



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GÜÇ SİSTEMLERİNDEKİ TRANSFORMATÖRLERİN MANYETİK
ALAN EKLANLAMASI**

Faruk TURAN

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Cengiz Polat UZUNOĞLU

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programı


İSTANBUL-2018

Bu çalışma 14.01.2019 Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Elektrik-Elektronik Mühendisliğı Anabilim Dalı, Elektrik-Elektronik Mühendisliğı Programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

TEZ JÜRİSİ


Dr.Öğr.Üyesi Cengiz Polat UZUNOĞLU
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi


Prof. Dr. Mukden UĞUR
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi


Dr.Öğr.Üyesi Serap CEKLİ
Maltepe Üniversitesi
Mühendislik ve Doęa Bilimleri Fakültesi



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa’nın aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans tezimi hazırlama aşamasında bana bilgi birikimi ile yol gösteren, laboratuvar çalışmalarımızda vaktini ayıran ve her zaman desteğini hissettiğim kıymetli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Cengiz Polat UZUNOĞLU'na en içten sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunuyorum.

Ayrıca tezimin deneysel çalışmalarında laboratuvarını kullanmama müsaade eden, deneyimlerini aktaran ve yardımını esirgemeyen Doç. Dr. Gökhan ÇAYLI'ya teşekkürü borç bilirim.

Mühendislik Fakültesi'nde aynı odayı paylaştığım mesai arkadaşım Dr. Öğr. Üyesi Uğur ODABAŞI'na tezin yazım sürecinde göstermiş olduğu sabır ve katkıları için teşekkür ederim.

Bu tezi, aileme ve varlıkları benim için her zaman enerji kaynağı olan sevgili kızım **Simge** ve oğlum **Cahit Berk**'e ithaf ediyorum.

Ocak 2019

Faruk TURAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ.....	viii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	4
2.1 ELEKTRİK ALAN	4
2.2 MANYETİK ALAN	5
2.2.1 Akım Taşıyan İletkenin Oluşturduğu Manyetik Alan	5
2.3 TRANSFORMATÖRÜN YAPISI.....	8
2.3.1 Transformatorün Oluşturduğu Manyetik Alan ve Kaçak Akılar.....	9
2.4 MANYETİK ALANIN SAĞLIK ÜZERİNE ETKİSİ VE SINIR DEĞERLERİ.....	12
2.5 EKCRANLAMA YÖNTEMLERİ	15
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	18
3.1 ÖNERİLEN MANYETİK EKCRANLAMA MALZEMESİNİN ÜRETİLMESİ VE YAPISI	18
3.1.1 Dolgulu Reçine Sentezi	20
3.2 KULLANILAN MATERYALLER VE ÖLÇÜM ALETİ.....	21
3.2.1 Test Transformatorü ve Güç Kablosu	21
3.2.2 Transformatorü Çevreleyen Kutular.....	22
3.2.3 Elektrik Alan ve Manyetik Alan Ölçüm Aleti.....	23
3.3 TEST DÜZENEGİ	24
3.3.1 Kablo Test Düzenegi	24
3.3.2 Transformator Test Düzenegi.....	26
4. BULGULAR.....	28
4.1 ELEKTRİKSEL GÜÇ KABLOSU İÇİN EKCRANLAMA ÖLÇÜMLERİ.....	28
4.2 TRANSFORMATÖR İÇİN EKCRANLAMA ÖLÇÜMLERİ	30

5. TARTIŞMA VE SONUÇ	32
KAYNAKLAR.....	33
ÖZGEÇMİŞ	36



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 : (a) Pozitif Yükün Elektrik Alan Çizgileri (b) Negatif Yükün Elektrik Alan Çizgileri (c) Elektrik Dipolü Elektrik Alan Çizgileri.	5
Şekil 2.2 : I Akımının P ve L Noktasında Oluşturduğu Manyetik Alan Vektörünün Yönü.	6
Şekil 2.3 : İletken Telde Akım Olmadığında ve Kuvvetli Bir Akım Geçtiğinde Manyetik Alanın Yönü.	7
Şekil 2.4 : İki Sargılı Bir Fazlı Transformatörün Basit Yapısı.	8
Şekil 2.5 : (a) Üzerinden Akım Geçen İletken (b) Sağ El Kuralı (c) Bobin Üzerindeki Manyetik Alan.	9
Şekil 2.6 : Bir Kolunda N Sarım Bulunan Manyetik Yapı.	10
Şekil 2.7 : Transformatörde Oluşan Kaçak Akı Gösterimi.	11
Şekil 2.8 : Ekranlama Sonucu Manyetik Alan Çizgilerinin Azalması.	15
Şekil 2.9 : Ekranlama Modeli.	16
Şekil 3.1 : Demir Oksit (Fe_3O_4).	18
Şekil 3.2 : Polimerik Boyar Madde.	19
Şekil 3.3 : Kullanılan Bisfenol A Esaslı Reçinenin Kimyasal Yapısı.	19
Şekil 3.4 : ARC 150 W Epoksi Reçine ve ARC 150 Amin Bazlı Hardener.	20
Şekil 3.5 : 2 kVA, 110V/220V Kuru Tip Kontrol Transformatörü.	22
Şekil 3.6 : Karton Kutular. a) Ekranlama Boyası Yapılmamış. b) Ekranlama Boyası Yapılmış.	23
Şekil 3.7 : Extech Multi-Field EMF metre (EMF 450).	24
Şekil 3.8 : Kablo Test Düzeneği.	25
Şekil 3.9 : Kablo Test Düzeneğinin Blok Diyagramı.	25
Şekil 3.10 : Transformatör Test Düzeneği.	26
Şekil 3.11 : Transformatör Test Düzeneğinin Blok Diyagramı.	27

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 2.1 : Amper Kanunu Niceliklerin Birim Tablosu.....	10
Tablo 2.2 : ICNIRP'nun Genel Halk İçin Zamanla Değişen Elektromanyetik Alan Maruziyet Sınır Değerleri.....	13
Tablo 2.3 : ICNIRP'nun Mesleki Zamanla Değişen Elektromanyetik Alan Maruziyet Sınır Değerleri.	14
Tablo 2.4 : YGH ve Transformatörler için Maruziyet Sınır Değerleri.....	14
Tablo 2.5 : Ekranlama Etkinliği.	16
Tablo 2.6 : Güç İfadeleri.....	17
Tablo 3.1 : Transformatör için Kullanılan Ekranlama Malzemesi İçerisindeki Maddelerin Oranları.	21
Tablo 3.2 : Kablo için Kullanılan Ekranlama Malzemesi İçerisindeki Maddelerin Oranları.....	21
Tablo 4.1 : Güç Kablosu Etrafında Oluşan Manyetik Alan Değerleri.	28
Tablo 4.2 : Güç Kablosu Etrafında Oluşan Elektrik Alan Değerleri.....	29
Tablo 4.3 : Güç Kablosunun Ekranlama Etkinliği (dB).	29
Tablo 4.4 : Transformatör Yüksüz Durumda Etrafında Oluşan Elektromanyetik Alan Değerleri.....	30
Tablo 4.5 : Transformatör Yüklü Durumda Etrafında Oluşan Elektromanyetik Alan Değerleri.....	31

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
F_e	: Elektriksel (Coulomb) kuvvet.
k_e	: Coulomb sabiti.
q	: Elektrik yükü.
ϵ_0	: Boş uzayın elektriksel geçirgenliği.
E	: Elektrik alan.
q_0	: Deneme yükü.
F_B	: Manyetik kuvvet.
B	: Manyetik alan.
μ_0	: Serbest uzayın manyetik geçirgenliği.
μ	: Manyetik geçirgenlik.
I	: Akım.
H	: Manyetik alan şiddeti.
V	: Gerilim.
N	: Bobin sarım sayısı.
l_c	: Nüvenin ortalama yol uzunluğu.

Kısaltmalar	Açıklama
A.C.	: Alternatif Akım
ELF	: Aşırı Düşük Frekans.
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü.
ICNIRP	: Uluslararası İyonize Olmayan Radyasyondan Koruma Komisyonu.
IARC	: Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı.
YGH	: Yüksek Gerilim Hattı.
EMR	: Elektromanyetik Radyasyon.
dB	: Desibel.

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜÇ SİSTEMLERİNDEKİ TRANSFORMATÖRLERİN MANYETİK ALAN EKLANLAMASI

Faruk TURAN

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Cengiz Polat UZUNOĞLU

Elektrik şebekeleri dünyadaki artan aşırı güç ihtiyacını karşılamak için günden güne gelişmektedir. Yüksek güç ihtiyacı, elektriksel şebekeler etrafında özellikle insanların yoğun olduğu konut bölgelerinde yüksek akım değerlerini ve artan elektromanyetik alanları beraberinde getirmektedir. Son zamanlarda yürütülen çalışmalar; alçak frekanslı elektrik şebekesi tabanlı manyetik alanların, çeşitli tipte hastalıklara özellikle bazı tip kanserlere yol açtığını ortaya koymaktadır. Sağlık sorunlarına ek olarak oluşan yüksek manyetik alanların hat endüktansını arttırdığı, dolayısıyla artan reaktif güç kayıplarına neden olduğu bilinmektedir. İstenmeyen elektromanyetik etkiler transformatör merkezlerinde, dağıtım şebekelerinde, havai hatlarda ve hatta evlerde kullanılan düşük güçlü transformatör bulunduran elektriksel aletlerde de oluşmaktadır. Bu çalışmada, elektrik şebekelerinde oluşan istenmeyen manyetik alan etkilerinin bir kısmını engellemek için demir oksit tabanlı elektromanyetik ekranlama malzemesi önerilmiştir. Demir oksit (Fe_3O_4) manyetik ekranlama konusunda yüksek etkili ferromanyetik malzemedir. Fe_3O_4 bileşiği demir tabanlı ferromanyetik bir oksittir. Bu çalışmada ekranlama malzemesi olarak önerilen demir oksit, homojen olarak polimer ile karıştırılmış ve istenen ekranlama malzemesi elde edilmiştir. İstenen fiziksel ve elektriksel özellikleri ile önerilen malzeme boyar madde olarak elektriksel şebekelerde kullanılabilir. Ticari olarak kullanılan ekranlama malzemelerinin çoğu iletken plaka kullanmakta olup, elektrik şebekesine uygulama zorluğu çıkarabilmektedir. Testler sırasında önerilen ekranlama malzemesi elektrik şebeke elemanlarının ürettiği manyetik alanların altında test edilmiş ve

performans değerleri elde edilmiştir. Test transformatörü ve güç kablosu bağlantıları, önerilen ekranlama malzemesinin ekranlama kabiliyeti açısından analiz edilmiştir.

Aralık 2018, 49 sayfa.

Anahtar kelimeler: Elektromanyetik ekranlama, demir oksit, transformatör, polimer



SUMMARY

M.Sc. THESIS

MAGNETIC FIELD SHIELDING OF TRANSFORMERS IN POWER SYSTEMS

Faruk TURAN

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Electrical and Electronic Engineering

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Cengiz Polat UZUNOĞLU

Electrical power networks are improving continuously day by day to supply excessive power demand in the world. Higher power demand lead to higher currents and hence accelerated electromagnetic fields around electrical networks especially in residential areas. Recent studies have pointed out that low frequency electrical grid based magnetic fields are consequently resulting in different types of diseases such as various cancers. In addition to health issues, produced magnetic fields tend to increase inductances in the network lines where inductance related reactive losses are causing low efficiency. Unwanted electromagnetic disturbances are initiated on transformer stations, distribution lines, overhead transmission lines and even in low power transformer operated indoor electrical equipment. In this study, in order to eliminate some percentage of the undesired effects of magnetic fields in electrical networks, iron oxide based shielding material is proposed. Iron oxides are ferromagnetic substances which are very effective in terms of electromagnetic shielding capability. Fe_3O_4 compound is a ferromagnetic oxide which is based on iron. In this study, these proposed iron oxide is homogenously distributed in a polymer matrix and by the aid of this matrix desired shielding substance is produced. With the desired physical and electrical properties proposed material is capable of painting desired electrical equipment. Most of the shielding materials in the market are based on conductive plates which are challenging to apply to electrical equipment. During the tests proposed shielding material is tested under magnetic field generated electrical equipment and

corresponding performances are reported. Test transformer and power cable connections are tested and electromagnetic shielding capability of proposed material is analyzed.

December 2018, 49 pages.

