

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAGNETİK ALAN EKRANLAMASI

Elektrik Müh. Hüseyin ERKAL

**F B E Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik Tesisleri Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Nurettin UMURKAN

İSTANBUL, 2007

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
ÖZET	x
1. GİRİŞ	1
1.1 Elektromagnetik Alanlar Üzerine Yapılan Araştırmalar	2
1.1.1 Mühendislik Araştırmaları	3
1.2 Önerilen Mühendislik Çözümleri	3
2. ELEKTROMAGNETİK UYUMLULUK VE GİRİŞİM KAYNAKLARI	6
2.1 Elektromagnetik Uyumluluğun Tanımı	7
2.2 Elektromagnetik Alan Uyumluluk Birimleri	7
2.3 Elektromagnetik Uyumluluk	9
2.4 Girişim Problemlerinin Çözümünde Genel Yöntemler	12
2.5 Elektromagnetik Girişim Kaynakları	12
2.5.1 Doğal Elektromagnetik Girişim Kaynakları ve Sınıflandırılmaları	13
2.5.1.1 Alçak Frekanslı Elektrik ve Magnetik Alanlar	14
2.5.1.2 Yüksek Frekanslı Elektrik ve Magnetik Alanlar	15
2.5.1.3 İnsan Yapımı Elektromagnetik Girişim Kaynakları	15
3. EKLANLAMA VE EKLANLAMA ETKİNLİĞİNİN HESAPLANMASI	19
3.1 Magnetik Alanların Ekranlaması	20
3.1.1 Yüksek Magnetik Geçirgenlikli Metaller İle Ekranlama	20
3.1.2 Yüksek İletkenlikli Metallerle Ekranlama	22
3.2 Elektromagnetik Ekranlama Değerlendirilmesi	23
3.3 Ekranlama Etkinliği Hesaplama Yöntemleri	24
3.3.1 Ekranlama Etkinliği Hesaplanmasında Yapılan Kabuller Ve Sabitler	25
3.3.2 Analitik Teknikler	28
3.3.2.1 Magnetik Uyumluluk Denklemleri	28
3.3.2.2 Diferansiyel Denklemlerle Doğrudan Çözüm	30
3.3.3 İntegral Denklem Teknikleri	30
3.3.3.1 Diferansiyel Operatör Teknikleri	33
3.3.3.2 Modal Genişlemeler	36
3.3.3.3 Monte-Carlo Yöntemi	36
3.4 Araştırmaların Özeti	36
4. EKLANLAMA DENEYLERİ	38
4.1 Aralıklı Silindir Ekranlı Magnetik Alan Ölçümü	41
4.1.1 T Ekranı İçin Magnetik Alan Ölçümleri	42
4.1.2 T Ekran İçin Ekranlama Etkinliğinin Dağılımı	43

4.1.3	T-T Ekranı İçin Magnetik Alan Ölçümleri.....	44
4.1.4	T-T Ekran İçin Ekranlama Etkinliğinin Dağılımı.....	45
4.1.5	T-T-T Ekranı İçin Magnetik Alan Ölçümleri.....	46
4.1.6	T-T-T Ekran İçin Ekranlama Etkinliğinin Dağılımı.....	47
4.1.7	T-B-T Ekranı İçin Magnetik Alan Ölçümleri.....	48
4.1.8	T-B-T Ekran İçin Ekranlama Etkinliğinin Dağılımı.....	49
4.1.9	T-A-T Ekranı İçin Magnetik Alan Ölçümleri.....	50
4.1.10	T-A-T Ekran İçin Ekranlama Etkinliğinin Dağılımı	51
4.2	Aralıksız Silindir Ekranlı Magnetik Alan Ölçümü.....	52
4.2.1	T-T-T Ekranı İçin Magnetik Alan Ölçümleri.....	52
4.2.2	T-T-T Ekran İçin Ekranlama Etkinliğinin Dağılımı.....	53
4.2.3	T-B-T Ekranı İçin Magnetik Alan Ölçümleri.....	54
4.2.4	T-B-T Ekran İçin Ekranlama Etkinliğinin Dağılımı.....	55
4.2.5	T-A-T Ekranı İçin Magnetik Alan Ölçümleri.....	56
4.2.6	T-A-T Ekran İçin Ekranlama Etkinliğinin Dağılımı	57
4.3	Aralıklı Düz Ekranlı Magnetik Alan Ölçümü	58
4.3.1	T-T-T Ekranı İçin Magnetik Alan Ölçümleri.....	58
4.3.2	T-T-T Ekran İçin Ekranlama Etkinliğinin Dağılımı.....	59
4.3.3	T-B-T Ekranı İçin Magnetik Alan Ölçümleri.....	60
4.3.4	T-B-T Ekran İçin Ekranlama Etkinliğinin Dağılımı.....	61
4.3.5	T-A-T Ekranı İçin Magnetik Alan Ölçümleri.....	62
4.3.6	T-A-T Ekran İçin Ekranlama Etkinliğinin Dağılımı	63
4.4	Aralıksız Düz Ekranlı Magnetik Alan Ölçümü	64
4.4.1	T-T-T Ekranı İçin Magnetik Alan Ölçümleri.....	64
4.4.2	T-T-T Ekran İçin Ekranlama Etkinliğinin Dağılımı.....	65
4.4.3	T-B-T Ekranı İçin Magnetik Alan Ölçümleri.....	66
4.4.4	T-B-T Ekran İçin Ekranlama Etkinliğinin Dağılımı.....	67
4.4.5	T-A-T Ekranı İçin Magnetik Alan Ölçümleri.....	68
4.4.6	T-A-T Ekran İçin Ekranlama Etkinliğinin Dağılımı	69
4.5	Aralıklı U Tipi Ekranlı Magnetik Alan Ölçümü	70
4.5.1	T-T-T Ekranı İçin Magnetik Alan Ölçümleri.....	70
4.5.2	T-T-T Ekran İçin Ekranlama Etkinliğinin Dağılımı.....	71
4.5.3	T-B-T Ekranı İçin Magnetik Alan Ölçümleri.....	72
4.5.4	T-B-T Ekran İçin Ekranlama Etkinliğinin Dağılımı.....	73
4.5.5	T-A-T Ekranı İçin Magnetik Alan Ölçümleri.....	74
4.5.6	T-A-T Ekran İçin Ekranlama Etkinliğinin Dağılımı	75
4.6	Aralıksız U Tipi Ekranlı Magnetik Alan Ölçümü	76
4.6.1	T-T-T Ekranı İçin Magnetik Alan Ölçümleri.....	76
4.6.2	T-T-T Ekran İçin Ekranlama Etkinliğinin Dağılımı.....	77
4.6.3	T-B-T Ekranı İçin Magnetik Alan Ölçümleri.....	78
4.6.4	T-B-T Ekran İçin Ekranlama Etkinliğinin Dağılımı.....	79
4.6.5	T-A-T Ekranı İçin Magnetik Alan Ölçümleri.....	80
4.6.6	T-A-T Ekran İçin Ekranlama Etkinliğinin Dağılımı	81
5.	SONUÇLAR TARTIŞMA	83
	KAYNAKLAR.....	86
	ÖZGEÇMİŞ.....	88

SİMGE LİSTESİ

σ	Elektiksel İletkenlik
σ_{Al}	Alüminyumun Elektriksel İletkenliği
μ	Magnetik Geçirgenlik
μ_0	Boşluğun Magnetik Geçirgenliği
μ_r	Bağıl Magnetik Geçirgenlik
f	Frekans
j	Kaynağın akım yoğunluğu
γ	Zayıflama Katsayısı
δ	Deri Kalınlığı
t	Kalınlık
r	Ekran-Kaynak Uzaklığı
y	Ölçülen nokta-Kaynak Uzaklığı

KISALTMA LİSTESİ

A	Alüminyum
AA	Alternatif Akım
A/m	Amper/metre
B	Magnetik Akı Yoğunluğu - Bakır
BEM	Boundary Element Method
CGM	Conjugate Gradient Method
CSM	Charge/Source Simulation Method
DA	Doğru Akım
dB	Desibel
ESD	Elektrostatik boşalma
E	Elektrik alan şiddeti
EE	Ekranlama etkinliği
EMU	Elektromagnetik Uyumluluk
F	Frekans
FDM	Finite Difference Method
FDTD	Finite Difference Time Domain Method
FEM	Finite Element Method
GTD	Geometrical Theory of Diffraction
H	Magnetik alan şiddeti
Hz	Hertz
NEMP	Nükleer elektromagnetik darbe
PTD	Physical Theory of Diffraction
T	Trafo sacı
VIM	Volume Integral Equation Method
V/m	Volt/metre

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Desibel Biriminin Tanımlanması..... 8
Şekil 2.2	Dört temel EMU problemi (a) Işıma emisyonu, (b) Işıma duyarlılığı, (c) İletim emisyonları, (d) İletim duyarlılığı..... 10
Şekil 3.1	Gürültü kaynağının ya da hassas cihazın ortamdaki izole edilmesi..... 19
Şekil 3.2	İç bölgenin dış alanlardan magnetik korunması 21
Şekil 3.3	Ekranlanmamış güç kablosunun etrafındaki magnetik akı çizgileri 21
Şekil 3.4	Ekranlı güç kablosunun etrafındaki magnetik akı çizgileri 22
Şekil 3.5	t kalınlıklı bir ekranda gelen, yansıyan, yutulan ve geçen dalga 23
Şekil 3.6	Silindirik ekranlama problemlerinin basit modeli 24
Şekil 3.7	Ekranlama Etkinliği 29
Şekil 3.8	Sonlu farklar yönteminin tipik dikdörtgen ızgarası 33
Şekil 3.9	Sonlu elemanlar yönteminin tipik ızgara elemanı 33
Şekil 4.1	Y.T.Ü Yüksek Akım Laboratuvarı 38
Şekil 4.2	Magnetik alan kaynağı olarak kullanılan deney düzeneği 39
Şekil 4.3	Magnetik alan ölçüm cihazı 39
Şekil 4.4	Magnetik alan ölçüm cihazı ile yapılan ölçümler 40
Şekil 4.5	Ekranlı ve enerjili magnetik alan dağılımı..... 41
Şekil 4.6	(Aralıklı Silindir) Ekran Görünümü..... 41
Şekil 4.7	Trafo sacı ekranlı magnetik alan dağılımı 42
Şekil 4.8	T (Aralıklı silindir) ekran için ekranlama etkinliğinin dağılımı 46
Şekil 4.9	İki kat trafo sacı ekranlı magnetik alan dağılımı 44
Şekil 4.10	T-T (Aralıklı Silindir) ekran için ekranlama etkinliğinin dağılımı..... 45
Şekil 4.11	Üç kat trafo sacı ekranlı magnetik alan dağılımı 46
Şekil 4.12	T-T-T (Aralıklı Silindir) ekran için ekranlama etkinliğinin dağılımı 47
Şekil 4.13	T-B-T ekranlı magnetik alan dağılımı 48
Şekil 4.14	T-B-T (Aralıklı Silindir) ekran için ekranlama etkinliğinin dağılımı..... 49
Şekil 4.15	T-A-T ekranlı magnetik alan dağılımı 50
Şekil 4.16	T-A-T (Aralıklı Silindir) ekran için ekranlama etkinliğinin dağılımı..... 51
Şekil 4.17	(Aralıksız Silindir) Ekran Görünümü 52
Şekil 4.18	T-T-T ekranlı magnetik alan dağılımı..... 52
Şekil 4.19	T-T-T (Aralıksız Silindir) ekran için ekranlama etkinliğinin dağılımı 53
Şekil 4.20	T-B-T ekranlı magnetik alan dağılımı 54
Şekil 4.21	T-B-T (Aralıksız Silindir) ekran için ekranlama etkinliğinin dağılımı..... 55
Şekil 4.22	T-A-T ekranlı magnetik alan dağılımı 56
Şekil 4.23	T-A-T (Aralıksız Silindir) ekran için ekranlama etkinliğinin dağılımı 57
Şekil 4.24	(Aralıklı Düz) Ekran Görünümü..... 58
Şekil 4.25	T-T-T ekranlı magnetik alan dağılımı..... 58
Şekil 4.26	T-T-T (Aralıklı Düz) ekran için ekranlama etkinliğinin dağılımı 59
Şekil 4.27	T-B-T ekranlı magnetik alan dağılımı 60
Şekil 4.28	T-B-T (Aralıklı Düz) ekran için ekranlama etkinliğinin dağılımı 61
Şekil 4.29	T-A-T ekranlı magnetik alan dağılımı 62
Şekil 4.30	T-A-T (Aralıklı Düz) ekran için ekranlama etkinliğinin dağılımı 63
Şekil 4.31	(Aralıksız Düz) Ekran Görünümü..... 64
Şekil 4.32	T-T-T ekranlı magnetik alan dağılımı..... 64
Şekil 4.33	T-T-T (Aralıksız Düz) ekran için ekranlama etkinliğinin dağılımı 65
Şekil 4.34	T-B-T ekranlı magnetik alan dağılımı 66
Şekil 4.35	T-B-T (Aralıksız Düz) ekran için ekranlama etkinliğinin dağılımı 67
Şekil 4.36	T-A-T ekranlı magnetik alan dağılımı 68

Şekil 4.37	T-A-T (Aralıksız Düz) ekran için ekranlama etkinliğinin dağılımı.....	69
Şekil 4.38	(Aralıklı U Tipi) Ekran Görünümü.....	70
Şekil 4.39	T-T-T ekranlı magnetik alan dağılımı.....	70
Şekil 4.40	T-T-T (Aralıklı U Tipi) ekran için ekranlama etkinliğinin dağılımı.....	71
Şekil 4.41	T-B-T ekranlı magnetik alan dağılımı	72
Şekil 4.42	T-B-T (Aralıklı U Tipi) ekran için ekranlama etkinliğinin dağılımı	73
Şekil 4.43	T-A-T ekranlı magnetik alan dağılımı	74
Şekil 4.44	T-A-T (Aralıklı U Tipi) ekran için ekranlama etkinliğinin dağılımı	75
Şekil 4.45	(Aralıksız U Tipi) Ekran Görünümü.....	76
Şekil 4.46	T-T-T ekranlı magnetik alan dağılımı.....	76
Şekil 4.47	T-T-T (Aralıksız U Tipi) ekran için ekranlama etkinliğinin dağılımı	77
Şekil 4.48	T-B-T ekranlı magnetik alan dağılımı	78
Şekil 4.49	T-B-T (Aralıksız U Tipi) ekran için ekranlama etkinliğinin dağılımı	79
Şekil 4.50	T-A-T ekranlı magnetik alan dağılımı	80
Şekil 4.51	T-A-T (Aralıksız U Tipi) ekran için ekranlama etkinliğinin dağılımı.....	81
Şekil 4.52	F5 noktası için yapılan magnetik alan ölçüm sonuçları	82

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1	Ekranlama Etkinliği	25
Çizelge 3.2	Deney malzemelerinin özellikleri	25
Çizelge 3.3	Deney Malzemelerinin deri kalınlığı değerleri	27
Çizelge 3.4	Ekranlama Etkinliğinin Basitleştirilmiş Formülü	27
Çizelge 3.5	Parametrelerin Oluşturduğu Bölgeler	28
Çizelge 4.1	Magnetik alan ölçüm cihazının genel özellikleri	39
Çizelge 4.2	Ekransız ve enerjili magnetik alan ölçüm sonuçları	41
Çizelge 4.3	Trafo sacı ekran malzemesi için magnetik alan ölçüm sonuçları	42
Çizelge 4.4	İki kat trafo sacı ekran için magnetik alan ölçüm sonuçları	44
Çizelge 4.5	Üç kat trafo sacı ekran için magnetik alan ölçüm sonuçları	46
Çizelge 4.6	T-B-T ekran için magnetik alan ölçüm sonuçları(aralıklı silindir).....	48
Çizelge 4.7	T-A-T ekran için magnetik alan ölçüm sonuçları(aralıklı silindir).....	50
Çizelge 4.8	T-T-T ekran için magnetik alan ölçüm sonuçları(aralıksız silindir).....	52
Çizelge 4.9	T-B-T ekran için magnetik alan ölçüm sonuçları(aralıksız silindir).....	54
Çizelge 4.10	T-A-T ekran için magnetik alan ölçüm sonuçları(aralıksız silindir)	56
Çizelge 4.11	T-T-T ekran için magnetik alan ölçüm sonuçları(aralıklı düz).....	58
Çizelge 4.12	T-B-T ekran için magnetik alan ölçüm sonuçları(aralıklı düz)	60
Çizelge 4.13	T-A-T ekran için magnetik alan ölçüm sonuçları(aralıklı düz)	62
Çizelge 4.14	T-T-T ekran için magnetik alan ölçüm sonuçları(aralıksız düz)	64
Çizelge 4.15	T-B-T ekran için magnetik alan ölçüm sonuçları(aralıksız düz)	66
Çizelge 4.16	T-A-T ekran için magnetik alan ölçüm sonuçları(aralıksız düz)	68
Çizelge 4.17	T-T-T ekran için magnetik alan ölçüm sonuçları(aralıklı U tipi)	70
Çizelge 4.18	T-B-T ekran için magnetik alan ölçüm sonuçları(aralıklı U tipi).....	72
Çizelge 4.19	T-A-T ekran için magnetik alan ölçüm sonuçları(aralıklı U tipi).....	74
Çizelge 4.20	T-T-T ekran için magnetik alan ölçüm sonuçları(aralıksız U tipi).....	76
Çizelge 4.21	T-B-T ekran için magnetik alan ölçüm sonuçları(aralıksız U tipi).....	78
Çizelge 4.22	T-A-T ekran için magnetik alan ölçüm sonuçları(aralıksız U tipi).....	80

ÖNSÖZ

Bu tezi hazırlamamda bilgi ve birikimiyle bana yol gösteren, çalışmalarına ilgisi ve desteğini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Hocam Doç. Dr. Nurettin Umurkan'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezin hazırlanması sırasında bana yardımlarını esirgemeyen bildiklerini benimle paylaşan Araştırma Görevlisi Selim Koroğlu'na teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olduklarını bildiğim aileme, arkadaşlarıma özellikle yardımları için makine mühendisi Korkmaz Özcan ve Özge Kurugül'e teşekkür ederim.

ÖZET

Elektronik cihazları ve sistemleri elektromagnetik kirliliğe karşı korumanın ana yollarından birisi ekranlamadır.

Bu tez, elektromagnetik uyumluluk çalışma alanının konularından olan elektromagnetik alanların farklı malzeme ve farklı şekillerde ekranlanması üzerine hazırlanmıştır.

Bu çalışmada; başlıca elektromagnetik alan kaynakları , elektromagnetik girişim kaynakları, elektromagnetik alanların etkileri ve bu alanların ekranlanması hakkında bilgiler verilmiştir. Farklı elektriksel iletkenlik ve magnetik geçirgenlik özelliklerine sahip malzemeler ile çeşitli konfigrasyonlarda ve çeşitli şekillerde yüksek akım laboratuvarında magnetik alan ölçümü yapıldı. Bu ölçümler neticesinde tablo ve grafikler oluşturularak farklı malzemelerin elektromagnetik alanları ekranlaması konusundaki etkileri değerlendirildi.

Yapılan çalışmalar neticesinde çeşitli malzemelerin ekranlama faktörü ölçümlerle tespit edilmiştir. Daha ilerideki çalışmalarda bu ölçüm sonuçlarıyla tezde belirtilen yöntemlerle elde edilecek hesaplama sonuçlarının karşılaştırılması yapılabilir.

Anahtar Kelimler:Elektromagnetik alan, elektromagnetik uyumluluk, magnetik ekranlama, magnetik geçirgenlik, ekranlama etkinliği

ABSTRACT

Shielding is one of the main way of protecting the electronic devices and systems against the destructive effects of electromagnetic interference.

This thesis is a study on the shieding of electromagnetic fields which is one of the subjects of electromagnetic compatibility.

The study elaborates on the main sources of electromegnetic field,sources of electromagnetic interference, influences of electromagnetic fields and shielding of the fields. It further dwells on the solution techniques for electromagnetic shielding, and on related discussions.Magnetic field measurements were made with various configurations in a high current laboratory on materials with different electrical conductivity and magnetic permabilty. Figures and tables were formed as a result of these measurements and the effects of different materials on the shielding of electromagnetic fields were evaluated.

As a result of the work, shielding efficiency of different materials were determined with measurements.Further studies in this subject could compare these measurement results with the results of calculations to be made with the methods shown in this study.Programs could be developed which could determine,according to the magnitute of the magnetic field,the type and amount of the material to be used.

Key words: Electromagnetic fields, electromagnetic compatibility ,magnetic shielding, magnetic permeability, shielding effectiveness

1. GİRİŞ

Endüstrileşme ve teknolojinin gelişimine bağlı olarak elektrik enerjisinin kullanımı ve ihtiyacı giderek artmakta bunun sonucunda insanlar, hayvanlar ve bitkiler, kısacası tüm çevre elektromagnetik kirlenmenin etkisi altında kalmaktadır. Elektromagnetik kirlilik diğer çevre kirliliklerinin aksine gözle görülmemesi ve etkilerinin hemen ortaya çıkmamasından dolayı yeterli önem verilmemekte ve göz ardı edilmektedir. Bütün elektrikli cihazlar, güçleri oranında elektromagnetik alan meydana getirirler. Özellikle büyük kentlerde çarpık kentleşme ve plansız yapılaşmanın sonucu olarak yüksek gerilimli enerji iletim hatları ve indirici trafo merkezleri konutlarla iç içe bulunmaktadır. Bu konutlarda yaşayan insanlar, yüksek seviyeli elektromagnetik alanlara uzun süreli olarak maruz kalmaktadır. Ayrıca bu alanlar hassas cihazlar üzerinde de etki yaparak bunların doğru çalışmasını engeller, parazit oluştururlar.

Elektromagnetik uyumluluk (EMU), fizik ilkelerinin, karmaşık elektrik ve elektronik sistemlerinin bir arada ve problemsiz bir şekilde çalışmalarını sağlamak amacıyla uygulandığı çalışma alanıdır. Elektrik ve elektronik sistemlerin uyumlu çalışabilmeleri için EMU'nun sağlanması gerekir. Gelişen teknolojilerle birlikte günlük yaşamda kullanılan elektrikli cihazların artışı, şebekeden çekilen gücün miktarını da paralel bir şekilde artırmaktadır. Şebekeden çekilen gücün artması, bu gücü taşıyan kablo ve baraların oluşturduğu magnetik alan seviyelerinin de büyümesine neden olmaktadır. Dolayısıyla önümüzdeki yıllarda elektromagnetik uyumluluk çalışmalarına artan bir oranla gereksinim duyulacaktır.

Başlıca magnetik alan kaynakları olarak, enerji iletim ve dağıtım hatları, şalt sahaları, bölgesel trafo merkezleri, sanayi, ofis ve hastane binaları gösterilebilir. Alçak gerilimde; yüksek akımı taşıyan kablo ve baralar, binaların transformatör merkezleri ile ana dağıtım panoları, tali panolar ve yüksek güç tüketen cihazlar arasında bulunurlar. Bu kablo ve baralar, geçtikleri bölgelerde yüksek magnetik alan oluştururlar. Yüksek magnetik alanlar en başta insan sağlığı olmak üzere, hassas elektronik cihazlar ve sistemlerde de olumsuz etkilere neden olmaktadır. Ölçme cihazları hatalı değerler gösterebilmekte, hassas üretim cihazları ve tezgâhların çalışmaları etkilenmekte ve dolayısıyla üretilen ürünlerde istenmeyen değişimler oluşabilmektedir. Özellikle hastanelerin ameliyathane ve yoğun bakım ünitelerinin bulunduğu ortamlarda bu durum büyük önem arz etmektedir. Ayrıca data iletimi, data saklanması ve video görüntüleme sistemlerinde problemler ortaya çıkabilmektedir.

Endüstrileşme ve elektrifikasyon gelişimi , tüm frekanslarda yüksek değerdeki elektromagnetik alanlara insanların, hayvanların ve çevrenin maruz kalması sonucunu ortaya çıkarmıştır. Bu elektriksel çevre değişimine en önemli katkıda bulunan öğelerden biri elektrik

güç üretimi ve iletim sistemlerinin büyümesi ile ilgili teknolojik gelişmelerdir.(Derman, 2006).

Elektromagnetik uyumluluk gereksiniminden dolayı EMU çalışmalarını kapsayan EMU düzenlemeleri ve standartları ortaya çıkmıştır. Amerika'daki Federal İletişim Komisyonu (FFC), İngiltere'deki İngiliz Standartları Enstitüsü (BSI) ve Almanya'daki Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE) gibi kuruluşlarında bulunduğu organizasyonlar birtakım EMU standartları benimsemişlerdir. Fakat elektromagnetik uyumluluk gereksinimleri her geçen gün arttığı düşünülürse bu EMU düzenlemelerinin kapsamının da genişletilmesi zorunluluğu vardır.

Elektromagnetik uyumluluk çalışmalarının ana alt başlıklarından biri olan elektromagnetik ekranlama çalışmaları bu tezin ana yapısını oluşturacaktır. Bu çalışmada 50 Hz frekansa magnetik alanların ekranlanması için ferromagnetik olmayan malzemelerden değişik konfigürasyonlarda farklı malzemeler kullanılarak ekranlama etkinlikleri laboratuvar ortamında incelenecek ve bunlara ait bilgiler tablo ve grafik olarak sunulacaktır.

1.1 Elektromagnetik Alanlar Üzerine Yapılan Araştırmalar

Enerji iletim hatlarının, ev içi tesisatların ve diğer kaynakların ortaya çıkardığı magnetik alanlar insan sağlığı için kaygılar doğurmaktadır. A.B.D' de bir elektrik şirketi yöneticilerinin katıldığı bir ankette, 15 yöneticinin 6'sı elektromagnetik alan etkilerinin şimdi ve gelecekte, büyük problemler oluşturacağını belirtti. Ayrıca elektrik şirketlerinin kaygıları konulu 1990 tarihindeki Denver DOE şirketi çalışmasında elektromagnetik alanlar konusunu en öncelikli araştırma alanı olarak belirledi. Bu endişeler dergilerin ve A.B.D kongresinin dikkatini çekecek kadar artmıştı (Frix, 1996).

Araştırmalar; 1980'li yılların başında, düşük frekanslı magnetik alanların çocuklarda görülen kanser vakalarına olan etkisi ile ilgili bir dizi raporla başladı (Frix, 1996). Bu raporlar birçok araştırmacı tarafından taraf tutmalar, kişiye yada kuruma göre değişen varsayımlar ve verilerdeki tutarsızlıklar dahil olmak üzere çeşitli kusurlar bulunarak eleştirildi. Daha sonra, daha ayrıntılı yapılan araştırmalarda kanser ile düşük frekanslı magnetik alanlar arasında bir ilişki bulunmamakla beraber, diğer epidemiyolojik araştırmalar bulguları doğruladı (Myers vd., 1985). Tam aksine, bazı araştırmacılar (15 mT'yi veya 150 G'yi aşan) yüksek yoğunluktaki şebeke frekanslı magnetik alanların, yapay olarak ortaya çıkarılan göğüs kanserini hafiflettiğini deneysel olarak ortaya çıkardılar (Frix, 1996). Özet olarak, bilimsel toplum bu konuda fikir ayrılığı içerisinde bulunmaktadır.

1.1.1. Mühendislik Araştırmaları

1100 kV enerji iletim hatlarının orta kısmından yapılan magnetik alan ölçümlerinde 35 μT (350 mG)'den düşük değerler bulunmuştur, diğer yandan yüksek gerilim hatlarının yakınında bulunan evlerdeki magnetik alanlar nadiren 3.5 μT (35 mG)'den büyüktür. A.B.D.'deki Elektrik Enerjisi Araştırma Kurumu, rasgele seçilmiş evlerde ölçülen magnetik alanların %10'unun 0.25 μT (2.5 mG)'yi ve %0.5'inin 0.50 μT (5.0 mG)'yi geçtiğini bulmuştur. Bunlar 0.5 μT (5.0 mG) civarında değerlerde gözlenen doğal olarak meydana gelen düşük frekanslı magnetik alanlarla karşılaştırılmalıdır. Diğer yandan, toprağın doğal magnetik alanı 25 μT (250 mG) ile 70 μT (700 mG) arasında değişmektedir. Diğer yaygın düşük frekanslı magnetik alanlar, enerji iletim hatlarının ürettiği magnetik alanla kıyaslanabilir. Örneğin, havaalanlarında kullanılan magnetik tespit sistemleri yaklaşık 100 Hz'de 130 μT (1.3 G)'ye yakın pik magnetik alanlar üretirken, kütüphanelerde ve alışveriş merkezlerinde kullanılan magnetik tespit sistemleri ise daha büyük magnetik alanlar üretir. Kullanıcıların evlerinde yakın temasta bulundukları elektrikli battaniyelerde 1 ile 10 μT (10 ile 100 mG) arasında ortalama magnetik akım yoğunluğu değerleri ölçülmüşken, tipik ev aletleri 1mT (10G)'ye kadar akım yoğunluğu üretmektedir. Düşük frekanslı magnetik alanların olası kanserojen özelliklerine ilişkin bu kaygılar, ölçülen magnetik akım yoğunlukları 100 μT (1.0 G)'yi aşan elektrikli aletler yaygınlaştıkça daha da artacaktır (Gillette vd.,1954; Stewart vd., 1993).

Kısaca, farklı kaynakların ürettiği düşük frekanslı magnetik alanların ölçümleri, açıkça göstermiştir ki enerji iletim hatlarının magnetik alanları insanların daha yaygın bir şekilde maruz kaldığı kaynakların ürettiği magnetik alanlardan çok daha azdır. Bununla birlikte, kamuoyunun kaygıları enerji iletim hatlarının bu belirgin tehdidi üzerinde ısrarcıdır. Bu nedenle, her ne kadar 60 Hz'lik magnetik alan çalışmaları ve bunların insan sağlığı üzerine etkileri karışık sonuçlar ortaya koysa da, ilgili birimler kamuoyu kaygılarını azaltmak için adımlar atmak üzere sistemlerinin ürettiği magnetik alanları azaltmaya çalışmaktadır.

1.2 Önerilen Mühendislik Çözümleri

Alan yönetimi için araştırılan sistemler trafo merkezleri, havai enerji hatları ve yeraltı enerji kablolarıdır. Her ne kadar kamuoyu trafo merkezlerinden pek etkilenmese de, bu merkezlerin büyük şehirler için bir risk olarak görülmesi ve buralardaki çalışanlara gelebilecek risklerden ötürü idari yöneticiler için bir kaygı oluşturur. İlk sorun, istasyon içinde, elektrik teçhizatı ile istasyon çevresi arasında bir tampon bölge oluşturarak giderilmektedir. İstasyon içindeki kaynaklar genellikle birbirine yakın yerleştirildiği için (tevzi baraları ve transformatörler), Biot-Savart kanununa göre bir noktasal kaynağın meydana getirdiği alanlar doğal olarak $1/r^2$

(mesafe) oranında azalmaktadır. Ayrı bir prosedür de istasyona daha az sanayi görüntüsü vermek üzere estetik bir tasarım kullanmaktır. Çalışan güvenliği için, uygulanacak prosedür ise bakım için istasyonun akımını keserek maruz kalınan magnetik alanı asgariye indirmek veya yakın yerlerde geçirilen süreyi kısıtlamaktır. Bir diğer teknik de, mümkün olduğunca çok teçhizatı (genellikle transformatörler) ekranlamaktır.

Havai enerji hatları elektrik enerjisini bir yerden bir başka yere nakletmek üzere kullanılan en ucuz yöntemdir. Çünkü sistem, kuleler arasında asılı duran bir kablo setinden ibarettir. Ekonomik ve fiziksel nedenler havai enerji iletim hatlarındaki magnetik alanları azaltmayı zor kılmaktadır.

Halkın havai hatların manyetik alanlarına maruz kalışını azaltmak üzere sadece dört teknik bulunmuştur: (1) hat güzergâh genişliklerinin arttırılması, (2) hat yoğunlaştırma, (3) faz manipölasyonu ve (4) yüksek-faz düzenli sistemler. Hat güzergâh genişliği, elektrik-alan yalıtımı, hatların emniyeti ve bakımının kolayca yapılması için enerji hattının her iki yanında bulunan arazidir. Bir iletim hattının manyetik alanı, hatta olan uzaklıkla ters orantılı olarak azaldığından, hat güzergâhını arttırmak, alanın azalmasını sağlar. Hat yoğunlaştırma, yani farklı hatlar arasındaki mesafenin azaltılması, dielektrik devre kesme sınırına kadar kullanılmaktadır. Mesafenin azaltılmasıyla bir faz hattının magnetik alanı, komşularının magnetik alanının bir bölümünü iptal edebilir. Bununla birlikte hat yoğunlaştırma, kuleleri değiştirme masrafları nedeniyle var olan sistemleri yeniden tesis etme konusunda pek pratik bir yol değildir. Yoğunlaştırmaya benzer şekilde, enerji hatlarının fazlarının yeniden ayarlanmasının da, deneysel olarak toplam magnetik alanı azalttığı görülmüştür. Benzer şekilde, faz ayarlaması da enerji hattı düzeneğinin yeniden inşa edilmesini gerektirdiğinden yeniden tesis etmelerde pratik bir yol değildir. Çok fazlı enerji iletimi (6 ve 12 fazlı) ile yapılan araştırmalar bunların mevcut trifaze sistemlerle karşılaştırıldığında daha düşük magnetik alan ortaya koyduğunu göstermiştir (Stewart vd., 1983). Bu hatlar sadece enerji hatlarının değil tüm enerji sisteminin yeniden dizayn edilmesini gerektirecektir. Yüksek gerilimli DC hatları gibi diğer teknikler düşük frekanslı magnetik alanları ortadan kaldırdığı gibi DC magnetik alanların oluşumuna neden olacaktır. Ayrıca mevcut elektrik sistemi tümünden değiştirmek gerekeceğinden bu sistemler elektrik dağıtım sistemleri için kullanışlı değildir.

Özet olarak, havai iletim ve dağıtım hatlarının magnetik alanlarını azaltmak üzere hat yoğunlaştırması ve hatların faz ayarlamasında oynama yapmak hariç olmak üzere, pek bir şey yapılamamaktadır.

Yeraltı yüksek gerilim kabloları ilk olarak 1927'de kullanılırken, kabloların etrafında elik boru ilk defa 1932'de kullanıldı. Havai hatlar için mevcut olan tüm tekniklere ek olarak yeraltı kablolarının magnetik alanını azaltmak üzere magnetik ekranlama kullanılabilir (Gillette vd., 1954).

Magnetik ekranlama, enerji kablolarının magnetik alanlarını azaltmakta kullanılan ucuz bir yöntemdir. Ekranlama teorisi, özellikle düşük frekanslı magnetik ekranlama literatüründe zengince temsil edilmemiştir. 1951'den günümüze doğru yapılan elektrik mühendisliği ve 1910'dan günümüze doğru yapılan fizik literatür taramasında araştırmacıların büyük çoğunluğu analizlerini 1 kHz üzerindeki frekanslarla sınırladığından uygun değildir. Mevcut teknikler ya iletim hattı teorisine dayanmakta, ekran ebatlarını sonsuz varsaymakta, integral denklemler kullanmakta ya da Sonlu Elemanlar Yöntemi veya Sınır Elemanları Yöntemi gibi karmaşık numerik teknikler kullanmaktadır. Bu tekniklerin her biri düşük frekanslı magnetik ekranlamada kullanım için ya yetersizdir ya da kullanımı çok zordur. Ayrıca birçok magnetik ekranlama tekniği, DC magnetik alanlarını kabul etmekte ve böylece indüksiyon akımlarını ihmal etmektedir veya magnetik olmayan bir ekranı kabul edip, geçirgenlik etkilerini ihmal etmektedir. Keyfi iki boyutlu yapıların düşük frekanslı magnetik ekranlamasını belirlemek üzere elektromagnetik teoride uzman olmayanların da kullanabileceği pratik bir tekniğe ihtiyaç vardır.

2. ELEKTROMAGNETİK UYUMLULUK VE GİRİŞİM KAYNAKLARI

Elektromagnetik uyumluluk (EMU), fizik prensiplerinin, kompleks elektrik ve elektronik sistemlerinin birlikte ve uyum içinde çalışmalarını sağlamak amacıyla uygulandığı çalışma alanıdır. Diğer bir deyişle elektromagnetik uyumluluk, aygıtların iletim, ışıma ya da indükleme ile meydana gelen elektromagnetik girişimden kaynaklanan bozulmalardan korunmasıdır. Elektrik ve elektronik sistemlerin tatmin edici bir şekilde çalışabilmeleri için EMU'nun sağlanması gerekir. Konuyu daha iyi kavrayabilmek için tarihi gelişimine kısa bir göz atmakta yarar vardır.

