

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ PEN BİLGİSİZLİĞİ DOKTORALI

Enerji İst., Matl., Elek. ve
Magn. Alanları Hes.

Doktora Tezi

Nurettin Umarcan

1995

152
263

Sıvı
Mak



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ İLETİM HATLARINDA
ELEKTRİK VE MAGNETİK ALAN HESABI
VE
BİYOLOJİK ETKİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

i

Elk.Yük.Müh. Nurettin UMURKAN

T.B.E. Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalında
hazırlanan

DOKTORA TEZİ

Tek Danışmanı : Prof.Dr. Ş.Selim ŞİKER

İSTANBUL, 1995

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KÜTÜPHANE VE DOKÜMANTASYON
DAİRE BAŞKANLIĞI

Yer No (DDC) : R152/263

Kayıt No : TD 52677
Göldüğü Yer : Fen Bölm. East.
Tarib : 3.10.1996
Flyat : 250,00 TL
Fatura No :
Aynıyat No : 1/7
Ek :



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
D.B. No: 51540...

ENERJİ İLETİM HATLARINDA
ELEKTRİK VE MAGNETİK ALAN HESABI
VE
BİYOLOJİK ETKİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Elk. Yük. Müh. Nurettin UMURKAN

F.B.E. Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalında
hazırlanan

DOKTORA TEZİ

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Ş.Selim ŞEKER

İSTANBUL, 1995

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ	1
1.1. Elektrik Alan Analiz Yöntemleri	2
1.1.1. Analitik Yöntemler	2
1.1.2. Deneysel Yöntemler	3
1.1.2.1. Yarı İletken Kağıt Yöntemi	3
1.1.2.2. Elektrolitik Banyo Yöntemi	4
1.1.3. Sayısal Yöntemler	5
1.2. Modelleme Çalışmaları	10
2. YÜK BENZETİM YÖNTEMİ	13
2.1. Yöntemin Temel İlkesi	13
2.2. Benzetim Yükleri	16
2.2.1. Noktasal Yük	17
2.2.2. Sonsuz Çizgisel Yük	19
2.2.3. Sonlu Çizgisel Yük	22
2.2.4. Halkasal Yük	23
3. ENERJİ İLETİM HATLARINDA ELEKTRİK VE MAGNETİK ALAN HESAPLAMALARI	25
3.1. Yük Benzetim Yönteminin YG Enerji İletim Hatlarına Uygulanması	25
3.1.1. Yük Benzetim Yönteminin Üç, Altı ve Oniki Fazlı Enerji İletim Hatlarına Uygulanması	31
3.1.1.1. Üç Fazlı Sistemler	31
3.1.1.2. Altı Fazlı Sistemler	32
3.1.1.3. Oniki Fazlı Sistemler	33
3.2. Enerji İletim Hatlarında Magnetik Alan Hesabı	34
3.3. Enerji İletim Hatlarının İnsan Vücutundan İndüklediği Elektrik Alanı ve Akım Yoğunluğunun Hesabı	37
4. İKİ DİREK ARASI MENZİL BOYUNCA ÜÇ BOYUTLU ELEKTRİK VE MAGNETİK ALAN HESABI	40
4.1. Üç Boyutlu Ortamda Elektrik Alan İfadesinin Çıkarılması	40

4.2. Üç Boyutlu Ortamda Magnetik Alan İfadelerinin Çıkarılması	42
4.3. Kübik Spline Algoritması	43
4.3.1. Kübik Spline Algoritması İle İletim Hatlarının Sehim ve Yer Eğrilerinin Modellenmesi	47
4.3.1.1. Sehim Eğrisinin Modellenmesi	48
4.3.1.2. Yer Eğrisinin Modellenmesi	49
4.4. Direk Yakınlarında Alanın Hesaplanacağı Noktaya Sehim Eğrisi Üzerindeki En Yakın Noktanın Bulunması	49
4.5. Enerji İletim Hatlarından Dolayı Meydana Gelen Ortamdaki Elektrik Alanının Ekranlanması	51
4.5.1. Tek Ağaç İle Ekranlama	52
4.5.2. Ağaç Dizisi İle Ekranlama	53
4.5.3. Dikey Silindir İle Ekranlama	53
4.5.4. Dikdörtgen Prizma İle Ekranlama	54
4.5.5. Çit İle Ekranlama	55
4.5.6. Direk Ekranlaması	56
4.6. Magnetik Ekranlama	57
5. ELEKTRİK VE MAGNETİK ALANLARIN BİYOLOJİK ETKİLERİ VE GÜVENLİK STANDARTLARI	62
5.1. ELF Elektrik ve Magnetik Alanların Biyolojik Etkileri	62
5.2. Elektromagnetik Alanların Epidemiyolojik Çalışmaları	68
5.3. Yüksek Gerilim İletim Hatları İçin Mevcut Güvenlik Standartları	70
5.3.1. Çeşitli Ülkelerde Yayımlanan Standartlar	71
5.3.1.1. Almanya	73
5.3.1.2. Japonya	74
5.3.1.3. Amerika Birleşik Devletleri	76
5.3.1.4. Rusya	77
6. SAYISAL UYGULAMALAR	82
6.1. İki ve Üç Boyutlu Elektrik ve Magnetik Alan Hesaplama İçin Geliştirilen Genel Amaçlı Bilgisayar Programı	82
6.2. Ölçüm Sonuçları İle Sayısal Hesaplama Karşılaştırılması	84
6.3. Altı Fazlı Hatlarda Elektrik ve Magnetik Alan Hesabı	90
6.4. Oniki Fazlı Hatlarda Elektrik ve Magnetik Alan Hesabı	92