Keywords: Electromagnetic shielding, iron oxide, transformer, polymer



1. GİRİŞ

Dünyada elektrik enerjisine olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Artan enerji ihtiyacı, artan güç değerlerine ve elektrik şebekeleri üzerinden yüksek akımlara yol açmaktadır. Artan akımlar ve yüksek gerilimler iyonize olmayan elektromanyetik alanlar üretmektedir. Yüksek frekanslı elektromanyetik alan kaynaklarına ek olarak [1-2] düşük frekanslı ve enerji sistemleri tabanlı elektromanyetik girişimler günümüzde sıklıkla görülmektedir [3-4]. Her ne kadar yüksek gerilim hatları [5] alçak frekanslarda ana elektromanyetik alan nedeni olarak görülse de alçak gerilim ve düşük güçlü elektriksel aletler de günlük hayatta zararlı elektromanyetik alanlar üretmektedir [6]. Değişik tipteki transformatörler, elektrik şebekelerinin önemli bir parçasını oluşturarak gerilim seviyelerinin dönüştürülmesini sağlamaktadır. Ev kullanımından yüksek güçlü iletim hatları dağıtımına kadar birçok noktada birçok transformatör kullanılmaktadır. Transformatörün demir çekirdekleri, ürettikleri yüksek akılar nedeniyle etraflarında elektromanyetik alan girişimleri oluşturmaktadır [8-9].

Son zamanlardaki çalışmalar oluşan elektromanyetik alanların sağlık sorunlara yol açtığını göstermektedir. Bu çalışmalara göre elektromanyetik alan maruziyetinin çocukluk dönemi lösemileri [10], çeşitli tipteki kanserler [11-12], parkinson hastalığı [13], nörodejeneratif hastalıklar [14] ve benzeri rahatsızlıklara yol açtığını ortaya koymuştur. Avrupa'da sağlık sorunlarına yol açabilecek elektromanyetik alanların maruziyet sınır değerleri hakkında uluslararası kuruluşların verdiği sınır değerleri ya da kendi belirledikleri sınır değerleri referans alınmaktadır. Özellikle düşük frekanslı (50-60 Hz) elektromanyetik alanlar konutlarda ve endüstriyel bölgelerde elektrik şebekesi kaynaklı elektromanyetik alan maruziyetinin ana nedenlerini oluşturmaktadır [15].

Elektromanyetik alan etkilerini azaltmak için çeşitli tipte ekranlama yaklaşımları literatürde enerji sistemleri ekipmanları ve elektriksel şebeke tabanlı malzemeler için önerilmiştir [16-18]. Ekranlama amacına ek olarak, değişik tipte elektromanyetik malzemeler son zamanlarda ortaya konulmuştur [19-20]. Bu maksatla kullanılan malzemeler arasından demir oksit içerikli malzemeler, her geçen gün daha fazla dikkat çekmekte ve önem kazanmaktadır. Literatürde, demir oksit tabanlı malzemelerin ekranlama etkileri üzerine birçok çalışma yapılmıştır [21-23]. Fiziksel ve manyetik özellikleri göz önüne alındığında, genel olarak 3 değişik tip demir oksit

görülmektedir [24]. Birinci tip demir oksit; demir (II) oksit olarak adlandırılmaktadır ve kimyasal formülü FeO şeklinde olan, tabiatta limonit olarak bilinen, sarı renkli bir toz olup, paramanyetik bir malzemedir. İkinci tip demir oksit; Fe₂O₃ kimyasal formülüne sahip, hematit olarak bilinen ve ferromanyetik özellik gösteren kırmızı renkli bir maddedir. Üçüncü tip demir oksit; magnetit olarak isimlendirilip, kimyasal formülü Fe₃O₄ olarak verilmektedir. Magnetit; siyah renkli olup, manyetik alanlardan güçlü bir şekilde etkilenmektedir.

Bu çalışmada; demir oksit (magnetit) içerikli epoksi esaslı polimerik malzemeler, şebeke frekansında (50 Hz) manyetik ekranlama kabiliyeti için çeşitli testlere sokulmuştur. Alçak gerilim elektrik şebekeleri, çoğunlukla değişik tipteki transformatörlerden ve kablolardan oluşmaktadır. Çalışmada önerilen ekranlama malzemesinin etkinliği, alçak gerilim şebekesi üstünde test edilerek ortaya konulmuştur. Yüksek gerilim hatlarında ve yüksek güçlü güç transformatörlerinde ilgili ekranlama malzemesinin şebeke çalışırken testleri mümkün olmadığından alçak gerilim ve görece yüksek akım çeken ekipman üzerinde testler yapılmıştır. Bu amaçla ekranlama testleri 2 kVA, 110 V / 220 V kuru tip kontrol transformatörü ve ilgili bağlantıları sağlayan H05VV-F (HAR), 250 V tek fazlı, bakır iletkenli ve polivinil klorür (PVC) yalıtımlı kablolar üzerinde sürdürülmüştür. Testler sırasında epoksi reçine içine katılan demir oksit (Fe₃O₄) ile kaplanmış olan elektriksel elemanlar (transformatörü çevreleyen karton kutular ve kablolar) kullanılmıştır.

Tez kapsamında; öncelikle test transformatörünün çeşitli yük durumlarında çalıştırılması ile çevresinde oluşturduğu manyetik alan ölçülerek analiz yapılmıştır. Daha sonra demir oksit (Fe₃O₄) parçacıklarının epoksi reçine içinde farklı yüzdelere ile homojen olarak dağıtılarak elde edilen karışım ekranlama malzemesi olarak boyama işleminde kullanılmıştır. Test transformatörünün ekranlama materyalleri ile çevrelenmesi sonucunda transformatör çevresindeki manyetik alan değerlerindeki değişimler gözlenmiştir. Bu manyetik alan değişimleri temel alınarak ekranlama yönteminin performansı ortaya konulmuştur.

Transformatörün boшта ve yükte çalışma durumları incelenmiş olup, elektromanyetik alan ölçümleri iki durum için ayrı ayrı alınmıştır. Kuru tip kontrol transformatörü açık nüve üzerine sargılardan oluşmaktadır ve kaplamasız halde testleri gerçekleştirilmiştir. Önerilen ekranlama malzemesinin etkinliğini göstermek için yapılan testlerde transformatör, kaplamasız halde iken ve önerilen ekranlama malzemesi ile boyanmış karton kutularla çevrelenmiş halde iken ölçümler gerçekleştirilmiştir. Karton kutular 30x23x23 cm boyutunda olup transformatörün

20x20x18 cm fiziksel boyutları ile uyumludur. Kutular değişik oranlarda demir oksit parçacık içeren epoksi reçine ile boyanmıştır (%20 ve %30). Ayrıca transformatörün yükle bağlantısını sağlayan tek fazlı kablo çeşitli oranlarda (%20 - %50 ve %70) demir oksit katkılı epoksi reçine ile boyanmıştır. Testler sırasında elektromanyetik alan ölçümleri için Extech Multi-Field EMF metre (EMF 450) kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında önerilen ekranlama malzemesinin performansı test transformatörü ve iletim kablosu üzerinde test edilmiş ve ekranlama kabiliyeti ortaya konulmuştur.



2. GENEL KISIMLAR

2.1 ELEKTRİK ALAN

Durgun yüklü cisimler, yük işaretlerine göre birbirlerine elektriksel itme veya çekme kuvveti uygularlar. Aralarındaki uzaklık r ve yük değerleri q_1 , q_2 olan yüklü iki parçacık arasındaki elektrik kuvveti Coulomb tarafından Denklem 2.1'deki gibi ifade edilmiştir [25].

$$F_e = k_e \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \quad (2.1)$$

Burada k_e , Coulomb sabitidir. SI birim sisteminde Coulomb sabitinin değeri:

$$k_e = 8,9875 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$$

Bu sabit;

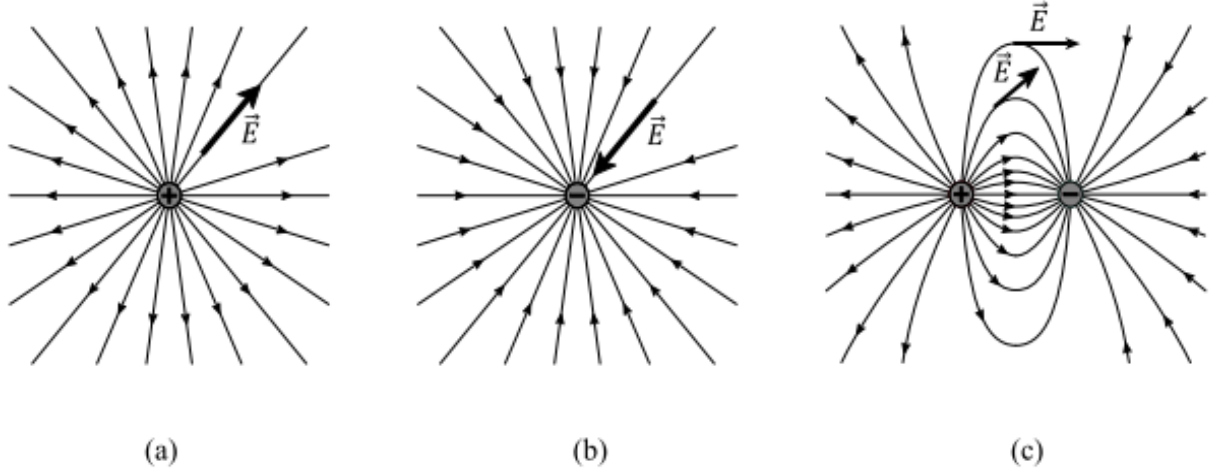
$$k_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

olarak da yazılabilir. ϵ_0 sabiti boş uzayın elektriksel geçirgenliği olup, değeri $8,8542 \times 10^{-12} \text{ C}^2 / \text{N} \cdot \text{m}^2$ 'dir.

Bir yükün kendisinden belirli bir uzaklıktaki noktada oluşturduğu elektriksel alanın büyüklüğü o noktaya konan q_0 birim yüküne (+1 birim kabul edilen) ne kadar kuvvet uygulanacağını ölçüsüdür [25].

$$E = \frac{F_e}{q_0} \quad (2.2)$$

Elektrik alan, elektriksel kuvvet gibi vektörel bir büyüklük olup, Şekil 1.1'de olduğu gibi elektrik alan çizgileri ile gösterilirler. Elektrik alan vektörü elektrik alan çizgilerine her noktada teğettir ve alan çizgileri hiçbir noktada birbirlerini kesmezler. Alan çizgileri bir artı yükten çıkıp bir eksi yükte son bulurlar. Elektrik alan çizgilerinin sayısı yük miktarıyla orantılıdır.



Şekil 2.1 : (a) Pozitif Yüklü Elektrik Alan Çizgileri (b) Negatif Yüklü Elektrik Alan Çizgileri (c) Elektrik Dipolü Elektrik Alan Çizgileri.

2.2 MANYETİK ALAN

Duran ya da hareketli yüklü parçacık etrafında bir elektrik alan oluşturur. Hareket halindeki elektrik yükü aynı zamanda çevresindeki elektrik alana ek olarak bir de manyetik alan oluşturur.

Uzayın bir noktasındaki \vec{B} manyetik alanını, \vec{V} hızıyla hareket eden yüklü bir deneme parçacığına alanın uyguladığı manyetik kuvvet olarak tanımlanır [26].

$$\vec{F}_B = q\vec{V} \times \vec{B} \quad (2.3)$$

Manyetik alanın SI birim sisteminde birimi Tesla (T)'dir.

$$1 \text{ T} = 1 \frac{\text{N}}{\text{A.m}}$$

CGS birim sisteminde manyetik alan birimi Gauss (G) olarak da kullanılır.

$$1 \text{ T} = 10^4 \text{ G}$$

2.2.1 Akım Taşıyan İletkenin Oluşturduğu Manyetik Alan

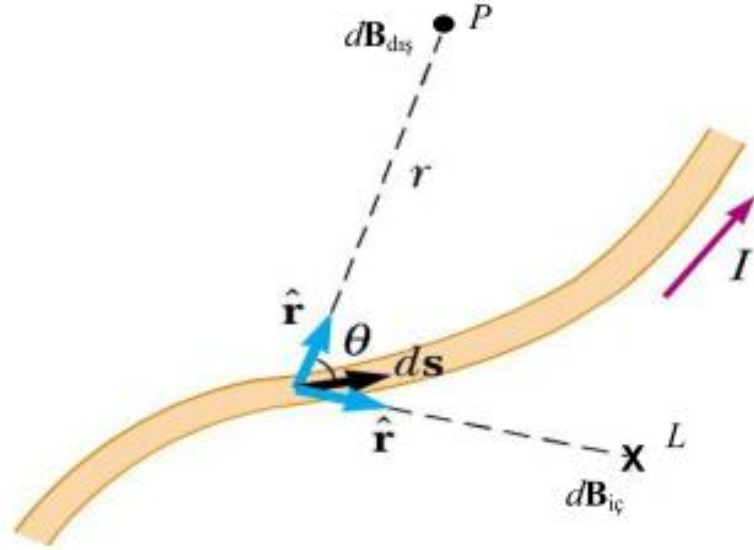
Uzayın bir noktasındaki manyetik alan Jean Baptista Biot ve Felix Savart tarafından matematiksel olarak bu manyetik alanı oluşturan akım cinsinden ifade edilmiştir. Biot-Savart yasası olarak bilinen ifade; kararlı bir I akımı taşıyan telin çok küçük $d\vec{s}$ uzunluk elemanının kendisinden belirli uzaklıktaki bir noktada oluşturduğu $d\vec{B}$ manyetik alanını, Denklem (2.4)'deki gibi ifade eder [27].