Bir elektronik sistemin alt elemanının, diğer bir alt eleman ile veya diğer sistemlerle olan elektromagnetik girişim problemi, elektriksel sistemlerle çalışmaya başlanmasından beri bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu konuya özellikle, II. Dünya savaşından sonra ilgi artmıştır. Elektromagnetik uyumluluk çalışmalarının çoğu 1980'li yıllara kadar askeri donanım güvenliği üzerine yoğunlaşmıştır. Daha sonradan elektromagnetik uyumluluk çalışmaları günlük hayatta kullandığımız elektronik aygıtlarla, endüstriyel uygulamaları da içine alacak şekilde genişlemiştir. Günümüzde elektronik aygıtların yaygın bir şekilde kullanılması ve gelecekte elektronik aygıt kullanımının artacağı düşünülürse elektromagnetik uyumluluk kavramının önümüzdeki yıllarda daha da önem kazanacağı aşîkardır.

EMU, bütün bir elektronik kontrol sistemi veya bütün bir kent gibi, inter-sistem, intra-sistem ve sistemler için düşünülmelidir. Alıcı olarak çalışan herhangi bir sistem, özel elektromagnetik bozulmaya maruz kaldığında uygun bir şekilde çalışabilmelidir. Sistem aynı zamanda bazı belirlenmiş düzeylerin üzerindeki elektromagnetik girişimlerin kaynağı olmamalıdır. Alıcı noktadaki bu düzeyler yasalarla belirlenmiştir.

Bir alt sistemin tasarımcısı kendi EMU sınırlarını bağımsız olarak belirleyemez. Tasarımcılar, bazıları öneri niteliğinde, bazıları ise yasal gereksinimlerden kaynaklanan sınırlamaları göz önünde bulundurmak zorundadır. Bunun yanında sistemin normal çevre içerisinde ve belli bir tolerans çerçevesinde güvenli çalışabileceği koşullarda daha önceden belirlenmiş hiçbir sınırlama olmayabilir. Ürün tasarımının söz konusu olmadığı durumlarda bile, EMU kontrol teknikleri herhangi bir elektriksel sistem ve deneydeki elektriksel gürültü problemlerinin çözümünde kullanılabilirler.

2.1. Elektromagnetik Uyumluluğun Tanımı

Elektromagnetik uyumluluk problemini tartışmak için, bazı terim kısaltmalarının bilinmesinde fayda vardır. Girişim sözcüğü sistemde zayıflamaya neden olan ses, istenmeyen işaret gibi olayları tanımlamak için kullanılır. Bu olay; aygıt, alet ya da sistemin performansında, elektromagnetik bozukluk sonucu kararsızlık oluşturabilir. Bu alanda kullanılan bazı temel kavramlar şunlardır.

Elektromagnetik uyumluluk; bir aygıtın, bir malzemenin veya sistemin elektromagnetik ortam içerisinde herhangi bir bozunuma meydan vermeden, fonksiyonlarını tatmin edici bir şekilde yerine getirebilme yeteneği olarak tanımlanır.

Elektromagnetik bozulma; bir aygıt, alet ya da sistemin performansını azaltan elektromagnetik bir olaydır. Elektromagnetik bozukluk; elektromagnetik gürültü, istenmeyen işaretin ortamda var olmasından kaynaklanır.

Elektromagnetik ışıma ise; enerjinin, asıl kaynak kapatılsa bile, elektromagnetik dalga olarak uzayda yayılmasıdır.

Elektromagnetik duyarlılık; bir aygıt, bir malzeme veya sistemin elektromagnetik bozucu etkiler karşısında hatasız çalışmasıdır.

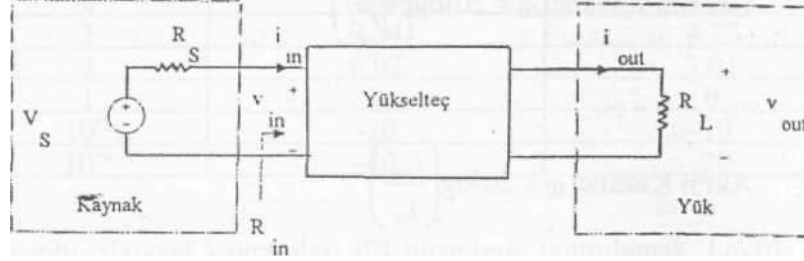
Elektromagnetik uyumluluk düzeyi ise; belirli durumlar altında çalışan bir aygıt veya sistemin çalışmasını etkileyecek maksimum elektromagnetik bozulma düzeyidir.

Elektromagnetik uyumluluk sınırı, bir aygıt veya sistemin dayanma düzeyinin, referans bozulma düzeyine oranıdır. Dikkat edilmesi gereken nokta, sözü edilen olasılığın belirlenmesinin zor bir kavram olduğudur. Bu olasılık, verilen bir sistem için, temel prensiplerden yararlanarak, örneğin devre diyagramlarından başlayarak, gerçekçi bir şekilde hesaplanamamasıdır. Bunun yerine, sistemin örneklerinin istatistiksel davranışları ve ölçümlerden elde edilen bozulma emisyon ve bağışıklık düzeylerinin incelenmesiyle hesaplanır.

2.2. Elektromagnetik Alan Uyumluluk Birimleri

Elektromagnetik uyumluluk problemlerinde esas kavramlar, volt biriminde gerilim, amper biriminde akım, V/m biriminde elektrik alan, A/m biriminde magnetik alan şeklindedir. Ayrıca, watt biriminde güç veya W/m² biriminde güç yoğunluğu tanımları da elektromagnetik uyumluluk kavramlarıdır. EMU olaylarında, birimlerin sayılarla ifade edilmesi, desibel (dB) biriminin kullanılmasına yol açmıştır. Bu birimle sonucun sıkıştırılmış ifadesi mümkündür. Örneğin; 10⁸ mertebesinde bir geriliminin 160 dB ile gösterilmesi mümkündür.

Desibel ilk olarak, telefon devrelerindeki gürültü etkisini logaritmik olarak tanımlamak için kullanılmıştır. Kulak, sesleri logaritmik olarak işitir. Bu nedenle, gürültünün dB olarak tanımlanması sayesinde doğa ile bir bakıma uyum sağlanmış olunacaktır. Şekil 2.1’de yükselteç devresinde, açık devre gerilimi V_s olan bir kaynak gösterilmektedir. Bu kaynağın direnci R_s ile gösterilsin ve işaret, yükü R_L ile gösterilen yükseltece R_s vasıtasıyla bağlansın. Yükseltecin giriş direnci R_{in} ise, yükseltece verilen güç,



Şekil 2.1 Desibel Biriminin tanımlanması (Pancar,1999)

$$P_{in} = \frac{V_{in}^2}{R_{in}} \quad (2.1)$$

ve çıkış gücü;

$$P_{out} = \frac{V_{out}^2}{R_L} \quad (2.2)$$

olur. Yükselticinin güç kazancı,

$$\text{Güç kazancı} = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{V_{out}^2}{V_{in}^2} \frac{R_{in}}{R_L} \quad (2.3)$$

olacaktır.

Güç kazancı desibel biriminde şu şekilde tanımlanır:

$$\text{Güç Kazancı (dB)} \cong 10 \log \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right) \quad (2.4)$$

benzer şekilde gerilim ve akım kazançları dB olarak:

$$\text{Gerilim Kazancı (dB)} \cong 20 \log \left(\frac{V_{out}}{V_{in}} \right) \quad (2.5)$$

$$\text{Akım Kazancı (dB)} \cong 20 \log \left(\frac{i_{out}}{i_{in}} \right) \quad (2.6)$$

olur. Burada görüldüğü gibi dB biriminde güç kazancı, iki büyüklüğün oranlarının 10log işlemine uygulanmasıyla elde edilir. Gerilim ve akım kazancının dB ile tanımı ise; iki büyüklüğün oranlarının 20log ile işlem görmesi olarak ifade edilir.

Güç, gerilim ve akım değerlerinin tümünü dB biriminde ifade etmek mümkündür. Örneğin gerilimler, 1μV'a göre, dBμV olarak ifade edilebilir. Yani,

$$dB\mu V = 20 \log \left(\frac{Volt}{1\mu V} \right) \quad (2.7)$$

olur. Örneğin 1 Volt değerinin dBμV cinsinden değeri hesaplanırsa:

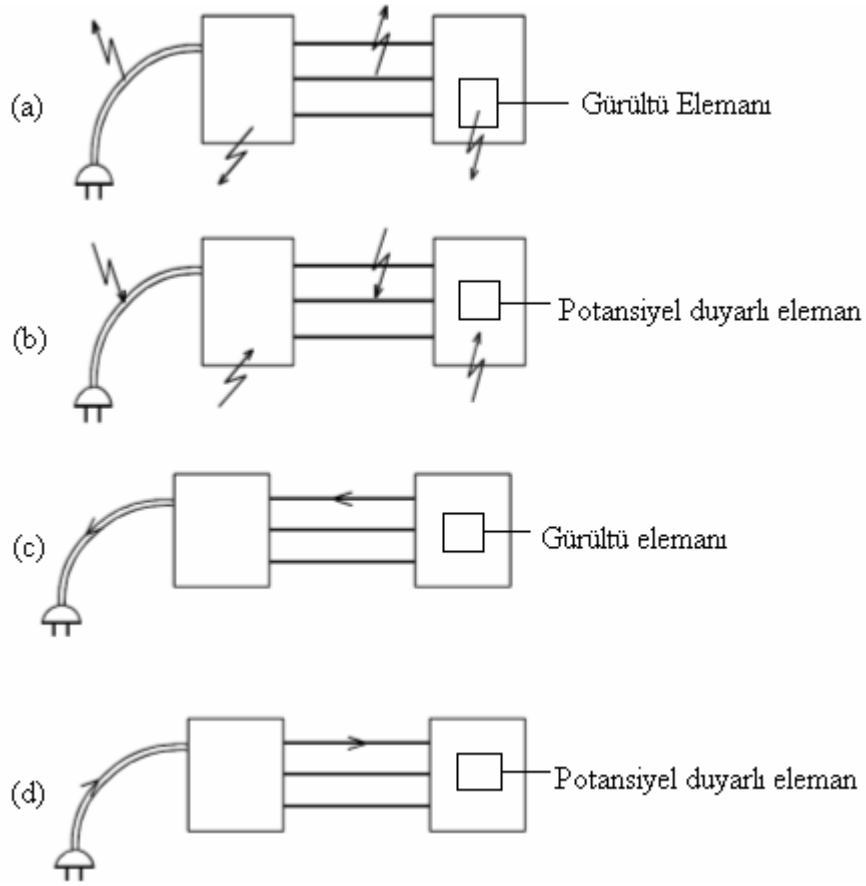
$$20 \log \left(\frac{1V}{10^{-6}} \right) = 20 \log 10^6 = 120 \text{ dB}\mu V \quad (2.8)$$

bulunur.

Görüldüğü gibi, fiziksel kavramları dB biriminde tanımlamak, büyük sayıları daha küçük sayılarla ifade imkânını sağlamaktadır.

2.3. Elektromagnetik Uyumluluk

Elektromagnetik uyumluluk çalışmaları incelenirken bu konuda dört temel problem vardır. Bunlar; ışıma emisyonları, ışıma duyarlılığı, iletim emisyonları, iletim duyarlılığı problemleridir. Bilindiği gibi herhangi bir elektronik sistemde, bir veya daha çok alt sistem, kablolar aracılığı ile iletişim halindedir. Kablolar ayrıca, dalganın geçmesi ve alt sistemlere bağlanması içinde kullanılır. Girişim işaretleri bu kablolar aracılığı ile alt sistemlere geçerler. Eğer alt sistemler metal bir muhafaza içinde iseler, iç ve dış işaretler tarafından akım endüklenmesi meydana gelir. Bu akımlarla, kabinin içine ve dışına doğru ışıma yaparlar. Genellikle maliyeti ucuz olduğu için plastik muhafaza kullanmak yaygınlaşmıştır. Bu tip kabinlerde muhafaza edilen elektronik sistemler, elektromagnetik emisyonlara, direk ışıma ve emisyonlara maruz kalırlar (Çabuk, 2005). Bu anlamda aşağıda isimleri belirtilen dört adet elektromagnetik uyumluluk (EMU) problemi ortaya çıkmaktadır.



Şekil 2.2 Dört temel EMU problemi (a) Işıma emisyonu, (b) Işıma duyarlılığı, (c) İletim emisyonları, (d) İletim duyarlılığı (Çabuk,2005)

Elektromagnetik emisyonlar, alternatif akım güç bağlantılarındaki alt sistemi çevreleyen metal kabinlerde, alt sistem bağlantılarında veya metal olmayan kabin içerisindeki elektronik kabinlerde oluşur (Şekil 2.2.a). AA enerji kablolarında sadece 50 Hz'lik işaret mevcut olmayıp, daha yüksek frekanslı işaretlerde olabilir. 1 metre veya daha uzun AA kablolarında yüksek frekanslı akımlar oluşabilir ve bu durumdaki kablo, tıpkı anten gibi, etkin bir şekilde ışıma yapabilir, veya yakınındaki elektronik sistemden ışıma alabilir (Şekil 2.2.b). Bu kablolarda endüklenen işaretler, bağlantıların olduğu alt sistemlere geçebilir ve bu yüzden, devrelerde girişim oluşabilir. Şekil 2.2.c ve şekil 2.2.d' de görüldüğü gibi, elektromagnetik enerji sadece havadan yayılmayıp, doğrudan iletkenlerde de oluşabilir. Bu bağlanma yolu genellikle havaya göre daha etkindir. Elektronik sistem tasarımcıları, bu istenmeyen enerji geçişine karşı filtre kullanırlar.

Şekil 2.2' de gösterilen durumların dışında da girişim problemleri vardır. Örneğin AA enerji kablolarından dışarı doğru iletilen akımların, enerji dağıtım şebekesi üzerinden akması

durumunda, birbirine bağılı iletkenlerden oluşan iletim şebekesi bu işaretleri yoğun bir şekilde ışıyabilir. Buna iletilen emisyonun ışıma emisyonu iletilmesi denir. İletim emisyonlarına bir örnek; DA motoru ile çalışan bir blender veya benzeri bir ev içi aygıtın çalışması esnasında televizyonda ortaya çıkan girişim gösterilebilir. DA motorunun fırçalarındaki arklardan oluşan gürültü, blenderin AA kablosundan geçerek, evin enerji sistemine gelir ve ışıma yapar. Bu ışıma da televizyon tarafından girişim olarak alınır. AA kabloları üzerine getirilen sınırlandırmalar ile enerji dağıtım sistemlerinin ışıma emisyonlarının azaltılması amaçlanır.

Bazı durumlarda elektromagnetik girişim düzeyi, girişimden etkilenen aygıtın, elektromagnetik girişim kaynağından belli uzaklıkta ve aygıtın minimum ışıyım alacak şekilde yerleştirilmesiyle başarılabılır. Fakat bu durum sadece iletim yoluyla girişim için geçerlidir. Havada yayılan girişim için bunun yararı olmaz.

Pratikte karşılaşılan EMU problemlerinin çeşitleri hakkında bir fikir verebilmek için, yakın geçmişte ortaya çıkan önemli birkaç olayı açıklamak gerekir.

Uluslararası bir jetonlu telefon üreticisi, dünyanın bir bölgesinde başarıyla telefon üretip satmaktayken, başka bir pazar olan Amerika'ya girildiğinde aynı başarıyı sağlayamamıştır. Bunun nedeni, bazı noktalara yerleştirilen telefonların (örneğin gökdelenlerin tepesine) yakın çevredeki iletişim sistemlerinin mikrodalga yayımlarından etkilenerek bozulmaya uğramalarıdır. Bu olayda telefonlar beklenildiği gibi çalışmamıştır. Çünkü aygıtlar daha önceden denenmedikleri elektromanyetik bir ortamın içine konulmuşlardır.

Bir kaç yıl önce yeni geliştirilmiş ve çelik işlerinde kullanılan radyo kontrollü bir vinç, beklenmedik bir anda, bir kepçe dolusu erimiş çeliği işçilerin üzerine dökmüş ve birini öldürüp diğerlerini yaralamıştır. Soruşturma sonucunda ortaya, yeni, radyo linkinin bazı durumlarda orijinal açma - kapama düğmesinin kontrolü ile karıştığı ve kazaya bu durumun yol açtığı çıkmıştır. Bu durumlar geçici olarak kurulan bir inşaat iskelesinin, bazı noktalarda radyo işaretleri üzerine yaptığı bozucu etkinin sonucudur. Bu, kompleks sistemlerin kısmen değiştiği ve elektromanyetik çevrenin parazitlere maruz kaldığı durumlara bir örnektir.

Üçüncü bir örnekse otomotiv elektroniği alanındadır. Modern gösterge sistemleri, yüksek frekans lojiği Fourier analizi (göz önüne alınan periyodik dalgalarda kabul edilebilir genlikte 10. harmonikten daha büyük bileşenlerin bulunduğunu göstermiştir) kullanırlar. Bu tür sistemler, arabaların radyo ve iletişim sistemleriyle parazit yapabilmektedirler. Anten konumu, arabanın iç dış elektromanyetik tasarımı ve göstergelerin parazit çıkışlarının saptanması problemlili olacağından, izin verilen yayılımın dikkatli bir şekilde sınıflandırılması

zor olacaktır. Genelde yayılım özellikleri minimuma indirgenmemiş değişik arabalar için, tek bir gösterge üretmek zordur, incelemelere devam edilirse, bir çok alanda EMU problemleri ile karşılaşmak mümkündür. Bu nedenle, problemlerin boyutları hakkında bir fikir vermek üzere, aşağıdaki başlıklar günümüzde önem kazanmışlardır.(Derman,2006)

2.4. Girişim Problemlerinin Çözümünde Genel Yöntemler

Elektromagnetik uyumluluk (EMU) teknikleri, iki genel şekilde kullanılabilir. Birincisi, elektriksel bozunumlardan kaynaklanan problemlerin çözümü esnasında kullanım veya daha verimli bir şekilde tasarım aşamasında yaygın görülen gürültü kaynaklarının belirlenmesidir.

En basit düzeyde, bir sistemin diğer bir sistem üzerindeki elektriksel girişimini etkisiz bırakabilmek için, beş ana yöntem vardır (Şeker,Çerezci,1994).

1. Duyarlı devreyi ve alıcıyı kaynaktan olabildiğince uzağa yerleştirmek. Bu yöntem, kuplaj, eğer elektromagnetik dalgalarla yapılıyorsa, yararlı olur. Ama kuplaj yolu iletkense hiçbir yarar sağlamaz .
2. Bazı kuplaj alanları polarize olmuşlardır. Bu yüzden alıcının kaynağa göre uygun uyarlamaları ile bu etki minimuma indirilir. Bu tür teknikler sadece sabit alıcı ve vericiler için kullanılabilir.
3. Alıcı ve/veya çevresine engel ya da ekran koymak. Bu teknik kullanıldığı zaman, ekranı delip geçen herhangi bir iletkenin düzeltilmesi birinci dereceden önem kazanır.
4. Uygun bir tasarım ile kaynağın daha az gürültülü hale getirilmesi.
5. Uygun bir tasarım ile alıcının elektriksel girişimlere karşı daha az duyarlı hale getirilmesi.

2.5. Elektromagnetik Girişim Kaynakları

Herhangi bir elektronik cihazın imalatı sırasında, bu birimi oluşturan devrelerin ve elemanların çevredeki elektrik ve magnetik alanlara karşı korunmasını sağlamak için çeşitli önlemler almak gerekmektedir. Daimi mıknatıslar, transformatörler, telefon hatları, filtreler elektromagnetik alanların kaynağı olabilirler. Bu durumlarda imal edilen aygıtın, girişim etkisinden yalıtılarak ekranlanması gerekir. Aksi taktirde, örneğin magnetik şerit üzerindeki bilgiler, kuvvetli elektromagnetik alanların etkisi sonucu hasar görebilir ya da tamamen yok olabilir.

Bobin ve transformatörler, güçlü mıknatısların yanına monte edildiklerinde performansları bozulabilir. Örneğin, rezonans devresinin frekansı kayabilir. Özellikle vakum tüpleri; elektron

yolu uzun olduğundan, girişim etkisine karşı çok duyarlıdırlar. Benzer problemler, mikrodalga aygıtlarında ve devrelerinde de vardır. Ölçme yapan herhangi bir kimsenin, elde ettiği ölçümün kesin olarak doğru olduğundan emin olması imkânsızdır. Bu nedenle, mikrodalga ölçümlerinde, mikrodalga ekranlarının tasarlanması gerekmektedir. Böyle bir ekranlama, ekran içindeki elektromagnetik enerjinin dışarıyı etkilemesini engellediği gibi aynı zamanda dışardan içeriye enerji girişini de engeller. Bir aygıtın tasarımında, ideal olarak, istenilmeyen enerjiyi yayınlamaması ve arzu edilmeyen herhangi bir enerjiye karşı da, duyarlı olmaması istenir. Bunun başarılması aygıtın ekranlanması ile sağlanabilir ki böylelikle, ister dışarıdan içeriye, isterse de içeriden dışarıya yönelmiş olan elektromagnetik enerjinin efektif olarak zayıflaması sağlanır.

Diğer girişim kaynakları arasında dünyanın magnetik alanı da gösterilebilir. Yapılarda kullanılan çelikler ve ferromagnetik özellikli malzemeler, istenmeyen magnetik özellikli ortamın oluşmasına katkıda bulunurlar. Modern yapı tekniğinde, tavanların alçak tutulması ve binanın dayanıklı olması için çelik çubukların kullanılması, magnetik problemlerin artmasına neden olmuştur. Diğer taraftan, aydınlatma ve enerji iletim hatları, yeraltı iletim kabloları, kiloamperler mertebesinde akıma ve megavoltlar mertebesinde gerilime sahiptirler. Eğer bir elektronik devre alternatif akım gücüyle çalışmak durumundaysa, uzun yeraltı veya hava hatları ile birbirine bağlanmalıdır. Kablolar ile elektronik aygıtlar arasına konacak ekranın, geçiş darbelerini 100 dB' den daha fazla azaltacak özellikte olması gerekir.

2.5.1 Doğal Elektromagnetik Girişim Kaynakları ve Sınıflandırılmaları

Çok sayıda elektromagnetik girişim kaynağı çevreyi kirletmektedir. Uygulamalarda bu elektromagnetik kaynakların küçük bir bölümü ön plana çıkmasına rağmen tüm elektromagnetik girişim kaynaklarının gözden geçirilmesi, bir elektromagnetik tehdit altında doğru soruların sorulmasına imkan verecektir. Elektromagnetik girişim kaynaklarının teşhis edilmesinde bir takım güçlüklerle karşılaşilmektedir. Çünkü her uygulama kendine has özellikler içermektedir. Çoğu uygulama için benzer elektromagnetik tehditler söz konusu olmasına rağmen baskın tasarım ve işlemsel faktörler her uygulamada farklılıklar gösterir. Elektromagnetik girişim kaynaklarının geniş başlıklar altında toplanması elektromagnetik girişim incelemelerinde bize kolaylıklar sağlayacaktır.

Ayrıca kaynaklar doğada bilinçli veya istenilmeden meydana gelmeleri şeklinde de sınıflandırılabilir. Bilinçli meydana getirilen kaynağa, radyo yayım yapan radyo vericisi örnek

gösterilebilirken; bilgisayardan bilgisayara sayısal işaret hattından yayılan girişim, istenilmeden meydana gelen girişim kaynağı olarak gösterilebilir.

Girişim, diğer taraftan band genişliğine bağlı olarak geniş band girişim ve dar band girişim olarak da sınıflandırılabilir.

Girişim kaynağı dahili ya da harici olabilir. Enerji sistemlerinde açma-kapama işlemi ile meydana gelen girişim, dahili girişim kaynağı olmasına karşın yıldırım, sistemi dışarıdan etkileyen harici bir kaynaktır.

Elektromagnetik girişim kaynaklarının sınıflandırılmasında, daha birçok ölçütten yararlanılabilir. Fakat biz burada girişimi iki genel başlık altında toplayacağız. Birincisi, doğal olaylardan kaynaklanan girişim, ikincisi de insan kaynaklı girişimdir.

Doğal kaynaklar; alçak frekanslı, ve yüksek frekanslı elektromagnetik girişim kaynakları olmak üzere iki grupta sınıflandırılabilir.

2.5.1.1. Alçak Frekanslı Elektrik ve Magnetik Alanlar

İlk bakışta alçak frekanslı elektromagnetik alanların elektromagnetik uyumluluk çalışmalarında önemli bir yer kaplamadığı görüşü ortaya çıkabilir. Şüphesiz ki, bu tip alanlar ile ilgili çalışmalar bazı özel tip aygıtların dışında sınırlı sayıdadır. Bununla birlikte alçak frekanslı alanların önemli etkilerinin olabileceği durumlar vardır. Dünyanın mıknatıslanma alanının magnetik alan şiddeti yaklaşık olarak 30 A/m şiddetindedir. Güneş hareketleri ile ilişkili olduğuna inanılan bu alanın saat periyotları bazında değişimleri magnetik fırtına olarak tanımlanır. Magnetik fırtına olarak tanımlanan bu alandaki değişimler, elektrik alan oluşumuna sebebiyet vermektedirler. Alanların mühendislik açısından ihmal edilebilecek düzeyde olmalarına karşın bu alanlar büyük ağ sistemlerinde istenmeyen önemli etkiler meydana getirebilirler. Magnetik alanların değişimi, dünya yüzeyinde potansiyel farklılıkların (10 kV/km) endüklenmesine neden olabilir ki; bu topraklanmış transformatörlerin nötründen akım (100A mertebesinde) akmasına sebebiyet verir. Bu akım, akım transformatörlerinin doymasına neden olabilir. Böylece koruma sistemi düzenlemelerinde birçok sorunlar meydana gelir (Kappeenman,1990).

2.5.1.2.Yüksek Frekanslı Elektrik ve Magnetik Alanlar

Ortalama 30 MHz'in altındaki yüksek frekanslı alanlar genel olarak statik veya sferik alanlar olarak ifade edilir. Geniş mevsimsel ve bölgesel değişimler söz konusudur. Genellikle, ekvatora yakın yerlerde yüksek olmakla birlikte frekansın artmasıyla bu alan şiddeti düşme eğilimi gösterir. 30 MHz'den yüksek frekanslar kozmik kökenlidir. Dünyanın magnetosfer, iyonosfer ve atmosfer yapısı, dünya dışından kaynaklanan elektromagnetik alanları kısmi olarak ekranlamaktadır. Dışarıdan yer yüzeyine elektromagnetik alan girişi sadece optik frekanslarda (kızıl ötesi frekanslarda) ve 10 MHz ila 37 GHz arasındaki radyo frekanslarında mümkün olmaktadır. Elektromagnetik uyumluluk çalışma alanına giren radyo frekans geçiş bandı, iyonosfer ekranlama özellikleri ve gelen alanın su molekülleriyle zayıflatılmasıyla belirlenir. Kozmik radyasyon kaynağı güneş ve galaksilerdir. Her galaksi büyük termal parçacıklarla 10 MHz ila 10 GHz arasında yaklaşık 10^{35} W gücünde ve aynı zamanda bazı özel frekanslarda (hidrojen 1.428 GHz frekansta) yayını yapar.

2.5.1.3.İnsan Yapımı Elektromagnetik Girişim Kaynakları

Radyo vericileri; insan yapımı ışıma örnek verilebilir. Bu mobil ve sabit vericiler, radarlar, bilgisayardan bilgisayara iletişim, sayı, güç ve bölgesel dağılım bakımından devamlı olarak artmaktadır. Uluslararası düzenleme komiteleri, farklı tipteki uygulamalar için sabit frekans kanalları tahsis etmektedir. Şehir çevresindeki yayın vericilerinden kaynaklanan elektrik alan şiddeti 200 mV/m'nin üzerine nadir olarak çıkar. Bununla birlikte, güçlü verici yakınında alan şiddetinin 10 V/m'ler mertebesinde olduğu görülebilmektedir. 250 kW gücündeki vericiler ile 100m uzaklıkta, 4 MHz'de, 8 V/m'lik alan şiddetleri; 26 MHz'de, 272 V/m şiddetinde alanlar oluşur. Bu yayınımların darband da olmalarına rağmen taşıyıcı frekans harmoniklerinde girişim gözlenir. Aynı zamanda vericideki çeşitli aşamalardan kaynaklanan, genişband gürültü kirliliği meydana gelebilir. Bir vericinin iyi tasarlanmış bir verici statüsünü elde edebilmesi için harmoniklerinin ve gürültüsünün, temel frekans gücünün (70 dB) oldukça altında olması gerekmektedir.

Elektrikle ısı elde etme uygulamalarında; oldukça yüksek iletkenliğe sahip numunelerde, ısıtma, endükleme akımından meydana gelir (endüklemeye ısıtma). Oysa, yalıtkan malzemelerde ısınma dielektrik kayıplardan kaynaklanmaktadır (dielektrik ısıtma). Endüksiyonla ısıtma için kullanılan frekanslar 1-100 kHz ve 1 MHz'dir. Bunun yanında, dielektrik ısıtma için çalışma frekansları 13,560 MHz; 27,12 MHz, 40,68 MHz, 433 MHz, 915 MHz, 2,45 GHz ve 5.8 GHz'dir. Böyle ısıtıcılardan 30m uzaklıkta yapılan ölçümlerde, elektrik alan değeri normalde 100 dB μ V/m değerindedir.

Sayısal işaretleme ve iletim yöntemleri, bilgileri iletmek için hızlı darbelerden yararlanırlar. İşaretleme, depolama, giriş ve çıkış, sürekli olarak elektronik bir saat ile senkronize bir şekilde meydana gelir. Daha yüksek işleme hızları için daha yüksek saat hızı ve bundan dolayı daha kısa geçiş zamanı (düşüş ve yükselme zamanları) gerekir. Hızlı geçiş zamanları; çalışma açısından bakıldığında istenilen, elektromagnetik uyumluluk açısından bakıldığında istenmeyen bir durumdur. Çünkü hızlı geçiş zamanları yüksek dereceli harmoniklere katkıda bulunurlar.

Enerji üretimi ve iletimi, elektromagnetik girişim kaynağı olduğu gibi aynı zamanda elektromagnetik girişimden de etkilenmektedir. Yüksek kaliteli kaynaklar kullanılmasına rağmen, yine de tüm işaret aralıkları ve parazitleri, geniş veya kısmi olarak şebekelerde yer almaktadır. Şebekelerde enerji kalitesi, elektromagnetik uyumluluk çalışmaları içerisindedir.

Gerilim dalgalanmaları; yüklerin devreye girmesi ve devreden çıkması sonucunda oluşan gerilimdeki küçük değişimler, dalgalanma ya da fliker (titreşme) olarak ifade edilir. Bu dalgalanmalar akkor telli lambalarda kendini parlaklığın azalıp artmasıyla gösterir. Gerilim dalgalanmalarının belli düzeyleri geçmemesi gerekmektedir. Örneğin, dakikada bir kereden fazla olmamak kaydıyla gerilim dalgalanması %27 olabilir. Bunun yanında, dakikada 10 kez meydana gelen dalgalanmalarda bu oran % 1,3'den fazla olmamalıdır.

Gerilim düşümleri; besleme gerilimindeki ani azalmaların (%10'dan fazla) 300 ms gibi bir sürede tekrar yerine oturtulması şebeke ağlarında sıkça rastlanılan bir olaydır. Araştırmalar bu gerilim düşümlerinin ve ara sıra oluşan kesilmelerin nedenlerinin yüksek ve orta gerilim şebekelerinden meydana geldiğini göstermiştir. Şehir çevresinde ikamet eden tüketicilerin aylık anma gerilimlerinde, (%10'dan fazla) yaklaşık olarak dört kez gerilim düşümünün meydana geldiği tahmin edilmektedir. Gerilim düşümleri, büyük yüklerin açılıp kapatılması ve endüksiyon motorunun kullanımındaki yanlışlıklardan meydana gelmektedir. Gerilim düşümleri ve kesilmeler, veri işleme aygıtlarında problemlere sebebiyet vermekle birlikte motorların ve otomasyon sistemlerinin yanlış çalışmalarına sebep olmaktadır.

Dengesizlik; büyük tek-faz yüklerin varlığı ve her fazın eşit olmayan şekilde yüklenmesi, gerilimde ve fazda dengesizliğe neden olmaktadır. Bazı motorlar, dengesiz bir kaynaktan beslendiği zaman ısınabilir. Pratikte bu dengesizlik %2'nin altında tutulmalıdır.

Enerji şebekesinin öncelikli görevi, gücün tüketiciye iletilmesini sağlamaktır. Bununla birlikte kontrol (kamuya ait yerlerin aydınlatılması), yük yönetimi ve tarife tespitinde güç şebekesinin kullanılması mümkündür. Güç şebekelerinde işaret iletimi, yüksek frekanslarda meydana

gelir. Fakat elektrik şebekesi, işaret iletimi için tasarlanmamıştır. Bu yüzden, gelecekte elektrik şebekelerinde işaret iletimi artacağından elektromagnetik uyumluluk gereksinimi de artacaktır.

Alçak frekanslı yayılan girişimlerde; elektrik hatları ve ev aygıtlarının kullanımından dolayı meydana gelen başıboş elektrik ve magnetik alanlar, çeşitli ülkelerde çeşitli sınırlamalara maruzdur. Magnetik alanlar, nadiren endüstriyel çevrelerde 1mT'dan büyük, ev aygıtları yakınında ve kablolarda 100µT civarındadır.

Yüksek frekanslı iletilen girişimlerde; alçak gerilim şebekelerinde ani gerilim yükselmeleri, hatların çeşitliliği, açma-kapama işlemleri, elektrik şebekesine yıldırım düşmesi sonucunda ev tüketicisi düzeyinde günde 10 kez 200V'u aşan ani gerilim yükselmeleri meydana gelmektedir. Bu ani gerilim yükselmelerinin genlikleri ve meydana geliş sıklıkları üzerine birçok çalışmalar yapılmıştır.

Elektromagnetik uyumluluk açısından bakıldığında çoğu problem açma-kapama işlemi esnasında ortaya çıkmaktadır. SF₆'nın gaz yalıtım ortamı olarak kullanıldığı gaz yalıtımlı istasyonlarda, daha hızlı anahtarlama, 10 ila 20ns mertebesindeki yükselme zamanı ve 40 MV/µs yükselme hızı üretilmesi ile sonuçlanan dik cepheli geçici gerilimler ile elde edilebilir. Bu dalgalar yalıtım problemlerinin yanında istenmeyen elektromagnetik girişime de neden olabilir. Yüksek frekansda yayılan girişimlerde; açma-kapama işlemi esnasında istasyonlar yakınında önemli büyüklükte yayılım alanları ölçülmektedir. Örneğin, bu istasyonlar civarında 200 MHz'den yüksek frekans bileşenli 70 kV/m büyüklüğünde elektrik alanları gözlenmektedir.

Birçok girişim; devrelerin sabit durumda çalışmasından kaynaklandığı halde, ciddi elektromagnetik girişim durumları, dışarıdan sisteme girmeye çalışan elektromagnetik alanlardan ya da sistemin normal çalışma fonksiyonlarından kaynaklanan ya da anormal durumlara karşı cevap şeklinde ortaya çıkan geçici olaylardan kaynaklanmaktadır.

Şimdi daha detaylı olarak pratikte kullanılan bir elektromekanik anahtarın akım kesilmesinden sonra nasıl davranacağını inceleyelim. Kontakların ayrılmasını takiben anahtar üzerindeki akım iki kısımdan oluşur. Birincisi, güç kaynağından kaynaklanan I_1 bileşenidir. Bu değer, devrenin normal çalışma sırasındaki akım bileşenidir. İkincisi, yüksek frekans bileşeni I_2 'dir. Bu akım, enerji depolama elemanında tutulan enerjinin tekrar dağıtılmasından kaynaklanır ve doğada salınır. Kaynak frekansı ile karşılaştırıldığında bu bileşen oldukça yüksektir.

