



MANYETİK ALANIN Cu VE Al ALAŞIMLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Arda ZAİM

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran – 2017

MANYETİK ALANIN Cu VE Al ALAŞIMLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Arda ZAİM

Dumlupınar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca
Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Ağah AYGHAHOĞLU

Haziran - 2017

KABUL VE ONAY SAYFASI

Arda ZAİM'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı MANYETİK ALANIN Cu VE Al ALAŞIMLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ başlıklı bu çalışma, jürimizce Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

19 / 06 / 2017

Üye : Yrd. Doç. Dr. Agah AYGAHOĞLU (Danışman)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ali İhsan ÇANAKOĞLU

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mustafa ULUTAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hasan GÖÇMEZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında Akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan tez çalışmasının bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizininde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Programı ile tarandığını ve benzerlik oranının %3 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumuzu taahhüt ederiz.

Yrd.Doç.Dr.Ağah AYGHAHOĞLU

Arda ZAİM

MANYETİK ALANIN Cu VE Al ALAŞIMLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Arda ZAİM

Makine Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2017

Tez Danışmanı: Yrd.Doç.Dr.Ağah AYGHAOĞLU

ÖZET

Dünyadaki nüfus artışı ve gelişen teknolojiyle birlikte enerji ihtiyacı da günden güne artmaktadır. Günümüzde dünya enerji gündemindeki en önemli konulara örnek olarak enerji verimliliği, alternatif yakıt seçenekleri ve uygulanabilirliği, yenilenebilir enerji kaynakları ve enerji kullanımının neden olduğu çevre sorunları gösterilebilir. Fosil yakıt rezervlerinin hızlı bir şekilde tükenmesi, alternatif enerji kaynaklarının kullanımını artırmaktadır. Isı da oldukça gerekli bir enerji türüdür.

Bu çalışmada; hareket enerjisinden verimli bir şekilde ısı elde etmek amacıyla N35 neodyum mıknatıs, paramanyetik ve diyamanyetik malzemeler olan bakır ve alüminyum alaşımlarını içeren düzenele deneysel çalışmalar yapılmıştır. Yapılan deneylerde değişken manyetik alana maruz kalan malzemelerin, manyetizmanın temel kanunları olan Lenz ve Faraday Kanunları ve bunlara bağlı oluşan Eddy Akımları sayesinde ısındığı gözlenmiştir. Devir sayısı, mıknatıs ile malzeme arasındaki mesafe ve mıknatıs dizilim şekilleri değiştirilerek, verimli ısı enerjisi elde etmek için optimum parametreler belirlenmiştir. Sonuç olarak yöntemin bakır ve alüminyum malzemeleri ısıtmada kullanılabilecek alternatif enerji kaynaklı ve ekonomik bir yöntem olduğu anlaşılmıştır. Çalışmanın bu konuyla ilgili ileride yapılacak çalışmalara yardımcı olması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alternatif Enerji Kaynakları, Alüminyum Alaşımları, Bakır Alaşımları, Manyetik Alanlar.

EFFECTS OF MAGNETIC FIELD ON ALLOYS OF Cu AND Al

Arda ZAİM

Mechanical Engineering, M.S.Thesis, 2017

Thesis Supervisor: Assoc.Prof.Agah AYGAHOĞLU

SUMMARY

Energy requirement is increasing day by day with population growth and developing technology in the world. Energy resources and environmental problems caused by energy are among the issues on today's world energy agenda. Rapid depletion of fossil fuel reserves will increase use of alternative energy sources. Heat is also a necessary type of energy.

In this study, experimental studies were carried out by setting a mechanism that includes N35 neodymium magnet, paramagnetic and diamagnetic material such as copper and aluminum alloys to obtain heat from motion energy efficiently. In the experiments performed, the materials exposed to the variable magnetic field were observed to be heated by the Lenz and Faraday laws, which are the basic laws of magnetism, and the Eddy Currents formed by them. Optimum parameters have been determined by changing the speed, the distance between the magnet and the material, and the shape of the magnet array. As a result, it has been understood that the method is an alternative and economical system that can be used for heating copper and aluminum materials. In this regard, it is intended to assist in the works to be done in the future.

Keywords: Alternative Energy Sources, Aluminum Alloys, Copper Alloys, Magnetic Fields.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım sırasında bana ışık tutan, tez çalışmam boyunca ilgi ve desteklerini esirgemeyen, kişilikleriyle kendime örnek edindiğim başta tez danışmanım Yrd.Doç.Dr.Ağah AYGAHOĞLU'na, Gürallar Cam Ambalaj Fabrikası Üretim Müdürü İbrahim GÜRSES'e, LAV Cam Fabrikası Üretim Yöneticisi Halit AKTAŞ'a ve LAV Cam Fabrikası Ürün Geliştirme Yöneticisi Emre UĞURLAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmemde desteklerini her zaman yanımda hissettiğim babam Hv.Uçb.Kd.Bçvş.Mustafa ZAIM'e ve annem Uzm.Öğr.Gülay ZAIM'e de ayrıca teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	v
SUMMARY	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. ENERJİ	3
2.1. Enerji Çeşitleri	3
2.1.1. Mekanik enerji	3
2.1.2. Elektrik enerjisi	3
2.1.3. Manyetik enerji	4
2.1.4. Kimyasal enerji	4
2.1.5. Nükleer enerji	4
2.1.6. Isı enerjisi	5
2.1.7. Işık enerjisi	5
2.2. Enerji Kaynakları	5
2.2.1. Yenilenemeyen enerji kaynakları	6
2.2.1.1. Kömür	6
2.2.1.2. Petrol	7
2.2.1.3. Doğal gaz	7
2.2.1.4. Nükleer enerji	8
2.2.2. Yenilenebilir enerji kaynakları	8
2.2.2.1. Rüzgar enerjisi.....	9
2.2.2.2. Güneş enerjisi.....	10
2.2.2.3. Hidrolik enerji.....	10
2.2.2.4. Biyokütle enerjisi.....	11
2.2.2.5. Jeotermal enerji.....	12
3. MANYETİZMA	14
3.1. Elektromanyetik İndüksiyon	14
3.1.1. Faraday kanunu	14
3.1.2. Lenz Kanunu	16

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.1.3. Eddy akımları	16
3.2. Mıknatıslık ve Manyetik Maddeler	17
3.2.1 Mıknatıs çeşitleri ve manyetik özellikler.....	18
3.2.2. Manyetik maddeler ve manyetik alan.....	24
4. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARI	28
4.1. Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması	30
4.1.1. Döküm alüminyum alaşımları	31
4.1.2. Dövme alüminyum alaşımları	31
5. BAKIR VE ALAŞIMLARI	39
5.1. Bakır ve Alaşımlarının Sınıflandırılması	40
5.2. Bakır ve Alaşımlarının İsimlendirilmesi	43
5.3. Bakırın Pirinç Alaşımı	44
5.3.1. Dövme pirinçler	44
5.3.2. Döküm pirinçler	45
5.4. Bakırın Tunç Alaşımı	46
5.4.1. Dövme tunçlar	46
5.4.2. Döküm tunçlar	47
5.4.3. Özel tunç alaşımları	47
6. DENEY DÜZENEGİ TASARIMI VE KONSTRÜKSİYONU	49
6.1. Düzenek Unsurları	49
6.1.1. AC elektrik motoru	49
6.1.2. AC motor sürücüsü	50
6.1.3. Kayış kasnak mekanizması	51
6.1.4. Mıknatıs dizilmiş diskler.....	52
6.1.5. Su devir daimi için mekanik tesisat.....	54
6.1.6. Termometreler	55
6.2. Çalışma Prensibi	56
7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	59
7.1. Manyetik Alan Şiddeti Ölçümü	59
7.2. Enerji Tüketimi	62
7.3. Manyetik Alanın Farklı Mesafelerdeki Borular Üzerindeki Etkisi	63
7.4. Rotor – A ile Yapılan Çalışmalar	65

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
7.5. Rotor - B ile Yapılan Çalışmalar	68
7.6. Rotor – C ile Yapılan Çalışmalar	71
7.7. Sıcaklık Ölçümleri	74
7.8. Denemeler Sonrası Manyetik Alan Şiddeti Ölçümü	75
8. SONUÇ	77
8.1. Mıknatıs ile Boru Arasındaki Mesafe	77
8.2. Mıknatıs Sayısı	77
8.3. Rotor Tipi	78
8.4. Malzeme	80
8.5. Mıknatıs Ömrü	80
8.6. Değerlendirme ve Öneriler	81
KAYNAKLAR DİZİNİ	82
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Küresel birincil enerji tüketim oranları 2015	5
2.2. En bilinen yenilenebilir enerji kaynakları	8
2.3. Biyokütle çevrimi.....	11
2.4. Jeotermal enerji sisteminin şematik gösterimi	13
3.1. Faraday kanunu	15
3.2. Lenz kanunu.....	16
3.3. Eddy akımları.....	17
3.4. Sürtünme yoluyla mıknatıs elde edilmesi	19
3.5. Dokunmayla mıknatıs elde edilmesi	19
3.6. Etki ile mıknatıs elde edilmesi	20
3.7. Mıknatıs kutupları ve kuvvet çizgileri	21
3.8. Manyetik kutuplar	21
3.9. Çubuk mıknatısın bölünmesi.....	22
3.10. Demirin manyetik geçirgenliği	22
3.12. Manyetik alan çizgileri	25
3.13. Manyetik alan çizgilerinin gösterilmesi.	26
3.14. Yüzeye dik manyetik akı.....	27
3.15. Yüzeye dik olmayan manyetik akı.....	27
4.1. Döküm alüminyum ve alaşımlarının sınıflandırılması.....	31
4.2. Dövme alüminyum ve alaşımlarının sınıflandırılması	32
4.3. Alüminyum alaşımları isimlendirme kriterleri.....	32
5.1. Alaşım elementlerinin etkileri.....	42
5.2. Döküm bakır alaşımlarının isimlendirilmesi.....	43
5.3. Dövme bakır alaşımlarının isimlendirilmesi.....	43
6.1. ELK PC (B34A) 1.1 kW Elektrik motoru.....	50
6.2. Danfoss VLT FC 103 AC sürücü.....	50
6.3. Rotor mili imalat çizimi.	51
6.4. Rotor-A imalat çizimi.	52
6.5. Rotor-B imalat çizimi.....	53
6.6. Rotor-C imalat çizimi.....	53
6.7. Su tankı imalat çizimi.....	54

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.8. Sirkülasyon pompası.	55
6.9. Testo 835 T-1 Termometre.	56
6.10. Loyka KGB-300 Termometre.	56
6.11. Deney düzeneği çizimi.	57
6.12. Deney düzeneği.	58
7.1. 15x5 N35 Neodyum mıknatıslar.	59
7.2. N35 Neodyum mıknatıs manyetik alan diyagramı.	60
7.3. WT10A Teslametre.	60
7.4. Manyetik alan ölçüm testi.	61
7.5. Hız – tüketim grafiği.	62
7.6. 2m mesafede manyetik alan etkisi.	63
7.7. 4 mm mesafede manyetik alan etkisi.	64
7.8. 6 mm mesafede manyetik alan etkisi.	64
7.9. Rotor – A.	65
7.10. Rotor A enerji tüketim eğrisi.	66
7.11. Rotor A enerji oluşum eğrisi.	67
7.12. Rotor A verim eğrisi.	67
7.13. Rotor – B.	68
7.14. Rotor B enerji tüketim eğrisi.	70
7.15. Rotor B enerji oluşum eğrisi.	70
7.16. Rotor B verim eğrisi.	71
7.17. Rotor C.	72
7.18. Rotor C enerji tüketim eğrisi.	73
7.19. Rotor C enerji oluşum eğrisi.	73
7.20. Rotor C verim eğrisi.	74
7.21. Sıcaklık ölçümleri.	75
7.22. Deneyler sonrası manyetik alan ölçümü.	76
8.1. Rotor B mesafe – enerji eğrisi.	77
8.2. Mıknatıs sayısı – enerji oluşum eğrisi.	78
8.3. Rotor tipi – enerji oluşum eğrisi.	79
8.4. Rotor tipi – verim eğrisi.	79
8.5. Hız – su sıcaklığı eğrisi.	80

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.1. Saf alüminyumun mekaniksel ve fiziksel özellikleri.	28
4.2. Alüminyumun manyetik duyarlılık değişimi	29
4.3. 1XXX Serisi alaşımların kimyasal kompozisyonları	34
4.4. 2XXX Serisi alaşımların kimyasal kompozisyonları	34
4.5. 3XXX Serisi alaşımların kimyasal kompozisyonları	35
4.6. 4XXX Serisi alaşımların kimyasal kompozisyonları	35
4.7. 5XXX Serisi alaşımların kimyasal kompozisyonları	36
4.8. 6XXX Serisi alaşımların kimyasal kompozisyonları	37
4.9. 7XXX Serisi alaşımların kimyasal kompozisyonları	37
4.10. 8XXX Serisi alaşımların kimyasal kompozisyonları	38
5.1. Saf bakırın mekanik özellikleri.	39
5.2. Mukavemet artırıcı alaşım elementleri.....	40
5.3. Korozyon dayanımını artırıcı alaşım elementleri.....	40
5.4. Aşınma dayanımını artırıcı alaşım elementleri.	41
5.5. İşlenebilirliği artırıcı alaşım elementleri.	41
5.6. Renk değiştirici alaşım elementleri.	41
5.7. Metal alaşımlarının tanımları.	44
6.1. C1020 ve AA6061'in bazı fiziksel özellikleri.....	54
7.1. N35 Neodyum mıknatısı ait teknik özellikler.....	59
7.2. Manyetik alan ölçümü.....	61
7.3. Enerji tüketim testi	62
7.4. Manyetik alan şiddetinin mesafeye göre değişimi.	63
7.5. Rotor-A denemeleri.....	66
7.6. Rotor B denemeleri.	69
7.7. Rotor C denemeleri.	72
7.8. Sıcaklık ölçümleri.	74
7.9. Deneyler sonrası manyetik alan ölçümü.	75

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
N	Mıknatısın kuzey kutbu
S	Mıknatısın güney kutbu
Al	Alüminyum
MPa	Megapaskal
GPa	Gigapaskal
Cu	Bakır
T	Tesla
mT	Mili tesla
C	Karbon
H	Hidrojen
O	Oksijen
S	Kükürt
N	Azot
pH	Hidrojenin gücü
CO ₂	Karbondioksit
W	Watt
°C	Derece santigrat
ε	İndüklenen EMK
Φ	Manyetik akı
t	Zaman
F	Kuvvet
D	Mesafe
μ	Manyetik geçirgenlik
B	Manyetik alan şiddeti
H	Mıknatıslayıcı alan
A	Yüzey alanı
HB	Brinell sertliği
Si	Silisyum
Fe	Demir
Mn	Mangan

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
Mg	Magnezyum
Cr	Krom
Zn	Çinko
Ti	Titanyum
Ni	Nikel
Mg ₂ Si	Magnezyum silisid
Zr	Zirkonyum
Li	Lityum
Ω	Ohm
HV	Vickers sertliği
E	Elastisite modülü
Pb	Kurşun
Sn	Kalay
P	Fosfor
Be	Berilyum
Co	Kobalt
As	Arsenik
Ag	Gümüş
Cd	Kadmiyum
Te	Tellür
G	Döküm
GD	Basınçlı döküm
GK	Kokil döküm
GZ	Savurma döküm
GC	Devamlı döküm
V	Ön alaşımlama
GL	Kayar metal
L	Lehim
Lg	Yatak metali
Al ₂ O ₃	Alüminyum oksit

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

Simgeler

SiO ₂	Silisyum dioksit
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt saat
kcal	Kilokalori
Q	Isı miktarı
m	Kütle
C	Özgül ısı
T	Sıcaklık farkı
χ	Manyetik duyarlılık
η	Verim

Kisaltmalar

<u>Acıklama</u>	
M.Ö.	Milattan önce
SI	Uluslar arası birimler sistemi
AA	Amerikan alüminyum birliği
CDA	Bakır geliştirme derneği
PA	Poliamid
ASTM	Amerikan malzeme test birliği

1. GİRİŞ

Fizik biliminde, enerji kendi konumundan hesaplanabilen ancak direkt olarak gözlemlenemeyen fiziksel sistemin kapsamlı ve korunmuş bir özelliğidir. Çok farklı şekillerde bulunabilmesinden ötürü enerjinin kesin bir tanımını yapmak zor olsa da; enerji, kısaca bir sistemin iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanabilir. Farklı biçimlere dönüştürülebilir olmasına rağmen enerji, ne yaratılabilir ne de yok edilebilir. Endüstriyel anlamda insanlığın devam etmesi, bilimin ve teknolojinin gelişmesi için kullanılan tüm enerji türleri mühendislik ilgi alanında değerlendirilmektedir. Günümüz endüstrisinin en çok ihtiyaç duyduğu ve tükettiği en önemli enerji türü elektrik enerjisidir. Onu, ısıtma veya ısınma maksadıyla kullanılan fosil yakıtlar takip etmektedir (Rousseau ve Fourie, 2006).

Ülkelerin ekonomik ve sosyal gelişmelerinin vazgeçilmez unsurlarından birisi de enerjidir. Ticari gelişmeler ve artan nüfus daha fazla enerji talebini gerektirmekte, bu durum da enerjinin tedarik edilmesinde yeni teknolojik gelişmelerin gerekliliğini doğurmaktadır. Yeni teknolojilerin esas amacı; işletme ve üretim maliyetleri düşük, çevreyle uyumlu, sosyal değerlere duyarlı ve etkin bir şekilde enerjinin tedarik edilmesidir. Alternatif enerji kaynaklarının önemi; gelişmekte olan teknoloji, sürekli artış gösteren ham petrol ve doğal gaz fiyatları, bu yakıtların dünya üzerindeki olumsuz etkileri ve kaynakların sınırlı oluşuyla birlikte günden güne artmaktadır (Kavak, 2005).

Manyetizma, manyetik alan tarafından oluşturulan fiziksel bir olgudur. Bu terimin kökeni M.Ö. 2000’li yıllara dayanmaktadır. Antik Yunan’ın Magnesia, günümüzdeki adıyla Türkiye’nin Manisa bölgesinde kaya parçalarının bazı metalleri çektiği gözlenmiştir (Stringer, 2008). Demir oksitten oluşan bu kayalar manyetit (mıknatıs taşı) olarak adlandırılmaktadır. Eğer bir mıknatıs ağırlık merkezinden bir yere asılırsa, bir ucu güney tarafını diğer ucu ise kuzey tarafını gösterecek biçimde konumlanır. Güney tarafını gösteren uç güney kutbu (S), kuzey tarafını gösteren uç kuzey kutbu (N) olarak adlandırılmaktadır. İki mıknatıs birbirine yaklaştırıldığında kutuplara bağlı olarak itme veya çekme olayı gözlenmektedir. Mıknatısın kuzey kutbundan güney kutbuna hareket eden yükler manyetik alan meydana getirmektedir. Hareket halinde olan elektrik yüklerine etki eden Lorentz Kuvveti, en sade biçimde manyetik alan olarak tanımlanmaktadır. Maxwell Denklemleri ise; elektrik akımı, elektrik alanı, manyetik alan ve onları oluşturan yükler arasındaki ilişkiyi açıklamaktadır. Günümüz endüstrisinde mıknatısların kullanıldığı alanlar hızla artmaktadır. Maden, elektrik, elektronik, gıda, tekstil, kozmetik vb. gibi endüstriler mıknatısların kullanıldığı alanlara örnek olarak gösterilebilir (Li ve Li, 2013).

Alüminyum; simgesi Al, yoğunluğu $2,7 \text{ g/cm}^3$ olan, 660 santigrat derecede ergiyen, gümüş parlaklığında, birçok alanda kullanılan bir elementtir. Alüminyum, çelikten sonra mühendislik uygulamalarında en çok tercih edilen demir dışı metal olup, doğada en çok bulunan elementlerdendir. Yüksek mukavemete sahip bazı alüminyum alaşımlarının akma değerleri, birçok çelik alaşımının akma değerinden yüksektir. Bu özelliklerinden dolayı alüminyum alaşımları, hafifliği ve mukavemeti bir arada gerektiren uygulamalarda çoğunlukla tercih edilmektedir. Korozyon dayanımı iyi olup, yüksek elektrik ve ısı iletkenlik katsayısına sahiptir.

Bakır; simgesi Cu, yoğunluğu $8,91 \text{ g/cm}^3$ olan, 1083 santigrat derecede ergiyen, doğada bileşik olarak veya serbest durumda bulunan, elektrik ve ısı iletkenliği çok iyi olan, kolayca işlenebilen, eski zamanlardan beri birçok işte kullanılan, kırmızı renkli bir elementtir. Endüstri malzemesi olarak bakır, elektrik ve ısı iletkenliğinin yüksek olması yanında plastik şekil verme yeteneğinin de iyi olması ile daima ön plandaki yerini korumuştur. Bakırın bu özellikleri göz önünde bulundurulduğunda; elektrik iletkenliğinden dolayı kablo yapımında, ısı iletkenliğinden dolayı iklimlendirme sistemlerinde, işlenebilme yeteneğinden dolayı hediyelik eşya üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bakır ve alüminyum alaşımları; ısı iletkenliklerinin iyi olması, piyasadan kolayca temin edilebilmeleri ve paramanyetik ve diyamanyetik malzemeler olmaları sebebiyle çalışmada deney malzemesi olarak seçilmiştir. Bu çalışmada, belli bir ekseninde dönen rotor üzerine yerleştirilmiş zıt kutuplu mıknatıslar yardımıyla dönen, yani değişken manyetik alan oluşturulmuştur. Oluşan manyetik alanın bakır ve alüminyum alaşımları üzerindeki etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Deneyler Dumlupınar Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Mekanik Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonrasında malzemelerin değişken manyetik alana maruz kalmasıyla girdap akımları etkisinde ısındığı tespit edilmiştir. Devir sayısı, mıknatıs ile malzeme arasındaki mesafe ve mıknatıs dizilim şekilleri değiştirilerek ısınma olayında optimum parametreler belirlenmiştir. Sonuç olarak sistemin alternatif enerji kaynaklı ve ekonomik bir ısıtma sistemi olarak değerlendirilebileceği kanısına varılmıştır. Çalışmanın bu konuyla ilgili ileride yapılacak diğer araştırmalara yardımcı olacağı düşünülmektedir.

2. ENERJİ

Enerji, kısaca iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Genel bir tanım olarak enerji, herhangi bir sisteme eklendiğinde veya çıkarıldığında sistem parametrelerinde değişiklik yaratan unsur olarak da tanımlanabilmektedir. Enerjinin kesin bir tanımını yapmak kolay olmasa da, günümüz dünyasındaki gerekliliği inkar edilemez bir gerçektir. Enerji ve enerji ile ilgili değişiklikler, üzerinde önem gösterilmesi gereken konular arasında yer almaktadır. (www.qrq.northwestern.edu).

2.1. Enerji Çeşitleri

Farklı enerji çeşitlerinden bahsetmek mümkündür. Fakat, literatürde çeşitli sınıflandırmalarla enerji konusunun incelendiği görülmektedir. Enerji çeşitleri olarak; mekanik enerji, elektrik enerjisi, manyetik enerji, kimyasal enerji, nükleer enerji, ısı enerjisi ve ışık enerjisi sayılabilir (www.washington.edu).

2.1.1. Mekanik enerji

Mekanik enerji, potansiyel enerji ve kinetik enerji olmak üzere iki farklı şekilde karşımıza çıkmaktadır.

- Potansiyel enerji: Etkileşim halinde olan parçacıkların oluşturmuş olduğu bir sistemde, parçacıkların kendi konumlarından ötürü sahip oldukları enerjidir. Böyle sistemlere dünya üzerindeki kütleli parçacık ve yaya bağlı bir kütle örnek olarak verilebilir (Serway ve Beichner, 2005).
- Kinetik enerji: Parçacıkların hareket etmesinden ötürü sahip oldukları enerjidir. Dönme kinetik enerjisi, öteleme kinetik enerjisi ve yüksek hızda kinetik enerji olmak üzere üç çeşittir (Jennifer, 2005).

Özetle, mekanik enerjinin depolanmış şekli potansiyel enerji, hareket edebilen şekli ise kinetik enerji olarak adlandırılmaktadır. Mekanik enerji etkin olarak diğer enerji türlerine dönüştürülebildiğinden yararlı bir enerji türü olarak tanımlanmaktadır.

2.1.2. Elektrik enerjisi

Elektronların hareket etmesiyle meydana gelen bir enerji çeşididir. Elektrik enerjisinin hareketli hali, elektronların bir iletken boyunca akışı şeklinde meydana gelmektedir. Bu enerji yüksek voltajlı iletim hatları kullanılarak uzak mesafelere iletilebilmektedir. Elektrik enerjisi en yaygın kullanılan enerjidir. Elektrik enerjisi ya elektrostatik alan enerjisi veya indüksiyon alan

enerjisi şeklinde bulunabilir. İlkinde, elektronlar bir kapasitörün plakaları üzerinde toplanırken elektromanyetik alan enerjisi olarak da adlandırılan ikincisinde, elektronların bir indüksiyon bobininden akışı ile bir manyetik alan oluşturulur. Elektrik enerjisi de mekanik enerji gibi diğer enerji şekillerine etkin olarak dönüştürülebilen yararlı bir enerji türüdür (Sunay ve Karaca, 2012).

2.1.3. Manyetik enerji

Manyetik alanlar genellikle makroskobik (teldeki akım gibi) ya da mikroskobik (atomik orbitaldeki akım gibi) haldeki elektronların hareketiyle, elektrik alanının değişmesi sonucu oluşmaktadır. Manyetik alanın SI birimi N/Am birimleriyle birlikte ünlü fizikçi Nikola Tesla'nın namına Tesla (T) olarak belirtilmektedir. Tesla manyetik alan birimi büyük bir birimdir. Adını Carl Friedrich Emmanuel Gauss'tan alan Gauss birimi ise, Tesla biriminin binde biridir. Mıknatıslar, atomlarının mikroskobik özelliklerinden dolayı manyetizasyona sahip maddelerdir. Mıknatısların etrafa yaydıkları manyetik alan, kuzey ve güney kutbuna göre nitelendirilmektedir. Manyetik alanın yönü, her zaman kuzey kutbundan güney kutbuna doğrudur. Bu sayede mıknatısın uyguladığı kuvvet ve diğer malzemelere olan etkileri belirlenebilmektedir (www.energyeducation.ca).

2.1.4. Kimyasal enerji

Farklı madde moleküllerinin arasında oluşan kimyasal tepkime sonrasında ortaya çıkan enerjiye kimyasal enerji denir. Kimyasal enerji, potansiyel enerjinin bir şeklidir ve kimyasal reaksiyonlarla farklı enerji şekillerine dönüştürülebilmektedir. Örneğin, günlük yaşamımızda kullanmış olduğumuz aküler ve piller, kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmektedirler. Fosil yakıtlar ve biyokütle gibi pek çok malzemedeki karbon molekülü ile havada bulunan oksijen molekülü birleşerek yanmakta ve ısı enerjisi ortaya çıkmaktadır. Bu reaksiyonlar kimyasal enerjinin, farklı enerji şekillerine dönüşmesine örnek olarak gösterilebilir (Tripathi, 2011).

2.1.5. Nükleer enerji

Nükleer enerji, bir atomun çekirdeğindeki enerjidir. Her bir atomun merkezinde, birlikte tutulan iki tür parçacık (nötron ve proton) vardır. Hafif radyoaktif atomların birleşerek daha ağır atomlar oluşturması ve uranyum gibi ağır radyoaktif atomların daha küçük atomlara bölünmesi sonucunda çok büyük miktarda enerji meydana gelmektedir. Nötron ve protonları bir arada tutan bu enerji, nükleer enerjidir. Güneşte meydana gelen patlamalar birleşme tepkimelerine

(füzyon), nükleer santrallerde kullanılan tepkimeler ise bölünme tepkimelerine (filyon) örnek olarak gösterilebilir (Lacy, 2006).

2.1.6. Isı enerjisi

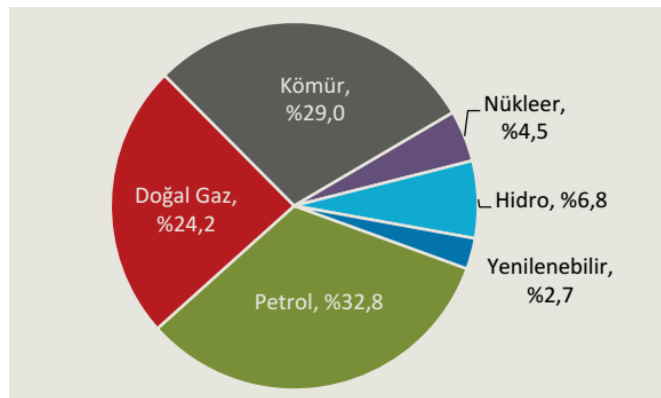
Atomik veya moleküler titreşim sonucu oluşan bir enerji çeşididir. Diğer bütün enerji çeşitleri tamamen ısı enerjisine dönüşebilmektedir; fakat ısı'nın diğer enerji türlerine dönüşümü termodinamiğin ikinci kanununa göre sınırlıdır. Bu sebepten ısı, kalitesi düşük bir enerji çeşididir (www.thermalenergy.org).