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi r^2} d\vec{s} \times \vec{r} \quad (2.4)$$

Denklem (2.4)'deki μ_0 ifadesi serbest uzayın manyetik geçirgenliği olup değeri $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ T.m/A'dir. Denklem (2.4)'deki $d\vec{B}$ alanı iletken telin yalnızca küçük bir $d\vec{s}$ uzunluk elemanındaki akımın oluşturduğu alandır. Şekil 2.2'de gösterilen bir P noktasındaki \vec{B} toplam manyetik alanı bulmak için, akımı oluşturan tüm I.ds akım elemanlarının katkılarını toplamamız gerekir (Denklem (2.5)) [25].

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int \frac{1}{r^2} d\vec{s} \times \vec{r} \quad (2.5)$$

Şekil 2.2'de I akımı taşıyan telin çok küçük $d\vec{s}$ uzunluk elemanının telden r uzaklıktaki P ve L noktalarında oluşturduğu manyetik alan vektörünün yönü gösterilmiştir. Burada (.) gösterimi manyetik alan vektörünün sayfa düzleminden dışa doğru olduğunu, (x) gösterimi ise manyetik alan vektörünün sayfa düzleminden içe doğru olduğunu ifade eder [25].

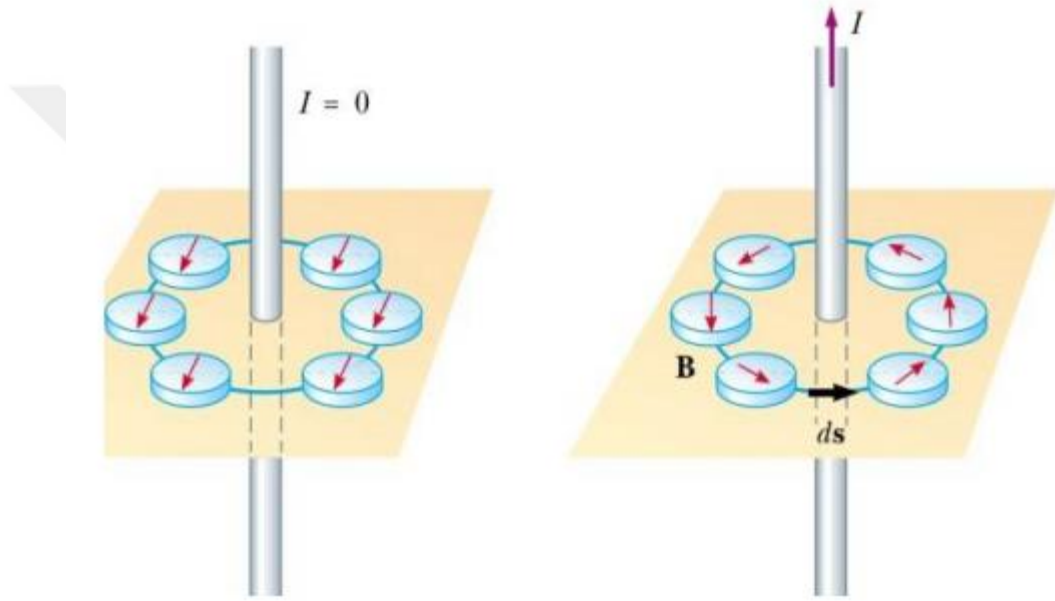


Şekil 2.2 : I Akımının P ve L Noktasında Oluşturduğu Manyetik Alan Vektörünün Yönü.

Biot-Savart yasası, I akımı taşıyan L uzunluğunda bir tele uygulandığında telden r kadar uzakta akımın telin etrafında oluşturduğu manyetik alanın büyüklüğünü Denklem (2.6)'daki gibi ifade eder.

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r} \frac{L}{\sqrt{(\frac{L}{2})^2 + r^2}} \quad (2.6)$$

Elektrik Alan nokta yükten çıkan doğrular boyunca olmasına karşın akım elemanının oluşturduğu manyetik alanın yönü ise vektörel çarpım gereği hem $d\vec{s}$ akım elemanına hem de \vec{r} birim vektörüne diktir. Etrafına pusula iğnesi yerleştirilen düşey düzlemde ki telin üzerinde akım olmadığında ve kuvvetli bir akım geçtiğinde manyetik alanın yönü Şekil 2.3'deki gibi olur. Görüldüğü üzere; akım taşıyan tel, etrafında çembersel bir manyetik alan oluşturur ve her noktasında manyetik alan vektörü bu çembere teğettir [28].



Şekil 2.3 : İletken Telde Akım Olmadığında ve Kuvvetli Bir Akım Geçtiğinde Manyetik Alanın Yönü.

Şekil 2.3'de görüldüğü gibi pusula iğneleri \vec{B} 'nin yönünde yönlendiklerinden, \vec{B} 'nin alan çizgileri teli eksen kabul eden çemberler oluşturdukları sonucuna ulaşılır ve \vec{B} 'nin büyüklüğü tele dik olan bir düzlem içinde kalan ve merkezi tel üzerinde olan çembersel yol üzerindeki her yerde aynıdır.

Kapalı çembersel bir yol boyunca değeri her yerde aynı olan manyetik alan hesabı için Denklem (2.7)'da verilen Ampere Yasası kullanılabilir [25].

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I \quad (2.7)$$

Burada \vec{B} ve $d\vec{s}$ birbirine paralel olduğundan skaler çarpım gereği $\vec{B} \cdot d\vec{s} = B \cdot ds$ olur. Denklem (2.7) aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$B \oint ds = \mu_0 I \quad (2.8)$$

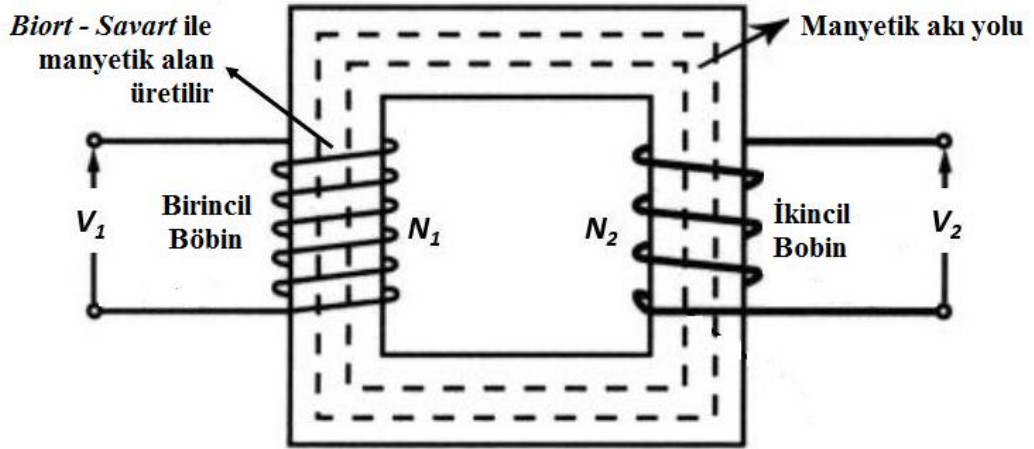
$$B \cdot 2\pi r = \mu_0 I \quad (2.9)$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (2.10)$$

Denklem (2.10) akım taşıyan sonsuz uzunluktaki iletken tel etrafında kendisinden r uzaklıkta oluşan manyetik alanın büyüklüğünü ifade eder [25, 27].

2.3 TRANSFORMATÖRÜN YAPISI

Transformatör A.C. sistemlerde kullanılan bir elektrik makinesidir. Çalışma prensibi gerilim seviyesini, frekans değiştirmeden manyetik indüksiyon yoluyla yükseltmek veya düşürmek üzerine kurulmuştur. Transformatörün hareketli parçası bulunmaz ve bir enerji dönüştürme makinesi olmamasına rağmen genellikle enerji iletim ve dağıtımında kullanılır. Şekil 2.4'de gösterildiği gibi transformatör yapı olarak en basit halde, iki bobin ve bir nüveden oluşmaktadır.

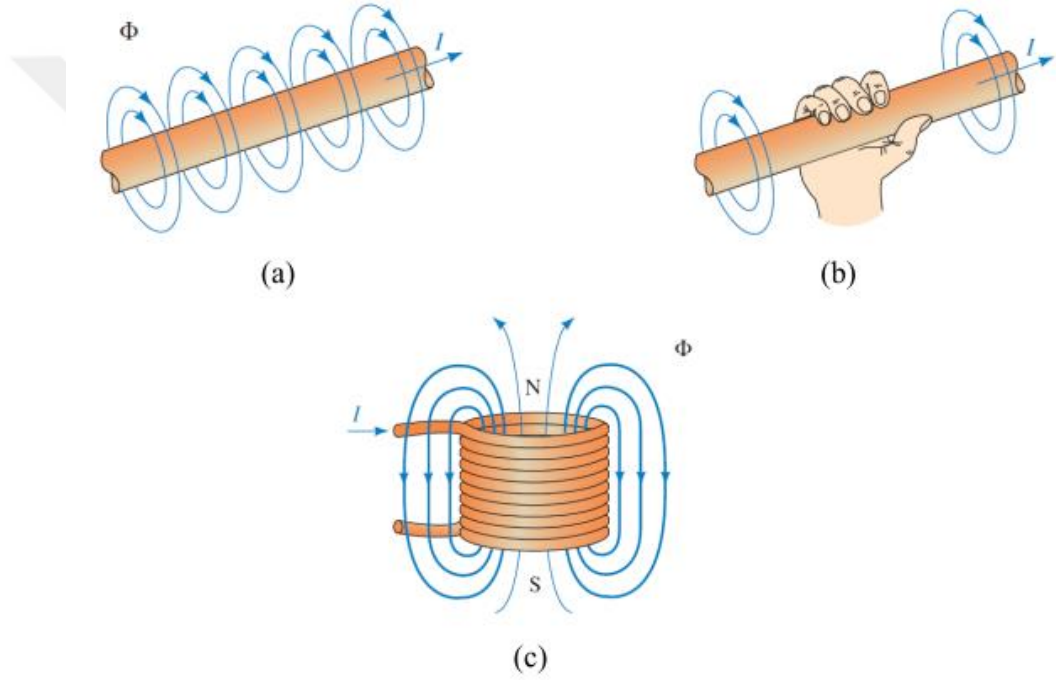


Şekil 2.4 : İki Sargılı Bir Fazlı Transformatörün Basit Yapısı.

Nüvedeki birincil bobin üzerine gerilim uygulandığında nüve üzerindeki birincil sargıda alternatif akım oluşur. Alternatif akım, nüve üzerinde değişken bir manyetik akı oluşturur. Bu manyetik akı, nüve üzerine sarılmış olan ikincil bobini keserek değişken bir gerilim indüklemesini sağlar [29].

2.3.1 Transformatörün Oluşturduğu Manyetik Alan ve Kaçak Akılar

Üzerinden akım geçen tel etrafında bir manyetik alan oluşturur. Manyetik alanının büyüklüğü, iletken üzerinden geçen akım miktarının artmasıyla artar ve yönü sağ el kuralı ile bulunur. Üzerinden akım geçen iletken, bir bobin şeklinde sarılırsa; toplam manyetik alan, sarılı her bir iletkenin oluşturduğu manyetik alanın toplamına eşit olur. Şekil 2.5 (a)'da akım taşıyan iletken etrafında oluşturduğu manyetik akı çizgileri ve Şekil 2.5 (b)'de bu çizgilerin sağ el kuralı ile gösterimi verilmiştir. Şekil 2.5 (c)'de bobin üzerinde oluşan manyetik akı çizgileri gösterilmiştir [30].

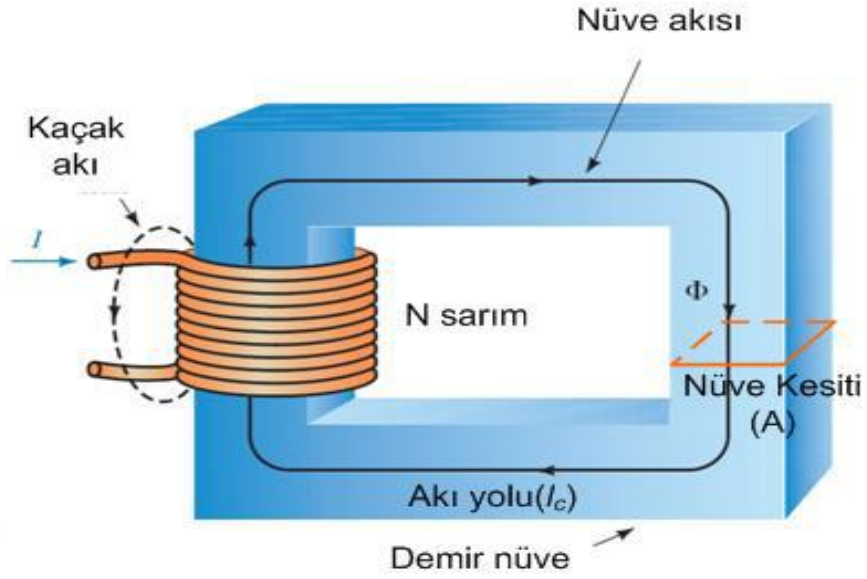


Şekil 2.5 : (a) Üzerinden Akım Geçen İletken (b) Sağ El Kuralı (c) Bobin Üzerindeki Manyetik Alan.

