



**Bu bir MMO
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

DOĞRUSAL TİP MANYETİK SOĞUTMA SİSTEMİ TASARIMI VE PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

**ORHAN EKREN
AHMET YILANCI
EGE ÜNİVERSİTESİ**

**MEHMET AKİF EZAN
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**

**EMRAH BIYIK
YAŞAR ÜNİVERSİTESİ**

DOĞRUSAL TİP MANYETİK SOĞUTMA SİSTEMİ TASARIMI VE PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Design and Performance Evaluation of a Linear Magnetic Cooling System

Orhan EKREN
Ahmet YILANCI
Mehmet Akif EZAN
Emrah BIYIK

ÖZET

Bu çalışmada manyetokalorik etkinin ısıtma-soğutma amacıyla kullanımına yönelik deneysel bir çalışma sunulmuştur. Çalışma kapsamında tasarlanan ve oda sıcaklığı civarında çalışan manyetik soğutma sistemi performansı incelenmiş ve deneysel çalışma sonuçları verilmiştir. Deneysel manyetik soğutma sisteminde manyetokalorik malzeme olarak gadolinyum kullanılmıştır. Manyetokalorik malzemenin plaka ve toz şeklinde kullanıldığı yeni bir rejeneratör tasarlanarak doğrusal hareketli manyetik soğutma sisteminde çalıştırılmıştır. Sistemde ısı transfer akışkanı olarak %10 etanol-su karışımı kullanılmıştır. Tasarlanan sistem ile 0.76 Tesla manyetik alan altında teorik çalışmalarda 5°C deneysel çalışmalarda yaklaşık 2°C sıcaklık düşüşü elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Manyetik alan, manyetik soğutma, gadolinyum, manyetokalorik etki, enerji verimliliği

ABSTRACT

In this paper, an experimental study on magnetocaloric effect utilization for heating-cooling has been investigated. Experimental results of the designed near room temperature magnetic cooling system has been presented and also performance of the system investigated. Gadolinium has been used as a magnetocaloric material in the experimental magnetic cooling system. A new regenerator has been designed for the plate and porous type gadolinium and operated at linear magnetic cooling system. In the study, %10 ethanol-water mix is used as a heat transfer fluid. At 0.76 Tesla magnetic field, for the numerical and experimental study 5 °C and about 2 °C temperature span has been observed respectively.

Key Words: Magnetic field, magnetic cooling, gadolinium, magnetocaloric effect, energy efficiency

1. GİRİŞ

Dünya birincil enerji tüketiminin yaklaşık %80'ini fosil ve tükenbilir, çevreye zararlı enerji kaynaklarından karşılanmaktadır (IEA, 2015). Dünyada her alanda sürdürülebilirliğin sağlanması için enerji kullanım verimi daha yüksek sistemlerin kullanımı büyük bir zorunluluktur. Toplam enerji tüketimimizin neredeyse yarısını ısıtma ve soğutma sistemlerinde harcanmaktadır. Örneğin bu oran Avrupa için 45% tir. Bu nedenle ülkeler daha verimli ısıtma-soğutma sistemleri arayışındadır. Çünkü bu alanda yapılacak verim artışı toplam enerjimizin büyük miktarda tasarruf edilmesi anlamına gelmektedir.

Manyetik soğutma isteminde MKE, manyetik alan büyüklüğü ve MKM istenilen sıcaklık düşümünün elde edilmesinde önemli bir role sahiptir. Belirli bir sıcaklık değerinin altında veya üstünde, manyetik alan uygulanmadan bile malzeme içerisinde manyetik momentler kendiliğinden düzene girer ya da düzensizleşir. Aynı zamanda tam bu sıcaklık değerinde bu etki maksimum değerine ulaşır. Her malzeme için farklı bir değeri olan bu sıcaklık, Curie sıcaklığı olarak adlandırılır. Manyetik soğutma uygulamalarında Curie sıcaklığının ($T_{curie} \approx 293K$) oda sıcaklığına yakın olması sebebiyle Gadolinyum (Gd) yaygın olarak kullanılmaktadır. Curie sıcaklığı manyetokalorik malzemenin manyetik faz değişimi gerçekleştirdiği sıcaklıktır. Manyetik soğutma çevriminde, elde edilmek istenen sıcaklık düşümü aşağıdaki parametrelere bağlıdır:

- Manyetik alan büyüklüğü,
- Kullanılan manyetokalorik malzemenin tipi ve miktarı,
- Manyetik alanda kalma veya ayrılma süresi yani çevrim zamanı,
- Kullanılan ısı transfer akışkanının tipi, akış hızı ve miktarı.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Manyetokalorik etki, ilk olarak 1881 yılında, Alman fizikçi Emil Gabriel Warburg tarafından demir örneğinin manyetik alan içerisine konulması ile mK (mili Kelvin) mertebesinde ısınıp, manyetik alandan çıkarıldığı zaman ise ilk sıcaklığına tekrar soğuması görüldüğünde gözlemlenmiştir. Literatürde manyetik soğutma ile ilgili çalışmalar, farklı manyetokalorik malzemelerin araştırılması, rejeneratör (manyetokalorik malzemenin bulunduğu yatak) modellemeleri, manyetik alanı oluşturan farklı mıknatis geometrilerinin ve özelliklerinin irdelenmesi, düşük sıcaklık uygulamalarında (helyum-hidrojen sıvılaştırması gibi) ve oda sıcaklığı civarındaki iklimlendirme/soğutma uygulamalarında manyetik soğutmadan yararlanılmasının teorik ve deneysel incelenmesi gibi konuları kapsamaktadır. Özellikle 2001 yılındaki bu gelişmelerden sonra sabit mıknatislerin süperiletken veya elektromıknatislerin yerine özellikle oda sıcaklığı civarındaki uygulamalarda kullanılabileceği anlaşılmıştır ve oda sıcaklığı civarındaki manyetik soğutma sistemleri ile ilgili çalışmalar hız kazanmıştır.

