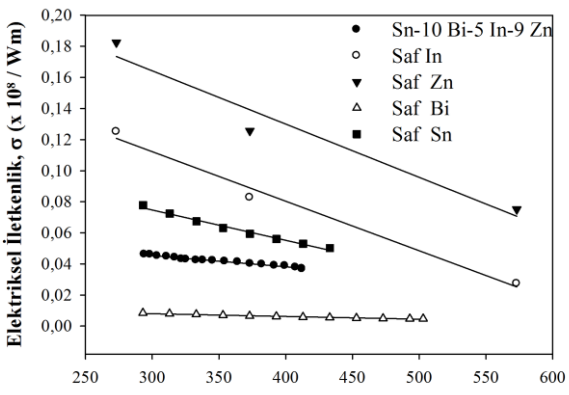


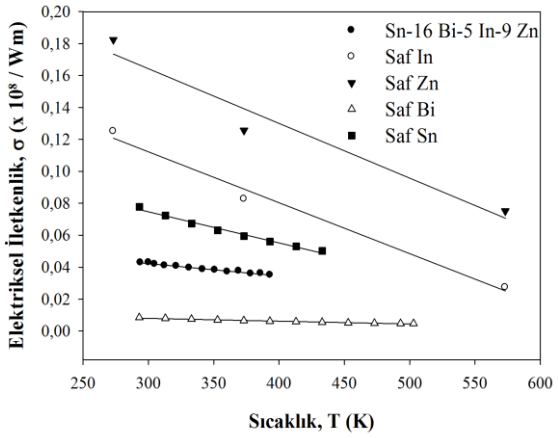
Şekil 14. Dört nokta sisteminin genel görünüşü

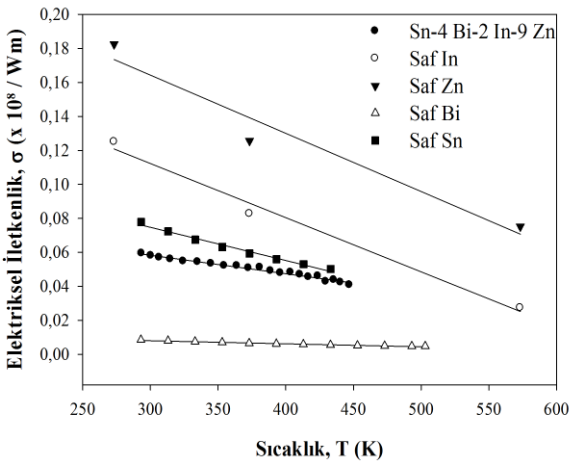


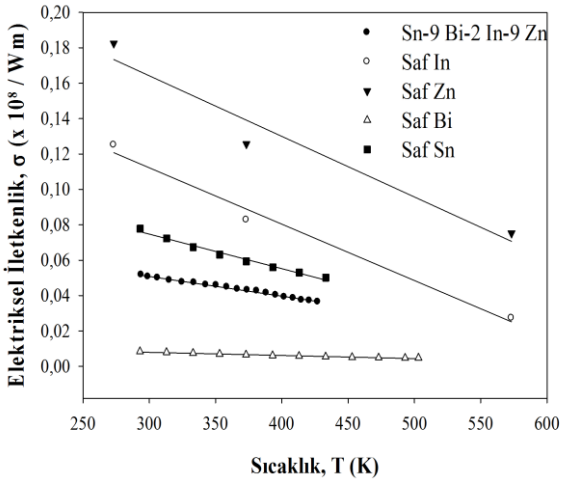


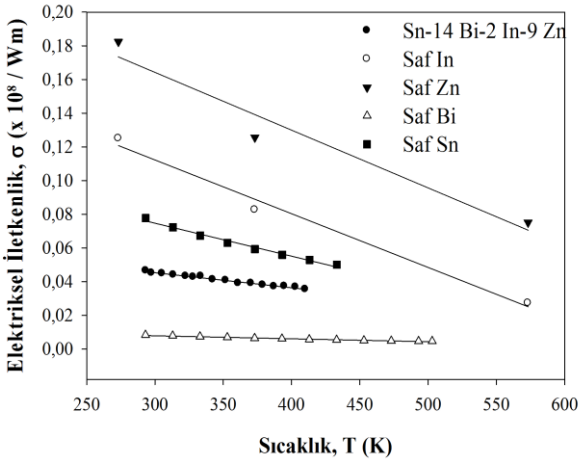


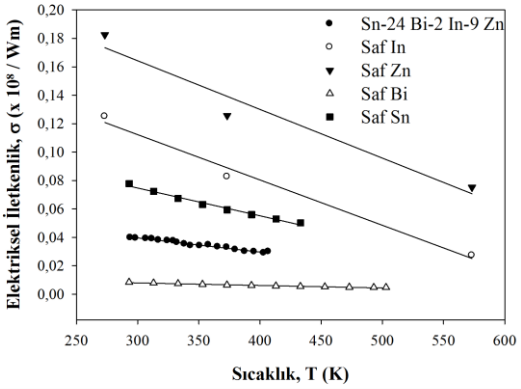






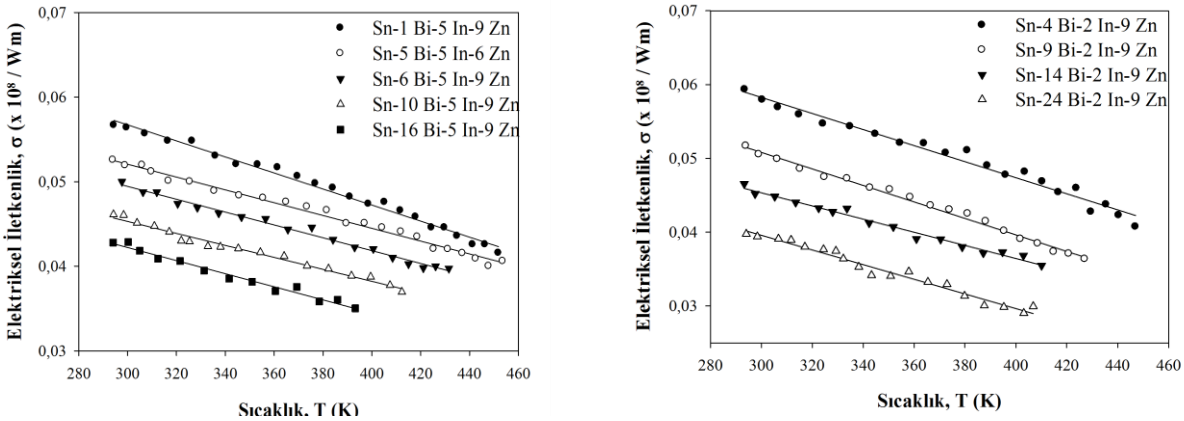






Şekil 15. Sn-Bi-In-Zn alaşım sisteminin ve saf metallerin elektriksel iletkenlik değerlerinin sıcaklıkla değişimi

Ayrıca, Şekil 16 da alaşım sistemi genel bir karşılaştırma için In miktarının % 2ağ. ve % 5ağ. oranında sabit tutulduğu alaşımlar olarak sınıflandırıldı. Grafiklerden, Bi miktarının artmasıyla elektriksel iletkenliğin azaldığı açıkça görüldü.



Şekil 16. Sn-Bi-In-Zn alaşım sisteminin %5 ağ. In ve % 2 ağ. In sabit olduğu elektriksel iletkenlik değerlerinin sıcaklıkla değişimi

3.1.3.1 Elektriksel Sıcaklık Katsayısının Hesaplanması

Katı fazın elektriksel iletkenliğinin sıcaklığa bağlı değişimi,

$$\alpha_E = \frac{\sigma_K - \sigma_{K0}}{\sigma_{K0}(T - T_0)} = \frac{1}{\sigma_{K0}} \frac{\Delta\sigma}{\Delta T} \qquad (8)$$

ile verilir. Burada σ_K katı fazın T sıcaklığındaki elektriksel iletkenliği, σ_{K0} numunenin T_o=300 K oda sıcaklığındaki elektriksel iletkenliği, α_E ise elektriksel sıcaklık katsayısını göstermektedir. Denklem (8)'den elektriksel sıcaklık katsayısının, Şekil 16'daki elektriksel iletkenliğin sıcaklığa bağlı grafiğinin eğiminden faydalanarak elde edildiği görülmektedir ve elde edilen sonuçlar Tablo 2'de verilmektedir.

3.1.4 Isı İletkenliğe Elektron ve Fononların Katkısının Hesabı

Katılarda ısı elektronlar, fononlar, manyetik uyarı ve bazı durumlarda elektromanyetik radyasyon gibi çeşitli taşıyıcılarla iletilir. Toplam ısı iletkenlik her birinin katkısıyla oluşmaktadır. Parçacıkların ısı iletkenliği aşağıdaki ifade ile verilir.

$$K = \frac{1}{3}\sum_{j} c_j v_j l_j \quad (9)$$

Burada j taşıyıcı tipini gösterir. Birim hacimdeki ısı sığası c_j, taşıyıcıların hızı v_j, ortalama serbest yol l_j'dir.

Metallerde başlıca ısı taşıyıcıları elektronlar ve fononlar olduğundan toplam ısı iletkenlik elektronların ve fononların katkıları toplamı olarak gösterilebilir.

$$K_{toplam} = K_e + K_f \quad (10)$$

Burada ısı iletkenliğe elektronların katkısı K_e, fononların katkısı K_f ile gösterilmektedir. Bir metalde elektronlar mı yoksa fononlar mı daha çok ısı akımı sağlarlar? Saf metallerde elektron katkısı tüm sıcaklıklarda daha büyüktür. Saf olmayan veya örgü kusurlu alaşımlarda elektron ortalama serbest yolu azalacağı için fonon katkısı elektronlara yakın değere çıkabilir [49].Wiedemann-Franz kanunu metallerin ısı iletkenliğinin elektriksel iletkenliğe elektronik katkısının oranıdır ve bu oran sıcaklıkla doğru orantılıdır.

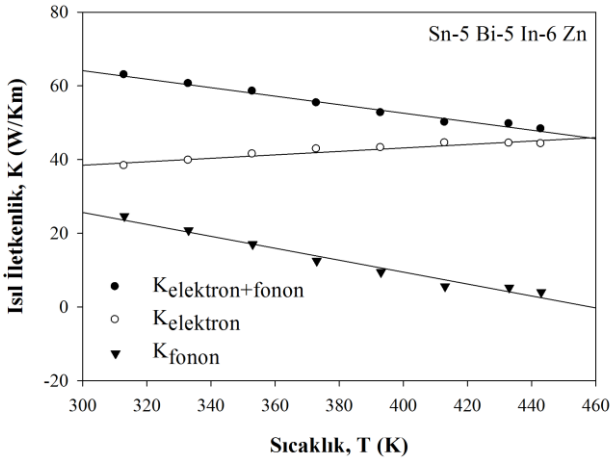
$$\frac{K_e}{\sigma} = LT \quad (11)$$

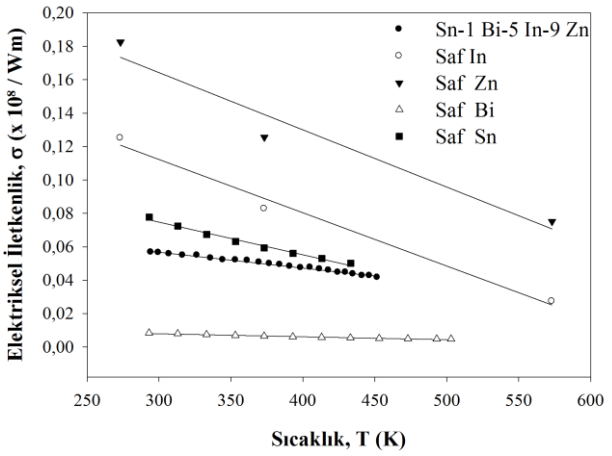
Teorik olarak Lorenz Sayısı olarak bilinen orantı sabit değeri L ile gösterilir. Değer olarak da

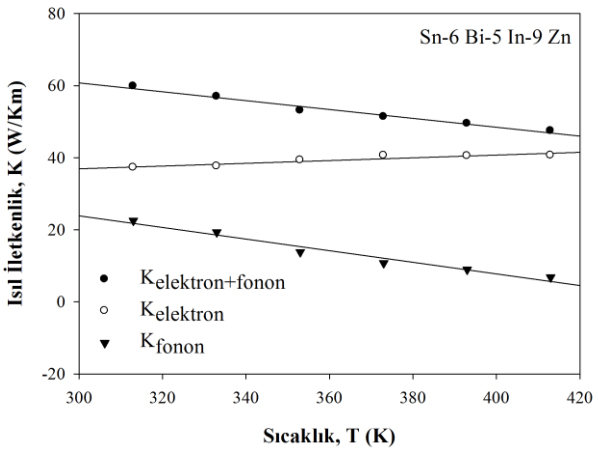
$$L = \frac{K}{\sigma T} = \frac{\pi^2}{3}\left(\frac{k_B}{e}\right)^2 = 2.44x10^{-8}\,W\Omega K^{-2} \quad (12)$$

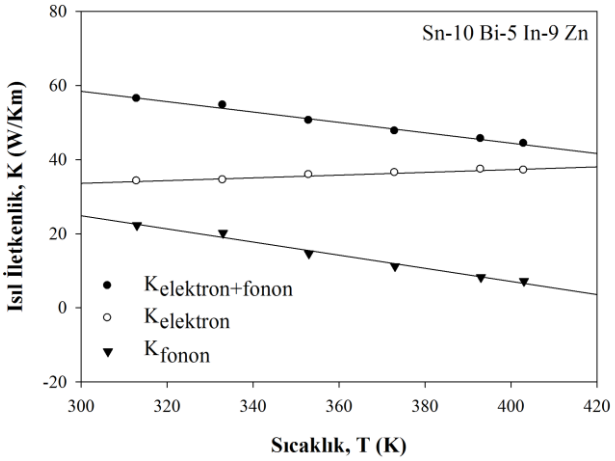
Alaşımların ısı iletkenliğinin ana kaynağı bilinmekte fakat pratikte bu durumu yorumlamak için yeterince bilgi yoktur. Denklem (9) ve (10)'da görüleceği gibi, eğer metallerin belirli bir sıcaklıkta ısı iletkenliği veya elektriksel iletkenliği ölçülüyor veya biliniyorsa denklem (9) ve (10) kullanılarak ısı iletkenliğe elektronların veya fononların katkısı hesaplanabilir.

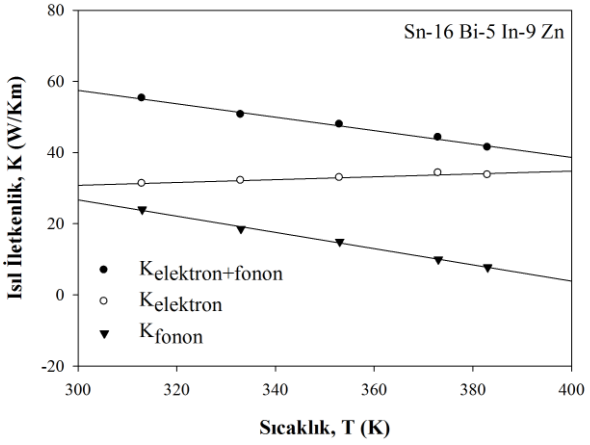
Şekil 17 de alaşımlarının elektron, fonon katkılarının ısıl iletkenlikleri ve toplam ısıl iletkenliklerinin sıcaklıkla değişimi verildi. Sn-In-Bi-Zn alaşımlarının ısı iletkenliğe elektron ve fonon katkısının sıcaklıkla değişimi Tablo 3'de verildi.