2.1.7. Işık Enerjisi

Işığın işe yarama potansiyeli, ışık enerjisi olarak tanımlanmaktadır. Işık, foton adı verilen tanecikli bir yapıda olup, bazı fiziksel olaylarda dalgalar halinde doğrusal olarak bazılarında ise tanecikli yapı halinde yayılmaktadır. Işık enerjisi, doğrudan doğruya görebildiğimiz tek enerji biçimidir. Kimyasal, radyasyon ve mekanik yollarla oluşturulabilen bu enerji de farklı enerji türlerine dönüştürülebilmektedir (www.pha.jhu.edu).

2.2. Enerji Kaynakları

Dünyada sosyoekonomik gelişmenin en temel ve sürükleyici ihtiyaçlarından birisi de enerjidir. İnsanlığın yaşamını sürdürebilmesi için gerekli olan hemen hemen tüm süreçler için vazgeçilmez bir girdi olan enerji; üretim, ticaret, ulaşım ve konut alt sektörlerinde kullanılmaktadır. Şekil 2.1.'de gösterildiği üzere günümüzdeki tüketilen enerji, çok sayıda enerji kaynağından elde edilmektedir. Bu kaynakların %87'sini petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil kaynaklar oluşturmaktadır (Türkiye Petrolleri, 2016).



Şekil 2.1. Küresel birincil enerji tüketim oranları 2015 (British Petroleum).

Dünyada birincil enerji tüketimi içerisinde en büyük paya sahip olan petrol, bilhassa ulaştırma sektörünün temel enerji kaynağıdır. Onu takip eden doğal gaz ve kömür ise çoğunlukla elektrik üretimi için kullanılmaktadır (Türkiye Petrolleri, 2016).

Dünya üzerindeki enerji kaynakları iki grupta incelenmektedir. Bunlar, yenilenemeyen enerji kaynakları ve yenilenebilen enerji kaynaklarıdır. Yenilenemeyen kelimesi; günümüzden kısa bir süre sonra tükenebileceği düşünülen, kendini yenilemeyen enerji kaynakları için kullanılmaktadır. Yenilenemeyen enerji kaynakları grubu içerisinde; petrol, doğal gaz, taş kömürü ve linyit gibi fosil yakıtlar ile rezervi sınırlı olan nükleer enerji yer almaktadır. Rüzgar, su, güneş ve jeotermal enerji, kendilerini yenileyebilen kaynaklar oldukları için yenilenebilir enerji kaynakları olarak değerlendirilmektedir. Kömür, doğal gaz ve petrol gibi yenilenemeyen enerji kaynakları, günümüzde dünya enerji üretiminde öncelikli kaynaklardır. Doğal gazın enerji üretimindeki payı, çevreyi az kirlettiği için git gide artış göstermektedir. Petrol dünyada en çok kullanılan enerji kaynağıdır. Onu; kullanımı günden güne azalan kömür, hızla tüketimi ve üretimi artan doğal gaz takip etmektedir. Çeşitli dönemlerde farklı bir enerji kaynağı önemli olmuştur. Kömür, zamanla yerini petrole bırakmış, ilerleyen yıllarda doğal gaz önem kazanmıştır. Alternatif enerji kaynakları ise önümüzdeki yıllarda değer kazanacaktır (www.eia.gov).

2.2.1. Yenilenemeyen enerji kaynakları

Yenilenemeyen olarak adlandırılan bir enerji kaynağı, bilimsel olarak enerji kaynakları sınıflandırmasında yer almamaktadır. Yakın gelecekte tükenmesi öngörülen ve oluşumu çok uzun zaman alan enerji kaynaklarına, yenilenemeyen enerji kaynakları adı verilmektedir. Bu kaynakları, nükleer enerji ve fosil yakıtlar oluşturmaktadır. Seneler önce yaşamları sona ermiş olan hayvan ve bitki gibi organik kalıntıların fosilleri; petrol doğal gaz ve kömür gibi fosil yakıtları meydana getirmektedir (www.solarschools.net).

2.2.1.1. Kömür

Katı, heterojen, sıkı bir yapıda, genellikle bitki parçalarından oluşan, tabakalaşma gösteren, bileşiminde çok miktarda karbon, az miktarda azot, kükürt, oksijen ve hidrojen elementleri barındıran ancak inorganik (silt ve kil gibi) maddeleri de içerebilen, kahverengi veya siyah renk tonlarında olabilen, bataklıklarda meydana gelen, yanma kabiliyeti olan, organik maddelere kömür adı verilir. Temel kullanım amacı, yakıt hammaddesi olmasının yanında; kok yapımı ve kimyasal madde üretimi gibi değişik amaçlarla da kullanılmaktadır (Türkmenoğlu, 2010).

Bataklık bölgelerinde uygun durumların sağlanması (sıcak ve nemli iklim, bataklık bölgesinde çökme, suyun pH değerinin 4-5 arasında olması) ile kalıntı bitkilerin bozunması, parçalanması ve bataklık suyu ile birleşerek jel kıvamında bir malzeme halini alması, çeşitli tepkimeler sonrası bu organik malzemenin kimyasal ve fiziksel değişikliklere uğramasıyla, kömür meydana gelmektedir (www.enerji.gov.tr).

2.2.1.2. Petrol

Ham petrol; yerkürede bulunan organik kalıntıların zaman içerisinde değişimi ile meydana gelmiş ve kayalarda depolanmış olan, sıvı haldeki hidrokarbonlardır. Ham terimi, henüz işlenmediğini ve bir hammadde olduğunu ifade etmektedir. Rafinerilerde çeşitli işlemlerle bileşenlerine ayrıştırılan ham petrol, günlük yaşamımızda yer edinmiş akaryakıt ürünlerinin ve birçok ara maddenin elde edilmesinde kullanılmaktadır (www.itu.edu.tr).

Petrol, içeriğinde sadece hidrojen ve karbon elementleri bulunan organik bileşiklerden oluşan bir karışımdır. Doğal yollardan kayalardaki çatlaklar ve fay hatlarıyla yerküreye sızan petrol; zamanla birikerek zift, katran ve asfalt havuzları meydana getirir. 20.yüzyıldan itibaren devam eden bilimsel araştırmalar, petrolün yer altında nasıl oluştuğu hakkında kesin bir bilgi vermese de; bütün hidrokarbonların, milyonlarca yıl önce yaşamları son bulmuş bitki ve hayvan artıklarının durgun göl ve deniz gibi ortamların tabanında birikmesi sonucu oluştuğunu ortaya çıkarmaktadır. Artıkların milyonlarca yıl süren bozunmasıyla da ham petrol meydana gelmektedir (www.tpao.gov.tr).

2.2.1.3. Doğal gaz

Belirli jeolojik oluşumlar sonucu yer kabuğunun altında meydana gelen doğal gaz; hidrokarbonlardan ve metan gazından oluşan havadan hafif, kokusuz, renksiz ve yanıcı bir gaz karışımdır. Hiçbir işleme tabi tutulmadan, kaynağından çıkarıldığı gibi kullanılabilir. (Aktacir, 2014).

Doğal gaz tıpkı petrol gibi, seneler önce yaşamı sona ermiş bitki ve hayvan artıklarının zaman içerisinde yer kabuğunun içine gömülüp, kimyasal değişime uğraması ile oluşmaktadır. Doğal yollarla okyanus ve göl gibi su birikintilerine taşınan, kum ve çamurla kaplanarak birikintilerin tabanında kayalaşan bu kalıntıların; organik madde olduğu bilinmektedir. Zamanla daha derine ilerleyen bu organik madde; sıcaklık, basınç, radyoaktivite ve bakterilerin etkisiyle, doğal gaz, petrol ve kömürü meydana getirmektedir (www.torosgaz.com.tr).

2.2.1.4. Nükleer enerji

Üç reaksiyondan oluşan nükleer enerji, atom çekirdeklerinden elde edilen bir enerji türüdür.

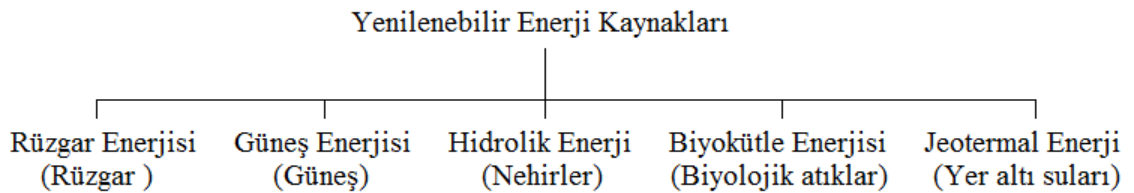
- Birleşme (füzyon): Atom parçacıklarının birleşme tepkimesidir.
- Bölünme (filyon): Zorlanmış olarak atom çekirdeğinin parçalanmasıdır.
- Yarılanma: Doğal filyon olarak da bilinen yarılanma, atom çekirdeğinin parçalanarak daha kararlı hale geçmesi olayıdır.

Nükleer reaktörler; çeşitli reaksiyonlar sonucunda oluşan nükleer enerjiyi, elektrik enerjisine dönüştüren yapılardır. Termik ve doğal gaz çevrim santrallerinde kullanılan kömür, doğal gaz ve yağ gibi yakıtlardan farklı olarak, nükleer santraller yakıt olarak uranyum gibi radyoaktif elementleri kullanmaktadır. Filyonla elde edilen nükleer enerji, ilk olarak ısı enerjisine, ardından türbinle kinetik enerjiye son olarak da jeneratör yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülmektedir (www.nei.org).

2.2.2. Yenilenebilir enerji kaynakları

Doğal yollardan devamlı ve tekrar edilerek ulaşılan kaynaklardan elde edilen enerji, yenilenebilir enerji olarak tanımlanmaktadır. Sürdürülebilirliği olan ve doğal kaynaklardan elde edilen bir enerjidir. Dünya var oldukça kendisini yenileyen; güneş, hidroelektrik, jeotermal, biyokütle ve rüzgar gibi fosil esaslı olmayan tükenmeyen enerji kaynaklarıdır (Şekil 2.2.). Bu, çevre dostu enerji kaynaklarının özellikleri şöyle açıklanabilir;

- En önemli özelliği doğada yok olmadan kendilerini yenileyebilmeleridir.
- Genellikle herhangi bir üretim uygulamasına ihtiyaç duymamaktadır.
- Geleneksel enerji kaynaklarıyla kıyaslandığında, çevreye etkisi ve zararı daha düşüktür.
- Bileşimlerinde karbon bulundurmamaları için elektrik enerjisi üretirken CO₂ salınımları çok düşük seviyededir.



Şekil 2.2. En bilinen yenilenebilir enerji kaynakları (www.ege.edu.tr).

2.2.2.1. Rüzgar enerjisi

Rüzgar enerjisi; güneş kaynaklı, sürdürülebilir ve tükenmeyen bir güçtür. Güneşten yeryüzüne gönderilen enerjinin çok az miktarı (%1-2 gibi) rüzgar enerjisinin oluşumunda rol almaktadır. Yeryüzü ve atmosfer, güneş tarafından homojen olmayan bir şekilde ısıtılmaktadır. Bunun sonucunda meydana gelen sıcaklık ve basınç farkı, bir hava akımı oluşturmaktadır. Mevcut sıcaklığından daha fazla ısınan bir hava kütlesi atmosfere doğru yükselmektedir. Boşalan kısma, hacmi aynı fakat daha soğuk bir hava kütlesi yerleşmektedir. Bahsedilen hava kütlelerinin yer değiştirmesi olayına rüzgar denilmektedir (www.ucar.edu).

Farklı bir tanımla rüzgar; birbirlerine yakın iki basınç bölgesi arasında bulunan basınç farkından ötürü meydana gelen hava akımıdır. Hava akımının yönü yüksek basınç bölgesinden alçak basınç bölgesine doğrudur. Yüksek basınç bölgelerinden alçak basınç bölgelerine akan rüzgarlar; dünyanın eksenel hareketi, yerel ısı yayılımı, yüzey sürtünmeleri, yerel coğrafi farklılıklar ve çeşitli atmosferik olaylarla şekillenmektedir. Yeryüzünün homojen olmayan ısınması ve yerel coğrafi farklılıklar da göz önünde bulundurulduğunda; rüzgarın özellikleri, zamana ve bölgeye bağlı olarak farklılık göstermektedir. Yön ve hız, rüzgarın özelliklerini belirtmek için kullanılan parametrelerdir. Rüzgarın hızı irtifa ile, gücü ise hızının küpü ile değişmektedir. İlk yatırım maliyetleri yüksek olan rüzgar enerjisi uygulamalarının, değişken enerji üretimi ve kapasite faktörlerinin düşük olması gibi dezavantajlarının yanında üstünlükleri genel olarak şöyledir;

- Atmosferde çokça bulunmaktadır.
- Çevre dostu, temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağıdır.
- Dünya var oldukça tükenmesi ve maliyetinin değişmesi söz konusu değildir
- Enerji üretim maliyeti bakımından karşılaştırıldığında günümüz enerji santralleriyle rekabet edebilecek düzeydedir.
- İşletme ve bakım maliyetleri düşüktür.
- İstihdam yaratarak, kalkınmayı geliştirmektedir.
- Basit konstrüksiyonu ve teknolojisi sayesinde işletmesi kolaydır.
- Kısa sürede işletmeye alınabilmektedir (www.eie.gov.tr).

2.2.2.2. Güneş enerjisi

Güneşte bulunan hidrojen gazının helyum gazına dönüşmesiyle (füzyon süreci) ortaya çıkan ışıma enerjisi, güneş enerjisi olarak tanımlanmaktadır. Güneşten gelen bu enerji,

insanlığın güncel enerji tüketimi ile kıyaslandığında çok büyük kalmaktadır. 1970'lerden sonra, güneş enerjisini verimli bir şekilde kullanmak adına yapılan araştırmalar hızlanmış, güneş enerjisi sistemleri teknoloji bakımından gelişmiş, buna bağlı olarak yatırım ve işletme maliyetleri azalmış, çevre dostu bir enerji kaynağı olarak diğer enerji kaynaklarının yanında yerini almıştır (www.eie.gov.tr).

Güneş ile Dünya arasındaki uzaklık 150 milyon kilometredir. Güneş'ten Dünya'ya ulaşan enerji miktarı ise Dünya'daki yıllık tüketilen enerjinin yaklaşık 20 bin katıdır. Atmosfer tarafından %30'u geri yansıtıldığı için, güneş ışıınının tamamı yeryüzüne ulaşmamaktadır. Güneş enerjisinin, dünya atmosferi dışındaki enerji değeri yaklaşık 1370 W/m^2 'dir, fakat yeryüzüne ulaşabilen miktarı atmosferden ötürü 0 ile 1100 W/m^2 arasındadır. Dünya'nın sıcaklığı bu enerji ile yükselmekte ve bu sayede yeryüzünde yaşam mümkün olmaktadır. Meydana gelen ısınma, rüzgarların ve okyanus dalgalarının oluşmasını sağlamaktadır. Bitkiler, yeryüzüne ulaşan ışıınının %1'den az miktarını fotosentezde kullanmaktadır. Fotosentezde, karbondioksit, güneş ışığı ve su kullanılarak; besin ve oksijen üretilmektedir. Dünya'daki bitkisel yaşamın kaynağı fotosentezdir. Nükleer enerji haricinde tüm enerjilerin direkt ya da dolaylı kaynağı güneştir. (www.eie.gov.tr).

Materyal, metod ve teknoloji bakımından çok fazla çeşitlik gösteren güneş enerjisi sistemleri iki ana grupta sınıflandırılabilir.

- Isıl Güneş Teknolojileri: İlk olarak, bu yöntemde güneş enerjisi ısı enerjisine dönüştürülmektedir. Elektrik üretiminde değerlendirilebilen bu ısı enerjisi, direkt olarak da kullanılabilir.
- Fotovoltaik Güneş Teknolojisi: Güneş ışını, yarı iletken malzemeler (fotovoltaik hücreler) ile direkt elektrik enerjisine dönüştürülmektedir (www.emo.org.tr).

2.2.2.3. Hidrolik enerji

Hidrolik enerji, belirli bir yükseklikte bulunan akışkanın sahip olduğu potansiyel enerjidir. Bu enerji, ilk olarak türbin yardımıyla mekanik enerjiye, sonrasında da jeneratör yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Bu yolla elde edilen enerjiye hidroelektrik enerji adı verilmektedir. Hidroelektrik santraller akan suyun sahip olduğu enerjiyi, elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Akan suyun sahip olduğu enerji, suyun akış ve düşüş hızıyla belirtilmektedir.

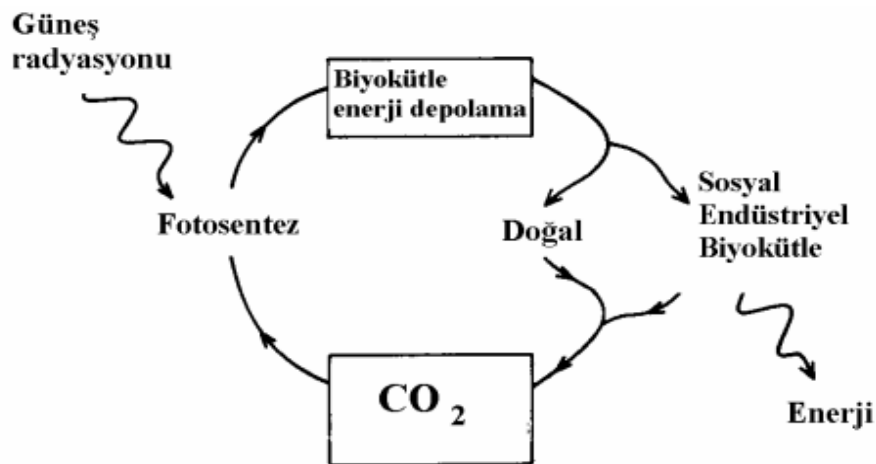
Yüksek debide ve hızda akan su yüksek miktarda enerjiye sahiptir. Veya belirli bir yükseklikten suyun düşürülmesiyle de çok yüksek miktarlarda enerji elde edilebilmektedir. Bu yöntemlerle boru ya da kanallar içerisine alınan su, türbinlere akarak türbinleri döndürmektedir. Türbinler de jeneratörleri döndürerek elektrik enerjisi üretilmektedir (Akpınar vd., 2009).

Faydaları

- Hidroelektrik enerji santralleri yenilenebilir enerji kaynağı kullanmaktadır.
- Kendi içlerinde bir yapıları vardır, dışa bağımlı çalışmazlar.
- Doğa için bir kirlilik oluşturmazlar.
- Acil durumlarda uygun görülen her an devreden çıkartılabilirler.
- Hidroelektrik santraller için yapılan yatırımlar sadece enerji elde amaçlı değil, taşkınları önlemek ve en önemlisi sulama alanında da kullanılabilir (www.mmo.org.tr).

2.2.2.4. Biyokütle enerjisi

Bitkilerin, güneş enerjisini fotosentezle enerjiye dönüştürerek depolaması sonucu oluşan besin (biyolojik kütle) ve bunun bağışları olan organik madde kaynaklarına biyokütle adı verilmektedir. İçeriğinde karbon ihtiva eden organik maddeler, oksijenle tepkimeye girmeleri sonucunda ısı açığa çıkmaktadır. Şekil 2.2.'de gösterilen; hayvansal atıklar, bitkisel atıklar, endüstri ve şehir atıkları enerji üretiminde kullanılabilecek biyokütle kaynakları olarak sınıflandırılabilir (www.nationalgeographic.com).



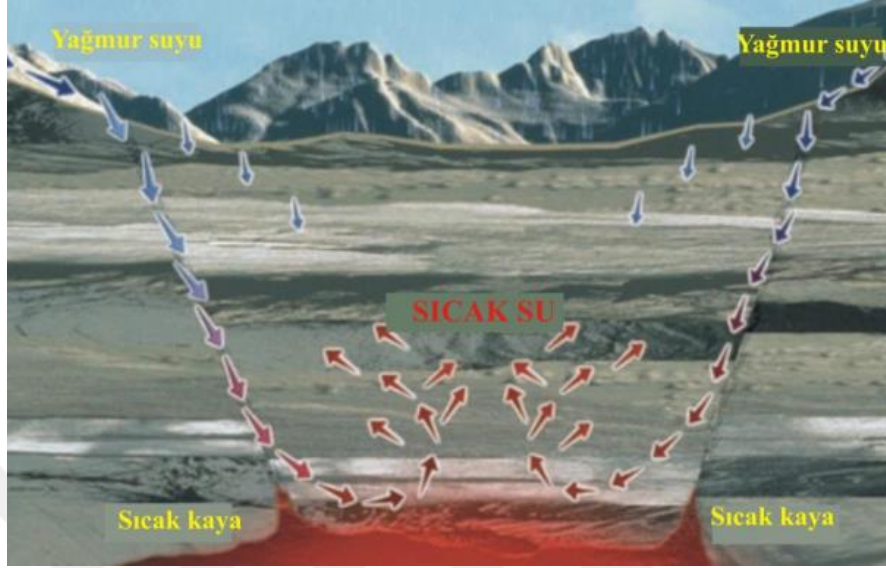
Şekil 2.3. Biyokütle çevrimi (Çetiner, 2016).

İçeriğinde organik madde bulunduran artıkların ve kalıntıların mikrobiyolojik açıdan değerlendirilmesi; çevreyi korumak ve temiz enerji üretimi sağlamak açısından önem arz etmektedir. Biyokütle, bilhassa gelişmekte olan ülkelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Hayvan ve bitki artıkları gibi biyokütle kaynakları, ülkemizin kırsal kesimlerinde ısıtma ve ısınma amaçlı olarak uzun senelerdir kullanılmaktadır. Her bölgede yetişebilmesi, çevreyi kirletmemesi, elektrik üretilebilmesi ve özellikle motorlu taşıtlar için yakıt olabilme özellikleri nedeniyle, biyokütle stratejik bir enerji kaynağıdır (Çetiner, 2016).

2.2.2.5. Jeotermal enerji

Yerkabuğunun çeşitli kısımlarında biriken ısıнын oluşturmuş olduğu, devamlı bir şekilde sıcaklıkları atmosferik sıcaklığın üzerinde seyreden ve yakınındaki yer üstü ve yer altı sularına kıyasla bileşiminde daha çok gaz, mineral ve çeşitli tuzlar bulunduran, buhar ve sıcak su; jeotermal enerji olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2.4.). Yerin derinliklerinde bulunan kuru ve sıcak kayalar da; herhangi bir akışkan barındırmamasına rağmen belirli yöntemlerle ısısından yararlanıldığı için jeotermal enerji kaynağı olarak sınıflandırılmaktadır. Jeotermal enerjisi sistemi, aşağıdaki unsurlardan meydana gelmektedir;

- Isı kaynağı
- Suyun veya buharın depolandığı rezervuar
- Isının taşındığı akışkan
- Örtü kaya (www.geothermal.org)



Şekil 2.4. Jeotermal enerji sisteminin şematik gösterimi (Çetin, 2014).

Yüksek sıcaklıkta ve yüzeye yakın bölgelere erişebilen magmatik sokulumları olan ısı kaynağının yanında, düşük sıcaklıktaki sistemlerde de derinlikle birlikte meydana gelen sıcaklık artışı (jeotermal gradyan) yaklaşık olarak 100 metrede 2,5 ile 3 °C arasındadır. Isıyı taşıyan suyun sirkülasyon edebileceği gözenekli kayalara rezervuar denilmektedir. Rezervuarların üst kısmında yer alan ve yalıtım sağlayan tabakalar, örtü kayayı meydana getirmektedir. Jeotermal akışkan ise, genellikle meteorik sudan oluşmaktadır. Ancak, rezervuardaki sıcaklık ve basınca göre buhar halinde de bulunabilmektedir. Bu su, çeşitli gazlar ve bazı kimyasal maddeler ihtiva etmektedir (www.colorado.edu).

3. MANYETİZMA

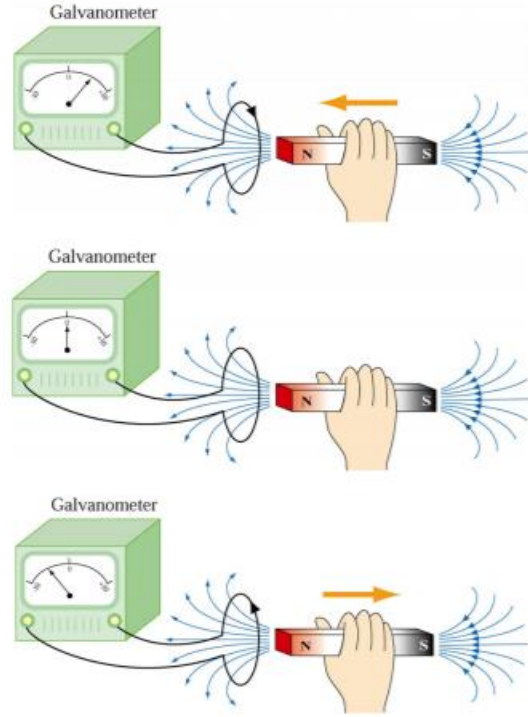
Hareket eden elektrik yüklerinin, birbirlerine etki eden kuvvetlerini inceleyen bilim dalına manyetizma denilmektedir. Manyetizma aynı zamanda manyetik alan tarafından oluşturulan fiziksel bir olgudur. Elektrik akımı ya da temel bir parçacık herhangi bir manyetik alan meydana getirebilmektedir. Meydana gelen manyetik alan diğer akımları ve manyetik momentleri de etkilemektedir. Manyetik alan her madde üzerinde belli bir etkiye sahiptir. Bir maddenin manyetik durumu sıcaklık, basınç, uygulanan manyetik alan gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Bu faktörler değiştiğinde, bir madde birden fazla manyetizma özelliği sergileyebilmektedir. Manyetizma'nın daha anlaşılabilir olması için Elektromanyetik İndüksiyon Teorisi'nin incelenmesi gerekmektedir (Yosida, 1998).

3.1. Elektromanyetik İndüksiyon

Elektromanyetik İndüksiyon Teorisi 1831 yılında Michael Faraday tarafından bulunmuştur. Bu teori kısaca şöyle özetlenebilir; değişken manyetik alan etkisinde kalan bir metal üzerinde indüksiyon gerilimi meydana gelir ve bu gerilim metal üzerinde girdap akımları oluşturur. Manyetik alanla ısıtma; diyamanyetik veya paramanyetik bir malzemenin değişken manyetik alan etkisinde bırakılarak üzerinde gerilim yaratılması ve bu gerilimin oluşturacağı girdap akımlarının malzemeyi ısıtması ile sağlanmaktadır. (Altıntaş vd., 2012).

3.1.1. Faraday kanunu

Bir iletkenin etrafındaki manyetik alanda meydana gelen değişimin bir voltaj yani elektromotor kuvvet oluşturacağını Michael Faraday tespit etmiştir. Durumun daha net anlaşılabilmesi için Şekil 3.1.'de gösterildiği gibi basit bir deney düzeneği düşünülebilir. Bir iletken bir galvanometreye bağlanmış olsun. Bir mıknatıs bu iletkene doğru hareket ettirildiğinde galvanometre ibresinin saptığı gözlenmektedir. Mıknatıs iletkenden uzaklaştırıldığında galvanometre ibresinin ters yönde saptığı gözlenmektedir. Mıknatıs hareketsiz bırakıldığında ise ibrede herhangi bir sapma gözlenmemektedir. Buradan; mıknatısın yer değiştirmesinden ötürü manyetik alanda meydana gelen değişikliği, iletkenin algıladığı anlaşılmaktadır. Bu sayede, değişen manyetik alan ile akım arasında bir ilişkinin var olduğundan bahsedilebilir (Ozansoy, 2007).



Şekil 3.1. Faraday kanunu (www.mit.edu).

Düzenekte hiçbir güç kaynağı olmamasına karşın devrede bir akımın başladığı görülmektedir. Bu akımın kaynağı indüklenmiş elektromotor kuvvet olduğu için, akım indüklenmiş akım olarak adlandırılmıştır. Bir devredeki manyetik akının zaman göre türevi ile devrede oluşan elektromotor kuvvet, Faraday Kanunu'na göre doğru orantılıdır. İfadenin formüle edilmiş şekli aşağıdaki gibidir (Fleisch, 2007).