Farklı tasarımlara sahip oda sıcaklığı civarındaki manyetik soğutma sistemleri laboratuvar ölçekli prototipler olarak ortaya çıkmıştır. Hirano ve diğerleri, 2002 yılında bir aktif manyetik soğutucu geliştirmiş, 0.3 mm çapında, toplam 2.2 kg kütlede toz Gd kullanmıştır. Manyetik alan şiddeti 4 T ve COP değeri ise 5.6 civarındadır (Hirano vd., 2002).

Okamura ve diğerleri (2007), 540 W maksimum soğutma kapasitesine ve maksimum 21K sıcaklık farkına sahip bir dönel hareketli aktif manyetik soğutucu tasarlamıştır. Oak Ridge Ulusal Laboratuvarı araştırmacıları tarafından 2012 yılında doğrusal hareketli bir prototip tasarlanmıştır (Shassere vd., 2012). Bu tasarımda elektromıknatislerle 0.75 T manyetik alan sağlanmış ve iki aktif manyetik rejeneratöre 1mm kalınlığındaki Gd plakalar 0.25mm ve 0.5 mm aralıklarla (575 g ve 475 g kütledeki) yerleştirilmiştir. Isı transfer akışkanı olarak su-etilen glikol karışımı kullanılmıştır.

En iyi performans 0.5 mm boşlukla Gd yerleştirilen rejeneratör olmuştur ve 8.8 W/kg özgül soğutma kapasitesi, 5.6 K sıcaklık farkında, 0.17 Hz çevrim frekansında gözlemlenmiştir. 2012 yılında, Engelbrecht ve diğerleri Gd kürecikler kullanarak yüksüz durumda 25 K sıcaklık farkına ve 1010 W soğutma kapasitesine ulaşmışlardır (Engelbrecht vd., 2012). 2014 yılında, Arnold ve diğerleri tarafından 650 g Gd kullanılan bir soğutma sistemi ile yüksüz durumda 33 K sıcaklık farkına ulaşıldığı belirtilmiştir (Arnold vd., 2014). Yine 2014 yılında Jacobs ve diğerleri tarafından tasarlanan bir dönel hareketli soğutucuda LaFeSiH parçacıkları sayesinde sıfır sıcaklık farkında 3042 W soğutma kapasitesine, 12 K sıcaklık farkı için ise 2502 W soğutma kapasitesine ve 2 civarındaki performans katsayısına ulaşılmıştır (Jacobs vd., 2014).

Dünyadaki diğer uygulamalar için Yu (2003), Yu ve diğerleri (2010), Tura (2013), Kitanovski ve diğerleri (2015) kaynaklarında çok detaylı bilgi bulunabilir.

3. MANYETİK SOĞUTMA VE DENEYSEL ÇALIŞMA

Manyetik soğutma sisteminde performans göstergesi olarak üç farklı parametre incelenmiştir: sıcaklık düşümü, soğutma yükü ve COP. Sıcaklık düşümünün hesaplanmasında akışkanın giriş sıcaklığı ve soğutma işlemi için akışkanın sistemden çıkış sıcaklığının hem konuma hem de zamana bağlı ortalaması kullanılmıştır,

$$\Delta T(t) = T_{initial} - \frac{1}{\Delta t_{flow,2} w} \int_{\tau_3}^{t_{cycle} w + w/2} \int_{w/2} T(y,t) dy dt \quad (3.1)$$

Çevrim ortalamalı soğutma yükü ise Gd yatağa giren ve çıkan akışkanların sıcaklıkları cinsinden aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir,

$$q_C = \frac{1}{\Delta t_{flow,2}} \int_{\tau_3}^{t_{cycle}} \dot{m}(t) c_{HTF} [T_{in}(t) - T_{out}(t)] dt \quad (3.2)$$

Analizler iki boyutta gerçekleştirildiğinden soğutma yükü Gd yatağın birim kalınlığı cinsinden hesaplanmıştır (W/m). Manyetik soğutma çevriminin COP değeri ise sistemden çekilen ısılar cinsinden tanımlanmaktadır,

$$COP = \frac{q_C}{q_R - q_C} \quad (3.3)$$

burada q_C Eşitlik 3.2 de hesaplanmıştı, q_R ise Gd yataktan atılan ısıyı temsil etmektedir. Bu nedenle manyetizasyon süresinde ısı atımı prosesi boyunca Gd'nin ortalama iç enerji değişiminden hesaplanabilir,

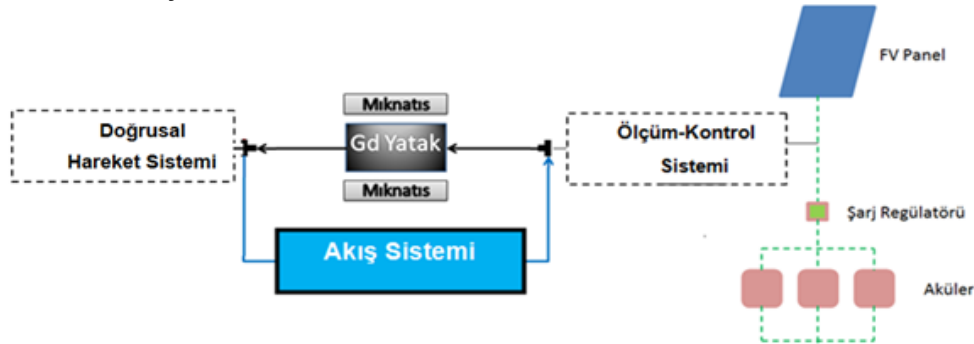
$$q_R = \frac{1}{\Delta t_{flow,1}} \int_{\tau_1}^{\tau_2} m_{Gd} \frac{[H(t) - H(t - \Delta t)]}{\Delta t} dt \quad (3.4)$$

H ortalama entalpiyi (J/kg), Δt ise zaman adımını temsil etmektedir. Sayısal analizler farklı akış hızları, farklı tip ısı transfer akışkanları ve çevrim süreleri için gerçekleştirilmiştir. Manyetik soğutma uygulamalarında yaygın olarak kullanılan boyutsuz performans ifadesi fayda faktörü (utilization) olarak isimlendirilir. Akışkanın bir çevrim boyunca sahip olduğu ısı kapasitesinin Gd ısı kapasitesine oranı fayda faktörü (ϕ) olarak tanımlanır.

