

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

50 Hz ELEKTROMANYETİK ALANLAR VE BİYOLOJİK ETKİLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

G. Gülşen GÜÇLÜ

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

KASIM 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

50 Hz ELEKTROMANYETİK ALANLAR VE BİYOLOJİK ETKİLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**G. Gülşen GÜÇLÜ
(301071038)**

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Adnan KAYPMAZ

KASIM 2011

İTÜ, Enerji Enstitüsü'nün 301071038 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **G. Gülşen GÜÇLÜ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**50 Hz ELEKTROMANYETİK ALANLAR VE BİYOLOJİK ETKİLERİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Adnan KAYPMAZ**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Sermin ONAYGİL**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Özcan KALENDERLİ

İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **22 Aralık 2011**

Savunma Tarihi : **29 Kasım 2011**

ÖNSÖZ

Yüksek lisans çalışmamı yöneten ve tez çalışmalarım süresince desteğini benden esirgemeyen danışman hocam, Prof. Dr. Adnan KAYPMAZ'a teşekkür ederim. Bu çalışmayı yaparken teorik bilgi ve çalışmalarını benimle paylaşan ve tez çalışmalarım süresince desteğini benden esirgemeyen Prof. Dr. Özcan KALENDERLİ'ye teşekkür ederim. Ayrıca manevi desteklerini esirgemeyip her zaman yanımda olan aileme ve yakın arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Kasım 2011

G. Gülşen Güçlü
(Elektrik Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Literatür Araştırması	2
1.3 Elektrik Yükleri ve Manyetik Alan	3
1.4 Elektrik Alan	3
1.5 Manyetik Alan.....	4
1.5.1 Manyetik alan şiddeti	5
1.5.2 Manyetik akı yoğunluğu	6
1.5.3 Manyetik akı	8
1.6 Amper Formülü	8
1.7 Stokes Teoremi.....	9
1.8 Elektromanyetik Alan.....	9
1.9 Özgül Soğurma (SA) ve Özgül Soğurma Oranı (SAR)	10
1.10 Elektromanyetik Spektrum.....	12
1.10.1 İyonlaştırıcı radyasyon	14
1.10.2 İyonlaştırmayan Radyasyon	14
1.11 Elektromanyetik Büyüklükler Ve Birimler	14
2. 50 Hz ALTERNATİF AKIMDAN KAYNAKLANAN ELEKTRİK VE MANYETİK ALANLAR.....	17
2.1 Giriş.....	17
2.2 Epidemiyoloji	20
2.3 Elektromanyetik Alanların Canlılar Üzerindeki Etkileri Ve Araştırma Sonuçları.....	20
3. 34,5 kV'LUK ELEKTRİK ENERJİSİ DAĞITIM HATLARI ÇEVRESİNDEKİ MANYETİK ALANIN BIOT SAVART YASASI İLE HESABI.....	23
3.1 Giriş.....	23
3.2 Elektrik Enerjisi Dağıtım Sistemi	23
3.3 Elektrik ile Enerji Dağıtımı	24
3.4 Elektrikle Enerji Dağıtımında Frekans	24
3.5 Dağıtım Hatlarında Kullanılan İletkenler ve Özellikleri	25
3.6 Dağıtım Hatlarında Kullanılan Direkler	28
3.7 Manyetik Alan Hesabı.....	28
3.8 Biot-Savart Yasası	28

3.9 Üç Fazlı 34,5 kV'luk Tek Devre Bir Hat Çevresindeki Manyetik Alan ve Manyetik Endüksiyon Hesabı.....	30
3.10 Üç Fazlı 34,5 kV'luk Çift Devre Bir Hat Çevresindeki Manyetik Alan ve Manyetik Endüksiyon Hesabı.....	33
3.11 Sonuç ve Öneri	36
4. YÜKSEK GERİLİM HATTI ALTINDA ELEKTRİK VE MANYETİK ALAN ÖLÇÜMÜ DENEYLERİ.....	38
4.1 Elektrik Alan Ölçümü Deneyinin Tasarımı.....	38
4.2 HI – 3604 ELF Ölçer	39
4.2.1 Cihaz Hakkında Bilgi	39
4.2.2 Özellikleri	40
4.3 Elektrik Alan Ölçme Deneyinin Yapılışı	41
4.4 Deney Sonuçları	43
4.4.1 Deney 1	43
4.4.2 Deney 2	44
4.4.3 Deney 3	45
4.4.4 Deney 4	45
4.4.5 Deney 5	46
4.4.6 Deney 6	47
4.5 Teorik Bilgi ile Elektrik Alan Ölçme Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması... 48	
4.5.1 Yük Benzetim Yöntemi ile Elektrik Alan Hesabı	49
4.5.2 Potansiyel Farkı ile Elektrik Alanın Hesabı	50
4.5.3 Deneylerden Örnek Ölçümler	51
4.5.4 Elektrik Alan Hesap Sonuçları ile Ölçüm Sonuçları Karşılaştırılması	53
4.6 Yüksek Gerilim Hattı Altında Manyetik Alan Ölçümü Deneyi.....	55
4.6.1 Deneyin Tasarımı	55
4.6.2 Manyetik Alan Ölçme Deneyinin Yapılışı ve Ölçme Sonuçları	55
4.7 Sonuçlar	57
5. ULUSLARARASI STANDARTLAR.....	58
5.1 Dünya Sağlık Örgütü (WHO).....	58
5.2 Uluslar Arası EMF Projesi	59
5.3 ICNIRP(Uluslararası İyonize Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu)	60
5.4 AB (Avrupa Birliği)	62
5.4.1 Halkın Korunması	62
5.4.2 Çalışanların Korunması.....	63
5.5 İhtiyatlılık İlkesi	64
5.7 Türkiye'de durum.....	68
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	72
KAYNAKLAR.....	75
EKLER.....	78
ÖZGEÇMİŞ.....	115

KISALTMALAR

ANSI	: Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü (American National Standards Institute)
ELF	: Çok Düşük Frekans (Extremely Low Frequency)
EM	: Elektromanyetik
EMA	: Elektromanyetik Alan
IARC	: Uluslararası Kanser Araştırma Kuruluşu (International Agency for Research on Cancer)
IEEE	: Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (Institute of Electrical and Electronics Engineers)
IRPA	: Uluslararası Radyasyondan Korunma Derneği (International Radiation Protection Association)
SAR	: Özgül Soğurma Oranı (Specific Absorbtion Ratio) (watt/kg)
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organizations)
ICNIRP	: Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Koruma Komitesi (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)
RF	: Radyo Frekansı
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
B	: Manyetik akı yoğunluğu
f	: Frekans
H	: Manyetik alan şiddeti
H_x	: Manyetik alanın yatay bileşeni
H_y	: Manyetik alanın düşey bileşeni
I	: Akım
J	: Akım yoğunluğu
R	: Direnç
t	: Sıcaklık
W	: Manyetik enerji
x_i, y_i	: İletken koordinatları
Δt	: Sıcaklık değişimi
μ₀	: Boşluğun manyetik geçirgenliği
μ_r	: Bağlı manyetik geçirgenlik
μ	: Manyetik geçirgenlik
Ψ_m	: Manyetik akı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Bağlı geçirgenlik μ_R değerleri	8
Çizelge 1.2 : UBI ve Gauss birimlerinin karşılaştırılması	15
Çizelge 1.3 : EM büyüklükler ve birimleri	15
Çizelge 2.1 : Çeşitli kaynakların alan değerleri	18
Çizelge 3.1 : Çelik alüminyum iletkenlerin akım taşıma kapasiteleri	27
Çizelge 3.2 : 34,5 kV'luk, tek devre bir hat çevresinde farklı akım değerleri ve noktalar için hesaplanan manyetik alan değerleri	32
Çizelge 3.3 : 34.5 kV'luk çift devre bir hat çevresinde farklı akım değerleri ve noktalar için hesaplanan manyetik alan değerleri	35
Çizelge 4.1 : HI – 3604 ölçüm aletinin özellikleri.....	40
Çizelge 4.2 : 10 kV uygulanmış yüksek gerilim hattının 2,15 m aşağısında elektrik alanın [E (V/m)] hattan uzaklıkla [x(m)] değişimi.....	43
Çizelge 4.3 : 10 kV uygulanmış yüksek gerilim hattının 1,5 m aşağısında elektrik alanın [E (V/m)] hattan uzaklıkla [x(m)] değişimi.....	44
Çizelge 4.4 : 10 kV uygulanmış yüksek gerilim hattının altında elektrik alanın [E (V/m)] hattan uzaklıkla [y(m)] düşey doğrultuda değişimi.	45
Çizelge 4.5 : 20 kV uygulanmış yüksek gerilim hattının 2,15 m aşağısında elektrik alanın [E (V/m)] hattan uzaklıkla [x(m)] değişimi.....	45
Çizelge 4.6 : 20 kV uygulanmış yüksek gerilim hattının altında elektrik alanın [E (V/m)] hattan uzaklıkla [y(m)] düşey doğrultuda değişimi.	46
Çizelge 4.7 : 30 kV uygulanmış yüksek gerilim hattının 2,15 m aşağısında elektrik alanın [E (V/m)] hattan uzaklıkla [x(m)] değişimi.....	47
Çizelge 4.8 : 2 A akım akan yüksek gerilim hattının 2,15 m aşağısında manyetik alanın [H (A/m)] hattan uzaklıkla [x(m)] değişimi.	56
Çizelge 4.9 : 2 A akım akan yüksek gerilim hattının altında manyetik alanın [H (A/m)] hattan uzaklıkla [y(m)] düşey doğrultuda değişimi.	56
Çizelge 5.1 : Dünya Sağlık Örgütü (WHO): İndüklenen akımın etki çizelgesi	59
Çizelge 5.2 : Elektrik ve manyetik alanların 50 Hz ve 60 Hz için mesleki ve halk için referans değerleri.....	62
Çizelge 5.3 : Halkın korunmasına ilişkin Avrupa Birliği tavsiyesi	63
Çizelge 5.4 : Çalışanların korunmasına ilişkin Avrupa Birliği tavsiyesi.....	63
Çizelge 5.5 : Farklı ülkelerde kullanılan şu andaki EMA etkilenme sınırları	65
Çizelge 5.6 : İhtiyati yaklaşım örnekleri.....	65
Çizelge 5.7 : Farklı Avrupa ülkelerindeki düzenlemeler [İnternet C]	66
Çizelge 5.8 : Halk için EMA etkisi.....	67
Çizelge 5.9 : İşçiler için manyetik alan referans seviyeleri (TSE, 1996)	68
Çizelge 5.10 : Genel halk için manyetik alan referans seviyeleri (TSE, 1996).....	68
Çizelge 5.11 : İşçiler için elektrik alan referans seviyeleri.....	69
Çizelge 5.12 : Genel halk için elektrik alan referans seviyeleri	69
Çizelge 5.13 : İşçiler için akım yoğunluğu (TSE, 1996)	69

Çizelge 5.14 : Halk için akım yoğunluğu (TSE, 1996)	69
--	-----------

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Bir koaksiyel (eş eksenli) kablo (Horton, W. F. and Goldberg, S., 1995) . 6	
Şekil 1.2 : Elektrik (E), manyetik (B) ve elektromanyetik alan dalgaları ve vektör yönleri	10
Şekil 1.3 : Elektromanyetik alan ve radyasyon kaynakları (Sevgi, L., 2005)	13
Şekil 2.1 : Elektriğin üretim ve kullanımı arasındaki süreç (Dengiz, H., 1991)	17
Şekil 3.1 : Çelik alüminyum örgülü iletken tipleri (Akpınar, S., 1997).	26
Şekil 3.2 : Üç iletkenli bir sistemde manyetik alan hesaplanması için gerekli vektörel büyüklükler	29
Şekil 3.3 : 34,5 kV'luk enerji hattı boyutları.	31
Şekil 3.4 : A, B, C, D, E, F, G noktalarındaki manyetik alan değerlerinin akıma göre değişimi.	32
Şekil 3.5 : Tek devre hattın çevresinde A, B, C noktalarındaki manyetik alan değerlerinin farklı akım değerleri için hattan uzaklıkla değişimi.	33
Şekil 3.6 : 34,5 kV'luk çift devre enerji hattı boyutları.....	34
Şekil 3.7 : Çift devre bir hattın çevresinde A, B, C, D, E, F, G noktalarındaki manyetik alan değerlerinin akıma göre değişimi	35
Şekil 3.8 : Çift devre bir hattın çevresinde A, B, C noktalarındaki manyetik alan değerlerinin farklı akım değerleri için hattan Uzaklıkla değişimi	36
Şekil 4.1 : Yüksek gerilim hattı altında elektrik alanı ölçme düzeni.	38
Şekil 4.2 : HI – 3604 ELF ölçer.....	40
Şekil 4.3 : Yer düzeyinde elektrik alan ölçümü.....	41
Şekil 4.4 : Hattan 1,50 m aşağıda elektrik alan ölçümü.	42
Şekil 4.5 : 10 kV uygulanmış yüksek gerilim hattının 2,15 m aşağısında elektrik alanın [E (V/m)] hattan uzaklıkla [x(m)] değişimi.	43
Şekil 4.6 : 10 kV uygulanmış yüksek gerilim hattının 1,5 m aşağısında elektrik alanın [E (V/m)] hattan uzaklıkla [x(m)] değişimi.	44
Şekil 4.7 : 10 kV uygulanmış yüksek gerilim hattının altında elektrik alanın [E (V/m)] hattan uzaklıkla [y(m)] düşey doğrultuda değişimi.	45
Şekil 4.8 : 20 kV uygulanmış yüksek gerilim hattının 2,15 m aşağısında elektrik alanın [E (V/m)] hattan uzaklıkla [x(m)] değişimi.	46
Şekil 4.9 : 20 kV uygulanmış yüksek gerilim hattının altında elektrik alanın [E (V/m)] hattan uzaklıkla [y(m)] düşey doğrultuda değişimi.	47
Şekil 4.10 : 30 kV uygulanmış yüksek gerilim hattının 2,15 m aşağısında elektrik alanın [E (V/m)] hattan uzaklıkla [x(m)] değişimi.	48
Şekil 4.11 : Problemin yük benzetim yöntemi ile çözümü.	49
Şekil 4.12 : İnsan vücudunun elektrik alan çizgilerini etkilemesi.	54
Şekil 4.13 : Manyetik alan ölçme deneyi deney düzeni.	55
Şekil 4.14 : 2 A akım akan yüksek gerilim hattının 2,15 m aşağısında manyetik alanın [H (A/m)] hattan uzaklıkla [x(m)] değişimi.	56

Şekil 4.15 : 2 A akım akan yüksek gerilim hattının 2,15 m aşağısında manyetik alanın [H (A/m)] hattın uzaklıkla [y(m)] değişimi. 57

50 Hz ELEKTROMANYETİK ALANLAR VE BİYOLOJİK ETKİLERİ

ÖZET

Teknolojinin gelişimi ve nüfusun hızla artması ile birlikte, yaşamın her alanında kullanımı artan elektrik enerjisinin zararlı etkileri olup olmadığı bir merak konusudur. Elektrik enerjisinin iletilmesi ve kullanımı sırasında çevreyi ve insanları etkileyebilecek elektromanyetik alanlar oluşmaktadır.

Çağdaş yaşamın bir gerçeği olarak evlerde, işyerlerinde ya da okulda elektriğin üretimi iletimi ve kullanılmasından kaynaklanan elektromanyetik alanlara (EMA elektrik ve manyetik alanlar ya da kısaca elektromanyetik alanlar) maruz kalırız. Biyomanyetolojinin prensipleri gereği, insan vücudunun manyetik özellikleri vardır. Tıpkı su ve hava gibi manyetik alan insan vücudunun gerekli bir parçasıdır. Dünyanın manyetik alanı ile insan vücudunun manyetik alanı arasında uyumlu bir iletişim mevcuttur. Fakat bu harmoni yüksek gerilim, cep telefonları, her türlü iletim ve yayın istasyonları gibi kaynaklar ile sık sık bozulan ve elektrosmog denilen elektromanyetik kirliliğin etkisindedir.

Enerji iletim hatlarının çevresinde, akımdan dolayı manyetik alanlar meydana gelmektedir. 50 Hz frekanslı bu alanların çevredeki insanlar, hayvanlar ve bitki örtüsü üzerindeki biyolojik etkilerinin belirlenebilmesi için araştırmalar yapılmaktadır. Bu konuda yapılan araştırmalardan elde edilen sonuçlardan yararlanılarak, manyetik alanlara sınır değerler getirilmiştir. Enerji iletim hatlarının planlanmasında en uygun düzenin belirlenmesi için manyetik alan hesabının yapılması büyük önem taşımaktadır.

Günümüzde elektromanyetik alanların hücre ve doku sistemleri üzerindeki biyolojik etki mekanizmasını incelemek üzere pek çok çalışma yapılmaktadır. 50-60 Hz'de kuvvetli alanlar içerisinde uzunca bir süre yaşamak zorunda olan insan, hayvan ve bitkilerdeki olası fizyolojik ve biyolojik etkileri belirlemek amacı ile hem deneysel hem de epidemiyolojik çalışmalar yapılmaktadır. Elektrik tesislerinden

kaynaklanan elektromanyetik alanların civardaki canlılar üzerindeki olası olumsuz etkileri konusunda çalışmalar halen devam etmektedir.

Bu konuda bazı hükümetler önemli ulusal çalışmalar başlatmıştır ve ilerleyen birkaç yılda önemli çalışma sonuçları elde etmeyi beklemektedirler. Dünya ve canlılar arasında kendiliğinden var olan (orijinal) elektromanyetik alanların bir dengesi ve bazı faydaları olmalarına karşın günümüzde EMA'ya maruz kalmanın sağlık yönünden ters etkilerinin olduğuna dair bazı bilgiler ve araştırmalar vardır. Bu tezdeki bilgiler 50 Hz elektromanyetik alana maruz kalmanın canlılara etkisi yönünden kaygıları ve belirsizlikleri anlamada bilimsel bir katkı sağlayabilecek bilgiler içermektedir.

Bu tezin birinci bölümünde tezde geçen ve anlaşılmayı kolaylaştıracak bazı temel kavramlara yer verilmiştir.

İkinci bölümde, manyetik alanlar ve insan sağlığı sorunları hakkında bilgi verilmiştir.

Üçüncü bölümde, manyetik alan hesaplamasında kullanılan bir yöntem olan Biot-Savart Yasasından söz edilmiştir. Bu yöntem ile 34,5 kV'luk üç fazlı bir orta gerilim hattı çevresindeki manyetik dağılımların hattan akan akım değerleri ile, hattan uzaklıkta ve yerden yükseklikte değişimi hesaplanarak incelenmiştir.

Dördüncü bölümde, Yüksek gerilim iletim hattı altında elektrik ve manyetik ölçüm deneyleri yapılmıştır.

Beşinci bölümde, çeşitli ülkelerdeki elektromanyetik alan güvenlik standartları verilmiştir. Türkiye'deki durum değerlendirilmiş ve güvenlik seviyeleri belirtilmiştir.

Son bölümde ise konu ile ilgili genel değerlendirmeler yapılmıştır.

50 Hz ELECTROMAGNETIC FIELDS AND THEIR BIOLOGICAL EFFECTS

SUMMARY

Nowadays, the usage of electricity increases together with the improving technology and increasing population. It becomes a questionmark whether the electric energy has dangerous impacts on people health or not. During the usage and transmission of the electricity, electromagnetic fields are formed which will effect the enviroment and humanbeingst.

It is a modern fact of life that whether we are at work, at home, or at school, we are all exposed to Electromagnetic Field (EMF's-electric and magnetic fields or electromagnetic field) produced by the generation, transmission, and use of electricity. According to the biomagnetology principles, human body has magnetic properties. Such as water and air, magnetic field is an essential part of human body. The earth magnetic field and human body magnetic field comminicate to each other in harmony. But this harmony can be frequently destroyed by source of EMF pollution like high voltage, cellular phones, every types of transmission and broadcasting stations which is called electrosmog.

Magnetic fields occur around energy transmission lines because of currents. Researchers have been studying to determine the biological effects on human, animals and plants of these power frequency fields. By using th results obtained from the studies on this subjects, the limitation of the magnetic fields are determined. In the stage of the planning of the power transmission lines, the calculation of magnetic fields is very important to determine the most convenient configuration.

Currently, there are many studies to understand how the electromagnetic fields effect cells and tissues of biological systems. There are a lot of experimental and epidemiological studies about possible physiologic and biologic effects of 50-60 Hz power frequency fields on the human, animal and plants that are exposed to those fields, for a long time. Studies about possible negative effects of electromagnetic fields due to electrical installations on living creature have just gone on. Some

governments have initiated a national EMF research effort and important study results are expected in the next few years. Although the original EMF between the earth and the alives has a balance and some advantages, at present, we have some informations and research to determine if EMF exposure causes adverse health effects. The information in this thesis should help to understand the scientific basis for the concerns and the uncertainties about EMF exposure on alives.

In the first chapters of this thesis, the basic concept used in the thesis and will make understanding simple will be mentioned.

In the second chapter has been given an information about magnetic fields and human health issues.

Biot-Savart Law is used a method of calculating of magnetic field which has been mentioned in the third chapter. Magnetic disributions of 34,5 kV medium voltage line have been examined by this methods detailed as below. Current rates of magnetic distributions, alternation of within line and alternation of ground altitude.

In the fourth chapter, electric and magnetic field measurements performed under high-voltage transmission line are explained.

In the fifth chapter the standards in many countries are given. The situation in Turkey is summed up and security limits are presented.

The last chapter covers general evaluations about the power frequency magnetic fields.

1. GİRİŞ

Endüstrileşme ve teknolojinin gelişimine bağlı olarak elektrik enerjisinin kullanımı ve ihtiyacı giderek artmaktadır. Bunun sonucunda insanlar, hayvanlar ve bitkiler, kısacası tüm çevre elektromanyetik alanların veya bu kirlenme olarak görüldüğü için elektromanyetik kirlenmenin etkisi altında kalmaktadır. Elektromanyetik kirlilik diğer çevre kirliliklerinin aksine gözle görülmemesi ve etkilerinin hemen ortaya çıkmamasından dolayı yeterince önemsenmemektedir. İnsan, uzunluğu 500.000 km olan ve yaklaşık 25 milyar hücreden oluşan çok karmaşık bir sinir ağına sahiptir. Bu karmaşık ağ iletişimi 1-250 mikro volt arası çok küçük gerilimlerle fiziksel fonksiyonların gerçekleşmesini sağlar. Bu kompleks yapıya dışarıdan gelen herhangi bir elektromanyetik müdahale dolaşım ve sinir sisteminde bozukluklara yol açabilir. Dolaşım sisteminin bozulmasında bağışıklık sisteminin zayıflamasına yol açacağı ve bu durumda tıp uzmanları tarafından kanseri arttıran bir etki olarak tanımlandığı düşünülürse tehlike göz ardı edilemeyecek ölçülerdedir.

Elektriğin günlük hayatta ve sağlık hizmetlerinde kullanımının büyük faydaları sorgulanamazken, son otuz yıl boyunca genel toplum oldukça düşük frekanslarda elektrik ve manyetik alanlara maruz kalmıştır. Bu çalışma insan sağlığını potansiyel bir biçimde olumsuz etkileyen elektrik ve manyetik alanlarla ilgilidir. Bu olumsuz etkilenmeler esas olarak 50/60 Hertz güç frekanslarındaki elektrik enerjisinin iletimi ve kullanımıyla ortaya çıkmaktadır. Bütün enerji hatları, elektrik ile çalışan aletler, elektrik bağlantıları, kablolar, vb. gibi aygıtlar kendi çevrelerinde elektrik ve manyetik alanlar üretirler. Enerji hatları ise diğerlerine oranla çok daha fazla (yaklaşık 100-1000 kat) bir kirlenme meydana getirmektedir. Özellikle büyük kentlerde çarpık kentleşme ve plansız yapılaşmanın sonucu olarak yüksek gerilimli enerji hatları ve indirici trafo merkezleri konutlarla iç içe bulunmaktadır. Bu konutlarda yaşayan insanlar uzun süreli olarak yüksek seviyeli elektrik ve manyetik alanlara maruz kalmaktadır. Elektrik ve manyetik alanlarının ve elektromanyetik dalgaların hangi niteliklerinin (frekans, şiddet, güç vb.) belirleyici olabileceği, sağlık etkilerinin hangi doz parametresi ile orantılı olduğu ve bunların eşik

değerlerinin ne olması gerektiği tartışma konusudur. Ancak genel olarak, ne kadar uzun süre maruz kalınırsa zararın da o kadar büyük olabileceği düşünülebilir. Korunmada zamandan sonra ikinci etkin öge uzaklıktır. 50 Hz frekanslı elektromanyetik alanlar içinde uzunca süre kalmak ve yaşamak zorunda olan canlılardaki olası etkilenmeleri belirlemek amacı ile son yıllarda önemli araştırmalar yapılmaktadır. Ancak henüz sağlıklı sonuçlara ulaşılamamıştır. Bir yandan bu manyetik alanların zararlarından söz edilirken; bir yandan da bu iddialarla çelişen tezler ileri sürülmektedir.

1.1 Tezin Amacı

50 Hz frekanslı elektromanyetik alanların tanımı ve kısaca teorik bilgiler verilerek, Orta gerilimle enerji dağıtımında yaygın olarak kullanılan 34,5 kV'luk hatlar çevresindeki manyetik alan düzeyinin Biot-Savart yasasına göre yapılan hesaplarla, teorik olarak araştırılması ve Yüksek gerilim hatları çevresindeki elektrik ve manyetik alan düzeyinin ve dağılımının deneysel olarak incelenmesidir. Ayrıca 50Hz frekanslı EMA ile ilgili dünyada ve Türkiye'de yapılan bilimsel çalışmaların incelenerek, Dünyadaki ve Türkiye'deki durum tespitinin yapılması ve bu konudaki en son güvenlik standartları ve çalışmaların değerlendirilmesidir.

1.2 Literatür Araştırması

Wertheimer (1982); elektrik hatları beyin kanseri yapar ancak lösemiye neden olmaz demiştir.

Elektrik hatlarında çalışanların beyin kanserine yakalanma oranı 7 kat fazla bulunmuştur (Şeker, S., 1993).

Elektrik hatları lösemiye sebep olur fakat göğüs veya beyin kanseri oluşumuna neden olmaz (Li, 1997). Yüksek gerilim hatlarına 100 metrelik mesafe içerisinde yaşayan yetişkinlerde yapılan incelemede, lösemide artış bulunmuştur.

(UKCCSIC, 2000). Elektrik hatlarına 50 metrelik mesafe içerisinde yaşayan çocuklarda, elektrik alana maruz kalmayla kanser arasında herhangi bir ilişki bulunamamıştır.

(Harmancı ve Emre, 2003). Alzheimer ile güç kaynakları arasında bir bağ olduğu rapor edilmiştir.

(Draper, 2005). ELF hatlarına 0-600 metre aralığında oturanlarda, lösemi oranında artış vardır.

(Lee, 2002). Yüksek gerilim hatları ile düşük doğum yapma arasında yükselen bir risk ilişkisi bulunmuştur. .

(Qiu, 2004). Mesleği gereği elektromanyetik alanlara uzun süre maruz kalan erkeklerde Alzheimer hastalığı görülürken kadınlar için bu durum geçerli değildir.

(Koşalay, 2008). Türkiye’de mevcut 154 kV ve 380 kV’luk hatlardan kaynaklı elektrik ve manyetik alanlar, referans ve standart değerlerle karşılaştırıldığında tehlikeli boyutlarda olmadığı anlaşılmaktadır.

(Gizem, E., Ögel, Ş., Özen, S., 2010). Yerleşim alanlarından geçen ve binalara 5-6 m yaklaşım mesafelerinde bulunabilen OG enerji hatları çevresindeki konutlarda, özellikle manyetik alan seviyelerinin halk sağlığı bakımından risk yaratabilecek düzeylere ulaşabileceği görülmüştür.

1.3 Elektrik Yükleri ve Manyetik Alan

Her bir madde pozitif ve negatif elektrik yüklerinden oluşur. En küçük yük birimleri ise atomu oluşturan elektron ve protonlardır. Elektrik yükü, bir cismin ya da maddesel bir sistemin temel elektriksel yüklerinin cebirsel toplamıdır. Elektrik yükü birimi coulomb’dur[C]. Temel elektrik yükü, bir protonun taşıdığı $e = +1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$ ’lik elektrik yük miktarıdır. Bir elektronun elektrik yükü $-e$ ’dir. Durgun ve hareket eden yükler durmakta ya da hareket eden diğer yükler üzerinde kuvvet uygular. Bu kuvvet alanlarına elektrik alan ve manyetik alan denir. Yükler hareketsiz olduğunda ortaya çıkan alan statik elektrik alan, yükler sabit hızla hareket ederken oluşturdukları alan statik manyetik alan olarak adlandırılmaktadır. İvmelenmiş yükler elektrik ve manyetik alanların zamanla değiştiği elektromanyetik alanları oluşturur (Özaktaş, H. M., 1999).

1.4 Elektrik Alan

Elektrikli bir cismin etrafındaki bölgeye elektrik alanı adı verilir. Elektrik alanı, bir elektrik yükünün başka bir yük üzerinde yarattığı çekme veya itme etkisini ifade eder. Her elektrik yükü bir elektrik alanı üretir. Böylece, elektrik alanını meydana getiren şey, elektrik yüklerinin birikmesidir (bu durum elektrik gerilimi olarak ifade

edilir). Bundan dolayıdır ki, elektrik şebekesine bağlı bir lamba, yanıyor olmasa bile bir elektrik alanı yaratır. Bir cihazın beslenme gerilimi ne kadar yüksekse, bunun sonucu olarak ortaya çıkan elektrik alanı da artar. Elektrik alanının yoğunluğu metre başına volt (V/m) olarak ifade edilir [İnternet C].

Teorik olarak; alan içinde belli bir noktada sabit duran noktasal yüke uygulanan, yük başına düşen kuvvet elektrik alan olarak tanımlanır.

$$E = \frac{F}{q} \quad (1.1)$$

F , q yüklü parçacığa etkiyen elektriksel kuvvet, q parçacığın yükü, E parçacığın konumundaki elektrik alandır. Alanın varlığı, herhangi bir noktaya getirilen elektrikli bir cisme etki eden kuvvet yardımıyla anlaşılabilir. Alan içine sokulan, boyut ve değerce alanı bozmayacak kadar küçük olduğu varsayılan noktasal q yüküne etki eden kuvvet, hem bu yükü orantılıdır hem de yükün bulunduğu noktaya bağlıdır. (1.1) denkleminde E ile gösterilen büyüklük, yükün büyüklüğüne göre değişir. Elektrik alanı belirten bu büyüklüğe, alan şiddeti adı verilir. $q = +1 C$ için alan şiddeti sayıca kuvvete eşit olacağından alan şiddeti herhangi bir noktada pozitif birim yüke etki eden kuvvete eşittir. Alan şiddetinin MKSA birimi N / C 'dur. $1 N = 1 J / m$ ve $1 J = 1 CV$ (V , gerilim birimidir) olduğu göz önüne alarak bu birim için V / m yazılabilir. (1.1) denklemi vektörel olarak; $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$ şeklinde yazılır. Eğer q yükü pozitif ise elektrik alanı kuvvetle aynı yönde, negatif ise zıt yönde olurlar. Alanın yönü pozitif yüke etki eden kuvvetin yönüdür (Horton, W. F. and Goldberg, S., 1995).

1.5 Manyetik Alan

Manyetik alan, elektrik yükleri yer değiştirdiğinde yani bir elektrik akımı sirkülasyonu olduğunda ortaya çıkar. Hareket halindeki bir elektrik yükü, etrafındaki uzayda bir manyetik alan oluşturur. Bir manyetik alan içinde hareket eden yüklere de manyetik kuvvet etkir. Manyetik alanda, manyetik akı yoğunluğu birimi tesla (T) uluslararası birim olarak kullanılır. Çoğunlukla mikrottesla (μT) olarak ifade edilir. Büyüklük, alanın gücüne ve birim sistemine bağlı olarak tesla, gauss ve milligauss ile ifade edilir. Akım ne kadar yüksekse, bunun bir sonucu olan manyetik alan da o kadar yüksek olur. Elektrik alanında olduğu gibi, manyetik alan şiddeti de mesafe

ile hızla azalır. Akımlar tarafından oluşturulan manyetik alanlara ait ilk deneysel gözlemler Oersted tarafından 1820 yılında yapılmıştır. Oersted, içinden akım geçen bir telin altında bulunan bir pusulanın, uzun eksenini tele dik olacak şekilde bir duruma geldiğini gözlemlemiştir. Daha sonra Biot-Savart ve Ampere tarafından yapılan deneyler sonunda içinden akım geçen bir iletkenin, etrafındaki uzayın bir noktasındaki manyetik alan değerini veren bağıntılar elde edilmiştir. Genel olarak bir akımın, etrafındaki uzayın herhangi bir noktasında oluşturduğu manyetik alan şiddeti, akımın yönüne ve doğrultusuna, şiddetine, akımın geometrik şekline (akımın geçtiği iletkenin şekli; dairesel, selenoid, doğru biçiminde, vb olması) ve akımı çeviren ortamın cinsine bağlıdır (Horton, W. F. and Goldberg, S., 1995).

1.5.1 Manyetik alan şiddeti

Manyetik alan şiddet vektörü \vec{H} , bölgedeki akımın varlığından dolayı oluşan manyetik alanı tanımlar. Bölgedeki akımların ayrıntıları verilmişse, bölgedeki her noktada \vec{H} 'nin büyüklüğü ve yönü belirlenebilir. \vec{H} 'nin büyüklüğü uzaklıkla hızla azaldığı için, sadece yakındaki alanlarla ilgilenilebilir. Manyetik alan şiddeti \vec{H} amper/metre birimli vektörel bir büyüklüktür. Manyetik alan şiddeti

$$H = \frac{I}{2\pi r}[\text{amper/metre}] \quad (1.2)$$

bağıntısıyla hesaplanır. Burada I akımın büyüklüğünü (amper) ve r alan hesabı yapılan noktanın iletkenine dik uzaklığını (metre) göstermektedir (Horton, W. F. and Goldberg, S., 1995).

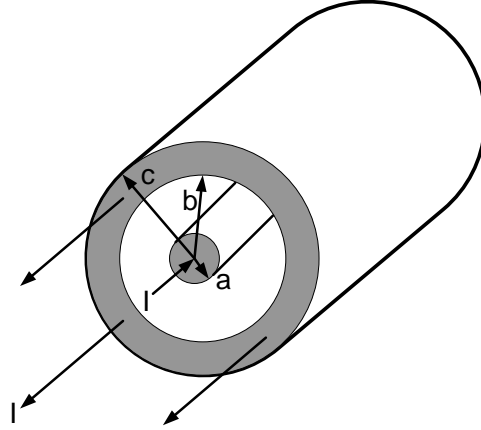
Vektörel notasyonda:

$$\vec{H} = \frac{I\hat{\phi}}{2\pi r}[\text{amper/metre}] \quad (1.2a)$$

Burada $\hat{\phi}$ birim vektörü, Şekil 1.1'de gösterilen pozitif yönde r yarıçaplı daireye teğettir. Statik manyetik alanda Amper Akım Yasası, simetrik akım dağılımında birçok problemin çözümüne olanak verir. Amper Yasası, \vec{H} 'nin kapalı bir yol boyunca integralinin akıma eşit olduğunu belirtir.

$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = I_{en}[\text{amper}] \quad (1.2b)$$

Burada integral, I_{en} akımını çevreleyen kapalı c yolu üzerinde alınmıştır. Bu yasa, manyetik alan hesaplarında çokça kullanılır. Şekil 1.1’de gösterilen uzun eş eksenli kablunun çevresindeki manyetik alan dağılımı, kolaylıkla Amper Yasası ile elde edilebilir (Horton, W. F. and Goldberg, S., 1995).



