

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

BİTİRME ÖDEVİ

ELEKTROMANYETİK ALANLARIN İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

DANIŞMAN

Yard. Doç. Dr. H. Hüseyin BALIK

HAZIRLAYAN

99220530 Aziz DEMİR

ELAZIĞ-2004

İÇİNDEKİLER

ÖZET	1
SEMBOL LİSTESİ	4
BÖLÜM 1	5
GİRİŞ	5
BÖLÜM 2	7
TEMEL KAVRAMLAR	7
2.1 GİRİŞ	7
2.2 ELEKTROMAGNETİK ALANLAR	7
2.3 İNSAN VÜCUDUNUN ELEKTROMAGNETİK ÖZELLİKLERİ	8
2.4 İNSAN VÜCUDUNUN MODELLENMESİ	10
2.4.1 Tabaka Modeli	10
2.4.2 Silindirik Model	11
2.5 ELEKTROMAGNETİK DUYARLIK (ES)	13
BÖLÜM 3	15
YÜK BENZETİM YÖNTEMİ İLE ELEKTRİK ALAN HESABI (YBY)	15
3.1 GİRİŞ	15
3.2 YÜK BENZETİM YÖNTEMİNİN İLKESİ	15
3.3 ELEKTRİK ALAN HESABI	18
3.4 YÖNTEMİN ENERJİ İLETİM HATLARINA UYGULANMASI	19
3.5 CARNEGIE MELLON ÜNİVERSİTESİ'İN YAYINLADIĞI EMA DEĞERLERİ	25
3.6 GAUSSMETRE	26
BÖLÜM 4	28
ELEKTRİKLE ÇALIŞAN ALETLERİN ELEKTROMAGNETİK ALAN DEĞERLERİ	28
4.1 GİRİŞ	28
4.2 GENEL BİLGİ	28
4.3 YAPILMIŞ ÖLÇÜMLER VE SONUÇLARI	29
BÖLÜM 5	35
ELEKTROMAGNETİK ALANLARIN İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNE ETKİLERİ	35
5.1 GİRİŞ	35
5.2 50HZ FREKANSLI DEĞİŞKEN ELEKTROMAGNETİK ALANLARIN ETKİLERİ	35
5.2.1 Giriş	35
5.2.2 Yapılan Araştırmalar ve Deney Koşulları	35
5.2.3. Deney Sonuçları	38
5.3 ALAN ETKİSİNDE ÇALIŞAN KİŞİLERİN TIBBİ DENETİMİ	46
5.3.1 Giriş	46
5.3.2 Yapılan İncelemeler	46
5.3.3 Elde Edilen Sonuçlar	48
5.3.4 Değerlendirme	51
5.3.5 Sonuçlar	52

ÖZET

Teknolojinin gelişimi ve nüfusun 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 elektromagnetik alanlar oluşmaktadır.

Yerleşim merkezlerine enerji iletiminde yaygın olarak kullanılan yüksek gerilimli enerji iletim hatlarının, yaşanan alanların uzağından geçecek şekilde tasarlanmasına rağmen, yapılaşmanın şehir dışına doğru kaydığı günümüzde insanlar hatların oluşturduğu alanların etkisinde kalmaktadır.

İletim hatlarının yanı sıra evlerde ve bürolarda kullanılan elektrikli aletlerin oluşturduğu alanlarda insanları etkileyebilmektedir.

Bu ödev de, yüksek gerilimli hatların ve elektrikli aletlerin oluşturduğu elektromagnetik alanların insan sağlığı üzerine etkileri konusu ele alınmış, öncelikle metinlerin daha iyi anlaşılabilmesi için bazı temel kavramlar açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde hatlar çevresinde oluşan elektrik alanların hesabında kullanılan sayısal yöntemlerden biri olan Yük Benzetim Yönteminden bahsedilmiştir. Carnegie Mellon Üniversitesinin yayınladığı Ema değerleri ve Gausmetre hakkında bilgi verilmiştir.

Elektrikli aletlerin oluşturduğu elektromagnetik alan değerlerine dördüncü bölümde yer verilmiştir.

Beşinci bölümde elektromagnetik alanların insan sağlığı üzerine etkilerinin incelenmesi amacıyla yapılmış araştırmalardan örnekler ve sonuçları sunulmuştur.

SEMBOL LİSTESİ

E	: Elektrik alan şiddeti
H	: Magnetik alan şiddeti
B	: Magnetik akı yoğunluğu
μ_0	: Boşluğun magnetik geçirgenliği
f	: Frekans
μ_r	: Bağlı magnetik sabiti
ϵ_r	: Bağlı dielektrik sabiti
ϵ_r'	: Enerji depolama özelliği
ϵ_r''	: Enerji soğurma özelliği
ϵ_0	: Boşluğun dielektrik sabiti
σ	: Etkin iletkenlik
ω	: Açısal frekans
E_i	: İç alan şiddeti
p	: Yoğunluk
q	: Yük değeri
V	: Potansiyel
p	: Potansiyel katsayısı
U	: Gerilim
I	: Akım

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Elektrik enerjisi günümüzde en önemli enerji kaynağıdır. Nüfusun artışı ve teknolojinin ilerlemesi ile birlikte bu enerjiye olan talep de artmaktadır. Bu talebin karşılanması için, yerleşim merkezlerine en ekonomik yoldan enerjinin taşınması, yüksek gerilimli enerji iletim hatları ile yapılmaktadır.

Gerek yüksek gerilim hatları, gerekse günlük hayatta kullanılan elektrikli aletler çevrelerinde elektromagnetik alanlar oluşturmaktadır. Bu, alanların, alanın büyüklüğüne ve frekansına bağlı olarak insan sağlığı için zararlı olabilecek etkileri vardır.

Elektromagnetik alanların etkisinde kalan insanlara çarpan dalgalar, kişinin vücut ölçülerine, dokularının elektromagnetik özelliklerine bağlı olarak, yansımaya veya yutulmaya uğrarlar. İnsan vücudunun elektromagnetik özellikleri, elektromagnetik alanların genel tanımları ile birlikte ikinci bölümde açıklanacaktır.

Elektrik enerjisine olan talebin karşılanabilmesi amacıyla kurulacak olan yeni yüksek gerilimli enerji iletim hatlarının oluşturabilecekleri elektrik alan seviyelerinin incelenerek, en uygun şekilde tasarlanmaları gerekir. Söz konusu hatların elektrik alan seviyelerinin hesaplanmasında kullanılan sayısal yöntemlerinden biri olan Yük Benzetim Yöntemi'nin temel ilkeleri ve hatlara uygulanmasına ait bir örnek verilecektir. Carnegie Mellon Üniversitesinin yayınlamış olduğu alan değerleri üçüncü bölümde verilecektir. Yine aynı bölümde, magnetik alan ölçümünde kullanılan bir alet olan Gaussmetre'den söz edilecektir.

Günlük hayatta, evlerde ve bürolarda kullandığımız elektrikli aletlerin çevrelerinde oluşturduğu elektromagnetik alanların seviyeleri hakkında genel bilgiler ve yayınlanmış ölçüm sonuçları dördüncü bölümde verilecektir.

Yüksek gerilim hatlarının ve elektrikli aletlerin oluşturduğu elektromagnetik alanların insan sağlığı üzerindeki etkilerinin incelenmesi amacıyla yurtdışında bir çok çalışma yapılmıştır. Bu incelemelerin sonucunda , elektromagnetik alanların insan sağlığı üzerine etkilerinin olduğunu gösteren kesin sonuçlar bulunamamıştır. Beşinci bölümde; laboratuvar ortamında hazırlanan düzeneklerle yapılan çalışmalardan, yüksek gerilimli hatlarda çalışan işçiler üzerinde yapılan incelemelerden ve genel

olarak elektromagnetik alanların kanser hücre ve dokular, sinir sistemi, endokrin sistemi, kardivaskular sistem ve Alzheimer hastalığı üzerine etkilerinin incelenmesi amacıyla yapılmış araştırmalardan söz edilecektir.

BÖLÜM 2

TEMEL KAVRAMLAR

2.1 GİRİŞ

Yüksek gerilim hatları ve elektrik ile çalışan aletler çevrelerinde elektromagnetik alanlar oluşturmaktadırlar. Söz konusu alanların çevre ve insan üzerindeki etkilerinin daha iyi kavranabilmesi için öncelikle bu alanların tanımının ve insan vücudunun temel elektriksel özelliklerinin anlaşılması gerekmektedir. Bu bölümde, belirtilen temel kavramların yanı sıra elektromagnetik alanların biyolojik sistemlerle etkileşmesini araştırmak için geliştirilen, insan vücudunu temsil eden matematiksel modeller ve insan vücudunun elektriksel duyarlılığı da açıklanacaktır.

2.2.ELEKTROMAGNETİK ALANLAR

İnsanlar çevrelerinde oluşan doğal yada yapay kaynaklı elektrik ve magnetik alanların etkisinde kalırlar. Elektromagnetik alan; elektrik ve magnetik alanların bir arada olduğu durumdur.

Elektrik alanları, elektrik yükleri ile yüklü bir iletken etrafında oluşur. Elektrik alan vektörel bir büyüklük olup, elektrik alan şiddeti E ile gösterilir. Bu değer elektrik alanın birim yük üzerinde oluşturduğu kuvveti gösterir ve metre başına Volt ile ölçülür (V / m). E vektörü tek fazlı kaynak kullanılıyorsa sabit bir eksen boyunca salınır. Eğer çok fazlı kaynak veya pek çok senkronize kaynak kullanılıyorsa bir düzlemde elips şeklinde dönme hareketi yapar.

Magnetik alan, üzerinde hareket eden elektrik yükleri bulunan yani akım taşıyan bir iletkenin çevresinde oluşur. Bu alan, çevresindeki başka bir iletkende akım indüklenmesine neden olur. İkinci iletken biyolojik bir organizma da olabilir.

Magnetik alan da elektrik alanı gibi yada sabit bir eksen boyunca salınımlar yada elips şeklinde dönmeler yapar. Magnetik alan şiddeti, H , metre başına amper olarak tanımlanır (A / m).

Magnetik indüksiyon olarak bilinen magnetik akı yoğunluğu B , alan içinde hareket eden bir yüke etkiyen kuvvet olarak tanımlanır ve birimi Tesla veya Gauss'dur. ($1 \text{ Tesla} = 10^4 \text{ Gauss}$)

Özellikle magnetik cisimlerde B ve H alanları arasında önemli farklar vardır. Ancak boşlukta, özellikle biyolojik dokularda B/H oranı sabittir. Bu oran boşluğun magnetik geçirgenliğidir. ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ V.s/Am}$).

Elektrik ve magnetik alanlar dalga boyları ve frekansları ile karakterize edilirler. Bu alanların taşıdığı enerjinin büyüklüğü alanın dalga boyuna ve frekansına göre değişir. Dalga boyu, dalganın iki tepe noktası arasındaki uzaklıktır. Frekans ise bir dakikada geçen dalga sayısıdır ve birimi Hertz (Hz)'dir.

Elektrik alanı birçok malzeme ile durdulabilir. Magnetik alan ise çoğu malzemeden geçebildiği için engellemek oldukça zordur. Bu yüzden ki elektromagnetik alanların insan sağlığı üzerine etkilerinin incelenmesi magnetik alan üzerinde yoğunlaşmaktadır.

Çevremizde oluşan magnetik alanların değeri, gün içinde elektrik kullanımındaki değişimle ve mevsimsel elektrik kullanımıyla değişir.

İnsanların maruz kaldığı yapay kaynaklı elektrik ve magnetik alanlar; elektrik enerjisinin üretimi, iletimi, dağıtımı ve tüketimi sırasında oluşurlar. Söz konusu alan değerleri iler ki bölümlerde detaylı olarak açıklanacaktır.

Yeryüzündeki doğal elektrik ve magnetik alanlar, doğru gerilim alanı olarak ortaya çıkar. Elektrik alanı atmosferde meydana gelen yıldırım olayı sırasında oluşmaktadır. Toprak yakınlarında ortalama elektrik alanı 200 V / m'den düşüktür. Daha kuvvetli alanlar (Yaklaşık 50.000 V / m) elektrik boşalmalarında görülür.

Doğal magnetik alan ise yeryüzünün derinliklerine akan doğru akımlar tarafından üretilir. Bu magnetik alanın ortalama değeri 500 mG'dur. Bu değer yapay kaynaklı alternatif akım alan değerlerinden daha büyüktür. Ancak doğru akım alanları canlı organizmaların vücudunda akım indüklemedikleri için biyolojik etkileri söz konusu olmamaktadır.

Yapay kaynaklı alternatif akım alanlarının insan vücudunda indüklediği akım değeri, beyin ve kalbin vücutta oluşturduğu doğal akımdan daha küçüktür. Bazı bilim adamları bu sebepten dolayı Elektro magnetik alanların önemli etkilerinin mümkün olamayacağını ileri sürmektedirler. Söz konusu etkilerin incelenmesi amacı ile yapılan çalışmalar ve sonuçları ileriki bölümlerde verilecektir.

2.3 İNSAN VÜCUDUNUN ELEKTROMAGNETİK ÖZELLİKLERİ

İnsan vücudunun elektromagnetik alanlarla etkileşimini belirleyen faktör, vücuttaki dokuların elketromagnetik özellikleridir. Bu özellikler bağıl magnetik sabiti bağıl dielektrik sabiti er'dir. İnsan dokularında (Bir yaklaşık birdir. Kompleks dielektrik katsayısı ise;

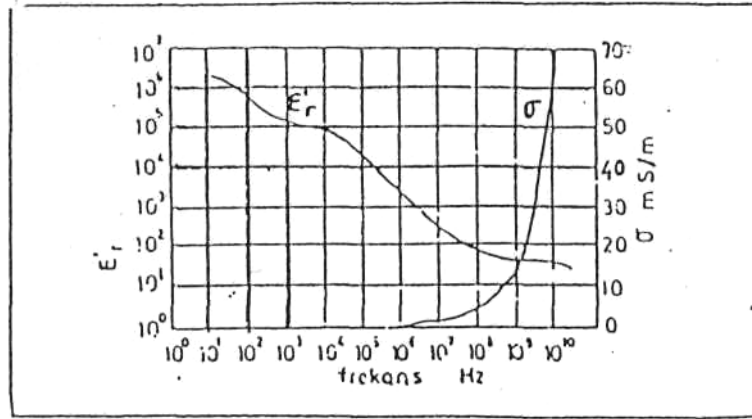
$$\epsilon_r = \epsilon_r' - j\epsilon_r'' \quad (2.1)$$

olarak verilmiş olup ϵ_r' , enerji depolama ve enerji soğurma özelliklerini vermektedir. Dokunun ortamın tüm kayıplarını içeren etkin iletkenliği,

$$\sigma = \omega \cdot \epsilon_r'' \cdot \epsilon_0 \quad (2.2)$$

eşitliği ile verilmiştir. Burada ϵ_0 boşluğun dielektrik sabitidir.

İnsan dokuları su içeriği ve kimyasal yapılarına göre değişik ϵ_r ve σ değerleri alır. Şekil 2.1'de kas tipi bir dokunun ϵ_r ve σ değerinin frekansa göre değişimi görülmektedir. Doku iletkenliği σ değeri ne kadar büyükse elektromagnetik dalgaların doku derinliğine girme özelliği azalmaktadır



Şekil 2.1. Kas tipi bir dokunun ϵ_r ve σ a değerlerinin frekansla değişimi.

Enerji soğuma özelliği ϵ_r'' , su oranı yüksek dokularda yüksek, su oram düşük dokularda düşük değer almaktadır. Kemik, yağ gibi su oranı düşük dokular, kan gibi su oranı yüksek dokulara göre daha az kayıplıdır.

Dokuların bu özelliklerinden yararlanılarak Elektromagnetik alana maruz kalan bir vücudun birim kütle başına soğurduğu güç hesaplanabilir. Özgül soğurma oranı (SAR) aşağıdaki tanımlanır;

$$SAR = 1/\rho (w\epsilon_r'' E_i^2) \text{ Watt/kg} \quad (2.3)$$

Burada;

ρ : yoğunluk (kg / m^3)

w : açısal frekans ($w=2\pi f$)

ϵ_r'' :Bağıl kompleks dielektrik katsayısının sanal kısmı

E_i : Biyolojik sistemin herhangi bir noktasındaki iç alanı (V/m)

göstermektedir. Yukarıdaki bağıntıdan görüldüğü gibi verilen bir E_i ve w için özgül soğurma oranı er'' ile doğru orantılıdır.

Dokuların elektriksel özellikleri belirli bir frekansta doku direncine bağlıdır. Bundan dolayı dokuların elektriksel özellikleri insanlar arasında farklılık gösterir.

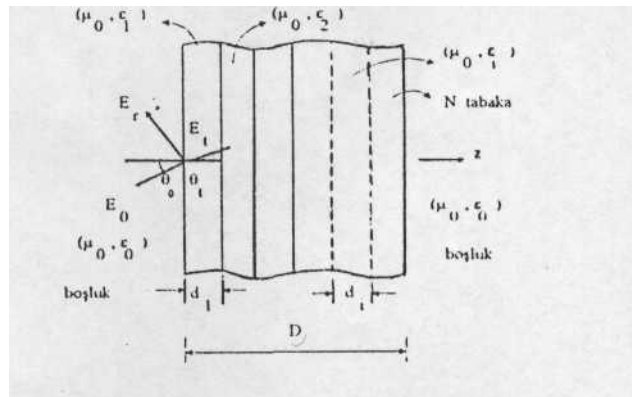
2.4 İNSAN VÜCUDUNUN MODELLENMESİ

Elektromagnetik alanların insan vücudu üzerindeki olası etkilerinin araştırılması amacı ile insan vücudunu temsil eden matematiksel modeller geliştirilmiştir. Modelleme çalışmalarında dokuların elektromagnetik özelliklerinden ve özgül soğurma oranından (SAR) yararlanılmaktadır.

Geliştirilen matematiksel modeller, doğrudan insan üzerinde deneysel olarak yapılamayan durumlar için yararlı bilgiler vermektedir.