6.5. OG ve YG Üç Fazlı Hatlarda Elektrik ve Magnetik Alan Hesabının Türkiye Uygulamaları	94
6.5.1. Ereğli - Kandilli ve Alibeyköy - Küçükköy Hatları	95
6.5.2. Karakaya - KebanII Hattı	98
6.6. Çift Devre Üç Fazlı Sistemin Altı Fazlı İşletilmesi	100
6.7. Atatürk - Temelli Hattının 701-702 Nolu Direkleri Arasında Üç Boyutlu Elektrik ve Magnetik Alan Hesabı	104
6.8. Direk Ekranalmasının Elektrik Alan Üzerindeki Etkisi	113
6.9. Atatürk-Temelli Hattının Faz Sıralamasının Elektrik ve Magnetik Alanlar Üzerindeki Etkisi	113
6.10. Atatürk-Temelli Hattının Altı Fazlı İşletilmesi Durumunda Elektrik ve Magnetik Alanların İncelenmesi	115
6.11. Atatürk-Temelli Hattının 701-702 Nolu Direkleri Arasında Alanın Maksimum Olduğu Mesafede Bulunan İnsan Vücutunda İndüklenen Elektrik Alanının Akım Yoğunluğu ve Kısa Devre Akımı Hesaplamaları	117
7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	119
KAYNAKLAR	125
EK 1. Geliştirilen Bilgisayar Programı	131
EK 2. Fazları Aynı Yükseklikte Olan 525 kV Hattın EM Alan Hesaplama Sonuçları	159
EK 3. Fazları Farklı Yükseklikte Olan 525 kV Hattın EM Alan Hesaplama Sonuçları	161
EK 4. 765 kV Hattın EM Alan Hesaplama Sonuçları	163
EK 5. Altı Fazlı Hat İçin EM Alan Hesaplama Sonuçları	165
EK 6. Oniki Fazlı Hat İçin EM Alan Hesaplama Sonuçları	167
EK 7. 66 kV Ereğli-Kandilli Çift Devre Üç Fazlı Sistem İçin EM Alan Hesaplama Sonuçları	170
EK 8. 154 kV Alibeyköy-Küçükköy Çift Devre Üç Fazlı Sistem İçin EM Alan Hesaplama Sonuçları	172
EK 9. 380 kV Karakaya-KebanII Hattının EM Alan Hesaplama Sonuçları	174
EK 10. 88.91 kV Altı Fazlı Sistem İçin EM Alan Hesaplama Sonuçları	176
EK 11. Atatürk-Temelli Hattının Fotoğrafları	179
EK 12. Atatürk-Temelli Hattının Üç Boyutlu EM Alan Eğrilerinin Detayları	181

TEŞEKKÜR

Doktora çalışmamı yöneten tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Ş. Selim ŞEKER 'e ve çalışmalarım sırasında yardımımı esirgemeyen Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Hüseyin ÇAKIR 'a teşekkürlerimi sunarım.

Nurettin UMURKAN

İSTANBUL, 1995

ÖZET

Enerji iletim hatlarının çevresinde, yüksek gerilim ve akımdan dolayı elektrik ve magnetik alanlar meydana gelmektedir. Alçak frekanslı bu alanların, çevredeki bitki örtüsü, hayvanlar ve insanlar üzerindeki biyolojik etkilerinin belirlenebilmesi için araştırmalar yapılmaktadır. Bu konuda yapılan çalışmalarдан elde edilen sonuçlardan yararlanılarak çeşitli ülkelerde, elektrik ve magnetik alanlara sınır değerler getirilmiştir. Enerji iletim hatlarının planlanması aşamasında, en uygun konfigürasyonun belirlenmesi için elektrik ve magnetik alan hesabının yapılması büyük önem taşımaktadır.

Bu tezin birinci bölümünde, elektrik alan analiz yöntemleri incelenerek, sayısal yöntemlerden yük benzetim yöntemi ve insan vücutu içerisindeki induklenen elektrik alanları ile ilgili modelleme çalışmaları tarihsel akış içerisinde verilmiştir.

İkinci bölümde, yük benzetim yöntemi incelenmiştir. Yöntemin genel yapısı anlatılarak, yaygın olarak kullanılan benzetim yüklerinin potansiyel katsayıları ve alan ifadeleri verilmiştir.

Üçüncü bölümde, yük benzetim yöntemi enerji iletim hatlarına uygulanmıştır. Hatlarda sonsuz çizgisel yük tipi kullanılmıştır. Görüntü yükleri de hesaba katılarak, n sayıda iletken için iki boyutlu kartezyen koordinatlarda potansiyel ve elektrik alan ifadeleri çıkartılmıştır. Üç, altı ve oniki fazlı sistemlerdeki potansiyel büyüklüklerinin özellikleri incelenmiştir. Ayrıca, enerji iletim hatlarının magnetik alan ifadeleri ve ortamındaki alanlardan dolayı insan vücutu içerisinde induklenen elektrik alanı, akım yoğunluğu ve kısa devre akımlarının ifadeleri verilmiştir.

Dördüncü bölümde, iki direk arasındaki menzil boyunca elektrik ve magnetik alan hesabı yapmak için, üç boyutlu ortamda elektrik ve magnetik alan ifadeleri çıkartılmıştır. Enerji iletim hatlarının sehim ve yer eğrilerinin modellenmesinde Kübik Spline Algoritması kullanılmasının ana hatları açıklanmıştır. Başka ekranlayıcıların ekranlama ifadeleri verilmiştir.