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi_B}{dt}$$

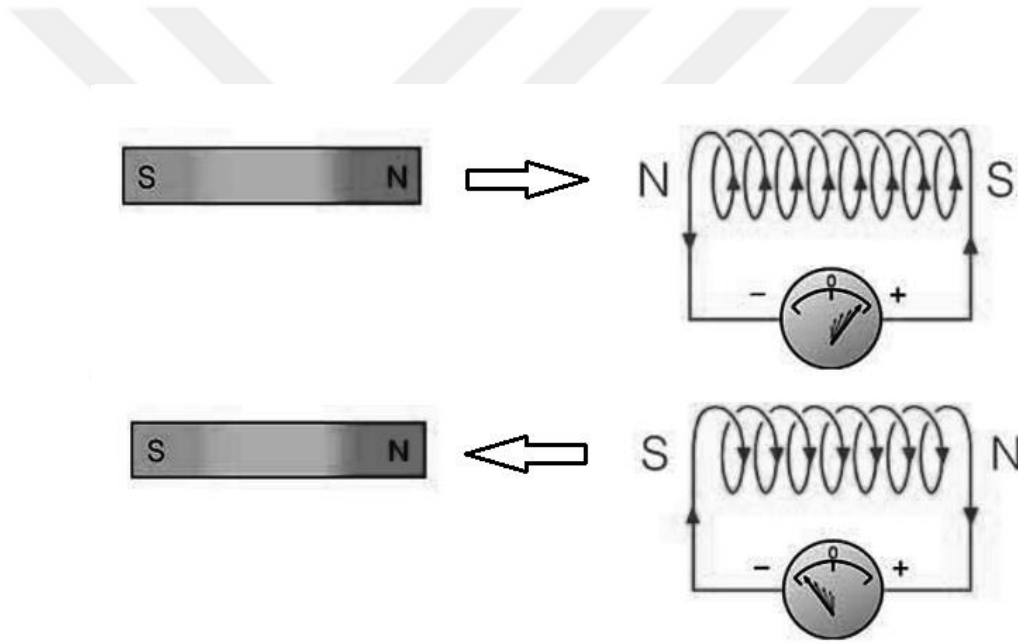
ε : İndüklenen EMK (Volt)

Φ : Manyetik akı (Weber)

t : Zaman (saniye)

3.1.2. Lenz kanunu

Bir mıknatıs; tel sarımlı, iletken bobin içerisine yaklaştırılıp uzaklaştırıldığında manyetik alan meydana gelmektedir (Şekil 3.2.). Mıknatısın oluşturmuş olduğu manyetik alanı yok etmek üzere tepki gösteren bobin, bu durumda ters yönde bir manyetik alan oluşturmaktadır. Bobin bunların sonucunda, mıknatısın oluşturduğu manyetik alana karşın manyetik alan üretecek bir elektrik akımı üretmektedir. İndüksiyon bobini tarafından üretilen bu akım, indüklenmiş akımdır. Heinrich Lenz, bu akımının kendisi oluşturan manyetik alana zıt yönde bir manyetik alan meydana getirecek şekilde akacağı bulduğu için bu durum Lenz Kanunu olarak bilinmektedir (Muncaster, 1993).

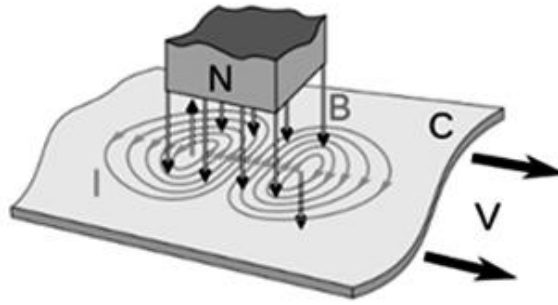


Şekil 3.2. Lenz kanunu (www.electrical4u.com).

3.1.3. Eddy akımları

Faraday Kanunu'na göre; değişken manyetik alanın iletkenlerde oluşturmuş olduğu çembersel elektrik akımı, Eddy Akımı (Girdap Akımı) olarak adlandırılmaktadır (Şekil 3.3). Kapalı bir döngüde, akışı manyetik alana dik bir şekilde olan bu akım; bir durağan iletken içerisinde; trafo veya AC elektromıknatıs yardımıyla oluşturulmuş, sabit mıknatısa göre hareketli iletken ile ya da zamanla bağlantısı olan bir değişken manyetik alan ile meydana getirilebilir. Sınırlı bir bölgede oluşan akımın büyüklüğü; bölgede oluşmuş manyetik alanın

anlık değişimi, bölgenin alanı, ve manyetik alanın büyüklüğü ile doğru, akımın oluştuğu iletkenin direnci ile ise ters orantılıdır (www.princeton.edu).



şekil 3.3. Eddy akımları (www.princeton.edu).

Eddy Akımı, Lenz Kanunu nedeniyle kendisini meydana getiren manyetik alana karşı bir manyetik alan oluşturmaktadır; yani kendisini oluşturan manyetik alan değişimine karşı gelmektedir. Üzerinde Eddy Akımı oluşan iletken bir yüzey, çevresinde hareket eden bir mıknatısa çekme kuvveti uygulamaktadır. Günümüzde bu durum, yüksek hızlı trenlerde bulunan Eddy Akımı Frenleri'nde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu fren; cihazın enerjisi kesildiğinde, dönen cisimlerin hızlı bir şekilde durmasını sağlamaktadır. Devresinde direnç bulunan akımın enerjisinin bir kısmı, direnç sebebiyle ısı enerjisine dönüşmektedir. Elektrik motorları, elektrik jeneratörleri ve alternatif akım indüktörlerinde meydana gelen bu enerji kayıplarının en önemli nedeni Eddy Akımı'dır. Bu kayıpları önlemek adına, bu cihazlara manyetik çekirdekler eklenmektedir. Ayrıca Eddy Akımı metal malzemelerdeki hatalı yüzeyleri belirlemek amacıyla Eddy Akımı Test Cihazlarında ve indüksiyon fırınlarında malzemeleri ısıtmak veya ergitmek amacıyla da kullanılmaktadır (Rodriguez, 2010).

3.2. Mıknatıslık ve Manyetik Maddeler

Demir, nikel, kobalt gibi manyetik özelliği olan metalleri çekebilen malzemelere mıknatıs denilmektedir. Dünya'da doğal olarak bulunabilen mıknatısları yapay olarak da üretmek mümkündür. Doğal mıknatıs, mıknatıs taşı veya magnetit adı verilen bir demir oksit (Fe_3O_4) bileşiğidir (Blaney, 2007).

3.2.1. Mıknatıs çeşitleri ve manyetik özellikler

Yapay mıknatıslar demir, nikel, ve kobalt gibi metallerin alaşımlarının mıknatıslandırılmasıyla elde edilmektedir. Günümüzdeki mıknatıs çeşitleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir (Blaney, 2007).

Samaryum Mıknatıslar: Yüksek enerji değerli samaryum mıknatıslar, SmCo_5 ve $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ alaşımlarından üretilmiş ve magnetokristalin anizotropileri ile ön plana çıkmış nadir toprak elementi mıknatıslarıdır. Samaryumun doğada az bulunan ve pahalı bir element olması, samaryum mıknatısların en önemli dezavantajıdır. Bilhassa ağırlık ve hacmin önemsendiği havacılık sektöründe ve robotik sistem motorlarında yaygın olarak kullanılmaktadır (www.miknatis.net).

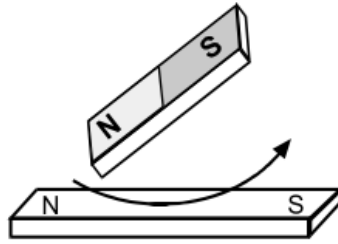
Alnico Mıknatıslar: Kobalt, nikel ve alüminyumun farklı bileşimlerindeki metalik alaşımlardan elde edilen mıknatıslardır. İlk yüksek indüksiyonlu mıknatıslar arasında yer alan alnico mıknatıslar, elektrik motorlarının mıknatıslarla uyarılma uygulamalarında kullanılmıştır. Pahalı olmasının sebebi, kobaltın doğada az bulunan bir element olmasından dolayıdır. Manyetik alan şiddetlerinin düşüklüğü sebebiyle, günümüz makinelerinin tasarımında kullanılmamaktadır. Yapısı gereği diğer mıknatıs çeşitlerine göre daha mukavemetli olması ve yüksek sıcaklıklardan etkilenmemesi sebebiyle bu özellikleri gerektiren uygulamalarda tercih edilmektedir (www.miknatis.net).

Neodyum Mıknatıslar: Samaryum mıknatıslarda sonra bugüne kadar üretilen mıknatıslar arasında en yüksek enerjiye ve kalıcı indüksiyona sahip mıknatıslardır. Neodyum, demir ve bor alaşımından meydana gelen neodyum mıknatısların, Curie sıcaklıklarının düşük ve maliyetlerinin yüksek olması en önemli dezavantajlarıdır. Tıpkı samaryum mıknatıslar gibi ağırlık ve hacmin önemsendiği havacılık sektöründe, robotik sistem motorlarında, manyetik seperatör yapımında vb. yerlerde kullanılmaktadır (www.miknatis.net).

Seramik Mıknatıslar: Ferrit olarak da bilinen seramik mıknatıslar, demirin; stronsiyum, baryum ve kurşun oksitlerle oluşturmuş olduğu hekzagonal yapılı bileşiklerdir. Maliyetinin düşük, Curie sıcaklıklarının yüksek ve ısı kararlılıklarının iyi olması gibi nedenlerle endüstride en yaygın olarak kullanılan mıknatıslardır. Kalıcı indüksiyonlarının ve enerjilerinin düşük, ağırlığının yüksek olması dezavantajlarıdır. Servo motorlarda, hoparlörlerde ve otomotiv sanayisinde kullanılmaktadır (www.miknatis.net).

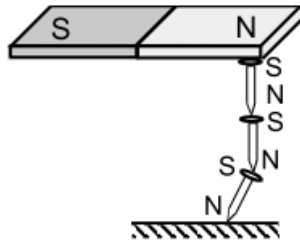
Bu mıknatısların dışında demir esaslı malzemelere mıknatıslık özelliği kazandırılabilir. Bu yöntemler aşağıdaki gibidir.

- **Sürtünme Yoluyla Mıknatıs Elde Edilmesi:** Bir mıknatısın kuzey veya güney kutbu, demir bir çubuğa her defasında aynı yönlü olarak sürtüldüğünde; demir çubuk mıknatıslık özelliği kazanmaktadır (Şekil 3.4.) Demir çubuk içerisinde bulunan düzensiz mıknatıs çiftleri, mıknatısın sürtülmesi sonucunda belli bir düzende sıralanmaktadır. Demir çubuk, bu sayede mıknatıs haline gelmektedir.



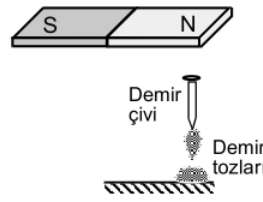
Şekil 3.4. Sürtünme yoluyla mıknatıs elde edilmesi (www.meb.k12.tr).

- **Dokunmayla Mıknatıs Elde Edilmesi:** Şekil 3.5.'de toplu iğnelere temas eden mıknatıs, her bir iğneyi mıknatıslandırmaktadır. Mıknatısın hangi ucu dokunduruluyorsa, iğne mıknatısların kutupları ona göre zıt kutup özelliği kazanmaktadır. Yani mıknatısın S kutbuna dokundurulmuş uç N, diğer uç ise S olmaktadır.



Şekil 3.5. Dokunmayla mıknatıs elde edilmesi (www.meb.k12.tr).

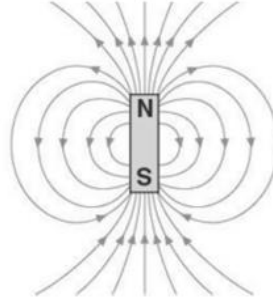
- **Etki ile Mıknatıs Elde Edilmesi:** Şekil 3.6.'daki gibi bir mıknatıs demir bir çiviye yaklaştırıldığında, demir çivi mıknatıs tozlarını çekebilecek şekilde etki ile mıknatıslanmaktadır. Demir, nikel ve kobalt gibi metaller, mıknatısın manyetik alanı içerisinde kaldıklarında etki ile mıknatıslanmaktadır. Bu etki ile mıknatıslanma yumuşak demir gibi bazı metallerde geçici olmaktadır. Mıknatıs özelliği kazanan metal, belirli bir süre sonra bu özelliğini yitirmektedir.



Şekil 3.6. Etki ile mıknatıs elde edilmesi (www.meb.k12.tr).

Manyetik alan, mıknatısın etkisini gösterdiği alan olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca bu alan kuvvet çizgileriyle de ifade edilebilmektedir. Bir iletken üzerinden akım geçirildiğinde manyetik alan meydana gelmektedir. Kullanım alanı oldukça geniş olan elektrik akımının manyetik etkisi; elektrik motorları, trafolar, indüktif sensörler, mikro dalga uygulamaları, haberleşme sinyallerinin üretimi, iletimi ve toplanması gibi yerlerde kullanılmaktadır (www.britannica.com).

Manyetik Kutuplar: Demir tozları; çubuk biçimindeki bir mıknatısın üzerine serpiştirildiğinde, daha çok mıknatısın uç kısımlarında toplanmaktadır. Mıknatısın kutupları olarak adlandırılan bu noktalar, mıknatısın çekme kuvvetinin en fazla olduğu yerlerdir (Şekil 3.7.). Mıknatıs, hangi şekilde olursa olsun daima iki kutupludur. Şekil 3.8.'de gösterildiği gibi bir ip kullanılarak ağırlık merkezinden asılan mıknatıs, kuzey – güney doğrultusunda olacak şekilde konumlanır. Güneye yönelen mıknatıs kutbuna güney kutbu, kuzeye yönelen mıknatıs kutbuna ise kuzey kutbu adı verilir (ASTM, 1970).



Şekil 3.7. Mıknatıs kutupları ve kuvvet çizgileri (www.meb.k12.tr).

İki mıknatıs birbirlerine yaklaştırılırsa; aynı olan kutuplarda birbirini çekme, zıt kutuplarda ise birbirini itme hareketi gözlenir. Bu çekme veya itme kuvvetinin değeri; iki mıknatıs arasındaki mesafenin karesi ile ters, mıknatısların kutup şiddetleriyle doğru orantılı olarak değişmektedir. İki mıknatısın birbirlerine uygulamış olduğu kuvvet aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$F = K (M_1 \cdot m_2) / D^2$$

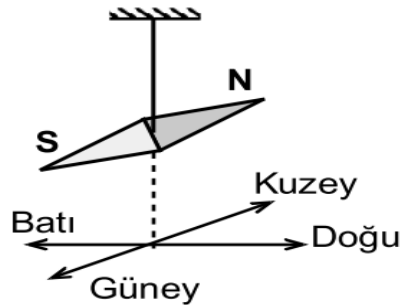
Bu denklemden,

F: İki kutup arasında oluşan kuvvet (N)

D: Manyetik kutuplar arası mesafe (m)

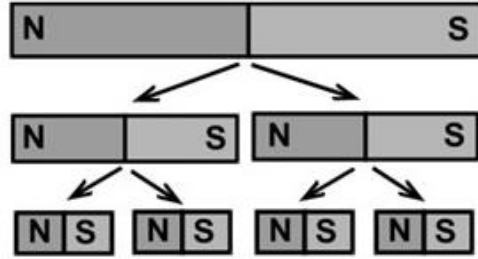
K: 10^{-7} N/A² (sabit)

M₁, m₂: Manyetik kutup şiddeti (A.m)



Şekil 3.8. Manyetik kutuplar (www.meb.k12.tr).

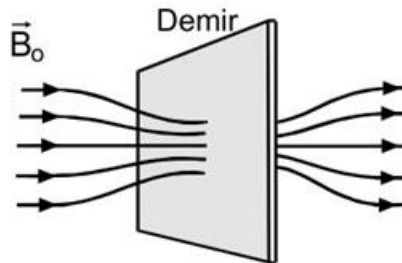
Eşit koşullar altında mıknatısın büyüklüğü, mıknatısların birbirlerine tatbik edeceği kuvvet üzerinde etkili değildir. Şekil 3.9.'da çubuk şeklindeki bir mıknatısın iki parçaya bölünmesiyle oluşan parçalar da kuzey ve güney olmak üzere iki kutba sahip mıknatıslardır.



Şekil 3.9. Çubuk mıknatısın bölünmesi (www.meb.k12.tr).

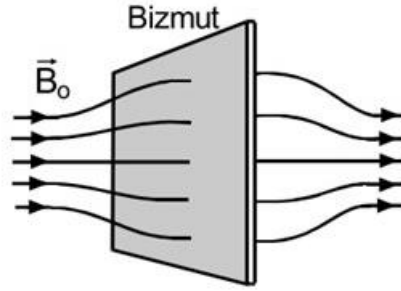
Bu işlem en küçük zerreciklere kadar devam etse bile, bölünen her parça kuzey ve güney olmak üzere iki kutuplu mıknatıslar olacaktır. Buradan anlaşılabacağı üzere kuzey ve güney kutupları daima birlikte ve ayrılması mümkün değildir.

Manyetik Geçirgenlik: Manyetik alan çizgileri içerisinde bulunduğu ortama göre değişik özelliklere sahip olmaktadır. Şekil 3.10'daki gibi düzgün bir manyetik alana (şiddeti boşlukta B_0), manyetik alandan etkilenen bir metal olan demir konulduğunda manyetik alan çizgileri birbirine yaklaşarak şekillenmektedir. Birim yüzey alanından geçen akı miktarı bu şekilde artış göstermektedir.



Şekil 3.10. Demirin manyetik geçirgenliği (www.feedfury.com).

Düzgün bir manyetik alan içerisine, Şekil 3.11.'deki gibi diyamanyetik metaller olan gümüş, bizmut, ve bakır gibi malzemeler konulduğunda, manyetik alan çizgileri bu yüzeylerden birbirinden uzaklaşarak geçmektedir.



Şekil 3.11. Bizmutun manyetik geçirgenliği (www.feedfury.com).

Simgesi μ olan maddenin manyetik geçirgenliği, maddenin manyetik alan çizgilerini birbirinden uzaklaştırma (seyrekleştirme) ve birbirine yaklaştırma (sıklaştırma) özelliğidir. μ_0 ile gösterilen boşluğun manyetik geçirgenliği ise,

$$\mu_0 = 4 \pi \cdot 10^{-7} \text{ Wb / A.m}$$

formülü ile hesaplanmaktadır.

Bir ortamdaki; manyetik akımlardan ya da kutuplardan oluşabilen mıknatıslayıcı alan, manyetik alan şiddetiyle bağlantılıdır. H ile gösterilen herhangi bir uzay bölgesindeki mıknatıslayıcı alanın manyetik alan şiddeti,

$$B_0 = H \cdot \mu_0$$

formülü ile bulunmaktadır.

Eğer bizmut, demir, kobalt ve nikel gibi bir maddesel ortam; mıknatıslayıcı alan içerisinde olursa, burada meydana gelen manyetik alanın şiddeti,

$$B = H \cdot \mu$$

formülü ile bulunmaktadır.

Burada mıknatıslayıcı alanın (H) birimi SI birim sisteminde amper/metre olarak kullanılmaktadır. Uzayın manyetik geçirgenliği μ_0 , maddesel ortamın manyetik geçirgenliği ise μ katsayılarıyla ifade edilmektedir.

B/B_0 maddenin bağıl manyetik geçirgenliği (μ_b) olarak tanımlanmaktadır. Bu bağıntıda;

B: Madde içerisindeki manyetik alan şiddeti

B_0 : Uzayın herhangi bir noktasındaki manyetik alan şiddeti'dir.

Havanın ve boşluğun bağıl manyetik geçirgenliği 1'dir. Bir ortamın manyetik geçirgenliği;

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_b$$

formülü ile hesaplanmaktadır.

3.2.2. Manyetik maddeler ve manyetik alan

Manyetik maddeler; manyetik alanı etkileyen veya manyetik alandan etkilenen maddelerdir. Kolay bir şekilde mıknatıslık özelliği kazanabilen demir gibi yumuşak metaller, kısa bir süre sonra bu özelliklerini kaybetmektedir. Mıknatıslık özelliği kazanmaları daha zor olan kobalt ve nikel gibi sert metaller ise daha uzun süre bu özelliklerini devam ettirebilmektedir. Bileşiminde kobalt, nikel ve alüminyum gibi metaller bulunan özel bir yapay mıknatıs, mıknatıslık özellik kazandığı zaman onu kaybetmemektedir.

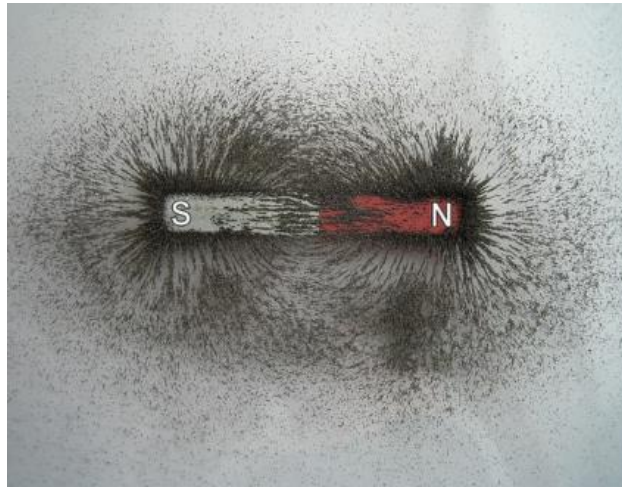
Özellikleri bakımından manyetik olan maddeler üç grupta sınıflandırılmaktadır (Goldman, 2006).

- **Ferromanyetik Madde:** Bu grupta bağıl manyetik geçirgenlik değeri 1'den çok büyük olan maddeler yer almaktadır. Bir manyetik alana bu özellikteki maddeler konulduğunda, mıknatıslanarak bölgenin manyetik alan şiddetini artırmaktadır. Ferromanyetik maddelere demir, nikel ve kobalt gibi metaller örnek olarak gösterilebilir.
- **Paramanyetik Madde:** Bu grupta bağıl manyetik geçirgenlikleri 1'den biraz büyük olan maddeler yer almaktadır. Bir manyetik alana bu özellikte maddeler konulduğunda, bölgenin manyetik alan şiddeti az miktarda artış göstermektedir. Paramanyetik maddelere manganez ve alüminyum gibi metaller örnek gösterilebilir.

Diyamanyetik Madde: Bu grupta bağıl manyetik geçirgenlikleri 1'den biraz küçük olan maddeler yer almaktadır. Bir manyetik alana bu özellikte maddeler konulduğunda, bölgenin manyetik alan şiddeti az miktarda azalmaktadır. Diyamanyetik maddelere karbon, bakır ve bizmut gibi maddeler örnek gösterilebilir.

Manyetik Olmayan Maddeler: Manyetik alandan etkilenmeyen ve manyetik alanı etkilemeyen yani manyetik özellik göstermeyen maddeler, manyetik olmayan maddeler olarak adlandırılmaktadır. Tahta, seramik, mika, cam, plastik, lastik ve kağıt vb. maddeler bu gruptaki malzemelere örnek olarak verilebilir.

Manyetik Alan : Mıknatısın etrafında, manyetik özelliklerinin etkili olduğu bir bölge vardır. Manyetik alan, bir mıknatısın manyetik özelliklerini gösterebildiği bu bölge olarak tanımlanmaktadır. Şekil 3.12.'de görüldüğü gibi, karton üzerine yerleştirilen demir tozları etkileşerek küçük mıknatıslar haline gelir. Demir tozları, etki eden çekme kuvvetiyle birlikte birbirilerine eklenerek çizgi halinde sıralanırlar. Çizgi halinde sıralanan bu tozlar, o bölgede mıknatısın meydana getirdiği manyetik alan çizgilerini ifade etmektedir.



Şekil 3.12. Manyetik alan çizgileri (www.montana.edu).

Belirli bir yüzey üzerindeki bir noktanın manyetik alan şiddeti, birim yüzey alanından geçen ve manyetik alan çizgilerine dik bir doğrultuda olan çizgi sayısı ile orantılı olarak değişmektedir. Şiddeti, yönü ve doğrultusu olduğundan, bir noktadaki manyetik alan vektörel bir büyüklüktür. Manyetik alan, mıknatısların etrafında üç boyutlu olarak etkisini göstermektedir. Alan çizgilerinin daha sık olduğu bölgelerde manyetik alan şiddeti daha

büyüktür. Alan çizgilerinin seyrek olduğu yerler de ise manyetik alan şiddeti daha küçüktür. Şekil 3.13.'de kuzey kutbundan çıkan manyetik alan çizgilerin yönünün güney kutbuna doğru olduğu görülmektedir.



Şekil 3.13. Manyetik alan çizgilerinin gösterilmesi (MEGEP, 2011).

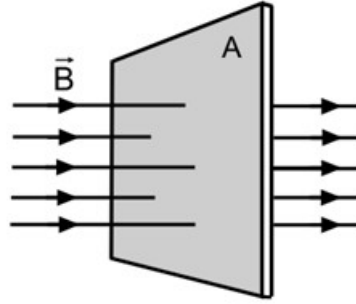
Manyetik Alan Çizgilerinin Özellikleri

- Yönleri aynı olan kuvvet çizgileri manyetik alan şiddetini artırmaktadır.
- Yönleri farklı (zıt) olan kuvvet çizgileri manyetik alan şiddetini azaltmaktadır.
- Her maddeye etki etmeyen kuvvet çizgileri, her maddeden geçmektedir.
- Birbirlerine paralel ilerleyen kuvvet çizgileri kesişmemektedir.
- Mıknatıs dışında kuvvet çizgilerinin doğrultusu kuzey kutbundan güney kutbuna doğrudur.
- Kuvvet çizgileri kapalı bir devre oluşturacak şekilde ilerler.

Manyetik Akı: Skaler bir büyüklük olan manyetik akı, bir manyetik alan içerisindeki belirli bir yüzeyden dik olarak geçen manyetik alan çizgi sayısıdır. Simgesi. Φ 'dir. Manyetik alan çizgileri A yüzeyine dik olarak etki ediyorsa manyetik akı;

$$\Phi = B \cdot A$$

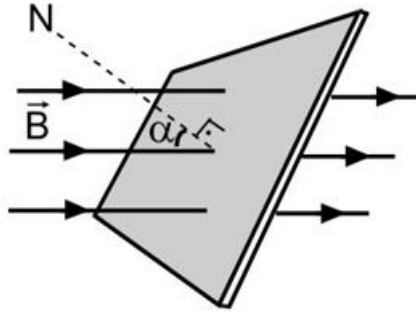
formülü ile bulunur.



Şekil 3.14. Yüzeye dik manyetik akı (MEGEP, 2011).

Manyetik akı bu durumda en büyük değere sahip olmaktadır (Şekil 3.14.). Formülde A , m^2 olarak yüzey alanını Φ ise Weber (Wb) olarak manyetik akıyı ifade etmektedir. Manyetik alan şiddeti ise B ile gösterilmektedir. Manyetik alan şiddetinin birimi Tesla veya $N/A.m$ 'dir. Eğer manyetik alan çizgileri yüzeye dik olarak gelmiyorsa, manyetik akı aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$\Phi = B.A.\cos \alpha$$



Şekil 3.15. Yüzeye dik olmayan manyetik akı (MEGEP, 2011).

Burada α , manyetik alan doğrultusu ile yüzeyin normali arasındaki açıdır (Şekil 3.15.). Manyetik alan çizgileri yüzeye paralel ise yani yüzeyi delip geçmiyorsa manyetik akı 0 değerini almaktadır.

4. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARI

Demir esaslı alaşımlardan sonra günümüz endüstrisinde en çok tercih edilen malzemeler, alüminyum ve alüminyum alaşımlarıdır. Geniş kullanım alanlarına sahip olan alüminyum ve alaşımlarının yaygın olarak kullanılmasının birçok önemli nedeni vardır. Bu nedenler aşağıdaki gibi açıklanabilir;

- Yüksek korozyon dayanımı
- Hafiflik (özellik ağırlığı 2,7 g/cm³)
- Yüksek elektrik iletkenliği
- Kolay işlenebilme yeteneği
- Yaşlandırılabilirlik özelliği
- Mukavemet / yoğunluk değerinin iyi olması

Saf alüminyum, endüstriyel malzeme olarak Çizelge 4.1’de belirtilen özellikleriyle bilhassa yüzey kalitesinin yüksek ve korozyon dayanımının iyi olması gereken parçaların üretiminde kullanılmaktadır (Vargel, 2004).

Çizelge 4.1. Saf alüminyumun mekaniksel ve fiziksel özellikleri.

Akma dayanımı (MPa)	Kopma uzaması (%)	Çekme dayanımı (MPa)	Elastisite modülü (GPa)	Kopma büzülmesi (%)	Sertlik (HB)	Ergime sıcaklığı (°C)	Isıl genleşme katsayısı (25°C’de)	Elektrik direnci (nΩ.m)	Özellik ağırlık (g/cm ³)
20-30	30-50	70-140	65-70	80-95	5-15	660	23,1	23,1	2,7

Alüminyumun ısı ve elektriksel iletkenliği bakıra kıyasla daha düşüktür. Ancak spesifik ısı iletkenliği (ısı iletkenlik / yoğunluk) ve spesifik elektriksel iletkenliği (elektriksel iletkenlik / yoğunluk) özellikleri bakımından bakırdan daha üstündür. Alüminyum alaşımları bu sebeple, havadan elektrik iletim hatlarında kullanılmaktadır. Ayrıca maliyet bakımından da bakırdan daha ucuzdur. Alüminyumun yüzeyi, korozi ortamlarda ince film şeklinde bir oksit tabakası (Al₂O₃) ile kaplanmaktadır, bu durum alüminyum korozyona dayanıklı hale getirmektedir. Alüminyum, bu özelliğinden ötürü korozi ortamlarda kullanılabilir. Alüminyum alaşımlarında, alüminyum ile bileşiminde bulunan diğer elementler galvanik pil oluşturmaya eğilimli olmasından dolayı, korozyon dayanımı istenilen yerlerde mümkün olduğunca alüminyumun saf kullanılması önerilmektedir. Fakat saf alüminyum, mekanik özelliklerindeki

mukavemet zayıflığı sebebiyle endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmamaktadır (Eker, 2008).

Soğuk ve sıcak şekillendirme kabiliyeti iyi olan alüminyumdan; çok karmaşık geometrik yapıdaki profiller, ekstrüzyon yöntemiyle üretilebilmektedir. Saf alüminyumdan üretilen birkaç mikron kalınlığındaki paketlenme folyoları gıda endüstrisinde kullanılmaktadır. Alüminyumun değişik renklerde üretilebilmesi; eloksal olarak tabir edilen, elektrolitik oksitlendirme işlemiyle mümkün olmaktadır. Bu işlem ile, farklı renklerde ve korozyona dayanıklı olan profiller üretilerek mimaride kapı, pencere vb. parçaların yapımında yararlanılmaktadır. Saf alüminyum bazı durumlarda, mekanik özellikleri iyi olan alüminyum alaşımlarının üzerine kaplanarak onların korozyon dayanımlarını iyileştirmektedir (Mısırlı, 2011).

