

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**Te KATKILI FeSe TİPİ SÜPERİLETKENLERİN YAPISAL VE MANYETİK**  
**ÖZELLİKLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Muammer Yasin HACİSALİHOĞLU**

**OCAK 2011**  
**TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**Te KATKILI FeSe TİPİ SÜPERİLETKENLERİN YAPISAL VE MANYETİK  
ÖZELLİKLERİ**

**Muammer Yasin HACISALİHOĞLU**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
“Yüksek Lisans (Fizik)”  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 31.12.2010  
Tezin Savunma Tarihi : 19.01.2011**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ekrem YANMAZ**

**Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Kemal ÖZTÜRK**

**Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Tefik KÜÇÜKÖMEROĞLU**

**Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ**

**Trabzon 2011**

## ÖNSÖZ

Te katkılı FeSe tipi süperiletkenlerin yapısal ve manyetik özelliklerinin incelenmesi için yapılan bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlandı.

Yüksek Lisans Tez çalışmam boyunca yanımda olup bana yol gösteren, çalışmam sırasında ortaya çıkan zorlukların aşılmasında bana her an yardımcı olup, her türlü destek ve imkanı sağlayan, değerli bilgilerini paylaşan, saygı değer danışman hocam ve Karadeniz Teknik Üniversitesi Fizik Bölüm Başkanı Prof Dr. Ekrem YANMAZ 'a en içten teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Ayrıca başta Karadeniz Teknik Üniversitesi Katıhal Fiziği Laboratuvarı'nda Deneysel Süperiletkenlik Araştırma grubumuzda bulunan Arş. Gör. Mehmet BAŞOĞLU, Arş. Gör. Ezgi Taylan KOPARAN, Öğr. Gör. Tuğba Dilek olmak üzere, başta Canan Aksoy olmak üzere Fizik Bölümün'deki tüm arkadaşlarım ve hocalarıma da desteklerinden ötürü teşekkürü borç bilirim.

Yüksek Lisans Tez çalışmamın deneysel kısmını gerçekleştirdiğim IFW'da çalışmalarım boyunca karşılaştığım zorlukların aşılmasında bana yol gösteren, her türlü destek ve imkanı sağlayan, ayrıca değerli bilgilerinden yararlandığım, saygı değer IFW'daki danışman hocam Dr. Sabine WURMEHL 'e ve sevgili grup arkadaşlarıma en içten teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Rize Üniversitesi Rektörü ve Fizik Bölümü Başkanı Sayın Prof. Dr. Nazmi Turan OKUMUŞOĞLU' na, Yüksek Lisans Tez çalışmalarımı yapabilmem için gösterdiği anlayıştan dolayı saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Rize Üniversitesi öğretim üyesi Doç. Dr. Fedai İNANIR'a sağladığı destek ve çalışmamla ilgili yönlendirmelerinden ötürü teşekkür ederim.

Hayatım ve akademik çalışmalarım süresince bana hep inanan, maddi ve manevi desteklerini benden hiç esirgemeyen, daima yanımda bulunan ve bugün bulunduğum yerde olmamda sonsuz katkıları olan Anneme, Babama ve Kardeşime sonsuz şükranlarımı sunuyorum.

Muammer Yasin HACISALİHOĞLU

Trabzon 2010

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	V
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
TABLolar DİZİNİ.....	IX
SEMBOLLER DİZİNİ.....	X
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Sıfır Özdirenç.....	2
1.3. Meissner Etkisi.....	3
1.4. Süperiletkenliği Ortadan Kaldıran Etmenler.....	5
1.5. London Denklemi ve Nüfuz Derinliği.....	6
1.6. Süperiletkenlerin Manyetik Özellikleri.....	8
1.7. I. Tip Süperiletkenler.....	8
1.8. II. Tip Süperiletkenler.....	9
1.9. Isı Sığası.....	10
1.10. Elektron-Fonon Etkileşmesi.....	11
1.11. BCS Teorisi.....	12
1.12. Demir Tabanlı Süperiletken Ailesi.....	13
1.12.1. “1111” Tipi Demir Tabanlı Süperiletkenler.....	14
1.12.2. “122” Tipi Demir Tabanlı Süperiletkenler.....	15
1.12.3. “111” Tipi Demir Tabanlı Süperiletkenler.....	16
1.12.4. “11” Tipi Demir Tabanlı Süperiletkenler.....	17
1.12.5. Demir Tabanlı Süperiletkenlerin Uygulamaya Yönelik Özellikleri.....	18
1.13. Tek Kristal Büyütme Teknikleri.....	19
1.13.1. Tek Kristal.....	19
1.13.1.1. Eriyiğin Yavaş Soğutulması Metodu.....	19
1.13.1.2. Alev Füzyonu Metodu.....	20
1.13.1.3. Czochralski Metodu.....	20
1.13.1.4. Bridgman-Stockbarger Metodu.....	21

1.13.1.5. Hareketli Akkor Bölge Metodu.....	21
1.13.1.6. Solüsyon Büyütme Metodu.....	22
1.13.1.7. Hidrotermal Metot.....	22
1.13.1.8. Süblimleşme Metodu.....	22
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	23
2.1. Önçalışmalar .....	23
2.2. Örneklerin Hazırlanması.....	23
2.3. Örneklerin Analize Hazırlanması .....	26
2.3.1. Deneysel Sistemler .....	28
2.3.1.1. VSM Sistemi .....	28
2.3.1.2. X-Işını Kırınımı Ölçüm Sistemi .....	29
2.3.1.3. Direnç Ölçüm Sistemi.....	30
3. BULGULAR ve TARTIŞMA .....	32
3.1. Yapısal Analiz.....	32
3.1.1. X-Işını Kırınımı Analizi.....	32
3.2. Fiziksel Analiz .....	36
3.2.1. M-T Analizi.....	36
3.2.1.1. M-T Analizi 20 G Alan Altında .....	36
3.2.1.2. M-T Analizi 1T Alan Altında.....	38
3.2.2. M-H Analiz .....	41
3.2.2.1. 300 K Sıcaklıkta M-H Analizi.....	41
3.2.2.2. 2K Sıcaklıkta M-H Analiz .....	43
3.2.3. Direnç Ölçüm Analizi.....	45
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	49
5. ÖNERİLER .....	49
6. KAYNAKLAR .....	54
ÖZGEÇMİŞ .....	58

## ÖZET

Bu çalışma, 11 Tipi Demir Tabanlı Süperiletken ailesinden FeSe Süperiletken malzemesine Te katkısının malzemenin yapısal ve manyetik özelliklerine etkisinin incelenmesi amacıyla yapılmıştır.

Bu çalışmada  $\text{FeSe}_x\text{Te}_{1-x}$  başlangıç formülüyle  $x=0.0$  dan  $x=1.0$  a kadar 0.1 katkı oranı adımlarıyla, üretilen malzemelerin yapısal analizi X-ışını kırınımı ölçümü ile, manyetik özellikleri VSM sistemi kullanılarak M-T ve M-H ölçümleri ile incelendi. Direnç ölçümleri direnç ölçüm sisteminde dört nokta yöntemi kullanılarak incelendi.

Örneklerin X-ışını kırınımı desenlerinden örneklerdeki ana faz ve safsızlık fazları belirlendi. Direnç ve M-T ölçümlerinden örneklerin kritik sıcaklık değerleri ( $T_c$ ) ve M-H ölçümlerinden maksimum manyetizasyon  $M_{\text{maks.}}$  ve  $\Delta M$  değerleri belirlendi.

Elde edilen sonuçlara göre en yüksek süperiletken geçiş sıcaklığını  $\text{FeSe}_{0.5}\text{Te}_{0.5}$  numunesi M-T ve direnç ölçümlerinden sırasıyla 13.77 K ve 15.7 K geçiş sıcaklığıyla gösterdi. Homojenite bakımından en homojen numune ise M-T grafiğinden  $\text{FeSe}_{0.8}\text{Te}_{0.2}$  numunesidir. Manyetizasyon değeri bakımından en iyi numune ise  $\text{FeSe}_{0.5}\text{Te}_{0.5}$ ' dir.

FeSe numunesine Te katkısının  $x=0.5$  katkısında maksimum olacak şekilde süperiletkenlik özellikleri iyileştirdiği  $x=0.5$  numunesinden daha fazla katkı oranlarında süperiletkenlik özelliklerinin azaldığı ve FeTe numunesinde süperiletkenliğin tamamen ortadan kalktığı gözlemlendi.

**Anahtar Kelimeler:** Demir Tabanlı Süperiletkenler,  $\text{FeSe}_x\text{Te}_{1-x}$ , M-T eğrileri, M-H eğrileri.

## SUMMARY

### Structural and Magnetic Properties of Te Doped FeSe “11” Type Superconductors

This study carried for investigation of Te Doping effect to the Structural and Magnetic Properties of FeSe “11” Type Iron Based Superconductors .

In this study, to determine structure of the samples structural analysis of the samples prepared with  $\text{FeSe}_{1-x}\text{Te}_x$  initial formula from  $x=0.0$  to  $x=1.0$  with 0.1 doping ratio steps X-ray diffraction method is used. For the magnetic properties, VSM Magnetometer is used to measure M-H and M-T graphs of bulk samples. Resistivity measurements are investigated with four point method.

From the X-ray Diffraction Analysis, main phase and impurity phases of the samples are defined. The critical temperature values ( $T_c$ ) are observed from M-T graphs and resistivity graphs. From M-H diagrams maximum magnetization and  $\Delta M$  determined.

According to the obtained results,  $\text{FeSe}_{0.5}\text{Te}_{0.5}$  sample showed highest superconducting transition  $T_c$  with 13.77 K and 15.7 K from respectively M-T and resistivity measurements. As homogeneity most homogenous sample from M-T graph is  $\text{FeSe}_{0.8}\text{Te}_{0.2}$  sample. According to the magnetization value  $\text{FeSe}_{0.5}\text{Te}_{0.5}$  has the highest magnetization value.

An enhancement of the superconducting transition temperature  $T_c$  was observed with the substitution of Te for Se; the  $T_c$  has highest value with Te substitution with  $x=0.5$ . Above  $x=0.5$  doping ratio superconducting properties decreased and in FeTe sample superconductivity disappeared.

**Key Words:** Iron Based Superconductors,  $\text{FeSe}_x\text{Te}_{1-x}$ , M-T Graphs, M-H Graphs.

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1. Süperiletkenlerin kronolojisi (Malaeb, 2009).....	2
Şekil 2. (a) da üstteki eğri normal metalin düşük sıcaklıklarda direnç davranışı olan $\rho = \rho_0 + AT^5$ alttaki eğride süperiletken bir metalin sıfır manyetik alan altında sıcaklığa bağlı öz direnç davranışını göstermektedir.(b) 'de alınganlığın $T_c$ altında ideal diamanyetik değere düşüşünü göstermektedir (Fossheim ve Sudbo, 2004; Burns, 1990).....	3
Şekil 3. Mükemmel iletken ve süperiletkenin manyetik alan altında davranışları (a) normal metal $T_c$ altında sıfır dirence sahiptir. (b) $T_c$ altında süperiletken olan bir metaldir (Burns, 1990). ....	4
Şekil 4. Birçok elementel süperiletken için kritik manyetik alanın sıcaklığa göre değişimi. Eğrinin altında malzeme süperiletken eğrinin üstünyse normal haldedir (Gross ve Marx, 2008). ....	5
Şekil 5. Nb <sub>3</sub> Sn ve NbTi süperiletkenleri için J-H-T faz diyagramı (Prestemon ve Ferracin, 2008). ....	6
Şekil 6. (a) 1. Tip süperiletkenlerin tipik davranışını göstermektedir. (b) 2. Tip süperiletkenlerin tipik davranışını göstermektedir. Şeklin içinde ise Nb elementinin karışık hali görülmektedir. (Fossheim ve Sudbo, 2004; 1, 2010). ....	9
Şekil 7. Al metalinin süperiletken haldeyken ( $c_s$ ) ve normal haldeyken ( $c_n$ ) öz ısısının sıcaklıkla değişimi (Ashcroft ve Mermin, 1976 ). ....	10
Şekil 8. (a) Elektron polarize pozitif iyonların komşularının şematik görünümü. (b) Fonon tarafında aktarılan elektron-elektron etkileşmesi (Burns, 1990). ....	11
Şekil 9. (a) Bir elektron hareket eder ve izinde metaldeki pozitif iyonların diziliminin bozulması (b) Arkadan gelen ikinci elektron oluşan pozitif yüklü bölgeyle etkileşir ve sonuç olarak birinci ve ikinci elektronlar birbirleriyle zayıf olarak etkileşmiş olurlar.(Canfield ve Budko, 2005 ). ....	13
Şekil 10. Demir tabanlı süperiletkenlerin kaşifi Hideo Hosono .....	13
Şekil 11. LaOFeAs Malzemesinin Kristal Yapısı ( Kamihara vd. , 2008).....	15
Şekil 12. BaFe <sub>2</sub> As <sub>2</sub> Malzemesinin Kristal Yapısı ( Rotter vd., 2008). ....	16
Şekil 13. LiFeAs Malzemesinin Kristal Yapısı (Wang vd., 2008). ....	17
Şekil 14. FeSe Malzemesinin Kristal Yapısı ( Hsu vd.,2008).....	18
Şekil 15. Verneuil süreci diagramı .....	20
Şekil 16. Czochralski Metodunun adım adım incelenmesi. ....	20
Şekil 17. Bridgman Fırını. ....	21
Şekil 18. Optiksel bölge fırını (2, 2010). ....	21
Şekil 19. Kuartz tüp ve alumina pota. ....	24
Şekil 20. Numunelere Uygulanan Sıcaklık Profili .....	25



Şekil 21. FeTe ve FeSe malzemelerinin yapısal faz diyagramları (Okamoto, 1990, 1991) .	27
Şekil 22. FeSe <sub>0.2</sub> Te <sub>0.8</sub> numunesinin görünüşü	26
Şekil 23. VSM SQUID Ölçüm sistemi	29
Şekil 24. X-Işını Kırınımı Ölçme Sistemi	30
Şekil 25. Direnç ölçüm sistemi	31
Şekil 26. FeSe <sub>x</sub> Te <sub>1-x</sub> numuneleri için X-ışını kırınım desenleri	34
Şekil 27. FeSe <sub>x</sub> Te <sub>1-x</sub> numunelerinin 101 pikleri	35
Şekil 28. FeSe <sub>x</sub> Te <sub>1-x</sub> numunelerinin ZFC modunda hacim kesri-sıcaklık grafiği	37
Şekil 29. FeSe <sub>x</sub> Te <sub>1-x</sub> numunelerinin 1 T Alan altında M-T grafiği	39
Şekil 30. FeSe <sub>x</sub> Te <sub>1-x</sub> numunelerinin oda sıcaklığında M-H grafiği	42
Şekil 31. FeSe <sub>x</sub> Te <sub>1-x</sub> numunelerinin 2 K' de M-H grafiği	44
Şekil 32. FeSe <sub>x</sub> Te <sub>1-x</sub> numunelerinin öz dirençlerinin sıcaklıkla değişimi	47
Şekil 33. FeSe <sub>0.7</sub> Te <sub>0.3</sub> numunesinden bir SEM fotoğrafı. Farklı iki fazın	49
Şekil 34. FeSe numunesinden bir SEM fotoğrafı. Koyu alan EDX analizinde elementel Fe olarak tespit edildi	51
Şekil 35. FeSe <sub>x</sub> Te <sub>1-x</sub> numunelerinin manyetik süperiletkenlik faz diyagramı	52

## TABLolar DİZİNİ

### Sayfa No

Tablo 1. Demir tabanlı Süperiletkenler için bazı önemli parametreler.....	19
---	----

## SEMBOLLER DİZİNİ

a, b, c	: Örgü parametreleri
B	: Numune içindeki indüksiyon (manyetik akı yoğunluğu)
EDX	: Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi
H	: Dış manyetik alan
H <sub>a</sub>	: Uygulanan manyetik alan
H <sub>c</sub>	: I. tip süperiletkenlerde termodinamik kritik manyetik alan
H <sub>c1</sub>	: II. tip süperiletkenlerde alt kritik manyetik alan
H <sub>c2</sub>	: II. tip süperiletkenlerde üst kritik manyetik alan
H <sub>c2</sub> (0)	: Mutlak sıfır sıcaklığındaki üst kritik manyetik alan
K	: Kelvin
k <sub>B</sub>	: Boltzman sabiti
M	: Manyetizasyon
N	: Konsantrasyon
R	: Direnç
T	: Sıcaklık
T <sub>c</sub>	: Kritik sıcaklık
T <sub>cOn</sub>	: Süperiletken geçişin başlangıç sıcaklığı
T <sub>cZero</sub>	: Özdirencin sıfır olduğu sıcaklık
T <sub>cχ</sub>	: M-T grafiğinden elde edilen geçiş sıcaklığı
T <sub>cp</sub>	: Direnç ölçümünden elde edilen geçiş sıcaklığı
T <sub>N</sub>	: Neel sıcaklığı
VSM	: Titreşim örneklemeli manyetometre
ZFC	: Manyetik alan yokken soğutma
λ	: Girme derinliği
μ <sub>0</sub>	: Boşluğun manyetik geçirgenlik katsayısı
m	: Manyetik Moment
ρ	: Özdirenç
ξ	: Koherens (uyum) uzunluğu

## 1. GENEL BİLGİLER

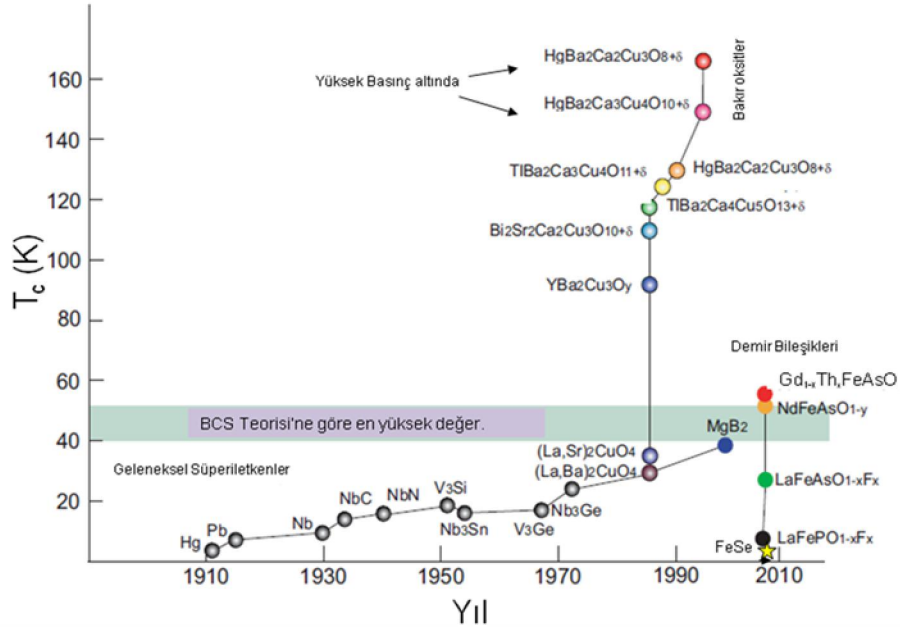
### 1.1. Giriş

Süperiletkenlik olgusu - Bazı metallerde düşük sıcaklıklarda DC elektriksel direncin yok olması – kuşkusuz katıhal fiziğinin en sıra dışı olgusudur. Direncin kaybolması tek başına yeterince sürpriz olmasına rağmen diğer dikkate değer etkilerle birleştiğinde süperiletkenlik zengin bir teorik ve deneysel çalışma kaynağı oluşturmaktadır. (Rosenberg, 1987 )

H. Kamerlingh Onnes' in, 1908 yılında, helyumu sıvılaştırması ona metallerin alçak sıcaklıklardaki elektriksel dirençlerini araştırma imkanı verdi. O dönemde çok saf metallerin direncinin 0 K sıcaklığında sıfıra gidebileceği hakkında söylentiler vardı. Onnes bundan dolayı deneylerinde ilk olarak damıtma ile oldukça iyi saflaştırılabilen civayı kullandı. Deneyler esnasında Onnes direncin şaşırtıcı bir şekilde 4.2 K civarında yok olduğunu gözlemledi. Bu yeni durum Onnes tarafından süperiletkenlik durumu olarak tanımlandı.

Sonradan birçok metal ve alaşımların süperiletken hale geldiği görüldü. En yüksek geçiş sıcaklığına, sahip element  $T_c=9.2$  K ile niobium (Nb)' dur. Daha yüksek geçiş sıcaklığına sahip malzemelerin aranışı, alaşım ve bileşiklerin araştırılmasına yol açmıştır. 1972' de  $Nb_3Ge$ ' un 23 K' de  $T_c$  süperiletkenlik geçiş sıcaklığı değeri olduğu bulundu. Bundan sonraki 14 yıl boyunca bu  $T_c$  değerinden daha yüksek bir sıcaklıkta geçiş gözlenemedi, birçok araştırmacı bazı teorik ispatları ile yeterince yüksek geçiş sıcaklığına sahip malzeme bulmanın imkansız olduğunu öne sürdüler. Fakat 1986 yılında Bednorz ve Mullerin' in  $x \cong 0.15$  için  $T_c$  değeri yaklaşık 35 K olan  $La_{2-x}Ba_xCuO_4$ ' i bulması ile tekrar yüksek sıcaklık süperiletkenliği bulunabileceği konusunda ümitler arttı. Bu keşifi, diğer malzemeler üzerine yapılan yoğun çalışmalar izledi. Böylece 1987 yılında 92 K' de  $T_c$  değerine sahip  $Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$  ( $\delta \cong 0.1$ ) bulundu. 1988' de ise  $Bi_2Sr_{3-x}Ca_xCu_2O_{8+\delta}$  ( $x \leq 1$ ) ile  $T_c$  değeri 110 K'e yükseldi (Altunbaş vd.,1999). 2001 yılında ise Jun Akimitsu ve arkadaşları 1950'den beri bilinegelen  $MgB_2$  intermetalik malzemesinin 40 K geçiş sıcaklığıyla süperiletkenliğini bulduklarını açıkladılar. Son olarak Hideo Hosono ve arkadaşları 2008 yılında 26 K geçiş sıcaklığıyla  $La[O_{1-x}F_x]FeAs$  malzemesinde

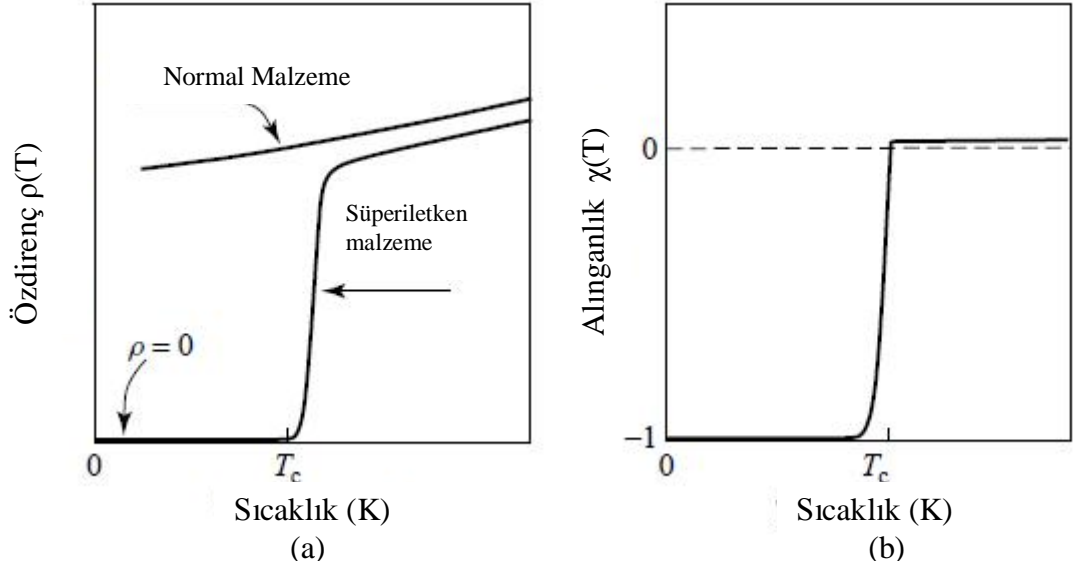
süperiletkenliği bulması yeni bir yüksek sıcaklık süperiletken ailesinin habercisi olmuştur. Kısa sürede bu aileye mensup birçok malzeme bulunmuştur. Bu malzemeler yapılarına göre 1111 , 111, 122 ve 11 tipi olmak üzere 4 ana grup altında toplanmıştır. Bu ailedeki en yüksek geçiş sıcaklığı ise  $Gd_{1-x}Th_xFeAsO$  malzemesinde 56 K olarak gözlenmiştir Süperiletkenlerin genel bir kronolojisi Şekil 1’ de gösterilmiştir.