Beşinci bölümde, elektrik ve magnetik alanların biyolojik etkileri ve epidemiyolojik çalışmalar konusunda yapılan araştırma sonuçları incelenmiştir. Ayrıca çeşitli ülkelerde geliştirilen standartlar incelenmiş ve bu ülkeler ile kullandıkları standart değerlerin topluca gösterildiği bir tablo oluşturulmuştur.

Altıncı bölümde, yukarıda iki ve üç boyutlu ortamlar için elektrik ve magnetik alan hesaplamaları için çıkarılan ifadelerin kullanılmasıyla geliştirilen bilgisayar programının özellikleri tanıtılmıştır. Bu programın mevcut alan hesaplayan programlara üstünlüğü şekilde sıralanabilir; program üç boyutlu elektrik ve magnetik alan hesabı yapabilmekte, üç boyutlu hesaplamalarda sehim eğrisi ve yer eğrileri aynı ayn modellenebilmekte, alan hesaplanacak noktaya sehim eğrisi üzerindeki en yakın noktanın koordinatları tespit edilebilmekte, direk ekranlamasının etkisi; tek veya çift direk olması durumunda menzil boyunca direkten 75 metre mesafe içerisindeki her alan hesabı yapılacak nokta için

hesaba katılmaktadır. Bilgisayar programı ile literatürde bulunan ve Türkiye 'deki çeşitli hatlar için elektrik ve magnetik alan hesaplamalarına sayısal uygulamalar yapılmıştır. Ayrıca, Türkiye 'deki Atatürk-Temelli hattının 701 ve 702 nolu direklerinin arasında elektrik ve magnetik alanların maksimum olduğu mesafede, enerji iletim hattından dolayı meydana gelen ortamdaki alanların insan vücutu içerisinde indüklediği akım yoğunluğu ve kısa devre akımları sayısal uygulama ile elde edilmiştir.

SUMMARY

Electric and magnetic fields occur around energy transmission lines because of high voltage and currents. Researchers have been studying to determine the biological effects on human, animals and plants of these low frequency fields. By using the results obtained from the studies on this subject, the limitation of the electric and magnetic fields are determined in many country. In the stage of the planning of energy transmission lines, the calculation of electric and magnetic fields is very important to determine the most convenient configuration.

In the first chapter of this thesis, the electrical fields analysis methods are investigated and the studies modeling associated with "Charge Simulation Method" as a numeric method and the induced electric fields inside of human body are presented historically.

In the second chapter, The Charge Simulation Method is investigated. the basic structure of the method is described and the commonly used the potential coefficients and electric fields of the simulation charges are presented.

In the third chapter, The Charge Simulation Method is examined on energy transmission lines. The type of the infinite line charge is used on the lines. The potentials and the electric fields in 2-D Cartesian coordinate system for "n" number conductor, by considering the image charges as well. The characteristics of the potentials in three-, six- and twelve-phase systems are investigated. In addition, the magnetic fields of energy transmission lines and induced electric fields inside human body because of the fields in the medium, the current density and the short-circuit currents are also submitted.

In the forth chapter, 3-D electric and magnetic field values are derived them expressions to compute the electric and magnetic fields through the span. The basic structure of using Cubic Spline Algorithm is explained in the modeling of sag and earth curve of energy transmission lines. The shielding parameter of basic shields are presented.

In the fifth chapter, the research results on the biological effects of electric and magnetic fields, and epidemiological studies are investigated. Furthermore, the standards in various country are looked over and a table demonstrated these countries and the standard values that they use.

In the six chapter, the properties of the computer programme developed by using the derived expression for calculating of electric and magnetic field in 2-D and 3-D mediums are introduced. The advantages of this programme to present field calculator programmes are as follows: The programme can calculate 3-D electric and magnetic field, in 3-D calculations the sag and ground curves can be modeling, separately, the coordinate of the closest point on the sag curve to the point what the field will be calculated, the effect of tower shielding is considered for all points to be calculate the fields in the 75 meters distance from tower along the interval, in the case of presence of single or double tower. The numeric applications to the electric and magnetic field calculations for various lines in Turkey and for the studying that there are measurement

values in literature are submitted. In addition, the short circuit currents and the current densities that induced inside human body, are obtained by numeric application in the distance where electric and magnetic fields are maximum, in the between 701 and 702 numbered towers of Atatürk-Temelli Line in Turkey.

Yazılım uygulaması ile yapılan hesaplamalar, insan体内部で生じる電磁場強度が最大となる距離, すなはち 701 ve 702 numaralı kulelerin arası, Ataturk-Temelli hattında yapılan ölçümlerin sonuçları ile uyumlu olduğunu göstermektedir. Bu sayede, insan体内部で生じる電流強度 ve 短絡電流强度, 701 ve 702 numaralı kulelerin arası, Ataturk-Temelli hattında yapılan ölçümlerin sonuçları ile uyumlu olduğunu göstermektedir.

İşte böyle insan体内部で生じる電磁場強度 ve 短絡電流强度, 701 ve 702 numaralı kulelerin arası, Ataturk-Temelli hattında yapılan ölçümlerin sonuçları ile uyumlu olduğunu göstermektedir. Bu sayede, insan体内部で生じる電流強度 ve 短絡電流强度, 701 ve 702 numaralı kulelerin arası, Ataturk-Temelli hattında yapılan ölçümlerin sonuçları ile uyumlu olduğunu göstermektedir.

