

**T.C.
HİTİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MANYETİK ALAN KULLANILARAK ISI ELDE
EDİLMESİ**

Ali Gürkan BAĞATIRLAR

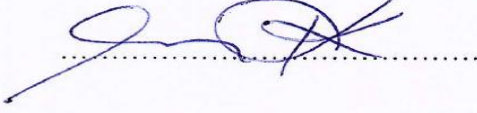
**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Çınar ÜLKÜLÜ**

**ŞUBAT 2016
ÇORUM**

Ali Gürkan BAĞATIRLAR tarafından hazırlanan “Manyetik Alan Kullanılarak Isı Elde Edilmesi” adlı tez çalışması 15/02/16 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

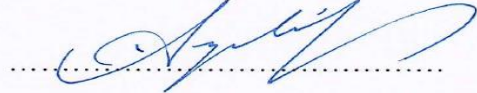
Doç. Dr. İrfan KURTBAŞ



Yrd. Doç. Dr. Çınar ÜLKÜLÜ



Yrd. Doç. Dr. Ali ÖZGEDİK



Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun 19/02/2016 tarih ve 2016/34 sayılı kararı ile Ali Gürkan BAĞATIRLAR’ ın Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.




Prof. Dr. Ali KILIÇARSLAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BEYANI

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış 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 yaptığımı beyan ederim.



Ali Gürkan BAĞATIRLAR

Ali Gürkan BAĞATIRLAR

MANYETİK ALAN KULLANILARAK ISI ELDE EDİLMESİ

Ali Gürkan BAĞATIRLAR

HİTİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Şubat 2016

ÖZET

Yenilenebilir enerjiye yönelme nedenleri, enerjinin arz güvenliği, enerjinin sosyal ve ekonomik etkileri, enerji üretiminin yol açacağı çevresel etkiler ve enerjide sürdürülebilirlik olarak kısaca sıralanabilir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına bağlı ısıtma yöntemlerinin sanayideki kullanımı her geçen gün artmaktadır. Bu çalışma; manyetik alan kullanılarak, iletken maddeler üzerinde girdap akımları oluşturulması ve bu akımların iletken maddeler üzerinde oluşturduğu ısının farklı alanlarda kullanılma imkânını araştırmayı, farklı ısıtma yöntemlerinin geliştirilmesine katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Ortaya çıkan ısının; mıknatıs iletken malzeme arası mesafe, mıknatıs sayısı ve manyetik alan değişimi, değişkenlerine bağlı değişimi ölçülerek, ısı değerinin bu değişkenler ile nasıl değiştiği gözlemlenmiştir. Değişkenlerin etkileri incelenerek en uygun verim değeri % 74,30 olarak hesaplanmıştır. En uygun verim değerini oluşturan değişkenler 4 mm mıknatıs iletken malzeme arası mesafe 2000 d/d devir sayısı ve 30'lu mıknatıs yerleşimidir.

Ayrıca mıknatıs iletken malzeme arası mesafe, mıknatıs sayısı ve manyetik alan değişimi, değişkenlerine bağlı performansı incelenmiş, hem bu tür sistemle çalışan uygulamalara hem de bundan sonraki çalışmalara kaynak oluşturabilecek gerekli bilgilerin elde edilmesi sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler : Manyetik alan, mıknatıs, girdap akımları

HEAT OBTAINING BY USING MAGNETIC AREA

Ali Gürkan BAĞATIRLAR

HITIT UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

February 2016

ABSTRACT

The reasons for tending to renewable energy can be briefly summarized as; security of supply, social and economic impacts of energy, environmental impacts caused by energy production and sustainability. The usage of heating methods depend on renewable energy, in industry, is increasing day by day. The aim of this research is to search, possibility of utilization of the heat, generated on conductive materials by using magnetic field and creating Eddy currents and to make a contribution to development of new heating methods. The difference of heat is observed by changing three parameters, these are the distance between conductive material and magnets, number of magnets and magnetic field. The optimum yield is calculated as 74,30 % according to change of variables. The optimum yield was obtained from 4 mm distance between conductive material and magnet 2000 revolutions per minute with 30 magnets combination.

Moreover, the performance expends on the distance between conductive material and magnets, number of magnets and the change of magnetic field variables was examined. Thus, it was provided to obtain the necessary information that can be source for further research as well as the applications working with this kind of system.

Keywords: Magnetic field, magnet, Eddy currents

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, her zaman desteğini hissettiğim ve kıymetli tecrübelerinden faydalandığım danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Çınar ÜLKÜLÜ'ye teşekkür ederim.

Sistemin matematiksel modellenmesinde büyük katkıları olan ve yol gösteren görüşlerinden faydalandığım Yrd. Doç. Dr. Arzu KARAYEL'e katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Maddi manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan kıymetli annem Ayşe Gül BOZUKLUHAN'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans yapmam konusunda beni destekleyen ve bu yolda ilk adımı atmamı sağlayan TURGUTREİS ŞİRKETLER GRUBU Yönetim Kurulu Başkanı Sayın Turgut REİS ve REİS ailesinin her bir ferdine teşekkür ederim.

Sistemin üretim aşamasında desteklerini esirgemeyen Sayın Kamil ÖZDUYU'ya teşekkür ederim.

Tez yazım aşamasında sürekli yanımda olan ve destekleyen Sayın Selma ÇEMREK'e teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
RESİMLER DİZİNİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ	1
2. MIKNATIS	4
2.1. Mıknatısın Tarihçesi.....	4
2.2. Mıknatıs Çeşitleri	5
2.2.1. Geçici mıknatıslar (Elektromıknatıs)	5
2.2.2. Kalıcı mıknatıslar	6
2.2.2.1. Neodyum mıknatıs (NdFeB)	7
2.2.2.2. Samaryum kobalt mıknatıs (SmCo)	9
2.2.2.3. Alüminyum nikel kobalt mıknatıs (Alnico)	9
2.2.2.4. Ferrite mıknatıs.....	10
2.3. Mıknatıs Kullanım Alanları.....	10
3. MANYETİK ALAN	11
3.1. Yerin Manyetik Alanı.....	12
3.2. Manyetik Maddelerin Sınıflandırılması	13
3.2.1. Ferromanyetik maddeler.....	13
3.2.2. Paramanyetik maddeler	14
3.2.3. Diamanyetik maddeler.....	15
3.3. Ferromanyetizma	16
3.4. Elektrik ve Manyetik Alanlara Göre Maddeler	17
3.4.1. Manyetizma için Gauss Yasası.....	18
3.4.2. Faraday Yasası.....	19

Sayfa

3.4.3. Maxwell doğrulamalı Ampere Yasası	21
3.4.4. Maxwell Denklemleri	22
3.5. Girdap Akımları	24
4. DENEY CİHAZI TASARIMI	26
4.1. Amaç	26
4.2. Çalışma Prensibi ve Temel Parçalar	27
4.2.1. Mıknatıs	28
4.2.2. Polyamid döner tabla	30
4.2.3. İletken malzeme	32
4.2.4. Motor	33
4.2.5. Hız sürücü	34
4.2.6. Termometre	35
4.2.7. Takometre	36
4.2.8. Kıskaç multimetre	37
4.3. Deney Cihazı Isı Yalıtımı	38
5. DENEYLER	40
5.1. Deney Planı	40
5.2. Kabuller	44
6. DENEYSEL SONUÇLAR	45
6.1. 12’li Mıknatıs yerleşimi, Sabit Mesafede Devir Sayısına Bağlı Zaman-Sıcaklık Değişimi	45
6.2. 12’li Mıknatıs yerleşimi, Sabit Devirde Mesafeye Bağlı Zaman-Sıcaklık Değişimi	47
6.3. 30’lu Mıknatıs yerleşimi, Sabit Mesafede Devir Sayısına Bağlı Zaman-Sıcaklık Değişimi	49
6.4. 30’lu Mıknatıs yerleşimi, Sabit Devirde Mesafeye Bağlı Zaman-Sıcaklık Değişimi	51
6.5. Deney Sonuçlarının Verim Değerlerine Bağlı İncelenmesi	53
6.6. Dairesel Bir Yay İçinde Bir Akım Nedeniyle Oluşan Manyetik Alanın Matematiksel Modellenmesi	55
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	64
KAYNAKLAR	69

Sayfa

EKLER.....	71
EK-1. Termometre kalibrasyon sertifikası.....	72
EK-2. Takometre kalibrasyon sertifikası	75
EK-3. Yüksek hız motoru boyutsal ölçüleri.....	77
EK-4. 30'lu mıknatıs yerleşimi, 4 mm mesafe, 1000 d/d zaman sıcaklık değişimi... 78	
EK-5. 30'lu mıknatıs yerleşimi, 4 mm mesafe, 1500 d/d zaman sıcaklık değişimi... 78	
EK-6. 30'lu mıknatıs yerleşimi, 4 mm mesafe, 2000 d/d zaman sıcaklık değişimi... 79	
EK-7. 30'lu mıknatıs yerleşimi, 4 mm mesafe, 2500 d/d zaman sıcaklık değişimi... 79	
EK-8. 30'lu mıknatıs yerleşimi, 6 mm mesafe, 1000 d/d zaman sıcaklık değişimi... 80	
EK-9. 30'lu mıknatıs yerleşimi, 6 mm mesafe, 1500 d/d zaman sıcaklık değişimi .. 80	
EK-10. 30'lu mıknatıs yerleşimi, 6 mm mesafe, 2000 d/d zaman sıcaklık değişimi. 81	
EK-11. 30'lu mıknatıs yerleşimi, 6 mm mesafe, 2500 d/d zaman sıcaklık değişimi 81	
EK-12. 30'lu mıknatıs yerleşimi, 8 mm mesafe, 1000 d/d zaman sıcaklık değişimi. 82	
EK-13. 30'lu mıknatıs yerleşimi, 8 mm mesafe, 1500 d/d zaman sıcaklık değişimi. 82	
EK-14. 30'lu mıknatıs yerleşimi, 8 mm mesafe, 2000 d/d zaman sıcaklık değişimi. 83	
EK-15. 30'lu mıknatıs yerleşimi, 8 mm mesafe, 2500 d/d zaman sıcaklık değişimi 83	
EK-16. 30'lu mıknatıs yerleşimi, 10 mm mesafe, 1000 d/d zaman sıcaklık değişimi84	
EK-17. 30'lu mıknatıs yerleşimi, 10 mm mesafe, 1500 d/d zaman sıcaklık değişimi84	
EK-18. 30'lu mıknatıs yerleşimi, 10 mm mesafe, 2000 d/d zaman sıcaklık değişimi85	
EK-19. 30'lu mıknatıs yerleşimi, 10 mm mesafe, 2500 d/d zaman sıcaklık değişimi85	
EK-20. 12'li mıknatıs yerleşimi, 4 mm mesafe, 1000 d/d zaman sıcaklık değişimi.. 86	
EK-21. 12'li mıknatıs yerleşimi, 4 mm mesafe, 1500 d/d zaman sıcaklık değişimi.. 86	
EK-22. 12'li mıknatıs yerleşimi, 4 mm mesafe, 2000 d/d zaman sıcaklık değişimi.. 87	
EK-23. 12'li mıknatıs yerleşimi, 4 mm mesafe, 2500 d/d zaman sıcaklık değişimi.. 87	
EK-24. 12'li mıknatıs yerleşimi, 6 mm mesafe, 1000 d/d zaman sıcaklık değişimi.. 88	
EK-25. 12'li mıknatıs yerleşimi, 6 mm mesafe, 1500 d/d zaman sıcaklık değişimi.. 88	
EK-26. 12'li mıknatıs yerleşimi, 6 mm mesafe, 2000 d/d zaman sıcaklık değişimi.. 89	
EK-27. 12'li mıknatıs yerleşimi, 6 mm mesafe, 2500 d/d zaman sıcaklık değişimi.. 89	
EK-28. 12'li mıknatıs yerleşimi, 8 mm mesafe, 1000 d/d zaman sıcaklık değişimi.. 90	
EK-29. 12'li mıknatıs yerleşimi, 8 mm mesafe, 1500 d/d zaman sıcaklık değişimi.. 90	
EK-30. 12'li mıknatıs yerleşimi, 8 mm mesafe, 2000 d/d zaman sıcaklık değişimi.. 91	
EK-31. 12'li mıknatıs yerleşimi, 8 mm mesafe, 2500 d/d zaman sıcaklık değişimi.. 91	
EK-32. 12'li mıknatıs yerleşimi, 10 mm mesafe, 1000 d/d zaman sıcaklık değişimi 92	
EK-33. 12'li mıknatıs yerleşimi, 10 mm mesafe, 1500 d/d zaman sıcaklık değişimi 92	
EK-34. 12'li mıknatıs yerleşimi, 10 mm mesafe, 2000 d/d zaman sıcaklık değişimi 93	
EK-35. 12'li mıknatıs yerleşimi, 10 mm mesafe, 2500 d/d zaman sıcaklık değişimi 93	
EK-36. 4 mm, 1000 d/d mıknatıs sayısına bağlı zaman sıcaklık değişimi	94
EK-37. 4 mm, 1500 d/d mıknatıs sayısına bağlı zaman sıcaklık değişimi	94
EK-38. 4 mm, 2000 d/d mıknatıs sayısına bağlı zaman sıcaklık değişimi	95
EK-39. 4 mm, 2500 d/d mıknatıs sayısına bağlı zaman sıcaklık değişimi	95
EK-40. 6 mm, 1000 d/d mıknatıs sayısına bağlı zaman sıcaklık değişimi	96
EK-41. 6 mm, 1500 d/d mıknatıs sayısına bağlı zaman sıcaklık değişimi	96
EK-42. 6 mm, 2000 d/d mıknatıs sayısına bağlı zaman sıcaklık değişimi	97
EK-43. 6 mm, 2500 d/d mıknatıs sayısına bağlı zaman sıcaklık değişimi	97

Sayfa

EK-44. 8 mm, 1000 d/d mıknatıs sayısına bağlı zaman sıcaklık değişimi	98
EK-45. 8 mm, 1500 d/d mıknatıs sayısına bağlı zaman sıcaklık değişimi	98
EK-46. 8 mm, 2000 d/d mıknatıs sayısına bağlı zaman sıcaklık değişimi	99
EK-47. 8 mm, 2500 d/d mıknatıs sayısına bağlı zaman sıcaklık değişimi	99
EK-48. 10 mm, 1000 d/d mıknatıs sayısına bağlı zaman sıcaklık değişimi	100
EK-49. 10 mm, 1500 d/d mıknatıs sayısına bağlı zaman sıcaklık değişimi	100
EK-50. 10 mm, 2000 d/d mıknatıs sayısına bağlı zaman sıcaklık değişimi	101
EK-51. 10 mm, 2500 d/d mıknatıs sayısına bağlı zaman sıcaklık değişimi	101
ÖZGEÇMİŞ	102



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Kalıcı mıknatıs element-atom numarası değerleri	7
Çizelge 2.2. NdFeB mıknatısının çeşitleri ve tipik özellikleri	8
Çizelge 2.3. Yeni nesil form NdFeB mıknatısının karakteristikleri.....	8
Çizelge 2.4. Yeni nesil bağlı form NdFeB mıknatısı fiziksel özellikleri.....	8
Çizelge 2.5. SmCo mıknatısının çeşitleri ve tipik özellikleri.....	9
Çizelge 2.6. Alnico mıknatısının çeşitleri ve tipik özellikleri.....	10
Çizelge 2.7. Ferrit mıknatısının çeşitleri ve tipik özellikleri.....	10
Çizelge 3.1. Bazı yaklaşık manyetik alan büyüklükleri	12
Çizelge 4.1. Deney cihazı parça listesi.....	27
Çizelge 4.2. Deneylerde kullanılan termometre teknik özellikleri	35
Çizelge 4.3. Deneylerde kullanılan takometre teknik özellikleri.....	36
Çizelge 4.4. Deneylerde kullanılan kılkaç multimetre teknik özellikleri	37
Çizelge 5.1. Deney planı	43

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Manyetik alan çizgileri	12
Şekil 3.2. Herhangi bir kapalı yüzeyden geçen manyetik akı	18
Şekil 3.3. Bir iletken halka içindeki mıknatısın hareketi ile oluşan akım.....	20
Şekil 3.4. Girdap akımları	24
Şekil 5.1. Mıknatıs sayısı ve yerleşimi	41
Şekil 5.2. Mıknatıs sayısı ve yerleşimi	42
Şekil 6.1. 4 mm’de devir sayısına bağlı zamanla sıcaklık değişimi.....	45
Şekil 6.2. 6 mm’de devir sayısına bağlı zamanla sıcaklık değişimi.....	45
Şekil 6.3. 8 mm’de devir sayısına bağlı zamanla sıcaklık değişimi.....	46
Şekil 6.4. 10 mm’de devir sayısına bağlı zamanla sıcaklık değişimi	46
Şekil 6.5. 1000 d/d’da mesafeye bağlı zamanla sıcaklık değişimi.....	47
Şekil 6.6. 1500 d/d’da mesafeye bağlı zamanla sıcaklık değişimi.....	47
Şekil 6.7. 2000 d/d’da mesafeye bağlı zamanla sıcaklık değişimi.....	48
Şekil 6.8. 2500 d/d’da mesafeye bağlı zamanla sıcaklık değişimi.....	48
Şekil 6.9. 4 mm’de devir sayısına bağlı zamanla sıcaklık değişimi.....	49
Şekil 6.10. 6 mm’de devir sayısına bağlı zamanla sıcaklık değişimi	49
Şekil 6.11. 8 mm’de devir sayısına bağlı zamanla sıcaklık değişimi	50
Şekil 6.12. 10 mm’de devir sayısına bağlı zamanla sıcaklık değişimi.....	50
Şekil 6.13. 1000 d/d’da mesafeye bağlı zamanla sıcaklık değişimi.....	51
Şekil 6.14. 1500 d/d’da mesafeye bağlı zamanla sıcaklık değişimi.....	51
Şekil 6.15. 2000 d/d’da mesafeye bağlı zamanla sıcaklık değişimi.....	52
Şekil 6.16. 2500 d/d’da mesafeye bağlı zamanla sıcaklık değişimi.....	52
Şekil 6.17. 30’lu mıknatıs yerleşimi devir-mesafe değişkenine bağlı verim oranı	53
Şekil 6.18. Tel üzerinden geçen akıya bağlı P noktasında oluşan manyetik alan	55
Şekil 6.19. Manyetik alanın (a) açı ile ilişkisi, (b) vektörel gösterimi, (c) sağ el kuralı gösterimi.....	56
Şekil 6.20. Deney düzeneğinde mıknatısın izlediği yol	58

Şekil**Sayfa**

Şekil 6.21. 12'li mıknatıs yerleşimi devir-mesafe değişkenine bağlı verim oranı..... 60



RESİMLER DİZİNİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Manyetik alan ile ısı elde edilmesi cihaz tasarımı	26
Resim 4.2. Neodyum mıknatıs	29
Resim 4.3. Neodyum mıknatıs $\emptyset 15 \cdot 15$ mm	29
Resim 4.4. Polyamid döner tabla	30
Resim 4.5. Polyamid disk mıknatıs yerleşimi.....	31
Resim 4.6. Döner tabla mıknatıs yerleşimi ve koruma sacı eklenmesi.....	31
Resim 4.7. Deneylerde kullanılan motor isim etiketi.....	33
Resim 4.8. Hız sürücüsü	34
Resim 4.9. Dijital termometre	35
Resim 4.10. Dijital takometre	36
Resim 4.11. Kısaç multimetre.....	37
Resim 4.12. Akış sistemi cam depo ön (a) ve arka (b) yalıtımı gösterimi.....	38
Resim 4.13. Deney cihazı ısı yalıtımı	39

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
A	Amper
Ag	Gümüş
Al	Alüminyum
Bi	Bizmut
Ce	Seryum
Cu	Bakır
Co	Kobalt
Cr	Krom
Dy	Dispersiyum
Er	Erbiyum
Eu	Evropiyum
f	Frekans
Fe	Demir
G	Gauss
Gd	Gadolinyum
H	Manyetik Alan Şiddeti
Ho	Holmiyum
j	Joule
J	Akım Yoğunluğu
La	Lantanyum
LOX	Sıvı Azot

Simgeler	Açıklama
Mn	Manganez
N	Kuzey Kutbu
Nd	Neodyum
Ni	Nikel
NO	Azot Oksit
O₃	Ozon
Pd	Paladyum
Pm	Prometyum
P_d	Deneysel Güç
Pt	Platin
P_h	Harcanan Güç
T	Tesla
Tb	Terbiyum
Tm	Tulyum
V	Volt
S	Güney Kutbu
Sb	Antimon
Si	Silisyum
Sm	Samaryum
Ym	İtterbiyum
β	Manyetik Alan
β_T	Toplam Manyetik Alan
ℓ	Uzunluk
η_a	Analitik Verim
η_d	Deneysel Verim
ρ	Elektriksel Yük Yoğunluğu

Simgeler**Açıklama** μ_0

Uzayın Manyetik Geçirgenliği

 ϑ

Çizgisel Hız

 $^{\circ}\text{C}$

Santigrad Derece

Kısaltmalar**Açıklama****Alnico**

Alüminyum Nikel Kobalt Alaşımli Mıknatıs

 $(\text{BH})_{\text{max}}$

Yüksek Enerji Yoğunluğu

B_m

Demir Çekirdekli Rowland Halkasının İçindeki Toplam Manyetik Alan Değeri

B₀

Rowland Halkası İçinde Çekirdek Yok İken Oluşan Manyetik Alan

B_r

Yüksek Kalıcı Akı Yoğunluğu

cm

Santimetre

d

Devir

d/d

Devir/Dakika

dk

Dakika

emk

Elektro Motor Kuvveti

gr

Gram

h

Saat

H_c

Koersif Kuvvet

H_{ci}

İç Koersif kuvvet

H_s

Gerekli Manyetik Güç

Hz

Hertz

k

Kilogram

m

Metre

MGOe

Mega Gauss Oersted

Kısaltmalar	Açıklama
mm	Milimetre
MPa	Mega Pascal
NdFeB	Neodyum Demir Bor Alaşımli Mıknatıs
N_μ	Manyetik Moment
SI	Uluslararası Birim Sistemi
SmCo	Samaryum Kobalt Alaşımli Mıknatıs
W	Watt



1. GİRİŞ

Manyetik alan kullanılarak, iletken maddeler üzerinde girdap akımları oluşturulması ve bu akımların iletken maddeler üzerinde oluşturduğu ısının farklı alanlarda kullanılma imkânı, farklı ısıtma yöntemlerinin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır.

Girdap akımlarını ilk gözlemleyen kişi Fransa'nın 25. Cumhurbaşkanı, matematikçi, fizikçi, gökbilimci olan François Arago'dur (1786-1853). Arago 1824'de, dönel manyetizmayı ve fazla iletken nesnelerin manyetize olabileceğini gözlemlemiştir. Daha sonrasında bu buluşlar Michael Faraday (1791-1867) tarafından tamamlanmış ve açıklanmıştır. 1834 yılında Heinrich Lenz, Lenz Yasaları'nı açıklamıştır. Lenz Yasaları, bir iletken üzerinde indüklenmiş akımın, kendisini oluşturan manyetik alan değişimine karşı yönde aktığına dayanır. Girdap akımı, bu manyetik alana karşı çıkacak şekilde ikinci bir manyetik alan oluşturur ve iletken üstündeki akıyı engelleyecek harici akıya sebep olur. Fransız fizikçi Leon Foucault (1819-1868), 1855 yılında girdap akımını bulan kişi olarak tarihe geçmiştir. 1855 yılında, bakır bir disk çevirmek gerekli gücün, normalde çevirmeye oranla, mıknatıslar arasında konulduğunda arttığını ve üstelik diskin çevirdikçe, içerisinde indüklenen Girdap akımı sebebiyle ısındığını tespit etmiştir. Girdap akımının ilk kez yıkıcı olmayan bir testte kullanımını, metalürjik sıralama testi 1879 yılında David E. Hughes yapmıştır (Anonim, 2015a).

Günümüzde girdap akımları fren sistemleri başta olmak üzere tahribatsız muayene testlerinde kullanılmaktadır.

Literatürde girdap akımları konusunda pek çok matematiksel, deneysel, simülasyon tabanlı ve sayısal çalışma bulunmaktadır. Swift (1971), Zakrzewski (1971), Stoll (1974) ve Jufer (1976)'in makalelerinde olduğu gibi önceleri sayısal çözüm yöntemleri olarak sonlu fark denklemlerinin kullanılmasına rağmen, son yıllarda özellikle de 2000'li yılların başından bu yana sonlu elemanlar yöntemi literatürlerde oldukça geniş yer tutmaya başlamıştır.

Altaş (1988) doğrusal olmayan özellikleri hesaba katarak sonlu elemanlar yöntemiyle girdap akımları kayıplarının hesabı üzerine çalışmalarda bulunmuş, genel çözüm denklemlerinin sayısal olarak çözülmesi için, Galerkin Yöntemi'ne dayalı sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Malzemenin doğrusal olmayan özelliğini hesaba katılmasında ise malzemeye ait olan deneysel elde edilmiş miknatıslanma eğrisinden yararlanılmıştır.

Akay (2000) girdap akımları tekniğinin fiziksel prensipleri ve sanayide uygulamaları hakkında çalışmalarda bulunmuştur. Bu çalışmada özellikle uçak sanayisinde yaygın olarak kullanılan tahribatsız muayene yöntemlerinden olan girdap akımları test metodunun fiziksel prensipleri ile kullanım alanları üzerinde deneyler yapmıştır.

Yıldız (2007) sonlu elemanlar metodu kullanarak transformator ve elektrik motorlarda kullanılan nüve ve bobinlerdeki kayıpları görmeye çalışılmıştır. Araştırma bulguları ile FEMLAB'de simüle edilen bir silindir içindeki bobinin meydana getirdiği eddy akımı kayıplarını hesaplamıştır.

Çam (2008) yüksek sıcaklıkta süper iletken ve daimi miknatıstan oluşan sistem için statik ve dinamik analiz yapmıştır. Sistem incelemesinde donmuş görüntüleme metodu kullanılmıştır. Ayrıca sisteme ait fiziksel kavramları oluşturan statik olarak kuvvet dinamik olarak da titreşim frekansları açıklanmıştır.

Oğuzhan (2008) soğuk dış silindir ile dönen, sıcak iç silindir arasında kalan bölgede daimi, karışık taşınım yolu ile gerçekleşen ısı transferini araştırmıştır. Dış silindirin şekli, dönme hızı, eksantriklik ve iç silindirin açısal yerleşiminin sıcaklık ve hız alanlarında etkisini bulabilmek için sistemli bir çalışma yürütmüştür. Yönetici eşitlikler girdap akımı bileşenleri eşitlikleri kullanılarak yazmıştır. İç silindir yarıçapının hız ve sıcaklık alanları üzerinde önemli derecede etkisi olduğunu göstermiştir.

Yıldız (2011) rotor-stator arasındaki girdap akımını en basit geometriyi ele alarak Maxwell Uzaklaşan Kutup Yaklaşımı'na göre incelemiştir. Aynı zamanda elektrik makinelerindeki indüksiyon ve çeşitli geometrik tasarımlar ele alınmıştır. Bu çalışmayla birlikte iletken daimi miknatıs rotor-stator düzeneği vasıtasıyla hem bu

tür sistemle çalışan uygulamaların hem de bundan sonraki çalışmalara kaynak oluşturabilecek gerekli bilgilerin elde edilmesi sağlanmıştır.

Gülbağçe (2013) orta güçlü bir girdap akımı freni tasarımı ve sonlu elemanlar yöntemi analizi ile ilgili çalışmalarda bulunmuştur. Girdap akımı frenlerinin tasarımı ile ilgili net bir matematiksel model olmamasından yola çıkarak farklı tasarım büyüklüklerinin çıkış büyüklüklerine olan etkisi yeterli sayıda benzetim yapılarak incelenmiş ve fren sonuçlarından yola çıkarak belirlenen tasarım kıstaslarından uygunları seçilerek orta güçte, iyileştirilmiş bir girdap akımı fren tasarımı elde edilmiştir.

Sandal (2014) İndüksiyon ısıtmanın matematiksel modellenmesi ile ilgili çalışmalarda bulunmuştur. Yarı sonsuz bir düzlemin akım yüzeyi ve tek sarımlı halka bobin şeklindeki alan kaynakları kullanılarak indüksiyon ısıtmadaki ısı transferi ve elektromanyetik olaylar matematiksel bir modelle tarif etmiş ve her iki problem için de analitik çözümler elde etmiştir.

Bu çalışma ile;

Manyetik alanın elektrik direnci ile oluşturulduğu klasik indüksiyon ısıtma sistemlerinin yerine, manyetik alanın mıknatıslar ile oluşturulduğu bir sistem tasarlamak amaçlanmıştır. Tasarlanan sistem, manyetik alanın elektrik direnci ile elde edildiği sistemlere göre daha az sistem bileşenlerinden oluştuğu için bakım masrafı ve maliyetinin az olması beklenilmektedir. Klasik indüksiyon ısıtma sistemlerinde kullanılan karmaşık elektronik devreler yerine daha basit ve kullanımı daha kolay bir sistematik oluşturmak hedeflenmiştir. Tasarlanan sistemin maliyeti klasik indüksiyonlu ısıtma sistemleri maliyetine oranla daha az olması öngörülmektedir.

2. MIKNATIS

Mıknatis, torik olarak, aracılığı ile gereçlerin diğer gereçler üzerindeki çekici veya itici kuvvet uyguladıkları olgulardan biridir. Kolayca saptanabilen mıknatıssal özelliklere sahip materyallerden bazıları, Demir (Fe), çeliğin birkaç türü ve manyetik bileşiklerdir. Tüm malzemeler, mıknatıssal alanların varlığından farklı derecelerde etkilenirler.

Mıknatis; günümüzde yoğunluğu $2,7 \text{ gr/cm}^3$ olan, manyetik alan üreten cisim veya malzemelerdir. Demir, Nikel (Ni), Kobalt (Co), gibi bazı metallere etki gösterir, Bakır (Cu) ve Alüminyum (Al) gibi bazı metallere ve metal olmayan malzemelere etki etmez. Mıknatis etkisi, malzemelerde iki karşılıklı uç noktada toplanır. Bu iki kısma mıknatisin kuzey ve güney kutbu olarak adlandırılır. İki mıknatisin aynı kutupları birbirini iterken, zıt kutupları birbirini çeker. Mıknatisler, ferromanyetik yani bağıl manyetik geçirgenlikleri 1'den fazla olan maddelere etki göstermektedirler. $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de Demir, Nikel ve Kobalt ferromanyetiktir. Demir, Nikel ve Kobalt elementleri ile alaşım yapıldığı takdirde çoğu zaman ferromanyetizma özelliklerini korurlar (Anonim, 2015b).

2.1. Mıknatisin Tarihçesi

M.Ö. 6. yy.da Yunan filozof Thales, mıknatis taşlarının demir tozlarını çektiğini bulmuştur. 12. yüzyıla gelindiğinde ise, Çinlilerin manyetik tabanlı pusulayı yönelim için kullandıkları biliniyordu (Anonim, 2015c).

1269 yılında Pierre de Maricourt, doğal küresel bir mıknatis yüzeyinin çeşitli noktalarına bir iğne yerleştirerek iğnenin yöneldiği alanların haritasını elde etmiştir. Haritadaki yönlerin, kürenin çap boyunca karşılıklı iki noktasından geçen ve küreyi kuşatan çizgiler oluşturduklarını görmüştür. Bu noktalara mıknatisin kutupları olarak adlandırmıştır. Daha sonraki deneyler, şekli ne olursa olsun her mıknatisin kuzey ve güney kutup deneni iki kutbu olduğunu göstermiştir (Anonim, 2015d).

Elektrik ve manyetizma arasındaki ilişki, 1819'da Danimarkalı bilim adamı Hans Christian Oersted'in bir gösteri deneyi sırasında akım taşıyan telin yakınlarında duran pusulayı saptırdığını bulmasıyla keşfedilmiştir. Bundan kısa bir süre sonra

Andre Ampere akım taşıyan iletkenin değerine uyguladığı manyetik kuvveti hesaplamak için gerekli nicel yasaları elde etmiştir. 1820'ler de Michael Faraday ve ondan bağımsız olarak Joseph Henry elektrik akımı ile manyetizma arasındaki başka ilişkileri de göstermişlerdir. En sonunda Maxwell tüm bu çalışmaları ve elektrik ile manyetizmayı birleştiren Maxwell Denklemleri'ni yayınlamıştır (Anonim, 2015d).

1982 yılında, General Motors ve Sumitomo Özel Malzemeler firmaları NdFeB bileşik malzemesini keşfetmiştir. Araştırma daha önce geliştirilmiş olan SmCo daimi mıknatısının maliyetini azaltmak için yapılmıştır. Sumitomo Özel Malzemeler firması Hitachi Corporation'ın parçası haline gelmiştir ve Neodyum (Nd) mıknatıs üretim lisansını almıştır. Günümüzde Hitachi firmasına ait Neodyum mıknatısları kapsayan 600'den fazla patent bulunmaktadır (Anonim, 2015e).

2.2. Mıknatıs Çeşitleri

Mıknatıslar; etki sürelerine göre; geçici mıknatıslar ve kalıcı mıknatıslar olarak ikiye ayrılır. Tez metni içinde geçici mıknatıslar elektromıknatıs olarak adlandırılacaktır.

2.2.1. Geçici mıknatıslar (Elektromıknatıslar)

Elektromıknatıslar elektrik akımları kullanılarak Demir'den imal edilmiş mıknatıstır. Elektromıknatıslara aynı zamanda geçici mıknatıs adı da verilir. Elektromıknatıs, bobin içinde silisli yumuşak demir konularak imal edilir. Bobinden akım geçtiği süre içinde manyetik alan oluşturarak mıknatıs özelliği devam eder. Akım kesilince manyetik alan kaybolur ve mıknatıs etkisi geçer. Elektromıknatıslardan sağlanan manyetik kuvvet, kalıcı mıknatıslardan sağlanan kuvvetten oldukça büyüktür.

Elektromıknatısın her iki ucu da manyetik maddelere etki eder. Elektromıknatısların kutupları sağ el kuralına göre bulunabilir. Bu kural, tel bobine alttan sarılıyorsa sağ el bobini alttan kavranarak tutulur. Sağ elin başparmağı elektromıknatısların kuzey kutbunu olarak nitelendirilir. Pil, ters olarak bağlanırsa, elektromıknatısın her iki ucu da aynı şekilde çekme özelliği gösterir ama kutupları yer değiştirir. Ancak elektromıknatıslarda her zaman pil söz konusu değildir. Büyük elektromıknatıslarda gelişmiş akü, motor gibi güç kaynakları kullanılır.

2.2.2. Kalıcı Mıknatıslar

Kalıcı mıknatıslar, herhangi bir manyeto motor gücü olmadan manyetik alan sağlama ve sürdürme yapan malzemelerdir. Kalıcı mıknatısların gelişiminde ilerlemeler durmadan devam etse de temel özellikleri aynıdır. Manyetik hareketler birbiri ile ilişkili olan üç vektör büyüklüğüne bağlıdır. Bunlar sırasıyla;

- Manyetik indüksiyon ya da akı yoğunluğu,
- Manyetik alan,
- Mıknatıslanma

olarak sıralanır. Manyetik indüksiyon ya da akı yoğunluğu, vektörel bir büyüklüktür. Boşluktaki bir noktadaki manyetik akının yoğunluğu olarak ifade edilebilir. Birim kesit alandaki akı çizgileri olarak da ifade edilir.

Manyetik alan, sabit ya da sargılardan akan akım ile alan kaynağı tarafından gösterilen manyetik alan olarak tanımlanmış bir vektörel büyüklüktür.

Mıknatıslanma malzemenin manyetik durumu olarak ifade edilen bir büyüklüktür. Birim hacimdeki atomik manyetik momentlerin vektör toplamı şeklinde tanımlanır.

Kalıcı mıknatıslar elde edildikleri malzemeler, gösterdikleri çalışma performansları ve elde edilme maliyetleri gibi belirleyici unsurlardan dolayı çeşitli bölümlere ayrılırlar. Her bir mıknatısın farklı kullanım amaçları vardır. Mıknatıslar yıllardan bu yana pek çok uygulamada kullanılmışlardır. Dünyanın pek çok yerinde önemli mıknatıs madeni katmanları bulunur. Çizelge 2.1’de kalıcı mıknatısların, atom numaraları gösterilmiştir. Neodyum (Nd), kalıcı mıknatıs için kısmen iyi bir tercihtir. Seramik ve Lantanyum (La)’dan sonra en sık rastlanan mıknatıs malzemedir. Samaryum (Sm) ile arasında farklılıklar vardır. Samaryum elementi Neodyum’dan daha az bulunur ve metal olarak işlenmesi daha zordur.

Kalıcı mıknatıs malzemeler, doğada birlikte bulunurlar. Kimyasal olarak benzerlik gösterirler. Fakat manyetik olarak oldukça zıt olabilirler. Manyetik durumları şaşırtıcı oranlar gösterir (Ekineker, 2011).

Çizelge 2.1. Kalıcı mıknatıs element-atom numarası değerleri

Element	Atom numarası
Lantanyum (La)	57
Seryum (Ce)	58
Praseodyum (Pr)	59
Neodyum (Nd)	60
Prometium (Pm)	61
Samaryum (Sm)	62
Evropiyum (Eu)	63
Gadolinyum (Gd)	64
Terbiyum (Tb)	65
Dispersiyum (Dy)	66
Holmiyum (Ho)	67
Erbiyum (Er)	68
Tulyum (Tm)	69
İtterbiyum (Yb)	70

Önemli kalıcı mıknatıs malzemelerinin özellikleri özetlenmiştir.

2.2.2.1. Neodyum mıknatıs (NdFeB)

NdFeB, yüksek çekim veya itim kuvvetine ihtiyaç duyulan uygulamalarda iyi bir tercihtir. NdFeB, mıknatıslar arasındaki en yüksek itme veya çekme kuvvetine sahip malzemedir. NdFeB'nin enerji üretim değerleri " $(BH)_{max}$ " yüksek olup, en düşük 26 en yüksek 48 MGOe olarak ölçülmüştür. NdFeB, bazı manyetik malzemelere göre daha sert yapıdadır. Fakat uygulamalarda yapısal bileşen olarak kullanılmazlar. NdFeB, ısıya karşı hassastır ve 150 °C aşan çevre koşullarında kullanılmalarına uygun değildir. Korozyon rezistansı ve maksimum çalışma sıcaklığı çalışma ömrünü kısılmaktadır. Uygun yüzey kaplamalarıyla bu sorun çözülür (Ekineker, 2011).

Çizelge 2.2. NdFeB mıknatısının çeşitleri ve tipik özellikleri

Malzeme	$(BH)_{\max}$ (kJ/m ³)	B_r (kA/m)	H_c (kA/m)	H_{ci} (kA/m)
NdFeB 31/25	237,38	11200	875,32	1989,37
NdFeB 35/19	278,51	12300	946,94	1511,92
NdFeB 38/17	302,38	12500	962,85	1352,77
NdFeB 40/14	318,30	12600	978,77	1114,05
NdFeB 44/12	350,13	13500	875,32	954,49

Yeni nesil bağlı form NdFeB mıknatısı yüksek performanslıdır. Çeşitli şekillerde üretilebilme imkânı sunar. Yeni formun enerji üretimi en düşük 8 en yüksek 10 MGOe olarak ölçülmüştür. En uygun çalışma sıcaklığı 150 °C tır. Gelişmiş motor ve sensör imalatında yaygın olarak kullanılmaktadır. Çalışma sıcaklığı, mıknatısın geometrik şekline ve çevre koşullarına bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. (Ekineker, 2011).