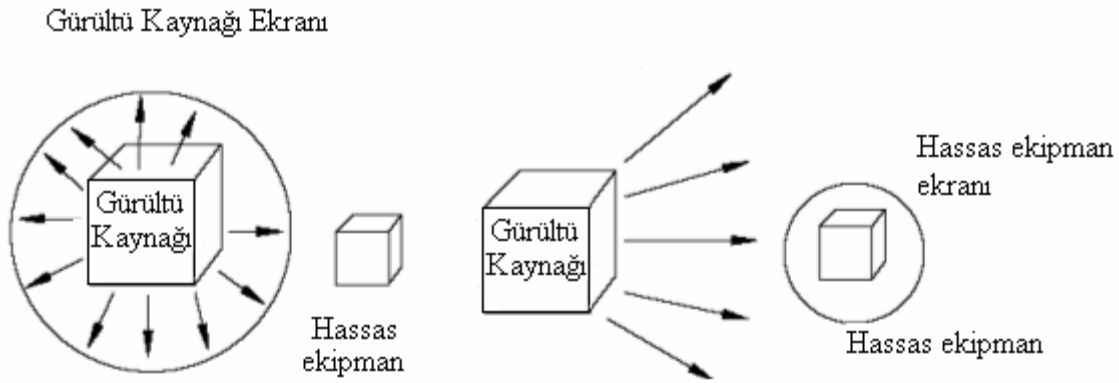
Genelde elektriksel bakımdan yüksüzdür. Bununla birlikte yük ayırımı ve yükleme; en azından tekinin yalıtkan olduğu iki yapının, birbiriyle temasta olup daha sonra ayrılmasıyla meydana gelmektedir. Bu "tribo" etki olarak bilinir ve en eski bilinen elektriklenme olayıdır. Kontak sırasında bazı malzemeler elektron alma eğilimi gösterirken bazı malzemelerde elektron verme eğilimi gösterirler. Elektron almaya meyilli olanlar negatif olarak yüklenmeye, elektron verme eğiliminde olanlar pozitif yüklenmeye meyillidir. Yükleme, endüklemeye olabilir ki bununla, yüklenmiş yapı A, nötr yapı B'de yük ayırımına neden olur. B'nin geçici olarak topraklanması yükünün bir kısmının kaçmasına neden olur. Böylece arta kalan B yüklüdür. En çok rastlanan problem, düşük elektrik iletkenli yüzey (halı) üzerinde insanların yüklenmesidir. İnsan vücudunun 10 kV'lar mertebesinde potansiyele yüklenebileceği bilinmektedir. Triboelektrik etkiden dolayı ayaklar negatif yük kaybederler. Endükleme ile vücut içerisinde yük ayırımı olur. Vücudun alt kısımları pozitif, üst kısımları negatif olarak yüklenir. Diğer bir cisme yaklaşırken, belki de ESD (Elektrostatik Deşarj) ile sonuçlanabilecek bir elektrik alan oluşur.

Yüksek güçlü elektromagnetik darbe (NEMP) nükleer patlamanın ardından ortaya çıkar. Nükleer patlamanın ardından çok sayıda foton üretilir ve bu fotonlar uzay boyunca yayılırlar. Bu fotonlar, çevresindeki malzemelerle karşılıklı etkileşerek yüksek enerji elektronları üretirler (Compton Etkisi). Kompton elektronları, yüksek hızda hareket ederler ve bunlar yoğun elektromagnetik alanlar üreten kaynak akımlarıdır. Bu elektronlar daha fazla elektron üreterek ortamın iletkenliğini artırırlar. NEMP'in zaman ve uzaya ait açılımı bu yüzden oldukça karışıktır ve yüksek enerjili parçacıkların malzemelerle karşılıklı etkileşimini gerektirir. Diğer etkiler, örneğin, nötronların karşılıklı etkileşimi ve yüklenmiş parçacıkların yörüngelerinin yerin magnetik alanından kaynaklanan bozulmaları zaten var olan karışıklığa ek karışıklık olarak katılmaktadır. NEMP üç kısma ayrılabilir. Birincisi, yüksek irtifadaki patlamalar (>100 km) ki bu patlamalar yüksek irtifa EMP olarak bilinir. İkincisi, yere yakın patlamalardır ve üçüncüsü de sistem üretimli EMP olarak adlandırılır. Yüzey EMP, yere yakın patlamaları ifade etmektedir ve elektromagnetikle ilgili etkileri çok daha sınırlı bir bölgeyi kapsar.

3. EKLANLAMA VE EKLANLAMA ETKİNLİĞİNİN HESAPLANMASI

Gelişen teknolojilerle birlikte günlük yaşantıda kullanılan elektrikli cihazların sayısı artmakta ve buna bağlı olarak da şebekeden çekilen gücün miktarı sürekli olarak artış göstermektedir. Şebekeden çekilen gücün artması, bu gücü taşıyan kablo ve baraların etrafında meydana gelen magnetik alan seviyelerinin de büyümesine neden olmaktadır. Alan seviyesinin genellikle 5-10 mG'u geçmesi durumunda monitörlerde parazit ve titreme gibi etkiler meydana gelmektedir (Moreno,1997). Alçak frekanslarda elektrik ve magnetik alanlara maruz kalanların, sağlık sorunları yaşayabilecekleri ile ilgili görüşler bulunmaktadır . Elektron mikroskobu gibi hassas cihazların kullanımında da problemler oluşabilmektedir. Özellikle hastanelerin ameliyathane ve yoğun bakım ünitelerinin bulunduğu ortamda bu durum büyük önem taşımaktadır (Hasselgren,1994).

Ekranlama, ya gürültü kaynağını ya da hassas cihazı ortamdaki izole etmek olarak tanımlenebilir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Gürültü kaynağının ya da hassas cihazın ortamdaki izole edilmesi.

Başlıca magnetik alan kaynakları olarak, enerji iletim ve dağıtım hatları, şalt sahaları, bölgesel trafo merkezleri, sanayi, ofis ve hastane binaları trafo merkezleri, vb. sayılabilir. Alçak gerilimde yüksek akımı taşıyan kablo ve baralar, binaların transformatör merkezleri ile ana dağıtım panoları, tali panolar ve yüksek güç tüketen cihazları arasında bulunurlar. Bu kablo ve baralar, geçtikleri bölgelerde yüksek magnetik alan meydana getirir (Umurkan ,2004).

Magnetik ekranlama; kotod ışın tüpü ve ışınçoğaltan tüplerin basit ekranlamasından, fizikteki duyarlılık deneylerine, biyolojik örnekleme tarafından üretilen manyetik alanları araştırmak için geniş hacimli oda ölçekli tesislerin kullanımına kadar bir çok geniş alanda kullanılmaktadır (Summer 1987).

3.1 Magnetik Alanların Ekranlaması

İçerisinden akım geçen iletkenler etrafında magnetik alan meydana gelir. Magnetik ekranlama, kaynak tarafından oluşturulan alanın dış ortamlara yayılmasının engellenmesi veya azaltılmasını hedef alan bir uygulamadır. Bunun için çeşitli konfigürasyon ve yapılarda (silindirik, düz tabaka, U şekilli) ekran malzemeleri kullanılmaktadır. Ekran tabakasının kaynakla ölçüm noktası arasına yerleştirilmesi dış ortamdaki alanda bir azalmaya yol açacaktır. Alanın yeni şekli ekran malzemesinin parametrelerine bağlı olacaktır. Bu amaç için genel olarak yüksek iletkenlikli malzeme veya magnetik geçirgenliği yüksek ferromagnetik malzemeler kullanılmaktadır .

Magnetik alan, yüksek iletkenlikli ferromagnetik olmayan malzeme üzerinde indüksiyon akımları oluşturur (Epstein, 1965). Bu akımlar kendini oluşturan alana zıt yönde olduklarından magnetik alan metal tarafından reddedilir. Metalin içinde düşük akı yoğunluğu oluşacak şekilde alan, ekranın yüzeyine paralel şekillenmeye zorlanır. Yüksek magnetik geçirgenliğe sahip ferromagnetik malzemelerde ise metalin içine doğru alana dik olarak ve çoğunlukla ekrandan geçmeden ekran boyunca şekillenir.

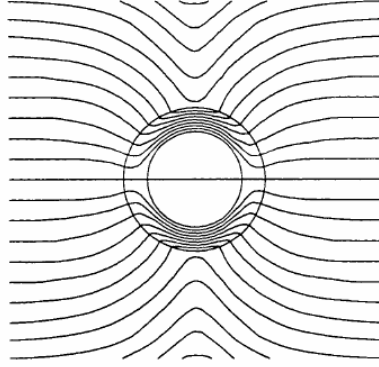
Çalışmanın bu bölümünde iki magnetik alan ekranlama yöntemi ile ilgili genel bilgi verilecektir.

3.1.1. Yüksek Magnetik Geçirgenlikli Metaller İle Ekranlama

Magnetik metaller magnetik kuvvet hatlarının iletkeni olarak düşünülebilir. Bu akı hatlarının ne başlangıcı ne de sonu vardır (Hasselgren, 1995). Ancak kendileri üzerinde tekrar birleşirler. Böyle olduğundan başlangıç noktalarından geriye akarken hatlar en düşük empedanslı yolu ararlar. Bir magnetik akı hattının gördüğü empedans, ki buna magnetik devre direnci de denir, materyal bölgesinin geçirgenliği ile ters orantılıdır ve bu durum bir elektronun bir bölgenin öz direnci içinden geçerken maruz kaldığı empedansa benzer.

Akım taşıyan bir iletkenin yarattığı magnetik alanı ele alalım. Ampere Kanununa göre bir iletkenin etrafında üretilen akı hatlarının sayısı iletkenin içindeki akımla doğru orantılıdır. Zamanda verilen belli bir anda, bir akı hattının küçük bir elemanı onun başlangıç noktası sayılabilir. İletkenin neden olduğu magnetik güç, elemanı başlangıç noktasından bir varış noktasına doğru çeker. Ampere Kanununa göre, eleman akıma göre magnetik bir eş potansiyeli koruyacak şekilde hareket edecektir, böylece daha önceden belirlenen yolda başlangıç noktasına doğru hareket eder. Eğer geçişi boyunca magnetik akı elemanı devresini tamamlayabilecek iki yola rastlarsa, direnci daha düşük olan yolu izler, böylece yolunu kısaltır ve yolculuğunu tamamlamak için gerekli enerji miktarını azaltır.

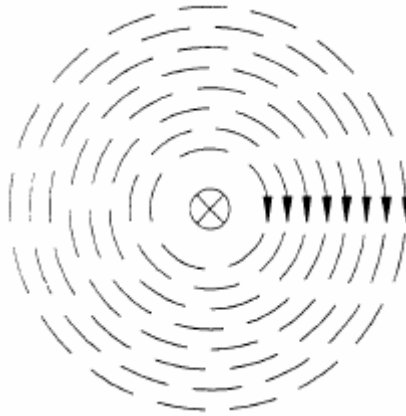
Şekil 3.2 'de görülen yüksek magnetik geçirgenlikli ekran ile küçük bir bölgeyi dış alanlardan korumak üzere kullanılabilir. Alçak frekanslı magnetik ekranlamanın akı bileşenin veya ekranlanan örneğin etrafından geçmesi için çok düşük-dirençli bir yol sağlamaktadır.



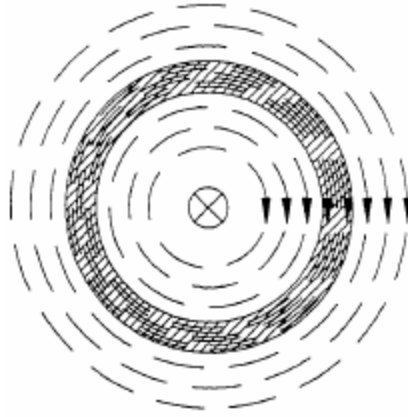
Şekil 3.2 İç bölgenin dış alanlardan magnetik korunması (Frix, 1996)

Yüksek magnetik geçirgen malzeme, akı çizgisini ekranı normal bir açıyla kesecek şekilde doğal yolundan (bu örnekte yatay) "çekme" eğilimindedir. Bir ekran tek bir iletkenin etrafını çevrelediğinde olduğu gibi başlangıçtaki akı çizgisine paralelse, (Şekil 3.3 ve 3.4), koruma gerçekleşmez. Burada akı çizgisi, her iki yöndeki alanlarda bir azalma olmaksızın (ekranı kayıpsız varsayarak) geçirgen malzemenin içinde sıkışır.

Yüksek geçirgenlikli malzemelerle magnetik ekranlamanın fiziksel ilkesi budur. Amaç magnetik akının izleyeceği düşük dirençli alternatif bir yol sağlamaktır. Yüksek geçirgenliğin sağladığı magnetik ekranlamanın işe yaraması için, akı çizgilerinin normal yoldan alternatif yola sapması gerekir. Basitçe söylersek, bu da akının yolu üzerindeki belirli bir noktada ekran sınırını kesmesini gerektirir, tüm yüzeyleri bir alanın magnetik eş potansiyel çizgilerine paralel olan bir ekran etkisizdir (Frix, 1996).



Şekil 3.3 Ekranlanmamış güç kablosunun etrafındaki magnetik akı çizgileri



Şekil 3.4 Ekranlı güç kablosunun etrafındaki magnetik akı çizgileri

Bu nedenlerle Stimmer(1989) görüşünde, çevre elektrik alanlarından korunabildiği halde, magnetik alanları ekranlama yolu olmadığını belirtmiştir. Elektrik alanlar, yüksek potansiyelli kaynaklardan doğar ve düşük potansiyelli noktalarda sonlanır. Bu alanları ekranlamak nispeten kolaydır, alanları kısa devre yaptırmak için araya iletken bir ekran konur. Magnetik alanlar yüksek magnetik potansiyelli fiziksel kaynaklardan akmadığı için, fiziksel magnetik akım söz konusu değildir.

3.1.2. Yüksek İletkenlikli Metallerle Ekranlama

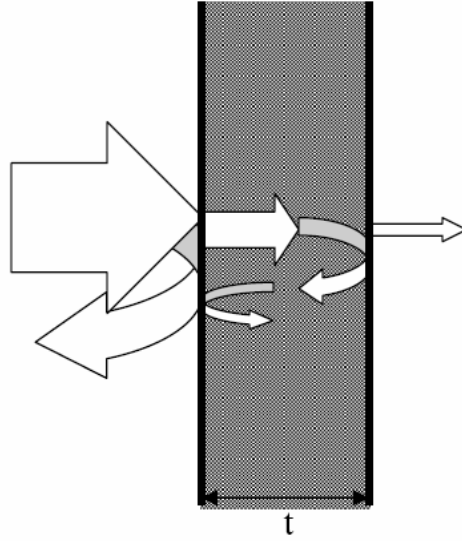
Korumanın sadece düşük dirençli alternatif yollar sağlayan ferromagnetik ekranlarla ortaya konabileceği görüşü alüminyum gibi ferromagnetik olmayan malzemelerle ekranlama yapma ihtimalini göz ardı eder. Eğer düşük dirençli magnetik ekranlama sadece geçirgenliğe bağlı olsaydı, nispi geçirgenliği kabaca havanın geçirgenliğine eşit olan alüminyum gibi malzemeleri kullanmak mümkün olmazdı. Ohio State Üniversitesi'nde yapılan deneysel çalışmalar alüminyumun kalınlık ve frekansla doğru orantılı olarak artan ekranlama sağladığını göstermiştir (Frix, 1996).

Tüm iletken metallerin (ferromagnetik olan ve olmayan, aynı zamanda yarı-iletken malzemeler) sağladığı bir koruma şekli de ekranlarda indüklenen indüksiyon akımlarına bağlı korumadır. Bu ekranlamayı destekleyen teori basittir, Ampere Kanunu, fiziksel bir çevre etrafında hesaplanmış magnetik alan yoğunluğunun bu çevre içinde normal olarak akan akımla doğru orantılı olduğunu belirtir. Akımın azaltılması alanı küçültür ya da, çevre içinde akan negatif akımın miktarını arttırmak, çevrenin etrafındaki alanı küçültecektir. Bu negatif akım ya (aktif ekranlama düzeneklerinde) kasıtlı olarak sağlanır ya da tesadüfen indüklenir, böyle tesadüfen indüklenen akımlara indüksiyon akımı denir.

İndüksiyon akımları Faraday'ın İndüksiyon Kanunu'nun bir sonucudur. Bir iletkende zaman değiştiren bir magnetik alan indüksiyon akımına neden olur. Bir akım (bundan sonra faz akımı olarak anılacaktır) bir başka iletkene (ekran) yakın bulunan bir iletken içinde akarken ekranda faz akımının ters yönüne doğru akan indüksiyon akımları indüklenir. İndüklenen bu indüksiyon akımları kendi magnetik alanlarını oluşturur ki bunlar da, indüklenen akımlar indükleyen akımlara ters aktığından, indükleyen alanlara terstir. Aşağı doğru gelen alanın, indüklenen alanla azaltılması indüksiyon akımlarına bağlı magnetik ekranlamaya neden olur.

3.2. Elektromagnetik Ekranlama Değerlendirilmesi

Elektromagnetik uyumluluk, elektromagnetik ekranlamayı değerlendirmek için Schelkunoff'un iletim hattı teorisini kullanır (Frix,1996). Bu teoride, gezici bir elektromagnetik dalganın iletken bir düzleme geldiğinde dalganın bir kısmını yansıttığı ve bir kısmını da düzlem içine iletmediği varsayılır. Bu durum Şekil 3.5'de gösterilmiştir. Dalganın iletilen kısmı ekran içinde hareket ederken yutularak zayıflatılır. Dalga, ekranın diğer kenarına ulaştığında bir kısmı ekrana geri yansıtılır ve bir kısmı iletilir.

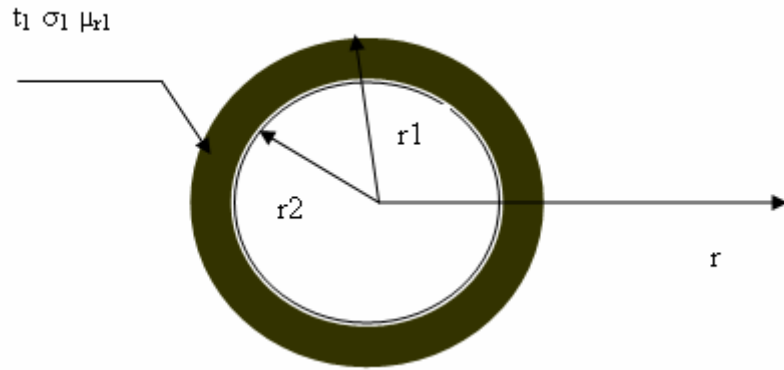


Şekil 3.5 t kalınlıklı bir ekranda gelen, yansıyan, yutulan ve geçen dalga

3.3. Ekranlama Etkinliği Hesaplama Yöntemleri

Silindirik malzemeyle manyetik alan ekranlaması üzerine uzun süreler çalışıldı ve analitik çözüm, güç frekansında türetildi. Bu çalışmada güç frekansında lineer silindirik ekranın ekranlama prensipleri üzerine bir analiz yapılacaktır. Ekranlama prensipleri tek kabuk ve kaynak içi konfigürasyonu altında basitleştirilmiş ekranlama formülünden geliştirilmiştir.

Silindirik yapıların uygulamaları güç endüstrisinde yaygın bir şekilde bulunmaktadır. Güç kabloları için metalik borular ve kanallar sadece iki örnektir (Yaping, 1996).



Şekil 3.6 Silindirik ekranlama problemlerinin basit modeli

Silindirik ekranlama problemlerinin basit modeli şekil 3.6 'da gösterilmiştir. Bu iki boyutlu konfigürasyonda, kaynak iletkenler, ekran tarafından kuşatılmıştır ve silindirik olarak modellenmiştir. Ekranlama malzemesi lineer olarak dikkate alınmıştır. Analitik ifadelerle manyetik alan, verilen ekran parametreleri tarafından kolaylıkla ölçümlenebilir. Bununla birlikte, manyetik alan ekranlamasının tasarımında, ekran parametrelerinin, verilen ekranlama etkinliği göz önünde bulundurularak seçilmesi gerekmektedir (Yaping, 1996).

$$EE = 20 \log \frac{B_{\text{Ekranlı}}}{B_{\text{Ekranlık}}} \quad (3.1)$$

Çizelge 3.1 Ekranlama Etkinliği

Ekranlama Etkinliği [dB]	Ekranlama Yüzdesi (%)	Ekransız Alan: Ekranlı Alan
6	50	2:1
20	90	10:1
40	99	100:1
60	99,9	1000:1
80	99,99	10.000:1
100	99,999	100.000:1

Çizelge 3.2 Deney malzemelerinin özellikleri

EKRAN MALZEMESİ	İLETKENLİK σ	BAĞIL GEÇİRGENLİK μ	DERİ KALINLIĞI δ (m)
TRAFO SACI	2.1739×10^6	4000	0.000763
BAKIR	5.8824×10^7	1	0.0093
ALÜMİNYUM	3.5714×10^7	1	0.0119

3.3.1. Ekranlama Etkinliği Hesaplanmasında Yapılan Kabuller ve Sabitler

Ekranlama malzemesi, magnetik alan kaynağının çevresine silindirik olarak yerleştirilmiştir. Tüm malzeme türleri için ekran kalınlığı 0.5mm, ekran , ekran boyu 2 m'dir. Tek kabuklu alan dışındaki magnetik alan, uzaklık oranının güç serisi ile ifade edilir.Bu oran radyal iletkenlik uzaklığının (b) radyal gözlem uzaklığına (r) bölümü olarak tanımlanır. Birçok uygulamada r, b den çok daha büyük olduğu için yüksek mertebeli terimler ihmal edilir.

Bu kabullerin ışığında basitleştirilmiş ekranlama formülümüz;

$$EE \approx \frac{\sqrt{2}\mu_{r1}\delta_1 / r_2 (r_2 / r_1)^{3/2}}{\left| \left(1 - j \frac{\delta^2}{2r_1 r_2} \right) \sinh(1 + j) \frac{t_1}{\delta} + (1 - j)\mu_{r1}\delta / 2 \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \cosh(1 + j) \frac{t_1}{\delta} \right|} \quad (3.2)$$

Bu formülde ;

$$\mu_1 = \mu_0 \mu_{r1} \quad (3.3)$$

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu_1 \sigma}} \quad (3.4)$$

$$R_1 = \frac{t_1}{\delta} \quad (3.5)$$

$$R_2 = \frac{\mu_{r1}\delta}{r_2} \quad (3.6)$$

Değerleri yerine konursa basitleştirilmiş formül;

$$EE \approx \frac{\sqrt{2}R_2}{\left| \left(1 - j0.5R_2^2 \right) \sinh(R_1 + jR_1) + (1 - j)R_2 \cosh(R_1 + jR_1) \right|} \quad (3.7)$$

olur.

Burada deri kalınlığı olarak ‘ δ ’ ;

Gelen elektromagnetik dalga, çoğunlukla yüzey üzerinden yansıyacaktır. δ , malzeme içerisinde ilerleyen magnetik dalganın zayıflayıp, yaklaşık olarak %64 azalmanın meydana geldiği kalınlık olarak da tarif edilebilir.

Deri kalınlığı formülden de anlaşılacağı gibi,

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu_1 \sigma}} \quad (3.8)$$

δ ; frekans,bağıl geçirgenlik ve iletkenliğe bağlıdır.

Çizelge 3.3 Deney Malzemelerinin deri kalınlığı değerleri

FREKANS (f)	Bakır	Trafo Sacı	Aluminyum
50 Hz	$9.2802 \times 10^{-3} \text{m}$	$7.6328 \times 10^{-4} \text{m}$	0.0119m
10 kHz	$6.5621 \times 10^{-4} \text{m}$	$5.3972 \times 10^{-5} \text{m}$	$8.4217 \times 10^{-4} \text{m}$
10 MHz	$2.0751 \times 10^{-5} \text{m}$	$1.7067 \times 10^{-6} \text{m}$	$2.6631 \times 10^{-5} \text{m}$

Şayet, ekranlama malzemesi magnetik alan kaynağının karşısına düz olarak yerleştirilirse;

Çizelge3.4 Ekranlama Etkinliğinin Basitleştirilmiş Formülü

EE	$R_2 < 1$		$R_2 \gg 1$	
	$R_1 < 1$	$R_1 > 1$	$R_1 < 1$	$R_1 > 1$
Tek Faz	δ_0^2/rt	$2\sqrt{2}\mu_r\delta/re^{t/\delta}$	N/A	N/A
Çift faz	$2\delta_0^2/rt$	$4\sqrt{2}\mu_r\delta/re^{t/\delta}$	$2/\mu_r t$	$4\sqrt{2}\mu_r\delta e^{t/\delta}$
Üç Faz	$2\delta_0^2/rt$	$4\sqrt{2}\mu_r\delta/re^{t/\delta}$	$2/\mu_r t$	$4\sqrt{2}\mu_r\delta e^{t/\delta}$

Bu tabloda ;

$$R_1 = \frac{t}{\delta} \quad (3.9)$$

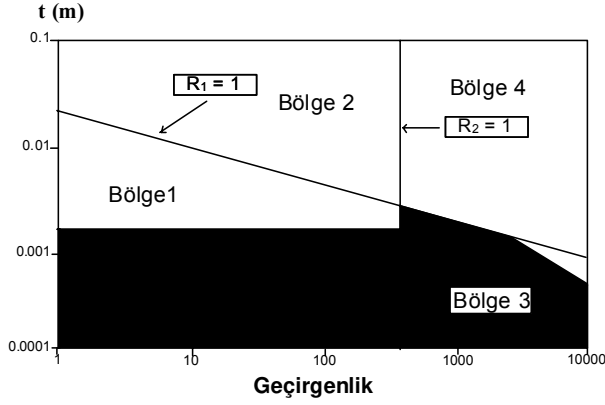
$$R_2 = \frac{3\mu_r\delta}{y} (w_{up}) \quad y = \text{kaynak, ölçülen nokta arası mesafe} \quad (3.10)$$

Kabullerinden sonra basitleştirilmiş formül;

$$S \approx \frac{C}{|X(R_1) * Y(R_2)|} \quad C = sbt ; \quad (3.11)$$

$$X(R_1) = \begin{cases} R_1 & R_1 < 1 \\ e^{R_1} & R_1 > 1 \end{cases} \quad (3.12)$$

$$Y(R_2) = \begin{cases} \frac{1}{R_2} & R_2 < 1 \\ yR_2 & R_2 > 1 \end{cases} \quad (3.13)$$



Çizelge3.5 Parametrelerin oluşturduğu Bölgeler

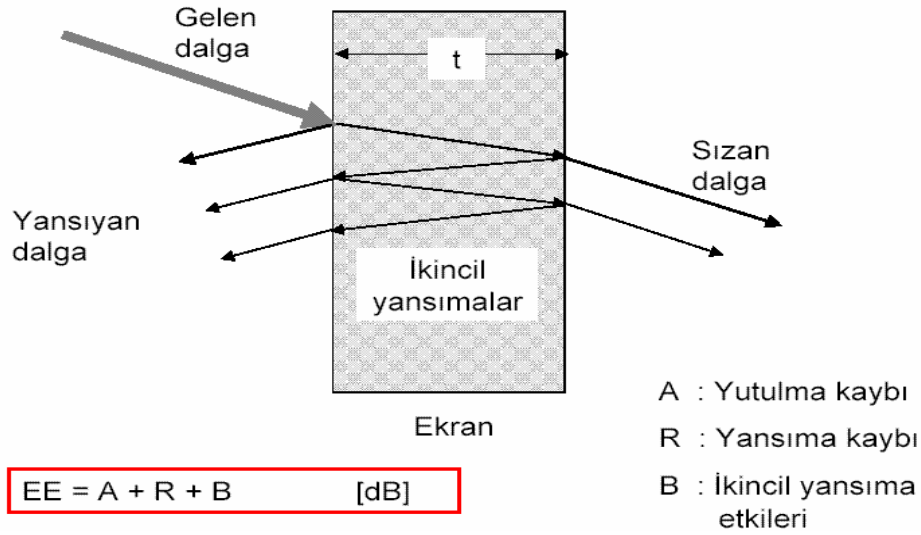
- 1.Bölge= Lineer ; manyetik olmayan
- 2.Bölge= Lineer olmayan ;Manyetik olmayan
- 3.Bölge= Lineer ; Manyetik
- 4.Bölge= Lineer olmayan ; Manyetik

3.3.2. Analitik Teknikler

Magnetik ekranlama konusunda mevcut analitik teknikler; zayıflatma konusunda basit tahminler kullanımı, Schelkunoff (1943)'un iletim hattı teorisi ve direkt olarak ekranlama diferansiyel denklemlerinin çözümünü kapsar.

3.3.2.1. Magnetik Uyumluluk Denklemleri

Elektromagnetik uyumluluk, elektromagnetik ekranlamayı değerlendirmek için Schelkunoff'un iletim hattı teorisini kullanır. Bu teoride, gezici bir elektromagnetik dalganın iletken bir düzleme doğru açılarla vurduğu, enerjinin bir kısmını yansıttığı ve bir kısmını da düzlem içine iletmediği varsayılır. Enerjinin iletilen kısmı iletken levha içinde hareket ederken absorbe edilerek zayıflatılır. Ekran plakanın diğer ucuna ulaştığında enerjinin bir kısmı ekrana geri yansıtılır ve bir kısmı nakledilir. Ekrana çarpan elektromagnetik alanın ekrandan geçen elektromagnetik alana oranına ekranlama etkinliği denir. 60 Hz'lik gezici magnetik bir dalga için σ iletkenliğinde ve μ bağıl geçirgenliğindeki bir ekranın ekranlama etkinliği şu denklemle hesaplanır.



Şekil 3.7 Ekranlama etkinliği

$$EE = 20 \log \left| \frac{B_i}{B_t} \right| \quad (3.14)$$

Burada EE = Ekranlama Etkinliği (dB); R , magnetik dalganın ekran yüzeyindeki yansıması nedeniyle kayıp, A emilim nedeniyle kayıp ve B , dalganın ekranın arkasına yeniden yansıtılması nedeniyle kayıptır.

Yöntem birkaç varsayım yapmaktadır. Öncelikle inen alanın gezici bir dalga olduğu varsayılmaktadır. Bu da elde edilen denklemlerin sadece elektrik ve magnetik alanların karşılıklı olarak dik olduğu durumlara uygulanabileceğini gösterir (Adams,1968). Bu durum iletim hatları için geçerli değildir (Olsen,1992). Ayrıca EMU denklemlerinde; gelen enerjinin, sonlu bir ekran yüzeyine düşen enerji olduğu varsayılmaktadır. Bir elektrik kablosunda yakın bölgede magnetik alanlar tek fazlı akımlar için sarmal şeklinde, çok fazlı akımlar için elipsoit şeklindedir. Ayrıca, test edilen düz plakalar sonsuz geniş değil, sonlu bir genişliğe sahiptir. Son olarak, teknik, indüklenen indüksiyon akımlarının varlığını ihmal etmekte, iletken ve geçirgen maddelerin varlığının alanda bozulma yaratmadığını varsaymaktadır. Bu varsayımları nedeniyle teori, deneysel verilerle uyumlu değildir, bu tutarsızlık düşük frekanslarda daha çoktur. Tekniğin düşük-frekanslı magnetik alan ekranlaması değerlendirilmesinde kullanıldığında hatalı değerler verdiği görülmüştür (Frix, 1996).

3.3.2.2. Diferansiyel Denklemlerle Doğrudan Çözüm

Kısmi diferansiyel denklemlerin çözümü için en yaygın teknik John Bernoulli'nin 1600'lerin sonunda geliştirdiği değişkenlerin ayrılması yöntemidir. Ne yazık ki, bu yöntem diferansiyel denklemin sınır şartlarına ciddi limitler koymaktadır (Frix, 1996). Küresel ve silindirik ekranlar, basit yüzeyleri nedeniyle, bir dizi çözüm tekniğiyle beraber kullanılarak değişkenlerin ayrılması yöntemiyle analiz edilebilir. Benzer şekilde, değişkenlerin ayrılması yöntemi sonsuz geniş düz levhalar için geçerli bir yaklaşımdır. Bunun nedeni, sonsuz genişlikteki düz levhanın kartezyen koordinat sisteminin eksenlerine uymasındır. Örneğin, Panas ve Kriezis (1968), bir dilimin paralel ve sonsuz uzunlukta bir iletkenin magnetik alanlarına olan ekranlayıcı etkisini belirlemede Fourier dönüşümlerini kullanmıştır. Sonuç denklemleri Fourier dönüşümlerini tersine çevirmek üzere nümerik analiz gerektirmiştir. Bir başka grup araştırmacı (Young vd., 1970) lineer magnetik ekranlardaki magnetik akı dağılımını belirlemede değişkenlerin ayrılmasını kullanmıştır. Akım akışını, düzlemsel bir ekran yoluyla indüklenen düzlem bir dalgayla incelediler. Akışın incelenmesinin amacı indüksiyon akımı üzerine düşen alanın etkisini belirlemektir. Her ne kadar analizleri sonsuz, magnetik olmayan bir levha olsa da, ayrıca düzlemin geçirgenliği ve iletkenliğinin indüksiyon akımı üzerindeki etkisini de araştırdılar. Araştırmacılar kaynağın düzlem bir dalga olduğunu varsaydılar, bu nedenle ekran üzerinde değişmeyen bir dağılım söz konusudur, ki bu da enerji iletkenlerine yakın ekranlar için geçerli değildir.

Özet olarak, magnetik ekranlama konusundaki analitik analizler keyfi biçimli ekranlar konusunda eksiktir. Tam çözümler sadece silindirik borular veya sonsuz geniş dilimler gibi birkaç durum için belirlenebilir. Düz veya eğri olsun, sonlu metal levhaların ekranlamasının belirlenmesi, bir koordinat sistemine uyacak sınırların olmaması nedeniyle analitik teknikler kullanılarak gerçekleştirilemez.

3.3.3. İntegral Denklemler Teknikleri

Düzlemsel ekranlama için analitik teknikler sıklıkla integral denklemlerdir. İntegral denklemleri çözmenin bir yolu Fourier dönüşümü gibi dönüşüm analizleridir. Örneğin, Cronenwett, magnetik olmayan sonsuz geniş düzlem ekranların elektriksel alan ekranlama etkinliğini belirlemek için Fourier analizinin bir varyasyonunu kullanmıştır. Jain ve Ray (1970) tarafından, sonsuz boyda magnetik olmayan bir ekranda indüklenen indüksiyon akımlarını ve kayıpları belirlemek üzere benzer bir teknik kullanmıştır. Analizlerde kaynaklar sonsuz Fourier serisi sinüsoid akım levhaları olarak temsil edilmektedir. Bu levhaların sonsuz genişlik ve uzunluğu olduğu ve birbirleri üzerine çakıştığı varsayılmaktadır.

Cronenwelt; düşük frekanslarda, düşük iletkenlikte, iletken aralıklarının küçük olması halinde analizin başarısız olduğunu, analizin sadece magnetik olmayan ekranlara uygulandığını ve analizin sonsuz geniş bir ekranı varsaydığını belirtmektedir. Sadece denklemin çekirdeği belirli bir biçimdeyse, integral denkleme dönüşüm çözümleri elde edilebilir. İleri ve ters dönüşümler her zaman bilinmediğinden, genellikle nümerik işlemlere ihtiyaç duyulur.

Düz levha ekranların incelenmesindeki birçok integral denklem tekniği, Levy ve Moser (1967)'de olduğu gibi, ekranın sonsuz boyda ve sonlu kalınlıkta olduğunu varsayar. Levy'nin bildirisi bu konuda diğerlerinin de dayalı olduğu en eski bildiridir. Bildirisinde ekranlama, indüklenen gerilimlerin oranı olarak tanımlanmıştır. Çok ince bir çerçeve antende iletim yapan özdeş bir çerçeve anteninin alanı nedeniyle indüklenen gerilim; önce aralarında bir ekran yokken belirlenmiş, daha sonra arada iki antene eş uzaklıkta bulunduğu belirlenmiştir. Buradan eliptik bir integral gerektiren bir ifadeye varılır. Bütünleşmeden sakınmak üzere, ekran/kaynak konfigürasyonunu sınırlayan bir tahmin yapar.

Moser (1967), Levy'nin tekniğinin genel analiz için geçerli olmadığını gösterirken; sadece doğal koordinat sistemlerine uyumlu şekiller için geçerli olduğunu, ekranın bir yüzey derinliğinin kalınlığından az olduğunu ve magnetik olmayan ekranlarla uyumlu olduğunu varsaymaktadır. Üçüncü teorisinin sonuçları probleme adapte edilir. Schelkunoff'un ekranlama etkinliği formüllerinin sadece ekran kaynaktan hesaplama amaçlı gözlem noktasına olan uzaklığın $1/3$ 'üne yerleştirildiği zaman en doğruyu verdiği gösterilmiştir. Genel olan ikinci çözümde, ifadeler ekranın içindeki ve her iki yanındaki toplam elektrik ve magnetik alanları için türetilmiştir. Sonuçlar çözülmesi gereken bir integral denklem ortaya koyar. Ekranlama etkinliğinin sonuç ifadesinin deneysel verilerle uyduğu gösterilmiştir. İkinci makalesinde ise, (Moser, 1988) deneysel verileri sunarak bunları 100 Hz ila 50 kHz frekans aralığında Levy ve Schelkunoff yöntemlerinin sonuçlarıyla karşılaştırır.