$$\phi = \frac{(\dot{m}c)_{HTF} t_{flow}}{(mc)_{Gd}} \quad (3.5)$$

t_{flow} bir çevrimdeki toplam akış süresidir ve manyetizasyon ile demanyetizasyon sürelerinin toplamından oluşur. Çalışmada ısı transfer akışkanı olarak su, etilen glikol ve %10 su-Etanol karışımı test edilmiştir ancak en iyi sonucu %10 su-Etanol verdiği için deneysel çalışmalar da bu akışkan kullanılarak yapılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan manyetik soğutma deney düzeneği temel olarak (i) gadolinyum yatak, (ii) mıknatıslar, (iii) doğrusal (lineer) hareket düzeneği, (iv) akış sistemi, (v) ölçüm-kontrol sistemi ve (vi) güç bileşenlerinden oluşmaktadır



Şekil 2. Manyetik soğutma sistemi şematik gösterimi

3.1 Gadolinyum Yatak

Manyetik soğutma sisteminde en önemli kısım olan yatak, manyetokalorik malzemenin (Gadolinyum) içine yerleştirildiği ve akışkan ile temasın olduğu manyetik alana maruz kalan yapıyı ifade etmektedir. Manyetik soğutma sistemlerinde soğutma performansı yatak yapısına ve kullanılan manyetokalorik malzemeye doğrudan bağlıdır. Yataklar yapısına göre doğrusal ve dairesel hareket yapan olmak üzere iki tiptir. Diğer bir sınıflandırma ise yatakta kullanılan manyetokalorik malzemenin tipi ve geometrik şeklidir. Literatürde çok çeşitli saf ve alaşım halinde manyetokalorik malzemeler bulunmakla birlikte Gd en verimli referans malzeme olarak kullanılmaktadır. Geometrik sınıflandırmada ise plaka, toz, başta olmak üzere farklı boyutlarda tasarımlar kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, doğrusal hareket yapan ve hem toz hem de plaka şeklinde Gadolinyum (Gd) kullanabilen bir yatak tasarlanmıştır ancak bu çalışmada plakalı tip yatak incelenmiştir. Plakalı tip yatakta Gd plaka kalınlıkları 1 mm olup 200x20 mm ölçülerine sahiptir. Plaka Gd yatak içerisinde 49 adet Gd plaka aralarında ise 1 mm akış boşluğu kalacak şekilde yanyana dizilmişlerdir.



Şekil 3. Plaka haldeki Gd yatak

3.2 Akış Sistemi

Deneyisel manyetik soğutma sisteminde (Şekil 4) manyetik malzeme olan Gd'nin manyetik alana maruz kaldığında ısınması sırasında sıcaklık artışı bir akışkana aktarılarak sıcak akışkan elde edilmesi, benzer şekilde manyetik alan dışına çıktığında ise soğuyacağı için elde edilen sıcaklık düşüşü sayesinde bir akışkanın soğutulması planlanmıştır. Ancak literatürde de karşılaşıldığı üzere pratikte manyetik soğutma sistemlerinde hedeflenen sıcaklık artış yada düşüşleri çok düşük mertebede olmaktadır. Bu nedenle şimdilik araştırma aşamasında olan bu sistemler daha çok küçük kapasiteli ihtiyaçlar için kullanım potansiyeline sahiptir. Bu şekilde elde edilen sıcak ve soğuk uçlar arasındaki sıcaklık farkı ne kadar çok ise manyetik soğutma sistemi performansı o derece yüksek olmaktadır. Bu çalışma kapsamında kurulan deney düzeneğinde yatak içinde sıcak ve soğuk uçlar elde edilerek manyetik soğutma sisteminde soğutma gözlenmiştir.

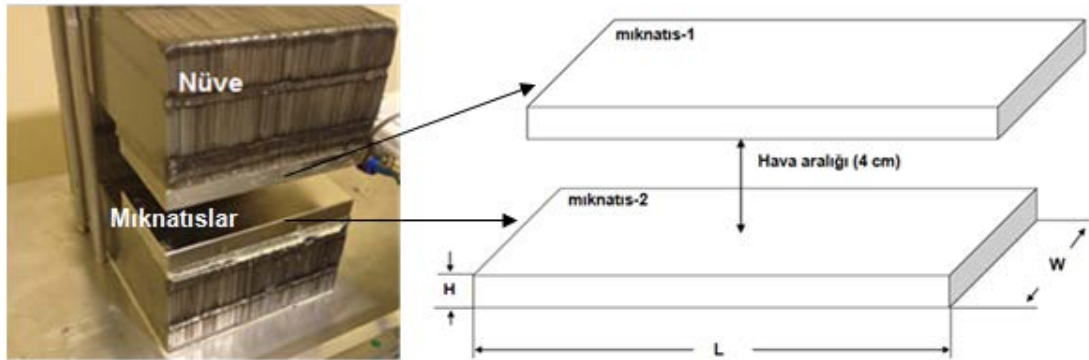
Deney düzeneğinde Gd yatağın iki ucunda sıcak ve soğuk uçlara akışkanı yönlendirenmesi amacıyla pompa yerine piston silindir düzeneği eklenmiştir (Şekil 3'de görülmektedir). Piston silindir düzeneğine bağlı çalışma parametreleri Tablo 1'de verilmiştir. Kullanılan piston silindir düzeneğinin silindir çapı 63 mm ve maksimum stroku 100 mm'dir. Pistonun hareket miktarı yani stroku ve hızı yatak içindeki akışkanın hareket miktarı ve debisini doğrudan etkilemektedir.