Şekil 1. Süperiletkenlerin kronolojisi (Malaeb, 2009).

## 1.2. Sıfır Özdirenc

Süperiletkenlik iki önemli özelliği bir araya getirmiştir. Bunlardan birincisi süperiletken geçiş sıcaklığının üzerinde özdirencin  $\rho_n$  gibi sonlu bir değer alırken , geçiş sıcaklığında  $\rho=0$  olması yani özdirencin sıfıra düşmesidir. Bir diğeri ise  $\chi$  manyetik alınganlığın  $T_c$  süperiletken geçiş sıcaklığı üzerinde pozitif paramanyetik değer alırken  $T_c$ 'nin altında  $\chi$  değerinin negatif değerler alacak şekilde geçiş yapmasıdır. Bu özellikler Şekil 2. de gösterilmiştir (Fossheim ve Sudbo, 2004).



Şekil 2. (a) da üstteki eğri süperiletken olmayan bir metalin düşük sıcaklıklarda sıcaklığa bağlı özdirenç davranışını göstermektedir. Alttaki eğride süperiletken bir metalin sıfır manyetik alan altında sıcaklığa bağlı özdirenç davranışını göstermektedir. (b)' de alınganlığın  $T_c$  altında ideal diamanyetik değere düşüşünü göstermektedir (Fossheim ve Sudbo, 2004; Burns, 1990).

### 1.3. Meissner Etkisi

Onnes tarafından sıfır elektriksel direncin bulunmasından sonra süperiletkenlerin manyetik özellikleri ile ilgili önemli tartışmalar oldu ve bu tartışmalar süperiletkenlik halinin tek temel karakteristiğinin mükemmel iletkenlik olduğunun kabulüyle sonuçlandı. Fakat daha sonra Meissner ve Ochsenfeld  $T_c$ ' nin üzerinde uygulanan manyetik alanın süperiletkenin soğutulmasıyla  $T_c$ ' nin altında malzemeden dışarlanmasını gözleyerek (yani malzeme içinde  $B=0$  olması ile) süperiletkenler için ikinci karakteristik tanımlayıcı özellik olan kusursuz diyamanyetizmayı buldular. Manyetik bir yapı için süperiletken haldeyken şöyle yazabiliriz.

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{M} + \vec{H}) \text{ Bu süperiletken malzemelerde ;} \quad (1)$$

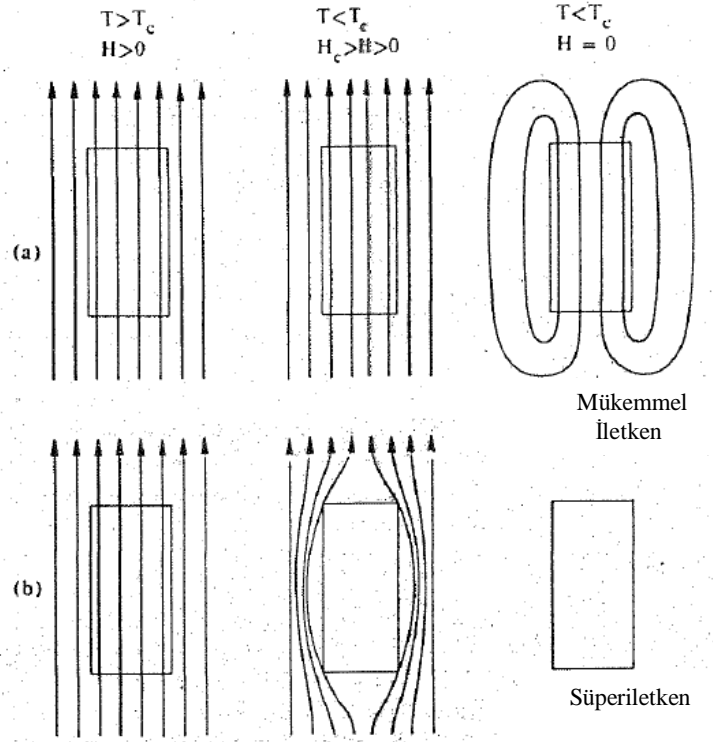
$$\vec{M} = -\vec{H} \text{ olduğunu gösterir.} \quad (2)$$

Böylece alınganlık kusursuz diyamagnet için ideal olan değeri alır.

$$\chi = \frac{d\vec{M}}{d\vec{H}} = -1 \quad (3)$$

Her mükemmel iletkenin bir süperiletken olup olmadığını incelersek; Şekil 3 (a) solda normal bir metalin uygulanan manyetik alan içinde durumu görülmektedir. Manyetik akı çizgileri numunenin içinden geçiyor. Bu numunenin bir geçiş sıcaklığına kadar soğutulduğunu düşünün ( $\rho = 0$  olacak şekilde). Manyetik alan uygulanmaya devam edildiğinde hiçbir şey değişmemektedir. Dış alan kaldırıldığında ise akımlar mükemmel iletkenin yüzeyinin içinden akacaktır ve numuneye doğru olan manyetik akı değişmeyecektir. Bu Şekil 3 (a)'nın en sağında görülmektedir.

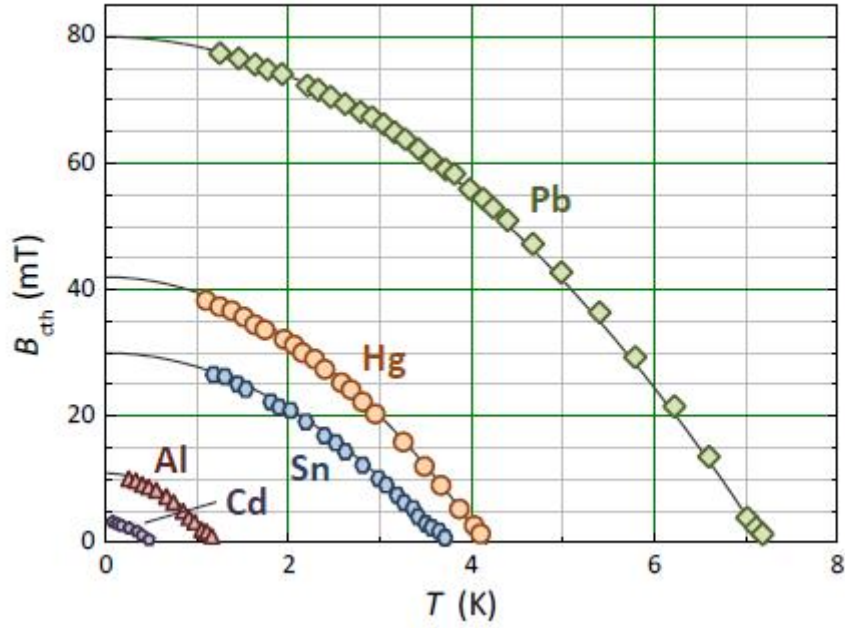
Şekil 3 (b)'de ise Bir süperiletkenin farklı davranışı görülmektedir. Eğer bir süperiletken normal haldeyken normal iletkendeki gibi manyetik akı çizgileri numunenin içinden geçmektedir. Bu numunenin geçiş sıcaklığına kadar soğutulduğunda ( $\rho=0$  olacak şekilde). Ve Manyetik alan uygulanmaya devam edildiğinde durum mükemmel iletkenden farklıdır. Numunenin içerisinde manyetik akı çizgilerini dışarlayacak şekilde kalıcı yüzey akımları oluşmaktadır. Manyetik alan kaldırıldığında numunede herhangi bir manyetik alan çizgisi bulunmayacaktır (Fossheim ve Sudbo, 2004; Burns, 1990).



Şekil 3. Mükemmel iletken ve süperiletkenin manyetik alan altında davranışları (a) normal metal ( $T_c$  altında sıfır dirence sahiptir). (b)  $T_c$  altında süperiletken olan bir metaldir (Burns, 1990).

#### 1.4. Süperiletkenliği Ortadan Kaldıran Etmenler

$T_c$ 'nin altında süperiletken fazı ortadan kaldıracak iki önemli belirgin makroskobik yol vardır. Bunlar dış manyetik alan uygulanması ve süperiletken metal üzerinden yüksek şiddette akım geçirilmesidir. Bunların her ikisinde manyetik alan yoluyla etkimektedir.  $H$  dış manyetik alanı içerisinde uzun bir süperiletken teli düşünürsek,  $T_c$  altında kendine paralel yeterince yüksek manyetik alan yani kritik manyetik alan  $H_c(T)$  uygulanması ile sıfır direnç durumu ortadan kalkabilir ve numune normal hale geçer. Birçok element için  $H_c$ 'nin sıcaklığa bağlılığı Şekil 4'te gösterilmiştir. Her bir eğrinin altında numuneler süperiletken haldedir. Fakat  $H_c(T)$  veya daha yüksek bir alan uygulandığında numune normal hale geçer. Kritik manyetik alanın sıcaklığa bağlılığı yaklaşık olarak paraboliktir.



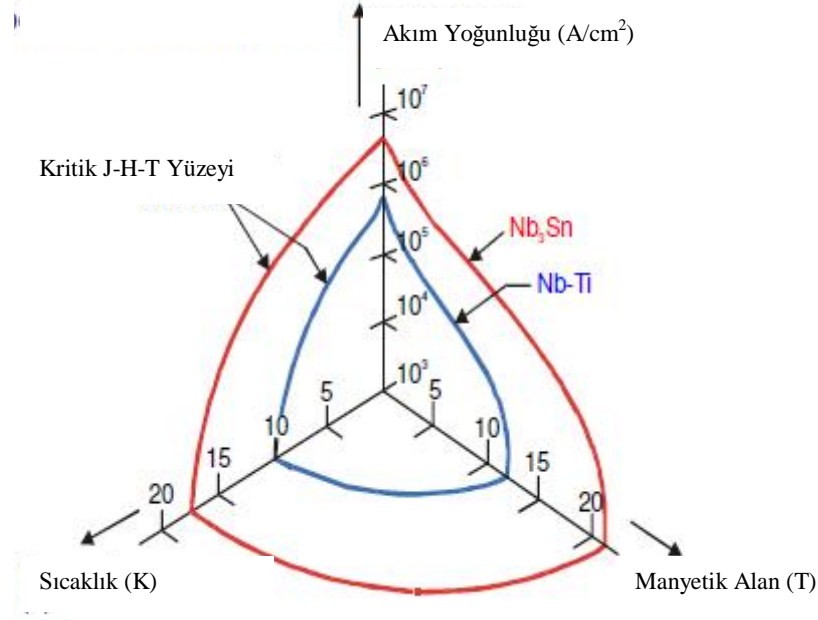
Şekil 4. Birçok elementel süperiletken için kritik manyetik alanın sıcaklığa göre değişimi. Eğrinin altında malzeme süperiletken eğrinin üstündeyse normal haldedir (Gross ve Marx, 2008).

$$H_c = H_0 \left( 1 - \frac{T}{T_c} \right) \quad (4)$$

Süperiletken malzeme akım geçiriyorsa akım tarafından üretilen manyetik alan da malzemenin  $T_c$ 'sini düşürür. Böylece malzemenin üzerinden geçirildiğinde numunenin normal hale döneceği kritik bir akım yoğunluğu vardır. Bu akımın şiddeti ve malzemenin



şekli  $J_c$  kritik akım yoğunluğunu belirler. Örneğin düzgün bir tel malzemede sıkı sarılmış selenoidden daha büyük  $J_c$  değeri gözlenir.  $T_c$ ' yi de katarsak süperiletkenlik ile normal hal sınırlarını belirleyen bu üç etkiyi olarak şöyle gösterebiliriz. (Burns, 1990)



Şekil 5. Nb<sub>3</sub>Sn ve NbTi süperiletkenleri için J-H-T faz diyagramı (Prestemon ve Ferracin, 2008).

### 1.5. London Denklemi ve Nüfuz Derinliği

1935 yılında F. ve H. London kardeşler Meissner etkisi için bir açıklama ortaya koydu. Düşünceleri süperakışkan sıvı helyumun iki sıvı modeline dayanıyordu.

Bildiğimiz üzere mükemmel iletkende uygulanan bir elektrik alanda  $\vec{E}$  elektronlar Newton' un ikinci yasasına göre hızlanmaktadır.

$$m \left( \frac{d\vec{v}}{dt} \right) = -e\vec{E} \quad (5)$$

Eğer ortada direnç yoksa elektron belirsiz bir şekilde hızlanacaktır. Fakat bu mümkün değildir. Çünkü sıfır dirençli metalin içinde  $\vec{E}$  elektrik alan 0 olmalıdır. (makroskopik olarak bu olayı ohm kanunundan da görebiliriz. Ohm Kanunu' na göre  $\vec{E} = \rho \vec{J}$ , burada  $\vec{J}$  sonlu bir değerken,  $\rho$  sıfıra giderse  $\vec{E}$  sıfır olmalıdır.) Maxwell denklemleri' nden

$$\nabla_x \vec{E} = \frac{-1}{c} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \text{ yi kullanırsak,} \quad (6)$$

Bu nedenle B mükemmel iletkenlerin içerisinde zamanla değişmemelidir.

London kardeşlerin fikirlerine göre, N/V normal iletim elektronlarının yoğunluğu N<sub>s</sub>/V süperiletken elektronların yoğunluğu olmak üzere T<sub>c</sub> süperiletkenlik geçiş sıcaklığından 0 K' e düşerken, N<sub>s</sub>(T) süperiletken elektron yoğunluğu 0' dan N<sub>s</sub>=N' ye doğru artar. Normal iletken elektronları kendilerine has dirençlerini gösterirlerken, süperiletken elektronlar ise sıfır direnç göstermektedirler. Böylece bir elektrik alan uygulandığında sadece süperiletken elektronlar akmaktadır, diğer iletim elektronları ise durmaktadır. Böylece Denklem 5' de verilen normal haldeki elektronların sürüklenme hızı  $\vec{v}$ , süperiletken elektronların sürüklenme hızı olan  $\vec{v}_s$  ile yer değiştirmelidir.

Akım yoğunluğu ;

$$\vec{J} = -e\vec{v}_s \left( \frac{N_s}{V} \right) \text{ Denklem 5 ile birleştirildiğinde}$$

$$\frac{d\vec{J}}{dt} = \left( \frac{e^2 N_s}{mV} \right) \vec{E} \quad (7)$$

İki tarafın rotasyoneli alınıp sonuç Denklem 6' nın içine yerleştirilirse,

$$\frac{d}{dt} \left[ \vec{\nabla}_x \vec{J} + \left( \frac{e^2 N_s}{mcV} \right) \vec{B} \right] = 0 \quad (8)$$

Şimdiye kadarki sonuçlar geneldir ve N<sub>s</sub>/V elektron yoğunluğuna sahip tüm metaller için geçerlidir. Bu nedenle bu denklemlerin Meissner etkisini açıklayamayacağımızı biliyoruz. Bu denklemin zamana bağıllığını sınırlarsak ayrıca kare parantez içindeki ifadenin de sıfır olmasını sağlarsak,

$$\vec{\nabla}_x \vec{J} = - \left( \frac{e^2 N_s}{mcV} \right) \vec{B} \quad (9.a)$$

Ve  $\nabla_x \vec{B}$  için Maxwell denklemi yazılırsa

$$\nabla_x \vec{B} = - \left( \frac{4\pi}{c} \right) \vec{J} \quad (9.b)$$

Denklem 5a London denklemlidir. Denklem 9.b' nin her iki tarafının rotasyonelini alıp Denklem 9a' da yerine konulursa  $\nabla_x \vec{B} = - \left( \frac{4\pi}{c} \right) \vec{J}$  denklemini ve

$\vec{\nabla}_x \vec{\nabla}_x \vec{B} = \vec{\nabla}(\vec{\nabla} \cdot \vec{B}) - \nabla^2 \vec{B} = -\nabla^2 \vec{B}$  özdeşliğini kullanarak tamamlayıcı bir denklem elde ederiz. )

$$\nabla^2 \vec{B} = \frac{\vec{B}}{\lambda_L^2} \quad \nabla^2 \vec{J} = \frac{\vec{J}}{\lambda_L^2} \quad (10.a)$$

Burada  $\lambda_L^2 \equiv \left( \frac{mc^2 V}{4\pi N_s e^2} \right)$  Denklem 10.a' nın bir çözümü B'nin numune tarafından

üstel olarak perdelendiğini göstermektedir.

$$B(x) = B(0) \exp\left(\frac{-x}{\lambda_L}\right) \quad (10.b)$$

Burada  $\lambda_L$  london girme derinliği' dir. London girme derinliği süperiletken malzemenin yüzeyinden içeriye manyetik alanın ne kadar girebildiğini karakterize eder. (Burns, 1990)

## 1.6. Süperiletkenlerin Manyetik Özellikleri

Süperiletken malzemeler görüldüğü gibi süperiletken ve normal haldeyken etkiyen manyetik alana göre farklı davranış göstermektedir. Eğer manyetik alanı her malzeme için farklı olan  $H_c$  veya  $H_{c1}$  kritik değerlerine arttırsak Meissner etkisi ortadan kalkar. Şekil 1.7 . Bu şekil pozitif dikey ekseninde negatif manyetizasyonu göstermektedir. Doğrunun eğimi başlangıçtan malzeme Meissner halinden çıkana kadar  $\chi = -1$  olmasından dolayı 1' dir. Şimdi ideal durumu incelersek eksenine paralel manyetik alan uygulanmış ince iğne şeklindeki uzun bir örnekle çalışıyorsak bu durumda demanyetizasyon faktörü  $n=0$ ' dır. Örneğe giren akımın miktarını ölçmek için alıcı bobin kullanılır ve manyetik alan açıldığında düşük alanlarda Meissner etkisinden dolayı tam perdeleme görülür. Fakat alan arttırıldığında incelediğimiz malzemeye göre biz iki farklı sonuç gözlemleriz. Buda bizim bilinen tüm süperiletkenleri iki kategoride toplamamızı sağlar.

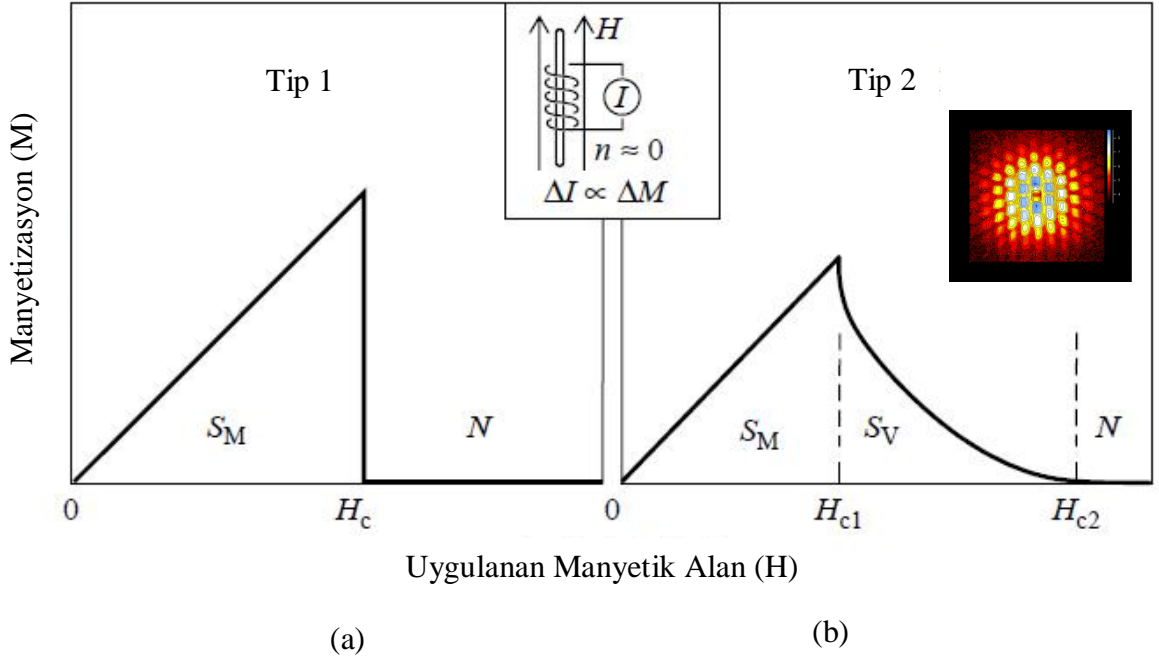
### 1.7. I. Tip Süperiletkenler

Şekil 6 (a)' da gösterildiği gibi artan manyetik alan uygulandığında süperiletken malzeme iyi tanımlanmış bir manyetik alanda ( $H_c$ ) aniden Meissner durumundan ( $S_M$ ),

manyetik alanın malzemeye tamamen girmesini sağlayacak normal (N) duruma geçiyorsa bu malzemeye I. Tip Süperiletken denir. Örnek olarak Hg, Al, Sn gibi elementel süperiletkenler verilebilir. Bu ideal davranış sadece demanyetizasyon faktörü  $n=0$  durumunda geçerlidir.

### 1.8. II. Tip Süperiletkenler

Şekil 6 (b)' de gösterildiği gibi artan manyetik alan uygulandığında süperiletken malzeme  $H_{c1}$  kritik alanında manyetik alanın tamamen perdelendiği Meissner durumundan ( $S_M$ ), filamanlar şeklinde manyetik alanın geçişine izin verilen karışık duruma geçiyor ve daha sonra  $H_{c2}$  kritik alanında tamamen manyetik akı geçişine izin verilen normal duruma geçiyorsa, bu malzemelere II. Tip Süperiletkenler denir. Bunlara örnek olarak Nb metali,  $Nb_3Sn$ , NbTi gibi intermetalik malzemeler ve bütün yüksek sıcaklık CuO süperiletkenleri verilebilir (Fossheim ve Sudbo, 2004; Burns, 2004).

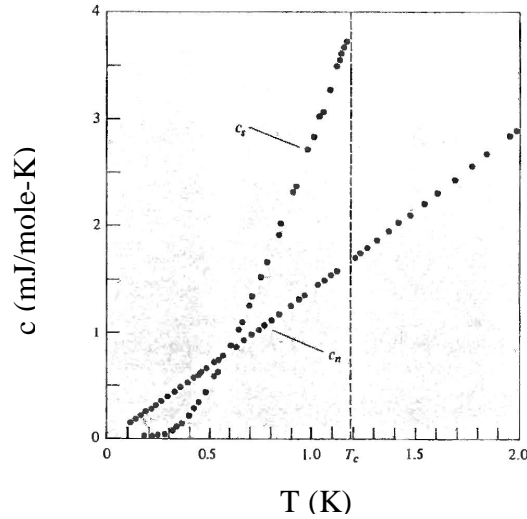


Şekil 6. (a) 1. Tip süperiletkenlerin tipik davranışını göstermektedir. (b) 2. Tip süperiletkenlerin tipik davranışını göstermektedir. Şeklin içinde ise Nb elementinin karışık hali görülmektedir. (Fossheim ve Sudbo, 2004; 1, 2010).

