

# SÜPER İLETKENLERİN ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMİNDE PASİF STABİLİTE ELEMANI OLARAK UYARLANMASI

Ahmet Cansız ve Köksal Erentürk

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü

Mühendislik Fakültesi

Atatürk Üniversitesi, 25000, Erzurum

e-posta: [acansiz@atauni.edu.tr](mailto:acansiz@atauni.edu.tr)

*Anahtar sözcükler: Manyetik ve Süper iletken Taşıyıcılar, Enerji Depolama*

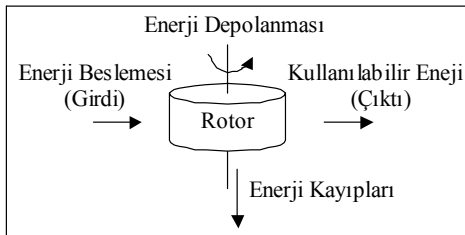
## ÖZET

*Bu bildiride Flywheel enerji depolama sistemlerinde kullanılan Evershed tipi manyetik taşıyıcının (bearing) stabilasyonu çalışılmıştır. Evershed tipi manyetik taşıyıcılarda söz konusu aktif kontrol yerine yüksek sıcaklık süper iletkenlerin kullanılması ile sağlanan pasif kontrol mekanizması incelenmiştir. Çalışmada sistemin dizayn tasarısı ve teorik altyapısı sunulmuştur. Bu çalışmada yüksek sıcaklık süper iletkenlerle mıknatısların karakteristik etkileşimleri deneysel ve teorik olarak sunulmuş ve dizayn edilen Flywheel sistemi tartışılmıştır.*

artması açısından önem arz etmektedir. Örneğin bir fabrikada enerji kesikliği söz konusu olduğu durumlarda enerji depolayıcılar devreye sokularak üretim durmaksızın devam edebilir. Hidroelektrik santrallerindeki gece ve gündüz sınırlı kapasitede çalışmanın yaratmış olduğu sorunları başka bir örnek olarak verebiliriz. Eğer herhangi bir zaman zarfında enerji tüketimi fazla değil ise üretilmiş olan fazlalık enerji depolanarak ihtiyaç olduğu zaman kullanılabilir. Yine, çok yüksek güç gerektiren bir çok kontrol mekanizmaları kesintisiz enerji kaynaklarına ihtiyaç duymaktadır. Bir kaç saniyelik enerji kesintisi bile hem güvenlik ve hemde verimlilik açısından problem oluşturmaktadır.

## 1. GİRİŞ

Manyetik taşıyıcı kullanılarak bir kütleye sahip olan disk şeklindeki bir cismin döndürüldüğü sisteme literatürde uçan teker anlamına gelen flywheel denir. Manyetik taşıyıcının en belirgin uygulama alanı enerji depolama aletlerinde kullanılmasıdır. Şekil 1 de görüldüğü gibi bu aletin çalışma prensibi bir kütleye dışardan mekanik dönme enerjisi verilerek verilen enerjiyi daha sonra elektrik enerjisine dönüştürmek üzere mekanik olarak depolamaktır. Manyetik taşıyıcı sisteminde yüzeyler arasında kontak olmadığından sürtünme çok küçüktür.



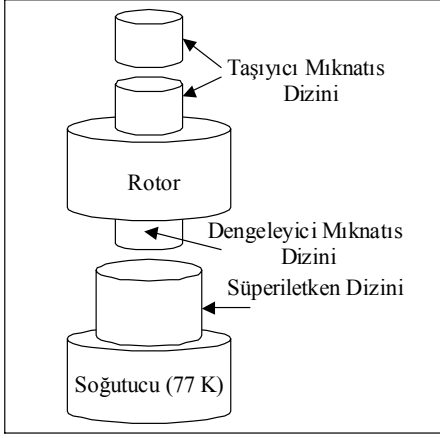
Şekil 1. Flywheel enerji depolama sisteminin şematik görünüşü.