Çizelge 2.3. Yeni nesil bağlı form NdFeB mıknatısının karakteristikleri

Manyetik Karakteristikleri	SI
Artık indüksiyon (T)	0,69
Zorlayıcı güç (kA/m)	414
Gerçek zorlayıcılık (kA/m)	716
Enerji üretimi (kJ/m ³)	80
Geri Çekilme Geçirgenliği	1,22
100 °C'e kadar B_r 'nin ısıl katsayısı (%/°C)	-0,150
100 °C'e kadar H_{ci} 'nin ısıl katsayısı (%/°C)	-0,40
Gerekli manyetik güç (kA/m)	2786

Çizelge 2.4. Yeni nesil bağlı form NdFeB mıknatısı fiziksel özellikleri

Yoğunluk (kg/m ³)	6000
Curie sıcaklığı (°C)	360

2.2.2.2. Samaryum Kobalt mıknatıs (SmCo)

Samaryum Kobalt, yüksek ortam sıcaklığında yüksek itme ve çekme kuvveti ile çalışmanın gerekli olduğu uygulamalar için en uygun malzemedir. Manyetik malzemedeki olan Samaryum Kobalt, özellikle 300 °C ve üzerindeki çalışma sıcaklığında mükemmel ısıl performansı gösterir. Samaryum Kobalt'ın enerji üretimi en düşük 16 en yüksek 32 MGOe olarak ölçülmüştür. Manyetik güç üretiminde, NdFeB'den sonra gelmektedir. Samaryum Kobalt mıknatısları son derece yüksek "Hci" değerli ve nispeten düşük "Br" ısıl katsayılı bileşimdir (Ekiner, 2011). Fakat Samaryum ve Kobalt'ın yüksek maliyetleri bu mıknatısı kullanılan en pahalı mıknatıs yapar. Çizelge 2.5'de SmCo mıknatısının çeşitleri ve tipik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.5. SmCo mıknatısının çeşitleri ve tipik özellikleri

Malzeme	$(BH)_{\max}$ (kJ/m ³)	B_r (kA/m)	H_c (kA/m)	H_{ci} (kA/m)
SmCo 16/18(1-5)	127,32	8300	596,83	1432,40
SmCo 18/20(1-5)	143,24	8700	636,62	1591,56
SmCo 22/15(1-5)	175,07	9500	716,02	1352,82
SmCo 26/11(2-17)	206,90	10500	716,02	875,35
SmCo 28/7(2-17)	222,81	10900	517,25	557,04

2.2.2.3. Alüminyum Nikel Kobalt mıknatıs (Alnico)

Alüminyum Nikel Kobalt mıknatısı çok yüksek sıcaklıkta çalışma gerektiren uygulamalar için uygun tercihtir. Çevre sıcaklığının 550 °C ve üzerinde olduğu çalışmalarda kullanılabilirler. Geniş sıcaklık aralıklarının gerektiği çalışmalarda da kullanılırlar. Alnico mıknatısının enerji üretimi en düşük 1,5 en yüksek 7,5 MGOe olarak ölçülmüştür. Alnico mıknatıslar "Br" nin düşük ısıl katsayı özelliğine sahiptirler. Çok yüksek çalışma sıcaklıklarında rahatça tercih edilebilirler. Fakat Alnico düşük "Hci" değerini gösterir. Alnico mıknatıs diğer mıknatıslara göre daha yüksek çekme ve itme kuvvetlerine sahip olmasına rağmen yüksek kırılma

özellikleri nedeni ile endüstride kullanımı yaygınlaşmamıştır (Ekineker, 2011). Çizelge 2.6'da Alnico mıknatısının çeşitleri ve tipik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.6. Alnico mıknatısının çeşitleri ve tipik özellikleri

Malzeme	$(BH)_{\max}$ (kJ/m ³)	B_r (kA/m)	H_c (kA/m)	H_{ci} (kA/m)
SmCo 16/18(1-5)	127,32	8300	596,83	1432,40
SmCo 18/20(1-5)	143,24	8700	636,62	1591,56
SmCo 22/15(1-5)	175,07	9500	716,02	1352,82
SmCo 26/11(2-17)	206,90	10500	716,02	875,35
SmCo 28/7(2-17)	222,81	10900	517,25	557,04

2.2.2.4. Ferrite mıknatıs

Ferrite mıknatıs düşük maliyetlidir. Üretiminde kullanılan hammaddelerin temini kolay olması sebebiyle, dünyada en çok tercih edilen ve çalışmalarda kullanılan mıknatıstır. Bu malzeme, 300 °C'nin altında çalışma sıcaklıkları olan uygulamalar için uygundur. Ferrite mıknatıs, katı kristal yapısı sebebiyle rahatça kırılabilir. Ferrite mıknatısının enerji üretimi en düşük 1 en yüksek 3,5 MGOe olarak ölçülmüştür. Ferrite mıknatıslar diğerlerinden farklı olarak, çubuk ve rulo şeklinde de imal edilebilir. Ferrite tozları, esnek kauçuk malzemeye karıştırılmasıyla manyetik katman elde edilir. Katmanlar çeşitli ebat ve değişik ölçülerde kesilebilir. Bu katmanlar maksimum tutma gücünü elde etmek için kutuplu modellerle manyetize edilerek imal edilir. Manyetik özellik bakımından oldukça zayıftır (Ekineker, 2011).

Çizelge 2.7. Ferrit mıknatısının çeşitleri ve tipik özellikleri

Malzeme	$(BH)_{\max}$ (kJ/m ³)	B_r (kA/m)	H_c (kA/m)	H_{ci} (kA/m)
Seramik 1	1,05	2300	1860	3250
Seramik 5	3,4	3800	2400	2500
Seramik 8	3,5	3850	2950	3050

3. MANYETİK ALAN

Manyetik alan; hareket eden elektrik yükleri ile zamanla değişen elektrik alanlardan veya temel parçacıklar tarafından içsel olarak ortaya çıkar. Manyetik alan vektörel olarak ifade edilir. Yani herhangi bir noktada yönü ve şiddeti ile belirtilir. Manyetik alan en genel tanımla; hareket eden elektrik yüküne etki eden kuvvet olarak bilinir ve Lorentz kuvveti ile tanımlanmıştır. Manyetik alan, elektrik alanı, akım ve onları oluşturan yükler arasındaki ilişki Maxwell Denklemleri ile açıklanmıştır. Özel Görelilik Kuramı'nda elektrik ve manyetik alan bir cismin birbiriyle ilişkili iki özelliğidir. Kuantum fiziğinde ise elektromanyetik etkileşimler foton değişimi ile gerçekleşir. Manyetik alanın birçok kullanım alanı vardır. Dünya kendi manyetik alanını üretir ve bu manyetik alan pusulanın temel çalışma prensibidir. Dönen manyetik alan elektrik motorlarında ve jeneratörlerin çalışma prensibini oluşturur. Manyetik kuvvetler bir malzeme içerisindeki yüklerin yoğunluğu veya sayısı hakkında bilgi verir. Mıknatıssal veya manyetik alan, bir mıknatısın mıknatıssal özelliklerini gösterebildiği alan olarak adlandırılır. Mıknatısın çevresinde oluşan çizgilere de, mıknatısın o bölgede oluşturduğu manyetik alan çizgileri denir. Şekil 3.1'de manyetik alan çizgileri gösterilmiştir. Manyetik alan çizgilerinin yönü kuzeyden (N) güneye (S) doğrudur.

Manyetik alan "B" harfiyle ifade edilmiştir. SI birimi Sırp bilim adamı Nikola Tesla'nın soyadı Tesla'dır. Manyetik alan Lorentz kuvveti kullanılarak ölçüldüğü için birimi coulomb-metre/saniye başına Newton'dur. Saniye başına coulomb'a bir amper denildiği için;

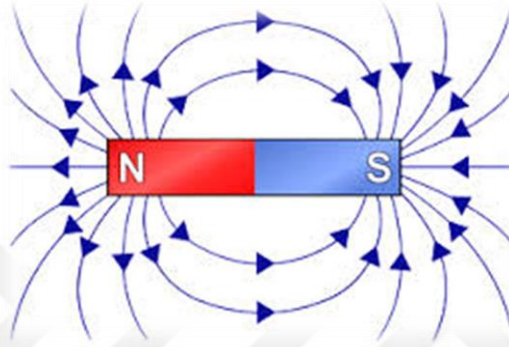
$$T = N(Am)^{-1} \quad (3.1)$$

$$T = 10^4 G \quad (3.2)$$

olarak da geçer. Tesla günlük olaylar için çok büyük bir birim olduğunu için genellikle, gauss (G) kullanılmaktadır (Anonim, 2015f).

3.1. Yerin Manyetik Alanı

Yerin manyetik alanı, dünyanın akışkan dış çekirdeğindeki konveksiyon akımları ile oluşmaktadır. Dış çekirdekdeki konveksiyon hareketleri, zaman içinde manyetik alanı oluşturur. Bu konveksiyon hareketlerinin dünyanın oluşumundan beri meydana geldiği düşünülmektedir.



Şekil 3.1. Manyetik alan çizgileri

Çizelge 3.1. Bazı yaklaşık manyetik alan büyüklükleri

Alan kaynağı	Alan büyüklüğü
Kuvvetli süper iletken laboratuvar mıknatısı (T)	30
Kuvvetli sıradan laboratuvar mıknatısı (T)	2
Tıpta kullanılan MR birimi (T)	2
Çubuk mıknatıs (T)	10^{-2}
Güneşin yüzeyi (T)	1^{-2}
Dünyanın yüzeyi (T)	1^{-4}
İnsan beyninin içi (sinir atımlarından kaynaklanan) (T)	1^{-4}

Yeryüzü çekirdeğinin içi katı, dışı akışkan demir termal hareketlerle kendi manyetik alanlarını meydana getirir. Atomların yeterli bir kuvvetle ve düzenli bir biçimde yer değiştirmesi ve yönlendirmesi kalıcı mıknatıslanmaya neden olduğundan dünyanın kabuğunda kalıcı mıknatıslanma olayını gerçekleştirir. Dünya, etrafı manyetik alanla çevrelenmiş büyük küresel bir mıknatıs gibi etki göstermektedir. Dünya, manyetik

alanın kuzey ve güney kutupları olan, merkezde yerleşmiş bir çift yönlü mıknatıs olarak da düşünülebilir. Dünyanın dönüş eksenini ile çift yön eksenini arasında yaklaşık olarak 11° fark ölçülmüştür. Bu kuzey ve güney kutuplarla, manyetik kutupların üst üste geçmediğini, arasında fark olduğunu gösterir. Herhangi bir noktadaki mıknatıssal alan, ölçülen kuvvet ve yön ile belirtilir. Yerinde içindeki dev mıknatıs coğrafi kuzey-güney doğrultusuyla yaklaşık $11-15^\circ$ açı yapacak şekilde konumlandığından pusulanın gösterdiği yön tam olarak coğrafi kuzey yönü olmayıp $11-15^\circ$ sapma yaparak hareket eder. Dünyanın manyetik alanı, denizcilik faaliyetlerinin gelişmesi ve ilerlemesinde katkısı çok fazladır. Pusula ile yön tayini daha uzak mesafelere seyahat edebilme imkânı sağlamış, bununla birlikte dünya üzerinde keşfedilmemiş noktalara ulaşılmasına olanak sağlamıştır (Anonim, 2015g).

3.2. Manyetik Maddelerin Sınıflandırılması

Michael Faraday, araştırmaları neticesinde maddelerin, manyetik alana tepki verdiğini ve bu tepki sonucunda etkileşim olduğunu ortaya koymuştur. Verdikleri tepkiye göre maddeleri üç grupta toplanabildiğini göstermiştir.

3.2.1. Ferromanyetik maddeler

Demir, Kobalt, Nikel çok fazla manyetik özellik gösteren manyetik maddelerdir ve bunlar ferromanyetik maddeler olarak adlandırılır. Ferromanyetik maddeler kalıcı mıknatısların imalatında kullanılırlar. Bunlar zayıf bir manyetik alan içinde bile birbirlerine paralel olarak şekil almaya çalışan atomik manyetik yönlerine sahiptirler. Bu manyetik yönlerine bir kere paralel şekil alındıktan sonra dış alan ortamdaki kaldırılabilir bile madde mıknatıslanmış olarak etki göstermektedir. Bu sürekli yönelme komşu manyetik momentler arasındaki kuvvetli etkileşimden dolayı meydana gelmektedir. Bu etkileşim kuantum mekaniği ifadeleriyle açıklanmıştır. Bu tür maddeler bir manyetik alan içinde alan yönünde ve çok güçlü çekim ya da itim kuvvetine sahip olarak mıknatıslanırlar. Ferromanyetik maddeler bir mıknatısla kuvvetli olarak çekim olarak etkilenirler ve çubuk şeklinde iseler asıldıklarında, çubuğun uzun eksenini alan doğrultusuna paralel oluncaya kadar bir kuvvet etkisi maruz kalırlar. Bu maddelerin manyetik momentleri, termik etkilere rağmen dış

manyetik alanınla üst üste gelecek şekilde düzen alırlar. Eğer maddenin sıcaklığı, Curie sıcaklığı adı verilen değerden daha yukarı çıkarılırsa bu üst üste dizilim değişir ve madde etkilenen halden etkilenmeyen hale gelir.

Demir için Curie sıcaklığı 770 °C olarak belirlenmiştir. Ferromanyetizma atom ve iyonların kendine özgü bir karakteristiği değil, komşu atom ve iyonların yapısal kurgu içindeki etkileşim şeklinden kaynaklanır. Ferromanyetik bir madde bir solenoidin veya halka sarımın içine sokularak, bunların içinde mıknatıssal özellikten etkilenen madde yokken olan durumdan çok daha büyük değerde manyetik kuvvet değerleri elde edilir. Mıknatıssal alandan etkilenen bir maddeden örnek olarak yassı bir çubuktan yapılmış demir halka üzerine yalıtılmış tel sarımlardan “N” tane sarılarak halka şeklinde bir çember sarım bobin (Rowland halkası) elde edilir. Bu çemberler üstüne ikincil sarım sarılır ve bu bobinin uçları bir balistik galvanometreye bağlanır. Bu tür bir Rowland halkası ile manyetik alandan etkilenen maddelerin mıknatıslanmaları incelenir. Rowland halkasının içinde demir çekirdek yokken manyetik alanın değeri “Bo” olarak tanımlanır ve demir çekirdekten gelen manyetik manyetik alanda “Bm” olarak sembolize edilir ise, demir çekirdekli halkanın içindeki toplam manyetik alan değeri;

$$B = B_o + B_m \quad (3.3)$$

eşitliği ile hesaplanır (Ekineker, 2011).

3.2.2. Paramanyetik maddeler

Paramanyetik olarak tanımlanan maddelerin mıknatıslanmaları çok zayıf ve bu mıknatıslanması da mıknatıslayıcı alan yönünde hareket eder. Bu tür, sıvı oksijen (LOX), Azot oksit (NO), Ozon (O₃), Platin (Pt), Paladyum (Pd), Alüminyum (Al), Krom (Cr), Manganez (Mn) gibi maddeler kuvvetli bir mıknatıs tarafından hafifçe çekim şeklinde etkilenme gösterirler. Bu tür maddeleri oluşturan maddelerin atom ve iyonlarının büyük bir kısmında elektronların çevresel ve açısal momentumundan ortaya çıkan manyetik etkiler birbirlerini yok ederek, etkisiz hale getiriler. Belirli bir sayıdaki atomdan oluşan bir maddenin manyetik momentleri, onları etkilen dış alanın

doğrultusuna göre yönelecektir ve tüm atomların toplam manyetik momentlerinin ($N\mu$) bu alanla tam olarak üst üste gelebilmesi mümkün değildir. Çünkü dış ortam termik etkisiyle atomların hareketlenmesi toplam manyetik alanların üst üste gelme şeklini bozar. Miknatıssal özelliği çok az olan bir madde bir dış alana konduğunda onun oluşturacağı toplam manyetik momentin değeri, bu momentin oluşturacağı maksimum manyetik moment değerinden oldukça az olacaktır. Çubuk halinde miknatıssal özelliği çok az olan bir madde manyetik alan içine asılırsa, çubuk, uzun eksenini manyetik alan doğrultusunda oluncaya kadar bir moment etkisine maruz kalır.

Bazı koşullar altında miknatıssal alandan çok az etkilenen maddelerin miknatıssanmasının alanla doğru, mutlak sıcaklıkla ters orantılı olduğu Pierre Curie tarafından bulunmuştur. Bu eşitlik;

$$M = C \frac{B}{T} \quad (3.4)$$

şeklinde olup, miknatıssanmanın artan alanla ve azalan sıcaklıkta arttığını ifade etmektedir. Manyetik alan değeri sıfır olduğu anda miknatıssanma etkisi sıfırdır ve bu durumda çift yönlü momentler rastgele olarak hareket etmişlerdir. Çok yüksek dış etkili alanlar ve düşük sıcaklıklarda miknatıssanma etkisi en yüksek değerine ulaşır. Miknatıssal alandan etkilenen bir maddenin sıcaklığı Curie Sıcaklığı (T_c) denen bir sıcaklığa ulaşınca bu maddenin miknatıssal özelliği kendiliğinden sıfırlanır ve madde miknatıssal alandan çok az etkilenir durumuna geçer. Curie Sıcaklığı'nın altında manyetik momentler paralel şekilde düzen aldıkları için madde miknatıssal alandan etkilenmektedir. Curie sıcaklığının altında manyetik momentleri yan yana dizilin gösterirler, bu bölgede madde manyetik alandan etkilenir hale gelir. Buna karşın T_c 'nin üstünde ise madde manyetik alandan çok az etkilenecek şekilde özellik göstermektedir (Ekineker, 2011).

3.2.3. Diamanyetik maddeler

Atomları sürekli manyetik çift yönlü moment özelliği taşımayan maddelere diamanyetik maddeler olarak tanımlanmıştır. Gümüş (Ag), bizmut (Bi) gibi

mıknatıssal alandan çok az etkilenen maddelere bir dış alan uygulanınca madde tarafından bu alana zıt yönde zayıf bir manyetik çift yönlü moment kuvveti meydana gelir. Bu maddeler bu şekilde davranmakla birlikte, bu etki onlarda ihmal edilebilecek kadar azdır. Mıknatıssal alandan etkilenme değeri ihmal edilebilecek kadar az olan maddelerde normal konumda çekirdek etrafında birbirine ters yönde ve aynı hızla dönen elektronlar birbirlerinin manyetik momentlerini sönmüleyerek, yok ederler. Bir dış alan uygulanınca elektronlar ek olarak “ $qv \cdot B$ ” gibi ek bir manyetik moment kuvvetine maruz kalırlar. Bu ek manyetik kuvvet nedeniyle elektronların maruz kaldığı merkezci kuvvet artık aynı olamaz ve manyetik momenti alana paralel olmayan elektronun, hızı artarken paralel elektronun alandaki hızı azalır. Sonuçta elektronların manyetik momentleri birbirlerini sönmüleyemez ve madde manyetik alana zıt yönde bir çift yönlü moment etkisi oluşur. Süper iletkenler belli bir kritik sıcaklığın altında elektriksel direnç göstermezler ve bu direnç sıfır olarak kabul edilir. Süper iletkenlerin bazıları süper iletken konuma geçtiklerinde mıknatıssal alandan etkilenmeme özelliği gösterirler. Bu konumdaki süper iletken kendine uygulanan dış alan içindeki manyetik akı sıfır oluncaya kadar dışarıya doğru yönelir. Akıyı dışa atma olayına “Meissner Olayı” adı verilir (Ekineker, 2011).

Manyetik alandan etkilenmesi sıfır olarak kabul edilen maddelerin mıknatıslanmaları gerçekte çok zayıf ve mıknatıslanması da mıknatıslayıcı alanla zıt yönlü olacak şekildedir. Bu maddeler kuvvetli bir mıknatıs tarafından manyetik alana maruz bırakıldığında az miktarda etki gösterebilirler. Bakır (Cu), Gümüş (Ag), Kurşun (Pb), Antimon (Sb), Bizmut (Bi) metaller, bütün yarı metaller ve organik maddelerin çoğu bu şekilde davranış sergilerler. Şerit halinde böyle bir madde manyetik alana maruz bırakılırsa, şerit, büyük eksenini manyetik alana dik oluncaya kadar bir manyetik momentin etkisi altındadır. Bu madde atomlarının sürekli bir manyetik moment kuvveti yoktur fakat bunların atomlarında dış bir manyetik alan etkisi manyetik çift yönlü moment meydana getirebilir.

3.3. Ferromanyetizma

Ferromanyetizma, basitçe maddelerin çok kolay olarak mıknatıssal özelliği kazanabilme olarak tanımlanabilir. Kolay mıknatıslanabilen maddelerin manyetik

özellikleri, o maddeden bir sarmal halka (Rowland halkası) meydana getirilerek ölçülebilir. Rowland halkasında ilk bobinlere mıknatıslayıcı bobinler denir ve oradan geçen akım mıknatıslayıcı akım olarak tanımlanır. İkincil bobinler bir galvanometreye bağlanır. Halka içindeki manyetik alan açma kapama anahtarı ile mıknatıslayıcı akımın yönü çok çabuk olarak yön değiştirir ve ölçüm bu şekilde anlaşılır. Mıknatıslayıcı akımın yönü değiştikçe, mıknatıslanmasının yönü de ve onunla orantılı olan manyetik alan şiddetinin yönü de değişir. Mıknatıslayıcı manyetik alan şiddeti yönü değiştikçe manyetik alanın da yönü değişecektir ve manyetik alan değeri pozitif manyetik alandan “+ B” negatif manyetik alana “- B” geçecek ve bununla oluşacak gerçek değer;

$$\Delta B = 2B \quad (3.5)$$

şeklindedir.

3.4. Elektrik ve Manyetik Alanlara Göre Denklemler

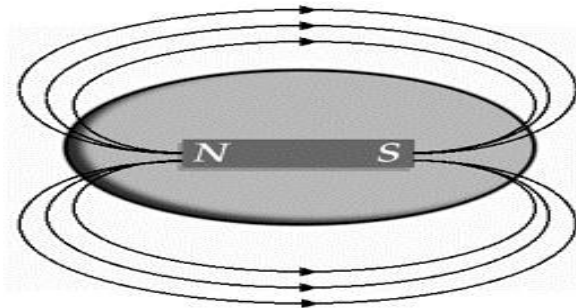
Elektromanyetizmayı tanımlayabilmek için, her biri genellikle zamanın bir fonksiyonu olan, bir vektör alanı, elektriksel alan “E”, ve bir vektör alan olan manyetik alanı “B” olarak tanımlanmış ve sembolize edilmiştir. Bu alanların kaynaklara yük yoğunluğu “ ρ ” ve akım yoğunluğu “J” olarak tanımlanan bölgesel yoğunluklar olarak ifade edilen elektrik yükleri ve akımlarıdır. Diğer bir kanun olan Lorentz Kuvvet Kanunu, elektrik ve manyetik alanların yüklü parçacıklar ve akımlar üzerinde etkisini ve oluşumunu açıklamaktadır. Bu kanunun diğer bir şekli Maxwell’in asıl eşitliğinde ifade edilmiştir. Elektrik-manyetik alan denklemleri temel olarak dört adet denklem ile açıklanmıştır. Bunlardan iki tanesi, eğer Gauss Yasası’nda olan elektrik yüklerinden ortaya çıkan elektrik alanları ve Gauss’un Manyetizma Yasası’nın manyetik tek kutuplarından bağımsız alan çizgilerine yakın olacak şekilde oluşan manyetik alan var ise, kaynağa göre sonsuz boşluk içinde bu alanların nasıl değiştiğini ifade edilmiştir. Diğer iki denklem; Faraday Yasası’ndaki zamanla değişken manyetik alanların etrafında oluşan elektik alanları sırasında Maxwell Doğrulmalı Ampere Yasası’ndaki elektik akımı ve zamanla değişen elektrik alanları etrafında manyetik alanın oluşturmuş olduğu kişisel

kaynakların çevresinde alanların nasıl oluştuğu matematiksel olarak ifade edilmiştir. Maxwell eşitliğinin kesinliği içerdiği ifadelerin ne kadar doğru olarak belirlenmesine bağlıdır. Kurallar birim sistemine göre farklılaşır, çünkü ışık hızı gibi boyutsuz çarpanlar tarafından soğrularak çeşitli tanımların ve boyutların anlamları değişebilir. (Anonim, 2015h).

3.4.1. Manyetizma İçin Gauss Yasası

Manyetizma İçin Gauss Yasası, elektrik yükleriyle karşılaştırılabilen manyetik yükün olmadığını ifade etmektedir. Bunun yerine, maddeye göre manyetik alan çift kutup denilen yapılardan meydana gelmektedir. Manyetik çift kutuplar en iyi akım döngüleri olarak ifade edilmiştir, fakat net bir manyetik yük taşımayan ayrılmaz bir biçimde birleşmiş olan pozitif ve negatif manyetik yüklere benzerler. Alan çizgilerine göre, bu eşitlik manyetik alan çizgilerinin başlangıç ve bitiş noktasının olmadığını fakat döngü oluşturduğunu ya da sonsuzluğun geriye doğru genişlediğini ifade etmektedir. Diğer bir ifade, belirli bir hacim içine bulunan herhangi bir manyetik alan çizgisi o hacmin herhangi bir yerinden terk etmelidir.

Fizikte, Manyetizma İçin Gauss Yasası, Maxwell Denklemleri'nden biri olarak tanımlanmıştır. Bu yasa, manyetik alanın diverjansının sifıra eşit olduğunu ifade etmektedir. Bu ise manyetik tek kutupların olmadığı anlamına gelir. Manyetik yüklerden daha önemli olan, manyetizma için temel eleman manyetik çift yönlülüktür.



Şekil 3.2. Herhangi bir kapalı yüzeyden geçen manyetik akı

Şekil 3.2’de Mıknatıssal alan içinde manyetik alan çizgilerinin kapalı bir form şeklinde hareket ettiğini göstermektedir. Manyetizma İçin Gauss Yasası diferansiyel ve integral eşitlikler olmak üzere iki şekilde matematiksel olarak modellenenir.

Gauss Yasası’na göre herhangi bir kapalı yüzey üzerinden akan elektrik akımı o yüzey tarafından sarılan net elektrik yükü ile orantılı olarak değişmektedir. Bir elektrik yükü ve bir manyetik tek kutup arasında var olan doğrudan bir benzetme şeklinde düşünülürse, herhangi bir kapalı yüzeyden akan manyetik akının da bu yüzey tarafından çevrelenen manyetik kutupların sayısı ile doğru orantılı olduğunu tanımlayan ikinci bir yasanın matematiksel olarak ifade edilmesi gereklidir. Ancak doğada henüz manyetik tek kutupluluk gözlenememiştir. Bu nedenle Manyetizma İçin Gauss Yasası tanım olarak şu şekilde ifade edilebilir; Herhangi bir kapalı yüzeyden akan manyetik akı sönümleşir ve yok olur.

Bu sadece manyetik tek kutupluluğun var olmadığını farklı bir şekilde ifade edilmesidir ve aynı zamanda tüm manyetik alanların aslında dolaşan akımlar tarafından meydana getirilmişlerdir.

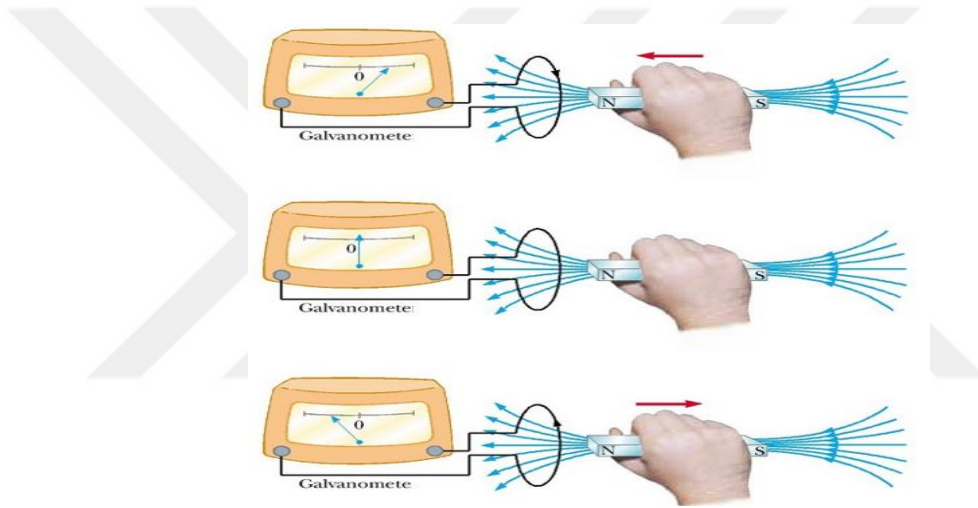
Bu yasada kabul edilen diğer bir kabul ise, kapalı hacme giren manyetik alan çizgileri sayısının her zaman bu kapalı hacimden çıkan manyetik alan çizgilerinin sayısı ile aynı olmasıdır. Başka bir ifade ile; manyetik alan çizgileri başlangıç ve bitiş noktaları olmayan kapalı döngülerdir. Bu bağlamda, manyetik alan çizgileri elektrik alan çizgilerine göre oldukça farklı karakteristik özelliklere sahiptirler. Elektrik alan çizgileri için, pozitif yükler başlangıç noktasını negatif yükler ise bitiş noktasını oluşturur ve kapalı döngüler meydana getirmezler. Manyetik alan çizgileri ise tam tersi olarak hareket ederler; bir kuzey kutbundan bir güney kutbuna doğru kapalı döngü halinde hareket ederler (Anonim 2015).

3.4.2. Faraday Yasası

Faraday Yasası; zamanı bir fonksiyon olarak tanımlayarak, manyetik alanların yapay elektrik alanlarını nasıl ortaya çıktığını ifade etmektedir. Bu hareketli indüksiyon

elektrik alanı, durgun elektrik alanlarıyla üst üste gelmediyse, manyetik alan gibi kapalı alan çizgileri Halide hareket ederler. Elektromanyetik indüksiyonun bu yönü birçok elektrikli jeneratörünün temel çalışma prensibini oluşturmaktadır. Dönen ve şerit şeklinde olan bir mıknatıs, dönme sırasında yakınındaki telde elektrik alanı oluşturabilen değişken bir manyetik alan meydana getirir.

1831 yılında, Michael Faraday zamana bağlı olarak değişen manyetik alanın elektrik akım meydana getirebileceğini açıklamıştır. Bu kavram elektromanyetik indüksiyon olarak ifade edilmektedir.



Şekil 3.3. Bir iletken halka içindeki mıknatısın hareketi ile oluşan akım

Bu sayede elektrik ve mıknatıssallık arasındaki ilişki açıklanmıştır. Faraday Yasası'na göre bir devrede indüklenen elektromotor kuvvetinin değeri, devreden geçen manyetik akının zamanla değişim miktarıyla doğru orantılı olarak değişmektedir.

Faraday ilk deneylerine ağaç bir silindir üzerine yan yana ve arası yalıtılmış iki sarım sararak başlamıştır. Sarımlardan birisinin uçlarını bir pile ve diğer sarımın uçlarını da bir galvanometreye bağlamıştır. Faraday pile bağlı sarımlardan ne kadar akım akarsa aksın değer sarımdan akım akmadığını ortaya koymuştur. Faraday, pili devreye bağladığı ve kestiği anlardaki galvanometredeki anlık sapmaları fark ederek bunları

yorumlamıştır. Bu olayın sonucunda; elektromanyetik indüksiyonu keşfetmiş ve deneyle de bunların nasıl oluştuğunu açıklamıştır. Daha sonra yaptığı deneylerde Faraday, demir çekirdek üzerindeki sarımlarla indüklenen akımın manyetik akıdaki değişmelerin sonucu olduğunu ifade etmiştir. Manyetik akıdaki değişiklik enerji verilen bobindeki sarımların değişken akım akışına sebep olduğunu göstermiştir. Faraday daha sonraki deneylerinde indüklenen akımların tel bir bobin içerisinde bir mıknatıs geçirilerek de oluşturabileceğini ve bu etkiyi oluşturmak için gerekli olan şeyin, bobin ve mıknatısın birbirleri arasındaki git-gel hareketi olduğunu göstermiştir. Şekil 3.3'de Faraday'ın bu deneylerini özetlenmiştir. Faraday şerit mıknatısın bobine göre hareketsiz konumda iken voltmetrede bir hareket olmadığını söylemiştir. Buna rağmen şerit mıknatıs ve bobin arasında rölatif bir hareket olduğu zamanlarda bir akımın indüklenebileceğini ispatlamıştır. Deneysel olarak bulunan bir diğer sonuç da diğer indüklenen elektromotor kuvvetin bobinden geçen manyetik akımın yoğunluğu ile değiştiğidir. Diğer bir ifade ile Faraday'ın deneyleri bobin halkasında indüklenen elektrik akımının manyetik alandaki değişim sonucu meydana geldiğini açıklamıştır (Anonim, 2015j).

3.4.3. Maxwell doğrulamalı Ampere Yasası

Maxwell doğrulamalı Ampere Yasası, manyetik alanın iki yoldan oluşabileceğini göstermektedir; elektrik akımı yoluyla (Ampere Yasası) ve elektrik alanını değiştirme yoluyla (Maxwell Doğrulmalı Ampere Yasası). Ampere Yasası'ndaki Maxwell doğrulaması hata oranı daha düşük bir eşitliktir. Bu doğrulama sadece manyetik alandaki değişimin elektrik alanın meydana gelmesine neden olmasını değil, elektrik alanındaki değişimin manyetik alanın meydana gelmesine neden olduğunu açıklamıştır. Bu yüzden, bu eşitlikler elektromanyetik dalgalara boşluk boyunca ilerlemelerine olanak sağlamaktadır. Akım ve yükler üzerinde yapılan çalışmalarından tahmin edilebilen elektromanyetik dalgalar için hesaplanan hız ışık hızıyla tam olarak aynı değer olarak karımıza çıkmaktadır. Bu durum ışığın elektromanyetik yayılımının bir şekli olduğunu göstermektedir.

Klasik elektromanyetizmada, Ampere Yasası 1826 yılında Andre Marie Ampere tarafından ortaya konulmuştur. Bu yasa elektrik akımı ileten kapalı bir halka etrafında manyetik alanın oluşmasını açıklamaktadır. James Clerk Maxwell bu yasayı 1861 yılındaki “On Physical Lines of Force” isimli makalesinde hidrodinamik kullanarak yeni bir eşitlik şeklinde haline getirmiş ve açıklamıştır. Ayrıca Ampere Yasası Maxwell Denklemleri olarak ifade edilen eşitliklerden biridir (Anonim, 2015k).

Ampere yasası ile manyetik alan arasındaki birliktelik;

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (3.6)$$

şeklinindedir. Elektrik akımı bir devredeki bir noktadan akan yük akışı olarak ifade edilmiştir. Bu amper olarak isimlendirilmiş bir birim ile ölçülür ve bu birim, saniye başına yük veya bir Coulomb’un akış hızına eşit olduğu belirtilmiştir. Geçen yüklerin hızına bakıldığında, tel üzerinde oluşan bir elektrik alandan yararlanılarak ifade edilir. Teldeki elektrik alanının etkisiyle saniyede 1 mm’den daha az bir hızda yer değiştiren birbirinden ayrı yükler, elektrik akımını ya da akışını meydana getirmektedir. Akım bazen de bir kesit alandan birim zamanda geçen akım yoğunluğunun miktarı olarak da ifade edilir.

3.4.4. Maxwell Denklemleri

Maxwell Denklemleri, Lorentz Kuvveti Yasası ile birlikte klasik elektrodinamik, klasik optik ve elektrik devreleri için başlangıç noktası oluşturan bir dizi kısmi diferansiyel denklemlerden meydana gelmektedir. Bu ifadeler modern elektrik ve haberleşme teknolojilerinin gelişmesini sağlayan önemli ifadelerdir. Maxwell Denklemleri elektrik ve manyetik alanların yükler ve akımlar tarafından nasıl oluşturulduğunu ve değiştiğini açıklamaktadır.

Maxwell Denklemleri iki büyük farklı formdan oluşmaktadır. Maxwell Denklemleri’nin mikroskopik formunda atomik düzeyde; malzemelerdeki karmaşık yükleri ve akımları toplam yük ve toplam akımı kullanarak hesaplamaktadır.

Maxwell Denklemleri'nin makroskopik formu, atomik ölçekteki ayrıntıları dikkate almak zorunda kalmadan ölçekteki durumları tanımlamada iki yeni yardımcı alan açıklar.

Maxwell Denklemleri terimi sık sık bu eşitliklerin diğer değer sürümleri için de kullanılır. Örneğin; uzay zaman eşitlikleri yüksek enerji ve gravitasyonel genel olarak yazılabilir. Uzay zaman üzerinde belirlenen bu denklemler özel ve genel görelilikle ilişkilidir. Kuantum mekaniğinde, elektrik ve manyetik oluşumlar üzerine dayandırılan Maxwell Denklemleri kullanılmaktadır.

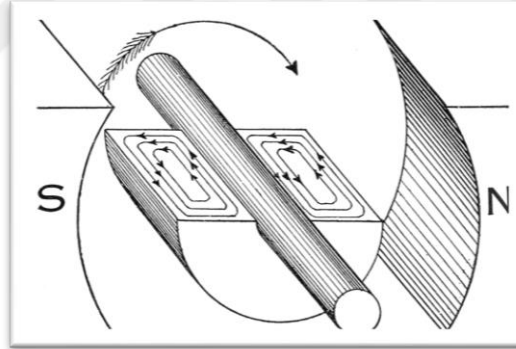
Kavram olarak, Maxwell Denklemleri elektrik yükleri ve elektrik akımlarının elektrik ve manyetik alanlar için kaynak olarak nasıl bir düzen aldığını açıklamaktadır. Zamanla değişen bir elektrik alanın, aynı şekilde zamanla nasıl değişiklik gösterdiğini, bir manyetik alanı nasıl oluşturduğu veya tam tersini tanımlamaktadır. Dört denklemden ikisi elektrik için Gauss Yasası ve Manyetizma İçin Gauss Yasası, alanların yüklerden nasıl ortaya çıktığını tanımlar. Manyetik alan için manyetik yük oluşmaz ve böylelikle manyetik alan çizgileri herhangi bir yerde ya oluşur ya da sonlanır. Diğer iki eşitlik ise alanların kendi kaynaklarının çevresinde nasıl oluştuğunu tanımlar; manyetik alan elektrik akımları ve Maxwell Doğrulmalı Ampere Yasası'na göre zamanla değişen elektrik alanın çevresinde oluşan elektrik alan Faraday Yasası'na göre zamanla değişen manyetik alan çizgileri ile bir halka olacak şekilde oluşmaktadır.

19. yüzyılın ortalarında bazı bilim insanları elektriksel ve manyetik olayların birbirine bağlı olduğu sonucunu ortaya koydular. Bilim insanları elektrodinamiğin bazı ayrıntılarını yorumlayarak, oluşumunu eşitlikler haline getirdiler ama bu eşitlikler tümüyle şeyin bir araya geldiğini ve oluştuğunu anlamaya yeterli değildi. Bu eşitlikler ile 10 yıl kadar doğrulama ve düzeltme çalışmaları yapan İskoç fizikçi James Clerk Maxwell, 1865 ve 1868 yıllarında dört denklem içinde tüm elektromanyetik olaylarını açıklayan iki makale yayınladı. Maxwell sonra bu eşitlikleri elektromanyetik dalgaların nasıl oluştuğunu öngörmede ve ışığın bir elektromanyetik dalga olduğunu açıklamada kullanmıştır.

Maxwell Denklemleri olarak tanımlanan eşitlikler dizisi, Lorentz Kuvvet Yasası'yla birlikte tüm elektromanyetik olayların nasıl oluştuğu ve hareket ettiğini açıklamamıştır. Aslında bu eşitlikler, Lorentz Kuvvet Yasası dışında Gauss, Faraday ve Amper Yasaları'nı açıklamıştır (Anonim, 2015).

3.5. Girdap Akımları

Sabit olmayan manyetik alan içinde bulunan maddelerde İndüksiyon Kanunu'na göre akımlar oluşur. Bu olay, manyetik alan etkisine maruz kalan çekirdeklerde akımın değişmesi sonucu, akı çevresinde girdaplarda yayılan ikincil akımların ortaya çıkması olarak belirtilir. İletken cisim içinde akımın takip edeceği iz, bir telde olduğu gibi belirli değildir. Bunun nedeni ise; akımın en küçük direnci gösteren izler üzerinden devresini tamamlamak istemesidir. Böylece, akımların geçtiği izler şekil olarak girdabı andırdığı için (Şekil 3.4) bu akımlar "Girdap Akımları" olarak tanımlanmıştır.



Şekil 3.4. Girdap akımları

Malzeme direncini, yani akımın gideceği izin direncini artırmak için bazı yöntemler kullanılabilir. Kullanılan yöntemlerden en yaygın olanı çekirdek olarak kullanılacak olan demirin tek parça halinde değil, araları yalıtkan levhalar şeklinde yapılarak uygulamalarda kullanılmasıdır. Bu işlem sonucu girdap akımlarının oluşturduğu kayıplar bir miktar azaltılabilir. Malzemedeki Silisyum oranı da güç kaybını etkileyen faktörlerden bir tanesidir. (Stanbury, 1985), kullanılan Demir çekirdeklerindeki Silisyum (Si) oranının % 3 olması halinde güç kayıplarının düşük olacağını belirtmektedir.

Girdap akımları zararlı olduğu gibi kullanım amacına göre yararlı olduğu çalışmalar tasarlanabilir. Ancak girdap akımlarının zararı, faydalı bir model tasarlamak amaç olduğu için incelenmeyecektir. Tez çalışmasının asıl amacı “girdap akımları temel alınarak yeni ısıtma sistemlerini tasarlanması” olarak hedeflenmiştir.