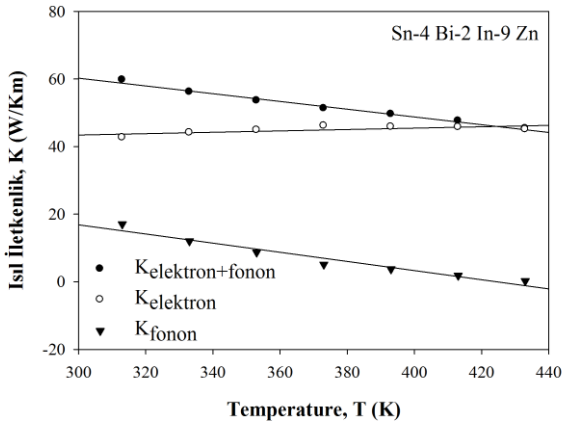

Sn-5 Bi-5 In-6 Zn
Isıl İletkenlik, K (W/Km)
Sıcaklık, T (K)
Kelektron+fonon
Kelektron
Kfonon

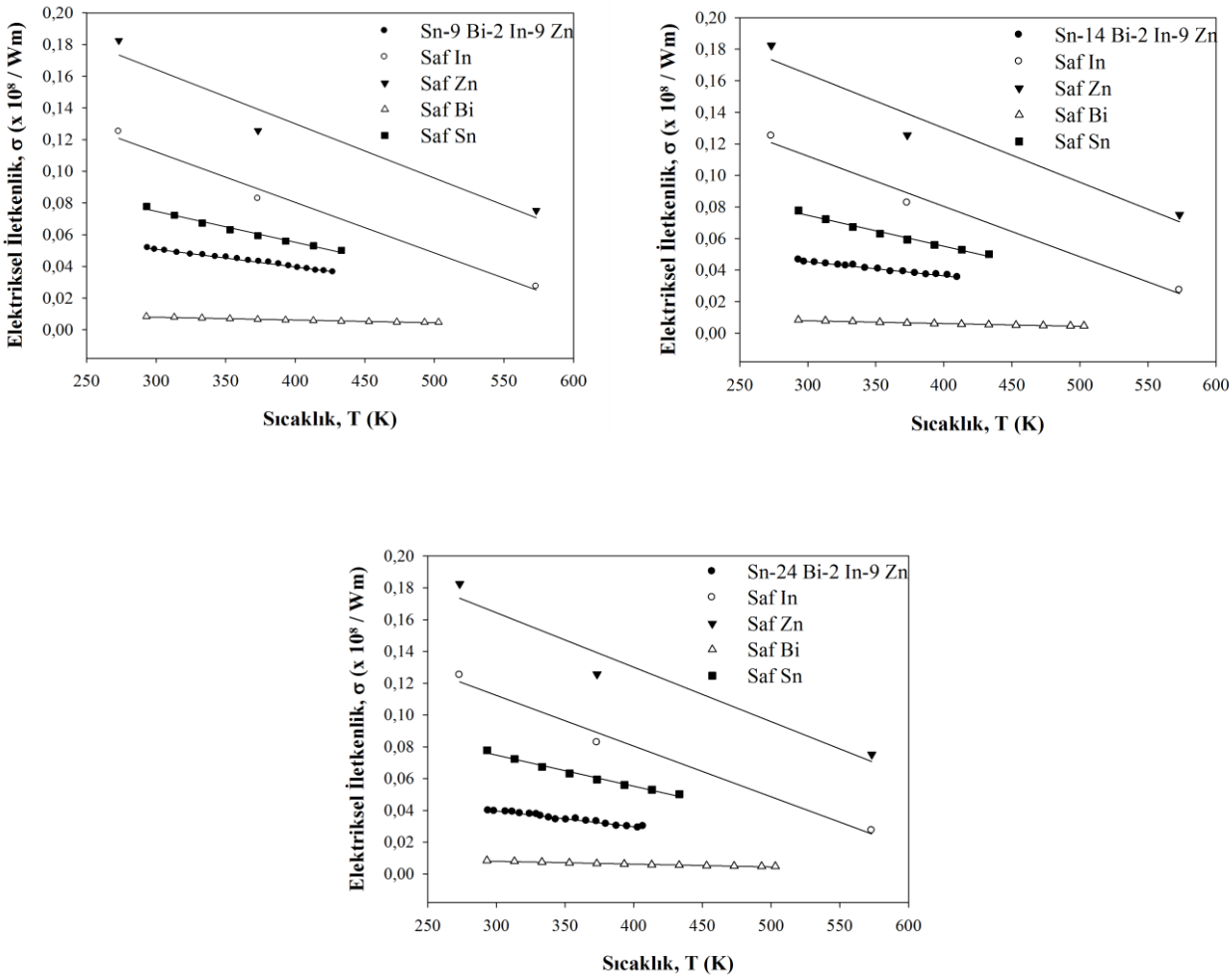

Sn-1 Bi-5 In-9 Zn
Saf In
Saf Zn
Saf Bi
Saf Sn
Elektriksel İletkenlik, σ (x 10⁸ / Wm)
Sıcaklık, T (K)


Sn-6 Bi-5 In-9 Zn
Isıl İletkenlik, K (W/Km)
Sıcaklık, T (K)
Kelektron+fonon
Kelektron
Kfonon


Sn-10 Bi-5 In-9 Zn
Isıl İletkenlik, K (W/Km)
Sıcaklık, T (K)
Kelektron+fonon
Kelektron
Kfonon


Sn-16 Bi-5 In-9 Zn
Isıl İletkenlik, K (W/Km)
Sıcaklık, T (K)
Kelektron+fonon
Kelektron
Kfonon


Sn-4 Bi-2 In-9 Zn
Isıl İletkenlik, K (W/Km)
Temperature, T (K)
Kelektron+fonon
Kelektron
Kfonon



Şekil 17. Sn-Bi-In-Zn alaşım sisteminin ısıl iletkenlik değerlerine fonon ve elektron katkılarının sıcaklıkla değişimi

Tablo 3. Sn-Bi-In-Zn dörtlü alaşım sisteminin farklı kompozisyonları için ısıl iletkenliğine elektron ve fonon bileşenlerinin sıcaklığa bağlılığı

Sn-5Bi-5In-6Zn			
T (K)	K_e (W/Km)	K_p (W/Km)	K_{termal} (W/Km)
313	38.26	24.64	62.90
333	39.73	20.79	60.52
353	41.43	17.03	58.46
373	42.78	12.52	55.29
393	43.15	9.46	52.61
413	44.44	5.59	50.03
433	44.37	5.26	49.63
443	44.21	4.03	48.24

Sn-1Bi-5In-9Zn			
T (K)	K_e (W/Km)	K_p (W/Km)	K_{termal} (W/Km)
313	41.85	23.03	64.88
333	43.06	19.42	62.49
353	44.79	15.71	60.50
373	45.32	13.34	58.66
393	46.22	10.17	56.39
413	46.96	7.18	54.14
433	46.06	5.79	51.86
443	46.05	3.23	49.28

Sn-6Bi-5In-9Zn			
T (K)	K_e (W/Km)	K_p (W/Km)	K_{termal} (W/Km)
313	37.27	22.54	59.81
333	37.62	19.32	56.94
353	39.28	13.80	53.07
373	40.59	10.74	51.34
393	40.47	8.97	49.44
413	40.61	6.79	47.40

Sn-10Bi-5In-9Zn			
T (K)	K_e (W/Km)	K_p (W/Km)	K_{termal} (W/Km)
313	34.14	22.26	56.40
333	34.45	20.22	54.67
353	35.83	14.65	50.48
373	36.40	11.25	47.66
393	37.30	8.27	45.57
403	37.07	7.21	44.28

Sn-4Bi-2In-9Zn			
T (K)	K_e (W/Km)	K_p (W/Km)	K_{termal} (W/Km)
313	42.69	17.05	59.75
333	44.12	12.04	56.16
353	44.87	8.72	53.59
373	46.14	5.13	51.27
393	45.84	3.74	49.58
413	45.75	1.83	47.58
433	45.11	0.26	45.37

Sn-9Bi-2In-9Zn			
T (K)	K_e (W/Km)	K_p (W/Km)	K_{termal} (W/Km)
313	37.12	19.18	56.29
333	38.35	16.46	54.81
353	39.45	10.83	50.28
373	39.14	8.13	47.27
393	38.55	6.86	45.41
413	37.59	6.08	43.67

Sn-14Bi-2In-9Zn			
T (K)	K_e (W/Km)	K_p (W/Km)	K_{termal} (W/Km)
313	33.60	21.63	55.24
333	35.10	15.04	50.14
353	35.06	12.34	47.40
373	35.59	8.45	44.03
393	35.77	5.46	41.22

Sn-24Bi-2In-9Zn			
T (K)	K_e (W/Km)	K_p (W/Km)	K_{termal} (W/Km)
313	29.71	22.63	52.34
333	29.58	18.50	48.07
353	29.28	15.44	44.73
373	29.94	10.88	40.82
393	28.58	8.93	37.51

Sn-24Bi-2In-9Zn			
T (K)	K_e (W/Km)	K_p (W/Km)	$K_{thermal}$ (W/Km)
313	29.71	22.63	52.34
333	29.58	18.50	48.07
353	29.28	15.44	44.73
373	29.94	10.88	40.82
393	28.58	8.93	37.51

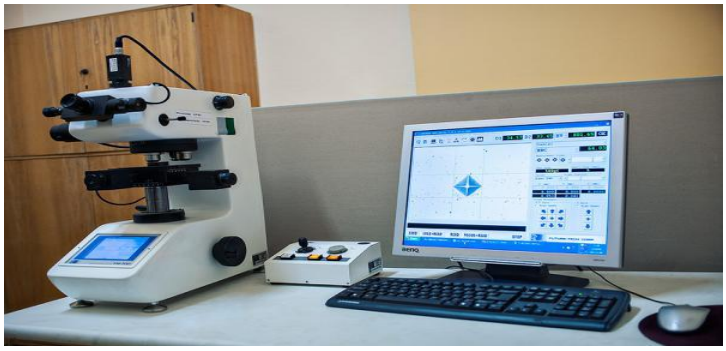
3.1.5 Alaşımların Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

Malzemelerin uygulanan mekanik zorlamalar altındaki davranışı, mekanik özellikler olarak adlandırılır. Mekanik özellikler esas olarak atomlar arası bağ kuvvetlerinden kaynaklanır. Fakat bununla birlikte malzemenin içyapısının da büyük etkisi vardır ve iç yapısal değişiklikler yapılarak mekanik özellikler önemli oranda değiştirilebilir. Bu projede Sn-In-Bi-Zn alaşım sisteminin mikrosertlikleri ve çekme–gerilme dayanımı ölçümleri yapılarak bazı mekanik özellikleri tespit edildi.

3.1.5.1 Sn-In-Bi-Zn Alaşım Sisteminin Mikrosertlik Değerlerinin Belirlenmesi

Sertlik, malzemelerin sert bir ucun batırılmasına gösterdiği direnç olarak tanımlanabilir. Bir malzemenin yüzeyine batırılan bir cisme, malzemenin gösterdiği dirence o malzemenin *sertliği* veya *mikrosertliği* denir. Bu deneyde genellikle standart bir uç, sabit bir kuvvetle cisme bastırılır, bu batma ile oluşan izin büyüklüğü, bu malzemenin plastik (kalıcı) şekil değiştirmeye direncinin bir ölçütü olarak değerlendirilir. Bu çalışma da, değişik sertlik yöntemleri arasından Vickers sertlik ölçüm yöntemi kullanılmıştır. Vickers sertlik ölçümünde kullanılan uç, yüzeyleri arasında 136^{o} açı bulunan bir elmas piramittir. Darbelere karşı daha hassas olduğundan en sert malzemeler bile bu metotla ölçülebilir. Uygulanan yük 10 g ile 1000 g arasında değişmektedir. Uç, numuneye belli bir kuvveti 5-30 saniye kadar uygulayarak iz oluşturur. Oluşan izin köşegen ortalamaları alınarak, Vickers sertliği hesaplanır.

Mikrosertlik ölçümlerinde, ***Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Mikroskopi Laboratuvarı'nda Future Tech FM-700*** (Şekil 18) model dijital sertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz 10 g, 25 g, 50 g, 100 g, 200 g, 300 g, 500 g ve 1000 g'lık yük uygulayabilen, %5 hassasiyette ölçüm alabilen ve elektronik olarak mikrosertlik değerini kendisi hesaplayabilen bir cihazdır. Şekil 19'da görüldüğü gibi her bir alaşım için elde mikrosertlik değerlerinin kompozisyonla değişimi verilmiştir. Alaşımlarda bizmut miktarı arttıkça alaşımların mikrosertliği arttığı gözlenmiştir.



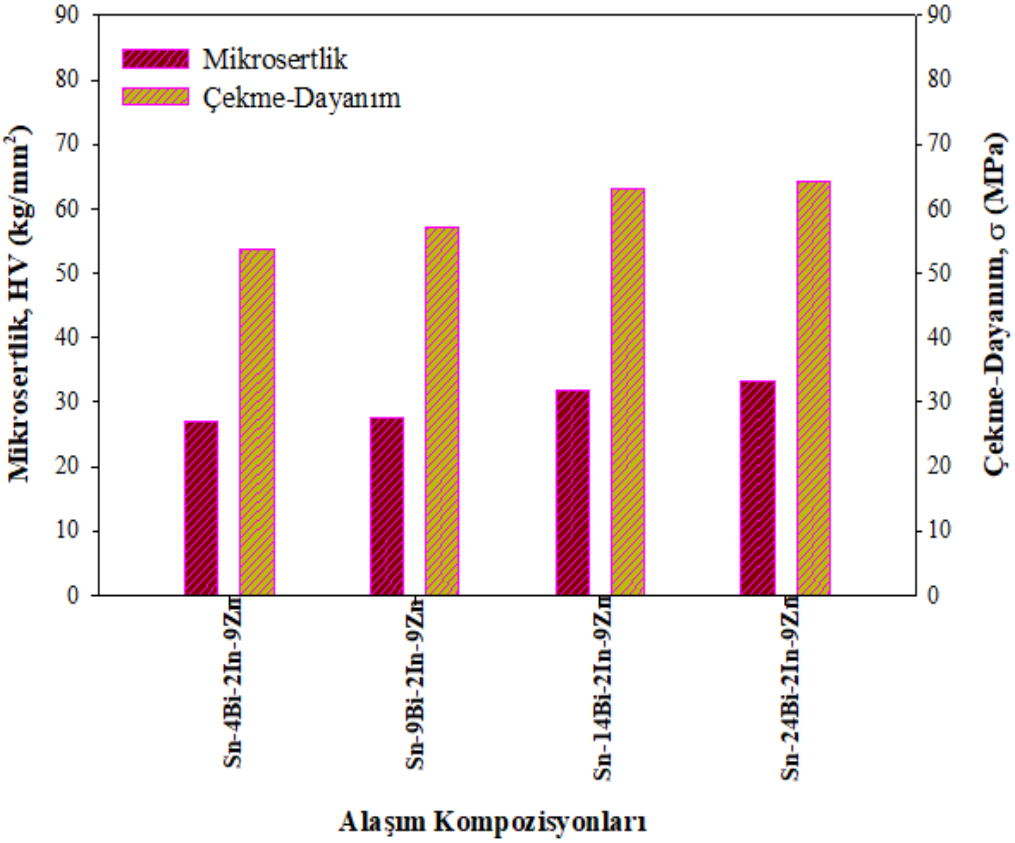
Şekil 18. Future Tech FM-700 model dijital sertlik ölçüm cihazı