Manyetik akı Φ ; daha önce tanımladığımız manyetik akı yoğunluğu B ile manyetik alan çizgilerinin dik geçtiği yüzey alanının çarpımına eşittir [27].

$$\Phi = B \cdot A \quad (2.11)$$

İletken tel, bir manyetik nüve (çekirdek) üzerine sarılır ise manyetik akı Şekil 2.6'da gösterildiği gibi nüve üzerinden devresini tamamlar [30]. Amper Kanunu bir nüve etrafına sarılı sargıdan geçen akım tarafından üretilen manyetik alanının hesabını için kullanılabilir.



Şekil 2.6 : Bir Kolunda N Sarım Bulunan Manyetik Yapı.

Manyetik akı yoğunluğu ile manyetik alan şiddeti arasındaki ilişki Denklem (2.11)'deki gibi olduğundan Amper Kanunu Denklem (2.12)'deki gibi yazılabilir [30].

$$B = \mu \cdot H \quad (2.12)$$

$$\oint H \cdot dl = I_{net} \quad (2.13)$$

Tablo 2.1 : Amper Kanunu Niceliklerin Birim Tablosu.

Nicelik	Sembol	Birim
Manyetik Alan Şiddeti	H	Amper-tur/metre
Akım	I	Amper (A)
Manyetik Alan Yoğunluğu	B	Weber/metre-kare (Wb/m ²)
Manyetik akı yolunun uzunluğu	l	metre (m)

Şekil 2.6'da dikdörtgen nüvenin bir koluna sarılı N sarımlı bir sargı bulunan manyetik yapı gösterilmektedir. Denklem (2.13) Şekil 2.6'daki yapıya uyarlanırsa çekirdek (nüve) demir veya ferromanyetik malzemeler olarak bilinen metallerin alaşımından yapılmış ise, akım tarafından üretilen bütün manyetik alanın nüve içerisinde kaldığı varsayılır. Bu durumda Denklem (2.13)'deki integralin yolu, nüvenin ortalama uzunluğu l_c olacaktır. Akım taşıyan sargı teli

integralin yolunu N defa keser. Dolayısıyla Denklem (2.13) Denklem (2.14) gibi yazılabilir [30].

$$Hl_c = NI \quad (2.14)$$

Nüve içinde üretilen manyetik alan şiddeti; l_c nüvenin ortalama yol uzunluğu ve uygulanan akım üzerinden Denklem (2.15)'deki gibi yazılır.

$$H = \frac{NI}{l_c} \quad (2.15)$$

Bir nüvedeki manyetik akı yoğunluğu;

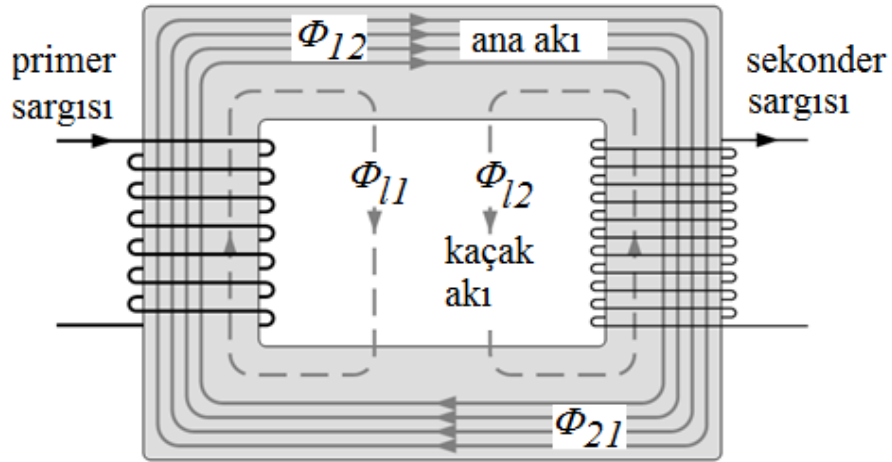
$$B = \mu \cdot H = \mu \frac{NI}{l_c} \quad (2.16)$$

Toplam manyetik akı;

$$\Phi = B \cdot A = \mu \frac{NI}{l_c} A \quad (2.17)$$

olarak bulunur.

Transformatörde bütün akının nüve içerisinde tutulduğu varsayımıyla Denklem (2.17) ortaya konmuştur. Ancak transformatörlerde bütün akı ferromanyetik nüve içinde tutulamaz. Akının bir kısmı Şekil 2.7'de görüldüğü gibi havadan kaçak akı olarak kendini tamamlar [30].



Şekil 2.7 : Transformatörde Oluşan Kaçak Akı Gösterimi.

2.4 MANYETİK ALANIN SAĞLIK ÜZERİNE ETKİSİ VE SINIR DEĞERLERİ

Teknolojik gelişmeler sonucu ortaya çıkan ve sağladıkları yaşam kolaylıkları nedeniyle hayatımızın vazgeçilmezi olan haberleşme cihazları ve elektrikli araçların faydaları yanında zararları da vardır. Söz konusu araç ve cihazlar elektromanyetik kirlilik kaynaklarıdır. Bu elektromanyetik kirliliğin sonucu uzun yıllar sonra ortaya çıkması beklenen olumsuz sağlık etkilerine yönelik kanıtlar, yapılan çalışmalar sonrası, her geçen gün artmaktadır.

Radyasyon, iyonlaştırıcı radyasyon (nükleer radyasyon) ve iyonlaştırmayan radyasyon olmak üzere ikiye ayrılır. İyonlaştırıcı radyasyon insan vücuduna çarptığında hücre atomlarından elektron kopararak iyonlaştırıcı etki yapar. İyonlaştırmayan radyasyon olan elektromanyetik radyasyon ise duyularımızla farkına varamadığımız elektrik alan ve manyetik alanların dalga halinde yayılımı olarak tanımlanır [31].

Elektromanyetik alanlar, duyu organlarımız ile algılanamaz ancak ölçülerek değerlendirilebilir. Ölçüm sonucu bulunan değerler ise uluslararası kuruluşların belirlediği ya da ulusların kendi belirledikleri sağlığa zarar vermeyeceği kabul edilen sınır değerlere göre değerlendirilir. Sınır değerlerin altında kalan değerlerin insan sağlığına zarar vermeyeceği kabul edilir.

Sınır değerler; vücut sıcaklığını 1 °C artıran elektromanyetik enerjinin zararlı, 0,1 °C artışın ise zararsız olduğu kabulünden yola çıkarak belirtilmektedir. Bu kabul radyo frekans radyasyonunun ısı etkisini değerlendirmekte, biyolojik, kimyasal, psikolojik ve genetik etkilerini göz ardı etmektedir. Göz ardı edilen bu etkilere yönelik henüz bir standart oluşturulamamıştır [31].

Elektromanyetik radyasyon iki ayrı frekans bandında oluşur. Çok düşük frekanslı elektromanyetik alanlar ve radyo-mikro dalga frekans (RF-MW) bandıdır. Çok düşük frekanslı elektromanyetik alanların kaynağı elektrikli cihazlar, yüksek gerilim hatları ve transformatörden yayılan ELF (Extreme Low Frequency-Aşırı Düşük Frekans) bandıdır (30 Hz - 300 Hz). ELF bandı, çok düşük frekanslı elektromanyetik alan oluşturur. Transformatör ve elektrikli iletim hatları yakınlarındaki insanlar bu elektromanyetik alan etkisi altında kalırlar. Baz istasyonları, cep telefonları ve radyo-TV vericileri ise radyo-mikro dalga frekans (RF-MW) bandını oluşturur. Bu iki bandın insan vücuduna etkisi farklı durumlar oluşturur ve güvenlik sınır değerleri farklıdır [31].

IARC (International Agency for Research on Cancer-Uluslararası Kansere Araştırma Ajansı) tarafından 2002 yılında ELF manyetik alanları 2B sınıfı olası karsinojen olarak tanımlanmıştır [31]. WHO (World Health Organization-Dünya Sağlık Örgütü)'nün 2004'te yaptığı "Sensitivity of Children to ElectroMagnetic Fields-Çocukların Elektromanyetik Alanlara Hassasiyeti" toplantısında ELF manyetik alanların, çocuk lösemisini iki katı arttırdığı ifade edilmiştir. Bunlar ve benzeri araştırmalarda ELF'nin olumsuz sağlık etkilerinin olduğuna vurgu yapılmıştır [31].

Elektromanyetik radyasyondan insanların korunması için her ülke kendi standartlarına göre sınır değerleri belirlemiştir. Bu sınır değerler genelde Dünya Sağlık Örgütü tarafından da tanınan ve uluslararası bir komisyon olan ICNIRP (International Commission on Non Ionizing Radiation Protection – Uluslararası İyonize Olmayan Radyasyondan Koruma Komisyonu) tarafından belirlenen değerlerdir. Sınır değerler, elektromanyetik radyasyona insanların 24 saat maruz kaldığı kabulüyle belirlenmiştir. Sınır değerler, yayılan radyasyonun frekansına bağlı olarak değişmekte olup; her frekans için farklıdır. Tablo 2.2 ve Tablo 2.3'de ICNIRP'nin genel halk ve mesleki maruziyet için zamanla değişen elektromanyetik alan sınır değerleri verilmiştir [32].

Tablo 2.2 : ICNIRP'nun Genel Halk İçin Zamanla Değişen Elektromanyetik Alan Maruziyet Sınır Değerleri.

Frekans Aralığı	Elektriksel Alan E (kV/m)	Manyetik Alan Şiddeti H (A/m)	Manyetik Akı Yoğunluğu B (T)
1 Hz-8 Hz	5	$3.2 \times 10^4/f^2$	$4 \times 10^{-2}/f^2$
8 Hz-25 Hz	5	$4 \times 10^3/f$	$5 \times 10^{-3}/f$
25 Hz-50 Hz	5	1.6×10^2	2×10^{-4}
50 Hz-400 Hz	$2.5 \times 10^2/f$	1.6×10^2	2×10^{-4}
400 Hz-3 kHz	$2.5 \times 10^2/f$	$6.4 \times 10^4/f$	$8 \times 10^{-2}/f$
3 kHz-10 MHz	8.3×10^{-2}	21	2.7×10^{-5}

f : frekans (birimi Hz)

Tablo 2.3 : ICNIRP'nun Mesleki Zamanla Değişen Elektromanyetik Alan Maruziyet Sınır Değerleri.

Frekans Aralığı	Elektriksel Alan E (kV/m)	Manyetik Alan Şiddeti H (A/m)	Manyetik Akı Yoğunluğu B (T)
1 Hz-8 Hz	20	$1.63 \times 10^5/f^2$	$0.2/f^2$
8 Hz-25 Hz	20	$2 \times 10^4/f$	$2.5 \times 10^{-2}/f$
25 Hz-300 Hz	$5 \times 10^2/f$	8×10^2	1×10^{-3}
300 Hz-3 kHz	$5 \times 10^2/f$	$2.4 \times 10^5/f$	$0.3/f$
3 kHz-10 MHz	1.7×10^{-1}	80	1×10^{-4}

f : frekans (birimi Hz)

Yüksek gerilim hatlarından yayılan elektromanyetik radyasyon konusunda, her ülke kendi standartlarına göre limit değerler belirlemiştir. Bu limit değerler, WHO tarafından da tanınan ICNIRP tarafından belirlenen limit değerlerdir. Elektromanyetik radyasyonun frekansına bağlı olarak limit değerler değişmektedir. Genel halk için, ELF bandına dâhil olan 50 Hz frekansında ICNIRP tarafından belirlenen sınır değerler, Tablo 2.4'de verilmiştir [33].

Tablo 2.4 : YGH ve Transformatörler için Maruziyet Sınır Değerleri.