Manyetik alan şiddeti ve manyetik akı yoğunluğu veya indüksiyon olarak tanımlanan iki terim arasındaki ilişki,

$$B = \mu H \quad (3.7)$$

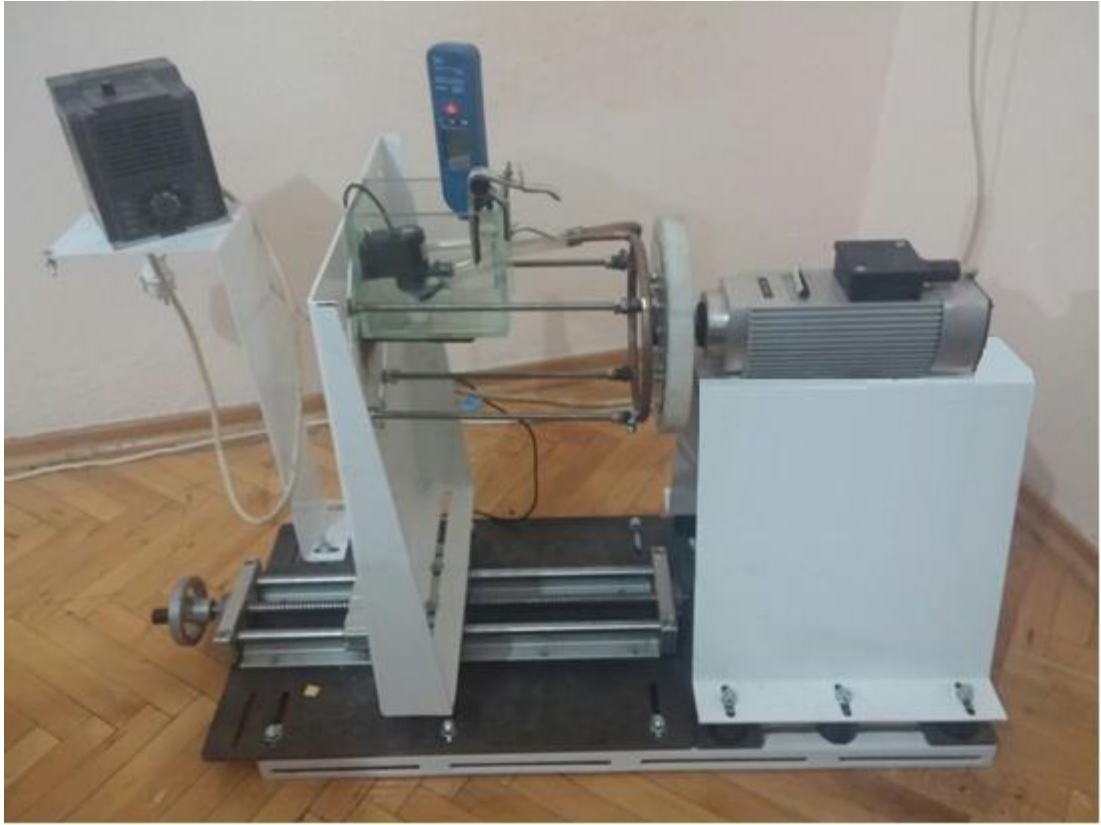
ile gösterilmektedir. Burada “ μ ”, malzeme mıknatıslanmasının bir ölçü kıstasıdır ve bir cismin içindeki manyetik alanın bu cismin içinde bulunduğu mıknatıslayıcı alana oranla nasıl değişiklik gösterdiğini (nasıl azalıp arttığını) gösteren bir birimdir. Bir nesnenin manyetik geçirgenliği bu nesnenin içinde meydana gelen manyetik alan yoğunluğu ile mıknatıslayıcı alan şiddeti arasındaki orana denktir. Uzay da manyetik akı yoğunluğu ile mıknatıslayıcı alan şiddeti birbirine denktir; çünkü ortada manyetik alanı etkileyen ve alanda değişmeye sebep olacak bir nesne bulunmamaktadır.

Manyetik malzemedeki düzgün olmayan özellik histerisiz olayların oluşmasına neden olmaktadır. Bu malzemelerle ilgili alan problemlerinin çözümlenmesini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle manyetik alanlar ve bu alanların oluşturdukları akım problemleri diferansiyel integral eşitlikleri ile tanımlanırlar.

4. DENEY CİHAZI TASARIMI

4.1. Amaç

Deneysel cihaz tasarımı sürecinde manyetik alan kullanılarak ısı elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu yöntem kullanılarak yeni bir ısıtma yöntemi literatüre kazandırılmıştır. Girdap akımları oluşması sonucu oluşan bu ısı, girdap akımlarının oluşmasındaki etkili parametrelerin birbirleri üzerindeki etkisini yapılacak olan deneylerle ölçmek ve değerlendirilebilir veriler ortaya koymak istenilmektedir. Bu değişkenler manyetik alan büyüklüğü, manyetik kuvvete maruz kalan iletken malzeme cinsi ve ölçüleri, manyetik alan yoğunluğudur. Bu parametrelerin etkilerinin değerlendirilebilmesi için Resim 4.1’de belirtilen cihaz tasarlanmıştır.



Resim 4.1. Manyetik alan ile ısı elde edilmesi cihaz tasarımı

Bağıl parametreler; kullanılacak iletken malzemelerin cinsi ve ölçüleri, manyetik alan oluşturan mıknatıs-iletken malzeme arasındaki mesafe, mıknatısların devir sayısıdır.

4.2. Çalışma Prensibi ve Temel Parçalar

Deney cihazı; motor, mıknatıs, iletken malzeme, sıcaklık ölçüm cihazı, devir ölçüm cihazı, su pompası ve bağlantı donanımlarından oluşmaktadır. Düzeneği oluşturan parçalar daha detaylı olarak açıklanacaktır.

Çizelge 4.1. Deney cihazı parça listesi

Sıra No	Malzemeler	Açıklamalar	Miktar	Birim
1	Motor	1,4 KW 18000 d/d 300 Hz	1	Adet
2	Hız Sürücü	Teco L510 2,2 KW 600 Hz	1	Adet
3	Mıknatıs	Neodyum Ø 15 x 15 mm	40	Adet
4	Bakır Boru	Ø 10 x 1 mm büküm çapı 165 mm	1	Adet
5	Döner Tabla	Ø 200 mm mıknatıs yuvası 30 adet	1	Adet
6	Şase	3 mm S235JR	1	Takım
7	Takoz	Titreşim sönümleyici 40 x 40 mm	10	Adet
8	Su Pompası	300 l/h 3W	1	Adet
9	Termometre	Prob uçlu 0-260	1	Adet
10	Takometre	0-99999 d/d Hassasiyet 1 d/d	1	Adet
11	K. Multimetre	Fluke 303 Ac/Dc	1	Adet

Cihaz çalışma prensibi olarak, polyamid bir disk üzerine eşit aralıklarla, çember şeklinde yerleştirilmiş mıknatısların, yüksek hız motoru yardımıyla döndürülmesi şeklinde çalışır. Mıknatısların oluşturduğu çember ile aynı şekle sahip iletken malzeme, lineer kızak yardımı ile doğrusal olarak ileri ve geri hareket ile manyetik alan etkisi değiştirilebilir. Yüksek hız motorunun, hız sürücüsü ile devri değiştirilebilmektedir. Bu özellik manyetik akı yoğunluğu parametrelerini değiştirilebilir kılmaktadır. Kullanılacak iletken malzemenin değiştirilebilmesi için, bağlantı kısmı sökülebilir olarak tasarlanmıştır. İletken malzeme ile mıknatıs arasındaki mesafe bütün noktalarda eşit olması için 5 farklı noktadan ve iletken malzemeyi düz bir şekle getirebilecek bağlantı noktaları bulunmaktadır. Kullanılan bütün bağlantı elemanları 304l –EN 10025-7 paslanmaz malzeme tercih edilmiştir. Bu malzeme manyetik alandan etkilenmez. Tasarlanan bu düzenek, manyetik alanın

sadece istenilen iletken malzemeye etkisi etmesi sağlanmış olur. Girdap akımları ile ısıtılan malzemede oluşan ısı miktarını doğru ölçebilmek için, malzeme yüzeyinden akışkan geçirilerek anlık olarak sıcaklık artışı takip edilmesi sağlanmıştır. Bu sistem bütün yüzey alanında oluşan ısının doğru olarak yorumlanmasına imkân sağlamaktadır. Akışkan devir daimini sağlamak için, kapalı döngü sistemi kurulmuş ve su pompası kullanılmıştır. Kapalı döngü sistemi kademeli olarak akışkandaki sıcaklık miktarını artışı sağlamaktadır. Mıknatısların yerleştirildiği disk, hafif olması ve manyetik alandan etkilenmemesi için polyamid malzeme tercih edilmiştir.

Deney sonuçlarının doğruluğunu kanıtlamak, ölçüm yapılan cihazların doğruluğunun bilinmesi ile olur. Bunu sağlamak için, sıcaklık ölçüm cihazı ve devir ölçüm cihazı tarafsız ölçümleme merkezlerine gönderilmiştir. Doğruluk sonuçları EK-1 ve EK-2’de gösterilmiştir.

Manyetik yoğunluk parametresini değiştirmek için kullanılan motor, yüksek hız motoru olarak seçilmiştir. Bu motor 0-18000 d/d mil döndürme hızına sahiptir. Bu motoru kontrol etmek için, hız sürücü kullanılmıştır. Hız sürücü devir sayısını kademeli olarak artırma veya azaltma imkânı sağlamıştır.

4.2.1. Mıknatıs

Mıknatıs olarak, Neodyum mıknatıs olarak bilinen süper güçlü mıknatıslar tercih edilmiştir. Kullanılan mıknatıs çekim kuvveti 30 Tesla’dır. Ø 15 x 15 mm ölçüsünde, silindirik şekil kullanılmıştır.

Mıknatıs ölçüleri seçilirken en ve boy ölçülerinin eşit olmasına dikkat edilmiştir. Bu eşitlik, mıknatıs manyetik alan yoğunluğunun her tarafında eşit olmasını sağlamaktadır. Ø 15 x 15 mm ölçüsü ise, mıknatısın temini ve ağırlığının hafif olması sebebiyle tercih edilmiştir. Normal mıknatıslara göre 30 kat fazla çekim kuvvetine sahip olan bu mıknatıs, yapılacak deneylerin hassasiyetini de aynı oranda artırmaya imkânı sağlamaktadır. Günümüzde temini yasal olarak yeni serbest bırakılmış olup üretim yeri Çin Halk Cumhuriyeti’dir.



Resim 4.2. Neodyum mıknatıs

Deney sürecinde toplam 30 adet Neodyum mıknatıs kullanılmıştır. Güçlü çekim özelliği, kullanım sırasında oldukça dikkatli olmayı gerektirir. Kendi boyutunun yaklaşık 50 katı mesafeden birbirini çekebilmektedir.



Resim 4.3. Neodyum mıknatıs $\emptyset 15 \times 15$ mm

4.2.2. Polyamid döner tabla

Mıknatlara Şekil 4.3’de görüldüğü gibi yuva görevi yapacak olacak disk polyamid malzemedeki EK-3’de belirtilen ölçülerde şekillendirilmiştir. Şekillendirme işlemi CNC (computer numeric control) torna makinesi ile yapılmıştır.



Resim 4.4. Polyamid döner tabla

Motor bağlantısını sağlamak için döner tablada, motor mil çapı kadar merkez noktasında boşluk açılmış ve sıkı geçme olacak şekilde tolerans verilmiştir.

Tablaya bağlanacak mıknatıslar için açılan yuva yine aynı mantıkla sıkı geçme olacak şekilde tasarlanmıştır. Mıknatıs yerleştirilmesi yapılır iken gömme olacak şekilde boşluk açılmıştır. Mıknatıslar çıkarılmak istenildiğinde müdahale edilebilmesi için orta noktasında Ø 5 mm bir delik açılmıştır. Tablanın kalınlığı 20 mm’dir. Mıknatısların aşırı hızda yuvalarından çıkmamaları için mıknatıs yüzeylerine 1 mm temas edecek şekilde 1 mm kalınlığında ve 304l EN 10025-7 malzemedeki bir koruma sacı yapılarak vidalar yardımı ile sabitlenmiştir. Bu işlem Resim 4.6’da gösterilmiştir.



Resim 4.5. Polyamid disk mıknatıs yerleşimi

Kullanılacak malzemenin polyamid olarak seçmekteki amaç, manyetik alandan etkilenmemesidir. Ayrıca sert ve hafif olarak en kolay temin edilebilen malzemedir.



Resim 4.6. Döner tabla mıknatıs yerleşimi ve koruma sacı eklenmesi

4.2.3. İletken Malzeme

İletken malzeme olarak % 99,9 saflıkta olan bakır boru seçilmiştir. Özgül ağırlığı; $8,92 \text{ g/cm}^{-3}$ dür. Ergime sıcaklığı; $1083 \text{ }^{\circ}\text{C}$ dür. İletken malzeme olarak bakır boruyu seçmekteki amaç;

- Isıl iletim katsayısının diğer metalik malzemelere göre daha yüksek olması, kolay şekil verilebilme özelliği, sağlamlık, çevreye duyarlılık, anti-bakteriyel özelliği, geçirgenlik, sürtünme katsayısının düşük olması, basınca dayanıklılık
- Bakır dış etkenlerden etkilenmeyen bir madde olması sayesinde inşaatlarda çok rahat kullanılmaktadır. Alçı, çimento, beton veya su bakıra hiç bir zarar vermez. Ayrıca bakır ultraviyole ve enfraruj ışınlarından etkilenmediği gibi yıllar boyunca bile hiçbir eskime göstermez.
- Bakır boruların diğer tesisat borularına kıyasla iç yüzeyleri çok kaygan olduğundan küçük çaplı borularla bile randımanlı bir tesisat kurulabilmektedir. Bu sayede daha küçük pompalar kullanılmakta ve dolayısıyla enerji tasarrufu sağlanmaktadır.
- Bakır borunun çekme mukavemeti diğer malzemelere göre çok yüksektir: tavlı borularda 200 MPa , sert borularda 300 MPa . İnşaatlarda oluşan zor şartlarda bile bakır boru önlem alınmadan kullanılabilir. Ayrıca ateşten ve kemirgen hayvanlardan da etkilenmemektedir.
- Bakır, doğadan elde edilen saf bir madendir. Çevreye hiçbir zarar vermediği gibi tamamen geri kazanılan bir maddedir.

- Bakır anti-bakteriyel özelliği sayesinde özellikle durgun su ihtiva eden tesisatlarda bakteri ve yosun üremesini engellemektedir. Bakır boru tesisatlardaki suyu temizler, bakteri ve mikroplardan arındırır.
- Bakır boru yüksek ısıda bile % 100 oranında oksijen veya gaz geçirmeme özelliğine sahiptir. Bu sayede plastik ve demir tesisatlarda rastlanan mantar veya bakteri üremez. Bu özelliğin yıllar geçtikçe değişmesi söz konusu değildir.

4.2.4. Motor

Motor tercihinde dikkat edilmesi gereken husus devir sayısının yüksek olmasıdır. Devir sayısının fazlalığı, ölçülmek istenilen manyetik alan yoğunluğunun hassasiyetini aynı oranda artırmaktadır. Güç olarak ise, tabla ve mıknatısları istenilen devirde rahatça döndürebilecek ayrıca ortaya çıkacak girdap akımları kaybını karşılayabilmesi gerekmektedir. Resim 4.7’de görülen özelliklere sahip motor kullanılmıştır.



Resim 4.7. Kullanılan motor isim etiketi

Boyutsal ölçüleri EK-3’de verilmiştir. Yüksek hız motorları direk elektrik bağlantısı ile çalıştırılması mümkün değildir. Hız Sürücü adı ile anılan frekans ayarı yapabilen bir cihaz ile çalıştırılabilmektedir. Yüksek hız motoru servis imkânı ve fiyat bakımından daha düşük olması sebebiyle Türkiye üretim yapan bir firmadan temin edilmiştir.

4.2.5. Hız Sürücü

Hız sürücüsü, herhangi bir motorun elektronik olarak hızını kontrol eden cihazlara denir. Bu cihaz motor giriş frekansının değiştirilmesi prensibi ile çalışır. Motorun devri frekansı ile doğru orantılıdır. Frekans arttıkça devri artar. Frekans azaldıkça devri azalır. En yüksek frekans değerinde en yüksek devir sayısına ulaşılır.

Hız sürücüsü tercihinde kullanılan yüksek hız motorunu güç ve hertz bakımından karşılayabilecek şekilde olması gerekmektedir. Bunun için 0,2-2,2 KW güç aralığını ve 1-650 Hz çıkış frekansına sahip bir sürücü kullanılmıştır.



Şekil 4.8. Hız sürücüsü

Hız sürücüsünün diğer özellikleri, motor koruması, led ekranı, çıkış devir sayısını göstermesi, çıkış frekansını göstermesi, kullanılan amper ve voltaj değerlerini göstermesidir.

4.2.6. Termometre

Termometre, sıcaklık ölçmek için kullanılan alete verilen addır. Verileri sanal olarak gösteren türlerine ise dijital termometre denir.

Yapılan deneylerin sonuçları, doğru değerlendirme yapılabilmesi için yüksek hassasiyette olmalıdır. Ölçüm yapılacak akışkan su olduğundan 0-100 °C ölçüm aralığı en alt kabul edilebilir seviyedir. Sonuçların anlık olarak okunabilmesi için dijital termometre olmalıdır.



Resim 4.9. Dijital termometre

Çizelge 4.2’de kullanılan termometrenin özellikleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.2. Deneylerde kullanılan termometre özellikleri

Ölçüm aralığı	- 40 °C ile 260 °C
Doğruluk	± % 1
Optik çözünürlük	1;1
Çözünürlük	0,1 °C
Ölçüm birimi seçimi	C / F
Tepki süresi	1 saniyeden az
Hassasiyet	0,1-1,0

4.2.7. Takometre

Takometre, motorlu cihazlarda motorun (şaftın veya disklerin) birim zamandaki devir sayısını gösteren, genellikle 1 dakikadaki devir adedini gösteren saattir. Değerleri sanal olarak gösteren türlerine, dijital takometre denilmektedir.

Deneyler sırasında, döner tabla üzerindeki yük ve zorlanma gücü her deney türü için farklı olacağından harici olarak ölçülmesi gerekmektedir. Veriler, döner cismin üzerine yapıştırılan harici bir bant ve takometreden gelen lazer ışınının bu battan yansımalarının ölçülmesi ile elde edilir. Çizelge 4.3’de kullanılan takometrenin özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.3. Deneylerde kullanılan takometre teknik özellikleri

Gösterge paneli	Dijital gösterge 5 harf okuma
Ölçüm aralığı	2-99999 d/d
Hassasiyet	$\pm 0,05 \% \pm 1 d$
En yüksek d/d çözünürlüğü	0,1 d/d



Resim 4.10. Dijital takometre

Ölçüm cihazı (takometre) bağımsız ölçümlene şirketine gönderilerek kalibre edilmiştir. Kalibrasyon sertifikası EK-2’de verilmiştir.

4.2.8 Kısaç Multimetre

Kısaç multimetre, elektrik akımının amper ve voltaj değerlerini Ac veya Dc tiplerinde ölçebilen cihazdır. Deney düzeneğinde iletken malzeme üzerinde Ac oluşan elektrik değerinin ölçülmesinde kullanılmıştır. Resim 4.11’de kullanılan kısaçlı multimetre gösterilmiştir.



Resim 4.11. Kısaç multimetre

İletken malzeme üzerinde oluşan Akım ve gerilim değerleri normal multimetrelerdeki prob kablolar ile ölçülemediği için kısaçlı multimetre kullanılmıştır. Çizelge 4.3’de kullanılan multimetre teknik özellikleri belirtilmiştir.

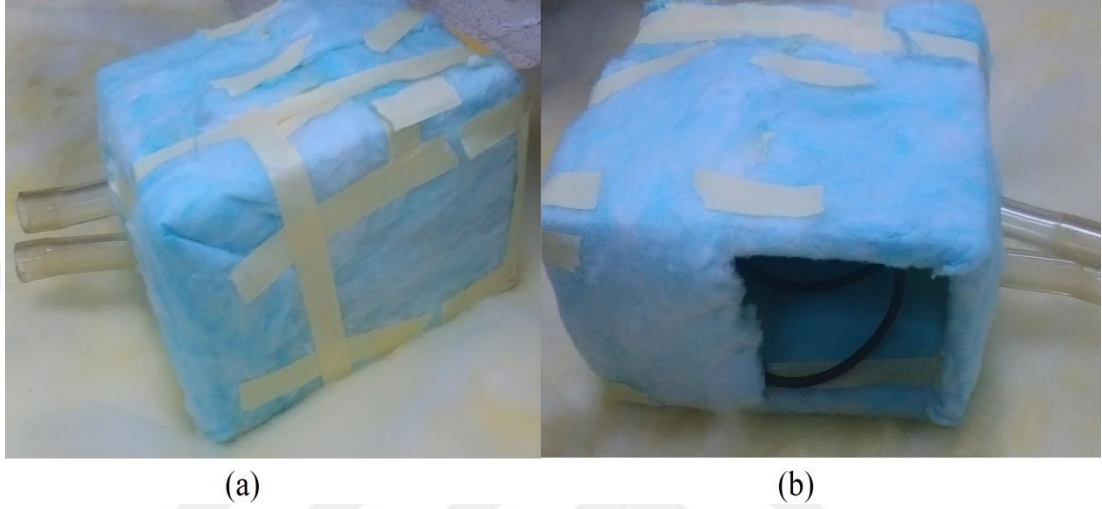
Çizelge 4.4. Deneylerde kullanılan kısaç multimetre teknik özellikleri

Gerilim ölçüm aralığı	0-200 V
Akım ölçüm aralığı	0-600 A
Çalışma sıcaklığı	0-40 °C
Hassasiyet	$\pm 0,05 \% \pm 1$
En yüksek d/d çözünürlüğü	0,1 d/d

Ölçülen bu değerler ile analitik verim değeri hesaplanmıştır.

4.3. Deney Cihazı Isı Kaybı Yalıtımı

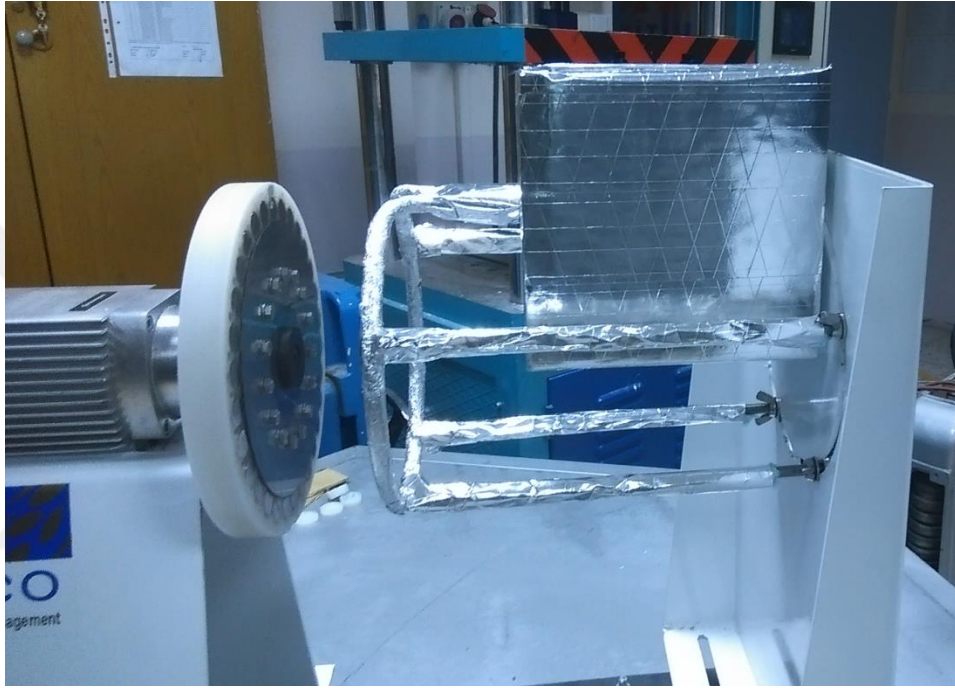
İletken malzeme üzerinde oluşan ısının doğrusal olarak ölçülebilmesi için tasarlanan akış sistemde, sistem bileşenleri ortam ile doğrudan temas halinde olduğundan, ısı kaybı söz konusudur.



Resim 4.12. Akış sistemi cam depo ön (a) ve arka (b) yalıtım gösterimi

Bu ısı kaybı, deney sonunda elde edilen enerjinin, gerçek değerlerinden daha düşük bir değerde oluşmasına neden olmakta ve verimliliği düşürmektedir. Oluşan enerjinin gerçek değerlerine en yakın değerde ölçülmesi gerekliliği deney cihazı üzerinde ki akış sisteminin ısı kaybına karşı yalıtılmasını gerektirmiştir. Yalıtım yapılır iken akış sistemi ile birlikte sisteme temas eden diğer kısımlar (bağlantı elemanları)'nda yalıtımı yapılmıştır. Bu işlem ısı kaybını en aza indirmek için yapılmıştır. Isı kaybını en aza indirmek için yapılan bir diğer işlem ise; çift katmanlı olarak sistemin yalıtılmasıdır. Resim 4.11'de akış sistemine ait cam deponun çift katmanlı olarak yalıtılması gösterilmektedir. Akış sistemi ve bağlantı elemanları ilk kat olarak 5 mm kalınlığında ve tamamen etraflarını kaplayacak şekilde “crylite” adı verilen mavi renkli özel bir yalıtım malzemesi ile kaplanmıştır. Kullanılan bu yalıtım malzemesi (crylite) ısı iletim katsayısı en düşük malzemeler arasındadır. Üretim amacı; uzay mekiklerinin atmosfere giriş ve çıkışlarında oluşan ısının mekiğin iç kısmına geçmesini önlemektir. Günümüzde ise yaklaşık - 200 °C (çok soğuk ortam) sıvı olarak bulunan gazlar (Azot, Oksijen, Argon v.b.)'in sıvı olarak depolandıkları özel

kapların yalıtımında kullanılmaktadır. İkinci katman (dış yüzey) olarak cam yünü olarak adlandırılan malzeme kullanılmıştır. Cam yünü ısı katsayısının düşük olmasının yanı sıra, tutucu lifli yapısı nedeniyle iç taraftaki crylite koruyucu bir yüzey oluşturması amacı ile kullanılmıştır. Bu şekilde hem yalıtım için olarak kullanılan malzemenin ısı geçişini önleyen duvar kalınlığı artırılmış hem de crylite dış ortamdan kaynaklı bütünlüğünü bozacak etkilerde koruma sağlanmıştır.



Resim 4.13. Deney cihazı ısı yalıtımı

İletken malzeme olan bakır boru mıknatısların yerleştirildiği polyamid disk ile arasındaki mesafe deneylerde 4 mm olarak belirlenmiştir. Crylite'ın yalıtım etkisini gösterdiği yalıtım (duvar) ise ez az 5 mm kalınlığında olmalıdır. Mesafe yeterli olmadığından İletken malzeme (Bakır boru) yalıtımında yine özel bir yalıtım malzemesi olan alüminyum alaşımlı yalıtım jelâtini kullanılmıştır. Alüminyum alaşımlı yalıtım jelâtini crylite ve taş yününe göre daha az ince duvar kalınlıklarında ısı yalıtımı sağlamaktadır. Maliyet bakımından crylite ve taş yününe oranla daha pahalı olan bu yalıtım malzemesi, crylite ile benzer yüksek ısı yalıtımı gerektiren alanlarda kullanılmaktadır. Deney cihazının ısı yalıtımı yapılış şekli Resim 4.12'de gösterilmiştir.

5. DENEYLER

5.1. Deney Planı

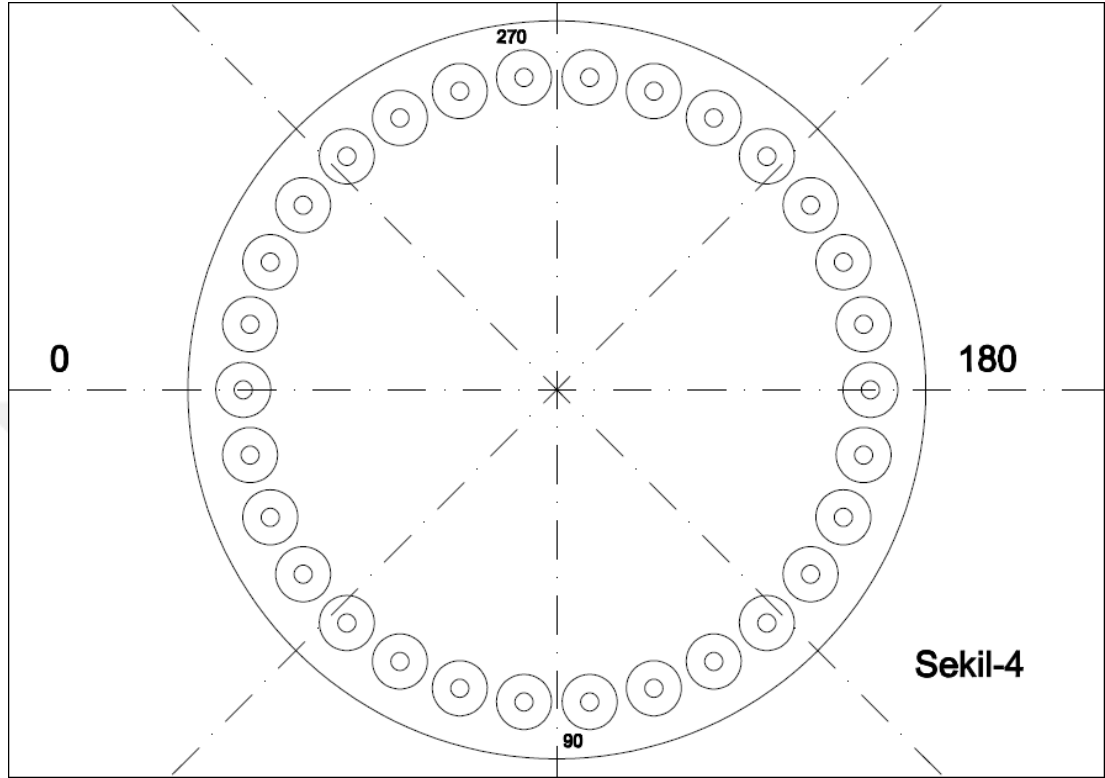
Deney planı hazırlanmasında önemli olan girdap akımlarını etkileyen değişkenlerin tespiti ve sınır koşullarının belirlenmesidir. Bu değişkenler aşağıda sıralanmıştır. İletken malzeme mıknatıs arası mesafe

- Mıknatıs ölçüleri
- Mıknatıs sayısı ve yerleşimi
- İletken malzeme cinsi
- İletken malzeme ölçüleri
- Motor devri
- Manyetik alan standart olması

Amaç yukarıdaki sıralanan değişkenlerin birbiri üzerindeki etkisini görmek ve kendi içinde ki değişimin nasıl etki ettiğini tespit etmektir.

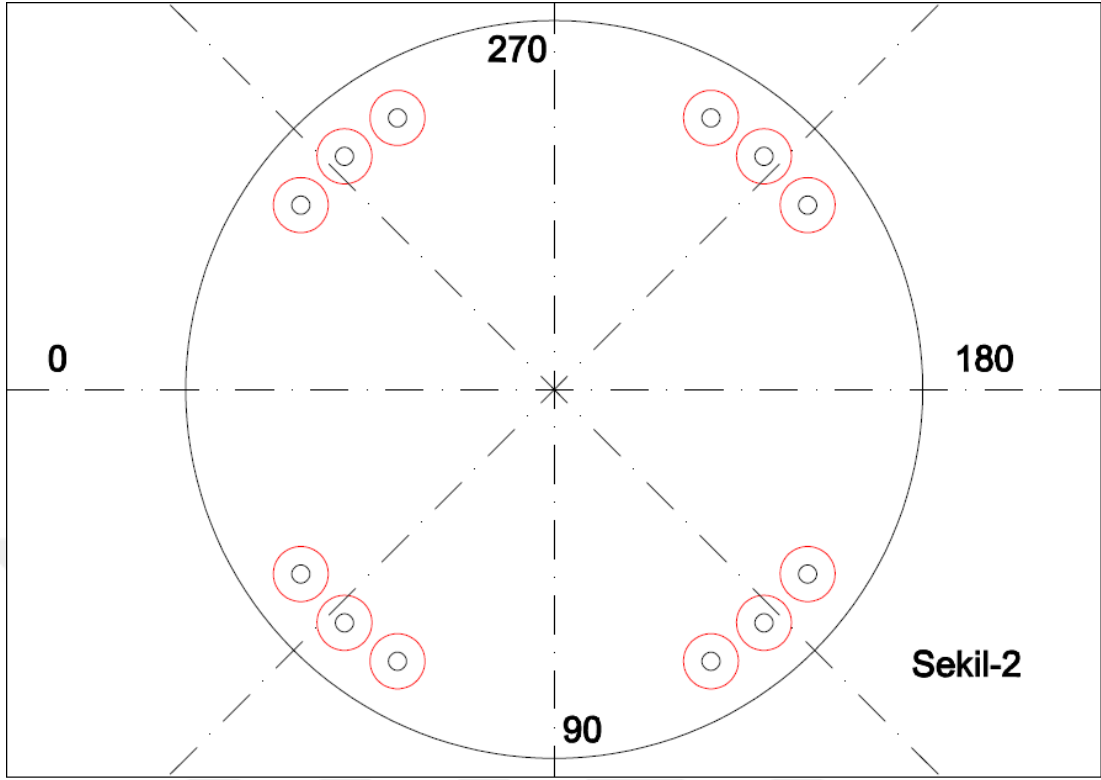
İletken malzeme mıknatıs arası mesafe, iletken malzemeye etkileyen manyetik kuvveti doğrudan ve doğru orantılı etkilemektedir. Deney değişkenlerinden bir tanesidir. Motor devri, manyetik alan yoğunluğunu etkilediği için, diğer önemli deney değişkenimizdir. Mıknatıs ölçüleri doğrusal bir manyetik alan oluşturulmasında ki en önemli etkendir. Bu yüzden en ve boy eşit olacak şekilde seçilmiştir. Mıknatıs sayısı ve yerleşimi olarak iki farklı tip belirlenmiş, bunlar Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de gösterilmiştir. Temin ve yüksek maliyetinden dolayı mıknatıs ölçüsü değişken olarak alınmamıştır. Tek bir çeşit mıknatıs ile bütün deneyler gerçekleştirilecektir. İletken malzeme cinsi değişkeni olarak alüminyum ve bakır olarak belirlenmiştir. Ancak alüminyum şekil verme işlemi zorluklarından dolayı sadece bakır kullanılmasına karar verilmiştir. Manyetik alan standart olması için bütün bağlantı donanımı manyetik alandan etkilenmeyen malzeme cinsi olan 304L EN 10028-7 den imal edilmiştir. Sıcaklık ve devir ölçümlerinde kullanılacak cihazlar, tarafsız ölçümleme

şirketine gönderilerek doğrulaması yapılmıştır. Kalibrasyon sertifikaları, termometre için EK-1 ve takometre için EK-2’de verilmiştir.



Şekil 5.1. Mıknatıs sayısı ve yerleşimi

Polyamid döner tabla üzerine 30 adet mıknatısı yerleşimi Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Bu şekilde manyetik kuvvet en yüksek konumdadır. Mıknatıslar sıralamalarda, – kutup ve + kutupları yan yana gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Şekil 5.2’de polyamid döner tabla üzerine 12 adet mıknatıs yerleşimi gösterilmektedir. Bu şekilde yüksek devirlerde balans yapmaması için mıknatıslar tablanın dört tarafına eşit mesafede olacak şekilde yerleştirilmişlerdir. Mıknatıslar sıralamalarda, – kutup ve + kutup yan yana gelecek şekilde yerleştirmişlerdir.



Şekil 5.2. Mıknatıs sayısı ve yerleşimi

Sınır şartlarını belirlemek için literatür çalışmaları incelenmiştir. Ayrıca bazı başlangıç deneyleri yapılmıştır. Yapılan deney ve literatür çalışmaları neticesinde belirlenen sınır şartları, iletken malzeme mıknatıs arası mesafe için 0-10 mm olarak belirlenmiştir. 10 mm'den sonraki mesafeler için yapılan değerlerde sıcaklık farkı gözlenmediği için daha büyük mesafeler sonsuz olarak kabul edilmiştir. Yine motor devri için sınır şartı 2500 d/d olarak belirlenmiştir. 2500 d/d motor hızının üstünde olan hızlar için deney düzeneği iş güvenliği olarak yetersiz olduğu görüldü.

Deney sonuçlarının yorumlanmasında temel değişken, belirlenmiş sürelerde girdap akımları tarafından ısıtılan sudaki sıcaklık farkı olacaktır. Bu süre toplam 15 dakika olup her dakika için ölçüm sonucu alınacaktır. Yorumlamadaki bir diğer değişken ise harcana amper ve volt miktarlarının çarpımı olacaktır. Bu şekilde ne kadar verimli olacağı değerlendirilebilecektir. Yapılacak deneyler ile ilgili detaylı bilgiler Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. (Devam) Deney planı

A	Bakır boru-mıknatıs yüzeyi arası mesafe
B	Devir sayısı
C	Mıknatıs yerleşimi ve sayısı
D	5. dakikada ölçülen sıcaklık
E	10. dakikada ölçülen sıcaklık
F	15. dakikada ölçülen sıcaklık
G	Sıcaklık ölçümü için kullanılan su miktarı
H	Manyetik alana maruz kalan iletken malzeme ölçüsü
I	İletken malzeme cinsi
J	Kullanılan mıknatıs özellikleri
K	5. dakikada harcanan güç ($A \cdot V = \text{Watt}$)
L	10. dakikada harcanan güç ($A \cdot V = \text{Watt}$)
M	15. dakikada harcanan güç ($A \cdot V = \text{Watt}$)

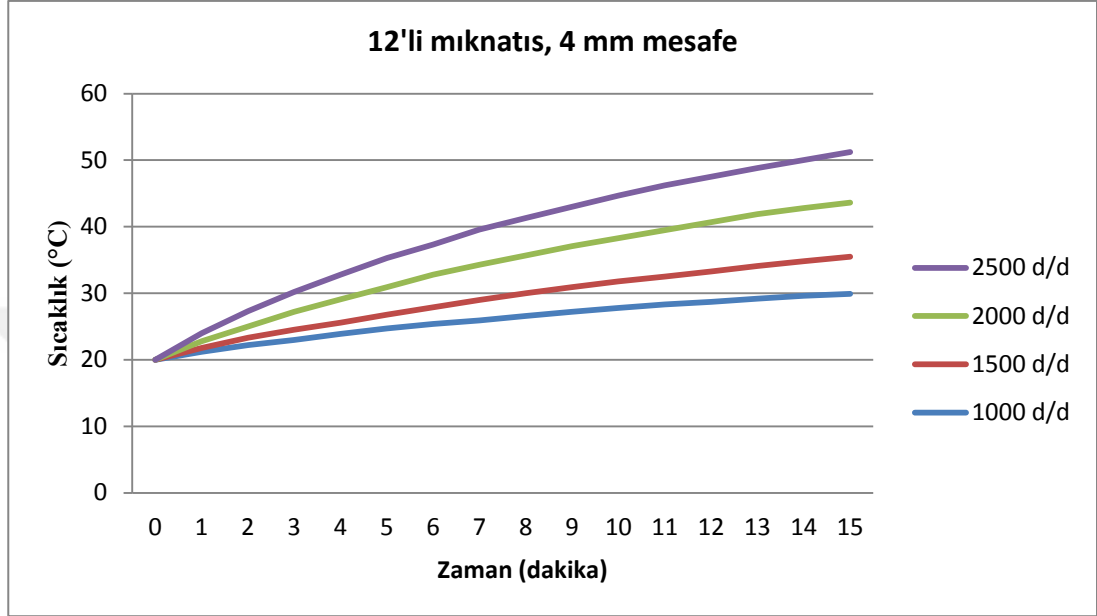
5.2. Kabuller

Deney sürecinde akış sistemi ısı kaybına karşı izole edilmiştir. Yapılan bu izolasyona rağmen akış sisteminde önlenemeyen ısı kayıpları oluşmakta ve taşının yolu ile ortama geçmektedir. Taşınım yolu ile ortama geçen önlenemeyen ısı kaybı sıfır olarak kabul edilmiştir.

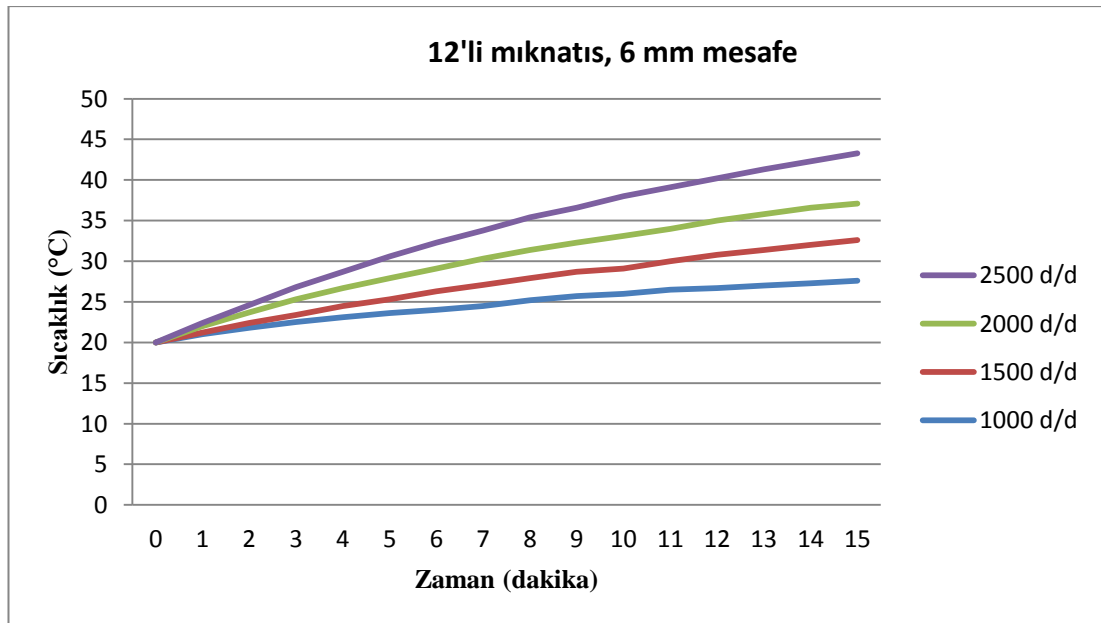
Deneylere kullanılan akışkanın deney başlangıç sıcaklığı 20 °C olarak alınmıştır.

