



T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

SÜPERİLETKENLERDE KALDIRMA KUVVETİNİN İNCELENMESİ

SULTAN ÖZEN

Ağustos 2019

T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

SÜPERİLETKENLERDE KALDIRMA KUVVETİNİN İNCELENMESİ

SULTAN ÖZEN

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Doç. Dr. İbrahim KARACA

Ağustos 2019

Sultan ÖZEN tarafından **Doç. Dr. İbrahim KARACA** danışmanlığında hazırlanan “**Süperiletkenlerde Kaldırma Kuvvetinin İncelenmesi**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Fizik** Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. İbrahim KARACA, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi M. İzzettin YILMAZER, Erciyes Üniversitesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Selva BÜYÜKAKKAŞ, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından/..../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun/..../20.... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

Doç. Dr. Murat BARUT
MÜDÜR

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.



Sultan ÖZEN

ÖZET

SÜPERİLETKENLERDE KALDIRMA KUVVETİNİN İNCELENMESİ

ÖZEN, Sultan

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. İbrahim KARACA

Ağustos 2019, 35 sayfa

Eritme büyütme yöntemiyle Yb katkılı Sm123 süperiletkenlerini ürettik. Örnekler askılama kuvveti açısından incelenmiştir. Manyetik kaldırma, yeni tasarlanan dikey manyetik askılama kuvveti ölçüm sistemi kullanılarak hesaplanmıştır. Bu ölçüm Sıfır Alan Soğutmalı (ZFC) işlemiyle 77K'da Nb-Fe-B sabit mıknatısı ($\sim 0,5T$) ile yapılmıştır. Askılama kuvveti, dinamik eğri uydurma yöntemi ile analiz edildi. En uygun eğri ve denklemleri $F = F_0 + ae^{-bz}$ olarak belirlendi. Yükselme işlemi sırasında SmYb6 örneğinde daha yüksek histerezis belirlendi. Tüm örneklerde regresyon neredeyse 1'e eşittir. Öte yandan, eğri parçaları uygun ve doğru. Bu sonuçlar, üretilen numunelerin teknolojik yönden rulman sistemlerine, manyetik sensörlere ve diğerlerine uygulanabileceğini göstermiştir.

Anahtar Sözcükler: Sm123 süperiletkenleri, Yb katkılama, eritme büyütme yöntemi, kaldırma kuvveti.

SUMMARY

INVESTIGATION OF LEVITATION FORCE IN SUPERCONDUCTORS

ÖZEN, Sultan

Niğde Ömer Halisdemir University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. İbrahim KARACA

August 2019, 35 pages

We produced Yb doped Sm123 superconductors by the melt growth method. The samples have investigated in terms of levitation force. The magnetic levitation calculated by using our newly designed vertical magnetic levitation force measurement system. It has the Nb-Fe-B permanent magnet ($\sim 0.5T$) at 77 K with Zero Field Cooled process. The levitation force results analyzed by dynamic curve fit method. The best fit curve and their equation were determined as $F = F_o + ae^{-bz}$. The higher hysteresis was determined on the sample SmYb6 during the ascending process. All sample regression nearly equals to 1. On the other hand, the curve fittings are suitable and correct. These results showed that the produced samples can be applied to bearing systems, magnetic sensors and others in technological respect.

Keywords: Sm123 superconductors, Yb doping, melt growth method, levitation force.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
SUMMARY	v
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
BÖLÜM I TEMEL BİLGİLER	1
1.1 Giriş	1
1.2 Maglev Neden Önemlidir?.....	4
1.3 Meissner Özelliği.....	6
1.4 Bakır Bölgesine Yapılan Katkılamalar ve Özellikleri	7
BÖLÜM II ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	9
BÖLÜM III GEREÇ VE YÖNTEM	12
BÖLÜM IV BULGULAR, TARTIŞMA VE SONUÇ.....	14
4.1 Askılama Kuvveti Sonuçları.....	14
4.1.1 Sinterlenmiş numunelerin askılama kuvveti sonuçları.....	14
4.1.1.1 Sinterlenmiş numunelerin azalan uzaklıkta askılama kuvveti sonuçları	14
4.1.1.2 Sinterlenmiş numunelerin artan uzaklıkta askılama kuvveti sonuçları	15
4.1.2 Tavlama işlemi yapılmış numunelerin askılama kuvveti sonuçları.....	15
4.1.2.1 SmSaf (katkısız) numunesinin askılama kuvveti sonuçları.....	16
4.1.2.2 SmYb3 numunesinin askılama kuvveti sonuçları	16
4.1.2.3 SmYb4 numunesinin askılama kuvveti sonuçları	17
4.1.2.4 SmYb5 numunesinin askılama kuvveti sonuçları	18
4.1.2.5 SmYb6 numunesinin askılama kuvveti sonuçları	19
4.2 Askılama Kuvvet-Uzaklık Eğrisi İçin En Uygun Denklem Sonuçları	20
4.2.1 Uzaklık azalırken kuvvet-uzaklık eğrisi için en uygun denklem sonuçları....	20
4.2.1.1 Uzaklık azalırken SmSaf (katkısız) numunesinin kuvvet-uzaklık eğrisi için en uygun denklem sonuçları	20

4.2.1.2 Uzaklık azalırken SmYb3 numunesinin kuvvet-uzaklık eğrisi için en uygun denklem sonuçları.....	21
4.2.1.3 Uzaklık azalırken SmYb4 numunesinin kuvvet-uzaklık eğrisi için en uygun denklem sonuçları.....	22
4.2.1.4 Uzaklık azalırken SmYb5 numunesinin kuvvet-uzaklık eğrisi için en uygun denklem sonuçları.....	22
4.2.1.5 Uzaklık azalırken SmYb6 numunesinin kuvvet-uzaklık eğrisi için en uygun denklem sonuçları.....	23
4.2.2 Uzaklık artarken kuvvet-uzaklık eğrisi için en uygun denklem sonuçları.....	24
4.2.2.1 Uzaklık artarken SmSaf numunesinin kuvvet-uzaklık eğrisi için en uygun denklem sonuçları.....	24
4.2.2.2 Uzaklık artarken SmYb3 numunesinin kuvvet-uzaklık eğrisi için en uygun denklem sonuçları.....	25
4.2.2.3 Uzaklık artarken SmYb4 numunesinin kuvvet-uzaklık eğrisi için en uygun denklem sonuçları.....	26
4.2.2.4 Uzaklık artarken SmYb5 numunesinin kuvvet-uzaklık eğrisi için en uygun denklem sonuçları.....	26
4.2.2.5 Uzaklık artarken SmYb6 numunesinin kuvvet-uzaklık eğrisi için en uygun denklem sonuçları.....	27
KAYNAKLAR	31
ÖZGEÇMİŞ	35

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Tavlanmış numunelerde uzaklık azalırken kuvvet-uzaklık için en uygun eğriye ait denklem ve bileşenleri	24
Çizelge 4. 2. Tavlanmış numunelerde uzaklık artarken kuvvet-uzaklık için en uygun eğriye ait denklem bileşenleri.....	28



ŞEKİLLER DİZİNİ

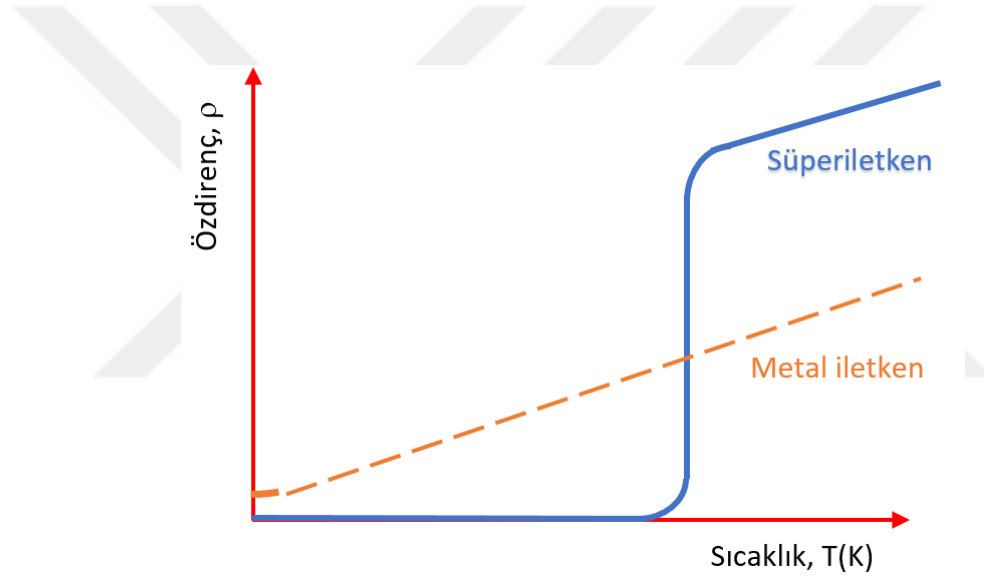
Şekil 1.1. Metal iletken ve süperiletken malzeme için özdirenç sıcaklık değişimi	1
Şekil 1.2. Sanatçının uzay aracını üst atmosfere yönlendirebilen manyetik olarak havalandırılan düşük basınçlı bir tüp olan StarTram gösterimi	3
Şekil 1.3. Maglev treni.....	4
Şekil 1.4. Süperiletken bir malzemedeki zayıf bir dış manyetik alanın dışarlanması	6
Şekil 3.1. Sürekli mıknatıs (PM) ile yüksek sıcaklık süperiletken (HTS) arasındaki manyetik kaldırma sistemi	12
Şekil 4.1. Sinterlenmiş numunelerin azalan uzaklıkta askılama kuvveti sonuçları	14
Şekil 4.2. Sinterlenmiş numunelerin artan uzaklıkta askılama kuvveti.....	15
Şekil 4.3. SmSaf (katkısız) numunesinin askılama kuvveti.....	16
Şekil 4.4. SmYb3 numunesinin askılama kuvveti	17
Şekil 4.5. SmYb4 numunesinin askılama kuvveti	17
Şekil 4.6. SmYb5 numunesinin askılama kuvveti sonuçları	18
Şekil 4.7. SmYb6 numunesinin askılama kuvveti	19
Şekil 4.8. SmSaf numunesinin için en uygun denklem grafiği.....	21
Şekil 4.9. SmYb3 numunesinin için en uygun denklem grafiği	21
Şekil 4.10. SmYb4 numunesinin için en uygun denklem grafiği	22
Şekil 4.11. SmYb5 numunesinin için en uygun denklem grafiği	23
Şekil 4.12. SmYb6 numunesi için uzaklık azalırken en uygun denklem grafiği.....	23
Şekil 4.13. SmSaf numunesi için uzaklık artarken en uygun denklem grafiği.....	25
Şekil 4.14. SmYb3 numunesi için uzaklık artarken en uygun denklem grafiği	25
Şekil 4.15. SmYb4 numunesi için uzaklık artarken en uygun denklem grafiği	26
Şekil 4.16. SmYb5 numunesi için uzaklık artarken en uygun denklem grafiği	27
Şekil 4.17. SmYb6 numunesi için uzaklık artarken en uygun denklem grafiği	27

BÖLÜM I

TEMEL BİLGİLER

1.1 Giriş

Süperiletkenlik, maddenin kritik geçiş sıcaklığı olarak adlandırılan belirli bir T_k sıcaklığına kadar soğutulduğu zaman ani şekilde elektriksel direncini tamamen kaybetmesi olarak tanımlanmaktadır (Şekil 1.1). 1911 yılında Heike Kamerlingh Onnes 4,5 K'de $125 \mu\Omega$ olan katı cıvanın elektriksel direncinin $\sim 4,2$ K'de keskin bir düşüş göstererek $3 \mu\Omega$ 'dan daha düşük olduğunu keşfetti (Onnes, 1911).



Şekil 1.1. Metal iletken ve süperiletken malzeme için özdirenç sıcaklık değişimi

1986 yılına kadar yapılan araştırmalarda 23K üzerinde süperiletken geçiş görülmemiştir. Sıcaklık aralığının sınırlı olmasına rağmen süperiletkenler, yüksek enerji hızlandırıcı laboratuvarları ve nükleer manyetik rezonans görüntüleme gibi bazı özel alanlarda uygulama imkanı buldu. 1986 yılında Bednorz ve Müller'in (Bednorz vd., 1986) 30 K'den daha yüksek sıcaklıkta geçiş gösteren Cu-O seramikler olarak adlandırılan $La_{2-x}Ba_xCuO_{4-y}$ seramik oksitleri keşfetmesiyle süperiletkenlik yeniden popüler hale geldi ve yeni malzemeler üzerinde araştırmalar başlatıldı. 1987 yılında Wu ve arkadaşlarının (Wu vd., 1987) $T_k \approx 93$ K olan $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ yüksek sıcaklık seramiklerini keşfiyle, bu tür malzemeler üzerindeki çalışmalar daha da yaygınlaştı. Çünkü sıvı azot, sıvı helyumdan daha yüksek sıcaklıkta çalışma ortamı sağlamakta (77

K), maliyeti de daha ucuz olmaktadır. 1988 yılında Maeda ve arkadaşları (Maeda vd., 1988) Ca'lu BiSrCaCu₂O_x bileşiğinde 105 K'de süperiletkenlik gözlediler. Ayrıca 1988 yılında Sheng ve Herman (Sheng vd., 1988) tarafından Tl-Ba-Cu-O sisteminde süperiletkenlik geçişi gözlemlendi. Parkin ve arkadaşları (Parkin vd., 1988) Tl- tabanlı süperiletkenlerde bilinen en yüksek geçiş sıcaklığını 125 K olarak gözlediler.