Alüminyum ve alüminyum alaşımları manyetik geçirgenliği itibarıyla paramanyetik madde olarak sınıflandırılmaktadır. %99.99 saflık derecesindeki alüminyumun manyetik duyarlılığı χ (Chi) 0,623 olarak kabul edilmektedir. μ ve χ arasındaki bu ilişki

$$\mu = 1 + 4 \chi$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Alüminyumun manyetik duyarlılığının, katkı elementleriyle değişimi Çizelge 4.2.'deki gibidir.

Çizelge 4.2. Alüminyumun manyetik duyarlılık değişimi (Cobden , 1994).

Katkı Elementi	Oran (%)	χ
Cu	4.5	0.550
Mn	1.38	0.959
Cr	0.63	0.669
V	0.36	0.582

Alüminyum düşük manyetik özelliği sayesinde ve diğer manyetik olmayan metallerle kıyaslandığında hafiflik ve düşük maliyet avantajı da olduğundan donanma gemilerinin yapımında kullanılmaktadır (Cobden, 1994).

4.1. Alüminyum ve Alaşımlarının Sınıflandırılması

Mikro yapısına ve alaşım özelliklerine bağlı olarak alüminyum alaşımlarının; kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri değişiklik göstermektedir. Döküm ve dövme alaşımları olarak iki grupta sınıflandırılan alüminyum alaşımlarının en önemli katkı elementleri demir, çinko, magnezyum, silisyum ve bakırdır (Eker, 2008).

Döküm ve dövme alüminyum alaşımları kendi arasında da ısıtıl işlem uygulanamayan ve ısıtıl işlem uygulanabilen olarak iki gruba ayrılmaktadır. Isıtıl işlem uygulanamayan alaşımların mekanik özellikleri; dağılım sertleşmesi, deformasyon ve katı eriyik yöntemleri uygulanarak iyileştirilebilmektedir. Isıtıl işlem uygulanabilen alaşımlara ise yaşlandırma sertleşmesi uygulanarak mekanik özellikleri iyileştirilmektedir.

Katkı Elementlerinin Alüminyuma Etkileri

Demir: Mekanik özellikleri kötüleştirilen demir, alaşım içerisinde iğneli doku biçiminde kristallenmektedir.

Magnezyum: %33 oranında magnezyum katkısı ötektik bileşim oluşturmaktadır. Düşük özgül ağırlığa sahip olduğu için, alaşımın özgül ağırlığını da düşürmektedir. Magnezyum katkı oranı %6'dan fazla olan alaşımlarda ise çökelme sertleşmesi meydana gelmektedir.

Manganez: Alaşımın ergime derecesini yükselten manganez, alüminyum içerisinde %0,3 gibi düşük bir oranda ergimektedir. Demir ile birlikte dökülebilirliği artırmasının yanında alaşımın süneklik tokluk özelliklerini iyileştirmektedir.

Silisyum: Alüminyumun dökülebilirlik kabiliyetini artıran, alaşımın ergime derecesini düşüren, mekanik özelliklerini iyileştiren, kristalleri incelten bir elementtir. Alüminyumla %12 katkı oranında ötektik bileşim oluşturan silisyum, alüminyumun içerisinde %1-1,5 gibi bir oranda ergimektedir.

Bakır: Alüminyumla %33 katkı oranında ötektik bileşim oluşturmaktadır. Bakır alüminyuma; işlenebilirlik kolaylığı, dökülebilirlik, dayanım ve sertlik gibi özellikler kazandırmaktadır.

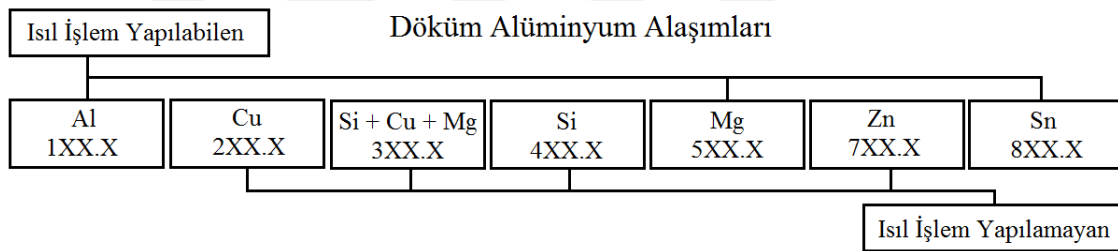
Çinko: %10'dan yüksek katkı oranında zayıf gerilmeli korozyon direnci sergilerler. Döküm özelliği iyi olan, yüksek oranda çinko içeren alüminyum alaşımlarında sıcak çatlama ve soğumayla birlikte çekme gözlenmektedir.

Titanyum: Alüminyum alaşımlarında, bor elementi ile birlikte kullanıldığında tane inceltici özellik göstermektedir (MEGEP, 2005).

4.1.1. Döküm alüminyum alaşımları

Silisyum, ötektik tepkimeye sebep olan, iyi akıcılık ve dökülebilirlik özelliği olan bir elementtir. Birçok döküm alüminyum alaşımı silisyum içermektedir. Akıcılık, sıvı fazdaki metalin kalıbın içerisini kolay bir şekilde doldurabilmesidir. Dökülebilirlik ise, dökümün düzgün bir şekilde elde edilmesidir.

Şekil 4.1.'de kendi aralarında sınıflandırılan döküm alüminyum alaşımları gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Döküm alüminyum ve alaşımlarının sınıflandırılması (Eker, 2008).

1XX.X: Saf alüminyum.

2XX.X: Esas alaşım elementi bakırdır.

3XX.X: Esas alaşım elementi silisyumdur. Bakır ve magnezyum gibi başka alaşım elementleri de bulunabilir. Sanayide kullanılan döküm alaşımlarının %90'ı 3XX.X serisidir.

4XX.X: Esas alaşım elementi silisyumdur.

5XX.X: Esas alaşım elementi magnezyumdur.

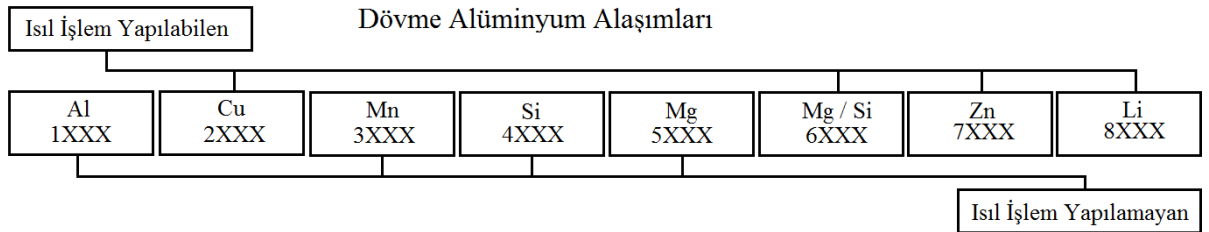
7XX.X: Esas alaşım elementi çinkodur.

8XX.X: Esas alaşım elementi kalaydır.

4.1.2. Dövme alüminyum alaşımları

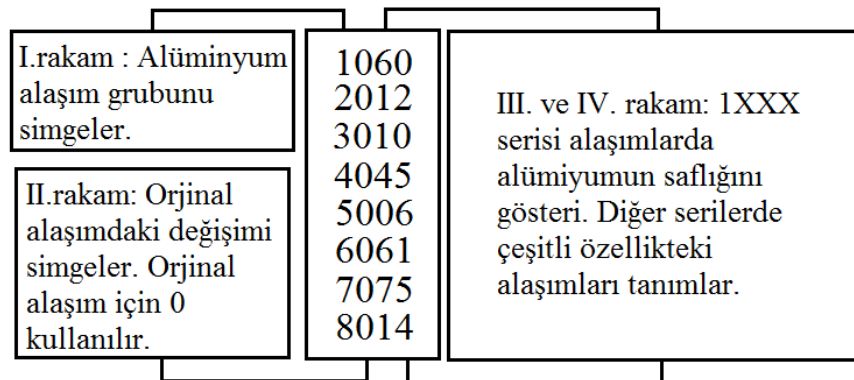
Adlandırılmasından da anlaşılacağı üzere dövme alüminyum alaşımları; ekstrüzyon, haddeleme ve dövme gibi plastik şekil verme metodları ile üretilmektedir. Plastik deformasyon kabiliyetleri iyi olan bu alaşımlara kolayca şekil verilebilmektedir. Pek çok döküm ve dövme alüminyum alaşımına ısıtma işlemi uygulanabilmektedir. Dövme alüminyum alaşımları Amerikan

Alüminyum Birliği'ne (AA) göre Şekil 4.2'de gösterildiği gibi dört rakamla sınıflandırılmaktadır.



Şekil 4.2. Dövme alüminyum ve alaşımlarının sınıflandırılması (Eker, 2008).

2000, 6000, 7000 ve 8000 serisi alaşımların sertleştirilebilmesi sadece ısıtılabilir. 1000, 3000, 4000 ve 5000 serisi dövme alüminyum alaşımları ise sadece şekil değiştirme yoluyla sertleştirilebilmektedir. Şekil 4.3.'de Amerikan Alüminyum Birliği'nin dövme alüminyum alaşımları için isimlendirme kriterleri gösterilmiştir (www.esabna.com).



Şekil 4.3. Alüminyum alaşımları isimlendirme kriterleri (Eker, 2008).

İsimlendirmede kullanılan ilk rakam, alaşımın hangi temel elementten oluştuğunu bildirmektedir. %99 saflıktaki alüminyum, 1000 serisi ile gösterilmektedir. Son kısımda bulunan iki rakam saflık değerinin %99'dan sonraki bölümünü ifade etmektedir. Baştan ikinci rakam ise 1 ile 9 arasında bir değer almakta ve özet olarak denetlenen katkı elementleri belirtmektedir. 2000 ile 8000 serisi arasındaki alaşımlarda; alaşımın türünü ilk rakam

modifikasyonları ise ikinci rakam simgelemektedir. Özel bir anlamı olmayan son iki rakam ise, alaşıımı serideki diğer alaşımlardan ayıran sıralama numarası gibi kullanılmaktadır.

Dövme alüminyum alaşımları yaygın olarak katkı elementlerine göre sınıflandırılmaktadır. Bunun yanı sıra, ısıtıl işlem uygulanıp uygulanmamasına göre de bu alaşımlar değerlendirilmektedir.

Mekanik özelliklerin iyileşmesine, alüminyum alaşımlarına diğer metallerin eklenmesi olanak sağlamaktadır. Ticari özellikteki saf alüminyumun bileşimde bulunan eser miktardaki yapı kirlenici elemanlar bile alüminyumun dayanımını artırmaktadır. Daha önceden de belirtildiği üzere alüminyum alaşımlarının en önemli katkı elementleri demir, çinko, magnezyum, silisyum ve bakırdır. Bu elementler, istenilen özellikteki alaşıımı oluşturabilmek amacıyla tek başına veya bileşik halinde alaşıma eklenmektedir. Dökümden sonra ısıtıl işleme tabi tutulmuş alüminyum alaşımlarının çekme dayanımları, içeriğine bağlı olmakla birlikte saf alüminyumun iki katı değerine kadar ulaşabilmektedir. Soğuk şekillendirme, alaşımların çekme dayanımını daha da iyileştirmektedir. Alaşımlandırmayla elde edilen dayanımdaki iyileşme, diğer özelliklerdeki farklılaşma ile oluşmaktadır. Bu farklılaşmalar değişik alaşımlarda çok nadir benzer olmaktadır. Bunun sebebi, birçok alaşımin çekme dayanımının aynı değerde olmasının yanında; üretim yönteminin kolaylığı, ısıtıl ve elektriksel iletkenlik ve tokluk gibi özelliklerde önemli farklılıkların olmasıdır. Katkı elementi alaşımin özgül ağırlığı üzerinde de etkili olmaktadır. Örnek olarak, bileşiminde %10 ile 13 arasında silisyum bulunan alaşımların özgül ağırlığı $2,65 \text{ kg/m}^3$ değerindedir. Bazı katkı elementleri ise alaşımin yoğunluğu artırıcı özellik göstermektedir (Oğuz, 1990).

1XXX Serisi Alaşımlar: Bu serideki alaşımlar, saf durumda bulunan veya eser miktarda katkı elementi içeren alaşımlar olup, kolayca folyo, profil ve sac haline getirilmektedir. Bileşimlerinde %99 oranında alüminyum, döküm kalıntısı olarak demir ve silisyum bulunmaktadır. Karakterizasyonları; üstün çalışma kabiliyeti, düşük mekanik özellikler, yüksek ısıtıl ve elektriksel iletkenlik ve mükemmel korozyon dayanımını oluşturacak şekildedir. Sadece deformans sertleşmesi yöntemi ile kısmen dayanım kazandırılabilen bu alaşımlarda yaşlanma sertleşmesi gözlenmemektedir. Bu alaşımlar elektrik iletim hatlarında, ısıtıl değiştiricilerde ve mimari uygulamalarda kullanılmaktadır (Şaldır, 2003).

Endüstride sıkça kullanılan 1XXX serisi alaşımların kimyasal kompozisyonları Çizelge 4.3.'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. 1XXX Serisi alaşımların kimyasal kompozisyonları (www.aluminum.org).

Alaşıım	Al (min)	Fe	Si	Mn	Cu	Mg	Cr	Zn	Ti
1070	99.70	0.25	0.20	0.03	0.04	0.03	-	0.04	0.03
1060	99.60	0.35	0.25	0.03	0.05	0.03	-	0.05	0.03
1050	99.50	0.40	0.25	0.05	0.05	0.05	-	0.05	0.03
1350	99.50	0.40	0.10	0.01	0.05	-	0.01	0.05	-
1145	99.45	0.55 Si + Fe		0.05	0.05	0.05	-	0.05	0.03
1100	99.00	0.95 Si + Fe		0.05	0.05-0.20	-	-	0.10	-

2XXX Serisi Alaşımlar: 2000 serisi alüminyum - bakır alaşımlarının temel alaşıım elementi bakırdır. Bu seride bulunan pek çok alaşıma bakırla birlikte magnezyum ve düşük oranlarda diğer elementler eklenmektedir. Çökeltme sertleşmesi ve katı eriyik mukavemetlenmesi ile dayanım özellikleri iyileştirilebilen bu serinin endüstriyel uygulamalarda yer edinmiş en önemli alaşıımı AA2024'tür. Çekme dayanımı 442 MPa olan 2024-T6 alaşıımında %0,6 mangan, %1,5 magnezyum ve %4,5 bakır bulunmaktadır (Oğuz, 1990).

Birim ağırlık dayanımının yüksek olması istenen havacılık ve uzay endüstrisinde 2000 serisi alaşımlar kullanılmaktadır. Endüstride sıkça kullanılan 2XXX serisi alaşımların kimyasal kompozisyonları Çizelge 4.4.'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. 2XXX Serisi alaşımların kimyasal kompozisyonları (www.aluminum.org).

Alaşıım	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti+Zr	Al
2014	0.5-0.9	0.5	3.9-5.0	0.4-1.2	0.2-0.8	0.1	0.2	0.2	0.2	Kalan
2024	0.5	0.5	3.8-4.9	0.3-0.9	1.2-1.8	0.1	0.05	0.2	0.2	Kalan
2031	0.55-1.25	0.6-1.2	1.8-2.5	0.2	0.65-1.2	-	0.6-1.4	0.2	0.2	Kalan

3XXX Serisi Alaşımlar: 3000 serisinin temel katkı elementi manganezdır. Genellikle bu seride serideki alaşımların bileşiminde %1,8 oranında mangan bulunmektedir. Manganezin alaşıım içerisindeki çözünürlüğü, sıcaklıkla birlikte doğru orantılı olarak değişim göstermektedir. Isıl işlem uygulanabilen bu seride alaşımlara yaşlandırma sertleşmesiyle dayanım kazandırılabilir. Tavlanmış durumda 110 MPa çekme mukavemeti olan en önemli alaşıım 3003, 1100'e eklenen %1,25 oranında manganla meydana getirilmektedir. Alaşıımdaki mangan miktarı yükseldikçe dayanım artışı gözlenmektedir. İyi işlenebilme özelliği istenilen yerlerde bu

serinin alaşımları kullanılmaktadır. Endüstride sıkça kullanılan 3XXX serisi alaşımların kimyasal kompozisyonları Çizelge 4.5.'de gösterilmiştir (Oğuz, 1990).

Çizelge 4.5. 3XXX Serisi alaşımların kimyasal kompozisyonları (www.aluminum.org).

Alaşım	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
3003	0.6	0.7	0.05-0.20	1.0-1.5	-	-	0.10	-	Kalan
3004	0.30	0.7	0.35	1.0-1.5	0.8-1.3	-	0.25	-	Kalan
3005	0.6	0.7	0.30	1.0-1.5	0.2-0.6	0.10	0.25	0.10	Kalan
3104	0.6	0.8	0.05-0.25	0.8-1.4	0.8-1.3	-	0.25	0.10	Kalan

4XXX Serisi Alaşımlar: 4000 serisinin temel katkı elementi silisyumdur. Alüminyum – silisyum alaşımlarının düşük silisyum katkılarında ergime sıcaklığının düşük olması, en önemli özelliğidir. Bu nedenle, sert lehim levhaların ve kaynak elektrotlarının üretiminde tercih edilmektedir. Başlıca kullanım alanları radyatör paneli imalatı, mimari uygulamalar ve lehim teli üretimidir. Silisyum, alüminyum içerisinde maksimum %1,65 oranında çözünebilmesine rağmen bu seride %2,5 oranında silisyum içeren alaşımlar oluşturulabilmektedir. Yapıdaki silisyum oranın artmasıyla dökülebilirlik özelliği iyileşmekte ve ergime sıcaklığı düşmektedir. Bileşiminde yüksek oranda silisyum içeren 4032 alaşımı yüksek aşınma mukavemeti, yüksek korozyon direnci ve düşük termal genleşme katsayısı ile içten yanmalı motor pistonlarının imalatında kullanılmaktadır. Isıl işlemle sertleştirilemeyen bu alaşımlar, anodik oksidasyon etkisinde koyu gri renk aldıklarından dekoratif olarak mimari uygulamalarda değerlendirilmektedir. Endüstride sıkça kullanılan 4XXX serisi alaşımların kimyasal kompozisyonları Çizelge 4.6.'da gösterilmiştir (Oğuz, 1990).

Çizelge 4.6. 4XXX Serisi alaşımların kimyasal kompozisyonları (www.aluminum.org).

Alaşım	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
4004	9.0-10.5	0.8	0.25	0.10	1.0-2.0	-	0.20	-	Kalan
4104	9.0-10.5	0.8	0.25	0.10	1.0-2.0	-	0.20	-	Kalan
4043	4.5-6.0	0.8	0.30	0.05	0.05	-	0.10	0.20	Kalan
4045	9.0-11.0	0.8	0.30	0.05	0.05	0.05	-	0.10	Kalan

5XXX Serisi Alaşımlar: Mekanik dayanımları orta düzeyden yükseğe kadar geliştirilebilen bu alaşımların temel katkı elementi magnezyumdur. Sıcaklığın azalmasıyla katı fazdaki magnezyumun çözünürlük miktarı da azalmaktadır. Isıl işlem ile sertleştirilebilme özellikleri

sınırlı olan bu alaşımlar içerisinde yalnızca %5'den büyük oranda magnezyum ve yeterli miktarda silisyum içeren alaşımlar yaşlandırma yoluyla sertleştirilebilmektedir. Soğuk şekillendirme özellikleri ise iyidir ve genellikle bu yöntem tercih edilmektedir. Yapıdaki magnezyum miktarı arttıkça dayanım ve sertlik artarken, süneklik azalmaktadır (Şaldir, 2003).

Dayanım artırıcı element olarak kullanılan magnezyum, 5000 serisi alaşımların bileşiminde %0,5 ile 5 arasında değişen oranlarda bulunmaktadır. Bu alaşımlar, korozyon dayanımı ve tokluğunun iyi olması sebebiyle özellikle deniz araçlarının suyla temas eden parçalarının üretiminde kullanılmaktadır. Endüstride sıkça kullanılan 5XXX serisi alaşımların kimyasal kompozisyonları Çizelge 4.7.'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. 5XXX Serisi alaşımların kimyasal kompozisyonları (www.aluminum.org).

Alaşım	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
5005	0.30	0.7	0.20	0.20	0.50-1.1	0.10	0.25	-	Kalan
5050	0.40	0.7	0.20	0.10	1.1-1.8	0.10	0.25	-	Kalan
5052	0.25	0.40	0.10	0.10	2.2-2.8	0.15-0.35	0.10	-	Kalan
5252	0.08	0.10	0.10	0.10	2.2-2.8	-	0.05	-	Kalan
5056	0.30	0.40	0.10	0.05-0.20	4.5-5.6	0.05-0.20	0.10	-	Kalan
5657	0.08	0.10	0.10	0.03	0.6-1.0	-	0.05	-	Kalan
5182	0.20	0.35	0.15	0.20-0.50	4.0-5.0	0.10	0.25	0.10	Kalan

6XXX Serisi Alaşımlar: Bu alaşımların temel katkı elementi magnezyum ve silisyumdur. Bu iki element birleşerek Mg_2Si bileşiğini oluşturmaktadır. Bu alaşımlar, metalik bileşik olan Mg_2Si 'nin sıcaklıkla birlikte değişen çözünürlüğü ile sertleştirilebilmektedir. Eğer bu alaşımlar çözelti içerisinde konulur ve yapay olarak yaşlandırılırsa, Mg_2Si parçacıkları alüminyum matrisi içerisinde çözünür. Böylece orta derecede dayanım ve sertlik elde edilmiş olur. 6061, bu seride en yaygın olarak kullanılan ve ısıtılma ile sertleştirilebilen alaşımdır. Yaşlandırılabilen alaşımlar içerisinde korozyon dayanımı, işlenebilme yeteneği, kaynak kabiliyeti ve şekillendirme yeteneği bakımından en iyi özelliklere sahip seri olarak bilinmektedir. Isıl işlem koşullarında çok iyi şekillendirilebilmeleri ve kararlı olmaları karakteristik özellikleridir (Büyükarıslan, 2006).

Kimyasal bileşimlerine bağlı olarak, iyi mekanik özelliklerinden dolayı havacılık ve uzay konstrüksiyonlarında ve donanımlarında, taşıma araçlarında, demiryolu taşıtlarında vb. sanayi sektörünün çeşitli alanlarında kullanılan bu alaşımlar, ek olarak ısıtılma ile sertleştirilebilen alaşımlar arasında soğuk şekillendirmeye elverişli alaşım grubudur. Endüstride

sıkça kullanılan 6XXX serisi alaşımların kimyasal kompozisyonları Çizelge 4.8.'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. 6XXX Serisi alaşımların kimyasal kompozisyonları (www.aluminum.org).

Alaşım	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Al
6061	0.4-0.8	0.7	0.15-0.4	0.15	0.8-1.2	0.04-0.35	-	0.25	0.15	Kalan
6063	0.3-0.7	0.6	0.1	0.5	0.4-0.9	-	0.2	0.1	0.2	Kalan
6082	0.7-1.3	0.5	0.1	0.1-0.4	0.5-1.2	0.25	0.1	0.2	0.2	Kalan
6070	1.3	-	0.28	0.7	0.8	-	-	-	-	Kalan

7XXX Serisi Alaşımlar: Bu serinin temel katkı elementi çinkodur. Az miktarda magnezyumla birlikte kullanıldığında ısıtıl işlem uygulanabilen ve çok yüksek dayanımlı alaşımlar oluşmaktadır. Alaşımlara dayanım kazandıran çinko yapıda yaklaşık %5 oranında bulunmaktadır. 7000 serisi alaşımlar alüminyum alaşımları içerisinde en mukavemetli seridir. 1940'ların başında savaş uçaklarında kullanılmak için geliştirilmiştir. Yüksek mukavemete sahip 7075, uçak gövdelerinin yapımında kullanılmaktadır. Çökelmeyle sertleştirilebilen ve dayanımı iyi olan alüminyum – çinko – magnezyum alaşımları iyi bir konstrüksiyon malzemesidir. Tavan vinçleri, kamyon kasaları, vidalı makine parçaları, uçak, roket ve savunma sanayi parçaları başlıca kullanım yerleridir. Endüstride sıkça kullanılan 7XXX serisi alaşımların kimyasal kompozisyonları Çizelge 4.9.'da gösterilmiştir (Öksüz, 1996).

Çizelge 4.9. 7XXX Serisi alaşımların kimyasal kompozisyonları (www.aluminum.org).

Alaşım	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Zr	Al
7010	0.12	0.15	1.5-2.0	0.10	2.1-2.6	0.05	5.7-6.7	0.11-0.17	Kalan
7049	-	-	1.6	-	2.4	0.16	7.7	-	Kalan
7075	0.4	0.5	1.2-2.0	0.3	2.1-2.9	0.18	5.1-6.1	0.15	Kalan
7178	-	-	2.0	-	2.7	0.23	6.8	-	Kalan

8XXX Serisi Alaşımlar: Alüminyum – lityum alaşımları, özellikle düşük yoğunluklu ve yüksek mukavemetli malzemelere ihtiyaç duyan havacılık sektörü için geliştirilmiştir. Bu alaşımlar hafif olmakla birlikte; tokluk, yüksek yorulma direnci ve yüksek elastisite modülü gibi özellikleriyle dikkat çekmektedir (Tülbentçi, 1990).

Yapıdaki lityum oranının %1 artmasıyla alaşımların yoğunluğu %3 azalmakta, elastisite modülü değeri ise %6 oranında artmaktadır. Isıl işlemle sertleştirilebilen bu alaşımların yapısında genellikle %1 ile 2 arasında lityum bulunmaktadır. Hızlı katılaşma metoduyla alaşıma %4 oranına kadar lityum katılabilmektedir. Bu durumla, özgül ağırlık düşerken yüksek dayanım kazanılmaktadır. 8000 serisi alaşımların üretim maliyetleri çok yüksek olduğu günümüz endüstrisinde sadece spesifik uygulamalarda tercih edilmektedir. Endüstride sıkça kullanılan 8XXX serisi alaşımların kimyasal kompozisyonları Çizelge 4.10.'da gösterilmiştir (Öksüz,1996).

Çizelge 4.10. 8XXX Serisi alaşımların kimyasal kompozisyonları (www.aluminum.org).

Alaşım	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Li	Zn	Zr	Al
8006	0.40	1.2-2.0	0.30	0.3-1.0	0.10	-	0.10	-	Kalan
8024	0.10	0.12-	-	-	-	3.4-4.2	-	0.08-0.25	Kalan
8090	0.20	0.30	1.0-1.6	0.10	0.6-1.3	2.2-2.7	0.25	0.04-0.16	Kalan
8091	0.30	0.50	1.6-2.2	0.10	0.5-1.2	2.4-2.8	0.25	0.08-0.16	Kalan

5. BAKIR VE ALAŞIMLARI

Bakır, saf haliyle ve diğer metal alaşımlarında sıkça kullanılması sebebiyle önemli bir mühendislik malzemesidir. Alaşımsız şartlarda bakır; genel lehimleme ve birleştirme özellikleri, kontrol edilebilen tavlama özellikleri, yeterli çekme mukavemeti, kolay üretim, iyi korozyon direnci, yüksek ısı ve elektriksel iletkenlik gibi özellikleri sayesinde olağanüstü özellikler kombinasyonuna sahip bir metal olarak bilinmektedir. Bakır bu özellikleriyle iklimlendirme, elektrik ve savunma sanayisinin ana malzemesi konumuna gelmiştir.

Bakır, gümüş ile altın arasında bir değerinde ısı iletkenliğe sahip, gümüşten sonra en iyi elektrik iletkenliği olan, kırmızımsı renkli, kullanım alanı çok geniş olan bir metaldir. Periyodik tabloda, 11.grup, 4.periyotta yer alır ve atom numarası 29 olan geçiş metalidir (Koçak, 2006).

Bakır doğada az miktarda saf halde, genellikle sülfürlü, oksitli ve kompleks halde bulunmaktadır. Bakır, mükemmel elektrik iletkenliği nedeniyle elektrik ve elektronik endüstrisinde yaygın olarak kullanılan bir elementtir. Saf bakırın elektrik iletkenliğinin bu sektörde kullanım için gerekli değeri yaklaşık 56 m/mm² Ω dir. Elektrik endüstrisinde telgraf ve telefon sistemlerinde, bina ve cihazlarda, yıldırım ve şimşeklerden korunma sistemlerinde, hava hatlarında ayrıca su borularında kullanılır. Otoyol, denizcilik ve demiryolu endüstrilerinde de kullanım alanı vardır. Bununla birlikte, yüksek sıcaklık uygulamalarında ısı değiştiricilerinde de kullanılmaktadır (Özkan, 2012).

Çizelge 5.1. Saf bakırın mekanik özellikleri.