Moser, analizlerinde ekranlama etkinliğini indüklenen gerilimlerin oranı olarak tanımlar. Elektriksel olarak ince çerçeve antenin içinde, iletim yapan bir çerçeve antenin alanı nedeniyle indüklenen gerilim, önce aralarında ekran yokken ve sonra aralarına eşit uzaklıkta konan bir ekran varken belirlenir. Ekranın sıfıra yakın incelikte, boyca sonsuz ve sadece indüksiyon akımlardan oluştuğu (yani nonmagnetik olduğu) varsayılır. Varsayılan antenler, eksenleri ekrana dik olan çerçevelerdir. Sonuç iki integral denklemin oranı olarak verilir, ancak son sonuçlar verilmez. Ne yazık ki, analizleri sonlu-ebatta ekranları, lineer akım kaynaklarını, yakınlık etkilerini veya değişken geçirgenliği içermez.

Moser'in makalesinin takipçileri (Ryan, 1967) ve (Bannister,1968) integral denklemlerin nümerik ifadelerini sağlamıştır. Bununla beraber, bu analizler sonlu magnetik olmayan bir düzlem ekran ve alan kaynağı için de elektriksel olarak akım çerçevesi varsaymıştır. (gerçek yakın-alan analizi yerine) yalancı-yakın alan tahmini kullanılmıştır. Bu tahmin ekranın iki yüzey derinliğinden daha kalın olmasını gerektirir, ancak Bannister bu kısıtlamayı daha sonraki baskıda kaldırmıştır (Bannister,1969).

Daha sonra, (Sikora vd., 1978) ince levhalarda indüklenen indüksiyon akımlarını hesaplamak üzere bir değişken hesap yaklaşımı kullandı. Bu yaklaşım, Schelkunoff'un eserine dayanarak, belirli bir frekanstaki metalin yüzey derinliğinden daha ince levha kalınlığı olarak tanımlandı. Ekranlar farklı ebatlardayken, varsayılan kaynak değişmez düzlem dalgaydı. Ayrıca, (indüklenen indüksiyon akımları nedeniyle ortaya çıkan) ikincil magnetik alanlar ihmal edildi, böylece, indüksiyon akımlarının neden olduğu ekranlama ihmal edilebilir varsayıldı.

Gösterildiği gibi, integral denklem teknikleri dönüşüm yöntemleri veya genel elektromagnetik analizler yoluyla çözülebilir. (Ludwig, 1987). İntegral denklem tekniklerini kullanmadaki bir zorluk da integral denklemleri formüle etmenin çeşitli yolları olmasıdır.

Green'in İkinci Kimlik kuralı kullanarak:

$$A(\vec{r}) + \oint A(\vec{r}) \frac{\partial G(\vec{r}/\vec{r}')}{\partial n'} dI' = \oint G(\vec{r}/\vec{r}') \frac{\partial A(\vec{r}')}{\partial n'} dI' \quad (3.15)$$

sonucuna varılır.

Burada $G(\vec{r}, \vec{r}') = \frac{1}{4j} H^{(2)}_D \left(\gamma \left(\vec{r} - \vec{r}' \right) \right)$ Green'in iki-boyutlu konfigürasyon için

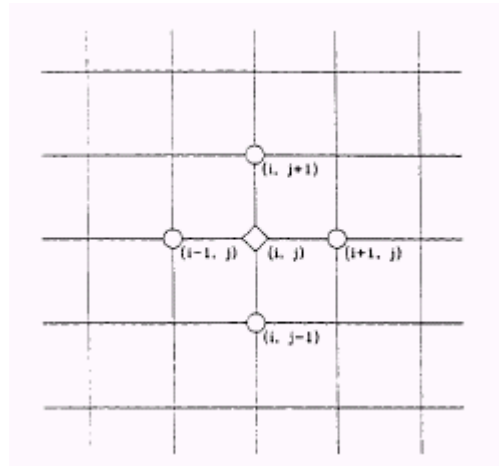
Fonksiyonudur. Böylece diferansiyel denklem, nesnenin sınırı etrafından integral denkleme dönüştürülmüştür. Diğer araştırmacılar bitişik iletkenlerde indüklenen akımları hesaplar. Normalde integral yöntem çözümleri ya ekranın ideal iletken olduğunu ya da kayıpsız bir dielektrik olduğunu varsayar. Bu da gerçek bileşenleri olan hesaplanmış akımlara yol açar (Frix, 1996).

Özet olarak, integral denklem teknikleri, indüksiyon akımı problemlerini çözmede veya ekranlama hesaplamalarında en yaygın kullanılan yaklaşımdır. Bunların birkaç dezavantajı vardır, en ciddi dezavantajlar; kurulması zordur ve elektromagnetik teorisi ile ileri matematikte uzmanlık gerektirir sonuç integral denklemleri kapalı formda çözülemez, çözmek

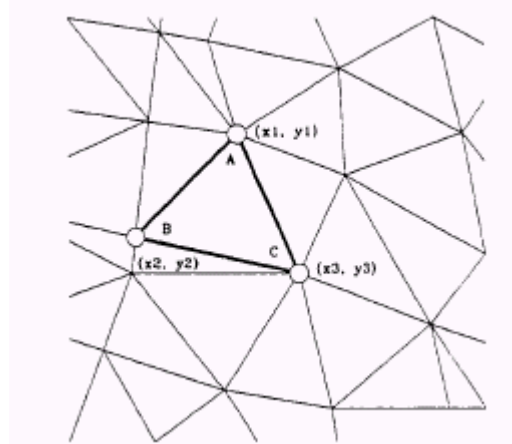
için nümerik analiz gerektirir. Ayrıca birçok işlem nonlinear ekranlarda işe yaramaz, ekranlara ebat ve şekil açısından sınırlama getirir.

3.3.3.1.Diferansiyel Operatör Teknikleri

Diferansiyel operatör kategorisindeki en yaygın yöntemler Finite Difference method (FDM); Sonlu Farklar Yöntemi ve Finite Element Method (FEM); Sonlu Eleman Yöntemidir. Diferansiyel operatör tekniklerinde diferansiyel denklemlerin çözüleceği tüm bölge üzerinde bir ızgara tanımlanır. FDM için bu ızgara geleneksel olarak Şekil 3.8'te gösterildiği gibi dikdörtgen biçimindedir. FEM'in geleneksel ızgarası da Şekil 3.9'de gösterildiği gibi üçgen elemanlardan oluşur. Bu şekiller iki yöntem arasındaki farklardan biridir. FDM'de ızgaralar değişmez olup üretilmesi kolaydır. Bu da kodun kolayca programlanmasını sağlar ancak dairesel ekranlar gibi dikdörtgen olmayan bölgelere izin vermez. FEM'de ise ızgaraların önceden belirlenen bir yapısı yoktur, ancak probleme uydurulabilir. Bu nedenle keyfi şekilli çözüm bölgeleri sayesinde FEM daha popülerdir, ancak karmaşık bir ızgara üretme zorluğu taşır (Frix, 1996).



Şekil 3.8 Sonlu farklar yönteminin tipik dikdörtgen ızgarası



Şekil 3.9 Sonlu elemanlar yönteminin tipik ızgara elemanı

FDM ızgarasının her bir düğüm noktası için çözülecek olan diferansiyel denklem bir bitişik düğüm noktaları arasındaki alan miktarlarını ifade eden bir fark denklemi şeklinde yazılır.

(Ahmed 1989). $(\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{j})$ denklemini aşağıdaki fark denklemine dönüştürülür:

$$A(i,j) = \left(\frac{1}{4 - h^2 \gamma^2} \right) [A(i, j + 1) + A(i, j - 1) + A(i + 1, j) + A(i - 1, j)] + h^2 \mu J(i, j) \quad (3.16)$$

Çözüm alanındaki her bir düğüm noktasında bir dizi lineer denklem (3.16) diğer düğüm noktalarıyla bağlantı kurar. Sonuç olarak ortaya çıkan denklem seti, geniş olsa da, sık değildir ve genellikle (denklem sayısı küçükse) Gauss yok etme yöntemi ile veya Conjugate Gradient Method; Bileşik Gradyen Yöntemi, (CGM) veya gevşetme yöntemleri gibi iteratif (yinelemeli) tekniklerle çözülür. Ayırma sonucu olarak, çözüm ızgaranın düğüm noktalarında tanımlanır; düğüm noktaları arasında çözüm lineer olarak ara değerini bulur.

Magnetik ekranlama problemleri için, FDM’de iki büyük zorluk vardır. Bunlar, açık sınır problemleri için çözüm alanının ucunun kesilmesi ve kompleks ekranlar için ızgaranın tanımlanmasıdır. Sınırın sonlandırılması için en basit yöntem Emici sınır şartlarını kullanır. Radyasyon şartları da denilen bu şartlar söz konusu bölgeden uygun şekilde kaldırılan yapay bir sınır koyar. Daha sonra diferansiyel denklemler sınırdaki sadece tek yönde yayılmaya izin verecek şekilde belirlenir. Sonuç olarak ortaya çıkan fark denklemleri kesik serilerle yaklaştırılır (Tirkas,1982). Kullanılan seri terimlerin sayısı arttıkça sonuçların doğruluğu artar. Ne yazık ki bu uzaysal ayrımında bir artış gerektirir, bu da kullanılan bilgisayar belleğini arttırır. Sonlu sınırı dahil etmenin bir diğer yolu da ekran/kaynak konfigürasyonundan büyük ölçüde kaldırılan varsayımsal bir sınır koymaktır. Magnetik alanlar ekran/kaynak uzaklığı şeklinde sıfıra yaklaştığından, bir yaklaşım da magnetik alanı sınırdaki sıfır olarak belirlemek ve geleneksel şekilde FDM’i uygulamaktır. Bu yaklaşım kavram olarak en basit yaklaşım olup, çözüme yaklaştıkça kadar sınır için sürekli artan bir uzaklık kullanarak birçok tekrar gerektirmesi dezavantajıdır (Frix, 1996).

FDM’de sınırların ucunun kesilmesi açık sınırlı problemlerde zor olduğundan, düşük frekanslı elektromagnetik alan hesaplamalarında nadiren kullanılır, ancak Rikitake bunu DC magnetik ekranlama hesaplarında kullanmıştır. Rikitake’nin yaklaşımı, ekran yapılarından uzak olan alanın değerlerini varsayarak alanı büyük bir mesafeye ayırmaktır. FDM, Dodd tarafından da elektromagnetik ekranlama hesabında kullanıldı. Onun yaklaşımında da sınırın ucunun kesilmesi Rikitake’ye benzerlik gösterdi.

FDM'in bir varyasyonu olan Finite Difference Time Domain Method; Sonlu Farklar Zaman Alanı Yöntemi (FDTD) de geçici elektromagnetik alanların dağılan hesaplamalarında sıkça kullanılır. Yine, FDTD yöntemini kullanmadaki en büyük zorluk, uygun sınır kesme yönteminin belirlenmesidir.

FDM değişmez bir ızgara kullandığından, araştırmacı bunu keyfi alanlara uygulamada büyük zorluk çeker. Sonuç olarak magnetik ekranlama hesapları için en yaygın nümerik yöntem Sonlu Elemanlar Yöntemidir (FEM) (Labridis vd., 1988). FEM'in uygulamaları arasında trifaze güç kablolarındaki indüksiyon akımı kayıpları (Labridis vd., 1992), elektrik alanı dağılımı (Feliziani, 1992), lineer ekranlardaki indüksiyon akımları (Bramble vd., 1983; Salon vd., 1983; Luo vd., 1992) ve ferromagnetik ekranlarda indüksiyon akımları sayılabilir (Frix, 1996).

FEM diferansiyel denklemleri dolaysız olarak FDM gibi çözmez. Bunun yerine, FEM diferansiyel denklemin varyasyonel bir formülasyonunu çözer. $(\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{j})$ denklemi için bu formül şu şekildedir:

$$I(A) = \frac{1}{2} \iint [(\nabla A)^2 - 2\gamma^2 A^2 - \mu J A] dS \quad (3.17)$$

(3.17) denklemi A'ya göre çözmek üzere, Rayleigh-Ritz Yöntemi ya da Galerkin Yöntemi ve Artalan Yöntemi gibi Ağırlıklı Artık Yöntemleri kullanarak küçültülür. Küçültme işleminin uygulanması bir dizi lineer denklem verir.

FDM'de olduğu gibi FEM'de de açık sınırlı problemlerde sınırların kesilmesi zordur. Yine FDM'deki gibi sonsuz bir sınır dahil etmenin yaygın bir yolu da ekran/kaynak konfigürasyonundan kaldırılan varsayımsal bir sınır belirlemektir. Varsayımsal sınırda bir dizi yaklaşım kullanılabilir (Hasseltgren, 1994). Daha önce bahsedildiği gibi, bir teknik de, sınırdan çözüm alanına olan uzaklığı arttırarak, alanın varsayımsal sınırdaki değerini belirlemektir.

FEM'in kullanımında birkaç zorluk vardır. Öncelikle, FDM'de olduğu gibi sınır sonlandırılmalıdır. Yukarıda sayılan sınırı kesmede kullanılan yöntemlerin her birinin zorlukları bulunur ve her şartta uygulanabilir değildir. Bu durum özellikle düşük frekanslı magnetik alan problemlerinde geçerlidir. İkinci olarak, yöntem işe yarar ancak vektör miktarlar gerektiğinde zorluk yaşanır. Bu nedenle iki boyutlu magnetik problemlerde birçok analiz vektör potansiyelini kullanır. Sonuç olarak ortaya çıkan magnetik alanları bulmak için vektör potansiyelinin nümerik farkının bulunması gerekir, böylece doğruluk kaybolur. Üçüncü sorun da, FEM'in yüzey derinliği küçük olan malzemelerin analizlerinde işe

yaramamasıdır. Bunun nedeni ise ızgara boyunca alan değerlerindeki değişiklikleri doğru modelleyebilmek için ızgarada ince ayırımlar olmasının gerekmesidir (Frix, 1996).

3.3.3.2.Modal Genişlemeler

Her ne kadar El-Gamal vd.,(1990) Discrete Boundary Points Method; Belirgin Sınır Noktaları (DBP) Yöntemi'ni önermiş olsa da, modal genişleme yöntemleri belirli isimlerle anılmaz (Mullin vd., 1965). Yöntem sadece dağılma problemleri için kullanılmıştır. Yöntemde dağıtıcılar sonlu ve sonsuz silindir sıraları şeklinde modellenmiştir. Tipik olarak yöntem bir düzlem dalga gelişi ve ideal iletken silindirleri varsayar. İstenilen dağılma probleminin çözümü dağılma çözümlerinin bir silindir tarafından üst üste konmasıdır. Geçtiğimiz yıllarda Elsherbeni ve diğerleri bu yöntemi dielektrik ve ideal olmayan iletken dağıtıcıları modellemek üzere kullanmıştır (Elsherbeni vd., 1992, 1993, 1994).

3.3.3.3.Monte-Carlo Yöntemi

Monte-Carlo Yönteminde araştırmacı, yüklü yüzeyler arasındaki potansiyelin haritasını belirlemek üzere istatistiksel analiz kullanır (Davey vd., 1993). Monte Carlo Yöntemini indüksiyon akımlarını hesaplamakta kullanmıştır. Programı FDM ile karşılaştırmışlar ve daha az hesaplama süresiyle FDM'ye kıyaslanabilir sonuçlar elde etmişlerdir. Yöntemin “program için önemsiz” olduğunu ve FDM kadar çok bellek gereksinimi olmadığını bildirmişlerdir. Yöntemin avantajı basitliği, dezavantajı ise bilgisayar süresi için doymak bilmeyen iştahıdır. Ayrıca, bir çözüm alanında her arzu edilen nokta için çok sayıda simülasyon çalıştırmak gereklidir.

3.4. Araştırmaların Özeti

Elektromagnetik etkileşimlerin değerlendirilmesi için çeşitli teknikler mevcuttur. Ne yazık ki, genel ekran biçimleri için doğru analitik teknik mevcut değildir. Hali hazırda kullanılan nümerik tekniklerin uygulaması o kadar zordur ki sadece bir elektromagnetik uzmanı bunları doğru kullanabilir. Kısaca, düşük frekanslı magnetik ekranlamanın değerlendirilmesi için pratik bir yöntem hali hazırda mevcut değildir. Düşük frekanslı magnetik ekranlamayı belirlemede kullanılabilecek ve:

- Sınır kesme gereksinimi düşünülmezsizin uygulanabilecek bir prosedüre ihtiyaç vardır. Bu da ekranın etrafındaki alanın değil, sadece ekranın belirlenmesi gerektir.
- Bu prosedür ferromagnetik ortamlara uygulanabilmeli;
- Heterojen malzemeden üretilmiş ekranlara uygulanabilmeli;
- Ekran içindeki indüksiyon akımlarını belirleyebilmeli

Kullanıcının elektromagnetik uzmanı olmasını gerektirmeyecek kadar basit olmalıdır.

4. EKLANLAMA DENEYLERİ

Ekranlama deneyleri YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ Elektrik Mühendisliği Bölümünde bulunan Yüksek Akım Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.1). Magnetik Alan Kaynağı olarak kullanılan deney düzeneği Şekil 4.2 de verilmiştir.



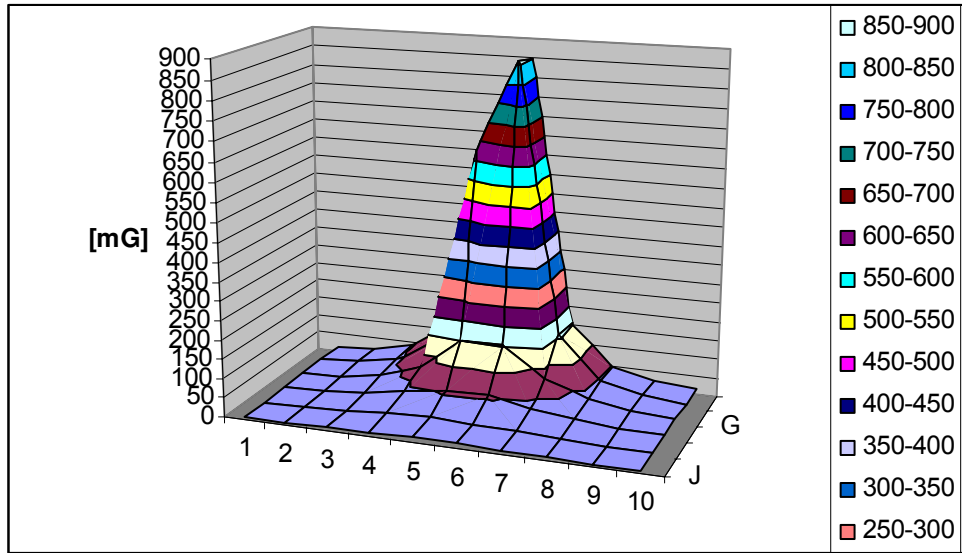
Şekil 4.1 Y.T.Ü Yüksek Akım Laboratuvarı



Şekil 4.4 Magnetik alan ölçüm cihazı ile yapılan ölçümler

Ekransız ve ekranlı magnetik alan ölçümlerinde elde edilen deney sonuçları bu bölümde gösterilmektedir.

Ekran malzemesi olmadan deney alanı üzerinde yapılan Magnetik Alan ölçüm sonuçları Çizelge 4.2’ de verilmiştir.Bu değerlerden elde edilen, deney sonuçları deney alanının üç boyutlu magnetik alan dağılımı Şekil 4.5’ de verilmiştir.



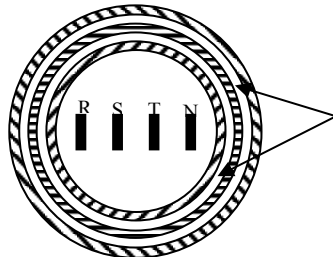
Şekil 4.5 Ekransız ve enerjili magnetik alan dağılımı

Çizelge 4.2 Ekransız ve enerjili magnetik alan ölçüm sonuçları

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J	4,18	5,55	7,53	9,76	11,56	11	9,73	8,29	7,03	6,2
I	5,8	7,79	11,77	18	22	20	17,14	12,9	9,44	7,7
H	7,2	11,11	19,6	37,7	54,9	55,3	36	21,4	13,42	9,08
G	9	14,59	28,8	67,4	150	152	77,6	34,4	17,17	10,27
F	11,3	18,3	37,2	103,7	626	863	159,3	46,4	19,5	11,18
E	11,7	20,5	41,7	115	580	850	155	45	20,3	11,5

4.1. Aralıklı Silindir Ekranlı Magnetik Alan Ölçümü

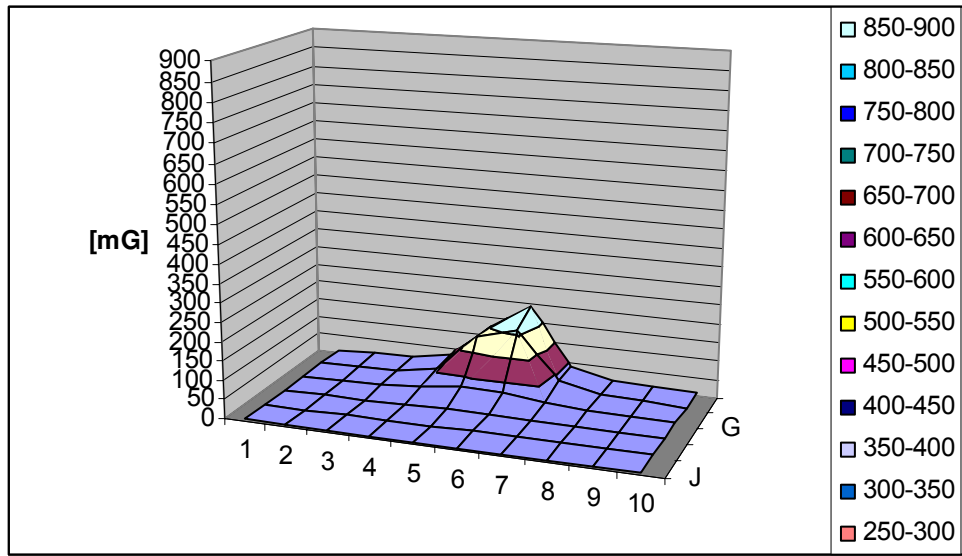
Bu bölümde ekran malzemelerinin aralarında 1.5 cm yalıtkan malzeme bulunan bir, iki ve üç kat çeşitli malzemeler için deney alanı üzerinde yapılan Magnetik Alan ölçüm sonuçları elde edilmiştir. Bu malzemeler: Trafo sacı (T), Bakır (B) ve Alüminyum (A) dır.



Şekil 4.6 (Aralıklı Silindir) Ekran Görünümü

4.1.1. T Ekranı için Magnetik Alan Ölçümleri

Ekran malzemesi olarak Trafo Sacı kullanılarak deney alanı üzerinde yapılan Magnetik Alan ölçüm sonuçları Çizelge 4.3’ de verilmiştir. Bu değerlerden elde edilen, deney sonuçları deney alanının üç boyutlu magnetik alan dağılımı Şekil 4.7 de verilmiştir.

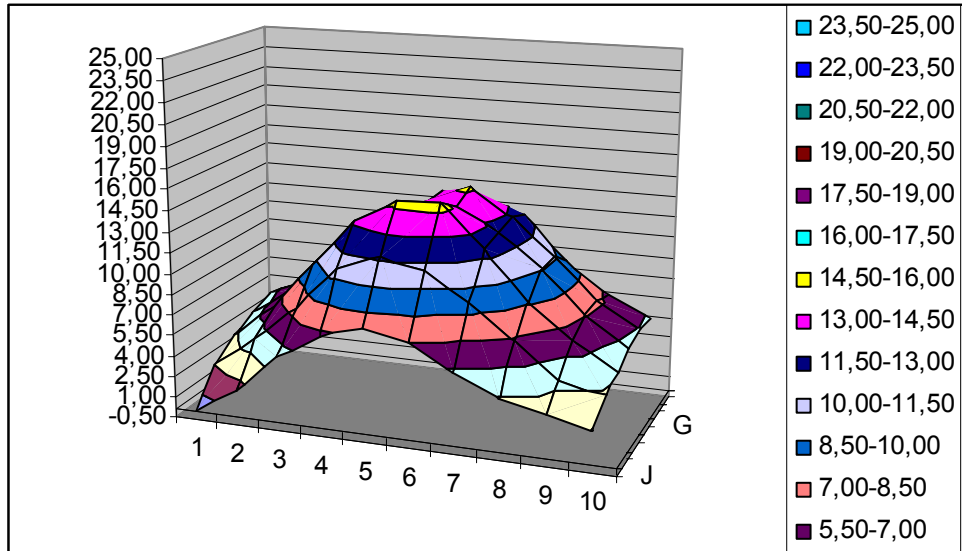
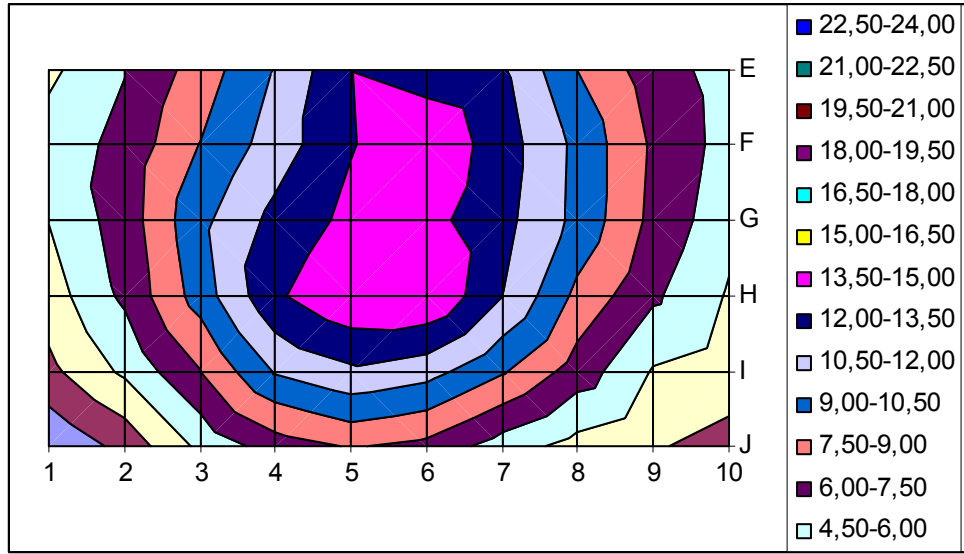


Şekil 4.7 Trafo sacı ekranlı magnetik alan dağılımı

Çizelge 4.3 Trafo sacı ekran malzemesi için magnetik alan ölçüm sonuçları

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J	4,26	4,43	4,3	4,5	4,8	4,9	5,3	5,29	4,9	4,66
I	4,3	4,5	5	5,29	5,7	5,6	6	5,9	5,7	5
H	4,66	5,38	6,44	8,2	9,9	9,83	9	7,95	6,53	5,52
G	5,34	6,74	8,98	16,1	30,4	30,3	18,48	10,79	7,63	5,76
F	6,26	8,69	13,12	28,6	133,7	159	36,7	14,49	8,48	6
E	7,23	10,34	16,23	34	123,2	195,3	37,9	16	9,38	6,23

4.1.2. T Ekran için Ekranlama Etkinliğinin Dağılımı

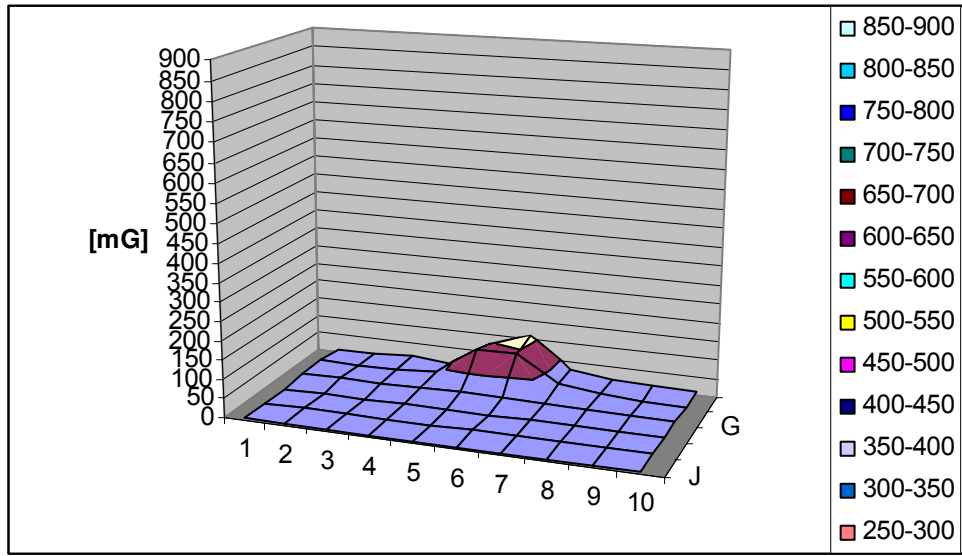


Şekil 4.8 T (Aralıklı silindir) ekran için ekranlama etkinliğinin dağılımı

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J	0,16	1,96	4,87	6,72	7,63	7,02	5,28	3,90	3,14	2,48
I	2,60	4,77	7,44	10,64	11,73	11,06	9,12	6,79	4,38	3,75
H	3,78	6,30	9,67	13,25	14,88	15,00	12,04	8,60	6,26	4,32
G	4,53	6,71	10,12	12,44	13,86	14,01	12,46	10,07	7,04	5,02
F	5,13	6,47	9,05	11,19	13,41	14,69	12,75	10,11	7,23	5,41
E	4,18	5,94	8,20	10,58	13,46	12,77	12,23	8,98	6,71	5,32

4.1.3. T-T Ekranı için Magnetik Alan Ölçümleri

Ekran malzemesi olarak aralarında 1.5 cm yalıtkan malzeme bulunan iki kat trafo sacı kullanılarak deney alanı üzerinde yapılan Magnetik Alan ölçüm sonuçları Çizelge 4.4' de verilmiştir. Bu değerlerden elde edilen, deney sonuçları deney alanının üç boyutlu magnetik alan dağılımı Şekil 4.9'da verilmiştir.

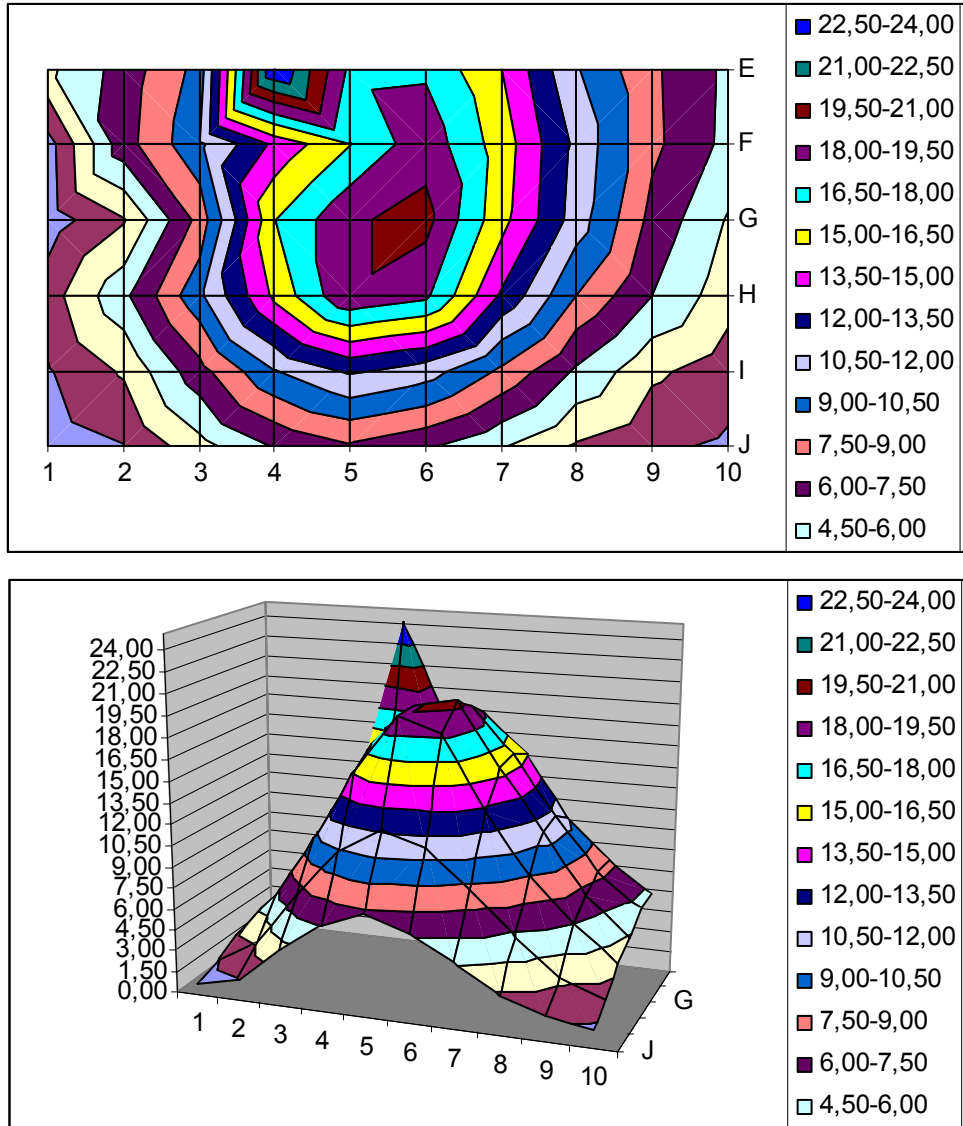


Şekil 4.9 İki kat trafo sacı ekranlı magnetik alan dağılımı

Çizelge 4.4 İki kat trafo sacı ekran için magnetik alan ölçüm sonuçları

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J	4,53	4,7	4,76	4,83	5	5,35	5,7	6	5,7	5,38
I	4,96	5,40	5,28	5,45	5,40	5,50	6,33	6,66	6,47	6
H	5,53	5,85	6,13	6,44	5,93	6,7	7,83	7,61	6,73	6
G	9,8	10,49	11,55	10,12	16,21	15,3	13	9,37	7,66	6,22
F	10,14	8,27	11,54	21,15	94	97	25,9	12,25	7,91	5,9
E	7,21	9,54	14	7,2	76,3	110	27,4	13,3	8,27	6

4.1.4. T-T Ekran için Ekranlama Etkinliğinin Dağılımı

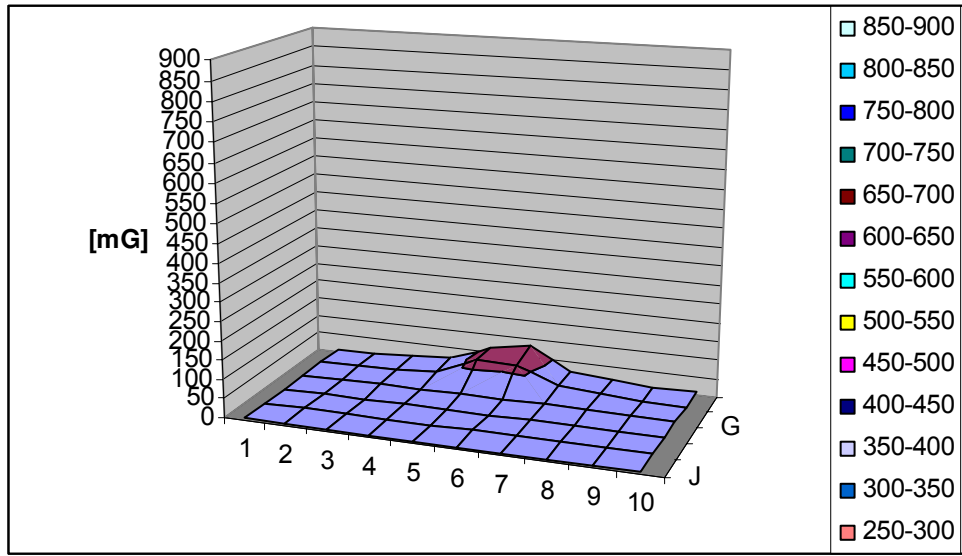


Şekil 4.10 T-T (Aralıklı Silindir) ekran için ekranlama etkinliğinin dağılımı

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J	0,70	1,44	3,98	6,11	7,28	6,26	4,64	2,81	1,82	1,23
I	1,36	3,18	6,96	10,38	12,20	11,21	8,65	5,74	3,28	2,17
H	2,29	5,57	10,10	15,35	19,33	18,33	13,25	8,98	5,99	3,60
G	0,74	2,87	7,94	16,47	19,33	19,94	15,52	11,30	7,01	4,36
F	0,94	6,90	10,17	13,81	16,47	18,98	15,78	11,57	7,84	5,55
E	4,21	6,64	9,48	24,07	17,62	17,76	15,05	10,59	7,80	5,65

4.1.5. T-T-T Ekranı için Magnetik Alan Ölçümleri

Ekran malzemesi olarak aralarında 1.5 cm yalıtkan malzeme bulunan üç kat trafo sacı kullanılarak deney alanı üzerinde yapılan Magnetik Alan ölçüm sonuçları Çizelge 4.5’de verilmiştir. Bu değerlerden elde edilen, deney sonuçları deney alanının üç boyutlu magnetik alan dağılımı Şekil 4.11’ de verilmiştir.