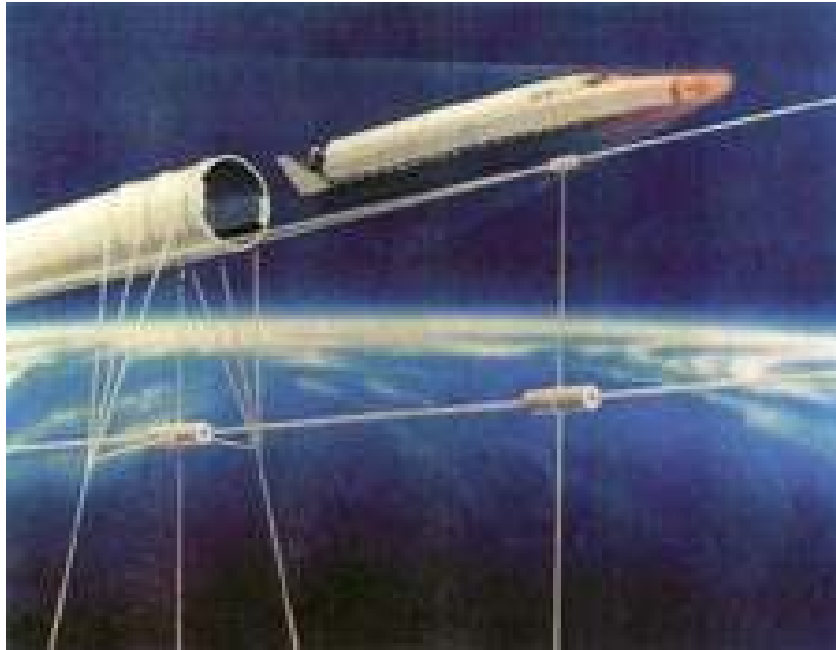
Keşfedildiğinden beri süperiletkenliğin doğası maddenin yeni bir hali olarak fizikçilerin, malzeme bilimcilerinin ve elektrik mühendislerinin ilgisini çekmektedir. Bu malzemeler, doğru akımın geçmesi halinde, elektriksel direncini kaybetmesinin yanı sıra gerçek diamanyetik malzemelerde görülen T_k'nin aşağısındaki sıcaklık bölgelerinde manyetik alanı içerisindeki bölgeden dışarıya atma eğilimi gibi alışılmadık bir davranış da göstermektedir. Bu etki süperiletkenlere oldukça yeterli manyetik perdeleme imkânı verir. Bu gerçek diamanyetik davranış "Meissner etkisi" olarak adlandırılır. Meissner etkisi süperiletkenlerin havaya askılama (levitation) özelliğini sergiler. Oldukça yüksek akım taşıyan süperiletkenler, aynı zamanda çok güçlü manyetik alanların oluşmasına sebep olur.

Sıfır direnç ve mükemmel diamanyetizma özellikleri, süperiletkenler için temel özelliklerdir. Malzemelerdeki süperiletkenlik, bu iki temel özellik ile karakterize edilebilmektedir. Bir süperiletken malzemenin süperiletken özelliği gösterip göstermediği veya hangi sıcaklığın altında süperiletken olduğu, daha çok sıfır direnç özelliğinin kullanıldığı öz direnç- sıcaklık (ρ -T) grafiğinden ve gerçek diamanyetizma özelliğinin ölçülmesi (M-T veya χ -T grafikleri) ile belirlenir.

Meissner etkisi, 1933'te Meissner ve Ochsenfeld tarafından keşfedildiğinden beri sıfır direncin yanı sıra elbette bir süperiletkenin önemli bir özelliğidir. Deneylerle, bir süperiletken içindeki manyetik alanın daima sıfır olduğunu gösterdiler. Bu, süperiletkeni mükemmel diamanyetik bir malzeme olarak düşünebileceğimizi ima eder. YBa₂Cu₃O₇, Bi₂Sr₂Ca₂Cu₃O₁₀ ve HgBa₂Ca₂Cu₃O₈ gibi tip-II (Yüksek sıcaklık) süperiletkenleri teknolojik uygulamaları için oldukça caziptir. Önemli bir özellik levitation kuvveti ve MagLev uygulamasıdır. Nakliye ve diğer uygulamalarda MagLev sistemleri çok önemli hale gelmiştir. Bu uygulamalar, kriyojen transfer hattının enerji açısından verimli bir prototipinden uzay enerji depolama sistemlerine kadar değişmektedir. BSCCO süperiletken ailesinin YBCO süperiletkenlerine kıyasla askılama kuvvetinde çok zayıf

olduğunu gösterdi. YBCO ailesindeki süperiletkenlerin, akı sabitlemesi ve yüksek mıknatıslanma davranışı durumunda ortaya çıkan yüksek kritik akım yoğunluğuna sahip olduğu düşünülür.

Maglev, dünyadaki insanları ve malları hareket ettirmek için gemi, tekerlek ve uçağa bir dayanak noktası olarak katılacak olan tamamen yeni bir ulaşım şeklidir. Maglev, bu daha önceki ulaşım şekillerine göre benzersiz avantajlara sahiptir ve 21. Yüzyılda toplumu ve dünya ekonomisini radikal bir şekilde değiştirecektir. Gemiler ve tekerlekli araçlar ile karşılaştırıldığında-arabalar, kamyonlar ve trenler-yolcuları ve yükü daha az enerji kullanarak daha yüksek hızda ve daha düşük maliyetle hareket ettirir. Benzer hızlarda seyahat eden uçaklara kıyasla, Maglev yolcuları ve yükleri çok daha düşük maliyetle ve çok daha yüksek bir hacimde hareket ettirir. Taşımacılık üzerindeki muazzam etkisine ek olarak, Maglev milyonlarca insanın uzaya seyahat etmesine izin verecek ve kuraklıkları gidermek için uzun mesafelerde çok miktarda su taşıyabilecektir. MAGnetic LEVitation'un kısaltması olan Maglev'de yüksek hızlı araçlar manyetik itme ile kaldırılır ve araca bağlı güçlü mıknatıslar tarafından yükseltilmiş bir kılavuz boyunca itilir. Araçlar, kılavuz yoluna fiziksel olarak temas etmiyor, motorlara ihtiyaç duymuyor ve yakıt yakmıyor. Bunun yerine, kılavuz rayında bulunan bobinlere beslenen elektrik enerjisi ile manyetik olarak tahrik edilirler.



Şekil 1.2. Sanatçının uzay aracını üst atmosfere yönlendirebilen manyetik olarak havalandırılan düşük basınçlı bir tüp olan StarTram gösterimi

1.2 Maglev Neden Önemlidir?

Dört temel sebebi vardır.

İlk olarak, Maglev insanları taşımak ve malları taşımak için mevcut modlardan çok daha iyi bir yoldur. Daha ucuz, daha hızlı, sıkışık olmayan ve daha uzun ömürlüdür. Bir Maglev kılavuz hattı, binlerce sırtlama kamyonu ve otomobili ile birlikte günde on binlerce yolcu taşıyabilir. Maglev işletme maliyetleri, uçak milleri için 15 sent, şehirlerarası kamyonlar için ton mili başına 15 sent, yolcu mili başına sadece 3 sent ve ton mili başına 7 sent olacak. Maglev kılavuzları minimum bakımla 50 yıl veya daha fazla dayanır, çünkü mekanik temas ve aşınma yoktur ve araç yükleri tekerleklerle konsantre olmaktan ziyade eşit bir şekilde dağılmıştır. Benzer şekilde, Maglev araçları otomobillerden, kamyonlardan ve uçaklardan çok daha uzun ömürlü olacaktır.



Şekil 1.3. Maglev treni

Maglev 2000, açık havada veya yer altı tünellerinde çalışabilir. Düşük basınçlı bir tünelin kullanılması, Los Angeles'tan New York'a 1 saatte ulaşmayı mümkün kılacaktır.

İkincisi, Maglev yüksek enerji verimlidir. Otomobiller, kamyonlar ve uçakların aksine, Maglev petrol yakmaz, bunun yerine kömürle çalışan, nükleer, hidro, füzyon, rüzgâr veya güneş enerjisi santralleri tarafından üretilebilen elektrik tüketir (şu anda nükleer elektrik üretimi en verimli kaynaktır).

Üçüncüsü, Maglev araçları kirlilik oluşturmaz. Elektrik tükettiklerinden dolayı karbondioksit yaymazlar. Kömür veya doğal gaz yakıtlı elektrik santrallerinden elektrik kullansalar bile, ortaya çıkan CO₂ emisyonu, Maglev'in çok yüksek enerji verimliliği nedeniyle, otomobillerden, kamyonlardan ve uçaklardan çok daha azdır.

Maglev'in başka çevresel faydaları da vardır. Maglev araçları, özellikle şehir ve banliyö bölgeleri için önemli olan otomobillerden, kamyonlardan ve uçaklardan çok daha sessizdir. Dahası, Maglev göze batmayan dar ışın yükseltilmiş rayları kullandığı için, karadaki ayak izi karayolları, havaalanları ve demiryolu raylarından çok daha küçüktür.

Dördüncüsü, Maglev karayolu taşıtları, trenler ve uçaklara göre önemli güvenlik avantajlarına sahiptir. Bir kılavuzdaki Maglev araçları ile araçların hızı arasındaki mesafe, kılavuz yoluna beslenen elektrik gücü frekansı tarafından otomatik olarak kontrol edilir ve korunur. Kılavuzdaki araçlar arasında çarpışma olasılığı yoktur. Ayrıca, kılavuz raylar yükseltildiğinden, sınıf geçitlerinde arabalarla veya kamyonlarla çarpışma olasılığı yoktur.

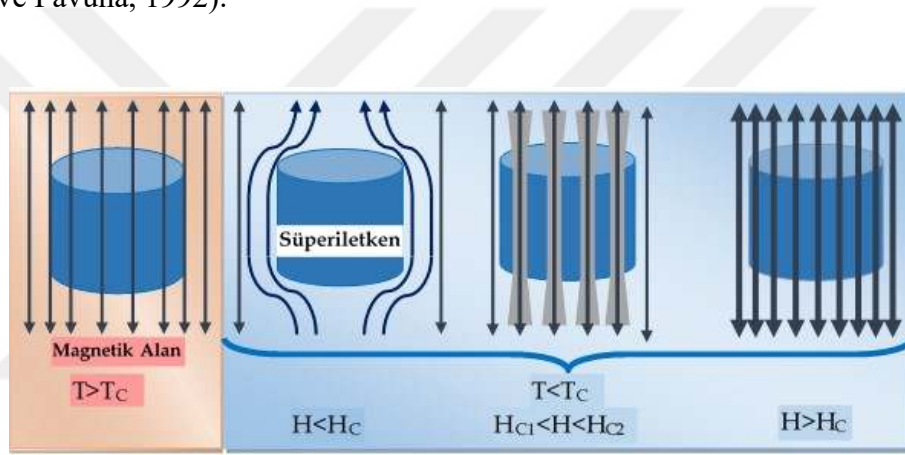
Maglev genellikle şehirlerarası yolcular için yüksek hızlı bir tren veya şehir içi transit için daha düşük hızlı bir sistem olarak resmedilmiştir. Bunlar önemli uygulamalar olsa da Amerika Birleşik Devletleri'nde yük taşımacılığı için büyük pazar şehirlerarası taşımacılıktır. Birleşik Devletler şu anda şehirlerarası yolcu taşımacılığı için yıllık 300 milyar dolardan fazla para harcıyor. En büyük şehirlerarası hava yolcu rotası Los Angeles, New York'a ve New York'tan günlük sadece yaklaşık 10.000 yolcu taşırken, çoğu ABD'de Interstates günde 15.000 kamyon taşırken bazı karayolları günde 25.000'den fazla kamyon taşıyor. Günde 2.000 kamyon taşıyan bir Maglev güzergahı - günlük trafikten yüzde 20 veya daha az- günde 100.000 yolcu taşıyan ve ABD'deki en büyük şehirlerarası hava yolcu pazarından 10 kat daha fazla olan bir yoldan gelir elde eder.