### 1.9. Isı Sığası

Süperiletken faz geçişinde enerji sürekli bir değişime girerken elektriksel direnç keskin bir sıçrama ile değişir. Bir maddenin en önemli termal karakteristiği özısı denen sıcaklığa etki eden ısı miktarıdır. Bir maddenin 1 gramının sıcaklığını 1°C değiştirmek için gereken enerjiye özısı denir. Buna göre oda sıcaklığında suyun özısı birimdir. Düşük sıcaklıklarda normal bir metalin ısı sığası  $AT+BT^3$  formundadır. Burada lineer terim elektronik uyarılmalardan, kübik terim ise örgü titreşimlerinden gelmektedir.

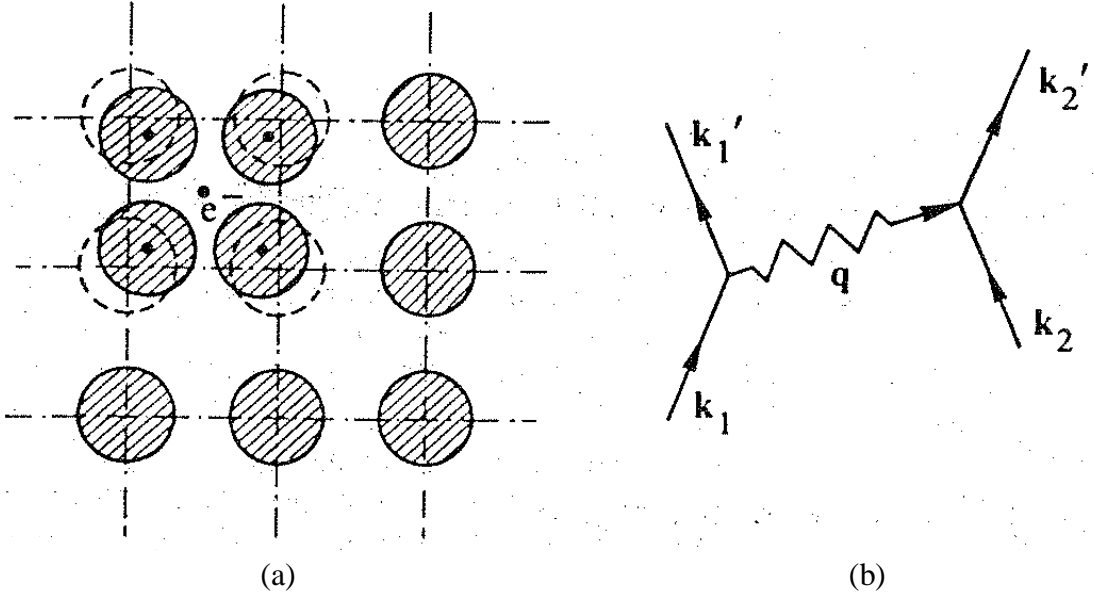
Süperiletkenlik geçiş sıcaklığının altında bu davranış büyük ölçüde değişmektedir. Manyetik alan olmadan sıcaklık  $T_c$ ' nin altına düşürülürse ısı sığası daha yüksek bir değere sıçrar, ve daha sonra yavaşça azalır son olarak normal metal için beklenen değerin daha da aşağısına düşer. Şekil 7.' de süperiletken Al malzemesini normal hale getirecek bir manyetik alan uygulanarak metalin normal hal ve süperiletken hal öz ısıları gösterilmiştir. Bu analize göre süperiletken durumda öz ısıya lineer elektronik katkının düşük sıcaklıklarda dominant ve daha çabuk kaybolan  $e^{\left(\frac{\Delta}{k_B T}\right)}$  formunda davranışı yer alır. Bu uyarılmış durumlar temel halden  $2\Delta$  enerjisi ile ayrılmış sistemin karakteristik özelliğidir. Deneysel ve teorik olarak enerji boşluğu  $k_B T_c$  mertebesindedir. (Ashcroft ve Mermin, 1976; Ginzburg ve Andryushin, 1970)



Şekil 7. Al metalinin süperiletken haldeyken ( $c_s$ ) ve normal haldeyken ( $c_n$ ) özısının sıcaklıkla değişimi (Ashcroft ve Mermin, 1976).

### 1.10. Elektron-Fonon Etkileşmesi

Fononlar metal kristal örgüsünde ki dalgalardır. Fakat kuantum mekaniksel olarak onlara parçacık gözüyle bakabiliriz. Ve elektronlar ideal bir kristal örgüden geçmedikleri için elektronun titreşim hareketi yapan örgüden saçılması elektronların, örgü dalgası fononlar üzerinden saçılması olarak görülebilir. Örgü dalgaları üzerinden saçılması sırasında hareketin enerjileri, hızları ve yönü değişir. Fakat enerji momentum korunum yasaları geçerlidir. Şekil 8.' de bu etkileşmeyle ilgili şematik gösterimler bulunmaktadır.



Şekil 8. (a) Elektron polarize pozitif iyonların komşularının şematik görünümü. (b) Fonon tarafında aktarılan elektron-elektron etkileşmesi (Burns, 1990).

$\vec{k}_1$  dalga vektörlü elektron  $\vec{q}$  dalga vektörlü bir fonon yayınlar  $\vec{k}_1'$  dalga vektörlü durumuna saçılır. Benzer şekilde bu fonon dalga vektörünün  $\vec{k}_2$  den  $\vec{k}_2'$  ye değiştiği ikinci bir elektron tarafından absorbe edilir. İki denklemde  $\vec{q}$ 'nun elimine edilmesiyle başlangıç ve son elektron durumlarında kristal momentumunun korunumu gözlenmiş olur.

$$\vec{k}_1 = \vec{k}_1' + \vec{q} \quad \vec{k}_2 + \vec{q} = \vec{k}_2' \quad (11.a)$$

$$\vec{k}_1 + \vec{k}_2 = \vec{k}_1' + \vec{k}_2' \quad (11.b)$$

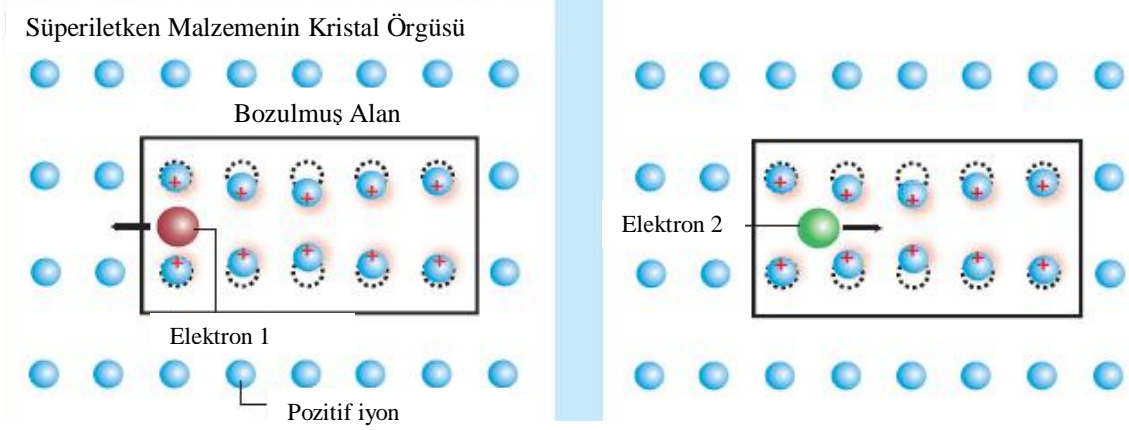
. Hareket halindeki elektronun örgü titreşimlerini uyarmasıyla yavaşlamasından dolayı, normal durumda bu etkileşme direnci artırır. Elektron-fonon etkileşmesi sadece direnç oluşumunu değil fakat düşük sıcaklıklarda yok olmasını sağlar. Bu elektron çifti oluşumunu kolaylaştırır. (Burns, 1990; Ginzburg ve Andryushin, 1970)

### 1.11. BCS Teorisi

1957 yılında John Bardeen, Leon N. Cooper ve J. Robert Schrieffer metallerin süperiletkenlik mekanizmasıyla ilgili bir açıklama getirdi. Süperiletken olmayan metallerde elektronlar direnci oluşturan kusurlar ve safsızlıklardan saçılmaktadır. BCS teorisine göre süperiletkenlik elektronların saçılmadan hareket eden tek genişletilmiş kollektif objeler olması ile var olur. Bu yeni elektronik durumun yapıtaşları birbirleriyle zayıf etkileşme yapan Cooper çifti denen elektron çiftleridir. İlk başta iki aynı yüklü parçacığın birbiriyle etkileşmesi zordur, fakat oluşur çünkü metal pozitif yüklü iyonlar içerir. Cooper çiftinin bir üyesi metal üzerinde harekete başladığında izinde pozitif yüklü bir iyonik boşluk bırakır. Bu hareket eden pozitif yük ikinci elektrona etki eder. Bu durumda örgüdeki bozukluk elektronları yakınlaştırır. Şekil 9' da bu olay şematik olarak gösterilmiştir. Bu olayı şöyle bir analogiyle daha iyi anlayabiliriz. İki küçük çocuğun bir trampolin üzerinde sıçradıklarını düşünün çocuklar etkileşmediği halde çocuklar tentedeki bozulmadan dolayı birbirlerine yaklaşma eğilimindedir. Cooper çiftleri birbirlerine etki eder ve  $T_c$  altında hiçbir elektriksel dirence neden olmayan bir elektronik durum oluşturur.

BCS teorisinin basitleştirilmiş bir versiyonu  $T_c$ ' nin malzemenin üç özelliği ile artabileceğini öngörmektedir.

- 1) Süperiletkenliğe katılan elektron sayısı; elektron sayısı arttıkça  $T_c$  artar
- 2) Cooper çiftlerindeki elektronlar ile karışmış olan örgü titreşimlerinin karakteristik frekansı, yüksek frekans yüksek  $T_c$  ye neden olur.
- 3) Örgü bozuklukları ve elektronlar arası çiftlenim. Bu çiftlenim güçlü oldukça  $T_c$  artar.



Şekil 9. (a) Bir elektron hareket eder ve izinde metaldeki pozitif iyonların diziliminin bozulması (b) Arkadan gelen ikinci elektron oluşan pozitif yüklü bölgeyle etkileşir ve sonuç olarak birinci ve ikinci elektronlar birbirleriyle zayıf olarak etkileşmiş olurlar.(Canfield ve Budko, 2005 ).

### 1.12. Demir Tabanlı Süperiletken Ailesi

Bakır oksit süperiletkenlerinin 1986 yılında bulunmasıyla birlikte yeni yüksek sıcaklık süperiletken malzemelerinin ve bakır oksit tabanlı süperiletkenlerden başka süperiletken ailelerinin bulunması için çalışmalar yoğunlaşmıştır. 1111 tipi Demir tabanlı süperiletkenlerinin ilk üyesi Hosono ve arkadaşlarının bulduğu LaOFeP bu malzemenin üretilmesiyle 5K'lık geçiş sıcaklığı gözlemlendi (Kamihara vd. , 2006). 2008 Eylül'ünde Hideo Hosono (Şekil 10.) ve arkadaşları tarafından LaOFeAs demir tabanlı bileşiğinde  $O^{2-}$  iyonları yerine  $F^-$  iyonlarının farklı oranlarda katkılanması ile  $La[O_{1-x}F_x]FeAs$  bileşiğinde yaklaşık 26 K'lık süperiletken geçiş sıcaklığını gözlemlemesi yeni bir yüksek sıcaklık süperiletken ailesinin habercisi olmuştur (Kamihara vd., 2008).



Şekil 10. Demir tabanlı süperiletkenlerin keşifi Hideo Hosono



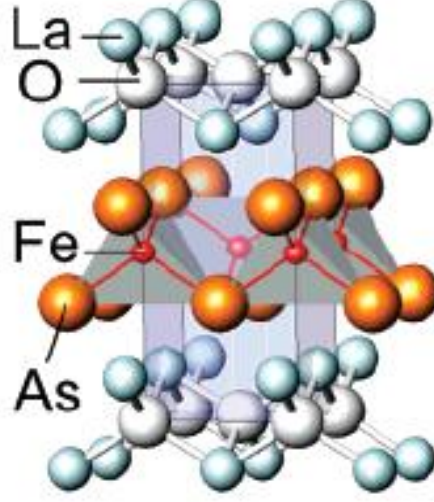
Bu çerçevede yapılan yoğun çalışmalar kısa sürede sonuç getirmiş ve çeşitli yapısal özelliklere sahip demir tabanlı süperiletken malzemeler bulunmuştur. Bu demir tabanlı süperiletkenler yapısal özelliklerine göre “1111”, “111”, “122” ve “11” tipi olmak üzere dört ana aile altında incelenmektedir.

### 1.12.1. “1111” Tipi Demir Tabanlı Süperiletkenler

Bu aileye mensup malzemelerin genel formülü REOTMPn şeklindedir (Burada RE La, Ce, Pr gibi nadir toprak elementlerini, TM Fe, Ni Mn gibi geçiş metallerini, Pn ise P, As ve Bi gibi pniktojen grubu elementleri simgeler) (Takahashi vd. ,2008). 1111 tipi süperiletken malzemeler P4/nmm uzay grubuna ait tetragonal ZrCuSiAs yapısında kristalleşmektedirler. Kristal yapıları Şekil.11’ de de görüldüğü gibi  $Ln_2O_2$  florit blok tabakalarının ve antiflorit tipi  $Fe_2As_2$  blok tabakalarının c-ekseni boyunca üst üste istiflenmesi sonucu olmuştur. Blok tabakalar ise CsCl tipi kristal yapıda birleşmiştir. (Wang vd. , 2008)

1111 tipi Demir tabanlı süperiletkenlerinin ilk üyesi Hosono ve arkadaşlarının bulunduğu LaOFeP bu malzemenin üretilmesiyle 5K lik geçiş sıcaklığı gözlemlendi.(Kamihara vd. , 2006). Bu konu üzerine yapılan tüm çalışmalardan sonra Hosono ve arkadaşları tarafından demir tabanlı süperiletkenlerin yüksek sıcaklık süperiletken olacağına dair ümitleri arttıran  $La[O_{1-x}F_x]FeAs$  malzemesinden sonra (26 K) bu alandaki çalışmalar ivme kazandı.( Kamihara vd. , 2008). Daha sonra Ren ve arkadaşları Yüksek Basınç Üretim Tekniği ile La yerine Pr kullanarak  $Pr[O_{1-x}F_x]FeAs$  malzemesinde 52 K’ lik geçiş sıcaklığına ulaşması bu alandaki çalışmaları hızlandırdı. (Ren vd. ,2008) Kısa süre içerisinde  $Nd[O_{1-x}F_x]FeAs$  (51K) (Ren vd. ,2008),  $Sm[O_{1-x}F_x]FeAs$  (43K) (Chen vd. ,2008), F katkısı olmadan  $NdFeAsO_{1-y}$  (54K) ve  $Ce[O_{1-x}F_x]FeAs$  (41K) malzemeleri üretildi (Chen vd. ,2008). Wang ve arkadaşları ise  $Gd_{1-x}Th_xFeAsO$  malzemesiyle demir tabanlı süperiletkenlerde elde edilen en yüksek geçiş sıcaklığını (56 K) elde etmiştir. (Cao Wang vd. , 2008). Daha sonra Miyazawa ve arkadaşları Yüksek Basınç Üretim Tekniği ile  $LnFeAsO_{1-y}$  genel formülüyle  $Ln=La(26 K)$ ,  $Nd(54K)$ ,  $Sm$ ,  $Gd$ ,  $Tb$  ve  $Dy$  gibi ağır elementler için (Yaklaşık 53 K) geçiş gösteren süperiletken malzemeler üretti (Miyazawa vd. ,2009).

Bu ailede süperiletkenlik geçiş sıcaklığını arttırma çalışmaları halen daha devam etmektedir.



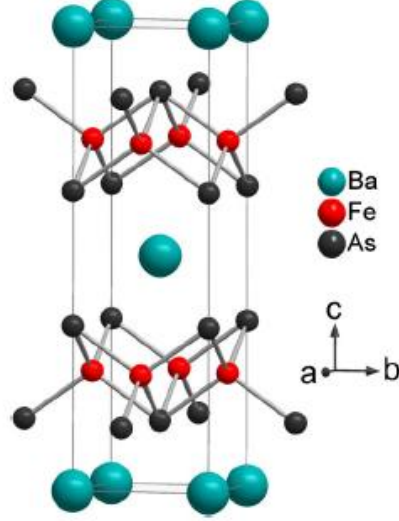
Şekil 11. LaOFeAs Malzemesinin Kristal Yapısı ( Kamihara vd. , 2008).

### 1.12.2. “122” Tipi Demir Tabanlı Süperiletkenler

Bu aileye mensup malzemelerin genel formülü AE(A)TMAs şeklindedir (Burada AE Ba, Sr, ve Ca gibi toprak alkali elementlerini, A ise K, Na ve Li gibi Alkali metalleri TM Fe, Ni Mn gibi geçiş metallerini simgeler) (Canfield vd., 2010). 122 tipi süperiletken malzemeler I4/mmm uzay grubuna ait tetragonal  $\text{ThCr}_2\text{Si}_2$  yapısında kristalleşmektedirler. Kristal yapı 1111 tipinde olduğu gibi  $\text{Fe}_2\text{As}_2$  tabakaları içermekte farklı olarak tabakaları Toprak alkali grubundan tek element ayırmaktadır. ( Sasmal vd., 2008)

Temmuz 2008’de Rotter ve arkadaşları  $\text{BaFe}_2\text{As}_2$  malzemesiyle yaptıkları çalışmaların sonucunda bu malzemenin oksijensiz bir demir tabanlı süperiletken ailenin ana bileşiği olabileceğini öne sürdüler. ( Rotter vd., 2008) Kısa süre sonrada bu ana bileşiğe boşluk katılınması ile  $(\text{Ba}_{1-x}\text{K}_x)\text{Fe}_2\text{As}_2$  bileşiğinde 38 K’ lik süperiletkenlik geçişini gözlemladiler (Rotter vd., 2008).  $(\text{A}_{1-x}\text{Sr}_x)\text{Fe}_2\text{As}_2$  bileşiklerinde A=K ve Cs olmak üzere yaklaşık 37 K’ lik geçiş sıcaklığına ulaşılmıştır (Sasmal vd., 2008). Daha sonra Chen ve arkadaşları  $\text{Ca}_{1-x}\text{Na}_x\text{Fe}_2\text{As}_2$  malzemesi ile 20 K geçiş sıcaklığını elde ettiler. ( Zhao vd., 2008)  $\text{Sr}_{1-x}\text{K}_x\text{Fe}_2\text{As}_2$  malzemesi ile 35 K (Sasmal vd., 2008). Daha sonra Jeevan ve arkadaşları  $\text{Eu}_{0.5}\text{K}_{0.5}\text{Fe}_2\text{As}_2$  32 K geçiş gözlemladiler (Jeevan vd., 2008). Sefat ve

arkadaşları ise Co ile elektron katkılması sonucu  $\text{CoBaFe}_2\text{As}_2$  malzemesinde 22 K lik geçiş gözlemler. (Sefat vd., 2008) Zhao ve arkadaşları ise  $\text{Ca}_{1-x}\text{Na}_x\text{Fe}_2\text{As}_2$  malzemesinde 33 K geçiş gözlemler ( Zhao vd., 2008).

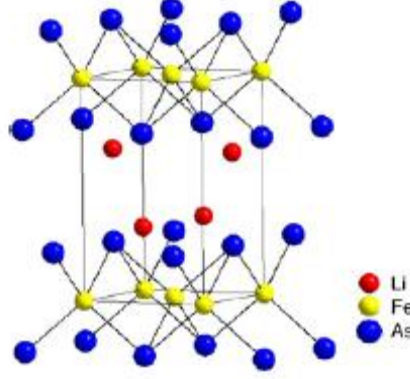


Şekil 12.  $\text{BaFe}_2\text{As}_2$  Malzemesinin Kristal Yapısı ( Rotter vd. , 2008).

### 1.12.3. “111” Tipi Demir Tabanlı Süperiletkenler

Bu aileye mensup malzemelerin genel formülü  $(A)\text{TMPn}$  şeklindedir (Burada A K, Na ve Li gibi Alkali metalleri TM Fe, Ni ve Mn gibi geçiş metallerini Pn ise P, As ve Bi gibi pniktojen grubu elementleri simgeler.) 111 tipi süperiletken malzemeler  $P4/nmm$  uzay grubuna ait tetragonal anti-PbFCl yapısında kristalleşmektedirler. Kristal yapı iletken FePn tabakaları toprak alkali grubun yük rezervuarı ile karışmaktadır. (Wang vd., 2008).

Ekim 2008’de Wang ve arkadaşları  $\text{LiFeAs}$  malzemesiyle yaptıkları çalışmaların sonucunda bu malzemede 18 K lik bir süperiletken geçiş sıcaklığı gözlemler. (Wang vd., 2008). Chu ve arkadaşları  $\text{NaFeAs}$  malzemesiyle yaptıkları çalışmaların sonucunda bu malzemede 18 K lik bir süperiletken geçiş sıcaklığı gözlemler Na eksik malzemede ise süperiletkenliği 25 K e kadar gözlemler.(Chu vd., 2009).Daha sonra  $\text{LiFeP}$  malzemesinde süperiletkenlik 6K (Deng vd.,2009) ve  $\text{Na}_{1-x}\text{FeAs}$  malzemesinde 31 K’ lik geçiş gözlemler (Zhang vd., 2009)

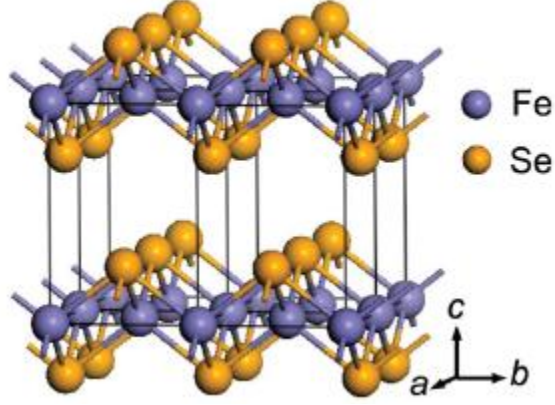


Şekil 13. LiFeAs Malzemesinin Kristal Yapısı (Wang vd., 2008).