Şekil 1.1 : Bir koaksiyel (eş eksenli) kablo (Horton, W. F. and Goldberg, S., 1995)

İletkenler arası bölgede ($a < b < r$)

$$H = \frac{I}{2\pi r} [\text{amper/metre}] \quad (1.3)$$

olur.

Burada r , içteki iletkenin ekseninden uzaklıktır. Dış iletkenin ötesinde, kapalı akım yolu sıfır olduğu için $H = 0$ ($r > c$) olur.

1.5.2 Manyetik akı yoğunluğu

$$B = \mu_0 H [(\text{Wb/m}^2) \text{ veya (T)}] \quad (1.4)$$

bağıntısı ile verilen manyetik akı yoğunluğu Tesla veya metre kare başına weber birimi ile ifade edilir (Özaktaş, H. M., 1999). Manyetik endüksiyon olarak da bilinen manyetik akı yoğunluğu, özellikle biyolojik etkileri açısından manyetik alanları karakterize etmek için kullanılır. Manyetik malzemeler için, B ve H alanları arasında çok önemli farklılıklar mevcuttur. Fakat boşlukta ve pratiklik yönünden biyolojik dokularda B/H oranı sabittir (Umurkan, N., Şeker, S. ve Çakır, H., 1995).

Manyetik akı ise;

$$\Psi_m = \oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} \quad (\text{Wb}) \quad (1.5)$$

ile gösterilir (Özaktaş, H. M., 1999).

Manyetik malzemelerde, manyetik kutuplar yalıtılmadığı için manyetik alan çizgilerinin başlayıp son bulduğu manyetik yükler yoktur. Bu nedenle manyetik akılar için;

$$\Psi_m = \oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} \quad (\text{Wb}) = Q \quad (1.6)$$

yazılır (Güler, G. ve Atalay, N. S., 1999). Manyetik alan şiddeti \vec{H} , \vec{B} ile gösterilen manyetik akı yoğunluğuna neden olur.

$$\vec{B} = \mu \vec{H} [\text{Tesla}] \quad (1.7)$$

Burada μ alanın oluştuğu malzemenin manyetik geçirgenliğidir. Çoğu malzeme için μ skalerdir ve \vec{B} , \vec{H} ile aynı yöndedir. Manyetik akı yoğunluğu, alan içinde hareket eden yüke etkiyen kuvvet olarak tanımlanır. Manyetik malzemelerde μ farklılıklar gösterir (Kalenderli, Ö., Yıldırım, H. ve Mardikvan, K., 1997). μ genel olarak şu şekilde ifade edilir.

$$\mu = \mu_0 \mu_R \frac{\text{tesla-metre}}{\text{amper}} \text{veya} \frac{\text{Henry}}{\text{metre}} \quad (1.8)$$

Burada μ_0 boşluğun manyetik geçirgenliği ve μ_R malzemenin bağıl manyetik geçirgenliğidir.

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} [\text{Henry/metre}] \quad (1.8a)$$

Bazı malzemelerin μ_R değerleri Çizelge 1.1'de verilmiştir. Çizelge 1.1'de verildiği gibi ferromanyetik malzemelerin μ_R 'si büyüktür. μ_R 'nin asıl değeri sadece malzemeye değil hem de malzemedeki B değerine bağlıdır. Özellikle biyolojik etkiler açısından manyetik alanı karakterize eder. Manyetik akı yoğunluğu, alan içinde hareket eden yüke etkiyen kuvvettir. Manyetik indüksiyon olarak da bilinir. B ile sembolize edilen büyüklüğün birimi T (Tesla) dir. $1 \text{ T} = 1 \text{ Vs/m}^2 = 1 \text{ Wb/m}^2$

Boşlukta ve uygulamaların çoğunda B/H oranı ($B/H = \text{sabit} = \mu_0$) sabit alınsa bile aslında manyetik alan ve manyetik akı yoğunluğu cisimlerde birbirinden farklıdır.

Çizelge 1.1 : Bağlı geçirgenlik μ_R değerleri

Malzeme	Manyetiklik Türü	μ_R
Gümüş	Diyamanyetik	0,99998
Bakır	Diyamanyetik	0,999991
Vakum	Manyetik olmayan	1,0
Alüminyum	Paramanyetik	1,00002
Kobalt	Ferromanyetik	250
Nikel	Ferromanyetik	600
Yumuşak çelik	Ferromanyetik	2000
Demir	Ferromanyetik	5000
Mumetal	Ferromanyetik	100000
Supermalloy	Ferromanyetik	800000

1.5.3 Manyetik akı

A (m^2) alanından geçen manyetik akının büyüklüğü aşağıdaki integrale verilir:

$$\phi = \int_A \vec{B} \cdot \vec{dA} \text{ [weber]} \quad (1.9)$$

Burada $\vec{B} \cdot \vec{dA}$, \vec{B} ve \vec{dA} vektörlerinin skaler çarpımını gösterir, ve \vec{dA} alanın diferensiyel faktörüdür. Eğer A normal olarak B tarafından girilmiş yüzey alanıysa o zaman $\phi = B A$ 'dır (Horton, W. F. and Goldberg, S., 1995).

1.6 Amper Formülü

Manyetik alan vektörel bir büyüklüktür. Sabit bir eksen boyunca salınımlar (tek fazlı kaynak) veya bir düzlemde elips şeklinde dönmeler (çok fazlı veya pekçok senkronize kaynaklar) yapar. Manyetik alan şiddeti, H , metre başına amper olarak ifade edilir (A/m). Manyetik alanlarda akım dağılımlarının simetrik olması durumunda problem çözümlerini kolaylaştıran bir bağıntı mevcut olup Amper Çevre Yasası olarak adlandırılır. Bu kurala göre H manyetik alanının kapalı bir çevre boyunca integrali bu kapalı çevrenin içinde kalan akıma eşittir.

$$\int_L \mathbf{H} \cdot d\mathbf{L} = I \quad (1.10)$$

ile ifade edilir (Umurkan, N., Şeker, S. ve Çakır, H., 1995).

1.7 Stokes Teoremi

Stokes teoremi sayesinde $\mathbf{H} \cdot d\mathbf{L}$ çevre integrali, rot \mathbf{H} 'nın yüzey integraline dönüştürülür.

$$\oint_C \mathbf{H} \cdot d\mathbf{L} = \int_S (\nabla \times \mathbf{H}) \cdot d\mathbf{S} \quad (1.11)$$

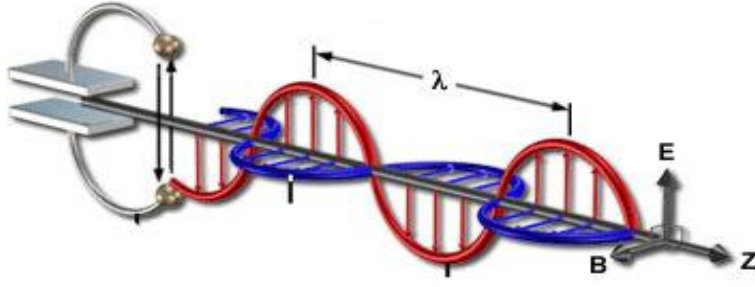
olarak ifade edilir. Burada “S” yüzeyi çizgisel integraldeki C çevresinin içinde kalan bölgedir (Özaktaş, H. M., 1999).

1.8 Elektromanyetik Alan

Bir elektrik yükünün hareketi sonucunda uzayda oluşan değişikliklere elektromanyetik alan denir. Bileşenleri elektrik ve manyetik alandır. Elektrik alan oluşumu ortamda yüklerin varlığına bağlı iken Manyetik alan oluşumu yüklerin hareketli olmasıyla (akım akmasıyla) oluşur (Sevgi, L., 2005). Elektromanyetik dalgalar biçiminde yayılan enerjiye elektromanyetik radyasyon (ışınım) denir. Elektromanyetik ışımada elektrik ve manyetik olan dalgaların uzayda (birlikte) ilerlemesidir. Bu ilerleme ışık hızıyla olur. Elektromanyetik ışımalarda iki dalga tepesi arasındaki uzaklığa dalga boyu (λ) denir. Belli bir noktadan bir saniyede geçen dalga sayısı ise o ışımının frekansıdır (f), Hertz (Hz) ile ölçülür ve

$$c = \lambda \cdot f \quad (1.12)$$

formülüyle verilir. Bu formülde c ışık hızı ve değeri yaklaşık 3×10^8 metre/saniye'dir. Boşlukta elektrik ve manyetik alan vektörleri birbirine diktir ve elektromanyetik dalga her iki alana da dik olarak yayılır. Elektrik alan vektörlerinin değişimi ile manyetik alan vektörlerinin değişimi sinüzoidal eğri biçimindedir ve Şekil 1.2'de görülmektedir.



Şekil 1.2 : Elektrik (E), manyetik (B) ve elektromanyetik alan dalgaları ve vektör yönleri

Frekans yükseldikçe dalga uzunluğu kısalır ve alanda yayılan enerji yükselir. Elektrik ve manyetik alanlar (EMA) güç hatları, elektrik telleri ve elektrik teçhizatları tarafından üretilir. EMA' nın diğer birçok kaynağı vardır. EMA' lar görünmez güç hatlarıdır ve elektrikli cihazları çevrelerler. Elektrik alanları gerilim tarafından üretilir ve gerilimin artmasıyla artış gösterir. Manyetik alan akımın kablolar veya elektrikli cihazlar boyunca akışıyla son bulur ve akımın artmasıyla şiddet artar. Çoğu elektrikli cihaz açılmasıyla birlikte şebekeden çektiği akım miktarına bağlı olarak etrafında manyetik alan oluşturur. Elektrik alanlar elektriği taşıyan materyaller tarafından korunabilir veya zayıflatılabilir. Manyetik alanların ise zayıflatılması oldukça güçtür (Sevgi, L., 2005).

1.9 Özgül Soğurma (SA) ve Özgül Soğurma Oranı (SAR)

Biyolojik dokunun birim kütlesi tarafından soğurulan enerji miktarıdır. Ağırlığı dm olan bir kütle tarafından soğurulan enerji dW ise özgül soğurma

$$SA = \frac{dW}{dm} \quad (1.13)$$

dir. Kütle $dm = \rho dV$ olduğu göz önüne alınır, özgül soğurma

$$SA = \frac{dW}{dm} = \frac{dW}{\rho dV} \quad (1.13a)$$

şeklinde verilebilir. SA'nın birimi J/kg 'dır. ρ ise $[kg/m^3]$ cinsinden vücut yoğunluğunu göstermektedir.

Özgül soğurma oranı SAR (Specific Absorption Rate), elektromanyetik enerjinin vücut dokuları tarafından soğurulma hızıdır.

$$SAR = \frac{d(SA)}{dt} = \frac{d\left(\frac{dw}{dm}\right)}{dt} = \frac{d\left(\frac{dw}{\rho dV}\right)}{dt} \quad (1.14)$$

Özgül soğurma oranının birimi [W/kg]'dir.

Ayrıca özgül soğurma, SAR'ın zamana göre integraline eşittir.

$$SA = \int_0^t (SAR) dt \quad (1.15)$$

Bugüne kadar yapılan araştırmalar insan vücudunun bir derecelik sıcaklık artışını düzenleyemediğini ve problemler yarattığını göstermektedir. Özgül soğurma oranının doğrudan ölçülmesi hemen hemen imkansızdır. Dolayısıyla sınır değerlerin belirlenmesinde kolay ölçülebilen ve/veya gözlemlenebilen parametreler kullanılmaktadır. Bu parametreler, elektrik alan şiddeti, manyetik alan şiddeti ve güç yoğunluğudur (Horton, W. F. and Goldberg, S., 1995).

1.9.1 SAR (Specific Absorption Rate) değeri

İnsan sağlığı açısından zararlı olabilecek sınırlamaları belirlemek için “temel limitler” ve “türetilmiş limitler” tanımlanmaktadır. Standartlarda temel limit olarak “ortalama insan vücudunda vücut sıcaklığını bir derece artıracak elektromanyetik enerjinin soğurulmasının zararlı olduğu” tanımından gidilerek 4 W/kg değeri sınır değeri olarak kabul edilmiştir. Bu kabule göre kilogram başına dokuların soğurabileceği en yüksek güç değeri 4 Watt/kg 'dir. İşyerleri için 10 kat, insanların bulunduğu her yerde 50 kat güvenlik payları esas alınarak temel limitler işyerleri için 0,4 W/kg SAR ve halka açık genel yerler için 0,08 W/kg SAR olarak belirlenmiştir. Bu değerler tüm vücut için 6 dakikalık etkilenme süresi için verilen SAR değeridir.

Avrupa ülkelerinde halk için baş bölgesi SAR limiti 2 W/kg iken bu değer Amerika'da 1,6 Watt/kg olarak kabul edilmektedir. Öte yandan kol ve bacak bölgeleri için SAR üst limiti 4 W/kg kabul edilmiştir (TÜBİTAK, 2001).

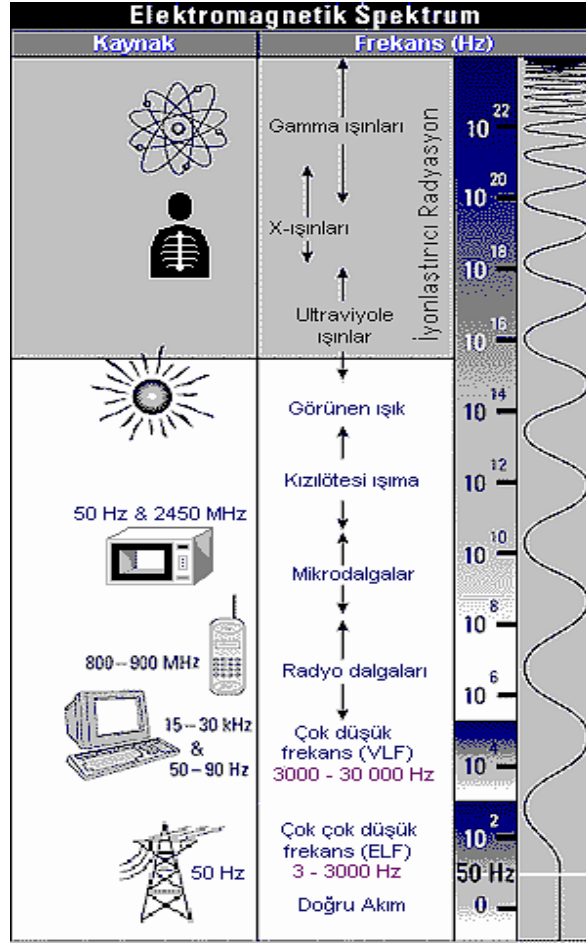
1.10 Elektromanyetik Spektrum

50 Hz frekanslı manyetik alanlar soluduğumuz hava gibi çok yaygındır. Özellikle sanayileşmiş toplumlarda herkes bu alanların ortamında yaşamaktadır. Manyetik alanlar çok çeşitli frekanslarda olur. Çeşitli kaynakların yarattığı elektromanyetik alanlar çok geniş bir frekans aralığına yayılmıştır. Buna Elektromanyetik spektrum denir. 50 Hz frekanslı alanlar, Aşırı Düşük Frekanslı ADF (Extremely Low Frequency ELF) bölgededir. Şekil 1.3'de gösterildiği gibi alanın ve onu üreten elektrik akımının frekansları aynıdır. Elektromanyetik spektrum, insan sağlığı söz konusu olduğunda farklı frekanslarda farklı olarak ele alınır. En önemlileri (i) alçak frekanslar ve yüksek gerilim hatları, (ii) gezgin iletişim ve GSM şebekeleri, ve (iii) mikrodalga ısıtmadır. Şekil 1.3'de elektromanyetik spektrum ve ilgili kullanım alanları gösterilmiştir.

DC'den 10^{22} Hz'lere dek uzanan spektrumda 0 Hz -300 GHz arası iyonlaştırmayan ışınım bölgesi olarak adlandırılmaktadır. Elektromanyetik spektrumun en uzun dalga boyundan en kısa dalga boyuna sıralanışı şu şekildedir: 1. Radyo dalgaları 2. Mikro dalgalar 3. İnfrared dalgalar (IR, kızıl ötesi) 4. Optik dalgalar 5. Ultraviyole dalgalar (UV) 6. X-ışını dalgaları 7. Gama dalgaları (Sevgi, L., 2005).

EM dalga yayıcılar bununla da kalmamaktadır. Doğanın bozulmamış sisteminde, insanların da yaydığı bir elektromanyetik dalga söz konusudur. İnsan Vücudu, besinlerin yakılması sonucunda oluşan ısıyı, vücut sıcaklığını 37° C sabit tutmak için sürekli olarak etrafa vermek zorundadır. Yani insan vücudu ısıyı (yaklaşık % 60'ını) saniyede 10^{12} Hz titreşim yapan kızıl ötesi ışınım ile uzaklaştırmaktadır. Bunun yanında yerkürenin ve insan vücudunun hemen her bölgesinin EM özellikleri farklıdır. Normal havada statik (DC) elektrik alan değeri 120-150 V/m değerinde iken Yağmurlu ve şimşekli havalarda bu değer 10.000 V/m'ye çıkabilir. Yeryüzünün DC geomanyetik akısı 0,5 G, AC alanı ise yaklaşık 10^{-5} G değerindedir. Vücudumuzda, kalp bölgesinde 10^{-7} G, karın bölgesinde 10^{-6} G, ciğerimizde ise 10^{-5} G değerlerinde DC manyetik akı söz konusudur. Vücut manyetik alanı yerkürenin geomanyetik alan büyüklüğü (10^{-5} G) ile karşılaştırıldığında insan vücudunun çevredeki doğal alan olan yerkürenin manyetik alanı ile uyumlu olduğu görülmektedir. Böyle bir ortamda evrimleşen insan için çevre doğal alanları

teknolojik gelişme ile bozulmuştur. Teknolojinin bize sunduğu yaşamımızı kolaylaştıran tüm aletler bu uyumu bozmaktadır.



Şekil 1.3 : Elektromanyetik alan ve radyasyon kaynakları (Sevgi, L., 2005)

Elektromanyetik spektrumda;

3 Hz- 3 kHz arası çok çok düşük frekans bölgesi

3 kHz – 30 kHz arası çok düşük frekans bölgesi

10^{12} Hz'lere kadar olan bölge radyo dalgaları diye alınır

10^{12} Hz'ler kızıl ötesi ışınlar bölgesidir. (Bütün nesnelere bu frekanslarda ısınım yayarlar)

Görünür ışık frekansları 10^{14} Hz'lerdir. Bu frekansların üstü iyonlaştırıcı radyasyon bölgesi olup mor ötesi, x ve gama ışınları bu bölgededir. Çok düşük frekanslar bölgesinde en önemli konu 50 Hz'deki yüksek gerilim hatlarıdır (Sevgi, L., 2005).

1.10.1 İyonlaştırıcı radyasyon

Radyasyon parçacık yayılımı (partikül emisyonu) anlamına gelmektedir, madde içine nüfuz edebilen ışınlar için kullanılmaktadır. Madde içine nüfuz edip atomları iyonlaştırması (elektron koparması) ya da iyonlaştırmamasına göre iki gruba ayrılmaktadır. Madde içerisinden geçerken enerjisini ortama aktarmak suretiyle, ortamdaki atomları doğrudan veya dolaylı yollarla iyonlaştıran radyasyon türüne iyonlaştırıcı radyasyon denir. Çok yüksek frekanslar (300 GHz üstü) iyonlaştıran Nükleer Radyasyon (nötron, proton, alfa, beta tanecikleri, x ve gama ışınları gibi); EM foton kimyasal bağları kıracak kadar enerjiye sahiptir. Bağların kırılması olayı iyonlaşma olarak adlandırılır. EM spektrumun bu bölümüne de “iyonize bölüm” adı verilir (Sevgi, L., 2005).

1.10.2 İyonlaştırmayan Radyasyon

İyonlaştırıcı özelliğe sahip olmayan (DC – 300 GHz arası); sabit telekomünikasyon cihazları olan baz istasyonları, radyo ve televizyon vericileri ile Elektrik şebekelerinden kaynaklanan çok alçak frekanslı (50 Hz) elektrik ve manyetik alanlar, trafo merkezleri ve elektrikli ev aletlerinden kaynaklanan radyasyon iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak ifade edilen elektromanyetik radyasyon grubunda yer alır. Daha düşük frekanslarda, fotonun enerjisi kimyasal bağları etkileyemeyecek kadar küçüktür. EM spektrumun bu bölümüne de “iyonize olmayan” adı verilir (Sevgi, L., 2005).

1.11 Elektromanyetik Büyüklükler ve Birimler

Elektrik alanların şiddeti metre başına düşen gerilim (Volt/metre) ile ölçülürken, manyetik alanın ölçü birimi Tesla'dır. Yaygın olarak kullanılan bir başka birim ise Gauss'tur. Bu alanların insanları nasıl etkilediği henüz tam olarak anlaşılmış değildir. Fakat yapılan çalışmalar; manyetik alanların, elektrik alanlara göre daha etkili olduğunu düşündürmektedir. Elektrik alanlar insan bedeninin yüzeyinde zayıf akımlar oluşturur. Manyetik alanlarsa bedenin içine girerek bu tür zayıf akımların iç organlarda bile oluşmasına yol açarlar. Gerçekte değişken manyetik alanlar, çevrelerinde bulunan tüm iletkenlerde (insan bedeni de bir iletken olarak düşünülebilir) akım oluştururlar.

Manyetik alandan iki şekilde söz edilebilir. Birincisi manyetik akı yoğunluğu (B) olup birimi “Tesla” dır (1 Tesla (T) = 10.000 Gauss (G)’dur) İkincisi ise manyetik alan şiddeti (H) olup birimi “A/m” dir. Bu iki büyüklük ortamın manyetik geçirgenliği ile birbirine $B = \mu H$ ilişkisi ile bağlıdır. (Boş uzayda, havada ve canlı dokularda $\mu = 4\pi 10^{-7}$ [Henry/m] olarak alınır.)

Uluslararası Birim Sistemi (UBI) sözü geçen tartışmada kullanılmıştır. UBI sistemi tercih edildiği gibi Gauss sistemi de çoğunlukla kullanılmaktadır. UBI birimlerinden Gauss birimlerine dönüştürme Çizelge 1.2’de gösterilmiştir. Çizelge 1.3’de ise EM büyüklükler ve birimleri gösterilmiştir. Örneğin boş alanda uzun ince ip şeklinde, I (amper) akım taşıyan iletkenin r (metre) uzaklıkta olan manyetik akı yoğunluk vektörünün büyüklüğü aşağıdaki gibi verilmiştir

$$B = 2 \times 10^{-7} \frac{I}{r} \text{Tesla} = \frac{2I}{r} \text{miligauss} \quad (1.16)$$

Pratikte $1 \text{ mT} = 10^{-3} T$ ve $1 \mu\text{T} = 10^{-6} T$ alt birimlerde kullanılır.

Çizelge 1.2 : UBI ve Gauss birimlerinin karşılaştırılması

Nicelik	Sembol	UBI birimi	Gauss birimi
H	Manyetik alan şiddeti	1 Amper/metre	$4\pi \times 10^{-3}$ Oersted
ϕ	Manyetik akı	1 Weber	10^8 Maxwell
B	Manyetik akı yoğunluğu	1 Weber/metre ² =1 Tesla	10^4 Gauss
μ_0	Boşluğun geçirgenliği	$4\pi \times 10^{-7}$ Henry/metre	1 Gauss/Oersted

Çizelge 1.3 : EM büyüklükler ve birimleri

Sembol	Büyükük	Birim
E	Elektrik alan	Volt/m
H	Manyetik alan	Amper/m
J	Yüzeysel akım yoğunluğu	Amper/m ²
ρ	Hacimsel yük yoğunluğu	Coulomb/m ³
ϵ	Dielektrik katsayısı	Farad/m
σ	İletkenlik	Siemens/m
μ	Manyetik geçirgenlik	Henry/m

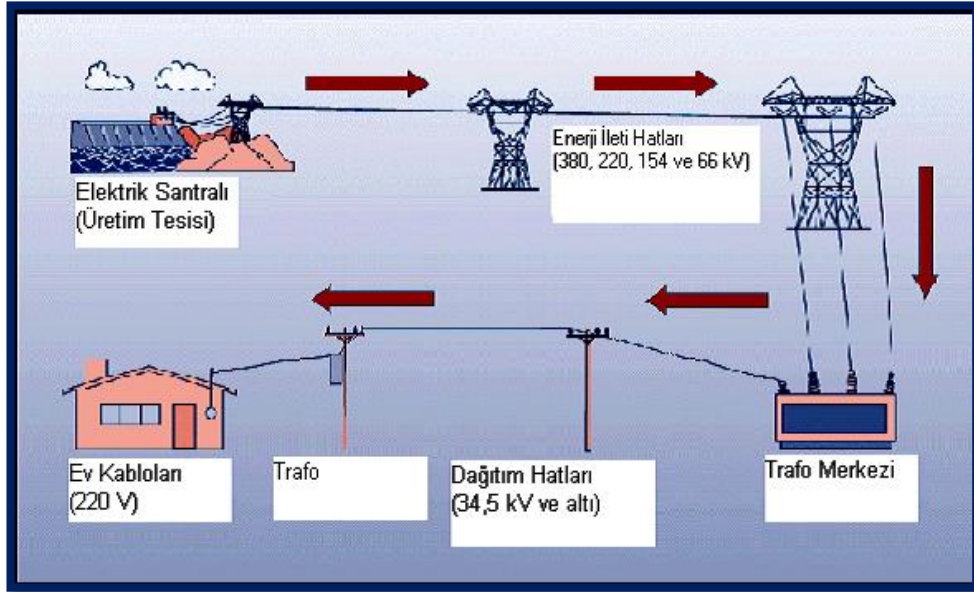
- İletkenlik σ , iletken akım yoğunluğunun elektrik alan şiddetine oranıdır ve metre başına Siemens birimi ile ölçülür ($\sigma = J/E$ [S/m]).
- Dielektrik katsayısı ϵ , elektrik akı yoğunluğunun elektrik alana bölünmesiyle tanımlıdır ($\epsilon = D/E$ [F/m]).
- Manyetik geçirgenlik μ , manyetik akı yoğunluğunun manyetik alana oranı olarak tanımlanır ($\mu = B/H$ [Henry/m]).

Zamanla değişen elektromanyetik alanlara maruz kalma vücutta dokularda enerji yutulmasına ve vücut içi akımların akmasına neden olur. Dokularda akan akım ile oluşan elektrik alan arasında, σ doku iletkenliği olmak üzere, $J = \sigma E$ [A/m²] ilişkisi vardır (Sevgi, L., 2005).

2. 50 Hz ALTERNATİF AKIMDAN KAYNAKLANAN ELEKTRİK VE MANYETİK ALANLAR

2.1 Giriş

Elektrik enerjisi, üretildiği yerden uzak mesafelere yüksek gerilim hatları ile taşınır, sonra daha düşük gerilimli hatlarla evlere ve işyerlerine dağıtılır. Bu hatlar 50 Hertz (Hz) frekansında alternatif akım taşırlar. Tüm enerji nakil ve dağıtım hatları, evlerdeki elektrik tesisatı, ve elektrikli aygıtlar, içlerinden geçen bu 50 Hz akımdan dolayı aynı frekansta elektrik ve manyetik alan üretirler. Elektrik kaynaklı elektrik alanları ve manyetik alanlar Şekil 2.1’de gösterildiği üzere, elektriğin üretimi, iletimi ve kullanımı sırasında meydana gelmektedir (Koşalay, İ., 2008).



Şekil 2.1 : Elektriğin üretimi ile kullanımı arasındaki süreç (Dengiz, H., 1991)

Elektrik enerjisinin yaygın kullanımı nedeniyle bütün insanlar bu alanlara belli oranlarda maruz kalırlar. Genel olarak bu frekanslardaki alanların etkilerinin birbirlerine benzer olduğu düşünülebileceğinden bunlar topluca ele alınabilir. İnsan sağlığı yönünden, manyetik alanların elektrik alanlarından daha zararlı olabilecekleri

düşünülmektedir. Kesin bir sınır değeri vermek mümkün olmamakla birlikte, manyetik alanlar için yaklaşık 0,1 mikro Tesla = 1 miliGauss (mG) şiddeti bir hedef değer olarak alınabilir. Elektrik alanları konusunda daha büyük belirsizlik olmasına rağmen 1–10 Volt/metre (V/m) şiddet aralığı bir hedef değer olarak alınabilir. Bu rakamların, üstü kesin zararlı, altı da kesin zararsız olduğu söylenmemekle birlikte, riski azaltmak açısından pratik hedefler olarak görülmektedir. Gündelik yaşantıda farklı değerlerde ELF 50 Hz frekanslı elektrik ve manyetik alanlarla karşılaşılır. Çizelge 2.1’de bu alanların tipik değerleri gösterilmiştir. Çizelge 2.1’den de görüleceği üzere, enerji iletim hatlarının yakınlarındaki elektromanyetik alan değerlerinin yüksekliği araştırmalarda öncelik kazanmasına neden olmuştur.

Çizelge 2.1 : Çeşitli kaynakların alan değerleri (Koşalay, İ., 2008)

Alanların kaynakları	Elektrik alan değeri (V/m)	Manyetik alan değeri (mG)
Yapı elektrik tesisatları	1-10	1-5
Elektrikli cihazlar	30-300	5-3000
Trafo merkezi civarı	10-60	1-10
Elektrikli tren vagonu	---	10-200
Güç iletim hattı yakını	1000-7000	5-3000

Enerji iletim hattı çevresinde ölçülen elektrik ve manyetik alan değerleri; ölçümün yapıldığı koşul ve zamandaki akım değerlerine, hattın gerilim düzeyine, hattın yüksekliğine, sehimine, arazi koşullarına, iletken cinsine, her fazdaki iletken sayısına vb. etmenlere bağlı olarak değişim göstermektedirler.

Günümüzde elektrik enerji iletim ve dağıtımının yüksek gerilim hatlarıyla sağlanması ve yerleşim bölgelerinde toplumun bu iletim hatları ile birlikte yaşamak zorunda kalması; taşıma hatlarının oluşturduğu elektromanyetik alanların etkilerinin araştırılması çalışmalarına yol açmıştır. Yüksek gerilim hattı en fazla 750 kV’luk gerilime sahip olduğunda yarattığı alan şiddeti hattın yerden yüksekliğine göre 1000 V/m- 12.000 V/m şiddetlerinde olabilmektedir. Yüksek gerilim hatlarının yapımına ilişkin şartnameler hatların yerleşim merkezlerinin dışında ya da açığında kurulmasını gerektiriyorsa da, bugün yerleşim birimlerinin içinden geçen yüksek gerilim hatları insan sağlığı için gerçek birer tehlike oluşturmaktadır. Yerleşim merkezlerine yakın olan bölgelerde insanlar için maruz kalınabilecek E alan şiddeti 1-5 kV/m’dir. Halk sağlığı açısından yüksek gerilim hatlarının oluşturduğu E

alanların limit değerleri ve bu alanlarda kalış süreleri her gelişmiş ũlke tarafından gũvenlik standartları ile sınırlandırılmıştır. Ayrıca hatlar, insanlar için tehlike oluşturmayacak şekilde inşa edilmelidir. Bununla beraber pirinç alanları, çiftlikler ve ormanlar gibi nũfusu az bŕlgelerde, hat herhangi bir kimseye zarar vermeyecek şekilde inşa edilmişe bu sınırlar uygulanmaz (Gũler ve Atalay, 1995), (Kalenderli Ő., Yıldıırım, H. 1997).

Manyetik alanlara maruziyetin araştırılması başta mesleki çalışanları olmak ũzere, genel halk sağlığı açısından bũyũk Önem taşır. Manyetik alanlar çevremizi kuşatmakta olup, kaynakların gittikçe artan bir biçimde kullanılması, maruz kalma miktarının potansiyel seviyesinde bir artışa neden olmaktadır.

Araştırmalar aşağıdaki iki yoldan sonuç almaya çalışmaktadır.

Epidemiyolojik alışmalar: Belirli bir hastalık ile olası sebepleri arasındaki ilişkiyi istatistiksel olarak araştırır.

Deneysel alışmalar: Laboratuarlarda hayvanlar ũzerinde, doku hũcrelerinin alanlara karşı gŕsterdikleri etkiler test edilir. Elektrik ve manyetik alanların etkilerinde, anlamlı epidemiyolojik çalışma yapmak hayli zordur; ũnkũ dũnyanın her yerinde elektrikten faydalanma sŕz konusu olduğu için elektrik ve manyetik alanlardan etkilenmemiş bireylerin bulunması mũmkũn değildir. Elli yıl Őncesine kadar elektrik ve manyetik alanların, atmosferde oluşan doğal seviyesi oldukça dũřũk değerde idi. Endũstrileřme ile birlikte elektromanyetik enerjisinin kullanımının yaygınlaşması ile birlikte elektromanyetik alanların insan, hayvan ve bitkiler ũzerindeki etkisinde artış meydana gelmiştir.

EMA'nın kansere yol açıcı bir faktŕr olduğu henũz kesin olarak ispat edilmemiştir. Dolayısıyla bu konunun kesinleşmesi için insanlar ũzerinde, uzun sũreli, epidemiksel ve deneysel çalışmalar yapılması gereklidir. Bugũn ise sadece hayvanlar ũzerinde yapılan çalışmalardan çıkarılan sonuçlar ũzerinden yorumlar yapılmaktadır. Hayvanlar ũzerinde yapılan deneyler sonucunda, EMA'nın kanser riskini arttırıcı etkileri gŕrũlmũřtũr. Bu etkilerin oluşması EMA'nın frekansına, şiddetine, vũcut Őlũlerine, vũcudun elektriksel Özelliklerine, EMA'nın mesafesine ve en Önemlisi etki sũresine bağlıdır. Buna gŕre en çok yũksek gerilim hatlarında veya yũksek gerilim tesislerinde, radyo ve TV vericilerinde çalışanlar etkilenmektedirler (Canseven, 1995), (Özaktaş, H. M., 1999).

2.2 Epidemiyoloji

Epidemiyoloji kelime anlamı olarak geniş halk kitlelerinde çeşitli hastalık türlerini ve bunlara sebep olan etkileri inceleyen çalışmalardır. Epidemiyolojistler kısa dönem epidemileri örneğin yiyecek zehirlenmesi gibi ve kalp rahatsızlıkları, kanser gibi, uzun dönem hastalıkları üzerinde çalışırlar. Bu çalışmaların sonucu çeşitli faktörler ve hastalıklar ile istatistiksel bağlantılar rapor edilir. Araştırmalarının sonucunun istatistiksel olarak anlamlı olabilmesi ancak bir ilişkinin varlığından %95 emin olunması suretiyle kabul edilir. Fakat gene de böyle bir sonuç bile söz konusu etkenin o hastalığa kesin sebep olduğunu kanıtlamaz. Bunun için laboratuarda hayvanlar ya da canlı dokular üzerinde araştırmalar yapıp istatistiksel olarak verilen bu sonuçlar araştırma sonuçları doğrultusunda olmak kaydıyla desteklenip, onaylanabilmelidir (Kalenderli Ö., Yıldırım, H. 1997).

2.3 Elektromanyetik Alanların Canlılar Üzerindeki Etkileri ve Araştırma Sonuçları

İyonlaştırıcı olmayan EMA'nın etkisinde kalma sonucunda canlılarda olası iki tür etkil oluşabilmektedir: Isıl etkiler ve ısıl olmayan etkiler.