Şehirlerarası kamyonlar için ortalama taşıma mesafesi 400 milden fazladır ve çoğu 1.000 mil veya daha fazla yol alır. Maglev'i kullanarak, kamyoncular bir yük alıp en yakın istasyona birkaç mil kadar sürebilirler. Römork sadece birkaç dakika süren bir Maglev aracına (Şekil 4) yerleştirilir. Saatte 300 mil hızla, birkaç gün içinde karayoluyla gün almak yerine, ülkeyi Kaliforniya'dan New York'a geçebilir. Hedefine

yakın bir istasyona vardıktan sonra, römork boşaltılır ve müşteriye yönlendirilirdi (URL1).

1.3 Meissner Özelliği

Süperiletkenler, genel olarak iki önemli özelliğe sahiptirler: dirençlerinin sıfır olması ve manyetik alanı dışarlamaları. Şekil 1.4 'te görüldüğü gibi, süperiletkenler zayıf bir dış manyetik alanın içine konuldukları zaman, T_c 'nin üstündeki sıcaklıklarda, alan çizgileri numunenin içine doğru nüfuz ederler. Numune, T_c 'nin altına kadar soğutulduğu zaman, süperiletken hale doğru bir geçiş meydana gelir ve manyetik akı, numunenin iç bölgelerinin dışına çıkarılır. Bu olay, Meissner-Ochsenfeld olayı olarak adlandırılır (Cyrot, ve Pavuna, 1992).



Şekil 1.4. Süperiletken bir malzemeden zayıf bir dış manyetik alanın dışarlanması

Ancak bu durum, bir süperiletkenin sonsuz iletkenliğinin sonucu olarak ortaya çıkmaz. Bir süperiletken numunenin iç bölgesinden manyetik alanın dışarlanması, süperiletken durumun, sadece sıfır dirençten ibaret olmadığını gösteren açık bir delildir. Süperiletkenlik eğer sadece sıfır direnç olayından ibaret olsaydı, süperiletken, bir manyetik alan içinde T_c 'nin altına kadar soğutulduktan sonra, numunenin iç bölgelerinde alanı tuzaklayacaktı. Dış alan kaldırıldığı zaman, indüklenmiş olan sürekli girdap akımları, numunenin içinde tuzaklanmış olan alanı muhafaza eder. Bu sebeple akının dışarlanmış olması, bu yeni süperiletken durumun, doğru bir termodinamik denge durumu olduğu anlamına gelir.

Yukarıdaki iddia, elektrodinamiğin birkaç basit formülü ile güçlendirilebilir. Ohm kanunu göz önüne alınır, $V=IR$ aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\mathbf{E}=\rho\mathbf{J} \quad (1.1)$$

Burada \mathbf{E} , elektrik alanı, ρ öz direnci ve \mathbf{J} de numunenin elektriksel akım yoğunluğudur. Yani sıfır direnç, sıfır elektrik alan anlamına gelir.

Eğer aşağıdaki Maxwell denklemini ele alırsak,

$$\text{curl } \mathbf{E} = -\partial\mathbf{B}/\partial t \quad (1.2)$$

$-\partial\mathbf{B}/\partial t=0$ elde edilir. Buradan görülüyor ki numunenin içindeki manyetik indüksiyon, zamana göre sıfır olmak zorundadır. Numunenin, uygulanan bir dış manyetik alan altında T_k 'nin altına kadar soğutulması durumu ile T_k 'nin altına kadar soğutulduktan sonra alanın uygulanması hali birbirinden farklı olacaktır. İlk durumda alan, numunede kalır; son durumda ise sıfır olmak zorundadır. Soğutma ve alan uygulanması olaylarının sırasına bakmaksızın, numunenin aynı termodinamik durumunda olması için, süperiletken, içindeki alanı daima dışarılar ve içteki alan $\mathbf{B}=0$ olur. Böylece manyetik alanın dışarılanması, süperiletken durumun, doğru bir termodinamik durum olmasını temin eder.

1.4 Bakır Bölgesine Yapılan Katkılamalar ve Özellikleri

Bugüne kadar YBCO'ya yapılan katkılamalar temelde 3'e ayrılmaktadır. Bunlar Y (İtriyum) bölgesine yapılan katkılamalar, Ba (Baryum) bölgesine yapılan katkılamalar ve Cu (Bakır) bölgesine yapılan katkılamalardır. Bakır bölgesine yapılan bu katkılamaların bir kısmı süperiletkenlik özelliklerini pozitif yönde geliştirirken bir kısmı da süperiletkenlik özellikleri negatif olarak etkilemiştir. Ayrıca katkılamaların bir kısmında da elementlerin yapıya giremediği gözlenmiştir.

Platin (Pt) katkılı malzemelerde kritik sıcaklık yüksek fakat yapıda safsızlık fazları bulunmuştur (Strobel vd., 1988). Gümüş (Ag) katkılamanın kritik sıcaklığı etkilemediğini ancak düşük Ag konsantrasyonlarının T_c 'yi az da olsa artırdığı bildirilmiştir (Nishi, vd 1988) Altın (Au) katkısı kritik sıcaklık üzerinde yaklaşık 1,5K'lik artış yapar ve malzemenin seramik esnekliğini (ductility) geliştirir (Streitz, vd 1988) Paladyum (Pd) katkısında ise kritik sıcaklıkta; başlangıç 77 K ve sıfır noktasında 49K

olmak üzere bir azalma gözlenir. Daha düşük katkılama oranlarında ise; $[YBa_2(Cu_{0.999}Pd_{0.001})_3O_y]$ kritik sıcaklıkta $T_{k(ilk)} = 105K$ ve $T(0) = 92K$ olmak üzere, kayda değer bir artış gözlenmiştir (Nishi vd., 1987)

Kobalt (Co) katkısı ile birlikte $YBa_2(Cu_{1-x}Co_x)_3O_d$ kritik sıcaklık tamamen azalır (Strobel vd., 1988, Nishi vd., 1988, Streitz vd., 1988, Nishi vd., 1987, Tholonce vd., 1987) ve $x=0,15$ olduğunda süperiletkenlik kaybolur. Küçük x değerlerinde kritik sıcaklıktaki düşüşler çok azdır hatta bazen kritik sıcaklığın sabit kaldığı ya da çok az arttığı, daha büyük x değerlerinde kritik sıcaklığın hızla düştüğü gözlenmiştir. Fe katkısı durumunda ortorombik ve tetragonal yapılar birlikte ortaya çıkmaktadır (Eibschütz vd., 1988) Demir (Fe) katkısıyla birlikte $YBa_2(Cu_{1-x}Fe_x)_3O_{d+x}$ kritik sıcaklıkta Co katkılama oranında olduğu gibi ortorombik fazda küçük düşümlere (Takayama-Muromachi vd., 1987, Andresen vd., 1991) neden olurken tetragonal fazda daha belirgin düşümlere neden olmuştur ((Takayama-Muromachi vd., 1987, Andresen vd., 1991, Ullman vd., 1998). $0,23 < x < 0,10$ olduğunda $5,4K$ ve $x > 0,10$ olduğunda $9 K$ 'lik bir düşüş gözlenmiştir. Nikel (Ni) katkılı malzemeler azalan simetrisine rağmen ortorombik kalırlar. Oksijen içeriği ise; sabittir ya da küçük bir artış gösterir. Katkı miktarı ile doğru orantılı olarak kritik sıcaklıkta bir azalma gözlenmiştir (Liang vd., 1990) Çinko (Zn) katkılı bütün bileşikler ortorombiktir ve oksijen içeriği sabit kalır ya da azalır. Kritik sıcaklık Zn katkısıyla oldukça düşer (Xiao vd., 1987, Jayaram vd., 1988, Roth vd., 1989).

Alüminyum (Al) katkılı bileşikler Ni, Zn, Fe ve Co'dan daha düşük bir T_c 'ye sahip olur. Al katkı miktarı arttıkça ortorombiklik azalır. Kritik sıcaklık ise katkılama miktarı ile ters orantılı olarak azalır (Siegrist vd., 1987) Molibden katkısı ile kritik sıcaklık $50K$ 'ya kadar düşmektedir (Takabatake vd., 1988). Li (Strobel vd., 1988), Mg (Saito vd., 1987) Ga (Xiao vd., 1988), Nb, V, Fe, Co, Ni, Pd ve Ru elementleri katkıldıklarında ise; YBCO'da kritik sıcaklıkta bir düşme gözlenmiştir (Kammlott vd., 1990).

Zr, Ta, Ti, Pt, Rh ve Re geçiş elementleri (Kammlott vd., 1990) Nb ve Ta (Greaves vd., 1989) ve Si elementleri örgü içine girememiştir (Yan vd., 1988).

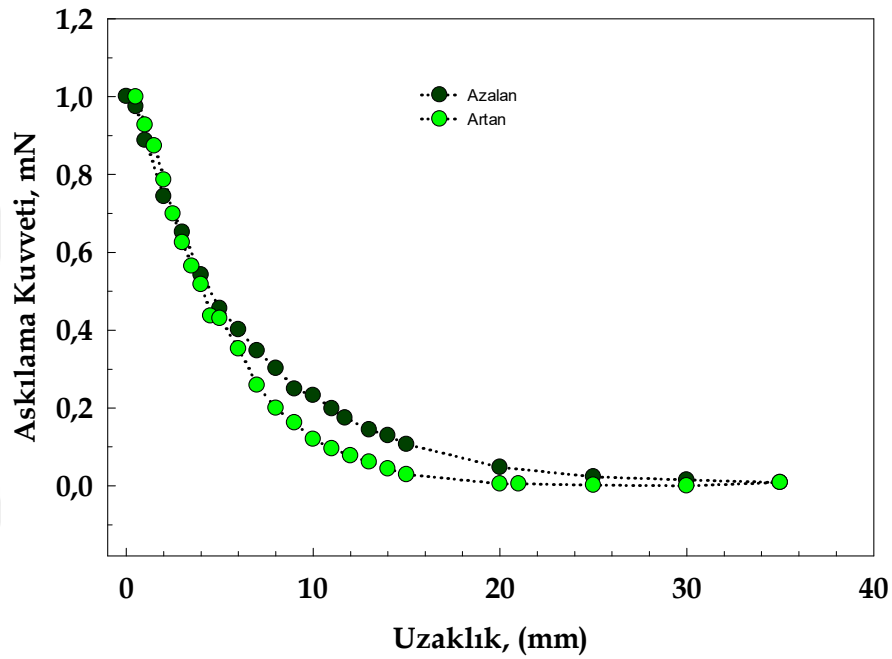
BÖLÜM II

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bir süperiletkenin en etkileyici özelliklerinden biri direncin hemen hemen sıfır olduğu, süper akıma sahip olmasıdır. Süperiletkenin uygulanan bir dış manyetik alana karşı gösterdiği tepki de süperiletkenlerin bazı teknolojik uygulamaları (Hull, 1999; Hull, 2000; Murakami, 2000) için başka bir çekici yanını oluşturur. Yüksek sıcaklık süperiletkeninin üzerinde kararlı bir şekilde havada tutulan mıknatıs görüntüsü yüksek sıcaklık süperiletkenleri teknolojisinin en iyi bilinen ikonlarından biridir. Mıknatısı havaya kaldırma kuvveti, yüksek sıcaklık süperiletkenlerine eşlik eden temel olayların çoğunun dokunsal ve görsel delilini sunar (Hull, 2000). Eğer süperiletken tarafından havaya kaldırılan mıknatıs aşağıya veya yana itilmeye veya eğilmeye çalışılırsa, buradaki geri çağırıcı kuvvetin mıknatısı başlangıçtaki konumuna geri döndürdüğü görülür. Eğer havaya kaldırılan mıknatıs yeteri kadar sert bir şekilde itilirse, mıknatısın denge konumu değiştirilebilir veya mıknatısın kütle merkezi yeni bir denge konumuna kaydırılabilir. Eğer mıknatıs simetrik manyetik alanlı bir silindir şeklinde ise simetri eksenini etrafında kolaylıkla döndürülebilir. Böyle bir davranış, yüksek sıcaklık süperiletkenlerinin örneğin; bir mil yatağı yapımında kullanılmasına imkân verir (Hull, 1999; Hull, 2000). Yüksek sıcaklık süperiletkenleri geri besleme sistemi gerektirmeyen kontaklı yüzeyler ve aşırı derecede küçük dönme sürtünmeleri ile bir vakum ve potansiyel altında çalışabilirlik avantajlarına sahiptir. Çoğu uygulamalarda bu avantajlar, süperiletkenleri soğutma zahmetine göre daha ağır basar (Hull, 2000).