#### 1.12.4. “11” Tipi Demir Tabanlı Süperiletkenler

Bu aileye mensup malzemelerin genel formülü  $FeO_x$  şeklindedir (Burada  $O_x$  Se, Te ve S gibi 6A Oksijen Grubu elementleri simgeler , TM Fe, Ni ve Mn gibi geçiş metallerini simgeler.) 11 tipi süperiletken malzemeler  $P4/nmm$  uzay grubuna ait tetragonal  $PbO$  yapısında kristalleşmektedirler. Kristal yapı ortak kenarlara sahip  $FeSe_4$  Tetrahedral tabakalarının üst üste binmesiyle oluşmuştur.( Hsu vd.,2008)

Temmuz 2008’de Hsu ve arkadaşları FeSe malzemesiyle yaptıkları çalışmaların sonucunda bu malzemedeki 8 K’lik bir süperiletken geçiş sıcaklığı gözlemlenildi (Hsu vd. ,2008). Mizuguchi ve arkadaşları FeSe malzemesini yüksek basınç tekniğiyle ürettiklerinde malzemenin süperiletken geçiş sıcaklığının 27 K’e yükseldiğini gözlemlenildi (Mizuguchi vd. ,2008). Yeh ve arkadaşları ise  $FeSe_{1-x}Te_x$  malzemesinde geçiş sıcaklığını 15.2 K olarak gözlemlenildi.( Yeh vd. ,2008). Yüksek basınç tekniğiyle  $T_c$ ’nin 34 K e kadar yükseldiği gözlemlendi.( Garbarino vd. , 2009). Mizuguchi ve arkadaşları  $FeSe_{1-x}S_x$  malzemesinde 15.5 K,  $Fe_{1-x}Co_xSe$  malzemesinde 10 K ve  $Fe_{1-x}Ni_xSe$  malzemesinde 10 K geçiş gözlemlenildi (Mizuguchi vd.,2009).



Şekil 14. FeSe Malzemesinin Kristal Yapısı ( Hsu vd.,2008).

### 1.12.5. Demir Tabanlı Süperiletkenlerin Uygulamaya Yönelik Özellikleri

Demir tabanlı süperiletkenlerin dört ana ailesi bakıroksit tabanlı süperiletkenlerle ortak bir şekilde tabakalı yapı, düşük taşıyıcı yoğunluğu, kısa koherans uzunluğu ve geleneksel olmayan çiftlenim gibi uygulamaya yönelik potansiyellerini azaltan özellikleri taşımaktadır. Olumlu olarak demir tabanlı süperiletkenler metalik ana bileşiklere sahiptir bu nedenle de katkı oranına çok fazla bağlı olmayan düşük anizotropiye sahiptir. Düzen parametreleri s-dalgalarıdır ve bunlarda prensip olarak tane sınırları arasında akım geçişini engelleyici yönde davranış göstermelerini sağlar. Süperiletkenlerin uygulamaya yönelik olup olmadığının belirlenmesinde kullanılan Cooper çiftlerinin yapıları bozulmadan alabildiği mesafeyi belirten koherans uzunluğu, geçiş sıcaklığı, kritik manyetik alan gibi bazı parametre değerleri üç ana aile için Tablo 1 de verilmiştir.

Ayrıca bir diğer önemli parametre kritik akım yoğunluğuna bakacak olursak 1111 ailesinde  $2 \times 10^6 \text{ Acm}^{-2}$ , 122 ailesinde  $4 \times 10^5 \text{ Acm}^{-2}$ , ve 11 ailesinde ise  $1 \times 10^5 \text{ Acm}^{-2}$  değerleri hesaplanmıştır. Bu sonuçlar demir tabanlı süperiletkenlerin YBCO malzemesinde gözlemlendiği şekilde düşük sıcaklıklarda alandan bağımsız olarak görece yüksek kritik akım yoğunluğuna sahip olduğunu göstermektedir (Putti ve arkadaşları, 2010).

	Nd-1111	Ba-122	Fe-11
$T_c(50\%R_n)$ (K)	47.4	22.0	14.5
$\mu_0(dH_{c2}^{\perp ab}/dT)$ (T K <sup>-1</sup> )	2.1	2.5	14
$\mu_0(dH_{c2}^{\parallel ab}/dT)$ (T K <sup>-1</sup> )	10.1	4.9	26
$\gamma_H$	5	1.9–1.5	1.9–1.1
$\xi_{ab}$ (nm)	1.8	2.4	1.2
$\xi_c$ (nm)	0.45	1.2	0.35
Ginzburg sayısı Gi	$8 \times 10^{-3}$	$1.7 \times 10^{-4}$	$1.3 \times 10^{-3}$

Tablo 1. Demir tabanlı Süperiletkenler için bazı önemli parametreler.

### 1.13. Tek Kristal Büyütme Teknikleri

#### 1.13.1. Tek Kristal

Tek kristal, malzemenin kristal örgüsünün sürekli olduğu ve kenarlar bölünmemiş tanecik sınırları olmayan kristalli yapıya sahip katı malzemelere denir.

Tanecik sınırları malzemelerin fiziksel mekanik ve elektriksel özelliklerinde oldukça fazla etkiye sahiptir. Bu nedenle tek kristaller mikroelektronik optoelektronik hem de yapısal ve yüksek sıcaklık malzemeleri olarak kullanılabilir. Silikon tek kristaller entegre devre endüstrisinde önemli bir yere sahiptir. Safir tek kristaller lazer cihazlarında süperalaşımın tek kristalleri ise türbin yapımında kullanılırlar.

Bu çalışmanın amacı ise demir tabanlı süperiletken ailelerinden 11 tipine mensup FeSe malzemesinde Se elementi yerine Te elementinin yer değiştirmesinin etkileri bu malzemenin tek kristal büyütme methodlarından Eriyiğin Yavaş Soğutulması Tekniğiyle üretilmesi ile incelenecektir. Tek Kristal büyütme teknikleri aşağıdaki 8 teknik olarak gösterilebilir:

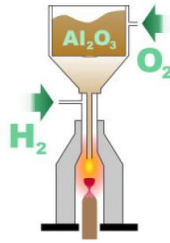
##### 1.13.1.1. Eriyiğin Yavaş Soğutulması Metodu

Malzemeler ahenkli bir şekilde eriyen malzemelerse kolay bir şekilde malzeme eriyik hale getirilir ve 2-10 °C/saat gibi çok düşük soğutma hızıyla malzeme soğutulur. Bu teknikte ayrıca birden fazla ısı bölgesi olan fırınlarda ısı gradiyenti oluşturularak daha iyi

kristal elde edilmesi sağlanabilir. Elde edilecek stokiometri faz diyagramlarından tayin edilebilir.

### 1.13.1.2. Alev Füzyonu Metodu

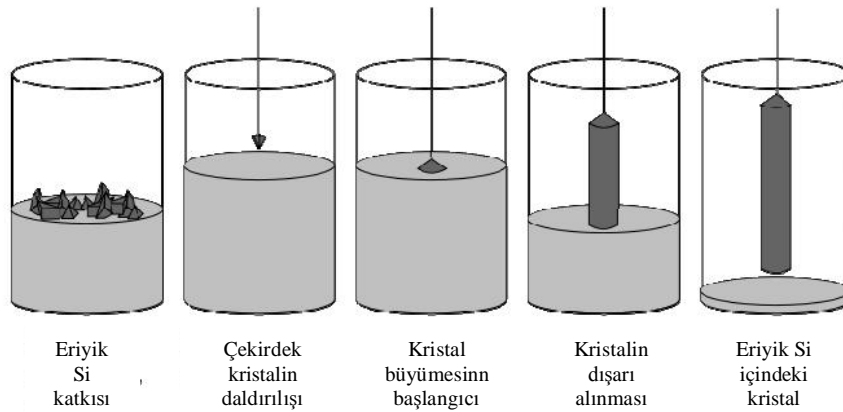
Şekil 15.' de de gösterildiği gibi ham madde fırının üst çemberine yerleştirilir oksijen ve hidrojen yanma kabine aktarılır ve 2000 C nin üstünde sıcaklık elde edilebilir. Malzemenin sıvı damlaları tek kristal uçta oluşur. Bu metod hızlı büyüme hızına sahiptir fakat kristal kalitesi düzensiz ısı dağılımıyla ve soğutma hızıyla sınırlanmıştır.



Şekil 15. Verneuil süreci diagramı

### 1.13.1.3. Czochralski Metodu

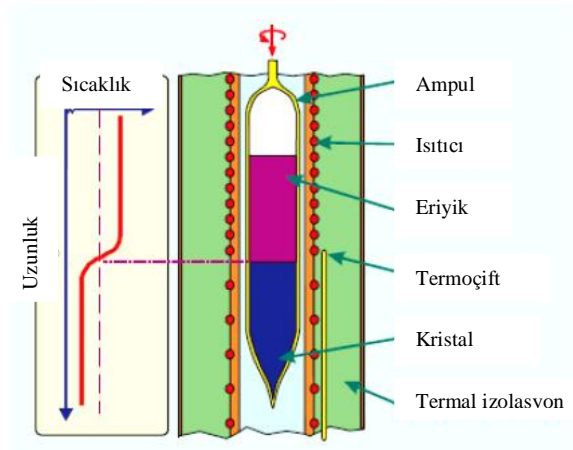
Bu metotta tek kristal eriyiğin içinden çekilir. Bu metod çok eski ve halen özellikle metalik ve yarıiletken tek kristal malzeme üretimi için kullanılır. Bu metotla çok kaliteli kristaller üretilir.



Şekil 16. Czochralski Metodunun adım adım incelenmesi.

#### 1.13.1.4. Bridgman-Stockbarger Metodu

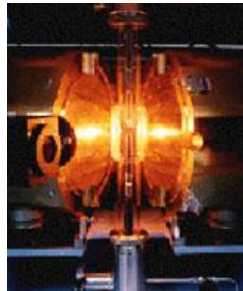
Bu metotta merkezi kabin sıcak bölgeden soğuk bölgeye doğru aşağı doğru hareket ederken aynı zamanda kendi eksenini etrafında dönmektedir.



Şekil 17. Bridgman Fırını.

#### 1.13.1.5. Hareketli Akkor Bölge Metodu

Bu metot Bridgman-Stockbarger metodundan geliştirilmiştir. Yüksek saflıkta Silindirik Silikon tek kristal üretmekte kullanılmaktadır. Bu üretim tekniğinin En önemli özelliği yabancı madde etkileşmesinin önüne geçmektedir.



Şekil 18. Optiksel bölge fırını (2, 2010).



#### **1.13.1.6. Solüsyon Büyütme Metodu**

Bu tekniğin asıl amacı doymuş çözelti elde edip bu çözeltinin kristelleştirilmesidir. Yüksek erime sıcaklığına sahip ve düzensiz malzemeler için adapte edilmiştir.

#### **1.13.1.7. Hidrotermal Metot**

Hidrotermal üretim minerallerin sıcak su ve yüksek basınç altında tek kristal üretme metodudur.

#### **1.13.1.8. Süblimleşme Metodu**

Bazen sıvı fazdan büyütülemiyorsa süblimleşme metodu iyi bir alternatiftir. Kristalin büyümesinin kontrolü sıvı faza göre daha zordur (Liu vd., 2008).

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Önçalışmalar

Bu tez konusuyla ilgili ilk çalışmalara  $\text{FeSe}_{1-x}\text{Te}_x$  formülüne göre  $x= 0.0, 0.5$  ve  $0.75$  Te katkı oranlarıyla üretilen polikristal numuneler ile başlandı. Bu numuneler katı hal tepkime metodu kullanılarak üretildi. Fe, Se ve Te malzemeleri toz halinde uygun stokiometrik oranlarda havana kondu ve havanda 10 dakika kadar öğütülerek, yaklaşık 650 MP basınç altında dikdörtgen tablet halinde basıldı. Daha sonra vakum altında cam kapsül içerisine yerleştirilerek silindirik fırına kuartz tüp içerisinde  $650^\circ \text{C}$  sıcaklıkta 12 saat ilk ısıl işleme tabi tutuldu. Isıl işlemden sonra elde edilen malzeme tekrar havanda 10 dakika öğütüldü, daha sonra vakum altında cam kapsüle kondu ve fırına sürülerek 24 saat boyunca ikinci ısıl işleme kondu sonrasında numune oda sıcaklığına soğutuldu. Elde edilen numuneler daha sonra karakterize edildi. Bu polikristal malzemelerinin geçiş sıcaklıkları FeSe için 10.59 K,  $\text{FeSe}_{0.5}\text{Te}_{0.5}$  için 12.77 K for,  $\text{FeSe}_{0.25}\text{Te}_{0.75}$  için 15.96 K olarak gözlemlendi. Fakat bu numunelerin fiziksel ve manyetik özellikleri yeterli düzeyde olmadığını tespit ederek. Daha iyi koşullar altında ve daha saf malzeme üretebilmek için IFW Dresden Enstitüsü'ne 6 aylık araştırma yapmaya gidildi. Bu araştırma esnasında yapılan çalışmalar aşağıda açıklanmıştır.

### 2.2. Örneklerin Hazırlanması

Bu çalışmanın amacı demir tabanlı süperiletken ailelerinden 11 tipine mensup FeSe malzemesinde Se elementi yerine Te elementinin yer değiştirmesinin etkilerinin bu malzemenin tek kristal büyütme metodlarından Eriyiğin Yavaş Soğutulması Metodu'nun kullanılmasıyla üretilmesidir.

Kompozisyonun genel formülünü  $\text{FeSe}_x\text{Te}_{1-x}$  olarak belirledikten sonra x katkı oranı 0.1 adımlarla değiştirilerek numune üretildi. Bu numunelerin üretilmesi aşamasında ticari olarak satılan Fe, Se ve Te malzemeleri kullanıldı. Ancak bu malzemelerden külçe Tellür ve Demir parçalarının hava ortamında olmalarından dolayı Tellür külçeleri kesici bir alette oksit tabakalardan temizlendi. Demir parçaları ise önce alumina pota içine sığmaları için

makasla daha küçük parçalara ayrıldı ve yüzeyinin oksitlerden temizlenmesi için sitrik asit çözeltisi içerisinde 15 dakika boyunca ultrasonik dalga üreticisiyle temizlendi. Kuartz tüpler bir gece boyunca rutubetten temizlenmesi için fırında bekletildi. Kullanılan tüplerden bir örnek Şekil 19. ' da gösterilmiştir.

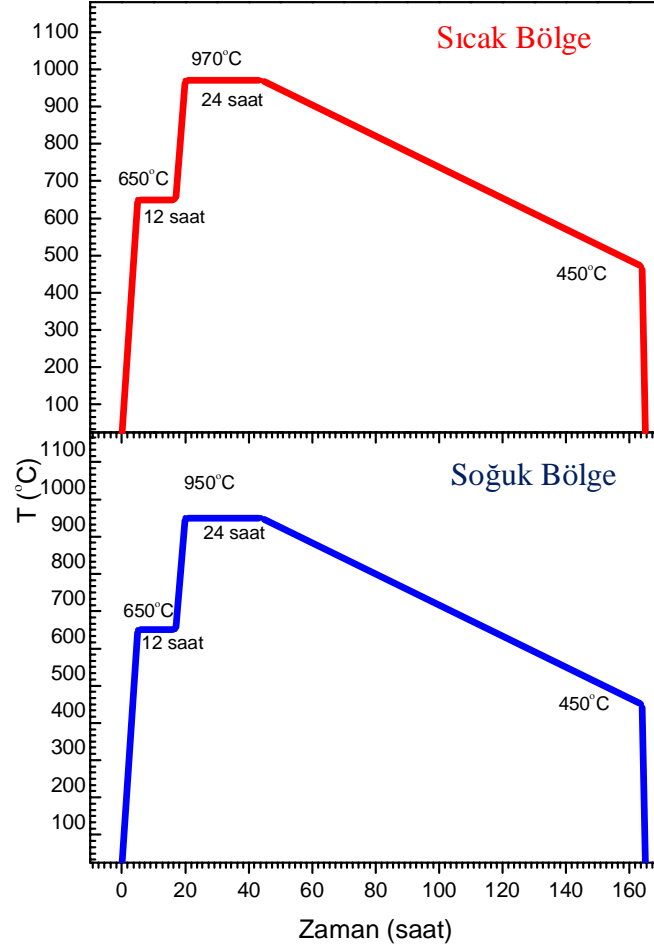


Şekil 19. Kuartz tüp ve alumina pota.

Daha sonra oksitleri temizlenen malzemeler ve kuartz tüpler Argon atmosferi bulunan ve oksijen ve diğer kirlilikleri içermeyen glove box isimli kapalı ortama yerleştirildi. Ve burada her numune için uygun kompozisyonu oluşturacak şekilde 10' ar gramlık malzemeler tartıldı, kuartz tüp içine yerleştirildi. Daha sonra tüp ise bir valf yardımıyla Argon atmosferi altında kapatıldı. Kuartz tüp kapalı ortamdan çıkarıldı ve vakum pompasına bağlanarak kuartz tüpün içerisinde  $10^{-5}$  mertebesinde vakum atmosferi oluşturuldu. Daha sonra valf kapatılıp kuartz tüp oksijen kaynağı ile kapatıldı. Daha sonra kapatılan kuartz tüp içerisinde Ar akışı olan iki ısıtma bölgesi fırına homojen karışım olması ve malzemenin alumina potayı terk etmemesi için hafif bir eğimle yerleştirildi. Ve bu fırında aşağıda Şekil 20. 'de gösterilen ısı profili uygulandı.

Bu profilin içeriği şöyledir. Öncelikle alumina potanın kapalı ucunun olduğu tarafta ısı bölgesinin soğuk kısmı diier kısımdaki ısı bölgesine sıcak kısım profili uygulandı. Soğuk ve sıcak kısım profil kısımlar önce oda sıcaklığından aynı sıcaklığa  $650^{\circ}\text{C}$ ' ye çıkarıldı 12 saat bu sıcaklıkta fırın bekletildi..Bunun nedeni düşük buharlaşma ısısı ve yüksek buhar basıncı nedeniyle Selenyumun öncelikle reaksiyonunu düşük sıcaklıkta tamamlamasını

sağlamaktır. Daha sonra iki bölgeden sıcak olan kısım  $970^{\circ}\text{C}$ ' ye soğuk olan kısım ise  $950^{\circ}\text{C}$ ' ye çıkarıldı bu sıcaklıklar faz diyagramına göre malzemenin erimesini beklediğimiz sıcaklıktır uzun süre beklenilmesinin nedeni ise yatay fırında homojen bir reaksiyon elde etmektir.



Şekil 20. Numunelere Uygulanan Sıcaklık Profili

Malzeme bu aşamadan sonra kristal büyütme tekniklerinin öngördüğü şekilde çok yavaş soğuma oranıyla yaklaşık  $5^{\circ}\text{C/h}$  ile  $450^{\circ}\text{C}$  ve  $470^{\circ}\text{C}$ ' ye indirildi bu esnada fırın kapatılarak malzemelerin soğumaları beklendi. Daha sonra malzemeler fırından dışarı çıkarıldı ve elde edilen malzemeler incelenmek üzere uygun tekniklerle hazırlandı.

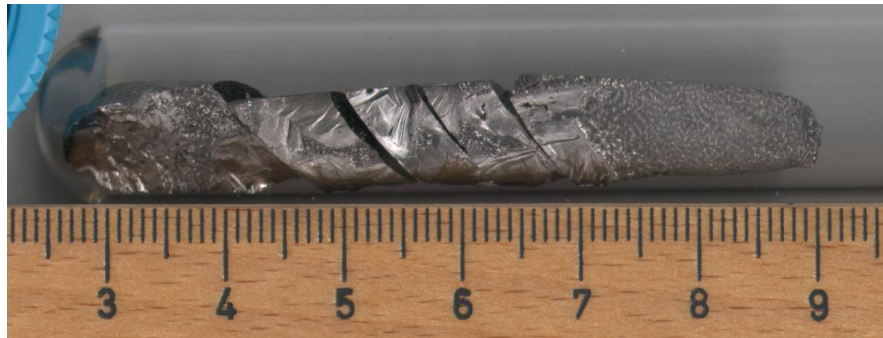
FeSe ve FeTe malzemeleri üzerinde yapılan eski çalışmalardan elde edilen yapısal analiz verilerinden elde edilen faz diyagramlarına baktığımızda tetragonal beta fazı FeSe

için demirce az zengin ve çok çok dar bir alanı kapsamaktadır. Buna karşın aynı faz FeTe numunesi için demirce daha zengin ve daha geniş bir aralıkta bulunmaktadır. Bu nedenlerle FeSe numunesinde hem tek faz elde edilmesi hemde süperiletken fazın eldesi görece zordur. Fakat FeTe numunesinde ise tek faz eldesini kolaylaştıracak şekilde tetragonal beta fazı daha geniş bir alana yayılmıştır. Ayrıca bu faz demirce daha zengin fazdır.

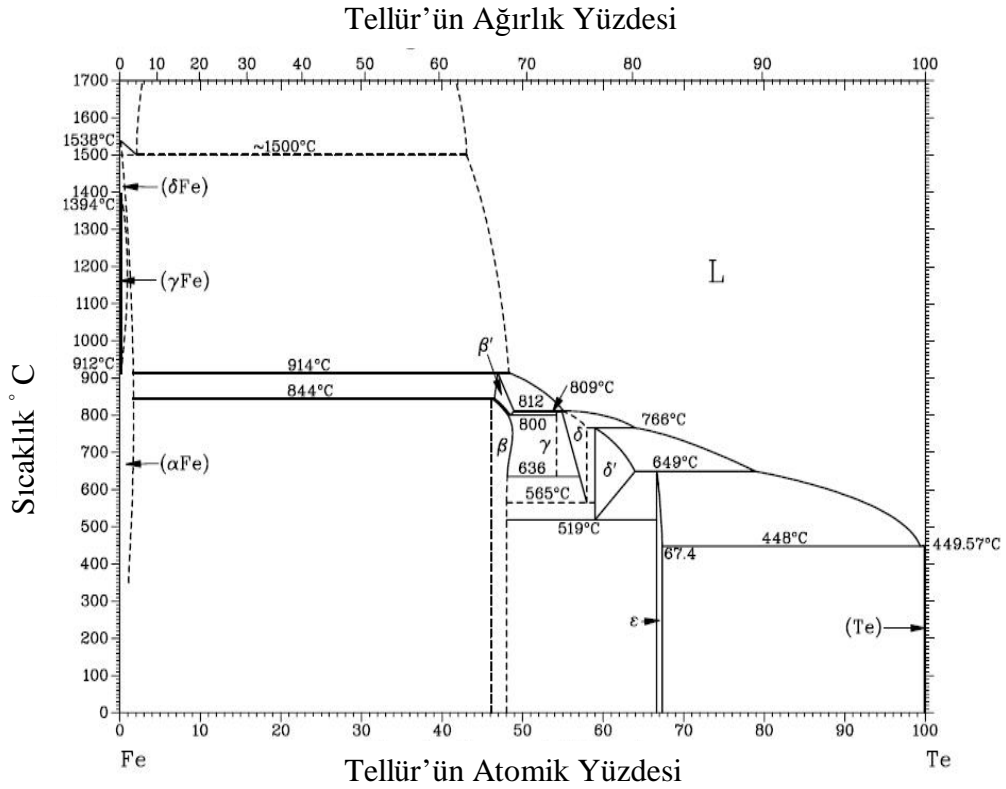
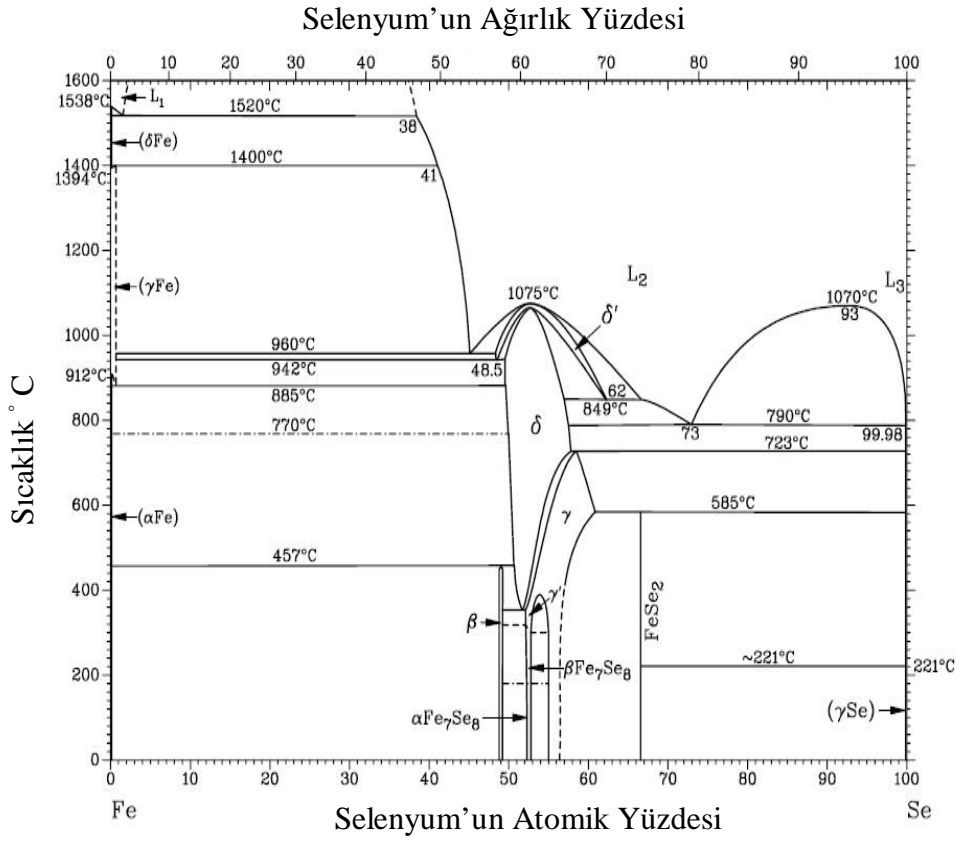
FeTe malzemesindeki bu demirce zenginlik dolayısıyla kaynaklanan Sales ve arkadaşlarına göre fazlalık Fe atomları malzemenin birim hücrelerinde arayerlere yerleşerek farklı magnetik momente sahip ikinci bir demir grubu oluşmasına neden olmaktadır. Bu farklı iki konumda Fe(I) ve Fe(II) konumunda Fe atomlarının bulunmasına Arayer kusurları denir.