3.1.5.2 Sn-In-Bi-Zn Alaşım Sisteminin Çekme-Dayanım Değerlerinin Belirlenmesi

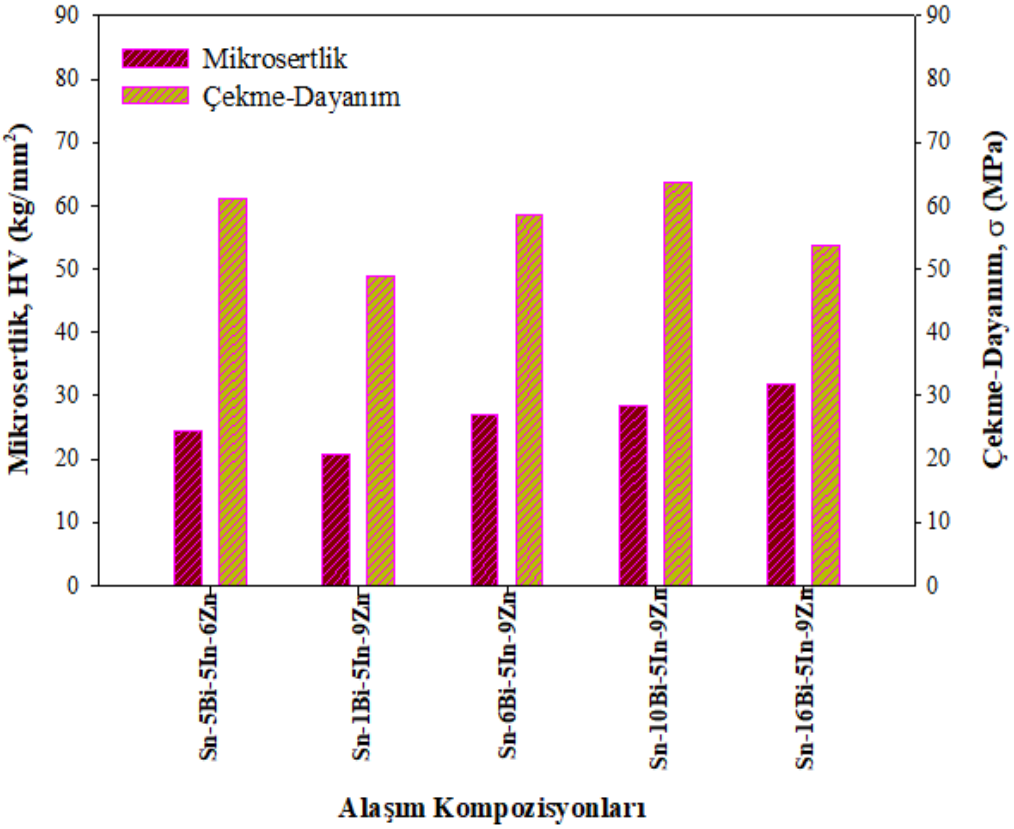
Çekme deneyi, bir malzemenin dayanımını ve mekanik davranışlarını belirlemek için yapılır ve malzeme deneyleri arasında en önemlilerden biridir. Çekme deneyinde malzemeye yavaş yavaş artan darbesiz çekme zorlamaları uygulanır.

Uygulanan kuvvet, deney parçası eksenindedir ve malzemenin kesitine üniform olarak dağılır. Kuvvet parça kesitine dik olduğu için normal gerilmeler söz konusudur. Deney sırasında uygulanan kuvvet ve bu zorlama altında gerçekleşen uzama değerleri kaydedilir ve deney kopma oluşana kadar sürdürülür.

Projede yer alan dokuz farklı alaşım için 4 mm çaplı ve en az 35 mm uzunluğunda numuneler üretilerek ***Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde*** çekme-dayanım testi için kullanılmıştır. Numuneler, ***Shimadzu*** marka çekme-dayanım cihazının çeneleri arasına sıkıca yerleştirildikten sonra 1 mm/dak hızlarında çekilerek gerilme-uzama eğrileri elde edilmiştir. Böylece elde edilen eğrilerden her bir numunenin çekme dayanım değeri belirlenerek mikrosertlik değerleriyle beraber kıyaslanarak Şekil 19'da verilmiştir.



Şekil 19a. Sn-[x]Bi-2In-9Zn (x= 4, 9, 14 ve 24 ağ. % Bi) mikrosertlik ve çekme-dayanım grafiği



Şekil 19b. Sn-5Bi-5In-6Zn ve Sn-[x]Bi-5In-9Zn (x= 1, 6, 10 and 16 ağ. % Bi) mikrosertlik ve çekme- dayanım grafiği

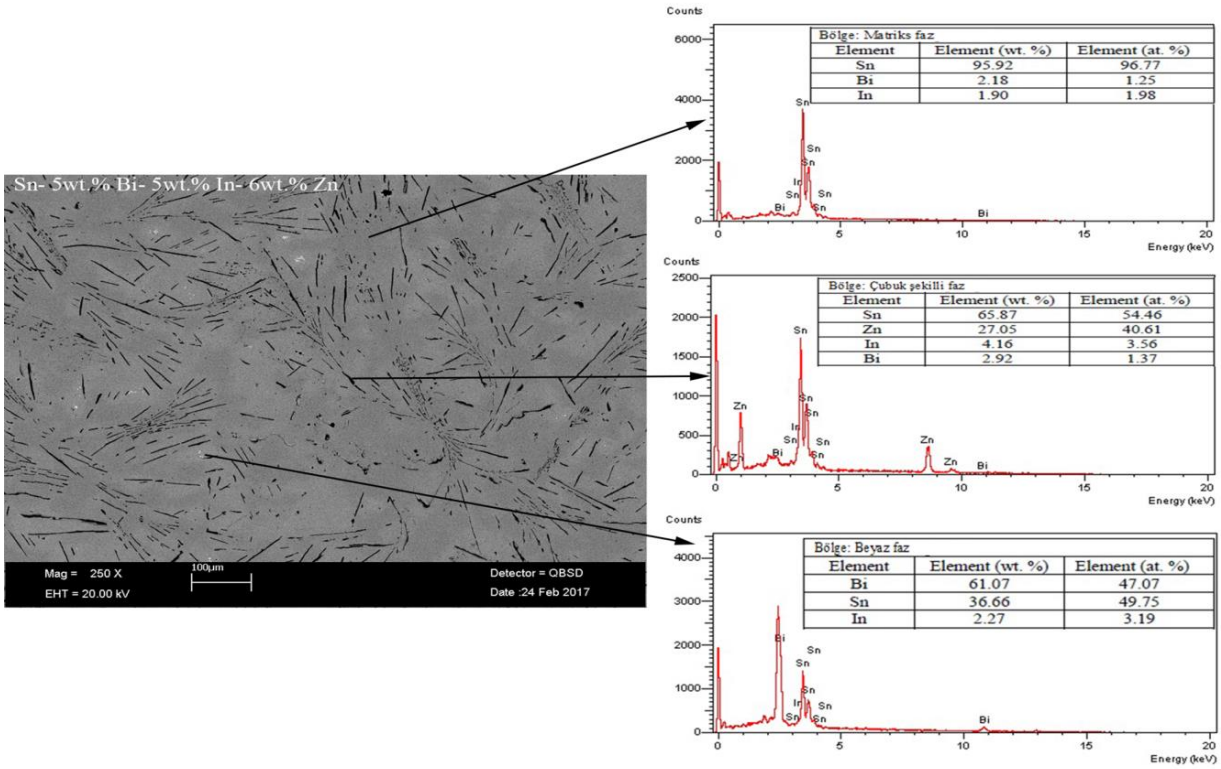
3.1.6 Alaşımların Mikroyapı-Elementel Tayini (SEM-EDX)

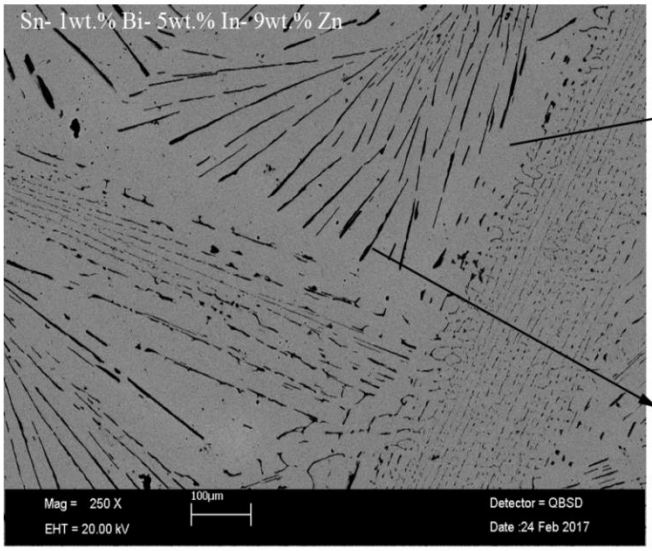
Üretilen her bir numuneden Şekil 20'de görüldüğü gibi uygun ebatlarda kesitler alınıp soğuk kalıplama yöntemiyle kalıplandıktan sonra metalografik işlemlere tabi tutuldu. Daha sonra numuneler, 20 ml. gliserin, 2.5 ml. asetik asit ve 2.5 ml. nitrik asit'den oluşan çözelti içinde 10 saniye tutularak dağalandı.

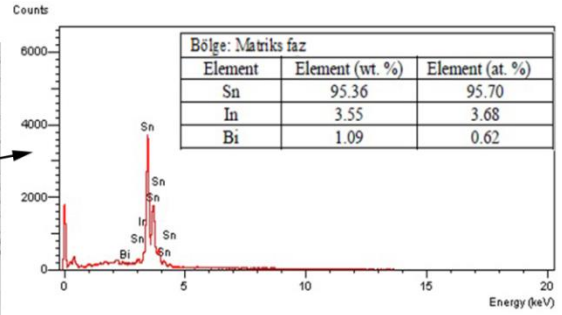


Şekil 20. Soğuk kalıplama yöntemiyle kalıplandıktan sonra metalografik işlemlere tabi tutulan numune

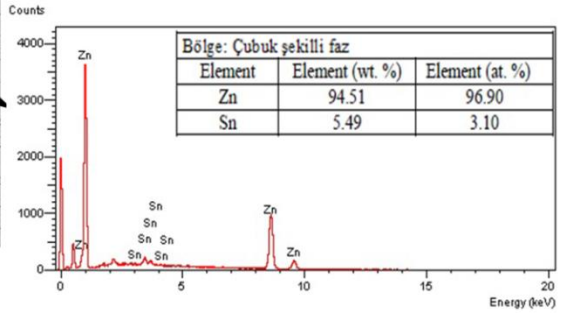
Numunelerin mikroyapı fotoğrafları Erciyes Üniversitesi *Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde bulunan* ***Taramalı Elektron Mikroskobuyla (SEM)*** çekildi. Numunelerin SEM fotoğraflarının çekilmesinde ***LEO 440*** marka bilgisayar kontrollü dijital taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanıldı. Bu mikroskop, 40 kV hızlandırma voltajlı ve Secondary-Backscattered elektron detektörüne sahip ×(5-300000) kat büyütme kapasitelidir. Aynı zamanda cihaz EDX, X-Ray analiz spektrometresine sahiptir ve bu sayede her bir alaşımdaki fazların elementel tayini yapılmıştır. Her bir alaşım için elde edilen SEM görüntüleri ve her bir alaşımdaki fazlar Şekil 21'de gösterilmiştir.



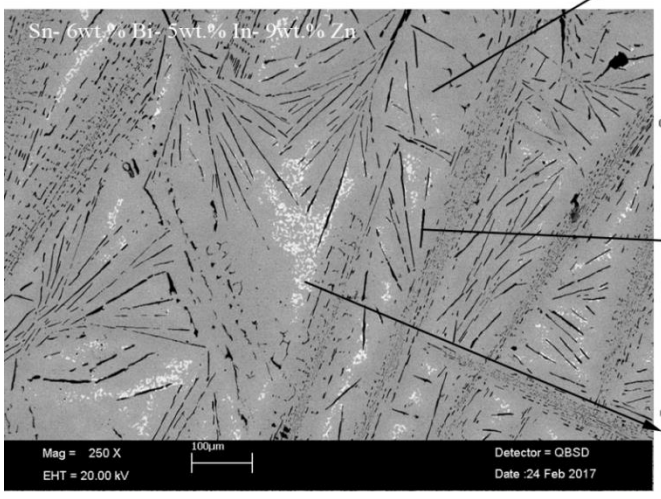


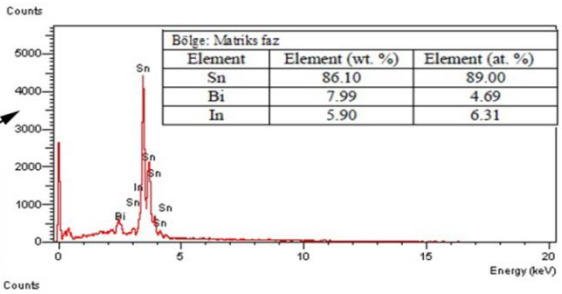


Bölge: Matriks faz		
Element	Element (wt. %)	Element (at. %)
Sn	95.36	95.70
In	3.55	3.68
Bi	1.09	0.62

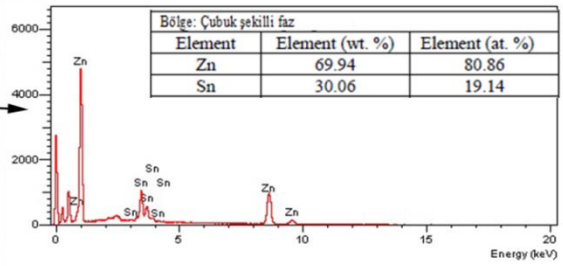


Bölge: Çubuk şekilli faz		
Element	Element (wt. %)	Element (at. %)
Zn	94.51	96.90
Sn	5.49	3.10

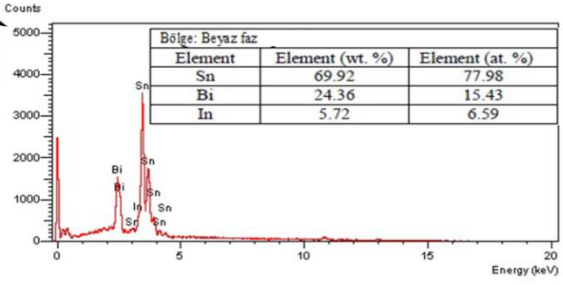




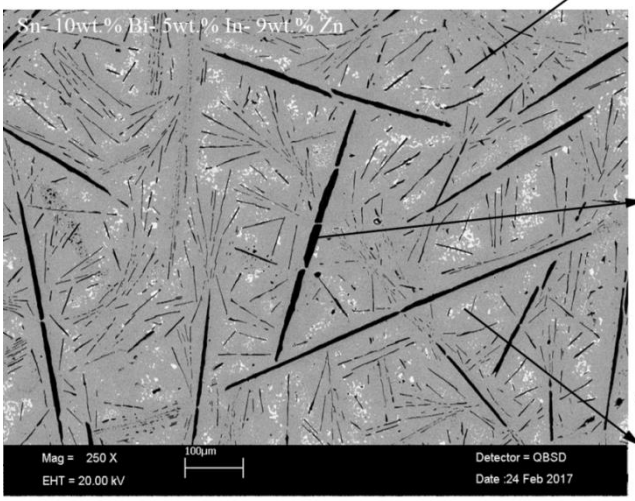
Bölge: Matriks faz		
Element	Element (wt. %)	Element (at. %)
Sn	86.10	89.00
Bi	7.99	4.69
In	5.90	6.31