Süperiletken numuneyi mıknatısa yaklaştırırken ve uzaklaştırırken yapılan manyetik Askılama kuvveti ölçüm sonuçlarında bir histerisiz ilmeği gösterir. Numunelerin ölçülen tipik Askılama kuvveti histerisiz eğrileri Şekil 2.1’de görülmektedir. Belli bir mesafeden itibaren mıknatısa doğru yaklaştırılmaya başlanan süperiletken numuneler Meissner olayına göre manyetik alanı dışlamaktadır. Bunun sonucu olarak numune mıknatısa karşı itici bir kuvvet uygulamaktadır. Numune mıknatısa yaklaştırıldıkça itici kuvvet artmakta ve mıknatısa en yakın mesafe olan 8 mm de maksimum olmaktadır. En yakın mesafeye yaklaştırılan numune uzaklaştırılmaya başlandığında numunede tuzaklanan alan ile kalıcı mıknatıs arasındaki zordan dolayı (Karaca, 2012) itici kuvvet hızla düşmekte ve sıfır olmaktadır. Bu noktadan sonra çekici kuvvet oluşmakta ve

negatif bir değer gözlenmektedir. Bu da manyetik alanın, numunede bulunan ve süperiletken olmayan Y211 fazı gibi içinden manyetik akı geçen manyetik akı sabitleme (tuzak) merkezleri tarafından hapsedildiğini göstermektedir. Numune mıknatıstan uzaklaştırılmaya devam edildikçe çekici kuvvet azalmakta ve sıfır olmaktadır. Dış alan kaldırılrsa bile tuzak merkezleri sayesinde büyük miktarda alan numune tarafından tuzaklı kalabilir. Bu durum numunenin sıcaklığı kritik sıcaklığın (T) altında tutulduğu müddetçe sürekliliğini korur.



Şekil 2.1. BSCCO süperiletkeninde Askılama Kuvveti ölçümleri (Karaca, 2009)

Askılama kuvveti histersiz ilmeğinin üstündeki eğri mıknatıs ile süperiletken numune arasındaki itici kuvveti, histersiz ilmeğinin altındaki eğri ise mıknatıs ile süperiletken numune arasındaki çekici kuvveti temsil eder. Süperiletken numunelerin manyetik alanı dışarı atması sonucu oluşan itici kuvvet büyük bir değere sahipse bu o numunelerin yapısında süperiletken fazların çok olduğu, böylelikle manyetik alanı daha çok dışarı atabildiğini ima etmektedir. ekici kuvvetin büyük olması ise, numune tarafından daha fazla manyetik akı tuzaklanabildiğini gösterir.

Askılama kuvveti ve süperiletken içinde hapsedilen manyetik alan, bu süperakım ilmeğinin yarıçapı ve süperiletkenin J c akım yoğunluğu ile orantılıdır. Süperiletken içinde hapsedilen alanla mıknatısın manyetik alanı arasındaki etkileşmeden dolayı bir

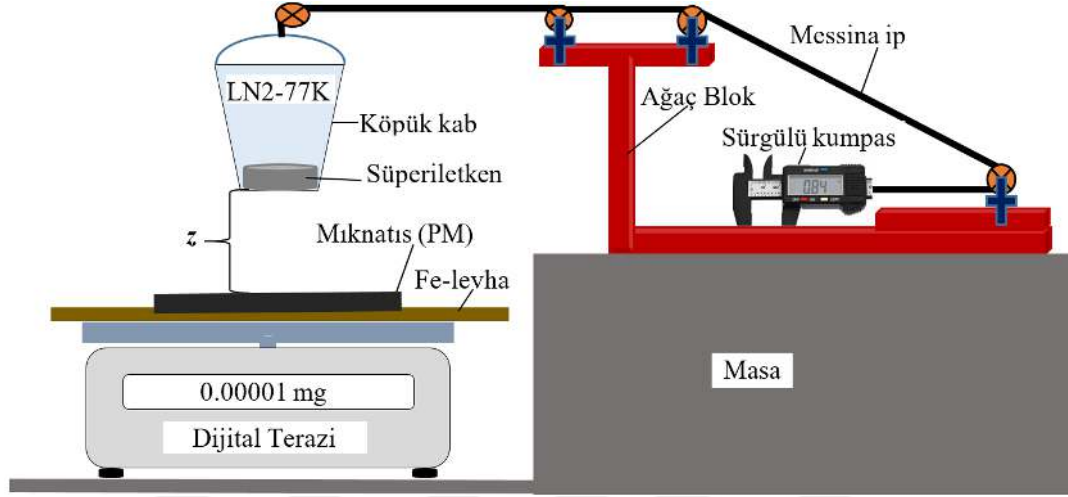
kuvvet-mesafe eğrisi elde edilir. Süperiletken malzeme bir dış manyetik alanın etkisi altında olmadan soğutulursa (Zero Field Cooling (ZFC)), süperiletken içinde manyetik alan hapsedilmez. Dış manyetik alan değiştirilerek, yani mıknatıs süperiletkene doğru hareket ettirilerek süperiletkenin en dış kenarında bir kalıcı veya koruyucu süperiletken akımı indüklenebilir (Zeng vd., 1997). Bu akım dış manyetik alanı kuvvetli bir şekilde iter. Kritik durum modeline göre (Bean, 1962) bu koruyucu akım, dış manyetik alan artırılarak süperiletkenin iç kısımlarına sızmaya zorlanır. ZFC numuneler için daha büyük itici kuvvet daha küçük çekici kuvvet elde edilirken, FC numuneler için daha küçük itici kuvvet daha büyük çekici kuvvet elde edilir (Kim vd., 1997).



BÖLÜM III

GEREÇ VE YÖNTEM

Deneysel ölçümleri yapılmış süperiletken malzemelere ait Askılama kuvveti sonuçları bilinen tanımlamalar ışığında sayısal olarak incelenecektir.



Şekil 3.1. Sürekli mıknatıs (PM) ile yüksek sıcaklık süperiletken (HTS) arasındaki manyetik kaldırma sistemi (Karaca vd., 2019)

Şekil 3.1’de görüldüğü gibi mıknatıs süperiletken numuneye yaklaştırılırken süperiletken (süperiletkenin diamanyetik özelliği nedeniyle) uygulanan manyetik alanı dışarlayacak ve bir itme kuvveti oluşacaktır. Bu itme kuvvetinin değeri mıknatısın altına konulacak hassas terazi yardımıyla Newton birimi cinsinden ölçüldüğünde, sonuçların Taylor serisine uygun bir şekilde değiştiği bulunur (Moon, 2004). Bu serinin çözümü yapıldığında;

$$F = F_0 e^{-bz} \quad (3.1)$$

bulunur (Chang vd., 1990). Eşitlikte “z” RE123 mıknatıs ile süperiletken arasındaki uzaklığa karşılık gelir. Bu sonuçtan mıknatısın süperiletkene yaklaşması ve uzaklaşmasına göre Askılama kuvveti ile uzaklık arasındaki ilişkinin üstel olduğu görülmektedir.

II. Tip Süperiletkenlerin bulunmasından sonra özellikle ulaşım sistemlerinde süperiletkenler ile ilgili çalışmalar artmıştır. 1991 yılında *Maglev* hızlı trenlerinin (~500 km/h) süperiletken tel ve bulk yapıları kullanılarak nasıl çalışacağı konusunda Japonya da ilk taslak çalışmalar başlamıştır. 2011 yılına gelindiğinde Japonlar *Maglev* trenlerinin prototipini üretmişler ve deneysel çalışmalarında *Maglev* treninin hızını 411 km/h ölçmüşlerdir (Sangster, 2012).



BÖLÜM IV

BULGULAR, TARTIŞMA VE SONUÇ

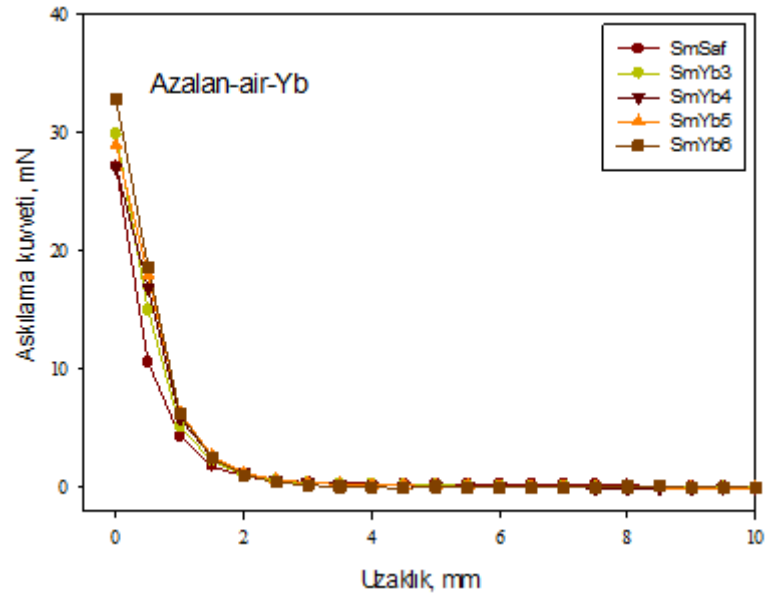
Bu çalışmada üretimi yapılmış olan Yb-katkılı Sm-123 süperiletkenlerinin askılama kuvvet ölçümleri üzerinde deneysel ve teorik çalışmalara ait elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Öncelikle askılama kuvvet ölçümleri alansız soğutma (ZFC) işlemi ile Sıvı Azot (77K) ortamında yapılmıştır. Aynı şartlar altında uzaklık azalırken ve artarken ölçülen değerlerden askılama kuvvetleri her bir numune için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Daha sonra elde edilen değerlere ait grafiklerden en uygun denklemler bulunmuştur.

4.1 Askılama Kuvveti Sonuçları

4.1.1 Sinterlenmiş numunelerin askılama kuvveti sonuçları

4.1.1.1 Sinterlenmiş numunelerin azalan uzaklıkta askılama kuvveti sonuçları

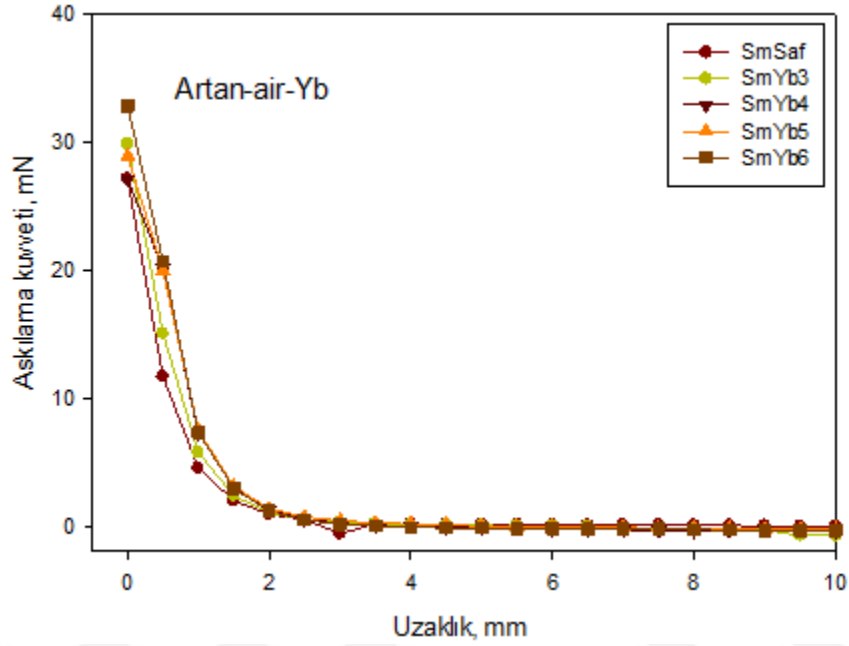
Üretimi sinterleme aşamasında tamamlanmış numunelerin sürekli mıknatıs ile süperiletken arasındaki uzaklık azalırken alınmış olan askılama kuvveti sonuçları Şekil 4.1’de görüldüğü gibidir.



Şekil 4.1. Sinterlenmiş numunelerin azalan uzaklıkta askılama kuvveti sonuçları

4.1.1.2 Sinterlenmiş numunelerin artan uzaklıkta askılama kuvveti sonuçları

Üretimi sinterleme aşamasında tamamlanmış numunelerin sürekli mıknatıs ile süperiletken arasındaki uzaklık artarken alınmış olan askılama kuvveti sonuçları Şekil 4.2’de görüldüğü gibidir.