Isıl etkiler, vücut tarafından yutulan EM enerjinin ısıya dönüşmesi ve vücut sıcaklığını arttırması olarak belirtilir. Bu sıcaklık artışı, ısının kan dolaşımı ile atılarak dengelenmesine dek sürer. ELF'nin sebep olabileceği sıcaklık artışı gerçekte çok düşüktür ve büyük olasılıkla vücudun normal mekanizmaları ile atılabilir.

Isıl olmayan etkilere bağlı olarak iddia edilen bozukluk ve hastalıklar arasında beyin aktivitelerinde değişiklikler, uyku bozuklukları, dikkat bozuklukları, baş ağrıları ve baş dönmelerinin çoğalması sayılabilir. EMA'nın ısıl olmayan etkileri insan organizmasında büyük ölçüde karışıklığa sebep olabilirler. Örneğin, vücudun molekül ve atomları kendi aralarında kurdukları elektrik dengeyi kaybedebilir, biyokimyasal faaliyetlerden etkilenebilir ve en önemlisi hücrenin ve dolayısıyla dokuların işleyişindeki elektriksel yapı bozulabilir. Kalp dolaşım sistemi, bağışıklık sistemi ve sinir sisteminde buna bağlı bozukluklar ortaya çıkabilir. Vücudun bağışıklık sisteminin sürekli zayıflamasının “kanseri artıran veya kanseri başlatan, tetikleyen bir etki” yapacağı konusunda gündeme gelmiş etkilerden biridir. Çocuklarda kan kanseri riskinin artmasını, kan tablosunun değişmesini

elektromanyetik alanlara bağlayan çalışmalar vardır. İnsan sağlığı açısından artık bir risk faktörü oluşturan elektrik alanların biyolojik etkilerini araştıran çalışmaların sayısı hızla artmaya başlamıştır (Şeker, S. ve Çerezci, O., 1997).

Hayvan hücre ve dokusu üzerinde laboratuvar çalışmalarında; çok düşük alanların, aşağıdaki etkilerinden şüphe edilmektedir.

- Hücreler arası aktiviteyi etkilediği,
- Hormon salgısını etkilediği,
- Vücudun koruma sistemini etkilediği,
- Genç insanların gözünde zamansız katarakt oluşturduğu,
- Yüz derisinde döküntüler meydana getirdiği,
- Embriyolarda anormal gelişmeleri etkilediği,
- Bağışıklık sistemini bozduğu,
- Halusinasyon, baş ağrısı ve depresyon oranlarında artışa neden olduğu bilgileri mevcuttur (Şeker, S. ve Çerezci, O., 1997).

Yapılan Epidemiyolojik ve Deneysel çalışmalardan bazılarının sonuçlarını aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür.

ABD Teknoloji Değerlendirme Bürosunun iletim hatlarının ürettiği elektrik ve manyetik alanların halk sağlığı üzerindeki etkileri konulu raporunda; elektrik ve manyetik alanlar ile hücrenin etkileşiminin hücre zarında olduğunu ve elektromanyetik alanların vücudun elektrik düzeninde oluşturabileceği küçük bir işaret değiştirmesinin bile, hücrenin çalışmasında kritik öneme sahip biyokimyasal değişiklikler için yeterli olduğunu belirtmektedir. Ayrıca elektromanyetik alanlar normal büyüme işlemini yürüten hücrelere etki ederek özelliklerini bozmaktadır (Şeker, S. ve Çerezci, O., 1997).

Yetişkin kanserleri ile elektrik hatları arasındaki bağı inceleyen Wertheimer (1982); elektrik hatları beyin kanseri yapar ancak lösemiye neden olmaz demiştir.

Elektrik hatlarında çalışanların beyin kanserine yakalanma oranı 7 kat fazla bulunmuştur (Şeker, S., 1993).

Yüksek gerilim hatlarına 100 metrelik mesafe içerisinde yaşayan yetişkinlerde yapılan incelemede, lösemide artış bulunmuştur (Li, 1997).

Elektrik hatlarına 50 metrelik mesafe içerisinde yaşayan çocuklarda, elektrik alana maruz kalmayla kanser arasında herhangi bir ilişki bulunamamıştır (UKCCSIC, 2000).

ELF hatlarına 0-600 metre aralığında oturanlarda, lösemi oranında artış vardır (Draper, 2005).

Alzheimer ile güç kaynakları arasında bir bağ olduğu rapor edilmiştir (Harmancı ve Emre, 2003).

Mesleği gereği elektromanyetik alanlara uzun süre maruz kalan erkeklerde alzheimer hastalığı görülürken kadınlar için bu durum geçerli değildir (Qiu, 2004).

Yüksek gerilim hatları ile düşük doğum yapma arasında yükselen bir risk ilişkisi bulunmuştur (Lee, 2002).

3. 34,5 kV'LUK ELEKTRİK ENERJİSİ DAĞITIM HATLARI ÇEVRESİNDEKİ MANYETİK ALANIN BIOT SAVART YASASI İLE HESABI

3.1 Giriş

Bu çalışmada, orta gerilimle enerji dağıtımında yaygın olarak kullanılan 34,5 kV'luk hatlar çevresindeki manyetik alan düzeyi Biot-Savart yasasına göre yapılan hesaplarla, teorik olarak araştırılmıştır. Hesaplar tek devre ve çift devre hatlar için, hatlardan farklı değerlerde akımlar akması durumları için tekrarlanmıştır. Çift devre hatlar çevresinde manyetik alan düzeyinin tek devre hatlara göre daha yüksek olduğu, artan akımla manyetik alan düzeyinin de arttığı, hattan uzaklaştıkça manyetik alan şiddetinin azaldığı görülmüştür. Çalışma sonunda manyetik alan etkilerinden korunmaya yönelik öneriler verilmiştir.

3.2 Elektrik Enerjisi Dağıtım Sistemi

Elektrik enerjisi çağımızın en önemli enerji kaynaklarından biridir. Teknolojik gelişmeler ve ekonomik kalkınmışlık düzeyine bağlı olarak, elektrikli araç ve gereçlerden yararlanma da hergün biraz daha artmaktadır. Manyetik alanı oluşturan cihazlar günlük yaşantımızda daha fazla yer almakta, elektrik enerjisi iletim ve dağıtım tesislerinin uzunlukları ile transformatör merkezleri sayıları gün geçtikçe artmaktadır. Artan elektrik enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için üretim merkezlerinden tüketim merkezlerine büyük miktarda enerjinin iletilmesi gerekmektedir. Büyük miktarda enerjinin uzak mesafelere iletilmesi, gerilim değerinin yükseltilmesi ile mümkün olmaktadır. Yüksek gerilim ve akımdan dolayı enerji iletim hatlarının çevresinde elektromanyetik alanlar meydana gelmektedir. Çevre bilincinin giderek önem kazanması ile enerji iletim hatlarının çevresinde alçak frekanslı manyetik alanların, çevredeki bitki örtüsü, hayvanlar ve insanlar üzerindeki biyolojik etkisinin belirlenmesi için çeşitli araştırmalar yapılmaktadır (Umurkan, N., Çakır, H. ve Arslan, F, 1998).

3.3 Elektrik ile Enerji Dağıtımı

Enerji üretim merkezlerinin doğal kaynakların bulunduğu yerlerde tesis edilmesi zorunlu olduğundan, Türkiye’de elektrik enerjisi genel olarak doğu ve güneydoğu bölgelerinde üretilmekte, tüketim ise sanayiinin ve yerleşimin daha yoğun olduğu batı bölgelerinde gerçekleşmektedir. Bu nedenle enerjinin, genel olarak, doğudan batıya taşınması enerji iletim hatları ile yapılmaktadır. Ülkemizde elektrik, genel olarak iki gerilim düzeyinde taşınmaktadır. Bunlardan ilki yüksek gerilim düzeyi olarak tanımlanan 66 kV, 154 kV ve 380 kV gerilimli iletim hatları grubudur. Bu hatlar, üretim merkezlerindeki elektrik enerjisini, tüketim merkezlerindeki ana transformatör merkezlerine taşırlar. Ancak 66 kV gerilimli hatlar artık ülkemizde uzun bir süreden beri tesis edilmemektedir. İkinci gerilim düzeyi ise orta gerilim hattı olarak tanımlanan 34,5 kV ve daha düşük gerilimli 6 kV, 10 kV ve 15 kV gerilimli dağıtım hatlarıdır. Bu hatlar, transformatör merkezlerindeki elektrik enerjisini daha düşük gerilimli transformatörlere ve/veya evlerimize ve iş yerlerimize ulaştırmaktadır. Ülkemizde mevcut yüksek gerilim hattı uzunluğu 38.295 km, orta gerilim hattı uzunluğu 285.094 km ve alçak gerilim hattı uzunluğu ise 407.000 km’dir. Ayrıca 485 adet yüksek gerilim transformatör merkezi ve 204.119 adet orta gerilim transformatör merkezi bulunmaktadır (Dengiz, H., 1991).

3.4 Elektrikle Enerji Dağıtımında Frekans

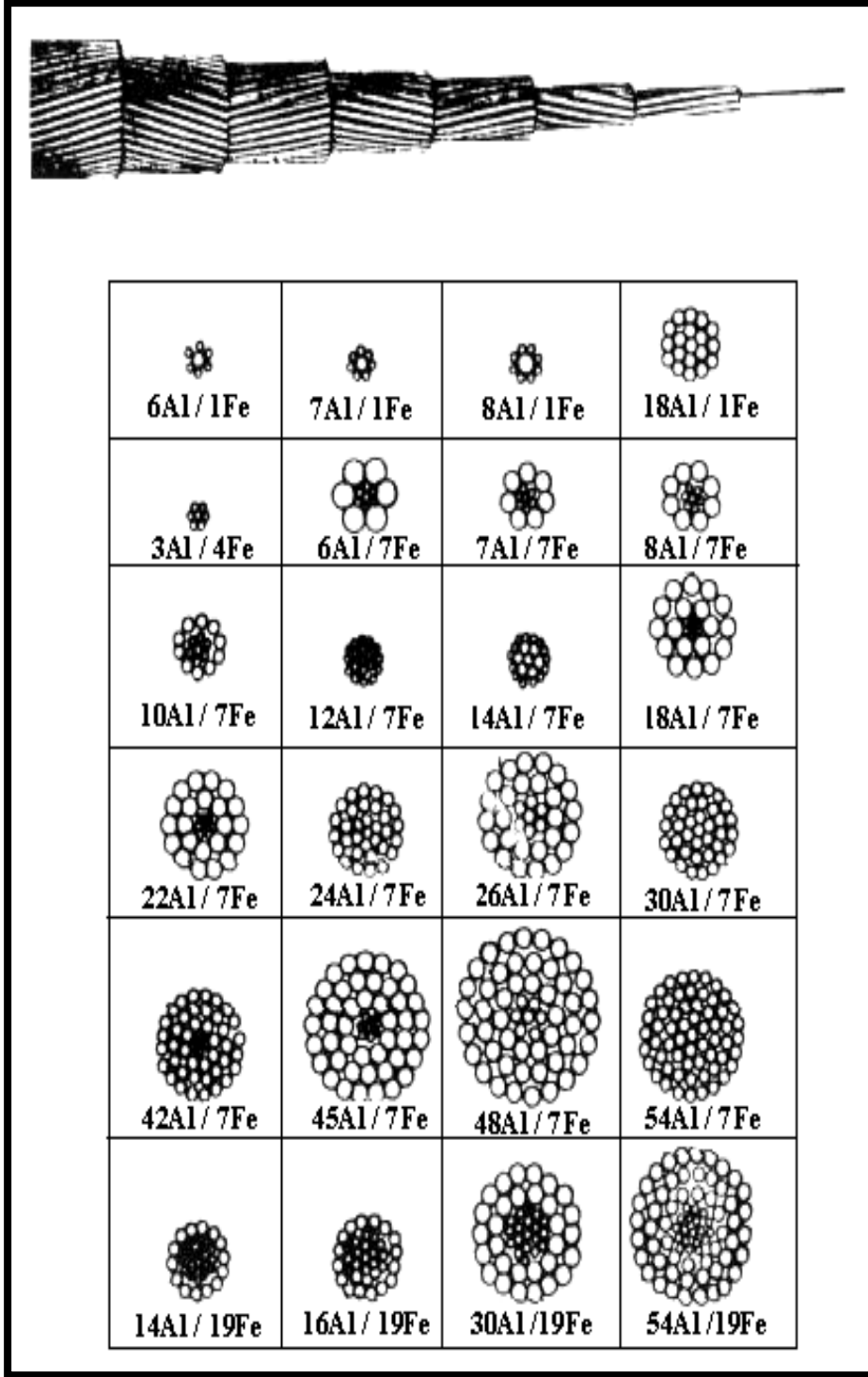
Bugün kullanılan standart frekanslar, Amerika’da 60 Hz ve Avrupa ülkeleri ile Türkiye’de 50 Hz’dir. Frekansın 50 ya da 60 Hz seçilişinin birbirlerine göre üstünlükleri ve yararları vardır. Örneğin 60 Hz frekanslı akım ile çalışan motorlarda döner alanın hızı daha büyük olduğundan, motor devir sayıları daha yüksek olmaktadır. Ayrıca 60 Hz’lik transformatörlerin boyutları 50 Hz’lik trafolarınkinden daha küçük olmakta ve %10-15 arası malzeme arttırımı yapılabilmektedir. Çünkü bir trafoya uygulanan gerilimin frekansı toplam manyetik akı yoğunluğu ile ve manyetik akı yoğunluğu da trafonun çekirdek kesiti ile doğru orantılıdır. 60 Hz frekansın en büyük sakıncası, uzak mesafe enerji hatlarında kendini gösterir. Çünkü gerilim frekansının büyük olması hattın endüktansını ($X_L = 2\pi fL$) arttırmakta ve dolayısıyla enerji kayıpları yükselmektedir.

3.5 Dağıtım Hatlarında Kullanılan İletkenler ve Özellikleri

Enerji dağıtım hatlarında kullanılan iletkenlerin enerji taşınması ve mekanik açıdan uygun seçilmesi gereklidir. İletkenler, gerekli esnekliği sağlamak ve askı noktalarında oluşan titreşimler nedeniyle yıpranmalarını, iletkenin yorulmasını ve kopmasını önlemek amacıyla spiral şeklinde sarılmış örgülü olarak yapılırlar. Spiral şeklinde örgülü yapılmış iletkenlerde, her bir damarın yüzeyinde meydana gelen kir ve oksit tabakasından dolayı akım, damardan damara değil, spiral sarılmış örgünün içinde akar. Bu nedenle örgülü iletkenlerin elektriksel hat sabitlerinden direnç ve empedansları dolayısıyla endüktif reaktansları aynı kesit ve cinsteki iletkenlere göre daha büyüktür. Endüktans artışını azaltmak için çok katlı örgülü iletkenlerde damarlar, en dıştaki katın yönü daima saat yönünde olacak şekilde birbirini izleyen katlarda ters yönde sarılırlar.

Alüminyumun iletkenliğinden çeliğin dayanıklılığından yararlanmak üzere çift metalli St-Al (çelik özlü alüminyum) iletkenler yapılmıştır. Örgülü yapılan bu iletkenlerde Şekil 3.1'de gösterildiği gibi ortada galvanizli çelik göbek, etrafında da alüminyum damarlar bulunur. Damarların tamamı aynı çap ve kesitedir (Dengiz, H., 1991).

Hava hatlarında kullanılan iletkenlerin cinsi ne olursa olsun kesit değerine göre ancak belirli akım değerlerini taşıyabilirler. Teorik olarak hava hattı iletkenlerinden çıplak oldukları için akkor hale gelinceye kadar akım geçirmek mümkünse de belirli akım değerlerinin aşılması durumunda RI^2t joule'lük elektrik enerjisi $0.24 RI^2t$ kalori ısıya dönüşmesi durumunda iletkenler ortam sıcaklığını aşacak şekilde ısınmaya başlarlar. St-Al iletkenlerin akım taşıma kapasiteleri Çizelge 3.1'de gösterilmiştir. Bu sıcaklık değerinin $75 - 80 \text{ }^\circ\text{C}$ 'yi aşması durumunda malzeme ısınma dolayısıyla tavlınır, soğuk haddeleme ile kazandırılan mukavemetini gösteremez duruma gelir ve kopar. Bu nedenle iletkenlerin kesit değerlerine göre belirli değerlerdeki akımların üzerine yüklenmemesi gerekir (Dengiz, H., 1991).



Şekil 3.1 : Çelik alüminyum örgülü iletken tipleri (Akpınar, S., 1997).

Normal koşullarda hava hatları 25 °C'lik sıcaklıkta tesis edilirler. Bu ortam sıcaklığını 75 °C'ye çıkartan akım değerine iletkenin anma akımı denir.

Çizelge 3.1 : Çelik alüminyum iletkenlerin akım taşıma kapasiteleri (Dengiz, H., 1991)

NORM ADI	AWG ya da C Mil	KESİT[mm ²]		TOPLAM ÇAP [mm]	DİRENÇ [Ohm/km]			AMPER(*) KAPASİTESİ [A]
		ALÜMİNYUM	TOPLAM		DC 20°C	AC		
						25°C	75°C	
SWAN	4	21.16	24.71	6.35	1.327	1.355	1.715	145
SWANATE	4	21.16	26.52	6.63	1.313	1.338	1.738	145
ROBİN	1	42.39	49.38	9.02	0.662	0.676	0.889	220
RAVEN	1/0	53.48	62.39	10.11	0.524	0.538	0.715	255
PİGEON	3/0	85.03	99.23	12.75	0.330	0.338	0.469	340
PENGLİN	4/0	107.23	125.10	14.30	0.262	0.270	0.384	390
PARTRIDGE	266800	135.16	157.16	16.31	0.210	0.215	0.257	490
OSTRICH	300000	152.00	176.77	17.27	0.187	0.190	0.228	530
ORİOLE	336400	170.45	210.26	18.82	0.165	0.169	0.202	575
LARK	397500	201.42	248.39	20.47	0.140	0.143	0.172	640
HAWK	477000	241.68	281.03	21.79	0.117	0.120	0.144	720
EAGLE	556500	282.00	347.81	24.21	0.100	0.103	0.123	800
TEAL	605000	306.58	376.45	25.25	0.092	0.094	0.113	840
EGRET	636000	322.26	295.74	25.88	0.087	0.090	0.108	870
REDWING	715500	362.58	445.22	27.46	0.078	0.080	0.095	940
DRAKE	795000	402.84	468.45	28.14	0.070	0.073	0.087	990
CANARY	900000	456.06	515.16	29.51	0.062	0.065	0.077	1050
CARDİNAL	954000	483.42	546.22	30.39	0.058	0.061	0.073	1090
GRACKLE	1192500	604.26	688.77	33.86	0.047	0.050	0.059	1260
MARTİN	1351500	684.84	771.55	36.17	0.042	0.044	0.052	1370
PARROT	1510500	765.42	862.32	38.25	0.037	0.040	0.047	1470

* :Bu değerler güneş etkisi yokken emisyon faktörü E=0.5, rüzgar hızı 0.6 m/s, çevre sıcaklığı 25°C ve iletken sıcaklığı max. 75°C için verilmiştir.

Anma akımla yüklenen bir hatta meydana gelen $0.24 RI^2t$ kalori ısı iletkenin etrafından dış havaya radyasyon ve konveksiyon yoluyla dağılarak meydana gelen ısı ile dağıtılan ısı arasında bir denge oluşturur ve iletken kopmadan gereken akımı taşımaya devam eder.

Hattın başlangıç sıcaklığı t_1 °C ve işletme sıcaklığı t_2 °C ise,

$$\Delta t = (t_2 - t_1) \text{ °C} \quad (3.1)$$

iletkenin taşıyacağı akımı belirleyen sıcaklık değişimidir (Akpınar, S., 1997).

İletkenlerin cinsine göre anma akım taşıma cetvelleri varsa iletken kesitlerinin belirlenmesinde bunlardan yararlanılır. Bu tür cetvellerin bulunmaması durumunda pratik olarak kesit tayin etmeye yarayan ampirik ifadeler geliştirilmiştir . Bunlardan en çok uygulanan ifadeye göre kesiti S (mm²) olan iletkenin Δt °C'lik sıcaklık farkı için taşıyacağı akımın yaklaşık değerini hesaplamaya yarayan ifade

$$I = \sqrt{\Delta t(3.95S + 1.72\sqrt{S^3})} \quad (3.2)$$

dır. İletken St-Al ise toplam kesit, Cu veya Al ise anma kesit dikkate alınacaktır (Akpınar, S., 1997).

3.6 Dağıtım Hatlarında Kullanılan Direkler

Enerji iletim hatlarında kullanılan direklerin tasarımı, devre sayısına, koruma teli olup olmamasına, faz iletkenlerinin sayısına, kullanılacakları maksimum menzile, dikilecekleri yerlerin zemin cinsine ve hattın gerilimine bağlı olarak en ekonomik ve en emniyetli şekilde tesis edilebilmesi için şekil ve boyutları projelendirilerek yapılır (Dengiz, H., 1991).

3.7 Manyetik Alan Hesabı

Bu çalışmada, orta gerilimle enerji dağıtımında yaygın olarak kullanılan 34,5 kV'luk hatlar çevresindeki manyetik alan düzeyi Biot-Savart yasasına göre yapılan hesaplarla, teorik olarak araştırılmıştır. Hesaplar uygulamayla uyumlu olarak tek devre ve çift devre hatlar için yapılmış, hatlardan farklı akım değerleri akarken hat çevresinde manyetik alan değerleri hesaplanmıştır. Bu çalışmanın temel amacı, hatların manyetik alanlarının çevresindeki elektrikli aygıtlar ve canlılar için güvenlik sınırlarını aşıp aşmadığını incelemektir. Bu nedenle aşağıda önce hesaplamanın temeli sonra incelenen durumlar ve sonuçları verilmiştir.

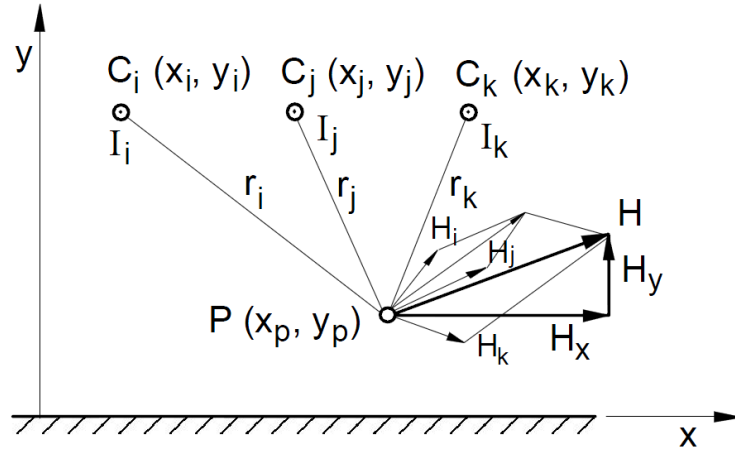
3.8 Biot-Savart Yasası

İçinden akım akan bir iletkenin çevresinde manyetik alan oluşur. Manyetik alan içerisinde bulunan iletken ya da dielektrik cisimlerde manyetik alandan dolayı iç akımlar indüklenir. İndüklenen akımların çevresel ve özelliklede canlılar üzerindeki biyolojik etkileri yapılan araştırmalar sonucunda ortaya çıkartılmıştır. Bu konuda geliştirilen standartlarda manyetik alanların sınır değerleri tespit edilmiştir. Manyetik alan kaynaklarının en önemlilerinden biri de enerji iletim hatlarıdır. Yeni kurulacak iletim hatlarının tasarım aşamasında manyetik alan şiddetinin standartlarda öngörülen değerlerin üzerinde olup olmadığının tespit edilmesi için manyetik alan hesabı büyük önem kazanmaktadır.

Manyetik alanı hesaplamak için Biot-Savart yasasından yararlanılabilir. Bu yasaya göre içinden I akımı akan bir iletkenin r uzaklığındaki bir noktada manyetik alan şiddeti;

$$H = \frac{I}{2 \pi r} \text{ (A/m)} \quad (3.3)$$

bağıntısından hesaplanabilir. Bu hesap ortamda içinden akım akan çok sayıda iletken bulunduğu her bir iletkenin geçen akımın manyetik alana katkısı göz önüne alınarak yapılır. Şekil 3.2'den görüldüğü gibi her bir iletkenin bir P noktasında yarattığı manyetik alanların bileşkesi, yatay ve düşey bileşenleri ile P noktasındaki manyetik alanı verir (Şeker, Ş. S. ve Çerezci, O., 1992), (Kalenderli, Ö., Yıldırım, H. 1997).



Şekil 3.2 : Üç iletkenli bir sistemde manyetik alan hesaplanması için gerekli vektörel büyüklükler

Koordinatları x_p, y_p olan bir P noktasının, koordinatları x_i, y_i olan bir noktaya (iletkene) olan uzaklığı;

$$r_i = \sqrt{(x_p - x_i)^2 + (y_p - y_i)^2} \quad (3.4)$$

olur. Koordinatları (x_i, y_i) olan iletkenin I_i akımının, bir P (x_p, y_p) noktasında oluşturduğu manyetik alanın H_{xi} yatay ve H_{yi} düşey bileşenleri;

$$H_{xi} = \frac{I_i}{2 \pi} \frac{y_p - y_i}{r_i^2} \quad (3.5)$$

$$H_{Yi} = \frac{I_i}{2\pi} \frac{x_p - x_i}{r_i^2} \quad (3.6)$$

bağıntılarından hesaplanabilir. Manyetik alanın x bileşeni yere paralel, iletkene diktir, y bileşeni ise düşey bileşendir. Buna göre n iletkenli bir sistemin (hattın) herhangi bir noktada oluşturduğu H bileşke manyetik alan şiddeti;

$$H = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n H_{Xi}\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n H_{Yi}\right)^2} \quad (3.7)$$

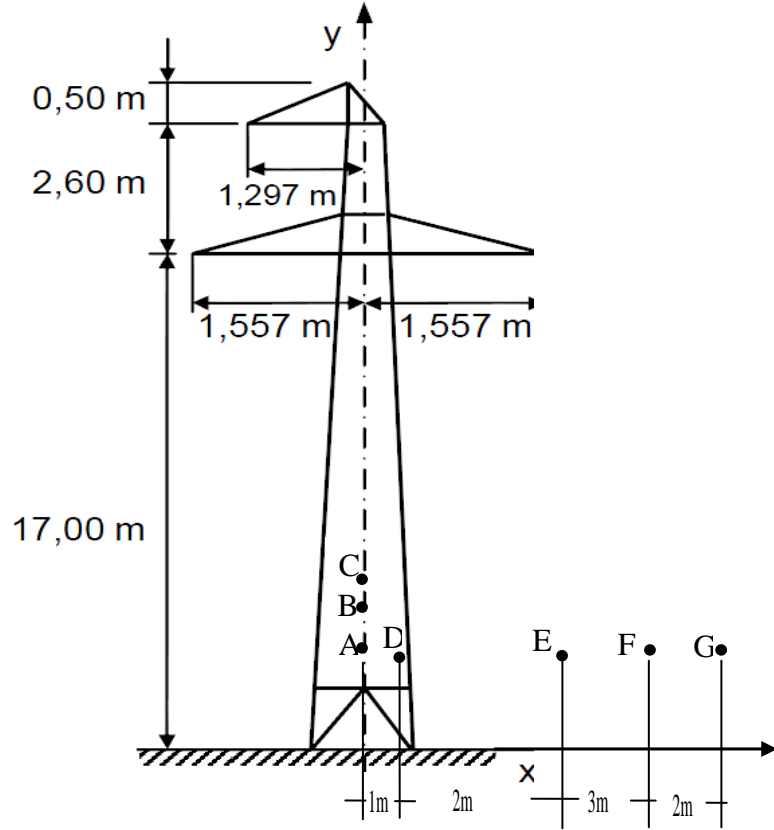
ve B manyetik akı yoğunluğu (veya manyetik endüksiyon)

$$B = \mu_0 \cdot H \text{ (Wb/m}^2\text{) veya (T)} \quad (3.8)$$

olur. Bu eşitlikte $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ (H /m) boşluğun (havanın) manyetik geçirgenliğidir (Şeker, S. ve Çerezci, O., 1992), (Kalenderli Ö., Yıldırım, H. 1997).

3.9 Üç Fazlı 34.5 kV'luk Tek Devre Bir Hat Çevresindeki Manyetik Alan ve Manyetik Endüksiyon Hesabı

Bu bölümde 34,5 kV'luk, üç fazlı bir orta gerilim hattı için çevresindeki manyetik alan dağılımlarının hattan akan akım değerleri ile, hattan uzaklıkta ve yerden yükseklikte değişimi hesaplanarak incelenmiştir.



Şekil 3.3 : 34,5 kV'luk tek devre elektrik hattı boyutları.

Şekil3.3'de gösterilen direk üzerine yerleşik, aşağıda (x, y) koordinatları verilen hat iletkenlerinin:

$$H_1(-1.3; 19.3), H_2(-1.56; 16.7), H_3(1.56; 16.7)$$

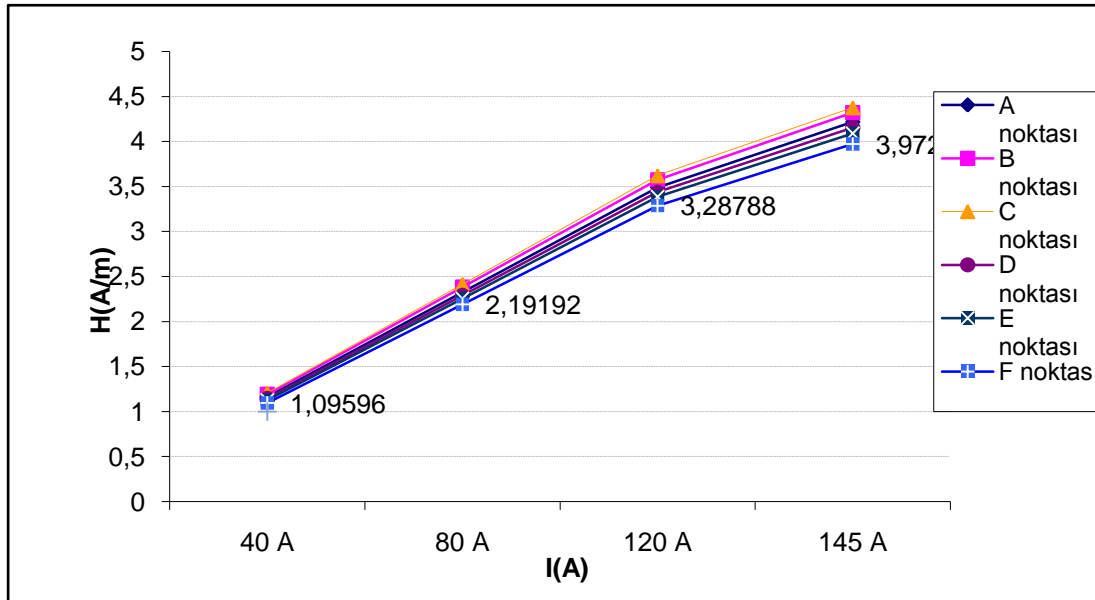
Her birinden 40, 80, 120, 145'er Amper akım akması durumlarında hattın çevresinde

$$A(0; 1.2), B(0;1.6), C(0;1.8), D(1; 1), E(3; 1),F(5; 1); G(7; 1)$$

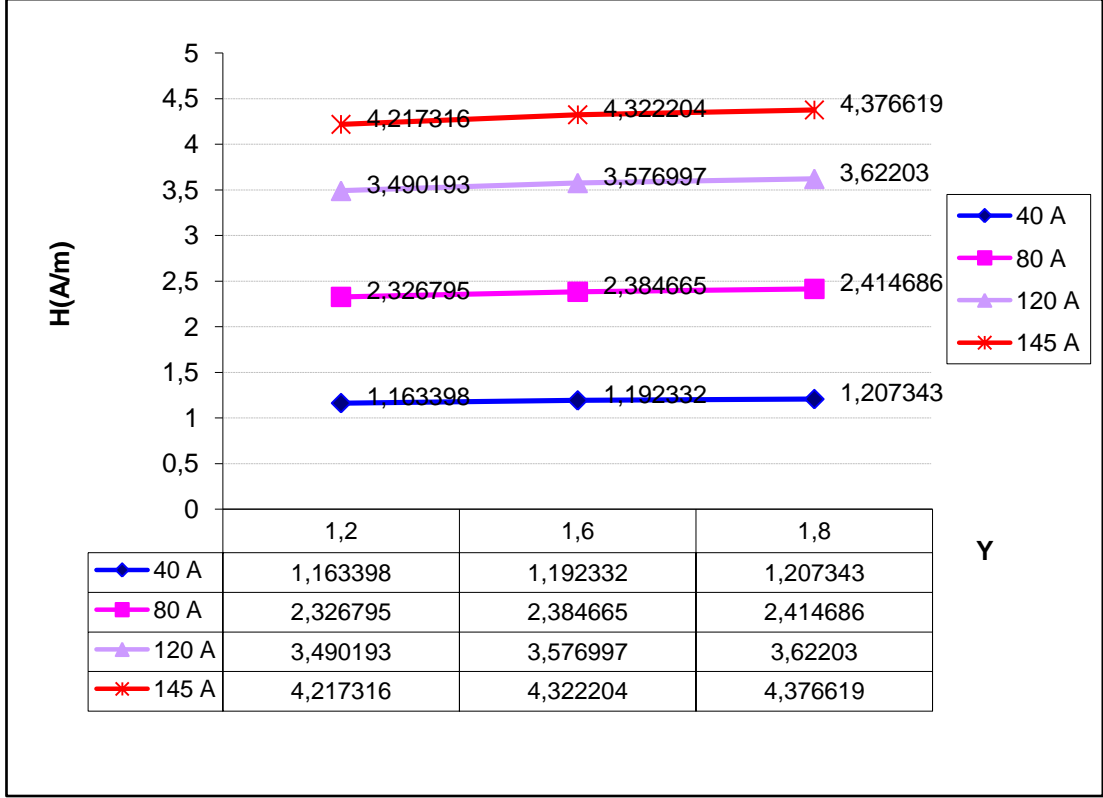
noktalarındaki manyetik alan hesapları (3.7) denklemine göre yapılırsa Çizelge 3.2'deki sonuçlar elde edilir. Hesaplanan manyetik alan değerleri $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ H/m ile çarpılarak $[B = \mu_0 H \text{ (Wb/m}^2\text{)}]$ manyetik endüksiyon değerleri de bulunur. Yapılan hesapların ayrıntıları Ek A'da verilmiştir.

Çizelge 3.2 : 34,5 kV'luk, tek devre bir hat çevresinde farklı akım değerleri ve noktalar için hesaplanan manyetik alan değerleri

Manyetik Alan Şiddeti				
Hesap Noktaları	40 A	80 A	120 A	145 A
A(0; 1.2) H_A (A/m)	1,163398	2,326795	3,490193	4,217316
B(0; 1.6) H_B (A/m)	1,192332	2,384665	3,576997	4,322204
C(0; 1.8) H_C (A/m)	1,207343	2,414686	3,62203	4,376619
D(1; 1) H_D (A/m)	1,146213	2,292426	3,438638	4,155022
E(3; 1) H_E (A/m)	1,127984	2,255968	3,383952	4,088943
F(5; 1) H_F (A/m)	1,09596	2,19192	3,28788	3,972855
G(7; 1) H_G (A/m)	1,053425	2,106849	3,160274	3,818664



Şekil 3.4 : A, B, C, D, E, F, G noktalarındaki manyetik alan değerlerinin akıma göre değişimi.