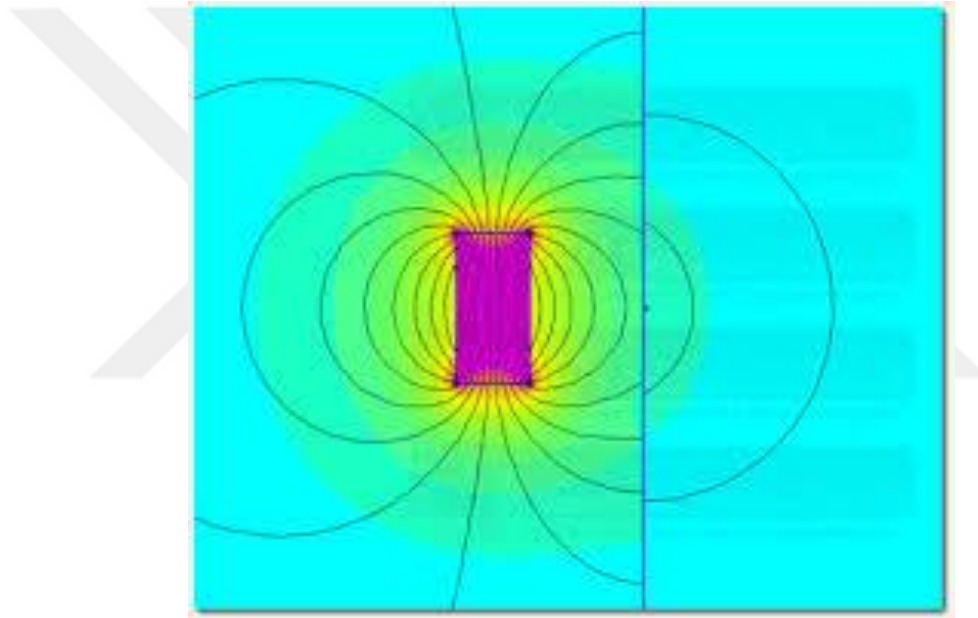
Elektromanyetik Kirlilik Kaynağı	Elektrik Alan Şiddeti (V/m)	Manyetik akı Yoğunluğu (μ T)
Yüksek gerilim hatları, Transformatör ve Güç Üniteleri (genel halk için)	5000	200

Ülkemizde 24.07.2010 tarihli resmi gazetede yayınlanan Çevre ve Orman Bakanlığının yönetmeliğine göre yüksek gerilim hatlarından kaynaklanan EMR (Elektromanyetik Radyasyon) ile ilgili düzenlemeler belirlenmiştir. Yüksek gerilim hatları ve diğer elektrik tesisleri Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından 30.11.2000 Tarih 24246 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan "Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği"ne göre kurulmaktadır. Bu yönetmelik genel itibariyle YGH (Yüksek Gerilim Hattı) 'larının binalara yaklaşma mesafesi ve hattın sehimi ile ilgilidir. Yönetmelik EMR etkisi göz önüne alınmadan hazırlanmıştır [31].

2.5 EKLANLAMA YÖNTEMLERİ

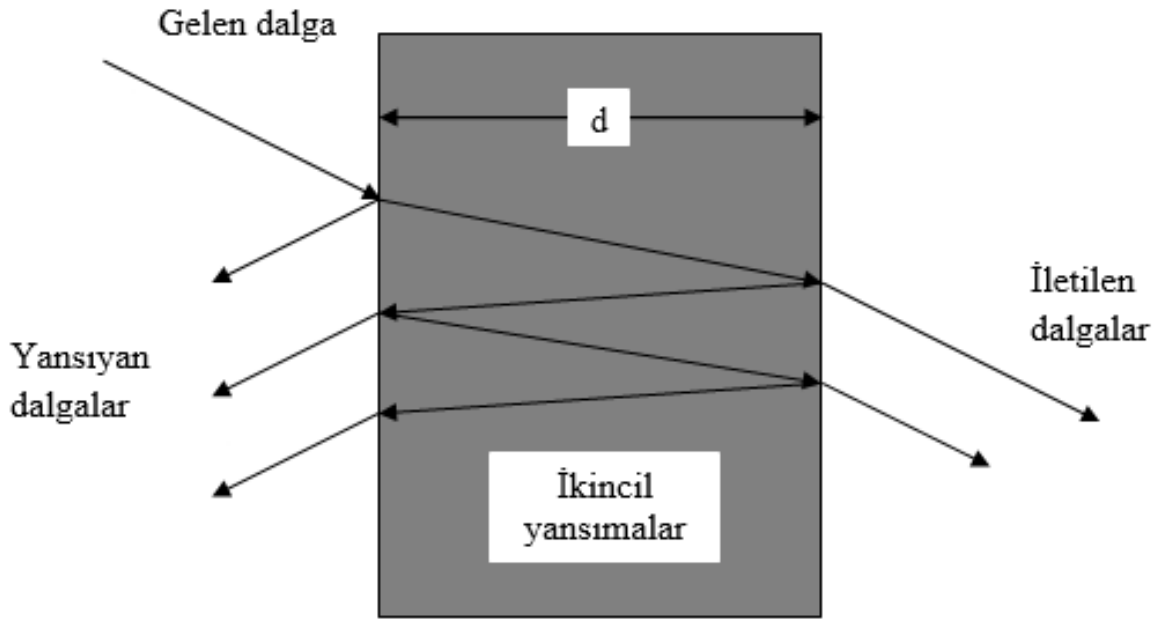
Manyetik ekranlama; elektromanyetik enerjinin belirlenmiş bir bölgeye tamamen veya kısmen girişini engellemek ya da manyetik alan kaynağının içinde bulunduğu bir bölgede kaynağın yaydığı elektromanyetik enerjiyi kontrol altında tutmak amacıyla yapılan işlemdir. Manyetik ekranlama iki bölgeyi elektromanyetik anlamda birbirinden izole etmek anlamına da gelir [34].

Şekil 2.8’de manyetik alan üreten kaynağın manyetik alan çizgileri görülmektedir. Sayfa düzlemine göre sağ taraftaki düz çizgi ekranlama yapılan kısmı temsil etmektedir. Ekranlama sonucu sağ kısımda manyetik alan çizgi sayısının azaldığı görülmektedir.



Şekil 2.8 : Ekranlama Sonucu Manyetik Alan Çizgilerinin Azalması.

Genel olarak ekranlama yöntemleri göz önüne alındığında Şekil 2.9’da gösterildiği gibi ekranlama yapılmış yüzeye gelen elektromanyetik dalga için üç temel durumdan bahsedebiliriz. İlk olarak ekranlama yüzeyine gelen elektromanyetik dalganın bir kısmı hava-ekran sınırında yansır. İkinci olarak elektromanyetik dalganın bir kısmı ekran içerisinde yutulur. Üçüncü olarak elektromanyetik dalga ekran içerisinde çoklu yansıma yapar [34]. Bir kısım elektromanyetik dalga ise bu dalgalarının geçişinin istenmedi bölgeye iletilir (iletilen dalgalar).



Şekil 2.9 : Ekranlama Modeli.

Elektriksel eleman üzerine uygulanan ekranlamanın kabiliyetini ortaya koymak için yüzeye uygulanan ekranlamanın etkinliğini bilmemiz gerekir. Ekranlama etkinliği (S_E); yansıma kaybı, soğurulma kaybı ve malzeme içerisinde tekrarlı yansıma kaybı olmak üzere bu üç kaybın toplamı olarak yazılabilir [34].

$$S_E = S_R + S_A + S_{MR} \quad (2.18)$$

Tablo 2.5 : Ekranlama Etkinliği.

	Notasyon	Birim
Ekranlama Etkinliği	S_E	dB
Yansıma Kaybı	S_R	dB
Soğurulma Kaybı	S_A	dB
Malzeme içerisinde tekrarlı yansıma kaybı	S_{MR}	dB

Ekranlama etkinliği, ortamdaki ölçülen manyetik alan seviyesinin (B_0), ekranlama sonrasında ölçülen manyetik alan seviyesine (B_i) logaritmik oranı olarak Denklem (2.19)'da gösterildiği gibi yazılabilir [35].

$$S_E = 20 \log \frac{B_0}{B_i} \quad (2.19)$$

Denklem (2.19) kullanılarak yapılan ölçüm sonucu çıkan değer yorumlandığında Tablo 2.6'da [36] verilen desibel (dB) cinsinden güç ifadeleri göz önüne alınır ve yapılan ekranlamanın etkinliği ortaya konulur.

Tablo 2.6 : Güç İfadeleri.

Ekranlama Etkinliği (dB)	Ekranlama Yüzdesi (%)	Ekranlı Alan : Ekranlı Alan
6	50	2:1
20	90	10:1
40	99	100:1
60	99.9	1000:1
80	99.99	10000:1
100	99.999	100000:1

3. MALZEME VE YÖNTEM

Önerdiğimiz ekranlama yöntemi için kullandığımız sürülebilir polimerik boyar maddenin içindeki malzemelerin yapısı, kullanım miktarları ile sentez süreci bu bölümde verilmiştir. Ayrıca ekranlama için kullanılan materyaller ile elektromanyetik ölçü aleti EMF metre tanıtılmıştır.

3.1 ÖNERİLEN MANYETİK EKLANLAMA MALZEMESİNİN ÜRETİLMESİ VE YAPISI

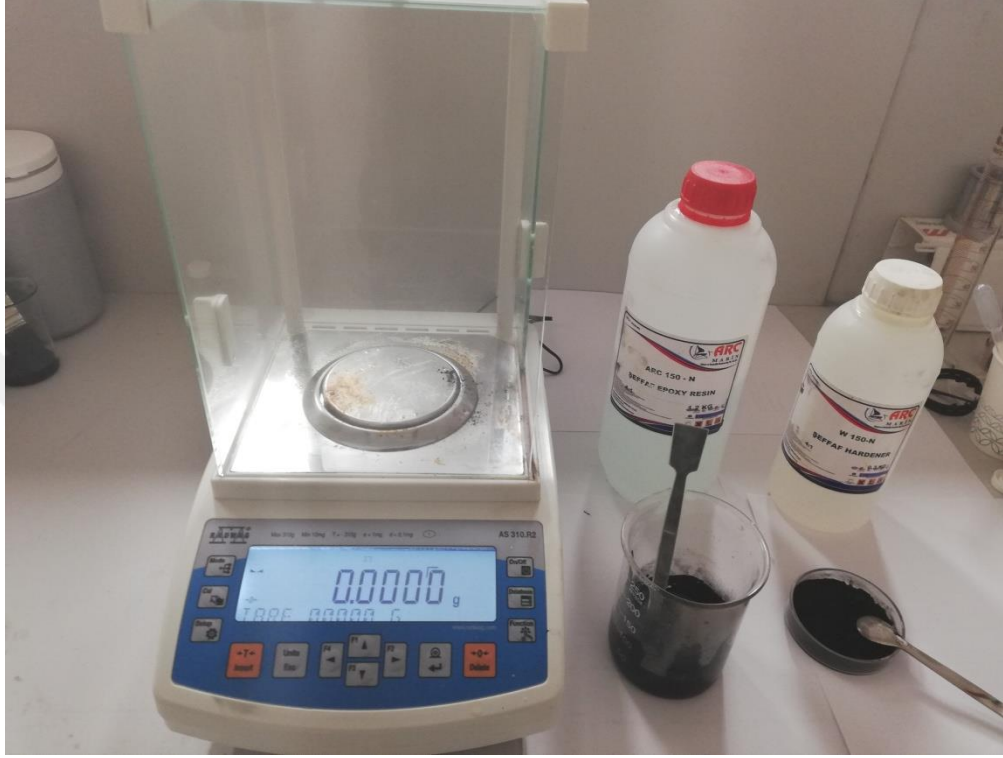
Çalışmada kullanılan demir oksit (Fe_3O_4) Pigment BLACK 11 olarak bilinen mikronize edilmiş magnetit tozu olup %96 saflıktadır. Maksimum %1,5 nem ve %2,5 ($Al_2O_3 + SiO_2$) içerir (Şekil 3.1). Demir oksidin iletkenliği sıcaklığa bağlı olmakla beraber göstermiş olduğu iletkenlik klasik iletkenlere (bakır, gümüş vb) göre çok düşük değer gösterir.



Şekil 3.1 : Demir Oksit (Fe_3O_4).

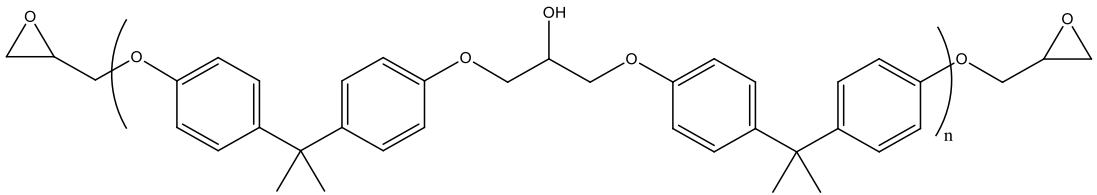
Elektromanyetik ekranlama malzemesi olarak kullanılacak polimerik boyar madde hazırlanırken demir oksit ile beraber ARC 150 W epoksi reçine ve ARC 150 amin bazlı hardener karışımı kullanılmıştır.

Demir oksit katkılı boyar madde olarak kullanılacak karışım homojen ve yüzeye sürülebilecek şekilde hazırlanmış olup, karışımda epoksi reçine / hardener oranı 4/1 olarak kullanılmıştır. Polimerik boyar madde Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 : Polimerik Boyar Madde.

Kullanılan epoksi reçine; bisfenol A esaslı ultra şeffaf tip reçine olup kimyasal yapısı Şekil 3.3’de gösterilmiştir.