2.4.1 Tabaka Modeli

En basit model olan düzlemsel tabaka modeli Şekil 2.2 'de gösterilmiştir. Modelde vücudu çevreleyen deri, yağ, kas ve kemik gibi dokular ardarda dizili tabakalarla temsil edilmiştir. Her bir tabakanın boşluktan gelen elektromagnetik radyasyondan soğurduğu enerji hesaplanır. İnsan vücudunu iki boyutta temsil etmesi dolayısıyla düzlem tabaka modeli elektromagnetik dalga ile vücudun etkileşiminde sayısal bir fikir verir.



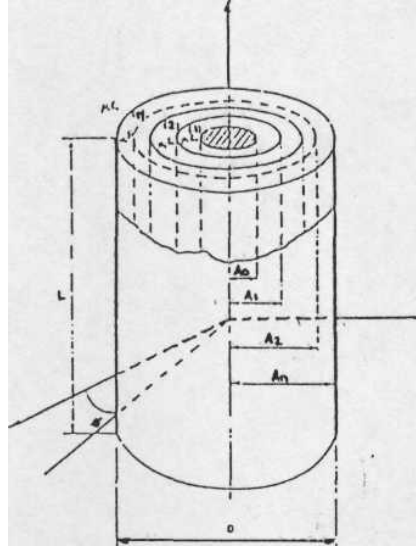
Şekil 2.2 Tabaka Modeli

2.4.2 Silindirik Model

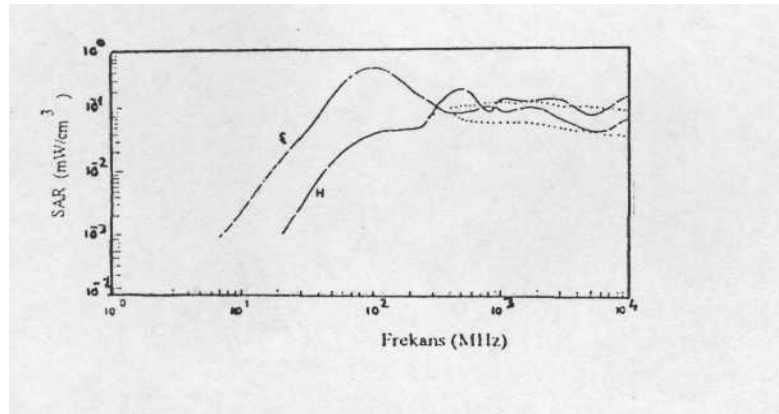
İnsan vücudunu temsil eden ikinci bir model silindirik modeldir. Silindirik modelde, insan vücudu kayıplı sonlu uzunluktaki bir silindirle modellenerek özgül soğurulan güç oranı hesaplanır. Soğurulan güç yoğunluğu daha önce söz edildiği gibi; iç alan, dokuların elektriksel özellikleri, gelen alanın frekansı gibi faktörlere bağlıdır.

Şekil 2.3'de 1.75 m boyunda, 70 kg ağırlığında bir insanı temsil eden silindirik model görülmektedir. Bu modelden yararlanılarak elde edilen SAR-frekans ilişkisi Şekil 2.4 'de grafik olarak verilmiştir.

Grafikte deri, yağ ve kas'dan oluşan üç tabakadan alınan sonuçlarla, tek tabaka için elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Grafikten görüldüğü gibi belirli bir frekansa kadar iki modelde de SAR aynı oranda artmakta ve daha sonra üç tabakalı model daha fazla enerji soğulmaktadır.

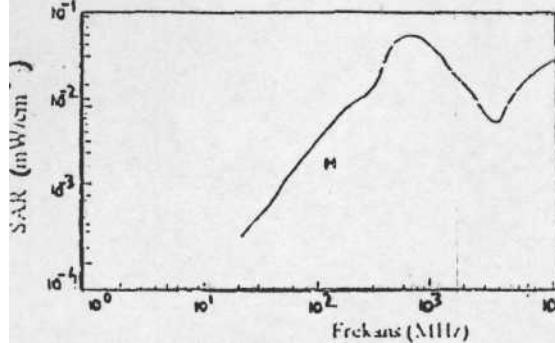


Şekil 2.3 Silindirik Model



Şekil 2.4 Silindirik Modelden Elde Edilmiş SAR-f İlişkisi
(- Üç tabaka için) (Tek tabaka için)

Şekil 2.5 'de ise sonlu uzunluklu silindirik model kullanılarak elbise, hava, deri, yağ ve kas olarak beş tabakalı model için elde edilen değerler görülmektedir. Tabaka sayısı arttıkça 600 MHz civarında rezonans nedeniyle soğurma artmaktadır



Şekil 2.5 Beş Tabakalı Silindirik Modelden Elde Edilmiş SAR-f Grafîği

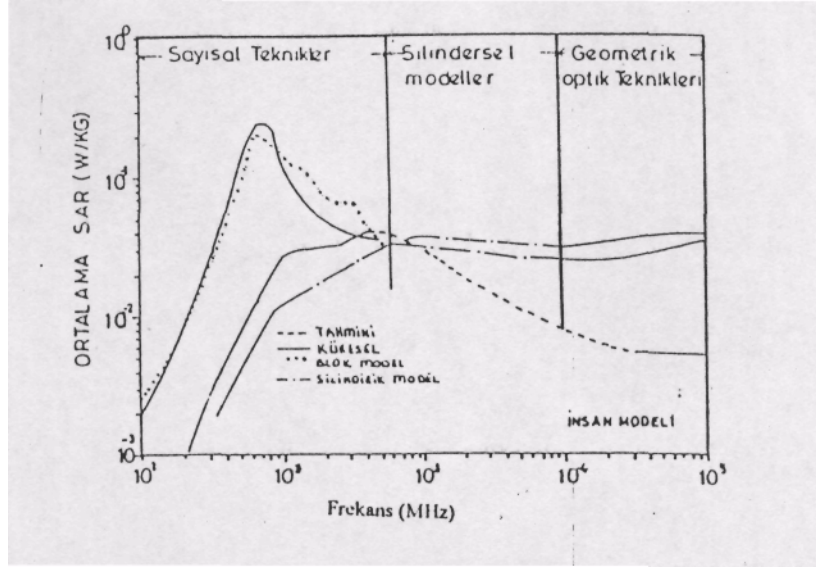
2.4.3 Küre Modeli

Küre modeli düzlem tabaka modeline göre daha iyi olmasına rağmen insan vücudunu tam olarak temsil edemez. Çok tabakalı küresel modeller özellikle insan başında soğurulan gücü hesaplamakta kullanılır.

2.4.4 Moment Yöntemi

Moment yönteminde insan vücudundaki hücreler küp şeklinde düşünülmekte, hacim ve şekil olarak bir insanı temsil edecek şekilde yan yana getirilmektedir. Modelin her bir hücresinde olan sabit değerde olup bir darbe fonksiyonu ile temsil edilmektedir. Elektriksel iletkenlik doku tipine göre her bir hücrede değişmektedir. Değişik dokular içeren hücreler için ortalama iletkenlik kullanılmaktadır

Şekil 2.6 'da 1 mW / cm² güç yoğunluğunda bir elektromagnetik dalgaya maruz kalan bir insan için tüm yöntemlerle elde edilmiş olan SAR - frekans ilişkisi gösterilmiştir. Her yöntem belirli bir frekans bölgesinde başarılı sonuç vermektedir. Elde edilen sonuçların birleştirilmesi ile elektromagnetik dozimetre hakkında önemli veriler elde edilmiştir.



Şekil 2.6 1 m W / cm^2 Güç yoğunluklu bir dalgaya maruz kalan bir insan için çeşitli modellerden hesaplanmış SAR'ın frekansa bağlı değişimi

2.5 ELEKTROMAGNETİK DUYARLIK (ES)

Elektromagnetik duyarlık; elektromagnetik dalgalara doğrudan maruz kalınması durumunda ortaya çıkan fizyolojik bir rahatsızlıktır. Elektromagnetik duyarlık (ES) . insan sağlığı için ciddi bir problemdir ve gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır.

Gelişmeler elektromagnetik alan maruziyetinin, elektromagnetik duyarlılık da dahil olmak üzere birçok probleme sebep olduğunu göstermektedir.

ES nörolojik ve allerjik tip semptomlar şeklinde ortaya çıkmaktadır. ES etkisinde olan birçok fert elektromagnetik alanların belirli frekanslarına karşı duyarlıdır. Bu duyarlılık geniş bir aralıkta etkisini gösterir.

Birçok insanda, bilgisayar veya floresan lamba çevresinde oluşan elektromagnetik alanların etkileri görülmüştür. Semptomlar hemen ortaya çıkmamakta zaman içinde belirginleşmektedir.

Sinir sistemi ve iç güç sisteminin bu rahatsızlıktan direkt etkilendiği saptanmıştır.

ES sonucu görülen semptomlardan bazıları; baş ağrısı, gözde bulanma ve kararma, kulaklarda çınlama, mide bulantısı, halsizlik, nefes darlığı, kalp atışında düzensizlik, deride kızarıklıklar, yüzde şişkinlik ve yorgunluktur. Bunlara ek olarak bazı hastalarda; vücutta kasılmalara, denge bozukluğuna, depresyona,

konsantrasyon bozukluğuna, uyku düzensizliğine ve hafıza zorluğuna rastlanmıştır.

ES tedavisi için pek çok yöntem geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları, vücuda vitamin / mineral desteği ve akupunktur tedavisidir. Bütün yöntemler farklı derecede çözüm getirmektedir.

BÖLÜM 3

YÜK BENZETİM YÖNTEMİ İLE ELEKTRİK ALAN HESABI (YBY)

3.1. GİRİŞ

Günümüzde artan enerji ihtiyacı nedeniyle, enerjinin iletiminde; hem büyük güçleri iletmek, hem de gerilim düşümü sorunundan etkilenmemek için yüksek gerilimli hatlar kullanılmaktadır.

Enerjili bir hattın çevresinde elektromagnetik alanlar oluşur. Hattın gerilimi elektrik alanın, hattın akan akım ise magnetik alanın kaynağıdır.

Yeni kurulacak olan bir yüksek gerilim enerji iletim hattında kullanılacak aygıtların ve donanımın en uygun şekilde tasarlanabilmesi için elektrik alan dağılımlarının incelenmesi gerekir.

Elektrik alan, hesabı yeterli sayıda sınır koşulu ile Laplace ve Poisson denklemlerinin çözümünü gerektirir. Elektrot sisteminin geometrik şeklinin basit olduğu problemlerde analitik çözümler bulunabilmektedir. Endüstriyel uygulamalarda fiziksel sistemlerin karışıklığının nedeni ile analitik çözümler bulmak zordur. Bu nedenle mühendislik uygulamalarında alan hesabı sayısal yöntemlerle yapılır. Mevcut sayısal yöntemler genellikle diferansiyel veya integral kavramlarına dayanmaktadır.

Bu bölümde, yüksek gerilim hatları çevresinde oluşan elektrik alanların sayısal yöntemlerden biri olan, yük benzetim yöntemi ile hesabından söz edilecektir.

3.2. YÜK BENZETİM YÖNTEMİNİN İLKESİ

Yük benzetim yöntemi ile elektrik alan hesabının temel ilkesi; elektrotların yüzeyine fiziksel olarak dağılmış yüzeysel yüklerin yarattığı gerçek elektrik alan yerine, oluşturduğu alanın hesabına dayanır. Bu yöntemin doğruluğu, yük tipine, sayısına ve yüklerin uygun yerleştirilmesine bağlıdır.

Yüklerin değerleri, iletken yüzeyinde alınan belirli sayıda sınır noktasındaki potansiyelin iletkenin bilinen potansiyeline eşit olması koşulundan gidilerek bulunur

Gözönüne alınan n tane benzetim yükünün herbirinin yükü Q_j , bu yüklerin herhangi bir noktada oluşturdukları potansiyel de V_i ile gösterilirse;

$$V_i = \sum_{j=1}^n P_{ij} Q_j \quad (3.1)$$

bağıntısıyla bulunur. Burada pij, bir birçok yük tipi için bilinen potansiyel katsayılarıdır.

Örneğin bir noktasal yükün (q) kendisinden r uzaklığında bir noktada oluşturacağı potansiyel;

$$V = (4\pi\epsilon r)^{-1} \cdot q = p \cdot q \quad (3.2)$$

olduğuna göre p potansiyel katsayısı;

$$p = (4\pi\epsilon r)^{-1} \quad (3.3)$$

Aynı şekilde sonsuz çizgisel bir yükün kendisinden r uzaklığında bir noktada oluşturacağı potansiyel;

$$V = q / 2\pi\epsilon \cdot (\ln r_0 / r) = p \cdot q \quad (3.4)$$

dir. Burada r₀, yükün potansiyeli sıfır olan en yakın noktaya uzaklığı ε ise ortamın dielektrik sabitidir. Sonsuz çizgisel yük için p potansiyel katsayısının;

$$p = (2\pi\epsilon)^{-1} \ln(r_0 / r) \quad (3.5)$$

olduğu görülmektedir

Bilinmeyen yük değerlerinin denklem (3.1)'den elde edilebilmesi için n adet bilinen potansiyele ihtiyaç vardır. Bunun için de potansiyeli bilinen n tane nokta tanımlanır ve bu noktalara sınır noktası adı verilir. Sınır noktalarının sayısı benzetim yüklerinin sayısına eşittir. Yüklerin tipi ve yerleri tanımlandıktan sonra herhangi bir sınır noktasındaki V_i ve q_j arasında matematiksel bir bağıntı yazmak mümkündür.

(3.1) denklemini n tane yük ve n tane potansiyeli bilinen sınır noktası için düzenlendiğinde matrisel olarak;

$$\begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \dots \\ q_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \dots \\ V_n \end{bmatrix}$$

(3.6)

şeklinde bir denklem sistemi elde edilir. Bu denklem sisteminin çözümü ile yüklerin değerleri bulunabilir. Benzetim yüklerinin değerleri ve yerleri bilinirse, herhangi bir noktadaki potansiyel ve alan şiddeti yukarıda sözü edildiği gibi süper pozisyon ilkesi ile bulunabilir

Benzetimin doğruluğunu kontrol etmek amacı ile potansiyeli bilinen ve elektrot sınırına yerleştirilen birkaç kontrol noktasında potansiyeller hesaplanır. Hesaplanan kontrol noktası potansiyelleri ile verilen sınır noktası potansiyelleri arasındaki fark, benzetimin doğruluğunun ve uygulanabilir olmasının bir ölçüsüdür.

YBY ile herhangi bir noktadaki elektrik alan şiddeti,

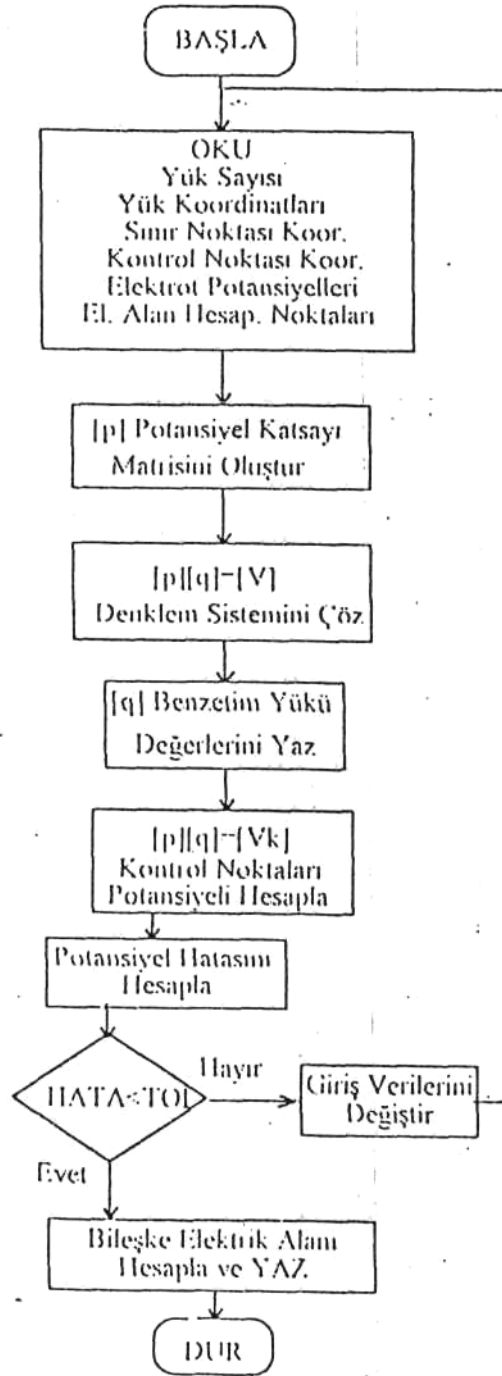
$$\vec{E} = -\nabla V \quad (3.7)$$

bağıntısından bulunur. İfade açık yazılacak olursa

$$\vec{E} = \left[\sum_{j=1}^n \frac{\partial P_{ij}}{\partial x} q_j \right] \vec{i}_x + \left[\sum_{j=1}^n \frac{\partial P_{ij}}{\partial y} q_j \right] \vec{i}_y + \left[\sum_{j=1}^n \frac{\partial P_{ij}}{\partial z} q_j \right] \vec{i}_z \quad (3.8)$$

elde edilir. Burada $\vec{i}_x, \vec{i}_y, \vec{i}_z$ sırasıyla x,y ve z yönündeki birim vektörlerdir.

Denklem (3.1), (3.6), (3.8)'i kullanan bilgisayar algoritması ile sayısal hesaplamalar yapılır. Bu algoritmaya ilişkin akış diyagramı Şekil (3.1)'de verilmiştir



Şekil 3.1 Yük Benzetim Yöntemi ile alan ve potansiyel hesabı için akış diyagramı.