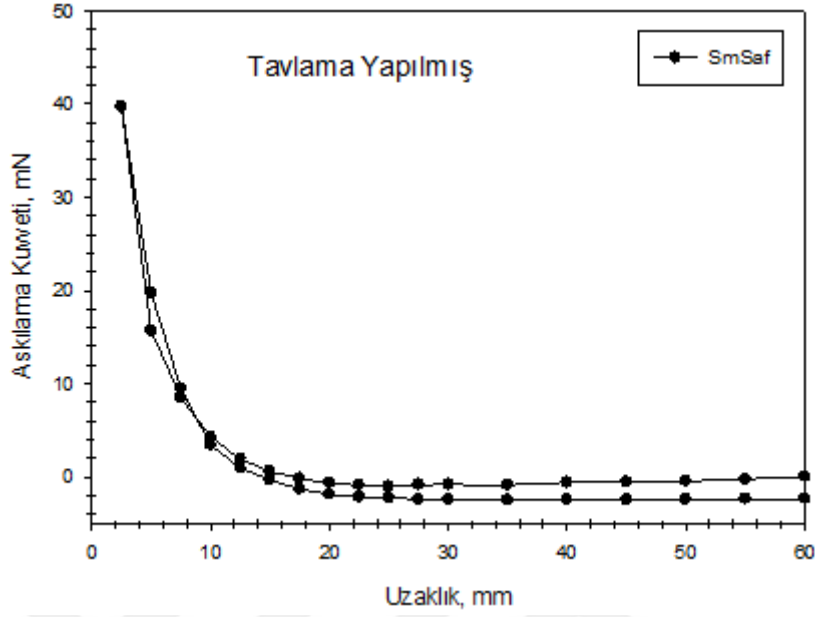


Şekil 4.2. Sinterlenmiş numunelerin artan uzaklıkta askılama kuvveti

4.1.2 Tavlama işlemi yapılmış numunelerin askılama kuvveti sonuçları

Sinterleme işlemi sonrasında kristal büyümesinin gerçekleştirilmesi için ilave oksijen ortamı oluşturulmuş ve bu ortamda tavlama işlemine tabi tutulmuş numunelere ait askılama kuvveti sonuçları aşağıda verilmektedir.

4.1.2.1 SmSaf (katkısız) numunesinin askılama kuvveti sonuçları



Şekil 4.3. SmSaf (katkısız) numunesinin askılama kuvveti

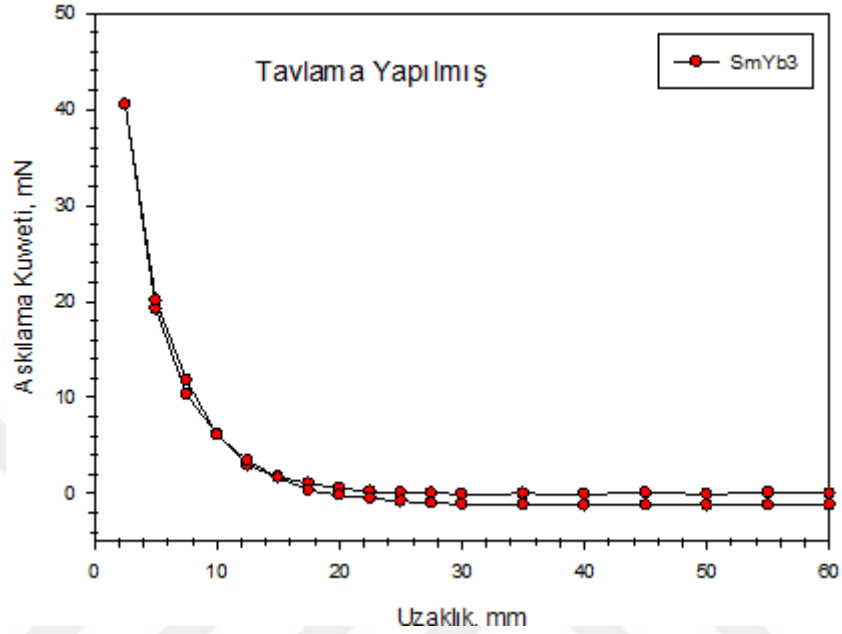
Tavlama işlemi yani ilave oksijen ortamında ısıl işlemi tamamlanmış olan SmSaf numunesine ait askılama kuvveti sonuçları Şekil 4.3’de verilmektedir.

Genel olarak Şekil 4.3 grafiğine bakıldığında 30-60 mm aralığında sabit değerler alan askılama kuvveti 30 mm’den daha düşük mesafelerde neredeyse üstel olarak hızlı bir şekilde artış göstermektedir. Askılama kuvveti 10mm’ye kadar olan (10-60 mm) aralıkta negatif değerler alırken 0-10 mm aralığında pozitif değerler almaktadır. 16 mm’de askılama kuvveti minimum değerine (0) ulaşmakta iken maksimum değeri 40 mN’a 2,5 mm’de ulaşmaktadır.

4.1.2.2 SmYb3 numunesinin askılama kuvveti sonuçları

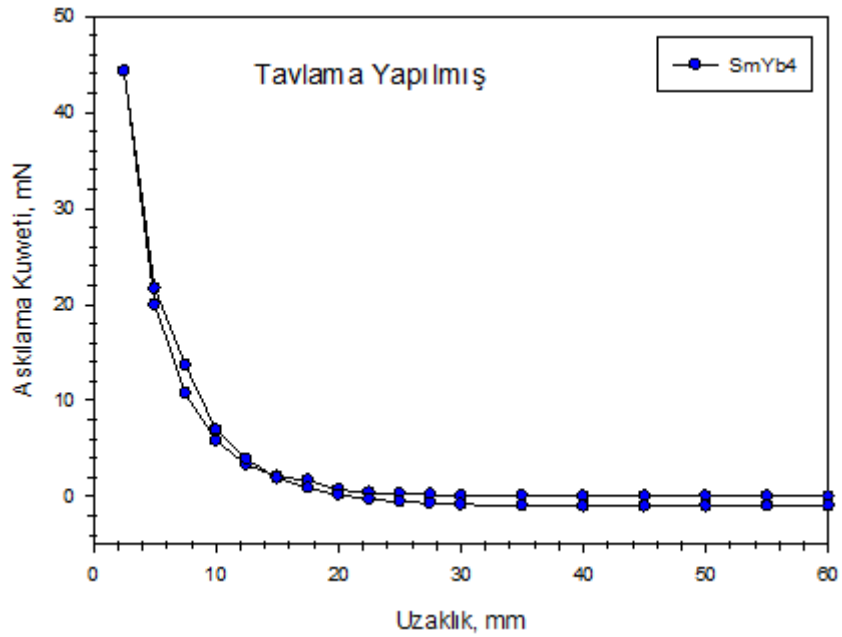
Tavlama işlemi yani ilave oksijen ortamında ısıl işlemi tamamlanmış olan SmYb3 numunesine ait askılama kuvveti sonuçları Şekil 4.4’de verilmektedir. Genel olarak Şekil 4.4 grafiğine bakıldığında 30-60 mm aralığında sabit değerler alan askılama kuvveti 30 mm’den daha düşük mesafelerde neredeyse üstel olarak hızlı bir şekilde artış

göstermektedir. Askılama kuvveti 10mm'ye kadar olan (10-60 mm) aralıkta negatif değerler alırken 0-10 mm aralığında pozitif değerler almaktadır.20 mm'de askılama kuvveti minimum değerine (0) ulaşmakta iken maksimum değeri yaklaşık olarak 41 mN'a 2,5 mm'de ulaşmaktadır.



Şekil 4.4. SmYb3 numunesinin askılama kuvveti

4.1.2.3 SmYb4 numunesinin askılama kuvveti sonuçları

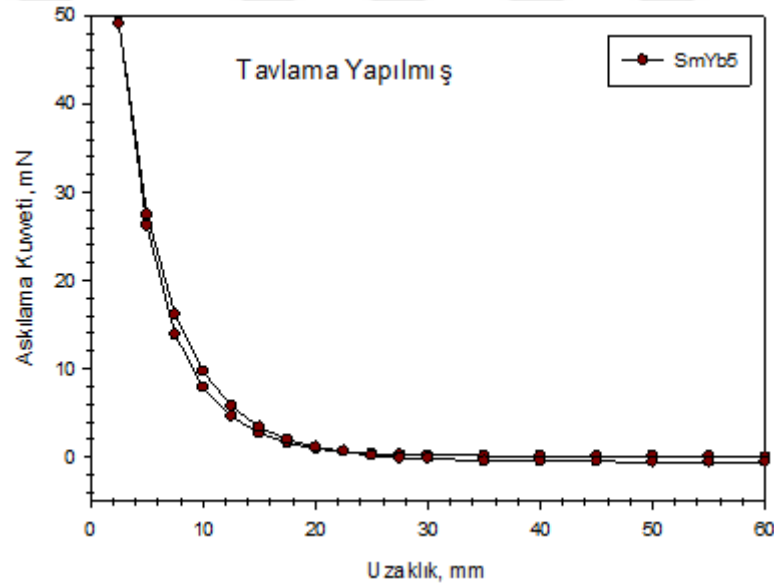


Şekil 4.5. SmYb4 numunesinin askılama kuvveti

Tavlama işlemi yani ilave oksijen ortamında ısıl işlemi tamamlanmış olan SmYb4 numunesine ait askılama kuvveti sonuçları Şekil 4.5’de verilmektedir.

Genel olarak Şekil 4.5 grafiğine bakıldığında 30-60 mm aralığında sabit değerler alan askılama kuvveti 30 mm’den daha düşük mesafelerde neredeyse üstel olarak hızlı bir şekilde artış göstermektedir. Askılama kuvveti ölçüm aralıklarının tamamında pozitif değerler almaktadır. 26 mm’de askılama kuvveti minimum (sıfır) değerine ulaşmakta iken maksimum değeri yaklaşık olarak 45 mN’a 2,5 mm’de ulaşmaktadır.

4.1.2.4 SmYb5 numunesinin askılama kuvveti sonuçları

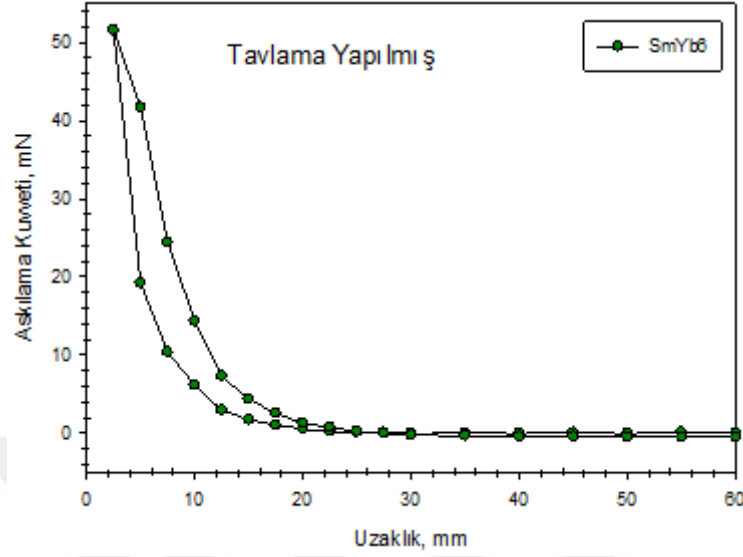


Şekil 4.6. SmYb5 numunesinin askılama kuvveti sonuçları

Tavlama işlemi yani ilave oksijen ortamında ısıl işlemi tamamlanmış olan SmYb5 numunesine ait askılama kuvveti sonuçları Şekil 4.6’da verilmektedir.

Genel olarak Şekil 4.6 grafiğine bakıldığında 30-60 mm aralığında sabit değerler alan askılama kuvveti 30 mm’den daha düşük mesafelerde neredeyse üstel olarak hızlı bir şekilde artış göstermektedir. Askılama kuvveti ölçüm aralıklarının tamamında pozitif değerler almaktadır. 30-60 mm’de askılama kuvveti minimum değerine (1mN) ulaşmakta iken maksimum değeri yaklaşık olarak 49 mN’a 2,5 mm’de ulaşmaktadır.

4.1.2.5 SmYb6 numunesinin askılama kuvveti sonuçları



Şekil 4.7. SmYb6 numunesinin askılama kuvveti

Tavlama işlemi yani ilave oksijen ortamında ısıl işlemi tamamlanmış olan SmYb6 numunesine ait askılama kuvveti sonuçları Şekil 4.7'de verilmektedir. Genel olarak Şekil 4.7 grafiğine bakıldığında 26-60 mm aralığında sabit değerler alan askılama kuvveti 30 mm'den daha düşük mesafelerde neredeyse üstel olarak hızlı bir şekilde artış göstermektedir. Askılama kuvveti ölçüm aralıklarının tamamında pozitif değerler almaktadır. 26 mm'de askılama kuvveti minimum değerine (0) ulaşmakta iken maksimum değeri yaklaşık olarak 52 mN'a 2,5 mm'de ulaşmaktadır. Ölçümü yapılan histerezis davranış göstermesi beklenen malzemelerde en belirgin gözle görülen histerezis davranışı SmYb6 numunesinde yani Şekil 4.7'de açık bir şekilde görülmektedir.