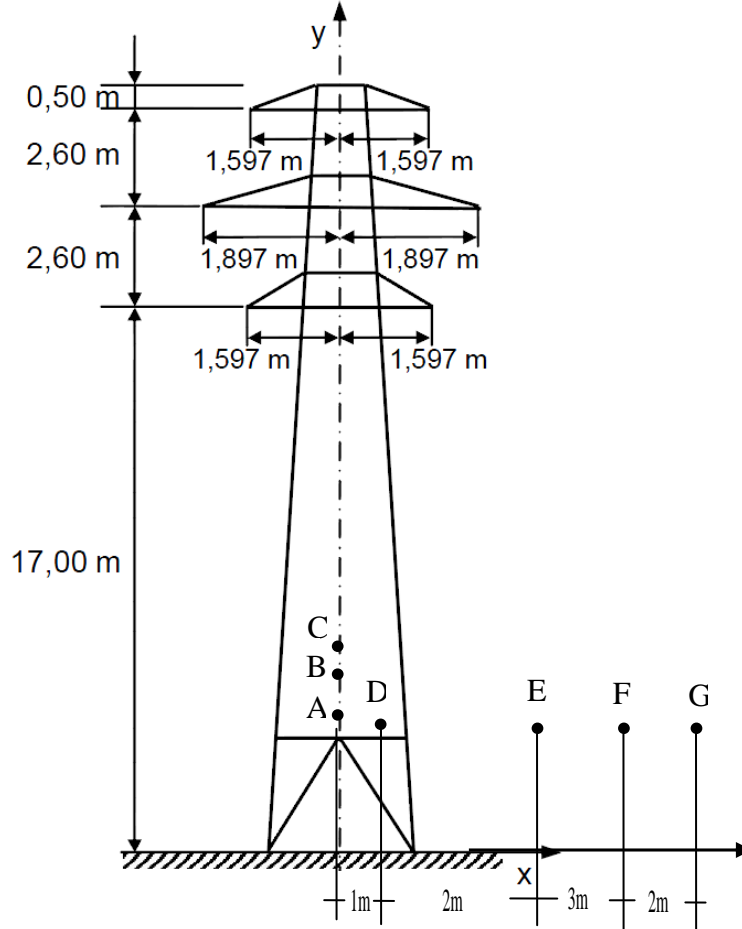


Şekil 3.5 : Tek devre hattın çevresinde A, B, C noktalarındaki manyetik alan değerlerinin farklı akım değerleri için hattın uzaklıkla değişimi.

Direk üzerine yerleşik hat iletkenlerinin her birinden 40, 80, 120, 145'er Amper akım akması durumlarında hattın çevresinde düşey (y) uzaklıkta (1.2 m, 1.6 m ve 1.8 m) her bir uzaklıktaki manyetik alan şiddeti yaklaşık olarak; 80A akım akması durumunda %100, 120A akım akması durumunda %50 ve 145A akım akması durumunda ise % 21 oranında artış göstermiştir.

3.10 Üç Fazlı 34,5 kV'luk Çift Devre Bir Hat Çevresindeki Manyetik Alan ve Manyetik Endüksiyon Hesabı

Bu bölümde 34,5 kV'luk 3 fazlı çift devre bir orta gerilim hattı çevresindeki manyetik alan dağılımının hattın akan akım değerleri ile, hattın uzaklıkta ve yerden yükseklikte değişimi hesaplanarak incelenmiştir.



Şekil 3.6 : 34,5 kV' luk çift devre elektrik hattı boyutları

Şekil 3.6'da gösterilen direk üzerine yerleşik, aşağıda (x, y) koordinatları verilen hat iletkenlerinin

$$H_1(-1.597; 21.897), H_2(1.597; 21.897), H_3(-1.897; 19.297)$$

$$H_4(1.897; 19.297), H_5(-1.603; 16.697), H_6(1.603; 16.697)$$

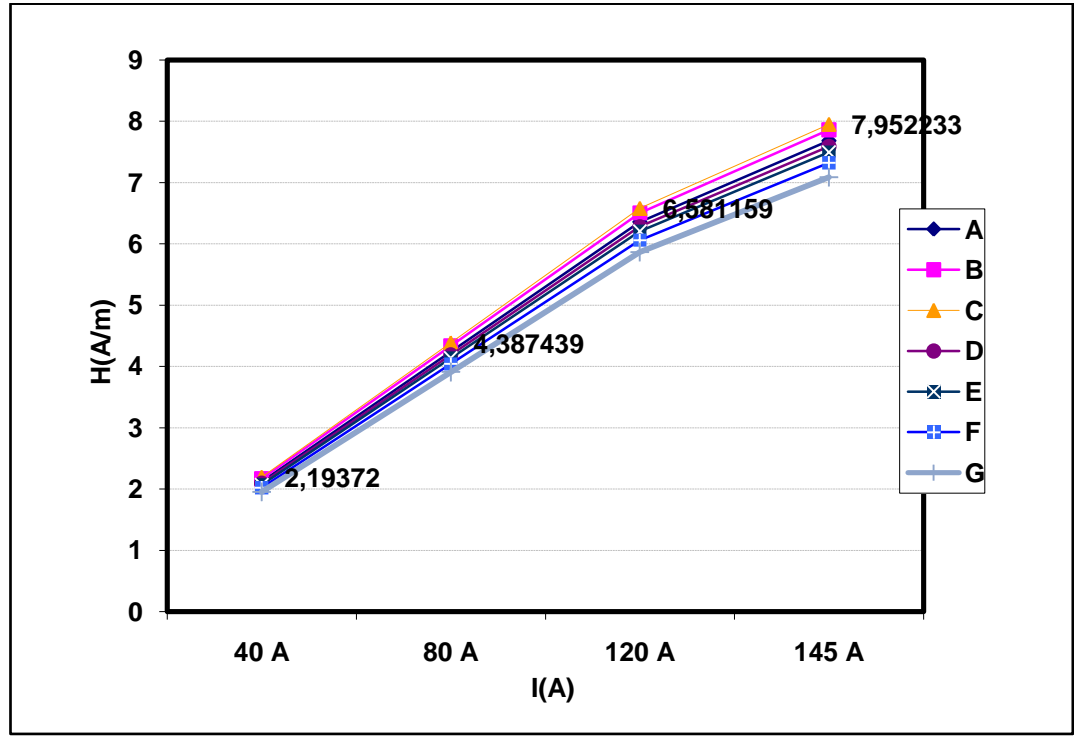
Her birinden 40, 80, 120, 145 Amper akım akması durumunda hattın çevresinde

$$A(0; 1.2), B(0; 1.6), C(0; 1.8), D(1; 1), E(3; 1), F(5; 1); G(7; 1)$$

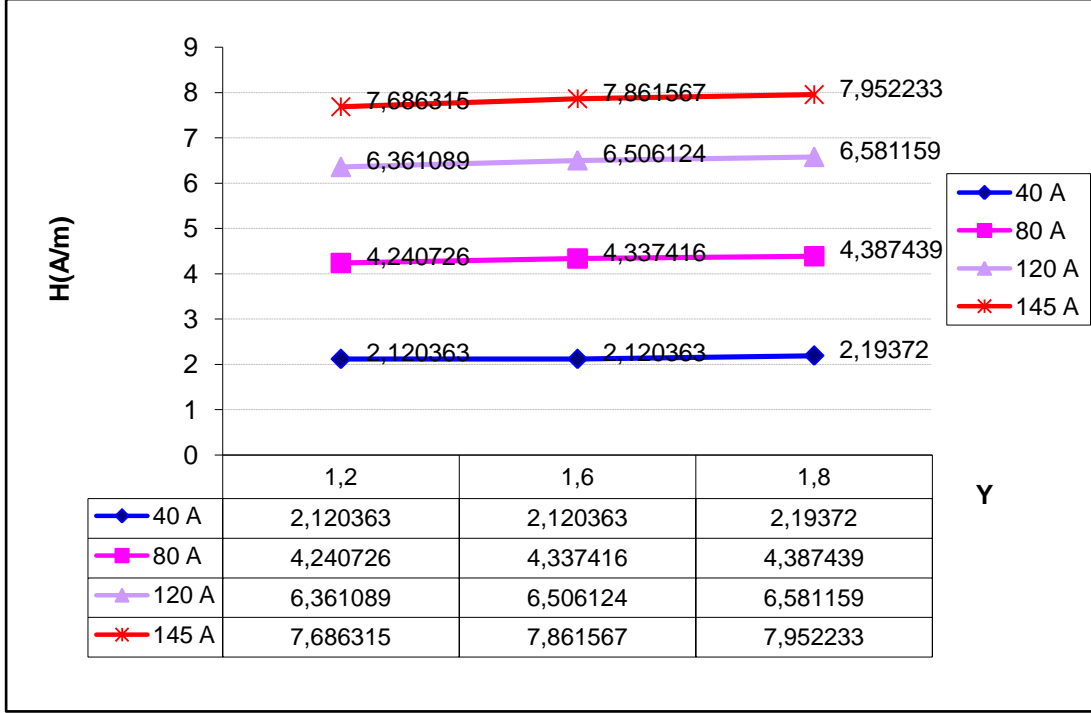
noktalarındaki manyetik alan hesapları (3.7) denklemine göre yapılırsa Çizelge 3.3'deki sonuçlar elde edilir. Hesaplanan manyetik alan değerleri $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$ ile çarpılarak $[B = \mu_0 H \text{ (Wb/m}^2\text{)}]$ manyetik endüksiyon değerleri de bulunur. Yapılan hesapların ayrıntıları Ek B'de verilmiştir.

Çizelge 3.3 : 34.5 kV'luk çift devre Bir Hat Çevresinde Farklı Akım Değerleri ve Noktalar için Hesaplanan Manyetik Alan Değerleri

Hesap Noktaları	40 A	80 A	120 A	145 A
A(0; 1.2) H_A (A/m)	2,120363	4,240726	6,361089	7,686315
B(0; 1.6) H_B (A/m)	2,168708	4,337416	6,506124	7,861567
C(0; 1.8) H_C (A/m)	2,19372	4,387439	6,581159	7,952233
D(1; 1) H_D (A/m)	2,093797	4,187594	6,281391	7,590014
E(3; 1) H_E (A/m)	2,068755	4,137511	6,206266	7,499238
F(5; 1) H_F (A/m)	2,021265	4,042531	6,063796	7,327087
G(7; 1) H_G (A/m)	1,955823	3,911646	5,86747	7,089859



Şekil 3.7 : Çift devre bir hattın çevresinde A, B, C, D, E, F, G noktalarındaki manyetik alan değerlerinin akıma göre değişimi



Şekil 3.8 : Çift devre bir hattın çevresinde A, B, C noktalarındaki manyetik alan değerlerinin farklı akım değerleri için hattın uzaklıkla değişimi

Çizelge 3.2, Çizelge 3.3, Şekil 3.4 ve Şekil 3.7 incelendiğinde aynı nokta için akım yükseldiği zaman manyetik alan şiddetinin yükseldiği görülmektedir.

Direk üzerine yerleşik hat iletkenlerinin her birinden 40, 80, 120, 145'er Amper akım akması durumlarında hattın çevresinde düşey (y) uzaklıkta (1.2 m, 1.6 m ve 1.8 m) her bir uzaklıktaki manyetik alan şiddeti, 80 A akım akması durumunda yaklaşık olarak %100, 120 A akım akması durumunda %50 ve 145 A akım akması durumunda ise % 21 oranında artış göstermiştir.

Yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen verilere göre çizilen grafikler incelendiğinde manyetik alan şiddetinin uzaklıkla ters orantılı olarak değiştiği görülmektedir. A, B, C noktaları direk üzerinde seçilen noktalardır. Direk üzerinde seçilen noktalarda (A, B, C noktalarında) iletkenlere yani hatta yaklaştıkça manyetik alan şiddeti değerlerinin de arttığı Şekil 3.5 ve Şekil 3.8'de görülmektedir.

3.11 Sonuç ve Öneri

Bu çalışmada Biot-Savart Yasası'ndan yararlanılarak yapılan, 34,5 kV'luk, tek devre ve çift devre elektrik enerji dağıtım hatları çevresindeki manyetik alan şiddeti hesapları sunulmuştur. Elde edilen sonuçlardan hat eksenine yaklaştıkça manyetik

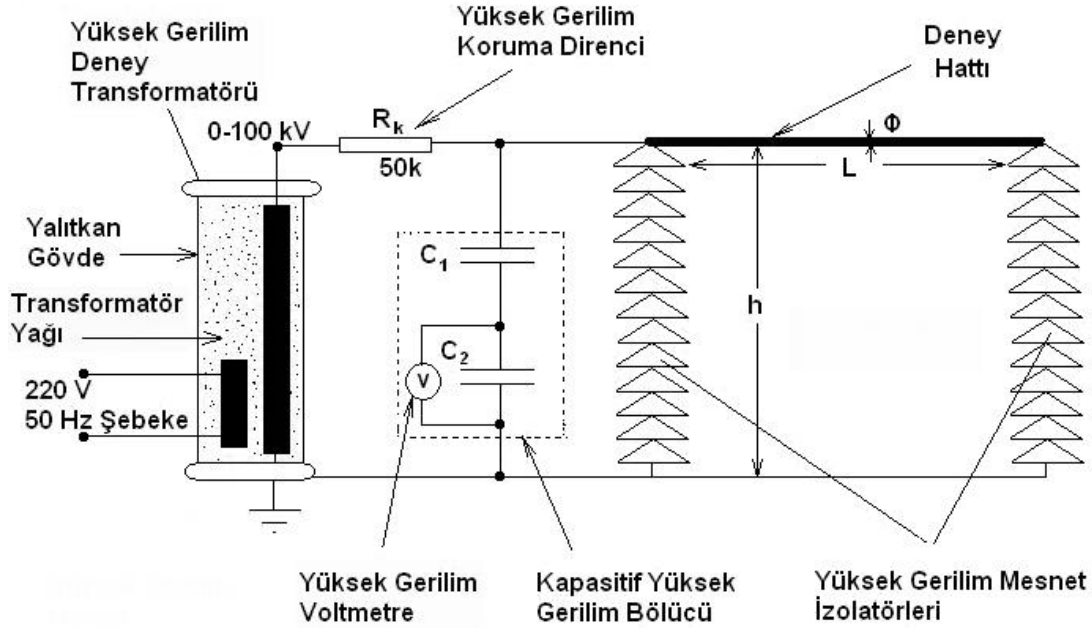
alan şiddetinin arttığı, iletkenlerden ve hattan uzaklaştıkça azaldığı görülmektedir. Manyetik alan şiddeti akım arttıkça arttığı görülmektedir. Bu sonuçlardan, manyetik alan etkisinin uzaklıkla hızla azalacağı söylenebilir. Bu yüzden inşa edilecek olan yeni binaların iletim hatlarından mümkün olduğunca uzak yerlere yapılması gerekmektedir.

Kent merkezlerinde yerleşim alanlarından geçen ve konutlara çok yakın bir mesafede bulunan OG enerji dağıtım hatlarının yeraltına alınarak tesis edilmesi, elektromanyetik riskin azaltılması bakımından önem arz etmektedir. Bunun yapılamadığı yerlerde hatlara yakın binaların dış cephelerinde ekranlama yapılmalı ve yaşam alanlarındaki Elektromanyetik alan seviyeleri güvenlik sınırlarının ($< 0,2 \mu\text{T}$) altına çekilmelidir. Ayrıca yeni tesis edilecek enerji hatları için elektromanyetik güvenlik limiti bakımından yaklaşım mesafeleri, proje aşamasında tanımlanarak hat güzergahında uygulanmalıdır. Yine bu yaklaşım mesafeleri imar kanunlarına yansıtılarak belediyelerce titizlikle uygulanmalıdır.

4. YÜKSEK GERİLİM HATTI ALTINDA ELEKTRİK VE MANYETİK ALAN ÖLÇÜMÜ DENEYLERİ

4.1 Elektrik Alan Ölçümü Deneyinin Tasarımı

Yüksek gerilim hatları çevresindeki elektrik alan düzeyini ve dağılımını deneysel olarak incelemek amacıyla İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi'nin Maslak'taki Yüksek Gerilim Laboratuvarı'nda kurulan yüksek gerilim deney düzeni Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : Yüksek gerilim hattı altında elektrik alanı ölçme düzeni.

Şekil 4.1'deki düzende yüksek gerilim, 0,220/100 kV gerilimli, 5 kVA gücünde, bir fazlı yüksek gerilim deney transformatöründen elde edilmektedir. Bu trafonun çıkışında 50 kΩ'luk yüksek gerilim R_k koruma direnci bulunmaktadır. Trafo ve bu direnç üzerinden gerilim, kapasitif gerilim bölücüye ve deney hattına uygulanmaktadır. Deney hattına uygulanan gerilimi ölçmek için kullanılan kapasitif gerilim bölücünün alçak gerilim kondansatörü C_2 kumanda masasında yer almaktadır. Bu kondansatörün uçlarındaki gerilim ölçülüp kapasitif gerilim bölücünün çevirme oranı olan 1000 ile çarpılarak devreye uygulanan yüksek gerilim

bulunmaktadır. Deney hattı, yüksek gerilim mesnet izolatörleri üzerine gerilmiş çıplak bakır iletkenidir. Bu deneyde yapılmak istenen, yüksek gerilim hattının neden olduğu elektrik alan şiddetinin uzaklık ile nasıl değiştiğini incelemektir. Bunun için deneyde kullanılacak elektrik alan ölçme aleti, deplasman akımı çalışma ilkesine sahip, HI – 3604 ELF (çok düşük frekanslı) elektrik alan ölçerdir.

4.2 HI – 3604 ELF Ölçer

4.2.1 Cihaz Hakkında Bilgi

HI – 3604 elektrik ve manyetik alan şiddeti ölçme aleti, 50/60 Hz frekansındaki enerji iletim ve dağıtım hatlarının meydana getirdiği elektrik ve manyetik alanların değerini ölçmek için tasarlanmıştır. HI – 3604 alan ölçer, güç hatlarının yaydığı alan şiddetinin bilinmesi gerektiği çevresel alan çalışmalarında ve araştırma uygulamalarında kullanılabilir.

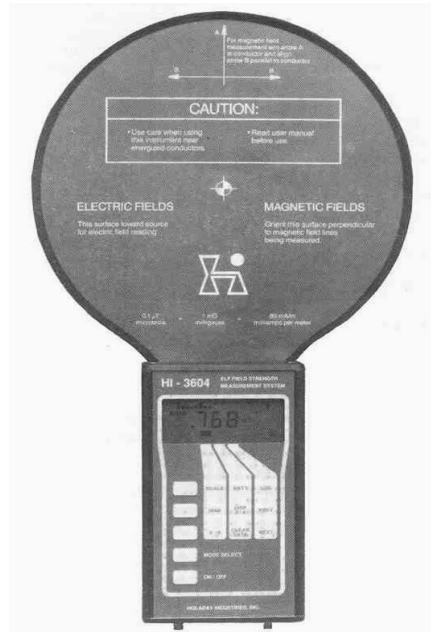
HI – 3604, hem elektrik hem de manyetik alan ölçümü yapabilmesi için seçilebilir bir butona sahiptir. Alet verileri bir bellek arayıcılığı ile saklayabilir, işaretlerin dalga şeklini çıktı olarak alabilir. Tüm ölçümler, LCD (Liquid Crystal Display) ekranda incelenebilir. Tüm seçimler ve kontrol fonksiyonları için girişler cihazın ön yüzünde bulunan panelden yapılabilir. Karmaşık dalga şekilleri için gerçek etkin değer ölçümleri yüksek doğruluğa sahiptir.

Elektrik alanları, elektriksel olarak birbirine bağlanmış iki iletken kalın diske sahip deplasman akımı sensörler ile algılanır. Başlangıçta yük akımı olmadığından diskler arasında elektrik alanı sıfırdır. Ama alet, elektrik alan içerisine sokulduğunda indüklenen yük iki paralel disk arasında akmaya başlar. İki disk arasında akan yük deplasman akımına neden olur ki, bu deplasman akımı ölçülebilir ve elektrik alan şiddeti buradan hesaplanabilir.

4.2.2 Özellikleri

Çizelge 4.1 : HI – 3604 ölçüm aletinin özellikleri

	Elektrik Alanı için	Manyetik Alan için
Sensörler	<ul style="list-style-type: none">Eş eksenli iki diskli deplasman akımı elektrik alan sensörü	<ul style="list-style-type: none">16,5 cm çaplı, 400 sarımlı manyetik alan sensörü
Duyarlık	<ul style="list-style-type: none">1 V / m – 199 kV / m	<ul style="list-style-type: none">0,1 mG – 20 G
Fonksiyonları	<ul style="list-style-type: none">Bütün fonksiyon ve ölçekleme seçme - değiştirme işlemleri cihazın ön yüzünde bulunan panelden yapılabilir.Bir anahtar ile elektrik alan ölçümünden manyetik alan ölçümüne geçilebilir.Otomatik ölçekleme veya elle ölçekleme yapılabilir.	
Genlik Yanıtı	<ul style="list-style-type: none">Sinüsoidal olmayan dalga şekillerinin doğru ölçülmesi için gerçek etkin büyüklük ölçmesi	
Kutuplama Yanıtı	<ul style="list-style-type: none">Deplasman akımı sensörü için ve manyetik alan sensörü için (aynı zamanda) tek yönde kutuplama bileşeni	
Güç	<ul style="list-style-type: none">İki tane 9 voltluk alkalin pil	
Çıkış	<ul style="list-style-type: none">LCD ekranKuvvetlendirilmiş sensörlerden gelen analog işaret	
Frekans Yanıtı	<ul style="list-style-type: none">Düzgün frekans yanıtı	

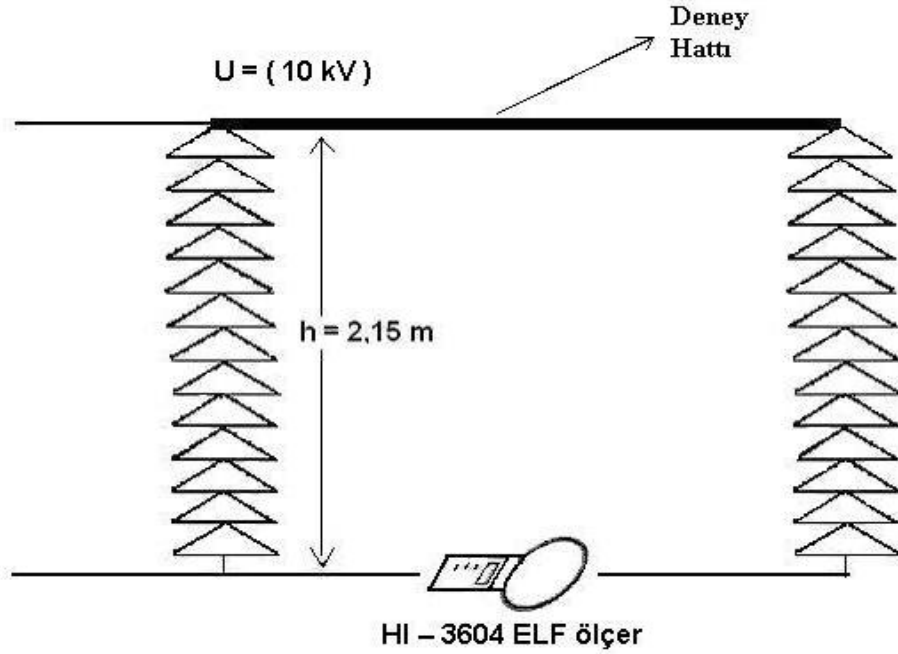


Şekil 4.2 : HI – 3604 ELF Ölçer

4.3 Elektrik Alan Ölçme Deneyinin Yapılışı

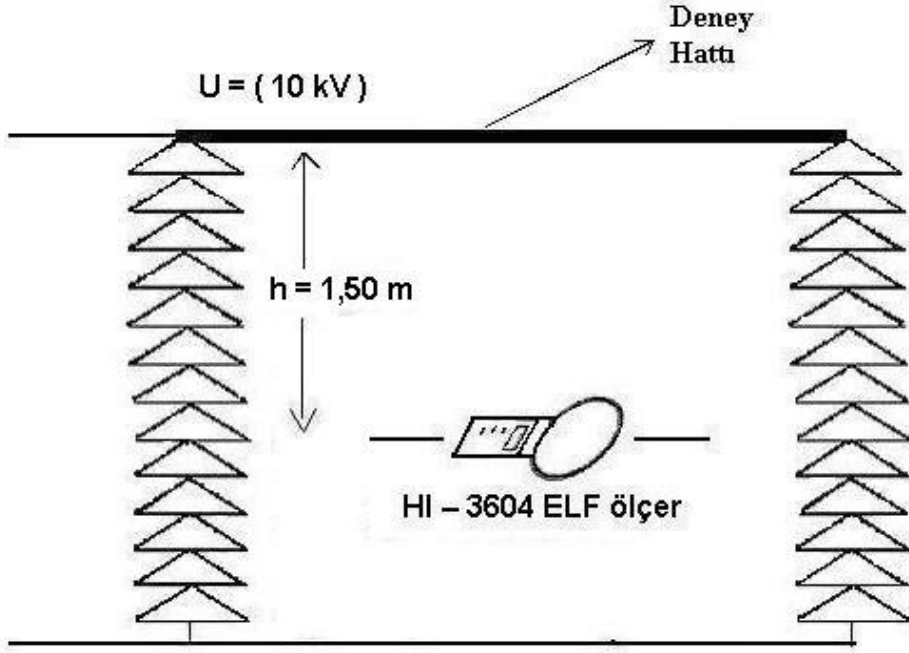
Deneye başlamadan önce laboratuvarında bulunan Şekil 4.1'deki gibi deney düzeneği kurulmuştur. Deney $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta ve 768 mmHg basınç altında laboratuvar ortamında yapılmıştır. Deney hattında kullanılan iletken, $2,5\text{ mm}^2$ kesitli dolu bakır teldir. Telin çapı, $\Phi = 1,80\text{ mm}$ 'dir. Deney hattının uzunluğu, (iki yüksek gerilim mesnet izolatörü arası) $L = 4,2\text{ m}$ 'dir. Hattın yerden yüksekliği ise $h = 2,15\text{ m}$ 'dir.

Deneyin yapılışı şu şekildedir: İlk önce hatta $U = 10\text{ kV}$ olacak şekilde gerilim uygulandı. HI – 3604 ELF ölçer hattın altında zemine yerleştirildi. Yani ilk ölçüm hattın $2,15\text{ m}$ aşağıda yer düzeyinde yapıldı. Daha sonra yer seviyesinde hattın uzaklaşarak her 50 cm 'de bir ölçüm yapıldı. 4 metre boyunca toplam 8 ölçümle ilk deney tamamlandı. Bu deneyde hattın $2,15\text{ m}$ aşağıda oluşan elektrik alanının uzaklıkla nasıl değiştiği incelendi.



Şekil 4.3 : Yer düzeyinde elektrik alan ölçümü.

İkinci olarak, hatta yine $U = 10\text{ kV}$ gerilim uygulandı. Deney hattından $1,50\text{ m}$ aşağıda (yerden 65 cm yukarıda) HI – 3604 ELF ölçer ile yeni ölçümler yapıldı. Yine hattın uzaklaşarak her 50 cm 'de bir ölçüm yapıldı. 4 metre boyunca toplam 8 ölçümle ikinci deney tamamlandı. Bu deneyde de hattın uzaklıkla elektrik alanının nasıl değiştiği incelendi.



Şekil 4.4 : Hattan 1,50 m aşağıda elektrik alan ölçümü.

Deneyin üçüncü aşamasında ise, aynı gerilimde ($U = 10 \text{ kV}$) elektrik alan ölçü aleti yatay doğrultuda hareket ettirilmeyip, sadece hattın altında aşağı yukarı hareket ettirilerek (hatta düşey doğrultuda yaklaştırılarak) ölçümler yapılmıştır. Bu deneyde hatta yaklaştıkça elektrik alanın nasıl değiştiği incelenmiştir.

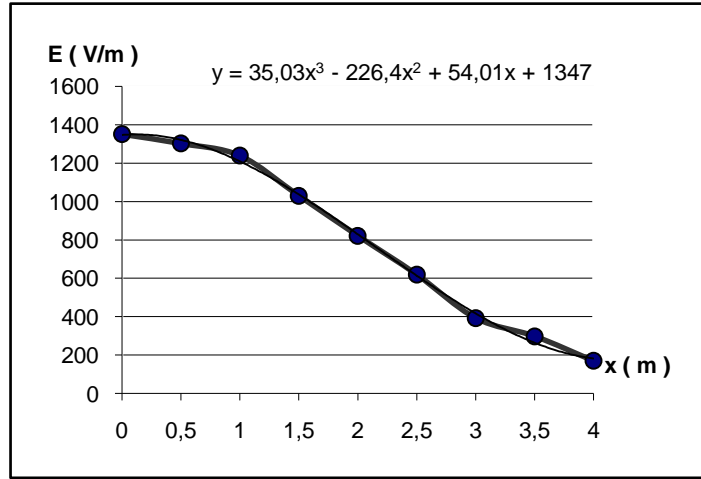
Bundan sonraki deneylerde hatta uygulan gerilim değiştirilerek ölçümlere devam edilmiştir. İlk olarak gerilim $U = 10 \text{ kV}$ 'tan 20 kV 'a çıkartılarak yukarıdaki deneyler tekrarlanmıştır. Buradaki amaç hattaki gerilim seviyesinin değişmesi ile meydana getirdiği elektrik alan arasındaki ilişkiyi incelemektir. Son olarak gerilim $U = 30 \text{ kV}$ yapılarak tüm aşamalar tekrarlanmıştır.

4.4 Deney Sonuçları

4.4.1 Deney 1

Çizelge 4.2 : 10 kV uygulanmış yüksek gerilim hattının 2,15 m aşağısında elektrik alanın [E (V/m)] hattın uzaklıkla [x(m)] değişimi.

x (m)	E (V/m)
0	1351
0,5	1303
1,0	1240
1,5	1030
2,0	822
2,5	620
3,0	393
3,5	298
4,0	170



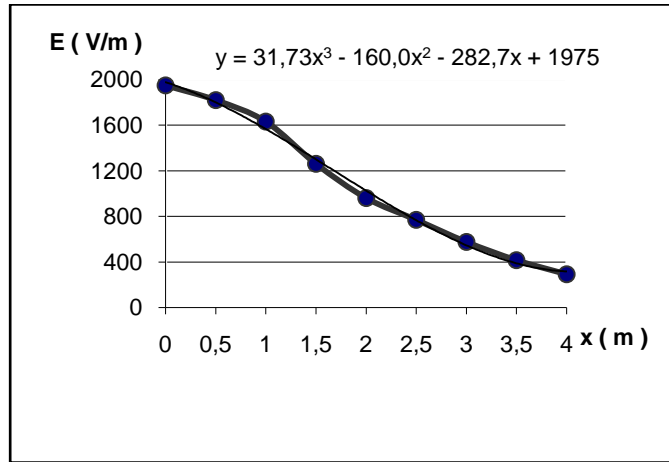
Şekil 4.5 : 10 kV uygulanmış yüksek gerilim hattının 2,15 m aşağısında elektrik alanın [E (V/m)] hattın uzaklıkla [x(m)] değişimi.

Şekil 4.5'te görüldüğü gibi yüksek gerilim hattından yatay doğrultuda uzaklaşıldıkça elektrik alan şiddeti azalmaktadır. Hattaki elektrik alan şiddeti, hattın yanal olarak 1 m uzakta %92'sine, 2 m uzakta %61'ine, 3 m uzakta %29'una, 4 m uzakta %12,5 değerine düşmektedir. Diğer bir deyişle hattaki elektrik alan şiddeti hatta yanal uzaklık olarak 1 m uzakta %8, 2 m uzakta %39, 3 m uzakta %71, 4 m uzakta %87,5 azalmaktadır. Şekil 4.5 ve sonuçlardan görüldüğü gibi, elektrik alan şiddeti artan uzaklıkla metre başına yaklaşık %22 V/m azalmaktadır. Elde edilen değişime $y = 35,03x^3 - 226,4x^2 + 54,01x + 1347$ biçiminde bir eğri denklemi uygun gelmektedir. Bu denklemde y (V/m) elektrik alan şiddetini, x (m) uzaklığı göstermektedir.

4.4.2 Deney 2

Çizelge 4.3 : 10 kV uygulanmış yüksek gerilim hattının 1,5 m aşağısında elektrik alanın [E (V/m)] hattın uzaklıkla [x(m)] değişimi.

x (m)	E (V/m)
0	1950
0,5	1820
1,0	1630
1,5	1260
2,0	960
2,5	770
3,0	575
3,5	416
4,0	290



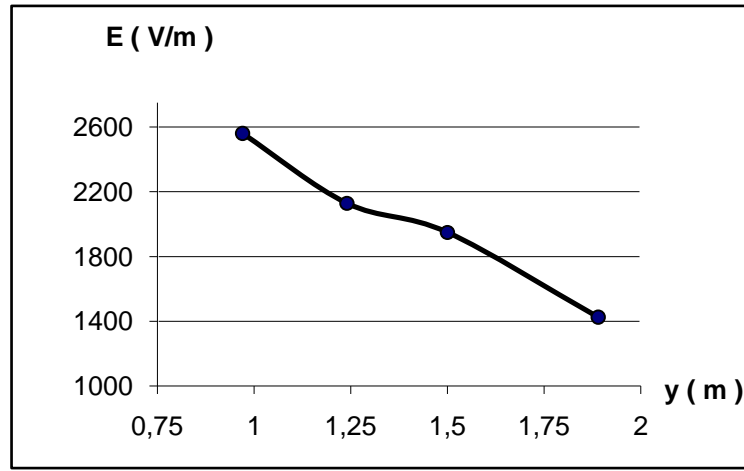
Şekil 4.6 : 10 kV uygulanmış yüksek gerilim hattının 1,5 m aşağısında elektrik alanın [E (V/m)] hattın uzaklıkla [x(m)] değişimi.

Şekil 4.6'teki grafikten de görüldüğü gibi yüksek gerilim hattından yatay doğrultuda uzaklaşıldıkça elektrik alan şiddeti azalmaktadır. Ama düşey doğrultuda hatta yaklaşıldığından dolayı elektrik alanı Çizelge 4.2'dekine göre artmıştır. Hattaki elektrik alan şiddeti, hattın yanal olarak 1 m uzakta %84'üne, 2 m uzakta %49'una, 3 m uzakta %29'una, 4 m uzakta %15 değerine düşmektedir. Diğer bir deyişle hattaki elektrik alan şiddeti hatta yanal uzaklık olarak 1 m uzakta %16, 2 m uzakta %51, 3 m uzakta %71, 4 m uzakta %85 azalmaktadır. Şekil 4.6 ve sonuçlardan görüldüğü gibi, elektrik alan şiddeti artan uzaklıkla metre başına yaklaşık %21 V/m azalmaktadır. Elde edilen değişime $y = 31,73x^3 - 160,0x^2 - 282,7x + 1975$ biçiminde bir eğri denklemi uygun gelmektedir. Bu denklemde y (V/m) elektrik alan şiddetini, x (m) uzaklığı göstermektedir.