Dünyanın bir çok teknoloji laboratuvarlarında yüksek sıcaklık süper iletkenlerin enerji depolama aletlerinin manyetik taşıyıcı sistemlerine uyarlanması üzerinde çalışılmaktadır [1,2]. Araştırma gruplarını bu alana zorlayan bir çok sebep vardır. Günümüzde enerji depolanması endüstriyel verimi ve devamlılığı

Bu çalışmada yüksek sıcaklık süper iletkenlerinin enerji depolama sistemlerindeki manyetik taşıyıcılara uyarlanması çalışılmıştır. Manyetik taşıyıcı literatürü adıyla Magnetic Bearing olarak bilinmektedir ve mekanik taşıyıcılarda olduğu gibi yüzeyler arasında düşük sürtünmeli mesnet oluşturmaktadır. Manyetik taşıyıcılarda sürtünme katsayısı mekanik olanlardan 10000 kez daha düşük olabilmektedir [3-6]. Mekanik taşıyıcılardan farklı olarak manyetik taşıyıcılarda yüzeyler arasında fiziksel kontak olmadığından mekanik taşıyıcılardaki fiziksel mesnedin görevini manyetik kuvvetler üstlenmektedir ve durum yüzeyler arasında düşük sürtünme sağlamaktadır.

## 2. DENEYSEL TASARIM

Şekil 2 de görüldüğü gibi enerjiyi mekanik manada depolayacak rotor mıknatıslar ve süper iletkenler yardımıyla hiçbir yere fiziksel kontak olmadan havada tutulabilmektedir. Rotorun üst kısmındaki mıknatıs dizini taşıyıcı mıknatıs dizini ile farklı kutuplarda yerleştirilerek aralarında çekme kuvveti sağlanmıştır. Bu şekilde çalışan manyetik taşıyıcı sistemler Evershed tipi olarak bilinir [6]. Rotor ile taşıyıcı mıknatıs arasındaki çekim kuvvetini dengelemek için rotorun altına süper iletken dizini ile etkileşecek mıknatıs dizini yerleştirilmiştir. Rotor alt kısmındaki mıknatıs süper iletkenle yaklaştıkça akı çivilenmesinden dolayı rotor dengede kalabilmektedir [7].



Şekil 2 Süper iletken manyetik taşıyıcının şematik görünümü.

Manyetik taşıyıcılar yatay eksenle stabiliteden yoksun oldukları için sistemi oluşturan mıknatıslar birbirine yaklaştırıldıkları zaman birbirlerinin üzerine düşerler. Bu durumdan kurtulmak için aktif kontrole ihtiyaç olmaksızın yüksek sıcaklık süper iletkenleri kullanılabilir. Yüksek sıcaklık süper iletkenlerin manyetik özellikleri mıknatısların göstermiş olduğundan farklıdır. Mıknatıslarla etkileşmeye girdiklerinde akı çivilenmesi özelliği gösterirler ve dolayısıyla manyetik taşıyıcıların yatay eksenle stabilizasyonunda kullanılabilirler. Bu stabilizasyon süper iletkenle literatürde Flux Pinning olarak bilinen akı çivilenmesi özelliğinin manyetik taşıyıcılarda aktif kontrole ihtiyaç kalmaksızın kullanılmasını sağlamaktadır [7,8]. Bu çivilenme mıknatıs ve süper iletkeni bir arada belirli bir mesafede tutabilmektedir.

Mıknatısı süper iletkenle yaklaştırdığımızda süper iletken mıknatısa Meissner olayından dolayı bir itme kuvveti uygulamaktadır [9]. Eğer mıknatısı süper iletkenle yaklaştırmak için Meissner itmesinden daha fazla kuvvet uygulanırsa mıknatısın sağlamış olduğu manyetik alanın bir kısmı süper iletkenin içine nüfuz eder ve orada çivilenir. Bu çivilenmeden sonra mıknatısı süper iletkenle uzaklaştırmaya çalıştığımızda akının bir kısmı çivilendiği için süper iletken bu sefer mıknatısa çekme kuvveti uygular. Süper iletken ve mıknatıs arasındaki bu etkileşim her yönde yani düşey ve yatay eksenlerde gerçekleştiği için süper iletkenin mıknatısa uyguladığı manyetik kaldırma stabilize olur. Sonraki bölümde de görüleceği gibi mıknatıs ve süper iletken arasındaki bu etkileşim bazı yaklaşımlarla modellenebilir.