Tablo 1. Piston stroku ile yatak için akışkan hareketi ilişkisi

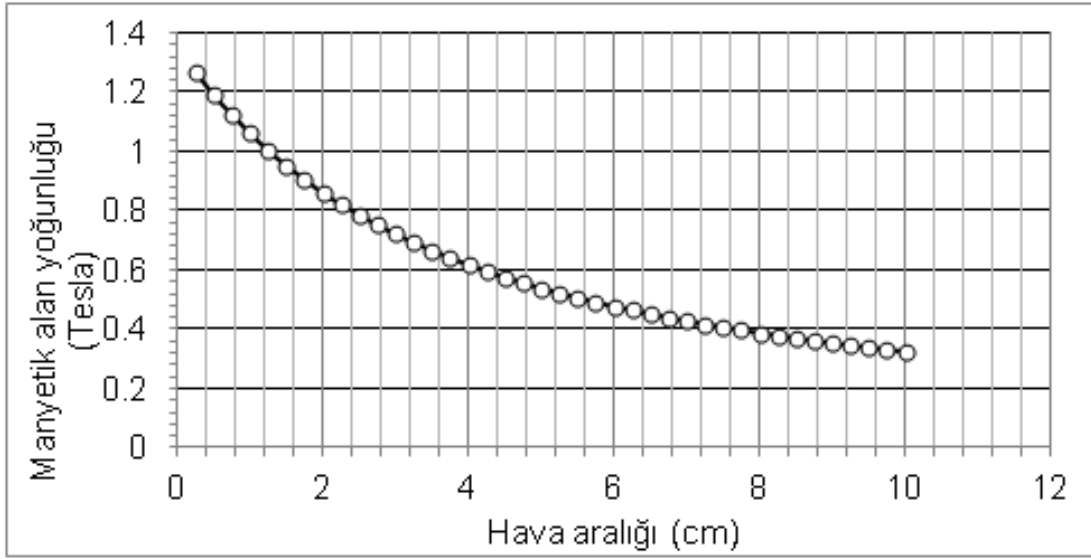
Piston Hareketi (mm)	Yataktaki Akışkan Hareketi (cm)	Yatak Akışkan Debisi (lt/dk)
2	0.3	0.03
3	0.4	0.04
4	0.6	0.06
5	0.7	0.07
7	1.0	0.10
8	1.2	0.12
10	1.5	0.15
12	1.7	0.17
14	2.0	0.20
16	2.3	0.23
18	2.6	0.26
21	3.0	0.30
23	3.3	0.33
25	3.6	0.36
27	3.9	0.39
30	4.4	0.44
34	4.9	0.49
38	5.5	0.55

3.3 Mıknatıslar

Manyetik soğutma sistemlerinde verim doğrudan manyetik alanın büyüklüğüne bağlı olduğundan en önemli elemanlardan biri mıknatıslardır. Mıknatısların görevi klasik soğutma sistemlerindeki kompresöre benzetilebilir. Bu çalışmada, 2 adet neodyum N52 tip sabit mıknatıslar kullanılmıştır. Mıknatısların boyutları 200x100x20 (LxWxH) mm ölçülerinde olup aralarında 4 cm hava aralığı olmak üzere Şekil 4'de gösterildiği şekilde bir araya getirilmişlerdir. Mıknatısın yarattığı manyetik alan etkisini arttırmak için nüve ismi verilen bir yapı kullanılmıştır. Teorik analizler kapsamında manyetik alan analizleri yapılarak mıknatıs boyutları ve hava aralığı belirlenmiştir.

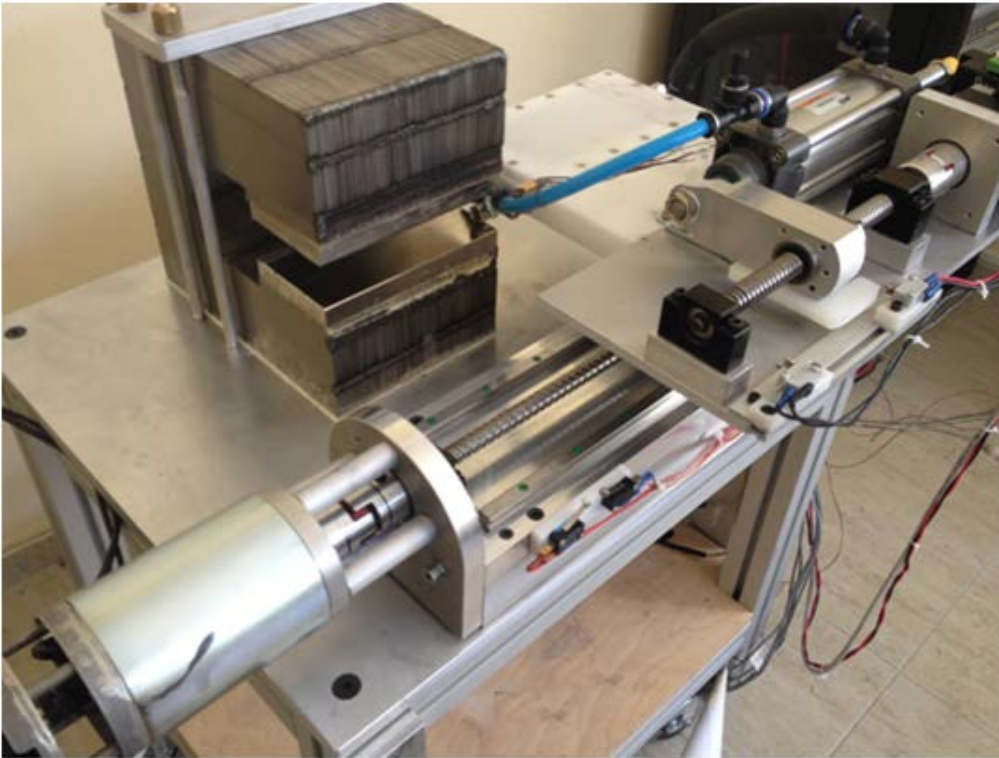
**Şekil 4.** Mıknatıslar

Mıknatıslar arası boşluk azaldıkça manyetik alan şiddeti artmaktadır.



Şekil 5. Mıknatısların hava aralığı ile manyetik alan arasındaki ilişki

Deneylerde kullanılan 2 adet 200x100x20 (LxWxH) mm ölçülerindeki neodyum N52 tip sabit mıknatıslarla 4 cm hava aralığında en yüksek 0.76 Tesla manyetik alan büyüklüğüne ulaşılmıştır.