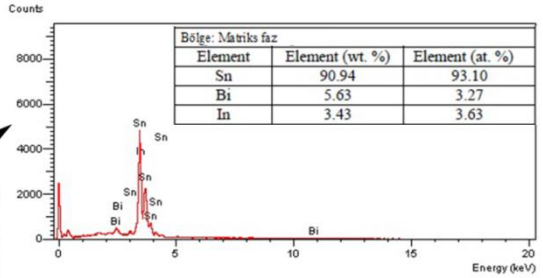


Bölge: Çubuk şekilli faz		
Element	Element (wt. %)	Element (at. %)
Zn	69.94	80.86
Sn	30.06	19.14



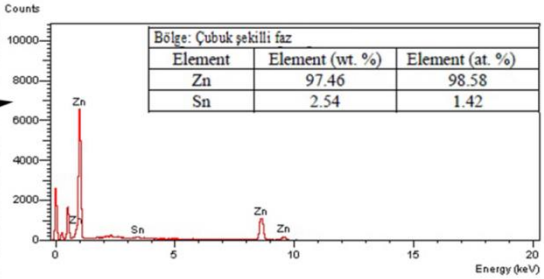
Bölge: Beyaz faz		
Element	Element (wt. %)	Element (at. %)
Sn	69.92	77.98
Bi	24.36	15.43
In	5.72	6.59





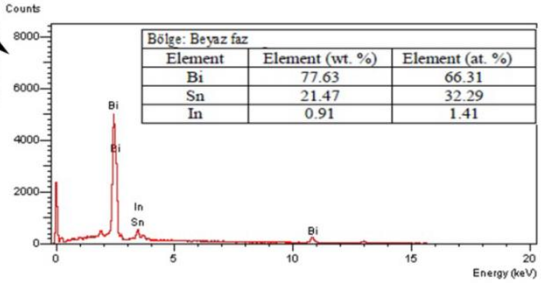
Bölge: Matriks faz

Element	Element (wt. %)	Element (at. %)
Sn	90.94	93.10
Bi	5.63	3.27
In	3.43	3.63



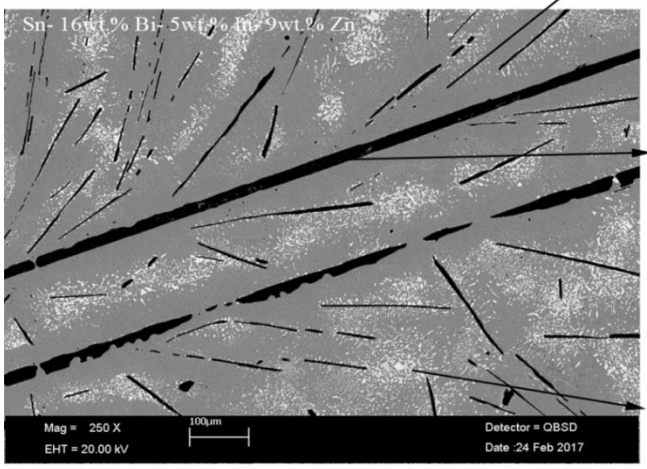
Bölge: Çubuk şekilli faz

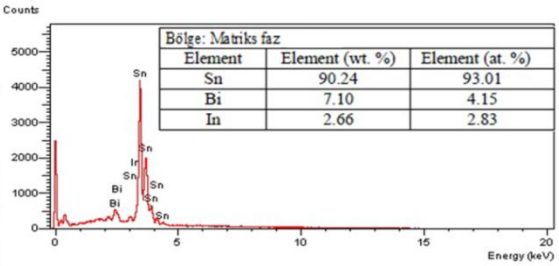
Element	Element (wt. %)	Element (at. %)
Zn	97.46	98.58
Sn	2.54	1.42



Bölge: Beyaz faz

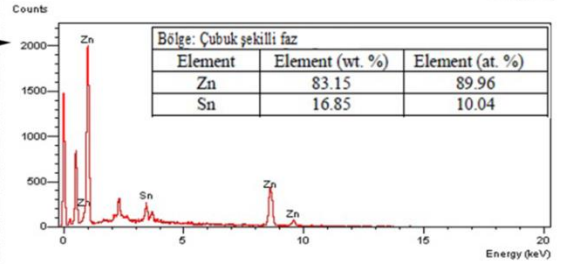
Element	Element (wt. %)	Element (at. %)
Bi	77.63	66.31
Sn	21.47	32.29
In	0.91	1.41





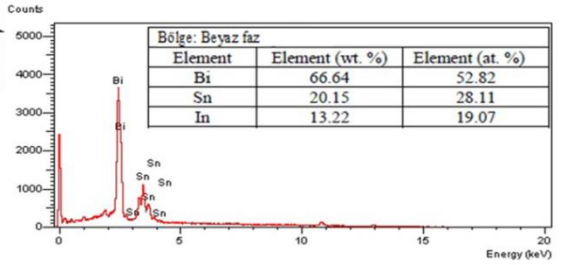
Bölge: Matriks faz

Element	Element (wt. %)	Element (at. %)
Sn	90.24	93.01
Bi	7.10	4.15
In	2.66	2.83



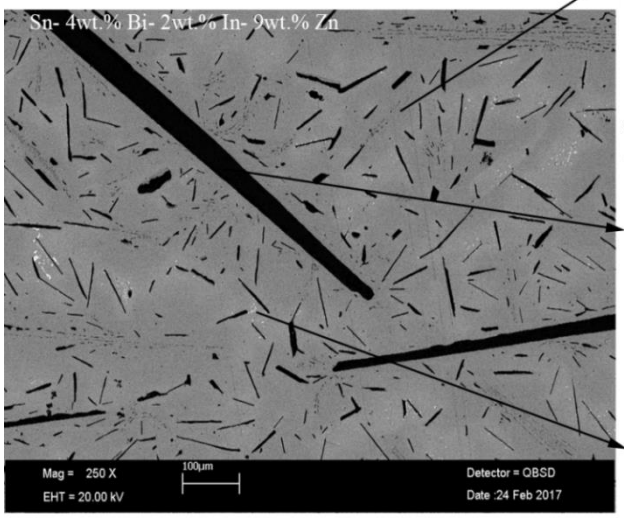
Bölge: Çubuk şekilli faz

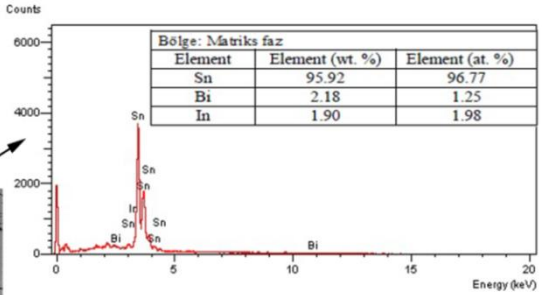
Element	Element (wt. %)	Element (at. %)
Zn	83.15	89.96
Sn	16.85	10.04



Bölge: Beyaz faz

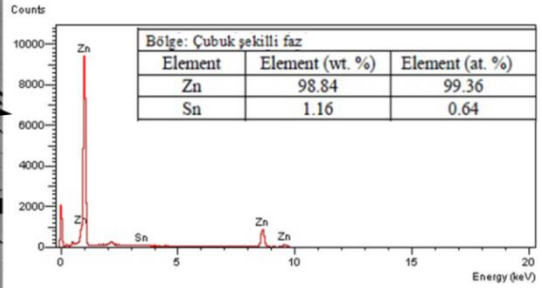
Element	Element (wt. %)	Element (at. %)
Bi	66.64	52.82
Sn	20.15	28.11
In	13.22	19.07





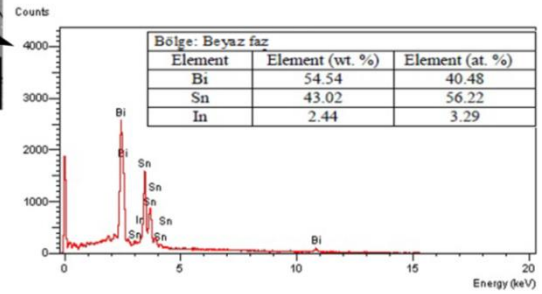
Bölge: Matriks faz

Element	Element (wt. %)	Element (at. %)
Sn	95.92	96.77
Bi	2.18	1.25
In	1.90	1.98



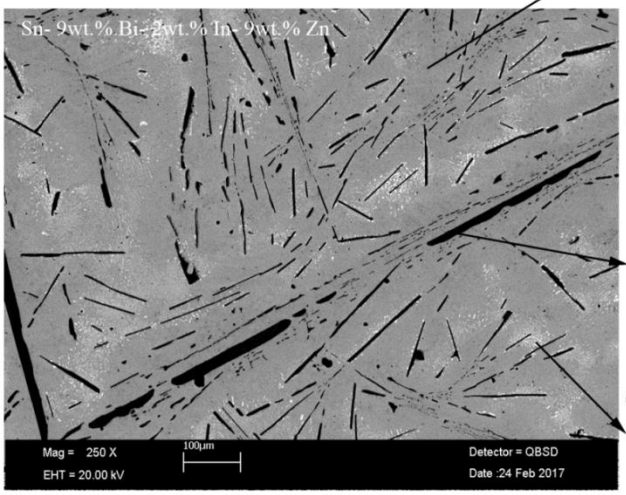
Bölge: Çubuk şekilli faz

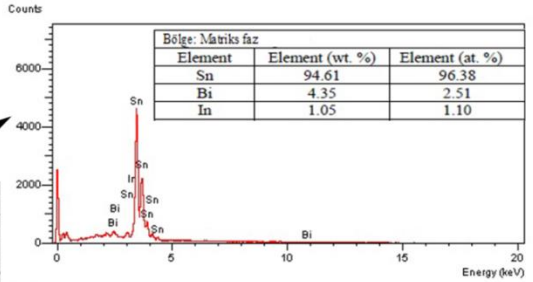
Element	Element (wt. %)	Element (at. %)
Zn	98.84	99.36
Sn	1.16	0.64



Bölge: Beyaz faz

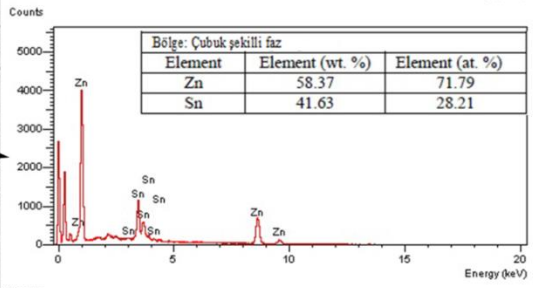
Element	Element (wt. %)	Element (at. %)
Bi	54.54	40.48
Sn	43.02	56.22
In	2.44	3.29





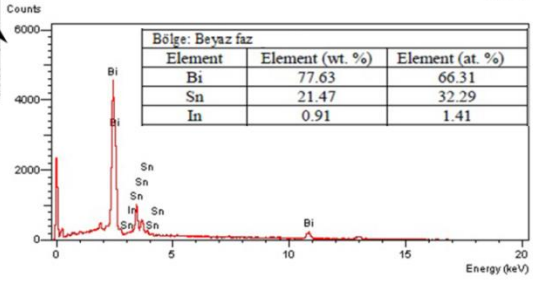
Bölge: Matriks faz

Element	Element (wt. %)	Element (at. %)
Sn	94.61	96.38
Bi	4.35	2.51
In	1.05	1.10



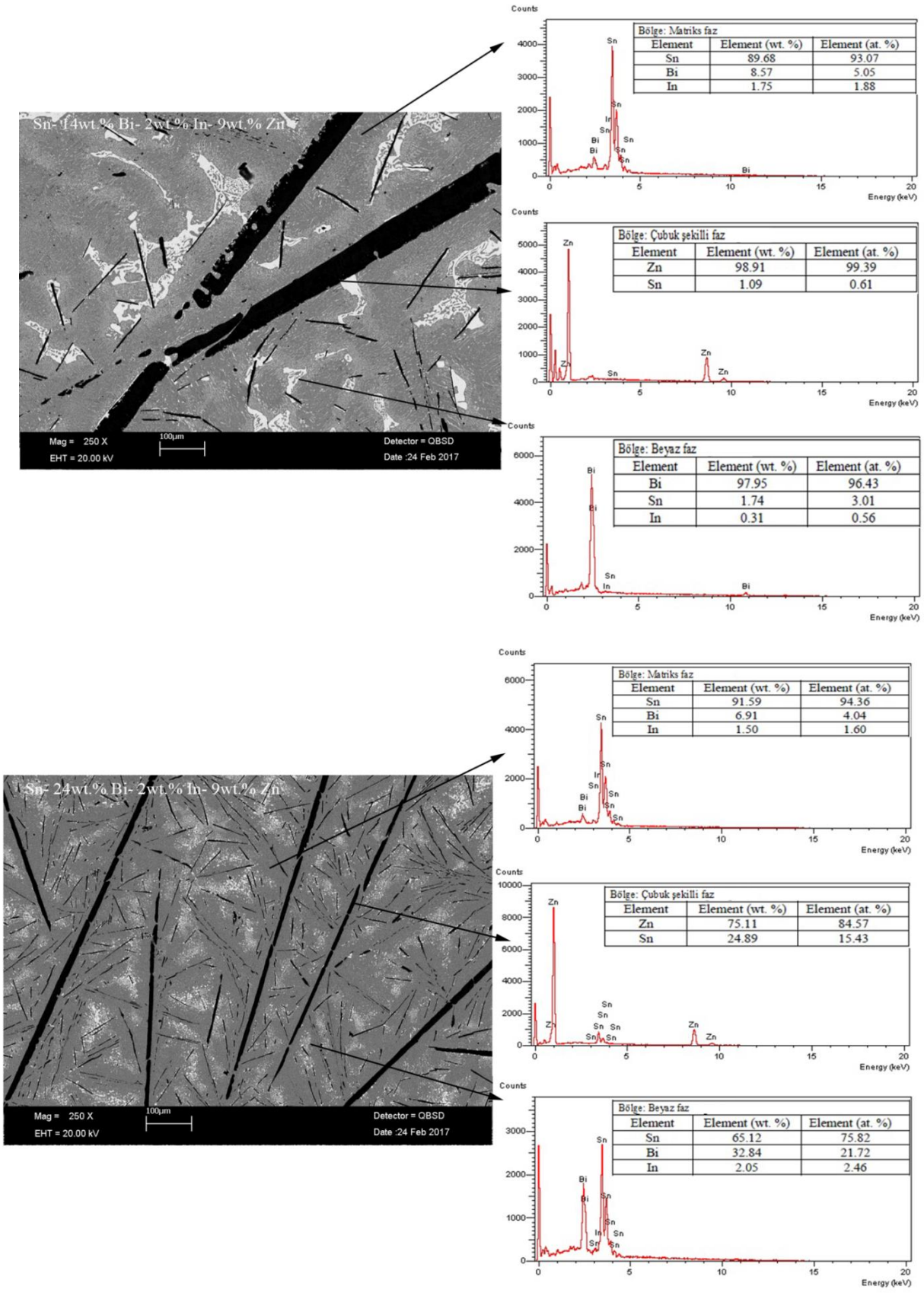
Bölge: Çubuk şekilli faz

Element	Element (wt. %)	Element (at. %)
Zn	58.37	71.79
Sn	41.63	28.21



Bölge: Beyaz faz

Element	Element (wt. %)	Element (at. %)
Bi	77.63	66.31
Sn	21.47	32.29
In	0.91	1.41