6. DENEYSEL SONUÇLAR

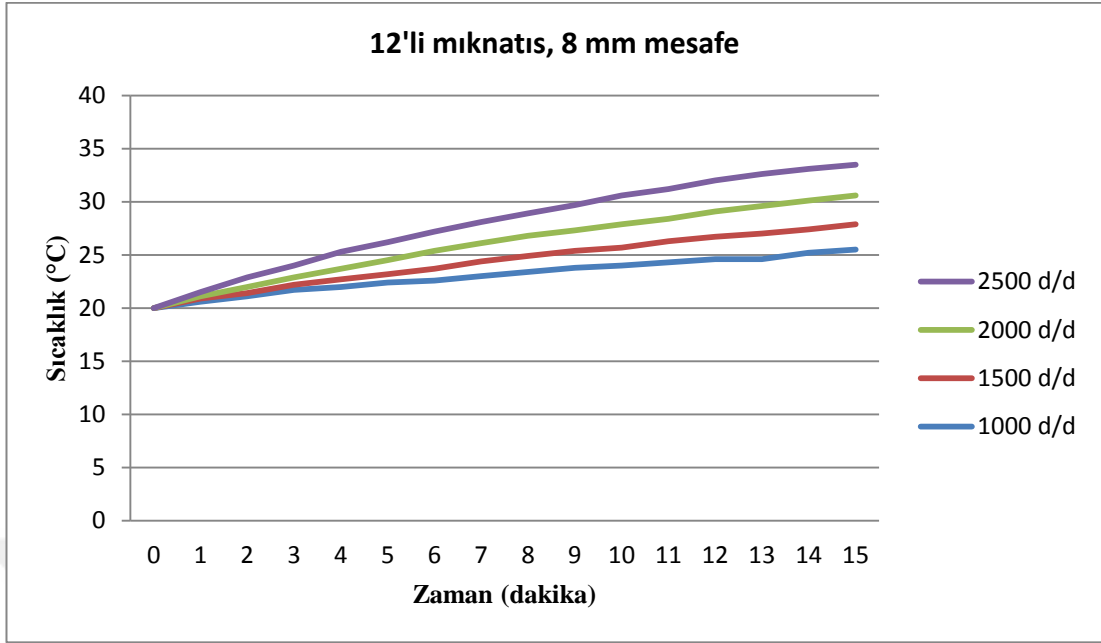
6.1. 12'li Mıknatıs Yerleşimi, Sabit mesafede Devir Sayısına Bağlı Zaman-Sıcaklık Değişimi



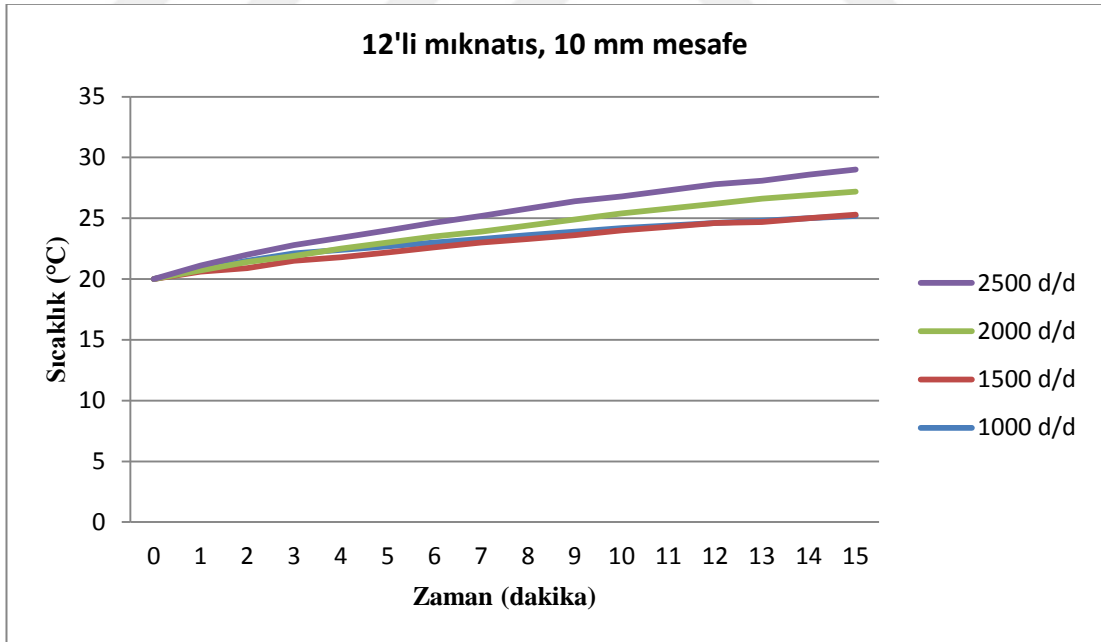
Şekil 6.1. 4 mm'de devir sayısına bağlı zamanla sıcaklık değişimi



Şekil 6.2. 6 mm'de devir sayısına bağlı zamanla sıcaklık değişimi

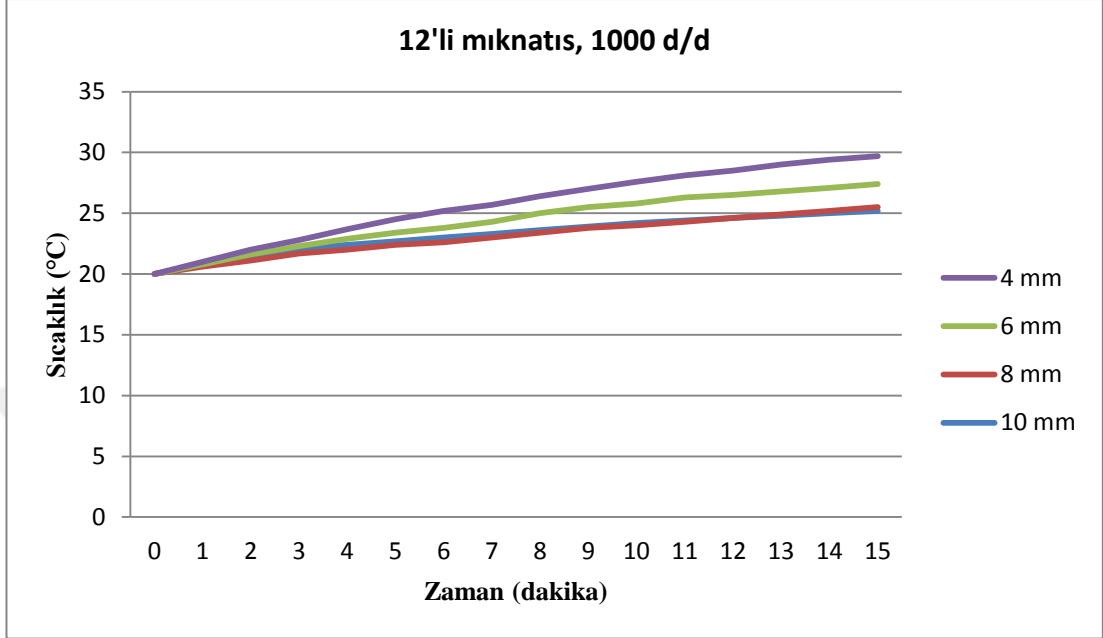


Şekil 6.3. 8 mm 'de devir sayısına bağlı zamanla sıcaklık değişimi

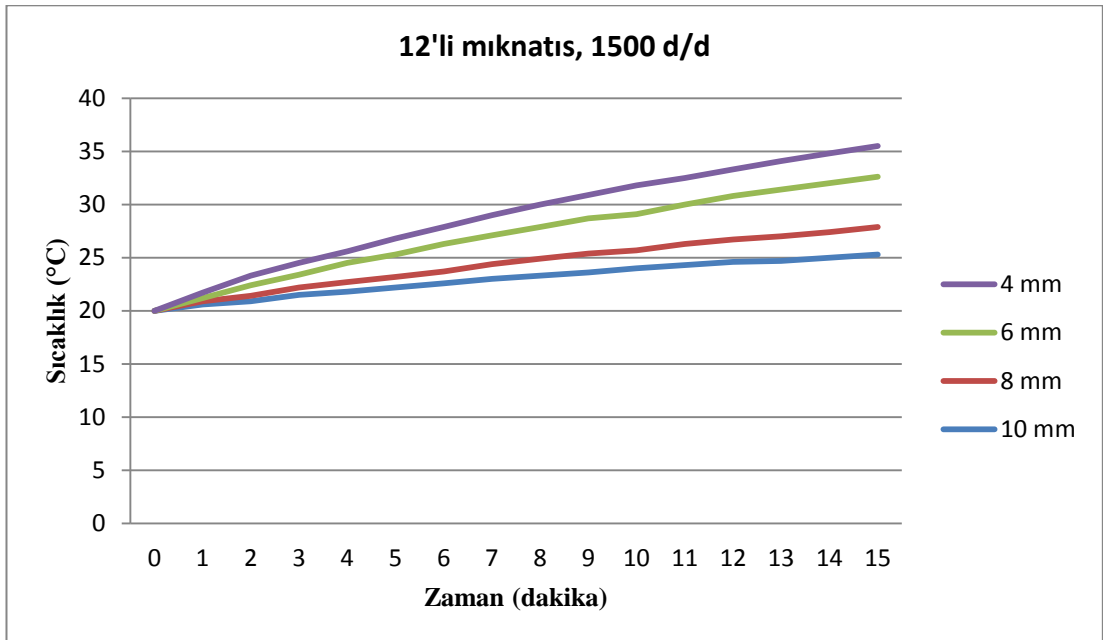


Şekil 6.4. 10 mm 'de devir sayısına bağlı zamanla sıcaklık değişimi

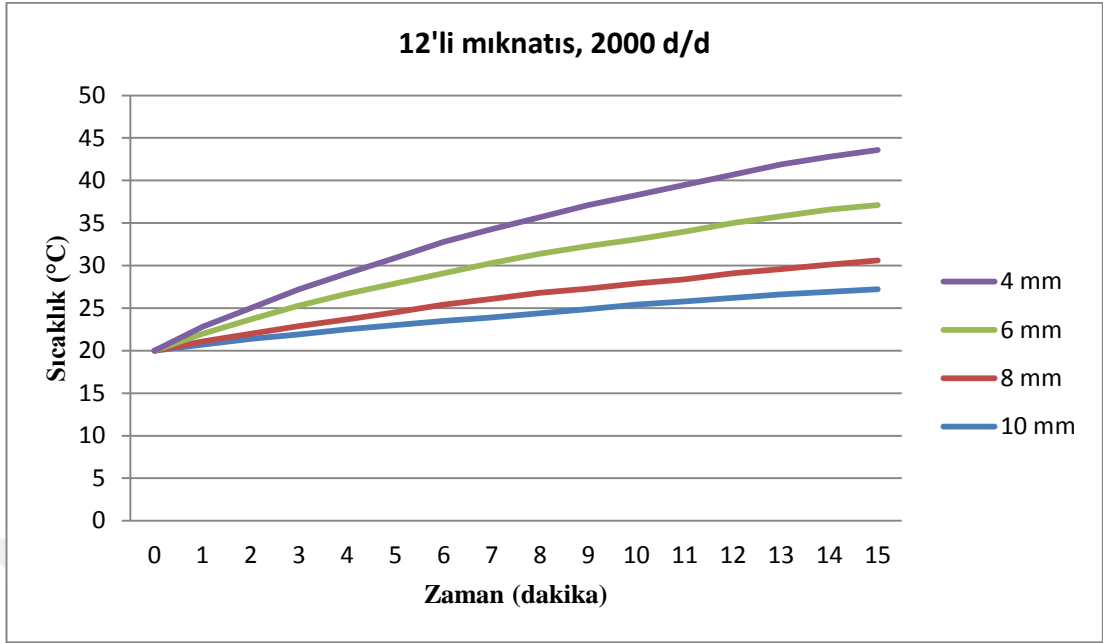
6.2. 12'li Mıknatıs Yerleşimi, Sabit Devirde Mesafeye Bağlı Zaman-Sıcaklık Değişimi



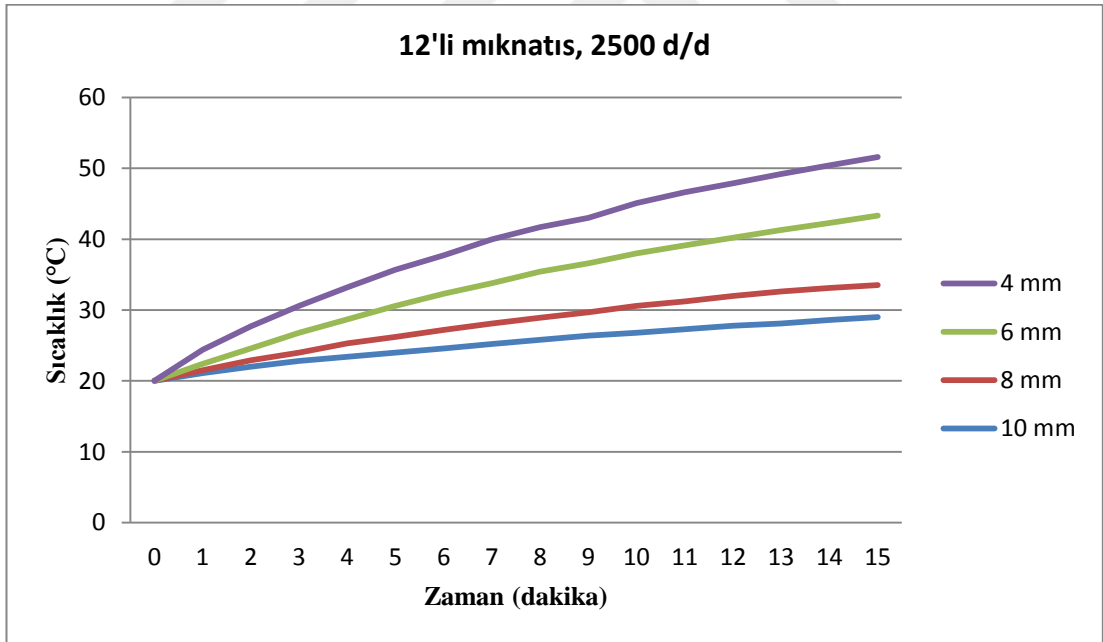
Şekil 6.5. 1000 d/d'da mesafeye bağlı zamanla sıcaklık değişimi



Şekil 6.6. 1500 d/d'da mesafeye bağlı zamanla sıcaklık değişimi

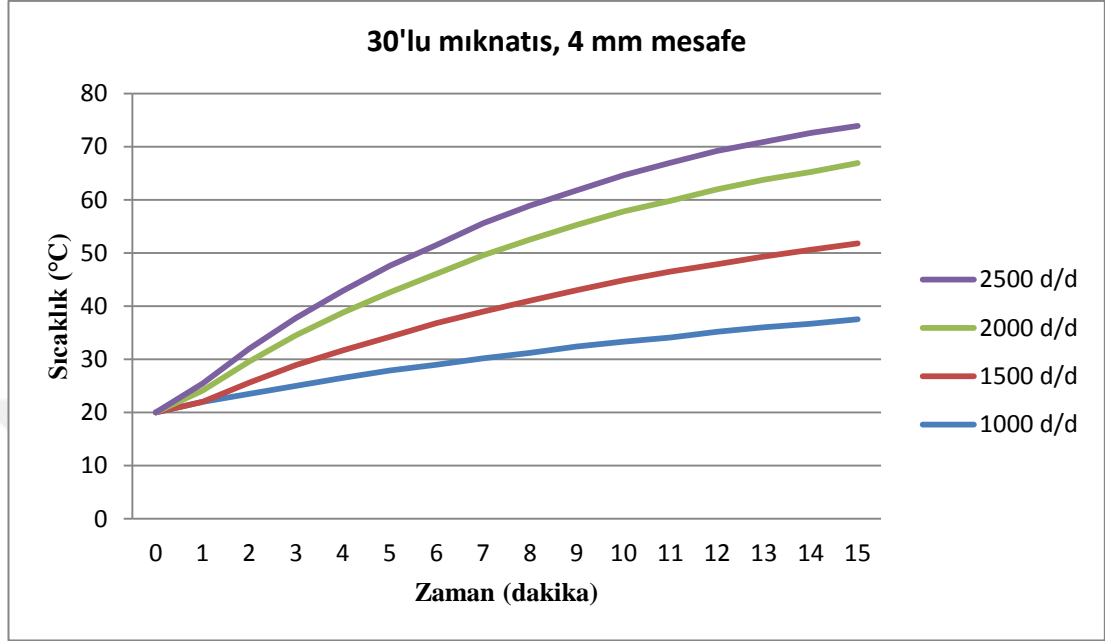


Şekil 6.7. 2000 d/d'da mesafeye bağlı zamanla sıcaklık değişimi

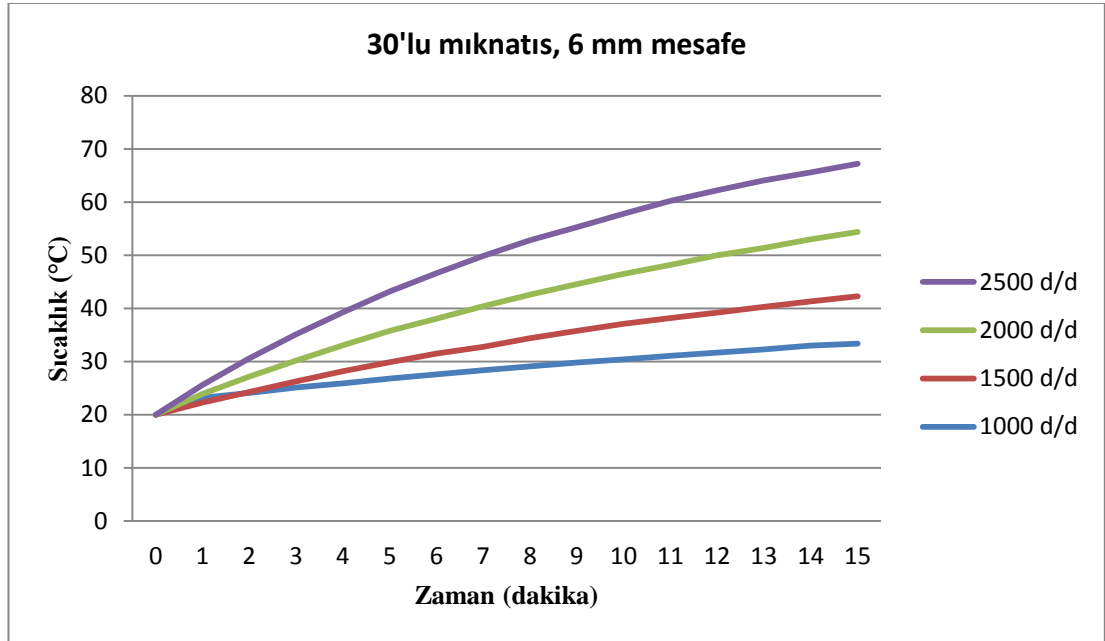


Şekil 6.8. 2500 d/d'da mesafeye bağlı zamanla sıcaklık değişimi

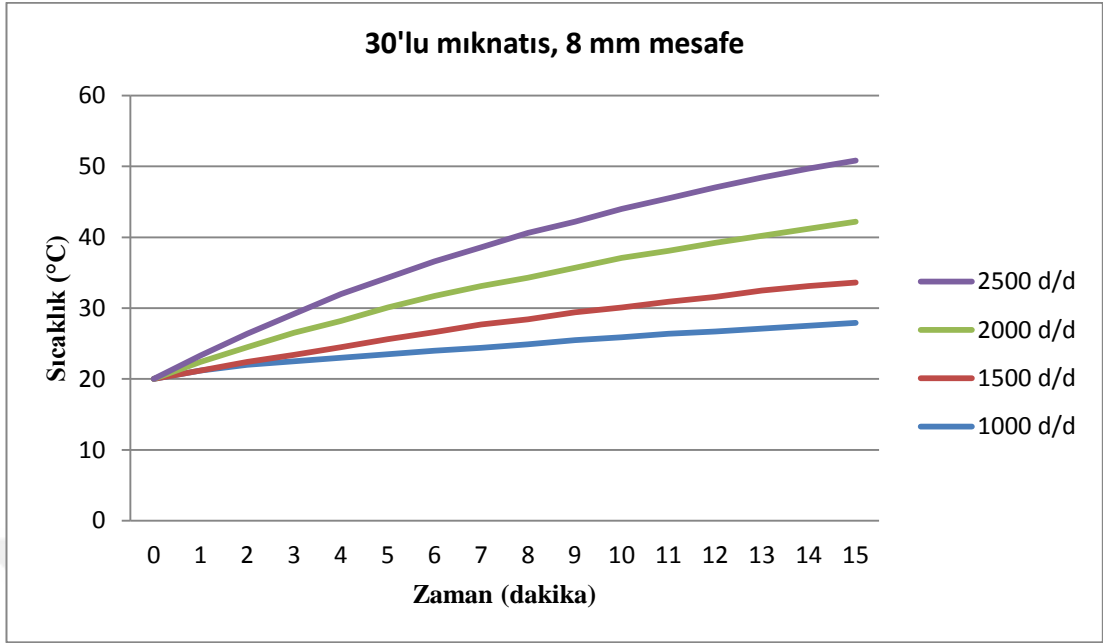
6.3. 30'lu Miknatıs Yerleşimi, Sabit Mesafede Devir Sayısına Bağlı Zaman-Sıcaklık Değişimi



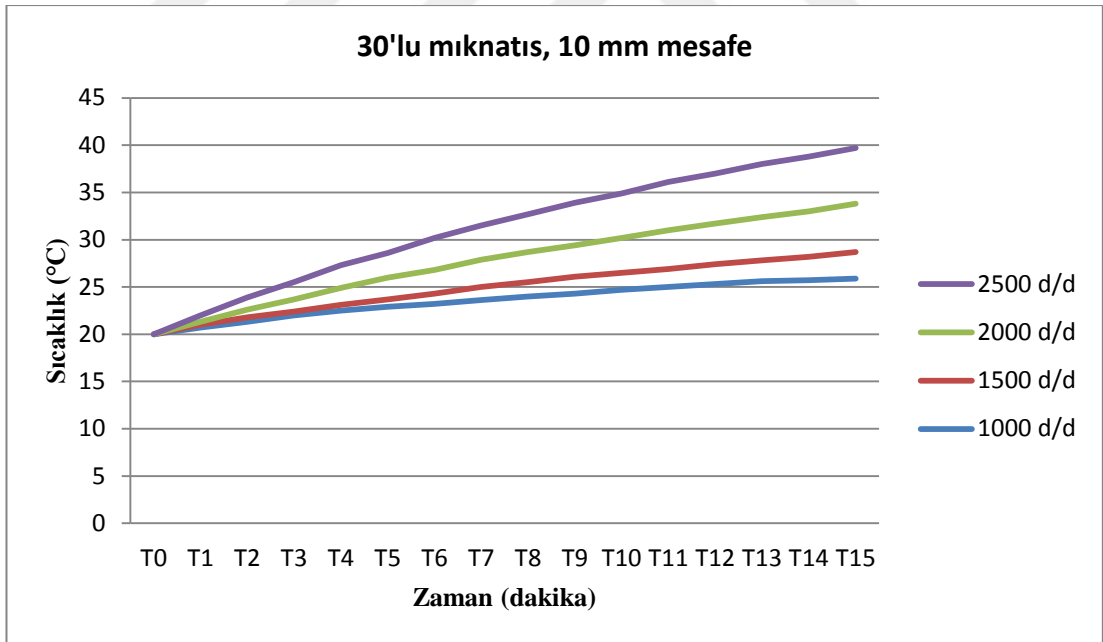
Şekil 6.9. 4 mm'de devir sayısına bağlı zamanla sıcaklık değişimi



Şekil 6.10. 6 mm'de devir sayısına bağlı zamanla sıcaklık değişimi

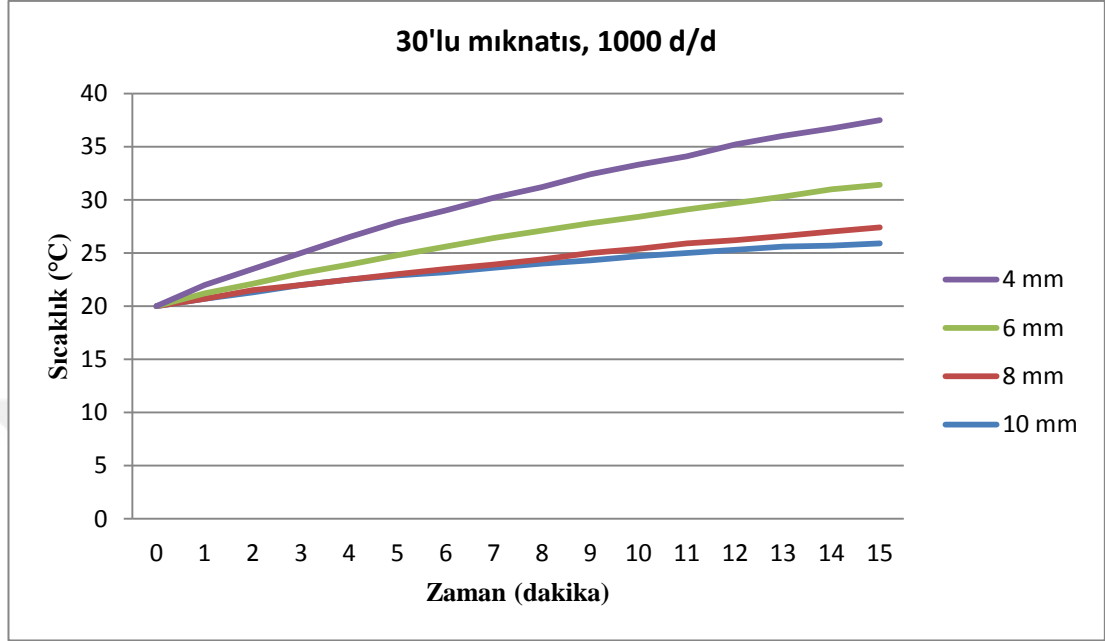


Şekil 6.11. 8 mm’de devir sayısına bağlı zamanla sıcaklık değişimi

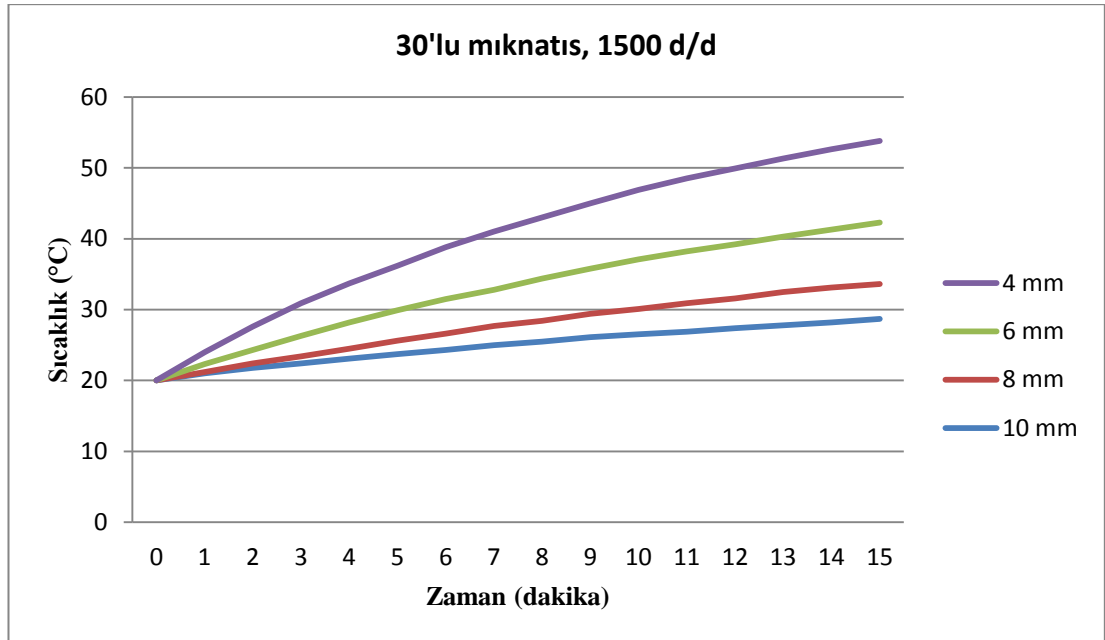


Şekil 6.12. 10 mm’de devir sayısına bağlı zamanla sıcaklık değişimi

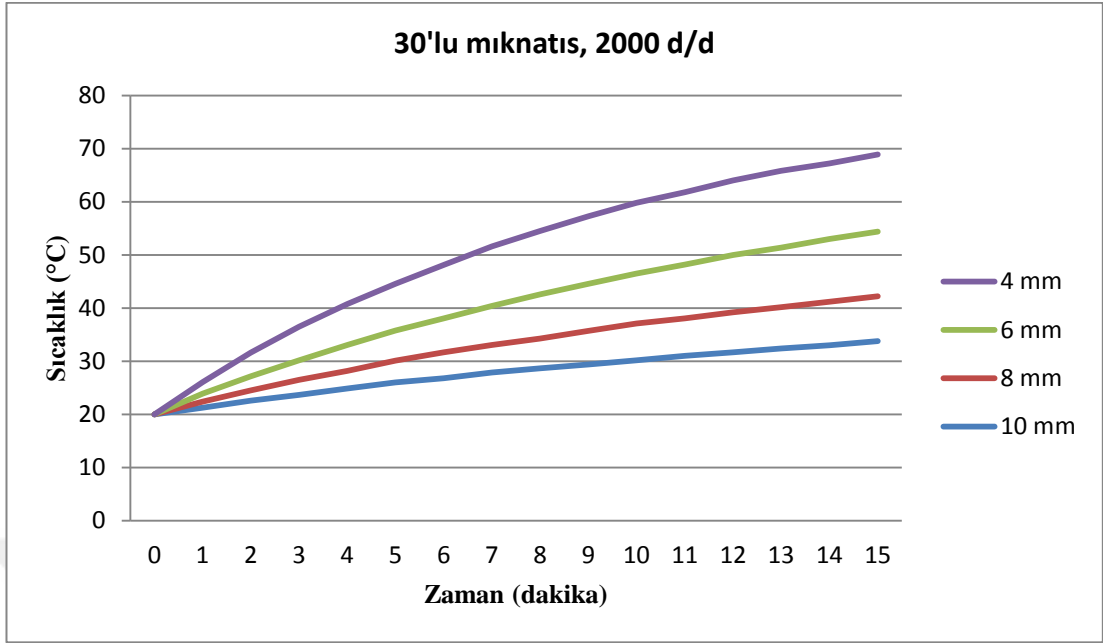
6.4. 30'lu Mıknatıs Yerleşimi Sabit Devirde Mesafeye Bağlı Zaman-Sıcaklık Değişimi



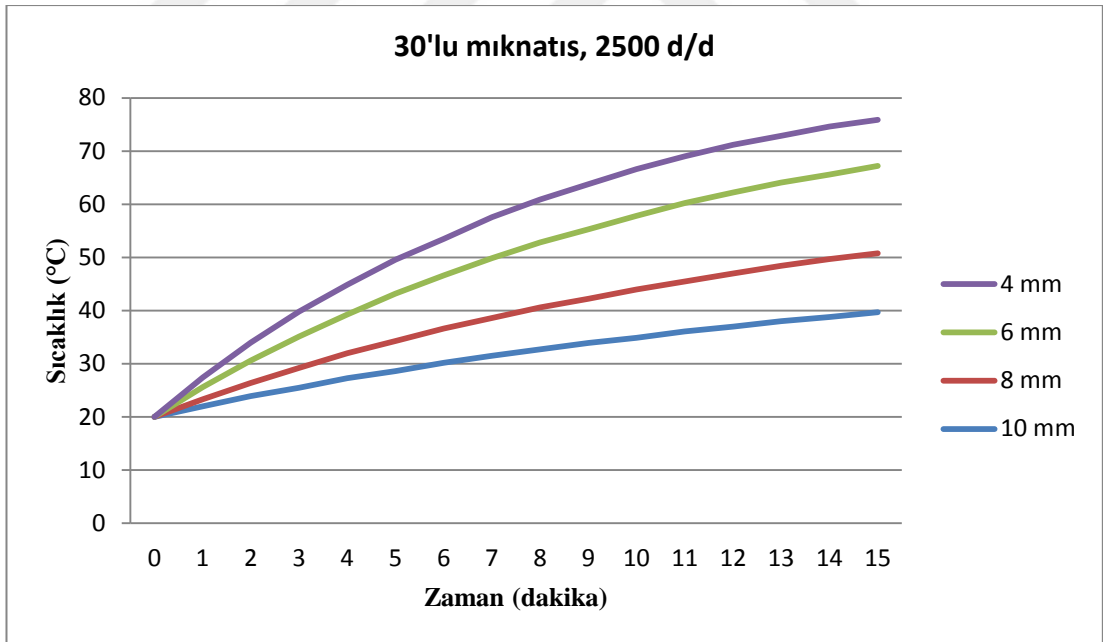
Şekil 6.13. 1000 d/d'da mesafeye bağlı zamanla sıcaklık değişimi



Şekil 6.14. 1500 d/d'da mesafeye bağlı zamanla sıcaklık değişimi

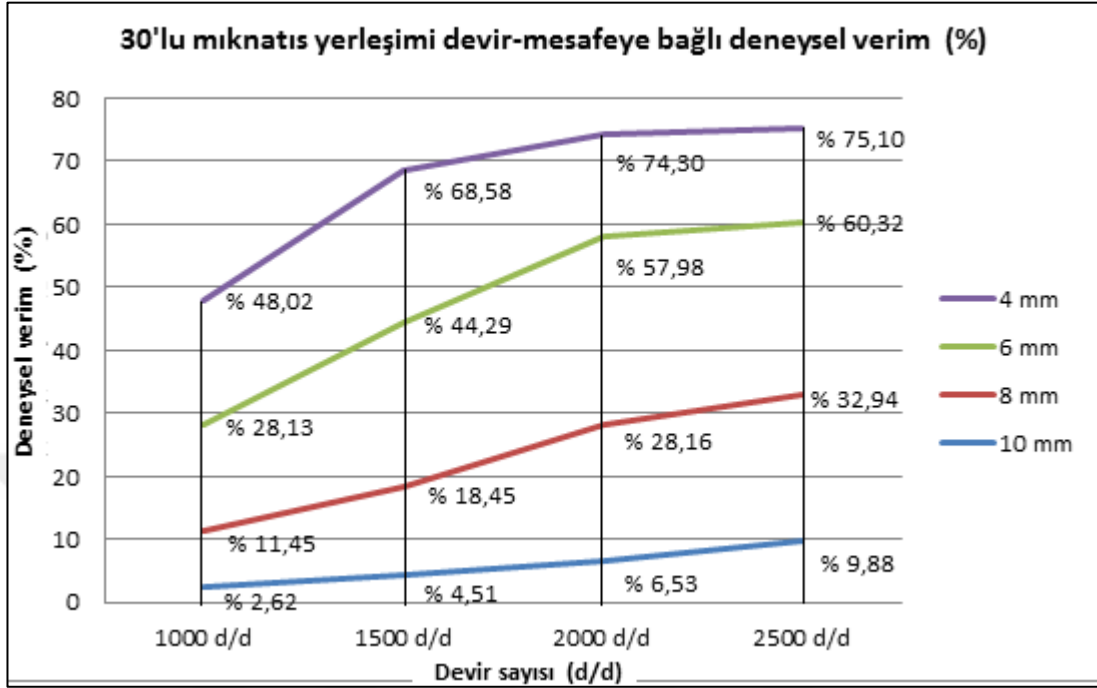


Şekil 6.15. 2000 d/d'da mesafeye bağı zamanla sıcaklık değışimi



Şekil 6.16. 2500 d/d'da mesafeye bağı zamanla sıcaklık değışimi

6.5. Deney Sonuçlarının Verim Değerlerine Bağlı İncelenmesi



Şekil 6.17. 30'lu mıknatıs yerleşimi devir mesafe değişkenlerine bağlı verim oranı

Değişkenlere bağlı olarak, bakır boru üzerinde elektriklenme oluşmaktadır. Oluşan bu elektriklenmenin değeri, boru üzerindeki amper (A) ve volt (V) değerleri ölçülerek saptanabilir. 30'lu mıknatıs yerleşimi, 4 mm iletken malzeme-mıknatıs arası mesafe ve 2500 d/d devir hızı için bakır boru üzerinden ölçülen;

Amper değeri;

$$I = 66 \text{ A}$$

Voltaj Değeri;

$$V = 3,55 \text{ V}$$

$$P = I \cdot V \tag{6.1}$$

$$P_d = 66 \cdot 3,55$$

$$P_d = 234,3 \text{ W}$$

“ P_d ” oluşan deneysel güç değerini ifade etmektedir.

Motor tarafından harcanan güç, sistemin kullandığı toplam güce eşittir. Bu güç değeri, hız sürücüsü üzerinden amper ve volt değerleri ölçülerek ve Eş. 6.1 kullanılarak hesaplanabilir. 4 mm iletken malzeme-mıknatıs arası mesafe ve 2500 d/d devir hızı için hız sürücüsü üzerinden ölçülen;

Amper değeri;

$$I = 4,4 \text{ A}$$

Voltaj Değeri;

$$V = 70,9 \text{ V}$$

Eş. 6.1 kullanılır ise harcanan güç (P_h);

$$P_h = 4,4 \cdot 70,9$$

$$P_h = 311,96 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_d}{P_h} \cdot 100 \quad (6.2)$$

Eş. 6.2 kullanılır ise deneysel verim (η_d);

$$\eta_d = \frac{234,3}{311,96} \cdot 100$$

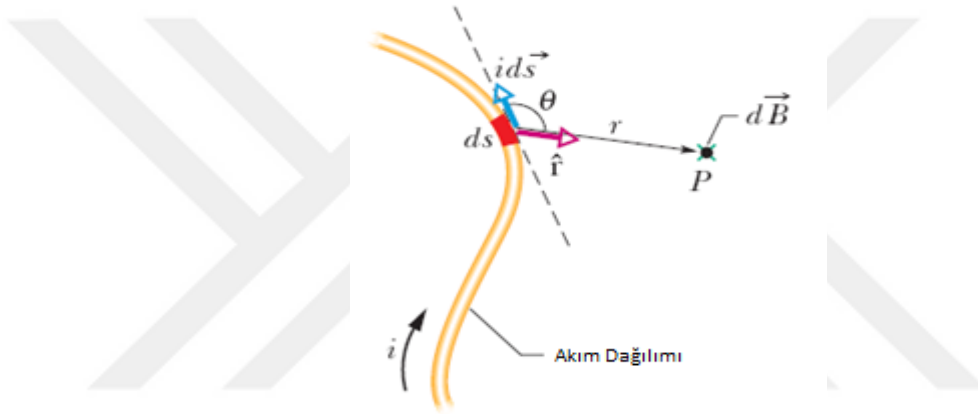
$$\eta_d = \% 75,10$$

olarak hesaplanmıştır.

Hesaplanan bu verim değeri ölçülen deneysel sonuçlar ile elde edilmiştir ve deneysel verim oranını ifade etmektedir. Deneysel verim değeri analitik bir verim değeri hesaplanarak karşılaştırılması gerekmektedir. Bu sebepten deney düzeneğinin matematiksel modellenmesi yapılarak analitik verim hesaplanacaktır.

6.6. Dairesel Bir Yay İçinde Bir Akım Nedeniyle Oluşan Manyetik Alanın Matematiksel Modellenmesi

Dairesel tel üzerindeki herhangi bir noktada akımın oluşturduğu manyetik alanını bulmak için Biot-Savart Yasası olarak bilinen eşitlikler kullanılmaktadır. Bu eşitlikler akı geçen bir tel üzerinde oluşan manyetik alanı, matematiksel olarak ifade etmektedir. Maxwell Denklemleri'nin bir kısmını oluşturan eşitlikler telin şekli, tel kesit alanı, telin uzunluğu ve tel üzerinde oluşan akı değişkenlerine bir noktadaki oluşan manyetik alan değerini verir.