3.3 ELEKTRİK ALAN HESABI

Bu kısımda enerji iletim hatları çevresindeki elektrik alan hesabının Yük Benzetim Yöntemi ile yapılması ile ilgili bilgiler verilecektir. Enerji iletim hatlarındaki elektrik alanların benzetiminde çizgisel yük kullanımı uygundur. Teorik olarak hatlar sonsuz uzun ve direk etkileri de gözardı edilerek düşünüldüğünde sonsuz

çizgisel benzetim yüklen kullanılabilir. Sonsuz çizgisel yük için potansiyel katsayısı daha önce denklem (3.5) de verilmişti.

Üç fazlı bir enerji iletim sisteminde, sistemin fazları arasındaki faz açıları da dikkate alınırsa, sınır potansiyelleri;

$$\dot{V} = V$$

$$\dot{V} = V \exp\left(\frac{2\pi}{3} j\right)$$

$$\dot{V} = V \exp\left(\frac{4\pi}{3} j\right)$$

şeklinde yazılabilir. Sınır noktalarının potansiyelleri için (3.9) eşitliklerinin kullanılmasından dolayı (3.6) sisteminden benzetim yüklerinin değerleri kompleks olarak elde edilir. Kompleks yüklerin kullanıldığı bir YBY ile enerji iletim hatları çevresinde herhangi bir noktada potansiyel ve elektrik alan hesaplanabilir.

3.4 YÖNTEMİN ENERJİ İLETİM HATLARINA UYGULANMASI

Yük Benzetim Yöntemine göre geliştirilen algoritma kullanılarak 380 kV'luk üç fazlı bir hat çevresindeki elektrik alan ve potansiyel dağılımına ait hesaplar aşağıda verilmiştir.

Veriler :

Fazlar arası gerilim : $U = 380 \text{ kV}$

İletken yarıçapı : $r = 15,2 \text{ mm} = 0,0152 \text{ m}$.

İletkenlerin yerden yüksekliği: $h = 20,5 \text{ m}$.

iletkenler arası açıklık : $a = 7,24 \text{ m}$.

Yüklerin koordinatları :

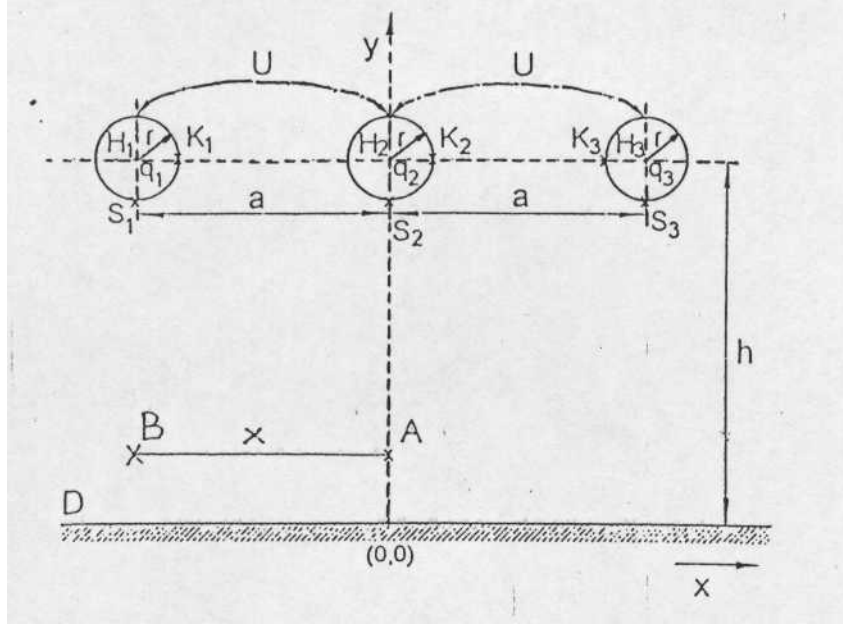
$H_1 (-7.24 ; 20.5) H_2 (0 ; 20.5) H_3 (7.24 ; 20.5)$

Sınır noktalarının koordinatları:

$S_1 (-7.24 ; 20.4848) S_2 (0 ; 20.4848) S_3 (7.24 ; 20.4848)$

Kontrol noktalarının koordinatları;

$K_1 (-7.2248 ; 20.5) K_2 (0.0152 ; 20.5) K_3 (7.2248 ; 20.5)$



Şekil 3.2 380 kV'luk hattın geometrisi

Benzetim Yüklerinin Hesabı

Benzetim yüklerinin S1 sınır noktasında oluşturdıkları potansiyel;

$$V_1 = \frac{1}{2\pi\epsilon} \left(q_1 \ln \frac{\overline{H_1 D}}{\overline{H_1 S_1}} + q_2 \ln \frac{\overline{H_2 D}}{\overline{H_2 S_1}} + q_3 \ln \frac{\overline{H_3 D}}{\overline{H_3 S_1}} \right) \quad (3.10)$$

dır. Eşitlikteki uzaklıklardan;

$$\overline{H_1 D} = \overline{H_2 D} = \overline{H_3 D} = h = 20,5 \text{ m}$$

olup diğer uzaklıklar;

$$\overline{H_1 S_1} = \sqrt{(X_{H1} - X_{S1})^2 + (Y_{H1} - Y_{S1})^2} \quad (3.11)$$

$$\overline{H_1 S_1} = \sqrt{(-7.24 - (-7.24))^2 + (20.5 - 20.4848)^2} = 0.0152 \text{ m.}$$

$$\overline{H_2 S_1} = \sqrt{(X_{H2} - X_{S1})^2 + (Y_{H2} - Y_{S1})^2} \quad (3.12)$$

$$\overline{H_2 S_1} = \sqrt{((0 - (-7.24))^2 + (20.5 - 20.4848)^2} \cong 7.24 \text{ m}$$

$$\overline{H_3 S_1} = \sqrt{(X_{H3} - X_{S1})^2 + (Y_{H3} - Y_{S1})^2} \quad (3.13)$$

$$\overline{H_3 S_1} = \sqrt{(7.24 - (-7.24))^2 + (20.5 - 20.4848)^2} \cong 14.48 \text{ m}$$

ve;

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r = 8.86 \cdot 10^{-12} \cdot 1 = 8.86 \cdot 10^{-12} \text{ F / m}$$

olduğuna göre;

$$\begin{aligned}
 V_1 &= \frac{1}{2\pi \cdot 8.86 \cdot 10^{-12}} (q_1 \ln \frac{20.5}{0.0152} + q_2 \ln \frac{20.5}{7.24} + q_3 \ln \frac{20.5}{14.48}) \\
 &= 0.01796 \cdot 10^{-12} \cdot (7.20688 q_1 + 1.04080 q_2 + 0.34766 q_3) \\
 &= 0.129436 \cdot 10^{-12} q_1 + 0.018693 \cdot 10^{-12} q_2 + 6.24391 \cdot 10^{-12} q_3 \\
 &= \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ kV.}
 \end{aligned}$$

Benzetim yüklerinin S2 sınır noktasında oluşturdıkları potansiyel ;

$$V_2 = \frac{1}{2\pi\epsilon} (q_1 \ln \frac{\overline{H_1D}}{\overline{H_1S_2}} + q_2 \ln \frac{\overline{H_2D}}{\overline{H_2S_2}} + q_3 \ln \frac{\overline{H_3D}}{\overline{H_3S_2}}) \quad (3.14)$$

$$\overline{H_1S_2} \cong 7.24 \text{ m, } \overline{H_2S_2} = 0.0152 \text{ m, } \overline{H_3S_2} \cong 7.24 \text{ m}$$

olduğundan;

$$\begin{aligned}
 V_2 &= \frac{1}{2\pi \cdot 8.86 \cdot 10^{-12}} (q_1 \cdot \ln \frac{20.5}{7.24} + q_2 \cdot \ln \frac{20.5}{0.152} + q_3 \cdot \ln \frac{20.5}{7.24}) \\
 &= 0.01796 \cdot 10^{-12} \cdot (1.04080 q_1 + 7.20688 q_2 + 1.04080 q_3) \\
 &= 0.189693 \cdot 10^{-12} q_1 + 0.129436 \cdot 10^{-12} q_2 + 0.018693 \cdot 10^{-12} q_3 \\
 &= \frac{380}{\sqrt{3}} = e^{j2\pi/3} = 220 (\cos 120^\circ + j \sin 120^\circ) = 220 (-0.5 + j0.866) \\
 &= 110 + j190.5 \text{ kV}
 \end{aligned}$$

Benzetim Yüklerinin S3 sınır noktasında oluşturdıkları potansiyel

$$V_3 = \frac{1}{2\pi\epsilon} (q_1 \ln \frac{\overline{H_1D}}{\overline{H_1S_3}} + q_2 \ln \frac{\overline{H_2D}}{\overline{H_2S_3}} + q_3 \ln \frac{\overline{H_3D}}{\overline{H_3S_3}}) \quad (3.15)$$

$$\overline{H_1S_3} \cong 14.48 \text{ m, } \overline{H_2S_3} \cong 7.24 \text{ m, } \overline{H_3S_3} = 0.0152 \text{ m}$$

olduğundan;

$$V_3 = \frac{1}{2\pi \cdot 8.86 \cdot 10^{-12}} (q_1 \cdot \ln \frac{20.5}{14.48} + q_2 \cdot \ln \frac{20.5}{7.24} + q_3 \cdot \ln \frac{20.5}{0.152})$$

$$\begin{aligned}
&= 0.01796 \cdot 10^{12} \cdot (1.034766 q_1 + 1.040801 q_2 + 7.20688 q_3) \\
&= 6.24391 \cdot 10^9 q_1 + 0.018693 \cdot 10^{12} q_2 + 0.129436 \cdot 10^{12} q_3 \\
&= \frac{380}{\sqrt{3}} = e^{j4\pi/3} = 220 (\cos 240^\circ + j \sin 240^\circ) = 220 (-0.5 + j0.866) \\
&= -110 - j190.5
\end{aligned}$$

(3.10), (3.14) ve (3.15) eşitliklerinden elde edilen denklemler matrisel biçimde yazılırsa;

$$\begin{bmatrix} 0.129436 & 0.018693 & 0.006243 \\ 0.018693 & 0.129436 & 0.018693 \\ 0.006243 & 0.018693 & 0.129436 \end{bmatrix} \cdot 10^{12} \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 220 \\ -110 + j190.52 \\ -110 - j190.52 \end{bmatrix}$$

elde edilir. Bu denklem sistemi çözülürse benzetim yükleri;

$$\begin{aligned}
q_1 &= 1.883125 \cdot 10^{-9} + j1.690877 \cdot 10^{-10} \text{ C} \\
q_2 &= -1.00681 \cdot 10^{-9} - j1.743795 \cdot 10^{-9} \text{ C}
\end{aligned}$$

$$q_3 = -7.951238 \cdot 10^{-9} + j1.71533 \cdot 10^{-9} \text{ C}$$

kompleks olarak elde edilir.

Potansiyel ve Alan Hesabı

Benzetim yüklerinin değeri hesaplandıktan sonra, herhangi bir noktadaki potansiyelin ve alanın hesabı yapılabilir. Örneğin orta fazın altında yerden 1.5 m yükseklikteki A(0;1.5) noktasındaki potansiyel;

$$V_A = \frac{1}{2\pi\epsilon} (q_1 \ln \frac{H_1 D}{H_1 A} + q_2 \ln \frac{H_2 D}{H_2 A} + q_3 \ln \frac{H_3 D}{H_3 A}) \quad (3.16)$$

$$\begin{aligned}
\overline{H_1 A} = \overline{H_3 A} &= \sqrt{(X_{H_1} - X_A)^2 + (Y_{H_1} - Y_A)^2} \\
&= \sqrt{(-7.24 - 0)^2 + (20.5 - 1.5)^2} = 20.3326 \text{ m.}
\end{aligned} \quad (3.17)$$

$$\overline{H_2 A} = Y_{H_2} - Y_A = 20.5 - 1.5 = 19 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
V_A &= \frac{1}{2\pi \cdot 8.86 \cdot 10^{-12}} \left(q_1 \cdot \ln \frac{20.5}{20.3326} + q_2 \cdot \ln \frac{20.5}{19} + q_3 \cdot \ln \frac{20.5}{20.3326} \right) \\
&= 0.01796 \cdot 10^{12} \cdot (0.008199 q_1 + 0.075985 q_2 + 0.008199 q_3) \\
&= 1.472540 \cdot 10^8 q_1 + 1.364690 \cdot 10^9 q_2 + 1.472540 \cdot 10^8 q_3 \\
&= 1.472540 \cdot 10^8 \cdot (1.883125 \cdot 10^{-9} + j1.690877 \cdot 10^{-10}) \\
&\quad + 1.364690 \cdot 10^9 \cdot (-1.00681 \cdot 10^{-9} - j1.743795 \cdot 10^{-9}) \\
&\quad + 1.472540 \cdot 10^8 \cdot (-7.951238 \cdot 10^{-10} + j1.71533 \cdot 10^{-9}) \\
V_A &= 0.277297 + j0.0248988 - 1.373983 - j2.379739 \\
&\quad - 0.117085 + j0.252589 \\
V_A &= -1.213771 - j2.102251 = 2.4227488e^{j120^\circ} \text{ kV}
\end{aligned}$$

A(0;15) noktasındaki elektrik alan şiddeti

$$E_A = E_{xA} \vec{i}_x + E_{yA} \vec{i}_y \quad (3.18)$$

dir. Bu alan şiddetinin bileşenleri;

$$E_{xA} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \left(\frac{X_{H1}-X_A}{H_1 A^2} q_1 + \frac{X_{H2}-X_A}{H_2 A^2} q_2 + \frac{X_{H3}-X_A}{H_3 A^2} q_3 \right) \quad (3.19)$$

$$E_{xA} = \frac{1}{2\pi \cdot 8.86 \cdot 10^{-12}} \left(\frac{-7.24-0}{20.3326^2} q_1 + \frac{0-0}{19^2} q_2 + \frac{7.24-0}{20.3326^2} q_3 \right)$$

$$E_{xA} = 0.972655 \text{ kV / m.}$$

$$E_{yA} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \left(\frac{Y_{H1}-Y_A}{H_1 A^2} q_1 + \frac{Y_{H2}-Y_A}{H_2 A^2} q_2 + \frac{Y_{H3}-Y_A}{H_3 A^2} q_3 \right) \quad (3.20)$$

$$E_{yA} = \frac{1}{2\pi \cdot 8.86 \cdot 10^{-12}} \left(\frac{20.5-1.5}{20.3326^2} q_1 + \frac{20.5-1.5}{19^2} q_2 + \frac{20.5-1.5}{20.3326^2} q_3 \right)$$

$$E_{yA} = 0.107286 \text{ kV / m}$$

olur. Bu durumda A noktasındaki bileşke elektrik alan şiddeti;

$$\begin{aligned}
|E_A| &= \sqrt{E_{xA}^2 + E_{yA}^2} \\
E_A &= 0.978554 \text{ kV / m} \quad (3.21)
\end{aligned}$$

olarak bulunur. Benzer şekilde B(-7,24;1.5) noktasındaki elektrik alan şiddeti;

$$E_B = E_{xB} \vec{i}_x + E_{yB} \vec{i}_y \quad (3.22)$$

dir. Bu alan şiddetinin bileşenleri;

$$E_{xB} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \left(\frac{X_{H1}-X_B}{\overline{H_1B}^2} q_1 + \frac{X_{H2}-X_B}{\overline{H_2B}^2} q_2 + \frac{X_{H3}-X_B}{\overline{H_3B}^2} q_3 \right) \quad (3.23)$$

$$\overline{H_1B} = \sqrt{(X_{H1}-X_B)^2 + (Y_{H1}-Y_B)^2}$$

$$\overline{H_1B} = \sqrt{(-7.24 - (-7.24))^2 + (20.5-1.5)^2} = 19 \text{ m.} \quad (3.24)$$

$$\overline{H_2B} = \sqrt{(X_{H2}-X_B)^2 + (Y_{H2}-Y_B)^2}$$

$$\overline{H_2B} = \sqrt{(0-(-7.24))^2 + (20.5-1.5)^2} = 20.3326 \text{ m} \quad (3.25)$$

$$\overline{H_3B} = \sqrt{(X_{H3}-X_B)^2 + (Y_{H3}-Y_B)^2}$$

$$\overline{H_3B} = \sqrt{(7.24-(-7.24))^2 + (20.5-1.5)^2} = 23.8887 \text{ m} \quad (3.26)$$

$$E_{XB} = \frac{1}{2\pi \cdot 8.86 \cdot 10^{-12}} \left(\frac{-7.24-(-7.24)}{19^2} q_1 + \frac{0-(-7.24)}{20.3326^2} q_2 + \frac{7.24-(-7.24)}{23.8887^2} q_3 \right)$$

$$E_{XB} = 0.01796 \cdot 10^{12} \cdot (0.017512 q_2 + 0.025373 q_3)$$

$$E_{XB} = -0.678994 + j0.2331$$

$$E_{XB} = 0.71789 \text{ kV / m}$$

ve diğer bileşen

$$E_{YB} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \left(\frac{Y_{H1}-Y_B}{\overline{H_1B}^2} q_1 + \frac{Y_{H2}-Y_B}{\overline{H_2B}^2} q_2 + \frac{Y_{H3}-Y_B}{\overline{H_3B}^2} q_3 \right) \quad (3.27)$$

$$E_{YB} = \frac{1}{2\pi \cdot 8.86 \cdot 10^{-12}} \left(\frac{20.5-1.5}{19^2} q_1 + \frac{20.5-1.5}{20.3326^2} q_2 + \frac{20.5-1.5}{23.8887^2} q_3 \right)$$

$$= 0.01796 \cdot 10^{12} (0.052631 q_1 + 0.045958 q_2 + 0.033294 q_3)$$

$$E_{YB} = 0.471629 - j0.253792$$

$$E_{YB} = 0.52619 \text{ kV / m}$$

bulunur. Bu durumda b noktasındaki bileşke alan şiddeti

$$|EB| = \sqrt{E_{XB}^2 + E_{YB}^2} = 0.8900 \text{ kV / m}$$

olarak elde edilir.