Akma Dayanımı	40 - 80 N/mm ²
Çekme Dayanımı	200 - 250 N/mm ²
Sertlik (HV)	40
Uzama (kopma)	40%
Büzülme	75%
Young Modülü E	125 kN/mm ²
Özgül Ağırlık	8,9 g/cm ³
Ergime Sıcaklığı	1083 °C
Rekristalizasyon Sıcaklığı	100 – 400 °C
Dövülme Sıcaklığı	800 – 900 °C

5.1. Bakır ve Alaşımlarının Sınıflandırılması

Bakır pek çok metalle alaşımlar oluşturmaktadır. Bunlardan en tanınmış ve önemlileri çinko ile oluşturduğu pirinç, kalayla oluşturduğu tunç ve bunun dışında diğer pek çok metallerle oluşturduğu metal bronz alaşımlarıdır. Bakır Geliştirme Derneği'ne (CDA) göre, bakır ve bakır alaşımları aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadır (Bolton, 1989).

Saf bakıra eklenebilen birçok alaşım elementi bulunmaktadır. Bunlar; zirkonyum, çinko, kalay, tellür, kükürt, gümüş, silisyum, fosfor, oksijen, nikel, manganez, kurşun, demir, krom, kadmiyum, berilyum, arsenik ve alüminyumdur. Bu alaşım elementleri sağlayacağı avantajlara göre aşağıdaki çizelgelerdeki gibi gruplandırılabilir (Koçak, 2006).

Çizelge 5.2. Mukavemet artırıcı alaşım elementleri.

Mukavemet Artırıcı Alaşım Elementleri		
Kobalt (Co)	Zirkonyum (Zr)	Demir (Fe)
Berilyum (Be)	Çinko (Zn)	Fosfor (P)
Nikel (Ni)	Manganez (Mn)	Alüminyum (Al)
Kalay (Sn)	Silisyum (Si)	Krom (Cr)

Asil bir metal olmasına rağmen bakır; bazı ortamlarda gümüş, altın veya diğer değerli metallerin aksine korozyona dayanamamaktadır. Bazı bakır alaşımlarının gerilme korozyonuna ve hidrojen gevrekliğine dayanımının zayıf olduğu bilinmektedir.

Çizelge 5.3. Korozyon dayanımını artırıcı alaşım elementleri.

Korozyon Dayanımını Artırıcı Alaşım Elementleri
Kalay (Sn)
Silisyum (Si)
Demir (Fe)
Alüminyum (Al)
Manganez (Mn)
Arsenik (As)
Nikel (Ni)

Çizelge 5.4. Aşınma dayanımını artırıcı alaşım elementleri.

Aşınma Dayanımını Artırıcı Alaşım Elementleri
Alüminyum (Al)
Gümüş (Ag)
Kadmiyum (Cd)
Kalay (Sn)
Berilyum (Be)
Silisyum (Si)
Kobalt (Co)

Çizelge 5.5. İşlenebilirliği artırıcı alaşım elementleri.

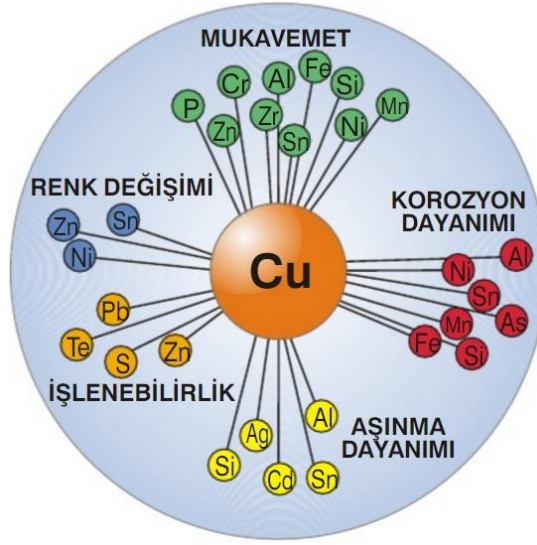
İşlenebilirliği Artırıcı Alaşım Elementleri
Çinko (Zn)
Kurşun (Pb)
Kükürt (S)
Tellür (Te)

Bazı bakır alaşımları dekoratif amaçlı da kullanılabilir. Yüzey alaşımlandırma ve özel bir renk uygulanarak, mekanik özelliklerle uyumlu bir alaşım oluşturulabilmektedir.

Çizelge 5.6. Renk değiştirici alaşım elementleri.

Renk Değiştirici Alaşım Elementleri
Çinko (Zn)
Kalay (Sn)
Nikel (Ni)

Saf bakıra ilave edilen, çizelgelerde gruplandırılmış alaşım elementlerinin etkileri Şekil 5.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Alaşım elementlerinin etkileri.

Dövme Bakır ve Alaşımları: Sıcak veya soğuk halde, dövme ya da haddeleme yoluyla şekillendirilebilmektedir. Profiller, teller, saclar ve çubuklar bu gruptaki bakır ve alaşımlarında üretilmektedir.

C1XX: Bakırlar ve yüksek bakır alaşımları. (Minimum %99,3 Cu)

C2XX: Cu – Zn Alaşımları (Pirinç)

C3XX: Cu – Zn – Pb Alaşımları (Kurşun Pirinçler)

C4XX: Cu – Zn – Sn Alaşımları (Kalay Pirinçler)

C5XX: Cu – Sn Alaşımları (Fosfor Bronzu)

C6XX: Cu – Al Alaşımları (Alüminyum Bronzu), Cu – Si Alaşımları (Silisyum Bronzu)

C7XX: Cu – Ni ve Cu – Ni – Zn Alaşımları (Nikel Gümüşleri)

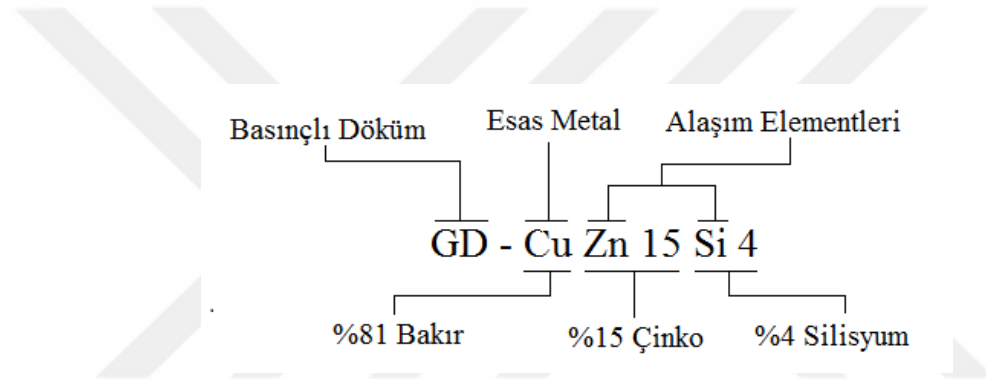
Döküm Bakır ve Alaşımları: İyi döküm özelliklerine sahip bu alaşımlar, döküm parçaların imalatında kullanılmaktadır.

C8XX: Döküm Bakırlar, Döküm Pirinçler, Döküm Manganese Bronzları, Döküm Cu - Zn – Si Alaşımları.

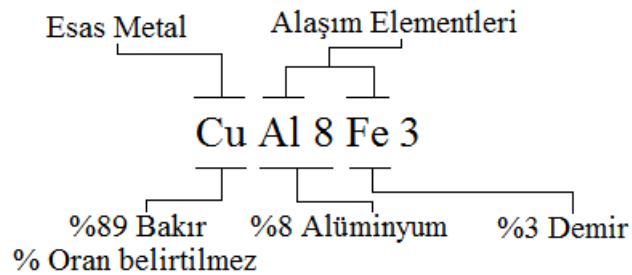
C9XX: Döküm Cu – Sn, Cu – Sn – Pb, Cu – Sn – Ni, Cu – Al – Fe, Cu – Ni – Fe, Cu – Ni – Zn Alaşımları.

5.2. Bakır ve Alaşımlarının İsimlendirilmesi

Genellikle alaşımsız metallerin gösteriminde kimyasal sembolden sonra saflık derecesi, bileşim oranı olarak ifade edilmektedir (Mn 99,99 gibi). Bu durumdan farklı bir şekilde bakırın saflık derecesi, A ile F arasındaki harfler ile tanımlanmaktadır. Bu tanımlamaya göre F-Cu, A-Cu'dan daha saftır. Elektrolitik bakır (E-Cu) için yalnızca elektriksel iletkenlik değeri ölçü olarak alınmaktadır. S harfi ise bakır alaşımlarının bünyesinde oksijen bulunmadığını belirtmektedir. Örnek olarak; SF – Cu, bileşiminde oksijen bulunmayan %99,9 saflıktaki bakırdır. Şekil 5.2. ve 5.3.'de dövme ve döküm bakır alaşımlarının isimlendirilmesi gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Döküm bakır alaşımlarının isimlendirilmesi.



Şekil 5.3. Dövme bakır alaşımlarının isimlendirilmesi.

Çizelge 5.7. Metal alaşımlarının tanımları.

İmalat ve Kullanma Hakkında Tanıtıcı Harfler	Kimyasal Semboller	Özel Nitelikler Simgeleri
V - Ön Alaşımlama	Al (Alüminyum)	wa: Sıcak sertleştirilmiş
GL - Kayar Metal	Cu (Bakır)	g: Tavlanmış
L - Lehim	Ni (Nikel)	zh: Çekilmiş
Lg - Yatak Metali	Pb (Kurşun)	Wh: Haddeden geçirilmiş
G - Döküm (Genel)	Zn (Çinko)	F.. Çekme mukavemeti (Karasteristik sayısı ile)
GD - Basınçlı Döküm	İçeriğin ağırlık yüzdeleri cinsinde karakteristik sayıları Örneğin Mg3 % 3 Magnezyum	Örneğin F42 Çekme mukavemeti $R_m=420 \dots 480$ Mpa
GK - Kokil Döküm		Hafif metallerde ilave işaretler
GZ - Savurma Döküm		a: Sertleştirilmiş
GC - Devamlı Döküm		Ka: Soğuk sertleştirilmiş

5.3. Bakırın Pirinç Alaşımı

Yapılarında en az %55 oranında bakır bulunduran bakır – çinko alaşımlarına pirinç adı verilir. Bakır metali katı halde önemli miktarda çinkoyu yapısında eriterek katı eriyik fazı oluşturabilir. Pirinçler bileşimlerinde bulunan bakır oranlarına göre adlandırılmaktadır. Endüstride sıkça kullanılan pirinçler aşağıdaki gibidir (Yıldırım ve Çakan, 2012).

5.3.1. Dövme pirinçler

Cu Zn 5 (Yıldız Metali): Bileşiminde en az çinko bulunduran pirinç türü olup, yıldız metali adı ile bilinmektedir. Dayanımı iyidir. Soğuk şekillendirmeye elverişlidir. Süs eşyaları, düğme, patlayıcı madde kalıpları yapımında pres ve dövme işlemlerinde kullanılır. Elektroteknikte ve süslemecilikte de kullanılmaktadır.

Cu Zn 15 (Kırmızı Pirinç): Kırmızı pirinç olarak adlandırılan bu pirincin uzaması iyidir ve soğuk şekillendirmeye elverişlidir. Sıvama, çekme ve pres işlemlerine iyi gelmektedir. Saf bakıra kıyasla daha mukavemetlidir. Sıcak ısı işlemlere bakır kadar yatkındır. Korozyon dayanımı iyidir. Sıvı haldeki koroziif ortamlarda çalışacak malzemelerin üretiminde tercih edilmektedir. Tel çekimine elverişli olması nedeniyle elektroteknikte ve piyasada süs eşyası, radyatör, musluk, çilingir eşyası, su dağıtım parçaları yapımında ve kuyumculukta da kullanılmaktadır.

Cu Zn 20 (Açık Kırmızı Pirinç): Bu bileşimdeki pirince açık kırmızı pirinç de denilmektedir. Müzik aletlerinde, pompa parçaları yapımında, süslemecilikte ve elektroteknikte kullanım alanı bulmuştur.

Cu Zn 25 (Sarı Pirinç): Bu pirinç çekme, bükme işlemlerinde ve sert lehim yapımında, kondenser ve kaynama borularında kullanılmaktadır.

Cu Zn 30 (Kovanlık Pirinç): Kovanlık pirinç olarak bilinen bu pirincin uzaması ve dayanımı çok iyidir. En çok sıvama ve çekme işlemlerinde kullanılır. Tel boru, fişek, mermi kovanları ve radyatör yapımı en çok kullanıldığı yerlerdir.

Cu Zn 28 Sn 1 (Kalaylı Pirinç): Deniz suyuna ve korozyona dayanıklıdır. İyi mekanik özelliklere sahip bu pirinç; kondenser boruları, sac ve benzeri ısı değişimi gösteren ortamlarda kullanılmaktadır.

Cu Zn 35 (Sarı veya Adi Pirinç): Sarı veya adi pirinç olarak da bilinen bu pirinç çekme işlemlerinde; pirinç boru, perçin, çivi, yay ve cıvata yapımında kullanılmaktadır.

Cu Zn 40 (Dövme Pirinci): Uzaması az ve çekme dayanımı yüksek olan bu pirinç soğuk ve sıcak şekillendirilebilmektedir. Deniz suyuna dayanıklıdır. Tel, yoğunlaştırıcı boruları, vana gövdeleri, kilit, somun, cıvata, gemi kaplama eşyaları, kaynak çubuğu yapımında ve ucuz olması istenen işlerde kullanılmaktadır.

Cu Zn 35 Pb 3 (Otomat Pirinci): Otomatik makinelerde talaş kaldırmaya elverişli olan pirinçtir. Vida ve benzeri parçaların yapımında kullanılmaktadır.

Cu Zn 41 Sn 0.5 Fe 1 Mn 0.5 Al 1 (Manganez Pirinci): Tuzlu su korozyonuna karşı göstermiş olduğu dayanıklılık nedeniyle gemi pervaneleri, pompa parçaları, elektrik telleri, vana, dişli çark ve benzeri parçaların yapımında kullanılmaktadır.

5.3.2. Döküm pirinçler

G - Cu Zn 7 Sn 4 Pb 3: Kızıl döküm pirinci adı ile tanınan bu pirinç; boru ek parçaları, küçük dişli çarklar ve benzeri parçaların yapımında kullanılmaktadır.

G - Cu Zn 36 (+ < %3 Pb): Kum kalıplarda yapılacak döküme elverişli olan bu pirinçten çeşitli armatürler, koruyucu kılıflar ve benzeri malzemeler yapılmaktadır.

GK - Cu Zn 38 (+ < %3 Pb): Metal kalıplarda yapılacak döküme elverişli olan bu pirinçten çeşitli armatürler, koruyucu kılıflar ve benzeri malzemeler yapılmaktadır.

GD – Cu Zn 40 (+ < %3 Pb): Presle yapılacak döküme elverişli olan bu pirinçten çeşitli armatürler, koruyucu kılıflar ve benzeri malzemeler yapılmaktadır.

G - Cu Zn 38 Sn 1 Pb 1: Sarı pirinç olarak tanınan bu döküm pirincinden süs dökümleri ve hırdavat eşyaları yapılmaktadır.

G - Cu Zn 39.7 Al 1 Fe 1 Mn 0.3: Manganez pirinci olarak tanınan bu döküm pirincinden pompa parçaları, pervane ve benzeri malzemeler yapılmaktadır.

Pirinçlerin hemen hemen tamamı takoz veya kaim çubuklar halinde dökülmektedir. Daha sonra bu malzemeler sac, şerit, plaka, profil veya çubuk olarak yarı işlenmiş durumda satışa sunulmaktadır.

5.4. Bakırın Tunç Alaşımı

Bakırın kalayla oluşturduğu alaşımlara tunç veya kalay bronzu adı verilmektedir. Tunç alaşımları pirince oranla daha yüksek bir çekme ve aşınma dayanımı, korozyon dayanımı ve daha iyi kayma özellikleri göstermektedir. Kalay bronzları %9 oranına kadar olan kalay katkıları ile dövme tunç olarak veya %20'ye kadar olan kalay katkılarıyla da döküm tuncu olarak kullanılmaktadır. Düşük kalay oranlı tunçlar işlenebilmektedir, ancak artan kalay oranı ile tunçlar çok sert olmaktadır. Yüksek oranda kalay içeren tunçlar para ve madalyon yapımında kullanılmaktadır. Endüstride sıkça kullanılan tunçlar aşağıdaki gibidir (Yıldırım ve Çakan, 2012).

5.4.1. Dövme tunçlar

Sn Bz 2 (%1-2 Sn, < % 0,1 P): Cıvata ve aynı anda akım iletkenliği istenen yayların yapımında kullanılmaktadır.

Sn Bz 4 (%3-5 Sn, < % 0,4 P): Cıvata yapımında kullanılan tunçtur.

Sn Bz 6 (%5-7 Sn, < % 0,4 P): Her türlü yay ve ince metalik plakaların yapımında kullanılmaktadır.

Sn Bz 8 (%7,5-9 Sn, < % 0,4 P): Her türlü yay, kimya endüstrisinde kullanılan bazı parçaların ve kayma elemanlarının yapımında kullanılmaktadır.

5.4.2. Döküm tunçlar

G- Sn Bz 10 (%10 Sn'li tunç): Armatürler, kayma diskleri, pompa kılıfları ve türbinlerin yapımında kullanılmaktadır.

G – Sn Bz 14 (%14 Sn'li tunç): Yatak kepleri, metalik aynalar, helezon ve konveyör parçalarının imalatında kullanılmaktadır.

G – Sn Bz 20 (%20 Sn'li tunç): Yataklar, çan ve aşınmaya dayanıklı plakaların yapımında önem taşımaktadır.

Kalay tunçlarına başka elementlerin de katılması ile yapılan ve oluşan tunca katkı elementinin adının verildiği özel tunçlar da vardır. Örneğin fosfor katılmış tunca fosforlu tunç, kurşun katılmış tunca da kurşunlu tunç adı verilmektedir.

5.5. Özel Tunç Alaşımları

Yapılarında en az %78 oranında bakır bulunduran, bazen sadece Al, Pb, Ni, Mn, Fe, Si, Be veya bazen de bu metallerin herhangi biriyle birlikte bir miktar kalay katkısı ile yapılan alaşımlara özel tunç alaşımları denir. Bunlara, ana alaşım katkısına bağlı olarak alüminyum tuncu, kurşun tuncu gibi adlar verilmektedir (Yıldırım ve Çakan, 2012).

Özel tunçların yüksek korozyon dayanımı, iyi elektrik ve ısı iletkenliği, oldukça iyi mekanik özellikleri ve dayanımları vardır. Tunçların ergitilme işlemleri dikkatli ve titiz bir şekilde yapılmalı, alaşım metallerinin havanın oksijeni ile birleşme tehlikesinin önüne geçilmelidir. Örneğin döküm sırasında kalaydan SnO_2 bileşiği oluşmaktadır. Bu bileşik döküm içerisinde çok sert ve keskin kenarlı bir kristal iskeletinin oluşmasına neden olmaktadır. Bu tür kristal yapıya sahip yataklar kısa sürede, dönen çelik şaft tarafından etkilenecek aşınır ve kullanılmayacak duruma gelir. Yapılacak tunç alaşımının türüne göre, benzer şekilde Al_2O_3 veya SiO_2 bileşikleri de oluşabilmektedir, sonuç aynı olmaktadır.

Alüminyum tuncu güzel altın sarısı renge sahiptir. Dış etkilere dayanıklı ve sert olup; süs eşyası, madalyon, para yapımında ve kalıp işlerinde kullanılmaktadır. %14 alüminyum içeren bir bronz alaşımına değişik oranlarda demir, nikel, mangan, silisyum ve kalay katılarak kimya, gıda ve gemi yapım sanayi kollarında çok katkılı bronzlar üretilebilmektedir (copperalliance.org.uk).

Kurşun bronzları esas itibarıyla bakır ve %6'dan %25'e kadar değişen oranlarda kurşun içermektedir. Ayrıca bronz dayanım artırıcı, örneğin %6'ya kadar nikel, %2'ye kadar kalay ve %2'ye kadar çinko katkıları yapılabilir. Kaymalı yataklar için uygun bir bronz çeşididir. Kurşun, bakır içerisinde metalik olarak çökelmiş durumda bulunmaktadır. Kurşunun ana kütle içerisinde olabildiğince dengeli dağılması istenmektedir. Sade kurşunlu %25 Pb içerikli bir bakır – kurşun bronzundan kaymalı yatak ve içten yanmalı motorların biyel kolu yatakları imal edilmektedir. Bu bronzlarda çekme dayanımı 50 – 80 MPa, sertlik ise HB=27 – 30 değerlerinde bulunmaktadır.

%1 – 2,75 berilyum içeren berilyum bronzlarının yapısı az oranda nikel katılarak düzeltilmektedir. Çok sağlam olan bu tunç, ısı ileme ile sertleştirilebilir. Çekme, yorulma ve korozyon dayanımları iyidir. Bu bronzlar çarpma anında kıvılcım çıkarmadıklarından, yer altı maden işletmeciliğinde bu bronzdan yapılan araç ve gereçler grizu patlama tehlikesini azaltmaktadır (www.ngk-alloys.com).

%4'den daha az silisyum içeren silisyum tuncuna, demir, kalay ve çinko ilave edilebilir. Kolay işlenebilmesi için de bazen kurşun ilave edilmektedir. Bu tunçların özellikleri iyi olup, korozyon dayanımı yüksektir (www.nbmmetals.com).

Bakırın nikelle yaptığı en önemli bronz alaşımı %47 – 65 Cu, %12 – 25 Ni, %2 – 2,5 Pb ve gerisi çinko olacak şekilde hazırlanan yeni gümüş alaşımıdır. Kurşun yapıya, talaşlı üretimde işlenebilirliği kolaylaştırmak amacıyla katılmaktadır. Yeni gümüş alaşımından elektroteknikte bazı özel parçalar, ışık ve tıp bilminde kullanılan parçalar imal edilmektedir. Bu bronz, pirinç ve paslanmaz çelik malzemelerin yerine alternatif malzeme olarak kullanılabilir (Yıldırım ve Çakan, 2012).

Aslında tunç alaşımları bir malzemedan beklenen pek çok özelliği birlikte yerine getirmelerine rağmen çok pahalı olmaları sebebiyle, bunların yerine ucuz ve kolay tedarik edilebilen alaşımlardan yapılabilen malzemelerin dışında kullanımı tercih edilmektedir.

6. DENEY DÜZENEGİ TASARIMI VE KONSTRÜKSİYONU

Bu bölümde deneysel çalışmalarda kullanılacak düzeneğin tasarım ve imalat aşamaları anlatılmıştır. Düzenekteki unsurlar tanıtılmış ve çalışma prensibi açıklanmıştır. Deneysel çalışmalardaki amaç, bu çalışma için imal edilen düzenele paramanyetik ve diyamanyetik malzemeler üzerinde değışken manyetik alan ile oluşturulan ısının optimizasyonudur.

6.1. Düzenek Unsurları

Düzenek aşağıdaki unsurlardan oluşmaktadır.

- Elektrik Motoru
- AC Motor Sürücüsü
- Kayış Kasnak Mekanizması
- Mıknatıs Dizilmiş Diskler
- Su Devir Daimi İçin Mekanik Tesisat
- Termometreler

6.1.1. AC elektrik motoru

Elektrik enerjisini, mekanik enerjiye dönüştüren makinelere elektrik motoru adı verilmektedir. Sistemin hareket enerjisi 1.1 kW gücündeki ELK marka asenkron AC elektrik motoru ile sağlanmaktadır (Şekil 6.1.). Asenkron AC elektrik motorları;

- Farklı motor tipleri ile karşılaştırıldığında maliyet avantajı vardır.
- Elektrik şebekesine kolayca bağlanıp çalıştırılabilirler.
- Geniş güç aralığında üretilebilirler.
- Periyodik bakıma ihtiyaçları yoktur.
- Yüke girdiklerinde, hızlarında önemli bir değışim olmaz.
- Devir sayısı, frekans invertörüyle ayarlanabilir.
- Çalışırken kıvılcım çıkarma eğilimleri yoktur.

Bu özelliklerinden dolayı asenkron elektrik motorları, endüstride en fazla tercih elektrik motorlarıdır (www.eie.gov.tr). Devir sayısının sürücü ile ayarlanabilmesi sebebiyle de sistemde tercih edilmiştir.



Şekil 6.1. ELK PC (B34A) 1.1 kW Elektrik motoru.

6.1.2. AC motor sürücüsü

Asenkron elektrik motorlarının besleme kaynağının, gerilim ve frekansını değiştirerek hızın kontrol edilmesini sağlayan devre elemanına sürücü (invertör) denilmektedir. Farklı hızlarda dönen manyetik alanın deney malzemeleri üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla sisteme dahil edilmiştir. Ayrıca harcanan elektrik enerjisi miktarı da sürücü bilgi ekranından takip edilebilmektedir. Danfoss marka VLT FC 103 model AC sürücü kullanılmıştır (Şekil 6.2.).

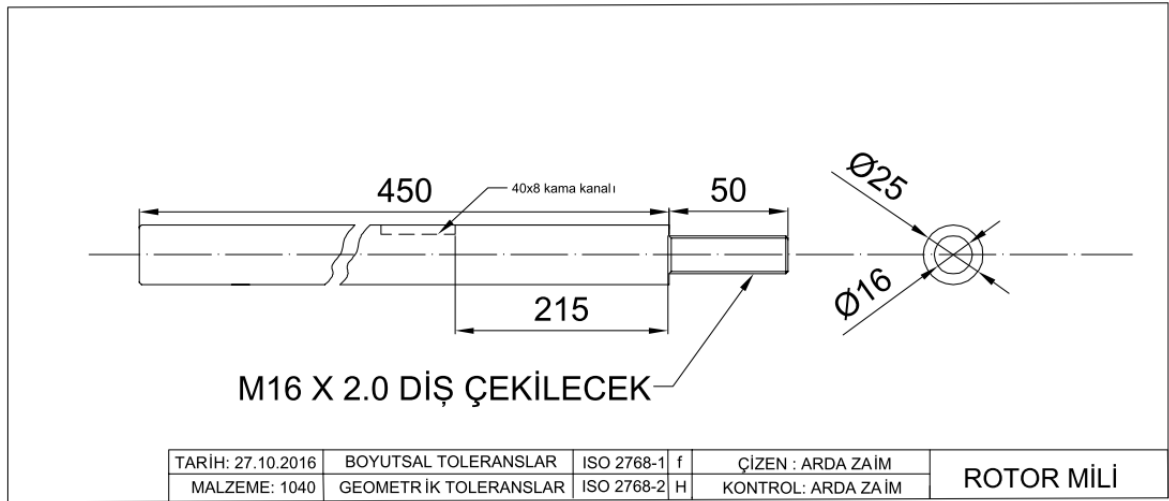


Şekil 6.2. Danfoss VLT FC 103 AC sürücü.

6.1.3.Kayış kasnak mekanizması

Elektrik motorundan alınan hareket enerjisi kayış kasnak mekanizması yardımıyla rotor miline iletilmektedir. Rotorlar direkt olarak elektrik motorunun çıkış miline de bağlanabilir. Fakat elektrik motorunun ortaya çıkacak ısıdan ve manyetik alandan etkilenmemesi için kayış kasnak mekanizması kullanılmıştır. Mekanizma aşağıdaki unsurlardan oluşmaktadır.

Rotor Mili: Rotorun ve kuyruk kasnağının montajının yapıldığı mildir (Şekil 6.3.). 1040 kalite çelikten imal edilmiştir. 2 adet UCP 205 yataklı rulman ile mesnetlenmektedir.



Şekil 6.3. Rotor mili imalat çizimi.

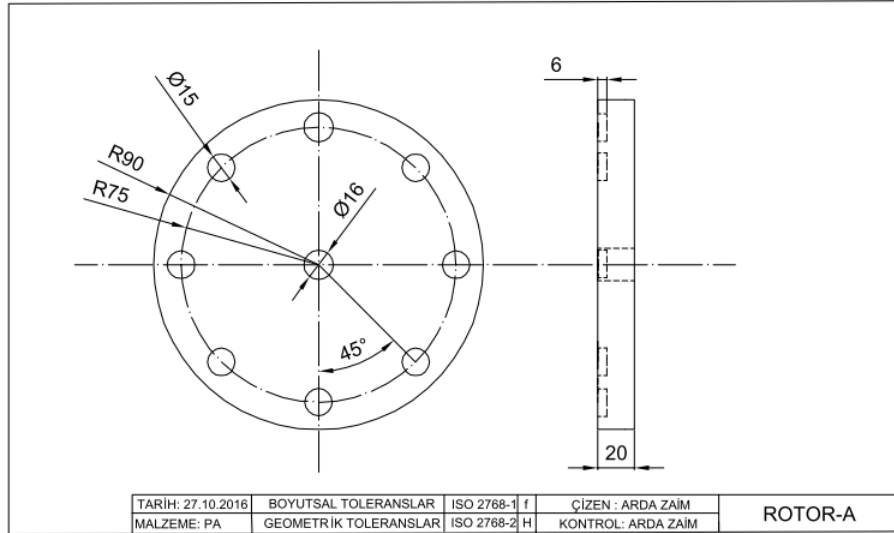
Kasnak: Tahrik ve kuyruk kasnağı olarak 63mm çapında tek kayış yollu, 13 mm kayış yolu genişliğine sahip iki adet kasnak kullanılmıştır. Kasnaklar, elektrik motoru iş miline ve rotor miline 1108 sıkma burçları ile montajlanmıştır.

Kayış: Motordan elde edilen hareket enerjisi 13x1100 mm ölçülerindeki V kayışı ile rotor miline iletilmektedir.