Şekil 3.3 : Kullanılan Bisfenol A Esaslı Reçinenin Kimyasal Yapısı.

Polimerik boyar madde hazırlanırken kullanılan ARC 150 W epoksi reçine ve ARC 150 amin bazlı hardener Şekil 3.4’de gösterilmiştir.



Şekil 3.4 : ARC 150 W Epoksi Reçine ve ARC 150 Amin Bazlı Hardener.

3.1.1 Dolgulu Reçine Sentezi

Boya olarak kullanılacak karışımlarda epoksi reçine ve sertleştirici 4/1 oranında karıştırılıp, daha sonra içerisine değişik yüzdelerde demir oksit ilave edilerek karışım homojen oluncaya kadar 5 dakika karıştırıcıda karıştırılmıştır. Yüzeze uygulanacak karışım, daha sonra güneş göreceği şekilde oda sıcaklığında bir gün kürlendirilmeye (sertleşmeye) bırakılmıştır. Üretilen polimerik boyar maddenin ekranlama yapabildiği yüzey açısından maliyet analizi yapıldığında piyasadaki diğer ekranlama malzemeleri ile karşılaştırıldığında ortalama olarak beşte bir maliyete sahip olduğu görülmüştür.

Transformatörü çevrelemek için kullanılan kutuların üzerine sürülen boyar madde içerisindeki malzemelerin oranları değiştirilerek elektrik alan ve manyetik alan ölçümleri yapılmıştır. Tablo 3.1'de bu malzemelerin içerisinde bulunan demir oksit, ARC 150 W epoksi reçine ve ARC 150 amin bazlı hardenerin yüzdeleri verilmiştir. Tabloda parantez içerisindeki yüzdeler boyar madde içerisinde bulunan demir oksit yüzdeleridir. Ölçümler üç farklı durumda alınmıştır. İlk olarak transformatörü çevrelemek için kullanılan kutuların üzerine boyar madde sürülmemiş durum olan ekranlamasız durumda ölçümler alınmıştır. İkinci olarak ölçümler 1.tip dediğimiz boyar madde içerisinde yüzde %20 demir oksit bulunan durumda alınmıştır. Üçüncü olarak

ölçümler 2.tip dediğimiz boyar madde içerisinde yüzde %30 demir oksit bulunan durum için alınmıştır.

Tablo 3.1 : Transformator için Kullanılan Ekranlama Malzemesi İçerisindeki Maddelerin Oranları.

Kullanılan Maddeler	1.tip (%20)	2.tip (%30)
Demir oksit	20%	30%
ARC 150 W epoksi reçine	64%	56%
ARC 150 amin bazlı hardener	16%	14%

Daha sonra elektriksel iletimi sağlayan kabloların üzerine sürülen boya karışımı içerisindeki malzemelerin oranları değiştirilerek elektrik alan ve manyetik alan ölçümleri yapılmıştır. Tablo 3.2’de bu malzemelerin içerisinde bulunan demir oksit, ARC 150 W epoksi reçine ve ARC 150 amin bazlı hardenerin yüzdeleri verilmiştir. Tabloda parantez içerisindeki yüzdeler boyar madde içerisinde bulunan demir oksit yüzdeleridir. Kablo için ölçümler dört farklı durumda alınmıştır. İlk olarak kablo boyar madde sürülmemiş durum olan ekranlamasız durumda ölçümler alınmıştır. İkinci olarak ölçümler 1.tip dediğimiz boyar madde içerisinde yüzde %20 demir oksit bulunan durumda alınmıştır. Üçüncü olarak ölçümler 2.tip dediğimiz boyar madde içerisinde yüzde %50 demir oksit bulunan durumda alınmıştır. Dördüncü ölçümler 3.tip dediğimiz boyar madde içerisinde yüzde %70 demir oksit bulunan durum için alınmıştır.

Tablo 3.2 : Kablo için Kullanılan Ekranlama Malzemesi İçerisindeki Maddelerin Oranları.

Kullanılan Maddeler	1.tip (%20)	2.tip (%50)	3.tip (%70)
Demir oksit	20%	50%	70%
ARC 150 W epoksi reçine	64%	40%	24%
ARC 150 amin bazlı hardener	16%	10%	6%

3.2 KULLANILAN MATERYALLER VE ÖLÇÜM ALETİ

3.2.1 Test Transformatorü ve Güç Kablosu

Elektromanyetik ekranlama ölçümleri demir oksit katkılı polimerik boyar madde ile boyanarak hazırlanan ve test transformatorümüzü çevreleyen kutular ile yapılmıştır. Deney aşamasında

kullanılan test transformatörü 2 kVA, 110V/220V kuru tip kontrol transformatörüdür. Test transformatörünün fiziksel boyutları 20x20x18 cm olup, Şekil 3.5’de gösterilmiştir. Transformatörün boyutları kendisini çevreleyen karton kutuların 30x23x23 cm boyutları ile uyumludur.



Şekil 3.5 : 2 kVA, 110V/220V Kuru Tip Kontrol Transformatörü.

Transformatör haricinde manyetik alan ve elektrik alan değerlerinin değişimlerini gözlemek için kullandığımız diğer materyal olan iletken kablo; H05VV-F (HAR), 250V tek fazlı, bakır iletkenli ve polivinil klorür (PVC) yalıtımlı özelliğindedir. İletken kablonun ekranlamalı durumu için kablonun 50 cm’lik kısmı polimerik boyar madde ile boyanmıştır. Manyetik alan ve elektrik alan ölçümleri kablonun boyalı kısmının tam ortasından uzaklaşacak şekilde değişik mesafelerde alınmıştır.

3.2.2 Transformatörü Çevreleyen Kutular

Test transformatörün çevresinde oluşturduğu manyetik alanı ekranlamak için transformatörü çevreleyen karton kutular kullanılmıştır. Kutular boyar madde sürülmemiş durum olan ekranlamasız ve değişik yüzdelerde (%20 ve %30) demir oksit içeren polimerik boyar madde sürülmüş şekilde ekranlamalı olarak kullanılmıştır (Şekil 3.6). Ölçüm esnasında kullanılan

karton kutular 30x23x23 cm boyutundadır. Karton kutuların boyutları transformatörün 20x20x18 cm boyutları ile uyumludur.

Manyetik alan ve elektrik alan ölçümleri esnasında kullandığımız test transformatörünün tabanı zemine değecek şekilde olup, diğer kesitleri karton kutular tarafından tamamen çevrelenmektedir.



a)



b)

Şekil 3.6 : Karton Kutular. a) Ekranlama Boyası Yapılmamış. b) Ekranlama Boyası Yapılmış.

3.2.3 Elektrik Alan ve Manyetik Alan Ölçüm Aleti

Elektromanyetik alan ölçümü için Extech Multi-Field EMF metre (Şekil 3.7) kullanılmıştır. EMF metre ile üç boyutlu manyetik alan ölçümleri alınabilmektedir. Ayrıca elektrik alan ölçümleri alınabilmektedir. EMF metre ile 50-60 Hz frekansında 20/200/2000 mG ve 2/20/200 μ T seviyelerinde manyetik alan ve 50 V/m – 2000 V/m seviyelerinde elektrik alan ölçümü alınabilmektedir. EMF metre, transformatörün elektrik ve manyetik alan ölçümleri esnasında transformatörü çevreleyen kutuların üst köşe kısmına sabitlenmiş ve ölçümler bu şekilde alınmıştır. Kablonun etrafında oluşturduğu elektrik alan ve manyetik alan ölçümlerinde EMF metre kablodan çeşitli uzaklıklarda (0 - 5 cm) tutularak elektrik ve manyetik alan ölçümleri alınmıştır.



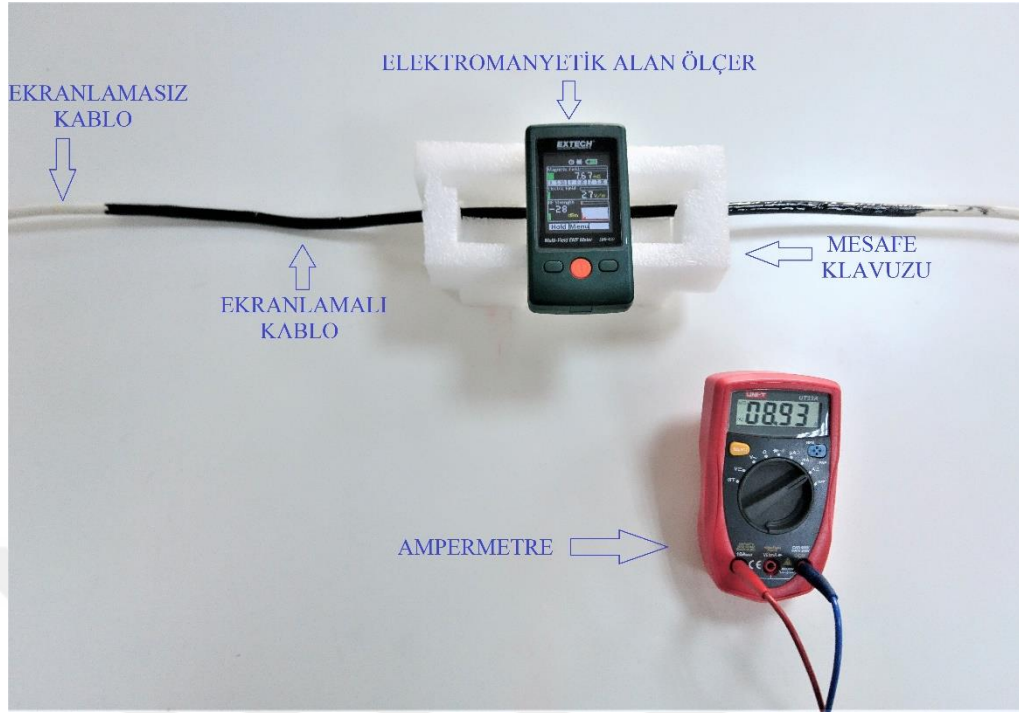
Şekil 3.7 : Extech Multi-Field EMF metre (EMF 450).

3.3 TEST DÜZENEGİ

Önerilen manyetik ekranlama malzemesinin etkinliğini test etmek için transformatör ve güç kablosu için ayrı ayrı test düzeneği oluşturulmuştur. Transformatör için karton kutrular üzerine ve kablo için kablo üzerine polimerik boyar madde sürülerek ekranlamalı ve boyar madde sürülmemiş durum olan ekranlamasız olarak elektromanyetik alan testleri gerçekleştirilmiştir.

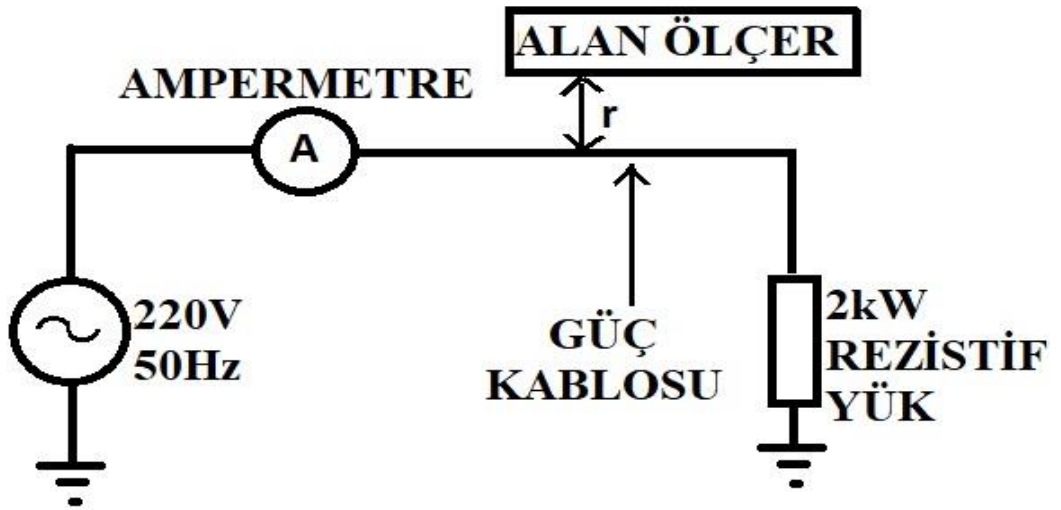
3.3.1 Kablo Test Düzeneği

Testlerde, elektriksel ekipmanlara güç sağlamak için sıklıkla kullanılan tek fazlı elektrik kablosu üzerinde ölçümler alınmıştır. Elektromanyetik alan ölçümleri kablonun boyar madde sürülmemiş durum olan ekranlamasız ve ekranlama maddesi olan polimerik boyar madde ile kaplı olduğu durumlar için yapılmıştır. Ölçümler EMF metrenin kabloya olan uzaklığı değiştirilerek (0 - 5 cm) elde edilmiştir. Kablo testlerinin test düzeneği Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8 : Kablo Test Düzeneği.

Ölçüm sisteminin blok diyagramı Şekil 3.9’da verilmiştir.