### 3. MANYETİK TAŞIYICI MODELİ

Mıknatıslar arasında kuvvet hesaplaması mıknatısların dipol yaklaşımı ve Amperian akım oluşturdukları varsayımından faydalanılarak aşağıda verilen kuvvet formülü gerçek geometriler için uyarlanabilir. Bu

yaklaşım süper iletkenler diamanyetik özellikler gösterdiklerinden dolayı süper iletkenlerle mıknatıslar arasındaki kuvvetleri hesaplamada kullanılabilir. Magnetostatikte bilindiği üzere iki manyetik dipol arasındaki kuvvet

$$F = (m \cdot \nabla)B \quad (1)$$

bağıntısı ile verilir. Burada  $m$  dipollerden birinin magnetizationu,  $B$  ise diğer dipolün oluşturduğu manyetik akıdır. Bu eşitlik silindirik geometri için mıknatıslar ve süper iletkenler arasındaki kuvveti verecek şekilde eliptik integrallerin polinom açılımlarına göre aşağıdaki gibi verilir. Mıknatıslar bobin gibi düşünülecek olursa [10]

$$F = \frac{\mu_0 I_1 I_2 z}{(4r^2 + z^2)^{1/2}} \left[ \frac{z^2 + 2r^2}{z^2} E - K \right] \quad (2)$$

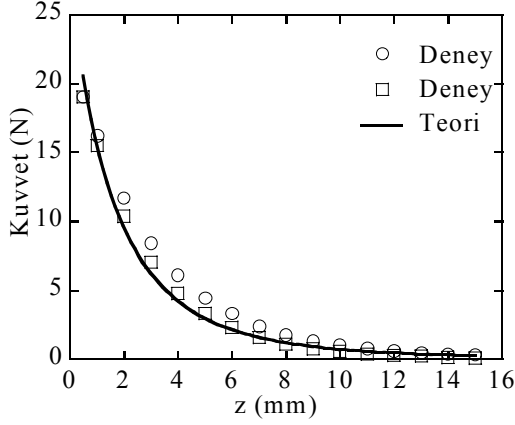
$$k^2 = 4r^2 / (4r^2 + z^2) \quad (3)$$

Burada,  $\mu_0$  manyetik geçirgenlik,  $r$  mıknatıs yarıçapı  $I_1$  ve  $I_2$  sırasıyla etkileşen mıknatısın ve süper iletkenin içindeki imaj Amperian yüzey akımları,  $z$  de aralarındaki uzaklıktır. Manyetizasyon ölçümlerinden mıknatısın yüzey akım yoğunluğu 660 kA/m olarak tespit edilmiştir. Elektromanyetizmadan bilindiği gibi  $I_1$  ve  $I_2$  birbirinin imajı olduklarından eşittirler. Eşitlik 2 de  $K$  ve  $E$  terimleri, argümanları  $k^2$  eşitlik 3 de verilmiş olmak üzere, sırasıyla first kind ve second kind eliptik integralleridir. Eşitlik 2 de verilen kuvvet için, silindirik mıknatıs ve onun süper iletken içinde oluşturduğu imajı 50 tabakaya bölünür ve hesaplama her tabaka için ayrı ayrı yapılır. Her tabakada  $I_1$  veya  $I_2$  akımı geçiren bir dairesel tel olduğu düşünülürse toplam kuvvet bütün tabakalardaki akımların oluşturduğu kuvvetlerin toplamına eşit olur. Hesaplama çok tabakalı sayısal ve eliptik integrasyon gerektirdiği için Fortran programı yazılmıştır.

Yukarıda modellendiği gibi süper iletkenle mıknatıs arasındaki kuvvet etkileşmesini test etmek için deney düzeneği hazırlanmıştır. Önce süper iletken sıvı azot içinde tutularak süper iletken hale gelmesi sağlanmıştır. Deneylerde Yttrium Barium Copper Oxide (YBCO) seramik süper iletkenleri kullanılmıştır. YBCO süper iletken haline geldikten sonra 12.7 mm yüksekliği ve çapı olan silindirik mıknatıs süper iletkenle yaklaştırılarak aralarında oluşan itme kuvveti kuvvet ölçerlerle ölçülmüştür.