### 2.3. Örneklerin Analize Hazırlanması

Üretilen malzemelerden birinde görüldüğü gibi (Şekil 22.) malzeme şekilsiz bir çubuk gibidir. Bu malzeme incelenmek üzere fiziksel görünümüne göre eğer jilet benzeri bir aletle kolayca ayrılabilirse bu şekilde veya kesme sistemiyle genel şekil ve görünüm özelliklerine göre parçalara ayrıldı ve yüzeyleri uygun olanlar olduğu gibi olmayanlar ise rezin içine kalıplanıp yüzeyi parlatılarak EDX analizine hazır hale getirildi. EDX sonuçlarından ve şekil ve görünüşlerine göre elde edilen sonuçlara göre belirlenen homojen parçalardan gerekli VSM ölçüm sistemi için dikdörtgenler prizması şeklinde parçalar alındı. XRD ölçümü ise bu kesimlerden alınan parçaların agat mortarda havanla öğütülerek hazır hale getirilen numuneler üzerinde yapıldı. Direnç ölçümleri içinde dikdörtgenler prizması şeklinde numuneler kesildi.



Şekil 21. FeSe<sub>0.2</sub>Te<sub>0.8</sub> numunesinin görünüşü



Şekil 22. FeTe ve FeSe malzemelerinin yapısal faz diyagramları (Okamoto, 1990, Okamoto, 1991) .

### 2.3.1. Deneysel Sistemler

#### 2.3.1.1. VSM Sistemi

Quantum Design firmasının fiziksel özellikler ölçüm sistemi için ürettiği titreşen malzeme magnetometresi hızlı ve hassas bir DC magnetometredir. Temel ölçüm malzemenin dedektör sargının etrafında titreştirilmesi ve senkronize olarak indüklenen voltajın dedekte edilmesi prensibine dayanır. Kompakt gradiometre algılayıcı bobiniyle sistem  $10^{-6}$  emu' luk bir değişimi algılayabilmektedir. PPMS sisteminin VSM modülü malzemenin titreşimini sağlamak için VSM lineer geçiş motoru dedekte etmek için algılayıcı bobin seti lineer motorun kontrolü ve algılayıcı bobinlerden elde edilen cevapları kaydetmek için elektronik devreler ve tüm sistemin kontrolü için MultiVu isimli programı içerir.

Teorik olarak şöyle ifade edilir.

$$V_{Bobin} = \frac{d\phi}{dt} \quad (12)$$

$$V_{Bobin} = \left( \frac{d\phi}{dz} \right) \left( \frac{dz}{dt} \right) \quad (13)$$

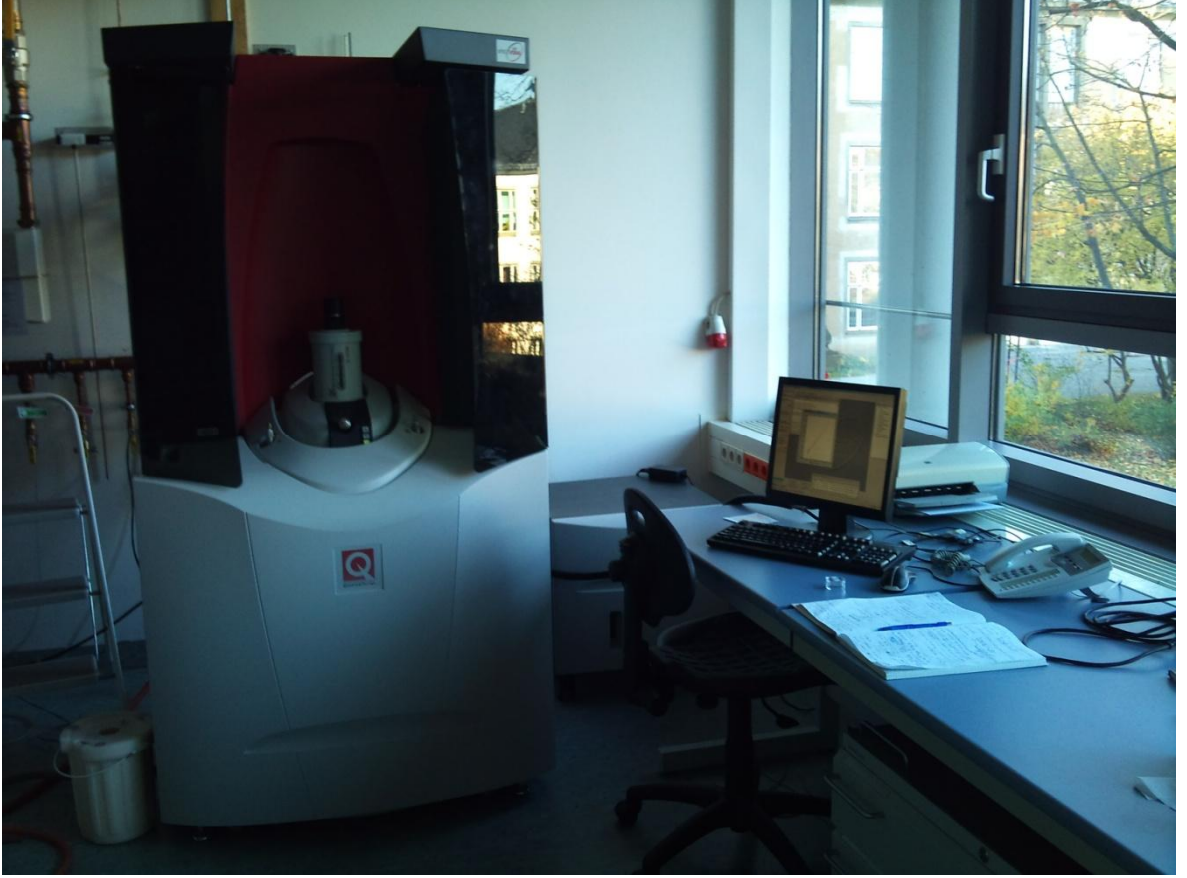
Denklemden  $\Phi$  algılayıcı bobin tarafından çevrilmiş manyetik akıdır. z malzemenin bobine göre dik pozisyonu t zaman'dır. Sinusoidal olarak titreşen malzeme pozisyonuna göre elde edilen voltaj şöyle tanımlanır.

$$V_{Bobin} = 2\pi f C m A \sin(2\pi f t) \quad (14)$$

Burada ise C çiftlenim katsayısı m malzemenin DC manyetik momenti A titreşimin genliği ve f ise titreşimin frekansıdır. Manyetik moment ölçümünün katkısı sinusoidal voltajın katsayısının dedektör bobinin cevabının bulunmasını içerir.

PPMS VSM modülünün çalışma prensibi ise Malzeme taşıyıcı çubuğun sonuna takılır ve bu çubuk sinüsel olarak sürülür. Sinusoidal titreşimin merkezi gradiometre algılayıcı bobinin ortasına konumlandırılmıştır. Keskin konumlandırma, optik lineer çözücü sinyalin, VSM lineer motor geçişinden geri okunmasıyla sağlanır. Algılayıcı

bobinde indüklenen voltaj yükseltilir ve lock-in yükseltici ile dedekte edilir. VSM kontrol bölümü pozisyon çözücü sinyali senkronize ölçüm almak için referans olarak kullanır. Bu çözücü sinyal vsm lineer motor geçişinden gelen raw çözücü sinyalleri yorumlayan VSM motor modülünden alınır. VSM kontrol modülü çözücünden faz ve dörtlü faz sinyalleri çözücünden ve yükseltilmiş voltajı algılayıcı bobinden alır. Bu veriler ortalaması alınarak CAN aracılığıyla Bilgisayarda çalışan VSM uygulamasına aktarılır.



Şekil 23. VSM SQUID Ölçüm sistemi

### 2.3.1.2. X-Işını Kırınımı Ölçüm Sistemi

X-ışını toz saçılması malzeme içindeki kristalik yapıların belirlenmesinde kullanılır. Bu araştırma için çok az miktarda toz malzemenin yeterli olduğu guinier kamera sistemi kullanıldı. Guinier kamerada X-ışını kristalik bir noktadan saçıldığında X-ışını film üzerinde keskin çizgiler ortaya çıkarır. Amorfik bir yapıdan saçıldığında bu şekilde pikler oluşmaz veya oluşan pikler geniş olur. Kristalik malzemedan elde edilen saçılma desenleri



kristalik malzemeler için oldukça önemlidir ve ayrıca malzemenin parmak izi olarak gösterilebilir. X-Işını Kırınım Deseni elde etmek için kullanılan Huber 670 cihazının aynı X-Işını filmini birden fazla tarayabilmesi ve elde edilen desenlerin cihaz programı tarafından toplanabilmesi ayrıca malzemenin hareketli bir tutucuya konması yüzünden istatistiksel olarak daha iyi sonuçlar verebilen bir cihazdır. Bu nedenle bu cihazla elde edilen veriler hassas sonuçlar ve simülasyonlar için kullanılabilinecek kalitede olur.



Şekil 24. X-Işını Kırınımı Ölçme Sistemi

### 2.3.1.3. Direnç Ölçüm Sistemi

DC direnç ölçüm sistemi Şekil 25. ' de görülmektedir. . Bu sistem dört nokta direnç ölçümü için kullanılabilinecek birbirinden bağımsız üç kanal içermektedir. Ve cihaza bağlı

bilgisayar programı kanalı aynı anda kullanabilmektedir. Dolayısıyla direnç ölçümlerinde, aynı anda 3 farklı örneğin direnci ölçülebilmektedir.

Ayrıca program sistemi eş zamanlı kontrol edip verilerin ölçüm sırasında grafik olarak gözlenmesini sağlamaktadır.



Şekil 25. Direnç ölçüm sistemi

### 3. BULGULAR ve TARTIŞMA

#### 3.1. Yapısal Analiz

##### 3.1.1. X-Işını Kırınımı Analizi

Üretilen numunelerden alınan örnekler agatta öğütülerek X-Işını analizine hazır hale getirildi. Bu tozlar X-Işını Kırınım Ölçerine malzemenin cihaz içine dökülmesini engellemek için özel bir folyo arasına tırnak cilası ile sabitlenip sıkıştırıldı. Ana faz ve safsızlık fazları Huber G670 Geçiş Modu özelliğinde çalışan Guinier geometrisine sahip Kamera ile 40 kV potansiyel fark ve 30 mA akım şiddeti ile üretilen Co-K $\alpha$  radyasyonu ile ölçülen X-Işını kırınım desenlerinden tanımlandı. Tüm numunelerin X-Işını kırınım desenleri Şekil 26' da gösterilmiştir.

x=0.0 numunesi PbO tipi P4/nmm tetragonal FeTe kristal yapısına göre indekslenmiştir. Bu numunede X-ışını kırınım deseninde yabancı faz olarak ortorombik yapıda kristalleşen FeTe<sub>2</sub> fazı gözlenmiştir. Bu faza ait pikler “\$” sembolüyle gösterilmiştir. Ayrıca folyo ve tırnak cilasından gelen amorf pikler  $\phi$  sembolüyle gösterilmiştir.

x=0.1 numunesi PbO tipi P4/nmm tetragonal FeTe kristal yapısına göre indekslenmiştir. Bu numunede X-ışını kırınım deseninde yabancı faz olarak sadece folyo ve tırnak cilasından gelen amorf pikler gözlenmiştir.

x=0.2 numunesi PbO tipi P4/nmm tetragonal FeTe kristal yapısına göre indekslenmiştir. Bu numunede X-ışını kırınım deseninde yabancı faz olarak sadece folyo ve tırnak cilasından gelen amorf pikler gözlenmiştir.

x=0.3 numunesi de PbO tipi P4/nmm tetragonal FeTe kristal yapısına göre indekslenmiştir. Bu numunede X-ışını kırınım deseninde yabancı faz olarak sadece folyo ve tırnak cilasından gelen amorf pikler gözlenmiştir.

x=0.4 numunesi de PbO tipi P4/nmm tetragonal FeTe kristal yapısına göre indekslenmiştir. Bu numunede X-ışını kırınım deseninde yabancı faz olarak sadece folyo ve tırnak cilasından gelen amorf pikler gözlenmiştir.

.  $x=0.5$  numunesi PbO tipi P4/nmm tetragonal FeSe kristal yapısına göre indekslenmiştir. Bu numunede X-ışını kırınım deseninde yabancı faz olarak hegzagonal yapıda kristalleşen FeSe fazı gözlenmiştir. Bu faza ait pikler “\*” sembolüyle gösterilmiştir. Ayrıca folyo ve tırnak cilasından gelen amorf pikler “ $\phi$ ” sembolüyle gösterilmiştir.

$x=0.6$  numunesi PbO tipi P4/nmm tetragonal FeSe kristal yapısına göre indekslenmiştir. Bu numunede X-ışını kırınım deseninde yabancı faz olarak hegzagonal yapıda kristalleşen FeSe fazı gözlenmiştir. Bu faza ait pikler “ $\phi$ ” sembolüyle gösterilmiştir. Ayrıca folyo ve tırnak cilasından gelen amorf pikler “ $\phi$ ” sembolüyle gösterilmiştir.

$x=0.7$  numunesi PbO tipi P4/nmm tetragonal FeSe kristal yapısına göre indekslenmiştir. Bu numunede X-ışını kırınım deseninde yabancı faz olarak hegzagonal yapıda kristalleşen FeSe fazı gözlenmiştir. Bu faza ait pikler “\*” sembolüyle gösterilmiştir. Ayrıca farklı kompozisyona sahip aynı yapıda ikinci bir faz gözlenmiştir. Folyo ve tırnak cilasından gelen amorf pikler “ $\phi$ ” sembolüyle gösterilmiştir.

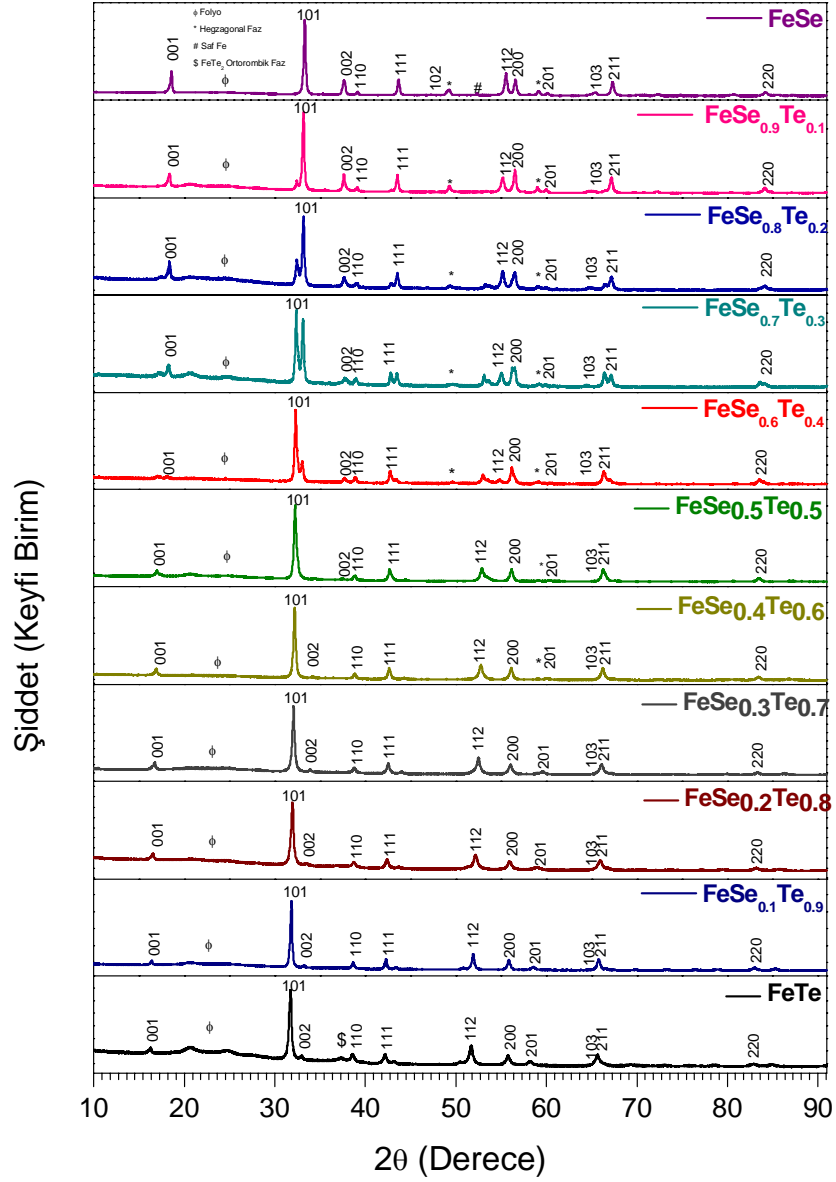
$x=0.8$  numunesi PbO tipi P4/nmm tetragonal FeSe kristal yapısına göre indekslenmiştir. Bu numunede X-ışını kırınım deseninde yabancı faz olarak hegzagonal yapıda kristalleşen FeSe fazı gözlenmiştir. Bu faza ait pikler “\*” sembolüyle gösterilmiştir. Ayrıca folyo ve tırnak cilasından gelen amorf pikler  $\phi$  sembolüyle gösterilmiştir.

$x=0.9$  numunesi PbO tipi P4/nmm tetragonal FeSe kristal yapısına göre indekslenmiştir. Bu numunede X-ışını kırınım deseninde yabancı faz olarak hegzagonal yapıda kristalleşen FeSe fazı gözlenmiştir. Bu faza ait pikler “\*” sembolüyle gösterilmiştir. Ayrıca folyo ve tırnak cilasından gelen amorf pikler “ $\phi$ ” sembolüyle gösterilmiştir.

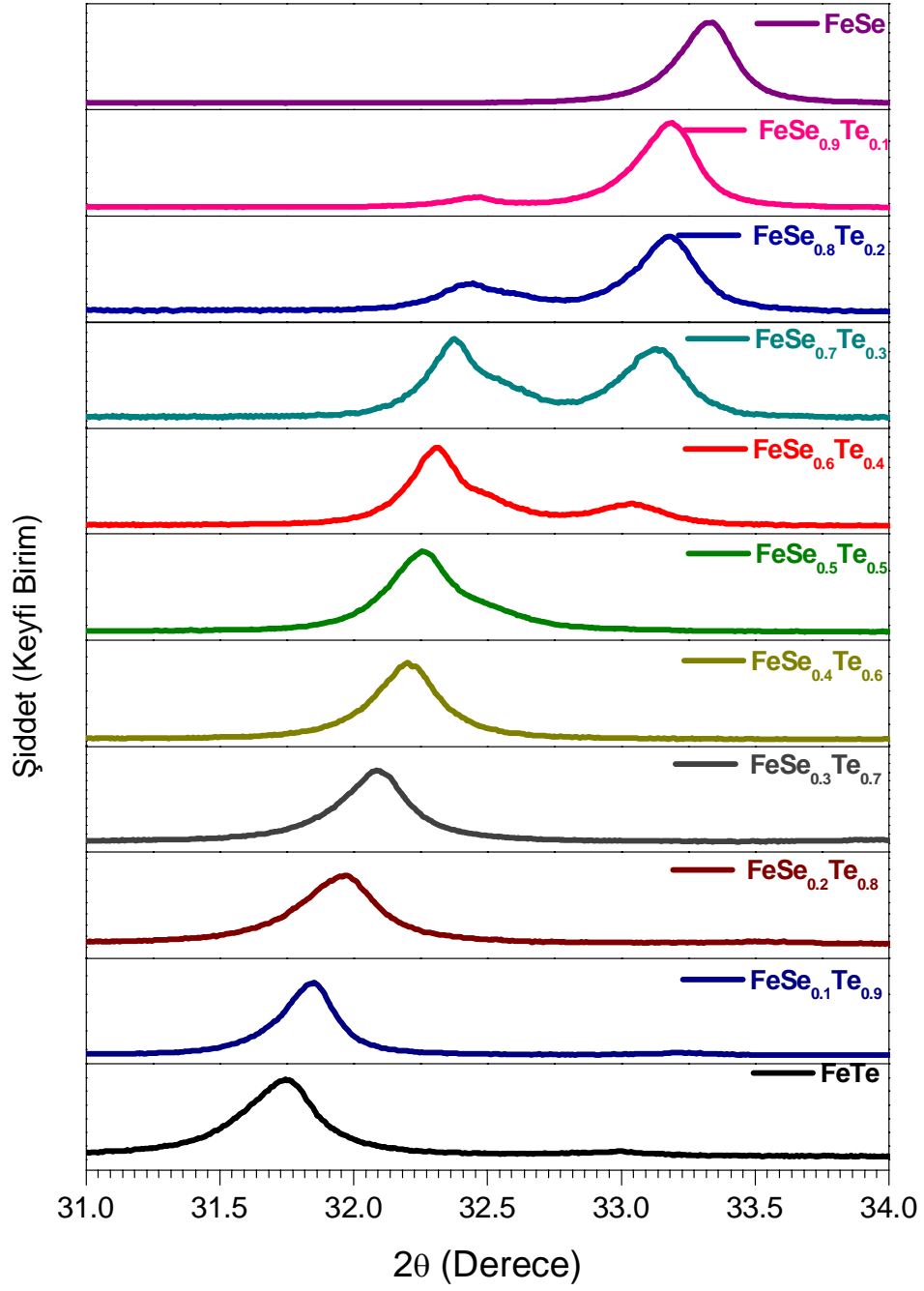
$x=1.0$  numunesi PbO tipi P4/nmm tetragonal FeSe kristal yapısına göre indekslenmiştir. Bu numunede X-ışını kırınım deseninde yabancı faz olarak hegzagonal yapıda kristalleşen FeSe fazı ve reaksiyona girmeyen malzemelerden gelen saf elementel Fe pikleri gözlenmiştir. Bu fazlara ait pikler sırasıyla “\*” ve “#” sembolüyle gösterilmiştir. Ayrıca folyo ve tırnak cilasından gelen amorf pikler “ $\phi$ ” sembolüyle gösterilmiştir.