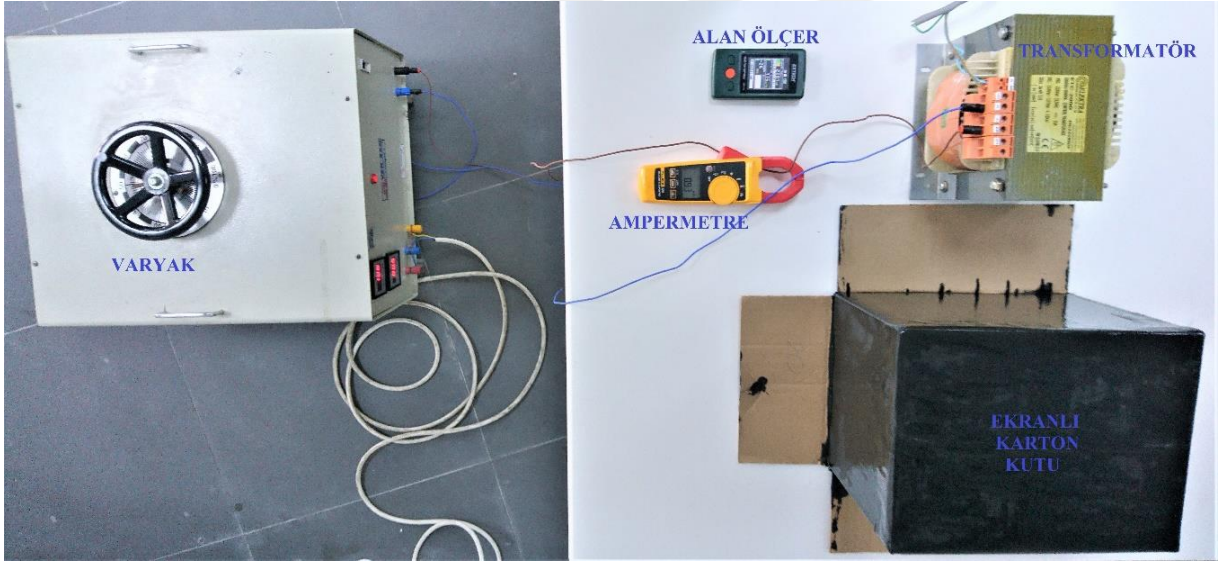
Şekil 3.9 : Kablo Test Düzeneğinin Blok Diyagramı.

Sistemde, sisteme ek manyetik alan etkisi verememesi için tamamen rezistif 2 kW gücünde yük bağlanmıştır. Ölçümler sırasında ampermetre ile akım ölçülmüştür. Ölçümlerde, kablo ile alan ölçer arasındaki mesafeleri sabitlemek için mesafe kılavuzu kullanılmıştır. Besleme kaynağı olarak tek fazlı şebeke (50 Hz, 220 V) kullanılmıştır. Kablolar ekranlama için önerilen, farklı

demir oksit konsantrasyonlarına sahip (%30 , %50 ve %70), polimerik boya ile boyanmıştır. Kablo parçaları boyar madde sürülmemiş durum olan ekranlamasız ve boyanmış olarak ölçüme tabi tutulmuştur.

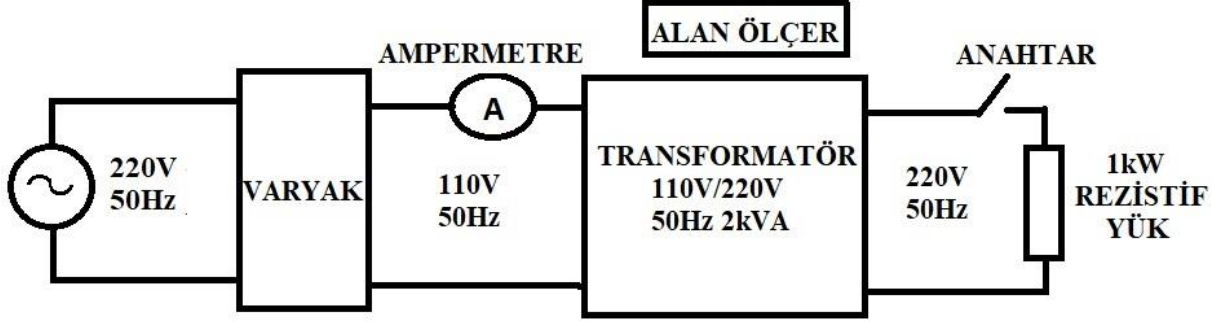
3.3.2 Transformatör Test Düzenegi

Transformatörler; çalışma prensibi göz önüne alındığında ferromanyetik nüveleri nedeniyle güçlü manyetik akılar üretmeye yatkındır. Özellikle güç transformatörleri, güçlü elektromanyetik alan üretirler. Bu çalışmada transformatörün yüklü ve yüksüz çalışma durumları göz önüne alınmıştır. Teoride yüksüz çalışan transformatörlerin demir kayıpları (histerisiz ve girdap akımları) nedeniyle nüvesindeki manyetik akıların oluşumu devam etmektedir. Transformatörün test düzenegi şekil Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.10 : Transformatör Test Düzenegi.

Testler sırasında 2 kVA, 110 V / 220 V kuru tip kontrol transformatör test edilmiştir. İkincil sargı olarak 220 V tarafı seçilen transformatör ayrıca alçak gerilim tarafında 15 V, -15 V ve 127 V kademelerine sahip olsa da 110 V birincil taraf sargısından beslenmiştir. Bu besleme değeri 7.5 kVA gücündeki bir varyaktan (oto-transformatör) sağlanmaktadır. Testler sırasında, transformatör yüksüz ve 1 kW gücünde rezistif yükü besleyerek test edilmiştir. Transformatörün test düzeneginin blok diyagramı şekil Şekil 3.11'de verilmiştir.



Şekil 3.11 : Transformator Test Düzeneginin Blok Diyagramı.

Testler sırasında, transformatorün çektiği birincil sargı akımı pens ampermetre ile ölçülmüştür. Testler sırasında, manyetik ekranlamayı sağlayabilmek için önerilen ekranlama malzemesi ile boyanmış karton kutular transformatorü çevrelemek için kullanılmıştır. Kutuların boyutları transformatorün boyutları ile uyumlu olarak seçilmiştir.

4. BULGULAR

Tüm elektromanyetik ekranlama testleri, sabit koşullar altında (aynı elektromanyetik alan ölçer, aynı yük durumu, aynı mesafeler, aynı sıcaklık değerleri ve benzeri) gerçekleştirilmiştir. Ekranlama etkinliğinin ölçülebilmesi için polimerik boyar madde sürülmemiş ekranlamasız durum ve çeşitli konsantrasyonlarda demir oksit içeren polimerik boyalarla elde edilen ekranlama malzemesi uygulanan durumlar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sırasında yüzde olarak Denklem 2.19’da verilen dB (desibel) cinsinden ekranlama etkinlikleri ortaya konulmuştur.

4.1 ELEKTRİKSEL GÜÇ KABLOSU İÇİN EKLANLAMA ÖLÇÜMLERİ

Güç kablosu için öncelikle polimerik boyar madde sürülmemiş durum olan ekranlamasız olarak belirli ölçüm mesafelerinde elektromanyetik alan değerleri alınmıştır. Aynı şartlarda kablonun üzerine %30, %50 ve %70 demir oksit konsantrasyonuna sahip polimerik boyar madde uygulanarak karşılaştırmalar ortaya konulmuştur. Daha sonra kablo etrafında manyetik alan oluşturmak için 2000 W gücünde rezistif yük bağlanmıştır ve test sırasında kablo üzerinde 8.93 A sabit akım ölçülmüştür. Rezistif yük kullanılmasının sebebi sistem üzerinde harici endüktif ve kapasitif akımların oluşmasını engellemek ve dolayısıyla ek manyetik alan oluşumu önüne geçmektir. Kablodan çeşitli mesafelerde elektromanyetik alan ölçümleri alınmış olup, manyetik alan ölçüm sonuçları Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1 : Güç Kablosu Etrafında Oluşan Manyetik Alan Değerleri.

Ekranlama	0 cm	1 cm	2 cm	3 cm	4 cm	5 cm
Ekranlamasız	72 mG	32.90 mG	14.90 mG	7.40 mG	3.45 mG	1.43 mG
1.tip (%30)	65.80 mG	27.40 mG	12.32 mG	6.03 mG	2.65 mG	1.42 mG
2.tip (%50)	21.70 mG	12.72 mG	8.47 mG	5.57 mG	2.43 mG	1.33 mG
3.tip (%70)	13.97 mG	10.89 mG	7.93 mG	4.28 mG	2.36 mG	1.27 mG

Beklendiği gibi artan mesafe ile kablo etrafındaki manyetik alan azalmaktadır. Örneğin; güç kablosundan 1 cm uzaklıkta ekranlamasız durum için manyetik alan değeri 32.90 mG olarak ölçülmüşken, 3.tip polimerik boyar madde (%70 demir oksit konsantrasyonlu) kullanılarak

yapılan ekranlama durumunda manyetik alan değeri 10.89 mG'a düşmektedir. Bu durumda %66.89'luk manyetik alan azalması görülmüştür.

Elektromanyetik alan değişimlerini irdeleyebilmek için manyetik alana ek olarak elektrik alan değerleri için de ölçümler alınmıştır. Buna göre; ekranlamasız ve çeşitli demir oksit konsantrasyonlarına sahip polimerik boyar madde kullanılarak yapılan elektrik alan ölçümleri Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2 : Güç Kablosu Etrafında Oluşan Elektrik Alan Değerleri.

Ekranlama	0 cm	1 cm	2 cm	3 cm	4 cm	5 cm
Ekranlamasız	193 V/m	58 V/m	18 V/m	9 V/m	6 V/m	6 V/m
1.tip (%30)	132 V/m	58 V/m	21 V/m	12 V/m	12 V/m	9 V/m
2.tip (%50)	86 V/m	21 V/m	15 V/m	12 V/m	9 V/m	6 V/m
3.tip (%70)	46 V/m	21 V/m	18 V/m	12 V/m	9 V/m	6 V/m

Manyetik alana benzer şekilde elektrik alan değerleri de kullanılan polimerik boyar malzemedeki demir oksit oranı artmasına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

Tablo 4.1'de verilen manyetik alan ölçüm sonuçlarının, ekranlama etkinliğini değerlendirilmesi için; bu sonuçlar Denklem 2.19'da verilen hesaplama yöntemi ile hesaplanarak Tablo 4.3'de verilmiştir. dB cinsinden verilen ekranlama etkinliği değerleri, ekranlama yapılmamış durumun ekranlama yapılmış duruma göre karşılaştırmasını ifade etmektedir.

Tablo 4.3 : Güç kablosunun Ekranlama Etkinliği (dB).

Ekranlama	0 cm	1 cm	2 cm	3 cm	4 cm	5 cm
1.tip (%30)	0.78	1.59	1.65	1.78	2.29	0.06
2.tip (%50)	10.42	8.25	4.9	2.46	3.04	0.83
3.tip (%70)	14.24	9.6	5.47	4.76	3.3	1.03

Görülen ekranlama etkinliğine göre; kabloya yakın mesafede yüksek etkinlik görülmektedir (dB). Testler sırasında, kablonun yaklaşık 50 cm boyundaki kısmı ekranlama malzemesi ile

boyanmıştır. Bu sırada; kablonun ekranlamasız bölgesinin oluşturduğu manyetik alan girişimleri, mesafe uzadıkça ölçüm etkinliğini azaltmaktadır. Tüm sisteminin ekranlama malzemesi ile kaplanması sonucunda, ekranlama etkinliğinin daha iyi olacağı öngörülmektedir.

4.2 TRANSFORMATÖR İÇİN EKLANLAMA ÖLÇÜMLERİ

Test transformatörü yüklü ve yüksüz (ikincil sargı açık devre) olarak çalıştırılmıştır. Bilindiği üzere; transformatörlerin açık devre testi, demir kayıplarını ve transformatörün çekirdeğindeki mıknatıslanma akımlarını modellemektedir [37]. Transformatörü çevreleyen karton kutular, transformatörün çekirdeğinden sabit mesafede (3 cm) elektromanyetik alan ölçümü alınabilmesi için kullanılmıştır. Çeşitli konsantrasyonlarda (%20 ve %30) boyar malzeme ile boyanan karton kutular, ekranlama durumları için ve boyanmamış kutular ekranlamasız durum için kullanılmıştır. Transformatörün yüksüz (açık devre) olduğu durumda; birincil sargılardan çekilen akım, 0.96 A (ikincil sargılardan yaklaşık 0.48 A) olarak ölçülmüştür. Alınan elektromanyetik alan ölçüm sonuçları Tablo 4.4’de verilmiştir.

Tablo 4.4 : Transformatör Yüksüz Durumda Etrafında Oluşan Elektromanyetik Alan Değerleri.