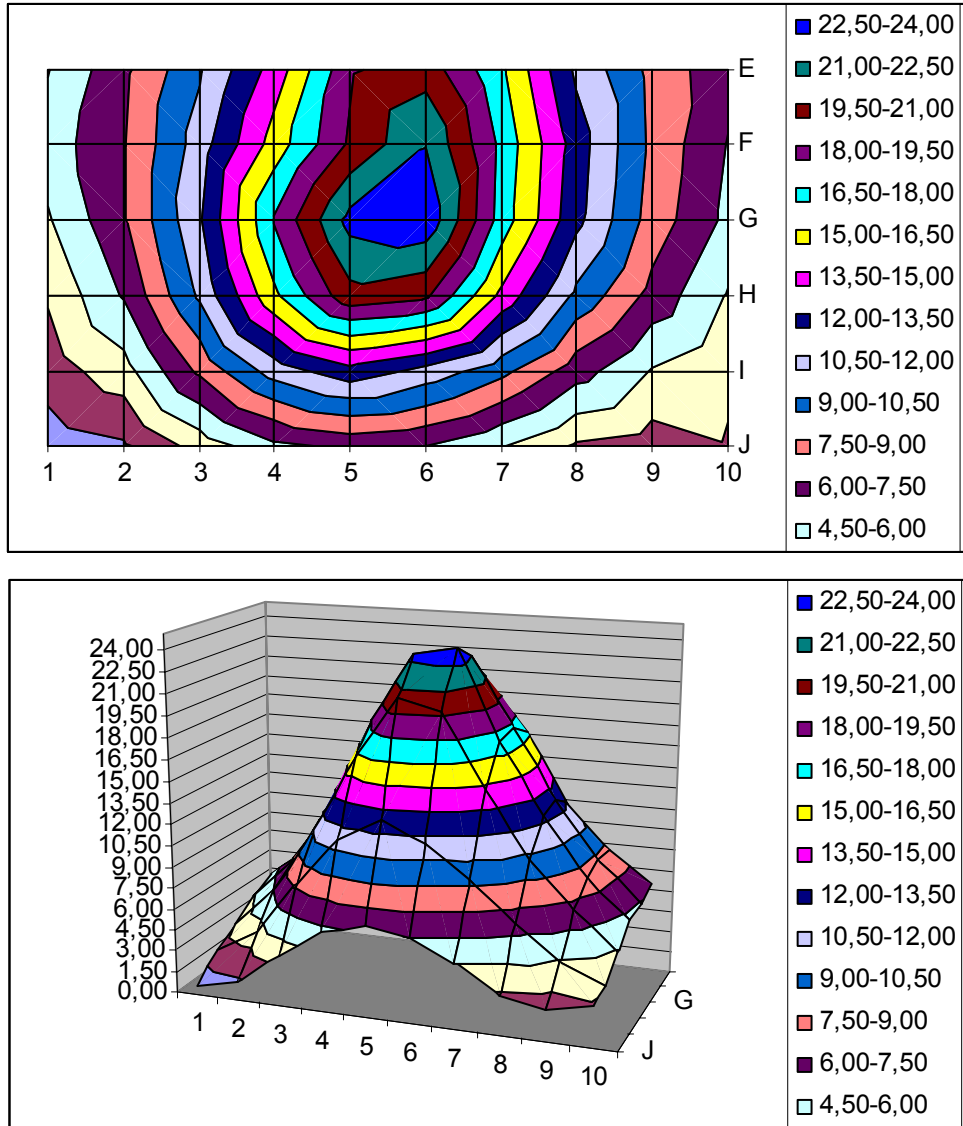


Şekil 4.11 Üç kat trafo sacı ekranlı magnetik alan dağılımı

Çizelge 4.5 üç kat trafo sacı ekran için magnetik alan ölçüm sonuçları

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J	4,52	4,8	4,98	5,12	5,55	5,56	5,73	6,01	5,44	4,44
I	4,5	5	4,8	5	5	5,32	5,82	6	5,7	5,33
H	5	5,5	5,7	5,86	5,19	5,66	6,66	6,66	6	5,50
G	5,45	6,27	7,41	8,37	10,62	10	10,56	8,23	6,57	5,38
F	6,26	7,8	10,24	17,14	65	65	20,9	10,68	7,17	5,65
E	7,03	8,96	12,73	22,53	62,8	81,5	22,5	11,68	7,59	5,5

4.1.6. T-T-T Ekran için Ekranlama Etkinliğinin Dağılımı

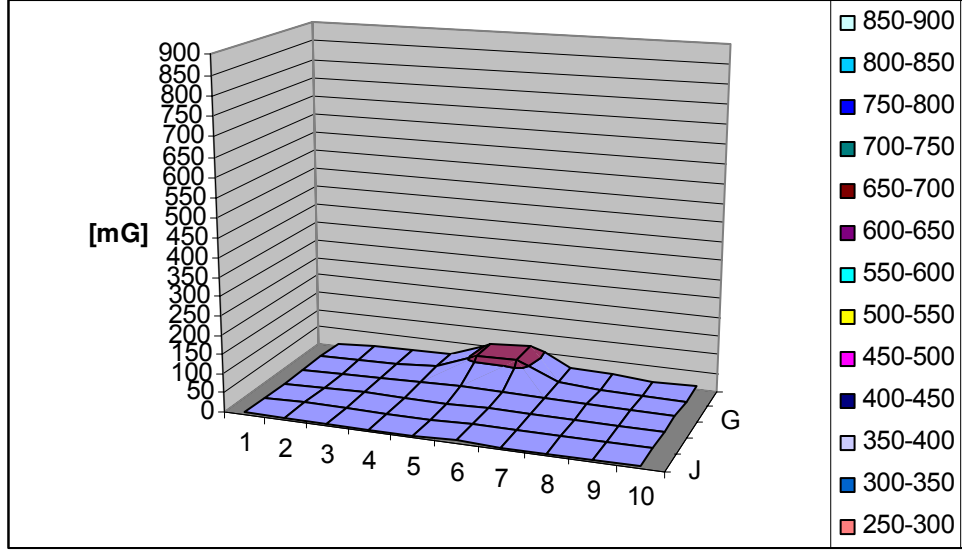


Şekil 4.12 T-T-T (Aralıklı Silindir) ekran için ekranlama etkinliğinin dağılımı

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J	0,68	1,26	3,59	5,60	6,37	5,93	4,60	2,79	2,23	2,90
I	2,20	3,85	7,79	11,13	12,87	11,50	9,38	6,65	4,38	3,20
H	3,17	6,11	10,73	16,17	20,49	19,80	14,66	10,14	6,99	4,35
G	4,36	7,34	11,79	18,12	23,00	23,64	17,32	12,42	8,34	5,62
F	5,13	7,41	11,20	15,64	19,67	22,46	17,64	12,76	8,69	5,93
E	4,42	7,19	10,31	14,16	19,31	20,37	16,76	11,72	8,55	6,41

4.1.7. T-B-T Ekranı için Magnetik Alan Ölçümleri

Ekran malzemesi olarak aralarında 1.5 cm yalıtkan malzeme bulunan Trafo sacı-Bakır-Trafo sacı kullanılarak deney alanı üzerinde yapılan Magnetik Alan ölçüm sonuçları Çizelge 4.6'de verilmiştir. Bu değerlerden elde edilen, deney sonuçları deney alanının üç boyutlu magnetik alan dağılımı Şekil 4.13' de verilmiştir.

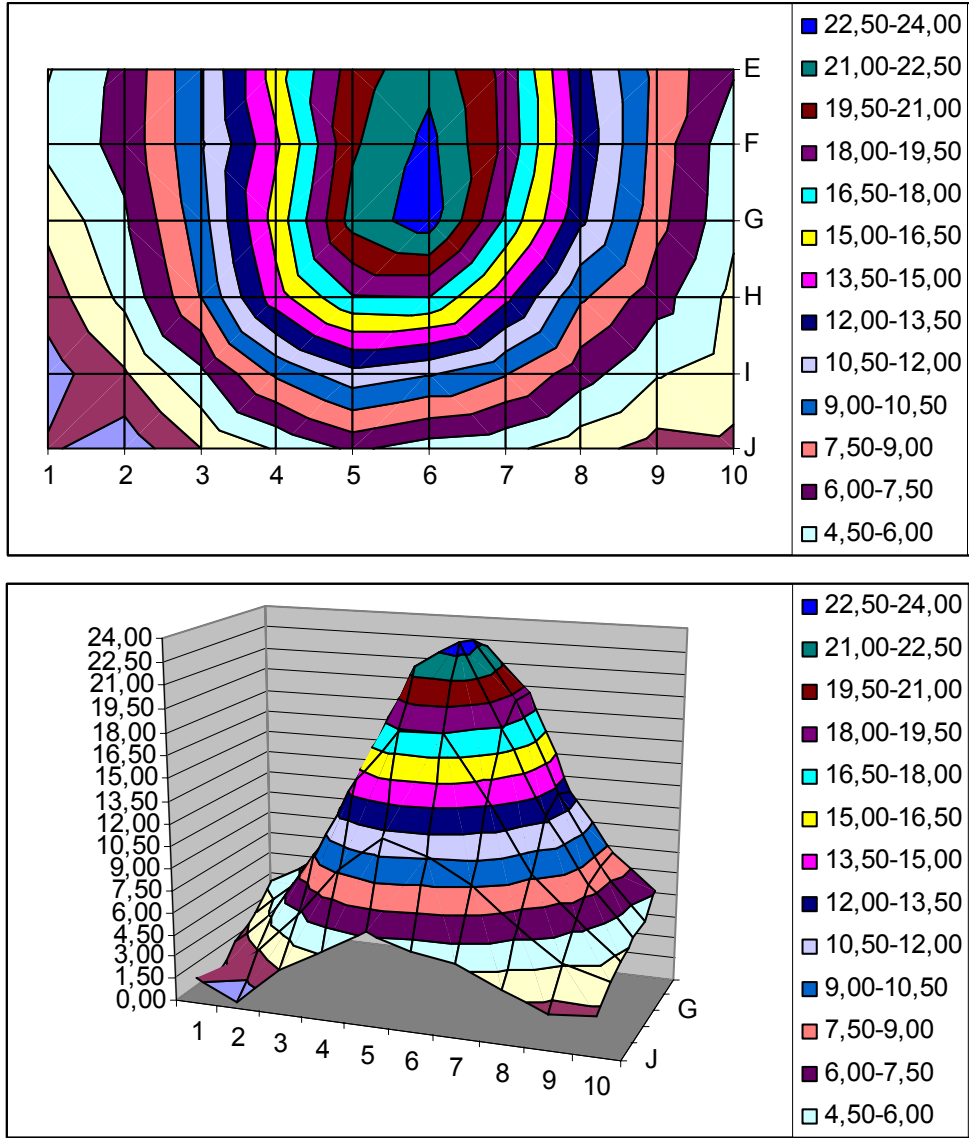


Şekil 4.13 T-B-T ekranlı magnetik alan dağılımı

Çizelge 4.6 T-B-T ekran için magnetik alan ölçüm sonuçları

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J	5,1	5,28	5,33	5,73	5,62	6	5,55	5,5	5,32	4,57
I	5,31	5,6	6,1	6,18	5,86	5,86	6	6	5,55	5
H	5,58	6,33	6,92	7,2	7	6,96	7,3	7,4	6,28	5,68
G	6,1	7,51	9,24	11,11	12,49	10,39	10	8,4	6,85	5,9
F	6,44	8,68	11,46	19,1	57,4	61,8	17,62	10,37	7,49	6,35
E	7,05	9,83	12,8	18,58	56,5	67,1	17,34	10,73	7,64	5,65

4.1.8. T-B-T Ekran için Ekranlama Etkinliğinin Dağılımı

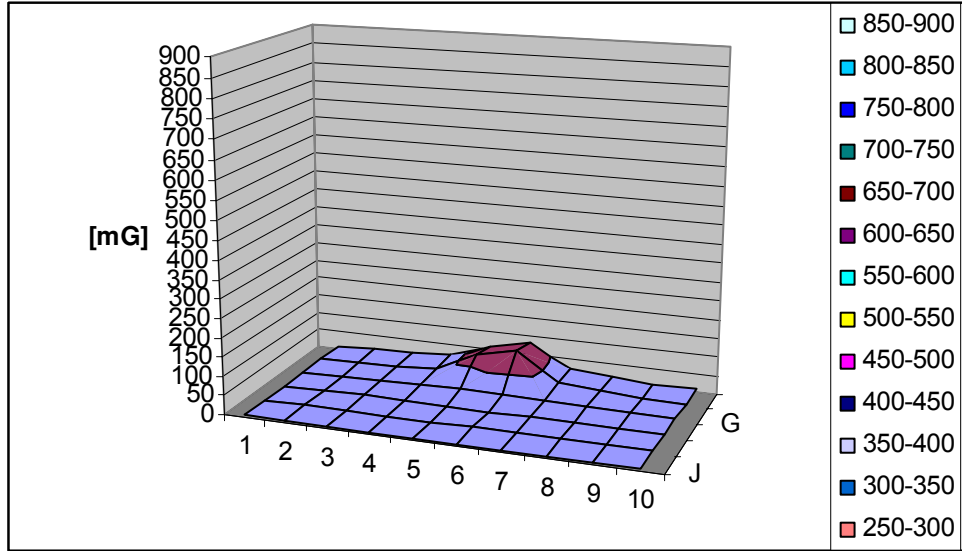


Şekil 4.14 T-B-T (Aralıklı Silindir) ekran için ekranlama etkinliğinin dağılımı

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J	1,73	0,43	3,00	4,63	6,26	5,26	4,88	3,56	2,42	2,65
I	0,77	2,87	5,71	9,29	11,49	10,66	9,12	6,65	4,61	3,75
H	2,21	4,89	9,04	14,38	17,89	18,00	13,86	9,22	6,60	4,07
G	3,38	5,77	9,87	15,66	21,59	23,30	17,80	12,25	7,98	4,81
F	4,88	6,48	10,23	14,69	20,75	22,90	19,12	13,01	8,31	4,91
E	4,40	6,38	10,26	15,83	20,23	22,05	19,03	12,45	8,49	6,17

4.1.9. T-A-T Ekranı için Magnetik Alan Ölçümleri

Ekran malzemesi olarak aralarında 1.5 cm yalıtkan malzeme bulunan Trafo sacı-Alüminyum-Trafo sacı kullanılarak deney alanı üzerinde yapılan Magnetik Alan ölçüm sonuçları Çizelge 4.7’de verilmiştir. Bu değerlerden elde edilen, deney sonuçları deney alanının üç boyutlu magnetik alan dağılımı Şekil 4.15’de verilmiştir.

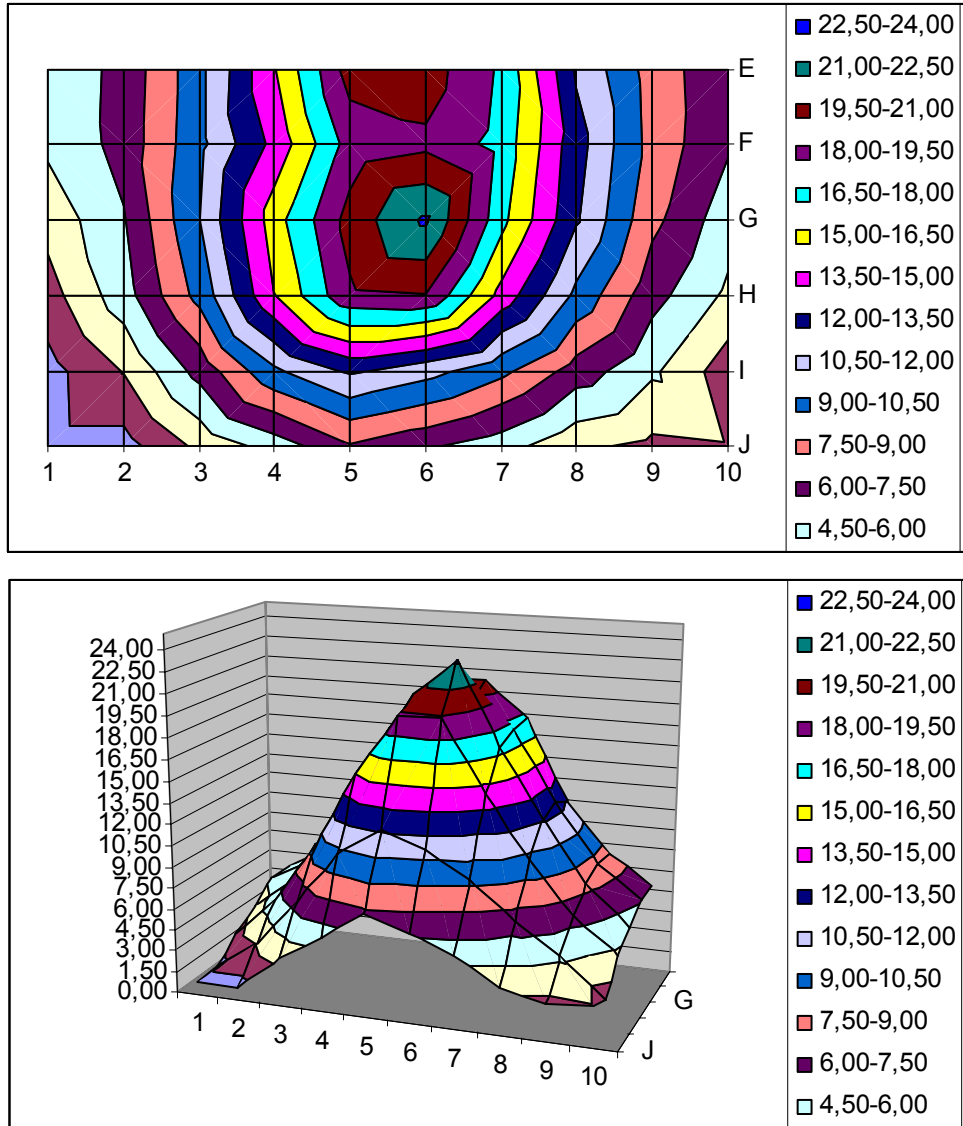


Şekil 4.15 T-A-T ekranlı magnetik alan dağılımı

Çizelge 4.7 T-A-T ekran için magnetik alan ölçüm sonuçları

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J	4,62	5	5,12	5,39	5	5,36	5,40	5,66	5,18	4,44
I	5,20	5,48	5,57	5,55	5,4	5,59	5,85	5,89	5,46	6
H	5,50	6	6,57	6,74	6	5,91	6,8	6,69	6,33	5,6
G	6	7,41	8,62	10,93	14,77	11,09	11,01	8,48	6,93	5,67
F	6,5	8,66	11,65	20,8	73,6	94,6	21,3	10,9	7,37	5,49
E	6,66	9,77	13,14	20,56	57,1	82,5	20	11,56	7,78	5,57

4.1.10. T-A-T Ekran için Ekranlama Etkinliğinin Dağılımı

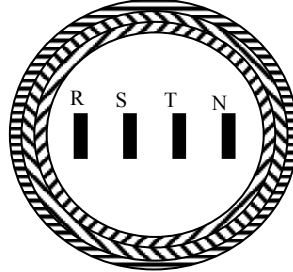


Şekil 4.16 T-A-T (Aralıklı Silindir) ekran için ekranlama etkinliğinin dağılımı

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J	0,87	0,91	3,35	5,16	7,28	6,24	5,11	3,31	2,65	2,90
I	0,95	3,06	6,50	10,22	12,20	11,07	9,34	6,81	4,76	2,17
H	2,34	5,35	9,49	14,95	19,23	19,42	14,48	10,10	6,53	4,20
G	3,52	5,88	10,48	15,80	20,13	22,74	16,96	12,16	7,88	5,16
F	4,80	6,50	10,08	13,95	18,59	19,20	17,48	12,58	8,45	6,18
E	4,89	6,44	10,03	14,95	20,14	20,26	17,79	11,81	8,33	6,30

4.2. Aralıksız Silindir Ekranlı Magnetik Alan Ölçümü

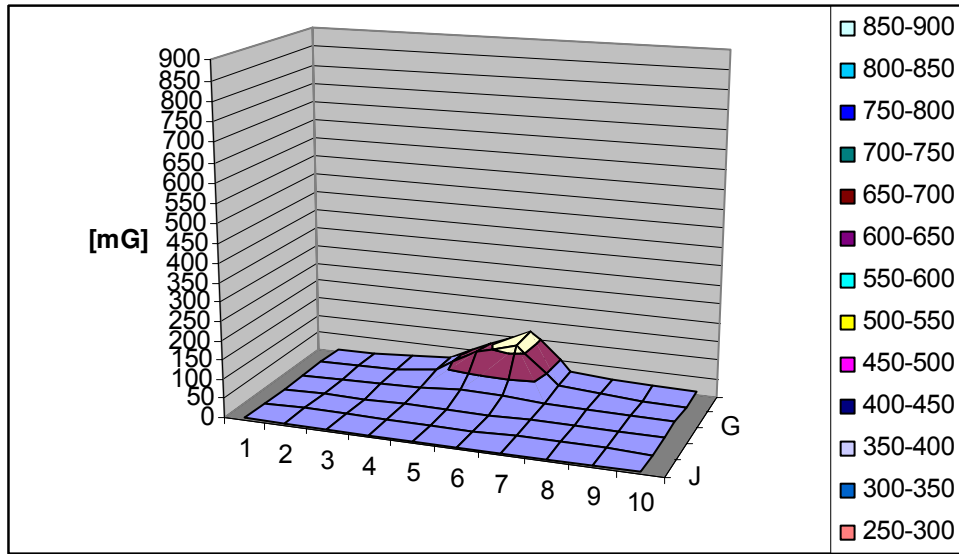
Bu bölümde, ekran malzemelerinin aralarında yalıtkan malzeme bulunmadan üç kat ve çeşitli malzemeler için deney alanı üzerinde yapılan Magnetik Alan ölçüm sonuçları elde edilmiştir. Bu malzemeler: Trafo sacı (T), Bakır (B) ve Alüminyum (A) dır.



Şekil 4.17 (Aralıksız Silindir) Ekran Görünümü

4.2.1. T-T-T Ekranı için Magnetik Alan Ölçümleri

Ekran malzemesi olarak Trafo sacı-Trafo sacı-Trafo sacı kullanılarak deney alanı üzerinde yapılan Magnetik Alan ölçüm sonuçları Çizelge 4.8’de verilmiştir. Bu değerlerden elde edilen, deney sonuçları deney alanının üç boyutlu magnetik alan dağılımı Şekil 4.18’de verilmiştir.

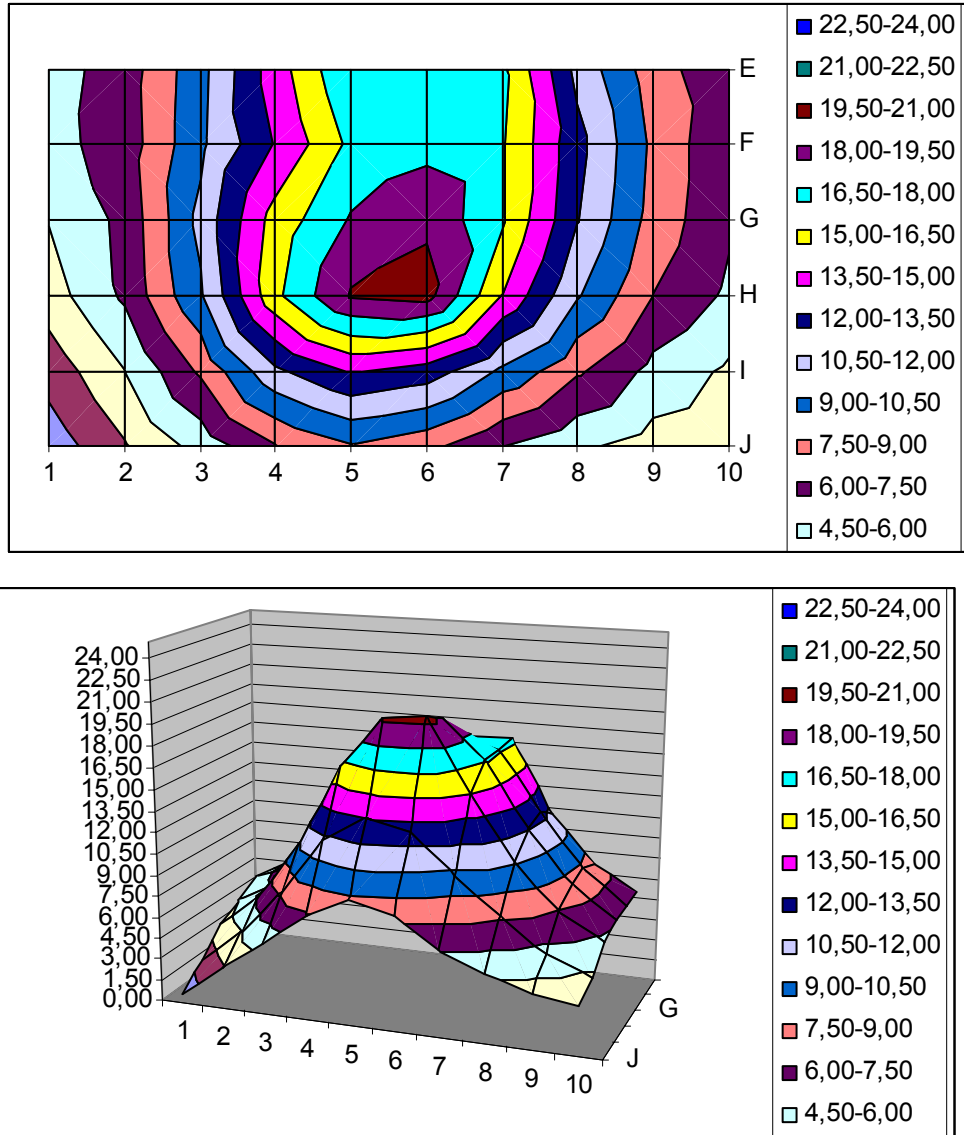


Şekil 4.18 T-T-T ekranlı magnetik alan dağılımı

Çizelge 4.8 T-T-T ekran magnetik alan ölçüm sonuçları

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J	3,89	4	4,21	4,18	4,19	4,39	4,85	4,78	4,49	4,21
I	4,57	4,67	4,84	4,69	4,6	4,57	5,31	5,32	5	4,73
H	4,66	5,4	6	5,89	5,72	5,53	6,44	6,29	5,68	4,71
G	5,33	7	8,22	11,18	18,56	16,54	11,37	8,56	6,5	5
F	6	8,46	11,56	21,7	90	115	23,3	11	7,20	5,44
E	6,33	9,43	13,18	22,15	74	123,3	22,2	11,9	7,96	5,49

4.2.2 T-T-T Ekran için Ekranlama Etkinliğinin Dağılımı

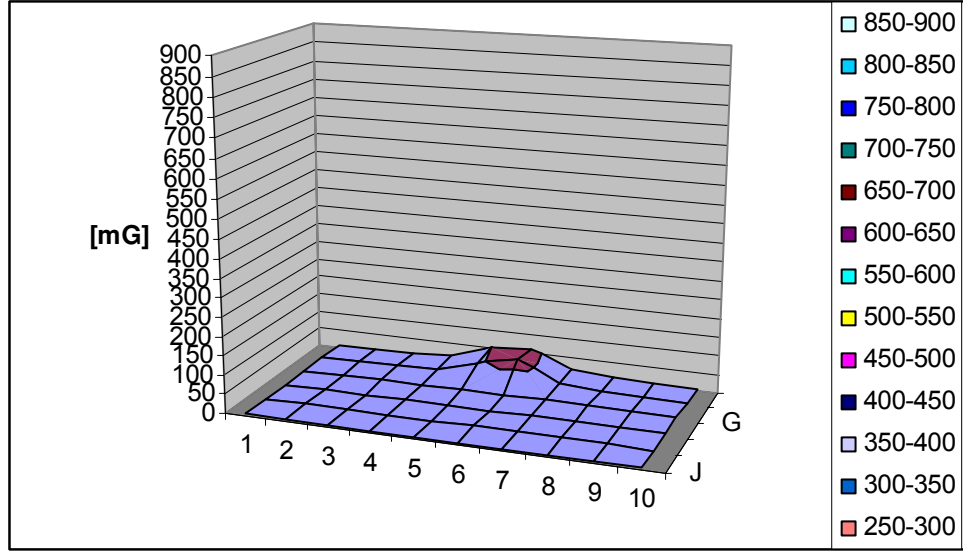


Şekil 4.19 T-T-T (Aralıksız Silindir) ekran için ekranlama etkinliğinin dağılımı

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J	0,62	2,84	5,05	7,37	8,81	7,98	6,05	4,78	3,89	3,36
I	2,07	4,44	7,72	11,68	13,59	12,82	10,18	7,69	5,52	4,23
H	3,78	6,27	10,28	16,12	19,64	20,00	14,95	10,64	7,47	5,70
G	4,55	6,38	10,89	15,60	18,15	19,27	16,68	12,08	8,44	6,25
F	5,50	6,70	10,15	13,59	16,85	17,51	16,70	12,50	8,65	6,26
E	5,34	6,74	10,00	14,31	17,88	16,77	16,88	11,55	8,13	6,42

4.2.3. T-B-T Ekranı için Magnetik Alan Ölçümleri

Ekran malzemesi olarak Trafosacı-Bakır-Trafo sacı kullanılarak deney alanı üzerinde yapılan Magnetik Alan ölçüm sonuçları Çizelge 4.9’da verilmiştir. Bu değerlerden elde edilen, deney sonuçları deney alanının üç boyutlu magnetik alan dağılımı Şekil 4.20’ de verilmiştir.

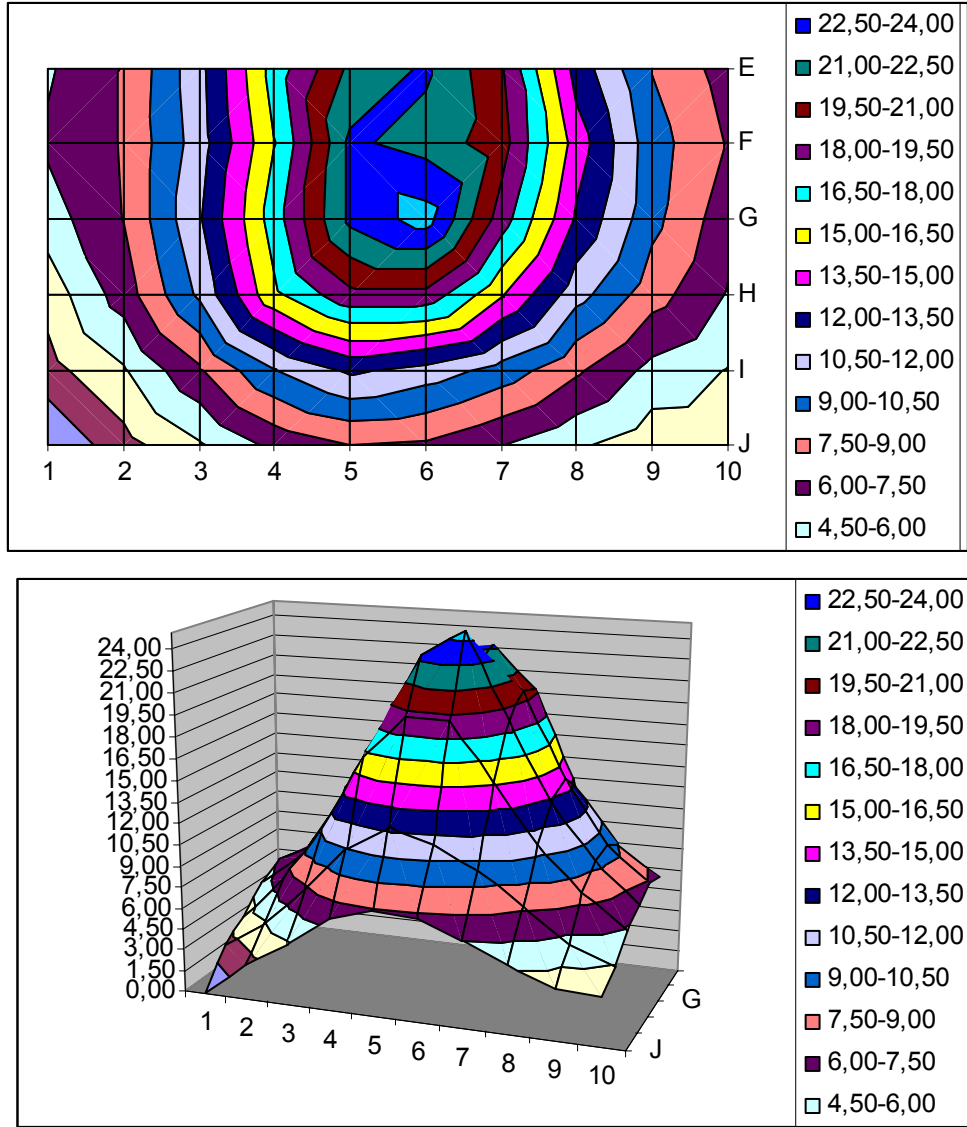


Şekil 4.20 T-B-T ekranlı magnetik alan dağılımı

Çizelge 4.9 T-B-T ekran için magnetik alan ölçüm sonuçları

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J	4,15	4,21	4,57	4,66	4,9	4,8	4,86	4,8	4,67	4,19
I	4,39	4,72	5,09	5,41	5,36	5,41	5,48	5,3	5	4,63
H	4,77	5,12	5,68	5,88	6,09	6,13	6,28	5,99	5,25	4,62
G	4,9	6,13	7,46	9,16	10,8	8,87	9	7,44	5,8	4,8
F	5,51	7,63	10,15	15,64	45,5	69,1	15,64	9	6,4	4,78
E	6	8,56	11,14	16	50	62	16	10,21	7,26	5,23

4.2.4. T-B-T Ekran için Ekranlama Etkinliğinin Dağılımı

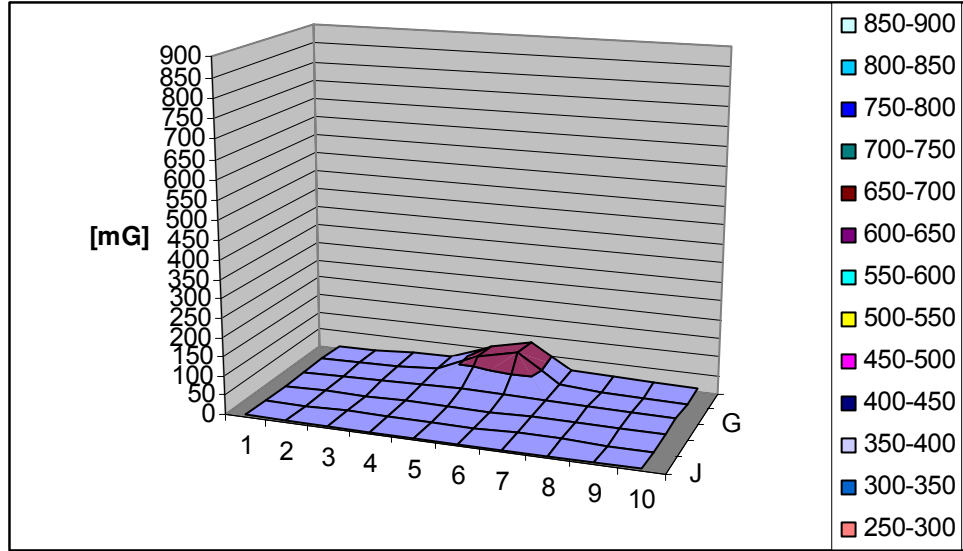


Şekil 4.21 T-B-T (Aralıksız Silindir) ekran için ekranlama etkinliğinin dağılımı

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J	0,06	2,40	4,34	6,42	7,46	7,20	6,03	4,75	3,55	3,40
I	2,42	4,35	7,28	10,44	12,27	11,36	9,90	7,73	5,52	4,42
H	3,58	6,73	10,76	16,14	19,10	19,11	15,17	11,06	8,15	5,87
G	5,28	7,53	11,73	17,34	22,85	24,68	18,71	13,30	9,43	6,61
F	6,24	7,60	11,28	16,43	22,77	21,93	20,16	14,25	9,68	7,38
E	5,80	7,59	11,47	17,13	21,29	22,74	19,72	12,88	8,93	6,84

4.2.5. T-A-T Ekranı için Magnetik Alan Ölçümleri

Ekran malzemesi olarak Trafo sacı-Alüminyum-Trafo sacı kullanılarak deney alanı üzerinde yapılan Magnetik Alan ölçüm sonuçları Çizelge 4.10’da verilmiştir. Bu değerlerden elde edilen, deney sonuçları deney alanının üç boyutlu magnetik alan dağılımı Şekil 4.22’ de verilmiştir.