4.4.3 Deney 3

Çizelge 4.4 : 10 kV uygulanmış yüksek gerilim hattının altında elektrik alanın [E (V/m)] hattın uzaklıkla [y(m)] düşey doğrultuda değişimi.

y (m)	E (V/m)
1,89	1425
1,50	1950
1,24	2130
0,97	2560



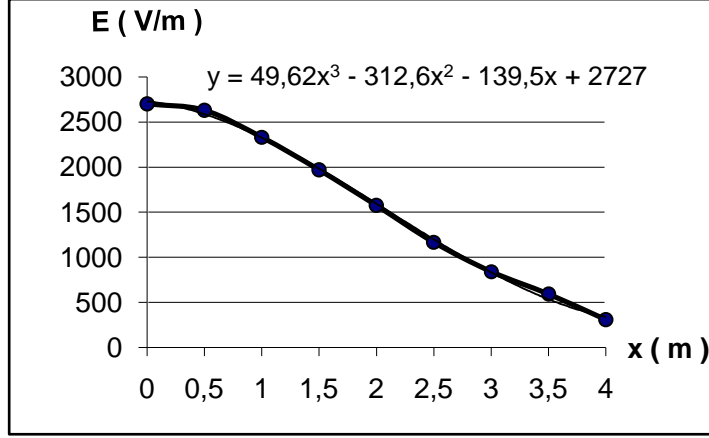
Şekil 4.7 : 10 kV uygulanmış yüksek gerilim hattının altında elektrik alanın [E (V/m)] hattın uzaklıkla [y(m)] düşey doğrultuda değişimi.

Şekil 4.7'deki grafikten de görüldüğü gibi yüksek gerilim hattından düşey doğrultuda uzaklaşıldıkça %48 V/m oranında elektrik alan şiddeti azalmaktadır.

4.4.4 Deney 4

Çizelge 4.5 : 20 kV uygulanmış yüksek gerilim hattının 2,15 m aşağısında elektrik alanın [E (V/m)] hattın uzaklıkla [x(m)] değişimi.

x (m)	E (V/m)
0	2700
0,5	2630
1,0	2333
1,5	1970
2,0	1575
2,5	1170
3,0	843
3,5	593
4,0	310



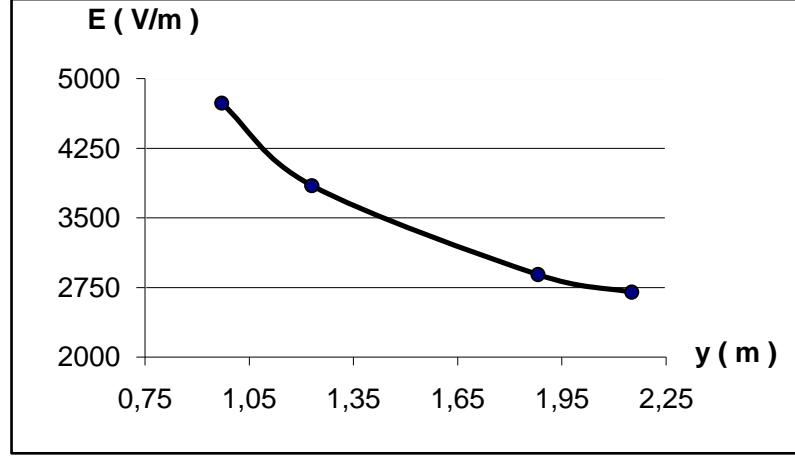
Şekil 4.8 : 20 kV uygulanmış yüksek gerilim hattının 2,15 m aşağısında elektrik alanın [E (V/m)] hattın uzaklıkla [x(m)] değişimi.

Şekil 4.8'deki grafikte de görüldüğü gibi yüksek gerilim hattındaki gerilim arttırıldığında elektrik alan şiddeti de artmaktadır. Aynı zamanda yatay doğrultuda hattın uzaklaşırsa alan şiddeti azalmaktadır. Hattaki elektrik alan şiddeti, hattın yanıl olarak 1 m uzakta %86'sına, 2 m uzakta %58'ine, 3 m uzakta %31'ine, 4 m uzakta %11 değerine düşmektedir. Diğer bir deyişle hattaki elektrik alan şiddeti hatta yanıl uzaklık olarak 1 m uzakta %14, 2 m uzakta %42, 3 m uzakta %69, 4 m uzakta %89 azalmaktadır. Şekil 4.8 ve sonuçlardan görüldüğü gibi, elektrik alan şiddeti artan uzaklıkla metre başına yaklaşık %22 V/m azalmaktadır. Elde edilen değişime $y = 49,62x^3 - 312,6x^2 - 139,5x + 2727$ biçiminde bir eğri denklemi uygun gelmektedir. Bu denklemde y (V/m) elektrik alan şiddetini, x (m) uzaklığı göstermektedir.

4.4.5 Deney 5

Çizelge 4.6 : 20 kV uygulanmış yüksek gerilim hattının altında elektrik alanın [E (V/m)] hattın uzaklıkla [y(m)] düşey doğrultuda değişimi.

y (m)	E (V/m)
2,15	2700
1,88	2890
1,23	3850
0,97	4740



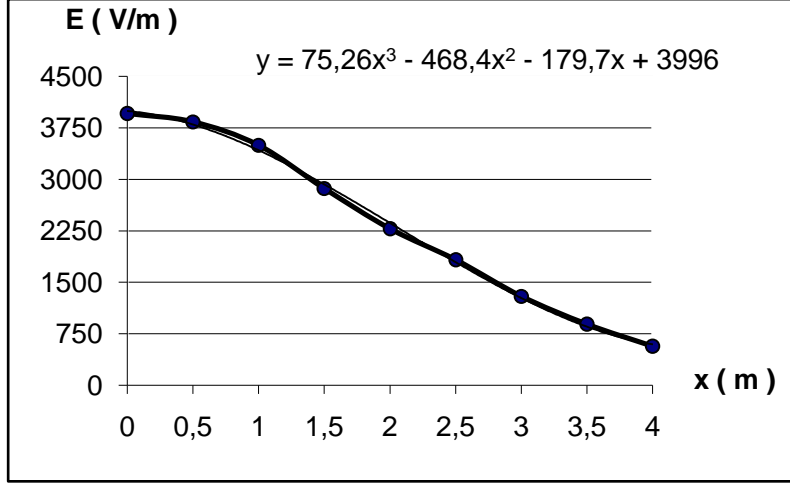
Şekil 4.9 : 20 kV uygulanmış yüksek gerilim hattının altında elektrik alanının [E (V/m)] hattın uzaklıkla [y(m)] düşey doğrultuda değişimi.

Şekil 4.9'daki grafikten de görüldüğü gibi yüksek gerilim hattındaki gerilim arttırıldığında elektrik alan şiddeti de artmaktadır. Aynı zamanda düşey doğrultuda hattın uzaklaşırsa alan şiddeti her bir metrede %36 V/m oranında azalmaktadır.

4.4.6 Deney 6

Çizelge 4.7 : 30 kV uygulanmış yüksek gerilim hattının 2,15 m aşağısında elektrik alanının [E (V/m)] hattın uzaklıkla [x(m)] değişimi.

x (m)	E (V/m)
0	3960
0,5	3840
1,0	3500
1,5	2870
2,0	2280
2,5	1827
3,0	1300
3,5	890
4,0	570



Şekil 4.10 : 30 kV uygulanmış yüksek gerilim hattının 2,15 m aşağısında elektrik alanın [E (V/m)] hattın uzaklıkla [x(m)] değişimi.

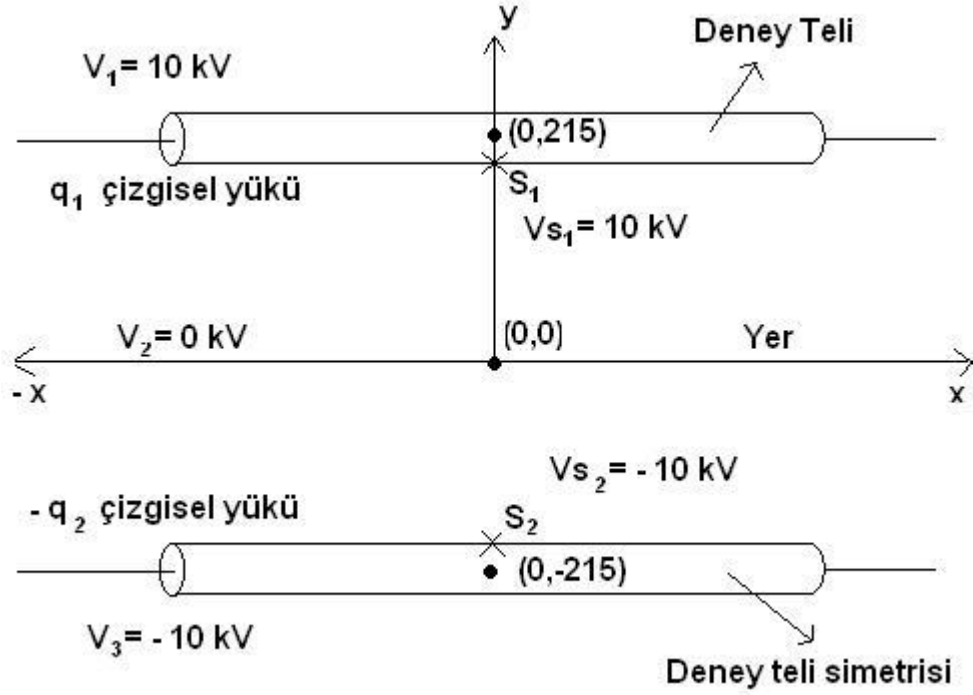
Şekil 4.10'daki grafikten de görüldüğü gibi yüksek gerilim hattındaki gerilim arttırıldığında elektrik alan şiddeti de artmaktadır. Aynı zamanda yatay doğrultuda hattın uzaklaşırsa alan şiddeti azalmaktadır. Hattaki elektrik alan şiddeti, hattın yanıl olarak 1 m uzakta %88'ine, 2 m uzakta %58'ine, 3 m uzakta %33'üne, 4 m uzakta %14 değerine düşmektedir. Diğer bir deyişle hattaki elektrik alan şiddeti hatta yanıl uzaklık olarak 1 m uzakta %12, 2 m uzakta %42, 3 m uzakta %67, 4 m uzakta %86 azalmaktadır. Şekil 4.10 ve sonuçlardan görüldüğü gibi, elektrik alan şiddeti artan uzaklıkla metre başına yaklaşık %21 V/m azalmaktadır. Elde edilen değişime $y = 75,26x^3 - 468,4x^2 - 179,7x + 3996$ biçiminde bir eğri denklemi uygun gelmektedir. Bu denklemde y (V/m) elektrik alan şiddetini, x (m) uzaklığı göstermektedir.

4.5 Teorik Bilgi ile Elektrik Alan Ölçme Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bir hatta uygulanan gerilimin meydana getirdiği elektrik alanı, yük benzetim yöntemi ile hesaplanabilir. Yük Benzetim Yöntemi ile elektrik alan hesabının temel ilkesi, elektrot etkisinin yüklerle benzetilmesine dayanır. Elektrotun yüzeyine dağılmış yüzeysel yükler yerine "ayrık yükler" (noktasal, sonsuz çizgisel, sonlu çizgisel, halkasal vb.) yerleştirilir. Ayrık yüklerin değerleri, sınır üzerinde seçilen belirli sayıda sınır noktasında sınır koşullarının sağlanmasıyla belirlenir. Bu yüklerin oluşturduğu potansiyeller incelenen bölge içinde Laplace ve Poisson denklemlerini sağlamaktadır. Benzetim yüklerinin yerleri ve değerleri bilinirse, herhangi bir noktadaki potansiyel ve elektrik alan şiddeti hesaplanabilir. Yöntemin doğruluğu, benzetim yüklerinin sayısına, yerine, tipine ve sınır noktalarının yerine bağlıdır.

Benzetim yüklerinin herhangi bir noktada meydana getirdikleri potansiyel süperpozisyon prensibi ile yüklerin oluşturduğu potansiyellerin toplamından bulunabilir.

4.5.1 Yük Benzetim Yöntemi ile Elektrik Alan Hesabı



Şekil 4.11 : Problemin yük benzetim yöntemi ile çözümü.

S_1 sınır noktasındaki potansiyel:

$$V_{S1} = \frac{q_1}{2\pi\epsilon} \ln \frac{r_0}{Q_1 S_1} + \frac{q_2}{2\pi\epsilon} \ln \frac{r_0}{Q_2 S_1} \quad (4.1)$$

V_{S1} = Sınır noktasındaki potansiyel ($V_{S1} = 10$ kV)

q_1 = Deney hattındaki çizgisel yük

q_2 = Deney hattının simetriğinde olduğu varsayılan çizgisel yük

r_0 = Çizgisel yükün merkeze uzaklığı ($r_0 = 215$ cm)

$\overline{Q_1 S_1}$ = S_1 sınır noktasının Q_1 yüküne olan uzaklığı ($\overline{Q_1 S_1} = 0,09$ cm)

$\overline{Q_2 S_1}$ = S_1 sınır noktasının Q_2 yüküne olan uzaklığı

$$(\overline{Q_2 S_1} = 215 + 214,91 = 429,91 \text{ cm})$$

$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r$: dielektrik sabit (Havada $\varepsilon_r = 1$ olduğundan $\varepsilon = \varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$)

S_2 sınır noktasındaki potansiyel:

$$V_{S_2} = \frac{q_1}{2\pi\varepsilon} \ln \frac{r_0}{Q_1 S_2} + \frac{q_2}{2\pi\varepsilon} \ln \frac{r_0}{Q_2 S_2} \quad (4.2)$$

$V_{S_2} =$ Sınır noktasındaki potansiyel ($V_{S_2} = - 10 \text{ kV}$)

$$\overline{Q_1 S_2} = \overline{Q_2 S_1} = 429,91 \text{ cm}$$

$$\overline{Q_2 S_2} = \overline{Q_1 S_1} = 0,09 \text{ cm}$$

Bu iki denklemin çözümü yapıldığında görülecektir ki;

$$q_1 = - q_2$$

$$\text{ve } q_1 = 65,67 \cdot 10^{-9} \text{ C / m}$$

Burada bulunan q_1 ve q_2 çizgisel yükleri ile artık istenilen her noktadaki gerilim seviyesi şu bağıntı ile bulunabilir:

$$V_p = \frac{q_1}{2\pi\varepsilon} \ln \frac{r_0}{Q_1 P} + \frac{q_2}{2\pi\varepsilon} \ln \frac{r_0}{Q_2 P} \quad (4.3)$$

$V_p = P$ gibi herhangi bir noktadaki potansiyel

$\overline{Q_1 P} = P$ noktasının q_1 çizgisel yüküne olan uzaklık

$\overline{Q_2 P} = P$ noktasının q_2 çizgisel yüküne olan uzaklık

$r_0 =$ Çizgisel yükün merkeze uzaklığı ($r_0 = 215 \text{ cm}$)

4.5.2 Potansiyel Farkı ile Elektrik Alanın Hesabı

$$V = \frac{q}{2\pi\varepsilon} \ln \frac{r_0}{r} \quad (4.4)$$

$$r = \sqrt{(x - x_q)^2 + (y - y_q)^2} \quad (4.5)$$

$$V = \frac{q}{2\pi\epsilon} \ln \frac{r_0}{\sqrt{(x-x_q)^2 + (y-y_q)^2}} \quad (4.6)$$

$$V = \frac{q}{2\pi\epsilon} \ln r_0 - \frac{1}{2} \ln [(x-x_q)^2 + (y-y_q)^2] \quad (4.7)$$

$$E = -\frac{dV}{dr} \quad E_x = -\frac{dV}{dx} \quad E_y = -\frac{dV}{dy} \quad (4.8)$$

$$E_x = E_{x1} + E_{x2} \quad \text{ve} \quad E_y = E_{y1} + E_{y2} \quad (4.9)$$

$$\frac{dV}{dx} = -\frac{q}{2\pi\epsilon} \frac{1}{2} \frac{2(x-x_q)}{[(x-x_q)^2 + (y-y_q)^2]} = -\frac{q}{2\pi\epsilon} \frac{(x-x_q)}{r^2} \quad (4.10)$$

$$E_x = -\frac{dV}{dx} = \frac{q}{2\pi\epsilon} \frac{(x-x_q)}{r^2} \quad (4.11)$$

$$E_y = -\frac{dV}{dy} = \frac{q}{2\pi\epsilon} \frac{(y-y_q)}{r^2} \quad (4.12)$$

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} \quad (4.13)$$

E: Elektrik alan şiddetinin etkin değeri

E_x : Elektrik alan şiddetinin x- ekseni doğrultusundaki bileşeni

E_y : Elektrik alan şiddetinin y- ekseni doğrultusundaki bileşeni

4.5.3 Deneylerden Örnek Ölçümler

Örnek 1

İlk deneyde yapılan ilk ölçüm için;

$$q_1 = -q_2 = 65,67 \cdot 10^{-9} \text{ C/m}$$

q_1 yükünün bulunduğu yer, $x_{q1} = 0$; $y_{q1} = 2,15$

q_2 yükünün bulunduğu yer, $x_{q2} = 0$; $y_{q2} = -2,15$

Ölçümün yapıldığı yer $x = 0$; $y = 0$ buna göre;

$$E_x = E_{x1} = E_{x2} = 0$$

Görüldüğü gibi x-ekseni doğrultusunda elektrik alan bileşeni bulunmamaktadır.

$E_{y1} = - 559,8 \text{ V/m}$ ve $E_{y2} = - 559,8 \text{ V/m}$ olmak üzere $E_y = -1119,6 \text{ V/m}$, y-ekseni doğrultusundaki bileşen (-) yöndedir, yani aşağı yönde (toprağa) doğrudur.

$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}$ etkin elektrik alan şiddeti bağıntısı için; $E = 1119,6 \text{ V/m}$ hesaplanmıştır. Bu deneyde, bu noktada ölçülen elektrik alan şiddeti 1350 V/m idi.

Örnek 2

İlk deneyde yapılan üçüncü ölçüm için;

$$q_1 = - q_2 = 65,67 \cdot 10^{-9} \text{ C/m}$$

q_1 yükünün bulunduğu yer, $x_{q1} = 0$; $y_{q1} = 2,15$

q_2 yükünün bulunduğu yer, $x_{q2} = 0$; $y_{q2} = - 2,15$

Ölçümün yapıldığı yer $x = 1$; $y = 0$ buna göre;

$E_{x1} = 210 \text{ V/m}$ ve $E_{x2} = - 210 \text{ V/m}$ hesaplanmıştır. Yani toplamda $E_x = 0$ 'dır.

$E_{y1} = - 462,1 \text{ V/m}$ ve $E_{y2} = -4621 \text{ V/m}$ olmak üzere $E_y = -924,2 \text{ V/m}$, $E = 924,2 \text{ V/m}$ hesaplanmıştır. Bu deneyde, bu noktada ölçülen elektrik alan şiddeti 1240 V/m idi.

Örnek 3

İlk deneyde yapılan diğer bir ölçüm için;

Ölçümün yapıldığı yer $x = 3$; $y = 0$ buna göre;

$E_{x1} = 259,8 \text{ V/m}$ ve $E_{x2} = - 259,8 \text{ V/m}$ hesaplanmıştır. Yani toplamda $E_x = 0$ 'dır.

$E_{y1} = - 186,2 \text{ V/m}$ ve $E_{y2} = - 186,2 \text{ V/m}$ olmak üzere $E_y = - 372,4 \text{ V/m}$, $E = 372,4 \text{ V/m}$ hesaplanmıştır. Bu deneyde, bu noktada ölçülen elektrik alan şiddeti 393 V/m idi.

Örnek 4

İkinci deneyde yapılan ilk ölçüm için;

$$q_1 = - q_2 = 65,67 \cdot 10^{-9} \text{ C/m}$$

q_1 yükünün bulunduğu yer, $x_{q1} = 0$; $y_{q1} = 2,15$

q_2 yükünün bulunduğu yer, $x_{q2} = 0$; $y_{q2} = - 2,15$

Ölçümün yapıldığı yer $x = 0$; $y = 0,65$ buna göre;

$$E_x = E_{x1} = E_{x2} = 0$$

$$E_{y1} = - 857,6 \text{ V/m ve } E_{y2} = - 512,8 \text{ V/m olmak üzere } E_y = - 1380,4 \text{ V/m}$$

Etkin elektrik alan şiddeti $E = 1380,4 \text{ V/m}$ hesaplanmıştır. Bu deneyde, bu noktada ölçülen elektrik alan şiddeti ise 1950 V/m idi.

Örnek 5

İkinci deneyde yapılan diğer ölçüm için;

Ölçümün yapıldığı yer $x = 2$; $y = 0,65$ buna göre; $E_{x1} = 383,7 \text{ V/m}$ ve $E_{x2} = -199,3 \text{ V/m}$ hesaplanmıştır. Yani toplamda $E_x = 184,4 \text{ V/m}$ 'dir.

$E_{y1} = - 313,2 \text{ V/m}$ ve $E_{y2} = - 285,4 \text{ V/m}$ olmak üzere $E_y = -598,6 \text{ V/m}$, etkin elektrik alan şiddeti $E = 627,4 \text{ V/m}$ hesaplanmıştır. Bu deneyde, bu noktada ölçülen elektrik alan şiddeti 960 V/m idi.

Örnek 6

Deney 3'te yapılan ilk ölçüm için;

Ölçümün yapıldığı yer $x = 0$; $y = 0,26$ buna göre;

$$E_x = E_{x1} = E_{x2} = 0$$

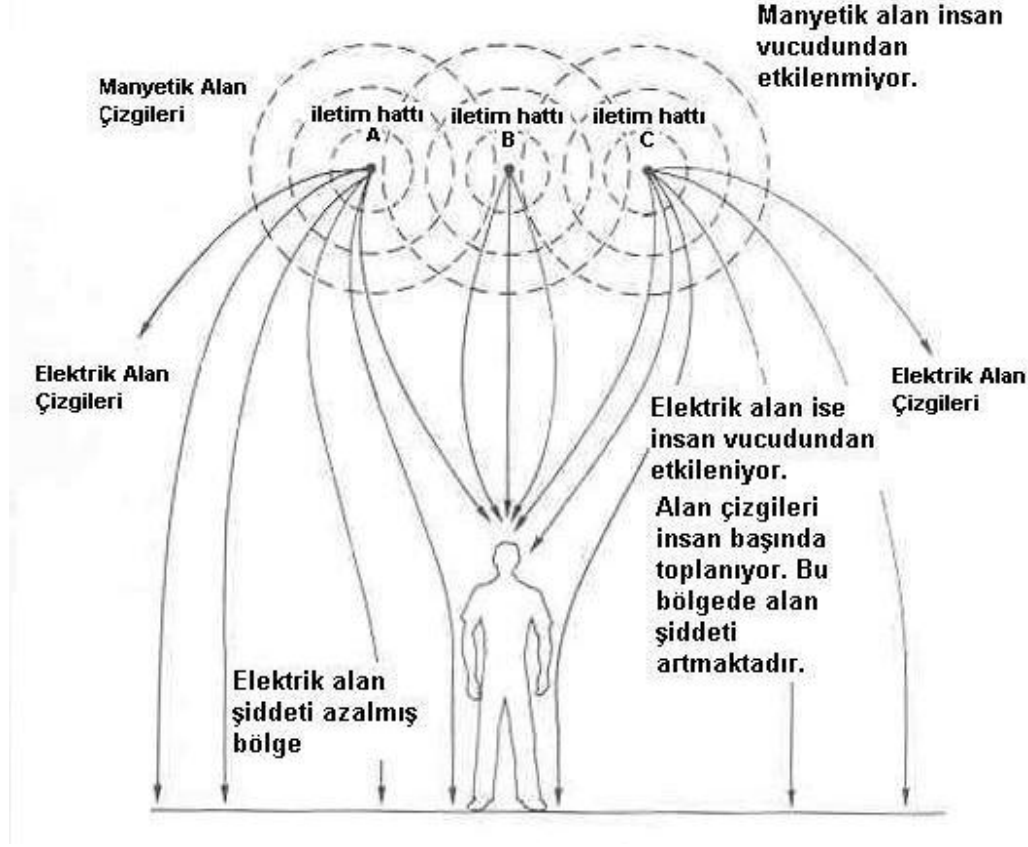
Hattın tam altında ölçüm yapıldığında elektrik alanın x-bileşeni sıfır çıkar.

$$E_{y1} = - 724,3 \text{ V/m ve } E_{y2} = - 312,1 \text{ V/m olmak üzere } E_y = - 1036,4 \text{ V/m}$$

Etkin elektrik alan şiddeti $E = 1036,4 \text{ V/m}$ hesaplanmıştır. Bu deneyde, bu noktada ölçülen elektrik alan şiddeti ise 1425 V/m idi.

4.5.4 Elektrik Alan Hesap Sonuçları ile Ölçüm Sonuçları Karşılaştırılması

Deney sonuçlarında hiçbir zaman % 100 doğruluk beklenmez. Örneklerden de görüldüğü gibi yük benzetim yöntemi kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti ile deneydeki ölçümlerle bulunan alan şiddeti değerleri arasında farklar bulunmaktadır. Bunun birçok nedeni bulunmaktadır. Bu deneydeki en büyük neden ise, ölçüm sırasında ölçümü yapan kişinin, ölçüm aleti yakınında bulunmasıdır. Çünkü insan vücudu elektrik alanını bozar. Yüksek gerilim hattının altında bulunan insan elektrik alanı üzerine yoğunlaştıracaktır. Şekil 4.12'de bu duruma örnek gösterilmiştir.



Şekil 4.12 : İnsan vücudunun elektrik alan çizgilerini etkilemesi.

Şekil 4.12'den de görüldüğü gibi 3 fazlı elektrik iletim hattı altında bulunan insanın elektrik alan çizgilerini üzerinde topladığı görülmektedir. Ama insan vücudu iletim hattının yaydığı manyetik alanı etkilememektedir. Elektrik alan çizgileri iletim hattından başlayıp toprakta dik olarak sona erer. İnsan vücudu hat ile toprak arasına girerse, elektrik alan insanın başında toplanmaya başlar. Bu bölgede toplanan elektrik alan çizgileri sonucu elektrik alan artar. Uzak bölgelerde ise alan şiddeti azalır. Deney sırasında ölçüm sonuçlarını gözlemlemek için ölçüm cihazı yakınında duran kişi üzerinde elektrik alanını toplayarak bu bölgedeki elektrik alanının fazla ölçülmesine neden olmuştur. Deney sonuçları ile hesaplanan sonuçlar karşılaştırıldığında görülecektir ki, hesaplanan değerler ölçülen değerlerden her zaman fazladır.

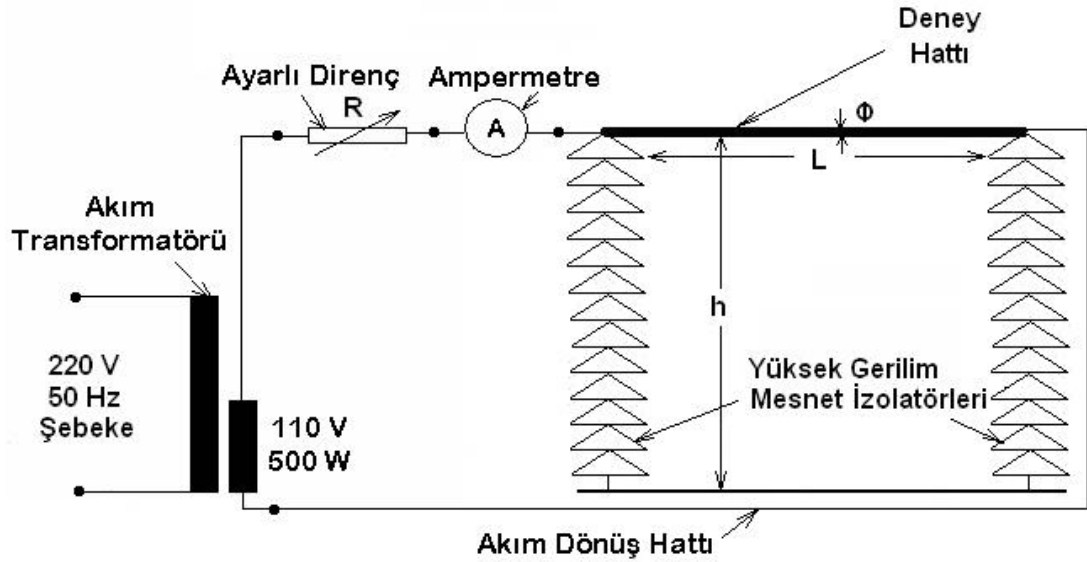
Deneyde ölçülen alan şiddetinin doğruluğunu etkileyen en büyük nedenin insan vücudunun bozucu etki yapmasının yanında, yüksek gerilim transformatörünü besleyen şebeke gerilimindeki dalgalanma da başka bir nedendir. Kuramsal hesaplamada deney ortamındaki nesnelerin göz önüne alınmaması, benzetimi yapılan iletkenin (hattın) sonsuz uzun çizgisel yük ve az sayıda yük benzetilmesi sonuçlar

arasındaki farkı doğurmuştur. Ayrıca ölçü aleti okuma ve kaydetmede karar verilen değerde kararlılık olmaması da baş farklılık nedenlerinden biridir.

4.6 Yüksek Gerilim Hattı Altında Manyetik Alan Ölçümü Deneyi

4.6.1 Deneyin Tasarımı

Yüksek gerilim hatları çevresindeki manyetik alan düzeyini ve dağılımını deneysel olarak incelemek amacıyla İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi'nin Maslak'taki Yüksek Gerilim Laboratuvarı'nda kurulan yüksek gerilim deney düzeni Şekil 4.13'de gösterilmiştir.



Şekil 4.13 : Manyetik alan ölçme deneyi deney düzeni.

4.6.2 Manyetik Alan Ölçme Deneyinin Yapılışı ve Ölçme Sonuçları

Deneye başlamadan önce laboratuvarında bulunan Şekil 4.13'deki gibi deney düzeni kurulmuştur. Deney 16 °C sıcaklıkta ve 768 mmHg basınç altında laboratuvar ortamında yapılmıştır.

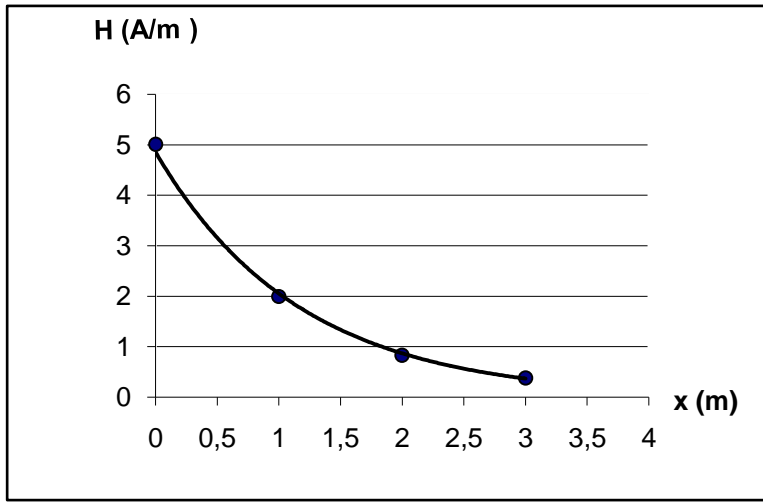
Deney hattında kullanılan iletken, 2,5 mm² kesitli dolu bakır teldir. Telin çapı, $\Phi = 1,80$ mm'dir. Deney hattının uzunluğu, (iki yüksek gerilim mesnet izolatörü arası) $L = 4,2$ m'dir. Hattın yerden yüksekliği ise $h = 2,15$ m'dir.

220/110 V, 500 W bir transformator akım kaynağı olarak kullanıldı. Akım trafo çıkışına seri bağlı reosta (ayarlı direnç) ile ayarlandı. Ölçmeler deney hattından 2 A akım akarken yapıldı. Deney hattının çevresinde sırasıyla 0, 1, 2, 3 m uzaklıklarda ve

0,0,5, 0,8 m yüksekliklerde manyetik alan ölçümleri yapıldı. Ölçme sonuçları Çizelge 4.8 ve 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.8 : 2 A akım akan yüksek gerilim hattının 2,15 m aşağısında manyetik alanın [H (A/m)] hattın uzaklıkla [x(m)] değişimi.

x (m)	H (A/m)
0	5,01
1,0	2,00
2,0	0,83
3,0	0,38

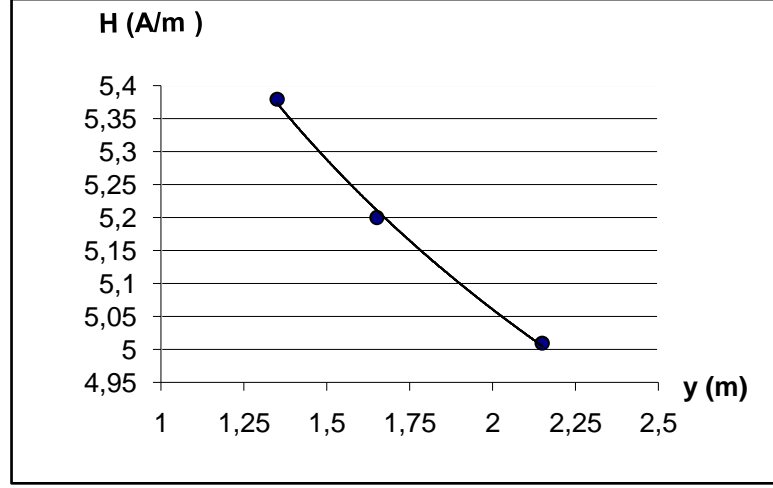


Şekil 4.14 : 2 A akım akan yüksek gerilim hattının 2,15 m aşağısında manyetik alanın [H (A/m)] hattın uzaklıkla [x(m)] değişimi.

Şekil 4.14’te görüldüğü gibi yüksek gerilim hattından yatay doğrultuda uzaklaşıldıkça manyetik alan şiddeti her bir metrede %30 A/m oranında üstel olarak azalmaktadır.

Çizelge 4.9 : 2 A akım akan yüksek gerilim hattının altında manyetik alanın [H (A/m)] hattın uzaklıkla [y(m)] düşey doğrultuda değişimi.

y (m)	H (A/m)
1,35	5,38
1,65	5,20
2,15	5,01



Şekil 4.15 : 2 A akım akan yüksek gerilim hattının 2,15 m aşağısında manyetik alanın [H (A/m)] hattın uzaklıkla [y(m)] değişimi.

Şekil 4.15'te görüldüğü gibi yüksek gerilim hattından yatay doğrultuda uzaklaştıkça manyetik alan şiddeti %8 A/m oranında azalmaktadır.

4.7 Sonuçlar

Yüksek gerilim hattı altında yapılan elektrik alan ölçümü deneylerinden elde edilen verilerden görüldüğü üzere yüksek gerilim hattından yatay doğrultuda uzaklaştıkça elektrik alan şiddeti her bir metrede yaklaşık %22 V/m oranında azalmaktadır. Ama düşey doğrultuda hatta yaklaşıldığında elektrik alanı artmıştır ve yüksek gerilim hattından düşey doğrultuda uzaklaştıkça elektrik alan şiddeti yaklaşık ortalama %40 V/m oranında azalmaktadır. Deney düzeneğinde yüksek gerilim hattındaki gerilim iki katına artırıldığında elektrik alan şiddetinde %70 arttığı görülmektedir. Aynı zamanda yatay ve düşey doğrultuda hattın uzaklaştıkça alan şiddetinde yatayda %22 V/m, düşeyde %36 V/m oranında azaldığı görülmektedir. Dördüncü bölümde yapılan deneyin ikinci aşamasında, yüksek gerilim hattı altındaki manyetik alan ölçümleri sonuçlarından görüldüğü üzere yüksek gerilim hattından yatay ve düşey doğrultuda uzaklaştıkça manyetik alan şiddeti yatayda %30 A/m, düşeyde %8 A/m oranında, elektrik alan şiddetine daha yavaş azalmaktadır. Deney sonuçlarından elektrik ve manyetik alan şiddetlerinin, iletim hatlarından uzaklaştıkça her bir metrede ortalama %20-30 azaldığını söyleyebiliriz.