İşte böyle insan体内部で生じる電磁場強度 ve 短絡電流强度, 701 ve 702 numaralı kulelerin arası, Ataturk-Temelli hattında yapılan ölçümlerin sonuçları ile uyumlu olduğunu göstermektedir. Bu sayede, insan体内部で生じる電流強度 ve 短絡電流强度, 701 ve 702 numaralı kulelerin arası, Ataturk-Temelli hattında yapılan ölçümlerin sonuçları ile uyumlu olduğunu göstermektedir.

İşte böyle insan体内部で生じる電磁場強度 ve 短絡電流强度, 701 ve 702 numaralı kulelerin arası, Ataturk-Temelli hattında yapılan ölçümlerin sonuçları ile uyumlu olduğunu göstermektedir. Bu sayede, insan体内部で生じる電流強度 ve 短絡電流强度, 701 ve 702 numaralı kulelerin arası, Ataturk-Temelli hattında yapılan ölçümlerin sonuçları ile uyumlu olduğunu göstermektedir.

Kullanılmış yazılım: MATLAB 7.0

1. GİRİŞ

Kalkınma düzeyine ve nüfus artışına paralel olarak artan elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanabilmesi için üretim merkezlerinden tüketim merkezlerine enerjinin iletilmesi gerekmektedir. Büyük miktarda enerjinin uzak mesafelere iletilmesi ancak gerilim değerinin yükseltilmesi ile mümkün olmaktadır. Ancak gerilimin yükseltilmesini sınırlayıcı faktörler bulunmaktadır. Bunlardan bazıları izolasyon problemleri, deşarj olayları, çevresel etkiler ve güvenlik problemleridir. Bu nedenle büyük miktarda güçlerin uzak mesafelere iletilebilmesi için Üç Fazlı enerji iletim sistemine alternatif olarak Doğru Akım Sistemleri kullanılmakta ve bunun yanı sıra Çok Fazlı Sistemler üzerinde de araştırmalar yapılmaktadır.

Enerji iletim sistemlerinin karşılaştırılmasında en önemli kriterlerden biri, enerji iletim hatlarının yüksek gerilim değerine bağlı olarak çevrede meydana getirdikleri elektrik alan ve magnetik alan değerleridir. Çevre bilincinin giderek önem kazanması ile enerji iletim hatlarının çevresinde alçak frekanslı elektrik ve magnetik alanların, çevredeki bitki örtüsü, hayvanlar ve insanlar üzerindeki biyolojik etkisinin belirlenmesi için çeşitli araştırmalar yapılmaktadır.

Çeşitli ülkelerde elektrik ve magnetik alanların insanlar üzerindeki biyolojik etkileri araştırılarak bu konuda güvenlik standartları oluşturulmuştur. Alternatif akımlı yüksek gerilim enerji iletim hatlarının dizaynında, yerleşim merkezleri yakınlarındaki elektrik ve magnetik alan şiddeti değerinin standartlarda öngörülen sınır değerleri kullanılmaktadır.

Türkiye'de elektrik enerjisi genel olarak doğu ve güney doğu bölgelerinde üretilmektedir. Tüketimin büyük bir bölümü batı bölgelerinde gerçekleşmektedir. Bu nedenle, doğuda üretilen enerjinin batıya iletilmesi gerekmektedir. Enerji iletiminde en yüksek gerilim değeri 380 kV ve 154 kV, dağıtım için de orta gerilim değeri 66 kV ve 34.5 kV olan hatlar kullanılmaktadır. Hatların dizaynında ve işletilmesindeki elektrik ve magnetik alanlara ilişkin bir standart bulunmamaktadır.

Enerji iletim hatlarında dizayn aşamasında elektrik ve magnetik alan hesabı, güvenlik sınırlarının oluşturulması bakımından büyük önem taşımaktadır. Bu hesaplamalar sonucunda mevcut hatlar çevresinde de canlılar ve duyarlı aletler bakımından hatlara güvenli yaklaşım uzaklıklarını belirlenebilir. Ayrıca yeni kurulacak bir yüksek gerilim enerji iletim hattı için de elektrik ve magnetik alan hesabının yapılması, önceden ilgili hat çevresindeki alan değerleri hakkında bilgi verecek ve buna göre hat ve direk boyutlarının ve ayrıca hat güzergahı genişliğinin de belirlenmesinde yararlı olacaktır.

Enerji iletim hatlarından dolayı meydana gelen elektrik ve magnetik alanların, insan vücutu içerisinde indüklediği akım yoğunluğu ve kısa devre akımlarının hesaplanması için, insan vücutu çeşitli şekillerle modellenerek hesaplamalar yapılmaktadır.

1.1. Elektrik Alan Analiz Yöntemleri

Yüksek gerilim aygıtlarının en uygun tasarımlarını gerçekleştirebilmek için o aygıtta elektrik alan dağılımı hakkında tam bir bilgiye sahip olmak gereklidir. Bunun için de elektrik alan hesabı yani Laplace ve Poisson denklemlerinin yeterli sayıda sınır koşulu ile çözümü gerekmektedir. Bu amaçla kullanılan yöntemler üç ana grupta ifade edilebilir.