Süper iletken ile mıknatıs arasındaki kuvvet, aralarındaki uzaklığın fonksiyonu olarak deneysel ve teorik olarak bulunmuştur ve sonuçlar Şekil 3 de karşılaştırılmıştır. Şekilde de görüldüğü gibi süper iletkende histeresis olayından dolayı mıknatıs süper iletkenle yaklaşırken (daire sembolü) ve uzaklaşırken (kare sembolü) aynı yolu izlememektedir. Bu süper

iletkenlerdeki histeresis olayından kaynaklanmaktadır ve açıkça formül 2 de verilen ifade ile açıklanamıyor olsa da süper iletkenle mıknatıs arasındaki kuvvetin büyüklüğünü nicel olarak tahmin edebilmektedir. Akı çivilenmesi ile açıklanabilen bu histeresis aynı zamanda mıknatısla süper iletken arasında stabil bir etkileşme sağlamaktadır [7,8].



Şekil 2 Süper iletken ve mıknatıs arasındaki kuvvetin aralarındaki uzaklığa göre değişimi.

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada süper iletkenlerin akı çivilenmesi özelliklerinden faydalanılarak enerji depolama aletlerinin manyetik taşıyıcı sistemlerinde dengeleyici olarak kullanılmaları incelenmiştir. Tasarlanan süper iletken dengeleyici için mıknatıslarla süper iletkenler arasında ortaya çıkan kuvvetlerin karakterizasyonu yapılmıştır. Teorik sonuçlar deneyler tarafından teyit edilmiştir. Sonuç olarak kullanılan yaklaşım mıknatıs ve süper iletken arasında oluşan histeresis olayını açıklayamasa da kuvvetlerin tahmininde oldukça başarılıdır. Bu hesaplama yöntemi ile enerji depolama aletlerindeki manyetik taşıyıcılara uyarlanması gereken süper iletken ve mıknatısların boyutları ve özellikleri hakkında ön bilgiye sahip olunabilir. Böylece bu çalışmanın süper iletkenli manyetik taşıyıcının dizayn aşamasındaki optimizasyonda büyük fayda sağlanacağı düşünülmüştür.

#### KAYNAKLAR

- [1] Weinberger B. R., L. Lynds L., Hull J. R., Flywheel Energy Storage with Superconductor Magnetic Bearings, U. S. PATENT No 5214981, 1993.
- [2] Hull J. R., Superconducting Levitation, ENCYCLOPEDIA OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING, John Willey and Sons, Vol 20, pp 729, New York, 1999.
- [3] Abboud R. G., Hull J. R., K. Uherka K., Mulcahy T., Flywheel Energy Storage using Superconducting Magnetic Bearings, 56. Annual American Power Conference, Chicago, IL, April, 1994.
- [4] Cansız A., Hull J. R., Mulcahy T. M., Lehdorff B., Use of High-Temperature Superconducting Films in Superconducting Bearings, ADVANCES IN CRYOGENIC ENGINEERING, Vol 45, pp 1707-1714, 2000.
- [5] Coombs T. A., Cansız A., Campbell A. M., A superconducting thrust bearing system for an energy storage flywheel, SUPERCONDUCTOR SCIENCE AND TECHNOLOGY, Vol 15, pp 831-835, 2002.
- [6] Cansız A., Campbell A. M., Coombs T. A., An Evershed type superconducting flywheel bearing, PHYSICA C, in press, 2003.
- [7] Campbell A. M., J.E. Evetts J. E., Flux Vortices and Transport Currents in Type II Superconductors, ADVANCES IN PHYSICS Vol 21, pp 199 1972.
- [8] Brandt E. H., Superconductor Disks and Cylinders in an Axial Magnetic Field. I. Flux Penetration and Magnetization Curves, PHYSICAL REVIEW B, Vol 58 pp 5605 1998.
- [9] Wilson M. N., SUPERCONDUCTING MAGNETS, Clarendon Press, Oxford, 1983.
- [10] Smythe W. R., STATIC AND DYNAMIC ELECTRICITY, pp. 306, Hemisphere Publishing Corporation, New York, 1989.