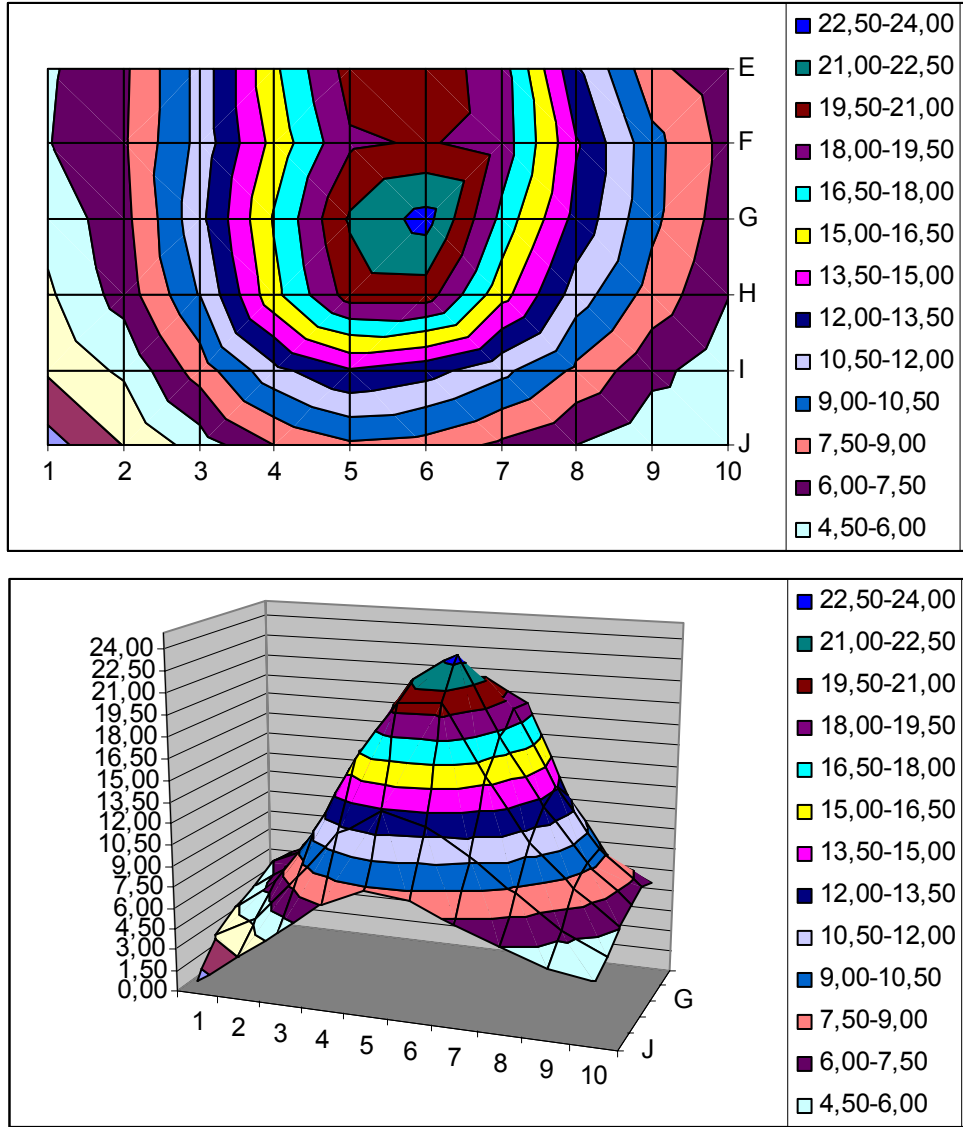


Şekil 4.22 T-A-T ekranlı magnetik alan dağılımı

Çizelge 4.10 T-A-T ekran için magnetik alan ölçüm sonuçları

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J	3,78	3,93	4,15	4,11	4,22	4,2	4,25	4,16	4	3,7
I	4	4,5	4,61	4,77	4,68	4,7	4,9	4,76	4,5	4,33
H	4,4	5,2	5,83	5,94	5,4	5,35	6	5,86	5,1	4,52
G	5,1	6,55	7,69	9,92	13,06	10,7	10,27	7,7	5,86	4,77
F	5,71	7,9	10,5	17,33	68	90	18,05	9,65	6,57	5
E	6	9	11,86	17,71	56,8	81,5	18	11	8,19	5,48

4.2.6. T-A-T Ekran için Ekranlama Etkinliğinin Dağılımı

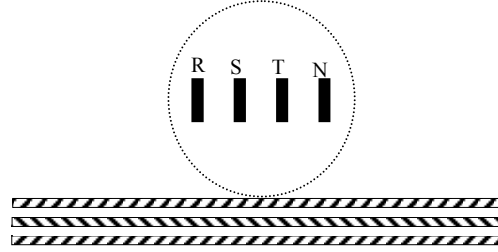


Şekil 4.23 T-A-T (Aralıksız Silindir) ekran için ekranlama etkinliğinin dağılımı

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J	0,87	3,00	5,17	7,51	8,75	8,36	7,19	5,99	4,90	4,48
I	3,23	4,77	8,14	11,54	13,44	12,58	10,88	8,66	6,44	5,00
H	4,28	6,59	10,53	16,05	20,14	20,29	15,56	11,25	8,40	6,06
G	4,93	6,96	11,47	16,64	21,20	23,05	17,57	13,00	9,34	6,66
F	5,93	7,30	10,99	15,54	19,28	19,64	18,91	13,64	9,45	6,99
E	5,80	7,15	10,92	16,25	20,18	20,37	18,70	12,24	7,88	6,44

4.3. Aralıklı Düz Ekranlı Magnetik Alan Ölçümü

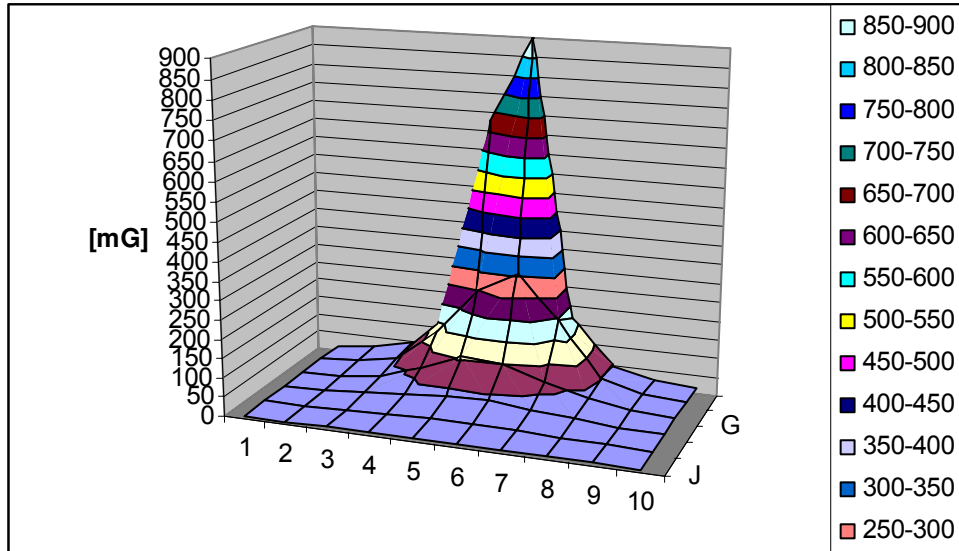
Bu bölümde ekran malzemelerinin aralarında 1.5 cm yalıtkan malzeme bulunan üç kat ve çeşitli malzemeler için deney alanı üzerinde yapılan Magnetik Alan ölçüm sonuçları elde edilmiştir. Bu malzemeler: Trafo sacı (T), Bakır (B) ve Alüminyum (A) dır.



Şekil 4.24 (Aralıklı Düz) Ekran Görünümü

4.3.1. T-T-T Ekranı için Magnetik Alan Ölçümleri

Ekran malzemesi olarak aralarında 1.5 cm yalıtkan malzeme bulunan Trafosacı-Trafo sacı-Trafo sacı kullanılarak deney alanı üzerinde yapılan Magnetik Alan ölçüm sonuçları Çizelge 4.11’de verilmiştir. Bu değerlerden elde edilen, deney sonuçları deney alanının üç boyutlu magnetik alan dağılımı Şekil 4.25’de verilmiştir.

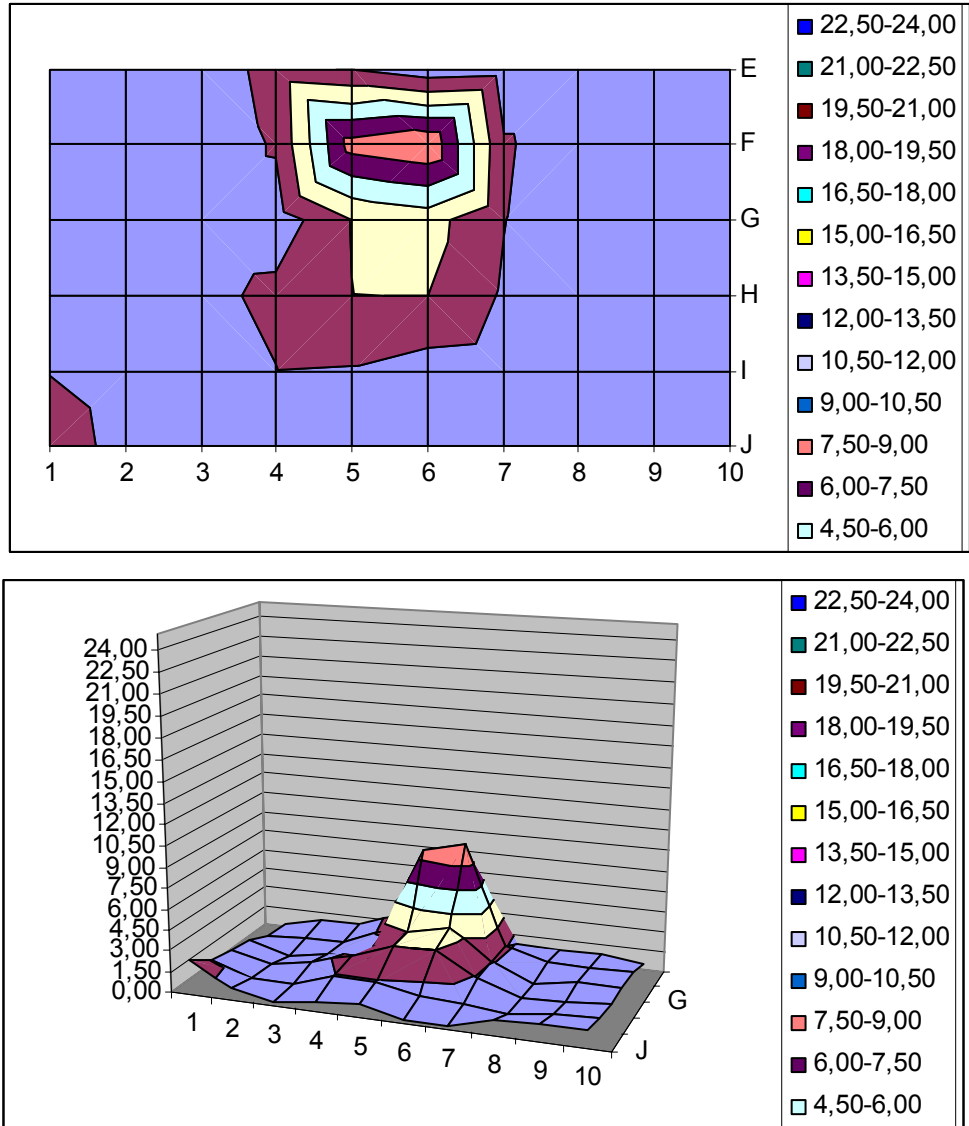


Şekil 4.25 T-T-T ekranlı magnetik alan dağılımı

Çizelge 4.11 T-T-T ekran için magnetik alan ölçüm sonuçları

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J	5,6	6,12	7,33	9,07	10,4	10,72	10	9,37	8,15	7,2
I	6,83	8,31	11,11	15,21	18,8	18,22	15,97	12,37	10,27	8,55
H	8,26	10,54	17,4	30,3	38,9	39,1	30,8	20,6	14,11	9,82
G	10	14,54	27	62,3	105,9	100	65	35,3	18,9	11,15
F	11,15	19	39,2	125,7	245,3	309	192,3	50,7	21,44	12,33
E	12	22,7	46,5	142,2	682	900	168,6	48,8	22	12

4.3.2. T-T-T Ekran için Ekranlama Etkinliğinin Dağılımı

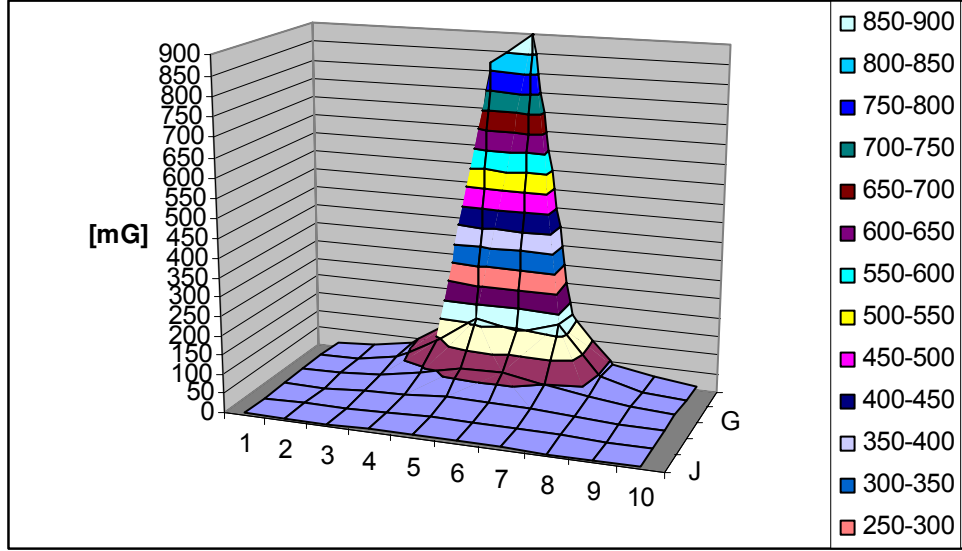


Şekil 4.26 T-T-T (Aralıklı Düz) ekran için ekranlama etkinliğinin dağılımı

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J	2,54	0,85	0,23	0,64	0,92	0,22	0,24	1,06	1,28	1,30
I	1,42	0,56	0,50	1,46	1,37	0,81	0,61	0,36	0,73	0,91
H	1,19	0,46	1,03	1,90	2,99	3,01	1,36	0,33	0,44	0,68
G	0,92	0,03	0,56	0,68	3,02	3,64	1,54	0,22	0,83	0,71
F	0,12	0,33	0,45	1,67	8,14	8,92	1,64	0,77	0,82	0,85
E	0,22	0,89	0,95	1,84	1,41	0,50	0,73	0,70	0,70	0,37

4.3.3. T-B-T Ekranı için Magnetik Alan Ölçümleri

Ekran malzemesi olarak aralarında 1.5 cm yalıtkan malzeme bulunan Trafo sacı-Bakır-Trafo sacı kullanılarak deney alanı üzerinde yapılan Magnetik Alan ölçüm sonuçları Çizelge 4.12’de verilmiştir. Bu değerlerden elde edilen, deney sonuçları deney alanının üç boyutlu magnetik alan dağılımı Şekil 4.27 ‘da verilmiştir.

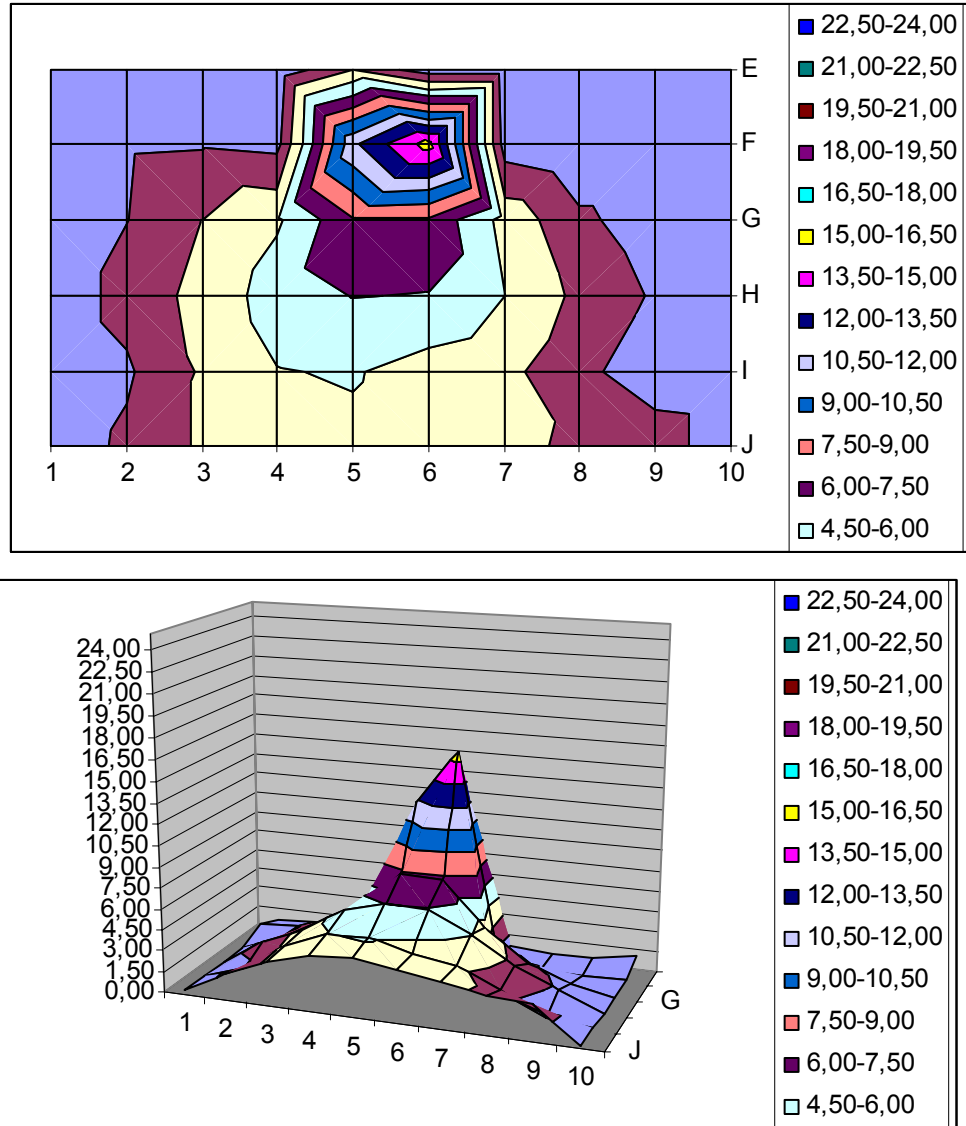


Şekil 4.27 T-B-T ekranlı magnetik alan dağılımı

Çizelge 4.12 T-B-T ekran için magnetik alan ölçüm sonuçları

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J	4	4,5	5,21	6,18	7,14	7,13	6,66	6	5,24	6,28
I	6	6,74	8,14	10,8	12,93	12,84	11,6	10,28	9	7,54
H	7	8,69	13,21	20,66	27,4	27,9	21,42	15,85	11,51	8,98
G	8,8	12,33	20,35	41,1	64,5	66,1	49	28	15,82	10,31
F	9,96	15,75	31,7	91,8	162	142,9	172,9	45,6	19	10,9
E	11,13	19	38,3	110	820	900	165,7	43,2	19,2	10,32

4.3.4. T-B-T Ekran için Ekranlama Etkinliğinin Dağılımı

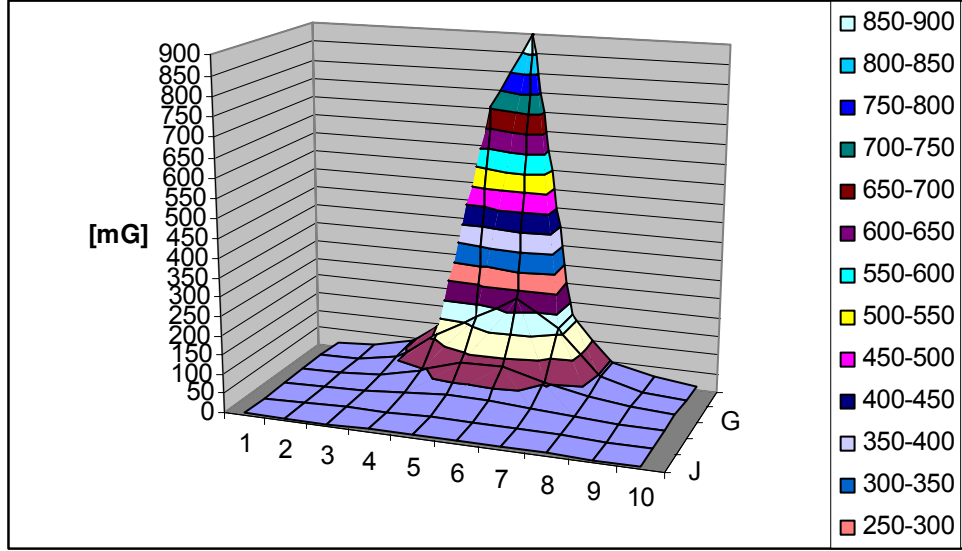


Şekil 4.28 T-B-T (Aralıklı Düz) ekran için ekranlama etkinliğinin dağılımı

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J	0,38	1,82	3,20	3,97	4,19	3,77	3,29	2,81	2,55	0,11
I	0,29	1,26	3,20	4,44	4,62	3,85	3,39	1,97	0,41	0,18
H	0,24	2,13	3,43	5,22	6,04	5,94	4,51	2,61	1,33	0,10
G	0,20	1,46	3,02	4,30	7,33	7,23	3,99	1,79	0,71	0,03
F	1,10	1,30	1,39	1,06	11,74	15,62	0,71	0,15	0,23	0,22
E	0,43	0,66	0,74	0,39	3,01	0,50	0,58	0,35	0,48	0,94

4.3.5. T-A-T Ekranı için Magnetik Alan Ölçümleri

Ekran malzemesi olarak aralarında 1.5 cm yalıtkan malzeme bulunan Trafo sacı-Alüminyum-Trafo sacı kullanılarak deney alanı üzerinde yapılan Magnetik Alan ölçüm sonuçları Çizelge 4.13’de verilmiştir. Bu değerlerden elde edilen, deney sonuçları deney alanının üç boyutlu magnetik alan dağılımı Şekil 4.29’de verilmiştir.

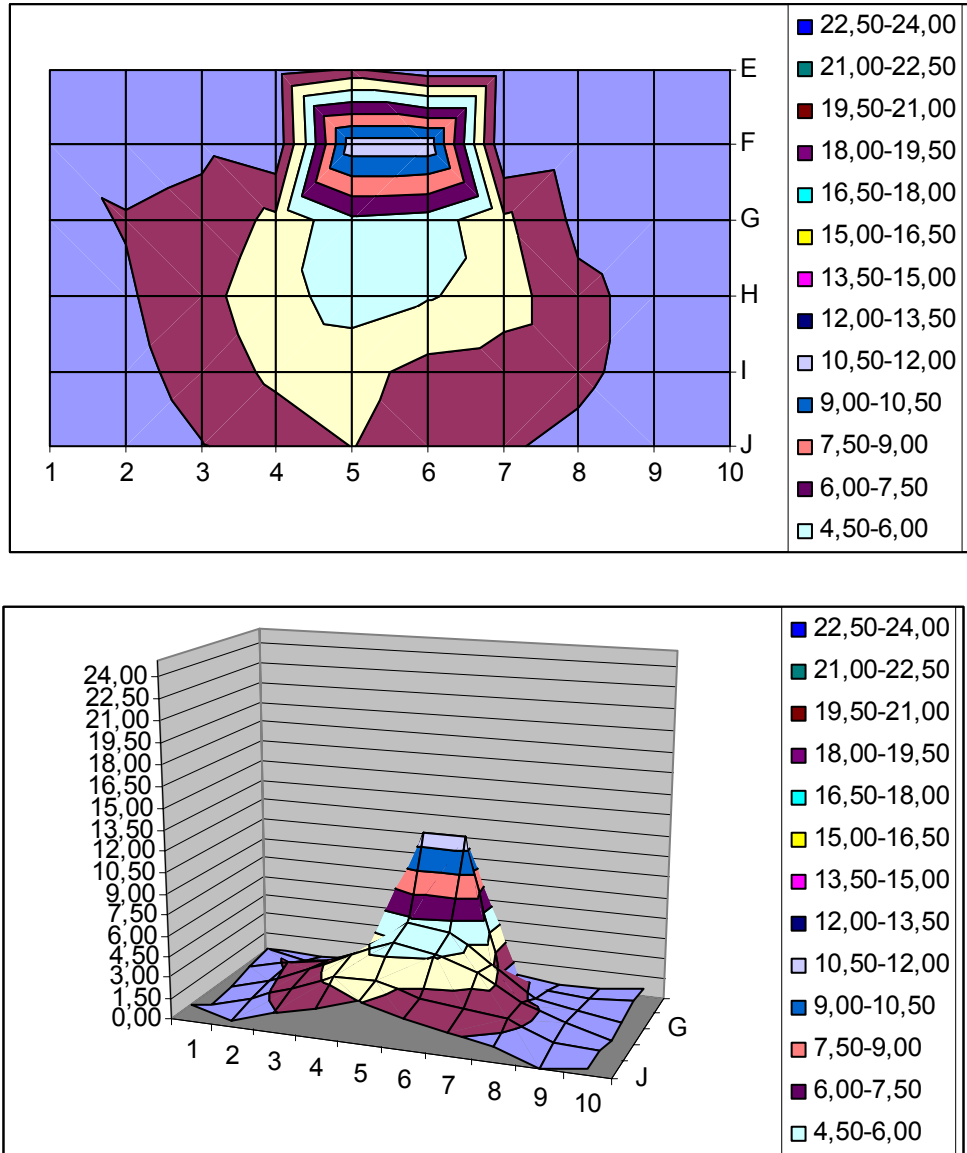


Şekil 4.29 T-A-T ekranlı magnetik alan dağılımı

Çizelge 4.13 T-A-T ekran için magnetik alan ölçüm sonuçları

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J	4,82	5,26	6,39	7,64	8,15	8,54	8,02	7,31	7	5,87
I	5,84	6,96	9,20	12,26	14,73	15	13,23	10,37	8,75	7,25
H	6,9	9,59	14,58	24	30,1	32,4	23,56	17,26	12,03	9,1
G	8,07	12,13	22,8	45,8	78,3	82,4	53,2	30,2	16	10,45
F	9,77	16,7	32,6	107,6	168	231,2	160,5	43,1	18,47	10,27
E	11,45	20,26	40,8	125,4	708	900	164,3	44,7	20	10,82

4.3.6. T-A-T Ekran için Ekranlama Etkinliğinin Dağılımı



Şekil 4.30 T-A-T (Aralıklı Düz) ekran için ekranlama etkinliğinin dağılımı

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J	1,24	0,47	1,43	2,13	3,04	2,20	1,68	1,09	0,04	0,48
I	0,06	0,98	2,14	3,34	3,48	2,50	2,25	1,90	0,66	0,52
H	0,37	1,28	2,57	3,92	5,22	4,64	3,68	1,87	0,95	0,02
G	0,95	1,60	2,03	3,36	5,65	5,32	3,28	1,13	0,61	0,15
F	1,26	0,79	1,15	0,32	11,43	11,44	0,07	0,64	0,47	0,74
E	0,19	0,10	0,19	0,75	1,73	0,50	0,51	0,06	0,13	0,53

4.4. Aralıksız Düz Ekranlı Magnetik Alan Ölçümü

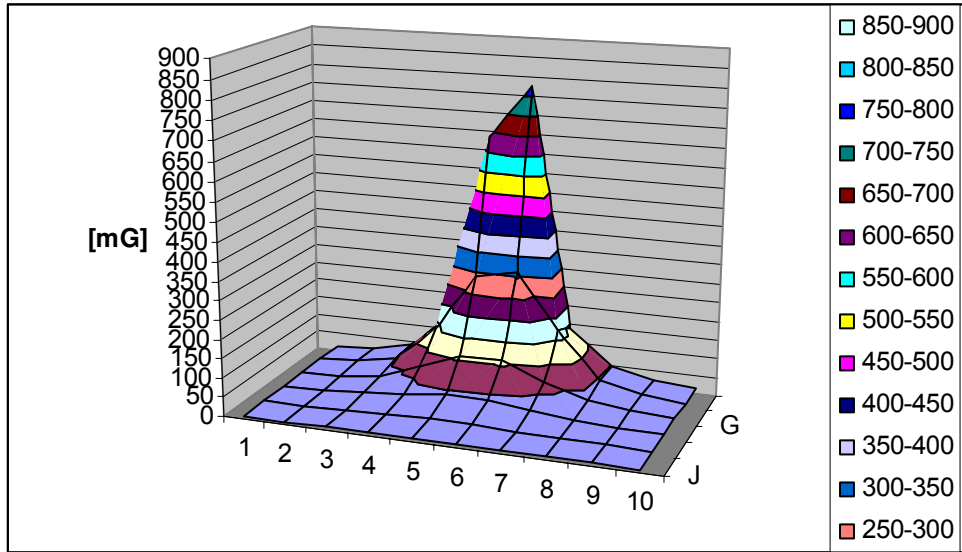
Bu bölümde ekran malzemelerinin aralarında yalıtkan malzeme bulunmadan üç kat ve çeşitli malzemeler için deney alanı üzerinde yapılan Magnetik Alan ölçüm sonuçları elde edilmiştir. Bu malzemeler: Trafo sacı (T), Bakır (B) ve Alüminyum (A) dır.



Şekil 4.31 (Aralıksız Düz) Ekran Görünümü

4.4.1. T-T-T Ekranı için Magnetik Alan Ölçümleri

Ekran malzemesi olarak Trafo sacı-Trafo sacı-Trafo sacı kullanılarak deney alanı üzerinde yapılan Magnetik Alan ölçüm sonuçları Çizelge 4.14’de verilmiştir. Bu değerlerden elde edilen, deney sonuçları deney alanının üç boyutlu magnetik alan dağılımı Şekil 4. 32’ de verilmiştir.

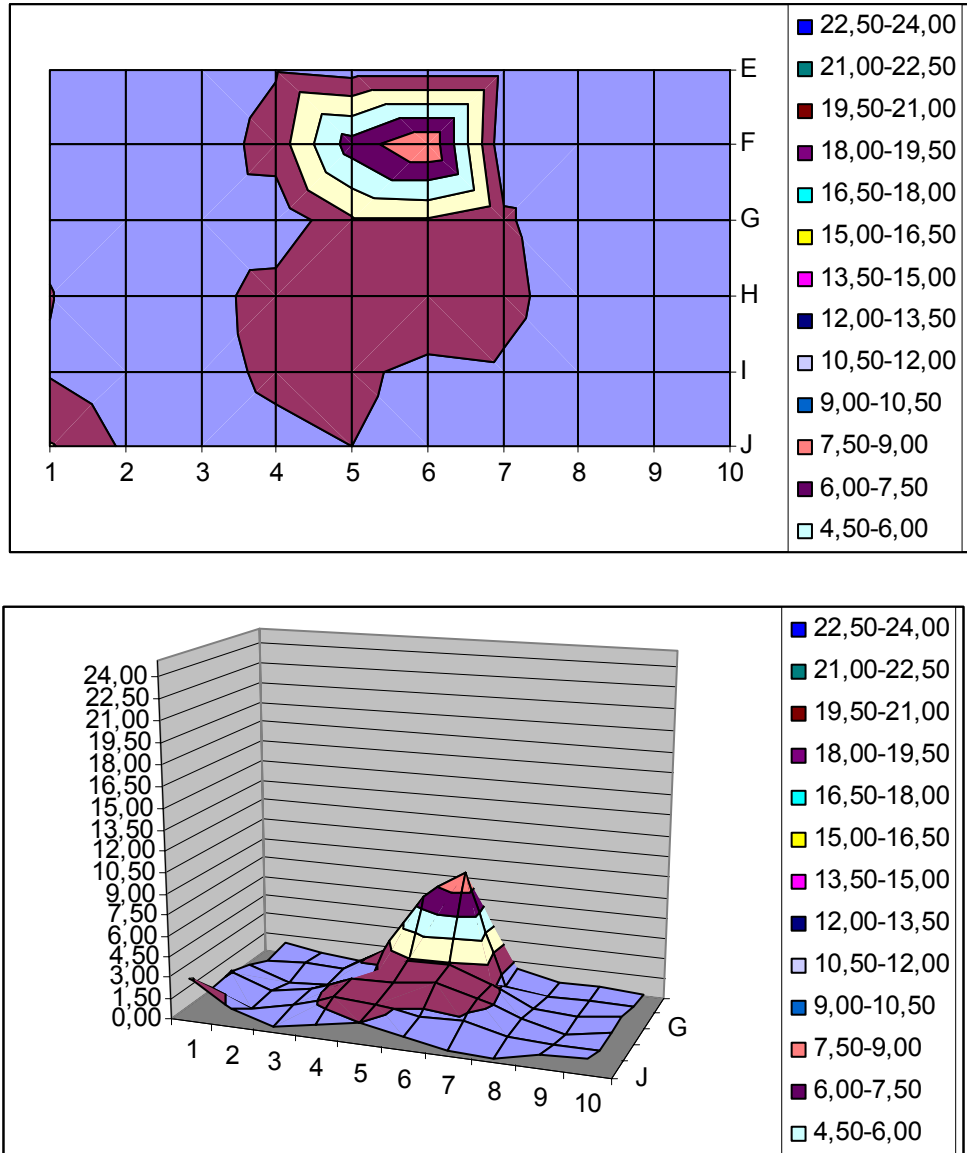


Şekil 4.32 T-T-T ekranlı magnetik alan dağılımı

Çizelge 4.14 T-T-T ekran için magnetik alan ölçüm sonuçları

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J	6	6,41	7,16	8,7	9,73	9,8	9,3	8,53	7,83	7
I	6,77	8	10,61	14,49	18	17,49	14,72	12,09	9,9	8,17
H	8,63	10,55	17,6	29,5	42,3	40,7	29	19,54	13,48	9,69
G	10,17	14,55	27,8	64,4	108,9	109	63,6	33	17,62	11,09
F	11,77	19,6	39,5	134,7	289	311	170	45	20,23	11,51
E	12,8	21,3	42,1	134,3	640	778	140,5	46	21,1	11,44

4.4.2. T-T-T Ekran için Ekranlama Etkinliğinin Dağılımı

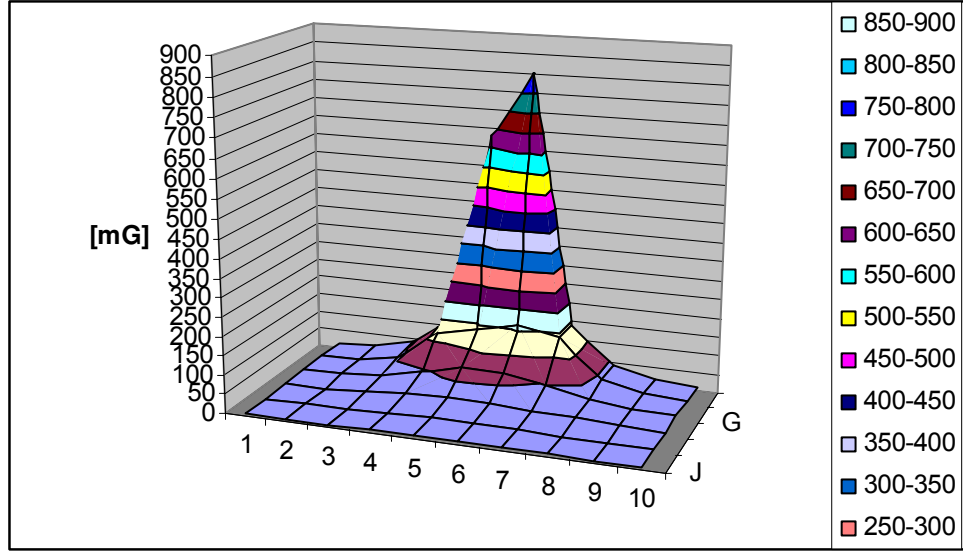


Şekil 4.33 T-T-T (Aralıksız Düz) ekran için ekranlama etkinliğinin dağılımı

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J	3,14	1,25	0,44	1,00	1,50	1,00	0,39	0,25	0,94	1,05
I	1,34	0,23	0,90	1,88	1,74	1,16	1,32	0,56	0,41	0,51
H	1,57	0,45	0,93	2,13	2,26	2,66	1,88	0,79	0,04	0,56
G	1,06	0,02	0,31	0,40	2,78	2,89	1,73	0,36	0,22	0,67
F	0,35	0,60	0,52	2,27	6,71	8,87	0,56	0,27	0,32	0,25
E	0,78	0,33	0,08	1,35	0,86	0,77	0,85	0,19	0,34	0,05

4.4.3. T-B-T Ekranı için Magnetik Alan Ölçümleri

Ekran malzemesi Trafo sacı-Bakır-Trafo sacı kullanılarak deney alanı üzerinde yapılan Magnetik Alan ölçüm sonuçları Çizelge 4.15’de verilmiştir. Bu değerlerden elde edilen, deney sonuçları deney alanının üç boyutlu magnetik alan dağılımı Şekil 4.34’ da verilmiştir.