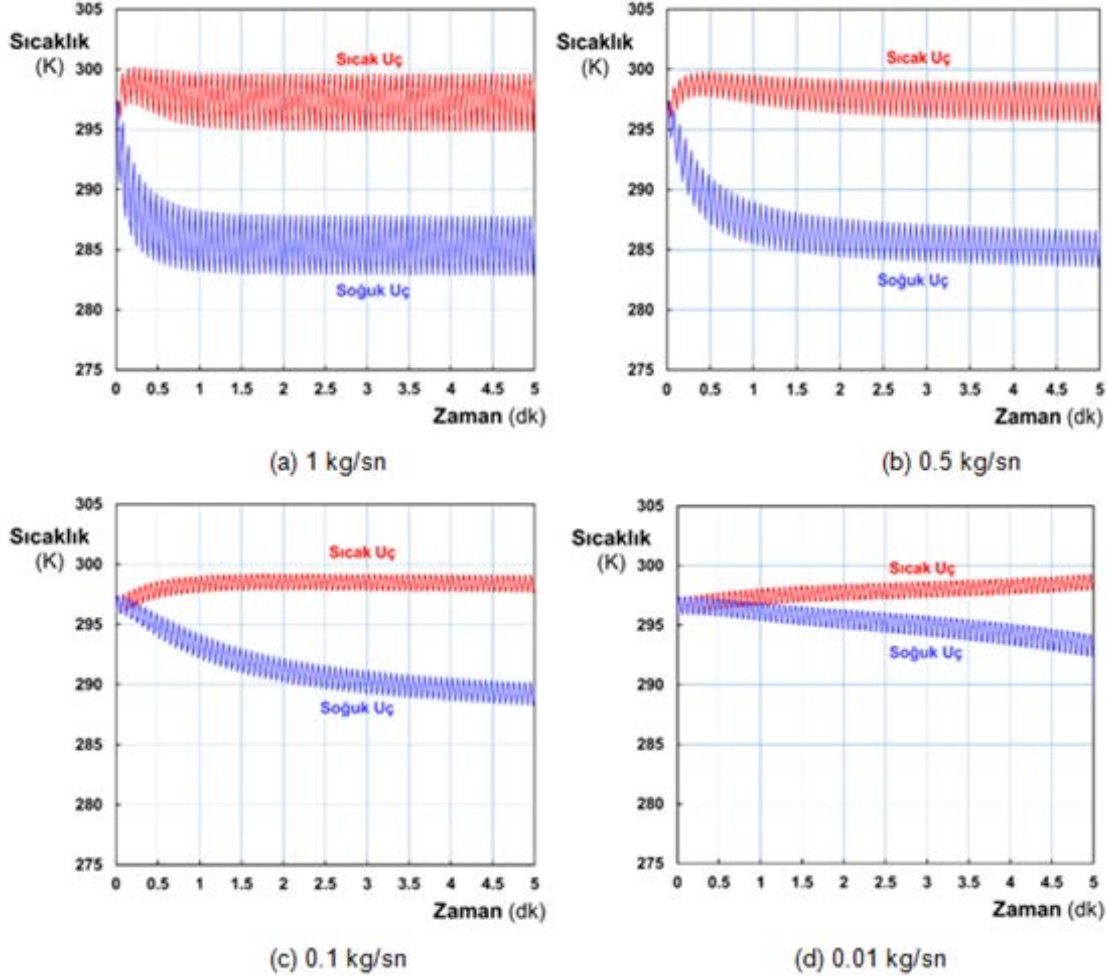


Şekil 6. Deney düzeneği

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında hem teorik hem deneysel analizler yapılmıştır. Teorik analiz sonuçlarında manyetizasyon sırasında sıcaklığı artan Gd yatağa T_H sıcaklığında akışkan girerek Gd yüzeyinden ısı transfer gerçekleşmektedir. De-manyetizasyon sırasında ise Gd sıcaklığı başlangıç/ortam sıcaklığının altına düşerek akışkandan (T_C) ısı alımını gerçekleştirmektedir. Şekil 7'da ısı transfer akışkanının 4 farklı debi değeri için sıcak ve soğuk uçlar arasındaki farkın zamana bağlı değişimi gösterilmektedir.

Yüksek akış debilerinde sıcak ve soğuk uçların sürekli rejime çok hızlı bir şekilde ulaştığı görülmektedir. 1 kg/s akış debisi için bir dakikadan kısa sürede sürekli rejime ulaşılırken, 0.01 kg/s için beş dakikalık sürenin yeterli olmadığı görülmektedir. Akış debisinin artmasıyla birlikte uçlar arasındaki sıcaklık farkı azalmaktadır.



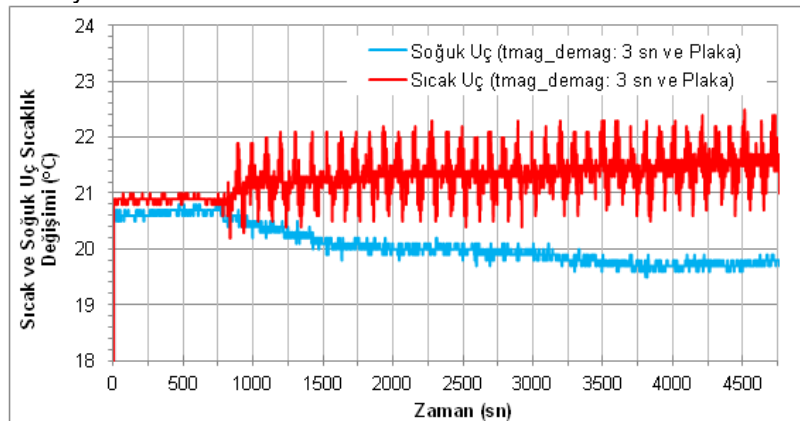
Şekil 7. Akış debisine bağlı olarak Gd yatak sıcak ve soğuk uç sıcaklıklarının değişimi

Bu kısımda, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisinde kurulumu yapılan güneş enerjisi destekli manyetik soğutma sisteminden elde edilen deneysel bulgular sunulmaktadır. Çalışmada kapsamında plaka ve poroz olmak üzere iki farklı yatak tasarımı gerçekleştirilmiş bu bildiri kapsamında plaka tip yatak için elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Aşağıdaki tabloda doğrusal hareket mekanizması ve piston silindir hareketinden elde edilen farklı çalışma parametreleri verilmiştir.