Ekranlama	Manyetik Alan	Elektrik Alan
Ekranlamasız	1084 mG	46 V/m
1.tip (%20)	982 mg	24 V/m
2.tip (%30)	931 mG	24 V/m

Transformatörün yüklü durum elektromanyetik alan ölçümleri Tablo 4.5’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; elektromanyetik alan değerleri, ekranlama malzemesi içinde bulunan demir oksit konsantrasyonunun artması ile düşmektedir. Yüklü durumda; ikincil sargılardan rezistif yük beslenerek birincil sargılardan geçen akım 8.10 A (ikincil sargılardan yaklaşık 4.05 A) olarak ölçülmüştür.

Tablo 4.5 : Transformator Yüklü Durumda Etrafında Oluşan Elektromanyetik Alan Değerleri.

Ekranlama	Manyetik Alan	Elektrik Alan
Ekranlamasız	806 mG	30 V/m
1.tip (%20)	747 mG	21 V/m
2.tip (%30)	732 mG	15 V/m

Ayrıca; yüklü duruma göre yüksüz durumdaki transformatorün daha yüksek elektromanyetik alanlar ürettiği görülmüştür. Bu durum transformatorün boşta çalışma halindeki mıknatıslanma akımlarıyla izah edilebilir.

Transformator üzerinde, ortalama 1 dB civarı manyetik alan etkinliği görülmüştür. Bu değer; transformatorün alt taban bölgesinin ekranlaması ve artan transformator güçleriyle artacağı düşünülmektedir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Son zamanlarda yapılan çalışmalar; elektrik şebekesinden kaynaklanan elektromanyetik alan maruziyetinin, insan sağlığına olumsuz etkilerinden dolayı birçok değişik hastalığa yol açabileceğini ortaya koymuştur. Buna ek olarak; elektromanyetik girişimlerin, elektrik şebekesinin çalışması üzerine olumsuz etkileri de mevcuttur. Dünyada çeşitli organizasyonlar ve kurumlar tarafından; elektrik şebekesi tabanlı elektromanyetik girişimlerin engellenmesi amacıyla elektrik alan ve manyetik alan için, sınır değerleri ve yönetmelikler ortaya konulmuştur. Yüksek frekanslı elektromanyetik girişimlere ek olarak; düşük frekanslı ve elektrik şebekelerinden kaynaklanan elektromanyetik girişimler hayatımızın birçok noktasında karşımıza çıkmaktadır. Bu tez kapsamında; elektrik şebekelerinden kaynaklanan elektromanyetik alan etkilerinin ortaya konulması için, elektrik şebekesinde en çok görülen ve günlük kullanımda sıklıkla kullandığımız sistemlerde bulunan transformatör ve güç kablosu analizleri yapılmıştır. Elektromanyetik ekranlama için demir oksit tabanlı polimerik boyar maddeler önerilerek testleri yapılmıştır. Değişik tipte demir oksit konsantrasyonlarına sahip polimerik ekranlama malzemeleri, çeşitli oranlarda ekranlama etkinliği göstermiştir. Manyetik alanlara ek olarak elektrik alan değerlerinde de önemli ölçüde ekranlama sonuçları, hem transformatör için hem de güç kabloları için elde edilmiştir. Konvansiyonel ekranlama malzemeleri daha çok ferromanyetik tabanlı malzemeler, yüksek iletkenliğe sahip metalik plakalar ve benzeri malzemelerdir. Bu tür malzemelerin elektrik şebeke elemanları üzerinde kullanılmasında ve özellikle evsel kullanım alanlarında uygulama zorluğu bulunmaktadır. Piyasada bulunan iletkenlik özellikleri ile öne çıkan plaka tabanlı ya da katlanabilir yapıdaki ekranlama malzemeleri gerek uygulama zorluğu gerek kapladığı yer gerekse maliyetleri açısından bu çalışmada önerilen polimerik tabanlı ekranlama malzemesine göre dezavantajlara sahiptir. Önerdiğimiz demir oksit tabanlı polimerik ekranlama malzemesi ise elektrik şebeke elemanlarına özellikle transformatör gövdesi ve güç kablolarına kolayca uygulanabildiği de görülmüştür. Ayrıca önerilen ekranlama malzemesi, sistemden çeşitli çözümler ile kolayca çıkarılıp yenilenebilir özelliktedir.

KAYNAKLAR

- [1] D. Urbinello, et al., Radio-frequency electromagnetic field (RF-EMF) exposure levels in different European outdoor urban environments in comparison with regulatory limits, *Environment international* 68 (2014) 49-54. DOI:10.1016/j.envint.2014.03.007
- [2] F.M. Idris, Recent developments of smart electromagnetic absorbers based polymer-composites at gigahertz frequencies, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 405 (2016) 197-208. DOI: 10.1016/j.jmmm.2015.12.070
- [3] N.B. Raicevic, N. Raicevic. Reducing the impact of ELF electromagnetic fields of HV power cables on the environment by modeling the cable accessories, *COMPEL: The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering* 34.4 (2015) 1016-1028. DOI: 10.1108/COMPEL-10-2014-0251
- [4] H. Li, L. Li, J. Liu, Application of nano material for shielding power-frequency electromagnetic field, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 87. No. 1. IOP Publishing, 2015. DOI: 10.1088/1757-899X/87/1/012013
- [5] B.I. Kuznetsov, et al., Single-circuit active screening of magnetic field generated by several overhead transmission lines in residential area, *Electrical engineering& electromechanics*, 1 (2018) 41-45. DOI: 10.20998/2074-272X.2018.1.06
- [6] A. Iagăr, G.N. Popa, C.M. Diniş, Study of electromagnetic radiation produced by household equipment, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 200. No. 1. IOP Publishing, 2017. DOI: 10.1088/1757-899X/200/1/012014
- [7] B. Sudiarto, A.N. Widyanto, H. Hirsch, Effect of standby mode operation of some household appliances on disturbance voltage and current in frequency range of 9–150 kHz produced by other equipment in low voltage network, In *Electromagnetic Compatibility-EMC EUROPE, 2016 International Symposium*, 722-725. DOI: 10.1109/EMCEurope.2016.7739175
- [8] K. Muramatsu, et al., Modeling of leakage magnetic field of electric machines using blocks with magnetizations for design of magnetically shielded room, *IEEE Transactions on Magnetics* 53.6 (2017): 1-4. DOI: 10.1109/TMAG.2017.2657639
- [9] Q. Tang, et al., Approximation and prediction of AC magnetization curves for power transformer core analysis, *IEEE Transactions on Magnetics* 51.5 (2015): 1-8. DOI: 10.1109/TMAG.2014.2372672
- [10] P.A. Kokate, et al., Extremely Low Frequency Electromagnetic Field (ELF-EMF) and childhood leukemia near transmission lines: a review, *Advanced Electromagnetics* 5.1 (2016) 30-40. DOI: 10.7716/aem.v5i1.348
- [11] A. Stark, et al., A Potential Role of Chronic Exposure to Extremely Low-Frequency Electromagnetic Fields in Triggering Persistent Pain Post Breast Cancer Surgery: A Review, *Surgery* 9 (2017) 11. DOI:10.5455/ijsm.electromagnetic-field-post-mastectomy-pain-syndrome

- [12] B. Lewczuk, et al., Influence of electric, magnetic, and electromagnetic fields on the circadian system: current stage of knowledge, *BioMed research international* 2014 (2014). DOI:10.1155/2014/169459
- [13] A. Huss, et al., Extremely Low frequency magnetic field exposure and Parkinson's disease—a systematic review and meta-analysis of the data, *International journal of environmental research and public health* 12.7 (2015) 7348-7356. DOI: 10.3390/ijerph120707348
- [14] A. Huss, A. Spoerri, M. Egger, M. Roosli, Swiss National Cohort Study. Residence near PowerLines and Mortality from Neurodegenerative Diseases: Longitudinal Study of the Swiss Population, *Am. J. Epidemiol* 169 (2009) 167–175. DOI: 10.1093/aje/kwn297
- [15] European Commission. 2015a. Potential Health Effects of Exposure to Electromagnetic Fields (EMF). DOI:10.2772/75635
- [16] D.D.L. Chung, Materials for electromagnetic interference shielding, *Journal of Materials Engineering and performance* 9.3 (2000) 350-354. DOI:10.1361/1059949007
- [17] M. Alexandru, C. G. Fartinescu, C. L. Popescu, M. O. Popescu, Shielding of magnetic field produced by energized cables, 2017 10th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), Bucharest, (2017) 378-381. DOI: 10.1109/ATEE.2017.7905032
- [18] V. Lapkovskis, et al., Multilayer material for electromagnetic field shielding and EMI pollution prevention, *Agronomy Research* 15.Special Issue I (2017): 1067-1071.
- [19] W. Laslouni, M. Azzaz, Electromagnetic Properties in Nanostructured Alloy Cu₇₀Co₃₀ Obtained by a Non-Equilibrium Method, *Acta Physica Polonica A* 130.1 (2016) 112-114. DOI: 10.12693/APhysPolA.130.112
- [20] Erdem, S., et al. Magnetic Mesoporous Silica Nanocomposite for Biodiesel Production, *Acta Physica Polonica A* 132.3 (2017): 763-766. DOI: 10.12693/APhysPolA.132.763
- [21] Z. Ding, et al., Electromagnetic shielding properties of iron oxide impregnated kenaf bast fibreboard, *Composites Part B: Engineering* 78 (2015) 266-271. DOI:10.1016/j.compositesb.2015.03.044
- [22] J. Azadmanjiri, et al., Synthesis and electromagnetic interference shielding properties of iron oxide/polypyrrole nanocomposites, *Polymer Engineering & Science* 51.2 (2011) 247-253. DOI: 10.1002/pen.21813
- [23] K. Srinivasan, E. James Jabaseelan Samuel, Evaluation of Radiation Shielding Properties of the Polyvinyl Alcohol/Iron Oxide Polymer Composite, *J Med Phys.*; 42.4 (2017) 273–278. DOI: 10.4103/jmp.JMP_54_17
- [24] A.S. Teja, P.Y. Koh. Synthesis, properties, and applications of magnetic iron oxide nanoparticles, *Progress in crystal growth and characterization of materials* 55.1-2 (2009) 22-45. DOI:10.1016/j.pcrysgrow.2008.08.003

- [25] Serway, R. A. and Beichner, R. J., 2000, *Physics for scientists and engineers with modern physics*, 5th ed., Saunders College Publishing, ISBN: 0-03-022657-0.
- [26] Jordan, E. C., Balmain, K. G., 1968, *Electromagnetic waves and radiating systems*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, ISBN: 978-0132499958.
- [27] Halliday, D. , Resnick, R., and Walker, J., 1997, *Fundamentals of Physics*, 5th ed., Wiley, New York, ISBN: 0-471-10558-9.
- [28] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/magnetic/magcur.html>, [Ziyaret tarihi: Kasım 2018].
- [29] Mergen, A. F., 2009, *Elektrik Makineleri I Transformatörler*, 1st ed., Birsen Yayınevi, İstanbul, ISBN: 9755114130
- [30] Bal, G., 2012, *Transformatörler*, 2. Baskı, Seçkin Yayıncılık, İstanbul, ISBN: 9789750218026.
- [31] Türkkan, A., Çerezci, O., Kartal, Z. ve Pala, K., 2012, *Elektromanyetik Alan ve Sağlık Etkileri*, Nilüfer Belediyesi, Bursa, ISBN: 978-605-62172-6-5.
- [32] <https://www.icnirp.org/en/frequencies/low-frequency/index.html>, [Ziyaret tarihi: Kasım 2018].
- [33] <https://www.icnirp.org/>, [Ziyaret tarihi: Eylül 2018].
- [34] Özen, Ş. ve Arı, N., 2008, *Elektromanyetik Uyumluluk*, 1. Baskı, Palme Yayıncılık, ANKARA, ISBN: 9789944341721.
- [35] Keshtkar, A., Maghoul, A., & Kalantarnia, A., 2011, Magnetic shield effectiveness in low frequency, *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, 3(4), 507.
- [36] Frix, W.M., 1996, *Three Numerical Techniques to Evaluate the Low Frequency Magnetic Shielding of Two-dimensional Metallic Structures*, 1st ed., Arizona State University.
- [37] C.P. Uzunoğlu, M. Karhan, Quantization of transformer transient waveforms under no-load conditions by using Higuchi's method, UNITECH International Conference 2017, Gabrovo, Bulgaria, 17-18 November, vol.1, pp.166-170.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Faruk TURAN
Doğum Yeri	Kahta
Doğum Tarihi	07.05.1979
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	05352260373
E-Posta Adresi	farukt@istanbul.edu.tr
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Çukurova Üniversitesi
Fakülte	Fen Edebiyat
Bölümü	Fizik
Mezuniyet Yılı	2005

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Programı	Elektrik-Elektronik

Makale ve Bildiriler
F. TURAN, G. ÇAYLI, C. P., UZUNOĞLU "Magnetic Field Shielding Effects of Iron Oxide/Epoxide Composites on Electrical Network Components", 5th International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering (ICCESN 2018), Antalya, 12-16 October, 2018.