Şekil 21. EDX analizi ile lehim alaşımlarının (Sn-[x]Bi-2In-9Zn (x= 4, 9, 14 and 24 ağ. % Bi), Sn-5Bi-5In-6Zn ve Sn-[x]Bi-5In-9Zn (x= 1, 6, 10 and 16 ağ. % Bi)) kimyasal bileşim analizi

Sırasıyla Sn ve Zn içinde In çözünürlüğü 345 K ve 413 K ötektik erime sıcaklığında ağırlıkça %12 ve %0.3'dür Hansen (1958). Bi içerisinde In çözünürlüğü çok küçüktür ve bu 345 K ötektik erime sıcaklığında ihmal edilebilir. Sırasıyla, 390 K, 345 K ve 413 K ötektik erime sıcaklığında In içerisinde Sn, Bi, Zn çözünürlüğü ağırlıkça %48, %20.5, %1.2 olarak verilmiştir Hansen (1958). Indiyumun, kalay-çinko ve bizmutla olan ikili faz diyagramları incelendiğinde, indiyum çözelti fazı Sn-Bi-In-Zn alaşım sistemi içinde oluşmamaktadır. Şekil 21 'deki mikroyapı ve EDX analizleri incelendiğinde Sn-5Bi-5In-6Zn, Sn-[x]Bi-5In-9Zn (x= 6, 10 and 16 ağ. % Bi) ve Sn-[x]Bi-2In-9Zn (x= 4, 9, 14 and 24 ağ. % Bi) alaşımları içinde üç faz mevcuttur. Bu fazlar, Sn bakımından zengin ana faz gri renkte, Bi çözelti fazı; parlak kontrastlı yuvarlak şekilli parçacıklar ve Zn çözelti fazı; siyah kontrastlı iğne şeklinde olan parçacıklar olarak verilmiştir. Bu fazlar alaşımla içinde rasgele olacak şekilde dağılmıştır, boyutları ve yoğunlukları Sn-Bi-In-Zn içindeki bizmut miktarına göre değişmektedir.

3.1.7 Alaşımların Termal Özelliklerinin Belirlenmesi

Lehim teline alternatif olarak seçilen bu alaşımların spesifik ısı, entalpi ve erime sıcaklığı gibi termal özelliklerini belirlemek için diferansiyel taramalı kalorimetre yöntemi (DSC) kullanılmıştır. DSC analiz yönteminde malzeme ve referans maddesine aynı sıcaklık programı uygulanırken malzemede bir değişiklik olması halinde, malzemeyi veya referansa bir elektrik devresi yardımı ile dışarıdan ısı eklenerek her ikisinin de aynı sıcaklıkta kalması sağlanır. Cihaz ile, kütle değişimi, dekompozisyon, termal kararlılık, oksidasyon, dönüşüm entalpisi, spesifik ısı (Cp), faz geçiş sıcaklıkları, cam geçiş sıcaklığı, kristalizasyon davranışları, vb. analizler yapılabilmektedir. Deneyler, oda sıcaklığı ile maksimum 1600°C sıcaklık aralığında 0.001-30 ^{0}K/dk ısıtma hızı ile ölçümler yapabilen ***Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde Netzsch*** marka DSC cihazında yapılmıştır.

Bir maddenin spesifik ısısı (sabit basınç altına) şu şekilde verilir,

$$C_p = \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_P \quad (13)$$

Denklem (13) integre edilirse, 298 K H=0 olarak tanımlanırsa maddenin entalpisi elde edilir,

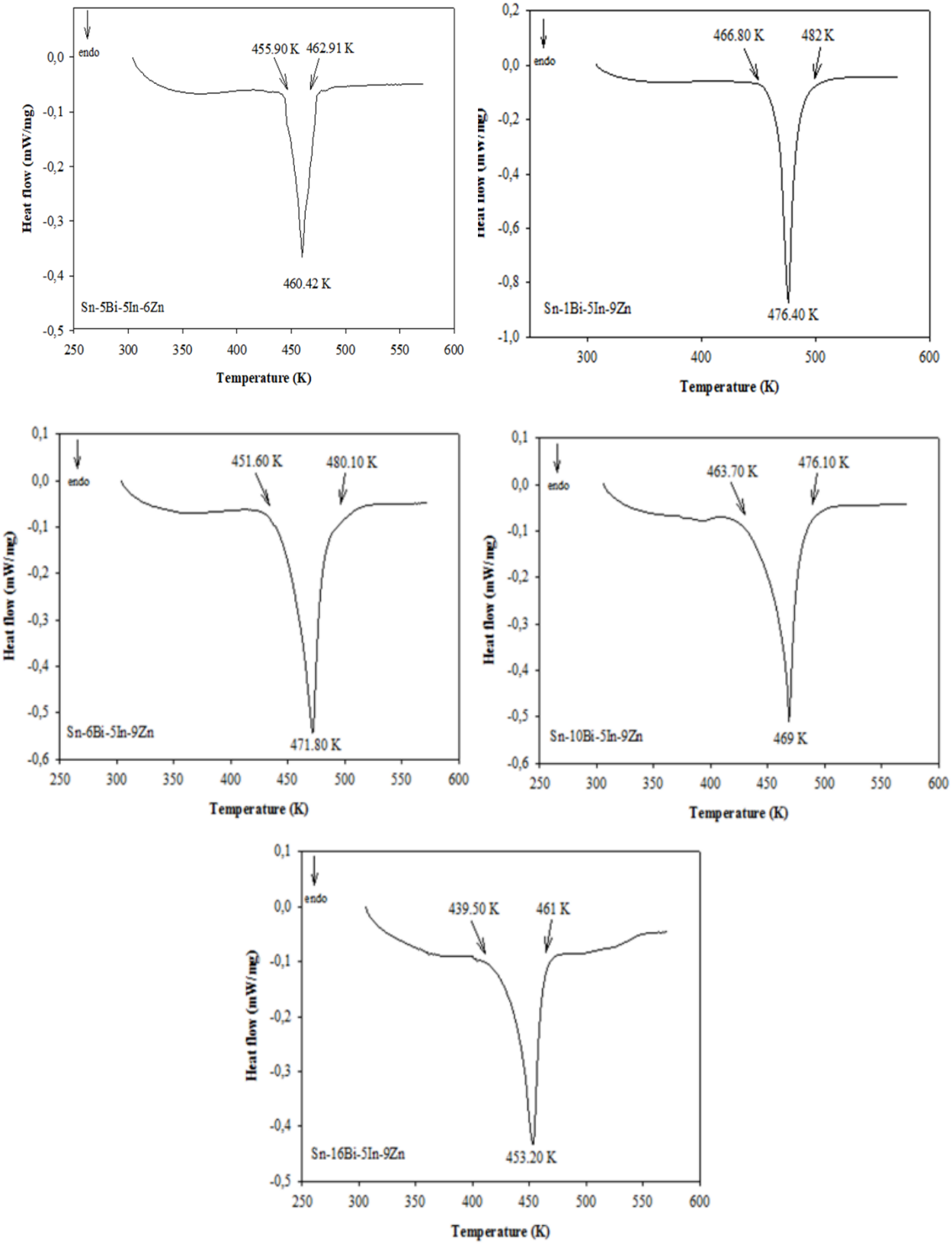
$$H = \int_{298}^{T} C_p dT \quad (14)$$

Erime noktasında malzemeninin sıcaklığını artırmadan sisteme ısı verilirse bu ısıya entalpi veya gizli ısı olarak isimlendirilir. Bu gizli ısı maddeyi katıdan sıvıya dönüştürmek için kullanılır. Entalpi şu şekilde elde edilir,

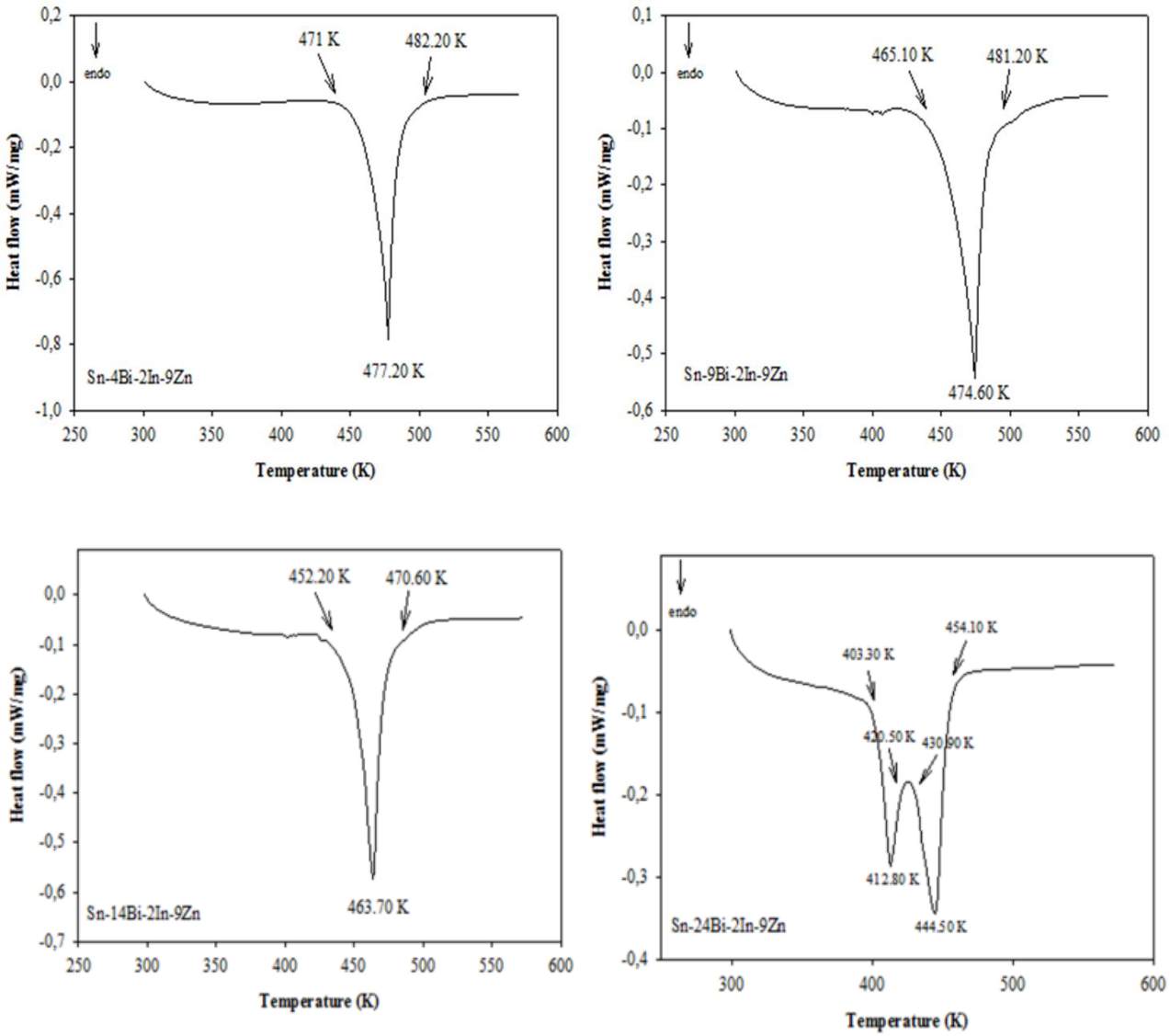
$$\Delta H \approx \Delta C_p T_E \quad (15)$$

Burada T_E erime sıcaklığı, ΔC_p spesifik ısıdaki değişim miktarıdır. Şekil 22'de görüldüğü gibi, proje de yer alan her bir numune için 10 ^{0}C/dk ısıtma hızında entalpi değerleri tayin edilerek

bu veriden faydalanılarak spesifik ısısı (Cp) hesaplanmıştır. Elde edilen değerlerde Tablo 4 de verilmiştir.



Şekil 22a. Sn-5Bi-5In-6Zn ve Sn-[x]Bi-5In-9Zn (x= 1, 6, 10 and 16 ağ. % Bi) alaşımlarının DSC analizleri



Şekil 22b. Sn-[x]Bi-2In-9Zn (x= 4, 9, 14 ve 24 ağ. % Bi) alaşımlarının DSC analizleri

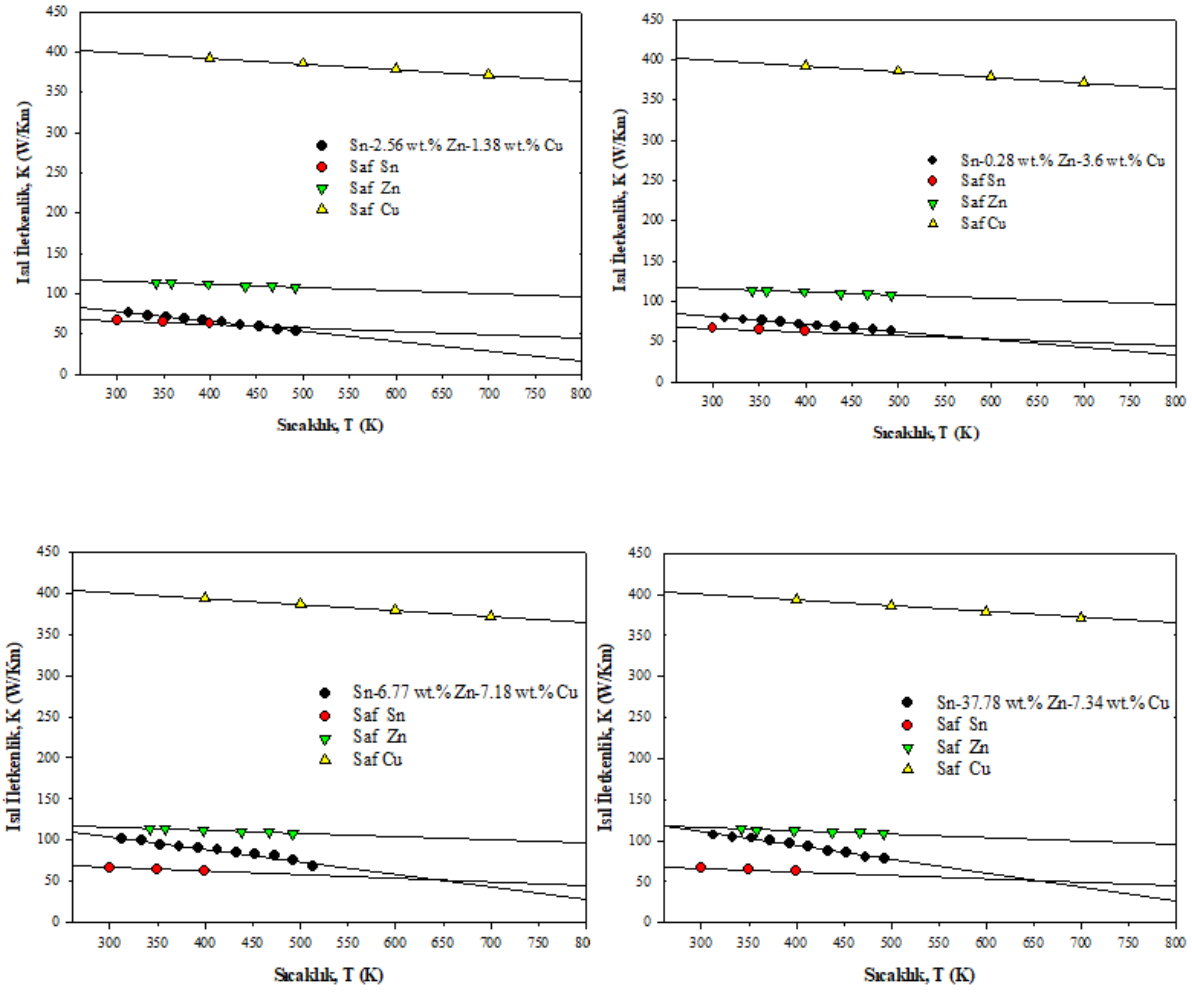
Tablo 4. Alternatif lehim alaşımlarının spesifik ısı ve entalpi değerleri