6.1.4. Mıknatıs dizilmiş diskler

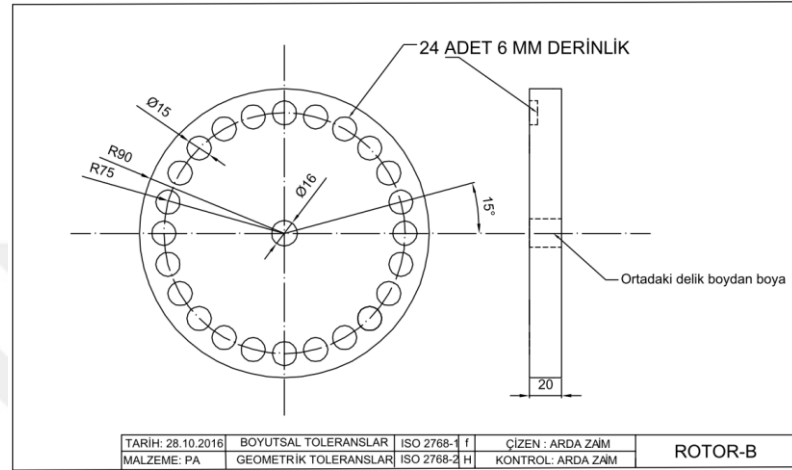
Mıknatıs dizilim şekilleri ve mıknatıs sayıları farklı 3 adet mıknatıs dizilmiş disk (rotor) imal edilecektir. Rotorlarda işleme kolaylığı sebebiyle polyamid malzeme tercih edilmiştir. Bu sayede farklı dizilim şekillerinin ve mıknatıs sayılarının bakır ve alüminyum malzemeler üzerindeki etkileri analiz edilebilecektir.

Rotor A: 8 adet 15x5 mm ölçülerinde N35 neodyum mıknatıs bulunduran ve polyamid malzemeden imal edilen rotor 180 x 20 mm ölçülerinde olup, imalat çizimi Şekil 6.4.'de gösterilmiştir.



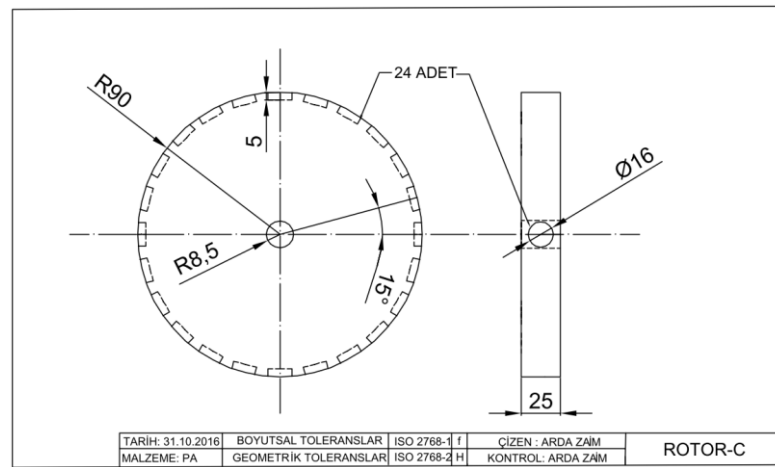
Şekil 6.4. Rotor-A imalat çizimi.

Rotor B: 24 adet 15x5 mm ölçülerinde N35 neodyum mıknatıs bulunduran ve polyamid malzemeden imal edilen rotor 180 x 20 mm ölçülerinde olup, imalat çizimi Şekil 6.5.'de gösterilmiştir.



Şekil 6.5. Rotor-B imalat çizimi.

Rotor C: 24 adet 15x5 mm ölçülerinde neodyum mıknatıs bulunduran ve polyamid malzemeden imal edilen rotor 180 x 25 mm ölçülerinde olup, imalat çizimi Şekil 6.6.'da gösterilmiştir. Rotor A ve Rotor B'de mıknatıslar disklerin alın kısmına, Rotor C'de ise silindir kısmına montaj edilmiştir.



Şekil 6.6. Rotor-C imalat çizimi.

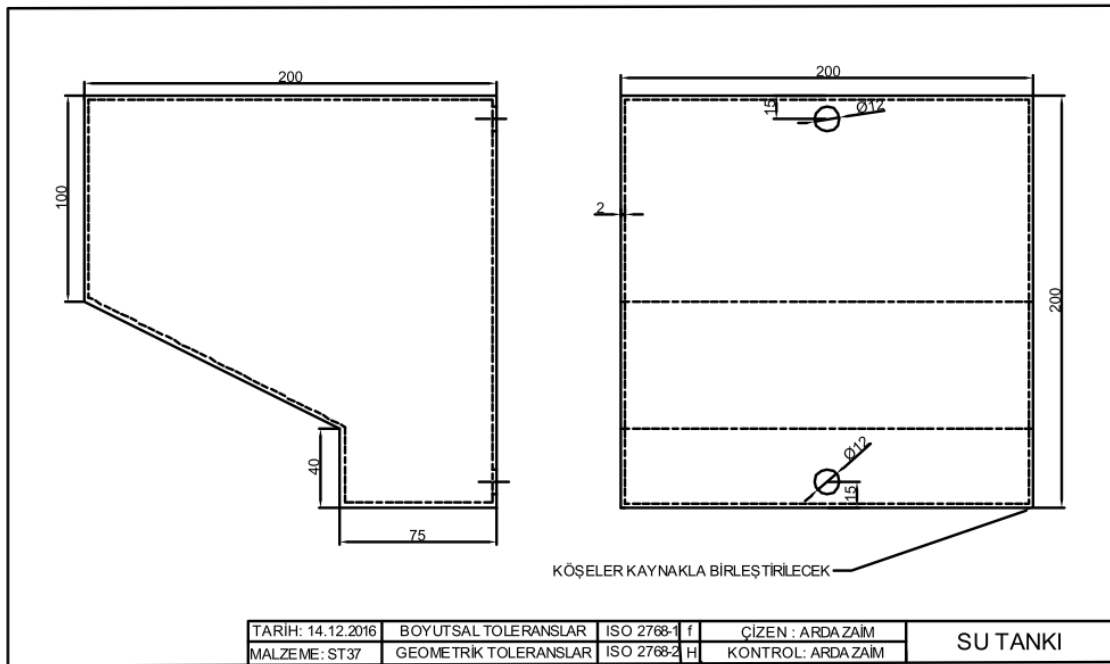
6.1.5. Su devir daimi için mekanik tesisat

Boru, pompa ve tank grubunu barındırmaktadır. Manyetik alanın etki edeceği alüminyum ve bakır borular içerisinde su geçirilerek ısıtma hesabı yapılacaktır. C1020 ve AA6061 alaşımlarından borular kullanılacaktır. Borular değiştirilerek, manyetik alanın alüminyum ve bakır malzemeler üzerindeki etkisi belirlenecektir. Borular 10 mm çapındadır. Boru malzemelerinin bazı fiziksel özellikleri Çizelge 6.1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. C1020 ve AA6061'in bazı fiziksel özellikleri

Malzeme	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Ergime Sıcaklığı (°C)	Isıl İletkenlik (W/m.K)	Elektriksel İletkenlik (%IACS)
AA6061	2,7	640	173	47
C1020	8,9	1083	391	101

Su Tankı: Tesisattaki suyun depolanabilmesi amacıyla St37 malzemeden imal edilmiş ve poliüretan köpükle ısı yalıtımı yapılmış bir tank kullanılacaktır. Tankın imalat çizimi Şekil 6.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 6.7. Su tankı imalat çizimi.

Pompa: Su sirkülasyonunu sağlamak amacıyla 12 watt gücünde, 1000 litre / saat debi ve 0.8 metre basma yüksekliğine sahip Xilong marka XL-F070A model sirkülasyon pompası kullanılacaktır (Şekil 6.8.).



Şekil 6.8. Sirkülasyon pompası.

6.1.6. Termometreler

Tesisat suyunun ve rotorların sıcaklık ölçümleri termometreler yardımıyla yapılacaktır. Deneylerde kullanılacak termometreler aşağıdaki gibidir.

İnfrared Termometre: Ulaşılması zor noktadaki sıcaklıkları ölçmek için Infrared Pyrometre veya başka bir deyişle infrared sıcaklık ölçer kullanılabilir. Bu cihazlarla, yüzeylerin sıcaklığı ölçülebildiği gibi uygun filtreler kullanılmak suretiyle ergimiş cam veya bakır sıcaklıklarını ölçmek de mümkündür. 3000 °C'ye kadar sıcaklıkları ölçen pyrometreler mevcuttur. Hassasiyet açısından bu tip cihazlarla düşük sıcaklıkları ölçmek daha uygundur. (TMMOB, 2016). Rotorların ve mıknatısların yüzey sıcaklık ölçümleri infrared termometre ile yapılacaktır. Testo marka 835 T-1 model temassız termometre kullanılacaktır (Şekil 6.9.).



Şekil 6.9. Testo 835 T-1 Termometre.

Probu Termometre: Tesisattaki su sıcaklığı ölçümünde saplama probu Loyka marka KGB-300 model termometre kullanılacaktır (Şekil 6.10.). Su tankı içerisine montajlanacak, dijital ekranı sayesinde sıcaklık kolaylıkla takip edilebilecektir.

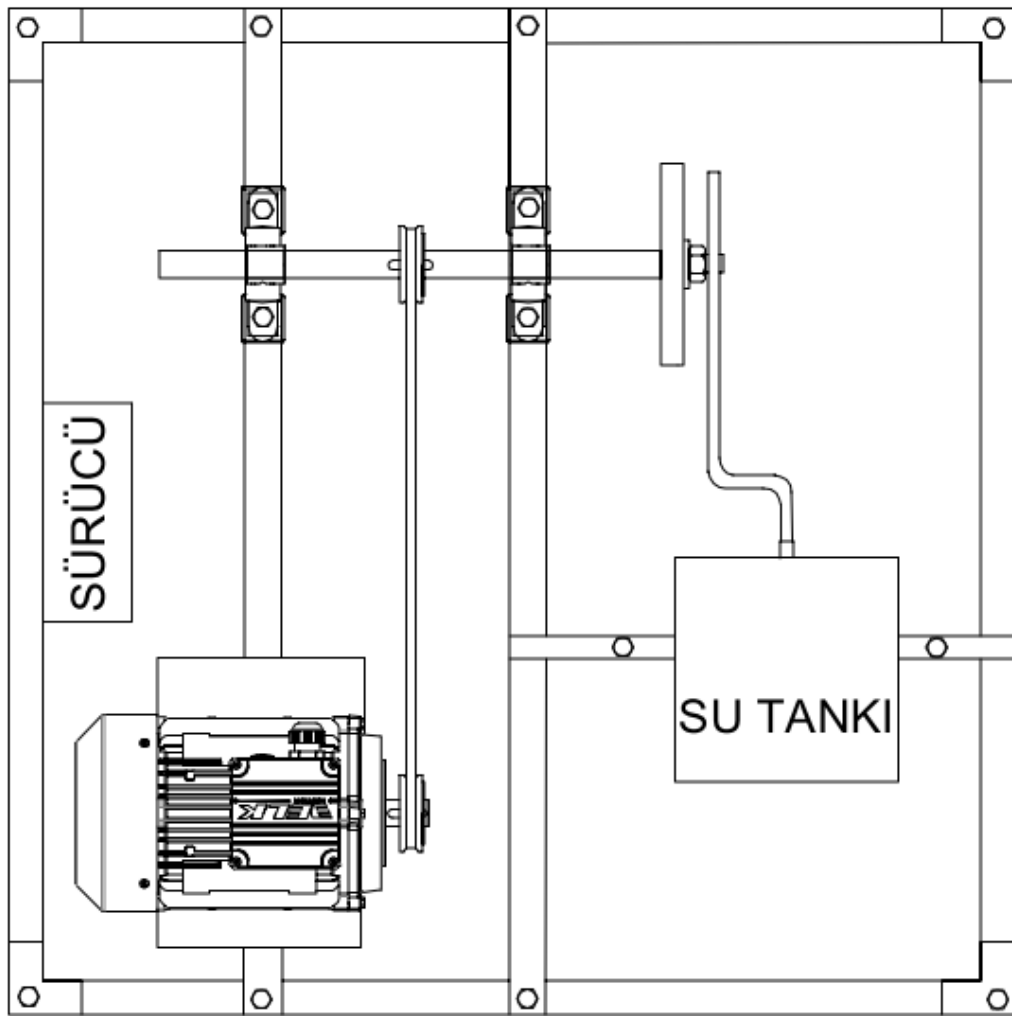


Şekil 6.10. Loyka KGB-300 Termometre.

6.2. Çalışma Prensibi

Düzeneğin çalışma prensibi özet olarak şöyledir; elektrik motorundan hareket enerjisi alınmaktadır. Sürücü yardımıyla motorun frekans ve hız ayarı yapılmakta, ek olarak tüketilen enerji hesaplanabilmektedir. Güç aktarma organları vasıtasıyla rotora dönme hareketi iletilmektedir. Rotor döndürüldüğünde ise belli noktalarda değişken manyetik alan meydana gelmektedir. Değişken manyetik alanın meydana gelmesi için zıt kutuplu mıknatıslar birbirinin ardına dizilmiştir. Bakır ve alüminyum alaşımlarından imal edilen borulara değişken manyetik

alan etki etmektedir. Diyamanyetik ve paramanyetik özellikleri sayesinde manyetik alan etkisi ile ısınan borular üzerindeki enerji değişim hesabının kolay bir şekilde yapılabilmesi amacıyla da borular içerisinde su devir daim ettirilerek suyun sıcaklığındaki artış gözlenmektedir. Rotorun hızı, boruların rotora olan mesafesi, mıknatıs dizilim şekilleri ve sayıları gibi değişkenler için optimum parametreler belirlenerek, sistemin verimi hakkında çıkarımlarda bulunulması amaçlanmaktadır. Şekil 6.11.'de ve Şekil 6.12.'de deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 6.11. Deney düzeneği çizimi.



Şekil 6.12. Deney düzeneği.

7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere mıknatıs dizilim şekilleri ve sayıları farklı 3 adet rotor imal edilmiştir. Bakır ve alüminyum malzemeler üzerindeki ısınma olayı için optimum parametreleri belirlemek amacıyla devir sayısı, mıknatıs sayısı, rotor tipi ve rotor ile malzeme arasındaki mesafe deney değişkenleri olarak seçilmiştir. Deney süreleri 20 dakika, ısınan borular içerisindeki ısının aktarıldığı su miktarı 2,5 litre olarak belirlenmiştir. Enerji hesaplamaları bu değerlere göre yapılacaktır.

7.1. Manyetik Alan Şiddeti Ölçümü

Deneylerde N35 derece, 15x5 mm ölçülerinde silindirik neodyum mıknatıslar kullanılacaktır (Şekil 7.1.). Kalıcı indüksiyona ve yüksek enerjiye sahip olması nedeniyle, çalışmada neodyum mıknatıs tercih edilmiştir. Çizelge 7.1’de deneylerde kullanılan neodyum mıknatıslara ait teknik özellikler görülmektedir.

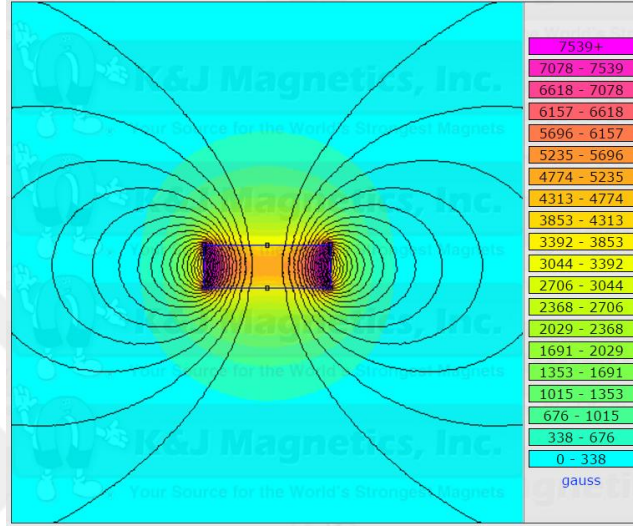
Çizelge 7.1. N35 Neodyum mıknatısa ait teknik özellikler.

Derece	Çalışma Sıcaklığı	Maksimum Enerji		Kalıcı İndüksiyon				Zorlayıcı Kuvvet			
	Tw	(BH)max		Br (T)		Br (kGs)		Hcb		Hcj	
	°C	Kj/m ³	MGOe	Nom	Min	Nom	Min	Ka/m	kOe	Ka/M	kOe
N 35	80	263-287	33-36	1.22	1.17	12.2	11.7	859	10.8	955	12



Şekil 7.1. 15x5 N35 Neodyum mıknatıslar.

Mıknatısa ait manyetik alan diyagramı Şekil 7.2.'deki gibidir. Mıknatıs yüzeyinden uzaklaştıkça manyetik alan şiddetinin azaldığı görülmektedir. Yüzey üzerinde dış çepirlere yaklaşıldıkça da manyetik alan şiddeti artış göstermektedir.



Şekil 7.2. N35 Neodyum mıknatıs manyetik alan diyagramı (www.kjmagnetics.com).

Deneylerde kullanılacak neodyum mıknatıslar arasından rastgele 5 adet mıknatıs seçilerek yüzey manyetik alan şiddeti ölçüm testine tabi tutulmuştur. Ölçümler WT10A model teslametre ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 7.3.).



Şekil 7.3. WT10A Teslametre.

Çizelge 7.2. Manyetik alan ölçümü.

Manyetik Alan Ölçümü	
Test No	Manyetik Alan (mT)
1	301
2	304
3	299
4	305
5	297
Ortalama	301,2

Ölçümler sonrasında elde edilen ortalama yüzey manyetik alan şiddeti 301,2 mT olarak belirlenmiştir (Çizelge 7.2.). Deneyler öncesinde yapılan manyetik alan şiddeti ölçümü ile deneylerden sonra yapılacak ölçümler karşılaştırılarak deneylerde kullanılan mıknatısların manyetik alan şiddetinde herhangi bir azalma olup olmadığı gözlemlenecektir (Şekil 7.4.).

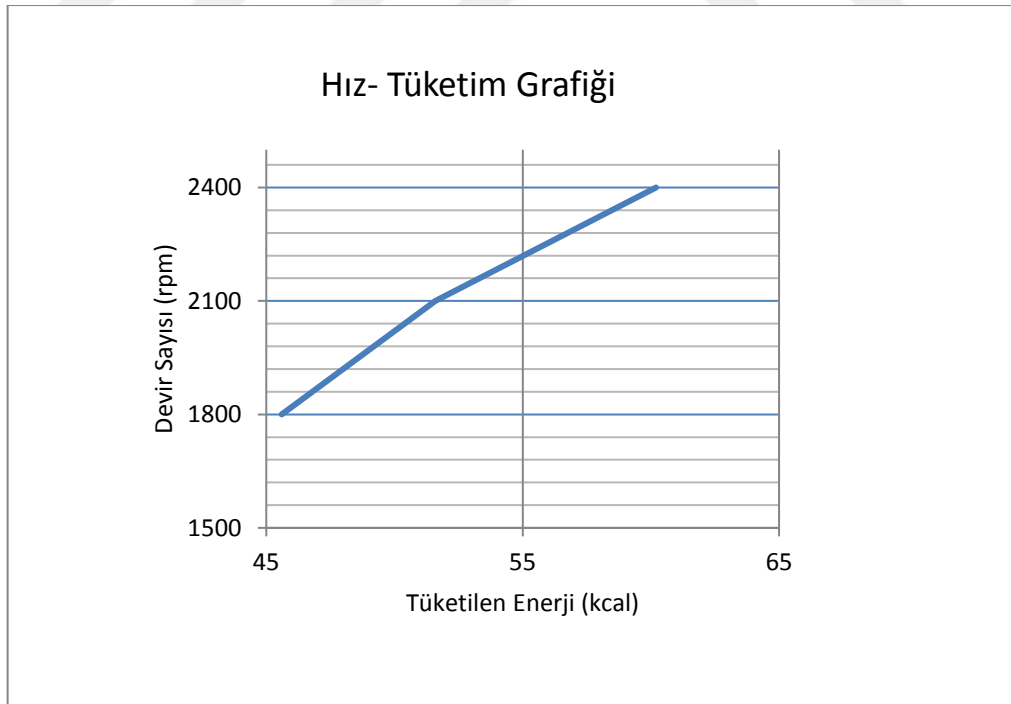
**Şekil 7.4.** Manyetik alan ölçüm testi.

7.2. Enerji Tüketimi

Motorun, boşa çalışırken (alüminyum ve bakır borular olmadan) farklı hızlardaki enerji tüketimini belirlemek amacıyla gerçekleştirilen testlerin sonuçları aşağıdaki gibidir. Bu testler sayesinde manyetik alanın malzemelere etki etmesi sonucunda tüketim farkı olup olmayacağı karşılaştırılabilecektir. Enerji tüketim verileri Danfoss VLT FC-103 sürücünün enerji analizöründen alınarak Çizelge 7.3. oluşturulmuştur. Hız – tüketim grafiği Şekil 7.5.’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.3. Enerji tüketim testi

ENERJİ TÜKETİM TESTİ					
Test No	Frekans (Hz)	Devir Sayısı (rpm)	Süre (dk)	Tüketilen Enerji (kWh)	Tüketilen Enerji (kcal)
1	60	1800	20	0,053	45,6
2	70	2100	20	0,060	51,6
3	80	2400	20	0,07	60,2
1 kWh = 860 kcal					



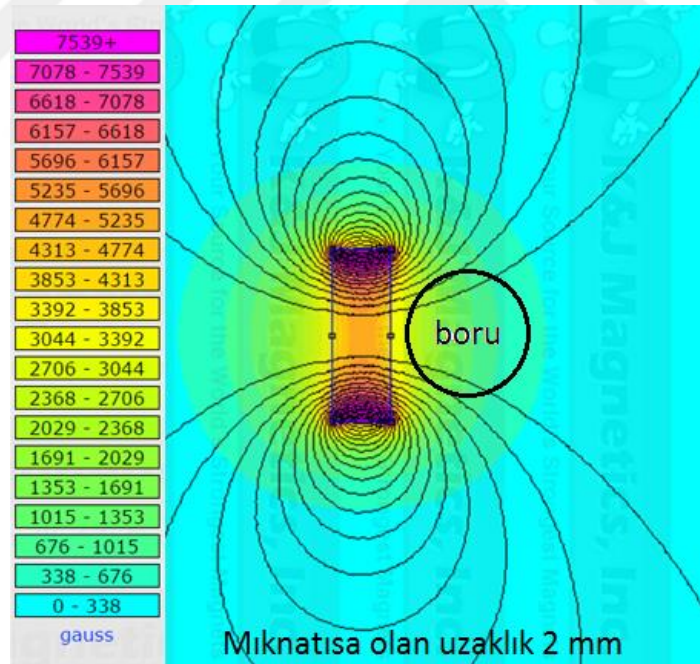
Şekil 7.5. Hız – tüketim grafiği.

7.3. Manyetik Alanın Farklı Mesafelerdeki Borular Üzerindeki Etkisi

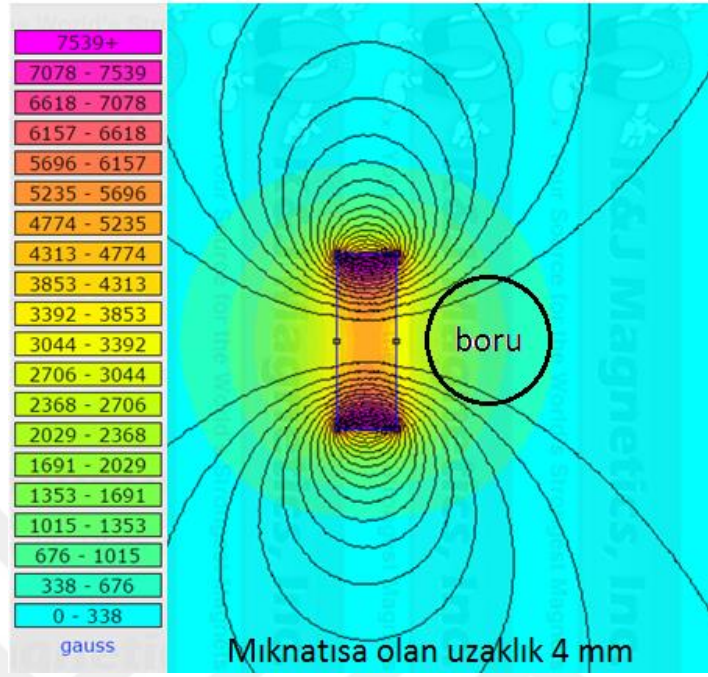
K&J Magnetics web sitesinde bulunan magnetic calculatordan elde edilen verilere göre mıknatıs yüzeyinden uzaklaştıkça manyetik alan şiddeti azalmaktadır. Bir adet N35 neodyum mıknatısına farklı uzaklıklarda bulunan boru üzerine etkiyen manyetik alan şiddetleri Çizelge 7.4’de ve Şekil 7.6, 7.7., 7.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.4. Manyetik alan şiddetinin mesafeye göre değişimi.

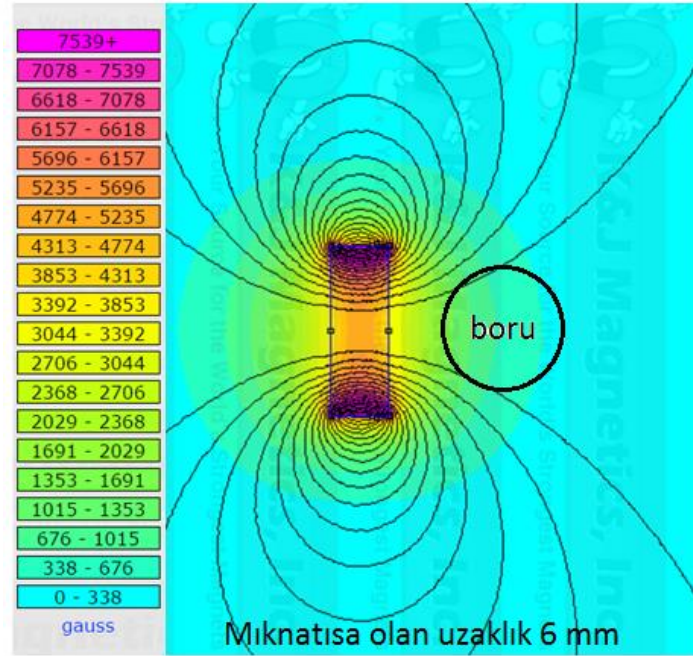
Mıknatısa Olan Uzaklık	Borunun Mıknatısa Yakın Cidarına Etki Eden Manyetik Alan
2 mm	3044 - 3392 gauss
4 mm	2029 - 2368 gauss
6 mm	1691 - 2029 gauss



Şekil 7.6. 2mm mesafede manyetik alan etkisi (www.kjmagnetics.com).



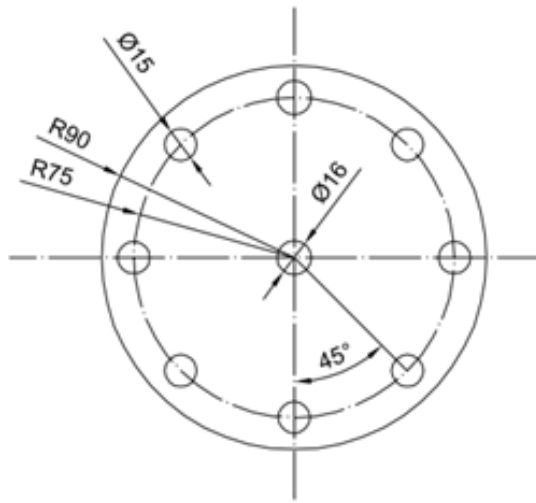
Şekil 7.7. 4 mm mesafede manyetik alan etkisi (www.kjmagnetics.com).



Şekil 7.8. 6 mm mesafede manyetik alan etkisi (www.kjmagnetics.com).

7.4. Rotor – A ile Yapılan Çalışmalar

Rotor 8 adet 15x5 mm ölçülerinde N35 neodyum mıknatıs bulundurmaktadır. Mıknatıslar rotor merkezinden 75mm mesafede ve 45°'lik açılarla yerleştirilmiştir (Şekil 7.9.). Rotor farklı hızlarda ve boru ve mıknatıslar arası farklı mesafelerde döndürülerek manyetik alanın AA6061 ve C1020 alaşımları üzerindeki ısı etkisi belirlenecektir. Gerçekleşen ısı transfer miktarı aşağıdaki bağıntılarla belirlenecektir.