5. ULUSLARARASI STANDARTLAR

Ulusal ve uluslararası kuruluşlar çok alçak frekanslı elektromanyetik alanların (EMA) sağlık üzerindeki olası etkilerini incelemek üzere bu konuyu birçok defa ele almıştır. Vardıkları sonuçların göz ardı edilemeyecek bir ağırlığı vardır zira bu sonuçlar bireylerin görüşlerini veya kanılarını değil, dünya çapında tanınmış uzman kuruluşların analizini yansıtmaktadır.

Geçmiş 20-25 yılda EMA' nın sağlığa olan etkilerinin kanıtını bulmak için ICNIRP ve WHO-EMF Projesi öncülüğünde bir çok araştırma yapılmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda EMA'nın kısa süreli etkileri konusunda geniş bir fikir birliğine varılmıştır. Bu etkiler genellikle düşük frekanslarda elektriksel olarak uyarılabilen hücreler ve yüksek frekanslarda ısınma etkisidir. ICNIRP' nin 1998 yılında yayınladığı kılavuz hükümler bu temele dayanmaktadır. Uzun vadeli etkiler ise çok fazla tartışmaya yol açmıştır. Uzun vadeli etkiler arasında Biyolojik ve kanserojen etkilerin içinde bulunduğu olası sağlığa zararlı etkileridir. Bu alandaki araştırma sonuçları çelişkilidir ve bilimsel verilerde, halkın günlük hayatta karşı karşıya olduğu düşük seviyeli EMA etkisi ispatlanmamıştır. Buna göre mevcut geçerli bilimsel kanıtlar dikkate alınarak, kanseri geliştiren veya başlatan EMA etkisinin ikna edici bir bilimsel kanıtı bulunmamıştır. Ancak aynı belgeler, sağlık risklerinde daha net sonuçlara gerek olduğunu işaret etmektedir. Avrupa Birliği 1999 yılındaki uygulamasından [Elektrik, Manyetik ve elektromanyetik alanlarda 12 Temmuz 1999 tarihli AB Konsey Tavsiyesi (1999/519/EC), (0 Hz - 300 GHz)] önce, dünyanın en büyük idareleri EMA'nın kansere neden olmadığını gösteren bilimsel kanıtlar çerçevesinde karar vermiştir (Uçar, N., 2009), [İnternet B].

5.1 Dünya Sağlık Örgütü (WHO)

Dünya Sağlık Örgütü (WHO), bağımsız, kar amacı gütmeyen ve uzman kuruluşları temel almaktadır. WHO, iyonlaştırmayan radyasyon etkileri konusunda ICNIRP'yi, kanser konusunda IARC Uluslararası Kanser Araştırmaları Kurumu'nu kabul

etmektedir. Bilimsel araştırmaları temel alan Dünya Sağlık Örgütü (WHO) 1987 yılından beri elektromanyetik alanların insan vücudu üzerinde yarattığı etkileri önem sırasına göre sınıflandıran bir ölçek hazırlamaktadır. Bunun için 100 mA/m² değeri önemsiz ve geri çevrilebilir nörolojik etkilerin görülmeye başladığı eşik olarak kabul edilmiştir. Güvenlik faktörü olarak 10 katsayısını benimseyen WHO, çok alçak frekanslı elektromanyetik alanların biyolojik etkisine ilişkin asli limiti 10mA/m² olarak belirlemiştir. Bu değer uluslararası uzman komitelerinin tamamınca kabul gördüğünden bir ortak karar oluşmuştur (Çizelge 5.1), [İnternet C].

Çizelge 5.1 : Dünya Sağlık Örgütü (WHO): İndüklenen akımın etki çizelgesi

1-10 mA/m ²	Rastlantısal ve tekrarlanmayan önemsiz etkiler
10-100 mA/m ²	Görme ve sinir sistemi seviyesinde geri çevrilebilir önemsiz etkiler
100-1000 mA/m ²	Uyarılabilir dokular üzerinde etkiler, sağlık üzerinde olası etkiler
>1000 mA/m ²	Ventriküler fibrilasyon (kalp karıncığı fibrilasyonu) riski

5.2 Uluslar Arası EMF Projesi

Dünya Sağlık Örgütü (WHO); teknolojinin gelişmesiyle birlikte EMA kaynaklarının giderek artması ve çeşitliliğinin kamu sağlığına olası sağlık ve çevresel etkilerini değerlendirmek için, Mayıs 1996 yılında birçok Üye Devletlerin içinde bulunduğu Uluslararası EMF Projesi olarak adlandırılan bir proje başlattı. WHO Uluslararası EMF Projesi düşük seviyede elektromanyetik alanların olası tehlikeleri konusunda genel kaygılara bilimsel olarak sağlıklı ve objektif yanıtlar sağlamak için başlatıldı. Uluslararası EMF (EMA) Projesi:

EMA'ya maruz kalmanın biyolojik etkileri konusunda bilimsel literatürü gözden geçirir, gerekli araştırmalar tamamlandıktan sonra EMA etkisinin sağlık risklerini değerlendirir.

Ulusal programlar ve sivil toplum kuruluşları önerir.

Uluslararası kabul edilebilir standartları teşvik eder.

Ve risk algısı, risk iletişimi, risk yönetimi hakkında bilgi sağlar.

Projeyi destekleyen ve katılan Uluslararası kuruluşlar: Avrupa Komisyonu (EC), Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC), Uluslararası İyonize Olmayan Radyasyondan Korunma (ICNIRP) Komisyonu, Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC); Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO), Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU), Kuzey Atlantik Antlaşması Örgütü (NATO) ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP).

Dünya Sağlık Örgütü'nün Uluslararası EMF Projesi, radyofrekans (RF) ve mikrodalga alanları, ara frekans (IF), son derece düşük frekanslı (ELF) alanları ve statik elektrik ve manyetik alanlar ile ilgili ortaya çıkan sağlık sorunlarını ele almaktadır. [İnternet A]

WHO –Uluslararası EMF Projesi'ne Dahil olan Ülkeler: Arjantin, Avustralya, Avusturya, Belçika, Kanada Çek Cumhuriyeti, Finlandiya, Fransa, Almanya, Macaristan, Endonezya, İsrail, İrlanda, İtalya, Japonya, Kuveyt, Malezya, Hollanda, Polonya, Norveç, Rusya Federasyonu, Slovenya, Güney Afrika, İsveç, İsviçre, Birleşik Arap Emirlikleri, İngiltere, Amerika Birleşik Devletleri, Bahreyn, Brezilya, Bulgaristan, Çin, Hırvatistan, Kıbrıs, Danimarka, İran, Güney Kore, Lüksemburg, Malta, Meksika, Singapur, İspanya, Hong Kong'dur. [İnternet A], [İnternet B]

5.3 ICNIRP(Uluslararası İyonize Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu)

ICNIRP (Uluslararası İyonize Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu) sanayiden bağımsız; Dünya Sağlık Örgütü'ne bağlı; elektromanyetik alanlar konusunda uzmanlaşmış doktorların, fizikçilerin, biyologların ve epidemiyolojistlerin oluşturduğu bir uzmanlar komitesidir. Konuya ilişkin mevcut bilimsel yayınları derinlemesine inceleyen bu komisyon 1998 yılından beri, düzenli olarak, iyonize olmayan ışınımların tamamını (0 - 300 GHz) kapsayan elektromanyetik spektrum maruziyeti karşısında insan bedeninin durumuna ilişkin tavsiyeler yayınlamaktadır [İnternet C]. ICNIRP, konusunda bağımsız, bilimsel çalışmalar yapmak, ulusal ve uluslararası sağlık kuruluşları ve örgütleri ile ortak çalışmalar yürütmek, bunların sonunda elde edilen verilere dayanarak iyonlaştırmayan radyasyon konusunda insan ve toplum sağlığı kılavuzları hazırlamakla yükümlüdür.

ICNIRP, organizmaya indüklenen akımlardan yola çıkarak Elektromanyetik alanlarca insan bedenine indüklenen akımlara ilişkin, “Temel sınırlamalar” olarak adlandırılan bazı temel limitler belirlemiştir.

1. Temel sınırlamalar olarak insan vücudunda bir derecelik sıcaklık artışına neden olan elektromanyetik güç yutulmasından yola çıkılmaktadır. Bilimsel çalışmalar sonucunda insan vücut sıcaklığını 1°C arttırabilecek alt değerler belirlenmiş ve mesleği gereği bu tür alanlara maruz kalanlar için bu değerlerin güç yoğunluğu cinsinden 1/ 10’ unun, genel insan yaşam alanları için ise 5 kat daha ek koruma faktörü eklenerek 1/50’sinin sınır değerler olarak alınması kabul edilmiştir (ICNIRP, 1998; TSE, 1996). Bugüne dek gerçekleşen gözlemler ve deneyler insan vücudunun sürekli bir derecelik sıcaklık artışını düzenleyemediği ve sorunlar yarattığını belirtmektedir. Yapılan çalışmalar ortalama insanda bir derece sıcaklık artışı için kilogram doku başına 4W güç yutulması gerektiğini göstermiştir. Temel sınır değer olarak 24-saat yaşanan, insanların bulunduğu her yerde (50 kat güvenlik payı ile, yani 4W değeri 50’ye bölünerek) 0.08 W/kg SAR değerine ulaşılmıştır. Özgül soğurma oranı (SAR, specific absorbtion rate) olarak verilen temel sınır değerlerin ölçülmesi hemen hemen olanaksızdır. Bu nedenle, kolay ölçülebilen, gözlenebilen parametreler cinsinden verilen türetilmiş sınır değerlere geçilir.

2. Türetilmiş sınır değerler; temel limitlerin zor ölçülebilir yada elde edilebilir olması nedeniyle türetilmiş limitler belirlenmiştir. Türetilmiş limitler belli frekanslarda elektrik, manyetik alan şiddetleri yada güç yoğunluğudur. (Sevgi, L., Şubat 2005) Temel sınırlamalar için kullanılan parametreler frekansa göre;

Akım yoğunluğu (J) A / m^2

Özgül soğurma oranı (SAR) W / kg

Güç yoğunluğu (S) W / m^2

şeklindedir. Bunlardan sadece ortamda bulunan (insan vücudunun dışındaki) güç yoğunluğu kolayca ölçülebilir (Sevgi, L., Şubat 2005). Meslekleri gereği elektromanyetik alanlara maruz kalan çalışanlar için ICNIRP, WHO tarafından saptanan ve üzerinde mutabakat sağlanan 10 mA/m^2 değerini çok alçak frekanslar tarafından (yani 50 Hz) meydana gelen etkilerin “temel sınırı” olarak kabul etmektedir. Halk açısından bu kategorinin içinde daha hassas bireylerin

bulunmasında mümkündür. Bu nedenle ICNIRP ilave güvenlik faktörü kullanmakta ve çok alçak frekanslar için temel sınırı 2 mA/m^2 olarak belirlemektedir [İnternet C].

3. Referans seviyeler: Elektromanyetik alanlar (EMA) için referans seviyeleri temel kısıtlamalardan yola çıkarak hesaplanır. Bu seviyeler temel sınırlamaların sağlanıp sağlanmadığının belirlenmesine yarayan ölçülebilir büyüklüklerdir. Bu seviyeler yapılan test ve ölçülerden olduğu kadar bilgisayar simülasyonu ile de elde edilebilir. Referans seviyelerinin sağlanması temel sınırlamaların da sağlanması anlamına gelir. Ölçülen veya hesaplanan değerin referans seviyeden yüksek çıkması doğrudan temel sınırlamaların aşılması anlamına gelmeyebilir. Ancak bu gibi durumlarda doğrudan temel sınırlamaların sağlanıp sağlanmadığı test edilmelidir (Sevgi, L., Şubat 2005). ICNIRP Kılavuzu'nda elektrik ve manyetik alanların mesleki ve halk için referans değerleri verilmiştir. Çizelge 5.2'de 50 Hz ve 60 Hz için elektrik ve manyetik alanların mesleki ve halk için referans değerleri verilmiştir (H. Dinçer., Ocak 2009).

Çizelge 5.2 : Elektrik ve manyetik alanların 50 Hz ve 60 Hz için mesleki ve halk için referans değerleri

Frekans Bölgesi	Elektrik Alan Şiddeti, E (V/m)	Manyetik Alan Şiddeti, H(A/m)	Manyetik akı yoğunluğu, B
1. Zaman değişimli elektrik ve manyetik alanların halk için referans değerleri (rms)			
0,025-0,8 (kHz)	250/f	4/f	5/f
50 Hz	5000	80	100
60 Hz	4166,66	66,66	83,33
2. Zaman değişimli elektrik ve manyetik alanların mesleki referans değerleri (rms)			
0.025–0.82 (kHz)	500/f	20/f	25/f
50 Hz	10000	400	500
60 Hz	8333,33	333,33	416,66

5.4 AB (Avrupa Birliği)

Avrupa Birliği iki eylem kategorisi kullanmaktadır: Zorunlu yasal aktitlerin bütün üye ülkeler tarafından kendi mevzuatlarına aktarılması gerekir. Bağlayıcı olmayan diğer aktitler arasında ise tavsiyeler bulunur. Tavsiyelerin ulusal yasalara aktarılması her üye ülkenin kendi tasarrufuna bırakılmıştır.

5.4.1 Halkın Korunması

Temmuz 1999'da Avrupa Birliği Sağlık Bakanları Konseyi, halkın EMA'nın sağlığa etkisine ilişkin ICNIRP'ın 1998 yayınlarını temel alan ve bu yayınlardaki

yaklaşımı ve limit değerleri yineleyen Konsey tavsiyesini kabul etmiştir. Bu tavsiye 0-300 GHz arası iyonize olmayan ışınımların tümünü kapsamaktadır. Tavsiyenin benimsediği hedef, halk için “EMA etkisine karşı üst düzey bir sağlık koruması” sağlamaktır. Böylelikle, çok alçak frekanslar için ilk etkilerin belirlediği eşiğin 50 kat altındaki seviyede etki sınırları tespit edilmiş ve “uzun vadede ortaya çıkabilecek etkiler dolaylı olarak kapsama dahil edilmiştir”. Bundan dolayı tavsiye bu limitlerin yalnızca “etki süresinin önemli/kayda değer olduğu” yerlerde uygulanmasını önermektedir. Avrupa ülkelerinde referans alınan maksimum değerler bazı ülkelerde daha fazla kısıtlama ile uygulanmaktadır. ICNIRP’in halk için tavsiye limitleri Çizelge-5.3’de belirtilmiştir [İnternet C].

Çizelge 5.3 : Halkın korunmasına ilişkin Avrupa Birliği tavsiyesi

Seviyeler	Tanım	Ölçü birimi	Sınır değer
Temel kısıtlama	Bedene indüklenen akım yoğunluğu	m ² başına miliamper	2 mA/m ²
50Hz için referans seviyeler	Elektrik alanı için	metre başına volt	5000 V/m
	Manyetik alan için	MicroTesla	100 µT

5.4.2 Çalışanların Korunması

Avrupa Parlamentosu meslekleri gereği EMA’ya maruz kalan çalışanlar için 29 Nisan 2004 tarihinde bir direktif [Çalışanların fiziksel etmenlerden (elektromanyetik alanlar) kaynaklanan risklere karşı, asgari güvenlik ve sağlık talimatları içeren 29 Nisan 2004 tarihli 2004/40/CE no.lu Avrupa Parlamentosu ve Konsey direktifi] kabul etmiştir. 1999 tarihli AB tavsiyesiyle uyum içinde olan bu direktif aynı zamanda ICNIRP’in yaklaşımını ve sınır değerlerini benimsemektedir. ICNIRP’in çalışanlar için tavsiye limitleri Çizelge-5.4’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.4 : Çalışanların Korunmasına İlişkin Avrupa Birliği Tavsiyesi

50 Hz alanlarda çalışanların korunmasına ilişkin	Tanım	Ölçü birimi	Sınır değer
Maruziyet sınır değeri	Bedende indüklenen akım yoğunluğu	m ² başına miliamper	10 mA/m ²
Eylem başlatan seviyeler**	Elektrik alanı için	metre başına volt	10 000 V/m
	Manyetik alan için	MikroTesla	500 µT

** 2004/40/CE numaralı direktifin 2-c ve 5-2 maddelerine göre “bu seviyeler, maruziyetin maruziyet değerlerini aşmasını engellemek üzere bir veya birçok teknik ve/veya organizasyonel önlemler alınmasını gerektiren seviyelerdir [İnternet C].

5.5 İhtiyatlılık İlkesi

ELF alan maruziyetinin sağlık üzerine etkisinin, bilimsel delillerindeki belirsizliğinden kaynaklanan endişeleri azaltmak üzere önlemler alınmaktadır. Bu önlemlerin bazılarını yasal olarak uyulması zorunludur, diğerleri ise gönüllülük temeline dayalı kılavuzlardır. Bu önlemlerin bazıları Çizelge 5.6’da verilmiştir. Temmuz 1999 tarihli AB tavsiyesinde üye ülkelerin ulusal çapta benimsedikleri önlemlere dair sorgulanmaları öngörülmektedir. Aynı düşünce çerçevesinde, bilimsel gelişmelerin ışığında bu önlemlerin düzenli bir şekilde güncellenmesinde öngörülmektedir (Uçar, N., 2009). Farklı ülkelerde kullanılan şu andaki EMA etkilenme sınırları Çizelge 5.5’de verilmiştir. Enerji frekanslı alanların maruziyetine uygulanan önlem politikalarının (yaklaşımlarının) çeşitli tiplerinden örnekleri Çizelge 5.6 ve Çizelge 5.8’de verilmiştir (Dinçer, H., Ocak 2009).

Çizelge 5.7’de ise farklı Avrupa Ülkelerindeki Düzenlemeler, 31 Aralık 2004 itibarıyla WHO ve Avrupa Elektrik Endüstrisi Birliği Verileri gösterilmiştir [İnternet C].

Çizelge 5.5 : Farklı ülkelerde kullanılan şu andaki EMA etkilenme sınırları

EMA Etki Sınırları	Ülkeler
ICNIRP sınır değerlerini kendi sınır değerleri olarak kullanan ülkeler	Avrupa Birliği, Avusturya, Hırvatistan, Estonya, Çekoslavakya, Finlandiya, Fransa, İrlanda, Malta, Portekiz, Singapur, Güney Afrika, Güney Kore, Tayvan, İngiltere
ICNIRP kılavuzlarının öncekilerden birini esas alan ve dolayısıyla ICNIRP değerleri ile sınır değerleri benzer olan ülkeler	Bulgaristan, Almanya, Macaristan
İhtiyadi önlem sınırlarını kullanan ülkeler (Genelde özellikle güç hatlarına uygulanır)	
10-100 μ T	Çin, Polonya
1-10 μ T	İtalya, Slovenya
<1 μ T	İsviçre, Hollanda
Sınır değerleri önlem politikaları (yaklaşımları) ile verilen ülkeler	Avustralya, Danimarka, Lüksemburg, İsveç, ABD

Çizelge 5.6 : İhtiyadi yaklaşım örnekleri.

Tedbirli yaklaşım	Ülke	Önlemler
Tedbirli önleme	Yeni Zelanda, Avusturya, İsveç	ICNIRP kılavuzlarını benimsemek ve etkiyi azaltmak için düşük maliyetli gönüllülük esaslı önlemleri kullanmak
Pasif mevzuat eylemi	ABD	Etkilenmeyi azaltma önlemleri konusunda halkı eğitmek
Salınımın denetimi tedbiri	İsviçre	ICNIRP kılavuzlarını benimsemek ve salınımın sınırlarını düzenlemek
Etkilenmeyi sınırlama tedbiri	İtalya	Rastgele azaltma etkenlerini kullanarak etkilenme sınırlarını azaltmak

Çizelge 5.7 : Farklı Avrupa Ülkelerindeki Düzenlemeler [İnternet C]

Ülke	Düzenleme		Açıklamalar
	Elektrik alanı	Manyetik alan	
Danimarka, İsveç, Norveç, Estonya, Birleşik Krallık, Hollanda	Herhangi bir yönetmelik yok ancak AB tavsiyesi referans alınmaktadır. Birleşik Krallık, Hollanda, İsveç gibi kimi ülkelerde kurulan ulusal komiteler kendi tavsiyelerini oluşturmaktadır.		
Belçika	5 kV/m (yerleşim bölgeleri)		Manyetik alanlara ilişkin herhangi bir yönetmelik yok
Fransa, Almanya, Hırvatistan, İspanya, Avusturya, İrlanda, Litvanya, Avustralya	5 kV/m	100 µT	
Yunanistan	4 kV/m	80 µT	0,8 katsayısı ile ICNIRP değerleri
İsviçre	5 kV/m	100 µT Okullar, hastaneler, huzurevleri gibi hassas bölgeler için 1 µT	Hassas bölgeler için geçerli olan limit yalnızca yeni tesislere uygulanmaktadır
Slovenya	5 kV/m Hassas bölgeler için 500 V/m	100 µT Hassas bölgeler için 10 µT	Hassas bölgeler için geçerli olan limit yalnızca yeni tesislere uygulanmaktadır.
İtalya	5 kV/m	100 µT 10µT (4 saat/gün ortalaması) 3 µT (4saat/gün ortalaması)	“Dikkat değeri” Tüm yaşam alanlarına ve mevcut tesislere uygulanmaktadır “Kalite değeri” Yaşam alanlarına ve yeni tesislere uygulanmaktadır

Çizelge 5.8 : Halk İçin EMA etkisi

Ülke	Limitler	Yorumlar
İsrail, 2001	1	μT Yeni yapılmış tesis ve tesisatlarda
İtalya, 2003	100	μT Günde 4 saatten fazla oluşan etkiye uygulanan uyarı değeri
ABD	10	μT Yalnız yeni hatlara ve evlere uygulanan hedef değeri
	3	μT Maksimum yük koşullarında. Bazı Federal hükümetlerde yönetmelik (Örneğin, Florida) ve diğerlerinde (Örneğin, Minnesota)
	15-25	μT Resmi olmayan kılavuzlar tarafından gerçekleştirilen değerler.
	0.2- 0.4	μT Bazı yerel yasalarda (hükümleri) benimsendi. (Örneğin, Irvine, California)
2 . EMA Kaynaklarından Halkın Uzaklaştırılması (ayrılması) Esasına Dayalı Tedbir Politikaları (Yaklaşımları)		
İrlanda, 1998	Yeni Enerji İletim Hatları ve Trafo Merkezleri; var olan okul ve yapılara 22 metreden daha fazla yakın olmamalı.	Yerel hükümetler; okul ve çocuk yuvası yakınında yapılacak elektriksel güç tesislerinin yapım izinlerini desteklemeyeceklerdir.
Hollanda, 2005	Çocukların çok fazla zaman harcadığı yerlerle enerji hattı arasındaki uzaklık; ortalama etkilenme $0,4 \mu T$ 'ı aşmayacak şekilde artırıldı.	Bu yaklaşımlar mevcut enerji hatlarının yakınındaki yeni yapılar veya mevcut yapılarının yakınındaki yeni enerji hatları içindir.
ABD	Mevcut enerji iletim hatlarının yakınındaki, yeni okul yerleşimine (yapımına) sınırlama getirilmiştir.	California eğitim bölümünce benimsenmiştir.
	Tekniksel olarak gerçekleştirilemez olmadıkça, yeni hatlar yeraltında olmalıdır. Yerleşim alanının, okulun, Çocuk Yuvalarının ve Gençlik kamplarının yanında tampon bölge olmalıdır.	Connecticut yerel yönetimince benimsenmiştir.
3. Maliyet Esasına Dayalı Tedbir Politikaları (Yaklaşımları)		
ABD	Yeterli alan azaltılmasına (%15'den fazla) ulaşıldığında; tasarım veya yönlendirme değişimi düşük maliyetli (Proje maliyetinin % 4 karşılaştırma için kullanılır.) veya maliyetsiz olmalı.	California yerel devleti halk hizmetleri kurulu tarafından benimsenmiştir.
4. Nicel Olmayan Amaçlar Temelli Tedbir Politikaları (Yaklaşımları)		
Avusturya, 2003	Kolayca gerçekleştirilebilen maruziyet azaltımı	
İsveç, 1996	Seviyelerle ilgili tavsiyeler olmaksızın maruziyet azaltılması	Yeni iletim ve dağıtım tesisleri tasarlanırken EMA'nın göz önüne alınmasını ve bu tesislerin duyarlı bölgelerden uzakta tutulmasını içerir.

5.6 Türkiye’de durum

Ülkemizde enerji iletim hatlarından kaynaklı elektrik ve manyetik alanlara ilişkin özel bir standart bulunmamakta olup, (şehir şebekesi frekansını da içine alan alternatif akımda işletilmekte olan enerji iletim hatlarının frekans değeri 50 Hz’dir.) Şehir şebekesi frekansını da içine alan düşük frekanslar için Türk Standartları Enstitüsünün, TS ENV 50166-1/Nisan 1996 Baskı ICS 29020 sayılı ve - insanların Elektromanyetik Alanlara Maruz Kalması-Düşük Frekanslar (0 Hz-10 kHz) isimli bir TSE standardı bulunmaktadır. Bu standart içinde, çeşitli frekanslardan kaynaklı elektromanyetik alanlar için “referans değer”ler verilmektedir. Bu standartlarda, işçiler ve genel halk için; doğrudan ve dolaylı zararlara karşı koruma, temel sınırlamalar, referans seviyeleri, ölçüm metotları, cihazlar, ölçme işlemleri, maruz kalma sınırlarının tespiti esasları, elektromanyetik alan kaynakları, alan değerlerinin ölçümünde pratik öneriler, alan değerlerinin ölçüm sistemleri, hesap işlemleri, alan seviyeleri ile uyumun kontrolü, maruziyeti kontrol etme metotları yer almaktadır. Manyetik alanlar için belirlenen referans seviyeleri Çizelge 5.9 ve Çizelge 5.10’da verilmiştir. Çizelge 5.9’da işçiler için Çizelge 5.10’da genel halk için değerler görülmektedir (TSE, 1996).

Çizelge 5.9 : İşçiler için manyetik alan referans seviyeleri (TSE, 1996)

Frekans (f, Hz)	Manyetik Alan
0-0.1	2 T
0.1-0.23	1.4 T
0.23-1	$320 / f$ mT
1-4	$320 / f^2$ mT
4-1500	$80 / f$ mT (50 Hz’de 1,6 mT)

Çizelge 5.10 :

Çizelge 5.11 : Genel halk için manyetik alan referans seviyeleri (TSE, 1996)

Frekans (f, Hz)	Manyetik Alan
0-0,1	0,04 T
0,1-1,15	0,028 T
1,15-1500	$32/f$ (mT) (0.64 mT 50 Hz’de)

TSE Standardında işçiler ve genel halk için ayrı ayrı referans seviyeleri belirlenmiştir. Durgun manyetik alanın bütün vücut için maruz kalma temel sınırlaması 2 T olarak belirlenmiştir. Genel halk için devamlı maruz kalmada bu sınır 0.04T'ya indirilmiştir.

Çizelge 5.12 : İşçiler İçin Elektrik Alan referans seviyeleri (TSE, 1996)

Frekans (Hz)	Elektrik Alanı (kV/m)	Zaman (saat)
0-0,1	42	$t < 112/E$
0,1-50	30	$t < 80/E$
50-150	1500/f	$t < 80/E$
150-1500	1500/f	
1500-10000	1	

Çizelge 5.13 : Genel Halk İçin Elektrik Alan referans seviyeleri (TSE, 1996)

Frekans (Hz)	Elektrik Alanı (kV/m)
0-0,1	14
0,1-60	10
60-1500	600/f
1500-10000	0,4

Genel olarak vücuda paralel elektrik alanının bütün vücut için etki altında kalma temel sınırlamaları 0-0,1 Hz arasında 42 kV/m ve 0,1 Hz 'in üzerinde 30 kV/m dir. Halk için 10 kV/m zaman sınırlaması olmaksızın üst sınır seçilmiştir.

Değişken alana sürekli maruz kalınması durumunda baş ve kalp bölgelerinde indüklenerek olan akım yoğunlukları sınırları ise şu şekildedir.

Çizelge 5.14 : İşçiler İçin Akım Yoğunluğu (TSE, 1996)

Frekans (Hz)	Akım Yoğunluğu (mA/m ²)
0-0,1	40
1,0-4	40/f
4-1000	10
1000-10000	f/100

Çizelge 5.15 : Halk İçin Akım Yoğunluğu (TSE, 1996)

Frekans (Hz)	Akım Yoğunluğu (mA/m ²)
0,1-1	16
1,0-4	16/f
4-1000	4
1000-10000	f/250

Frekansın 4-1000 Hz olması durumunda 10 mA/m^2 'lik bir akım yoğunluğunun sinir ve kas dokusunu etkilemediği belirlenmiştir. Bunlara ek olarak, elektromanyetik alanları referans almayan, yüksek gerilim hatlarına güvenli yaklaşımın sağlanabilmesi için, 30 Kasım 2000 tarih ve 24246 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren "Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği"nde emniyetli yaklaşım mesafe değerleri tanımlanmıştır. Bu yönetmeliğin 46. Maddesinde yer alan yatay ve düşey mesafeler baz alınmak kaydı ile hattın tesisine izin verilmektedir.

Türkiye EMA limitleri konusunda AB Konsey Tavsiyesini uygulamakta olup, cihaz başına $\frac{1}{4}$ katı koruma uygulamaktadır. Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK) tarafından halkın Elektromanyetik Alan (EMA) maruziyetini sınırlandırmak amacıyla, ICNIRP (Uluslararası İyonize Olmayan Işımadan Korunma Komitesi) tarafından belirlenen sınır değerler temelinde, 1999/519/EC sayılı AB Direktifine uygun olarak, 12.7.2001 tarihinde 24460 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Yönetmelik yürürlüğe konulmuştur. Söz konusu yönetmelik, 16.04.2009 tarihinde 27230 sayılı Resmi Gazete ile "Elektronik Haberleşme Cihazlarına Güvenlik Sertifikası Düzenlenmesine İlişkin Yönetmelik" adıyla yeni gelişmeler ışığında yenilenmiştir [İnternet B].

2. Çevre Bakanlığı tarafından yayımlanan ilgili mevzuat;

08.05.2003 tarih ve 25102 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren 4856 sayılı Çevre ve Orman Bakanlığı Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun'un 9 uncu maddesinin (b) bendinde; "iyonlaştırıcı olmayan radyasyonun kontrolü, azaltılması ve bertaraf edilmesi için hedef ve ilkeleri belirleyerek her türlü önlemi almak ve uygulanmasını sağlamak, bu konuda yönetim ve acil müdahale plânları yapmak, yaptırmak, konuyla ilgili kurum ve kuruluşlarla koordineli çalışmalar yaparak müdahale etmek, kriter ve standartları belirlemek, uygulamak, uygulanmasını sağlamak, ölçüm yaptırmak, verileri toplamak ve değerlendirmek." hükmü yer almaktadır.

3. Sağlık Bakanlığı tarafından yayımlanan ilgili mevzuat;

Sağlık açısından etkilerine yönelik değerlendirmeler 29.05.2000 tarih ve 7384 sayılı "İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon – Elektromanyetik Kirlilik" konulu Sağlık Bakanlığı Genelgesi doğrultusunda yapılmaktadır. EMA konusunda yetkili kurum

olan BTK tarafından, Dünya'daki araştırma ve çalışma raporları gibi uluslar arası faaliyetleri takip etmek ve kamuyu bilgilendirmek amacıyla, 14.06.2005 tarih ve 372/2005 sayılı Kurul Kararı ile BTK koordinasyonunda, Sağlık Bakanlığı, Çevre Bakanlığı, TRT, TSE, TÜBİTAK, Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, Kocaeli Üniversitesi, Gazi Üniversitesi, Tüketici Dernekleri, İmalatçive İşletmecilerin yer aldığı RF Sağlık Komisyonu kurulmuştur [İnternet A], [İnternet C], (Dinçer, H., Haziran 2009)

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Geçmişte manyetik alanların atmosferde oluşan doğal seviyesi hayli düşük değerde idi. Endüstrileşme ile elektrik enerjisinin kullanımının yaygınlaşması sonucunda insanlar ve diğer canlılar kısacası tüm çevre elektromanyetik kirlenmenin etkisi altında kalmaktadır. Elektromanyetik kirliliğe gözle görülmemesi ve etkilerinin hemen ortaya çıkmamasından dolayı yeterli önem verilmemekte ve göz ardı edilmektedir. Alanların büyüklüğü, gerilimin büyüklüğüne veya iletkenen geçen elektrik akımının yoğunluğuna bağlıdır. E. M. alanlarının kullanımının gelecekte daha da artış göstereceği dikkate alınırsa konunun önemi daha da artmaktadır.

Bu tezin üçüncü bölümünde 34,5 kV'luk orta gerilimli enerji dağıtım hatları çevresindeki manyetik alan şiddeti dağılımının bulunabilmesi için, Biot-Savart Yasası'ndan yararlanılarak elle yaptığımız örnek çözümlerde elde etmiş olduğumuz dağılımlar ve grafiklerden hat eksenine yaklaştıkça manyetik alan şiddetinin arttığı, iletkenlerden ve hattan uzaklaştıkça azaldığı görülmektedir. Manyetik alan şiddetinin akım arttıkça arttığı görülmektedir. Elde edilen verilerden, manyetik alanların etkilerinin uzaklıkla hızla azalacağını söyleyebiliriz.

Tezin dördüncü bölümünde, yüksek gerilim hattı altında yapılan elektrik alan ve manyetik alan ölçümü deneylerinden elde edilen verilerden görüldüğü üzere yüksek gerilim hattından yatay doğrultuda uzaklaşıldıkça elektrik alan şiddeti herbir metrede yaklaşık %22 V/m oranında azalmaktadır. Ama düşey doğrultuda hatta yaklaşıldığında elektrik alanı artmıştır ve yüksek gerilim hattından düşey doğrultuda uzaklaşıldıkça elektrik alan şiddeti yaklaşık ortalama %40 V/m oranında azalmaktadır. Deney düzeneğinde yüksek gerilim hattındaki gerilim iki katına arttırıldığında elektrik alan şiddetinde %70 arttığı görülmektedir. Aynı zamanda yatay ve düşey doğrultuda hattın uzaklaştıkça alan şiddetinde yatayda %22 V/m, düşeyde %36 V/m oranında azaldığı görülmektedir. Dördüncü bölümde yapılan deneyin ikinci aşamasında, yüksek gerilim hattı altındaki manyetik alan ölçümleri sonuçlarından görüldüğü üzere yüksek gerilim hattından yatay ve düşey doğrultuda

uzaklaştıkça manyetik alan şiddeti yatayda %30 A/m, düşeyde %8 A/m oranında, elektrik alan şiddetine daha yavaş azalmaktadır. Deney sonuçlarından elektrik ve manyetik alan şiddetlerinin, iletim hatlarından uzaklaştıkça herbir metrede ortalama %20-30 azaldığını söyleyebiliriz.

Tezin üçüncü ve dördüncü bölümlerinde yapılan her iki çalışmadaki sonuçlar karşılaştırıldığında; üçüncü bölümde elle yapılan hesap yönteminde manyetik alan şiddetinin hattan uzaklaştıkça hızla azaldığı ve aynı şekilde dördüncü bölümde elektrik ve manyetik alan ölçme deneylerinde yine aynı şekilde elektrik ve manyetik alan şiddeti büyüklüklerinin hattan uzaklaştıkça hızla azaldığı görülmektedir. Hem hesap ve hemde deney ölçme sonuçlarında da görüldüğü gibi Elektrik ve Manyetik alan şiddetlerinin hattın yatay ve düşey ekseninden uzaklaştıkça azaldığı sonucuna varılmaktadır.