Alaşım adı	$T_{pik}(^0C)$	ΔH(J/g)	$C_p(J/g^0C)$
Sn- 4Bi- 2In- 9Zn	198.80	68.14	0.343
Sn- 9Bi- 2In- 9Zn	180.20	40.09	0.222
Sn- 14Bi- 2In- 9Zn	190.70	54.40	0.285
Sn- 24Bi- 2In- 9Zn	201.60	63.03	0.313
Sn- 5Bi- 5In- 6Zn	187.42	64.06	0.342
Sn- 1Bi- 5In- 9Zn	203.40	68.50	0.337
Sn- 6Bi- 5In- 9Zn	196.00	58.40	0.298
Sn- 10Bi- 5In- 9Zn	204.20	72.44	0.355
Sn- 16Bi- 5In- 9Zn	171.50	53.08	0.309

3.1.8 Sn-Zn-Cu alaşımının Termal, Mikroyapı ve Mekanik Özellikleri

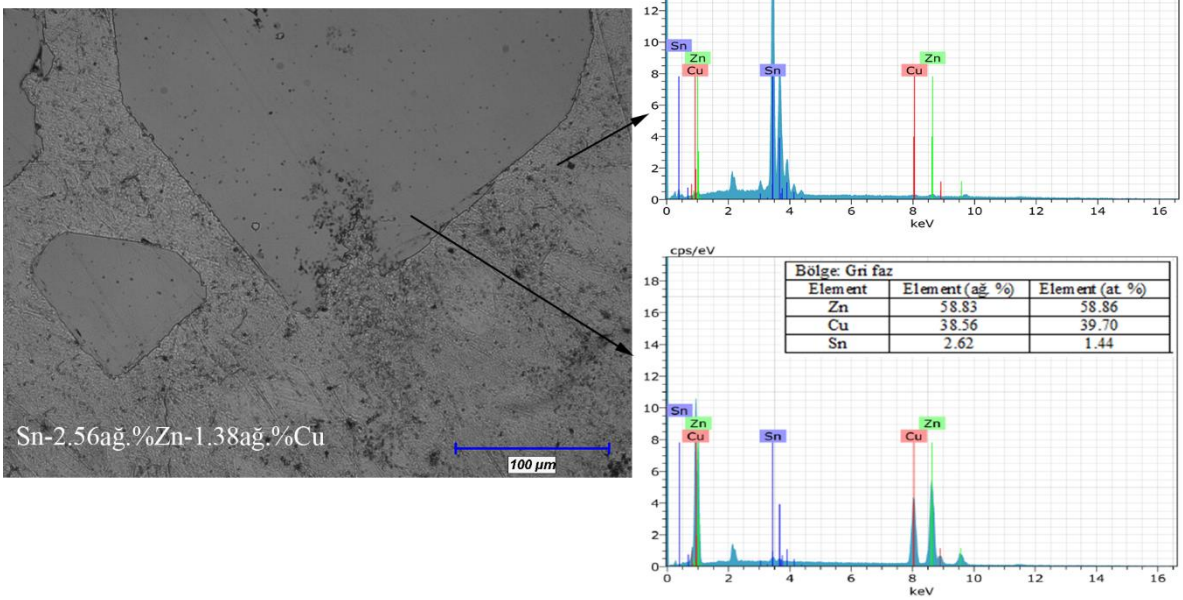
3.1.8.1 Isı İletkenliğin Sıcaklıkla Değişiminin Ölçümü

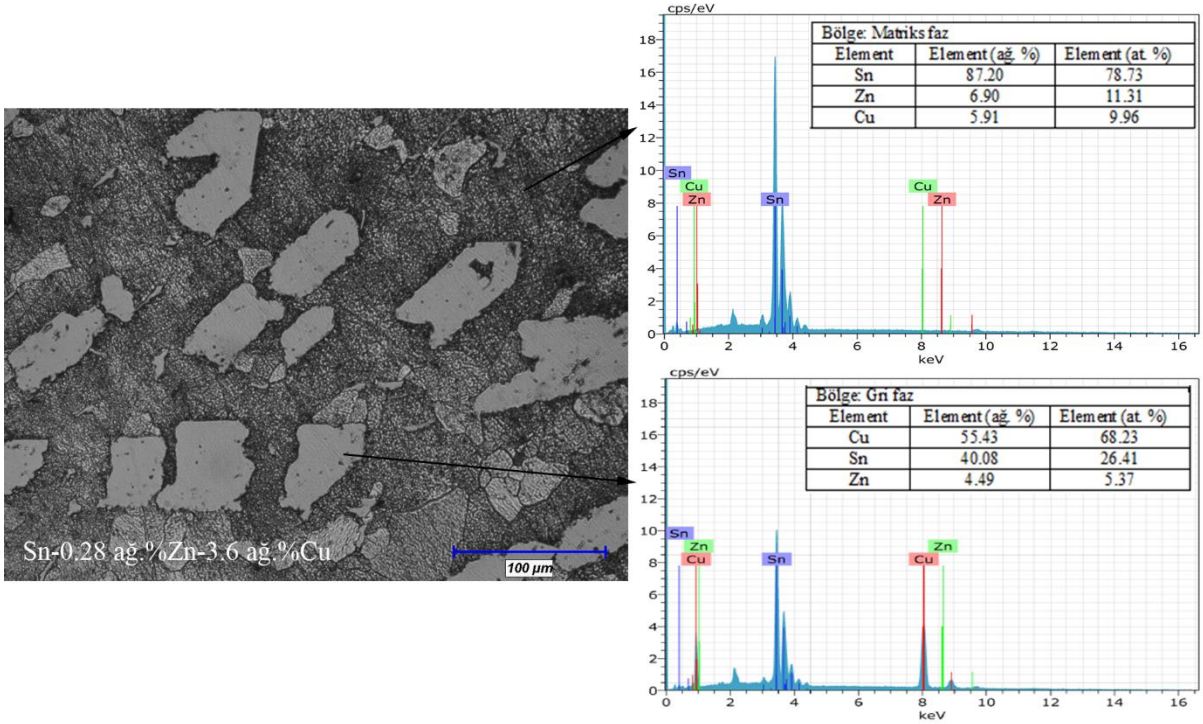
Alternatif lehim alaşımı için uygulanan deneysel süreçler Sn-Zn-Cu alaşımı içinde uygulanmıştır. Bu alaşım için deneysel süreçler detaylı olarak verilmeyip sadece elde edilen sonuçlar verilecektir.

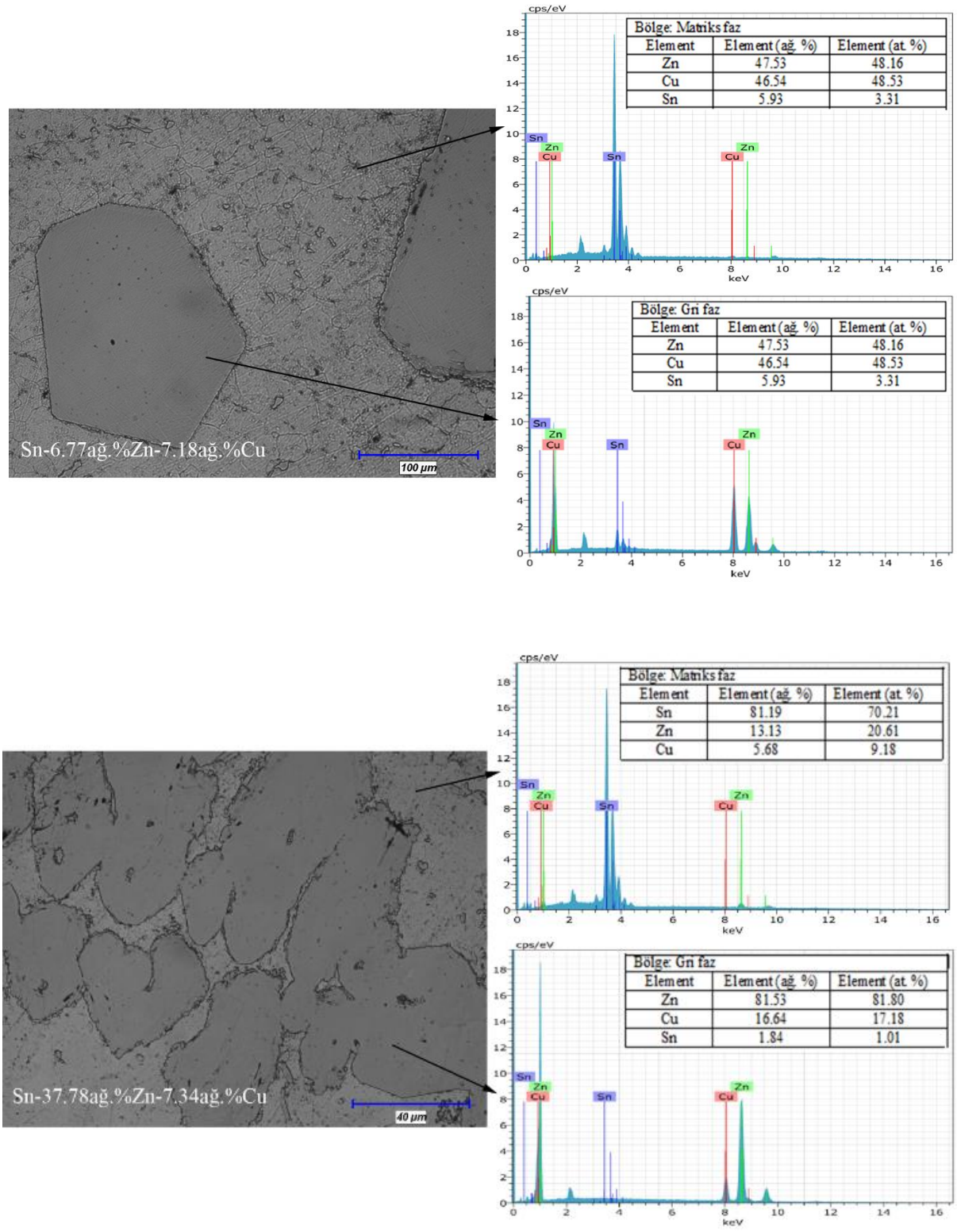


Şekil 23. Sn-Zn-Cu alaşımlarının ısıl iletkenlik değerlerinin sıcaklıkla değişimi (saf Sn, saf Zn, saf Cu Touloukian (1970))

3.1.8.2 Mikroyapı-Elementel Tayini (SEM-EDX)

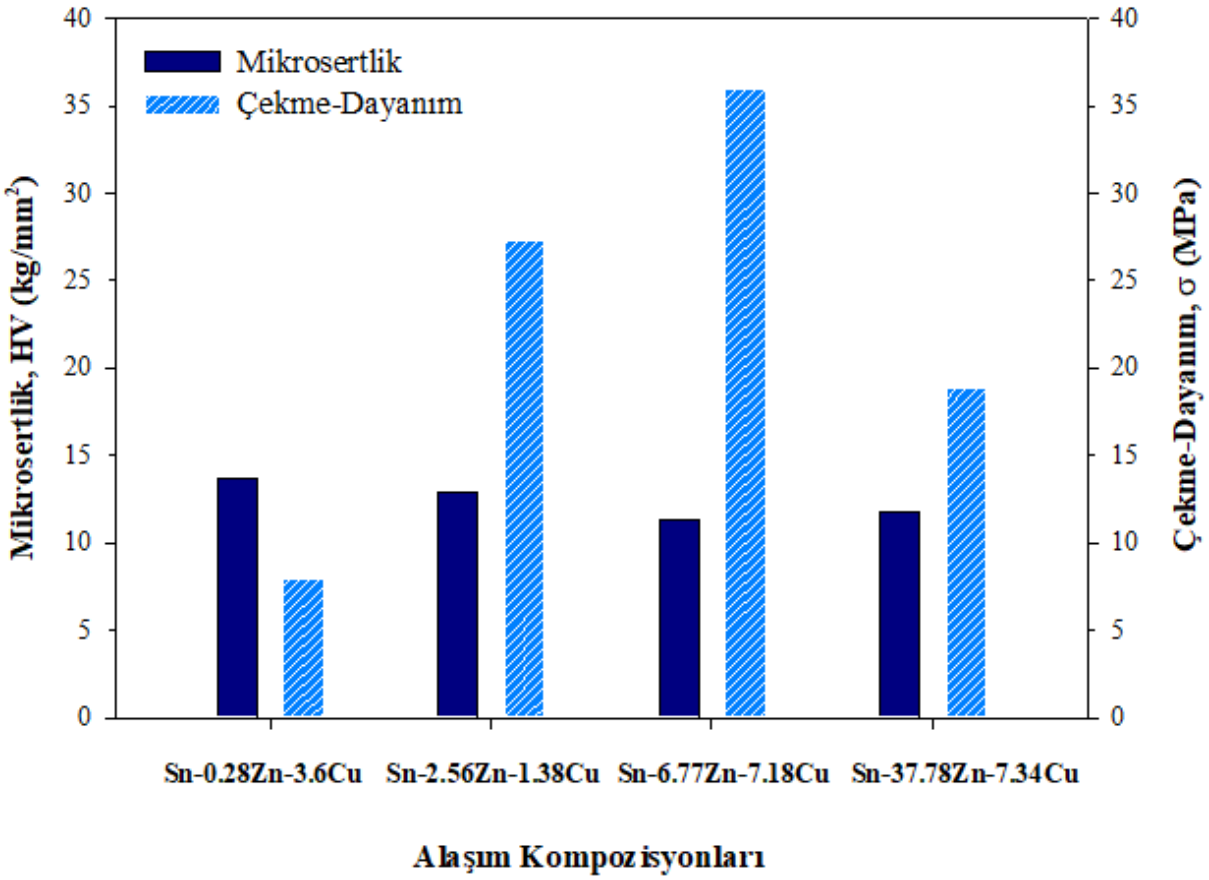






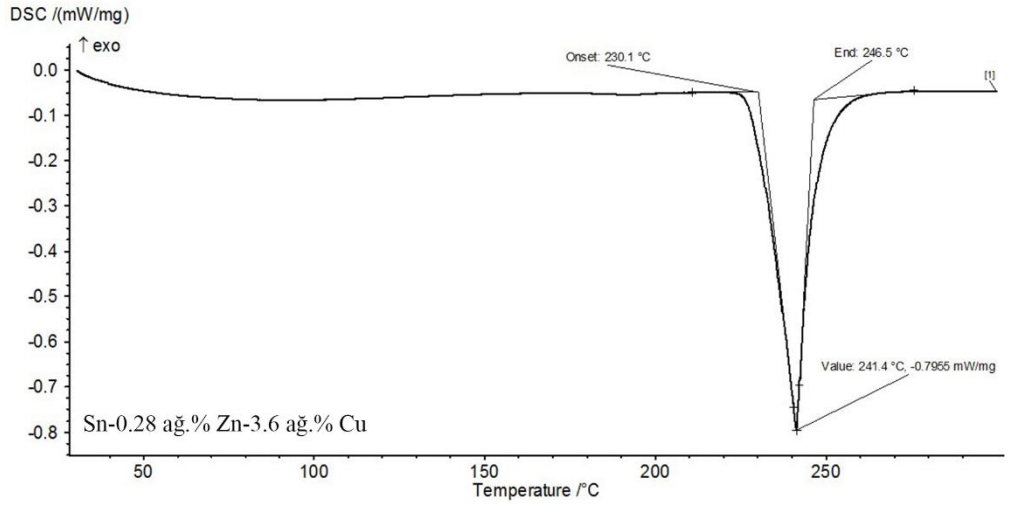
Şekil 24. EDX analizi ile Sn-Zn-Cu alaşımlarının kimyasal bileşim analizi