3.5 CARNEGIE MELLON ÜNİVERSİTESİ'İN YAYINLADIĞI EMA DEĞERLERİ

Carnegie Mellon Üniversitesi insanları, iletim hakkında yapılan magnetik alan çözüm sonuçları hakkında bilgilendirmek amacı ile bir broşür yayınlamıştır. Broşürde magnetik alanın, hem ortalama elektrik kullanımının hem de yük artışlarından dolayı fazla kullanımın görüldüğü zamanlarda, hattın uzaklığına göre değişim değerleri verilmiştir. Ölçüm sonuçları Tablo 4.3'de görüldüğü gibi, önce maksimum alan büyüklüğü, daha sonra da hattın 15.24, 30.48, 60.96 ve 91.44 metre uzaklıktaki magnetik alan büyüklükleri olarak verilmiştir. Tüm ölçümler yerden 1 m yükseklikte yapılmıştır.

Tablo 4.3 Ölçüm Sonuçları

iletim Hattının Tipi	Maksimum Alan	Hattın Uzaklık (m)			
115 kV		15.24	30.48	60.96	91.44
Ortalama	30	7	2	0.4	0.2
Aşırı Yükte	63	14	4	0.9	0.4
230 kV					
Ortalama	58	20	7	1.8	0.8
Aşırı Yükte	118	40	15	3.6	1.6
500 kV					
Ortalama	87	29	13	3.2	1.4
Aşırı Yükte	183	62	27	6.7	3.0

(Tüm Büyüklükler miliGauss (mG) dir)

Bu ölçümler Yüksek Gerilimli İletim Hatları için yapılmıştır. Yerleşim bölgelerinde görülen dağıtım hatlarının gerilim düzeyleri daha düşük olmasına rağmen akım değerleri yüksektir. Dağıtım hatları için olması düşünülen magnetik alan değeri 5 mG'un altındadır. Ancak çok kalabalık yaşama alanlarına yakın geçen dağıtım hatları için yaklaşık 50 mG magnetik alan değerleri ölçülmüştür.

Tablo 4.3 'deki sonuçlardan ortalama ve aşırı yükte de hattan uzaklık arttıkça magnetik alan değerinin hızla düştüğü görölmektedir.

3.6 GAUSSMETRE

Gaussmetre; magnetik alanın büyüklüğünü ölçmekte kullanılan bir alettir. Gaussmetre, iletim hatlarının, transformatörlerin, dağıtım alanlarının ve evde kullanılan aletlerin çevresinde oluşan magnetik alanların ölçümünde kullanılabilir.

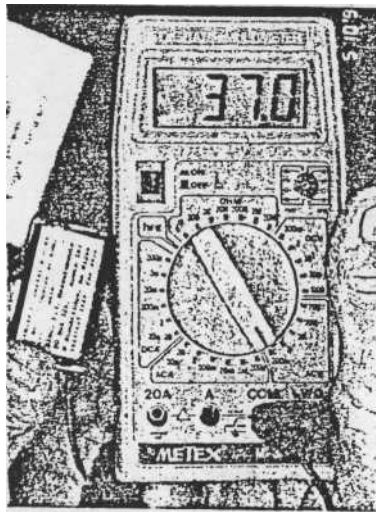
Gaussmetrenin içinde ince telden bir sargı mevcuttur. Ölçölmek istenen magnetik alanın bu sargıda indükleyeceği akım, magnetik alan değerini verir.

Gaussmetreler, kompleks ve pahalı olandan basit ve ucuz olana değişmektedir. Kompleks olan üç eksenli, basit olan ise tek eksenli olarak yapılmıştır. Her iki türün de ölçüm kapasiteleri incelenmiştir.

Tek Eksenli Gaussmetre: Tek eksenli gaussmetrenin ölçölmek istenen magnetik alan içinde, x, y ve z eksenlerinde ayrı ayrı kullanılarak ölçümlerin kaydedilmesi gerekir. Kaydedilen veriler kullanılarak matematiksel bir eşitlikle alan değeri hesaplanır.

Aletin alan ölçme aralığı 10 mG ile 100 G arasındadır. Ölçme duyarlılığı yaklaşık % 1 civarındadır.

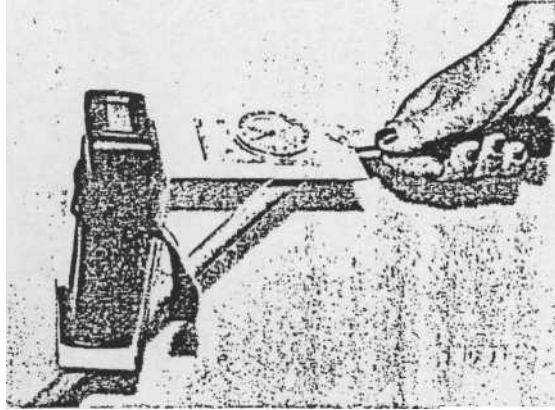
Elde taşınabilen bu alet, içdeki sargı veya dışarıya takılabilen bir sargı ile ölçüm yapabilir. Şekil 4.13'de tek eksenli gaussmetre görölmektedir.



Şekil 3.13 Tek Eksenli Gaussmetre

Üç Eksenli Gaussmetre : Ölçümlerin daha hızlı yapılabilmesi için üç bölümden oluşturulmuştur. Ölçümlerde bulunan sonuçlardan magnetik akı B şu şekilde hesaplanır.

Şekil 3.14 'de üç eksenli gaussmetre görülmektedir. Alet 0-10 mG aralığında 0.05 duyarlılıkla çalışmaktadır. Üç eksenle de ölçülen değerleri kaydeder ve bu veriler bilgisayara aktarılarak analizi yapılır.



Şekil 3.14 Üç Eksenli Gaussmetre

BÖLÜM 4

ELEKTRİKLE ÇALIŞAN ALETLERİN ELEKTROMAGNETİK ALAN DEĞERLERİ

4.1. GİRİŞ

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte evlerde ve işyerlerinde kullanılan elektrikli aletlerin sayısı artmaktadır. İnsanlar gün boyu yaşadıkları ortamda bulunan, farklı zamanlarda veya aynı anda kullanılabilen bu aletlerin, sağlıkları için zararlı olabilecek etkileri olup olmadığını merak etmektedirler. Söz konusu aletler ve aydınlatma için kullanılan lambalar da tıpkı enerji iletim hatları gibi çevrelerinde elektromagnetik alanlar oluştururlar.

Daha önceki bölümde enerji iletim hatlarının çevresinde oluşan elektromagnetik alanların ölçümlerine ilişkin bilgiler verilmişti.

Bu bölümde elektrikle çalışan aletlerin elektromagnetik alan seviyeleri hakkında genel bilgi ve yapılmış ölçüm sonuçları verilecektir.

4.2 GENEL BİLGİ

Bilindiği gibi elektrikle çalışan bütün aletler elektrik kaynağına bağlandığında çevrelerinde elektromagnetik alanlar oluştururlar. Söz konusu alanların değerleri, aletlerin yapısına, büyüklüğüne ve üretim şekline göre değişebilmektedir. Örneğin iki ayrı marka tost makinasının oluşturacağı magnetik alan değerleri birbirinden farklı olabilmektedir.

Elektrikli aletlerde toprak bağlantısının bulunmaması durumunda oluşacak elektromagnetik alan değerleri yüksek olmaktadır. Birçok alet ucuz olması amacı ile toprak bağlantısız ya da ucuz parçalar kullanılarak imal edilmektedir. Bu durumda

elektrik kaynağına bağlı oldukları sürece çevrelerinde yüksek seviyede elektromagnetik alanlar oluştururlar.

Evlerde veya işyerlerinde bir oda içerisinde oluşabilecek elektromagnetik alanların gerçek değeri, odadaki kaynakların türüne, sayısına ve aynı anda kaç tanesinin çalıştığına bağlıdır. Odayı çevreleyen duvarlar magnetik alanı engelleyemez. Magnetik alan değeri aletlerin bulunduğu oda ile duvarın diğer tarafındaki odada yaklaşık aynıdır.

Elektrikli aletlerin oluşturduğu magnetik alan değeri, dış kaynaklı yani

yakından geçen bir enerji iletim hattının evlerde oluşturduğu alandan daha yüksektir. Ancak söz konusu aletler günün büyük bir kısmında kullanımda değildir. Örneğin elektrikli traş makinesi çalıştığı sürece oldukça yüksek bir alan oluşturmakla birlikte günde on dakikadan fazla kullanılmaz.

Evlerde oldukça sık kullanılan mikrodalga fırınların oluşturduğu yüksek frekanstaki magnetik alanların ekranlanması mümkündür. Ancak düşük frekanslı magnetik alanlar için ekranlama olayı söz konusu değildir. Mikrodalgaların dalga boyu yaklaşık 1 cm kadar küçüktür. 60 Hz frekansındaki dalgaların dalga boyu yaklaşık 5.000 Km.dir. Kısa dalgalar ince metal malzemelerle tutulabilmektedir.

4.3 YAPILMIŞ ÖLÇÜMLER VE SONUÇLARI

Evlerde ve işyerlerinde kullanılan, elektrikle çalışan aletlerin çevrelerinde oluşturdukları elektromagnetik alanların büyüklükleri ile ilgili yayınlanmış veriler mevcuttur. Elektrik Güç Araştırma Enstitüsü (EPRI), Illinois Teknoloji Araştırma Enstitüsü (ITRI) ve Amerika Çevre Kurumu (EPA)'nın verileri ile oluşturulmuş bilgiler Tablo 4.1'de verilmiştir.

Magnetik alanın büyüklüğü, kendisini oluşturan aletten 6 inç (1 inç=2.54 cm), 1,2 ve 4 feet (1 feet=30.48 cm) olmak üzere dört farklı uzaklıkta ölçülmüştür. Aletler arasında karşılaştırma yapılabilmesi için uzaklıklar her alet için aynı seçilmiştir. Aletleri kullanırken vücudun bölümlerine olan uzaklıklara göre etkilenme oranları değişebilmektedir.

Tablo 4.1'de her alet için, her bir uzaklıkta üç ayrı ölçüm değeri verilmiştir. Birincisi ölçülmüş en düşük değer, diğerleri ise orta ve en yüksek değerdir.

Aletlerin oluşturdukları magnetik alanlar gün boyu kullanıldıkları yerlerde ölçülmüştür. Magnetik alan büyüklüğü miliGauss'dur [3].

Tablo 4.1 Elektrikli aletler ve magnetik alan değerleri

Banyoda Kullanılan Aletler

Uzaklık (cm)	15.24	30.48	60.96	121.92
--------------	-------	-------	-------	--------

Saç Kurutma Makinesi

En Düşük	1	-	-	
Orta	300	1	-	-
En Yüksek	700	70	10	1

Tıraş Makinesi

En Düşük	4	-	-	-
Orta	100	20	-	- ;
En Yüksek	600	100	10	1

Mutfakta Kullanılan Aletler

Uzaklık (cm)	15.24	30.48	60.96	121.92
---------------------	-------	-------	-------	--------

Blender

En Düşük	30	5	-	-
Orta	70	10	2	-
En Yüksek	100	20	3	-

Elektrikli Konserve Açacağı

En Düşük	500	40	3	-
Orta	600	150	20	2
En Yüksek	1500	300	30	4

Kahve Makinası

En Düşük	4	-	-	-
Orta	7	-	-	-
En Yüksek	10	1	-	-

Çamaşır Odasında Kullanılan Aletler

Uzaklık (cm)	15.24	30.48	60.96	121.92
---------------------	-------	-------	-------	--------

Kurutma Makinası

En Düşük	2	-	-	-
Orta	3	2	-	-
En Yüksek	10	3	-	-

Çamaşır Makinası

En Düşük	4	1	*	-
Orta	20	7	1	-
En Yüksek	100	30	6	-

Ütü

En Düşük	6	1	-	-
Orta	8	1	-	-
En Yüksek	20	3	-	-

Taşınabilir Isıtıcı

En Düşük	5	1	-	-
Orta	100	20	4	-
En Yüksek	150	40	8	1

Elektrik Süpürgesi

En Düşük	100	20	4	-
Orta	300	60	10	1
En Yüksek	700	200	50	10

Yatak Odasında Kullanılan Aletler

Uzaklık (cm)	15.24	30.48	60.96	121.92
---------------------	-------	-------	-------	--------

Dijital Saat

En Düşük	-	-	-	-
Orta	1	-	-	-
En Yüksek	8	2	1	-

Analog Saat

En Düşük	1	-	-	-
Orta	15	2	-	-
En Yüksek	30	5	3	-

Bebek İzleme Monitörü

En Düşük	4	-	-	-
Orta	6	1	-	-
En Yüksek	15	2	-	-

Büroda kullanılan Aletler

Uzaklık (cm)	15.24	30.48	60.96	121.92
---------------------	-------	-------	-------	--------

Havalandırma

En Düşük	110	20	3	-
Orta	180	35	5	1
En Yüksek	250	50	8	2

Fotokopi Makinası

En Düşük	4	2	1	-
Orta	90	20	7	1
En Yüksek	200	40	13	4

Faks Makinası

En Düşük	4	-	-	-
Orta	6	-	-	-
En Yüksek	9	2	-	-

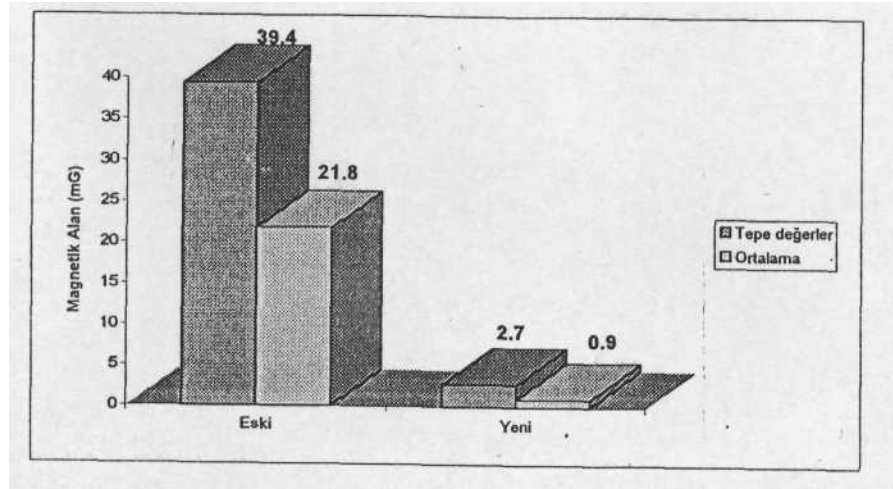
Floresan Lamba

En Düşük	20	-	T	-
Orta	40	6	2	-

En Yüksek	100	30	8	4
------------------	-----	----	---	---

Elektrikli Kalem Açacağı

En Düşük	20	8	5	-
Orta	200	70	20	2
En Yüksek	300	90	30	30



Şekil 4.1 Elektrikli Battaniye

Şekil 4.1 'de elektrikli battaniyenin oluşturduğu magnetik alan değeri, eski tip ve yeni geliştirilmiş bir model (PTC) için görülmektedir. Magnetik alan battaniye yüzeyinden yaklaşık 2 inç (5 cm) uzaklıkta ölçülmüştür. Bu uzaklık, kullanıcının iç organlarına olabilecek uzaklık olarak alınmıştır. Grafikte, ortalama alan değerleri ve battaniyenin içindeki sargılardan dolayı yüzeyde oluşabilecek ani artışlar görülmektedir.

Yapılmış farklı araştırmalar sonucunda yayınlanmış değerler Tablo (4.2) ve Tablo (4.3)'de görülmektedir. Tablo (4.2)'de en çok kullanılan elektrikli aletlerin magnetik alan seviyeleri Tablo (4.3)'de ise daha farklı uzaklıklarda ölçülmüş alan seviyeleri verilmiştir.

Tablo 4.2 Elektrikli Aletlerin Magnetik Alan Değerleri

Magnetik Alan Seviyesi (miligauss)

Uzaklık (cm)	3.048	30.48	99.06
Elektrikli Battaniye	2-80	-	-
Çamaşır Makinesi	8-400	2-30	0.1-2

Televizyon	25-500	0.4-20	0.1-2
Elektrik Sobası	60-2000	4-40	0.1-2
Mikrodalga Fırın	750-2000	40-80	3-8
Tıraş Makinesi	150-15.000	1-90	0.4-3
Floresan Lamba	400-4000	5-20	0.1-3
Saç Kurutma Mak.	60-20.000	1-70	0.1-3

Tablo 4.3 Elektrikli Aletlerin Magnetik Alan Değerleri

Magnetik Alan Seviyesi (miligauss) Uzaklık (cm)

	10.16	30.48	91.44
Kurutma Makinesi	4.8-110	1.5-29	0.1-1
Çamaşır Makinesi	2.3-3	0.8-3.0	0.2-0.48
Kahve Makinesi	6-29	0.9-1.2	<0.1
Tost Makinası	10-60	0.6-7.0	<0.1-0.11
Ütü	12-45	1.2-3.1	0.1-0.2
Konserve Açacağı	1300-40.000	31-280	'0.5-7.0
Mikser	58-1.400	5-100	0.15-2.0
Blender	50-220	5.2-17	0.3-1.1
Elektrikli Süpürge	230-1300	20-180	1.2-18
Taşınabilir Isıtıcı	11-280	1.5-40	0.1-2.5
Kurutma Mak Saç.	3.1400	0.1-70	<0.1-2.8
Tıraş Makinesi	14-1600	0.8-90	0.1-1.5
Televizyon	4.8-100	0.4-20	<0.1-1.5
Floresan Lamba	40-123	2-32	<0.1-2.8
Masa Üstü Floresan Lamba	100-200	6-20	0.2-2.1
Testere	200-2100	9-220	0.2-10
Matkap	350-500	22-31	0.8-2.0

Her iki tablo karşılaştırıldığında aynı uzaklıkta değerler arasında fark olduğu görülmektedir. Bu farkın nedeni, daha önce bahsedildiği gibi ölçümü yapılan aletlerin model ve üretim şekillerinin birbirlerinden ayrı olmasıdır;

Tablolardan görüldüğü gibi magnetik alan değerleri aletlerden uzaklaştıkça düşmektedir.