- 1- Analitik Yöntemler
- 2- Deneysel Yöntemler
- 3- Sayısal Yöntemler

1.1.1. Analitik Yöntemler

Analitik yöntemler, problemin analitik çözümünün varlığı durumunda, sistemin bütün performansı sistem denklemi yardımıyla verildiği için, en faydalı yöntemlerdir. Fakat karmaşık sınırlı ve çok dielektrikli sistemlerde analitik çözüm bulmak imkansız değilse

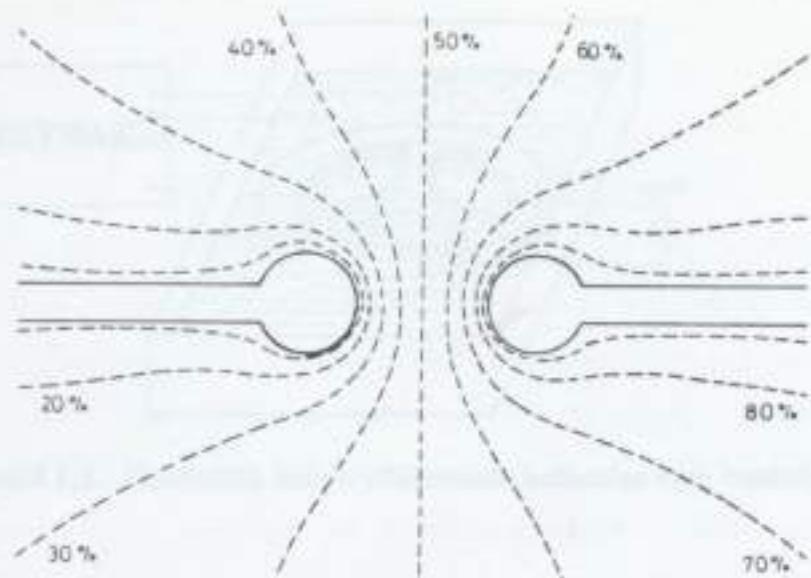
bile çok zordur. Elektrot sisteminin geometrik şeklinin basit olduğu (örneğin, Düzlem - Düzlem elektrot sistemi vb.) iki boyutlu alan problemlerde analitik çözüm bulmak genellikle mümkün değildir. Bu durumda ya Laplace denklemlerinin doğrudan çözümü yapılmalı veya bir konform dönüşümle elektrot şekli çözülebilir bir şeke dönüştürülmelidir.

1.1.2. Deneysel Yöntemler

Deneysel yöntemlerde, laboratuar ortamında gerçek sistemin bir simülasyonu yapılarak, sistem üzerindeki alan dağılımları hakkında bilgi sahibi olunur. Yapının karmaşıklığı veya çalışan gerilimin çok yüksek olması nedeniyle gerçek sistem üzerinde inceleme yapılması basit cihazlarla mümkün olmamaktadır. Deneysel yöntemler ile gerçek sistemin simulasyonu üzerinde incelemeler yapılır. Yaygın olarak iki deneysel yöntem kullanılmaktadır. Bunlar, yarı iletken kağıt ve elektrolitik banyo yöntemidir. Bu yöntemler basit malzemelerle uygulanmakta ve yeterli doğrulukta sonuçlar elde edilmektedir.

1.1.2.1. Yarı İletken Kağıt Yöntemi

İki boyutlu bir elektrik alanın akım benzerini kurmanın basit bir yolu yarı iletken kağıt kullanmaktadır. Problemin elektrot düzeninin ölçekli bir modelini vermek için elektrotlar kağıt üzerine gümüş boyası ile boyanır ve elektrotlar arasına ölçekli potansiyel uygulanır. Eşpotansiyel noktaların yerlerini bulmak için yüksek empedanslı voltmetreye bağlı bir sonda kullanılır. Birden fazla yalıtkana sahip problemlerin yarı iletken kağıt benzerini kurmak zordur. Bu yöntemde, kağıt direncinin homojen olmaması ve elektrot kontakt direnci gibi faktörler hataya neden olmaktadır(Abdel-Salam, 1990).

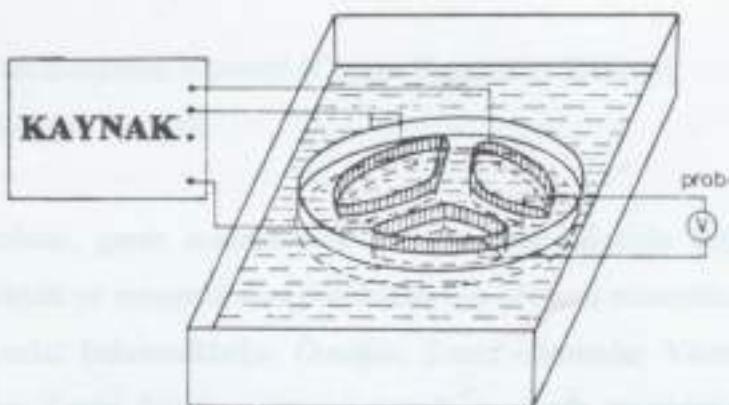


Şekil 1.1. Yarı iletken kağıt modeli

1.1.2.2. Elektrolitik Banyo Yöntemi

Eksenel simetリー üç boyutlu alanlar ve iki boyutlu alanların modeli, elektrik akısı yerine suyun içinden akan akımın ölçümesiyle kurulabilir. Örneğin, koaksiyel kablo içindeki alan dağılımı gibi. Elektrotlardan ve bir dielektrikten oluşan sistemin alanı, elektrot şeklinin ölçekli bir modeli yapılarak bir kabın içerisinde yerleştirilmesi ve elektrotlar arasında bilinen bir gerilim uygulanarak eşpotansiyel noktaların bir sonda yardımıyla bulunmasıyla incelenebilir. Oluşacak hatayı en aza indirmek için kabin boyutları mümkün olduğu kadar büyük alınmalıdır.