Süperiletkenler ile mıknatıslar arasındaki manyetik kuvvet, bir süper iletkendeki manyetik momentlerle orantılıdır. Süper iletkenin koruyucu akım döngüsünün J_c ve yarıçapına bağlı olan manyetik momentin değeri, tane yönelimi ve büyüklüğü, çatlaklar ve çivileme merkezinin miktarı gibi yapısal özellikler geliştirilerek önemli ölçüde arttırılabilir. Test edilen tüm numuneler, aynı bileşime, aynı ısıl işleme sahiptir ve daha sonra neredeyse aynı partikül ebadı, dağılımı ve aynı akı sabitleme özellikleri ile

sonuçlanır. Kritik akım miktarının, Sm123 süperiletkenine Yb katkılama etkisi ile farklı değerler alabileceği sonucuna varılabilir.

4.2 Askılama Kuvvet-Uzaklık Eğrisi İçin En Uygun Denklem Sonuçları

Chang (Chang vd., 1990), yassı bir seramik süper iletken üzerinden havaya kaldırılan bir mıknatıs için kaldırma kuvveti arasındaki mesafenin belirgin bir paradoks olduğunu bildirmiştir. Eğer kuvvet iki dipol mıknatıs arasındaki bir etkileşim olarak modellendiyse, o zaman kişi ters güç yasası ilişkisi beklemelidir. Bununla birlikte, büyük seramik süper iletkenliği üzerine uygulanan küçük test mıknatısları ile yapılan deneyler, üstel bir bozulma ilişkisi göstermektedir: Denklem 3.1'de z , test mıknatısının merkezinden süper iletken yüzeye olan mesafedir. Bu çalışmada, küçük seramik süper iletkenliğin büyük test mıknatısları üzerine havalandırıldığı, bunun varsayımlarıyla aynı olduğu kullanılmıştır.

Ölçülen deney sonuçları ile en iyi uyumu sağlayan eğriler yardımıyla, bu eğrilere ait denklem ve parametrelerin belirlenmesi işlemi yapıldı. Bu işlem için Dinamik Eğri Uydurma-Fit etme (Dynamic Curve Fit) programı kullanıldı.

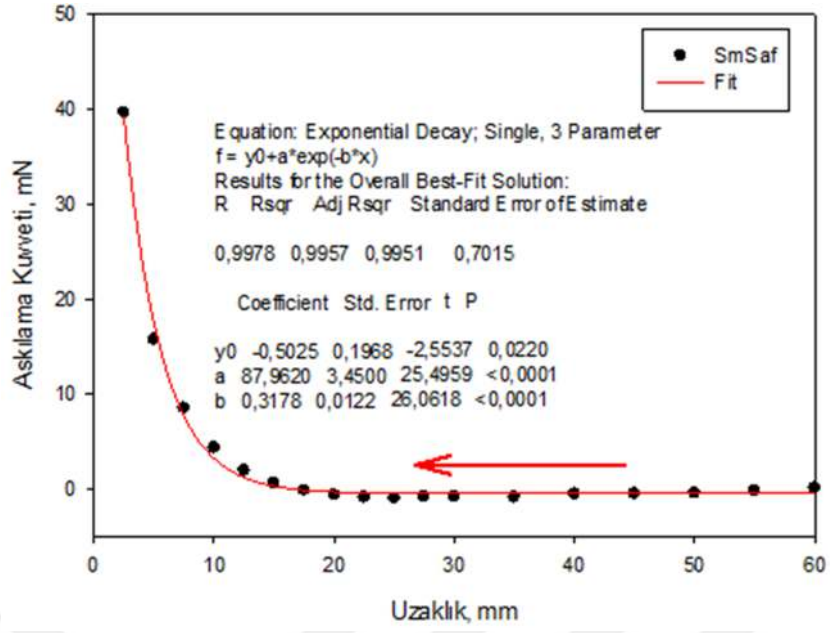
Bu işlem için iki aşama ayrı ayrı yapıldı. Yani uzaklık azalırken ve artarken alınan ölçümler için Dinamik Eğri Uydurma-Fit etme ayrı ayrı yapıldı. Sonuçlar aşağıda verilmiştir.

4.2.1 Uzaklık azalırken kuvvet-uzaklık eğrisi için en uygun denklem sonuçları

Uzaklık azalırken alınan ölçümler için Dinamik Eğri Uydurma-Fit etme ayrı ayrı yapıldı. Sonuçlar aşağıda verilmiştir.

4.2.1.1 Uzaklık azalırken SmSaf (katkısız) numunesinin kuvvet-uzaklık eğrisi için en uygun denklem sonuçları

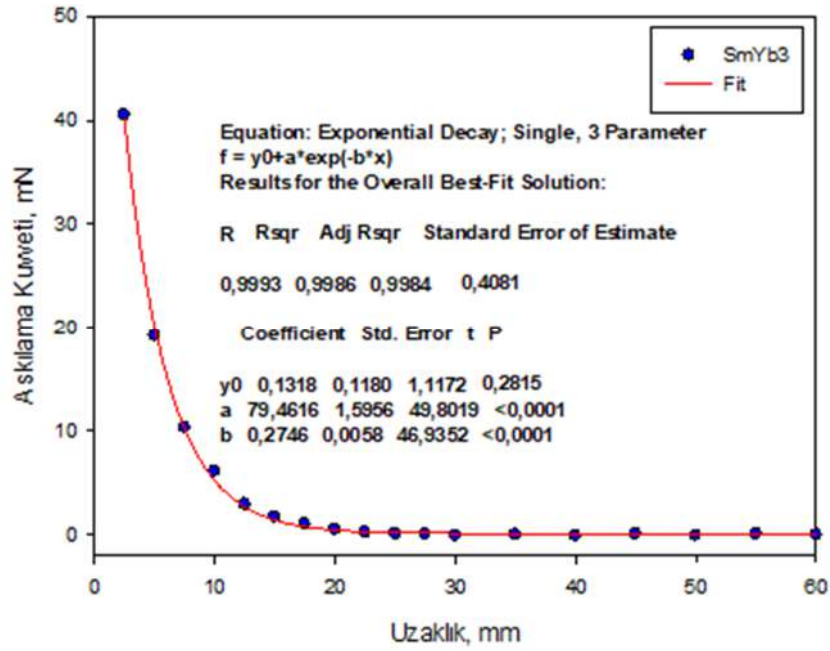
SmSaf (Katkısız) numunesinin uzaklık azalırken alınan Kuvvet-uzaklık eğrisi için Dinamik Eğri Uydurma-Fit etme ayrı ayrı yapıldı. Sonuçlar aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.8. SmSaf numunesinin için en uygun denklem grafiği

4.2.1.2 Uzaklık azalırken SmYb3 numunesinin kuvvet-uzaklık eğrisi için en uygun denklem sonuçları

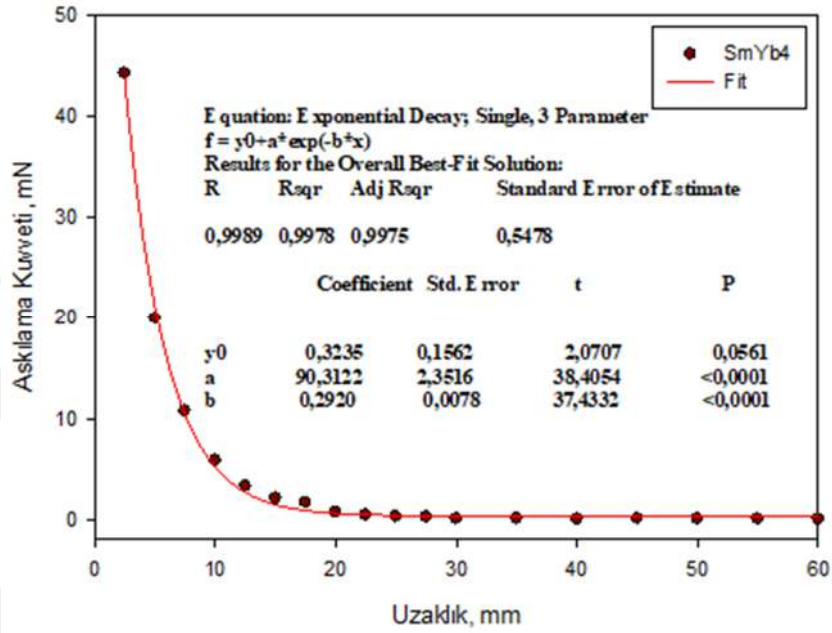
SmYb3 numunesinin uzaklık azalırken alınan Kuvvet-uzaklık eğrisi için Dinamik Eğri Uydurma-Fit etme ayrı ayrı yapıldı. Sonuçlar aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.9. SmYb3 numunesinin için en uygun denklem grafiği

4.2.1.3 Uzaklık azalırken SmYb4 numunesinin kuvvet-uzaklık eğrisi için en uygun denklem sonuçları

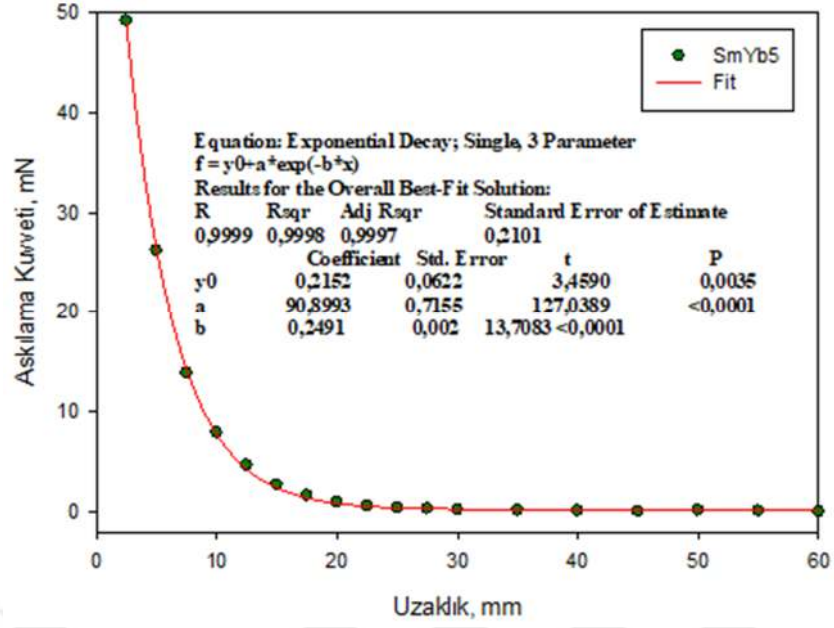
SmYb4 numunesinin uzaklık azalırken alınan Kuvvet-uzaklık eğrisi için Dinamik Eğri Uydurma-Fit etme ayrı ayrı yapıldı. Sonuçlar aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.10. SmYb4 numunesinin için en uygun denklem grafiği

4.2.1.4 Uzaklık azalırken SmYb5 numunesinin kuvvet-uzaklık eğrisi için en uygun denklem sonuçları

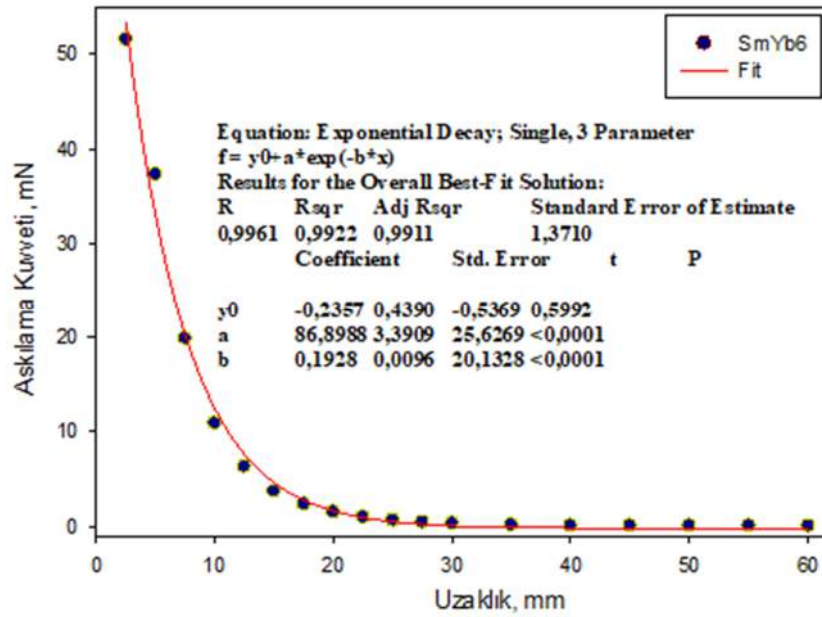
SmYb5 numunesinin uzaklık azalırken alınan Kuvvet-uzaklık eğrisi için Dinamik Eğri Uydurma-Fit etme ayrı ayrı yapıldı. Sonuçlar aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.11. SmYb5 numunesinin için en uygun denklem grafiği