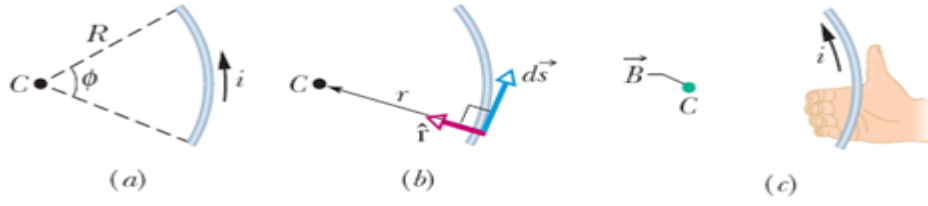


Şekil 6.18. Tel üzerinden geçen akıya bağlı P noktasında oluşan manyetik alan

$$dB = \frac{\mu_o}{4 \cdot \pi} \cdot \frac{i \cdot ds \cdot \sin \theta}{r^2} \quad (6.3)$$

Eş.6.3'de dB ifadesi P noktasında oluşan toplam manyetik alanı, μ_o ifadesi uzayın manyetik alan geçirgenlik değerini, i ifadesi tel üzerinden geçen akımı ve r ifadesi ise P noktasına olan uzaklığı göstermektedir.

Tek bir akımın uzunluğunun ürettiği alan değeri diğer akımın oluşturduğu manyetik alan değeri ile benzerdir. Oluşan toplam net manyetik alanı bulmak için, Eş.6.3'ün integrali alınır. Bu integral telin şekline bağlı olarak zor olabilir ama belirli şekillerde (çember, kare vb.) anlaşılması daha kolaydır.



Şekil 6.19. Manyetik alanın (a) açısı ile ilişkisi, (b) vektörel gösterimi, (c) sağ el kuralı gösterimi

Şekil 6.19'da belirtildiği gibi C noktasında her bir akım uzunluğunun (ids) ürettiği manyetik alan değeri, telin üzerindeki değere bakmaksızın açısı (θ), ds ve r vektörleri arasındaki açı 90° olarak alınır ve $r=R$ olarak yazılır ise;

$$dB = \frac{\mu_o}{4 \cdot \pi} \cdot \frac{i \cdot ds \cdot \sin 90}{R^2} = \frac{\mu_o}{4 \cdot \pi} \cdot \frac{i \cdot ds}{R^2} \quad (6.4)$$

eşitliği elde edilir. Bu eşitlikte $ds = R \cdot d\phi$ ifadesi kullanılarak manyetik alan (β);

$$\beta = \int dB = \int_0^\phi \frac{\mu_o}{4 \cdot \pi} \cdot \frac{i \cdot d\phi}{R^2} = \frac{\mu_o \cdot i}{4 \cdot \pi \cdot R} \int_0^\phi d\phi \quad (6.5)$$

olarak elde edilir. Eş. 6.4 düzenlendiği ve işlemler tamamlandığında manyetik alan ifadesi elde edilir.

$$\beta = \mu_o \cdot \frac{I \cdot \phi}{4 \cdot \pi \cdot r} \quad (6.6)$$

Eş.6.6 da β manyetik alan değerini (Tesla), μ_o manyetik uzay geçirgenliğini ($4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ H.m}^{-1}$), I Amper değerini (Amper), ϕ açığı (radyan), r mıknatıs-iletken malzeme arasındaki mesafeyi (metre) belirtmektedir (Walker ve ark., 1996).

Oluşturduğunuz deney düzeneği üzerindeki manyetik alanı hesaplamak için Eş. 6.6 kullanılarak deney düzeneğinde oluşması beklenen analitik voltaj (η_a) değeri bulunacaktır.

4 mm mıknatıs iletken malzeme arası mesafe, 2500 d/d dönme hızı ve 30'lu mıknatıs yerleşimi düzeneğinde;

$$r = 4 \text{ mm} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$\phi = 2 \cdot \pi$ 'dir. Bu değer çember şeklinin radyan karşılığıdır.

$$i = 66 \text{ A}$$

akı değeri (66 A), bakır boru üzerinde oluşan akımdır. Kısaçlı multimetre ile ölçülmüştür. Bu değer kullanıldığında amaç;

4 mm mıknatıs-iletken malzeme arası mesafe ve 2500 d/d da Eş. 6.6 kullanıldığında oluşan manyetik alan (β) değeri;

$$\beta = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{66 \cdot 2\pi}{4 \cdot \pi \cdot 4 \cdot 10^{-3}}$$

$$\beta = 103,67 \cdot 10^{-4} \text{ T}$$

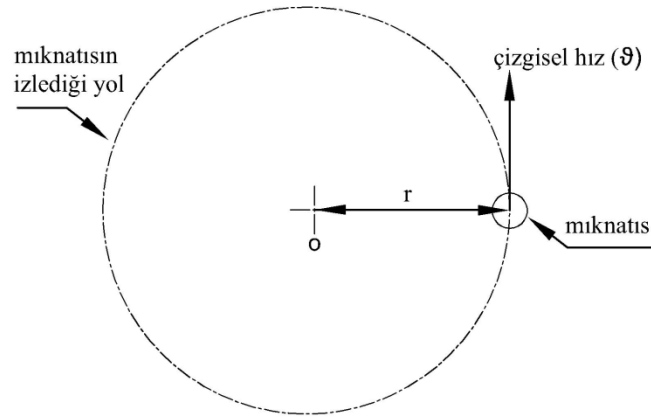
Bulunan değer bir mıknatısın oluşturduğu manyetik alan değeridir. Sistemde 30 adet mıknatıs kullanılmıştır. Oluşan toplam manyetik alan (β_T) değeri;

$$\beta_T = 30 \cdot 103,67 \cdot 10^{-4}$$

$$\beta_T = 311,01 \cdot 10^{-3} \text{ T}$$

$$\vartheta = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot f \tag{6.7}$$

Eş. 6.7'de ϑ ifadesi çizgisel hızı, (metre/saniye), yani dairesel hareket yapan bir cismin bir saniyede aldığı yolu, r dairesel yörüngenin yarıçapını (metre), f dairesel hareket yapan bir cismin bir saniyede attığı tur sayısını (devir/saniye) ifade etmektedir.



Şekil 6.20. Deney düzeneğinde mıknatısın izlediği yol

Şekil 6.20’de mıknatısın deney düzeneğinde izlediği yol gösterilmiştir. Bu yol r yarıçapına sahip bir çember şeklindedir. Yarıçap (r) ifadesinin sayısal değeri aşağıda verilmiştir.

$$r = 85 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Ölçülen frekans dakika bazındadır. Eşitliklerde kullanılması için birimi saniyeye dönüştürülür ise;

$$f = 2500 \cdot \frac{\text{devir}}{\text{dakika}} \cdot \frac{\text{dakika}}{60 \text{ saniye}}$$

$$f = 41,67 \text{ d/s}$$

elde edilir. Elde edilen sonuçları Eş. 6.10’da yerine konulur ise çizgisel hız (v);

$$v = 2 \cdot \pi \cdot 85 \cdot 10^{-3} \cdot 41,67$$

$$v = 22,254 \text{ m/s}$$

$$V = \beta_T \cdot \ell \cdot v \tag{6.8}$$

Eş. 6,8’de V oluşması gereken voltajı (volt), β_T toplam manyetik alan değerini (Tesla), ℓ değeri bakır borunun uzunluğunu (metre), v çizgisel hızı (metre/saniye) belirtmektedir.

Deney düzeneğinde kullanılan bakır boru toplam uzunluğu;

$$\ell = 0,57 \text{ m}$$

Veriler Eş. 6.8'de yerine konulur ise, analitik olarak oluşması beklenen voltaj (V_a) değeri;

$$V_a = 311,01 \cdot 10^{-3} \cdot 0,57 \cdot 22,254$$

$$V_a = 3,94 \text{ V}$$

olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değer ve bakır boru üzerinden ölçülen amper değeri (66 A) Eş. 6.1'de yerine konulur ise, analitik olarak hesaplanan güç (P_a) değeri elde edilir.

$$P_a = 3,94 \cdot 66$$

$$P_a = 260,04 \text{ W}$$

Sistemde harcanan güç (P_h) değeri, Eş. 6.1 kullanılarak $P_h = 311,96 \text{ W}$ olarak bulunmuştu. Bu değer Eş. 6.2' de yerine konulur ise analitik verim (η_a) değeri;

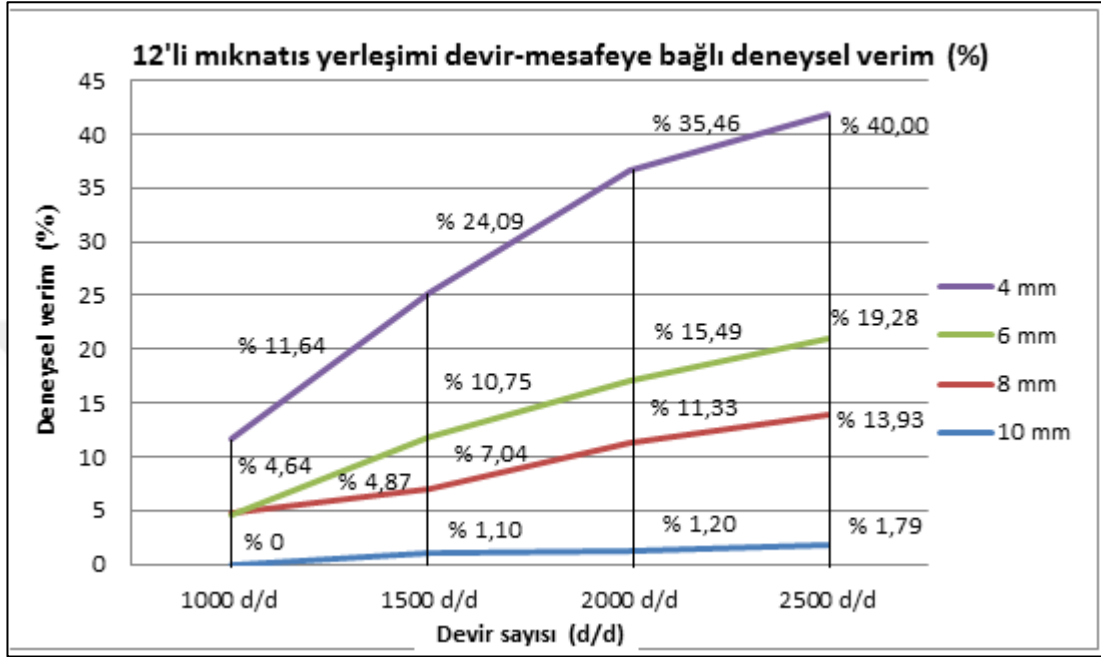
$$\eta_a = \frac{P_a}{P_v} \cdot 100$$

$$\eta_a = \frac{260,04}{311,96} \cdot 100$$

$$\eta_a = \% 83,36$$

olarak hesaplanmıştır. Deneysel verim ($\eta_d = \% 75,10$) değeri ile analitik verim ($\eta_a = \% 83,36$) değeri arasındaki fark, önlenemeyen ısı kayıpları, ölçüm cihazları ve deney düzeneğindeki hassasiyetten kaynaklıdır.

Değişkenlere bağlı olarak, bakır boru üzerinde elektriklenme oluşmaktadır. Oluşan bu elektriklenmenin değeri, boru üzerindeki amper ve volt değerleri ölçülerek hesaplanabilir. Şekil 6.21’de elde edilen deneysel verim değerleri gösterilmiştir.



Şekil 6.21. 12’li mıknatıs yerleşimi devir mesafe değişkenlerine bağlı verim oranı

12’li mıknatıs yerleşimi, 4 mm iletken malzeme-mıknatıs arası mesafe ve 2500 d/d devir hızı için bakır boru üzerinden ölçülen değerler kullanılarak analitik verim (V_a) değeri hesaplanacaktır buna göre ölçülen;

Amper değeri;

$$I = 61 \text{ A}$$

Voltaj Değeri;

$$V = 1,28 \text{ V}$$

Ölçülen bu değerler Eş. 6.1’de yerine konulursa;

$$P_d = 61 \cdot 1,28$$

$$P_d = 78,08 \text{ W}$$

“ P_d ” oluşan deneysel güç değerini ifade etmektedir. Motor tarafından harcanan güç, sistemin kullandığı toplam güce eşittir. Bu güç değeri, hız sürücüsü üzerinden amper ve volt değerleri ölçülerek ve Eş. 6.1’de yerine kullanılarak hesaplanabilir. 4 mm iletken malzeme-mıknatıs arası mesafe ve 2500 d/d devir hızı için hız sürücüsü üzerinden ölçülen;

Amper değeri;

$$I = 3,4 \text{ A}$$

Voltaj Değeri

$$V = 57,4 \text{ V}$$

Eş. 6.1 kullanılır ise harcanan güç (P_h);

$$P_h = 3,4 \cdot 57,4$$

$$P_h = 195,16 \text{ W}$$

Eş. 6.2 kullanılır ise deneysel verim (η_d);

$$\eta_d = \frac{78,08}{195,16} \cdot 100$$

$$\eta_d = \% 40$$

olarak bulunur. 4 mm mıknatıs-iletken malzeme arası mesafe ve 2500 d/d’da Eş. 6.6 kullanılır ise sistemde oluşan manyetik alan (β);

$$\beta = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{61 \cdot 2\pi}{4 \cdot \pi \cdot 4 \cdot 10^{-3}}$$

$$\beta = 95,81 \cdot 10^{-4} \text{ T}$$

Bulunan değer bir mıknatısın oluşturduğu manyetik alan değeridir. Sistemde 12 adet mıknatıs kullanılmıştır.

Oluşan toplam manyetik alan (β_T) değeri;

$$\beta_T = 12 \cdot 95,81 \cdot 10^{-4}$$

$$\beta_T = 114,98 \cdot 10^{-3} \text{ T}$$

Deney düzeneğinde kullanılan bakır boru toplam uzunluğu;

$$\ell = 0,57 \text{ m}$$

Çizgisel hız değeri 2500 d/d için Eş. 6.7 kullanılarak

$$\vartheta = 22,254 \text{ m/s}$$

olarak hesaplanmıştı. Veriler Eş. 6.8'de yerine konular ise analitik olarak oluşması beklenen voltaj (V_a) değeri;

$$V_a = 114,98 \cdot 10^{-3} \cdot 0,57 \cdot 22,253$$

$$V_a = 1,458 \text{ V}$$

olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değer ve bakır boru üzerinden ölçülen amper değeri (61 A) Eş. 6.1'de yerine konular ise, analitik olarak hesaplanan güç (P_a) değeri elde edilir.

$$P_a = 1,458 \cdot 61$$

$$P_a = 88,94 \text{ W}$$

Sistemde harcanan güç (P_h) değeri, Eş. 6.1 kullanılarak $P_h = 195,16 \text{ W}$ olarak bulunmuştu. Bu değer Eş. 6.2' de yerine konular ise analitik verim (η_a) değeri;

$$\eta_a = \frac{P_a}{P_h} \cdot 100$$

$$\eta_a = \frac{88,94}{195,16} \cdot 100$$

$$\eta_a = \% 45,57$$

olarak hesaplanmıştır. Deneysel verim ($\eta_d = \% 40$) ile analitik verim ($\eta_a = \% 45,57$) değeri arasındaki fark, önlenemeyen ısı kayıpları, ölçüm cihazları ve deney düzeneğindeki hassasiyet faktörlerinden kaynaklıdır. Deneysel verim değeri ile analitik verim değerinin kayıplar göz önüne alındığında yaklaşık olarak birbirlerini karşıladığı görülmektedir.



7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Elektrik enerjisi geçtiği yol (tel) üzerinde değişken bir manyetik alan oluşturur. Manyetik bir malzeme değişken bir elektromanyetik alana maruz bırakılır ise üzerinde gerilim indüklenmesi oluşur ve bu gerilimin oluşturduğu yüksek akımlar (girdap akımı) manyetik malzeme üzerinde ısı enerjisine dönüşür. Bu şekilde oluşturulan ısıtma sistemleri “Klasik indüksiyon Isıtma” olarak adlandırılır. Klasik indüksiyonlu ısıtma sistemlerinde değişken manyetik alan doğrudan elektrik enerjisi ile elde edilir. Bu çalışmada; Klasik indüksiyonlu ısıtma sistemlerinin aksine değişken manyetik alan mıknatıslar ile oluşturulmuştur. Mıknatıs doğal bir manyetik alan kaynağıdır. Manyetik alanın değişken olması, mıknatısların ters kutuplarının sıralı olarak aynı yönde ve yan yana yerleştirilmesi ile elde edilir ancak bu yerleşim değişken manyetik alanın elde edilmesi için tek başına yeterli değildir. Mıknatısların akım oluşturulması istenilen tel üzerinde yer değiştirme hareketi yapmaları gerekmektedir. Tasarlanan mıknatıs yerleşimi, manyetik alandan etkilenmeyen bir malzeme olan polyamid disk üzerine işlenilmiş ve mıknatıslar tasarıma uygun olarak yerleştirilmişlerdir (Bkz. Şekil 5.1). İletken malzemenin şekli tasarlanırken, iz düşüm şeklinin, mıknatıs yerleşiminin iz düşüm şekli ile birebir örtüşecek şekilde oluşturulmuştur. Bu şekilde mıknatıslar tarafından oluşturulan manyetik alanın etkisinden en yüksek oranda yararlanılabilecektir. Mıknatısların yerleştirildiği polyamid disk, merkez noktası motor merkez noktası ile aynı düzlemde olacak şekilde yüksek hız motoruna bağlanılmıştır. Bu sayede motor hareket ettirilerek polyamid disk döndürmüş ve disk üzerindeki mıknatıslar ile değişken manyetik alan elde edilmiştir. Mıknatısların hareket hızı, oluşan değişken manyetik alanın değerini etkilemektedir. Mıknatısların hareket hızı arttığında, oluşan değişken manyetik alanın etkisi artmakta, mıknatısların hareket hızı azaltıldığında, oluşan değişken manyetik alanın etkisi azalmaktadır. Mıknatıslar hareketini motordan sağladıkları için, motor hızının kontrol edilebilir şekilde ayarlanabilir olması ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu ihtiyaç motor üzerine hız sürücüsü bağlanılarak karşılanmıştır. Hız sürücüsü ile motorun kullandığı enerji artırılıp azaltılarak, motorun döndürme hızı ayarlanabilir bir şekil almıştır.

Değişken manyetik alanın iletken malzeme üzerinde oluşturduğu akımlar, manyetik alanın yoğunluğu ile ilişkilidir. Manyetik alanın yoğunluğu artığında oluşan akımlar artmakta, manyetik alanın yoğunluğu azaldığında oluşan akımlar azalmaktadır. Manyetik alanın yoğunluğu sistem üzerindeki mıknatısların sayısı ile değişmektedir. Bu değişkenin (mıknatıs sayısı) etkisini görebilmek için 12'li ve 30'lu olmak üzere 2 farklı mıknatıs sayısı kullanılmıştır.

Mıknatıs- iletken malzeme arası mesafe, motor devir sayısı, mıknatıs yerleşimi ve sayısı kullanılarak, bu değişkenler ile deneysel verim değerinin nasıl değiştiği tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre;

- Deneysel verim değeri (η_d) yaklaşık olarak % 0 (Bkz. Şekil 6.21) olarak tespit edilmiştir. Bu tespit ile deneylere yaklaşık 1000 d/d'dan daha az devir hızı, 10 mm'den daha büyük iletken malzeme mıknatıs arası mesafe ve 12 adet mıknatıs sayısından daha az mıknatıs kullanılarak elde edilecek bir yerleşim şekli değişkenleri ile deneylere devam etmenin deneysel verim değerinde artış sağlayamayacağı görüldüğünden deneylere devam edilmemiştir. Bu değerler deney sınır koşulu olarak belirlenmiştir.
- 12'li mıknatıs yerleşimi ve 4 mm iletken malzeme mıknatıs arası mesafe değişkenleri sabit tutulduğunda yaklaşık 2000 d/d dönme hızı için elde edilen deneysel verim (η_d) değeri % 35,46 ve yaklaşık 2500 d/d dönme hızı için elde edilen deneysel verim (η_d) değeri % 40 (Bkz. Şekil 6.21) olarak hesaplanmıştır. Parametreler sabit tutulup mıknatıs sayısı 30'lu mıknatıs yerleşimi olarak değiştirildiğinde yaklaşık 2000 d/d dönme hızı için elde edilen deneysel verim (η_d) değeri % 74,30 ve yaklaşık 2500 d/d dönme hızı için elde edilen deneysel verim (η_d) değeri % 75,10 (Bkz. Şekil 6.17) olarak hesaplanmıştır. 4 mm iletken malzeme mıknatıs arası mesafede 12'li mıknatıs yerleşimi için yaklaşık 2000 ve 2500 d/d'da elde edilen deneysel verim değerleri, 30'lu mıknatıs yerleşimi, 2000 ve 2500 d/d'da elde edilen

deneysel verim değerlerine göre aşırı düşük olduğu için 12'li mıknatıs yerleşiminde 2500 d/d'dan sonra devir artırımına devam edilmemiştir.

- 30'lu mıknatıs kullanımı, 4 mm iletken malzeme mıknatıs arası mesafe ve yaklaşık 2000 d/d için deneysel verim (η_d) değeri % 74,30 olarak hesaplanmıştır. Parametreler sabit tutulup devir sayısı yaklaşık 2500 d/d'ya çıkarıldığında deneysel verim (η_d) değeri % 75,10 olarak hesaplanmıştır (Bkz. Şekil 6.17). Elde edilen deneysel verim değerleri kıyaslandığında artış eğrisinin, kırılarak sabit bir çizgi şeklini aldığı görülmüştür. Yaklaşık 2000 d/d'dan sonra devir sayısını artırmanın deneysel verim artışına etkisi büyük oranda azaldığı gözlemlenmiştir (Bkz. Şekil 6.17). Bu sebepten devir artışına devam edilmemiş ve uygun değer yaklaşık 2000 d/d olduğu anlaşılmıştır.
- En uygun devir olarak belirlenen yaklaşık 2000 d/d ve 30'lu mıknatıs yerleşimi değişkenleri sabit tutulduğunda, mıknatıs iletken malzeme arası mesafe 10 mm'de deneysel verim (η_d) % 6,53 dür. 8 mm'de deneysel verim değeri (η_d) % 28,16 dir. İletken malzeme mıknatıs arası mesafe 10 mm'den 8 mm'ye düşürüldüğünde deneysel verim değeri yaklaşık olarak 4 kat artmıştır. Mıknatıs iletken malzeme arası mesafe 8 mm'de deneysel verim (η_d) % 28,16 dir. 6 mm'de deneysel verim değeri (η_d) % 57,98 dir. İletken malzeme mıknatıs arası mesafe 8 mm'den 6 mm'ye düşürüldüğünde deneysel verim değeri yaklaşık olarak 2 kat artmıştır. Mıknatıs iletken malzeme arası mesafe 6 mm'de deneysel verim (η_d) % 57,98 dir. 4 mm'de deneysel verim değeri (η_d) % 74,30 dir. İletken malzeme mıknatıs arası mesafe 6 mm'den 4 mm'ye düşürüldüğünde deneysel verim değeri yaklaşık olarak 0,25 kat artmıştır. Mesafe değişimi sabit 2 mm olarak ayarlanmış, verimin azalarak artışına devam ettiği görülmüştür.

Deneysel verim (η_d) değeri ile analitik verim (η_a) değerini karşılaştırıldığında;

- 4 mm iletken malzeme-mıknatıs arası mesafe 2500 d/d devir hızı değişkenleri sabit tutulduğunda 30'lu mıknatıs yerleşimi için; deneysel verim değeri (η_d) % 75,10 analitik verim değeri (η_a) % 83,36 olarak hesaplanmıştır. 12'li mıknatıs yerleşimi için; deneysel verim değeri (η_d) % 40 analitik verim değeri (η_a) % 45,57 olarak hesaplanmıştır. Her iki mıknatıs yerleşimi için her birine ait deneysel verim ile analitik verim değerleri karşılaştırıldığında ortaya çıkan fark, önlenemeyen ısı kayıpları, ölçüm cihazları ve deney düzeneğindeki ayarlama hassasiyetlerinden kaynaklıdır. Deneysel verim değeri ile analitik verim değerinin kayıplar göz önüne alındığında yaklaşık olarak birbirlerini karşıladığı görülmüştür.

Ayrıca deneyler sırasında iletken malzeme-mıknatıslar arasında sahip oldukları aynı eksenden birbirini çıkarmaya çalışan zorlayıcı bir kuvvetin oluştuğu görülmüştür. Sistem aynı ekseninde çalıştırılmaya devam ettirildiğinde motor devir sayısının iletken malzemenin mıknatısa yaklaştırılması ile azaldığı ve motorun mili döndürmek için zorlandığı tespit edilmiştir. Motoru besleyen elektrik akımı kapatıldığı zaman, mıknatıs-iletken malzeme arasında oluşan bu zorlayıcı kuvvet, bir fren etkisi göstererek motorun döndürme etkisini kısa sürede sönmüştür.

Sistem çalışmasında ortaya çıkan ve frenleme etkisi oluşturan zorlayıcı kuvvet kullanılarak, yüksek hıza sahip, kısa süreli çalışan sistemlerde frenleme (durdurma) için kullanılabilir. Teorik olarak hatta kullanılan toplam enerjinin tren işletme sıklığına bağlı olarak % 40'ı frenleme enerjisinin geri kazanımından sağlanabilir. Bir tren için tüketilen tüm enerjinin % 15'i frenleme dirençleri ve sürtünme ile harcanmaktadır (Acıkbaş ve Alataş., 2006). Harcanan bu enerjiyi geri kazanmak için; metro vb. (kısa mesafede dur-kalk yapan araçlar) sistemlerde tramvayın alt tarafına içinden akışkan sıvı dolaşabilen bir bakır levha yerleştirilir. İstasyonlara uygun yerleşime sahip mıknatıslar konulur. Tramvay yavaşlatılmak veya durdurulmak istenildiğinde tramvayın alt kısmındaki bakır levha mıknatıslara yaklaştırılır. Bu şekilde mıknatıslar ile bakır levha arasında zorlayıcı bir kuvvet oluşur. Oluşan bu kuvvet tramvayın yavaşlamasını veya durdurulmasını sağlarken bakır levha üzerinde

oluşan ısı içinden geçen akışkanlar ile tramvayın ısıtılmasında kullanılabilir. Oluşturduğumuz deney düzeneği temel alınarak tasarlanan bu sistem ile frenleme direnci ve sürtünme ile kaybedilen enerjinin büyük bir kısmı geri kazanılabilir.

Yapılan çalışmalar ile klasik indüksiyon ısıtma sistemlerinden farklı olarak değişken manyetik alan mıknatıslar kullanılarak elde edilmiştir. Oluşturulan tasarım diğer indüksiyon ısıtma sistemlerine göre daha az karmaşık elektronik devrelere sahip olması sebebiyle kullanımını daha kolay, bakım ve yatırım maliyeti daha azdır.





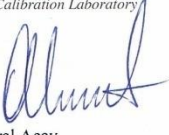
KAYNAKLAR

- Acıkbaş, S., Alataş, A., 2003. Raylı Sistemlerde Enerji Verimli Sürüş ve Frenleme Enerjisinin Geri Kazanımı. Türkiye 10. Enerji Kongresi, 27-30 Kasım 2006, İstanbul, 237-245.
- Altaş, İH., 1988. Doğrusal Olmayan Özelliği Hesaba Katarak Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Girdap Akımı Kayıplarının Hesabı. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Akay, K., 2000. Girdap Akımları Tekniğinin Fiziksel Prensipleri ve Sanayide Uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Anonim, 2015a. Eddy akımı, https://tr.wikipedia.org/wiki/Eddy_ak%C4%B1m%C4%B1#Tarihi (01 02 2015).
- Anonim, 2015b. Mıknatıs, <https://tr.wikipedia.org/wiki/M%C4%B1knat%C4%B1s> (03 02 2015).
- Anonim, 2015c. Mıknatıslık, <https://tr.wikipedia.org/wiki/M%C4%B1knat%C4%B1s#Tarih.C3.A7e> (03 02 2015).
- Anonim, 2015d. Manyetik alan, https://tr.wikipedia.org/wiki/Manyetik_alan#Tarihi (03 02 2015).
- Anonim, 2015e. Neodymium magnet, https://en.wikipedia.org/wiki/Neodymium_magnet#History (13 02 2015).
- Anonim, 2015f. Manyetik alan, https://tr.wikipedia.org/wiki/Manyetik_alan#Tan.C4.B1m (28 02 2015).
- Anonim, 2015g. Yerin Manyetik alanı, https://tr.wikipedia.org/wiki/Manyetik_alan#YerinManyetik_Alan.C4.B1 (28 02 2015).
- Anonim, 2015h. Maxwell denklemleri, https://tr.wikipedia.org/wiki/Maxwell_denklemleri#Elektrik_ve_manyetik_alanlara_g.C3.B6re_denklemler (01 03 2015).
- Anonim, 2015ı. Manyetizma için gauss yasası, <http://www.kuark.org/2013/07/manyetizma-icin-gauss-yasasi/> (03 03 2015).
- Anonim, 2015j. Faraday yasası, <http://www.kuark.org/2013/07/faraday-yasasi/> (04 03 2015).
- Anonim, 2015k. Ampere yasası, <http://www.kuark.org/2013/07/ampere-yasasi/> (04 03 2015).
- Anonim, 2015l. Maxwell denklemleri, <http://www.kuark.org/2013/07/ampere-yasasi/> (04 03 2015).

- Çam, B., 2008. Süperiletken Manyetik Taşıyıcıların Statik ve Dinamik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Ekineker, A., 2011. Fırçalı Doğru Akım Motorlarının Dizaynında Manyetik Sıvıların Etkisinin Analizi. Yüksek Lisans Tezi Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul.
- Gülbahçe, M.O., 2013. Orta Güçlü Bir Girdap Akımı Freni Tasarımı ve Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Jufer, M., Apostolides, A., 1976. An analysis of eddy current and histeresis loses in solid iron based upon simulation of saturation and histeresis characteristics. IEEE Transactions on Power Apparatus and System, 95, 1786-1792.
- Oguzhan, E., 2008, Dönen Bir Silindir Yüzeyini Çevreleyen Kapalı Düzlemsel Bölgelerde Konvektif Isı Transferi. Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Sandal, B., 2014. İndüksiyonla Isıtmanın Matematiksel Modellenmesi. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Stoll, R.L., 1974. The Analysis of Eddy Currents. Oxford University Press, Oxford, 128p.
- Swift, G.W., 1971. Power transformer corebehavior under transient conditions. IEEE Transactions on Power Apparatus ans System, 90, 2206-2210.
- Walker, J. Resnick, R. Halliday, D., 1996. Fundamentals of Physics Extended. John Willey and Sons Inc. New York,736 s.
- Yıldız, A., 2007, Eddy Akımı Kayıplarının Sonlu Elemanlar Metodu ile Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Yıldızer, I., 2011. İndüktif Taşıyıcı Sistemlerin Modellenmesi ve Deneysel Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Zakrzewiski, K., Piotras, F., 1871. Method of calculating the electromagnetic field and power loses in ferromagnetic materials-taking into account magnetic hysteresis. IEEE Transactions on Power Apparatus ans System, 118, 1679-1685.

EKLER

EK-1. Termometre kalibrasyon sertifikası

1326010003		TÜRKAK TÜRK AKREDİTASYON KURUMU TURKISH ACCREDITATION AGENCY tarafından akredite edilmiş					
		EGEMET Kalibrasyon-Ölçüm Ticaret Limited Şirketi 6172 Sokak No: 8 Işıkent - İZMİR		<table border="1"> <tr> <td>AB-0005-K</td> </tr> <tr> <td>1326010003</td> </tr> <tr> <td>04 - 15</td> </tr> </table>	AB-0005-K	1326010003	04 - 15
AB-0005-K							
1326010003							
04 - 15							
Kalibrasyon Sertifikası Calibration Certificate							
Cihazın Sahibi / Adresi <i>Customer Name / Address</i>		: Ali Gürkan BAĞATIRLAR - Eylül Mühendislik O.S.B.7.Cad. No:15 Merkez Çorum					
İstek Numarası <i>Order Number</i>		: SE 153946					
Makine / Cihaz <i>Instrument / Device</i>		: Radyasyon Termometresi (Çok Yönlü)					
İmalatçı <i>Manufacturer</i>		: Cem IR-98					
Tip <i>Type</i>		: Dijital					
Seri Numarası <i>Serial Number</i>		: 130814229					
Kalibrasyon Tarihi <i>Date of Calibration</i>		: 07.04.2015					
Sertifikanın Sayfa Sayısı : 3 <i>Number of Pages of the Certificate</i>							
<p>Bu kalibrasyon sertifikası, Uluslararası Birimler Sisteminde (SI) tanımlanmış birimleri realize eden ulusal ölçüm standartlarına izlenebilirliği belgeler.</p> <p><i>This calibration certificate documents the traceability to national standards, which realize the unit of measurement according to the International System of Units (SI).</i></p> <p>Türk Akreditasyon Kurumu (TÜRKAK) kalibrasyon sertifikalarının tanınması konusunda Avrupa Akreditasyon Birliği (EA) ve Uluslararası Laboratuvar Akreditasyon Birliği (ILAC) ile karşılıklı tanıma antlaşmasını imzalamıştır.</p> <p><i>The Turkish Accreditation Agency (TÜRKAK) is signatory to the multilateral agreements of the European co-operation for the Accreditation (EA) and of the International Laboratory Accreditation (ILAC) for the Mutual recognition of calibration certificates.</i></p> <p>Ölçüm sonuçları, genişletilmiş ölçüm belirsizlikleri ve kalibrasyon metodları bu sertifikanın tamamlayıcı kısmı olan takip eden sayfalarda verilmiştir.</p> <p><i>The measurements, the uncertainties with confidence probability and calibration methods are given on the following pages which are part of this certificate.</i></p>							
Mühür <i>Seal</i>	Tarih <i>Date</i>	Kalibrasyonu Yapan <i>Calibrated by</i>	Laboratuvar Müdürü <i>Head of Calibration Laboratory</i>				
	08.04.2015	 Alper Güler	 Meral Acay				

Bu sertifikayı laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız ve mühürsüz sertifikalar geçersizdir.
 This certificate may not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory. Calibration certificates without signature and seal are not valid.
 Tel: 0(232) 472 06 04 (Pbx) Faks: 0(232) 472 05 04 <http://www.egemet.com.tr> E-mail: satis@egemet.com.tr






EK-1 (Devam). Termometre kalibrasyon sertifikası

EGEMET					
Kalibrasyon-Ölçüm Ticaret Limited Şirketi					
Sayfa 2 / 3 Page 2 of 3					AB-0005-K
					1326010003
					04-15
1. Cihaza ait bilgiler					
<i>Information about the device</i>					
Ölçüm aralığı: 40 °C - 260 °C		Çözünürlük: 0,1°C			
<i>Measurement range</i>		<i>Resolution</i>			
2. Cihazın laboratuara kabul tarihi					
<i>Date of receipt of device</i>					
03.04.2015					
3. Prosedür					
<i>Procedure</i>					
Cihaz, karşılaştırma metodu ile ITS-90 sıcaklık skalasına göre kalibre edilmiştir. T 504-429 kalibrasyon talimatı kullanılmıştır.					
<i>Object is calibrated by comparison method according to ITS-90 temperature scale. T 504-429 calibration procedure is used.</i>					
4. Ölçüm şartları					
<i>Measurement conditions</i>					
Kalibrasyonda kullanılan referans cihazlar					
<i>Reference equipment used during calibration</i>					
Cihaz Object	İmalatçısı Manufacturer	Model Model	Seri/Kod No Serial/Code Number	Sertifika No Certificate No	İzlenebilirlik Traceability
Direnç termometresi	Ludwig Schneider	Pt100	EKC-124	0503010001	Egemet
Dijital multimetre	Agilent	34401A	MY45005446 / EKC-73	2013E6154	Simkal
5. Çevre şartları					
<i>Ambient conditions</i>					
Kalibrasyon başlangıç sıcaklığı		22,0°C	Kalibrasyon bitiş sıcaklığı		22,0°C
<i>Temperature at the beginning of the cal.</i>			<i>Temperature at the end of the cal.</i>		
6. Ölçüm sonuçları					
<i>Measurement results</i>					
Test cihazının referans sıcaklık değerlerine karşılık gösterdiği sıcaklık değeri ve ölçüm belirsizliği Tablo-1'de verilmiştir.					
Tablo-1. Ölçüm sonuçları ve belirsizliği					
Referans sıcaklık <i>Reference temperature</i>	Test termometresi değeri <i>Test thermometer value</i>	Sapma <i>Deviation</i>	Belirsizlik <i>Uncertainty</i>		
°C	°C	°C	±°C		
-0,01	0,1	0,11	0,069		
9,97	10,1	0,13	0,069		
20,04	20,1	0,06	0,069		
30,00	30,1	-0,10	0,070		
7. Ölçüm belirsizliği					
<i>Measurement uncertainty</i>					
Ölçüm sonuçlarıyla birlikte verilmiştir.					
<i>Given with measurement results.</i>					
Beyan edilen genişletilmiş ölçüm belirsizliği, standart belirsizliğin k=2 olarak alınan genişletme katsayısı ile çarpımı sonucunda bulunan değerdir ve %95 oranında güvenilirlik sağlamaktadır. Bu sertifikada beyan edilen sonuçlar cihazın kalibrasyon tarihindeki durumunu kapsar ve uzun dönem stabilitesi hakkında bir yorum içermez.					
<i>The reported expanded uncertainty of measurement is stated as the standard uncertainty of measurement multiplied by the coverage factor k=2 which for a normal distribution corresponds to a coverage probability of approximately 95 %. The results reported in this certificate refer to the condition of the instrument on the date of calibration and carry no implication regarding the long-term stability of the instrument.</i>					
8. Açıklamalar					
<i>Explanations</i>					
Kalibrasyon sonuçlarının değerlendirilmesi, cihazın kullanıcılarına bırakılmıştır.					

EK-1 (Devam). Termometre kalibrasyon sertifikası

EGEMET			
Kalibrasyon-Ölçüm Ticaret Limited Şirketi			
Sayfa 3 / 3			
Page 3 of 3			
	AB-0005-K		
	1326010003		
	04-15		
1. Cihaza ait bilgiler			
<i>Information about the device</i>			
Ölçüm aralığı: -35 °C / 260 °C	Çözünürlük: 0,1°C	Okuma Uzaklığı: 70mm	
<i>Measurement range</i>	<i>Resolution</i>	<i>Reading distance</i>	
Emisivite: 1,00	D/S: 1:1	Dalga Boyu (λ): -	
<i>Emissivity</i>		<i>Wave length</i>	
2. Cihazın laboratuara kabul tarihi			
<i>Date of receipt of device</i>			
03.04.2015			
3. Prosedür			
<i>Procedure</i>			
Cihaz, Blackbodyden okunan değer ile kalibre edilen cihazın, karşılaştırması suretiyle kalibre edilmiştir.			
T 504.436 kalibrasyon talimatı kullanılmıştır.			
4. Ölçüm şartları			
<i>Measurement conditions</i>			
Kalibrasyonda kullanılan referans cihazlar			
<i>Reference equipment used during calibration</i>			
Cihaz Kodu	Cihaz Adı	Sertifika No	İzlenebilirlik
<i>Device Code</i>	<i>Device Name</i>	<i>Certificate No</i>	<i>Traceability</i>
EKC-162	Siyah Cisim	G1RS-0029	UME
EKC-134-2	Siyah Cisim	G1RS-0012	UME
5. Çevre şartları			
<i>Ambient conditions</i>			
Kalibrasyon başlangıç sıcaklığı	23,2°C	Kalibrasyon bitiş sıcaklığı	23,3°C
<i>Temperature at the beginning of the cal.</i>		<i>Temperature at the end of the cal.</i>	
6. Ölçüm sonuçları			
<i>Measurement results</i>			
Tablo-1. Ölçüm sonuçları ve belirsizliği			
Referans sıcaklık	Testten Okunan Değer	Sapma Değeri	Belirsizlik
<i>Reference temperature</i>	<i>Test reading value</i>	<i>Deviation value</i>	<i>Uncertainty</i>
°C	°C	°C	±°C
50,00	48,4	-1,60	2,10
100,00	98,3	-1,70	2,10
150,00	147,3	-2,70	2,10
200,00	196,7	-3,30	2,10
250,00	244,0	-6,00	2,10
7. Ölçüm belirsizliği			
<i>Measurement uncertainty</i>			
Ölçüm sonuçlarıyla birlikte verilmiştir.			
Beyan edilen genişletilmiş ölçüm belirsizliği, standart belirsizliğin k=2 olarak alınan genişletme katsayısı ile çarpımı sonucunda bulunan değerdir ve %95 oranında güvenilirlik sağlamaktadır. Bu sertifikada beyan edilen sonuçlar cihazın kalibrasyon tarihindeki durumunu kapsar ve uzun dönem stabilitesi hakkında bir yorum içermez.			
<i>The reported expanded uncertainty of measurement is stated as the standard uncertainty of measurement multiplied by the coverage factor k=2 which for a normal distribution corresponds to a coverage probability of approximately 95 %. The results reported in this certificate refer to the condition of the instrument on the date of calibration and carry no implication regarding the long-term stability of the instrument.</i>			
8. Açıklamalar			
<i>Explanations</i>			
Kalibrasyon sonuçlarının değerlendirilmesi, cihazın kullanıcılarına bırakılmıştır.			