Elektrolitik banyo yönteminde güç kaynağının gerilimi 50 V civarında ve çıkış gücü 10 W olmalıdır. Eğer bir doğru gerilim kaynağı kullanılırsa elektrot iyonlaşır ve iyonlar elektrotların etrafında toplanır. Bu da elektrik alanı bozan polarizasyonu oluşturur. Alternatif akım kaynağı tercihen en az 1.5 kHz frekanslı olmalı, bu polarizasyon probleminden sakınmayı sağlamaktadır (Kuffel et al, 1984; Abdel-Salam, 1990).



Şekil 1.2. Elektrolitik banyo yönteminde kullanılan tank modeli

1.1.3. Sayısal Yöntemler

Karmaşık iki veya üç boyutlu alanların, farklı dielektrik sabitli ve iletkenlikli yalıtkan malzemelerin matematiksel modellerini oluşturan Laplace ve Poisson türü kısmi diferansiyel denklemlerin çözümünde bir çok zorluklarla karşılaşılır. Bu zorlukların aşılması sağlamak amacıyla çeşitli sayısal yöntemler geliştirilmiştir.

Sayısal yöntemler, yüksek hızlı bilgisayarların gelişmesi ve yardımcı cihazlarının kullanımının artmasıyla çok cazip bir hale gelmiş ve karmaşık alan problemlerinin incelenmesinde önemli adımlar atılmıştır. Bu sayısal yöntemlerin etkin bir şekilde kullanımı teknolojik gelişmelere katkıda bulunmuştur.

Sayısal yöntemlerin kullanımı ile, tasarım aşamasında performansı daha hassas bir şekilde tahmin etme, tasarım sonunda farklı izolasyon malzemeleri ile uygulama yapma ve yetersizliğe sebeb olan kritik bölgeleri tespit etme gibi tasarım avantajlarına sahip olmaktadır. Kullanılan başlıca sayısal yöntemler aşağıda verilmiştir.

- a-) Monte Carlo Yöntemi
- b-) Sonlu Elemanlar Yöntemi(Finite Element Method)
- c-) Sınır Elemanları Yöntemi(Boundary Element Method)
- d-) Sonlu Farklar Yöntemi(Finite Difference Method)

e-) Yük Benzetim Yöntemi (Charge Simulation Method)

f-) Moment Yöntemi

Bu yöntemlerin, gerek malzeme ve gerekse yapı itibariyle değişik özelliklere sahip olabilen elektrik ve magnetik alan problemlerinin çözümü esnasında zorlandığı ve yetersiz kaldığı hususlar bulunmaktadır. Örneğin; Sonlu Elemanlar Yöntemi, Sınır Elemanları Yöntemi ve Sonlu Farlar Yöntemi kapalı sınırlarda tanımlanan bölgeler için çok uygundur ve paket programlar geliştirilerek yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak elektrik ve magnetik alan problemlerinin büyük çoğunluğunda sınırlar kapalı değildir. Açık sınır alanlarının kapalı sınır olarak farz edilmesiyle yöntemler bu tür problemlere uygulanabilir. İnceleme altındaki cisimden belirli uzaklıktaki mesafede alanın sıfır farzedilmesi, ki bu durum genellikle sıfır potansiyel sınırı, sonsuz sınır şartına benzetilerek uygulanır. Bu nedenle çözüm için, ilgilenilen bölgenin uzağındaki alanların da uygun bir şekilde modellenerek hesaba katılması gereği ortaya çıkmaktadır. Bu işlem de, bilgisayar hafıza ihtiyacının ve hesaplama süresinin artmasına ve ayrıca kabullerden dolayı sonuç üzerinde hata payının artmasına sebeb olmaktadır.

Aynık yükler kavramına dayanan Yük Benzetim Yöntemi (YBY), açık sınır alan problemlerinde ve birden fazla homojen dielektrik ortam içeren sistemlere, eksenel simetrisi olmayan üç boyutlu alanlara ve uzay yükü bulunan problemlere de uygulanabilir. Ayrıca yöntemin uygulanmasının çok basit olması yöntemin üstünlüklerindendir. Elektrik alanların hesabında çok etkin ve doğru sayısal yöntem olarak ortaya çıkan YBY, son yıllarda önemli gelişmeler kaydederek yüksek gerilim teknliğinde üç boyutlu ve çok dielektrikli düzenlerin ve sınır optimizasyonu problemlerinin çözümünde de başarıyla uygulanmaktadır.

Yük Benzetim Yöntemi ile elektrik alanlarını incelemek ve yöntemi geliştirmek üzere araştırmacılar tarafından yapılan çok sayıda çalışmalar literatürde yer almaktadır.

Yük Benzetim Yöntemi ile sayısal alan çözümü için ilk çalışmalar Abou-Seada ve Nasser (1968,1969) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmalarda çubuk-düzlem ve silindirsel iletken-düzlem elektrot sistemlerinin alan çözümleri bulunmuştur.

Singer, Steinbigler ve Weiss (1974), kapsamlı bir makale ile, YBY' ni ve bu yöntemin eksenel simetriye sahip iki ve üç boyutlu alanlara uygulanmasını, eksenel simetrisi olamayan üç boyutlu alanların incelenmesini ve iki dielektrikli düzenlerin bağıntılarını vermiştir.