Şekil 7.9. Rotor – A.

$$Q = m.C. T$$

Q: ısı miktarı (kcal)

m: kütle (kg)

C: özgül ısı (kcal /kg °C)

T: suyun son sıcaklığı – suyun ilk sıcaklığı (°C)

Örnek Hesaplama

$$Q: m (5 \text{ kg}) \times C (1 \text{ kcal /kg } ^\circ\text{C}) \times T ((32 - 20)^\circ\text{C}) = 60 \text{ kcal}$$

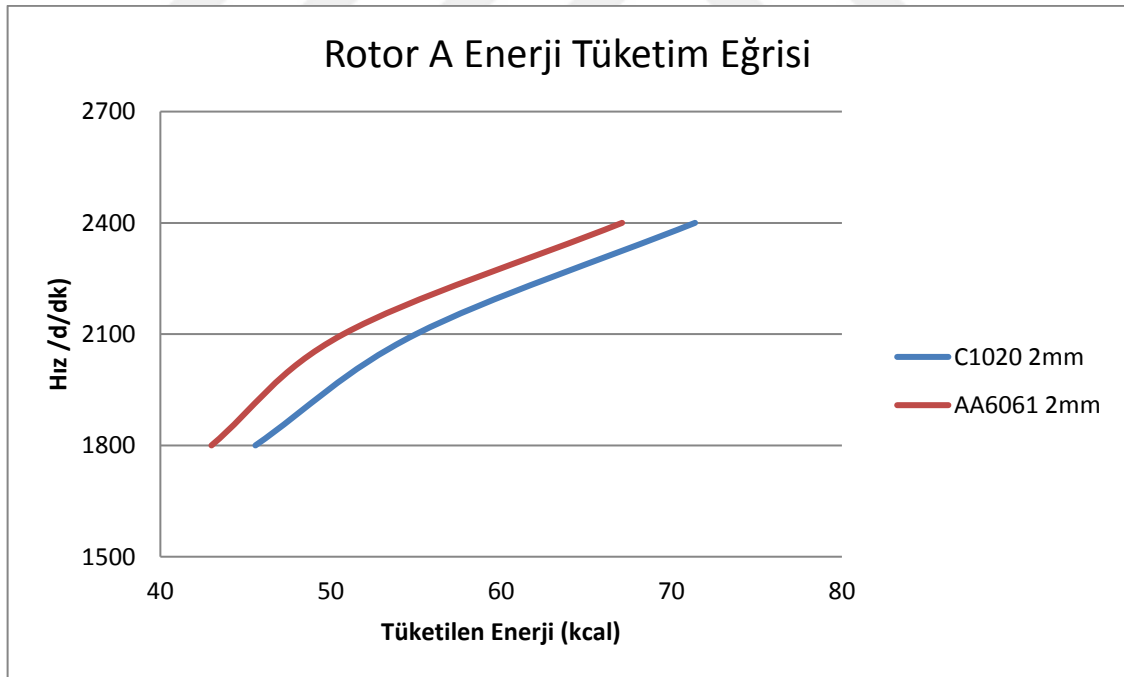
$$\text{Verim} = \text{Oluşan Isı Enerjisi} / \text{Tüketilen Elektrik Enerjisi}$$

$$\text{Verim} = 60 \text{ kcal} / 157,38 \text{ kcal} = 0,38 = \%38$$

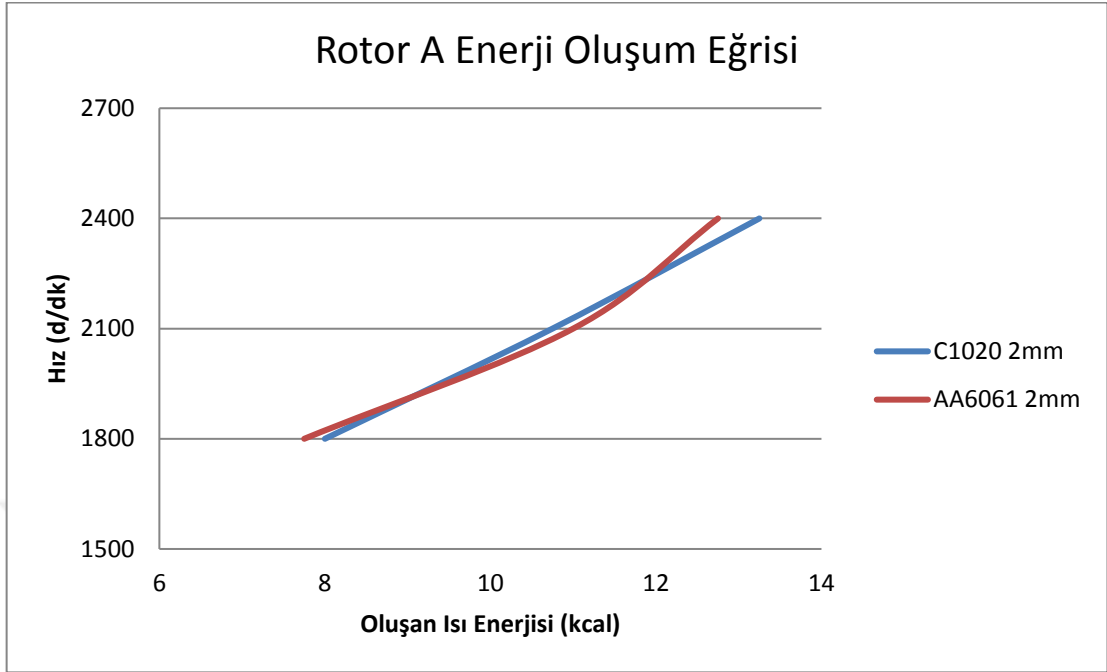
Rotor – A’da AA6061 alüminyum malzeme kullanılarak 2100 d/dk hız ve 2 mm mıknatısa olan mesafe parametrelerinde %21,6 verime ve 24,4 °C su sıcaklığına ulaşılmıştır. Yapılan denemelerin sonuçları Çizelge 7.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.5. Rotor-A denemeleri.

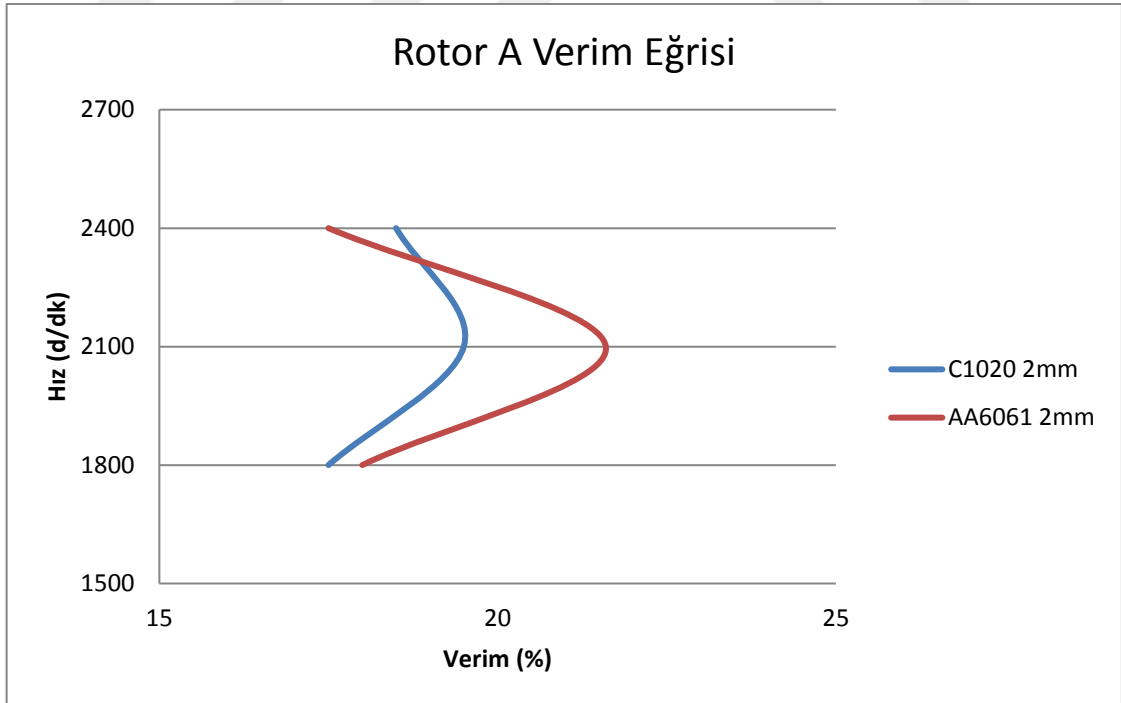
Malzeme	Devir Sayısı (d/dk)	Mıknatısa Olan Mesafe (mm)	Tüketilen Enerji (kWh)	Tüketilen Enerji (kcal)	Tilk (°C)	Tson (°C)	Oluşan Isı Enerjisi (kcal)	Verim (%)
C1020	1800	2	0,053	45,58	20,2	23,4	8	17,5
	2100	2	0,064	55	20,3	24,6	10,75	19,5
	2400	2	0,083	71,38	20,2	25,5	13,25	18,5
AA6061	1800	2	0,050	43	19,9	23,0	7,75	18,0
	2100	2	0,059	50,74	20,0	24,4	11	21,6
	2400	2	0,078	67,1	20,1	25,2	12,75	19,0



Şekil 7.10. Rotor A enerji tüketim eğrisi.



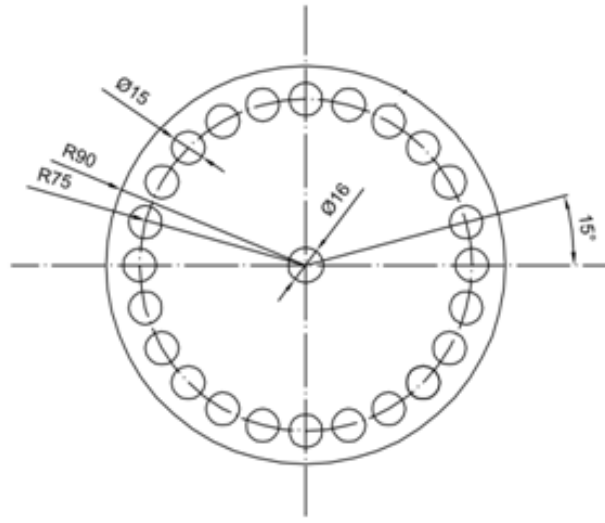
Şekil 7.11. Rotor A enerji oluşum eğrisi.



Şekil 7.12. Rotor A verim eğrisi.

7.5. Rotor – B ile Yapılan Çalışmalar

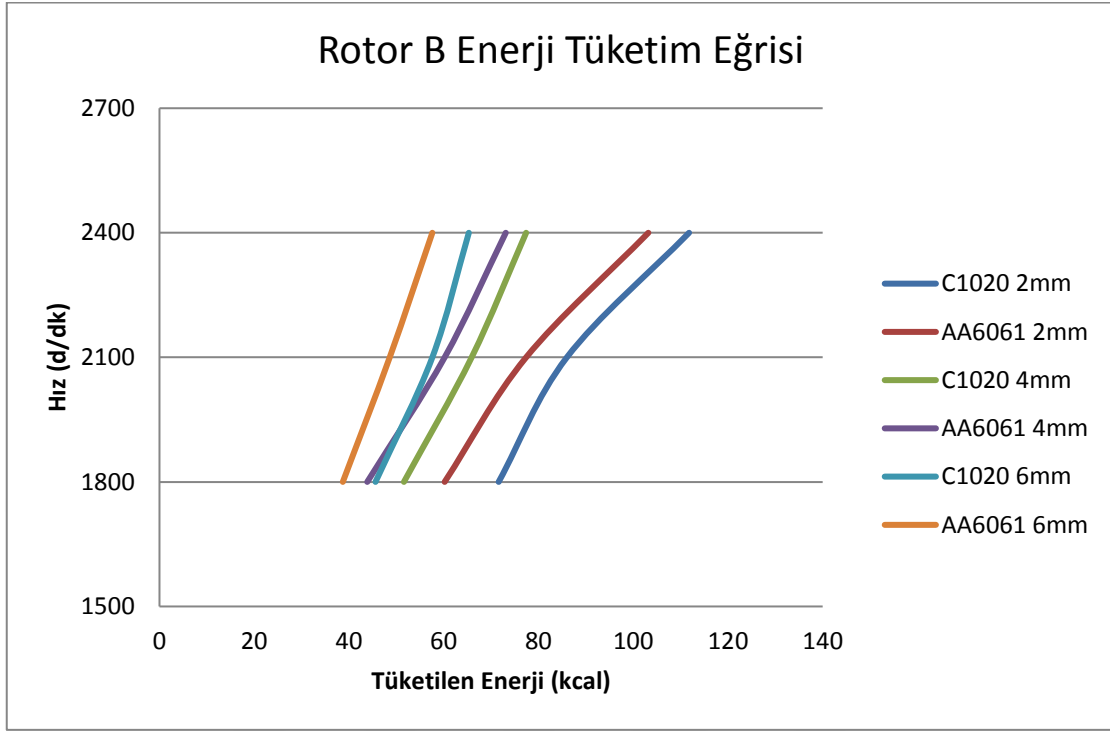
Rotor 24 adet 15x5 mm ölçülerinde N35 neodyum mıknatıs bulundurmaktadır. Mıknatıslar rotor merkezinden 75mm mesafede ve 15°'lik açılarla yerleştirilmiştir (Şekil 7.13.). C1020 bakır malzeme kullanılarak 2400 d/dk hız ve 2 mm mıknatısa olan mesafe parametrelerinde %75,8 verime ve 54,7 °C su sıcaklığına ulaşılmıştır. Yapılan denemelerin sonuçları Çizelge 7.6.'da gösterilmiştir.



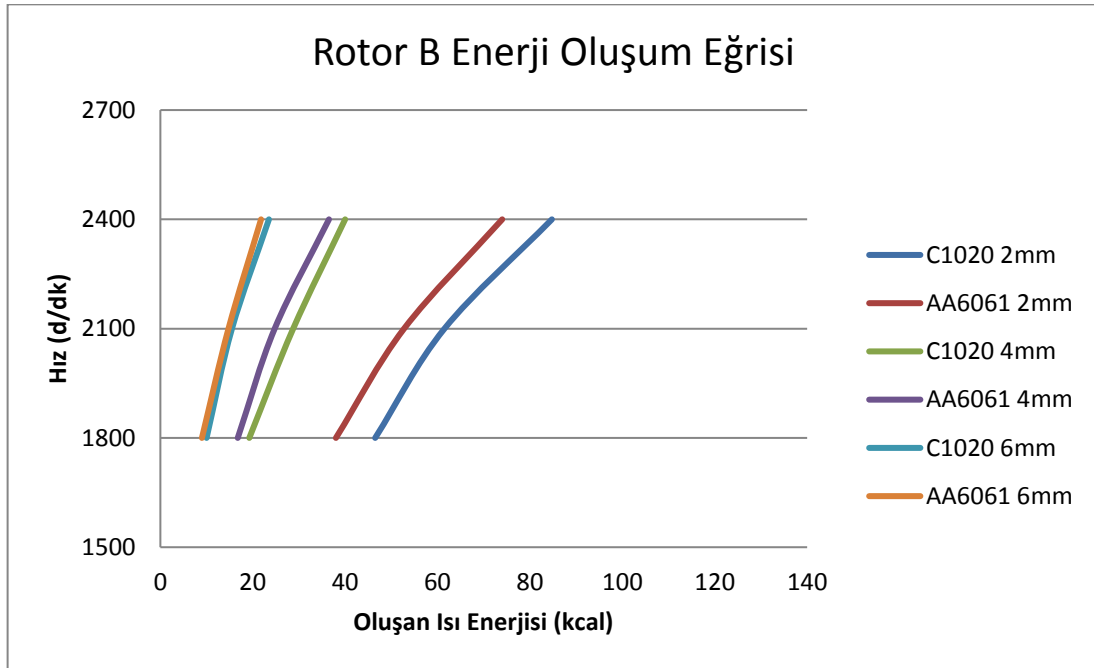
Şekil 7.13. Rotor – B.

Çizelge 7.6. Rotor B denemeleri.

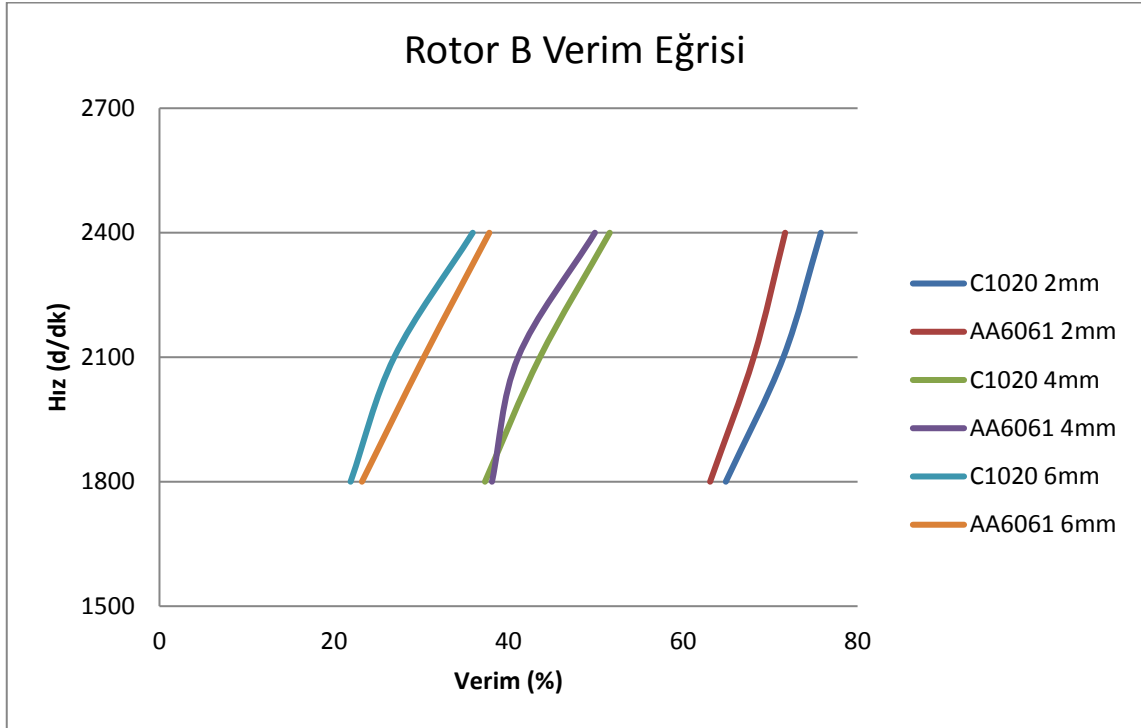
Malzeme	Devir Sayısı (d/dk)	Mıknatısa Olan Mesafe (mm)	Tüketilen Enerji (kWh)	Tüketilen Enerji (kcal)	Tilk (°C)	Tson (°C)	Oluşan Isı Enerjisi (kcal)	Verim (%)
C1020	1800	2	0,08	71,6	20,8	39,4	46,5	64,9
	2100	2	0,10	86,0	20,6	45,2	61,5	71,5
	2400	2	0,13	111,8	20,8	54,7	84,75	75,8
C1020	1800	4	0,06	51,6	19,8	27,5	19,25	37,3
	2100	4	0,076	65,9	20,0	31,5	28,75	43,6
	2400	4	0,09	77,4	20,2	36,2	40	51,6
C1020	1800	6	0,053	45,6	20,1	24,1	10	21,9
	2100	6	0,067	57,6	20,3	26,5	15,5	26,9
	2400	6	0,076	65,3	19,9	29,3	23,5	35,9
AA6061	1800	2	0,07	60,2	20,1	35,3	38,0	63,1
	2100	2	0,09	77,4	19,8	40,9	52,75	68,1
	2400	2	0,12	103,2	20,5	50,1	74,0	71,7
AA6061	1800	4	0,051	43,86	20,7	27,2	16,75	38,1
	2100	4	0,07	60,2	20,3	30,2	24,75	41,1
	2400	4	0,085	73,1	20,3	34,9	36,5	49,9
AA6061	1800	6	0,045	38,7	19,9	23,5	9	23,2
	2100	6	0,056	48,6	20,4	26,3	14,75	30,3
	2400	6	0,067	57,6	20,1	28,8	21,8	37,8



Şekil 7.14. Rotor B enerji tüketim eğrisi.



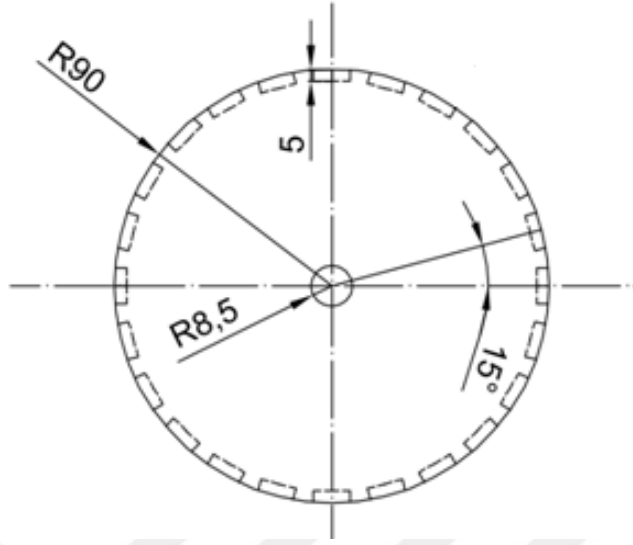
Şekil 7.15. Rotor B enerji oluşum eğrisi.



Şekil 7.16. Rotor B verim eğrisi.

7.6. Rotor-C ile Yapılan Çalışmalar

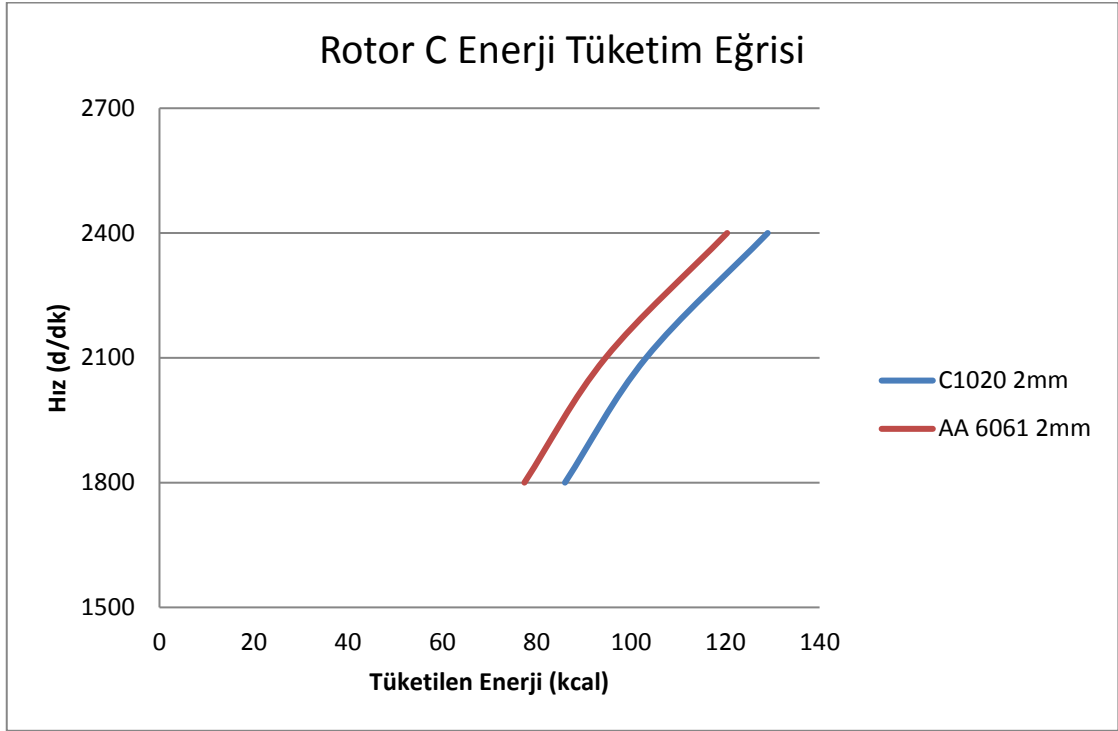
Rotor 24 adet 15x5 mm ölçülerinde N35 neodyum mıknatıs bulundurmaktadır. Mıknatıslar rotor merkezinden 85mm mesafede ve 15°'lik açılarla yerleştirilmiştir (Şekil 7.17.). Rotor B'de mıknatıs dizilimi yan yüzey üzerindeyken Rotor C'de mıknatıs dizilimi silindirik yüzeyindedir.



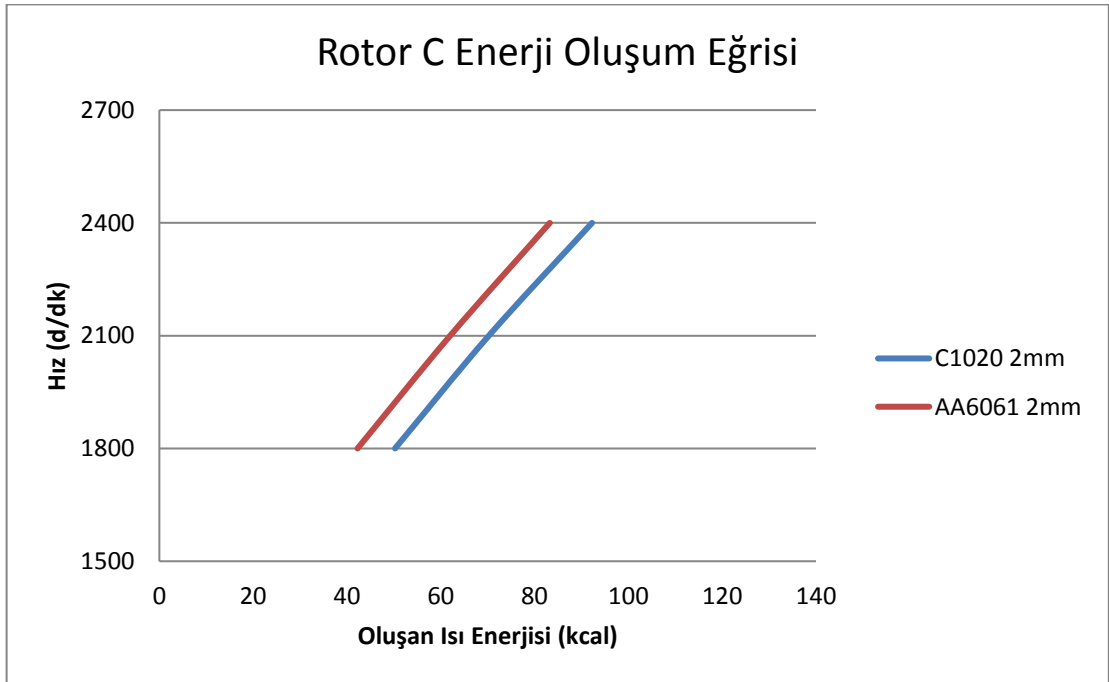
Şekil 7.17. Rotor C.

Çizelge 7.7. Rotor C denemeleri.

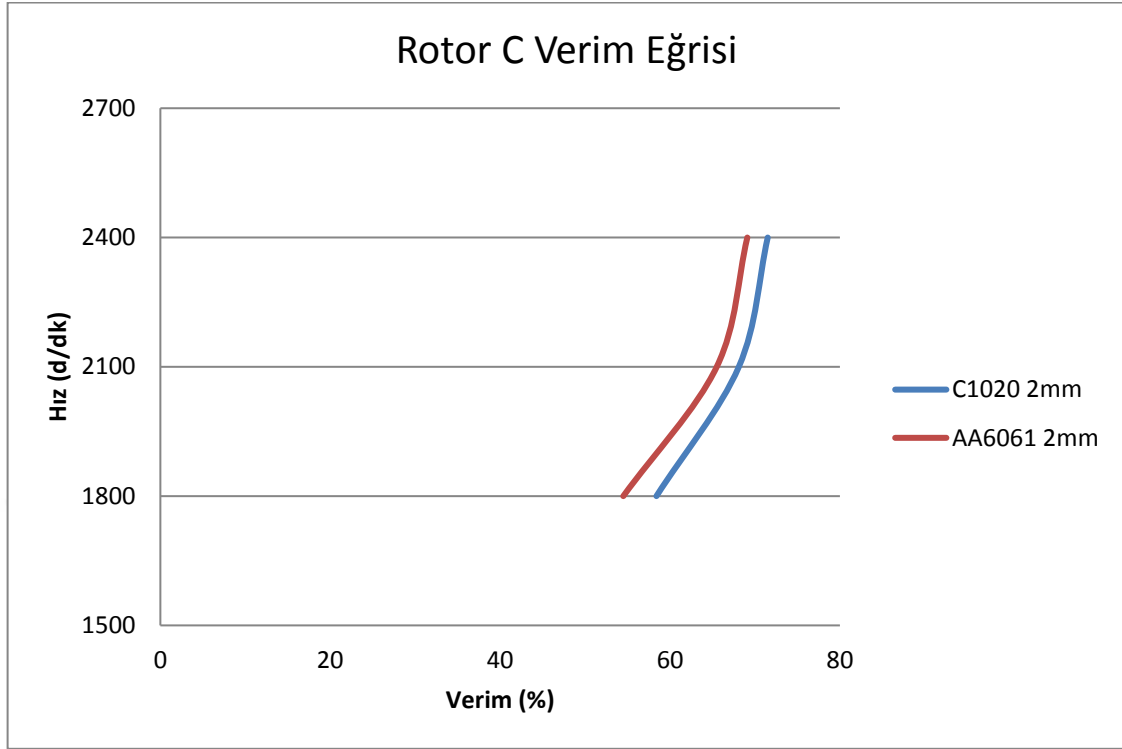
Malzeme	Devir Sayısı (d/dk)	Mıknatısa Olan Mesafe (mm)	Tüketilen Enerji (kWh)	Tüketilen Enerji (kcal)	Tilk (°C)	Tson (°C)	Oluşan Isı Enerjisi (kcal)	Verim (%)
C1020	1800	2	0,10	86	20,1	40,2	50,25	58,4
	2100	2	0,12	103,2	20,1	47,0	67,25	65,1
	2400	2	0,15	129	20,0	56,9	92,25	71,5
AA6061	1800	2	0,09	77,4	20,2	37,1	42,25	54,5
	2100	2	0,11	94,6	19,9	44,7	62	65,5
	2400	2	0,14	120,4	20,0	53,3	83,25	69,1



Şekil 7.18. Rotor C enerji tüketim eğrisi.