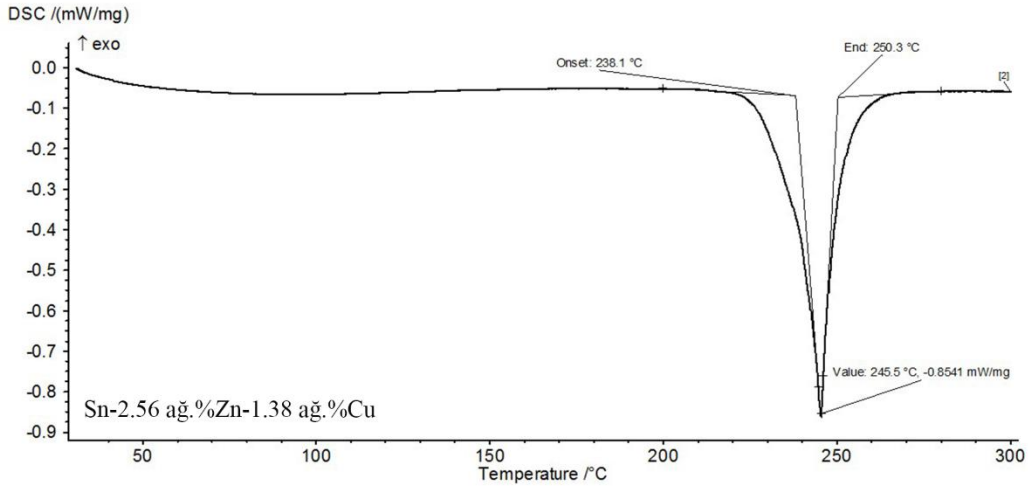
3.1.8.3 Alaşım Sisteminin Çekme-Dayanım ve Mikrosertlik Analizi

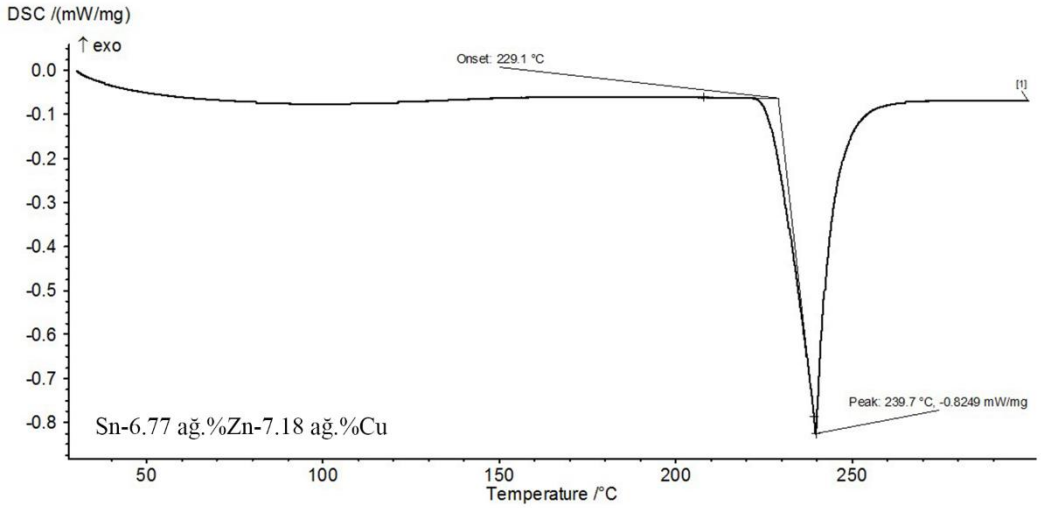


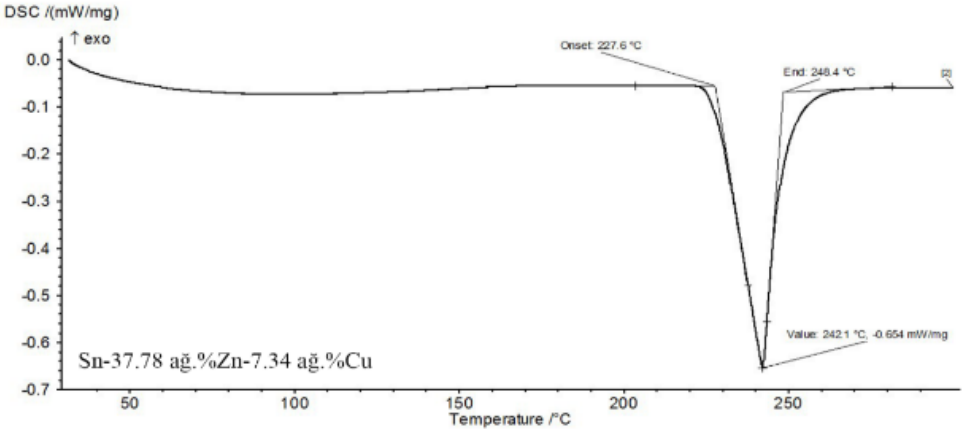
Şekil 25. Sn-Zn-Cu alaşımlarının mikrosertlik ve çekme-dayanım grafiği

3.1.8.4 Alaşımların Termal Özelliklerinin Belirlenmesi









Şekil 26. Sn-Zn-Cu alaşımına ait DSC analizleri

4. BULGULAR VE SONUÇ

- Bu projede öncelikle, alternatif lehim alaşımı olarak seçtiğimiz Sn-5Bi-5In-6Zn alaşımının elektriksel ve ısı iletkenlik değerleri ölçüldü. Bu alaşım, ötektik kurşunlu lehim alaşımının (Sn-37Pb) ısı ve elektriksel iletkenliği değerleri ile deneysel hatalar içinde yaklaşık aynı değerlere sahip olduğu görüldü. Bu sonuçla biz ısıl ve elektriksel iletimi yönünden aynı fiziksel özelliklere sahip fakat daha sağlıklı bir lehim malzemesi üretmiş olduk. Ayrıca bu alaşımların erime sıcaklıklarının aynı olması birçok üretim tesisindeki havyaların ve dalga lehim makinelerinin değiştirilmesine veya yenilenmesine gerek duyulmayacağı ciddi bir ekonomik bütçeye kazanç sağlayacaktır. Lehim ve ana metal arasındaki bağın oluşması lehimin metali tamamen ıslatmasıyla olur. Yüksek Sn içeriği bunu sağlar ve böylece güçlü bağ oluşturur. Tablo 5 de görüldüğü gibi bizim seçtiğimiz alaşımın kalay miktarı kurşunlu alaşımın kalay miktarından daha fazla olması ayrıca bir avantaj kazandıracaktır. Mekanik özellikleri bakımından incelendiğinde alternatif lehim alaşımın daha iyi özelliklere sahip olduğu görülmektedir. Sn-37Pb alaşımdan daha dayanaklı, çekme-dayanımı özelliği yaklaşık iki kat daha iyi bir lehim alaşımı elde edilmiştir. Mikroyapısına bakıldığında ara fazlar içermemesi lehim alaşımları için tercih edilen bir özelliktir.

Tablo 5. Sn-5Bi-5In-6Zn alaşımına ait termofiziksel özellikler

Alaşım (ağ.%)	**Isıl İletkenlik (K) W/Km**	**Elektriksel İletkenlik (σ) (10^8/Ωm)**	**Mikrosertlik,HV (kg/mm^2)**	**Çekme-Dayanım (σ) (MPa)**
Sn-37Pb	54.7±3.8 Ocak (2010)	0.045 Ocak (2010)	17 Siewert (2002)	30.60 Siewert (2002)
Sn-5Bi-5In-6Zn	46.28±4.2	0.040	24.50	61.20

- Bu projenin diğer bir amacı da Sn-In-Zn alaşımına bizmut katkılayarak termofiziksel özelliklerini incelemektir. Bunun için iki farklı alaşım sistemi seçildi; Sn-[X] Bi-2In-9Zn (X:4,9,14,24), Sn-[X]Bi-5In-9Zn (X:1,6,10,16). Bu iki alaşımda indiyum miktarını değiştirmek alaşımların ısı ve elektriksel iletkenliğine çok büyük katkısı olmamıştır.

Fakat bizmut miktarını değiştirmek ısı ve elektriksel iletkenlikte değişime sebep olmuştur. Şekil 13 ve 16 de görüldüğü gibi bizmut miktarı arttıkça ısı ve elektriksel iletkenlik değerlerinde düşüş gözlenmiştir. Fakat bu düşüş indiyum ve çinko katkısıyla makul ölçüde tutulmuştur. Böylece daha düşük erime noktasına sahip ve daha sağlıklı fakat ısı ve elektriksel iletimi yönünden yaklaşık aynı değerlere sahip lehim telleri bulunmuş oldu. Tablo 6'da görüldüğü gibi, yapılan DSC analizlerine göre Sn-[X] Bi-2In-9Zn (X:4,9,14,24) alaşım sisteminde katı fazdan sıvı faza geçiş sıcaklığı aralığı, Bi miktarı arttıkça artmıştır. Fakat erime noktasını düşürmüştür. Geçiş sıcaklığı aralığının artması bir dezavantaj olarak düşünülebilir. Çünkü faz geçiş sıcaklığı aralığı arttıkça lehimin teli daha geç katılaşabilir. Fakat lehim alaşımının erime sıcaklığını da düşürmesi bir avantajdır. Yine tablo 6'da görüldüğü gibi, Bi miktarı arttıkça alaşımların sertlik ve çekme-dayanım özellikleri artmıştır. Tablo 7'de görüldüğü gibi, Sn-[X]Bi-5In-9Zn (X:1,6,10,16) alaşımı incelendiğinde Indiyum miktarının ağ.%2 tutulduğu alaşıma göre daha kararsız bir yapı sergilediği görülmektedir. Artan Bi miktarına göre, faz geçiş sıcaklığı aralığında, çekme – dayanım özelliklerinde dalgalanmalar gözlenmiştir. Buda In miktarını ağ.%2 tutulmasının daha kararlı bir yapı sergilediği gözlenmiştir. Her iki alaşım grubunun mikroyapıları incelendiğinde, ara fazların bulunmaması lehim alaşımları için tercih edilen bir özelliktir.

- Sonuç olarak, lehimler; özellikle kalay bazlı olanlar, kullanım alanlarına göre çok değişik alaşımlarda ve formlarda hazırlanabilmektedirler. Kullanım alanları bakımından en uygun lehimin belirlenmesinde ilk kriter kullanılacak lehim alaşımının erime sıcaklığı olmaktadır. Bunun yanında mekanik, mikroyapı, termal ve elektriksel iletkenlik özelliklerinin bilinmeside önemli bir kriterdir. Bu projede de daha önce bu özellikleri belirlenmemiş Sn-In-Zn-Bi alaşımına ait termofiziksel özellikler belirlenip kullanım alanlarına sunulmuştur. Kullanım alanına göre uygun özellikteki malzeme seçimi, bu malzemeleri kullanacak mühendis ve bilim adamlarına alaşımların bilinmeyen özellikleri hakkında önemli bilgiler sağlanmış olacaktır.

- Yapılan çalışmalar sonunda çoklu metalik alaşımlarda, ısı iletime fonon katkısının sıcaklıkla değişiminin, sıcaklık artıkça belirgin derecede azaldığı görülürken, elektron katkısının ise sıcaklık arttıkça çok az bir artış gözlendiği fark edilmiştir. Fakat alaşımdaki Bi bileşiminin artmasıyla elektronik katkının azaldığı ve hatta Bi bileşimimin %24 olduğu zaman adeta sabit kaldığı grafiklerden gözlenmektedir. Yine grafiklerden sıcaklığın artışıyla fononların etkisindeki azalmanın alaşımdaki Bi

bileşimine bağlılığın adeta olmadığı görülmüş, yani fonon etkisindeki azalmanın alaşım da elementin türüne ve özelliğine bağlı olmadığı gözlenmiştir.

Tablo 6. Sn-[X] Bi-2In-9Zn (X:4,9,14,24) alaşımlarına ait termofizksel özellikler

Alaşım (ağ.%)	Isıl İletkenlik (K) W/Km	Elektriksel İletkenlik (σ) (10^8/Ωm)	Mikrosertlik, HV (kg/mm^2)	Çekme Dayanım(σ) (MPa)	Faz Geçiş Aralığı Sıcaklığı (K)
Sn-4Bi-2In-9Zn	45.37	0.0437	27.10	53.60	11.20
Sn-9Bi-2In-9Zn	43.67	0.0373	27.50	57.10	16.10
Sn-14Bi-2In-9Zn	41.22	0.0373	31.70	63.10	18.40
Sn-24Bi-2In-9Zn	37.51	0.0298	33.20	64.30	51.60

Tablo 7. Sn-[X]Bi-5In-9Zn (X:1,6,10,16) alaşımlarına ait termofizksel özellikler

Alaşım (ağ.%)	Isıl İletkenlik (K) W/Km	Elektriksel İletkenlik (σ) (10^8/Ωm)	Mikrosertlik, HV (kg/mm^2)	Çekme Dayanım(σ) (MPa)	Past Range Sıcaklığı (K)
Sn-1Bi-5In-9Zn	49.28	0.0426	20.70	48.80	15.20
Sn-6Bi-5In-9Zn	47.40	0.0403	27.10	58.60	28.50
Sn-10Bi-5In-9Zn	44.28	0.0377	28.40	63.80	12.40
Sn-16Bi-5In-9Zn	41.40	0.0360	31.80	53.70	21.50

Projeyi bir adım daha geliştirmek için projeye sonradan ilave edilen Sn-Zn-Cu alaşımının ısıl iletkenliği, DSC analizi, çekme-dayanım, mikrosertlik ve mikroyapı analizi yapılmıştır. Bu çalışmanın temel amacı Tablo 8'de görüldüğü gibi, Sn-Zn-Cu alaşım sistemine ait intermetalik fazların termofiziksel özelliklerini belirlemektir. İntermetalik bileşikler, hem kullanım sıcaklığı hem de mekanik özellikler açısından metalik malzemeler ile seramik malzemeler arasındaki boşluğu doldurmaya aday malzemelerdir. İntermetalik bileşikler,grup olarak belirli kullanımlar için çok çekici hale gelen bazı özelliklere sahiptir. Örneğin, saf metallerden daha güçlü bağ mukavemeti eğilimi ve düzenli yapıları sayesinde daha düşük kendi kendine yayılma özelliğine sahiptir. İntermetalik bileşiklerin mikroyapısal kontrolü sayesinde mukavemet özelliklerinde düşme olmadan sünekliği ve tokluğu geliştirilebilir.