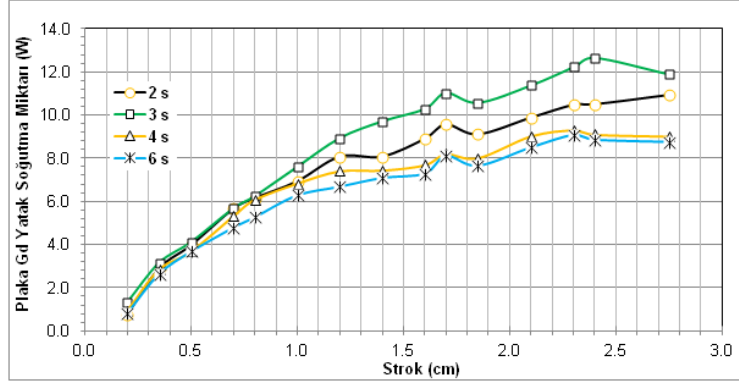
Tablo 2. Gerçekleştirilen deney parametreleri

Yatak İçi Akışkan Hareket Miktarı (cm)	t_{man_deman} (sn): 2 ile 10 sn arasında										
	Akışkan Hızı (mm/sn)										
	Akış Zamanı (sn)										
	1	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.3	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
0.4	3	2	2	1	1	1	1	0	0	0	0
0.5	4	2	2	1	1	1	1	1	0	0	0
0.7	5	3	3	2	1	1	1	1	1	1	1
1.0	7	5	4	2	2	1	1	1	1	1	1
1.2	8	5	4	3	2	2	1	1	1	1	1
1.5	10	7	5	3	3	2	2	1	1	1	1
1.7	12	8	6	4	3	2	2	2	2	1	1
2.0	14	9	7	5	4	3	2	2	2	2	1
2.3	16	11	8	5	4	3	3	2	2	2	2
2.5	17	11	9	6	4	3	3	2	2	2	2
2.7	19	12	9	6	5	4	3	3	2	2	2
3.0	21	14	11	7	5	4	4	3	3	2	2
3.3	23	15	12	8	6	5	4	3	3	3	2
3.5	24	16	12	8	6	5	4	3	3	3	2
4.0	28	18	14	9	7	6	5	4	3	3	3
4.5	31	21	16	10	8	6	5	4	4	3	3
5.0	35	23	17	12	9	7	6	5	4	4	3
6.0	42	28	21	14	10	8	7	6	5	5	4
6.5	45	30	23	15	11	9	8	6	6	5	5
7.0	48	32	24	16	12	10	8	7	6	5	5
7.5	52	35	26	17	13	10	9	7	7	6	5
8.0	55	37	28	18	14	11	9	8	7	6	6
8.4	58	39	29	19	15	12	10	8	7	6	6
9.0	62	41	31	21	16	12	10	9	8	7	6
9.4	65	43	33	22	16	13	11	9	8	7	7
10.0	69	46	35	23	17	14	12	10	9	8	7

Yukarıda resmi verilen deney düzeneğinde yapılan çalışmalarda piston silindir kullanıldığı durumda plakalı Gd yatakta sıcak ve soğuk uçlar arasında gözlenen sıcaklık farklarının değişimi zamana göre incelenmiş ve elde edilen en iyi duruma ait ($t_{man-deman}$:3 sn) sıcaklık-zaman grafiği Şekil 8'de gösterilmiştir. Burada verilen süreler en yüksek sıcaklık farkı oluşan durumlardır diğer durumlarda istenen düzeyde sıcaklık düşüşü gerçekleşmemiştir. Görüldüğü üzere Gd yatağın bir ucunda sıcaklık artarken diğer ucunda sıcaklık düşüyor bu durum sıcaklıkların sabitlendiği bir yere kadar devam ediyor. Sıcak ve soğuk uçlar arasındaki fark ne kadar büyük olursa manyetik soğutma sistem performansı o derece iyi olmaktadır.

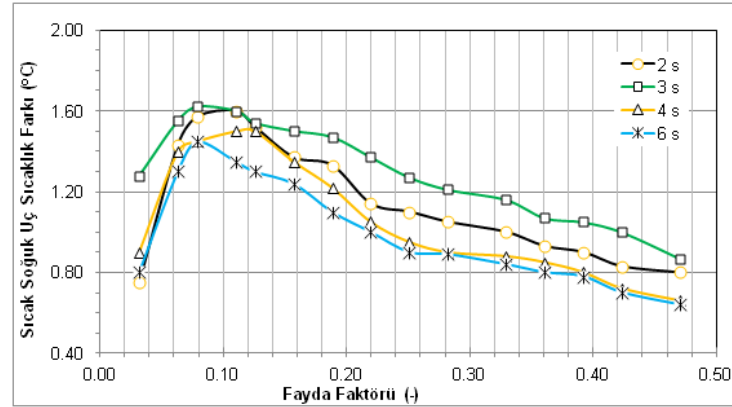

Şekil 8. Plaka Gd için sıcaklık farkının zamanla değişimi ($t_{man-deman}$:3 sn)

Diğer yandan piston silindir kullanıldığı durumda plaka Gd yatakta deneysel sonuçlardan elde edilen soğutma miktarı piston strokuna göre Şekil 9'da verilmiştir. En büyük soğutma 12.6 W olup manyetizasyon ve demanyetizasyon süresinin 3 sn olduğu durumda gerçekleşmiştir.