EK-2. Takometre kalibrasyon sertifikası

1208010031		TÜRKAK TÜRK AKREDİTASYON KURUMU TURKISH ACCREDITATION AGENCY tarafından akredite edilmiş		 Kalibrasyon TS EN ISO/IEC 17025 AB-0005-K
 Kalibrasyon - Ölçüm Ticaret Ltd.Şti.		EGEMET Kalibrasyon-Ölçüm Ticaret Limited Şirketi 6172 Sokak No: 8 Işıkkent - İZMİR		AB-0005-K 1208010031 04 - 15
Kalibrasyon Sertifikası Calibration Certificate				
Cihazın Sahibi / Adresi <i>Customer Name / Address</i>	: Ali Gürkan BAĞATIRLAR - Eytül Mühendislik O.S.B.7.Cad. No:15 Merkez Çorum	İstek Numarası <i>Order Number</i>	: SE 153946	
Makine / Cihaz <i>Instrument / Device</i>	: Takometre	İmalatçı <i>Manufacturer</i>	: Cem / AT-6	
Tip <i>Type</i>	: Dijital	Seri Numarası <i>Serial Number</i>	: 141109016	
Kalibrasyon Tarihi <i>Date of Calibration</i>	: 06.04.2015	Sertifikanın Sayfa Sayısı <i>Number of Pages of the Certificate</i>	: 2	
<p>Bu kalibrasyon sertifikası, Uluslararası Birimler Sisteminde (SI) tanımlanmış birimleri realize eden ulusal ölçüm standartlarına izlenebilirliği belgeler. <i>This calibration certificate documents the traceability to national standards, which realize the unit of measurement according to the International System of Units (SI).</i></p> <p>Türk Akreditasyon Kurumu (TÜRKAK) kalibrasyon sertifikalarının tanınması konusunda Avrupa Akreditasyon Birliği (EA) ve Uluslararası Laboratuvar Akreditasyon Birliği (ILAC) ile karşılıklı tanıma antlaşmasını imzalamıştır. <i>The Turkish Accreditation Agency (TURKAK) is signatory to the multilateral agreements of the European co-operation for the Accreditation (EA) and of the International Laboratory Accreditation (ILAC) for the Mutual recognition of calibration certificates.</i></p> <p>Ölçüm sonuçları, genişletilmiş ölçüm belirsizlikleri ve kalibrasyon metotları bu sertifikanın tamamlayıcı kısmı olan takip eden sayfalarda verilmiştir. <i>The measurements, the uncertainties with confidence probability and calibration methods are given on the following pages which are part of this certificate.</i></p>				
Mühür <i>Seal</i>	Tarih <i>Date</i>	Kalibrasyonu Yapan <i>Calibrated by</i>	Laboratuvar Müdürü <i>Head of Calibration Laboratory</i>	
 Kalibrasyon Merkezi egemet İZMİR	06.04.2015	 Alper Gülerüz	 Meral Acay	

ALH 06.04.2015,17:25
 Bu sertifika, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız ve mührsüz sertifikalar geçersizdir.
 This certificate may not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory. Calibration certificates without signature and seal are not valid.
 Tel: 0(232) 472 06 04 (Pbx) Faks: 0(232) 472 05 04 <http://www.egemet.com.tr> E-mail: satis@egemet.com.tr

EK-2 (Devam). Takometre kalibrasyon sertifikası

1208010031

EGEMET
Kalibrasyon-Ölçüm Ticaret Limited Şirketi

AB-005-K
1208010031
04 - 15

Sayfa 2 / 2
Page

Makine/Cihaz : Cihazın Adı : Takometre **Seri No** : 141109016
Instrument / Device *Device Name* *Serial Number*

Ölçme Aralığı : 2.0 - 999.9 rpm **Çözünürlüğü** : 0.10 rpm
Measurement Range *Resolution*

Lab. Kabul Tarihi : 03.04.2015
Date of receipt of device

Prosedür : Cihaz, karşılaştırma metodu ile F 504.01 "Devir Kalibrasyon Talimatı" na uygun olarak yapılmıştır.
Procedures

Ön Muayene : Herhangi bir hasar ve eksiklik gözlenmemiştir.
Pre-Inspection

Kalibrasyon Ekipmanları
Calibration Equipment

Cihaz Kodu <i>Device Code</i>	Cihaz Adı <i>Device Name</i>	İzlenebilirlik <i>Traceability</i>	Sertifika No <i>Certificate No</i>
EKC-95	Elektrik Kalibratörü	UME	G1LV-0134

Çevre Şartları : Kalibrasyon Başlangıç Sıcaklığı :22.6°C Kalibrasyon Bitiş Sıcaklığı :22.9°C
Environmental Conditions

Ölçüm Sonuçları
Measurement Results

Ölçüm Şekli : Optik (rpm)

Referans Cihaz <i>Reference Device</i>	Test Cihazı <i>Test Device</i>	Sapma <i>Deviation</i>	Belirsizlik <i>Uncertainty</i>
Hz	rpm	rpm	± rpm
3.33	199.82	199.8	-0.02
8.33	499.82	499.8	-0.02
16.67	1000.22	1000	-0.22
33.33	1999.82	2000	0.18
83.33	4999.82	5000	0.18
166.70	10002.02	10003	0.98

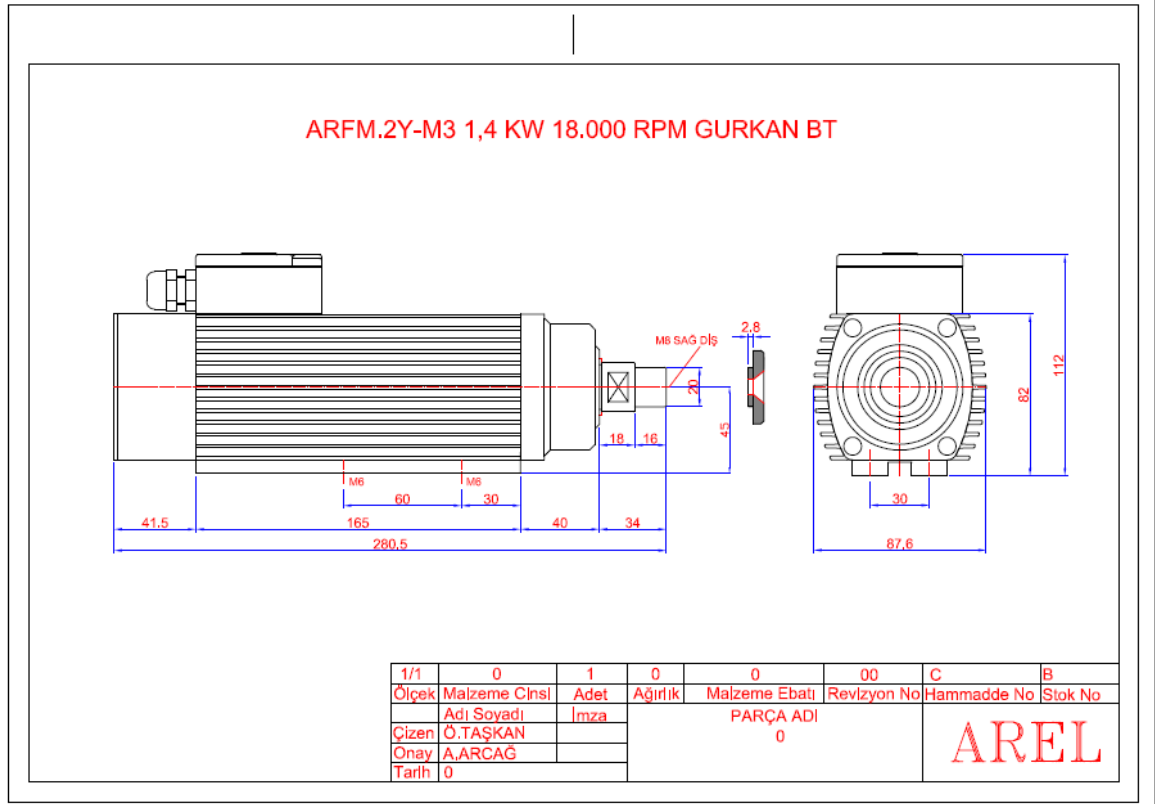
Ölçüm Belirsizliği :
Measurement Uncertainty

Beyan edilen genişletilmiş ölçüm belirsizliği, standart belirsizliğin, k=2 olarak alınan genişletme katsayısı ile çarpımı sonucunda bulunan değerdir ve %95 oranında güvenilirlik sağlamaktadır. Bu sertifikada beyan edilen sonuçlar cihazın kalibrasyon tarihindeki durumunu kapsar ve uzun dönem stabilitesi hakkında bir yorum içermez.

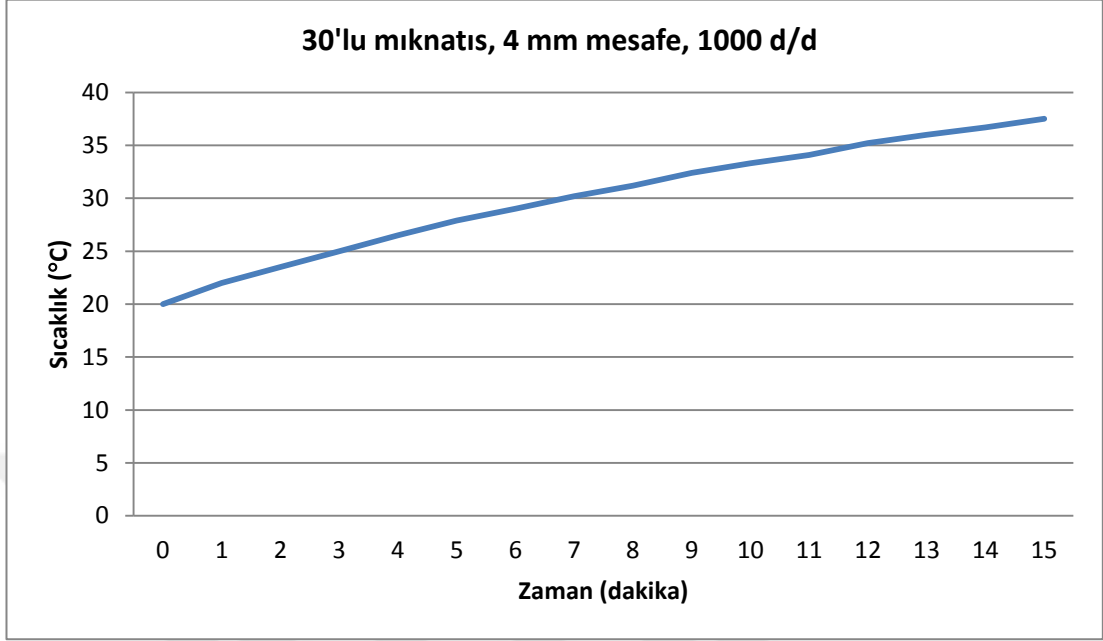
The reported expanded uncertainty of measurement is stated as the standard uncertainty of measurement multiplied by the coverage factor k =2 which for a normal distribution corresponds to a coverage probability of approximately 95%. The results reported in this certificate refer to the condition of the instrument on the date of calibration and carry no implication regarding the long-term stability of this instrument.

Açıklamalar : Ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi müşteriye bırakılmıştır.
Explanations

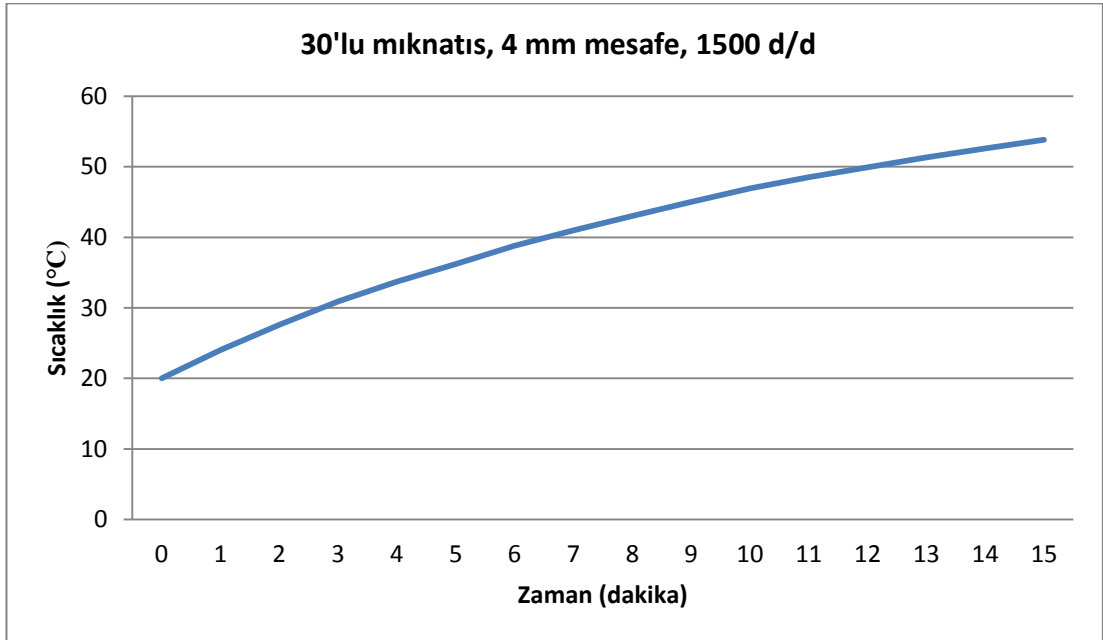
EK-3. Yüksek hız motoru boyutsal ölçüleri



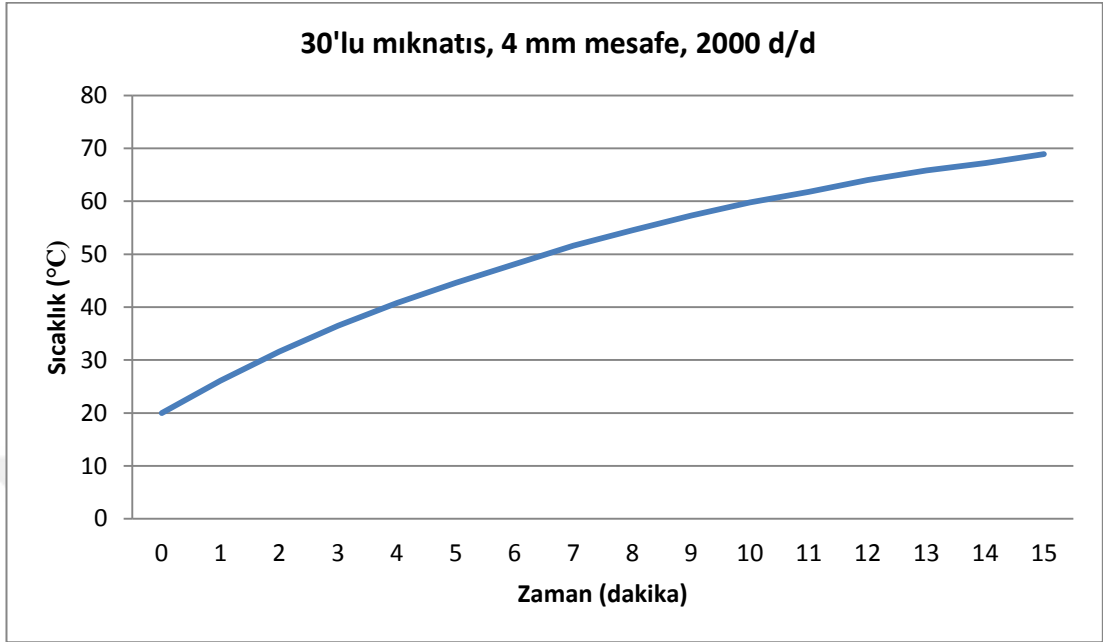
EK-4. 30'lu mıknatıs yerleşimi, 4 mm mesafe, 1000 d/d zaman-sıcaklık değişimi



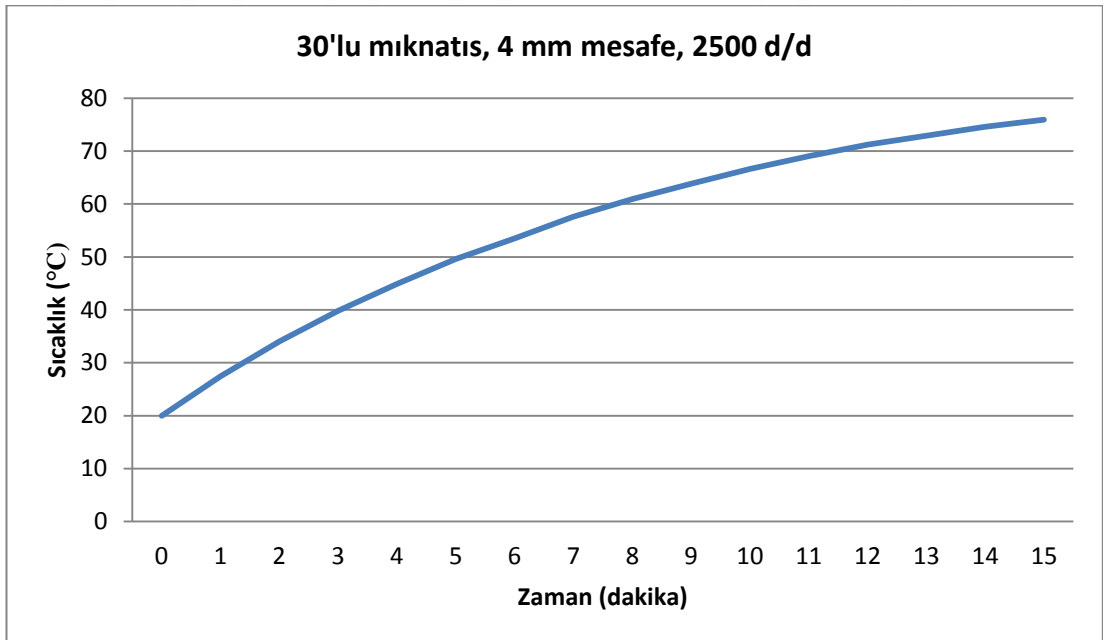
EK-5. 30'lu mıknatıs yerleşimi, 4 mm mesafe, 1500 d/d zaman-sıcaklık değişimi



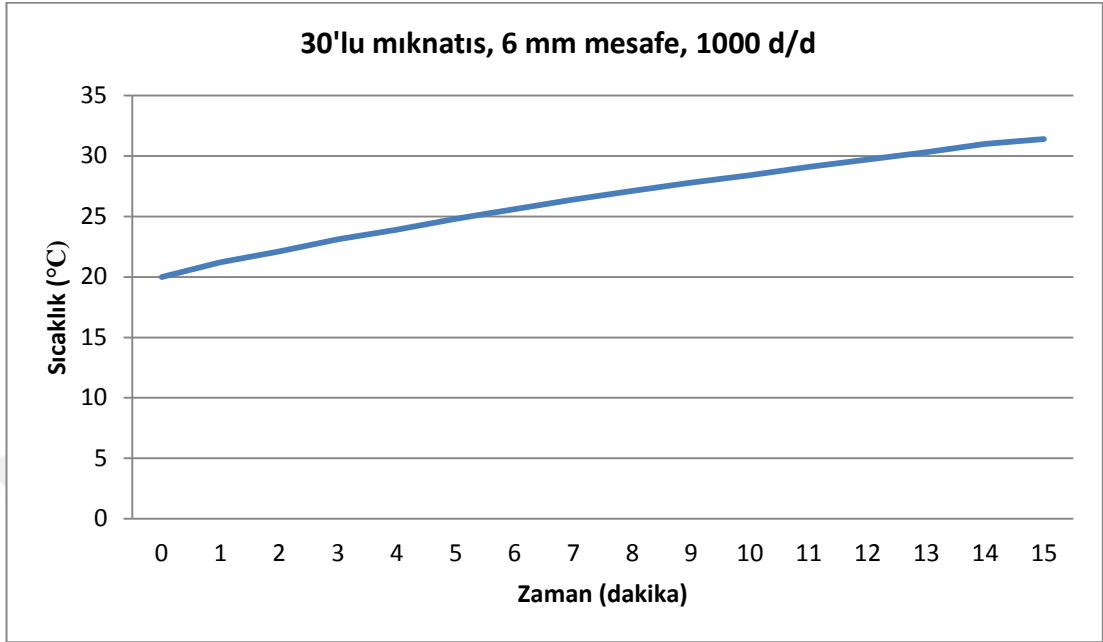
EK-6. 30'lu mıknatıs yerleşimi, 4 mm mesafe, 2000 d/d zaman-sıcaklık değişimi



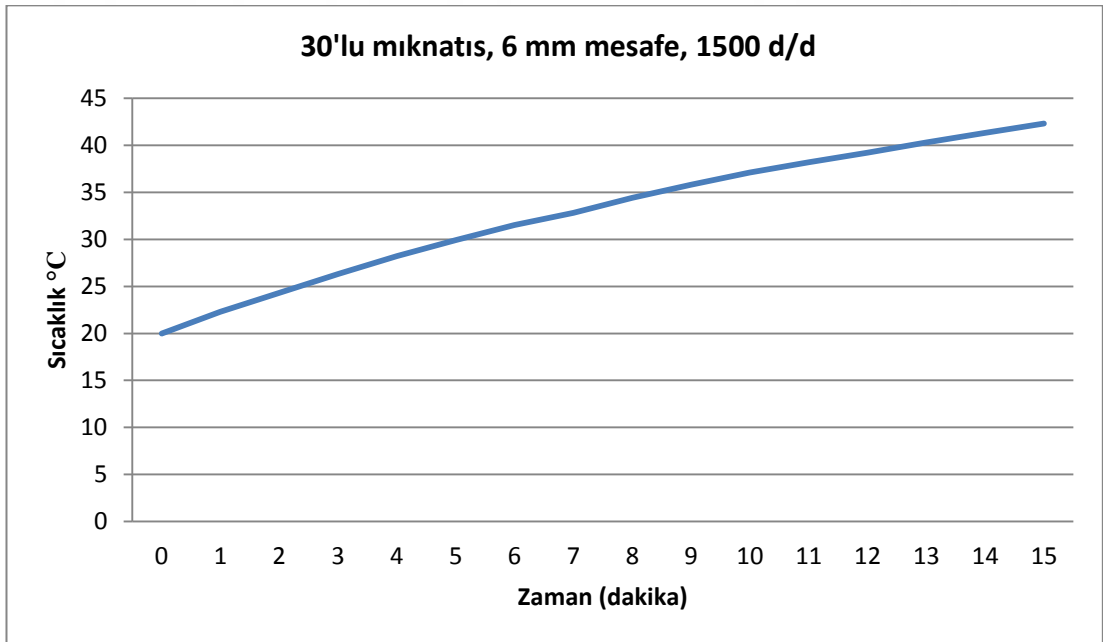
EK-7. 30'lu mıknatıs yerleşimi, 4 mm mesafe, 2500 d/d zaman-sıcaklık değişimi



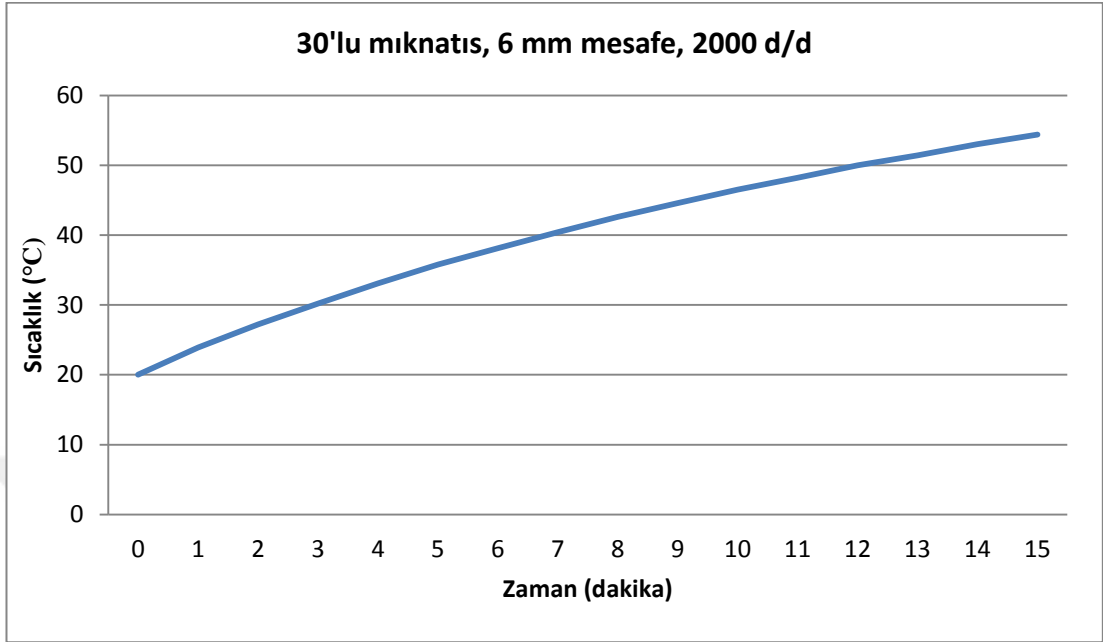
EK-8. 30'lu mıknatıs yerleşimi, 6 mm mesafe, 1000 d/d zaman-sıcaklık değişimi



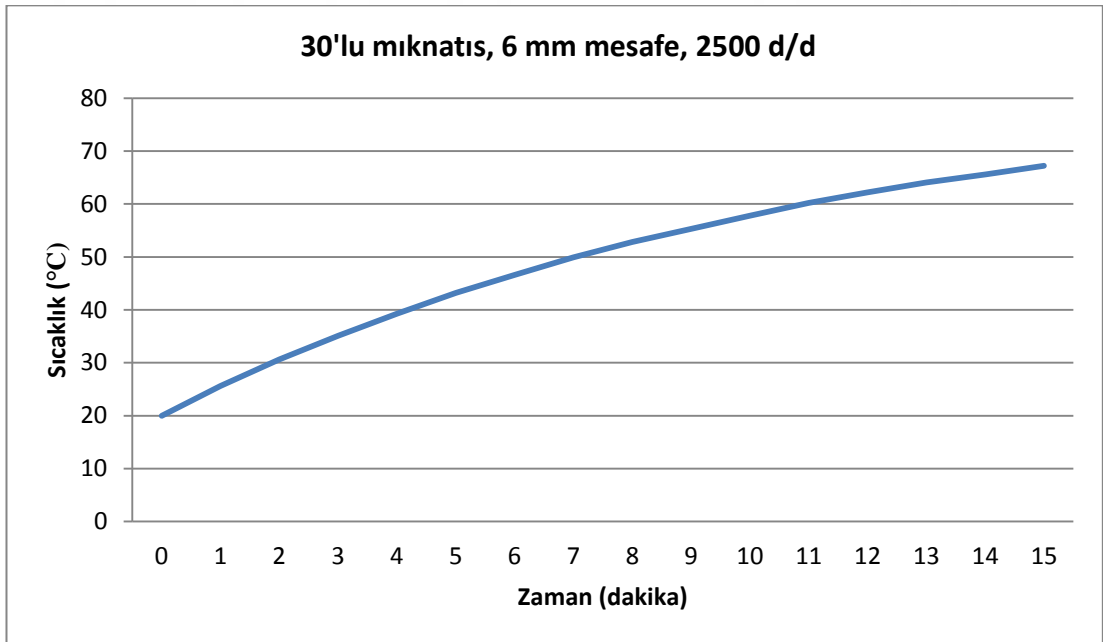
EK-9. 30'lu mıknatıs yerleşimi, 6 mm mesafe, 1500 d/d zaman-sıcaklık değişimi



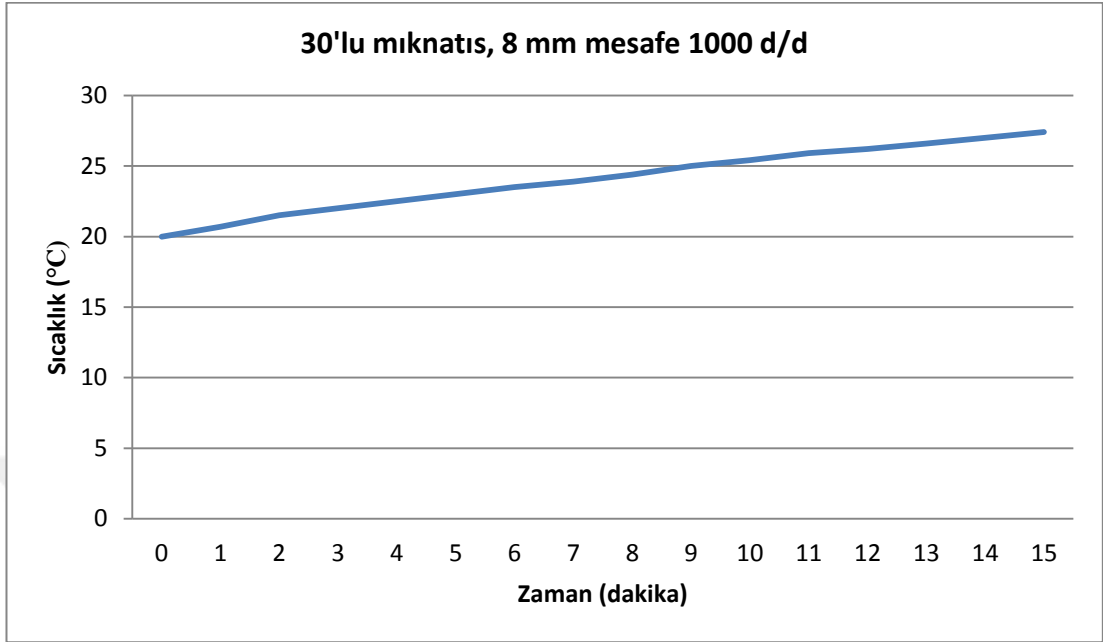
EK-10. 30'lu mıknatıs yerleşimi, 6 mm mesafe, 2000 d/d zaman-sıcaklık değişimi



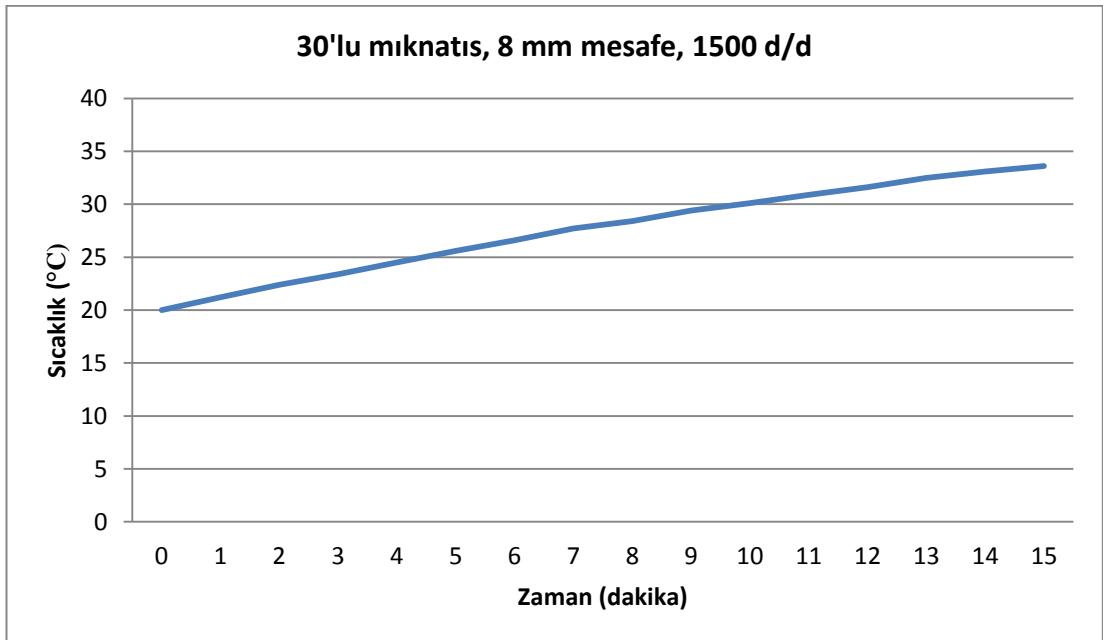
EK-11. 30'lu mıknatıs yerleşimi, 6 mm mesafe, 2500 d/d zaman-sıcaklık değişimi



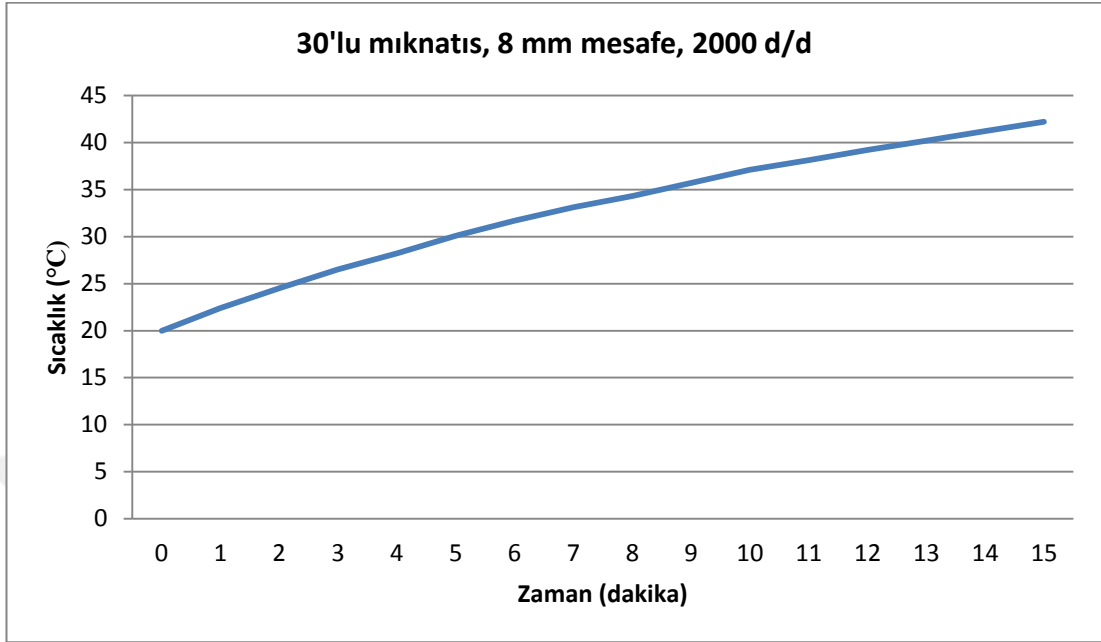
EK-12. 30'lu mıknatıs yerleşimi, 8 mm mesafe, 1000 d/d zaman-sıcaklık değişimi



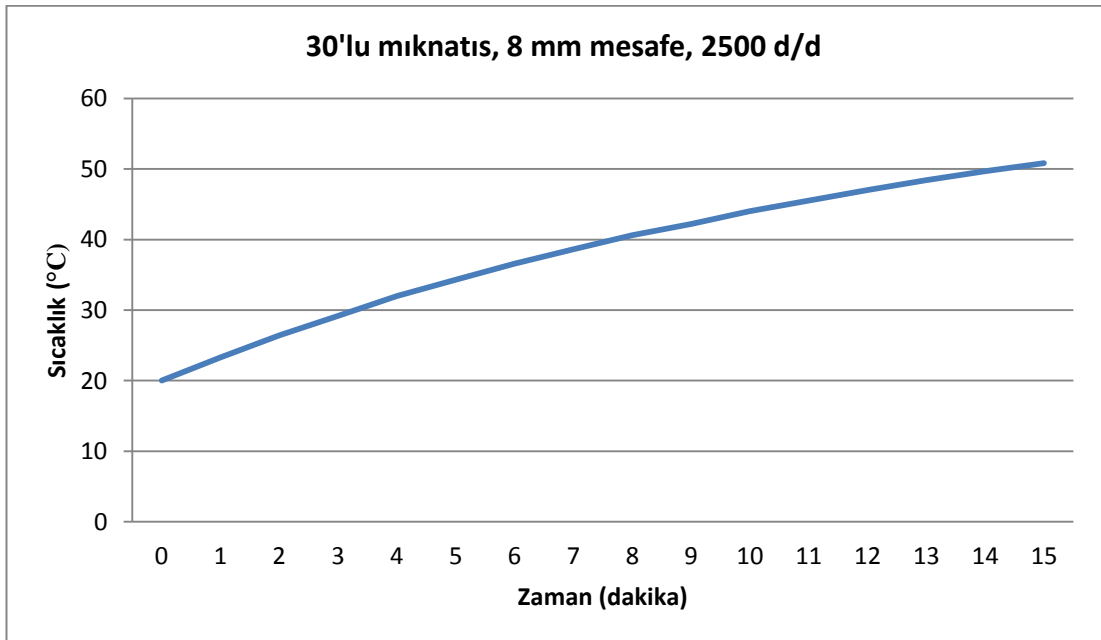
EK-13. 30'lu mıknatıs yerleşimi, 8 mm mesafe, 1500 d/d zaman-sıcaklık değişimi



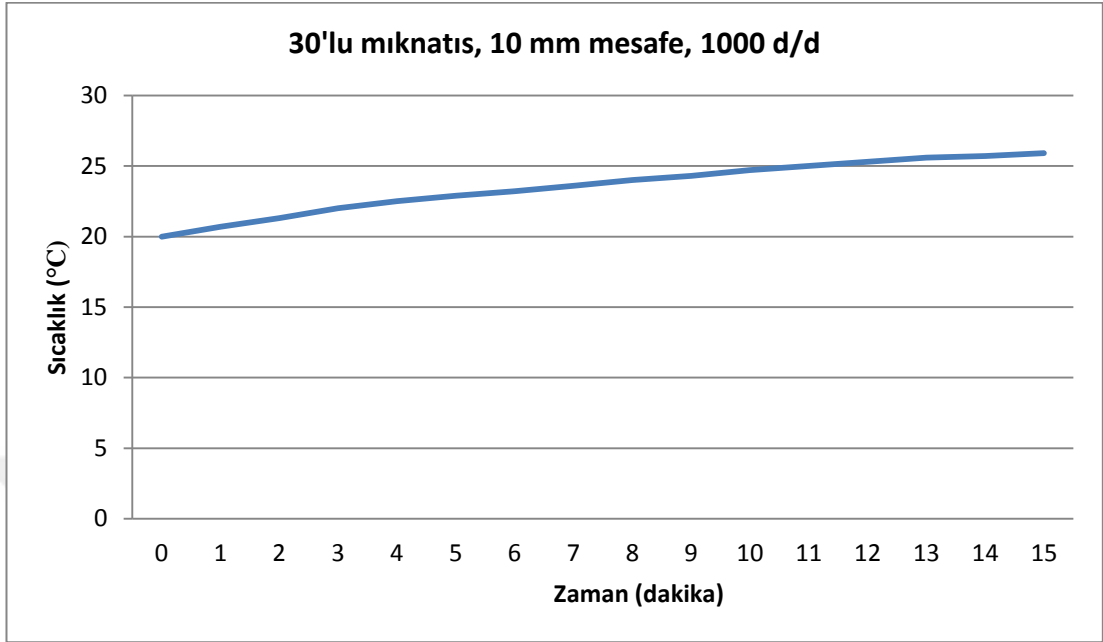
EK-14. 30'lu mıknatıs yerleşimi, 8 mm mesafe, 2000 d/d zaman-sıcaklık değişimi