Mikroyapısal kontrol; tane boyutu kontrolü, çok fazlı yapı ve kristal yapı değişimi ile yapılmaktadır.

İntermetalikler, düzenli yapıları ve üstün mekanik özellikleriyle,

•otomotiv endüstrisinde piston, valf, bilezik gibi elemanların yapımında;

•uzay ve petrokimya endüstrisinde yüksek sıcaklık malzemesi olarak,

•korozif ortamlarda korozyon direncini arttırmada kaplama malzemesi olarak,

•biyomedikal alanında düşük maliyetle çalışma imkânı sağlayan malzeme olarak

•başta kamara tipi fırınlar olmak üzere ısıtıcı elemanlar ve fırın donanımı olarak,

•enerji depolama ünitelerinde; pil, takım ve kalıp gibi ekipmanların yapımında,

•manyetik ve elektronik devrelerde seçici malzemeler olarak kullanılan, geniş uygulama alanına sahip bileşiklerdir.

Bu sebepten dolayı daha önce termofiziksel özellikleri belirlenmeyen bu intermetalik fazlar seçilip kullanım kolaylığı sağlaması amacıyla deneysel yöntemde detaylı olarak verilen bazı özellikleri belirlenmiştir.

Tablo 8. Sn-Zn-Cu alaşımına ait intermetalik fazlar

İntermetalik Fazlar	**Kompozisyon**
Cu_6Sn_5	Sn-% 0.28 ağ.Zn-%3.6 ağ.Cu
Cu_5Zn_8	Sn-% 2.56 ağ.Zn-%1.38 ağ.Cu
CuZn	Sn-% 6.77 ağ.Zn-%7.18 ağ.Cu
$CuZn_5$	Sn-% 37.78 ağ.Zn-%7.34 ağ.Cu

Öneriler;

- Lehim alaşımları için gerekli olan diğer mekanik özelliklere bakılabilir. (Islatma, korozyan direnci)
- Tamamlayıcı Destek Projesi yazılarak farklı lehim alaşımlarının termofiziksel özellikleri belirlenebilir.

KAYNAKLAR

Akbulut, S., Ocak, Y., Keşlioğlu, K., Maraşlı, N. 2009. "Thermal conductivities of solid and liquid phases for neopentylglycol, aminomethylpropanediol and their binary alloy", Journal Of Physics And Chemistry Of Solids, 70 (1), 72-78.

Aksöz, S., Ocak, Y., Keşlioğlu, K., Maraşlı, N. 2010. "Determination of thermo-electrical properties in Sn based alloys", Metals and Materials International, 16(3), 507-515.

Aksöz, N. 2013. Metalik Alaşımların Termofiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi, Nevşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir.

Armstrong, L.D., Dauphinee, T.M. 1947. "Thermal conductivity of metals at high temperatures: I. description of the apparatus and measurements on iron" Canadian Journal of Research, 25A (6), 357-374.

Artaki, I., Jackson, A. M. and Vianco, P. T.1994. *JEM 23.757*.

Askeland, D.R., 1990. The Science and Engineering of Materials, London: Chapman and Hall.

Berget, A. 1887. "Mesure de la conductibilité calorique du mercure en valeur absolue" Comptes Rendus Academy Science, 105, 224-227.

Berget, A. 1888. "Conductibilité thermique du mercure et de quelques métaux", Journal of Physics Theory and Applications, 7 (1), 503-518.

Biot, J.B. 1816. Traite de Physique, 669, Paris.

Callister, W. D, Rethwisch, D. G. 2015. Malzeme bilimi ve Mühendisliği, Baskıdan Çeviri, Edt: K. Genel.

Colling, D.A., 1995. Industrial Materials, Metals and Alloys, Ohio: Prentice - Hall Inc.

Çadırlı, E., Böyük, U., Kaya, H. 2011. "Determination of mechanical, electrical and thermal properties of the Sn-Bi-Znternary alloy", Journal of Non-Crystalline Solids, 357, 15, 2876-2881.

Çadırlı, E. 2011. "Investigation of the microhardness and the electrical resistivity of undercooled Ni–10 at.% Si alloys", Journal of Non-Crystalline Solids, 357, 3, 809-813.

Ditmars, D.A., Ginnings, D.C. 1957. "Thermal conductivity of beryllium oxide from 40-degrees-C to 750-degrees-C", National Bureau of Standards, 59 (2), 93-99.

Engin, S. 2009. Metalik Alaşımların Katı-Sıvı Arayüzey Enerjilerinin Doğrusal Büyütme Tekniğiyle Ölçümü, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.

Flemings, M.C. 1974. Solidification Processing, Mc Graw Hill, New York.

Flynn, D.R. 1969. (Wachtman, J.B., Jr., ed.), NBS Spec. Publ. 303, 63-123.

Fourier, J.B.J. 1955. The Analytical Theory of Heat, New York: Dover Publication.

Ghosh, G., Loomans, M. and Fine, M. E. 1994. JEM 23,619.

Honda, K., Simidu, T. 1917. “On the thermal and electrical conductivities of Carbon steels at high temperatures”, Science Reports Tohoku Univ. 1(6), 219-233.

Kang, S. K. and Sarkhel, A. K.1994. *JEM 23, 701.*

Karamazı, Y., 2015. Doğrusal Katılaştırılmış Çinko-Alüminyum Esaslı Üçlü Ötektik Alaşımların Yapı Parametreleri ile Mekanik Elektriksel Özelliklerinin Katılaştırma Hızına Bağlılıklarının İncelenmesi, Erciyes Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri.

Kattner, U.R. 2002. Phase Diagrams for Lead-Free Solder Alloys, JOM.

Keşlioğlu, K. 2002. Katı-Sıvı Arayüzey Enerjisinin Ölçümü, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.

Kittel, C. 2005. Introduction to Solid State Phys. 8th Ed., s.114, 121, 122, 141-145, 147-152, John Wiley & Sons Inc.

Laubitz, M.J. 1969. Academic Press London 1 (3), 111-183.

Lees, C.H. 1908. “The effects of temperature and pressure on the thermal conductivities of solids. Part II: The effects of low temperatures on the thermal and electrical conductivities of certain approximately pure metals and alloys”, Philosophical Transactions of the Royal Society, London, A208, 381-443.

Loomans, M. E., Vaynman, S., Ghosh, G. and Fine, M. E.1994. JEM 23, 741.

Massalski, T. B., 1991. Binary Alloy Phase Diagrams, (2. Basım). Ohio: ASM International.

McCormack, M., Jin, S., Kammlott, G. W. and Chen, H. S. 1993. *Appl. Phys. Lett. 63,* 15.

McCormack, M., Jin, S. 1994. JEM 23, 635.

Morris, J. W., Freer Goldstein, J. L. ve Mei, Z. 1993. JOM 45.

Ocak, Y., Aksöz, S., Maraşlı, N., Çadırlı, E. 2010a. “Dependency of thermal and electrical conductivity on temperature and composition of Sn in Pb-Sn alloys”, Fluid Phase Equilibria, 295, 60–67.

Pietenpol W.B., Miley H. A. 1929. Electrical resistivities and temperature coefficients of lead, tin, zinc and bismuth in the solid and liquid states, Physıcal Review, 34, 1599.

Rudnev, V., Loveless, D., Cook, R., Black, M. 2003. Handbook of Induction Heating, New York: Markel Dekker Inc, 119-120.

Schofield, F.H. 1925. ”The thermal and electrical conductivities of some pure metals”, Proceedings of the Royal Society, (London), A107, 206-227.

Siewert, T., Liu, S., Smith, D. R., Madeni, J. C. 2002. Database for Solder Properties with Emphasis on New Lead-free Solders, National Institute of Standards and Technology, Colorado School of Mines.

Shen, J., Liu, Y.C., Gao, H.X., Wei, C., Yang, Y.Q. 2005a. “Formation of bulk Ag3Sn intermetallic compounds in Sn–Ag lead-free solders in solidification”, Journal of Electronic Materials, 34, 1591.

Shen, J., Liu, Y.C., Han, Y.J., Zhang, P.Z., Gao, H.X. 2005b. “Formation of bulk ,ntermetallic compound Ag3Sn in slowly-cooled lead-free Sn-4.0 wt pct Ag solders”, Journal of Materials Science and Technology, 21, 827-830.

Skoog, D.A., West, D.M. 1981. Principles of Instrumental Analysis, (2. Basım), Thermal Processing Technology Center Illinois Institute of Technology.

Touloukian, Y. S., Powell, R.W., Ho C.Y., Klemens, P.G. 1970. Thermal Conductivity, Metallic Elements and Alloys, Thermophysical Properties of Matter, 1, New York – Washington.

Tu, K.N. 2007. Solder Joint Tecnology Materrials, Properties and Reliability, Springer.

Weissbach, W., 1993. Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, Çev.: Anık, S., Anık, E., Vural, M., İstanbul: Birsen Kitapevi.

White, G.K. 1959. Experimental Techniques in Low-Temperature Physics, Oxford University Press.

White, G.K. 1969. Thermal Conductivity, Academic Press London 1 (2), 69-109.

Wood, E. P. and Nimmo, K. L.1994. *JEM 23.*

Wunderlich, B. 1990. Thermal Analysis, (1. Basım), Academic Press.

Yoon, S.W., Soh, J.R., Lee, H.M., Joolee, B. 1997a. ”Thermodynamics-aided alloy design and evaluation of Pb-free solder, Sn-Bi-In-Zn system”, Acta Metallurgica, 45 (3), 951-960.

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje Yürütücüsü:	Prof. Dr. SEZEN AKSÖZ
Proje No:	116F010
Proje Başlığı:	Tek Yönlü Katılaştırılmış Alternatif Kurşunsuz Lehim Malzemesi Olan Sn-Bi-In-Zn Alaşım Sisteminin Farklı Kompozisyonlarda Mekanik, Termal Ve Elektriksel Özelliklerinin Belirlenmesi
Proje Türü:	3001 - Başlangıç AR-GE
Proje Süresi:	24
Araştırmacılar:	
Danışmanlar:	NECMETTİN MARAŞLI
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:	NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ Ü. FEN EDEBİYAT F. FİZİK B.
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:	01/05/2016 - 01/05/2018
Onaylanan Bütçe:	89000.0
Harcanan Bütçe:	65518.1
Öz:	Kurşun-Kalay (Pb-Sn) lehim alaşımının termofiziksel yönden birçok avantajı olmasına rağmen, çevre ve sağlık yönünden oluşturduğu problemlerden dolayı alternatif lehim alaşımlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Kurşunsuz lehim alaşımlarına yönelik birçok çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalardaki temel amaç, mevcut lehim alaşımlarından daha iyi özelliklere sahip fakat sağlık ve çevreye daha duyarlı bir lehim alaşımı tespit etmektir. Bu amaçla yapılan çalışmalarda mevcut lehim alaşımlarına katkılama yapılarak, bu lehim alaşımının maliyet, iletkenlik, dayanıklılık, toksit durumu, güvenirlik gibi özelliklerini belirlemektir. Böylece, mevcut alaşımın, diğer lehim alaşımlarına göre üstünlük veya eksiklikleri incelenerek veri tabanı oluşturup, elde edilen veriler ışığında malzemede gerek duyulan iyileştirmeler yapılmaktadır. Kullanım alanına göre uygun özellikteki malzeme seçimi, bu malzemeleri kullanacak mühendis ve bilim adamlarına alaşımların bilinmeyen özellikleri hakkında önemli bilgiler sağlamış olacaktır. Bu çalışmanın amacı da Sn-In-Zn lehim alaşımına Bi ilavesi yapılarak mikroyapı, mekanik ve termal yönden incelemektir. Projede öncelikle Sn-Bi-In-Zn sistemine ait 9 kompozisyon tespit edildi. Kompozisyon tespiti yapılıken, lehimleme teknolojosi için önemli bir kriter olan alaşımların erime sıcaklığı dikkate alınarak yapıldı. Bu alaşımlar arasında Sn-5Bi-5In-6Zn alaşımı Pb-Sn lehim alaşımıyla aynı erime sıcaklığına sahip olması sebebiyle daha dikkat çekici oldu. Bu alaşımın mekanik yönden dahi iyi özelliklere, elektrik ve ısı iletkenliği yönüyle aynı olduğu tespit edildi. Ayrıca mikroyapısında ara faz içermediği görüldü. Erime sıcaklıklarının aynı olması sebebiyle birçok üretim tesisindeki havyaların ve dalga lehim makinelerinin değiştirilmesine veya yenilenmesine gerek duyulmayacağı ciddi bir ekonomik bütçeye kazanç sağlayacağı tespit edildi. Sn-In-Zn alaşımına bizmut katkılanarak termofiziksel özellikleri incelendi. Bunun için iki farklı alaşım sistemi seçildi; Sn-[X] Bi-2In-9Zn (X:4,9,14,24), Sn-[X]Bi-5In-9Zn (X:1,6,10,16). Bu iki alaşım sisteminin mekanik, termal ve mikroyapıları incelendi. Sn-[X] Bi-2In-9Zn (X:4,9,14,24) alaşım sisteminin daha kararlı bir yapıya sahip olduğu görüldü. Ayrıca bu dokuz alaşım için, ısı iletime elektron ve fonon katkısı hesaplandı. Yapılan hesaplamalar sonucunda sıcaklığın artışıyla fononların etkisindeki azalmanın alaşımdaki Bi bileşimine bağlılığın olmadığı görüldü, yani fonon etkisindeki azalmanın alaşım da elementin türüne ve özelliğine bağlı olmadığı gözlemlendi. Projeyi bir adım daha geliştirmek için projeye sonradan ilave edilen Sn-Zn-Cu alaşımının ısıl iletkenliği, DSC analizi, çekme-dayanım, mikrosertlik ve mikroyapı analizi yapıldı. Sn-Zn-Cu alaşım sistemindeki Cu6Sn5, Cu5Zn8, CuZn, CuZn6 intermetalik fazları tespit edildi. İntermetalik bileşikler, hem kullanım sıcaklığı hem de mekanik özellikler açısından metalik malzemeler ile seramik malzemeler arasındaki boşluğu doldurmaya aday olduğu için seçildi. Böylece daha önce termofiziksel özellikleri tespit edilmeyen bu alaşım grubunun özellikleri belirlenerek bilim insanlarına kullanım kolaylığı sağlaması amacıyla literatüre sunuldu
Anahtar Kelimeler:	Metal Alaşımlar, Lehimleme Teknolojisi, Termofiziksel Özellikler

TÜBİTAK

Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu Mu?:	Hayır
Projeden Yapılan Yayınlar:	1- The Measurement of Tensile Strength, DSC, SEM and EDX Properties of Sn-Bi-In-Zn Alternative Lead-Free Solder Alloys (Bildiri - Uluslararası Bildiri - Sözlü Sunum), 2- The Determination of Microstructure and Tensile Strength Properties of Unidirectional Solidified Sn-Bi-In-Zn Alternative Lead-Free Solder Alloy System's Different Compositions (Bildiri - Uluslararası Bildiri - Sözlü Sunum), 3- Determination of Thermal Conductivity of Unidirectional Solidified Sn-Bi-In-Zn Alternative Lead-Free Solder Alloy System's Different Compositions (Bildiri - Uluslararası Bildiri - Sözlü Sunum),

TÜBİTAK