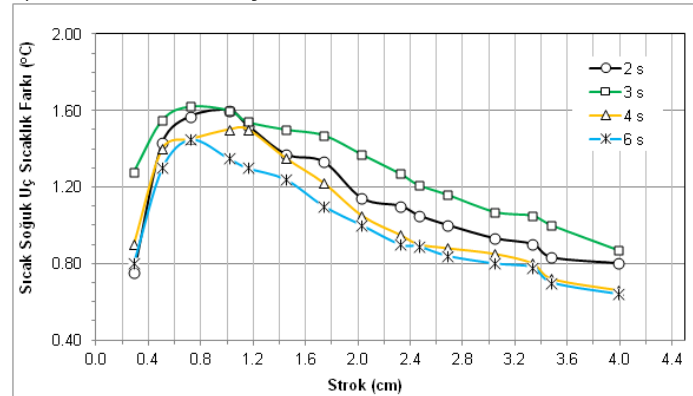
Şekil 9. Plaka Gd yatak soğutma miktarının piston stroku ile değişimi

Manyetik soğutma sistemleri için literatürde en yaygın performans ölçüm yöntemi olan birimsiz fayda faktörü(ϕ) Şekil 10'da verilmiştir. Fayda faktörü(ϕ) birimsiz bir oran olup Denklem 3.5 de verilmiştir. Bu değer farklı manyetizasyon-demanyetizasyon sürelerine bağlı olarak manyetik soğutma düzeneğinden elde edilebilecek sıcaklık farkı ile ilgili bilgi vermektedir. Mevcut deneylerden elde edilen sonuçlara göre en yüksek sıcaklık farkının elde edildiği fayda faktörü 0.08 dir ve bu değer manyetizasyon-demanyetizasyon süresinin 3 sn olduğu periyotta gerçekleşmiştir.



Şekil 10. Plaka Gd yatak fayda faktörü (ϕ) ile sıcaklık farkı değişimi

Pistonun değişik strok değerleri ve farklı manyetizasyon-demanyetizasyon sürelerine bağlı manyetik soğutma düzeneğinden elde edilebilecek sıcaklık farkı Şekil 11'de görülmektedir. Burada strok değeri Gd yatak içerisinde akışkanın hareket miktarını göstermektedir. Bu sonuçlara göre akışkanın yatak içerisinde çok fazla hareket etmesi istenmemekte. En yüksek sıcaklık farkının elde edildiği strok değeri 0.7 cm (t_{man_deman} : 3 sn) olarak elde edilmiştir.



Şekil 11. Plaka Gd Yatak strok ile sıcaklık farkı değişimi

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada yeni bir yöntem olan manyetik soğutma sistemiyle ilgili sayısal ve deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Burada incelenen manyetik soğutma sistemi doğrusal tip olup sistem tasarımı ve performansı incelenmiştir.

Teorik çalışmalarda akışkan türü, akış zamanı, akış hızı, çevrim süresi gibi parametreler incelenmiştir. Ayrıca teorik çalışmada sistem tasarımı için manyetik alan analizleri gerçekleştirilerek mıknatıs boyut ve aralıkları gibi parametreler belirlenmiştir. Sayısal çalışmalarda manyetik soğutma sisteminde performans göstergesi olarak sıcaklık düşümü, soğutma yükü ve COP olmak üzere üç farklı parametre ele alınmış. Isı transfer akışkanı olarak su, etilen glikol ve %10 su-Etanol karışımı test edilmiştir ancak en iyi sonucu %10 su-Etanol verdiği için deneysel çalışmalar da bu akışkan kullanılarak yapılmıştır.

Deneysel manyetik soğutma sisteminde manyetokalorik malzeme olarak Gadolinyum kullanılmış olup manyetokalorik malzemenin plaka ve toz şeklinde kullanıldığı yeni bir yatak tasarlanarak doğrusal bir hareket sisteminde çalıştırılmıştır. Sistemde ısı transfer akışkanı olarak %10 etanol-su karışımı kullanılmıştır. Tasarlanan sistem ile 0.76 Tesla manyetik alan altında teorik çalışmalarda 5°C deneysel çalışmalarda yaklaşık 2°C sıcaklık düşüşü elde edilmiştir. En iyi manyetizasyon süresi 3 sn olurken, en yüksek sıcaklık farkının elde edildiği fayda faktörünün 0.08 olduğu görülmüştür. Bu manyetizasyon süresi ve fayda faktöründe elde edilen en fazla soğutma 12.6 W tır. Manyetik alanın daha büyük olması durumunda bu sıcaklık farkı yükselecektir.

Yapılan belirsizlik analizine göre, birim zamandaki enerji miktarıyla ilgili olarak $\pm 2,51$, ekserji akımıyla ilgili olarak $\pm 2,56$ ve bileşenlerin ekserji verimleriyle ilgili olarak, $\pm 3,62-5,12$ arasında belirsizlik bulunmuştur. Kullanılan tüm ölçüm aletlerinin yapısından kaynaklanan belirsizlik bilgisi ölçüm aletlerinin üreticilerinden alınmış ve okuma hatası $\pm 0,1^\circ\text{C}$ olarak kabul edilmiştir. Sonuç olarak manyetik soğutma sistemleri şimdilik laboratuvar araştırması aşamasında olup gelecekte küçük kapasiteli ihtiyaçlar için kullanım potansiyeline sahiptir. Bunun için malzeme ve manyetik alan üretimi konusunda gelişmeler bu konuda büyük öneme sahiptir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmanın yapılabilmesini sağlayan "Güneş Enerjisi Destekli Manyetik Soğutma Sisteminin Performansının Deneysel İncelenmesi" başlıklı ve 114M829 nolu projeye desteği için TÜBİTAK'a teşekkür eder. Ayrıca manyetik deney düzeneğinde yer alan nüve imalatına verdiği destek nedeniyle Başar Elektromekanik A.Ş. yetkilisi Sayın Rıza Ötenbülül'e teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

[1]International Energy Agency."Key World Energy Statistics"
https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld_Statistics_2015.pdf.

Son erişim tarihi: 1 Eylül 2016.

[2]Zimm, C., Jastrab, A., Sternberg, A., Pecharsky, V.K., Gschneider, Jr.K.A, Osborne, M., Anderson, I. 1998. "Description and performance of a near-room temperature magnetic refrigerator", Advanced Cryogenic Engineering, 43, 1759–66.