4.2.1.5 Uzaklık azalırken SmYb6 numunesinin kuvvet-uzaklık eğrisi için en uygun denklem sonuçları

SmYb6 numunesinin uzaklık azalırken alınan Kuvvet-uzaklık eğrisi için Dinamik Eğri Uydurma-Fit etme ayrı ayrı yapıldı. Sonuçlar aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.12. SmYb6 numunesi için uzaklık azalırken en uygun denklem grafiği

Çizelge 4.1. Tavlanmış numunelerde uzaklık azalırken kuvvet-uzaklık için en uygun eğriye ait denklem ve bileşenleri

Numune	$F = F_0 e^{-bz}$			r^2
	F_0	a	b	
SmSaf	-0.5025	87.9620	0.3178	0.9957
SmYb3	0.1318	79.4616	0.2746	0.9986
SmYb4	0.3235	90.3122	0.2920	0.9978
SmYb5	0.2152	90.8993	0.2491	0.9998
SmYb6	-0.2357	86.8988	0.1928	0.9922

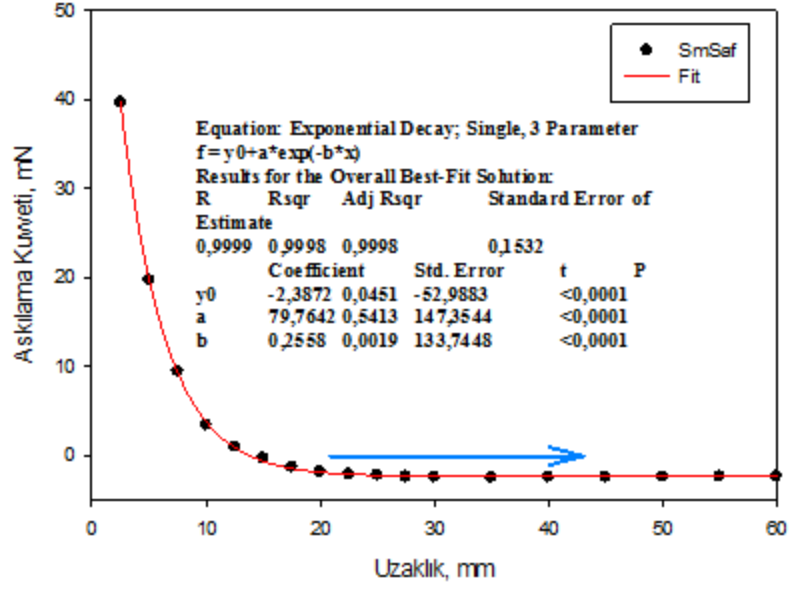
Çizelge 4.1 de görüldüğü gibi her bir numunenin denklem bileşenlerine ait değerler birbirinden farklıdır. Elde edilmiş olan askılama kuvvet denklemi Chang ve arkadaşlarının (Chang vd., 1990) elde etmiş olduğu askılama kuvveti denklemlerinden farklıdır. Bu farklılık denklemden de görülebileceği gibi ilave bir F_0 katkısı ile Chang ve arkadaşlarından (Chang vd., 1990) belirgin bir şekilde ayrılmaktadır. Elde ettiğimiz bu F_0 değerleri minimum uzaklıkta askılama kuvvetinin alabileceği değerleri göstermektedir. F_0 maksimum değerini SmSaf numunesinde alırken minimum değerini de SmYB3 numunesinde almaktadır. Yapılmış olan analiz sonuçlarına bakıldığında regresyon katsayısı değerlerinin 1'e oldukça yakın olması yapılmış olan incelemenin doğru olduğunu göstermektedir.

4.2.2 Uzaklık artarken kuvvet-uzaklık eğrisi için en uygun denklem sonuçları

Uzaklık artarken alınan ölçümler için Dinamik Eğri Uydurma-Fit etme ayrı ayrı yapıldı. Sonuçlar aşağıda verilmiştir.

4.2.2.1 Uzaklık artarken SmSaf numunesinin kuvvet-uzaklık eğrisi için en uygun denklem sonuçları

SmSaf numunesinin uzaklık artarken alınan Kuvvet-uzaklık eğrisi için Dinamik Eğri Uydurma-Fit etme ayrı ayrı yapıldı. Sonuçlar aşağıda verilmiştir.

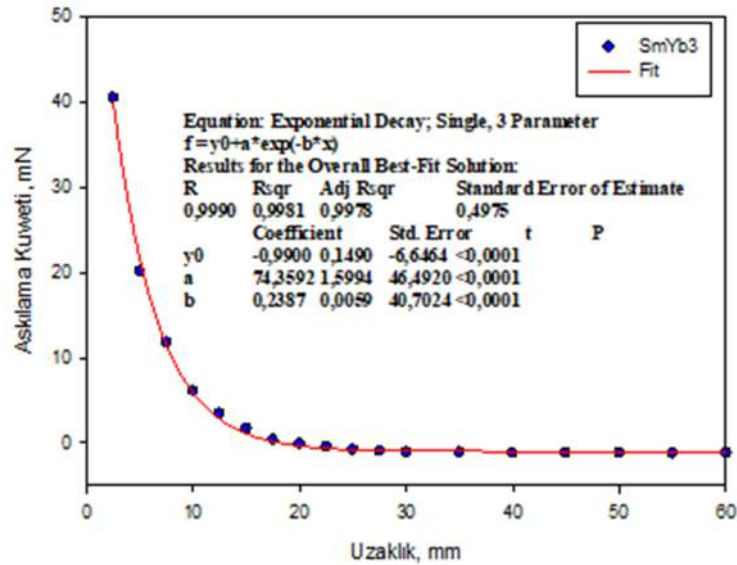


Şekil 4.13. SmSaf numunesi için uzaklık artarken en uygun denklem grafiği

Tavlanmış SmSaf numunesi uzaklık artarken askılama kuvveti-uzaklık için en uygun eğriye ait denklem bileşenleri Şekil 4.13’de görülmektedir.

4.2.2.2 Uzaklık artarken SmYb3 numunesinin kuvvet-uzaklık eğrisi için en uygun denklem sonuçları

SmYb3 numunesinin uzaklık artarken alınan Kuvvet-uzaklık eğrisi için Dinamik Eğri Uydurma-Fit etme ayrı ayrı yapıldı. Sonuçlar aşağıda verilmiştir.

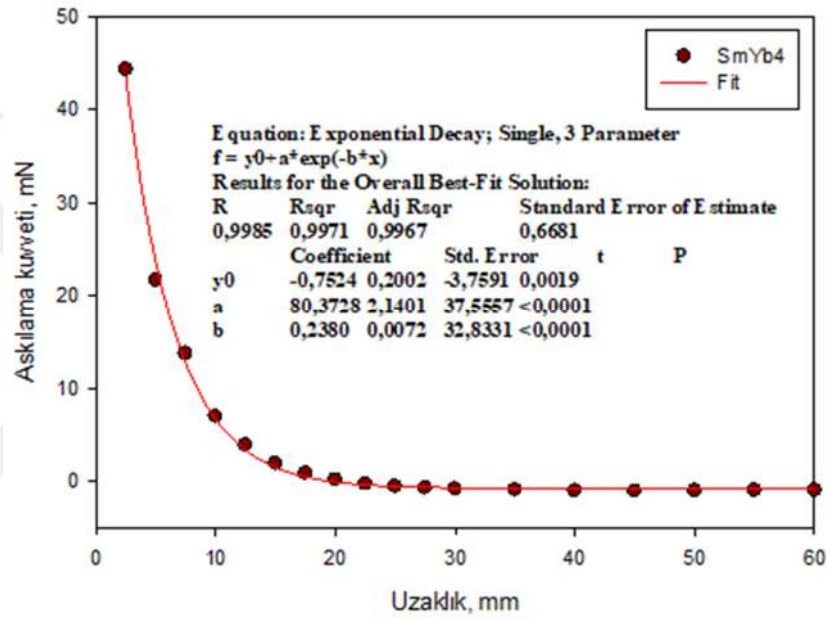


Şekil 4.14. SmYb3 numunesi için uzaklık artarken en uygun denklem grafiği

SmYb3 numunesine ait uzaklık artarken askılama kuvveti-uzaklık için en uygun eğriye ait denklem bileşenleri Şekil 4.14’de görülmektedir.

4.2.2.3 Uzaklık artarken SmYb4 numunesinin kuvvet-uzaklık eğrisi için en uygun denklem sonuçları

SmYb4 numunesinin uzaklık artarken alınan Kuvvet-uzaklık eğrisi için Dinamik Eğri Uydurma-Fit etme ayrı ayrı yapıldı. Sonuçlar aşağıda verilmiştir.

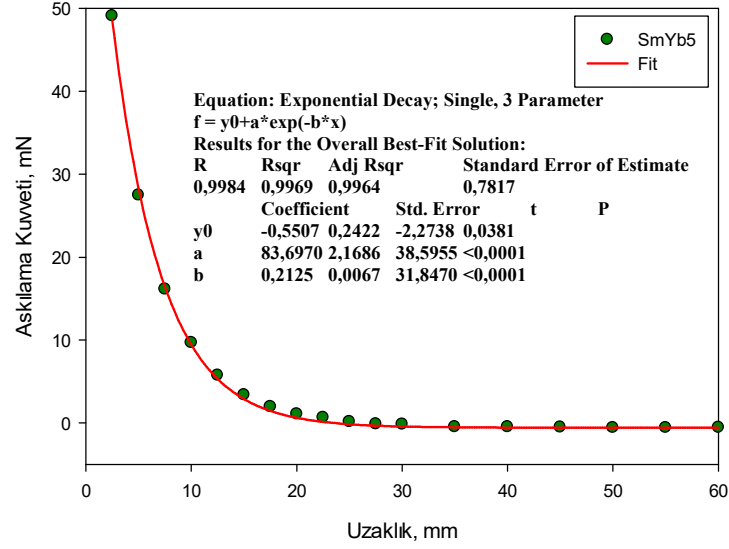


Şekil 4.15. SmYb4 numunesi için uzaklık artarken en uygun denklem grafiği

SmYb4 numunesine ait uzaklık artarken askılama kuvveti-uzaklık için en uygun eğriye ait denklem bileşenleri Şekil 4.15’de görülmektedir.

4.2.2.4 Uzaklık artarken SmYb5 numunesinin kuvvet-uzaklık eğrisi için en uygun denklem sonuçları

SmYb5 numunesinin uzaklık artarken alınan Kuvvet-uzaklık eğrisi için Dinamik Eğri Uydurma-Fit etme ayrı ayrı yapıldı. Sonuçlar aşağıda verilmiştir.

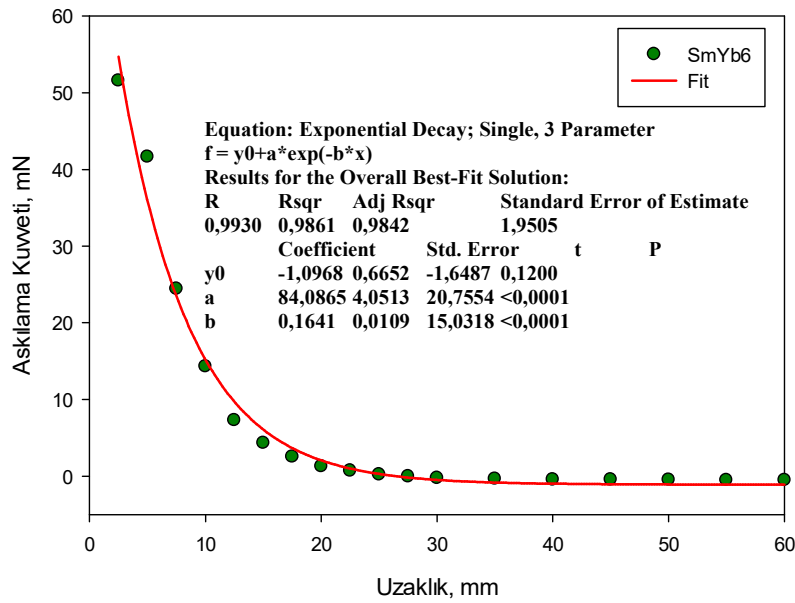


Şekil 4.16. SmYb5 numunesi için uzaklık artarken en uygun denklem grafiği

SmYb5 numunesine ait uzaklık artarken askılama kuvveti-uzaklık için en uygun eğriye ait denklem bileşenleri Şekil 4.16'de görülmektedir.