BÖLÜM 5

ELEKTROMAGNETİK ALANLARIN İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNE ETKİLERİ

5.1. GİRİŞ

Enerji iletim hatları ve elektrikli aletlerin çevrelerinde oluşturdukları elektromagnetik alanların insan sağlığı üzerinde olası etkilerinin incelenmesi amacı ile pek çok araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalar ve sonuçları gerek yayınlanan makaleler, gerekse düzenlenen kongrelerle insanların bilgisine sunulmaktadır.

Daha önceki bölümlerde yüksek gerilim hatları ve elektrikli aletlerin oluşturdukları elektromagnetik alan seviyeleri hakkında bilgiler verilmişti.

Bu bölümde sözkonusu alanların insan sağlığı üzerine etkilerinin incelenmesi için yapılan araştırmalardan bahsedilecek, öncelikle laboratuvar ortamında hazırlanan düzenekler yardımıyla ve açık havada enerji iletim hatlarında, yapılan deneyler ve sonuçları verilecektir. Daha sonra elektromagnetik alanların; kanser, hücre ve doku, sinir sistemi, endokrin sistemi, kardiovaskular sistem ve Alzheimer hastalığı üzerine etkileri ile ilgili araştırmalar ve sonuçları verilecektir.

5.2. 50HZ FREKANSLI DEĞİŞKEN ELEKTROMAGNETİK ALANLARIN ETKİLERİ

5.2.1 Giriş

1970'li yılların başında Almanya'da Rudolf Hauf; insanlar üzerinde laboratuvar ortamında deneysel olarak araştırmalar yapmıştır. Bu bölümde deney koşulları verildikten sonra elde edilen sonuçları incelenmektedir. Deneylerin yapıldığı koşullarda, incelenen alanların zararlı etkilerinin olmadığı gözlenmektedir.

5.2.2 Yapılan Araştırmalar ve Deney Koşulları

Yüksek Gerilim tesisleri içerisindeki alan koşulları laboratuvar ortamında modellenmeye çalışılmıştır. Çevreden gelebilecek ve sonuçları etkileyebileceği düşünülen etkiler giderilmiştir. Başlangıçta 500 kV'luk gerilimler uygulanmış, özel bazı durumlarda uyumlu olması için deneylerde daha yüksek gerilimler de kullanılmıştır.

Araştırmalar daha çok 50 Hz frekanslı elektrik alanları üzerinde yoğunlaştırılmıştır. Çalışmalarda yer değiştirme akımı, magnetik alan ve elektrik ve

magnetik alanlar birlikte incelenmiştir. Böylece alanların tek başına ve toplu etkileri incelenebilmiştir. Elektrik alanın etkileri incelenirken yerden 1.50 m yükseklikte 20 kV/m'ye varan çeşitli alan şiddetleri oluşturulmuştur. İncelenen diğer durumlar ise; 200 uA'lık bir yer değiştirme akımı ve 0.3 T'lık bir magnetik alandır.

Deneylerde kullanılan kadın ve erkeklerin ortalama yaşı 25 olup, bunların çoğu öğrencilerden seçilmiştir. Bu yaş grubunda, alınacak sonuçları etkileyebilecek, yorgunluk, bitkinlik veya herhangi bir hastalık olasılığına karşın denekler deneyden önce sıkı bir sağlık kontrolünden geçirilmiştir. Deneyler günün hep aynı saatlerinde yapılarak, bunun aksi bir uygulamadan gelebilecek farklılıklar giderilmeye çalışılmıştır. Deneyler sırasında deneklerin vücudu toprağa bağlanmış olup, alanın yada akımın verilmeye başlanıldığını hissedememişlerdir. Denekler eğer isterlerse oturdukları yerde kitap okuyabilmişlerdir. Deneyin yapıldığı oda sıcaklığı 22 °C ve bağıl nem ise yaklaşık % 50 olarak belirlenmiştir.

Deneyler en çok üç saat sürmüştür. Bu süre, göreceli olarak kısa bir etkilene süre ise de ani ve kesin etkilerin ortaya çıkabilmesi için yeterli sayılmıştır.

Deneylerde gözlenen parametreler, tepki süresi, kanın bileşimi, sedimentasyon hızı, trombositler, retikülasitler, hızlılık deneyi, elektrokardiyogram, elektroansefalogram, nabız sıklığı ve atardamar basıncıdır. Seçilen bu parametreler kullanılarak alan etkime deneyleri iki farklı grup üzerinde ve iki defa yapılmıştır. Bir grupta tepki süresi her beş dakikada bir otomatik bir aygıtla kaydedilmiştir. Kan -testi her deneyin başında ve sonunda yapılmıştır. Kimyasal incelemelerde her defasında aynı yöntemler kullanılmış ve aynı asistanlarca yapılmıştır. İkinci grupta, tıbbi-fiziksel parametreler her on dakikada bir kaydedilmiştir. Elektrokardiyogram ve ansefalogram kaydedilirken akım (veya alan) kısa bir süre kesilmiştir.

Kolesterol ve trigliserid değerleri, elektrik ve magnetik alanların bir arada uygulandığı deneylerde, deneyin başında ve sonunda deneyin bitiminden 20 ve 24 saat sonra kaydedilmiştir. Her incelemede on denekten alınan sonuçlar değerlendirilmiş, dış görünüme ilişkin gözlemlerin yanı sıra vücudun iç yapısı üzerinde de incelemeler yapılmıştır.

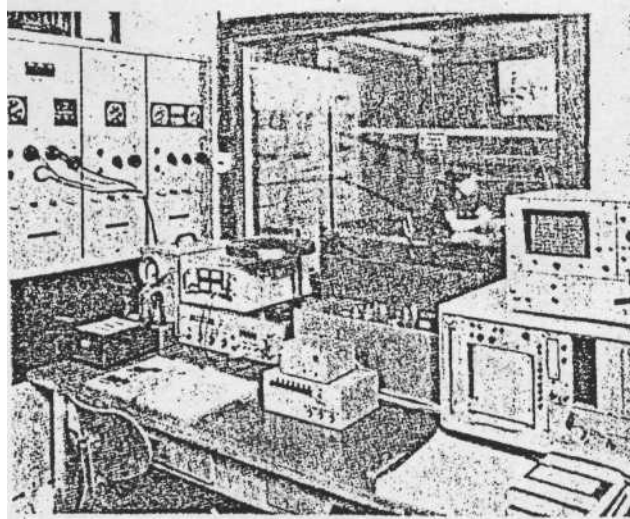
Elektrik alanı içinde yapılan deneyler için hava soğutmalı ve dış etkilerden korunan bir laboratuvar kurulmuştur. 2.5 x 2.5 metre büyüklüğünde tavan elektrodu, 1 cm'lik gözleri olan metal kafes şeklinde düzenlenmiş ve yerden 2.9 metre yüksekliğe

yerleştirilmiştir. Anahtarlama ve ölçme aletleri yandaki bir odaya konulmuş ve pencere yardımıyla laboratuvar bu odadan gözlenmiştir.

50 Hz frekansda 200 μ A'lık zamanla değişen bir akımı vücuttan üç saat süreyle özel bir aygıt kullanılarak geçirilmiştir. Bu aygıt elektrotlardaki, deri ve vücut dirençlerindeki periyodik değişimlerden etkilenmeden, sürekli bir akım sağlamaktadır. Akım iki elin bileklerine bağlı bilezik elektrotlarla vücuda girmekte ve ayak bileklerine bağlı elektrotlarla çıkmaktadır.

Magnetik alanla ilgili incelemeler için, laboratuarlarda, kare kesitli, 1.5 metre genişliğinde 24 cm derinliğinde üzerinde 40 sarım bulunan tahta bir çerçeve kullanılmıştır. Denek bu odada oturmuş ve hesaplanan alan şiddetleri ölçme sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Elektrik ve magnetik alanların birlikte uygulandığı deneyler için, laboratuvarında, yerden 3 m. Yüksekliğe yerleştirilmiş. 3.5 x 3.5 m büyüklüğünde ve 3 cm'lik gözleri olan metal bir kafes tavan elektrodu olarak yerleştirilmiştir. Magnetik alan kaynağı olarak iki adet bobin kullanılmıştır. Bunlar 4.5. x 2.5 metre büyüklüğünde tahta çerçevelerden oluşturulmuş ve 40 sarımlı olarak düzenlenmiştir. Bobinler 2 m aralıkla yerleştirilmiş olup, yer ile 45° ve birbirleriyle 90° açı yapacak şekilde koyulmuşlardır. Ölçme aletleri ayrı bir odaya alınmış ve laboratuvar bu odadaki bir pencere yardımıyla gözlenmiştir (Şekil 5.1 ve Şekil 5.2).



Şekil 5.1 Elektrik Alanın uygulandığı laboratuvarın ölçme odasından görünüşü.



Şekil 5.2 Elektrik ve magnetik alanların birlikte uygulandığı laboratuvar ve deneğin yerleşimi

5.2.3. Deney Sonuçları

Bu araştırmada bütün deneyler hem iç hem de dış etkilerin en aza indirildiği ve klinik-kimyasal ve tıbbi-teknik hataların giderildiği koşullarda gerçekleştirilmiştir.

Deneylerde, ölçülen tepki sürelerinin, deneğin ne ölçüde hazır olduğuna, dikkatine ve konsantrasyon yeteneğine bağlı olduğu saptanmıştır. Gözlemi yapan kişinin hiçbir etkisi olmamıştır. Çünkü kullanılan aygıt deneyin tüm işleyişini otomatik olarak denetlemiştir. Tepki süreleri yalnızca, üzerinde deneyin yapıldığı denek tarafından belirlenmiştir. Denetim deneyleri, bu zamanların, grup üzerinde ortalama olarak ne ölçüde değiştiğini göstermektedir. Onar kişilik gruplara bölünmüş toplam yüz kişiden elde edilen bilgiler istatistiksel olarak doğru kabul edilebilecek yapıdadır.

Elektrik alanı içinde yapılan deneylerin sonuçları tepki, sürelerinde, alan şiddetine bağlı olmayan bir iyileşme göstermektedir. Bu, uyarıcı bir etki olarak kabul edilebilir ve patolojik bir öneme sahip değildir. Diğer araştırmalarda ise önemli değişiklikler gözlenmemiştir.

Kan bileşimlerinin incelenmesinde, bütün deneylerde eritrositlerde ve hemoglobinde önemli değişiklikler görülmemiş, ancak lökositler, nötrofiller ve

retikülasitlerde artış gözlenmiştir. Ancak bu artışlar fizyolojik sınırlarda kalmıştır. Bu olgu bir uyan etkisi olarak düşünülebilir. Sedimentasyon hızı ve kan bileşimi (hızlılık testi ve trombositler)de deneylerde değişiklik göstermemiştir.

Kolesterol ve trigliseridler yalnızca elektrik ve magnetik alanların birlikte bulunduğu deneylerde gözlenmiş, değerler % 1 ile % 3 arasında değişim göstermiştir. Bu değişimler dikkate değer değişimler olarak nitelendirilmemiştir.

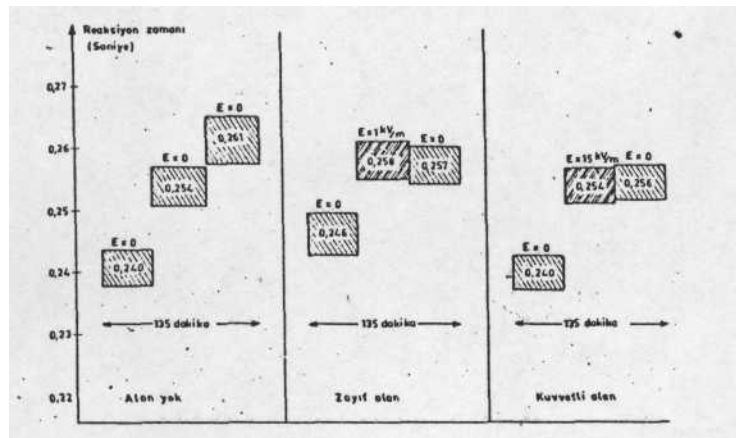
Elektrokardiyogram kayıtlarında da bir farklılık gözlenmemiştir. Sadece üç saatlik deney boyunca nabız sıklığında hafif bir düşme olmaktadır. Alan şiddeti ne olursa olsun bütün deneylerde aynı olgu saptanmıştır. Deneyler boyunca nabız atışında bir hızlanma kaydedilmemiştir. Nabız sıklığındaki düşüş, üç saat boyunca bir masa başında oturtulan her insanda görülebilecek bir rahatsızlık olarak açıklanabilir.

Deneyde yer alan kişilerin hiçbirisinde merkezi sinir sisteminde bir değişiklik gözlenmemiştir.

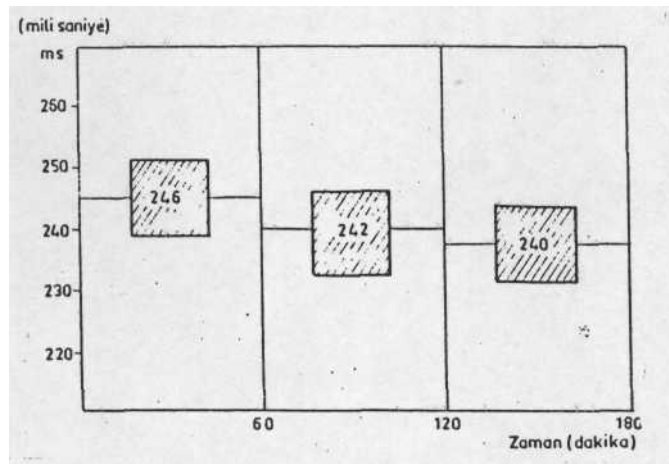
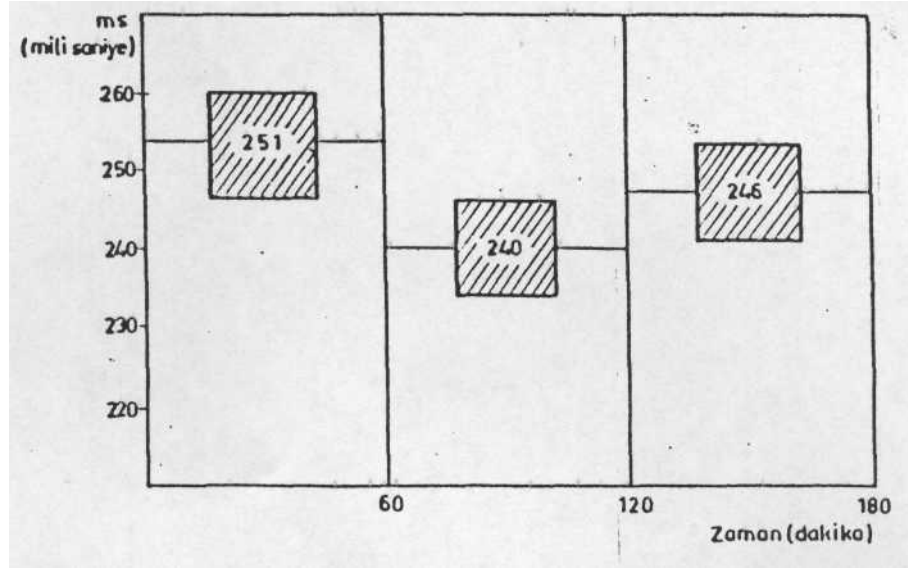
Atardamar basıncında alan etkisi gözlenmemiştir. Kan basıncı, her gün ölçüldüğü saatteki fiziksel, zihinsel ve psikolojik yorgunluğa bağlı olarak değişmektedir. Üç saat boyunca deney masasında oturan ve sağlık durumları daha önceki testlerde iyi olarak saptanmış olan deneklerde yukarıda adı geçen değişimler gözlenmemiştir. Bütün bu sonuçlar göstermektedir ki, uygulanan alan yada akımın etkileri önemli değişikliklere yol açmamaktadır.

Yapılan deneylerde alan etkiye süresi hep kısa tutulmakla birlikte sonuçlar uzun dönemli ve ciddi başka araştırmaların sonuçlarıyla büyük bir benzerlik göstermektedir.

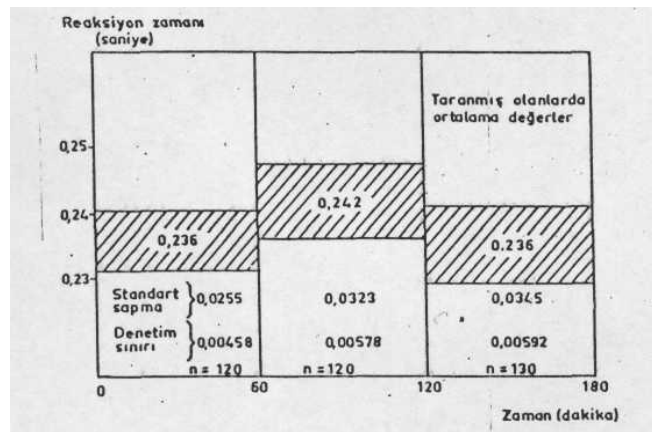
Deneylerden elde edilen sonuçlara ilişkin grafikler aşağıda verilmektedir.