X-ışını kırınım desenlerinin 101 ana piklerini daha yakından incelersek (Şekil 27.) piklerin Se katkı oranı arttıkça yüksek açılı değerlerine kaydığı yani Se malzemesinin yapıya girdiği ve daha küçük atomik yarıçapa sahip olduğu için örgü parametrelerinin azalacağı yönde kayma gösterdiği Yeh ve arkadaşlarının öngördüğü şekilde gözlemlendi. (Yeh vd. 2008).  $x=0.5$  katkı oranından sonrada aynı indise sahip iki farklı pik oluşumu gözlemlendi

buda malzeme içerisinde aynı yapıda ama farklı kompozisyonlarda fazların oluştuğunu gösterir.



Şekil 26. FeSe<sub>x</sub>Te<sub>1-x</sub> numuneleri için X-ışını kırınım desenleri



Şekil 27. FeSe<sub>x</sub>Te<sub>1-x</sub> numunelerinin 101 pikleri

## 3.2. Fiziksel Analiz

### 3.2.1. M-T Analizi

#### 3.2.1.1. M-T Analizi 20 G Alan Altında

Üretilen  $\text{FeSe}_x\text{Te}_{1-x}$  numunelerinin süperiletkenliğe geçiş sıcaklığını hesaplamak ve malzemenin homojenitesini gözlemek için ZFC (alan olmadan soğutma) modunda 20 G alan uygulanarak manyetizasyonunun sıcaklığa bağlı değişimi ölçüldü. Elde edilen ham veriler normalize edilerek Elde edilen ham veriler normalize edilerek Süperiletken hacim oranı hakkında ve momentin sıcaklıkla değişimi hakkında bilgi veren  $4\pi\chi_V$  verisine dönüştürüldü.

M-T eğrilerinde manyetik momentin hızlı değişmeye başladığı andaki sıcaklık değeri örneğin süperiletkenliğe geçiş sıcaklığına ( $T_c$ ) karşılık gelir. Süperiletken özellik gösteren malzemelerin geçiş sıcaklığı değerleri Şekil 28. içerisinde verildi.

$x=0$  numunesinde sıfır alan altında soğutma modunda manyetik moment sıcaklık değişimi ile değişmemiştir. Bunun nedeni beklendiği üzere FeTe numunesinin süperiletkenlik özelliği göstermemesidir.

$x=0.1$  katkı oranı yapılan numunede ise manyetik momentin düşük sıcaklıklara doğru orantısız olarak azaldığı gözlemlendi.

$x=0.2$  katkı yapılan numunede ise 5.35 K' de manyetik süseptibilite de negatif değerlere geçiş göstermiştir. Bu malzemede süperiletken fazların mevcudiyetini göstermektedir.

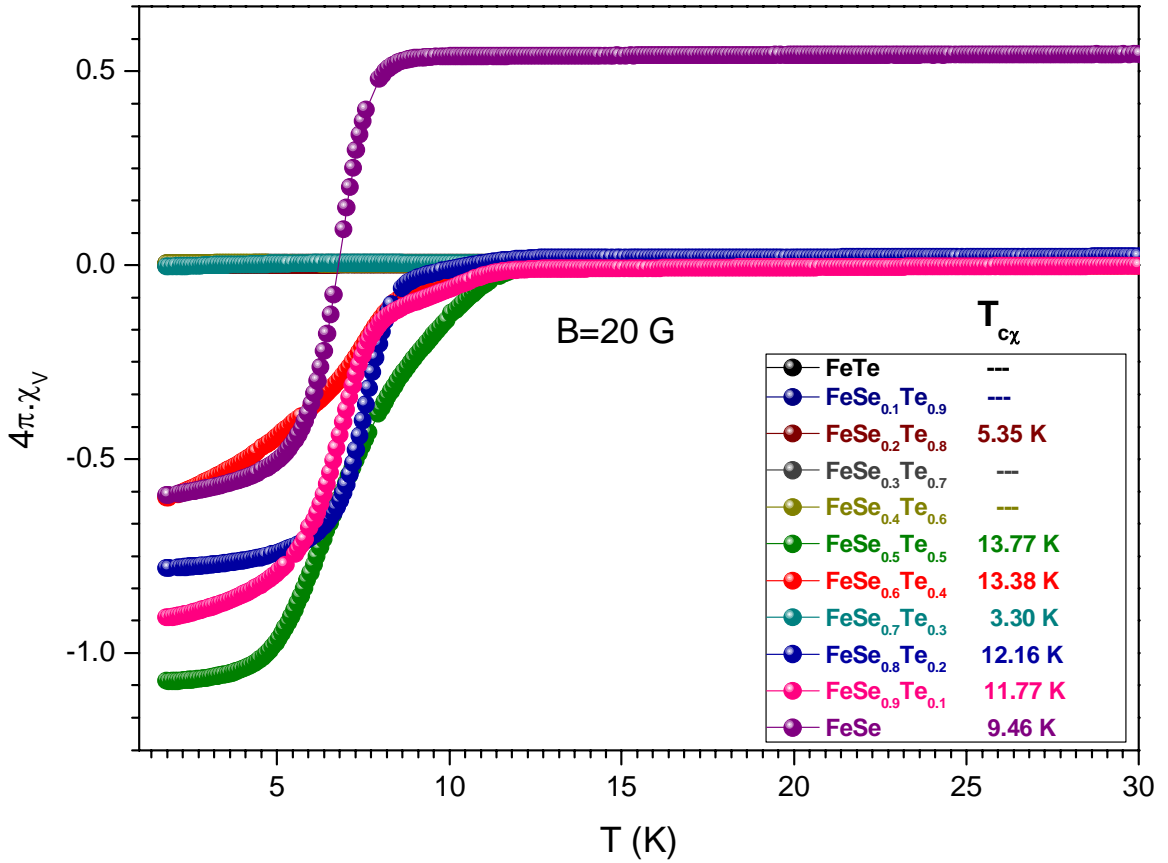
$x=0.3$  numunesinde ise manyetik süseptibilitede düşük sıcaklıklarda keskin bir azalma gözlenmesine rağmen negatif değerler gözlenmemiş olup numunenin süperiletken faz içermediğini söyleyebiliriz.

$x=0.4$  numunesinde de bir geçiş gözlenmesine rağmen süperiletkenliğin göstergesi olan negatif süseptibilite değerlerine ulaşılmamıştır.

$x=0.5$  numunesinde 13.77 K' de bariz bir şekilde manyetik süseptibilite düşük sıcaklıklarda negatif değerlere, geniş olmasına karşın bir geçiş göstermiştir Malzemenin süperiletkenliği hacmiyle ilişkilendirildiğinde malzeme maksimum olan yüzde 100 süperiletken yani külçe süperiletkenlik özelliği göstermiştir.

$x=0.6$  numunesinde ise malzeme 13.38 K' de geniş bir geçiş göstermiştir. Bu geçiş keskin değildir. Fakat Malzemenin süperiletkenliği hacmiyle ilişkilendirildiğinde yüzde 59' luk bir oran elde edilmiştir.

$x=0.7$  numunesinde ise 3.30 K 'de sadece negatif manyetik süseptibilite değerlerine çok az bir geçiş gözlenmiştir. Bu da malzemenin çok fazla süperiletken faz içermediğinin göstergesidir.



Şekil 28. FeSe<sub>x</sub>Te<sub>1-x</sub> numunelerinin ZFC modunda hacim kesri-sıcaklık grafiği

$x=0.8$  numunesinde ise malzeme 12.16 K' de keskin bir geçiş göstermiş olup, Bu geçiş keskin değildir. Malzemenin süperiletkenliği hacmiyle ilişkilendirildiğinde yüzde 78 olarak hesaplanmıştır.

$x=0.9$  numunesinde ise malzeme 11.77 K' de keskin bir geçiş göstermiş olup, Bu geçiş keskin değildir. Malzemenin süperiletkenliği hacmiyle ilişkilendirildiğinde yüzde 90 olarak hesaplanmıştır.



$x=1.0$  numunesinde ise malzeme 9.46 K' de keskin bir geçiş göstermiş olup, Bu geçiş keskin değildir. Malzemenin süperiletkenliği hacmiyle ilişkilendirildiğinde yüzde 59 olarak hesaplanmıştır.

Manyetik alan altında ısıtılan örneğe dış manyetik alan öncelikle zayıf bağlantı içeren tane sınırlarından nüfuz eder. Zayıf bağlı tane sınırlarında süperiletkenlik bozulacak bu durum süperiletkenliğe geçiş sıcaklığının azalmasına sebep olacaktır. 20 G manyetik alan altında geçiş sıcaklığı en büyük olan  $x=0.5$  örneğinin dış manyetik alana karşı daha dayanıklı olduğunu gösterir. (Savaşkan, 2007)  $x=0.8$  numunesine göre diğer süperiletken numunelerin daha geniş geçiş göstermesi bu örneklerin süperiletken taneleri arasında kirlilik fazının ve zayıf bağlantının daha fazla olduğunu gösterir.

### 3.2.1.2. M-T Analizi 1T Alan Altında

Üretilen  $\text{FeSe}_x\text{Te}_{1-x}$  numunelerinin sıcaklık değişimiyle manyetik davranışının nasıl değiştiğini gözlemlemek için 1 T alan uygulanarak manyetizasyonunun sıcaklığa bağlı değişimi ölçüldü (Şekil 29. İç grafikte net görülmeyen verilen ayrıca çizdirilmiştir). Elde edilen ham veriler normalize edilerek M/B değerlerine dönüştürüldü. M-T 1 T eğrilerinde manyetik momentin hızlı değişmeye başladığı andaki sıcaklık değeri örneğin süperiletkenliğe geçiş sıcaklığına ( $T_{\text{con}}$ ) karşılık gelir.

$x=0$  numunesinde 1T alan altında manyetik moment sıcaklık azaldıkça lineer artış göstermiştir daha sonra 71.2 K sıcaklıkta ani bir düşüş gösterip yaklaşık sabit bir şekilde davranış göstermiştir. Bu geçiş FeTe malzemesinin paramanyetik davranıştan antiferromanyetik davranışa geçiş yaptığı neel sıcaklığıdır.

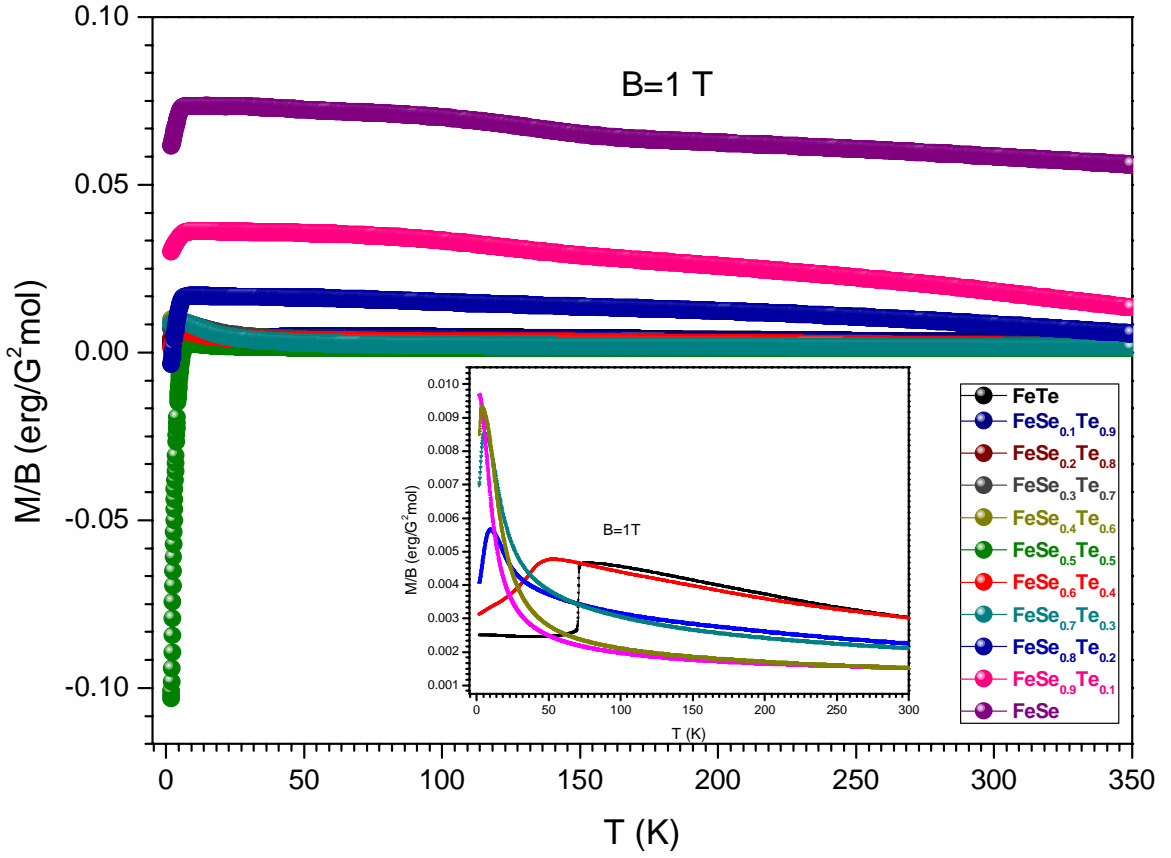
$x=0.1$  numunesinde 1T alan altında manyetik moment sıcaklık azaldıkça lineer artış göstermiştir daha sonra 50.94 K sıcaklıkta geniş bir düşüş göstermiştir. Bu geçiş paramanyetik davranıştan antiferromanyetik davranışa geçiştir.

$x=0.2$  numunesinde 1T alan altında manyetik moment sıcaklık azaldıkça düşük sıcaklıklarda daha keskin olacak şekilde exponansiyel artış göstermiştir daha sonra 8.7 K sıcaklıkta tepe yapıp düşüş göstermiştir. Bu geçiş paramanyetik davranıştan antiferromanyetik davranışa geçiştir.

$x=0.3$  numunesinde 1T alan altında manyetik moment sıcaklık azaldıkça yavaşça artış göstermiş çok düşük sıcaklıklarda daha keskin bir artış göstermiştir. Daha sonra 5.07

K sıcaklıkta bir düşüş göstermiştir. Bu geçiş paramanyetik davranıştan antiferromanyetik davranışa geçiştir.

$x=0.4$  numunesinde 1T alan altında manyetik moment sıcaklık azaldıkça yavaşça artış göstermiş çok düşük sıcaklıklarda daha keskin bir artış göstermiştir fakat daha sonra düşüş göstermemiştir. Buda artık antiferromanyetik davranışın ortadan kalktığına işarettir.



Şekil 29.  $\text{FeSe}_x\text{Te}_{1-x}$  numunelerinin 1 T Alan altında M-T grafiği

$x=0.5$  numunesinde 1T alan altında manyetik moment sıcaklık azaldıkça sabit kalmış çok düşük sıcaklıklarda hafif bir artış gösterip keskin bir şekilde diamanyetik etki gösterecek şekilde düşmüştür. Bu geçiş normal halden süperiletken hale geçiştir.

$x=0.6$  numunesinde 1T alan altında manyetik moment sıcaklık azaldıkça sabit kalmış çok düşük sıcaklıklarda hafif bir artış gösterip keskin bir şekilde diamanyetik etki gösterecek şekilde düşmüştür. Bu geçiş normal halden süperiletken hale geçiştir.

$x=0.7$  numunesinde 1T alan altında manyetik moment sıcaklık azaldıkça yavaşça artış göstermiş çok düşük sıcaklıklarda daha keskin bir artış göstermiştir. Daha sonra bir düşüş göstermiştir. Bu düşüş önceki sonuçlara göre süperiletkenlikle ilişkilendirilebilir fakat çok net değildir.

$x=0.8$  numunesinde 1T alan altında manyetik moment sıcaklık azaldıkça yavaşça artış göstermiş 150 K civarında FeO' ten kaynaklanan bir anormallik gösterip düşük sıcaklıklarda keskin bir düşüş gerçekleştirmiştir süperiletken geçiş çok düşük sıcaklıklarda hafif bir artış gösterip keskin bir şekilde diamanyetik etki gösterecek şekilde düşmüştür. Bu geçiş normal halden süperiletken hale geçiştir.

$x=0.9$  numunesinde 1T alan altında manyetik moment sıcaklık azaldıkça yavaşça artış göstermiş 150 K civarında FeO' ten kaynaklanan bir anormallik gösterip düşük sıcaklıklarda keskin bir düşüş gerçekleştirmiştir çok düşük sıcaklıklarda hafif bir artış gösterip keskin bir şekilde diamanyetik etki gösterecek şekilde düşmüştür. Bu geçiş normal halden süperiletken hale geçiştir.

$x=1.0$  numunesinde 1T alan altında manyetik moment sıcaklık azaldıkça yavaşça artış göstermiş 150 K civarında FeO' ten kaynaklanan bir anormallik gösterip düşük sıcaklıklarda keskin bir düşüş gerçekleştirmiştir süperiletken geçiş çok düşük sıcaklıklarda hafif bir artış gösterip keskin bir şekilde diamanyetik etki gösterecek şekilde düşmüştür. Bu geçiş normal halden süperiletken hale geçiştir.

Manyetik alan altında ısıtılan örneğe dış manyetik alan öncelikle zayıf bağlantı içeren tane sınırlarından nüfuz eder. Zayıf bağlı tane sınırlarında süperiletkenlik bozulacak bu durum süperiletkenliğe geçiş sıcaklığının azalmasına sebep olacaktır. 1 T manyetik alan altında geçiş sıcaklığı en büyük olan  $x=0.5$  örneğinin dış manyetik alana karşı daha dayanıklı olduğunu gösterir.

### 3.2.2. M-H Analizi

#### 3.2.2.1. 300 K Sıcaklıkta M-H Analizi

Çalışmada kullanılan örneklerin manyetizasyon ölçümleri, 2 K'lık sabit sıcaklıklarda, 0 Oe ile +70000 Oe arasında manyetik alan uygulayarak alansız soğutma rejiminde 2 döngüde yapıldı. Manyetizasyon ölçümlerinde, manyetik alan değişimleri iki aşamada gerçekleştirildi: 1.aşama (0) - (+Hmaks), 2. aşama (+Hmaks) - (0) şeklindedir. Her iki aşama arasında beklenmeden bir sonraki aşamaya geçildi.

VSM sisteminde kullanılan manyetometre "emu" cinsinden manyetik moment ölçmekte olup ölçülen veriler manyetizasyon değeri olan M manyetizasyona dönüştürüldü. Elde edilen verilerin Şekil 30.'da gösterilmiştir. İçte toplu çizimde net görülmeyen grafikler vardır.

x=0.0 numunesinin 300 K de manyetizasyon manyetik alan ölçümünde malzemenin lineer bir eğri çizerek paramanyetik davranış gösterdiği gözlemlendi. Malzeme bu davranış sırasında döngü göstermedi. Elde edilen maksimum manyetizasyon 204.71 erg/G·mol' dür.

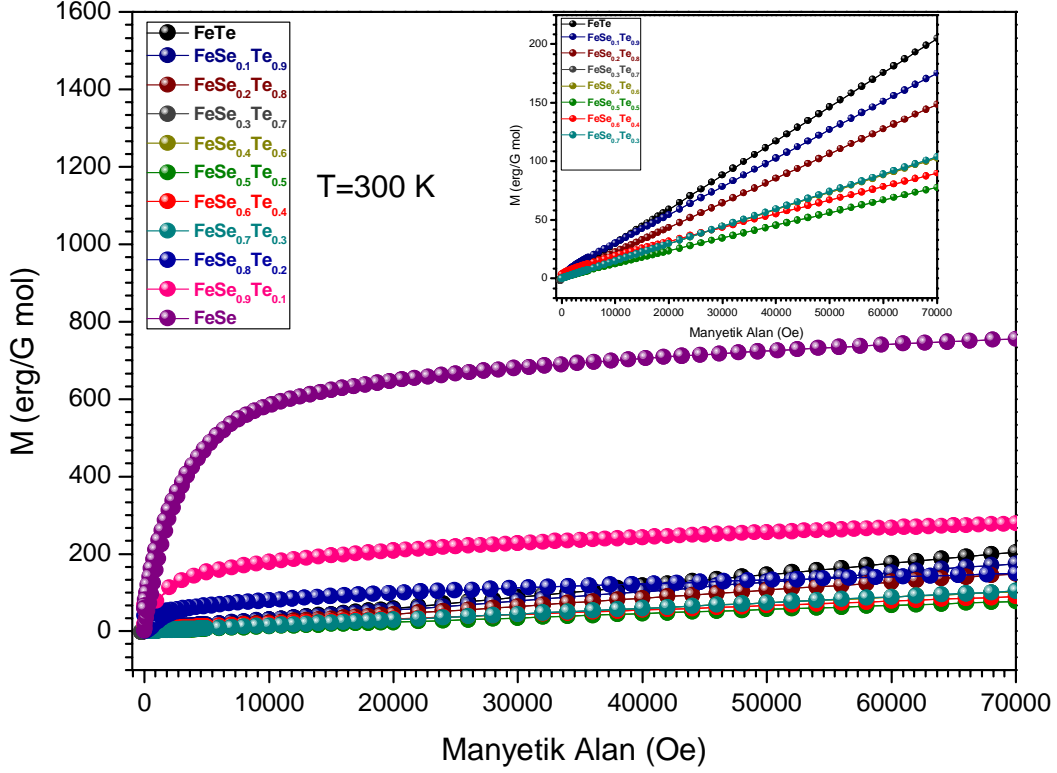
x=0.1 numunesinin 300 K de manyetizasyon manyetik alan ölçümünde malzemenin az eğimli bir eğri çizerek paramanyetik davranış gösterdiği gözlemlendi Malzeme bu davranış sırasında döngü göstermedi. Elde edilen maksimum manyetizasyon 175.241 erg/G·mol' dür.

x=0.2 numunesinin 300 K de manyetizasyon manyetik alan ölçümünde malzemenin lineer bir eğri çizerek paramanyetik davranış gösterdiği gözlemlendi. Malzeme bu davranış sırasında döngü göstermedi. Elde edilen maksimum manyetizasyon 148.448 erg/G·mol' dür.

x=0.3 numunesinin 300 K de manyetizasyon manyetik alan ölçümünde malzemenin hafif bir eğri çizerek paramanyetik davranış gösterdiği gözlemlendi. Malzeme bu davranış sırasında döngü göstermedi. Elde edilen maksimum manyetizasyon 126.896 erg/G·mol' dür.

x=0.4 numunesinin 300 K de manyetizasyon manyetik alan ölçümünde malzemenin lineer bir eğri çizerek paramanyetik davranış gösterdiği gözlemlendi. Malzeme bu davranış sırasında döngü göstermedi. Elde edilen maksimum manyetizasyon 102.765 erg/G·mol' dür.

$x=0.5$  numunesinin 300 K de manyetizasyon manyetik alan ölçümünde malzemenin lineer bir eğri çizerek paramanyetik davranış gösterdiği gözlemlendi. Malzeme bu davranış sırasında döngü göstermedi. Elde edilen maksimum manyetizasyon 77 erg/G·mol' dür.