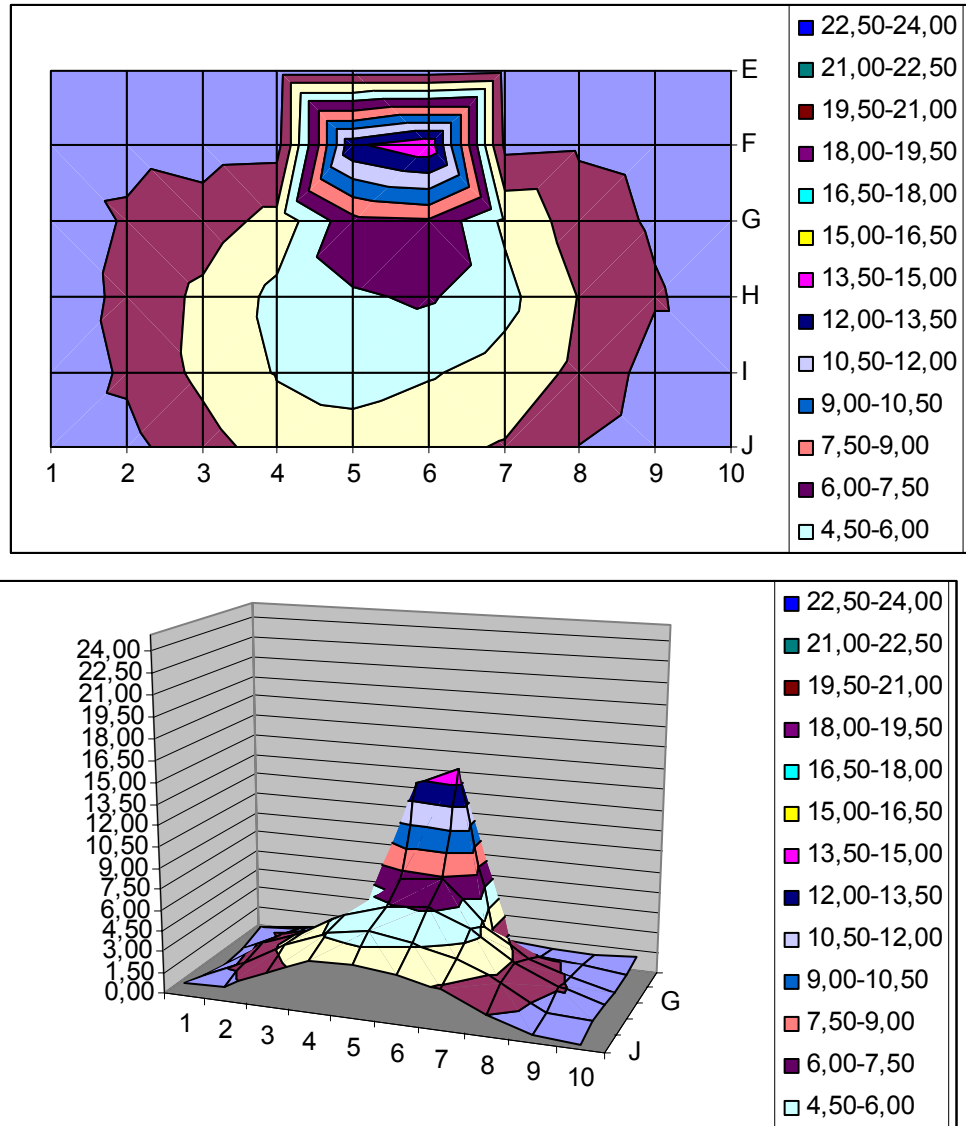


Şekil 4.34 T-B-T ekranlı magnetik alan dağılımı

Çizelge 4.15 T-B-T ekran için magnetik alan ölçüm sonuçları

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J	4,6	4,91	5,68	6,43	7,47	7,38	7	7	6,56	6,47
I	6,05	6,37	8,01	10,60	12,18	11,73	10,9	9,53	8,52	7
H	7,17	8,76	13,43	21,4	28	27,2	20,36	15,33	11,1	8,33
G	8,8	12,04	22,2	45	67	65	47,7	26,7	14,8	9,73
F	10	16,03	34	115,1	136,2	161	139,9	39,9	17,29	10,25
E	11,7	19,6	40,9	125	630	800	137	41	18,5	10,32

4.4.4. T-B-T Ekran için Ekranlama Etkinliğinin Dağılımı

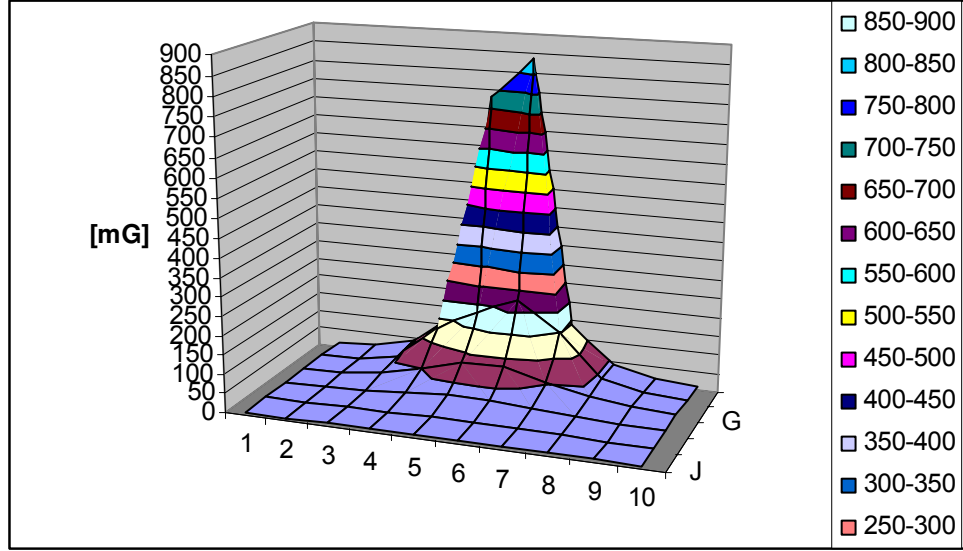


Şekil 4.35 T-B-T (Aralıksız Düz) ekran için ekranlama etkinliğinin dağılımı

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J	0,83	1,06	2,45	3,62	3,79	3,47	2,86	1,47	0,60	0,37
I	0,37	1,75	3,34	4,60	5,14	4,63	3,93	2,63	0,89	0,83
H	0,04	2,06	3,28	4,92	5,85	6,16	4,95	2,90	1,65	0,75
G	0,20	1,67	2,26	3,51	7,00	7,38	4,23	2,20	1,29	0,47
F	1,06	1,15	0,78	0,91	13,25	14,58	1,13	1,31	1,04	0,75
E	0,00	0,39	0,17	0,72	0,72	0,53	1,07	0,81	0,81	0,94

4.4.5. T-A-T Ekranı için Magnetik Alan Ölçümleri

Ekran malzemesi olarak Trafo sacı-Alüminyum-Trafo sacı kullanılarak deney alanı üzerinde yapılan Magnetik Alan ölçüm sonuçları Çizelge 4.16’da verilmiştir. Bu değerlerden elde edilen, deney sonuçları deney alanının üç boyutlu magnetik alan dağılımı Şekil 4.36’ de verilmiştir.

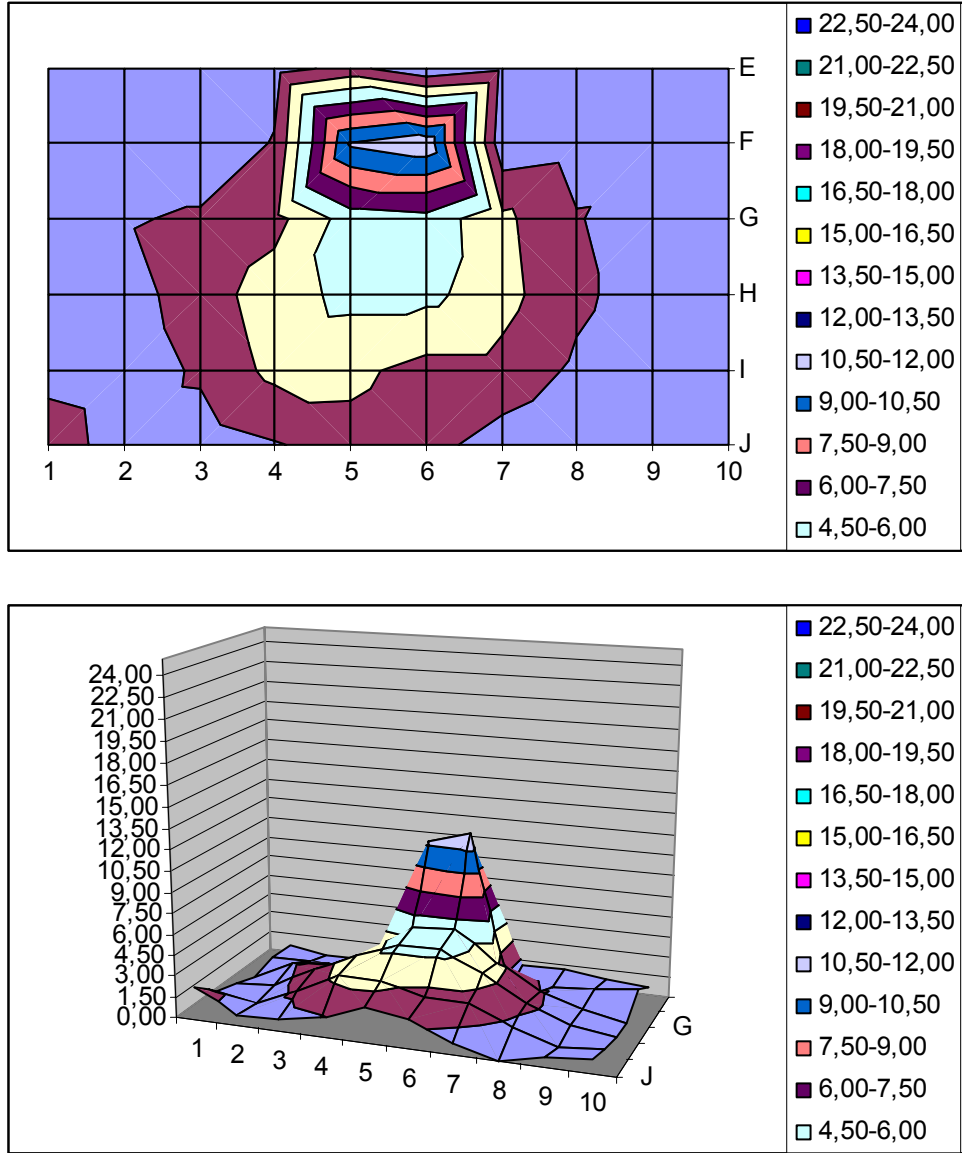


Şekil 4.36 T-A-T ekranlı magnetik alan dağılımı

Çizelge 4.16 T-A-T ekran için magnetik alan ölçüm sonuçları

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J	5,50	6,05	6,87	8,36	8,69	8,74	8,85	8,33	7,65	6,99
I	6,47	7,30	9,65	12,17	14,98	15,04	12,81	11,23	9,66	8,17
H	7,66	10,08	15,05	24,5	31,1	31,4	24,02	17,28	12,53	9,24
G	9	12,46	23,7	50,3	82,3	81,3	52,8	28,6	16,03	10,35
F	10,58	17,12	35,5	124,9	183	227,9	151,5	42	17,38	9,53
E	12,46	20,26	41,6	127,5	730	839	137,3	39,7	18,5	10,83

4.4.6. T-A-T Ekran için Ekranlama Etkinliğinin Dağılımı

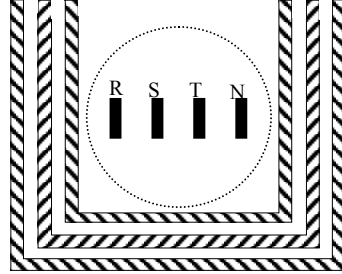


Şekil 4.37 T-A-T (Aralıksız Düz) ekran için ekranlama etkinliğinin dağılımı

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J	2,38	0,75	0,80	1,34	2,48	2,00	0,82	0,04	0,73	1,04
I	0,95	0,56	1,72	3,40	3,34	2,48	2,53	1,20	0,20	0,51
H	0,54	0,85	2,29	3,74	4,94	4,92	3,51	1,86	0,60	0,15
G	0,00	1,37	1,69	2,54	5,21	5,44	3,34	1,60	0,60	0,07
F	0,57	0,58	0,41	1,62	10,68	11,57	0,44	0,87	1,00	1,39
E	0,55	0,10	0,02	0,90	2,00	0,11	1,05	1,09	0,81	0,52

4.5. Aralıklı U Tipi Ekranlı Magnetik Alan Ölçümü

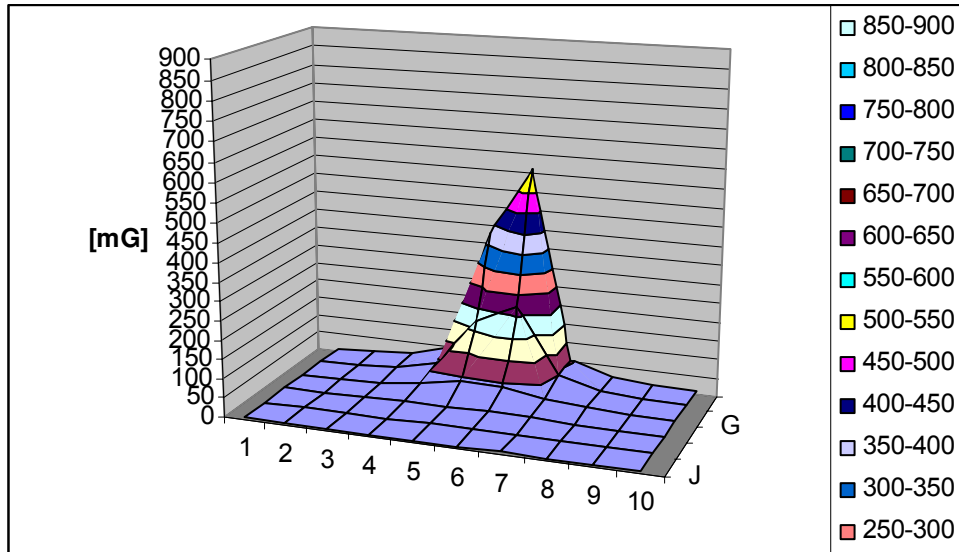
Bu bölümde ekran malzemelerinin aralarında 1.5 cm yalıtkan malzeme bulunan üç kat ve çeşitli malzemeler için deney alanı üzerinde yapılan Magnetik Alan ölçüm sonuçları elde edilmiştir. Bu malzemeler: Trafo sacı (T), Bakır (B) ve Alüminyum (A) dır.



Şekil 4.38 (Aralıklı U Tipi) Ekran Görünümü

4.5.1. T-T-T Ekranı için Magnetik Alan Ölçümleri

Ekran malzemesi olarak aralarında 1.5 cm yalıtkan malzeme bulunan Trafo sacı-Trafo sacı-Trafo sacı kullanılarak deney alanı üzerinde yapılan Magnetik Alan ölçüm sonuçları Çizelge 4.17’de verilmiştir. Bu değerlerden elde edilen, deney sonuçları deney alanının üç boyutlu magnetik alan dağılımı Şekil 4.39’da verilmiştir.

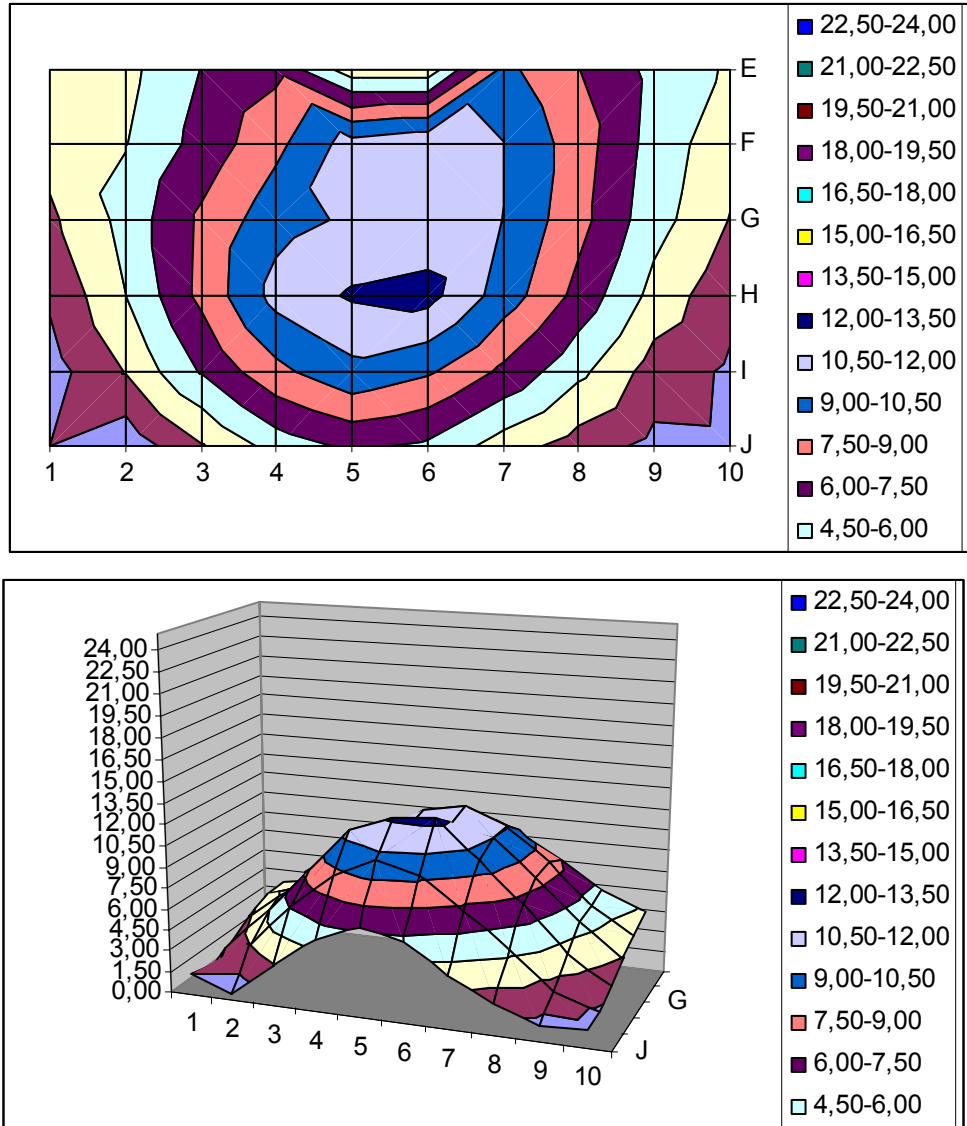


Şekil 4.39 T-T-T ekranlı magnetik alan dağılımı

Çizelge 4.17 T-T-T ekran için magnetik alan ölçüm sonuçları

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J	4,97	5,26	5,43	5,40	5,6	5,7	6,3	6,4	6,2	5,40
I	5,24	5,47	5,8	6,69	6,88	6,90	7,5	7,36	7,22	6,66
H	5,91	6,63	7,92	10,59	13,52	13,12	11,66	9,5	8,5	7,24
G	6,59	8,22	11,74	21,4	43,7	42,4	23,2	13,74	9,54	7,32
F	7,52	10,97	17,5	38,4	172,5	222	47,3	17,98	10,47	7,5
E	7,83	12,88	20,79	50,5	382	560	52,5	18,9	10,67	7

4.5.2. T-T-T Ekran için Ekranlama Etkinliğinin Dağılımı

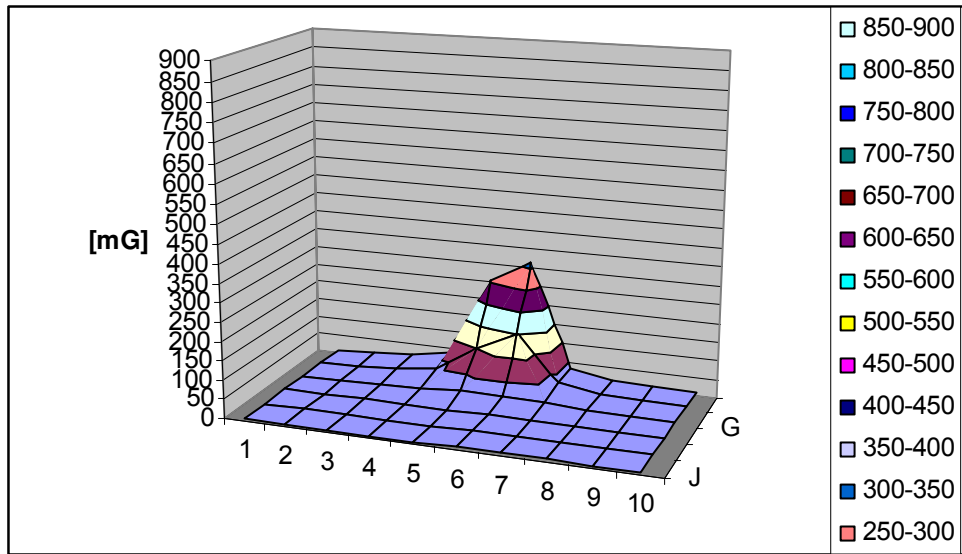


Şekil 4.40 T-T-T (Aralıklı U Tipi) ekran için ekranlama etkinliğinin dağılımı

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J	1,50	0,47	2,84	5,14	6,30	5,71	3,78	2,25	1,09	1,20
I	0,88	3,07	6,15	8,60	10,10	9,24	7,18	4,87	2,33	1,26
H	1,71	4,48	7,87	11,03	12,17	12,50	9,79	7,05	3,97	1,97
G	2,71	4,98	7,79	9,96	10,71	11,09	10,49	7,97	5,10	2,94
F	3,54	4,44	6,55	8,63	11,20	11,79	10,55	8,23	5,40	3,47
E	3,49	4,04	6,05	7,15	3,63	3,62	9,40	7,54	5,59	4,31

4.5.3. T-B-T Ekranı için Magnetik Alan Ölçümleri

Ekran malzemesi olarak aralarında 1.5 cm yalıtkan malzeme bulunan Trafo sacı-Bakır-Trafo sacı kullanılarak deney alanı üzerinde yapılan Magnetik Alan ölçüm sonuçları Çizelge 4.18’de verilmiştir. Bu değerlerden elde edilen, deney sonuçları deney alanının üç boyutlu magnetik alan dağılımı Şekil 4.41’de verilmiştir.

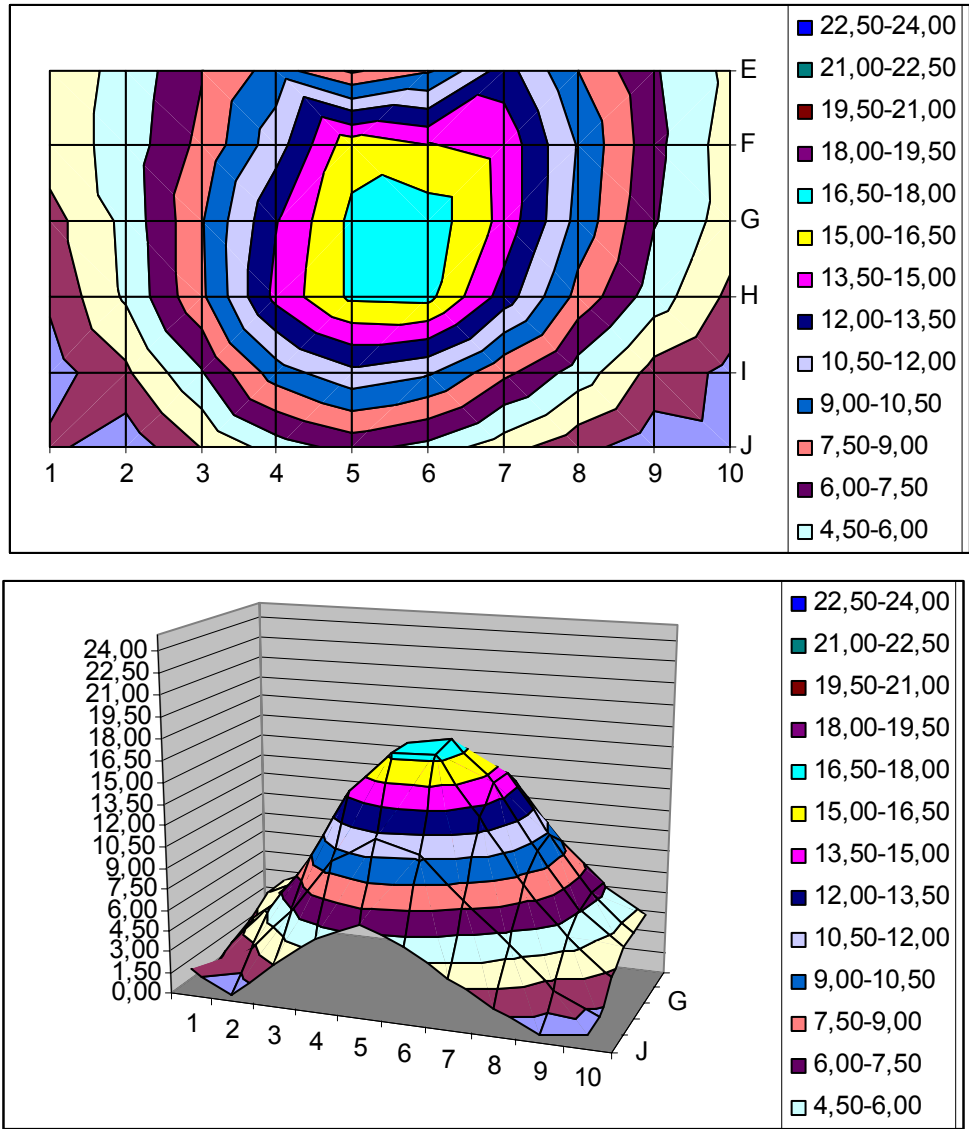


Şekil 4.41 T-B-T ekranlı magnetik alan dağılımı

Çizelge 4.18 T-B-T ekran için magnetik alan ölçüm sonuçları

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J	5,18	5,27	5,32	5,33	5,42	5,86	6,42	6,6	6,56	5,55
I	5,32	5,7	6	5,82	5,8	5,8	6,89	7	7,12	6,79
H	5,86	6,45	7,18	7,61	7,89	7,83	8,21	8,08	7,34	6,67
G	6,81	8,29	10,38	14,40	21,6	20,53	14,56	10,91	8,52	6,65
F	7,34	10,24	15	28	100	152	30	14,17	9,33	7,26
E	7,58	11,68	17,77	37,6	251,3	313	35,9	16	10	7,15

4.5.4 . T-B-T Ekran için Ekranlama Etkinliğinin Dağılımı

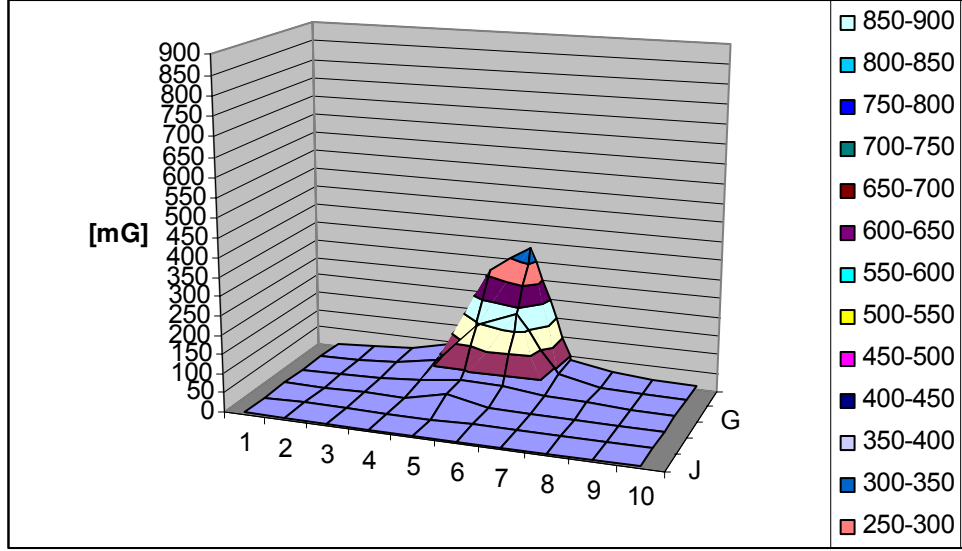


Şekil 4.42 T-B-T (Aralıklı U Tipi) ekran için ekranlama etkinliğinin dağılımı

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J	1,86	0,45	3,02	5,25	6,58	5,47	3,61	1,98	0,60	0,96
I	0,75	2,71	5,85	9,81	11,58	10,75	7,92	5,31	2,45	1,09
H	1,79	4,72	8,72	13,90	16,85	16,98	12,84	8,46	5,24	2,68
G	2,42	4,91	8,86	13,41	16,83	17,39	14,53	9,97	6,09	3,77
F	3,75	5,04	7,89	11,37	15,93	15,08	14,50	10,30	6,40	3,75
E	3,77	4,89	7,41	9,71	7,26	8,68	12,70	8,98	6,15	4,13

4.5.5. T-A-T Ekranı için Magnetik Alan Ölçümleri

Ekran malzemesi olarak aralarında 1.5 cm yalıtkan malzeme bulunan Trafosacı-Alüminyum-Trafo sacı kullanılarak deney alanı üzerinde yapılan Magnetik Alan ölçüm sonuçları Çizelge 4.19’da verilmiştir.Bu değerlerden elde edilen, deney sonuçları deney alanının üç boyutlu magnetik alan dağılımı Şekil 4.43’de verilmiştir.

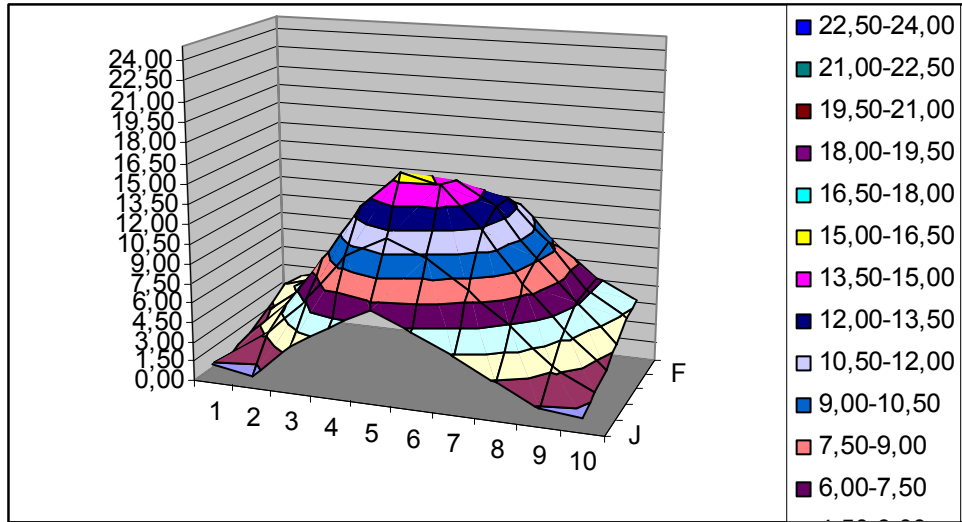
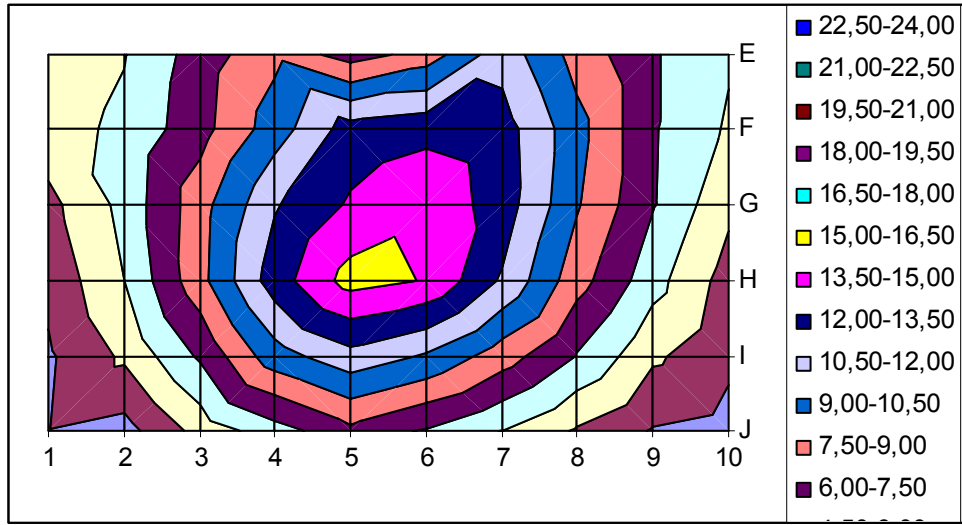


Şekil 4.43 T-A-T ekranlı magnetik alan dağılımı

Çizelge 4.19 T-A-T ekran için magnetik alan ölçüm sonuçları

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J	4,94	5	5	5,28	5,13	5,66	5,84	6	6	5,53
I	5	5,36	5,76	5,78	5,9	6,11	6,66	6,55	6,47	6,25
H	5,8	6,61	7,41	8,65	9,11	9,93	9,23	8,4	7,5	6,92
G	6,68	8,25	11	17,23	31	28,5	17,74	12	8,5	7
F	7,25	10,5	16,7	33,6	145	190	37,1	15,52	9,6	6,83
E	7,72	12,33	19,22	42,6	266	335	41,6	17,1	10	6,7

4.5.6 . T-A-T Ekran için Ekranlama Etkinliğinin Dağılımı

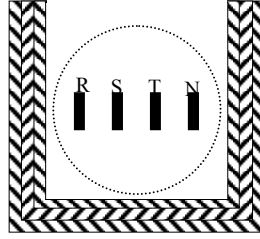


Şekil 4.44 T-A-T (Aralıklı U Tipi) ekran için ekranlama etkinliğinin dağılımı

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J	1,45	0,91	3,56	5,34	7,06	5,77	4,43	2,81	1,38	0,99
I	1,29	3,25	6,21	9,87	11,43	10,30	8,21	5,89	3,28	1,81
H	1,88	4,51	8,45	12,79	15,60	14,92	11,82	8,12	5,05	2,36
G	2,59	4,95	8,36	11,85	13,69	14,54	12,82	9,15	6,11	3,33
F	3,85	4,83	6,96	9,79	12,70	13,15	12,66	9,51	6,16	4,28
E	3,61	4,42	6,73	8,63	6,77	8,09	11,42	8,40	6,15	4,69

4.6. Aralıksız U Tipi Ekranlı Magnetik Alan Ölçümü

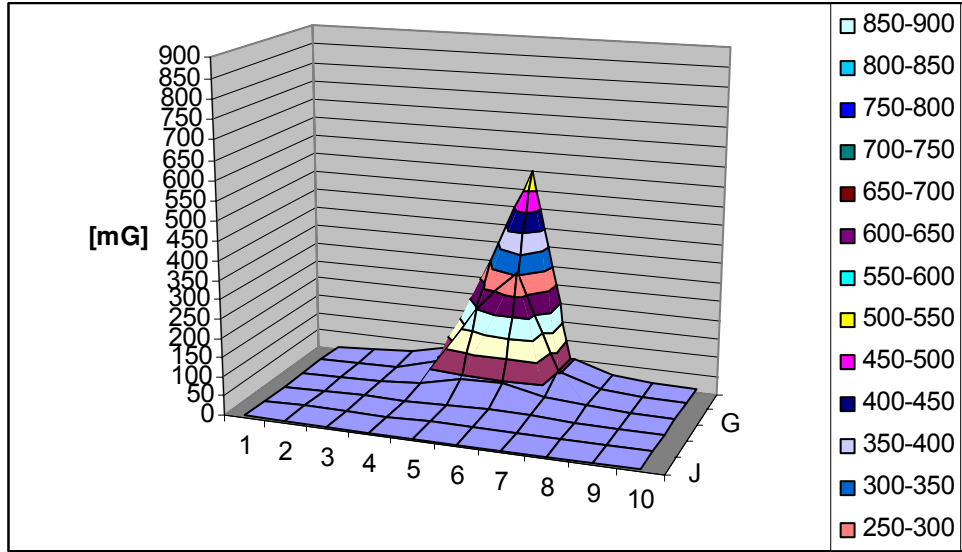
Bu bölümde ekran malzemelerinin aralarında yalıtkan malzeme bulunmadan üç kat ve çeşitli malzemeler için deney alanı üzerinde yapılan Magnetik Alan ölçüm sonuçları elde edilmiştir. Bu malzemeler: Trafo sacı (T), Bakır (B) ve Alüminyum (A) dır.