Enerji iletim hatlarının işletme gerilimleri yükseldikçe, bu hatlar çevresindeki elektrik alan değerlerinde daha büyük seviyelere çıkmasına neden olmaktadır. Enerji nakil hatları (havai hat veya kablo), dağıtım tesisleri en güçlü elektromanyetik alan kaynaklarıdır. Enerji iletim hatları çevresinde oluşan elektrik ve manyetik alanların değerleri ölçümün yapıldığı koşul ve zamandaki akım değerlerine, hattın geometrik özelliklerine, hattın gerilim düzeyine, hattın yüksekliğine, sehimine, arazi koşullarına, iletken cinsine, her fazdaki iletken sayısına, tek devre ve çift devre olmasına bağlı olarak değişim göstermektedir.

Bugün, ülkemizde konuya yeterli önem gösterilmemekle birlikte, bir kısım araştırmalar ve bilim adamlarımız konunun önemini farkına varmışlardır. TSE'nün getirdiği standartlar elektromanyetik alanlarla ilgili bir takım sınırlamaları bünyesinde barındırmasına rağmen, halkımızın bu konuda somut çalışmalarla bilinçlendirilmesi gerekmektedir. Kontrolsüz büyüyen kentlerimiz ve kaçınılmaz olarak artan enerji ihtiyacı elektrik enerjisini ileten ve dağıtan şebekelerle iç içe bir hayatı getirmiştir. Özellikle büyük kentlerde plansız yapılaşmanın sonucu olarak yüksek gerilimli enerji iletim hatları konutlara çok yakın yerlerde bulunmaktadır. Bu konutlarda yaşayan insanlar yüksek seviyeli manyetik alanlara uzun süre maruz kalırlar. Manyetik alanın büyük seviyelere çıkması, olabilecek sağlık ve çevre etkileri konusunda ciddi sorunlar ortaya çıkarmıştır. Bu etkilerin oluşması manyetik alanın frekansına, şiddetine, vücut ölçülerine, vücudun elektriksel özelliklerine, alanın mesafesine ve en önemlisi etki süresine bağlıdır. Sağlık etkilerinin tam olarak

hangi doz parametresi ile orantılı olduğu ve bunların eşik değeri ne olması gerektiği tartışma konusudur. Ancak genel olarak, ne kadar uzun süre maruz kalınırsa zararın da o kadar büyük olabileceği söylenebilir.

Ülkemizde elektromanyetik alanların etkileri yoğun bir şekilde ele alınmalı, daha bilinçli bir toplum için standart değeri gerekliliği vurgulanmalıdır. Elektromanyetik alanların sağığa zararlı etkilerinin ilerde de devam etmesini engellemek için, elektrik enerjisinin iletimi, dağıtımı ve kullanılmasının iyi bir şekilde planlanması gerekir. Bu yüzden inşa edilecek olan yeni binaların iletim hatlarından mümkün olduğunca uzak yerlere yapılması gerekmektedir. Ayrıca yeni tesis edilecek enerji hatları için elektromanyetik güvenlik limiti bakımından yaklaşım mesafeleri, proje aşamasında tanımlanarak hat güzergahında uygulanmalıdır. Yine bu yaklaşım mesafeleri imar kanunlarına yansıtılarak belediyelerce titizlikle uygulanmalıdır. Yeni kurulacak iletim hatlarının dizayn aşamasında manyetik alan şiddetinin standartlarda öngörülen değeri üzerinde olup olmadığının tespit edilmesi için manyetik alan hesabı büyük önem kazanmaktadır.

Ülkemizde Elektromanyetik alan ölçümleri için geliştirilen ve sağlıklı ölçümler yapan ölçü aletleri ve bu konularda yapılan çok sayıda yayın vardır. Üniversitelerin yanı sıra Elektrik Mühendisleri Odası da bu ölçümleri yapmaktadır. Elektromanyetik alan etkilerini azaltmak için, tesis edilen şebekenin en az yaklaşım sınırları ülkemizde yönetmeliklerle kayıt altına alınmış olsa da plansız ve çarpık bir şekilde büyüyen kentlerimiz bu limitleri zorlamaktadır. Kullanılmakta olan ve yeni inşa edilecek olan hatlar için, standartlarda öngörüldüğü şekilde yerleşim merkezlerini hatlara güvenli mesafelerde kurmak ve çeşitli aktiviteler için güvenli mesafelerin tespit edilmesinde manyetik alan ölçümü ve hesabı son derece önem kazanmaktadır. Bu açıdan güvenlik standartlarının uygulanması ve yenilenmesi gibi çalışmalar desteklenmelidir. Bu konuda yapılacak çalışmalar gereksiz yere EM. Radyasyonundan etkilenmeyi önleyeceği gibi toplumun E.M. enerjiden optimum yararlanmasında sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- AKPINAR, S.**, 1997. Yüksek Gerilim Tekniğinin Temelleri, İstanbul.
- CANSEVEN, A., ATALAY SEYHAN, N.**, 1995. Elektromanyetik Kirlenme ve Biyolojik Boyutları, EMO Dergisi, 39, 394, 87-91.
- DENGİZ, H.**, 1991: Enerji Hatları Mühendisliği, Kardeş Kitapevi, Ankara.
- DİNÇER, H.**, 2009, "Elektriksel Alanlar ve Canlılara Etkileri", Elektrik Mühendisleri Odası Dergisi, Ocak, Sayı 435:45-51, Haziran, 436:37-41
- DRAPER, G.**, 2005. Childhood cancer in relation to distance from high voltage Power lines in England and Wales: a case-control study. BMJ:1290-1293.
- GÜLER, G. ve Atalay, S.** (1995), " The Interaction of Electric Field with Biological Systems", 6, 125129.
- GÜLER, G. ve Atalay, N. S.**, 1999. Elektrik Alanın Biyolojik Etkileri, Bilişim Toplumuna Giderken Elektromagnetik Kirlilik Etkileri Sempozyumu, 11 Kasım, Ankara, s.
- HARMANCI, H. ve EMRE, M.**, 2003. Risk factor of Alzheimer disease: a population-based case-control study in İstanbul, Turkey. Alzheimer Dis Assoc Disort 17:139-145.
- HORTON, W. F. and GOLDBERG, S.**, 1995: Power Frequency Magnetic Field and Public Health
- ICNIRP-** (1998).Guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Physics 74: 494-522.
- KALENDERLİ, Ö. ve Yıldırım, H.**, 1997. Elektrik ve Manyetik Alanların Biyolojik Etkileri, Kanser Araştırmaları, İnsan ve Otomasyon, 88-92.
- KALENDERLİ, Ö., YILDIRIM, H. ve MARDİKYAN, K.**, 1977: Yüksek Gerilim Hatları Çevresindeki Manyetik Alanların Hesabı, Biyomut 97, 13-14 Ekim, İstanbul, s. 162-165
- KOŞALAY, İ. UTES'2008**, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 17-19 Aralık 2008, İstanbul
- LI, CY.**,1997. Residential exposure to 60- Hertz magnetic fields and adult cancers in Taiwan. Epidemiology 8:25-30.
- LEE, GM.**, 2002. A nested case-control study of residential and personal magnetic field measures and miscarriages. Epidem 13:21-31.

ÖZAKTAŞ, H. M., 1999. Günlük Hayatta Karşılaşılan Elektromagnetik Alanlar ve İnsan Sağlığı, Bilişim Toplumuna Giderken Elektromagnetik Kirlilik Etkileri Sempozyumu, 11 Kasım, Ankara, s. 7 – 12.

QIU, C., 2004. Occupational exposure to electromagnetic fields and risk of Alzheimer's disease. *Epidemiol* 15:687-694.

SEVGİ, L., Şubat 2005. Çevremizdeki Elektrik ve Manyetik Alanlar, *Endüstriyel Otomasyon Dergisi*

ŞEKER, S. ve ÇEREZCİ, O., 1992: Elektromanyetik Alanlar ve Mühendislik Uygulamaları, İ.T.Ü. Yayınları, Sakarya

ŞEKER, S. ve ÇEREZCİ, O., 1997: Çevremizdeki Radyasyon ve Korunma Yöntemleri, BÜ Yayınları, İstanbul.

ŞEKER, S., ÇEREZCİ, O., 1993. Elektromanyetik Enerjinin Kullanımında Risk Analizi, *Elektrik Mühendisliği 5. Ulusal Kongresi, Trabzon. Cilt 2, pp:386-391.*

TÜBİTAK, 2001. Elektromanyetik Dalgalar ve İnsan Sağlığı, Sıkça Sorulan Sorular ve Yanıtları.

TS ENV 50166, 1996: İnsanların Elektromanyetik Alanlara Maruz Kalması, Düşük Frekanslar (0 Hz-10 kHz), Türk Standartları Enstitüsü.

UÇAR, N., 2009. ‘Avrupa Ülkelerinde EMA ile ilgili Mevzuatlar Raporu’ Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, Temmuz, 2009

UMURKAN, N, Şeker, S. ve Çakır, H., 1995. Ulusal Orta ve Yüksek Gerilimli Enerji İletim Hatlarına Yaklaşım Mesafelerinin Elektrik ve Magnetik Alanlara Göre Tespit Edilmesi, *Elektrik Mühendisliği 6. Ulusal Kongresi, 11– 17 Eylül, Bursa, s. 142-145.*

UMURKAN, N., ÇAKIR, H. ve ARSLAN, F., 1998. Enerji İletim Hatlarının Çevresindeki Elektromanyetik Alanlar, 3e Endüstri & Teknik Fuarı, 27 – 31 Mayıs, Gaziantep, s. 52-55

UK Childhood Cancer Study Investigators, 2000: Childhood cancer and residential proximity to power lines. *Brit J Cancer* 83:1573-1580.

WERTHEIMER, N. and Leeper, E., 1979: Electrical Wiring Configurations and Childhood Cancer, *American Journal of Epidemiology*, 109, 273.

., 1982. Adult cancer related to electrical wires near the home. *Int J Epidem* 11:345-355.

İNTERNET KAYNAKLARI

[İnternet A] <http://www.who.int/emf>

[İnternet B] <http://www.btk.gov.tr/>

[İnternet C] <http://www.rte-france>

EKLER

Ek A. Üç Fazlı 34,5 kV'luk Bir Hat Çevresindeki Manyetik Alan ve Manyetik Endüksiyonun Hesaplanması

A(0; 1,2) Noktası İçin Manyetik Alan ve Endüksiyon

40 A için hesaplama

$$r_{A_1} = \sqrt{(x_A - x_{H_1})^2 + (y_A - y_{H_1})^2}$$

$$r_{A_1} = \sqrt{(0 - (-1,3))^2 + (1,2 - 19,3)^2} = \sqrt{16,9 + 327,61} = 18,14 \text{ m}$$

$$r_{A_2} = \sqrt{(x_A - x_{H_2})^2 + (y_A - y_{H_2})^2}$$

$$r_{A_2} = \sqrt{(0 - (-1,56))^2 + (1,2 - 16,7)^2} = 15,57831 \text{ m}$$

$$r_{A_3} = \sqrt{(x_A - x_{H_3})^2 + (y_A - y_{H_3})^2}$$

$$r_{A_3} = \sqrt{(0 - (-1,56))^2 + (1,2 - 16,7)^2} = 15,57831 \text{ m}$$

$$H_{x_1} = \frac{I_1 (y_A - y_{H_1})}{2\pi r_{A_1}^2} = \frac{40 (1,2 - 19,3)}{2\pi (18,14)^2} = -0,34992 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = \frac{I_1 (x_A - x_{H_1})}{2\pi r_{A_1}^2} = \frac{40 (0 - (-1,3))}{2\pi (18,14)^2} = 0,025132 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = \frac{I_2 (y_A - y_{H_2})}{2\pi r_{A_2}^2} = \frac{40 (1,2 - 16,7)}{2\pi (15,57)^2} = -0,4066 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = \frac{I_2 (x_A - x_{H_2})}{2\pi r_{A_2}^2} = \frac{40 (0 - (-1,56))}{2\pi (15,57)^2} = 0,040923 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = \frac{I_3 (y_A - y_{H_3})}{2\pi r_{A_3}^2} = \frac{40 (1,2 - 16,7)}{2\pi (15,57)^2} = -0,4066 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = \frac{I_3 (x_A - x_{H_3})}{2\pi r_{A_3}^2} = \frac{40 (0 - 1,56)}{2\pi (15,57)^2} = -0,040923 \text{ A/m}$$

$$H_{x_A} = \sum_{i=1}^3 H_{x_i} = -0,35 - 0,407 - 0,407 = -1,16313 \text{ A/m}$$

$$H_{y_A} = \sum_{i=1}^3 H_{y_i} = 0,02513 \text{ A/m}$$

$$H_A = \sqrt{H_{x_A}^2 + H_{y_A}^2} = \sqrt{(-1,164)^2 + (0,02513)^2} = 1,163398 \text{ A/m}$$

$$B_A = \mu_0 H_A = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1,163398$$

$$B_A = 1,46197 \times 10^{-6} \text{ T}$$

80 A için hesaplama

$$H_{x_1} = \frac{I_1 (y_A - y_{H_1})}{2\pi r_{A_1}^2} = \frac{80 (1,2 - 19,3)}{2\pi (18,14)^2} = -0,69984 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = \frac{I_1 (x_A - x_{H_1})}{2\pi r_{A_1}^2} = \frac{80 (0 - (-1,3))}{2\pi (18,14)^2} = 0,050265 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = \frac{I_2 (y_A - y_{H_2})}{2\pi r_{A_2}^2} = \frac{80 (1,2 - 16,7)}{2\pi (15,57)^2} = -0,81321 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = \frac{I_2 (x_A - x_{H_2})}{2\pi r_{A_2}^2} = \frac{80 (0 - (-1,56))}{2\pi (15,57)^2} = 0,081845 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = \frac{I_3 (y_A - y_{H_3})}{2\pi r_{A_3}^2} = \frac{80 (1,2 - 16,7)}{2\pi (15,57)^2} = -0,81321 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = \frac{I_3 (x_A - x_{H_3})}{2\pi r_{A_3}^2} = \frac{80 (0 - 1,56)}{2\pi (15,57)^2} = -0,08185 \text{ A/m}$$

$$H_{x_A} = \sum_{i=1}^3 H_{x_i} = -2,32625 \text{ A/m}$$

$$H_{y_A} = \sum_{i=1}^3 H_{y_i} = 0,050265 \text{ A/m}$$

$$H_A = \sqrt{H_{x_A}^2 + H_{y_A}^2} = 2,326795 \text{ A/m}$$

$$B_A = \mu_0 H_A = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2,326795$$

$$B_A = 2,92394 \times 10^{-6} \text{ T}$$

120 A için hesaplama

$$H_{x_1} = \frac{I_1 (y_A - y_{H_1})}{2\pi r_{A_1}^2} = \frac{120 (1,2 - 19,3)}{2\pi (18,14)^2} = -1,04976 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = \frac{I_1 (x_A - x_{H_1})}{2\pi r_{A_1}^2} = \frac{120 (0 - (-1,3))}{2\pi (18,14)^2} = 0,075397 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = \frac{I_2 (y_A - y_{H_2})}{2\pi r_{A_2}^2} = \frac{120 (1,2 - 16,7)}{2\pi (15,57)^2} = -1,21981 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = \frac{I_2 (x_A - x_{H_2})}{2\pi r_{A_2}^2} = \frac{120 (0 - (-1,56))}{2\pi (15,57)^2} = 0,122768 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = \frac{I_3 (y_A - y_{H_3})}{2\pi r_{A_3}^2} = \frac{120 (1,2 - 16,7)}{2\pi (15,57)^2} = -1,21981 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = \frac{I_3 (x_A - x_{H_3})}{2\pi r_{A_3}^2} = \frac{120 (0 - 1,56)}{2\pi (15,57)^2} = -0,12277 \text{ A/m}$$

$$H_{x_A} = \sum_{i=1}^3 H_{x_i} = -3,48938 \text{ A/m}$$

$$H_{y_A} = \sum_{i=1}^3 H_{y_i} = 0,075397 \text{ A/m}$$

$$H_A = \sqrt{H_{x_A}^2 + H_{y_A}^2} = 3,490193 \text{ A/m}$$

$$B_A = \mu_0 H_A = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 3,490193$$

$$B_A = 4,38591 \times 10^{-6} \text{ T}$$

145 A için hesaplama

$$H_{x_1} = \frac{I_1 (y_A - y_{H_1})}{2\pi r_{A_1}^2} = \frac{145 (1,2 - 19,3)}{2\pi (18,14)^2} = -1,26845 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = \frac{I_1 (x_A - x_{H_1})}{2\pi r_{A_1}^2} = \frac{145 (0 - (-1,3))}{2\pi (18,14)^2} = 0,091104 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = \frac{I_2 (y_A - y_{H_2})}{2\pi r_{A_2}^2} = \frac{145 (1,2 - 16,7)}{2\pi (15,57)^2} = -1,47394 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = \frac{I_2 (x_A - x_{H_2})}{2\pi r_{A_2}^2} = \frac{145 (0 - (-1,56))}{2\pi (15,57)^2} = 0,1485345 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = \frac{I_3 (y_A - y_{H_3})}{2\pi r_{A_3}^2} = \frac{145 (1,2 - 16,7)}{2\pi (15,57)^2} = -1,47394 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = \frac{I_3 (x_A - x_{H_3})}{2\pi r_{A_3}^2} = \frac{145 (0 - 1,56)}{2\pi (15,57)^2} = -0,14834 \text{ A/m}$$

$$H_{x_A} = \sum_{i=1}^3 H_{x_i} = -4,21633 \text{ A/m}$$

$$H_{y_A} = \sum_{i=1}^3 H_{y_i} = 0,091104 \text{ A/m}$$

$$H_A = \sqrt{H_{x_A}^2 + H_{y_A}^2} = 4,217316 \text{ A/m}$$

$$B_A = \mu_0 H_A = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 4,217316$$

$$B_A = 5,29964 \times 10^{-6} \text{ T}$$

B(0; 1,6) Noktası İçin Manyetik Alan ve Endüksiyon

40 A için hesaplama

$$r_{B_1} = \sqrt{(x_B - x_{H_1})^2 + (y_B - y_{H_1})^2}$$

$$r_{B_1} = \sqrt{(0 - (-1,3))^2 + (1,6 - 19,3)^2} = \sqrt{16,9 + 327,61} = 17,74768 \text{ m}$$

$$r_{B_2} = \sqrt{(x_B - x_{H_2})^2 + (y_B - y_{H_2})^2}$$

$$r_{B_2} = \sqrt{(0 - (-1,56))^2 + (1,6 - 16,7)^2} = 15,18037 \text{ m}$$

$$r_{B_3} = \sqrt{(x_B - x_{H_3})^2 + (y_B - y_{H_3})^2}$$

$$r_{B_3} = \sqrt{(0 - (-1,56))^2 + (1,6 - 16,7)^2} = 15,18037 \text{ m}$$

$$H_{x_1} = \frac{I_1 (y_B - y_{H_1})}{2\pi r_{B_1}^2} = -0,35774 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = \frac{I_1 (x_B - x_{H_1})}{2\pi r_{B_1}^2} = 0,026275 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = \frac{I_2 (y_B - y_{H_2})}{2\pi r_{B_2}^2} = -0,41715 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = \frac{I_2 (x_B - x_{H_2})}{2\pi r_{B_2}^2} = 0,043096 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = \frac{I_3 (y_B - y_{H_3})}{2\pi r_{B_3}^2} = -0,41715 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = \frac{I_3 (x_B - x_{H_3})}{2\pi r_{B_3}^2} = -0,0431 \text{ A/m}$$

$$H_{x_B} = \sum_{i=1}^3 H_{x_i} = -1,19204 \text{ A/m}$$

$$H_{y_B} = \sum_{i=1}^3 H_{y_i} = 0,026275 \text{ A/m}$$

$$H_B = \sqrt{H_{x_B}^2 + H_{y_B}^2} = 1,192332 \text{ A/m}$$

$$B_B = \mu_0 H_B = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1,192332$$

$$B_B = 1,49833 \times 10^{-6} \text{ T}$$

80 A için hesaplama

$$H_{x_1} = -0,71548 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,05255 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -0,8343 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = 0,086193 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -0,8343 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = -0,08619 \text{ A/m}$$

$$H_{x_B} = \sum_{i=1}^3 H_{x_i} = -2,38409 \text{ A/m}$$

$$H_{y_B} = \sum_{i=1}^3 H_{y_i} = 0,05255 \text{ A/m}$$

$$H_B = \sqrt{H_{x_B}^2 + H_{y_B}^2} = 2,384665 \text{ A/m}$$

$$B_B = \mu_0 H_B = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2,384665$$

$$B_B = 2,99666 \times 10^{-6} \text{ T}$$

120 A için hesaplama

$$H_{x_1} = -1,07323 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,078825 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -1,25145 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = 0,129289 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -1,25145 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = -0,12929 \text{ A/m}$$

$$H_{x_B} = \sum_{i=1}^3 H_{x_i} = -3,57613 \text{ A/m}$$

$$H_{y_B} = \sum_{i=1}^3 H_{y_i} = 0,078825 \text{ A/m}$$

$$H_B = \sqrt{H_{x_B}^2 + H_{y_B}^2} = 3,576997 \text{ A/m}$$

$$B_B = \mu_0 H_B = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 3,576997$$

$$B_B = 4,49499 \times 10^{-6} \text{ T}$$

145 A için hesaplama

$$H_{x_1} = -1,29682 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,095246 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -1,51217 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = 0,156224 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -1,51217 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = -0,15622 \text{ A/m}$$

$$H_{x_B} = \sum_{i=1}^3 H_{x_i} = -4,322115 \text{ A/m}$$

$$H_{y_B} = \sum_{i=1}^3 H_{y_i} = 0,095246 \text{ A/m}$$

$$H_B = \sqrt{H_{x_B}^2 + H_{y_B}^2} = 4,322204 \text{ A/m}$$

$$B_B = \mu_0 H_B = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 4,322204$$

$$B_B = 5,43144 \times 10^{-6} \text{ T}$$

C(0; 1,8) Noktası İçin Manyetik Alan ve Endüksiyon

40 A için hesaplama

$$r_{C_1} = 17,54822 \text{ m}$$

$$r_{C_2} = 14,98144 \text{ m}$$

$$r_{C_3} = 14,98144 \text{ m}$$

$$H_{x_1} = -0,36179 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,026876 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -0,42263 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = 0,044248 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -0,42263 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = -0,04425 \text{ A/m}$$

$$H_{x_C} = \sum_{i=1}^3 H_{x_i} = -1,20704 \text{ A/m}$$

$$H_{y_C} = \sum_{i=1}^3 H_{y_i} = 0,026876 \text{ A/m}$$

$$H_C = \sqrt{H_{x_C}^2 + H_{y_C}^2} = 1,207343 \text{ A/m}$$

$$B_C = \mu_0 H_C = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1,207343$$

$$B_C = 1,51719 \times 10^{-6} \text{ T}$$

80 A için hesaplama

$$H_{x_1} = -0,72357 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,053751 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -0,84526 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = 0,088497 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -0,84526 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = -0,0885 \text{ A/m}$$

$$H_{x_C} = \sum_{i=1}^3 H_{x_i} = -2,41409 \text{ A/m}$$

$$H_{y_C} = \sum_{i=1}^3 H_{y_i} = 0,053751 \text{ A/m}$$

$$H_C = \sqrt{H_{x_C}^2 + H_{y_C}^2} = 2,414686 \text{ A/m}$$

$$B_C = \mu_0 H_C = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2,384665$$

$$B_C = 3,03438 \times 10^{-6} \text{ T}$$

120 A için hesaplama

$$H_{x_1} = -1,08536 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,080627 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -1,26789 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = 0,132745 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -1,26789 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = -0,13275 \text{ A/m}$$

$$H_{x_C} = \sum_{i=1}^3 H_{x_i} = -3,62113 \text{ A/m}$$

$$H_{y_C} = \sum_{i=1}^3 H_{y_i} = 0,080627 \text{ A/m}$$

$$H_C = \sqrt{H_{x_C}^2 + H_{y_C}^2} = 3,62203 \text{ A/m}$$

$$B_C = \mu_0 H_C = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 3,62203$$

$$B_C = 4,55158 \times 10^{-6} \text{ T}$$

145 A için hesaplama

$$H_{x_1} = -1,31148 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,097424 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -1,53203 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = 0,1604 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -1,53203 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = -0,1604 \text{ A/m}$$

$$H_{x_C} = \sum_{i=1}^3 H_{x_i} = -4,37553 \text{ A/m}$$

$$H_{y_C} = \sum_{i=1}^3 H_{y_i} = 0,097424 \text{ A/m}$$

$$H_C = \sqrt{H_{x_C}^2 + H_{y_C}^2} = 4,376619 \text{ A/m}$$

$$B_C = \mu_0 H_C = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 4,376619$$

$$B_C = 5,49982 \times 10^{-6} \text{ T}$$

D(1; 1) Noktası İçin Manyetik Alan ve Endüksiyon

40 A için hesaplama

$$r_{D_1} = 18,44397 \text{ m}$$

$$r_{D_2} = 15,90734 \text{ m}$$

$$r_{D_3} = 15,70998 \text{ m}$$

$$H_{x_1} = -0,34247 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,043043 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -0,39499 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = 0,064406 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -0,40498 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = -0,01444 \text{ A/m}$$

$$H_{x_D} = \sum_{i=1}^3 H_{x_i} = -1,14243 \text{ A/m}$$

$$H_{y_D} = \sum_{i=1}^3 H_{y_i} = 0,093003 \text{ A/m}$$

$$H_D = \sqrt{H_{x_D}^2 + H_{y_D}^2} = 1,146213 \text{ A/m}$$

$$B_D = \mu_0 H_D = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1,146213$$

$$B_D = 1,44037 \times 10^{-6} \text{ T}$$

80 A için hesaplama

$$H_{x_1} = -0,68494 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,086085 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -0,78998 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = 0,128812 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -0,80995 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = -0,02889 \text{ A/m}$$

$$H_{x_D} = \sum_{i=1}^3 H_{x_i} = -2,28487 \text{ A/m}$$

$$H_{y_D} = \sum_{i=1}^3 H_{y_i} = 0,186007 \text{ A/m}$$

$$H_D = \sqrt{H_{x_D}^2 + H_{y_D}^2} = 2,292426 \text{ A/m}$$

$$B_D = \mu_0 H_D = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2,292426$$

$$B_D = 2,88075 \times 10^{-6} \text{ T}$$

120 A için hesaplama

$$H_{x_1} = -1,02741 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,129128 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -1,18497 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = 0,193217 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -1,21493 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = -0,04333 \text{ A/m}$$

$$H_{x_D} = \sum_{i=1}^3 H_{x_i} = -3,4273 \text{ A/m}$$

$$H_{y_D} = \sum_{i=1}^3 H_{y_i} = 0,27901 \text{ A/m}$$

$$H_D = \sqrt{H_{x_D}^2 + H_{y_D}^2} = 3,438638 \text{ A/m}$$

$$B_D = \mu_0 H_D = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 3,438638$$

$$B_D = 4,32112 \times 10^{-6} \text{ T}$$

145 A için hesaplama

$$H_{x_1} = -1,24145 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,15603 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -1,43183 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = 0,233471 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -1,46803 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = -0,05236 \text{ A/m}$$

$$H_{x_D} = \sum_{i=1}^3 H_{x_i} = -4,14132 \text{ A/m}$$

$$H_{y_D} = \sum_{i=1}^3 H_{y_i} = 0,337138 \text{ A/m}$$

$$H_D = \sqrt{H_{x_D}^2 + H_{y_D}^2} = 4,155022 \text{ A/m}$$

$$B_D = \mu_0 H_D = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 4,155022$$

$$B_D = 5,22135 \times 10^{-6} \text{ T}$$

E(3; 1) Noktası İçin Manyetik Alan ve Endüksiyon

40 A için hesaplama

$$r_{E_1} = 18,7984 \text{ m}$$

$$r_{E_2} = 16,34881 \text{ m}$$

$$r_{E_3} = 15,7659 \text{ m}$$

$$H_{x_1} = -0,32968 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,077465 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -0,37394 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = 0,108611 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -0,40211 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = 0,03688 \text{ A/m}$$

$$H_{x_E} = \sum_{i=1}^3 H_{x_i} = -1,10573 \text{ A/m}$$

$$H_{y_E} = \sum_{i=1}^3 H_{y_i} = 0,222957 \text{ A/m}$$

$$H_E = \sqrt{H_{x_E}^2 + H_{y_E}^2} = 1,127984 \text{ A/m}$$

$$B_E = \mu_0 H_E = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1,127984$$

$$B_E = 1,41747 \times 10^{-6} \text{ T}$$

80 A için hesaplama

$$H_{x_1} = -0,65935 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,15493 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -0,74789 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = 0,217221 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -0,80422 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = 0,073762 \text{ A/m}$$

$$H_{x_E} = \sum_{i=1}^3 H_{x_i} = -2,21146 \text{ A/m}$$

$$H_{y_E} = \sum_{i=1}^3 H_{y_i} = 0,445914 \text{ A/m}$$

$$H_E = \sqrt{H_{x_E}^2 + H_{y_E}^2} = 2,255968 \text{ A/m}$$

$$B_E = \mu_0 H_E = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2,255968$$

$$B_E = 2,83493 \times 10^{-6} \text{ T}$$

120 A için hesaplama

$$H_{x_1} = -0,98903 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,232396 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -1,12183 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = 0,325832 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -1,20632 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = 0,110644 \text{ A/m}$$

$$H_{x_E} = \sum_{i=1}^3 H_{x_i} = -3,31719 \text{ A/m}$$

$$H_{y_E} = \sum_{i=1}^3 H_{y_i} = 0,668871 \text{ A/m}$$

$$H_E = \sqrt{H_{x_E}^2 + H_{y_E}^2} = 3,383952 \text{ A/m}$$

$$B_E = \mu_0 H_E = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 3,383952$$

$$B_E = 4,2524 \times 10^{-6} \text{ T}$$

145 A için hesaplama

$$H_{x_1} = -1,19508 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,280811 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -1,35555 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = 0,393714 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -1,45764 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = 0,133694 \text{ A/m}$$

$$H_{x_E} = \sum_{i=1}^3 H_{x_i} = -4,00827 \text{ A/m}$$

$$H_{y_E} = \sum_{i=1}^3 H_{y_i} = 0,80822 \text{ A/m}$$

$$H_E = \sqrt{H_{x_E}^2 + H_{y_E}^2} = 4,088943 \text{ A/m}$$

$$B_E = \mu_0 H_E = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 4,088943$$

$$B_E = 5,13832 \times 10^{-6} \text{ T}$$

F(5; 1) Noktası İçin Manyetik Alan ve Endüksiyon

40 A için hesaplama

$$r_{F_1} = 19,35407 \text{ m}$$

$$r_{F_2} = 17,01539 \text{ m}$$

$$r_{F_3} = 16,07245 \text{ m}$$

$$H_{x_1} = -0,31102 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,107072 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -0,34522 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = 0,144245 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -0,38692 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = 0,084776 \text{ A/m}$$

$$H_{x_F} = \sum_{i=1}^3 H_{x_i} = -1,04315 \text{ A/m}$$

$$H_{y_F} = \sum_{i=1}^3 H_{y_i} = 0,336093 \text{ A/m}$$

$$H_F = \sqrt{H_{x_F}^2 + H_{y_F}^2} = 1,09596 \text{ A/m}$$

$$B_F = \mu_0 H_F = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1,09596$$

$$B_F = 1,37722 \times 10^{-6} \text{ T}$$

80 A için hesaplama

$$H_{x_1} = -0,62204 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,214144 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -0,69044 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = 0,288489 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -0,77383 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = 0,169553 \text{ A/m}$$

$$H_{x_F} = \sum_{i=1}^3 H_{x_i} = -2,08631 \text{ A/m}$$

$$H_{y_F} = \sum_{i=1}^3 H_{y_i} = 0,672186 \text{ A/m}$$

$$H_F = \sqrt{H_{x_F}^2 + H_{y_F}^2} = 2,19192 \text{ A/m}$$

$$B_F = \mu_0 H_F = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2,19192$$

$$B_F = 2,75445 \times 10^{-6} \text{ T}$$

120 A için hesaplama

$$H_{x_1} = -0,93306 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,321216 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -1,03566 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = 0,432734 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -1,16075 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = 0,254329 \text{ A/m}$$

$$H_{x_F} = \sum_{i=1}^3 H_{x_i} = -3,12946 \text{ A/m}$$

$$H_{y_F} = \sum_{i=1}^3 H_{y_i} = 1,008279 \text{ A/m}$$

$$H_F = \sqrt{H_{x_F}^2 + H_{y_F}^2} = 3,28788 \text{ A/m}$$

$$B_F = \mu_0 H_F = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 3,28788$$

$$B_F = 4,13167 \times 10^{-6} \text{ T}$$

145 A için hesaplama

$$H_{x_1} = -1,12744 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,388136 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -1,25142 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = 0,522887 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -1,40257 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = 0,307314 \text{ A/m}$$

$$H_{x_F} = \sum_{i=1}^3 H_{x_i} = -3,78143 \text{ A/m}$$

$$H_{y_F} = \sum_{i=1}^3 H_{y_i} = 1,218337 \text{ A/m}$$

$$H_F = \sqrt{H_{x_F}^2 + H_{y_F}^2} = 3,972855 \text{ A/m}$$

$$B_F = \mu_0 H_F = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 3,972855$$

$$B_F = 4,99244 \times 10^{-6} \text{ T}$$

Ek A.7 G(7; 1) Noktası İçin Manyetik Alan ve Endüksiyon

40 A için hesaplama

$$r_{G_1} = 20,09428 \text{ m}$$

$$r_{G_2} = 17,88194 \text{ m}$$

$$r_{G_3} = 16,61576 \text{ m}$$

$$H_{x_1} = -0,28853 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,130862 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -0,31257 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = 0,170422 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -0,36203 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = 0,125441 \text{ A/m}$$

$$H_{x_G} = \sum_{i=1}^3 H_{x_i} = -0,9631 \text{ A/m}$$

$$H_{y_G} = \sum_{i=1}^3 H_{y_i} = 0,426724 \text{ A/m}$$

$$H_G = \sqrt{H_{x_G}^2 + H_{y_G}^2} = 1,053425 \text{ A/m}$$

$$B_G = \mu_0 H_G = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1,053425$$

$$B_G = 1,32377 \times 10^{-6} \text{ T}$$

80 A için hesaplama

$$H_{x_1} = -0,57705 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,261724 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -0,62514 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = 0,340843 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -0,72405 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = 0,250881 \text{ A/m}$$

$$H_{x_G} = \sum_{i=1}^3 H_{x_i} = -1,92625 \text{ A/m}$$

$$H_{y_G} = \sum_{i=1}^3 H_{y_i} = 0,853449 \text{ A/m}$$

$$H_G = \sqrt{H_{x_G}^2 + H_{y_G}^2} = 2,106849 \text{ A/m}$$

$$B_G = \mu_0 H_G = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2,106849$$

$$B_G = 2,64754 \times 10^{-6} \text{ T}$$

120 A için hesaplama

$$H_{x_1} = -0,86558 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,392586 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -0,93772 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = 0,511265 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -1,08608 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = 0,376322 \text{ A/m}$$

$$H_{x_G} = \sum_{i=1}^3 H_{x_i} = -2,88937 \text{ A/m}$$

$$H_{y_G} = \sum_{i=1}^3 H_{y_i} = 1,280173 \text{ A/m}$$

$$H_G = \sqrt{H_{x_G}^2 + H_{y_G}^2} = 3,160274 \text{ A/m}$$

$$B_G = \mu_0 H_G = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 3,160274$$

$$B_G = 3,97132 \times 10^{-6} \text{ T}$$

145 A için hesaplama

$$H_{x_1} = -1,04591 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,474375 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -1,13308 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = 0,617779 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -1,31234 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = 0,454722 \text{ A/m}$$

$$H_{x_G} = \sum_{i=1}^3 H_{x_i} = -3,49133 \text{ A/m}$$

$$H_{y_G} = \sum_{i=1}^3 H_{y_i} = 1,546876 \text{ A/m}$$

$$H_G = \sqrt{H_{x_G}^2 + H_{y_G}^2} = 3,818664 \text{ A/m}$$

$$B_G = \mu_0 H_G = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 3,818664$$

$$B_G = 4,79867 \times 10^{-6} \text{ T}$$

Ek B. Üç Fazlı 34,5 kV'luk Çift Devre Bir Hat Çevresindeki Manyetik Alan ve Manyetik Endüksiyonun Hesaplanması