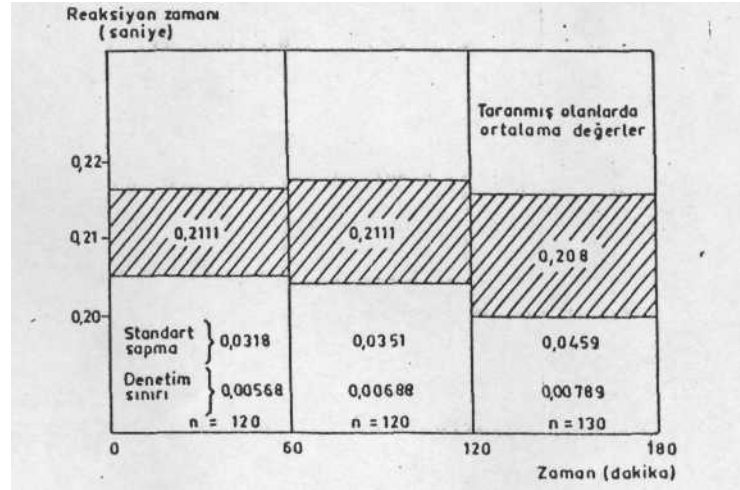
Şekil 6.4. 200 µA'lik akım etkisi altında tepkilerin ortalama değişimi



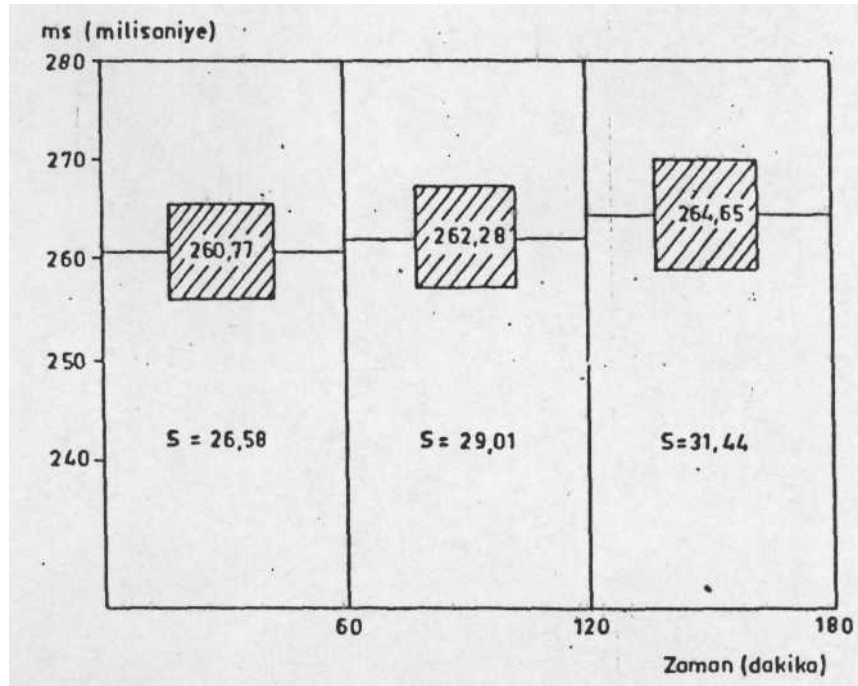
Şekil 5.5. Aynı koşullar altında gerçekleştirilen bir denetim testinde tepkilerin ortalama değişimi.



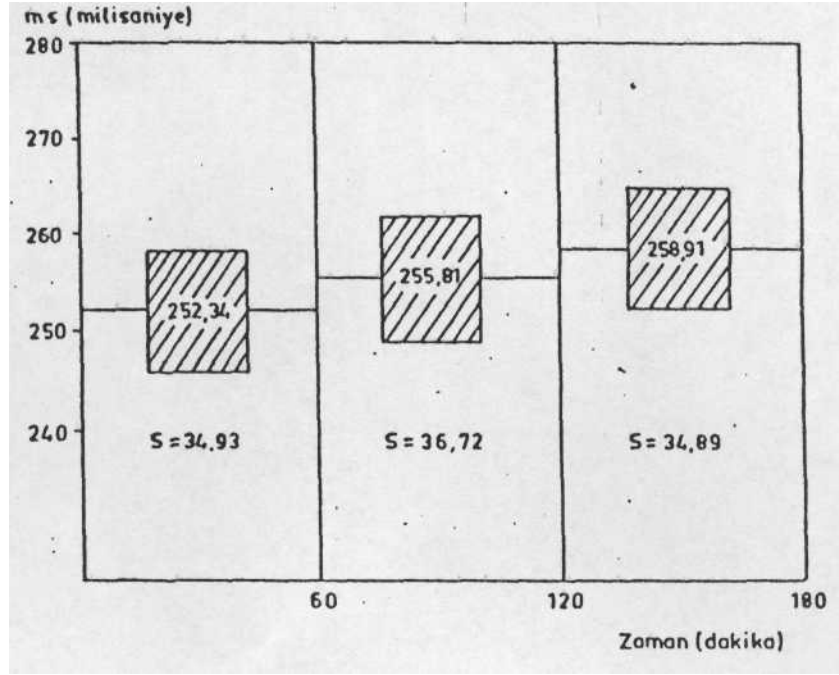
Şekil 5.6 Magnetik alan içinde tepkilerin durumu



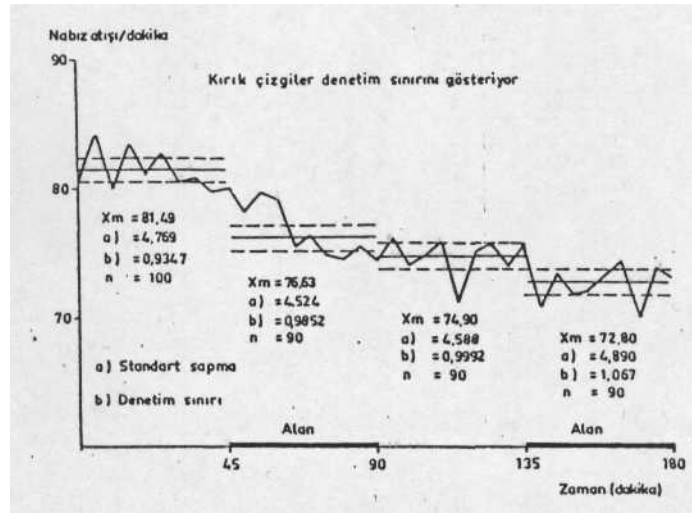
Şekil 5.7 Aynı deney koşullarında alan yokken tepkilerin durumu



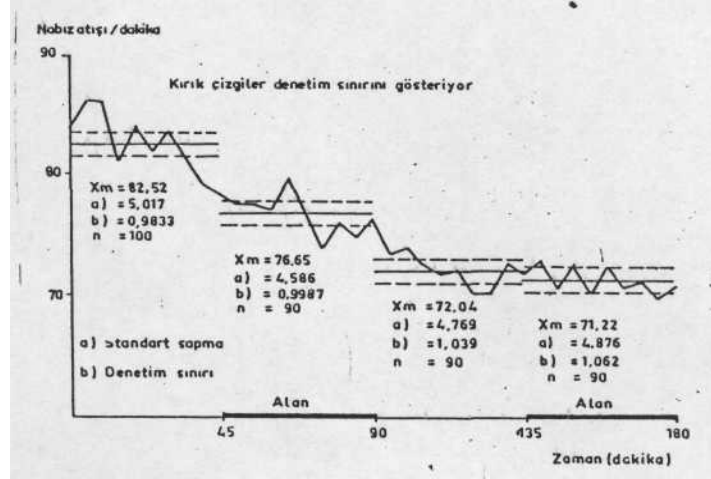
Şekil 5.8 20 kV/m'lik Elektrik alan ve 0.3 mT'lık magnetik alan birlikte uygulandığında tepki süresi.



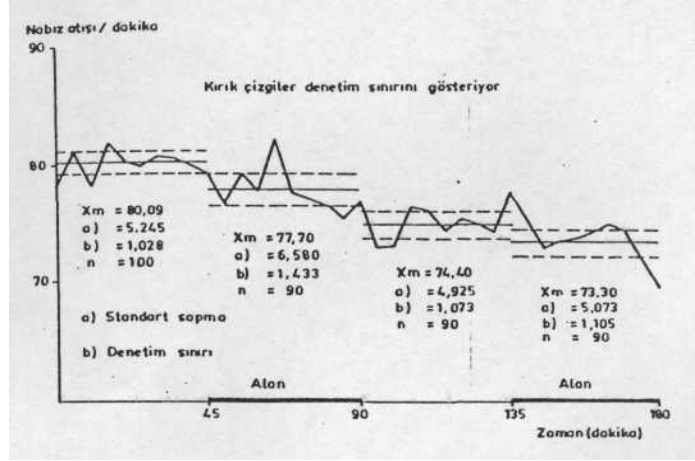
Şekil 5.9 Aynı deney koşullarında alan yokken tepki süresi



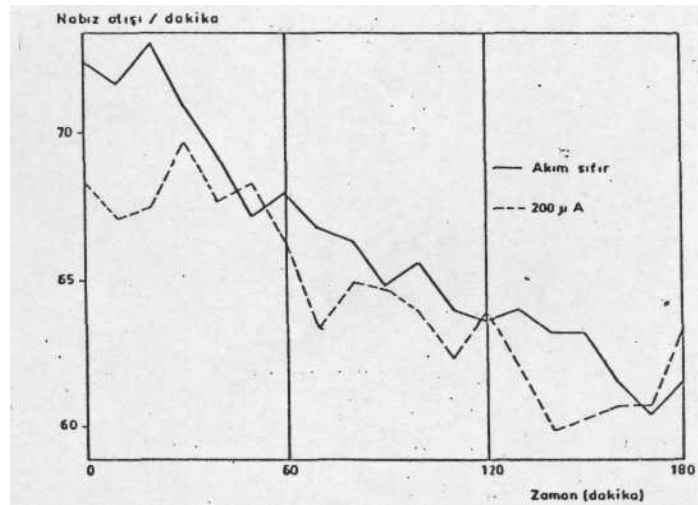
Şekil 5.10 15 kV/m'lik Elektrik alanı içinde nabız sıklığının değişimi



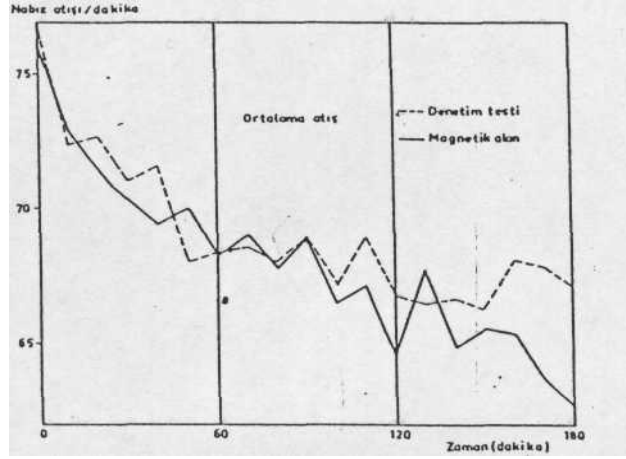
Şekil 5.11 1 kV/m'lik Elektrik alanı içinde nabız sıklığının değişimi.



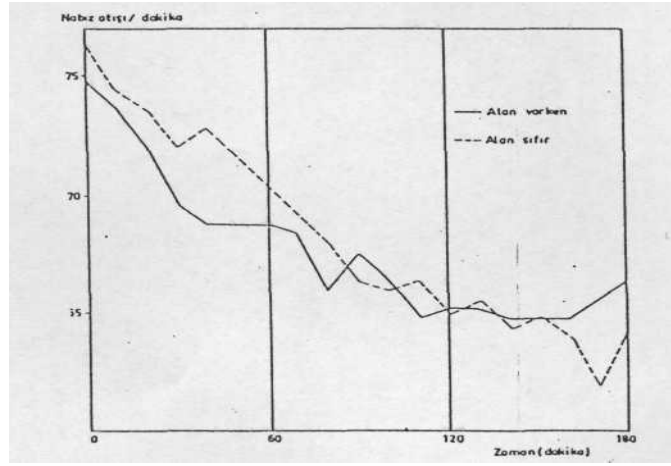
Şekil 5.12 Aynı deney koşullarında alan yokken nabız sıklığının değişimi



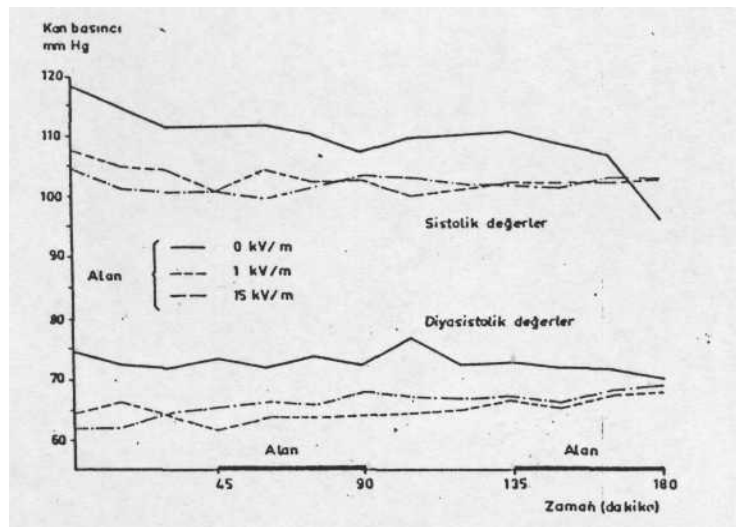
Şekil 5.13 50 Hz'de 200 µA'lık almaşık akımın üç saat süreyle vücuttan geçişinde nabız sıklığının değişimi.



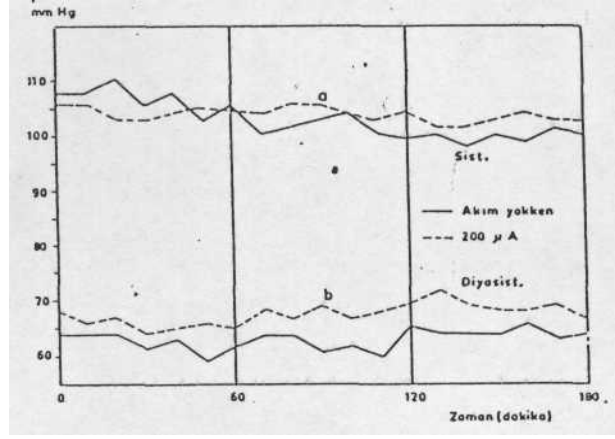
Şekil 5.14 Üç saat süreyle magnetik alan etkimesi sonucu nabız sıklığının değişimi.



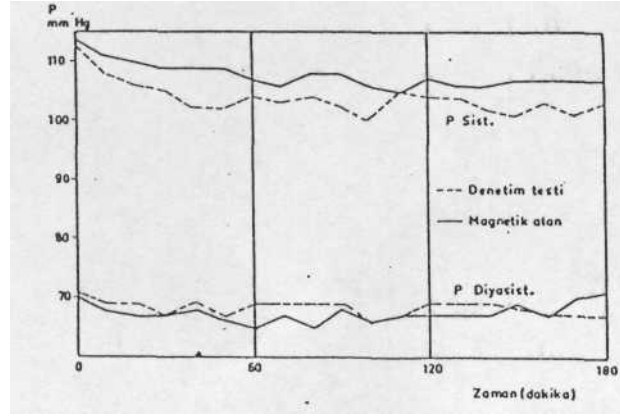
Şekil 5.15 Üç saat süreyle elektrik ve magnetik alanların birlikte etkimesi sonucu nabız sıklığının değişimi



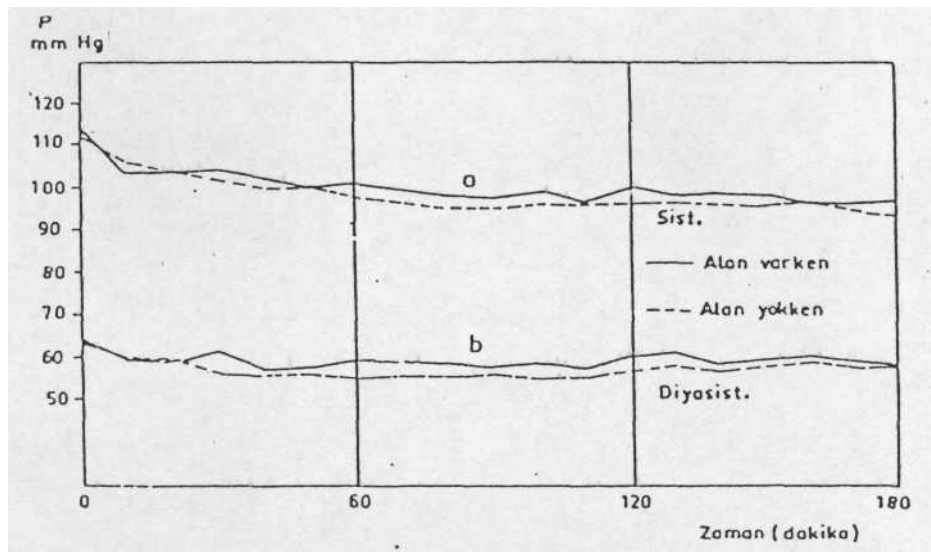
Şekil 5.16 Elektrik alanı içinde kan basıncının değişimi



Şekil 5.17 Üç saat süreyle 200 (μ A'lık (50 Hz'de) bir akımın geçmesi sonucunda kan basıncının değişimi.



Şekil 5.18 Aynı deney koşullarında magnetik alan etkimesi sonucunda kan basıncının değişimi.



Şekil 5.19 Elektrik ve magnetik alanların birlikte etkimesi sonucunda kan basıncının değişimi.

5.3 ALAN ETKİSİNDE ÇALIŞAN KİŞİLERİN TIBBİ DENETİMİ

5.3.1 Giriş

Burada, elektriğin neden olabileceği bazı kazaları incelemek amacıyla yapılmış bir çalışma aktarılmıştır. Elektromagnetik alanların etkisinde çalışan kişilerde psikosomatik değişimlerin oluşması olasılığı üzerine yapılan araştırmaların farklı sonuçlar vermesi üzerine bu çalışma yapılmıştır. Bu konu ile ilgilenen kişileri sürekli olarak uğraştıran sorunlardan birisi, meslek hastalıkları olarak bilinen hastalıkların dışında karşılaşılan bazı hastalıkların mesleğe ilişkin hangi öğelerden kaynaklandığını bulmak olmuştur. Ayrıca, bir işçinin sağlık durumunda görülen herhangi bir değişimin yaptığı iş ile ilgili olup olmadığını saptamak da kolay olmamaktadır. Üstelik kişilerin hastalıkları ile dıştan kaynaklanan bir olay arasında ilişki bulmaya olan eğilimleri, elde edilen sonuçların doğru olarak yorumlanmasını güçleştirmektedir.