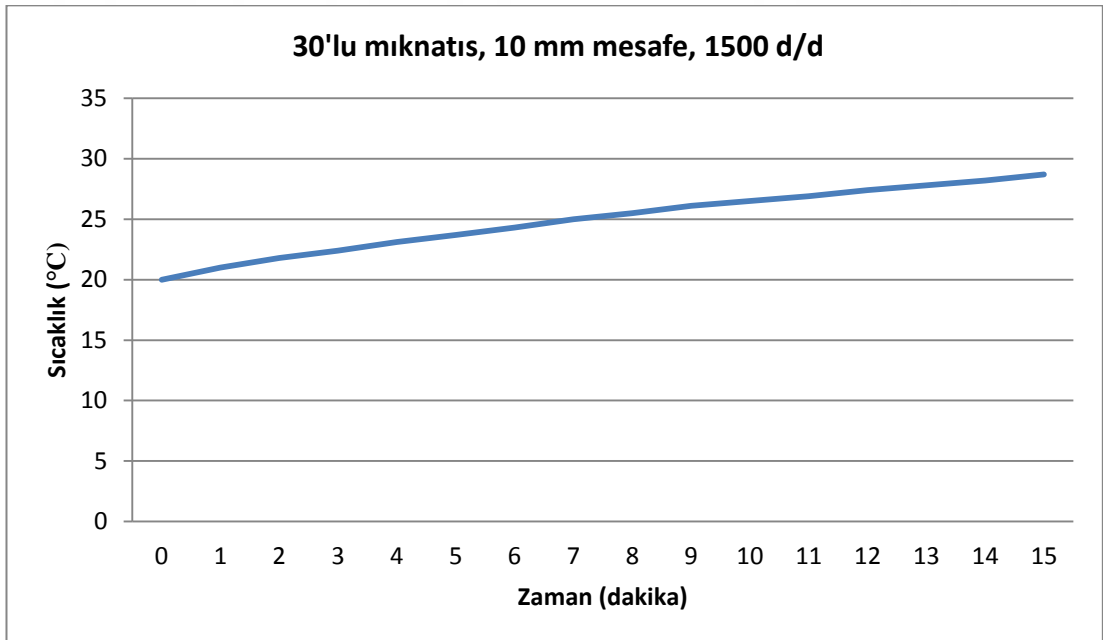
EK-15. 30'lu mıknatıs yerleşimi, 8 mm mesafe, 2500 d/d zaman-sıcaklık değişimi



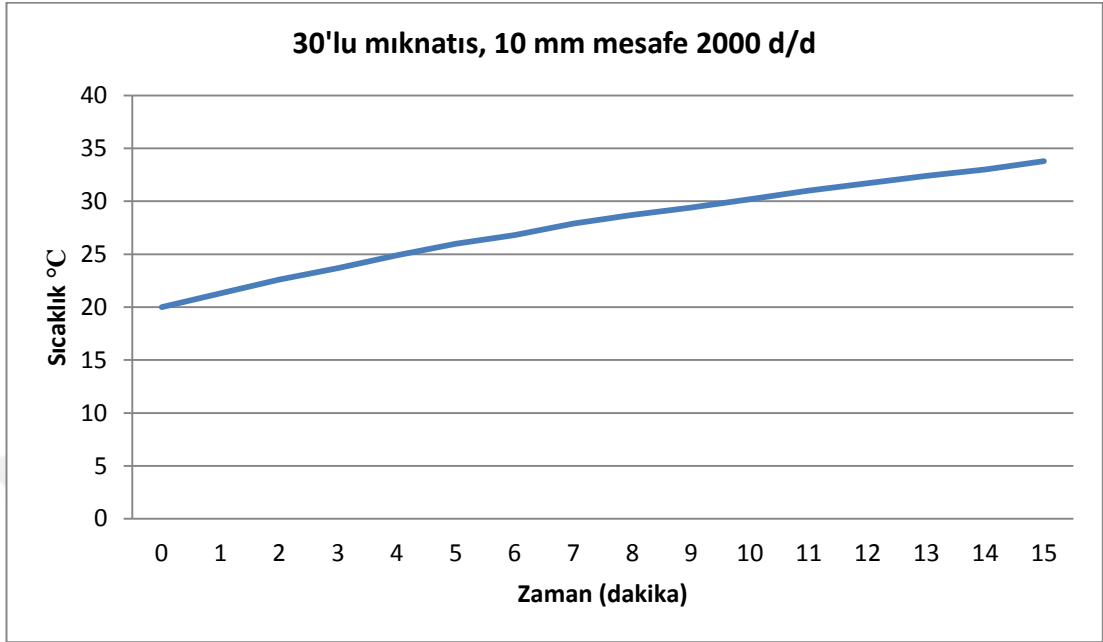
EK-16. 30'lu mıknatıs yerleşimi, 10 mm mesafe, 1000 d/d zaman-sıcaklık değişimi



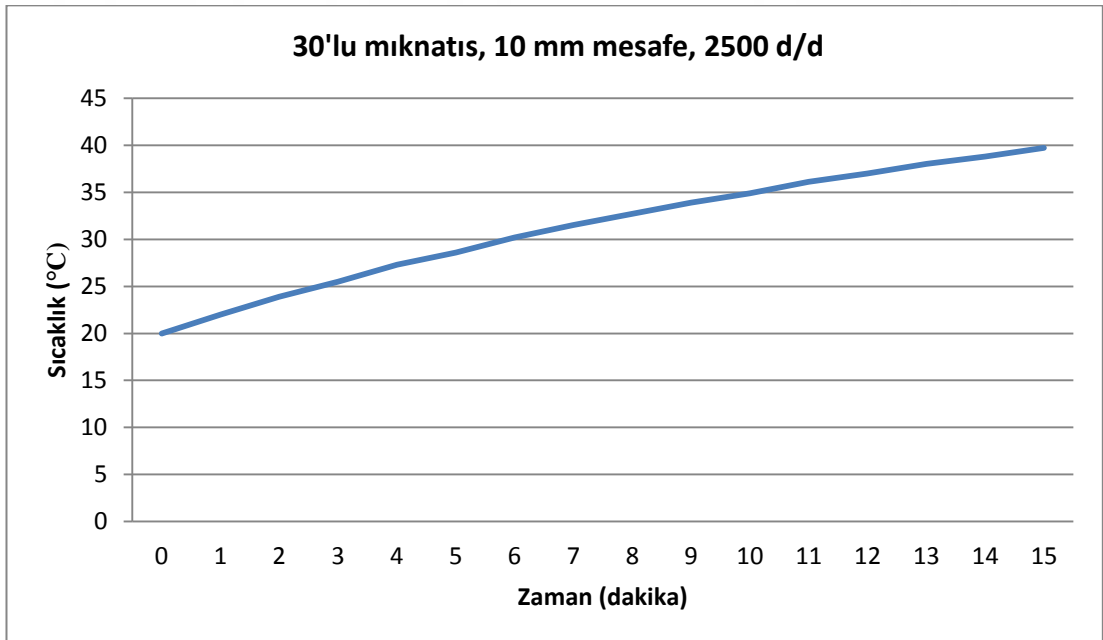
EK-17. 30'lu mıknatıs yerleşimi, 10 mm mesafe, 1500 d/d zaman-sıcaklık değişimi



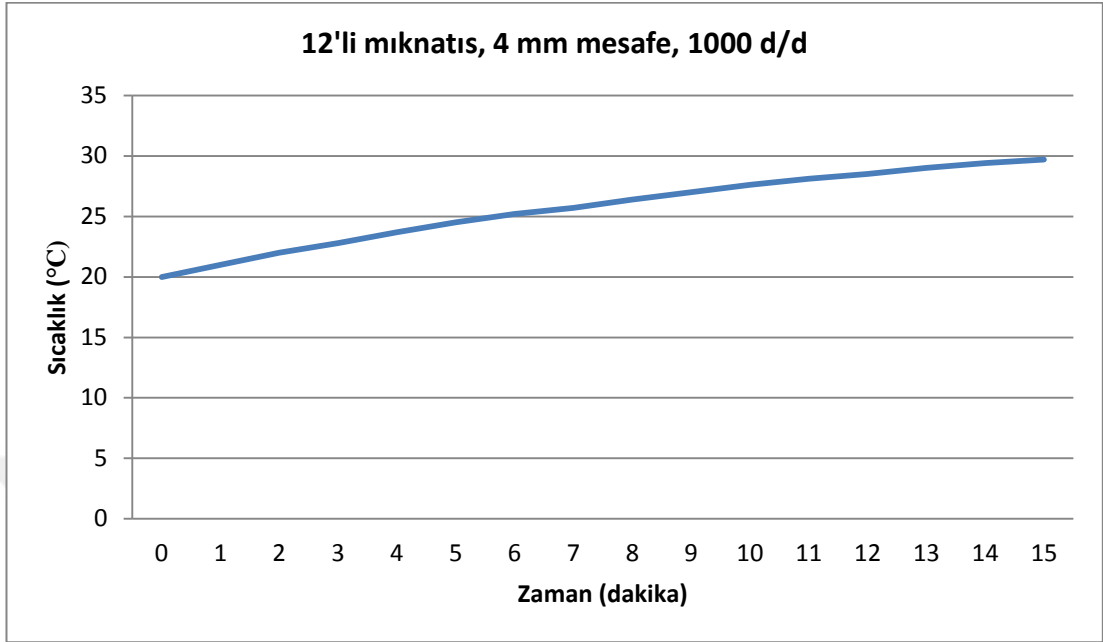
EK-18. 30'lu mıknatıs yerleşimi, 10 mm mesafe, 2000 d/d zaman-sıcaklık değişimi



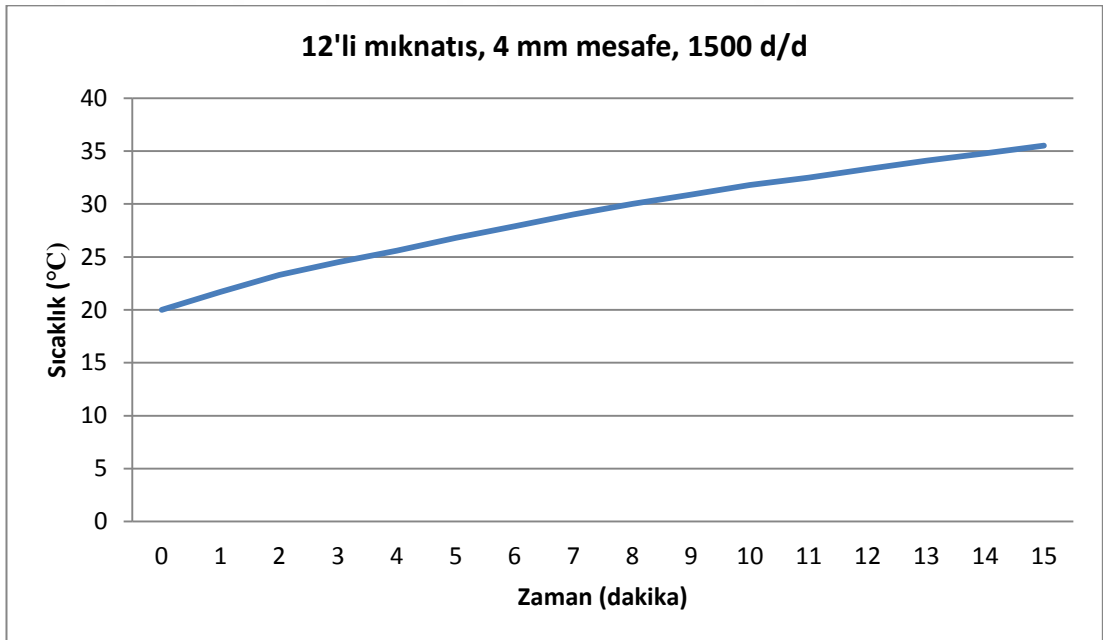
EK-19. 30'lu mıknatıs yerleşimi, 10 mm mesafe, 2500 d/d zaman-sıcaklık değişimi



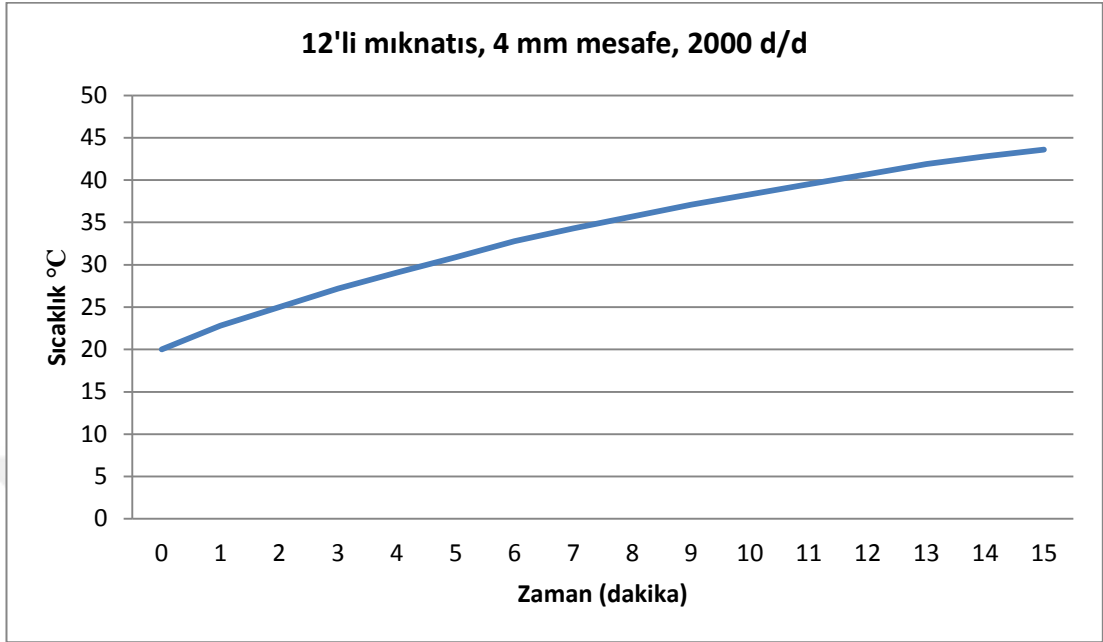
EK-20. 12'li mıknatıs yerleşimi, 4 mm mesafe, 1000 d/d zaman-sıcaklık değişimi



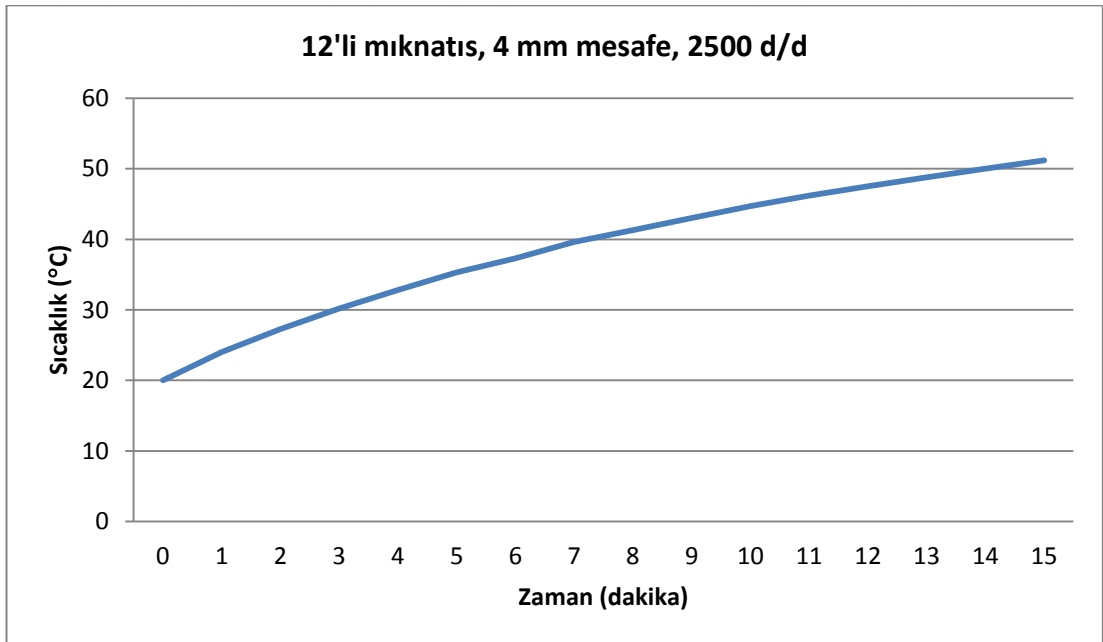
EK-21. 12'li mıknatıs yerleşimi, 4 mm mesafe, 1500 d/d zaman-sıcaklık değişimi



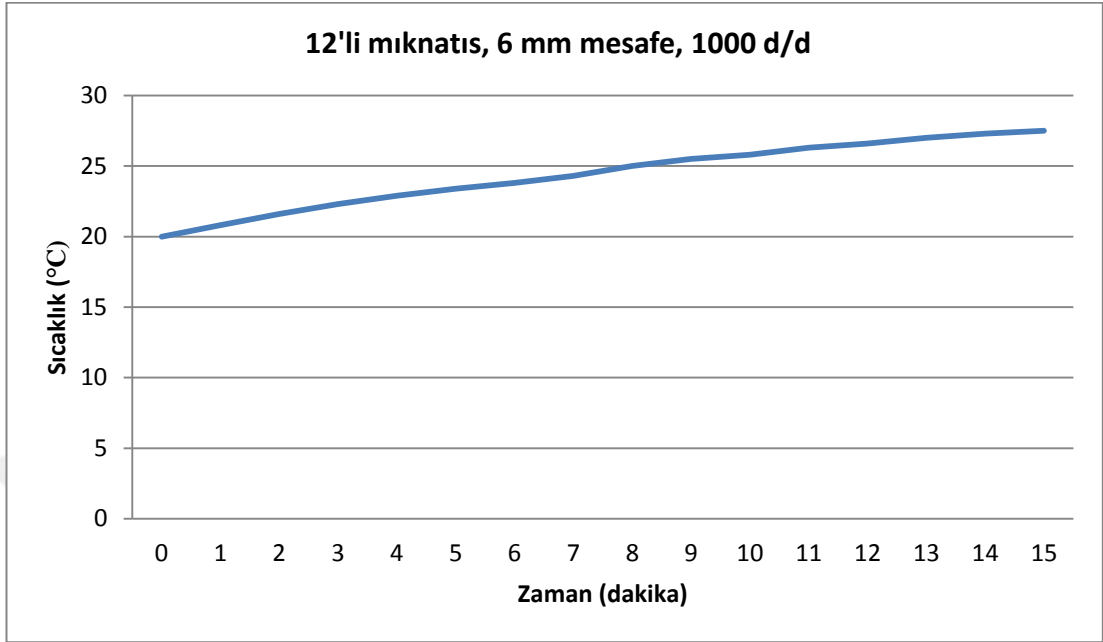
EK-22. 12'li mıknatıs yerleşimi, 4 mm mesafe, 2000 d/d zaman-sıcaklık değişimi



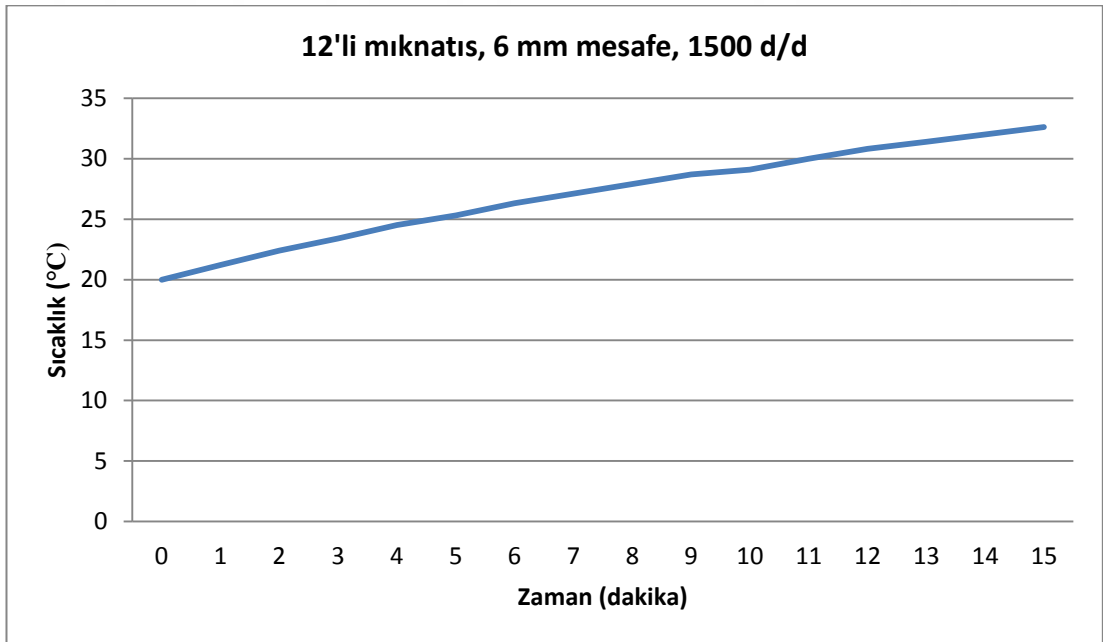
EK-23. 12'li mıknatıs yerleşimi, 4 mm mesafe, 2500 d/d zaman-sıcaklık değişimi



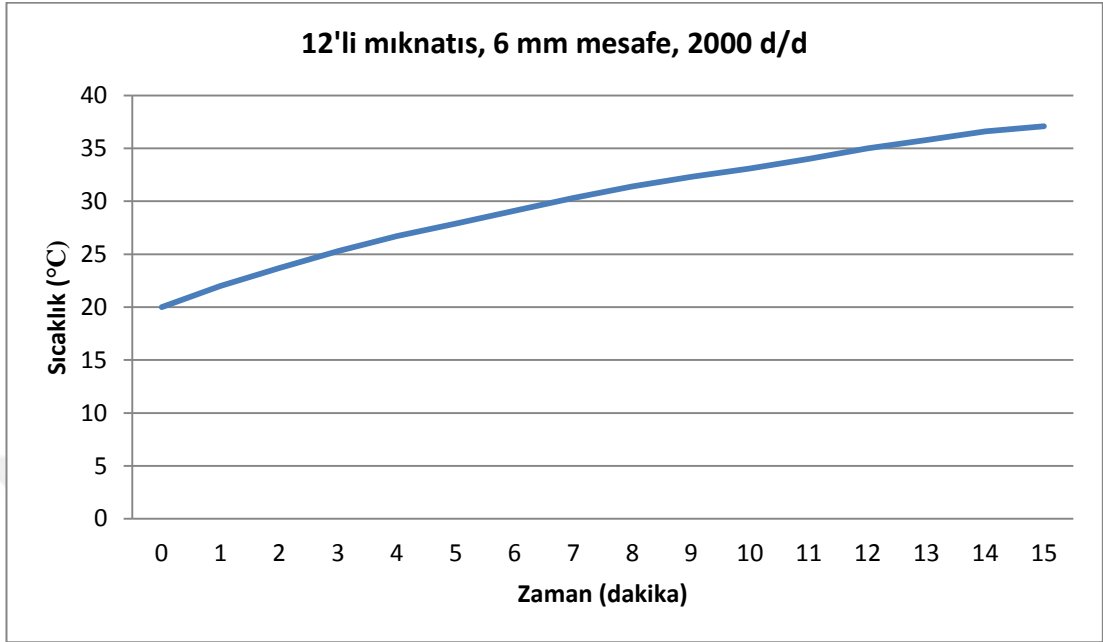
EK-24. 12'li mıknatıs yerleşimi, 6 mm mesafe, 1000 d/d zaman-sıcaklık değişimi



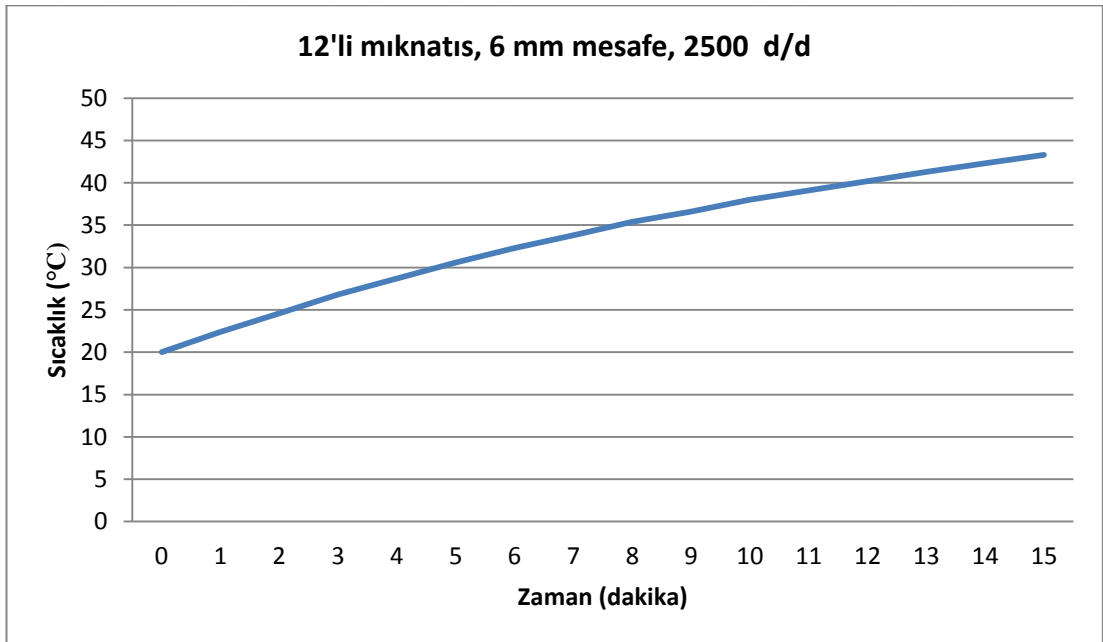
EK-25. 12'li mıknatıs yerleşimi, 6 mm mesafe, 1500 d/d zaman-sıcaklık değişimi



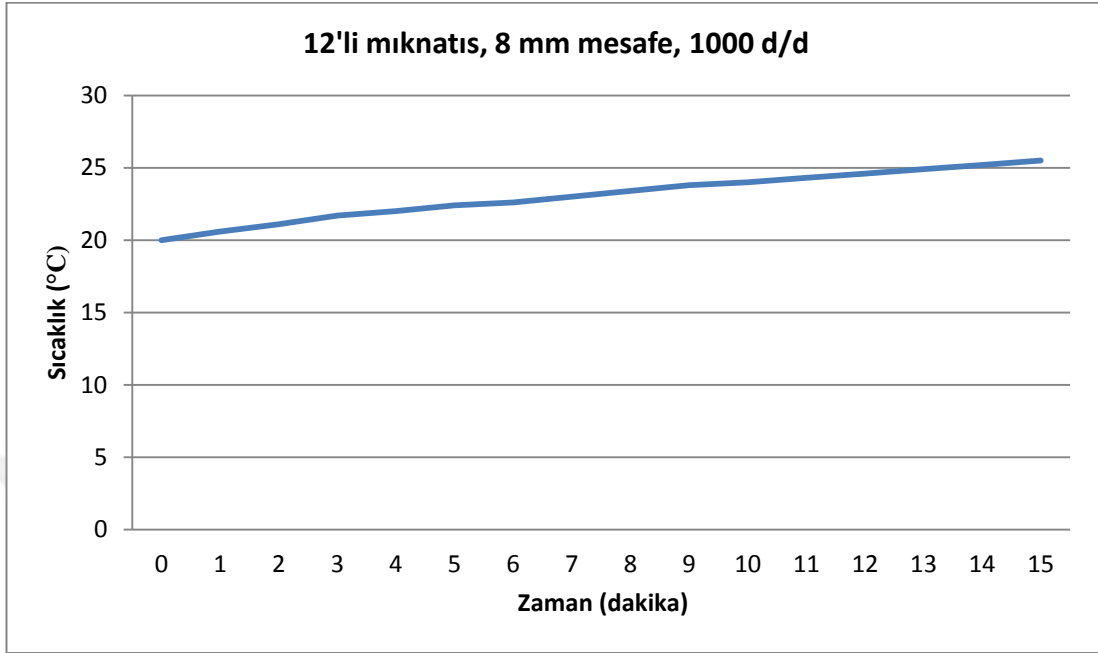
EK-26. 12'li mıknatıs yerleşimi, 6 mm mesafe, 2000 d/d zaman-sıcaklık değişimi



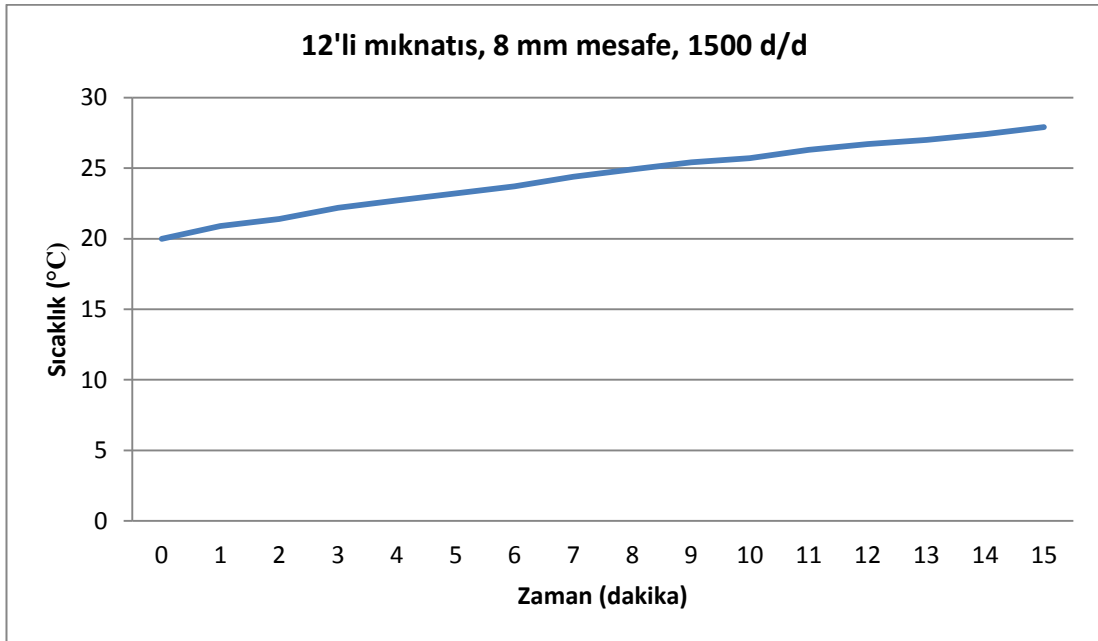
EK-27. 12'li mıknatıs yerleşimi, 6 mm mesafe, 2500 d/d zaman-sıcaklık değişimi



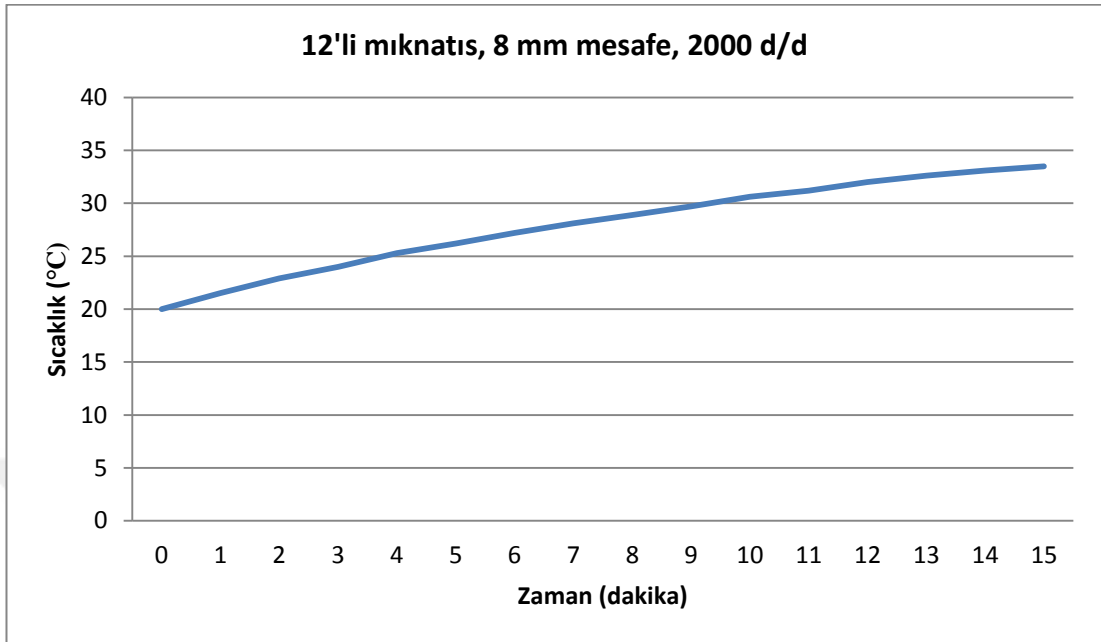
EK-28. 12'li mıknatıs yerleşimi, 8 mm mesafe, 1000 d/d zaman-sıcaklık değişimi



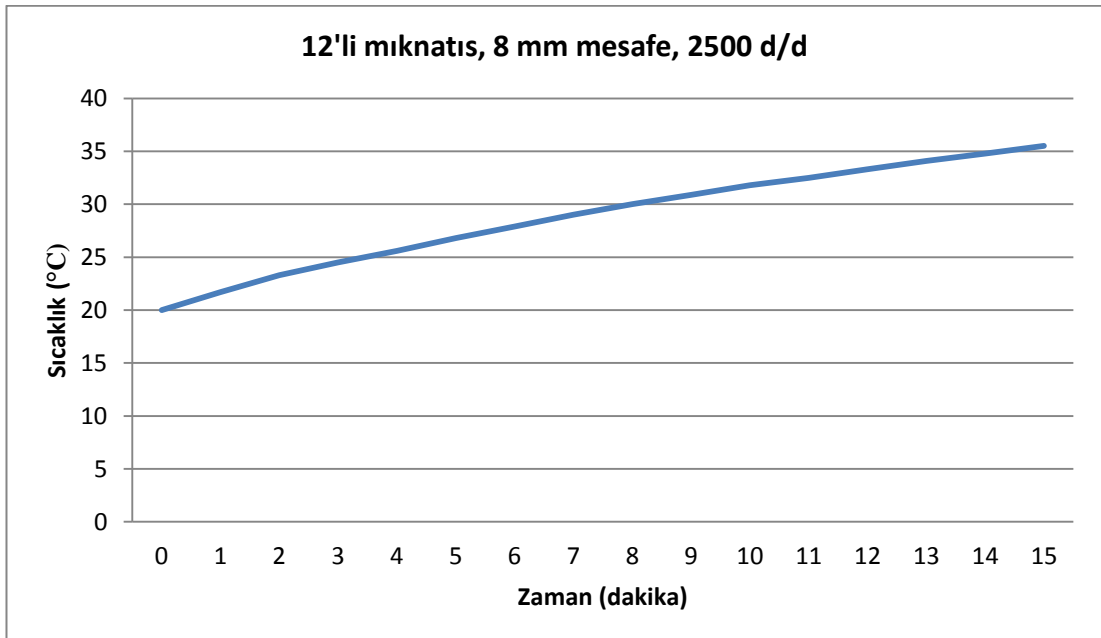
EK-29. 12'li mıknatıs yerleşimi, 8 mm mesafe, 1500 d/d zaman-sıcaklık değişimi



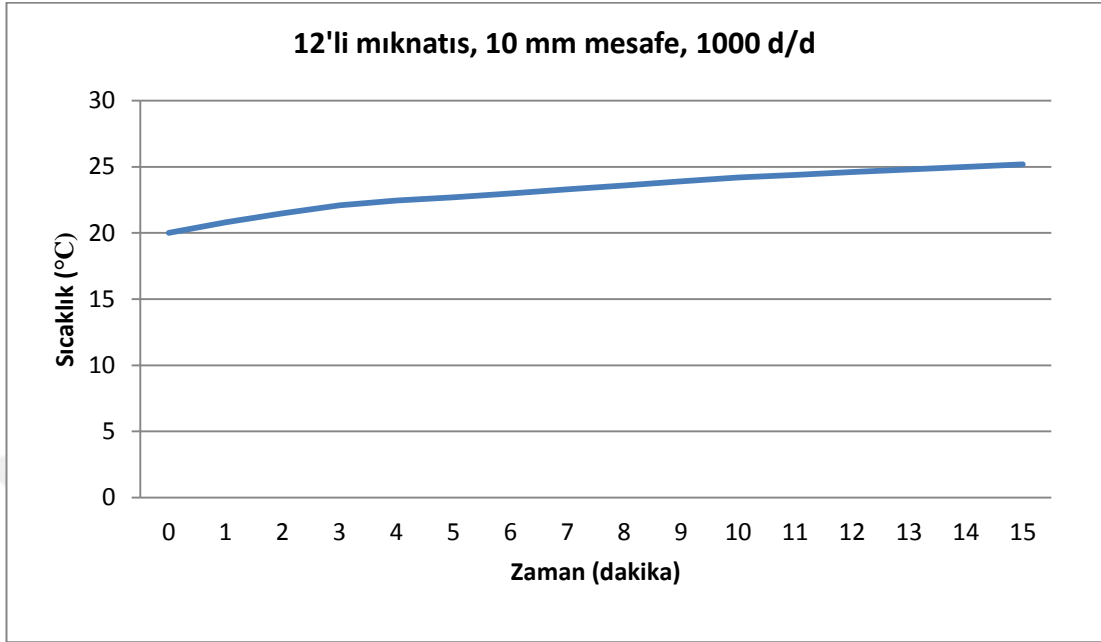
EK-30. 12'li mıknatıs yerleşimi, 8 mm mesafe, 2000 d/d zaman-sıcaklık değişimi



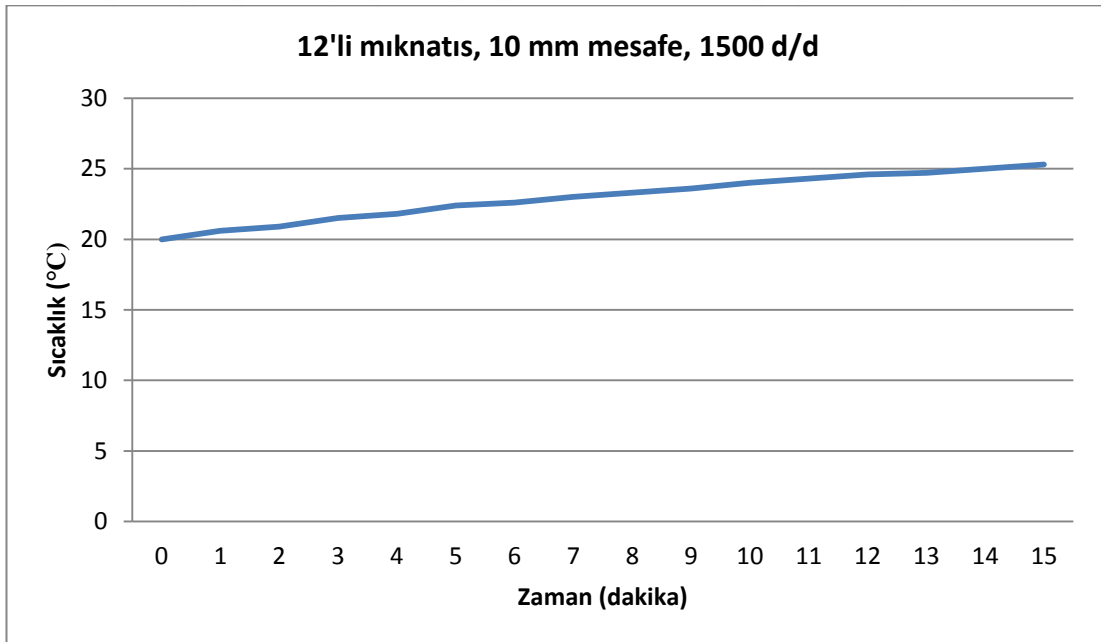
EK-31. 12'li mıknatıs yerleşimi, 8 mm mesafe, 2500 d/d zaman-sıcaklık değişimi



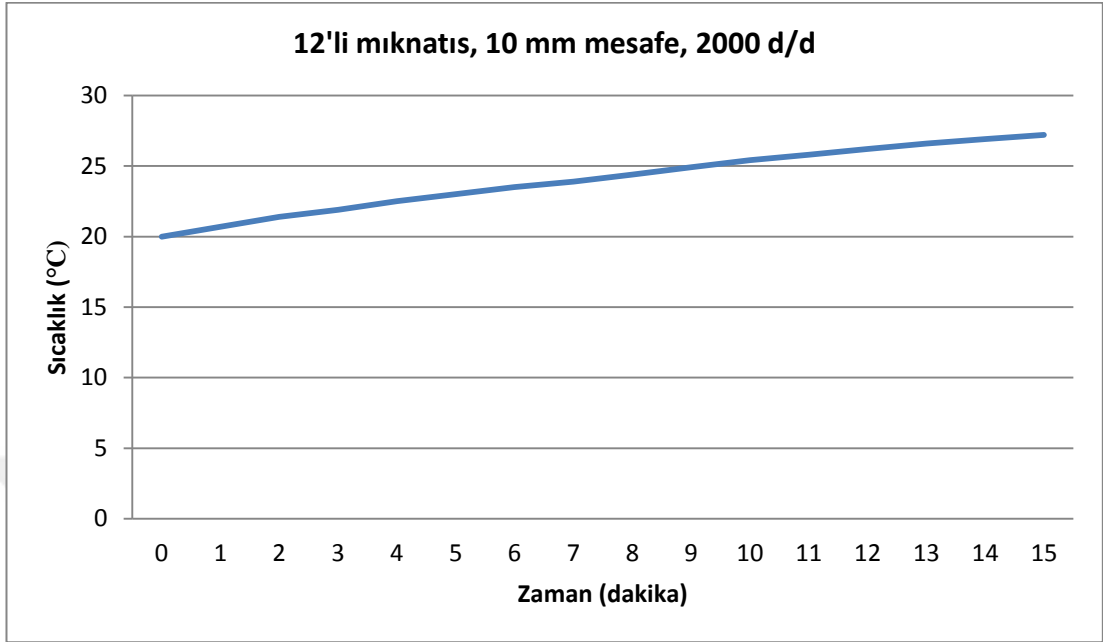
EK-32. 12'li mıknatıs yerleşimi, 10 mm mesafe, 1000 d/d zaman-sıcaklık değişimi