A(0; 1,2) Noktası İçin Manyetik Alan ve Endüksiyon

40 A için hesaplama

$$r_{A_1} = \sqrt{(x_A - x_{H_1})^2 + (y_A - y_{H_1})^2} = 20,75852 \text{ m}$$

$$r_{A_2} = \sqrt{(x_A - x_{H_2})^2 + (y_A - y_{H_2})^2} = 20,75852 \text{ m}$$

$$r_{A_3} = \sqrt{(x_A - x_{H_3})^2 + (y_A - y_{H_3})^2} = 18,19615 \text{ m}$$

$$r_{A_4} = \sqrt{(x_A - x_{H_4})^2 + (y_A - y_{H_4})^2} = 18,19615 \text{ m}$$

$$r_{A_5} = \sqrt{(x_A - x_{H_5})^2 + (y_A - y_{H_5})^2} = 15,57969 \text{ m}$$

$$r_{A_6} = \sqrt{(x_A - x_{H_6})^2 + (y_A - y_{H_6})^2} = 15,57969 \text{ m}$$

$$H_{x_1} = \frac{I_1 (y_A - y_{H_1})}{2\pi r_{A_1}^2} = -0,30577 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = \frac{I_1 (x_A - x_{H_1})}{2\pi r_{A_1}^2} = 0,023593 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = \frac{I_2 (y_A - y_{H_2})}{2\pi r_{A_2}^2} = -0,30577 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = \frac{I_2 (x_A - x_{H_2})}{2\pi r_{A_2}^2} = -0,02359 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = \frac{I_3 (y_A - y_{H_3})}{2\pi r_{A_3}^2} = -0,34796 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = \frac{I_3 (x_A - x_{H_3})}{2\pi r_{A_3}^2} = -0,036474 \text{ A/m}$$

$$H_{x_4} = \frac{I_4 (y_A - y_{H_4})}{2\pi r_{A_4}^2} = -0,34796 \text{ A/m}$$

$$H_{y_4} = \frac{I_4 (x_A - x_{H_4})}{2\pi r_{A_4}^2} = -0,036474 \text{ A/m}$$

$$H_{x_5} = \frac{I_5 (y_A - y_{H_5})}{2\pi r_{A_5}^2} = -0,40645 \text{ A/m}$$

$$H_{y_5} = \frac{I_5 (x_A - x_{H_5})}{2\pi r_{A_5}^2} = 0,042043 \text{ A/m}$$

$$H_{x_6} = \frac{I_6 (y_A - y_{H_6})}{2\pi r_{A_6}^2} = -0,40645 \text{ A/m}$$

$$H_{y_6} = \frac{I_6 (x_A - x_{H_6})}{2\pi r_{A_6}^2} = -0,04204 \text{ A/m}$$

$$H_{x_A} = \sum_{i=1}^6 H_{x_i} = -2,12036 \text{ A/m}$$

$$H_{y_A} = \sum_{i=1}^6 H_{y_i} = 0 \text{ A/m}$$

$$H_A = \sqrt{H_{x_A}^2 + H_{y_A}^2} = 2,120363 \text{ A/m}$$

$$B_A = \mu_0 H_A = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2,120363$$

$$B_A = 2,6645 \times 10^{-6} \text{ T}$$

80 A için hesaplama

$$H_{x_1} = -0,61154 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,047187 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -0,61154 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = -0,04719 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -0,69592 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = 0,072949 \text{ A/m}$$

$$H_{x_4} = -0,69592 \text{ A/m}$$

$$H_{y_4} = -0,07295 \text{ A/m}$$

$$H_{x_5} = -0,81291 \text{ A/m}$$

$$H_{y_5} = 0,084086 \text{ A/m}$$

$$H_{x_6} = -0,81291 \text{ A/m}$$

$$H_{y_6} = -0,08409 \text{ A/m}$$

$$H_{x_A} = \sum_{i=1}^6 H_{x_i} = -4,24073 \text{ A/m}$$

$$H_{y_A} = \sum_{i=1}^6 H_{y_i} = 0 \text{ A/m}$$

$$H_A = \sqrt{H_{x_A}^2 + H_{y_A}^2} = 4,240726 \text{ A/m}$$

$$B_A = \mu_0 H_A = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 4,240726$$

$$B_A = 5,32905 \times 10^{-6} \text{ T}$$

120 A için hesaplama

$$H_{x_1} = -0,91731 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,07078 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -0,91731 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = -0,07078 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -1,04388 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = 0,109423 \text{ A/m}$$

$$H_{x_4} = -1,04388 \text{ A/m}$$

$$H_{y_4} = -0,10942 \text{ A/m}$$

$$H_{x_5} = -1,21936 \text{ A/m}$$

$$H_{y_5} = 0,12613 \text{ A/m}$$

$$H_{x_6} = -1,21936 \text{ A/m}$$

$$H_{y_6} = -0,12613 \text{ A/m}$$

$$H_{x_A} = \sum_{i=1}^6 H_{x_i} = -6,36109 \text{ A/m}$$

$$H_{y_A} = \sum_{i=1}^6 H_{y_i} = 0 \text{ A/m}$$

$$H_A = \sqrt{H_{x_A}^2 + H_{y_A}^2} = 6,361089 \text{ A/m}$$

$$B_A = \mu_0 H_A = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 6,361089$$

$$B_A = 7,99358 \times 10^{-6} \text{ T}$$

145 A için hesaplama

$$H_{x_1} = -1,10842 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,085526 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -1,10842 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = -0,08553 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -1,26135 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = 0,13222 \text{ A/m}$$

$$H_{x_4} = -1,26135 \text{ A/m}$$

$$H_{y_4} = -0,13222 \text{ A/m}$$

$$H_{x_5} = -1,47339 \text{ A/m}$$

$$H_{y_5} = 0,152407 \text{ A/m}$$

$$H_{x_6} = -1,47339 \text{ A/m}$$

$$H_{y_6} = -0,15241 \text{ A/m}$$

$$H_{x_A} = \sum_{i=1}^6 H_{x_i} = -7,68632 \text{ A/m}$$

$$H_{y_A} = \sum_{i=1}^6 H_{y_i} = 0 \text{ A/m}$$

$$H_A = \sqrt{H_{x_A}^2 + H_{y_A}^2} = 7,68632 \text{ A/m}$$

$$B_A = \mu_0 H_A = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 7,68632$$

$$B_A = 9,65891 \times 10^{-6} \text{ T}$$

B(0; 1,6) Noktası İçin Manyetik Alan ve Endüksiyon

40 A için hesaplama

$$r_{B_1} = 20,35973 \text{ m}$$

$$r_{B_2} = 20,35973 \text{ m}$$

$$r_{B_3} = 17,79838 \text{ m}$$

$$r_{B_4} = 17,79838 \text{ m}$$

$$r_{B_5} = 15,18186 \text{ m}$$

$$r_{B_6} = 15,18186 \text{ m}$$

$$H_{x_1} = -0,31172 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,024527 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -0,31172 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = -0,02453 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -0,35565 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = 0,038123 \text{ A/m}$$

$$H_{x_4} = -0,35565 \text{ A/m}$$

$$H_{y_4} = -0,03812 \text{ A/m}$$

$$H_{x_5} = -0,41699 \text{ A/m}$$

$$H_{y_5} = 0,044275 \text{ A/m}$$

$$H_{x_6} = -0,41699 \text{ A/m}$$

$$H_{y_6} = -0,04428 \text{ A/m}$$

$$H_{x_B} = \sum_{i=1}^6 H_{x_i} = -2,16871 \text{ A/m}$$

$$H_{y_B} = \sum_{i=1}^6 H_{y_i} = 0 \text{ A/m}$$

$$H_B = \sqrt{H_{x_B}^2 + H_{y_B}^2} = 2,168708 \text{ A/m}$$

$$B_B = \mu_0 H_B = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2,168708$$

$$B_B = 2,72528 \times 10^{-6} \text{ T}$$

80 A için hesaplama

$$H_{x_1} = -0,62344 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,049054 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -0,62344 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = -0,04905 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -0,71129 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = 0,076246 \text{ A/m}$$

$$H_{x_4} = -0,71129 \text{ A/m}$$

$$H_{y_4} = -0,07625 \text{ A/m}$$

$$H_{x_5} = -0,83397 \text{ A/m}$$

$$H_{y_5} = 0,088551 \text{ A/m}$$

$$H_{x_6} = -0,83397 \text{ A/m}$$

$$H_{y_6} = -0,08855 \text{ A/m}$$

$$H_{x_B} = \sum_{i=1}^6 H_{x_i} = -4,33742 \text{ A/m}$$

$$H_{y_B} = \sum_{i=1}^6 H_{y_i} = 0 \text{ A/m}$$

$$H_B = \sqrt{H_{x_B}^2 + H_{y_B}^2} = 4,337416 \text{ A/m}$$

$$B_B = \mu_0 H_B = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 4,337416$$

$$B_B = 5,45056 \times 10^{-6} \text{ T}$$

120 A için hesaplama

$$H_{x_1} = -0,93517 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,07358 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -0,93517 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = -0,07358 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -1,06694 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = 0,114369 \text{ A/m}$$

$$H_{x_4} = -1,06694 \text{ A/m}$$

$$H_{y_4} = -0,11437 \text{ A/m}$$

$$H_{x_5} = -1,25096 \text{ A/m}$$

$$H_{y_5} = 0,132826 \text{ A/m}$$

$$H_{x_6} = -1,25096 \text{ A/m}$$

$$H_{y_6} = -0,13283 \text{ A/m}$$

$$H_{x_B} = \sum_{i=1}^6 H_{x_i} = -6,50612 \text{ A/m}$$

$$H_{y_B} = \sum_{i=1}^6 H_{y_i} = 0 \text{ A/m}$$

$$H_B = \sqrt{H_{x_B}^2 + H_{y_B}^2} = 6,506124 \text{ A/m}$$

$$B_B = \mu_0 H_B = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 6,506124$$

$$B_B = 8,17584 \times 10^{-6} \text{ T}$$

145 A için hesaplama

$$H_{x_1} = -1,12999 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,08891 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -1,12999 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = -0,08891 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -1,28922 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = 0,138196 \text{ A/m}$$

$$H_{x_4} = -1,28922 \text{ A/m}$$

$$H_{y_4} = -0,1382 \text{ A/m}$$

$$H_{x_5} = -1,51157 \text{ A/m}$$

$$H_{y_5} = 0,160499 \text{ A/m}$$

$$H_{x_6} = -1,51157 \text{ A/m}$$

$$H_{y_6} = -0,1605 \text{ A/m}$$

$$H_{x_B} = \sum_{i=1}^6 H_{x_i} = -7,86157 \text{ A/m}$$

$$H_{y_B} = \sum_{i=1}^6 H_{y_i} = 0 \text{ A/m}$$

$$H_B = \sqrt{H_{x_B}^2 + H_{y_B}^2} = 7,861567 \text{ A/m}$$

$$B_B = \mu_0 H_B = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 7,861567$$

$$B_B = 9,87914 \times 10^{-6} \text{ T}$$

C(0; 1,8) Noktası İçin Manyetik Alan ve Endüksiyon

40 A için hesaplama

$$r_{C_1} = 20,163035 \text{ m}$$

$$r_{C_2} = 20,16305 \text{ m}$$

$$r_{C_3} = 17,59953 \text{ m}$$

$$r_{C_4} = 17,59953 \text{ m}$$

$$r_{C_5} = 14,983 \text{ m}$$

$$r_{C_6} = 14,983 \text{ m}$$

$$H_{x_1} = -0,31479 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,025014 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -0,31479 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = -0,02501 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -0,35962 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = 0,038989 \text{ A/m}$$

$$H_{x_4} = -0,35962 \text{ A/m}$$

$$H_{y_4} = -0,03899 \text{ A/m}$$

$$H_{x_5} = -0,42246 \text{ A/m}$$

$$H_{y_5} = 0,045459 \text{ A/m}$$

$$H_{x_6} = -0,42246 \text{ A/m}$$

$$H_{y_6} = -0,04546 \text{ A/m}$$

$$H_{x_C} = \sum_{i=1}^6 H_{x_i} = -2,19372 \text{ A/m}$$

$$H_{y_c} = \sum_{i=1}^6 H_{y_i} = 0 \text{ A/m}$$

$$H_C = \sqrt{H_{x_c}^2 + H_{y_c}^2} = 2,19372 \text{ A/m}$$

$$B_C = \mu_0 H_C = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2,19372$$

$$B_C = 2,75671 \times 10^{-6} \text{ T}$$

80 A için hesaplama

$$H_{x_1} = -0,62957 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,050029 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -0,62957 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = -0,05003 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -0,719214 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = 0,077979 \text{ A/m}$$

$$H_{x_4} = -0,71924 \text{ A/m}$$

$$H_{y_4} = -0,07798 \text{ A/m}$$

$$H_{x_5} = -0,84491 \text{ A/m}$$

$$H_{y_5} = 0,090917 \text{ A/m}$$

$$H_{x_6} = -0,84491 \text{ A/m}$$

$$H_{y_6} = -0,09092 \text{ A/m}$$

$$H_{x_c} = \sum_{i=1}^6 H_{x_i} = -4,38744 \text{ A/m}$$

$$H_{y_c} = \sum_{i=1}^6 H_{y_i} = 0 \text{ A/m}$$

$$H_C = \sqrt{H_{x_c}^2 + H_{y_c}^2} = 4,387439 \text{ A/m}$$

$$B_C = \mu_0 H_C = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 4,387439$$

$$B_C = 5,51342 \times 10^{-6} \text{ T}$$

120 A için hesaplama

$$H_{x_1} = -0,94436 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,075043 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -0,94436 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = -0,07504 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -1,07885 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = 0,116968 \text{ A/m}$$

$$H_{x_4} = -1,07885 \text{ A/m}$$

$$H_{y_4} = -0,11697 \text{ A/m}$$

$$H_{x_5} = -1,26737 \text{ A/m}$$

$$H_{y_5} = 0,136376 \text{ A/m}$$

$$H_{x_6} = -1,26737 \text{ A/m}$$

$$H_{y_6} = -0,13638 \text{ A/m}$$

$$H_{x_C} = \sum_{i=1}^6 H_{x_i} = -6,58116 \text{ A/m}$$

$$H_{y_C} = \sum_{i=1}^6 H_{y_i} = 0 \text{ A/m}$$

$$H_C = \sqrt{H_{x_C}^2 + H_{y_C}^2} = 6,581159 \text{ A/m}$$

$$B_C = \mu_0 H_C = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 6,581159$$

$$B_C = 8,27013 \times 10^{-6} \text{ T}$$

145 A için hesaplama

$$H_{x_1} = -1,1411 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,090677 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -1,1411 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = -0,09068 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -1,30362 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = 0,141336 \text{ A/m}$$

$$H_{x_4} = -1,30362 \text{ A/m}$$

$$H_{y_4} = -0,14134 \text{ A/m}$$

$$H_{x_5} = -1,5314 \text{ A/m}$$

$$H_{y_5} = 0,164787 \text{ A/m}$$

$$H_{x_6} = -1,5314 \text{ A/m}$$

$$H_{y_6} = -0,16479 \text{ A/m}$$

$$H_{x_C} = \sum_{i=1}^6 H_{x_i} = -7,95223 \text{ A/m}$$

$$H_{yC} = \sum_{i=1}^6 H_{y_i} = 0 \text{ A/m}$$

$$H_C = \sqrt{H_{x_C}^2 + H_{y_C}^2} = 7,952233 \text{ A/m}$$

$$B_C = \mu_0 H_C = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 7,952233$$

$$B_C = 9,99307 \times 10^{-6} \text{ T}$$

D(1; 1) Noktası İçin Manyetik Alan ve Endüksiyon

40 A için hesaplama

$$r_{D_1} = 21,05775 \text{ m}$$

$$r_{D_2} = 20,90553 \text{ m}$$

$$r_{D_3} = 18,52492 \text{ m}$$

$$r_{D_4} = 18,31897 \text{ m}$$

$$r_{D_5} = 15,91136 \text{ m}$$

$$r_{D_6} = 15,70858 \text{ m}$$

$$H_{x_1} = -0,30001 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,037284 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -0,3044 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = -0,0087 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -0,33943 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = 0,053742 \text{ A/m}$$

$$H_{x_4} = -0,3471 \text{ A/m}$$

$$H_{y_4} = -0,01702 \text{ A/m}$$

$$H_{x_5} = -0,39471 \text{ A/m}$$

$$H_{y_5} = 0,065455 \text{ A/m}$$

$$H_{x_6} = -0,40497 \text{ A/m}$$

$$H_{y_6} = -0,01556 \text{ A/m}$$

$$H_{x_D} = \sum_{i=1}^6 H_{x_i} = -2,09062 \text{ A/m}$$

$$H_{y_D} = \sum_{i=1}^6 H_{y_i} = 0,115212 \text{ A/m}$$

$$H_D = \sqrt{H_{x_D}^2 + H_{y_D}^2} = 2,093797 \text{ A/m}$$

$$B_D = \mu_0 H_D = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2,093797$$

$$B_D = 2,63114 \times 10^{-6} \text{ T}$$

80 A için hesaplama

$$H_{x_1} = -0,60003 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,074569 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -0,6088 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = -0,01739 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -0,67886 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = 0,107484 \text{ A/m}$$

$$H_{x_4} = -0,6942 \text{ A/m}$$

$$H_{y_4} = -0,03403 \text{ A/m}$$

$$H_{x_5} = -0,78943 \text{ A/m}$$

$$H_{y_5} = 0,130909 \text{ A/m}$$

$$H_{x_6} = -0,80994 \text{ A/m}$$

$$H_{y_6} = -0,03111 \text{ A/m}$$

$$H_{x_D} = \sum_{i=1}^6 H_{x_i} = -4,18125 \text{ A/m}$$

$$H_{y_D} = \sum_{i=1}^6 H_{y_i} = 0,230423 \text{ A/m}$$

$$H_D = \sqrt{H_{x_D}^2 + H_{y_D}^2} = 4,187594 \text{ A/m}$$

$$B_D = \mu_0 H_D = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 4,187594$$

$$B_D = 5,26229 \times 10^{-6} \text{ T}$$

120 A için hesaplama

$$H_{x_1} = -0,90004 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,111853 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -0,91319 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = -0,02609 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -1,01828 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = 0,161227 \text{ A/m}$$

$$H_{x_4} = -1,04131 \text{ A/m}$$

$$H_{y_4} = -0,05105 \text{ A/m}$$

$$H_{x_5} = -1,18414 \text{ A/m}$$

$$H_{y_5} = 0,196364 \text{ A/m}$$

$$H_{x_6} = -1,21491 \text{ A/m}$$

$$H_{y_6} = -0,04667 \text{ A/m}$$

$$H_{x_D} = \sum_{i=1}^6 H_{x_i} = -6,27187 \text{ A/m}$$

$$H_{y_D} = \sum_{i=1}^6 H_{y_i} = 0,345635 \text{ A/m}$$

$$H_D = \sqrt{H_{x_D}^2 + H_{y_D}^2} = 6,281391 \text{ A/m}$$

$$B_D = \mu_0 H_D = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 6,281391$$

$$B_D = 7,89343 \times 10^{-6} \text{ T}$$

145 A için hesaplama

$$H_{x_1} = -1,08755 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,135156 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -1,10344 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = -0,03152 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -1,23042 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = 0,194816 \text{ A/m}$$

$$H_{x_4} = -1,25825 \text{ A/m}$$

$$H_{y_4} = -0,06168 \text{ A/m}$$

$$H_{x_5} = -1,43084 \text{ A/m}$$

$$H_{y_5} = 0,237273 \text{ A/m}$$

$$H_{x_6} = -1,46802 \text{ A/m}$$

$$H_{y_6} = -0,05639 \text{ A/m}$$

$$H_{x_D} = \sum_{i=1}^6 H_{x_i} = -7,57851 \text{ A/m}$$

$$H_{y_D} = \sum_{i=1}^6 H_{y_i} = 0,417642 \text{ A/m}$$

$$H_D = \sqrt{H_{x_D}^2 + H_{y_D}^2} = 7,590014 \text{ A/m}$$

$$B_D = \mu_0 H_D = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 7,590014$$

$$B_D = 9,53789 \times 10^{-6} \text{ T}$$

E(3; 1) Noktası İçin Manyetik Alan ve Endüksiyon

40 A için hesaplama

$$r_{E_1} = 21,39666 \text{ m}$$

$$r_{E_2} = 20,94404 \text{ m}$$

$$r_{E_3} = 18,94098 \text{ m}$$

$$r_{E_4} = 18,33022 \text{ m}$$

$$r_{E_5} = 16,35798 \text{ m}$$

$$r_{E_6} = 15,75904 \text{ m}$$

$$H_{x_1} = -0,29058 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,063924 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -0,30328 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = 0,020362 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -0,32468 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = 0,086897 \text{ A/m}$$

$$H_{x_4} = -0,34668 \text{ A/m}$$

$$H_{y_4} = 0,020899 \text{ A/m}$$

$$H_{x_5} = -0,37345 \text{ A/m}$$

$$H_{y_5} = 0,109512 \text{ A/m}$$

$$H_{x_6} = -0,40238 \text{ A/m}$$

$$H_{y_6} = 0,035811 \text{ A/m}$$

$$H_{x_E} = \sum_{i=1}^6 H_{x_i} = -2,04106 \text{ A/m}$$

$$H_{y_E} = \sum_{i=1}^6 H_{y_i} = 0,337405 \text{ A/m}$$

$$H_E = \sqrt{H_{x_E}^2 + H_{y_E}^2} = 2,068755 \text{ A/m}$$

$$B_E = \mu_0 H_E = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2,068755$$

$$B_E = 2,59967 \times 10^{-6} \text{ T}$$

80 A için hesaplama

$$H_{x_1} = -0,58117 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,127848 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -0,60656 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = 0,040724 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -0,64936 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = 0,173794 \text{ A/m}$$

$$H_{x_4} = -0,69335 \text{ A/m}$$

$$H_{y_4} = 0,041798 \text{ A/m}$$

$$H_{x_5} = -0,74691 \text{ A/m}$$

$$H_{y_5} = 0,219024 \text{ A/m}$$

$$H_{x_6} = -0,80476 \text{ A/m}$$

$$H_{y_6} = 0,071622 \text{ A/m}$$

$$H_{x_E} = \sum_{i=1}^6 H_{x_i} = -4,08211 \text{ A/m}$$

$$H_{y_E} = \sum_{i=1}^6 H_{y_i} = 0,674809 \text{ A/m}$$

$$H_E = \sqrt{H_{x_E}^2 + H_{y_E}^2} = 4,137511 \text{ A/m}$$

$$B_E = \mu_0 H_E = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 4,137511$$

$$B_E = 5,19935 \times 10^{-6} \text{ T}$$

120 A için hesaplama

$$H_{x_1} = -0,87175 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,191771 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -0,90984 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = 0,061085 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -0,97404 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = 0,260691 \text{ A/m}$$

$$H_{x_4} = -1,04003 \text{ A/m}$$

$$H_{y_4} = 0,062696 \text{ A/m}$$

$$H_{x_5} = -1,12036 \text{ A/m}$$

$$H_{y_5} = 0,328536 \text{ A/m}$$

$$H_{x_6} = -1,20714 \text{ A/m}$$

$$H_{y_6} = 0,107433 \text{ A/m}$$

$$H_{x_E} = \sum_{i=1}^6 H_{x_i} = -6,12317 \text{ A/m}$$

$$H_{y_E} = \sum_{i=1}^6 H_{y_i} = 1,012214 \text{ A/m}$$

$$H_E = \sqrt{H_{x_E}^2 + H_{y_E}^2} = 6,026266 \text{ A/m}$$

$$B_E = \mu_0 H_E = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 6,026266$$

$$B_E = 7,79902 \times 10^{-6} \text{ T}$$

145 A için hesaplama

$$H_{x_1} = -1,05337 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,231724 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -1,09939 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = 0,073812 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -1,17696 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = 0,315002 \text{ A/m}$$

$$H_{x_4} = -1,2567 \text{ A/m}$$

$$H_{y_4} = 0,075758 \text{ A/m}$$

$$H_{x_5} = -1,35377 \text{ A/m}$$

$$H_{y_5} = 0,396981 \text{ A/m}$$

$$H_{x_6} = -1,45863 \text{ A/m}$$

$$H_{y_6} = 0,129815 \text{ A/m}$$

$$H_{x_E} = \sum_{i=1}^6 H_{x_i} = -7,39883 \text{ A/m}$$

$$H_{y_E} = \sum_{i=1}^6 H_{y_i} = 1,223092 \text{ A/m}$$

$$H_E = \sqrt{H_{x_E}^2 + H_{y_E}^2} = 7,499238 \text{ A/m}$$

$$B_E = \mu_0 H_E = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 7,499238$$

$$B_E = 9,42382 \times 10^{-6} \text{ T}$$

F(5; 1) Noktası İçin Manyetik Alan ve Endüksiyon

40 A için hesaplama

$$r_{F_1} = 21,91358 \text{ m}$$

$$r_{F_2} = 21,17227 \text{ m}$$

$$r_{F_3} = 19,55374 \text{ m}$$

$$r_{F_4} = 18,55825 \text{ m}$$

$$r_{F_5} = 17,02925 \text{ m}$$

$$r_{F_6} = 16,06037 \text{ m}$$

$$H_{x_1} = -0,27704 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,087458 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -0,29678 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = 0,048329 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -0,30465 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = 0,114837 \text{ A/m}$$

$$H_{x_4} = -0,33821 \text{ A/m}$$

$$H_{y_4} = 0,05357 \text{ A/m}$$

$$H_{x_5} = -0,34459 \text{ A/m}$$

$$H_{y_5} = 0,144954 \text{ A/m}$$

$$H_{x_6} = -0,38742 \text{ A/m}$$

$$H_{y_6} = 0,083843 \text{ A/m}$$

$$H_{x_F} = \sum_{i=1}^6 H_{x_i} = -1,94869 \text{ A/m}$$

$$H_{y_F} = \sum_{i=1}^6 H_{y_i} = 0,536777 \text{ A/m}$$

$$H_F = \sqrt{H_{x_F}^2 + H_{y_F}^2} = 2,021265 \text{ A/m}$$

$$B_F = \mu_0 H_F = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2,021265$$

$$B_F = 2,54 \times 10^{-6} \text{ T}$$

80 A için hesaplama

$$H_{x_1} = -0,55407 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,174916 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -0,59355 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = 0,096658 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -0,6093 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = 0,229673 \text{ A/m}$$

$$H_{x_4} = -0,67642 \text{ A/m}$$

$$H_{y_4} = 0,114714 \text{ A/m}$$

$$H_{x_5} = -0,68918 \text{ A/m}$$

$$H_{y_5} = 0,289908 \text{ A/m}$$

$$H_{x_6} = -0,77485 \text{ A/m}$$

$$H_{y_6} = 0,167685 \text{ A/m}$$

$$H_{x_F} = \sum_{i=1}^6 H_{x_i} = -3,89738 \text{ A/m}$$

$$H_{y_F} = \sum_{i=1}^6 H_{y_i} = 1,073555 \text{ A/m}$$

$$H_F = \sqrt{H_{x_F}^2 + H_{y_F}^2} = 4,042531 \text{ A/m}$$

$$B_F = \mu_0 H_F = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 4,042531$$

$$B_F = 5,07999 \times 10^{-6} \text{ T}$$

120 A için hesaplama

$$H_{x_1} = -0,83111 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,262374 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -0,89033 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = 0,144987 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -0,91395 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = 0,34451 \text{ A/m}$$

$$H_{x_4} = -1,01463 \text{ A/m}$$

$$H_{y_4} = 0,172071 \text{ A/m}$$

$$H_{x_5} = -1,03378 \text{ A/m}$$

$$H_{y_5} = 0,434862 \text{ A/m}$$

$$H_{x_6} = -1,16227 \text{ A/m}$$

$$H_{y_6} = 0,251528 \text{ A/m}$$

$$H_{x_F} = \sum_{i=1}^6 H_{x_i} = -5,84606 \text{ A/m}$$

$$H_{yF} = \sum_{i=1}^6 H_{y_i} = 1,610332 \text{ A/m}$$

$$H_F = \sqrt{H_{x_F}^2 + H_{y_F}^2} = 6,063796 \text{ A/m}$$

$$B_F = \mu_0 H_F = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 6,063796$$

$$B_F = 7,61999 \times 10^{-6} \text{ T}$$

145 A için hesaplama

$$H_{x_1} = -1,00426 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,317036 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -1,07581 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = 0,175192 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -1,10435 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = 0,416283 \text{ A/m}$$

$$H_{x_4} = -1,22601 \text{ A/m}$$

$$H_{y_4} = 0,20792 \text{ A/m}$$

$$H_{x_5} = -1,24915 \text{ A/m}$$

$$H_{y_5} = 0,525458 \text{ A/m}$$

$$H_{x_6} = -1,40441 \text{ A/m}$$

$$H_{y_6} = 0,303929 \text{ A/m}$$

$$H_{x_F} = \sum_{i=1}^6 H_{x_i} = -7,06399 \text{ A/m}$$

$$H_{y_F} = \sum_{i=1}^6 H_{y_i} = 1,945818 \text{ A/m}$$

$$H_F = \sqrt{H_{x_F}^2 + H_{y_F}^2} = 7,327087 \text{ A/m}$$

$$B_F = \mu_0 H_F = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 7,327087$$

$$B_F = 9,20749 \times 10^{-6} \text{ T}$$

G(7; 1) Noktası İçin Manyetik Alan ve Endüksiyon

40 A için hesaplama

$$r_{G_1} = 22,59631 \text{ m}$$

$$r_{G_2} = 21,58418 \text{ m}$$

$$r_{G_3} = 20,34544 \text{ m}$$

$$r_{G_4} = 18,99528 \text{ m}$$

$$r_{G_5} = 17,89993 \text{ m}$$

$$r_{G_6} = 16,5989 \text{ m}$$

$$H_{x_1} = -0,26055 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,107189 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -0,28556 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = 0,073832 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -0,2814 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = 0,136833 \text{ A/m}$$

$$H_{x_4} = -0,32283 \text{ A/m}$$

$$H_{y_4} = 0,090036 \text{ A/m}$$

$$H_{x_5} = -0,31188 \text{ A/m}$$

$$H_{y_5} = 0,170934 \text{ A/m}$$

$$H_{x_6} = -0,36269 \text{ A/m}$$

$$H_{y_6} = 0,124702 \text{ A/m}$$

$$H_{x_G} = \sum_{i=1}^6 H_{x_i} = -1,82491 \text{ A/m}$$

$$H_{y_G} = \sum_{i=1}^6 H_{y_i} = 0,703525 \text{ A/m}$$

$$H_G = \sqrt{H_{x_G}^2 + H_{y_G}^2} = 1,955823 \text{ A/m}$$

$$B_G = \mu_0 H_G = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1,955823$$

$$B_G = 2,45776 \times 10^{-6} \text{ T}$$

80 A için hesaplama

$$H_{x_1} = -0,5211 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,214379 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -0,57111 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = 0,147664 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -0,5628 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = 0,273665 \text{ A/m}$$

$$H_{x_4} = -0,64565 \text{ A/m}$$

$$H_{y_4} = 0,180071 \text{ A/m}$$

$$H_{x_5} = -0,62377 \text{ A/m}$$

$$H_{y_5} = 0,341867 \text{ A/m}$$

$$H_{x_6} = -0,72538 \text{ A/m}$$

$$H_{y_6} = 0,249404 \text{ A/m}$$

$$H_{x_G} = \sum_{i=1}^6 H_{x_i} = -3,64982 \text{ A/m}$$

$$H_{y_G} = \sum_{i=1}^6 H_{y_i} = 1,407051 \text{ A/m}$$

$$H_G = \sqrt{H_{x_G}^2 + H_{y_G}^2} = 3,911646 \text{ A/m}$$

$$B_G = \mu_0 H_G = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 3,911646$$

$$B_G = 4,91552 \times 10^{-6} \text{ T}$$

120 A için hesaplama

$$H_{x_1} = -0,78165 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,321568 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -0,85667 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = 0,221496 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -0,8442 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = 0,410498 \text{ A/m}$$

$$H_{x_4} = -0,96848 \text{ A/m}$$

$$H_{y_4} = 0,270107 \text{ A/m}$$

$$H_{x_5} = -0,93565 \text{ A/m}$$

$$H_{y_5} = 0,512801 \text{ A/m}$$

$$H_{x_6} = -1,08808 \text{ A/m}$$

$$H_{y_6} = 0,374107 \text{ A/m}$$

$$H_{x_G} = \sum_{i=1}^6 H_{x_i} = -5,47473 \text{ A/m}$$

$$H_{y_G} = \sum_{i=1}^6 H_{y_i} = 2,110576 \text{ A/m}$$

$$H_G = \sqrt{H_{x_G}^2 + H_{y_G}^2} = 5,86747 \text{ A/m}$$

$$B_G = \mu_0 H_G = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 5,86747$$

$$B_G = 7,37328 \times 10^{-6} \text{ T}$$

145 A için hesaplama

$$H_{x_1} = -0,94449 \text{ A/m}$$

$$H_{y_1} = 0,388562 \text{ A/m}$$

$$H_{x_2} = -1,03514 \text{ A/m}$$

$$H_{y_2} = 0,26764 \text{ A/m}$$

$$H_{x_3} = -1,02008 \text{ A/m}$$

$$H_{y_3} = 0,496018 \text{ A/m}$$

$$H_{x_4} = -1,17024 \text{ A/m}$$

$$H_{y_4} = 0,326379 \text{ A/m}$$

$$H_{x_5} = -1,13058 \text{ A/m}$$

$$H_{y_5} = 0,619634 \text{ A/m}$$

$$H_{x_6} = -1,31476 \text{ A/m}$$

$$H_{y_6} = 0,452045 \text{ A/m}$$

$$H_{x_G} = \sum_{i=1}^6 H_{x_i} = -6,6153 \text{ A/m}$$

$$H_{y_G} = \sum_{i=1}^6 H_{y_i} = 2,550279 \text{ A/m}$$

$$H_G = \sqrt{H_{x_G}^2 + H_{y_G}^2} = 7,089859 \text{ A/m}$$

$$B_G = \mu_0 H_G = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 7,089859$$

$$B_G = 8,90938 \times 10^{-6} \text{ T}$$

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Gülşen Güçlü

Doğum Yeri ve Tarihi: İzmit- 07.01.1969

Adres: İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi Maslak İstanbul

E-Posta: gulsenguclu@gmail.com

Lisans: İTÜ Elektrik-Elektrik Fakültesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü

Yayın ve Patent Listesi: Güçlü, G., Kaypmaz, A., Kalenderli, Ö.,“34,5 kV’luk Elektrik Hatları Çevresindeki Manyetik Alanın Hesabı”, EMANET 2011 Elektromanyetik Alanlar ve Etkileri Sempozyumu, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Sempozyum Bilgileri CD’si, 7-8 Ekim 2011.