Burada kazaların ve hastalıkların olası kaynağı olarak sadece elektrik alanların etkileri incelenmiştir.

5.3.2 Yapılan İncelemeler

Elektromagnetik alanların insanlar üzerindeki etkilerinin saptanması amacı ile, alan etkisinde çalışan işçiler periyodik incelemelerden geçirilmiştir. Bu incelemeler, transformatör merkezleri ve yüksek gerilim hatlarında çalışan 84 işçiden oluşan deney grubu ile alçak gerilim hava hatlarında çalışan 94 işçinin üzerinde yapılmıştır. Ayrıca bu çalışmada gerilim hatlarında çalışan 76 işçinin tıbbi muayene sonuçları da yer almaktadır.

Araştırma sonuçlarının incelenmesine geçmeden önce, transformatör merkezlerinde ve yüksek gerilim hatlarında çalışan işçilerin yaptıkları işlerin niteliğinden söz etmek yararlı olacaktır.

Transformatör Merkezi İşçileri

A- Alışılmış Görevler

Sekizer saatlik üç vardiyanın yapıldığı günlük normal çalışma, esas olarak, arızaların gözlemlendiği denetim kabini içerisindeki gösterge panolarının izlenmesinden oluşur. Her saat başında bu göstergeler gözden geçirilerek, okunan değerleri ilgili deftere kaydedilir. Yükün durumuna bağlı olarak gerilimin ayarlanması için de bir uzak

denetim birimi devreye sokulur. Her vardiyada ilgili işçi, transformatörlerin sıcaklığını denetlemek için dışarıya çıkar.

Sabah vardiyasında yüksek gerilim taşıyan aletlerin incelenmesi, kumanda odalarına girilerek yapılır. Transformatör merkezine dört adet 400 kV'luk, üç adet 220 kV'luk ve altı adet de 138 kV'luk hat gelmektedir. Söz konusu hatların yakınında çalışan işçiler, burada en fazla on beş dakika kalır.

B- Alışılmışın Dışındaki Görevler

Bir boşalma olayı görüldüğünde (bu, yılda en fazla 13-14 kez olmaktadır.) normal olarak, otomatik kapama devresi çalışır, eğer sonuç alınamazsa gerekli önlemlerin alınması İçin işletme dairesine haber verilir. Daha sonra kumanda odalarındaki aletlerin hangilerinin bozulduğu saptanır.

Yüksek Gerilim Hatlarında Çalışan Hat İşçileri

A- Alışılmış Görevler

Bu görevler hattın denetimi için yapılan çalışmaların bütününden oluşur. Hattın denetimi için hat işçisi tekerlekli bir araç kullanarak, ustabaşından göstereceği yerlere giderek, arabanın dışında (ayakta) en fazla 10 km uzunluğundaki hattın denetim ve ölçümlerine başlar. İşçi yolu üzerindeki direklerde, yalıtımda yada iletkenlerde bir arıza olup olmadığını araştırır. Olağanın dışında bir durumla karşılaşırsa kendisi hiçbir şey yapmadan ustabaşına haber verir. Bu çalışma haftada 3-4 kez tekrarlanır. Denetlenecek yerler ustabaşı tarafından belirlenir.

B- Alışılmışın Dışındaki Görevler

Bu çalışmalar, arızaların giderilmesi çalışmalarından oluşur.

- * İzolatörlerin değiştirilmesi,
- * İletkenlerdeki Arızaların Giderilmesi,
- * İşe Yaramayan (kırılmış) direklerin yenilenmesi.

Bir ay içerisinde üç yada dört arıza görülür. Onarım işleri, bir ustabaşı yada idareci yönetiminde, koruma grubunun elemanlarından oluşan bir ekip tarafından yürütülmektedir.

Ana gerilim hattında çalışan işçiler, aşağıdaki hatların bakımını yapmaktadırlar. (Parantez içindeki sayılar çalışma süreleridir) Telefon hatları (toplam

Çalışma sresinin % 10'udur.), 11 kV'luk hatlar (%5'i), 66 kV'luk hatlar (%25'i), 132 kV'luk hatlar (%25'i), 220 kV'luk hatlar (%20'si), 400 kV'luk hatlar (%15'i).

5.3.3 Elde Edilen Sonuçlar

Bu bölümde elde edilen bulguların ayrıntılı olarak incelenmesi, birbirleriyle olan ilgilerinin saptanması yer almaktadır. Bu bulgular dört yıllık bir döneme ilişkindir. Söz konusu bulgular aşağıdaki plana göre yapılan bir incelemenin sonucunda elde edilmiştir.

* İşçi tarafından yanıtlanmak üzere, onun kalıtımsal ve kişisel geçmişi, beslenme alışkanlıkları, sigara ve iki kullanıp kullanmadığı, hareketlilik derecesi, kalıtımsal ve kişisel olarak şişmanlık eğilimi, fiziksel gücü, kalp ve beyin gibi organları bakımından atardamar yetmezliğı gibi konulara ilişkin bir dizi soru hazırlamak,

- * Doktor tarafından kaydedilen anamnezler,
- * Klinik incelemeleri; vücut ölçüleri, ağırlık, gerçek yaşını ne ölçüde gösterdiği, atardamar atışı, osilometrik endeks, v.b.
- * Gzn ağı tabakasının incelenmesi,
- * Göğsün röntgen muayenesi,
- * Elektrokardiyografik inceleme,
- * Biyolojik inceleme; glikoz, koleterol, trigliseridler, üre, kandaki ürik asit,
- * Kanla ve İdrarla İlgili muayeneler.

Ana Gerilim Hatları ve Transformatör Merkezleri

A- Periyodik İncelemelerde Kaydedilen Değışiklikler

Lkomotr Sistemde	% 27.9
Sindirim Sisteminde	% 25.0
Sinir Sisteminde	% 16.7
Kulak-Bunun-Boğaz	% 13.1
Dolaşım Sisteminde	% 11.9..
Solunum Sisteminde	% 10.7
Oftalmolojide	% 4.5
Genito-riner Sistem	% 3.6
Dermotolojide	% 2.3

Endokrin Sistemde % 0.8

Sağ tarafta gösterilen sayılar, adı geçen değişikliklerin gözlemlendiği işçi sayısının incelemeye katılan toplam işçi sayısına oranını yüzde olarak vermektedir.

Kan Çözümlemesi (Sayılar incelenen gruba ilişkin ortalamalardır)

Üre	%27.2mg.
Glikoz	% 94.5 mg.
Ürik Asit	%4.7mg.
Kolesterol	% 225.0 mg.
Trigliseridler	% 154.6 mg.

84 kişilik grubun yaş ortalaması 47.27'dir.

B- Hastalık Neden Gösterilerek Görevden Uzak Kalış

Hastalanıp İzin Alanların Sayısı	121
Kaybedilen Süre (gün olarak)	2541
Ortalım Sıklık	35.12

C-Hastalık Nedeniyle İzin Alanların Rahatsızlıklarına Göre Sınıflandırılması

Bronşit-Grip	% 41.1
Sindirim hastalıkları	% 16.3
Lokomotif Sistem Hastalıkları	% 19.4
Otorinolojik Hastalıklar	% 9.7
Genito-Üriner Hastalıklar	% 6.9
Sinir Sistemi Hastalıkları	% 2.5
Cilt Hastalıkları	% 0.8
Göz Hastalıkları	% 0.8
Adlandırılmayan Teşhisler	% 2.5

Alçak Gerilim Hatları, Elektrik Ölçme Aletleri ve Arızalar

A- Periyodik İncelemelerde Kaydedilen Değişiklikler

Lokomotif Sistem	% 14.8
Sindirim Sistemi	% 20.8

Kulak-Burun-Boğaz	% 19.9
Dolaşım Sistemi	% 11.1
Sinir Sistemi	% 11.1
Solunum Sistemi	% 11.1
Oftalmoloji	% 3.7
Genito-Üriner Sistem	% 4.4
Dermatoloji	% 1.8
Endokrin Sistem	% 1.8

Kan Çözümlemesi (sayılar incelenen gruba ilişkin ortalamalardır.)

Üre	% 26.5 mg.
Glikoz	% 96 mg.
Ürik Asit	% 4.7 mg.
Kolesterol	% 220 mg.
Trigliseridler	% 148.4 mg:

94 işçinin yer aldığı grubun yaş ortalaması 43.78 dir.

B- Hastalık Neden Gösterilerek Görevden Uzak Kalış

Hastalanıp izin alanların sayısı	177:0
Kaybedilen süre (gün cinsinden)	3881.0
Ortalama Sıklık	47.07

C- Hastalık Nedeniyle İzin Alanların Rahatsızlıklarına Göre Sınıflandırılması

Bronşit-Grip	%45,5
Sindirim Hastalıkları	%11,4
Lokomotif Sistem Hastalıkları	%17
Otorinolojik Hastalıklar	%14,2
Dolaşım Hastalıkları	%4,5
Genito-Üriner Hastalıklar	%3,4
Cilt Hastalıkları	%1,1
Göz Hastalıkları	%1,1
Adlandırılmayan teşhisler	%1,7

5.3.4 Değerlendirme

a) İncelemelerin Sonuçları

Gözlenen düzensizliklerin yüzdesi, birinci grupta daha yüksek bulunmuştur. Bu grubun yaş ortalamasının ikinci gruptan 3.5 yıl daha fazla olması ve aşağıda sayılan nedenler bu farklılığı açıklayabilir. Aşağıdaki üç sistemde de, birinci gruptaki kişiler için oldukça yüksek düzensizlik oranı görülmüştür.

b) Sindirim Sistemi

Beslenme alışkanlıkları hem zamanlama hem de yiyeceklerin cinsi açısından bir gruptan diğerine farklılık göstermektedir. Birinci grupta, ana gerilim hattında çalışan işçilerden bir kısmı ara sıra piknik tipi soğuk yiyecekleri tercih etmişlerdir. İkinci gruptaki işçilerin hemen hepsi, yiyeceklerini evde yada ev yemeklerine benzer yemeklerin bulunacağı yerlerde yemektedirler.

c) Lokomotif Sistem

Kaydedilmiş düzensizliklerin hemen hepsi romatizma cinsinden rahatsızlıklardır. Ana gerilim hatlarında çalışan işçiler, diğer gruptakilere göre daha soğuk ve nemli ortamlarda bulunmaktadır.

d) Sinir Sistemi

En fazla görülen rahatsızlıklar baş ağrıları olmuştur. Bu ağrıların yapılan iş ile ilgili olup olmadığını saptamak için yapılan araştırmaların sürdürülmesi gerekmektedir. Biyokimyasal incelemelerin sonucunda önemli sayılabilecek farklılıklara rastlanmamıştır.

e) Hastalık Neden Gösterilerek Görevden Uzak Kalma

İncelemelere ve görevden uzak kalış sıklığına ilişkin sayılar arasında bir çelişki gibi görünmektedir; birinci grupta daha fazla rahatsızlık kanıtlarına fakat daha az hastalık nedeniyle izine çıkma olaylarına rastlanmaktadır. Bunun nedeni şöyle açıklanabilir; ana gerilim hatlarında çalışan işçiler bedensel olarak daha kuvvetlidirler, bu yaptıkları işin gereğidir. Hastalık nedeniyle izne ayrılmalarda hatlarda çalışan işçilerde, sürekli olarak istasyonda çalışan işçilere göre daha az sayıdadır.

5.3.5 Sonuçlar

Bu araştırmada yer alan verilerden, elektromagnetik alanların işçiler üzerinde uzun süreli patolojik etkilerinin olmadığı sonucu çıkarılabilir. Ancak, işçilerin alan etkisinde kalma sürelerinin, özellikle çok yüksek gerilimler söz konusu olduğunda (400 kV), oldukça kısa olduğunu unutmamak gerekir:

Burada incelenmesi gereken bir sorun, baş ağrılarının yapılan iş ile ilgisinin olup olmadığının saptanması olduğu görülmektedir.

5.4. 60HZ FREKANSLI DEĞİŞKEN ELEKTRİK ALANLARIN ETKİLERİ

5.4.1 Giriş

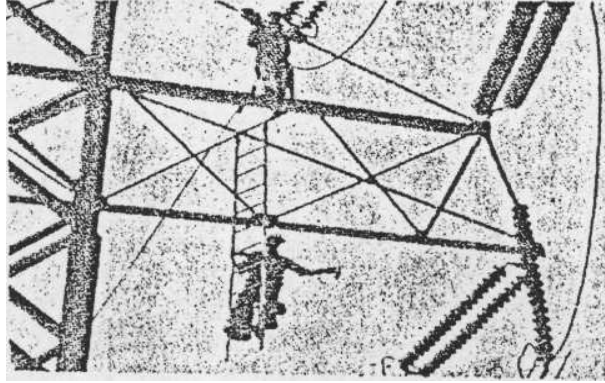
1960'lı yıllarda Amerika'da 60 Hz frekanslı yüksek gerilim alanlarının insanlar üzerindeki etkilerinin incelenmesi amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada enerjili yüksek gerilim hatlarının bakımında çalışan hat işçilerini etkileyen elektrik alanların şiddetleri üzerinde yapılmış deneysel yaklaşımlar ele alınmaktadır. Bir bölümü alışlagelmiş bakım işlerinde çalışan, bir kısmı ise enerji yüklü bir iletkenle bağlı hava asansörü kovanından çıplak elle çalışan 11 işçi üzerinde yapılmış bir dizi fizyolojik incelemenin sonuçları verilmektedir. 42 aydan fazla süren bu incelemeler Maryland-Baltimore'daki The John Hopkins Hastanesi personelinin yardımıyla gerçekleştirilmiştir [21]. :

Elektrik enerjisine duyulan ihtiyacın artması ile birlikte iletim hatlarının gerilim seviyeleri de artmaktadır. Yüksek gerilimlerle enerji iletiminin yaygınlaşmasıyla, güvenliği sağlayacak önlemler, alan şiddetleri, vücut akımları ve çalışma çevresi ile ilgili incelemelerde hızlanmıştır.

Bu kısımda bahsedilecek olan çalışmada da alan şiddeti ölçümleri ve yüksek gerilim hatlarının bakımında çalışan işçilerin fiziksel muayenelerinin sonuçlarına değinilecektir. Söz konusu muayenelerden ilki 1962, ikincisi 1963, üçüncüsü 1964, dördüncüsü Ağustos 1965 ve beşincisi de Mayıs 1966'da yapılmıştır.

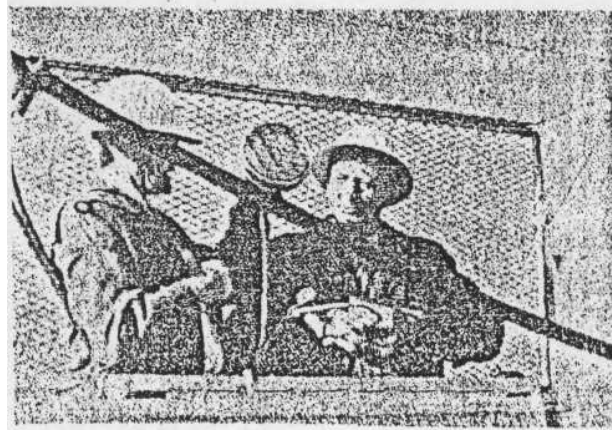
Yüksek gerilim hatları çevresinde oluşan kuvvetli elektrik alanların etkisinde çalışan işçilerin maruz kaldığı alan şiddeti Miller'in alan şiddeti ölçü aleti ile ölçülmüştür. Bu alet 60 Hz'de 0.39 kv/cm'lik düzgün bir elektriksel alana dik konumda yerleştirildiğinde 1 μ A'lık bir akım (0.085 μ A/m²'lik bir akım yoğunluğu) ölçebilecek şekilde tasarlanmıştır. Bir işçi topraklanmış bir şekil de bir çelik kulenin çapraz kolunun üzerinde çalışırken, elektrik alan çizgileri vücudunun tüm yüzeyi üzerinde sonlanır ve işçinin vücudu boyunca, toprağa akan bir elektrik akımı indüklenir. Bu akımın değeri, işçiyi topraktan yalıtarak ve toprakla arasına duyarlı bir ampermetre bağlanarak ölçülür. Eğer işçi topraklanmamışsa, vücudunun bir tarafından giren yer değiştirme akımı vücudundan geçerek,, toprağa kadar inen kuvvet çizgileri oluşturur. Bu durumda işçi yerden farklı bir gerilimle yüklenebilir ve topraklanmış bir cisme dokunduğunda küçük bir şok hissedebilir. Şekil (5.20)'de

345 kV'luk bir hattın elik iletim kulesinin çapraz koluna asılı bir merdiven üzerindeki topraklanmamış bir işçinin Miller'ın ölçü aleti ile elektrik alan şiddetini ölçmesi gösterilmiştir. İşçi enerjili hatta ne kadar yakınsa, okuduğu alan şiddetinin değeri o kadar büyük olur.



Şekil 5.20 345 kV'luk bir kafes direk üzerindeki elektrik alan şiddetini ölçen topraklanmamış hat işçileri.

1837 yılında Michael Faraday, bir cismi dışarıdaki elektrik alandan korumak için, iletken bir ekranla çevrelenebileceğim göstermiştir. Bu şekilde elektrik alan çizgileri ekran üzerinde sonlanmakta ve içerdeki cisim korunmaktadır. Bu nedenle, hat işçisi metal bir ekran kafes yada iletken bir giysi kullanarak, elektrik alanından korunabilmektedir. Bu yöntem Faraday kafesi yöntemi olarak adlandırılır. İşçi, yalıtkan bir zincir vasıtasıyla iletim hattına asılı duran, dört bir yanı ve tabanı iletken bir örtüyle kaplı bir kova içerisinde çalışmaktadır. Ekran görevi gören bu iletken örtü, toprağa bağlandığında, tabandaki metal tabaka üzerinde ayakta duran işçi, belinin biraz üstüne kadar etkiyen tüm elektrik alanı kuvvet çizgilerinden korunur. Vücudun st kısmı ise, kova kenarından 100 cm yukarıya kadar uzanan ve bir arkalık görevi gören uygun yükseklikte bir metal ekran ile kaplanmıştır. Bu arkalığın üzerine, işçinin başını koruyacak biçimde bir st ekranda eklenebilir (Şekil 5.21).