4.2.2.5 Uzaklık artarken SmYb6 numunesinin kuvvet-uzaklık eğrisi için en uygun denklem sonuçları

SmYb6 numunesinin uzaklık artarken alınan Kuvvet-uzaklık eğrisi için Dinamik Eğri Uydurma-Fit etme ayrı ayrı yapıldı. Sonuçlar aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.17. SmYb6 numunesi için uzaklık artarken en uygun denklem grafiği

SmYb6 numunesine ait uzaklık artarken askılama kuvveti-uzaklık için en uygun eğriye ait denklem bileşenleri Şekil 4.17’de görülmektedir.

Çizelge 4. 2. Tavlanmış numunelerde uzaklık artarken kuvvet-uzaklık için en uygun eğriye ait denklem bileşenleri

Numune	$F = F_o e^{-bz}$			r^2
	F_o	a	b	
SmSaf	-2.3872	79.7642	0.2558	0.9998
SmYb3	-0.9900	74.3592	0.2387	0.9981
SmYb4	-0.7524	80.3728	0.2380	0.9971
SmYb5	-0.5507	83.6970	0.2125	0.9969
SmYb6	-1.0968	84.0865	0.1641	0.9861

SmSaf, SmYb3, SmYb4, SmYb5 ve SmYb6 numunelerinin askılama kuvvetinin uzaklık ile değişimi mıknatıs ile süperiletken arasındaki uzaklık azalırken ve artarken ölçülen verilere ait eğriler ve bu eğrilerin regresyon analizi, denklem parametreleri ve en uygun değerler elde edilmiş ve sonuçlar Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de verilmiştir. Çizelgeler incelendiğinde F_o ’ın büyüklük olarak maksimum değeri mesafe artarken SmSaf numunesinde 2.3872 mN olarak karşımıza çıkmaktadır. Aynı zamanda minimum değerini de uzaklık azalırken SmYb3 numunesinde 0.1318 mN olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’den elde edilen sonuçlar Bean modelinin varlığını da ortaya koymaktadır (Karaca, 2009) Bean’in kritik durum modeli aracılığıyla, J_c sabit olarak kabul edilebilir. Mıknatıs (PM) sisteminden kaynaklanan yüksek sıcaklık süperiletkenleri arasındaki kuvvet şu şekilde yazılabilir:

$$F = \mu \frac{dH}{dx} \quad (4.1)$$

burada, μ olarak tanımlanan M kütlelerinin mıknatıslanması ile ilgili manyetik momenttir.

$$M = \sum_{i=1}^n (\mu_i) \quad (4.2)$$

dH/dx , mıknatıs tarafından üretilen alan gradyanıdır. Yüksek sıcaklık süperiletkenlerinde hapsolmuş alan PM'den kaynaklanır, örnek PM'den uzaklaştığında çekici bir kuvvet oluşur. Bu sonuç, yüksek sıcaklık süperiletken numunesindeki çivileme merkezlerinin sayısına atfedilebilir ve bu durum numunelerin içinde kalan manyetik alanın artmasına neden olur. Ek olarak, kaldırma kuvveti, tane büyüklüğü ve kristalografik yönelim ile ilgilidir (Karaca, 2009). Askılama kuvveti ile uzaklık değişim grafiklerinin tamamında yaklaşık olarak 60-30mm kadar düz bir plato ve 30-2.5mm aralığında ise üstel bir fonksiyon olarak karşımıza çıkmaktadır. Uzaklık artarken geçiş noktası, literatürde kritik akıma bağlı olarak üstel bozulmalarda iyi bilinmektedir. Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'den de görüleceği gibi eğrinin regresyon parametresi çok yüksektir. Diğer bir değişle regresyon parametreleri 1'e oldukça yakındır. Bu ise yapılan analizlerin doğruluğunu açıkça göstermektedir.

Yb katkılamasının Sm-123 fazının fiziksel özellikleri üzerindeki etkisi, Sm123 'ün seçilmiş kompozisyonu ile Sm_2O_3 , Yb_2O_3 , $BaCO_3$ ve CuO öncül materyallerini içeren numunelerde eritilerek hazırlandı. Eritme Büyüme (MG) yöntemi. Oksijen atmosferinde tavlama, yüksek kaliteli süperiletken materyal verdi.

İncelenen Süperiletkenler, yüksek sıcaklık süperiletken ailelerinden Sm123 Süperiletkenler olup yüksek histerezise sahip dolayısıyla yüksek kritik akım taşıma kabiliyeti gösteren malzemelerdir. Tavlanmış numuneler içerisinde histerezis özelliğini gözle görülür şekilde tespit edilebilen mesafe artarken, yani çekici kuvvetin maksimum etkili olduğu süreçte $SmYb_6$ numunesinde görülmektedir. Bu ise yüksek kritik akım yoğunluğuna işaret etmektedir. Ayrıca malzemelerin askılama kuvvetlerinin hemen hemen tamamının pozitif değerlere sahip olduğu dikkate alınırca bu malzemeler için Chang (Chang vd., 1990)'nin tespit ettikleri denklemle benzer şekilde olduğu ve tüm grafikler için uygulanabileceğini göstermektedir. Bu sonuçların teorik olarak modelleme açısından Bean modeline uygun olduğu kabul edilebilir.

Bu çalışmada üretimi yapılan malzemeler ve elde edilen deneysel ve teorik sonuçları gösteriyor ki bu malzemeler süperiletken tel üretiminden yüksek manyetik alan kaynakları üretimine kadar yaygın bir teknolojik kullanım alanı olduğunu göstermektedir.

Malzemelerin bu çalışma ile manyetik askılama kuvveti incelemesi yapılmış olup mekanik, mikro yapı ve elektronik açıdan daha geniş bir şekilde incelemeye ihtiyaç duyduğu açıktır. Bu çalışma mevcut ve gelecekteki çalışmalara ışık tutacak faydalı bilgiler içermektedir.



KAYNAKLAR

Andresen, P. H., Fjellvag, H., Karen, P. and Kjekshus, A., *Acta Chem. Scand.* 45 698, 1991.

Bean C. P. “Magnetization of Hard Superconductors” *Phys. Rev. Lett.* 8: 250-253,1962.

Chang, P.-Z., Moon, F. C., Hull, J. R. and Mulcahy, T. M. “Levitation Force and Magnetic Stiffness in Bulk High-Temperature Superconductors,” *J. Appl. Phys.* 67, 4358-4360,1990.

Chang, P.Z., Moon, F.C., Hull J.R. and Mulcahy, T.M., “Levitation force and magnetic stiffness in bulk high-temperature superconductors”, *J. Appl. Phys.* 67, 4358,1990. <https://doi.org/10.1063/1.344927>.

Cyrot, M. and Pavuna, D., “Introduction to Superconductivity and High-T_c Materials”, *World Scientific, Singapore*, 1992.

Eibschütz, M., Lines, M. E., Tarascon, J. M. and Barbour, P., *Phys Rev. B* 38 2896, 1988.

Greaves, C. and Slater, P. R., *Physica C* 161 245, 1989.

Hull J. R. “Using High Temperature Superconductors for Levitation Applications” *Journal of The Minerals Metals and Material Societ* 13-18, 1999.

Hull J. R. “Superconducting Bearing” *Supercond. Sci. Technol.* 13: R1-R15, 2000.

Jayaram, B., Agarwal, S. K., Narashimha Rao, C. V. and Narlikar, A. V., *Phys. Rev.B* 38 2903, 1988.

Kammlott, G.W., Tiefel, T.H. and Jin, S., *Appl. Phys. Lett.* 56 2459, 1990.

Karaca, İ., Şimşek, N., Özen, S. and Güler, MT, “Infiltration effects on (RE) 123 superconductors”, *Chinese Journal of Physics* 59, 556-566, 2019.

Karaca, İ., (2012) “Measurement of Levitation Forces in High Temperature Superconductors”, *Superconductors - Properties, Technology, and Applications*, Dr. Yury Grigorashvili (Ed.), *InTech*, DOI: 10.5772/38131.

Karaca, İ., “Characterization of a Cylindrical Superconductor Disk Prepared by the Wet Technique with Microstructure Analysis and Levitation Force Measurements Using a Permanent Magnet”, *Chinese Journal of Physics- Taipei*- 4725(5), 2009.

Karaca, İ., “A comparative study for magnetic levitation force in Type-II superconductors” *Sakarya University Journal of Science* 21 (6), 1293-1299. DOI: 10.16984/saufenbilder.273930, 2017.

Kim C. J., Kim K. B., Kuk I. H., Hong G. W., Lee Y. S. and Park H. S. “Microstructure Change During Oxygen Annealing and The Effect on The Levitation Force of Melt-Textured Y-Ba-Cu-O Superconductors” *Supercond. Sci. Technol.* 10: 947- 954, 1997.

Liang, R., Nakamura, T., Kawaji, H., Itoh, M. and Nakamura, T., *Physica C* 170 307, 1990.

Moon, F.C., “Superconducting Levitation”, *WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA*, 2nd edition, Weinheim, 1st chapter, 4, 2004.

Murakami, M. “Progress in Applications of Bulk High Temperature Superconductors” *Supercond. Sci. Technol.* 13: 448-450, 2000.

Nihat, Ş., “Üstten Tohumlama Yöntemi İle YBCO Süperiletkeni Üretimi ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi” *Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* Fizik A.B.D. Doktora, 2016.

Nishi, Y., Moriya, S., Tokunaga, S. and J. Mater, *Sci. Lett.* 7 596, 1988.

Nishi, Y., Moriya, S. and Tokunaga, S., *Phys. Lett. A* 126 55, 1987.

Roth, G., Adelman, P., Ahrens, R., Blank, B., Bürkle, H., Gompf, F., Heger, G., Hervieu, M., Nindel, M., Obst, B., Pannetier, J., Raveau, B., Renker, B., Rietschel, H., Rudolf, B. and Wülh, H., *Physica C* 162 - 164 518, 1989.

Saito, Y., Noji, T., Endo, A., Higuchi, N., Fujimoto, K., Oikawa, T., Hattori, A. and Furuse, K., *Physica B* 148 336, 1987.

Sangster, A. J., "Fundamentals of Electromagnetic Levitation", Published by The *Institution of Engineering and Technology*, London, 1st edition, 7nd chapter, 152-157, 2012.

Siegrist, T., Schneemeyer, L. F., Waszczak, J. V., Singh, N. P., Opila, R. L., Batlogg, B., Rupp, L. W. and Murphy, D. W., *Phys. Rev. B* 36 8365, 1987.

Streitz, F. H., Cieplak, M., Xiao, G., Gavrin, A., Bakhshai, A. and Chien, C. L., *Appl. Phys. Lett.* 52 927, 1988.

Strobel, P., Paulsen, C. and Tholonce, J. L., *Solid State Commun.* 65 585, 1988.

Takabatake, T. and Ishikawa, M., *Solid State Commun.* 66 413, 1988.

Takayama-Muromachi, E., Uchida, Y. and Kato, K., *Jpn. J. Appl. Phys.* 26 L2087, 1987.

Tholonce, J. L., *Physica B* 148 353, 1987.

Ullman, B., Wördenweber, R., Heinemann, K., Krebs, H.U., Freyhardt, H.C. and Schwarzmann, E., *Physica C* 153-155 872, 1998.

Xiao, G., Cieplak, M., Gavrin, A., Streitz, F. H., Bakhshai, A. and Chien, C. L., *Phys. Rev. Lett.* 60 1446, 1988.

Xiao, G., Streitz, F. H., Gavrin, A., Du, Y.W. and Chien, C. L., *Phys. Rev. B* 35 8782,1987.

Yan, M. F., Rhodos, W. W. and Gallagher, P. K., *J. Appl. Phys.* 63 821, 1988.

Zeng R., Murashov V., Beales T. P.,Liu H. K. and Dou S.X. “High Temperature Superconducting Magnetic Levitation Train” *Appl. Supercond.* 5: 201-204, 1997.

URL 1: http://21sci-tech.com/articles/Summer03/maglev_3.pdf 27 Haziran 2019



ÖZGEÇMİŞ

Sultan Özen 02.02.1980 tarihinde Niğde’de doğdu. İlk orta ve lise öğretimini Niğde’de tamamladı. 1996 yılında girdiği Erciyes Üniversitesi Yozgat Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü’nden Şubat 2001’de mezun oldu. 2002 yılında sınıf öğretmeni olarak göreve başladı. 2011 yılında branş değişikliği yaparak fizik öğretmenliği branşına geçti. Halen Niğde Faik Şahenk Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi’nde Fizik Öğretmeni olarak görev yapmaktadır. 2015 yılı güz döneminde Niğde Ömer Halis Demir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında yüksek lisansa başladı. “Süperiletkenlerin Askılama Kuvvetleri (MagLev sistemleri)” üzerine çalışmaları bulunmaktadır. Yabancı dili İngilizcedir. Evli olup Mert ve Kerem isiminde iki çocuğu bulunmaktadır.