Şekil 30. FeSe<sub>x</sub>Te<sub>1-x</sub> numunelerinin oda sıcaklığında M-H grafiği

$x=0.6$  numunesinin 300 K de manyetizasyon manyetik alan ölçümünde malzemenin bir eğri çizerek paramanyetik davranış gösterdiği gözlemlendi. Malzeme bu davranış sırasında döngü gösterdi. Elde edilen maksimum manyetizasyon 89.688 erg/G·mol' dür.

$x=0.7$  numunesinin 300 K de manyetizasyon manyetik alan ölçümünde malzemenin lineer bir doğru çizerek paramanyetik davranış gösterdiği gözlemlendi. Malzeme bu davranış sırasında döngü göstermedi. Elde edilen maksimum manyetizasyon 103.752 erg/G·mol' dür.

$x=0.8$  numunesinin 300 K de manyetizasyon manyetik alan ölçümünde malzemenin lineer bir doğru çizerek paramanyetik davranış gösterdiği gözlemlendi. Malzeme bu davranış

sırasında döngü ve doyum gösterdi. Bunun nedeni FeO safsızlıklarıdır. Elde edilen maksimum manyetizasyon 148.939 erg/G·mol' dür.

$x=0.9$  numunesinin 300 K de manyetizasyon manyetik alan ölçümünde malzemenin lineer bir doğru çizerek paramanyetik davranış gösterdiği gözlemlendi. Malzeme bu davranış sırasında döngü ve doyum gösterdi. Bunun nedeni FeO safsızlıklarıdır. Elde edilen maksimum manyetizasyon 278.496 erg/G·mol' dür.

$x=1.0$  numunesinin 300 K de manyetizasyon manyetik alan ölçümünde malzemenin lineer bir doğru çizerek paramanyetik davranış gösterdiği gözlemlendi. Malzeme bu davranış sırasında döngü ve doyum gösterdi. Bunun nedeni malzeme içindeki reaksiyona girmemiş elementel Fe safsızlıklarıdır. Elde edilen maksimum manyetizasyon 755.713 erg/G·mol' dür.

### 3.2.2.2. K Sıcaklıkta M-H Analizi

Çalışmada kullanılan örneklerin manyetizasyon ölçümleri, 2 K'lık sabit sıcaklıklarda, -250 Oe ile +250 Oe arasında manyetik alan uygulayarak alansız soğutma rejiminde 5 döngüde yapıldı. Manyetizasyon ölçümlerinde, manyetik alan değişimleri beş aşamada gerçekleştirildi: 1. aşama (0) - (+Hmaks), 2. aşama (+Hmaks) - (0), 3. aşama (0) - (-Hmaks), 4. aşama (-Hmaks) - (0) ve 5. aşama (0) - (+Hmaks) şeklindedir. Her iki aşama arasında beklenmeden bir sonraki aşamaya geçildi.

VSM sisteminde kullanılan manyetometre "emu" cinsinden manyetik moment ölçmekte olup ölçülen veriler manyetizasyon değeri olan M manyetizasyona dönüştürüldü. 250 Oe manyetik alan altındaki M-H ilmekleri Şekil 31.' de görülmektedir. İçte toplu çizimde net görülmeyen grafikler vardır.

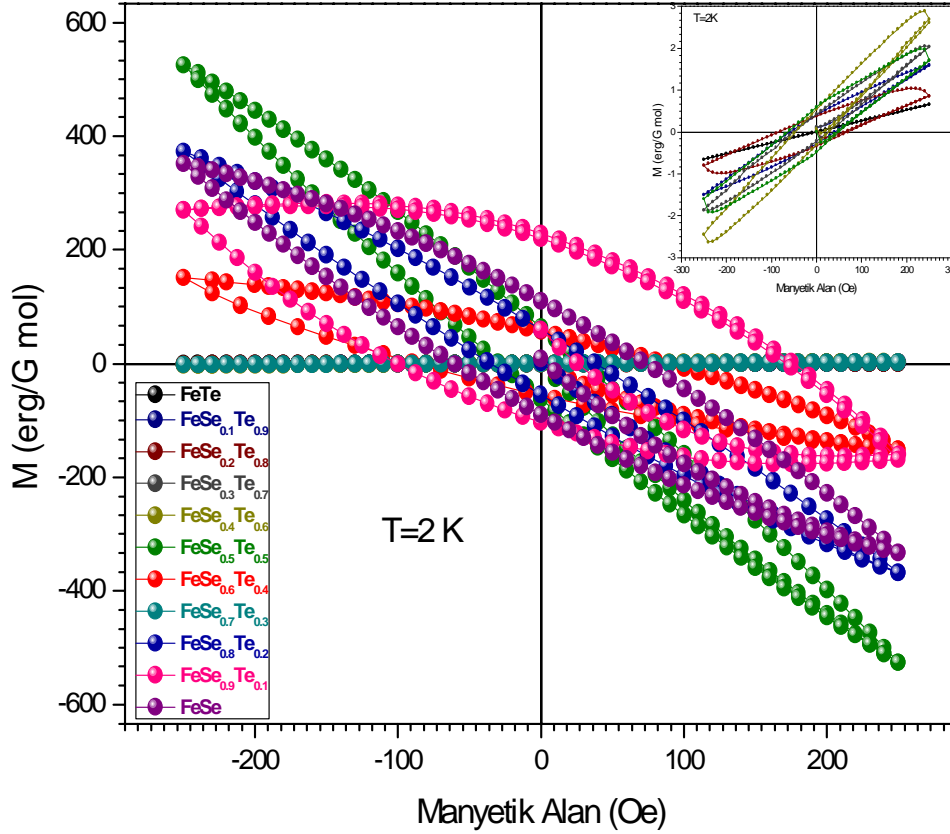
$x=0.0$  numunesinin 2 K de manyetizasyon manyetik alan ölçümünde malzemenin paramanyetik davranış gösterdiği gözlemlendi. Malzeme bu davranış sırasında döngü göstermedi. Elde edilen maksimum manyetizasyon 0.65 erg/G·mol' dür.  $\Delta M_0=0.008$  erg/G·mol' dür.

$x=0.1$  numunesinin 2 K de manyetizasyon manyetik alan ölçümünde malzemenin paramanyetik davranış gösterdiği gözlemlendi. Malzeme bu davranış sırasında döngü gösterdi. Elde edilen maksimum manyetizasyon 1.60 erg/G·mol' dür.  $\Delta M_0=0.683$  erg/G·mol' dür.

$x=0.2$  numunesinin 2 K de manyetizasyon manyetik alan ölçümünde malzemenin paramanyetik davranış gösterdiği gözlemlendi. Malzeme bu davranış sırasında döngü gösterdi. Elde edilen maksimum manyetizasyon 0.86 erg/G mol'dür.  $\Delta M_0=0.71'$  erg/G mol'dür.

$x=0.3$  numunesinin 2 K de manyetizasyon manyetik alan ölçümünde malzemenin paramanyetik davranış gösterdiği gözlemlendi. Malzeme bu davranış sırasında döngü gösterdi. Elde edilen maksimum manyetizasyon 2.04 erg/G mol'dür.  $\Delta M_0=0.639'$  erg/G mol'dür.

$x=0.4$  numunesinin 2 K de manyetizasyon manyetik alan ölçümünde malzemenin paramanyetik davranış gösterdiği gözlemlendi. Malzeme bu davranış sırasında döngü gösterdi. Elde edilen maksimum manyetizasyon 2.69 erg/G mol'dür.  $\Delta M_0=0.8489'$  erg/G mol'dür.



Şekil 31. FeSe<sub>x</sub>Te<sub>1-x</sub> numunelerinin 2 K' de M-H grafiği

$x=0.5$  numunesinin 2 K de manyetizasyon manyetik alan ölçümünde malzemenin diamanyetik davranış gösterdiği gözlemlendi. Malzeme bu davranış sırasında döngü gösterdi.

Elde edilen maksimum manyetizasyon 525.44 erg/G·mol'dür.  $\Delta M_0=126.109'$  erg/G·mol'dür

x=0.6 numunesinin 2 K de manyetizasyon manyetik alan ölçümünde malzemenin diamanyetik davranış gösterdiği gözlemlendi. Malzeme bu davranış sırasında döngü gösterdi. Elde edilen maksimum manyetizasyon 151.335 erg/G·mol'dür.  $\Delta M_0=112.46'$  erg/G·mol'dür

x=0.7 numunesinin 2 K de manyetizasyon manyetik alan ölçümünde malzemenin paramanyetik davranış gösterdiği gözlemlendi. Malzeme bu davranış sırasında döngü gösterdi. Elde edilen maksimum manyetizasyon 1.71 erg/G·mol'dür.  $\Delta M_0=1.075'$  erg/G·mol'dür.

x=0.8 numunesinin 2 K de manyetizasyon manyetik alan ölçümünde malzemenin paramanyetik davranış gösterdiği gözlemlendi. Malzeme bu davranış sırasında döngü gösterdi. Elde edilen maksimum manyetizasyon 373.27 erg/G·mol'dür.  $\Delta M_0=116.27'$  erg/G·mol'dür

x=0.9 numunesinin 2 K de manyetizasyon manyetik alan ölçümünde malzemenin paramanyetik davranış gösterdiği gözlemlendi. Malzeme bu davranış sırasında döngü gösterdi. Elde edilen maksimum manyetizasyon 270.00 erg/G·mol'dür.  $\Delta M_0=332.630'$  erg/G·mol'dür

x=1.0 numunesinin 2 K de manyetizasyon manyetik alan ölçümünde malzemenin paramanyetik davranış gösterdiği gözlemlendi. Malzeme bu davranış sırasında döngü gösterdi. Elde edilen maksimum manyetizasyon 351 erg/G·mol'dür.  $\Delta M_0=200.151'$  erg/G·mol'dür.

### 3.2.3. Direnç Ölçüm Analizi

$\text{FeSe}_x\text{Te}_{1-x}$  numuneleri direnç ölçüm sisteminde 4-300 K Sıcaklıkları arasında direncin sıcaklıkla değişimi incelendi. Bu ölçümlerin sonuçları Şekil 32.' de görülmektedir.

x=0.0 FeTe numunesinin  $\rho(T)$  grafiğinde 71.6 K sıcaklığında antiferromanyetik davranışa geçişi gösteren bir geçiş gerçekleşti.(Sales vd. ,2009). Malzeme bu geçişten sonra metalik davranış gösterdi.

x=0.1 numunesi iletkenliğin sıcaklığa göre değişimi incelendiğinde iletkenlik  $T_{cOn}$  süperiletken geçişin gerçekleşmeye başladığına işaret edecek şekilde 12.6 K'de keskin bir düşüş yaşadı. Normal hal iletkenliği sıcaklık düştükçe geçiş sıcaklığı

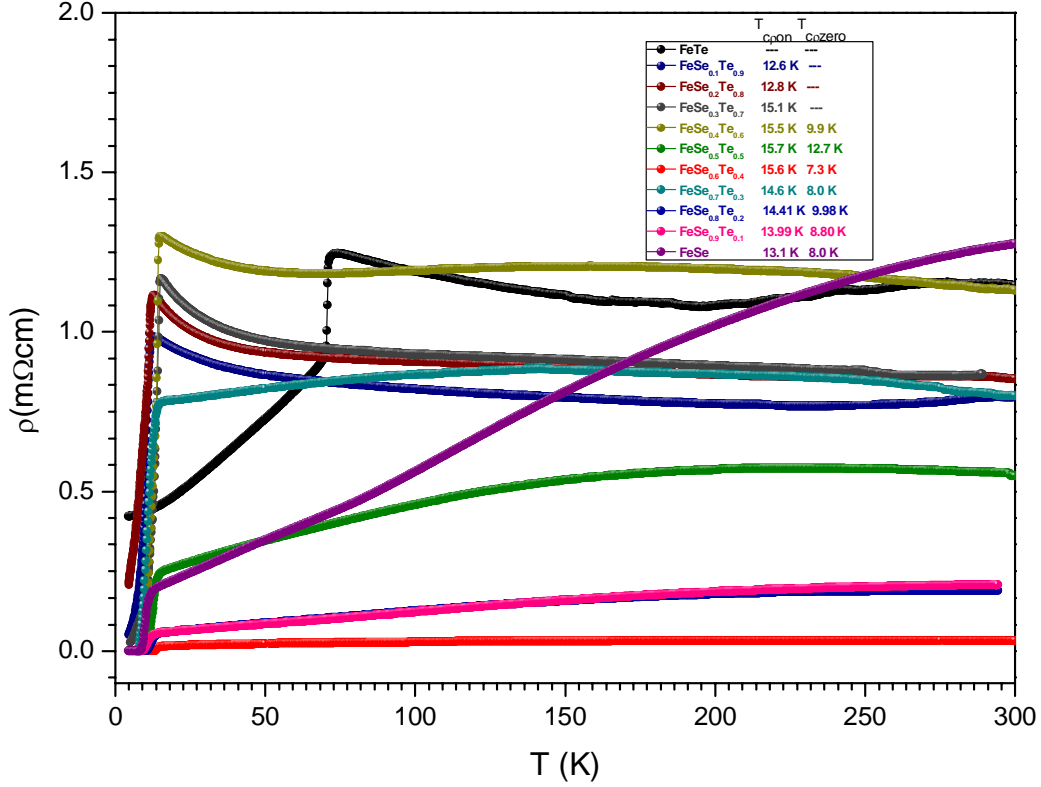


yakınlarında artış göstermiştir bu yarıiletken metal davranışının nedeni nedeni Fe atomlarının farklı pozisyonlarda olmasının etkisi olarak görülebilir.

$x=0.2$  numunesi iletkenliğin sıcaklığa göre değişimi incelendiğinde iletkenlik  $T_{cOn}$  süperiletken geçişin gerçekleşmeye başladığına işaret edecek şekilde şekilde 12.8 K'de keskin bir düşüş yaşadı. Normal hal iletkenliği sıcaklık düştükçe geçiş sıcaklığı yakınlarında artış göstermiştir bu yarıiletken metal davranışının nedeni nedeni Fe atomlarının farklı pozisyonlarda olmasının etkisi olarak görülebilir.

$x=0.3$  numunesi iletkenliğin sıcaklığa göre değişimi incelendiğinde iletkenlik  $T_{cOn}$  süperiletken geçişin gerçekleşmeye başladığına işaret edecek şekilde şekilde 15.1 K'de keskin bir düşüş yaşadı. Normal hal iletkenliği sıcaklık düştükçe geçiş sıcaklığı yakınlarında artış göstermiştir bu yarıiletken metal davranışının nedeni nedeni Fe atomlarının farklı pozisyonlarda olmasının etkisi olarak görülebilir.

$x=0.4$  numunesi iletkenliğin sıcaklığa göre değişimi incelendiğinde iletkenlik  $T_{cOn}$  süperiletken geçişin gerçekleşmeye başladığına işaret edecek şekilde şekilde 15.5 K'de keskin bir düşüş yaşadı. Daha sonra 9.9 K'de numunenin özdirenci sıfıra ulaşmıştır. Bu sıcaklığa  $T_{czero}$  denir. Normal hal iletkenliği sıcaklık düştükçe geçiş sıcaklığı yakınlarında artış göstermiştir bu yarıiletken metal davranışının nedeni nedeni Fe atomlarının farklı pozisyonlarda olmasının etkisi olarak görülebilir.



Şekil 32. FeSe<sub>x</sub>Te<sub>1-x</sub> numunelerinin özdirençlerinin sıcaklıkla değişimi

$x=0.5$  numunesi iletkenliğin sıcaklığa göre değişimi incelendiğinde iletkenlik  $T_{cOn}$  süperiletken geçişin gerçekleşmeye başladığına işaret edecek şekilde şekilde 15.7 K'de keskin bir düşüş yaşadı. Daha sonra 12.7 K'de numunenin özdirenci sıfıra ulaşmıştır. Normal hal iletkenliği sıcaklık düştükçe geçiş sıcaklığı yakınlarında artış göstermiştir bu yarıiletken metal davranışının nedeni nedeni Fe atomlarının farklı pozisyonlarda olmasının etkisi olarak görülebilir.

$x=0.6$  numunesi iletkenliğin sıcaklığa göre değişimi incelendiğinde iletkenlik  $T_{cOn}$  süperiletken geçişin gerçekleşmeye başladığına işaret edecek şekilde şekilde 15.6 K'de keskin bir düşüş yaşadı. Daha sonra 7.3 K'de numunenin özdirenci sıfıra ulaşmıştır. Normal hal iletkenliği sıcaklık düştükçe geçiş sıcaklığı yakınlarında artış göstermiştir bu yarıiletken metal davranışının nedeni nedeni Fe atomlarının farklı pozisyonlarda olmasının etkisi olarak görülebilir.

$x=0.7$  numunesi iletkenliğin sıcaklığa göre değişimi incelendiğinde iletkenlik  $T_{cOn}$  süperiletken geçişin gerçekleşmeye başladığına işaret edecek şekilde şekilde 14.6 K'de

keskin bir düşüş yaşadı. Daha sonra 8.0 K'de numunenin öz direnci sıfıra ulaşmıştır. Normal hal iletkenliği sıcaklık düştükçe geçiş sıcaklığı yakınlarında artış göstermiştir bu yarıiletken metal davranışının nedeni nedeni Fe atomlarının farklı pozisyonlarda olmasının etkisi olarak görülebilir.

$x=0.8$  numunesi iletkenliğin sıcaklığa göre değişimi incelendiğinde iletkenlik  $T_{c0n}$  süperiletken geçişin gerçekleşmeye başladığına işaret edecek şekilde şekilde 14.4 K'de keskin bir düşüş yaşadı. Daha sonra 9.98 K'de numunenin öz direnci sıfıra ulaşmıştır. Normal hal iletkenliği sıcaklık düştükçe azalmıştır yani metalik davranış göstermiştir.

$x=0.9$  numunesi iletkenliğin sıcaklığa göre değişimi incelendiğinde iletkenlik  $T_{c0n}$  süperiletken geçişin gerçekleşmeye başladığına işaret edecek şekilde şekilde 13.99 K'de keskin bir düşüş yaşadı. Daha sonra 8.80 K'de numunenin öz direnci sıfıra ulaşmıştır. Normal hal iletkenliği sıcaklık düştükçe azalmıştır yani metalik davranış göstermiştir.

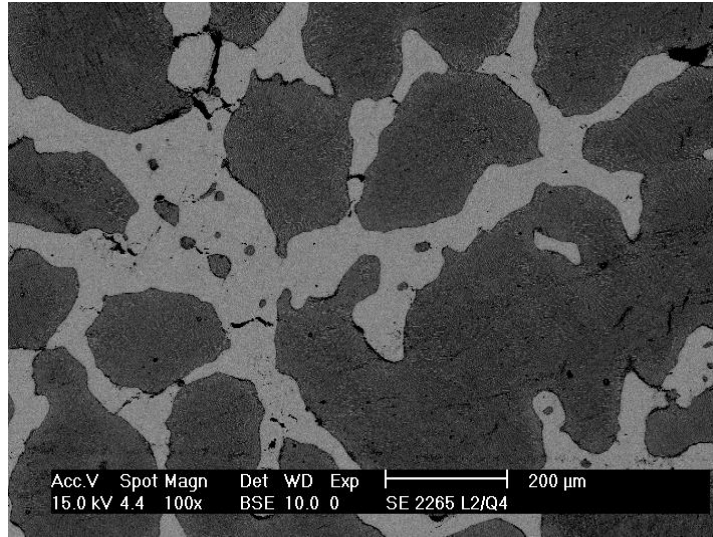
$x=1.0$  numunesi iletkenliğin sıcaklığa göre değişimi incelendiğinde iletkenlik  $T_{c0n}$  süperiletken geçişin gerçekleşmeye başladığına işaret edecek şekilde şekilde 13.1 K'de keskin bir düşüş yaşadı. Daha sonra 8 K'de numunenin öz direnci sıfıra ulaşmıştır. Normal hal iletkenliği sıcaklık düştükçe bir eğrisel olarak azalmıştır bu metalik davranışın nedeni malzeme içinde saf elementel Fe bulunmasıdır. Bu X-Işını analizleriyle uyumaktadır.

#### 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

FeSe<sub>x</sub>Te<sub>1-x</sub> numunelerinin X-Işını kırınım analizleri sonuçlarına göre malzemelerin birçoğu yüksek saflıktadır ve P4/nmm tetragonal fazıyla uyumlu bir şekilde indekslenebilmiştir. Veriler incelendiğinde Tellürce zengin numunelerin yapısal olarak daha saf yapıda olduğu gözlenmiştir. Safsızlıklar özellikle Selenyumca zengin numunelerde hegzagonal faz olarak ortaya çıkmıştır. Bunun nedenini faz diyagramında tetragonal fazın çok dar bir aralık teşkil etmesidir. Farklı olarak FeTe numunesi FeTe<sub>2</sub> ortorombik fazı göstermiştir.

101 piklerinin incelenmesi sonucu piklerin Se katkı oranı arttıkça Yeh ve arkadaşlarının rapor ettikleri şekilde daha büyük 2θ açlarına kaydığı gözlenmiştir (Yeh vd. ,2008).

x=0.7 numunesinde belirgin bir şekilde tüm tetragonal faz pikleri ikiye yarılmıştır buda malzemenin içerisinde aynı yapıda fakat farklı kompozisyonda iki ayrı fazın varlığını gösterir. Bu da Şekil 33. 'deki SEM fotoğraflarından gözlenen bir durumdur.



Şekil 33. FeSe<sub>0.7</sub>Te<sub>0.3</sub> numunesinden bir SEM fotoğrafı. Farklı iki fazın homojen varlığı gözükmektedir.

Sonuç olarak FeSe<sub>x</sub>Te<sub>1-x</sub> numunelerinde Manyetik alan altında ısıtılan örneğe dış manyetik alan öncelikle zayıf bağlantı içeren tane sınırlarından nüfuz eder. Zayıf bağlı tane sınırlarında süperiletkenlik bozulacak bu durum süperiletkenliğe geçiş sıcaklığının

azalmasına sebep olacaktır. 20 G manyetik alan altında geçiş sıcaklığı en büyük olan  $x=0.5$  örneğinin dış manyetik alana karşı daha dayanıklı olduğunu gösterir.  $x=0.8$  numunesine göre diğer süperiletken numunelerin daha geniş geçiş göstermesi bu örneklerin süperiletken taneleri arasında safsızlık fazının ve zayıf bağlantının daha fazla olduğunu gösterir. (Savaşkan, 2007)

ZFC sıfır alanda soğutma modunda Manyetik süseptibilitenin sıcaklığa bağlılığı incelendiğinde süseptibilitelerin süperiletken geçiş gösteren numunelerde normal halde, geçiş göstermeyen numunelerde ise tüm davranışları sıcaklık değişiminden bağımsızdır. Bu da malzemelerin Pauli paramagneti şeklinde davrandıklarını gösterir.