[3] Hirano, N., Nagaya, S., Takahashi, M., Kuriyama, T., Ito, K., Nomura, S. 2002. "Development of magnetic refrigerator for room temperature application", Advance in Cryogenic Engineering, 47, 1027-1034.

[4] Okamura, T., Rachi, R., Hirano, N., Nagaya, S. 2007. "Improvement of 100 W class room temperature magnetic refrigerator", Proceedings of the 2nd International Conference of Magnetic Refrigeration at Room Temperature, 377– 382.



- [5] Engelbrecht, K.L., Eriksen, D., Bahl, C.R.H., Bjørk, R., Geyti, J., Lozano, J.A., Nielsen, K.K. Saxild, F., Smith, A., Pryds, N. 2012. "Experimental results for a novel rotary active magnetic regenerator", International Journal of Refrigeration, 35 (6), 1498–1505.
- [6] Jacobs, S., Auringer, J., Boeder, A., Chell, J., Komorowski, L., Leonard, J. 2014. "The performance of a large-scale rotary magnetic refrigerator", International Journal of Refrigeration, 37, 84–91.
- [7] Yu, B.F., Gao, Q., Zhang, B., Meng, X.Z., Chen, Z. 2003. "Review on research of room temperature magnetic refrigeration", International Journal of Refrigeration, 26, 622-636.
- [8] Tura, A., 2013. "Design and analysis of a nested halfbach permanent magnet magnetic refrigerator", PhD Thesis, Department of Mechanical Engineering, University of Victoria.
- Kitanovski, A., Tušek, J., Tomc, U., Plaznik, U., Ozbolt, M., Poredoš, A. 2015. Magnetocaloric [8] Energy Conversion From Theory to Applications, Green Energy and Technology (1. Basım). Switzerland: Springer.

ÖZGEÇMİŞ

Orhan EKREN

1976 yılı İzmir doğumlu olan Orhan Ekren, lisans eğitimini Dokuz Eylül Üniversitesi(DEÜ) Makina Mühendisliği bölümünde 1999 yılında, yüksek lisans eğitimini İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü (İYTE) Enerji Mühendisliği'nde 2003 yılında, doktorasını ise DEÜ Makina Mühendisliği bölümü Termodinamik anabilimdalında 2009 yılında tamamlamıştır. 2000-2003 yılları arasında İYTE makina mühendisliği bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmıştır. 2005 yılından buyana Ege Üniversitesi'nde çalışan Dr. Ekren, 2008 ve 2011 yıllarında akademik çalışmalar için, Amerika Birleşik Devletleri'nde iki farklı üniversitede Makina Mühendisliği bölümünde ziyaretçi araştırmacı olarak bulunmuştur. 2014 yılından buyana Ege Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde Doçent olarak çalışmalarını sürdürmektedir. Çalışma konuları arasında; Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Hibrid Enerji Sistemlerinin Optimum Boyutlandırılması, Soğutma Sistemlerinde Enerji Verimliliği, Isı Pompası Sistemleri, Alternatif Soğutma Yöntemleri yer almaktadır.

Ahmet YILANCI

Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümü'nden 2000 yılında mezun olmuştur. Ardından, Pamukkale Üniversitesi'nde Makina Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimini 2004 yılında, doktora eğitimini ise; 2008 yılında tamamlamıştır. 2007-2008 yılları arasında, University of Ontario Institute of Technology (Kanada)'de ziyaretçi araştırmacı olarak bulunmuştur. Pamukkale Üniversitesi'nde 2002-2008 yılları arasında Araştırma Görevlisi, 2008 -2009 yılları arasında Dr. Araştırma Görevlisi olarak, 2009-2013 yılları arasında ise Yrd. Doç. Dr. Unvanı ile görev almıştır. 2013 yılından itibaren, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde Yrd. Doç. Dr. unvanı ile çalışmalarını sürdürmektedir. Çalışma konuları arasında, Hidrojen Enerjisi, Ekserji Analizi, Enerji Verimliliği, Fotovoltaik Güç Sistemleri, Jeotermal Sistemler, Enerji Depolama, Enerji Dönüşüm Sistemleri, Manyetik Soğutma yer almaktadır.

Mehmet Akif EZAN

Dokuz Eylül Üniversitesi (D.E.Ü.) Makina Mühendisliği Bölümü'nü 2004 senesinde bitirmiştir. Aynı üniversiteden 2006 yılında Yüksek Mühendis ve 2011 yılında Doktor unvanlarını almıştır. 2007 yılında Université de Reims Champagne Ardenne (Fransa), 2010 yılında ise University of Ontario Institute of Technology (UOIT) araştırmacı olarak bulunmuştur. 2014 yılından itibaren D.E.Ü. Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı'nda Yardımcı Doçent olarak görev yapmaktadır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği, faz değişim malzemelerinin karakterizasyonu, faz değişimli ısı sistemleri modellenmesi ve manyetik soğutma.

**Emrah BIYIK**

Boğaziçi Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden 2003 yılında lisans derecesini aldıktan sonra, yüksek lisans eğitimine ABD'de devam etmiş ve Rensselaer Polytechnic Enstitüsü'nden 2004 yılında Elektrik Mühendisliği Yüksek Lisans, 2006 yılında Uygulamalı Matematik Yüksek Lisans, ve 2007 yılında Elektrik Mühendisliği doktora derecelerini almıştır. Sonrasında General Electric firmasının ABD'deki AR-GE merkezinde araştırmacı olarak çalışmış, elektrik şebekeleri, doğalgaz santralleri, uçuş dinamiği ile ilgili birçok projede yer almıştır. 2012 yılından bu yana Yaşar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde öğretim üyesi olarak görev yapmakta olup, enerji sistemlerinde kontrol ve optimizasyon, akıllı şebekeler, güç sistemleri ve binalarda enerji optimizasyonu konularında çalışmaktadır. TÜBİTAK ve Avrupa Komisyonu 7. Çerçeve Programı destekli çeşitli projelerde araştırmacı olarak görev almış, halen Marie Skłodowska-Curie Fellow olarak Horizon 2020 "BuildingControls" projesinin yürütücülüğünü sürdürmektedir