Şekil 5.21 Arkalığı ve üst ekranı olan bir kova içindeki hat işçisi.

5.4.2. Araştırma Yeri

Bu çalışmada alanlarla ilgili deneyler, Ohio Elektrik Şirketi'nin Doğu Lima'daki ara istasyonunda yapılmıştır. Bu sitasyon ve elektrik şebekesi, 2 adet 345 kV'luk ve 6 adet 138 kV'luk enerji hattının birleşim noktasıdır. 345 kV'luk şebeke 380 x 320 feet'lik bir alanı kaplamaktadır. X ışını radyasyonu araştırması, elektrik alan şiddeti ölçümleri ve çeşitli koşullarda işçinin vücudundaki akımların büyüklüğünü ve dalga biçimini saptama incelemelerini kapsayan çalışmalar aşağıda açıklanmıştır.

5.4.3. X Işını Radrasyonu

Korona boşalmalarının yalnızca güç kayıplarına neden olmadığı, aynı zamanda insanlar için zararlı ozon ve radrasyon oluşumuna neden olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, Doğu Lima ara istasyonunda ve istasyon dışındaki yüksek gerilim hatlarının altındaki alanlar, bir kez serin havada (Aralık 4,1962), bir kez de sıcak havada (Temmuz 28, 1965) incelenmiştir.

Yapılan iki incelemede de X ışını radrasyonu Gayger Müller sayacı ile ölçülmüştür. Aralık ayında yapılan araştırmada gruptaki bütün kişilerin iyonlaşma maskeleri taktığı ve ayrı ayrı mühürlü paketlerde bulunan fotoğraf negatiflerini, 345 kV'luk iletim hattının bir iletkenine yerleştirdikleri belirtilmektedir. Negatifler haftalık aralıklarla alınarak radrasyon olup olmadığı incelenmiştir.

İnceleme sonucunda herhangi bir radyasyon izine rastlanmamıştır. Her iki incelemede de, ara istasyonun toprak arazisi Gayger sayacı ile incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

345 kV'luk bir hatta bağlı kova içinde de Gayger sayacı ile bazı değerler ölçülmüş ve işçinin vücudundaki radyasyon ile topraktaki aynı bulunmuştur. Yine herhangi bir yüksek gerilim hattından uzaktaki bir otelde ölçümler yapılmış ve bulunan değerlerin ara istasyondakilerle anı olduğu saptanmıştır.

Ara İstasyonda yapılan ölçümler sonucu bulunan radyasyon değerleri, herhangi bir yerdeki radyasyondan fazla değildir. Söz konusu radyasyon değerleri kozmik ışınlar ve topraktan çıkan radyoaktif gazlarla oluşmuşlardır ve zararsız seviyededirler. Hatlarda ve aletlerin üzerinde hiçbir korona yada ozon oluşumuna rastlanmamıştır.

5.4.4 Elektrik Alan Şiddeti

Çalışmada, hat işçisinin etkisinde kaldığı alan şiddetini ölçmek için alan ölçer kullanılmıştır. 345 kV'luk hatta bağlı yalıtılmış bir kova içinde çıplak elle çalışan bir işçinin, etkisinde kaldığı elektrik alan şiddeti değerleri Tablo 5.1.'de, farklı kova ekranlama dereceleri için gösterilmiştir.

Tablo 5.1 345 kV'luk enerjili bir iletkenle bağlı bir hava asansörü kovasındaki bir işçinin vücudundaki elektrik alan şiddetleri üzerine farklı kova ekranlama derecelerinin etkileri.

Vücut Bölgesi	Tam Kova Ekranlama* (Arka Duvarı ve Üst Ürtüsü)	Tam Kova Ekranlama (Arka Duvarı ve Üst Ürtüsü Yok)	Yarım Kova Ekranlama** (Arka Duvarı ve Üst Ürtüsü Yok)
Başın Üst kısmı	0,4	12,0	11,0
Yüz	(alınmadı)	--	7,5
GÖĞÜS			
Ön	1,0	4,0	2,5
Sol	1,0	5,4	--
Arka	0,0	7,0	5,0 - 7,0
Sağ	0,8	8,0	--
Kasık	0,0	0,0	0,5
DİZ			
Ön	0,0	0,0	--
Sol	0,0	0,0	1,0
Arka	0,0	0,0	2,0
Sağ	0,0	0,0	2,5 - 4,0
Ayak	0,0	0,0	--

* Taban plakası; ön, arka ve yan ekranlar.
 ** Taban plakası; ön, arka ve yan ekranları yok; kova kenarında 6 inch'lik bir bant var.

Tablo 5.1.

Açıklanan verilerden, Faraday kafesinin kullanılmasıyla, hat işçisinin etkisinde kaldığı elektrik alan şiddetlerinin ihmal edilebilecek düzeyde olduğu anlaşılmaktadır.

5.4.5 Vücut Akımları

Yapılan çalışmada, direklerde ve kovalarda çalışan işçilerin vücudunda, değişken elektrik alanların indüklediği akımlar, işçilerin vücudu ile toprak arasına bağlanan bir mikro ampermetre ile ölçülmüştür.

Çelik bir kule üzerinde çalışan işçilerin vücut akımlarının ölçümü, ara istasyonun biraz batısında yer alan 345 kV'luk bir hatta yapılmıştır. Ölçümlerle ilgili sonuçlar Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.2 Hat işçisinin konumuna göre vücut akımlarının değerleri

Hat işçisinin Yeri	Vücut Akımı (μ A)
Kulenin orta çapraz kolunda, yüzü üst faz iletkenine dönük olarak, ayakta duruyor iken:	100 - 150
Kulenin üst çapraz kolundan asılı bir merdivenin orta basamağında ayakta duruyor iken:	395
Kulenin aşağıdaki çapraz kollarından birine asılı bir merdiven üzerinde ve sıcak-çubuk kullanıyor iken:	400

Doğu Lima yakınındaki 138 kV'luk bir enerji iletim hattı direğinde benzer koşullar altında, çapraz kol yada asılı merdivenler üzerinde çalışan işçilerin vücut akımları 80-125 μ A olarak ölçülmüştür. Her durumda, akım değerleri, plastik eldiven kullanılsın veya kullanılsın, aynı bulunmuştur.

345 kV'luk hatta bağlı bir kova içerisinde çalışan işçiler üzerinde yapılan akım ölçümlerinin sonuçları Tablo 5.3'de verilmiştir.

Farklı kova ekranlama derecelerine göre vücuttan akan akım değerleri

Kova Ekranlama Dereceleri	Ellerin Yeri	μA
Tam kova ekranı; arka duvarı ve üst ekran	Aşağı Çalışma yerinde Uzatılmış	85 130 --
Tam kova ekranlama; arka duvarı ve üst ekran yok	Aşağı Çalışma yerinde Uzatılmış	580 660 840
Yarım kova ekranı; taban ön ve arka ekranları; kova kenarlarındaki, ar- kadaki ve üstteki tam ekranlar yok	Aşağı Çalışma yerinde Uzatılmış	190 225 345

Tablo 3 Kova Ekranlama Dereceleri

Kovanın kenarlarından arkalığına ve üst ekrana kadar ek ekranlar kullanılırsa söz konusu akımların azaltılabileceği görülmektedir. Eğer kova tümüyle ekranlanmışsa işçinin etkisinde kalacağı akımların değerinin çok düşük olacağı açıktır. Eğer arkalık ile üst ekran kaldırılırsa, alan etkisinde kalan vücut yüzeyi artacak ve akımlar yaklaşık 5 kat yükselecektir.

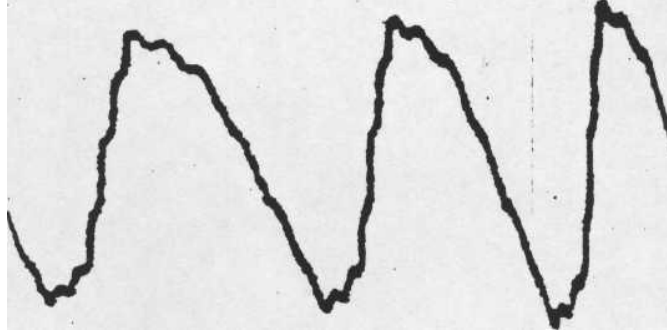
5.4.6 Vücut Akımının Dalga Şekli

Enerjili yüksek gerilim hattına bağlı bir kova içinde çalışan işçilerin vücudunda, değişken elektrik alanların indüklediği akımların dalga şekli, bir osiloskop ekranından fotoğrafları çekilerek gözlenmiştir. Akımı ölçmek için kullanılan mikro ampermetre'ye seri olarak 4700 μ 'luk bir karbon direnç bağlanmış, direnç üzerinde oluşan gerilim düşümü osiloskopta gözlenmiş ve şeklin fotoğrafı çekilmiştir. Osiloskop ve diğer aletler hava asansörüne konulmuştur.

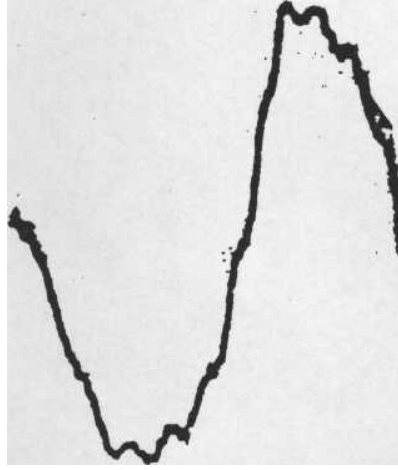
Elektrik alanında çalışan işçinin vücudunda indüklenen 100 μA 'lık akımın dalga şekli Şekil 5.22'de, 200 μA 'lık akımın ise Şekil 5.23'de gösterilmiştir. Hiçbir şekilde korona belirtisine rastlanmamıştır. Dalgalarda görülen düzensizlikler, asansör motorunun çalışmasının yarattığı titreşimden kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.22 Hat işçisinin vücudundan geçen 100 μA 'lık indükleme akımının dalga şekli.



Şekil 5.23 Hat işçisinin vücudundan geçen 200 μ A'lık indüklemeye akımının dalga şekli.



Şekil 5.24 Korona belirtisinin görüldüğü 400 μ A'lık indüklemeye akımının dalga şekli.

345 kV'luk bir hatta bağlı hava asansörü kovanındaki bir işçi, kollarını yana açıp, elini elektrik alanın içine uzattığında, parmak uçlarında korona oluşur ve yanmaya yada iğne batışına benzer bir his duyar. Şekil 5.24'de gerilimden önde giden akım dalgasının inen eğimli kısmında, korona boşalmasının varlığı gözlenmektedir.

Değişken elektrik alanlarının şiddeti, korona oluşumunun görüldüğü değer olan 19.7 kV/cm'e erişinceye kadar elektrik şoku biçiminde bir algılamaya neden olmaz. 2,4-2,7 kV/cm değerindeki elektrik alanlar, eller üzerindeki tüylerin dikleşmesine neden olur. Bu değer, elektrik alanı hissetme düzeyi olarak adlandırılır.

5.4.7 Yüksek Gerilim Hat İşçilerinin Tıbbi Bakımdan İncelenmesi

Ohoio Elektrik Şirketi ile Appalachian Elektrik Şirketi'nin (Amerikan Elektriksel Güç Şirketi) toplam 11 işçisi üzerinde tıbbi araştırmalar yapılmıştır. Söz konusu araştırmalar

sırasında muayeneler, John Hopkins Hastanesi'nde, hastaneye yatırılmadan 17 Aralık 1962 ve 23 Mayıs 1966 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın başlangıcında yaş ortalaması 35 olacak şekilde, 30-47 arasındaki yaşlarda insanlar seçilmiştir. Ohio Elektrik Şirketinden, 345 kV'luk hatlarda çıplak el çalışması yapmış ve bakım çalışmasında da bulunmuş 5 işçi seçilmiştir. Appalachian Elektrik Şirketinden ise çıplak elle çok az çalışmış ancak pekçok saat bakım çalışmasında bulunmuş 6 işçi seçilmiştir. Tablo 5.4'de araştırma süresince kaç saat çalışıldığı gösterilmiştir.

Tablo 5.4 Araştırma için seçilmiş işçiler tarafından yapılan enerjili hat bakımı.		
* Ohio Elektrik Şirketi		
** Appalachian Elektrik Şirketi		
İşçiler	Klasik Bakım Yöntemi	Çıplak Elle Bakım
1	200	4800
2	200	270.1
3	500	433.8
4	800	746.5
5	3800	13.0
6	477	7.5
7	515	63.85
8	500.5	0
9	700	2.0
10	493	69.35
11	499.5	0

Muayeneler 1,2,2.5,3 ve 3.5 yıllık sürelerle her işçinin tıbbi geçmişini araştırmak ve fiziksel denetimini yapmak biçiminde uygulanan programlanmış çalışmalar şeklinde yürütülmüştür. İşçilerin 10 tanesi toplam 4 muayeneden geçirilmiş, Ohio Elektrik Şirketi'nden olan 3 no'lu işçi ise çalışmaya Ocak 1965'de katıldığı için ancak 3 defa muayene olmuştur. Fiziksel muayeneler, aynı zamanda laboratuvarda sürdürülen incelemeleri de yöneten bir doktor (Dr. M.L. Singevvald) tarafından gerçekleştirilmiştir.

Laboratuvar araştırmalarında kan kimyası (serum üre azotu, kan şekeri ve serum kolesterol, ürik asit, idrar analizi ve dışkı muayenesi) incelenmiştir. Troidin işlevi, böbreğin çalışması ve karaciğerin işlevi incelenmiştir. Her muayenede 12

elektrokardiyogram alınmış, elektroansefalogramlar kaydedilmiştir. 3 nolu işçi dışında 3.5 yıllık süre içinde her işçi üzerinde 4 ayrı kayıt alınmıştır. Bunun yanı sıra işitme deneyleri yapılmış ve her muayenede göğsün ve ellerin röntgeni çekilmiştir.

5.4.7 Tıbbi İncelemenin Sonuçları

Fiziksel incelemelerde önemli bir değişime rastlanmamıştır. İşçilerin ciltlerinde, saçlarında, kardiovasküler yada solunumsal işlevlerinde değişiklik olmamıştır. Göz muayeneleri farklı bir durum göstermemiştir.

Laboratuvar çalışmalarından elde edilen sonuçlarda önemli bir değişim gözlenmemiştir.

Yüksek gerilim hatlarından kaynaklanan alanların etkisinde kalmanın doğurabileceği hiçbir hastalık durumuna rastlanmamıştır. Elektroansefalogramlar oldukça normal görünmüştür. Piskiatris çalışmayla bağlantılı olabilecek herhangi bir duygusal değişim kaydetmemiştir. Ürolojist işçilerin ikisinde sperm sayılarının az olduğunu saptamış, ancak bu durumun alan etkisinde uzun süre kalınmasıyla bir ilgisi bulunmamıştır.

5.4.8 Genel Sonuçlar

Değişken elektrik alan şiddetinin ve karakteristiklerinin insanlar üzerindeki etkisinin incelenmesi sonucunda sonuçlar çıkarılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] TSE, İnsanların Elektromagnetik Alanlara Maruz Kalması- Düşük frekanslar (0Hz-10kHz), (1996).
- [2] HORTON, W.F., GOLDBERG, S. Power Frequency Magnetic Fields and Public Health, (1995).
- [3] Electric and Magnetic Field,
İnternet Adresi <http://www.hydromiss.com/electricfields.html>
- [4] LAMARINE, R.J., NARAD, R.A., Health Risk Associated With Residential Exposure to Extremely Low Frequency Electromagnetic Radiation. İnternet adresi:
www.csuchico.edu/hcsv/~lamarine/cites.htm
- [5] ÖZMEHMET, K., Elektromagnetik Dalgalar ve İnsan Sağlığı. Elektrik Mühendisliği Dergisi. Sayı 344, s.146-148
- [6] ŞEKER, S., ÇEREZCİ O., Elektromagnetik Enerji ile Canlıların Etkileşimi, Modellerin ve Standartların Geliştirilmesi, BİYOMUT 94, s.145-151, (1994).
- [7] KÖROĞLU, Y., Elektromagnetik Alanların Biyolojik Etkileri, 3e, Sayı 44, s. 50-53 (Nisan 1995)
- [8] STUCHLY, M., Magnetic Field-Induced Currents in The Human Body in Proximity of Power Lines, IEEE Transactions on Power Delivery Vol.11, No.1, s 103, (January 1996).
- [9] NATIONAL RESEARCH COUNCIL NEWS; Possible Health Effects of Exposure to Residential Elektric and Magnetic Fields,
İnternet Adresi: www.2.Nas.edu/WANTSNEW/25ba.htm.
- [10] UMURKAN, N., YILDIRIM, H., KALENDERLİ, Ö., Enerji İletim Hatlarında Yük Benzetim Yöntemi ile Alan Hesabı, Elektrik Mühendisliği 5. Ulusal Kongresi, s. 1249-1253
- [11] HAUF, R., 50Hz Sıklıklı Alması Elektrik ve Magnetik Alanların İnsanlar Üzerideki Etkisi, Elektrik Müh. Dergisi, Sayı. 250, s. 487-495
- [12] MALBOYSSON, E., Elektromagnetik Alanların Etkisinde Çalışan Kişilerin Tıbbi Denetimi, Elektrik Müh. Dergisi, Sayı 250, s. 496-499
- [13] OVERBACK, W., Electromagnetik Fields and Your Health, İnternet adresi:
www.geocities.com.
- [14] IEE Possible bio]ojical Effects of Low-Frequency Elektromagnetic fields, June 1994
İnternet adresi: www.iee.org.uk.