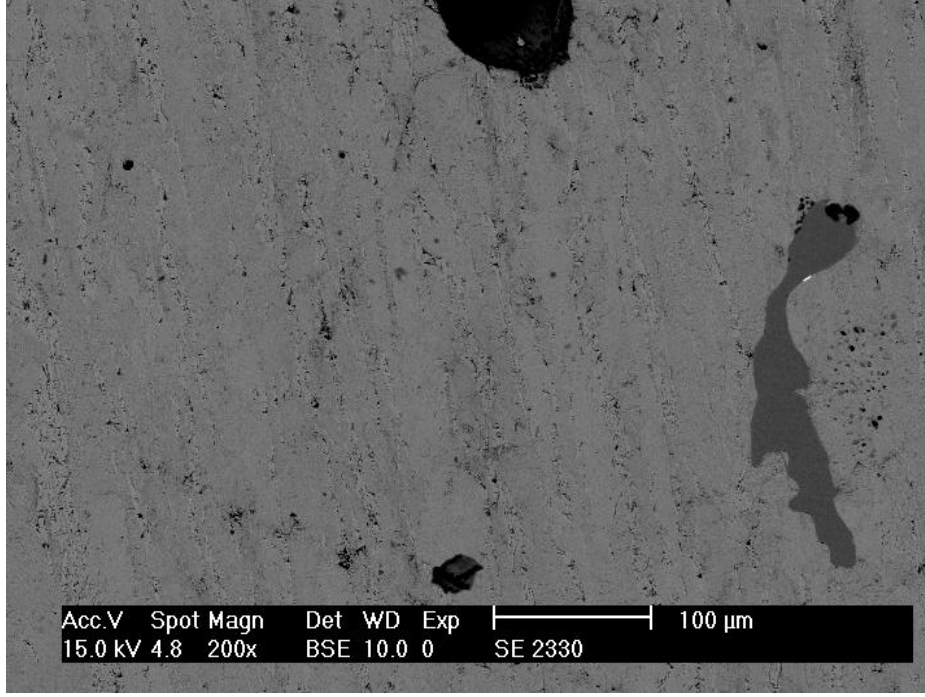
Tüm numunelerde  $\chi$  değerinde düşük sıcaklıklarda bir artış gözlemlendi bu artış Yang ve arkadaşlarının rapor ettiği şekilde düşük sıcaklıklarda Fe (II) pozisyonundaki demir atomlarının Fe (I) pozisyonundaki demir atomlarının katkısını perdelemesiyle ilgili olabilir (Yang vd. ,2010).

$x=0.2, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9$  ve 1 katkı oranına sahip numuneler diamanyetik manyetik moment değerlerine geçiş davranışı göstererek manyetik süperiletkenlik geçişin başlangıcını gösterdi.

Elde edilen sonuçlara göre en yüksek süperiletken geçiş sıcaklığını  $\text{FeSe}_{0.5}\text{Te}_{0.5}$  numunesi M-T grafiğinden 13.77 K geçiş sıcaklığıyla gösterdi. Homojenite bakımından en homojen numune ise M-T grafiğinden  $\text{FeSe}_{0.8}\text{Te}_{0.2}$  numunesidir. Diğer numuneler görece az süperiletkenlik özellikleri gösterdiler.

$x=1.0$  sample numunesi normal halde görece büyük pozitif Pauli süseptibilitesi göstermiştir buda numune içinde gözlenen reaksiyona girmemiş elementel Fe safsızlıklarıyla ilişkilendirilebilir. Bu safsızlıklar EDX analiziyle uyushmaktadır ve Şekil 34.' de gözükmektedir. (Hsu vd. ,2008)

Üretilen  $\text{FeSe}_x\text{Te}_{1-x}$  numunelerinin 1 T alan altında yapılan ölçümlerinde alan değeri M-T grafiğinde uygulanan 20 G' luk alandan daha büyük olduğu için alan etkisi ile süperiletken geçiş gösteren malzemelerin geçişleri daha düşük sıcaklıklara kaymış yada diamanyetik etki göstermeyerek süperiletkenlik özelliklerini yitirmişlerdir. 1 T alan altında en yüksek geçiş sıcaklığının  $x=0.5$  örneğine ait olduğu gözlenmiştir.



Şekil 34. FeSe numunesinden bir SEM fotoğrafı. Koyu alan EDX analizinde elementel Fe olarak tespit edildi

1 T alan altında yapılan ölçümlerinde tüm numuneler Curie-Weiss davranışı göstermiştir. Sales ve arkadaşlarının rapor ettiği gibi oda sıcaklığında süseptibilite Se katkı oranı arttıkça azalmaktadır. (Sales vd. ,2009)

Oda sıcaklığında  $x=0.8, 0.9, 1.0$  numunesi hariç diğer numunelerin M-H eğrileri 0 T' dan 7 T ya kadar lineer davranış göstermiştir. Buda malzemelerde ferromanyetik safsızlık olmadığını gösterir.

2 K' de yapılan ölçümlerde  $x=0.5, 0.6, 0.8, 0.9$  ve 1.0 numunelerinin M-H eğrileri saf diyamanyetik davranış göstermiştir. Kalan numuneler ise paramanyetik davranış göstermişlerdir.

Direnç ölçümlerinde  $x=1$  numunesi normal halde metalik davranış göstermiştir Bunun nedeni malzeme içerisinde bulunan az miktardaki elementel demirdir. Bu sonuç Şekil 33'te gösterilen SEM fotoğrafının EDX sonuçlarıyla uyusmaktadır.

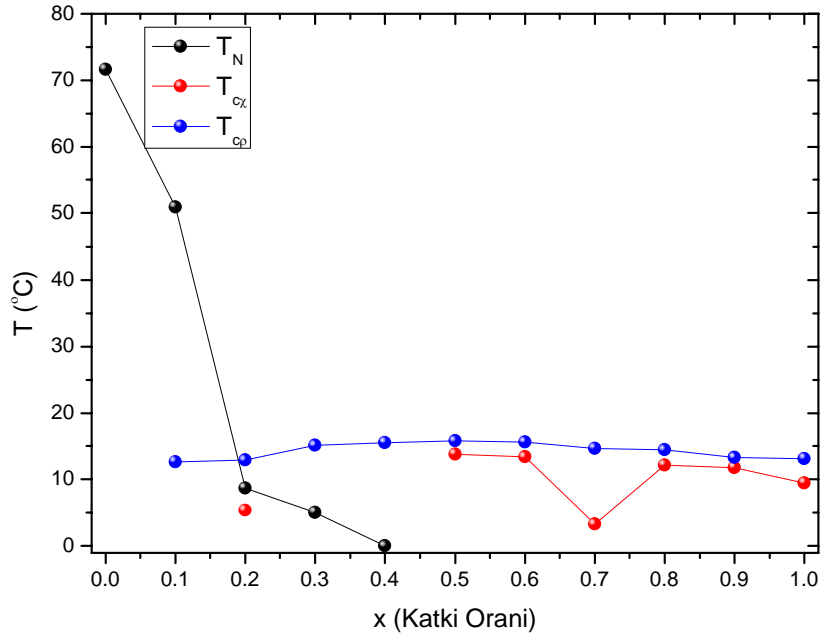
$x=0.0, 0.8, 0.9$  numuneleri haricindeki numunelerin Normal hal iletkenliği sıcaklık düştükçe geçiş sıcaklığı yakınlarında artış göstermiştir bu yarıiletken metal davranışının nedeni Fe atomlarının farklı pozisyonlarda olmasının etkisi olarak görülebilir.

$x=0.0$  numunesi haricindeki numuneler süperiletken geçişin başlangıcı olan özdirençte ani düşüş göstermiştir.

$x=0.0, 0.1, 0.2, 0.3$  numuneleri haricindeki numuneler süperiletken geçişin tamamlandığını gösteren olan öz dirençin sıfıra ulaşması.

$x=0.0$  numunesi Sales ve arkadaşlarının rapor ettiği şekilde 72.2 K 'de manyetik faz değişimine işaret eden bir geçiş göstermiştir. (Sales vd. ,2009)

Elde edilen verilerle oluşturulan üretilen  $\text{FeSe}_x\text{Te}_{1-x}$  numunelerinin manyetik ve süperiletkenlik faz diyagramı Şekil. 35' te gösterilmiştir. Bu veriler Liu ve arkadaşlarının sunduğu verilerle uyumaktadır (Liu vd. ,2010)



Şekil 35.  $\text{FeSe}_x\text{Te}_{1-x}$  numunelerinin manyetik süperiletkenlik faz diyagramı

Elde edilen sonuçlara göre;

Üretilen numuneler arasında en yüksek süperiletken geçiş sıcaklığını  $\text{FeSe}_{0.5}\text{Te}_{0.5}$  numunesi M-T ve direnç ölçümlerinden sırasıyla 13.77 K ve 15.7 K geçiş sıcaklığıyla gösterdi.

Homojenite bakımından en homojen numune ise M-T grafiğine göre  $\text{FeSe}_{0.8}\text{Te}_{0.2}$  numunesidir. Manyetizasyon değeri bakımından en iyi numune ise  $\text{FeSe}_{0.5}\text{Te}_{0.5}$  dir.

$\text{FeSe}$  numunesine  $\text{Te}$  katkısının  $x=0.5$  katkısında maksimum olacak şekilde süperiletkenlik özellikleri iyileştirdiği katkı oranı arttıkça süperiletkenlik özelliklerinin azaldığı ve  $\text{FeTe}$  numunesinde süperiletkenliğin tamamen ortadan kalktığı gözlemlendi.

## 5. ÖNERİLER

Oluşan fazların süperiletkenlik özelliklerine etkisinin fazla olması ve malzemenin tek faz oluşumunda çok kararlı olmayışı nedeniyle üretilen numunelerde fazların analizi ve incelenmesine daha fazla önem verilmelidir.

Külçe süperiletkenlik özelliklerini arttıran özelliklerin veya ortaya çıkmasını sağlayan fazların anlaşılabilmesi için  $x=0.4$  ve  $x=0.6$  katkı oranları arasında daha detaylı bir çalışma yapılmalıdır.

Ayrıca  $x=0.0$  ve  $x=0.1$  katkı oranları arasında daha detaylı çalışma yapılarak antiferromanyetik davranışla ilgili daha kesin bilgiler elde edilmelidir.

Fe atomlarının farklı pozisyonlarda bulunmasıyla ilgili detaylı bilgi edinmek için Mösbauer spektroskopi analizi yapılabilir. Ayrıca elde ettiğimiz sonuçları desteklemek için Hall etkisi ve Özısı ölçümleri yapılabilir.

Özellikle  $x=0.5$  numunesinin gösterdiği optimum süperiletkenlik özelliklerinden dolayı ince film üretimi ve tel üretimi denenebilir. Bu üretilen malzemelerin de farklı uygulama alanlarında elektronik aygıtlar gibi uygulamaları yapılabilir.



## 6. KAYNAKLAR

- Altunbaş, M. , Köksal F. ve Dinçer M. , 2006. Katıhal Fiziği, 2. Baskı Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- Ashcroft, N. W. ve Mermin N. D. ,1976. Solid State Physics Harcourt College Publishers New York.
- Burns G. , 1990. Solid State Physics Academic Press, California.
- Canfield P. C. and Bud'ko S. L. , 2005. Low Temperature Superconductivity is Warming up, Scientific American, 81.
- Canfield C. P. , 2010. Intermetallic Superconductivity in the post Copper-oxide Age, plenary talk ICSM 2010 , 22010, 45.
- Chen, G. F. , Li, Z. , Wu, D. , Li, G. , Hu, W. Z. , Dong, J. , Zheng, P. , Luo, J. L. , Wang, N. L. , 2008. Superconductivity at 41 K and its Competition with Spin-density-wave instability in layered  $\text{CeO}_{1-x}\text{F}_x\text{FeAs}$ , Phys Rev Lett. 100, 247002.
- Chen, X. H. , Wu, T. , Wu, G. , Liu, R. H. , Chen, H. and Fang, D. F. ,2008. Superconductivity at 43 K in  $\text{SmFeAsO}_{1-x}\text{F}_x$  , Nature 453, 761-762.
- Chu, C.W. , Chen, F. , Gooch, M. , Guloy, A. M. , Lorenz, B. , Lv, B. , Sasmal, K. , Tang, Z. J. , Tapp, J. H. and Xue, Y. Y. , 2009. Superconductivity in Iron-Pnictides The synthesis and characterization of  $\text{LiFeAs}$  and  $\text{NaFeAs}$ , Physica C: Superconductivity 469, 9-12.
- Chu, Y. , Chen, C. , Luo, J. , Yan, D. and Wu, M. , 2009, Tellurium Substitution Effect on Superconductivity of the  $\alpha$ -phase Iron Selenide EPL, 84, 37002.
- Deng, Z. , Wang, X. C. , Liu, Q. Q. , Zhang, S. J. , Lv, Y. X. , Zhu, J. L. , Yu, R. C. and Jin, C. Q. ,2009. A new "111" type Iron pnictide Superconductor  $\text{LiFeP}$  EPL, 88, 47008.
- Fossheim ve Sudbo , 2004. Superconductivity Physics and Applications, Wiley.
- Garbarino, G. , Sow, A. , Lejay, P., Sulpice, A. , Toulemonde P. , Mezouar M. and Núñez-Regueiro, M., 2009, High-temperature superconductivity ( $T_c$  onset at 34 K) in the High-pressure Orthorhombic phase of  $\text{FeSe}$  EPL, 86, 27001.
- Ginzburg, V. L. and Andryushin, E. A. , 1970. Superconductivity, Revised Edition e-book.

- Hsu, F. , Luo, J. , Yeh, K. , Chen, T. , Huang, T. , Wu, P. M. , Lee, Y. , Huang, Y. , Chu, Y. , Yan, D. , and Wu, M. ,2008, Superconductivity in the PbO-type structure  $\alpha$ -FeSe, Proc Natl Acad Sci ,105,38, 14262–14264.
- Jeevan, H. S. , Hossain, Z. , Kasinathan, D. , Rosner, H. , Geibel, C. , and Gegenwart, P. , 2008, High-temperature Superconductivity in  $\text{Eu}_{0.5}\text{K}_{0.5}\text{Fe}_2\text{As}_2$ , PhysRevB. , 78, 092406.
- Kamihara, Y. , Hiramatsu, H., Hirano, M., Kawamura, R., Yanagi, H., Kamiya, T. and Hosono, H. ,2006, Iron-Based Layered Superconductor:  $\text{LaOFeP}$ , J. Am. Chem. Soc. , 128, 31, 10012–10013.
- Kamihara, Y. , Watanabe, T., Hirano, M., and Hosono, H.,2008. Iron-Based Layered Superconductor  $\text{La}[\text{O}_{1-x}\text{F}_x]\text{FeAs}$  ( $x = 0.05\text{--}0.12$ ) with  $T_c = 26$  K, J. Am. Chem. Soc., 130, 11, 3296–3297.
- Kito, H. , Hiroshi, E. and Akio, I. ,2008, Superconductivity at 54 K in F-Free  $\text{NdFeAsO}_{1-y}$  , J. Phys. Soc. Jpn. 77, 063707.
- Liu, T. J. , Hu, J., Qian, B., Fobes, D., Mao, Z. Q., Bao, W., Reehuis, M., Kimber, S. A. J., Prokeš, K., Matas, S., Argyriou, D. N., Hiess, A., Rotaru, A., Pham, H., Spinu, L., Qiu, Y., Thampy, V., Savici, A. T., Rodriguez, J. A. and Broholm, C.,2010, From  $(\pi,0)$  magnetic order to superconductivity with  $(\pi,\pi)$  magnetic resonance in  $\text{Fe}_{1.02}\text{Te}_{1-x}\text{Se}_x$ , Nature Materials, DOI: 10.1038/NMAT2800.
- Miyazawa K. , Kihou, K. , Shirage, P. M. , Lee, C. , Kito, H. , Eisaki, H. , and Iyo, A. , 2009. Superconductivity above 50 K in  $\text{LnFeAsO}_{1-y}$  ( $\text{Ln} = \text{Nd, Sm, Gd, Tb, and Dy}$ ) Synthesized by High-Pressure Technique, J. Phys. Soc. Jpn. 78, 034712.
- Mizuguchi, Y. , Tomioka F. , Tsuda S. , Yamaguchi, T. , Takano, Y. , 2008. Superconductivity at 27 K in Tetragonal FeSe under High Pressure Arxiv0807, 4315.
- Mizuguchi, Y. Tomioka F., Tsuda S. , Yamaguchi, T. and Takano, Y., 2009. Substitution Effects on FeSe Superconductor J. Phys. Soc. Jpn. 78, 074712.
- Okamoto, H. , 1990. Structural Phase Diagram of FeTe. Binary Alloy Phase Diagrams, 2, 1769.
- Okamoto, H. , 1991. Structural Phase Diagram of FeSe , Journal of Phase Equilibria 12, 3.
- Prestemon S. , Paolo F. and Todesco E. , 2007. Basics of superconductivity Superconducting Accelerator Magnets, USPAS.
- Ren, Z. A, Yang, J. , Lu, W. , Yi, W. , Shen, X. , Li, Z. , Che, G. , Dong, X. , Sun, L. , Zhou, F. and Zhao, Z. , 2008. Superconductivity in the iron-based F-doped layered quaternary compound  $\text{Nd}[\text{O}_{1-x}\text{F}_x]\text{FeAs}$ , EPL, 82, 57002.

- Ren, Z. A. , Yang, J. , Lu, W. , Yi, W. , Che, G. C. , Dong, X. L. , Sun, L. L. , Zhao, Z. X. ,2008. Superconductivity at 52 K in iron based F doped layered quaternary compound  $\text{Pr}[\text{O}_{1-x}\text{F}_x]\text{FeAs}$ , Materials Research Innovations, 12, 3, 105-106.
- Rosenberg, H. M. , 1997. Solid State 2/E, Oxford Physics Publications, Oxford.
- Rotter, M. , Tegel, M. , Johrendt, D. , Schellenberg, I. , Hermes, W. , and Pöttgen, R. , 2008. Spin-density-wave anomaly at 140 K in the ternary Iron arsenide  $\text{BaFe}_2\text{As}_2$ , 10.1103/PhysRevB. 78, 020503.
- Rotter, M. , Tegel, M. and Johrendt, D. ,2008. Superconductivity at 38 K in the Iron Arsenide  $(\text{Ba}_{1-x}\text{K}_x)\text{Fe}_2\text{As}_2$ , Phys. Rev. Lett., 101, 107006.
- Rudolf, G. ve Marx, A. , 2008. Festkörperphysik Rudolf Gross—Garching, Oktober.
- Putti M. , Pallecchi, I. , Bellingeri, E. , Cimberle, M. R. , Tropeano, M. , Ferdeghini, C. , Palenzona, A. , Tarantini, C. , Yamamoto, A. , Jiang, J. , Jaroszynski, J. , Kametani, F. , Abraimov, D. , Polyanskii, A , Weiss, J. D. , Hellstrom, E. E. , Gurevich, A. , Larbalestier, D. C. , Jin, R., Sales, B. C. , Sefat, A. S. , McGuire, M. A., Mandrus, D. , Cheng, P. , Jia, Y. , Wen, H. H. , Lee, S. and Eom, C. B. , 2010. New Fe-based Superconductors: Properties Relevant for Applications Supercond. Sci. Technol. 23, 034003.
- Sales B. C. , A. S. Sefat, M. A. McGuire, R. Y. Jin, and D. Mandrus, Y. Mozharivskyj, 2009, Bulk superconductivity at 14 K in single crystals of  $\text{Fe}_{1+y}\text{Te}_x\text{Se}_{1-x}$  Physical Review B 79, 094521, 2009.
- Sasmal, K. , Lv, B. , Lorenz, B. , Guloy, A. M. , Chen, F. , Xue, Y. and Chu, C. , 2008. Superconducting Fe-Based Compounds  $(\text{A}_{1-x}\text{Sr}_x)\text{Fe}_2\text{As}_2$  with  $\text{A}=\text{K}$  and  $\text{Cs}$  with Transition Temperatures up to 37 K , Phys. Rev. Lett. 101, 107007.
- Savaşkan B. , 2007.  $\text{MgB}_2$  Süperiletkeninin üretimi ve Bazı Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Sefat, A. S. , Jin, R. , McGuire, M. A. , Sales, B. C. , Singh, D. J. and Mandrus, D. , 2008. Superconductivity at 22 K in Co-Doped  $\text{BaFe}_2\text{As}_2$  Crystals, Phys.Rev.Lett.101,117004.
- Takahashi, H. , Igawa K. , Arii, K., Kamihara, Y., Hirano, M. and Hosono, H. , 2008. Superconductivity at 43 K in an iron-based layered compound  $\text{LaO}_{1-x}\text{F}_x\text{FeAs}$ , Nature 453, 376-378.
- Walid M. , 2009. Iron-Pnictide and Cuprate High-temperature Superconductors Investigated by Photoemission Spectroscopy Department of Complexity Science and Engineering, University of Tokyo.

- Wang, C. , L. Li. , S. Chi. , Z., Zhu, Z. , Ren, Y., Li, Y., Wang, Lin, X. , Luo, Y. , Jiang, S. , Xu, X. , Cao, G. and Xu, Z. , 2008. Thorium-doping–induced Superconductivity up to 56 K in  $Gd_{1-x}Th_xFeAsO$ , EPL , 83, 67006.
- Wang, X. C. , Liu, Q. Q., Lv, Y.X., Gao, W.B., Yang, L.X., Yu, R.C., Li, F.Y. and Jin, C.Q., 2009. The Superconductivity at 18 K in LiFeAs System EPL, 87, 37004.
- Yang, J. , Matsui, M. , Kawa, M. , Ohta, H. , Michioka, C. , Dong, C. , Wang, H. , Yuan, H. , Fang, M. and Yoshimura, K. ,2010. Magnetic and Superconducting Properties in Single Crystalline  $Fe_{1+\delta}Te_{1-x}Se_x$  ( $x < 0.50$ ) System, Journal of the Physical Society of Japan 79, 074704.
- Yeh, K. , Huang, T. , Huang, Y. , Chen, T. , Hsu, F. , Wu, P. M. , Lee, Y. , Chu, Y. , Chen, C. , Luo, J. , Yan, D. and Wu, M. ,2008, Tellurium substitution effect on Superconductivity of the  $\alpha$ -phase Iron selenide, Yeh EPL , 84, 37002.
- Zhang, S. J. , Wang, X. C. , Liu, Q. Q. , Lv, Y. X. , Yu, X. H. , Lin, Z. J. , Zhao, Y. S. , Wang, L. , Ding, Y. , Mao, H. K. and Jin, C. Q. , 2008. Superconductivity at 31 K in the “111”-type Iron arsenide Superconductor  $Na_{1-x}FeAs$  Induced by Pressure, EPL , 88, 47008.
- Zhao, K. , Liu, Q. Q. , Wang, X. C. , Deng, Z. , Lv, Y. X. , Zhu, J. L. , Li, F. Y. and Jin, C. Q. , 2010. Superconductivity above 33 K in  $(Ca_{1-x}Na_x)Fe_2As_2$  , J. Phys.: Condens. Matter , 22, 222203.
- Zhenyu, L. and Stavrinadis, A. , 2008. Growth of Bulk Single Crystal and its Application to SiC based on the lecture of Prof. Didier Chaussende.

URL 1. [http://www.lanl.gov/mst/mst8/crystal\\_growth.shtml](http://www.lanl.gov/mst/mst8/crystal_growth.shtml) (25.12.2010)

URL 2. <http://www2.warwick.ac.uk/fac/sci/physics/research/condensedmatt/supermag/research/superconductivity/>(25.12.2010)

## ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında Trabzon ili Of ilçesinde doğdu. İlkokulu 1993-1997 yılları arasında İzmir Eşrefpaşa İlköğretim Okulu'nda okudu. Ortaokul ve liseyi bir yıl yabancı dil olmak üzere İzmir Konak Anadolu Lisesi'nde 1997-2004 yılları arasında tamamladı.

Lisans öğrenimini Ege Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nde 2004-2008 yılları arasında tamamladı.

2008 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim dalında yüksek lisans yapmaya hak kazandı. Aynı sene içerisinde Rize Üniversitesi'ne Araştırma Görevlisi olarak atandı.

Halen bu görevine devam etmekte olan araştırmacı iyi derecede İngilizce bilmektedir.