Şekil 7.19. Rotor C enerji oluşum eğrisi.



Şekil 7.20. Rotor C verim eğrisi.

7.7. Sıcaklık Ölçümleri

Deneyler esnasında mıknatısların ve rotor yüzeylerinin sıcaklık ölçümleri yapılmıştır (Şekil 7.21.). Ölçümlerde mıknatısların ve rotor yüzeylerinin sıcaklıklarında artış gözlenmemiştir. Mıknatısların paramanyetik ve diyamanyetik malzemeler üzerinde girdap akımları oluşturması kendinde herhangi bir ısı açığa çıkarmamaktadır. Bu nedenle sıcaklıklarında önemli bir değişim meydana gelmemektedir. Ölçümler Çizelge 7.8.'deki gibidir.

Çizelge 7.8. Sıcaklık ölçümleri.

Deneme (2mm - 2100 rpm)	Mıknatıs Sıcaklığı (°C)	Rotor Yüzey Sıcaklığı (°C)
Rotor-A	18.9	22.1
Rotor-B	19.0	25.1
Rotor-C	19.3	25.4



Şekil 7.21. Sıcaklık ölçümleri.

7.8. Denemeler Sonrası Manyetik Alan Şiddeti Ölçümü

Bu ölçüm, ısı eldesinin mıknatısların manyetik alan şiddetleri üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan mıknatıslar arasından rastgele 5 adet mıknatıs seçilerek ölçüm yapılmıştır.

Çizelge 7.9. Deneyler sonrası manyetik alan ölçümü.

Manyetik Alan Ölçümü	
Test No	Manyetik Alan (mT)
1	296
2	301
3	299
4	305
5	300
Ortalama	300,2

Ölçüm sonucunda mıknatısların manyetik alan şiddetinde bir değişim olmadığı gözlenmiştir (Şekil 7.22.).



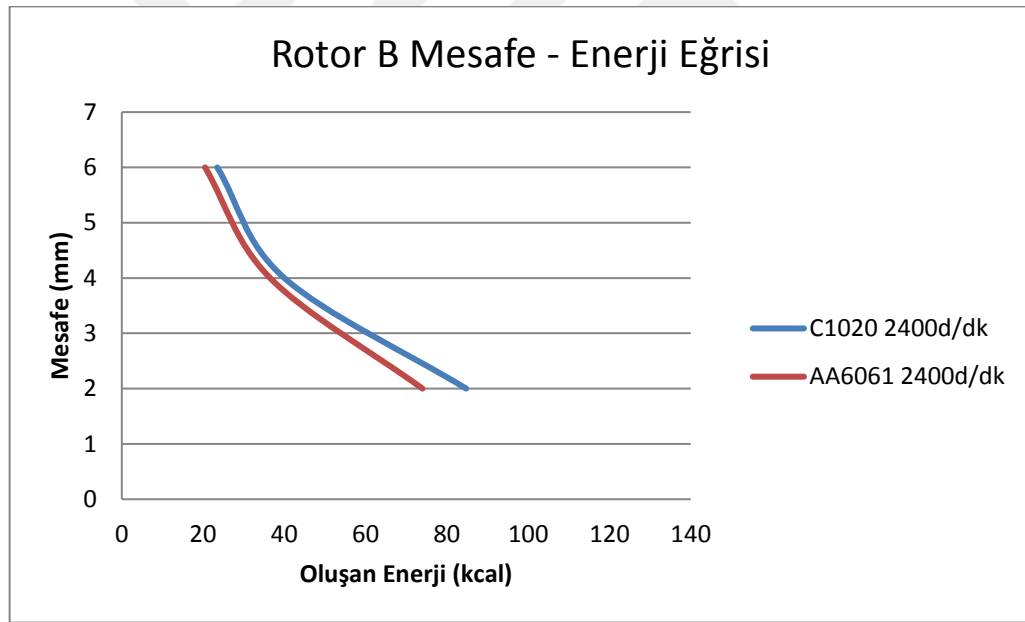
Şekil 7.22. Deneyler sonrası manyetik alan ölçümü.

8. SONUÇ

Gerçekleştirilen deneyler sonucunda değişken manyetik alanın bakır ve alüminyum alaşımları üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Sistem verimine etki eden parametreler açıklanmıştır.

8.1. Mıknatıs ile Boru Arasındaki Mesafe

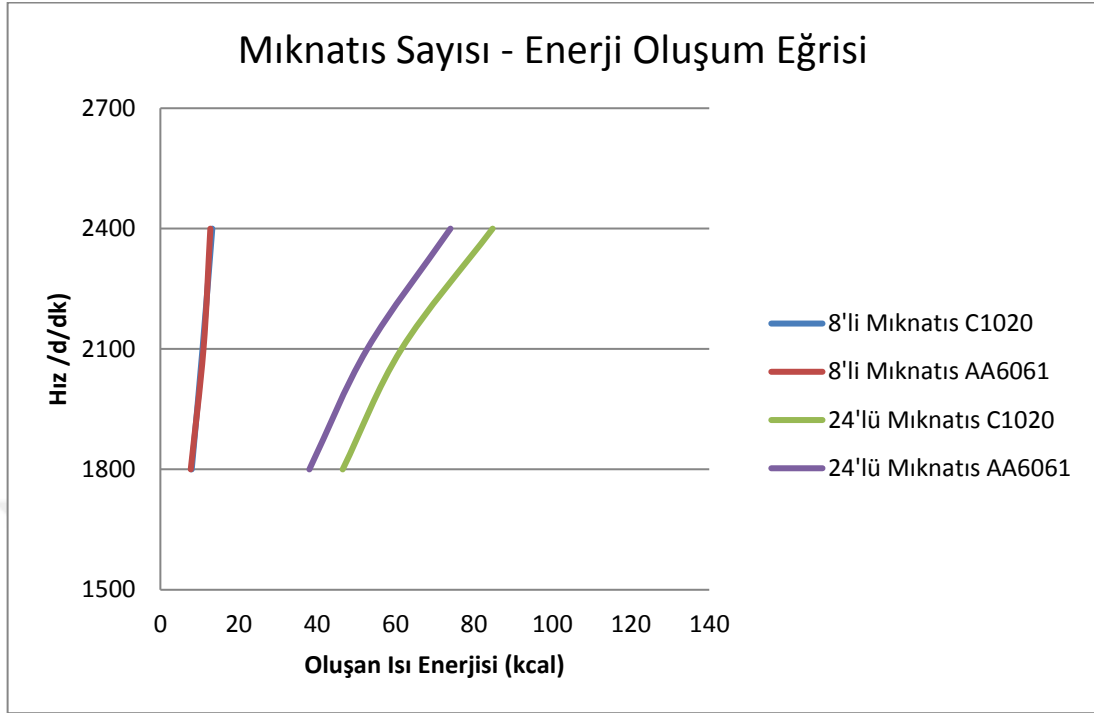
Mıknatıslar ile boru arasındaki mesafe azaldıkça boruya etkiyen manyetik alan şiddeti artmaktadır. Manyetik alan şiddeti arttıkça malzeme üzerinde oluşan girdap akımları artmaktadır. Girdap akımlarının artmasıyla malzemenin sıcaklığı da artış göstermektedir. Oluşan ısı enerjisi, mıknatıs ile boru arasındaki mesafeyle ters orantılı olarak değişmektedir. Şekil 8.1.'de Rotor – B ile yapılan deneylerin sonucunda mıknatıs ile boru arasındaki mesafenin, oluşan ısı enerjisiyle arasındaki bağlantısı gösterilmiştir.



Şekil 8.1. Rotor B mesafe – enerji eğrisi.

8.2. Mıknatıs Sayısı

Rotor – A’da 8 adet, Rotor – B’de 24 adet mıknatıs kullanılmıştır. Rotor – A 2 mm denemelerinde 2400 d/dk hızda maksimum 25,5 °C su sıcaklığına ulaşılmıştır. Rotor – B 2mm denemelerinde 2400 d/dk hızda deney süresi olan 20 dakikada ulaşılan maksimum sıcaklık ise 54,7 °C’dir . Mıknatıs sayısı arttıkça oluşan enerji miktarı da artmaktadır. Mıknatıs sayısı ile oluşan ısı enerjisinin bağlantısı Şekil 8.2.’de gösterilmiştir.

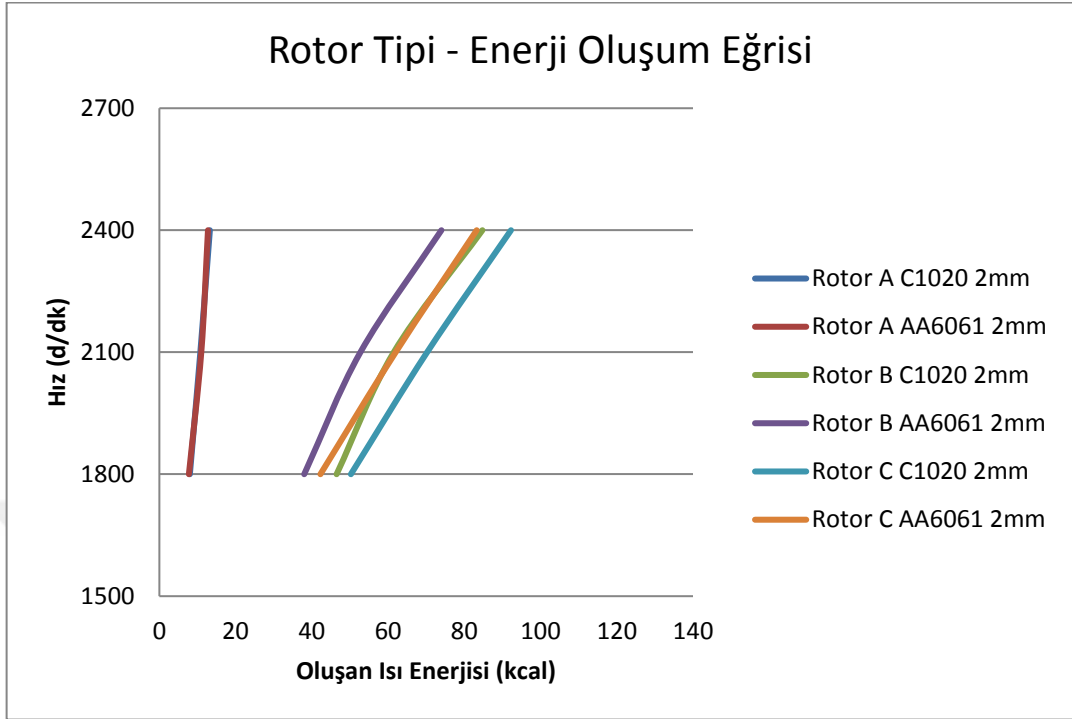


Şekil 8.2. Mıknatıs sayısı – enerji oluşum eğrisi.

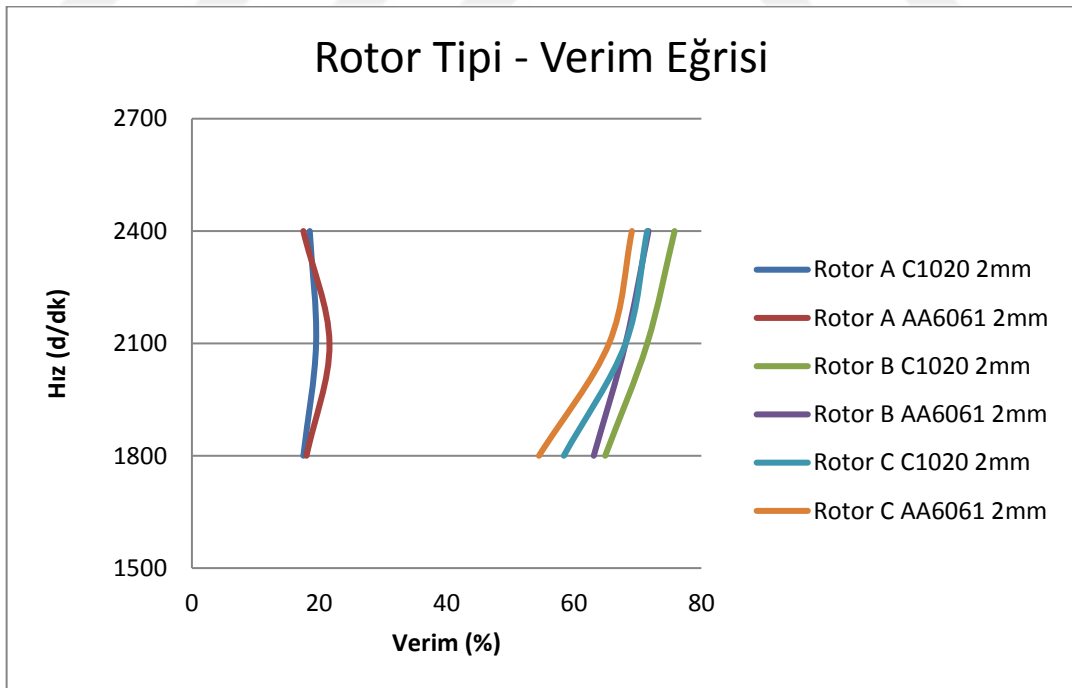
8.3. Rotor Tipi

Deneylerde 3 farklı tip rotor kullanılmıştır. Rotor – A le Rotor – B arasında sadece mıknatıs sayısı farkı vardır. Mıknatıs dizilim şekilleri aynıdır. Rotor – B ile Rotor – C üzerinde eşit sayıda mıknatıs bulunmaktadır. Fakat mıknatıs dizilim şekilleri farklıdır. Rotor – B ve Rotor – C ile yapılan deneyler sonucunda ortaya çıkan ısı enerjilerinin ve verimlerinin karşılaştırılması gösterilmiştir (Şekil 8.3. ve Şekil 8.4.).

B tipi rotor 2 mm mesafe ve 2400 d/dk hızda %75,4 verimle en verimli rotor olarak tespit edilmiştir. En fazla enerji oluşumu da 92,25 kcal ile C tipi rotordadır. C tipi rotorda en fazla enerji oluşumu gözlenmesine rağmen; hızı arttıkça enerji tüketimi, enerji oluşumuna nispeten daha fazla arttığı için 2 mm mesafe ve 2400 d/dk hızda verimi %71,5 olmaktadır. Bu değerler C1020 bakır borular ile elde edilmiştir.



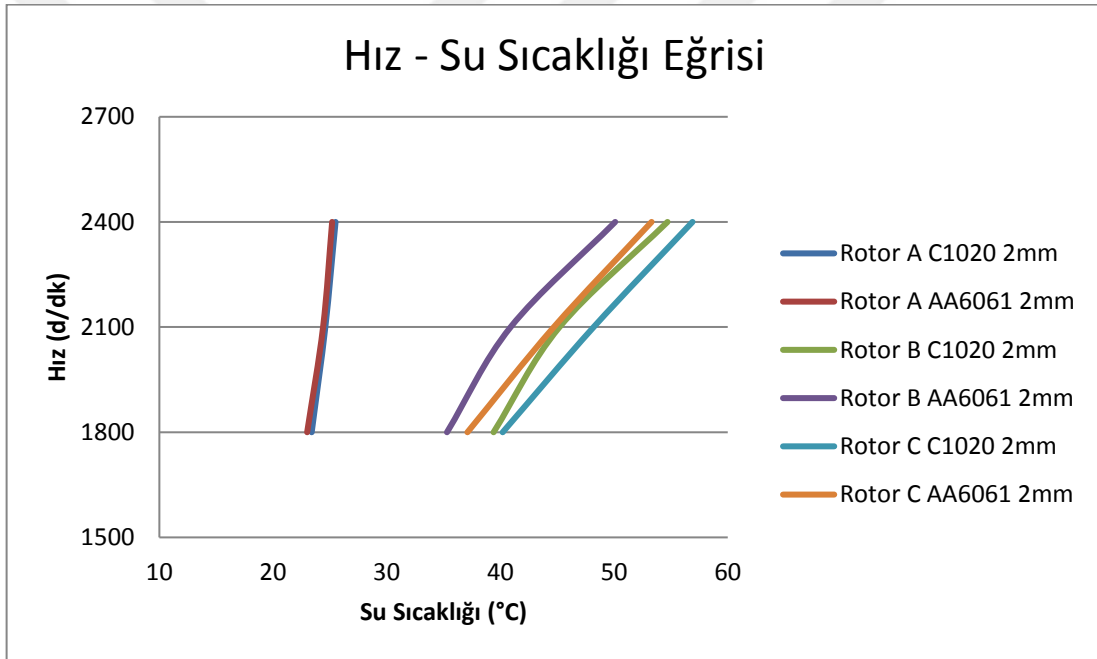
Şekil 8.3. Rotor tipi – enerji oluşum eğrisi.



Şekil 8.4. Rotor tipi – verim eğrisi.

8.4. Malzeme

Deneylerde C1020 ve AA6061 borular kullanılmıştır. Rotor – B 2 mm denemelerinde C1020 alaşım boru ile 20 dakikalık deney süresinde maksimum 54,7 °C su sıcaklığına ulaşılmıştır. AA6061 alaşım boru ile bu değer 50,1 °C olarak ölçülmüştür. C1020'nin ısı iletkenlik ve elektriksel iletkenlik katsayısının daha büyük değerde olduğu da göz önünde bulundurularak, AA6061'e göre değişken manyetik alandan daha çok etkilendiği tespit edilmiştir. Sistemdeki su sıcaklığının malzemeye, mıknatıs ile boru arasındaki mesafeye ve hıza göre değişimini gösteren eğri Şekil 8.5.'de gösterilmiştir.



Şekil 8.5. Hız – su sıcaklığı eğrisi.

8.5. Mıknatıs Ömrü

Deneylere başlamadan mıknatıslar arasında rastgele seçilen 5 adet mıknatısa manyetik alan şiddeti ölçümü yapılmıştır. Ortalama değer 301,2 mT olarak ölçülmüştür. Sistem deneyler için toplamda 12 saat çalıştırılmıştır. Bu sürenin sonunda rasgele seçilen mıknatıslara tekrar manyetik alan şiddeti ölçümü yapılmıştır. Ortalama değer 300,2 mT olarak ölçülmüştür. Mıknatıs kullanılarak değişken manyetik alan oluşturulması, bu manyetik alan yardımıyla girdap akımları meydana getirilmesi ve malzemelerin ısıtılması, mıknatısların manyetik alan şiddetlerinde önemli ölçüde bir değişiklik meydana getirmemektedir.

8.6. Değerlendirme ve Öneriler

Dünyadaki nüfus artışı ve gelişen teknolojiyle birlikte enerji ihtiyacının artacağı yadsınamaz bir gerçektir. Fosil yakıt rezervlerinin hızlı bir şekilde tükenmesi, alternatif enerji kaynaklarının kullanımını artıracaktır. Mıknatıs kullanarak değişken manyetik alan oluşturulması, bu manyetik alan yardımıyla girdap akımları meydana getirilmesi ile paramanyetik ve diyamanyetik malzemeleri ısıtmak mümkündür. Bu çalışma için tasarlanıp, prototip olarak üretilen düzeneikle oluşturulan ısı enerjisi, endüstrinin birçok kolunda kullanılabilir. Sistemin verimi de göz önünde bulundurularak, yöntemin alternatif enerji kaynaklı ve ekonomik bir ısıtma sistemi olarak değerlendirilebileceği kanısına varılmıştır. Çalışmanın bu konuyla ilgili ileride yapılacak diğer araştırmalara yardımcı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Akpınar A., Kömürcü M., Kankal M., (2009), Türkiye’de Hidroelektrik Enerjinin Durumu ve Geleceği, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi 11.Enerji Kongresi Bildirileri.

Aktacir M.A., (2014), Doğal gaz Tesisatı Ders Notları, Harran Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü.

Altıntaş A., Yıldız M., Kızılkaya A., (2012), İndüksiyon Isıtma Prensibi ile Çalışan Mikrokontrol Denetimli Bir Sıvı Isıtıcısı Tasarımı, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Sayı 29.

American Society for Testing and Materials, Committee A-6 on Magnetic Properties, (1970), Direct-Current Magnetic Measurements for Soft Magnetic Materials, s.2.

Blaney L., (2007), Magnetite (Fe_3O_4): Properties, Synthesis, and Applications, Lehigh University.

Bolton W., (1989), Engineering Materials Technology, s.288.

British Petroleum, (2015), Energy Outlook to 2035.

Büyükarıslan S., (2006), Sürtünme Karıştırma Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş Alüminyum Alaşımlarının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Cobden R., (1994), Aluminum: Physical Properties, Characteristics and Alloys, Training in Aluminum Application Technologies.

Çetin A., (2014), Ülkemizin Jeotermal Enerji Kapasitesi ve Yapılabilecekler, Geleceği Önemseyenler Derneği.

Çetiner C., (2016), Biyokütle Enerjisi Ders Notları, Harran Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü.

Eker A., (2008), Alüminyum ve Alaşımları Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü.

Fleisch D., (2007), A Student’s Guide to Maxwell’s Equations, s.58.

Goldman A., (2006), Modern Ferrite Technology, s.10.

<http://arsiv.mmo.org.tr/pdf/000007CB.pdf> alındığı tarih 11.10.2016

<http://copperalliance.org.uk/docs/librariesprovider5/resources/pub-83-al-bronze-alloys-for-industry-pdf.pdf?Status=Master&sfvrsn=0> alındığı tarih 27.10.2016

http://courses.washington.edu/engr100/Section_Wei/small_project/Energy%20Types1.pdf alındığı tarih 28.09.2016

http://energyeducation.ca/encyclopedia/Magnetic_field alındığı tarih 29.09.2016

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

https://eo.ucar.edu/basics/wx_2_c.html alındığı tarih: 30.09.2016

http://eusolar.ege.edu.tr/yenilenebilir_enerji_kaynaklari.html alındığı tarih 01.10.2016

<http://lsa.colorado.edu/essence/texts/geothermal.html> alındığı tarih 06.10.2016

<https://intl.feedfury.com/content/82910486-manyetik-ge-irgenlik-manyetik-ge-irgenlik-konu-anlat-m.html> alındığı tarih 16.10.2016

<http://spacegrant.montana.edu/MSIProject/magneticfields.html> alındığı tarih 18.10.2016

http://web.itu.edu.tr/~yamanlar/faq_t/#1 alındığı tarih 08.10.2016

<http://web.mit.edu/viz/EM/visualizations/coursenotes/modules/guide10.pdf> alındığı tarih 11.10.2016

http://www.aluminum.org/sites/default/files/TEAL_1_OL_2015.pdf alındığı tarih 20.10.2016

<https://www.britannica.com/science/magnetic-field> alındığı tarih 17.10.2016

https://www.eia.gov/energyexplained/?page=nonrenewable_home alındığı tarih 03.10.2016

http://www.eie.gov.tr/verimlilik/document/Elektrik_Motorlari.pdf alındığı tarih 25.11.2016

http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx alındığı tarih 02.10.2016

http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/ruzgar-ruzgar_enerjisi.aspx alındığı tarih 02.10.2016

<https://www.electrical4u.com/lenz-law-of-electromagnetic-induction/> alındığı tarih 11.10.2016

http://www.emo.org.tr/ekler/310c83941df97d6_ek.pdf alındığı tarih 09.10.2016

<http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2f1%2fDocuments%2fSayfalar%2fK%C3%B6m%C3%BCr+Nedir-.pdf> alındığı tarih 27.09.2016

<http://www.esabna.com/us/en/education/blog/understanding-the-aluminum-alloy-designation-system.cfm> alındığı tarih 16.10.2016

<https://www.kjmagnetics.com/calculator.asp> alındığı tarih 23.01.2017

<https://www.geothermal.org/what.html> alındığı tarih 11.10.2016

http://www.meb.k12.tr/meb_iys_dosyalar/34/41/972879/dosyalar/2013_02/12093631_manyetizma.pdf alındığı tarih 18.10.2016

<http://www.miknatis.net/miknatis/tr/urunlerimiz/72/alnico-miknatislar> alındığı tarih 20.10.2016

<http://www.miknatis.net/miknatis/tr/urunlerimiz/73/neodimyum-miknatislar> alındığı tarih 20.10.2016

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

<http://www.miknatis.net/miknatis/tr/urunlerimiz/74/seramik-miknatislar-300-oksit> alındığı tarih 20.10.2016

<http://www.miknatis.net/miknatis/tr/urunlerimiz/75/samaryum-miknatislar> alındığı tarih 20.10.2016

<https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/biomass-energy/> alındığı tarih 13.10.2016

<http://www.nbmmetals.com/collections/silicon-bronze> alındığı tarih 28.10.2016

<https://www.nei.org/Knowledge-Center/FAQ-About-Nuclear-Energy> alındığı tarih 05.10.2016

http://www.ngk-alloys.com/NGK_Berylco_Catalogue_En.pdf alındığı tarih 28.10.2016

<http://www.pha.jhu.edu/~wpb/spectroscopy/basics.html> alındığı tarih 30.09.2016

https://www.princeton.edu/ssp/joseph-henry-project/eddy-currents/eddy_wiki.pdf alındığı tarih 15.10.2016

http://www.solarschools.net/resources/stuff/non_renewable_energy.aspx alındığı tarih 05.10.2016

<http://www.thermalenergy.org/> alındığı tarih 29.09.2016

<http://www.torosgaz.com.tr/burdur/dgnasilolusur.html> alındığı tarih 27.09.2016

<http://www.tpao.gov.tr/tpfiles/userfiles/files/petrolmerak.pdf> alındığı tarih 27.09.2016

<http://www.qrg.northwestern.edu/projects/vss/docs/space-environment/1-what-is-energy.html> alındığı tarih 27.09.2016

Jennifer V., (2005), Kinetic and potential energy: Understanding changes within physical systems, s.18.

Kavak K., (2005), Dünyada ve Türkiye’de Enerji Verimliliği ve Türk Sanayiinde Enerji Verimliliğin İncelenmesi, Devlet Planlama Teşkilatı Uzmanlık Tezi.

Koçak H., (2006), Bakır Alaşımları El Kitabı, Sağlam Metal.

Lacy I., (2006), Nuclear Energy in the 21st Century, s.12.

Li K., Li S., (2013), Intelligent Computing for Sustainable Energy and Environments, s.96.

MEGEP, (2005), Alüminyum Alaşımları Modülü.

MEGEP, (2011), Radyoloji Modülü, Manyetizma.

Mısırlı C., (2011), 5083 Kalite Alüminyum Alaşımının Homojenize Edilerek Sertlik Değerlerinin ve Mikroyapılarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Muncaster R., (1993), A-Level Physics s.647.
- Oğuz B., (1990), Demir Dışı Metallerin Kaynağı, Oerlikon Yayınları.
- Ozansoy A., (2007), Fizik Ders Notları, Ankara Üniversitesi Fizik Bölümü.
- Öksüz C., (1996), Yüksek Mukavemetli (2024,6061,7075) Alüminyum Alaşımlarının Jominy Yöntemi İle Su Verme Duyarlılığı, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özkan S., (2012), Alaşımlı Bakır Levhaların Derin Çekme Prosesinde Gerilme Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Rodriguez A., Valli A., (2010), Eddy Current Approximation of Maxwell Equations s.6.
- Rousseau PGC., Fourie NG., (2006), Engineering Science N1, s.57.
- Serway R., Beichner R., (2005), Fen ve Mühendislik için Fizik-1.
- Stringer J., (2008), Magnetism: An Investigation, s.4.
- Sunay Ç., Karaca Ö., (2012), Yaşamımızdaki Elektrik, s.6.
- Şaldır R., (2003), Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynak Kabiliyeti, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- TMMOB Makine Mühendisleri Odası, (2016), Enerji Yöneticisi Eğitimi Ders Notları Cilt 2, s.146.
- Tripathi A., (2011), Multiple choice questions on Energy, s.90.
- Tülbentçi K., (1990), Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynağı, Böhler Yayınları.
- Türkiye Petrolleri, (2016), Ham Petrol ve Doğal Gaz Sektör Raporu.
- Türkmenoğlu M., (2010), Uçucu Küllerin Liç Karakteristiklerinin ve Çevreye Etkilerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Vargel C., (2004), Corrosion of Aluminium, s.9.
- Yıldırım M., Çakan A., (2012), Mühendislik Malzemeleri III, s.49.
- Yılmaz B., (2002), Alüminyum Alaşımlarında Faz Yapılarının Mekanik Özelliklere Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yosida K., (1998), Theory of Magnetism, s.3.

ÖZGEÇMİŞ

Türkiye Cumhuriyeti vatandaşı olan Arda Zaim 1993 yılında Merzifon'da doğmuştur. 2011 yılında Eskişehir Muzaffer Çil Anadolu Lisesi'nden, 2015 yılında Dumlupınar Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden şeref öğrencisi olarak mezun olmuştur. Aynı yıl Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başlamış ve 2017 yılında Makine Yüksek Mühendisi ünvanını alarak 4.00 ortalama ile yüksek lisans eğitimini tamamlamıştır. Halen Gürallar Cam Ambalaj Fabrikası'nda enerji yöneticisi ve mekanik bakım mühendisi olarak çalışan Zaim ayrıca TMMOB Makine Mühendisleri Odası Eskişehir Şubesi 2016-2018 dönemi Bakım Komisyonu üyeliği yapmaktadır. İyi derecede İngilizce bilen Zaim, bekaardır.