Takashima ve Ishibashi (1978), YBY' nin üç dielektrikli sistemde noktalı ve küresel yüklerin uygulanmasını göstermiş ve sayısal örnekler vermiştir.

Yializis, Kuffel ve Alexander (1978), YBY üzerine kurulan ve optimizasyon tekniği uygulayarak verdiği hesaplama yöntemi ile klasik YBY 'nin çubuk-düzlem sistemine uygulanmasıyla oluşan yüzde hata miktarlarını karşılaştırmıştır.

Beasley ve arkadaşları (1979), YBY, SEY ve MCY yöntemlerini inceleyerek, ömek problemlere uygulamışlar ve herbir yöntemden elde edilen sonuçları karşılaştırmalı olarak vermiştir.

Takuma ve Kawamoto (1979), YBY' ni yüzey direnci içeren alanlara uygulamış ve elde ettikleri yeni hesaplama tekniğinin kompleks yük içeren bağıntılarını vermiştir.

Sato ve arkadaşları (1979), YBY' de eliptik silindirsel yük kullanarak iki boyutlu ve çoklu dielektrikli alan analizi yapmıştır. Bir başka çalışmada aynı yazarlar, YBY' de üç boyutlu, eksenel küremsi yüklerden basık ve çıkış küremsi yükler için potansiyel ve alan bağıntılarını çıkarmış ve küre-küre elektrot sistemine uygulamıştır.

Kato (1979), YBY' de elektrik alan hatalarının maksimum değerinin, sınır noktaları arasındaki potansiyel hatasının büyüklüğü ve mesafe ile ifade edilebileceğini belirtmiştir.

Utmischi (1979), YBY ile üç boyutlu ve eksenel simetrik elektrik alanların hesabı için bir metot geliştirmiştir.

Okubo ve arkadaşları (1979), YBY' ne Metz optimizasyon teorisini uygulayarak, iki dielektrikli eksenel simetrik alanda elektrik alanlarının otomatik optimizasyonu için hesaplama programı geliştirdi.

Stembigler (1979), elektrik alan hesaplarında, YBY ve SEY' nin birlikte kullanılması metodunu geliştirmiştir ve metodun uygulamasını vermiştir.

Takuma ve arkadaşları (1981), YBY' de kompleks hayatı yük kullanımı ile hacim direnci yada yüzey direnci içeren konfigürasyonlarda elektrik alan hesabı için bir metot geliştirdiler. Geliştirilen metodu SF₆ gaz yalıtımlı için disk tipi tutucu yüzeyi üzerinde uygulanmış ve bu yüzey üzerinde alan şiddetî hesabı yapılmıştır.

Iravani ve Raghuveer (1982), çubuk düzlem sisteminin klasik YBY ve optimize edilmiş YBY ile elektrik alan hesabı yapılmış ve her iki yöntemden elde edilen yüzde potansiyel hatalarını karşılaştırmıştır.

Okubo ve arkadaşları (1982), YBY ve SEY' ni birlikte kullanan kombine bir metotla üç boyutlu eksenel simetrili alan üzerinde ve ayrıca çubuk-düzlem elektrot sistemi üzerinde elektrik alan hesabı yapmıştır.

Kuffel ve Zaengl (1984), YBY' nin küre-küre elektrot sistemine uygulanmasına bir örnek vermiştir. Noktasal yüklerin kullanımı ve benzetim yüklerinin sayısı ile eşpotansiyel çizgilerin değişimi ve yüklerin yerleştirilmesinin doğruluğuna etkisini küre-küre elektrot sistemi üzerinde göstermiştir.

Malik (1989), 1950 ve 1987 yılları arasında YBY ile ilgili yayınlanmış literatür taramasını yapmış ve kapsamlı bir makalede bu çalışmaları özetlemiştir.

Abdel-Salam ve El-Mohandes (1989), YBY ve SFY üzerine geliştirilen bir kombine metodu elektrik alan hesabında kullanmıştır. Bu metotta tüm alan, YBY ve SFY ile ayrı ayrı analiz edilen iki domene bölünür. Bu domenler sınırlı normal dielektrik akı yoğunluğu ve potansiyelin süreklilik şartını kullanarak birleştirilir. Önerilen yöntem hem YBY' nin hem de SFY' nin avantajlarına sahiptir ve açık uzayda çoklu dielektriklere ve eğri elektrotlara uygulanabilir.

Abdel-Salam, El-Mohandes ve Kishky (1990), YBY ve görüntü metodunu birleştirerek, paralel çalışan ac ve dc hatlar da elektrik alan hesabı için yeni bir metot geliştirmiştir. Bu metot ile paralel çalışan ac ve dc hatların çeşitli konfigürasyonları için elektrik alan hesaplamaları iki boyutlu olarak yapılmıştır.

Steinbigler ve Haller (1991), elektrik alanı hesaplama yöntemlerinden SFY, YBY, SEY ve SIEY'lerini iki ve üç - boyutlu küre ve silindir elektrot örnekleri üzerine uygulamış ve bu yöntemlerden her biri için elde edilen sonuçları tablo halinde vererek karşılaştırmıştır.

Okubo ve Kito (1991), YBY'ının üç boyutlu ve sınırlı bölgelerde etkili bir şekilde kullanılması için bir metot geliştirdi. Bu metotla yüksek gerilim cihazlarının yük benzetiminin nasıl yapılacağını örneklerle gösterdi.