Şekil 4.45 (Aralıksız U Tipi) Ekran Görünümü

4.6.1. T-T-T Ekranı İçin Magnetik Alan Ölçümleri

Ekran malzemesi olarak Trafo sacı-Trafo sacı-Trafo sacı kullanılarak deney alanı üzerinde yapılan Magnetik Alan ölçüm sonuçları Çizelge 4.20’de verilmiştir. Bu değerlerden elde edilen, deney sonuçları deney alanının üç boyutlu magnetik alan dağılımı Şekil 4.46’ de verilmiştir.

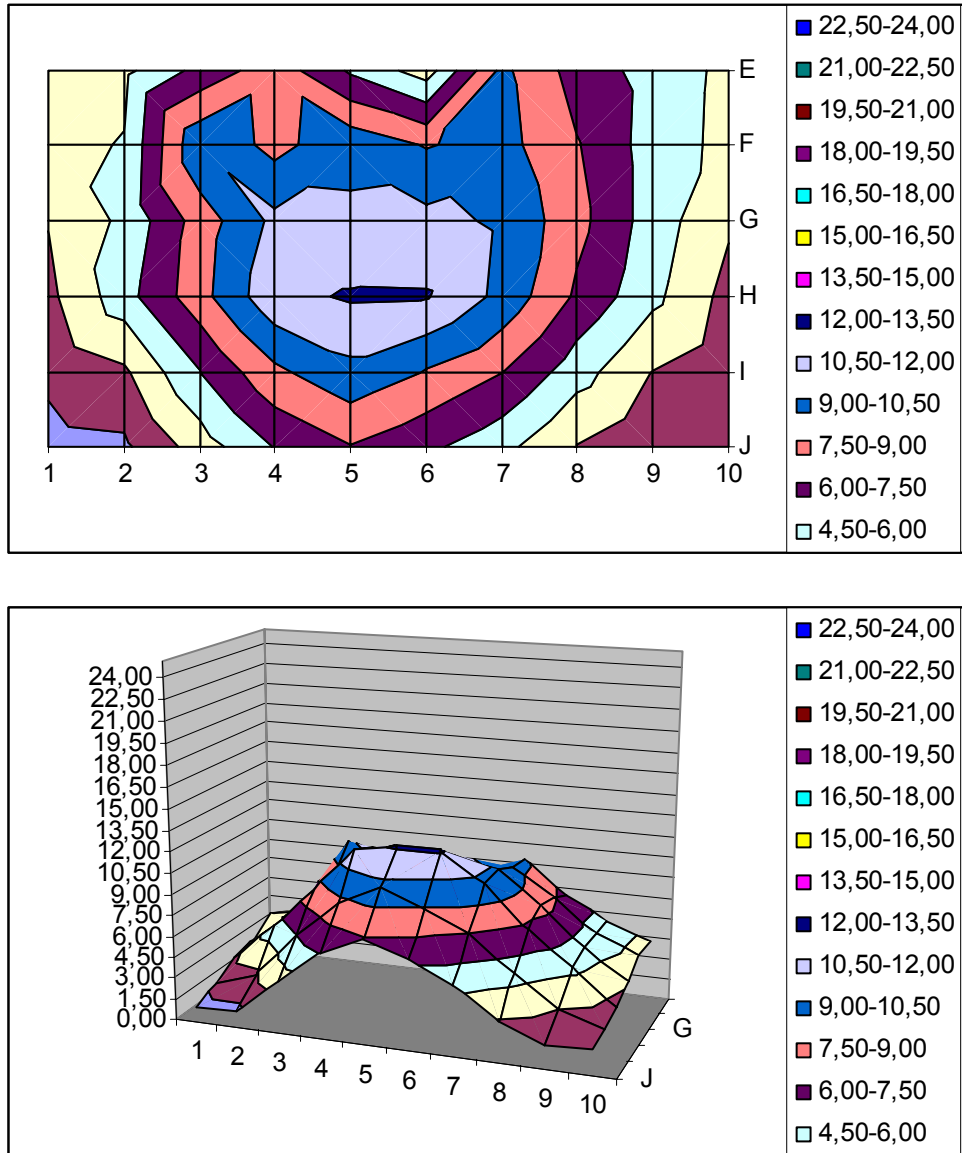


Şekil 4.46 T-T-T ekranlı magnetik alan dağılımı

Çizelge 4.20 T-T-T ekran için magnetik alan ölçüm sonuçları

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J	4,72	4,84	4,9	4,85	4,95	5,30	5,49	5,94	5,78	5
I	4,73	5,68	5,92	6,63	6,91	7,18	7,21	7,14	6,72	6,13
H	5,30	5,98	7,41	9,92	13,56	13,68	11,25	9,34	7,69	6,8
G	6,33	8,36	11,20	19,25	43,1	43,1	23,8	13,7	9,36	7,1
F	7,06	10,8	11,4	38,8	197,5	310	53	19,33	10,6	7
E	8	12,72	19,83	43,7	299	550	52,8	20,3	10,94	7,13

4.6.2. T-T-T Ekran için Ekranlama Etkinliğinin Dağılımı

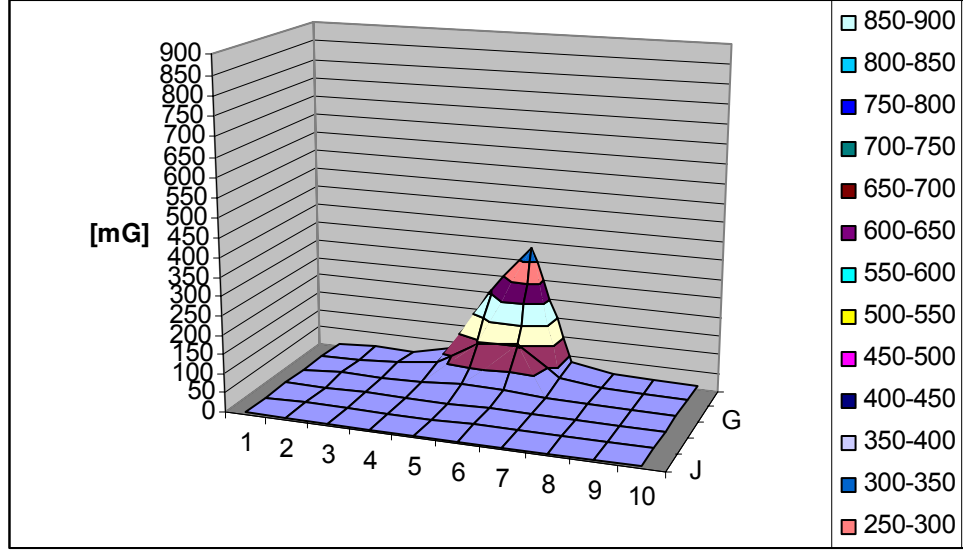


Şekil 4.47 T-T-T (Aralıksız U Tipi) ekran için ekranlama etkinliğinin dağılımı

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J	1,06	1,19	3,73	6,07	7,37	6,34	4,97	2,90	1,70	1,87
I	1,77	2,74	5,97	8,68	10,06	8,90	7,52	5,14	2,95	1,98
H	2,66	5,38	8,45	11,60	12,15	12,13	10,10	7,20	4,84	2,51
G	3,06	4,84	8,20	10,88	10,83	10,95	10,27	8,00	5,27	3,21
F	4,09	4,58	10,27	8,54	10,02	8,89	9,56	7,61	5,29	4,07
E	3,30	4,15	6,46	8,40	5,76	3,78	9,35	6,91	5,37	4,15

4.6.3. T-B-T Ekranı İçin Magnetik Alan Ölçümleri

Ekran malzemesi olarak Trafo sacı-Bakır-Trafo sacı kullanılarak deney alanı üzerinde yapılan Magnetik Alan ölçüm sonuçları Çizelge 4.21’ de verilmiştir. Bu değerlerden elde edilen, deney sonuçları deney alanının üç boyutlu magnetik alan dağılımı Şekil 4.48’de verilmiştir.

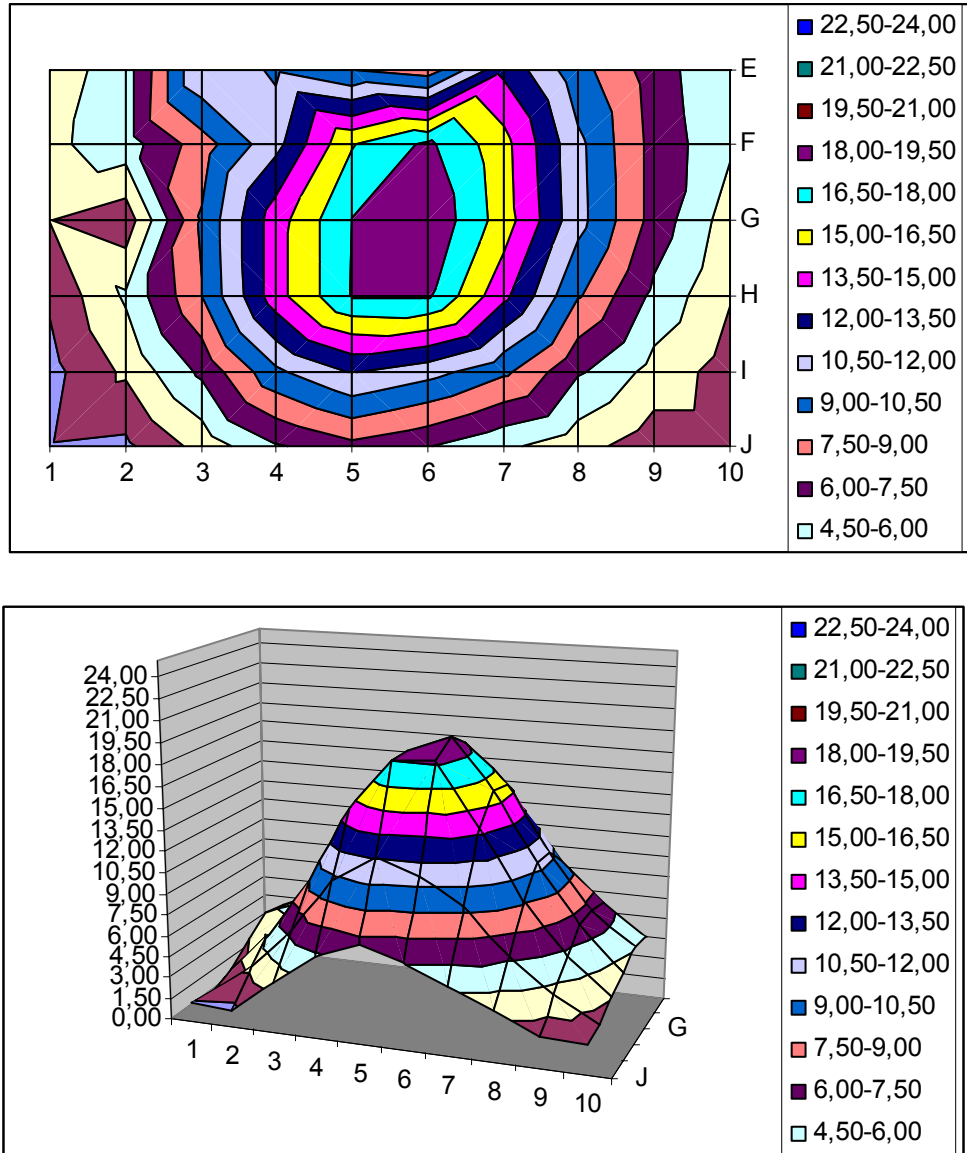


Şekil 4.48 T-B-T ekranlı magnetik alan dağılımı

Çizelge 4.21 T-B-T ekran için magnetik alan ölçüm sonuçları

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J	4,9	4,87	5	5	5,14	5,46	5,6	5,5	5,5	4,85
I	5,16	5,35	5,7	5,55	5,47	5,57	5,85	6,33	6	5,88
H	5,91	6,45	7	7,16	6,83	6,76	7,26	7,50	7	6,35
G	6,36	11,55	10	12,83	18,82	16,50	12,65	9,7	7,77	6,67
F	7	9,93	14,41	27,3	95	104,6	26,54	13,34	8,74	6,48
E	7,55	11,25	10,51	35,5	210	338	34	15	9,36	6,85

4.6.4. T-B-T Ekran için Ekranlama Etkinliğinin Dağılımı

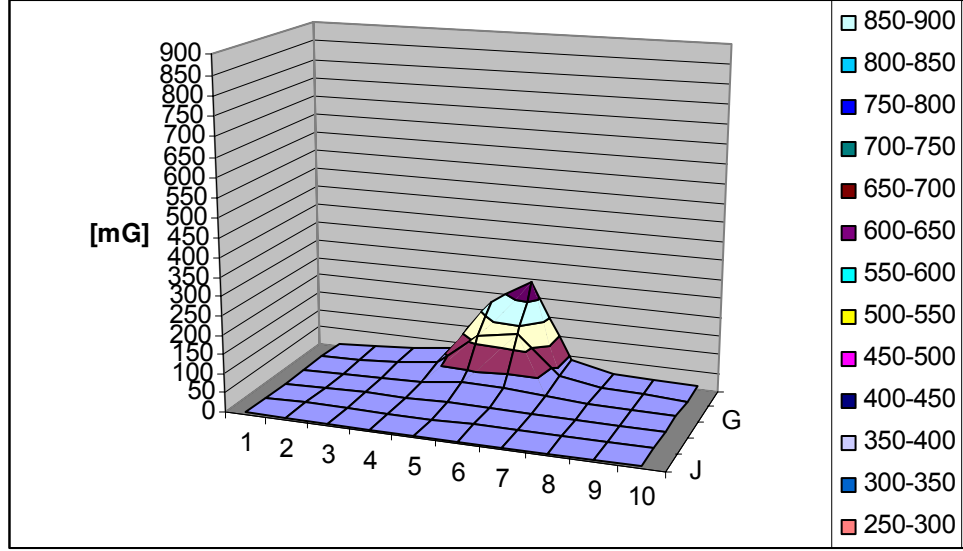


Şekil 4.49 T-B-T (Aralıksız U Tipi) ekran için ekranlama etkinliğinin dağılımı

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J	1,38	1,14	3,56	5,81	7,04	6,08	4,80	3,56	2,13	2,13
I	1,02	3,26	6,30	10,22	12,09	11,10	9,34	6,18	3,94	2,34
H	1,71	4,72	8,94	14,43	18,10	18,26	13,91	9,11	5,65	3,11
G	3,02	2,03	9,19	14,41	18,03	19,29	15,76	11,00	6,89	3,75
F	4,16	5,31	8,24	11,59	16,38	18,33	15,57	10,83	6,97	4,74
E	3,80	5,21	11,97	10,21	8,82	8,01	13,18	9,54	6,72	4,50

4.6.5. T-A-T Ekranı İçin Magnetik Alan Ölçümleri

Ekran malzemesi olarak Trafosacı-Alüminyum-Trafo sacı kullanılarak deney alanı üzerinde yapılan Magnetik Alan ölçüm sonuçları Çizelge 4.22’de verilmiştir. Bu değerlerden elde edilen, deney sonuçları deney alanının üç boyutlu magnetik alan dağılımı Şekil 4.50’de verilmiştir.

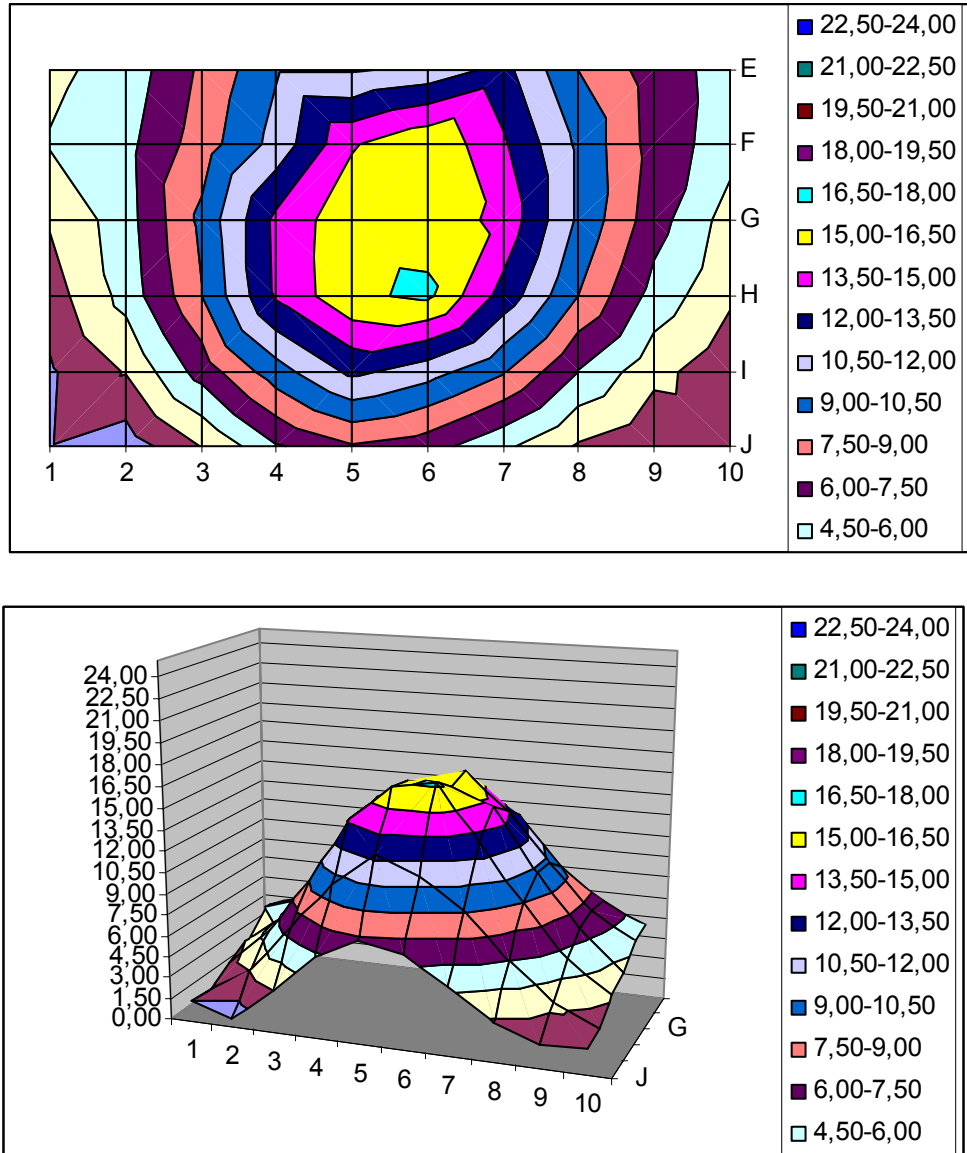


Şekil 4.50 T-A-T ekranlı magnetik alan dağılımı

Çizelge 4.22 T-A-T ekran için magnetik alan ölçüm sonuçları

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J	4,92	5,17	5,31	5	5	5,13	5,59	6	5,81	5
I	5	5,45	5,50	5,78	5,30	5,56	6	6,5	6,34	6,14
H	5,55	6,23	7	7,76	8,50	8	8,12	7,60	7,17	6,25
G	6,28	7,91	9,83	13,64	23,76	24,5	14,45	10,58	7,99	6,64
F	6,66	9,69	14,40	29	113	132,1	32,9	14,35	8,8	6,19
E	7,24	11,45	17,08	35	177,2	240	36,6	16	9,30	6,22

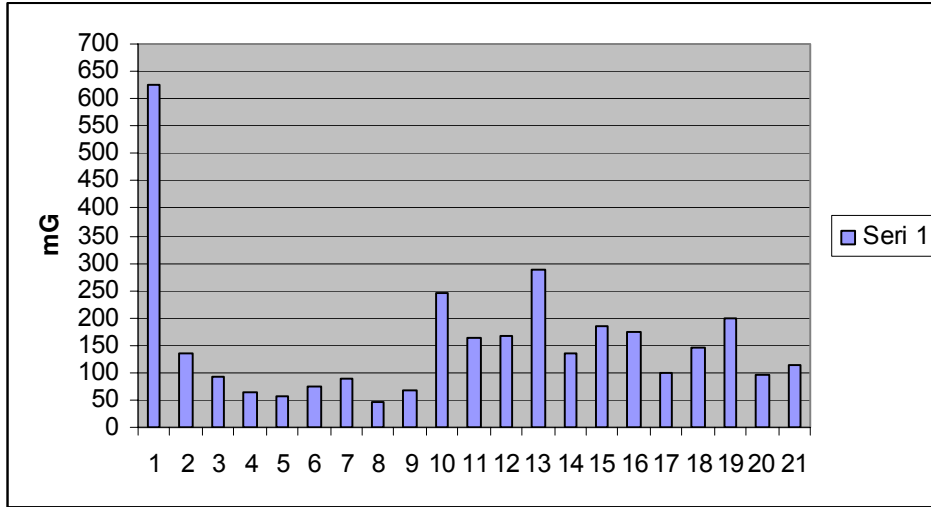
4.6.6. T-A-T Ekran için Ekranlama Etkinliğinin Dağılımı



Şekil 4.51 T-A-T (Aralıksız U Tipi) ekran için ekranlama etkinliğinin dağılımı

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J	1,42	0,62	3,03	5,81	7,28	6,63	4,81	2,81	1,66	1,87
I	1,29	3,10	6,61	9,87	12,36	11,12	9,12	5,95	3,46	1,97
H	2,26	5,02	8,94	13,73	16,20	16,79	12,93	8,99	5,44	3,24
G	3,13	5,32	9,34	13,88	16,00	15,85	14,60	10,24	6,64	3,79
F	4,59	5,52	8,24	11,07	14,87	16,30	13,70	10,19	6,91	5,14
E	4,17	5,06	7,75	10,33	10,30	10,98	12,54	8,98	6,78	5,34

Şekil 4.52 de ölçüm sahasındaki F5 noktası için ekransız ve bütün ekran konfigürasyonları için ölçüm değerleri verilmiştir.



Şekil 4.52 F5 noktası için yapılan magnetik alan ölçüm sonuçları

1. Ekransız durum (626 mG)
2. T Ekran (133,7 mG)
3. (Aralıklı Silindir) T-T Ekran (94 mG)
4. (Aralıklı Silindir) T-T-T Ekran (65 mG)
5. (Aralıklı Silindir) T-B-T Ekran (57,4 mG)
6. (Aralıklı Silindir) T-A-T Ekran (73,6 mG)
7. (Aralıksız Silindir) T-T-T Ekran (90 mG)
8. (Aralıksız Silindir) T-B-T Ekran (45,5 mG)
9. (Aralıksız Silindir) T-A-T Ekran (68 mG)
10. (Aralıklı Düz) T-T-T Ekran (245,3 mG)
11. (Aralıklı Düz) T-B-T Ekran (162 mG)
12. (Aralıklı Düz) T-A-T Ekran (168 mG)
13. (Aralıksız Düz) T-T-T Ekran (289 mG)
14. (Aralıksız Düz) T-B-T Ekran (136,2 mG)
15. (Aralıksız Düz) T-A-T Ekran (183 mG)
16. (Aralıklı U Tipi) T-T-T Ekran (172,5 mG)
17. (Aralıklı U Tipi) T-B-T Ekran (100 mG)
18. (Aralıklı U Tipi) T-A-T Ekran (145 mG)
19. (Aralıksız U Tipi) T-T-T Ekran (197,5 mG)
20. (Aralıksız U Tipi) T-B-T Ekran (95 mG)
21. (Aralıksız U Tipi) T-A-T Ekran (113 mG)

5. SONUÇLAR TARTIŞMA

Yapılan deneylerde, üç katlı çeşitli malzemelerden meydana gelen ekran konfigürasyonları için silindir, düz ve U şekilli olan bitişik ve izolasyon malzemeli olarak yapılan ölçümlerden elde edilen sonuçlar;

Tek katlı izolasyon malzemeli silindir şeklindeki Trafo Sacı için ekransız duruma göre en yüksek azalma oranı, %82,22 (EE= 15 dB) dir. İki katlı izolasyon malzemeli silindir şeklindeki Trafo Sacı için ekransız duruma göre en yüksek azalma oranı, %93,74(EE= 24,07 dB) dir. Üç katlı izolasyon malzemeli silindir şeklindeki Trafo Sacı için ekransız duruma göre en yüksek azalma oranı, %93,42(EE= 23,64 dB) dir.

Üç katlı izolasyon malzemeli silindir şeklindeki Trafo Sacı – Bakır - Trafo Sacı için ekransız duruma göre en yüksek azalma oranı, %93,16(EE= 23,30 dB) dir. Trafo Sacı – Alüminyum - Trafo Sacı için ekransız duruma göre en yüksek azalma oranı, %92,70(EE= 22,74 dB) dir.

Üç katlı bitişik silindir şeklindeki Trafo Sacı için ekransız duruma göre en yüksek azalma oranı, %90(EE = 20 dB) dir. Trafo Sacı–Bakır-Trafo Sacı için ekransız duruma göre en yüksek azalma oranı, %94.16 (EE = 24,68 dB) dir. Trafo Sacı–Alüminyum-Trafo Sacı için ekransız duruma göre en yüksek azalma oranı, %92,96 (EE= 23,05 dB) dir.

Üç katlı izolasyon malzemeli düz şekildeki Trafo Sacı için ekransız duruma göre en yüksek azalma oranı, %64,19 (EE= 8,92 dB) dir. Trafo Sacı-Bakır-Trafo Sacı için ekransız duruma göre en yüksek azalma oranı, %83,44 (EE= 15,62 dB) dir. Trafo Sacı-Alüminyum-Trafo Sacı için ekransız duruma göre en yüksek azalma oranı, %73,21 (EE= 11,44 dB) dir.

Üç katlı bitişik düz şeklindeki Trafo Sacı için ekransız duruma göre en yüksek azalma oranı, %63,96 (EE= 8,87 dB) dir. Trafo Sacı-Bakır-Trafo Sacı için ekransız duruma göre en yüksek azalma oranı, %81,34 (EE= 14,58 dB) dir. Trafo Sacı-Alüminyum-Trafo Sacı için ekransız duruma göre en yüksek azalma oranı, %73,59 (EE= 11,57 dB) dir.

Üç katlı izolasyon malzemeli U şeklindeki Trafo Sacı için ekransız duruma göre en yüksek azalma oranı, %76,27 (EE= 12,50 dB) dir. Trafo Sacı-Bakır-Trafo Sacı için ekransız duruma göre en yüksek azalma oranı, %86,49 (EE= 17,39 dB) dir. Trafo Sacı-Alüminyum-Trafo Sacı için ekransız duruma göre en yüksek azalma oranı, %83,41 (EE= 15,60 dB) dir.

Üç katlı bitişik U şeklindeki Trafo Sacı için ekransız duruma göre en yüksek azalma oranı, %75,30 (EE= 12,15 dB) dir. Trafo Sacı-Bakır-Trafo Sacı için ekransız duruma göre en yüksek azalma oranı, %89,14(EE= 19,29 dB) dir. Trafo Sacı-Alüminyum-Trafo Sacı için ekransız duruma göre en yüksek azalma oranı, %85,53 (EE= 16,79 dB) dir.

Yapılan ölçümler ve analizler sonucunda; silindir şeklindeki ekranlamanın, diğer tip ekranlamalara oranla manyetik alan azalımında daha pozitif sonuçlar ortaya koyduğu görülmüştür.

Düz tip ekranlamanın, manyetik alan azalımına nerdeyse hiçbir katkısının olmadığı görülmüştür. Kullandığımız malzemenin boyutu yeterince geniş olmadığı için alan çizgilerini tam olarak kapsayamamış, sonuç itibariyle alan yansımalarına bir mukavemet gösterememiştir.

U tipi ekranlama, düz tip ekranlamaya nazaran çok daha iyi sonuçlar vermiştir. Ancak, uygulanabilirliğinin zor oluşu ve alan azalımına etkisi silindir tipten %10-15 az olduğu için pratikte tercih edilmeyebilir.

Her üç ekranlama tipinde de; aralıksız yapılan ekranlama ölçümleri, birkaç sonuç dışında, aralıklı yapılan ekranlama ölçümlerinden daha iyi sonuçlar vermiştir.

Aralıklı silindir modellemesinde; orta tabakada trafo sacı kullanımı, aralıksız silindir modellemesinde ise orta tabakada Bakır malzeme kullanımı, diğer malzemelere oranla daha iyi sonuçlar ortaya çıkarmıştır.

Hem düz hem U Tipi modellemelerin; aralıklı ya da aralıksız ölçümlerinin tümünde, orta tabaka olarak Bakır malzeme kullanımı, diğer malzemelere oranla daha iyi sonuçlar ortaya çıkarmıştır.

Sonuç olarak yapılan ölçümlerden en iyi ekranlama etkinliğini veren konfigürasyon olarak üç katlı bitişik silindir şeklindeki Trafo Sacı - Bakır - Trafo Sacı olduğu tespit edilmiştir.

Trafo Sacı - Bakır - Trafo Sacı kullanılarak değişik formlarda ekranlar için hesaplama ve deneyler yapılabilir. Sayısal hesaplama yöntemleri ile elde edilen sonuçlar ile deneysel sonuçlar karşılaştırılabilir.

KAYNAKLAR

- A.Conava, F.Freschi, M.Repetto, M.Tartaglia, (2004) "Identification Of Power Frequency Industrial Magentik Source For Shielding Purpose"
- C. M. Ryan, (1967), "Computer Expression for Predicting Shielding Effectiveness for the Low Frequency Plane Shield Case", IEEE Transactions on Elektromagnetic Compatibility, Vol. EMC-9, No.2, 83-94.
- Çabuk, M., (2005) "Elektromagnetik Alanların Ekranlaması", Y.T.Ü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Derman, K, (2006) "Şebeke Frekanslı Magnetik Alan Ekranlaması", Y.T.Ü Yüksek Lisans Tezi,İstanbul.
- D. J. Epstein, (1965) "Magnetic Shielding," Proceedings of the IEEE, Vol. 53, No.6, 655-656.
- Du. Y., Cheng. T.C., (1996) "Principles of Power-Frequnacy Magnetic Field Shielding with Flat Sheets in a Source Of Long Conductors."
- Du.Y., Burnett.J., (1996) " Magnetic Shielding Principles of Lineer Cylindrical Shield at Power Frequcany" The Hong Kong Polytechnic University Hong Kong
- F. J. Young, W. J. English, (1970), "Flux Distribution in a Linear Magnetic Shield," IEEE Transactions on Electromagnetic Compalibility, Vol.EMC-12, No.3, 118-133
- Frix, W. M., (1996) "Three Numerical Techniques to Evaluate the Low Frequency Magnetic Shielding of Two Dimention Metlic Structure", Arizona State University
- Gardner, R.L., Baker, L., Baum, C.E., Andesh, D.J., (1985) "Comparison of Lighting with Public domain HEMP Waweforms on The Surface of An Aircraft",. 6th Zurich Symp. On EMC
- J. H. Bramble, J. E. Pasciak, (1983), "An efficient Numerical Procedure for the Computation of Steady State Harmonic Currents in Flat Plates", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. MAG-19, No.6, 2409-2412.
- Kappenman, J.G., Albertson, V.D., (1990) Bracing for geometric stroms
- Köroğlu S., Umurkan N., Kılıç O., Attar F., Elektromagenetik Uyumluluk İçin Sac Levha Malzemelerin Şebeke Frekanslı Sistemlerde Ekranlama Etkinliği, 1. Enerji Verimliliği ve Ekranlama Etkinliği, (2005)
- L. Hasselgren, E. Möller, Y. Hamnerius, (1994), "Calculation of Magnetic Shielding of a Substation at Power Frequency Using FEM". IEEE/PES Winter Meeting, New York, 94.
- L.Hasselgren, Jorma Luomi, (1995) "Geometrical Aspects Of Magnetic Shielding at Extremely Low Frequencies "
- M. Felizani, (1992), "Numerical Solutions of Low Frequency Scattering Problems", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. MAG-28, No.2, 1224-1227.
- M. T. Ahmed, J. D. Lavers, P. E. Burke, (1989), "An Evaluation of the Direct Boundary Element Method and the Method of Fundamental Solutions", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. MAG-25, No.4, 3001-3006.

- Moreno, P., Olsen, R.G., (1997) "A Simple Theory for Optimizing Finite Width ELF Magnetic Field Shields for Minimum Dependence on Source Orientation, Electromagnetic Compatibility"
- P. A. Tirkas, C. A. Balanis, (1992), "Higher Order Absorbing Boundary Conditions for the Finite-Difference Time-Domain Method". IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. AP-40, No.10, 1215-1222.
- Pancar. M., (1999) "Elektromagnetik Alanların Ekranlaması", İ.T.Ü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- R. Sikora, J. Purczynski, W. Lipinski, M. Gramz, (1978) "Use of Variational Methods to the Eddy Currents Calculation in Thin Conducting Plates", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. MAG-14, No.5, 383-385.
- R. W. Gillette and F. M. Hull, (1988) "Pipe-type Cable Installation Techniques," IEEE Transactions on Power Delivery, No.12, 587-599.
- Salinas, E., (2000) "Passive and Active Shielding of Power-Frequency Magnetic Fields from Secondary Substation Components" Power System Technology, International Conference
- Sumnert, T. J., Pendlebury. J. M., Smith. K. F., (1987) "Conventional Magnetic Shielding", University of Sussex, U.K
- Şeker, S., Çerezci. O., (1994) "Elektromagnetik Dalgalar ve Mühendislik Uygulamaları",Bogaziçi Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- TS EN-50081-2-1 (1995) "Elektromagnetik Uyumluluk-Genel Başlıklı Standardı
- TS EN-61081-4-10 (1995) "Elektromagnetik Uyumluluk-Deneyler ve Ölçme Teknikleri
- Uman., M.A., Krider., E. P., (1992) A Review of Natural Lightning Experimental data and Modeling
- Uman, M.A., (1998) "Natural and Artificially-Initiated Lightning and Lightning Test Standarts
- Umurkan. N., (1995) "Enerji İletim Hatlarında Elektrik ve Magnetik Alan Hesabı ve Biyolojik Etkilerin Değerlendirilmesi".Y.T.Ü. Doktora Tezi İstanbul.
- Umurkan N, Kılıç O, Atar F., Ferromagnetik Olmayan Malzemelerin 50 Hz Frekanslı Magnetik Alan Ekranlama Etkinliği, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu (2004)
- W. C. Chew, T. M. Habashy, (1986) "The Use of Vector Transforms in Solving Some Electromagnetic Scattering Problems", IEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. AP-34, No.7, 871-879.
- W. S. Adams, Aa. H. Mills, (1968), "Electromagnetic Shielding in the Near Field," Symposium Record: IEEE Symposium on Electromagnetic Compalibility. Seattle, WA, 317-329.
- Wik, M.W., 1985 "Comparison of Lightning Nuclear and Electrostatic Discharge Spectra" 6th Zurich Symp. On EMC
- Xu. L., Du. Y., Fu. Z., (2002) "Magnetic Shielding by Metalic Structre in Modern Buildings."

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 08.11.1980

Doğum yeri Mersin

Lise 1994-1997 Özel Toros Fen Lisesi

Lisans 1998-2004 Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik
Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2004-Devam Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Müh. Anabilim Dalı, Elektrik Tesisleri