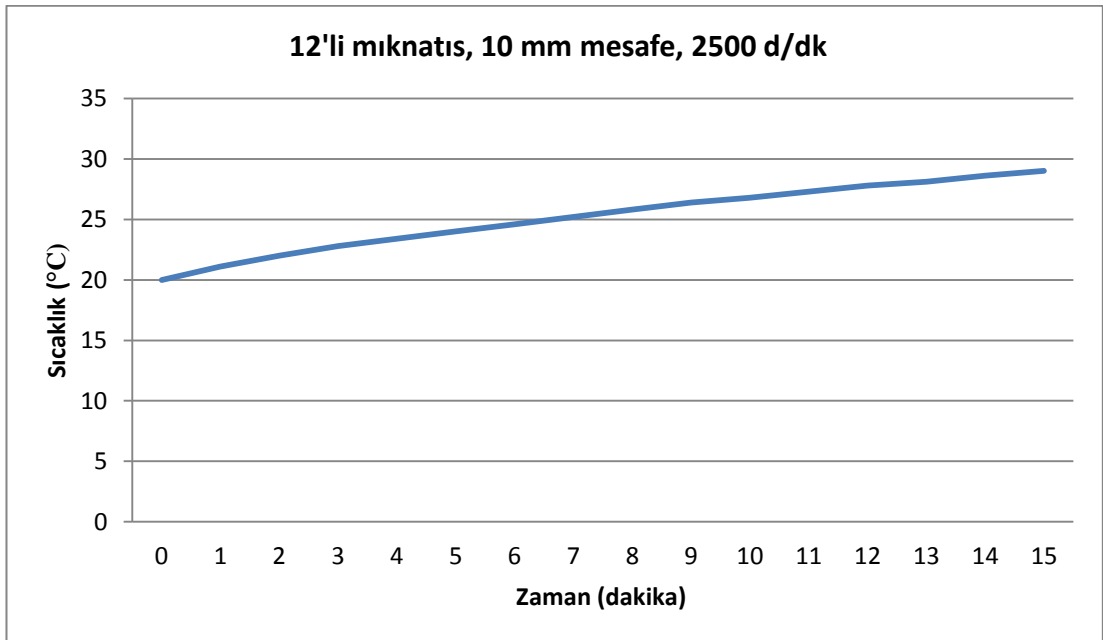
EK-33. 12'li mıknatıs yerleşimi, 10 mm mesafe, 1500 d/d zaman-sıcaklık değişimi



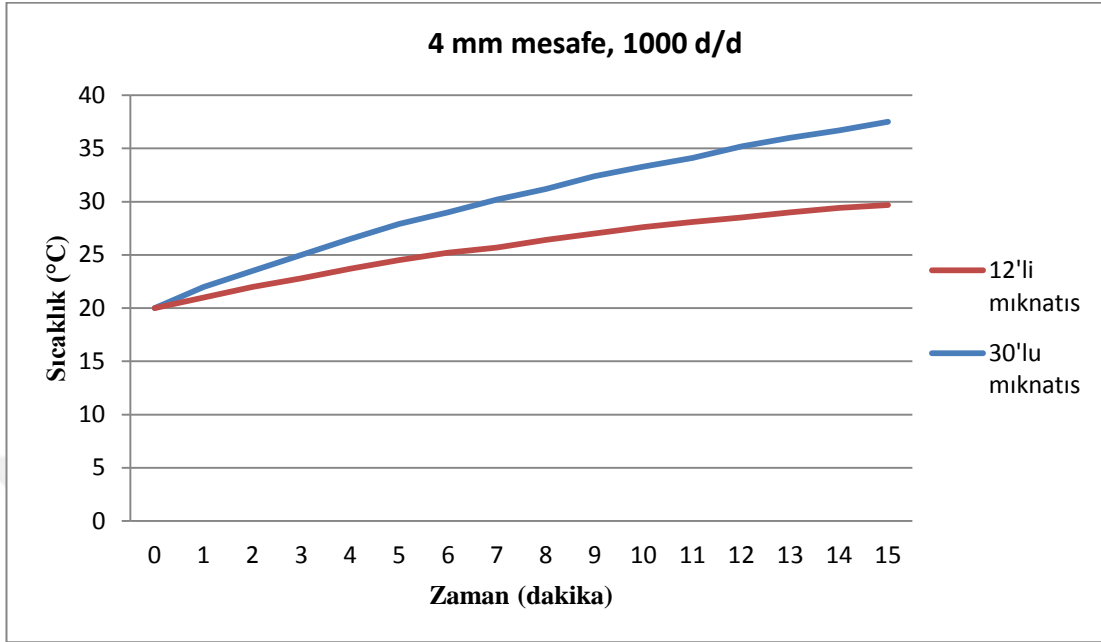
EK-34. 12'li mıknatıs yerleşimi, 10 mm mesafe, 2000 d/d zaman-sıcaklık değişimi



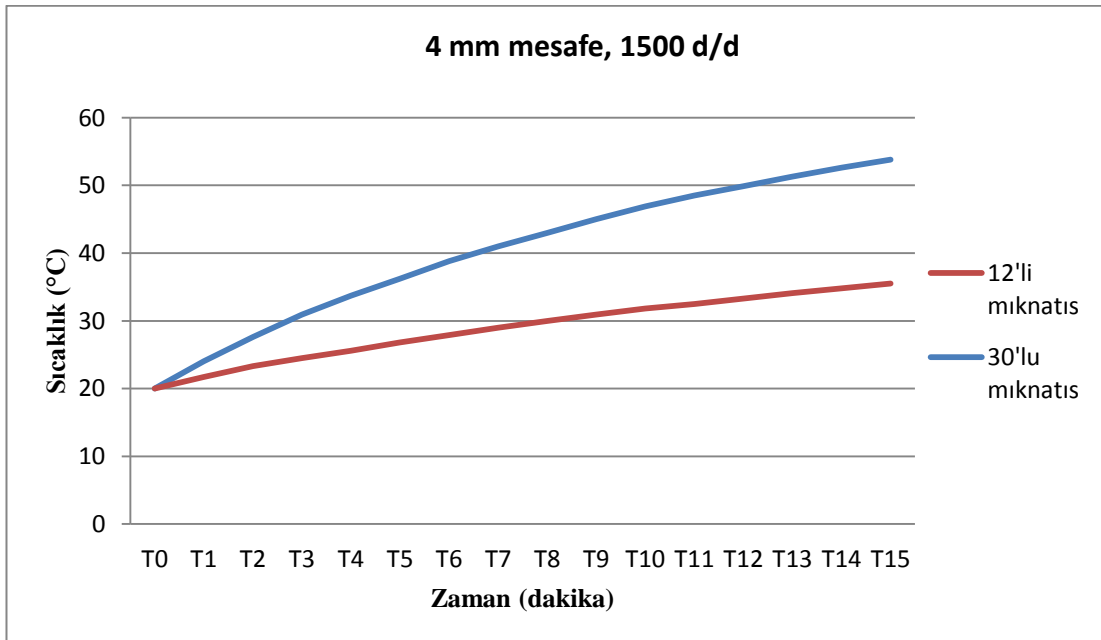
EK-35. 12'li mıknatıs yerleşimi, 10 mm mesafe, 2500 d/d zaman-sıcaklık değişimi



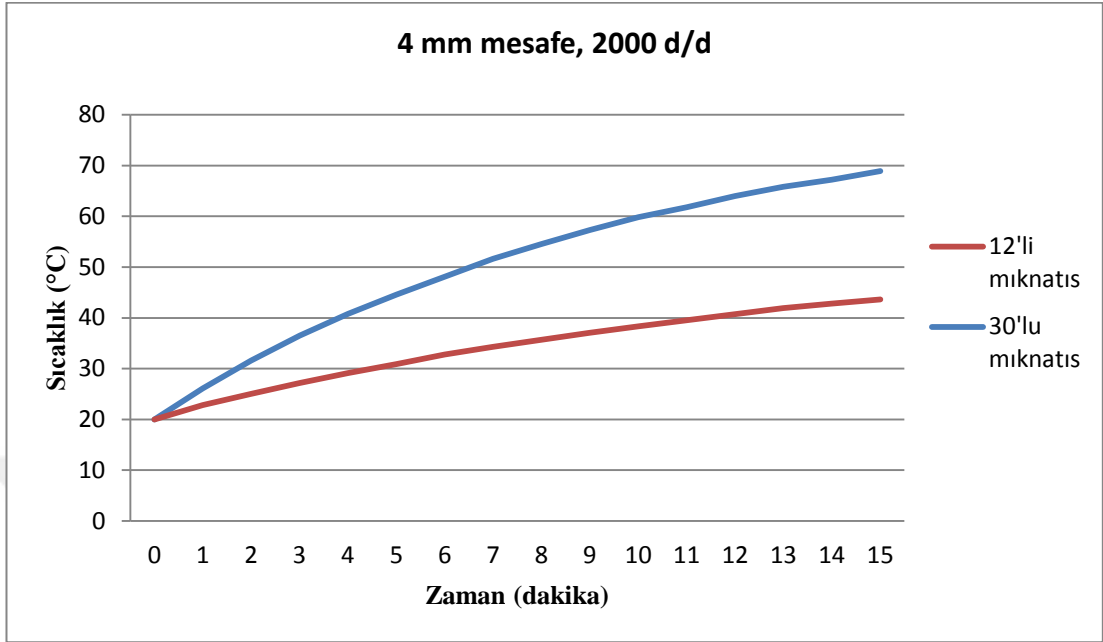
EK-36. 4 mm, 1000 d/d mıknatıs sayısına bağlı zaman-sıcaklık değişimi



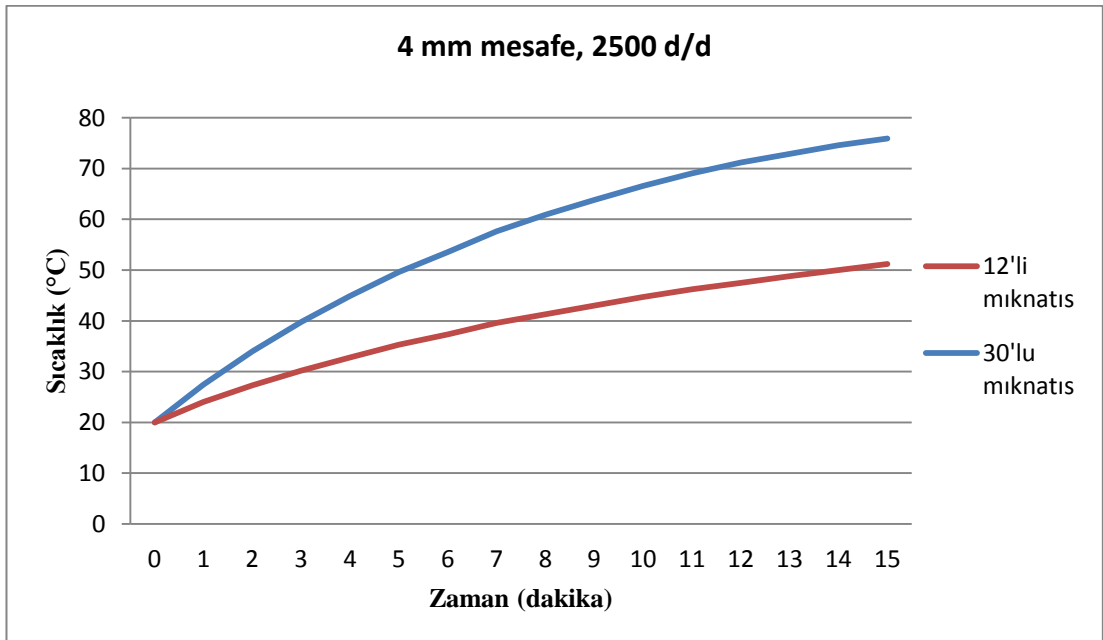
EK-37. 4 mm, 1500 d/d mıknatıs sayısına bağlı zaman-sıcaklık değişimi



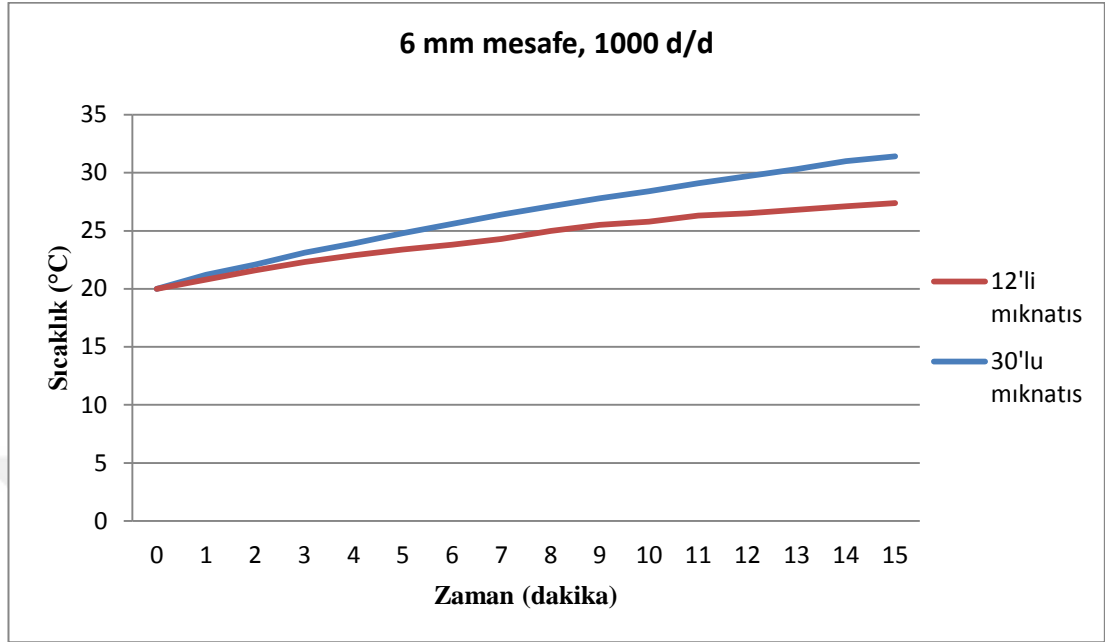
EK-38. 4 mm, 2000 d/d mıknatıs sayısına bağlı zaman-sıcaklık değişimi



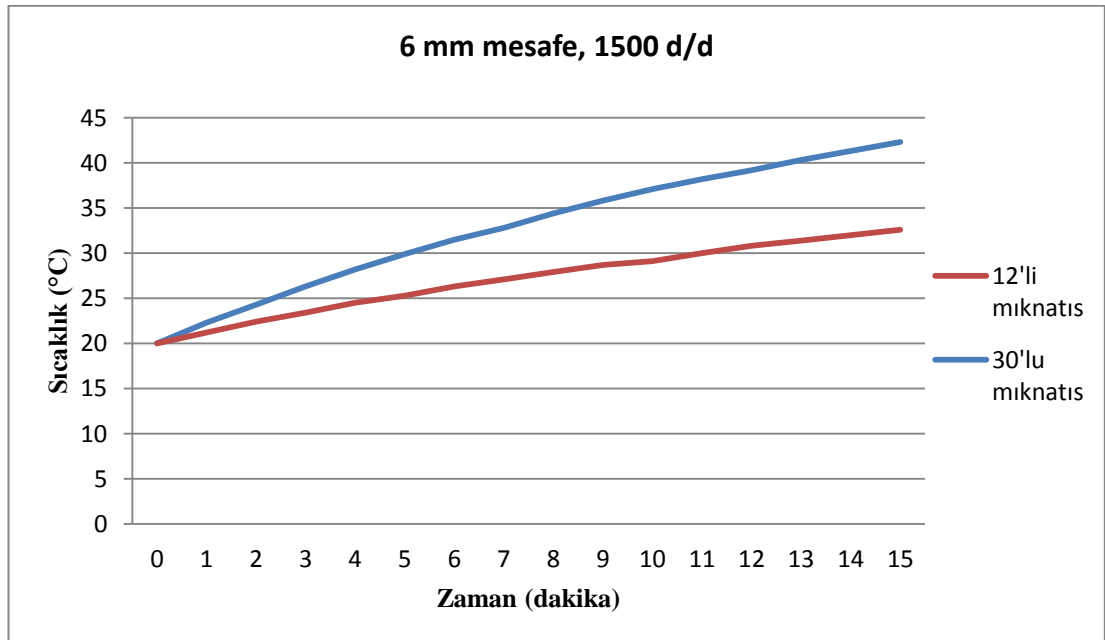
EK-39. 4 mm, 2500 d/d mıknatıs sayısına bağlı zaman-sıcaklık değişimi



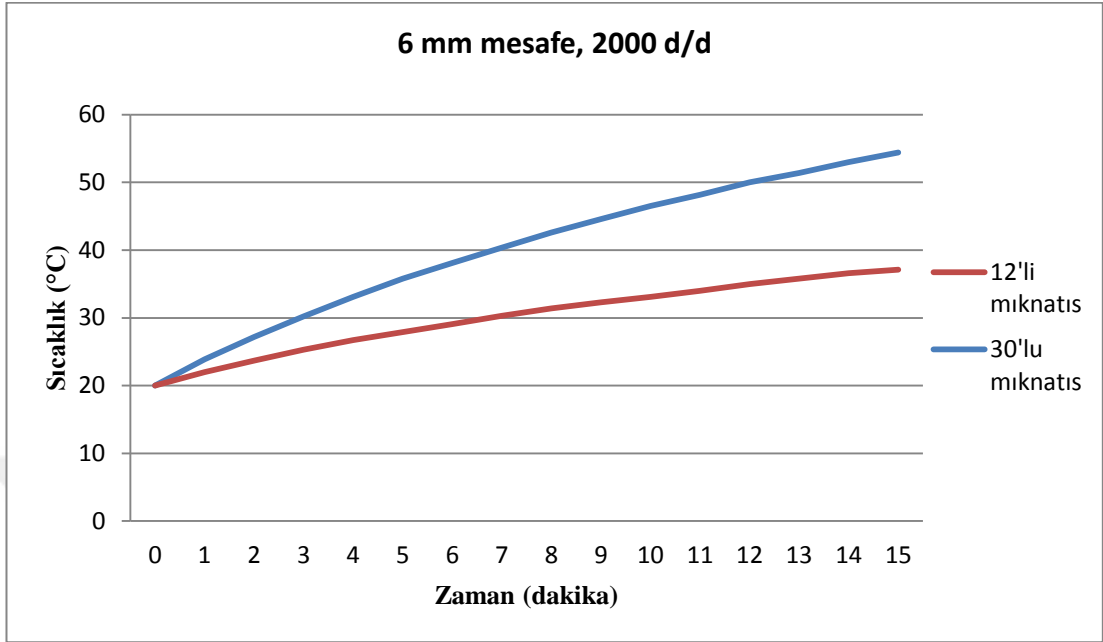
EK-40. 6 mm 1000, d/d mıknatıs sayısına bağlı zaman-sıcaklık değişimi



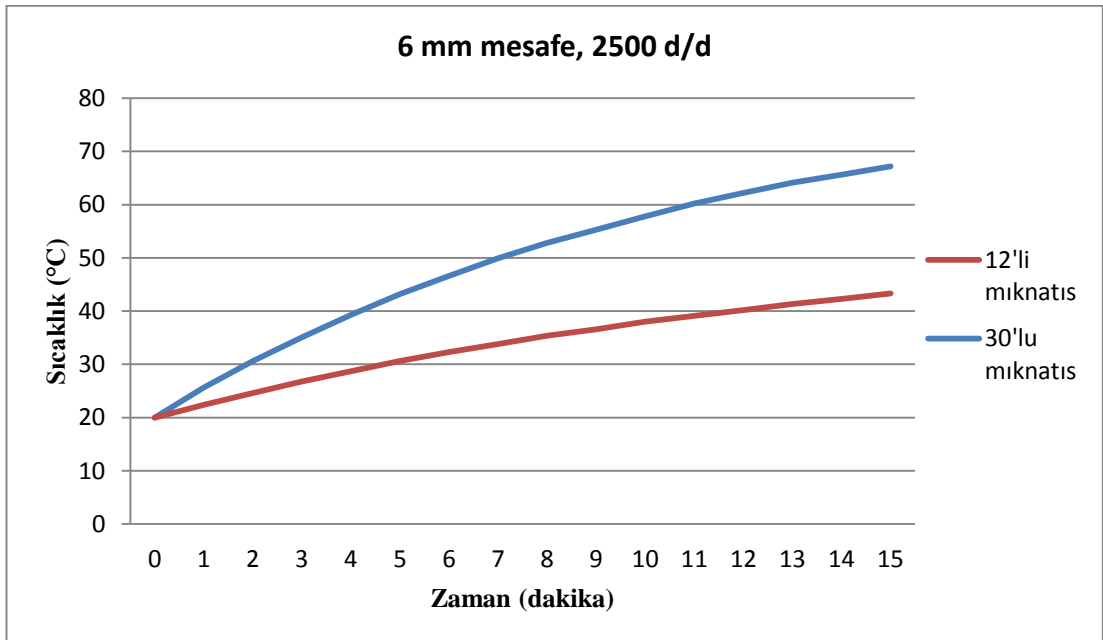
EK-41. 6 mm, 1500 d/d mıknatıs sayısına bağlı zaman-sıcaklık değişimi



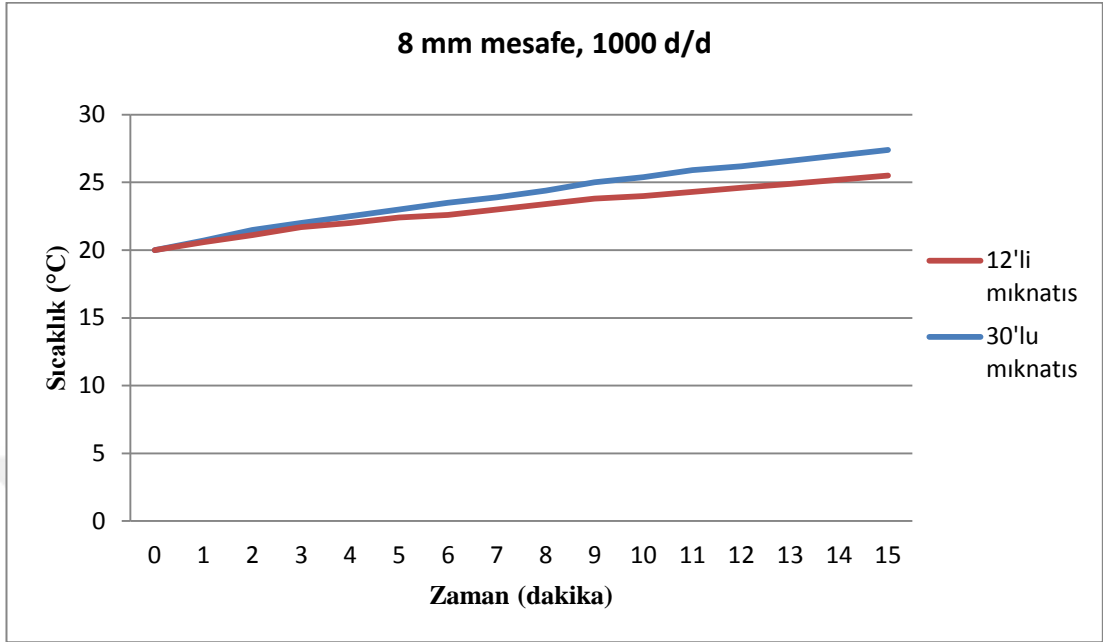
EK-42. 6 mm, 2000 d/d mıknatıs sayısına bağlı zaman-sıcaklık değişimi



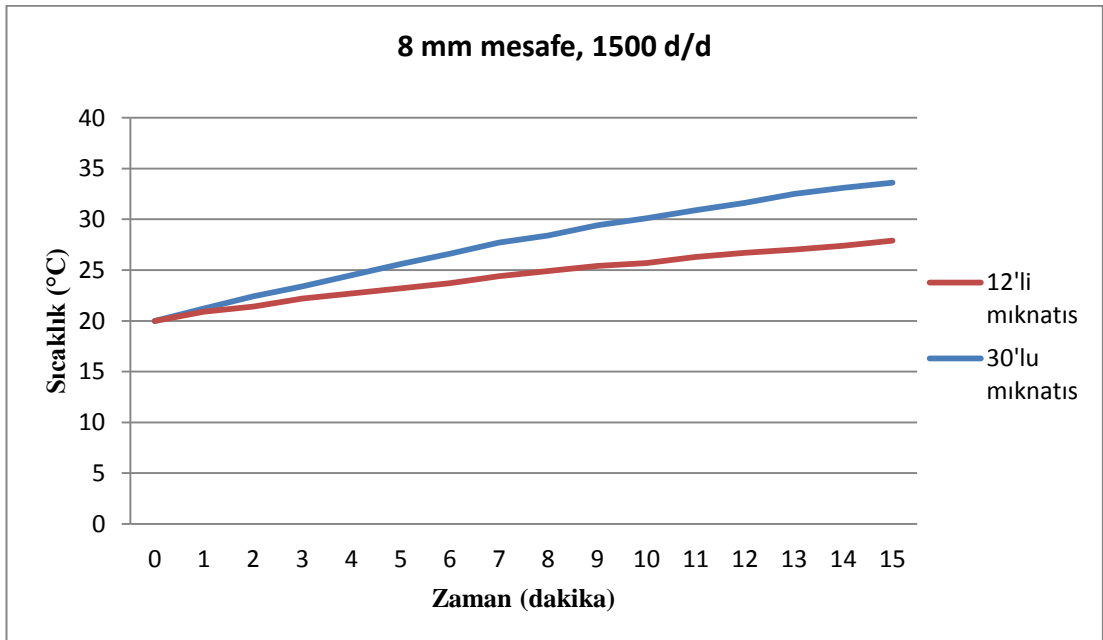
EK-43. 6 mm, 2500 d/d mıknatıs sayısına bağlı zaman-sıcaklık değişimi



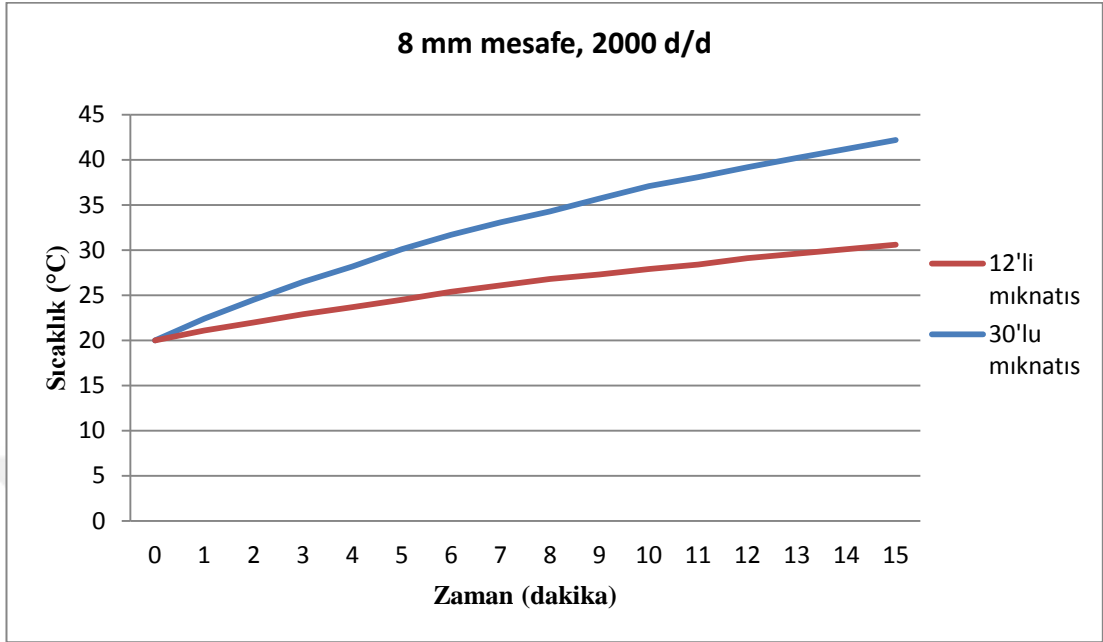
EK-44. 8 mm, 1000 d/d mıknatıs sayısına bağlı zaman-sıcaklık değişimi



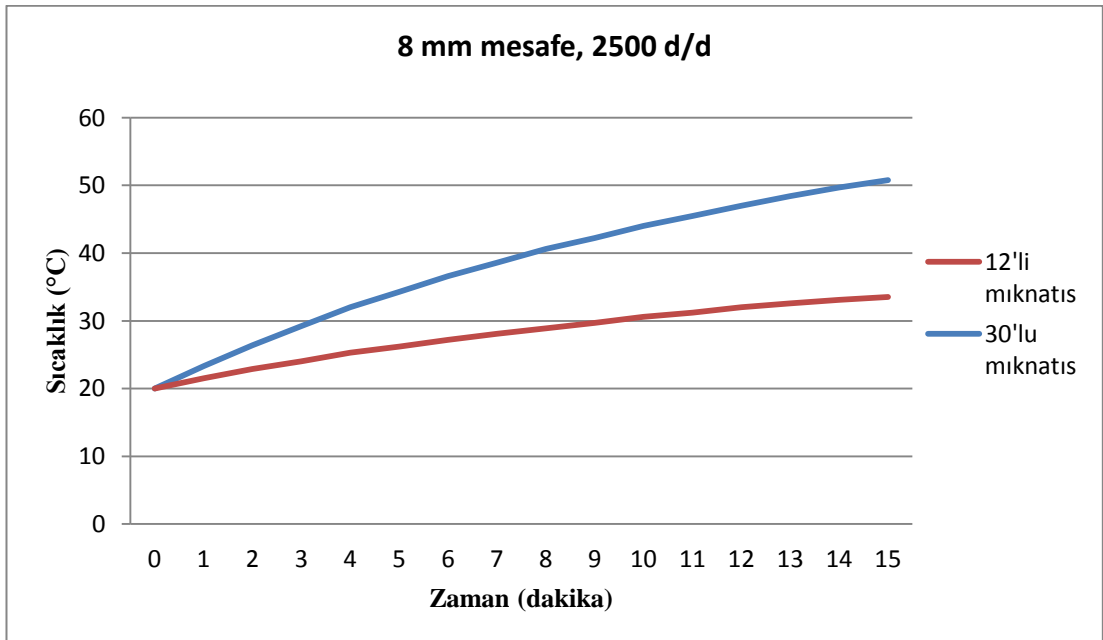
EK-45. 8 mm, 1500 d/d mıknatıs sayısına bağlı zaman-sıcaklık değişimi



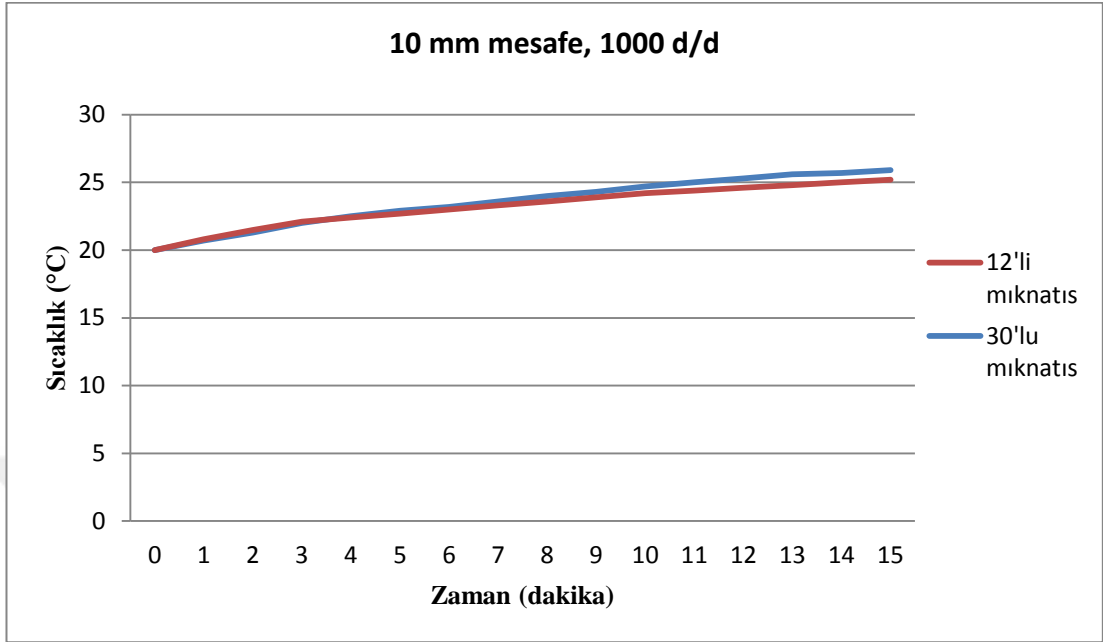
EK-46. 8 mm, 2000 d/d mıknatıs sayısına bağlı zaman-sıcaklık değişimi



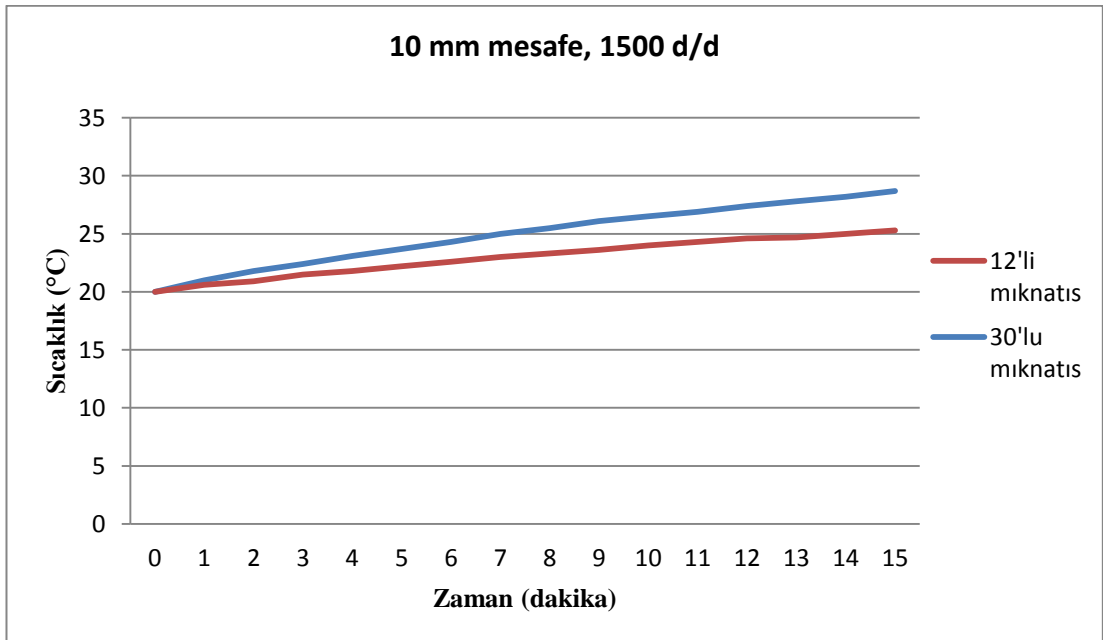
EK-47. 8 mm, 2500 d/d mıknatıs sayısına bağlı zaman-sıcaklık değişimi



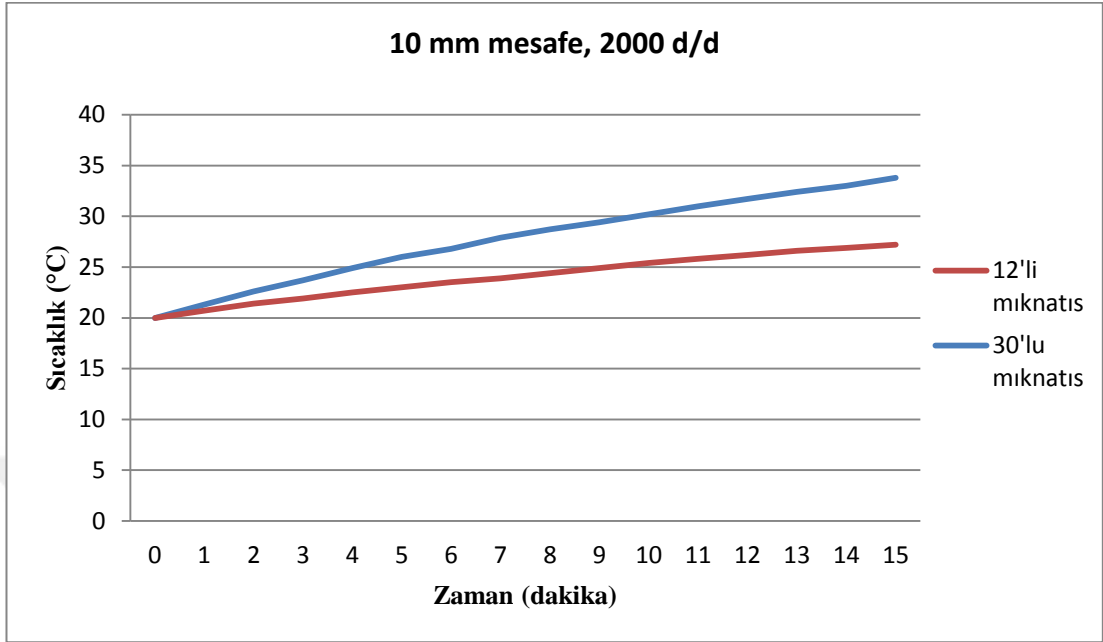
EK-48. 10 mm, 1000 d/d mıknatıs sayısına bağlı zaman-sıcaklık değişimi



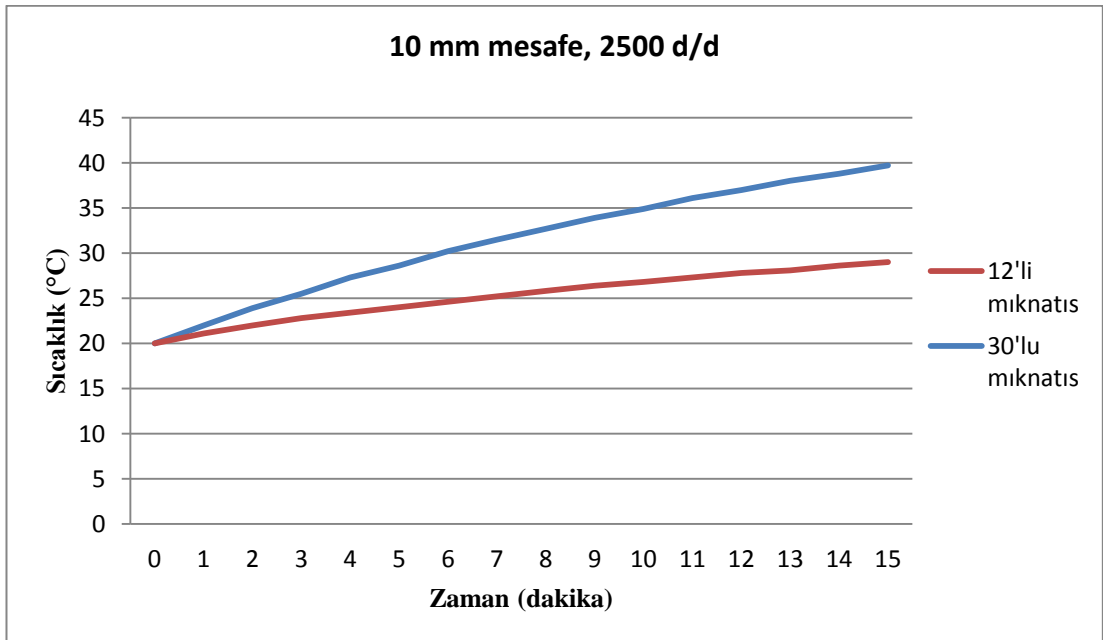
EK-49. 10 mm, 1500 d/d mıknatıs sayısına bağlı zaman-sıcaklık değişimi



EK-50. 10 mm, 2000 d/d mıknatıs sayısına bağlı zaman-sıcaklık değişimi



EK-51. 10 mm, 2500 d/d mıknatıs sayısına bağlı zaman-sıcaklık değişimi



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : BAĞATIRLAR, Ali Gürkan
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 02.09.1988 - Kars
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (537) 428 29 25
e-mail : gurkanbt@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Hitit Üniversitesi/ Makine Müh. Bölümü	2012
Lise	Bursa Ahmet Vefik Paşa Lisesi	2007

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2012-2014	Özdemir Makine	Resimhane Sorumlusu
2013-	Cazgır A.Ş	Proje Sorumlusu

Yabancı Dil

İngilizce, Almanca