Poli (1992), YBY'nde görüntü yüklerini kullanarak iki dielektrikli küre-düzlem elektrot sisteme uygulanmasına ilişkin bir metot geliştirmiştir.

Bu çalışmalarla YBY, birçok yönden geliştirilerek çeşitli alan problemlerinin çözümünde başarıyla kullanılmıştır. Bu gelişmeler yöntemi, yüksek gerilim tezhipatlarında elektrik alan hesabında kullanılan çok önemli ve etkili bir yöntem durumuna getirmiştir.

1.2. Modelleme Çalışmaları

Elektromagnetik alan içerisinde bulunan cisimlerde iç alanlar ve akımlar induklenir. Indüklenen alan ve akım değerlerini tespit etmek amacıyla insan vücutu çeşitli şekillerde modellenmiştir.

Alan içerisinde bulunan biyolojik cisimlerde induklenen akımların hesaplanması için ilk çalışmalarında; canlı organizma bir iletken ile modellenmiş ve elektrik alanı içerisinde iletken yerleştirilerek induklenen akım değeri hesaplanmıştır. Buradan hareketle canlı dokuların iletkenliği; artı ve eksi iyonların hareketliliği mekanizmasıyla tanımlanmıştır. Elektrik alanının ortamda düzgün olarak dağıldığı varsayılmıştır.

İnsan vücudunun bir dirençle modellendiği çalışmada, elektrik alan içerisinde bulunan bir objeye (araç, çit, vb.) dokunan insandan geçen elektrostatik induksiyon akımları hesaplanmıştır (REA Bülteni, 1976).

Ronald J. Speigel (1976), çok alçak frekanslı (ELF) elektromagnetik alanlara maruz kalan insan ve hayvanların küresel modelleri tarafından induklenen alanlar, akımlar ve absorbe edilen güçler hesaplanmıştır. İnsan ve hayvan boyutundaki cisimler ile ELF elektromagnetik alan etkileşimi gözönüne alındığında, ELF alanının dalga boyunun büyük olmasından dolayı (2500 mi) şeclin önemli olmadığı belirtildi. Biyolojik objelerin dielektrik özelliklerinin homojen ve kas dokusuna benzer yapıda isotropik olduğu kabul edildi. Hesaplamalarda, 70 kg'lık bir insan 26 cm yarıçaplı bir kas külesi ile ve 20 gr'lık bir fare 1.7 cm yarıçaplı küre ile yaklaşık olarak tariflenir. Hesaplamaların sonucunda, maksimum alan şiddeti daima kürenin sınırlarında meydana gelmiştir. EHV iletim hattı altında bulunan insandan çok daha küçük biyolojik objeler için elektrik alan kuplajının daha önemli olduğu, bununla birlikte insan ve büyük hayvanlar için elektrik alan kuplajı ile magnetik alan kuplajının aynı derecede önemli olduğu ve ayrıca absorbe edilen güç miktarının obje boyutları ile ilgili olduğu yanı daha büyük objelerin daha büyük güç absorbe ettikleri belirtilmiştir.

Ronald J. Speigel (1977), uzatılmış (prolate) küresel insan modelinde induklenen akım yoğunluğu ve absorbe edilen güç miktarı hesaplamıştır. Magnetik alana maruz kalmaların biyolojik tehlikelerini incelemiştir. AC iletim hattı yakınında toprak üzerinde bulunan yada enerjili iletken yanında çalışan hat işçilerinin vücut dokuları ile alanların girişiminin sonucu olarak; vücut içinde induklenen akımların olduğu belirtilir. İnsan üzerinde iletim hattı alanlarının sağlık ve çevresel etkilerinin tam karşılığının, bu girişimin miktarına bağlı olduğu anlatılır. Bir hat işçisinin elektrik alandan korunması için iletken ekran içinde çalışması yada metal elbise giymesinin önemli olduğu, ancak bu yöntemlerle magnetik alandan korunmanın mümkün olmadığını belirtmiştir. Hesaplanan akım yoğunluğu ve ısı seviyelerinden, iletim hattı magnetik alanlarının akut elektriksel tehlikelerinin mümkün olmadığını tespit etmiştir.

Ronald J. Speigel (1977), insan vücudunu silindirik parçaların birleşimi olarak modelledi. 765 kV hattın hat güzergahında insanların çeşitli pozisyonlarda yerleştirilmeleri ile induklenen akım hesabında moment metodunu kullanmıştır. Toplam akım yerine vücut akım yoğunluğu seviyelerinin, kalp fibrilasyonu ve kas kontrol kaybı gibi akut elektriksel tehlikeleri için daha iyi bir gösterge olduğunu belirtmiş ve örnek olarak, eğer toplam akım büyük kesit bölgesinde yayılırsa hücre membranlarını uyarmak için yeterli akım yoğunluğu olmayacağı, diğer taraftan aynı toplam akımın daha küçük kesiti bölgeye doğru akabileceğini belirtmiştir. Hesaplanan vücut akımı ve ısı seviyeleri, 765 kV sistemin alanlarından akut elektriksel tehlikelerin mümkün olmadığını göstermiş, bununla birlikte induklenen elektrik alanlar hat altında duran kişinin elleri üzerinde oldukça büyük ve algılanmasının mümkün olduğu, korumasız hat çalışanının ellerinde induklenen alan seviyeleri kesin olarak hissedileceği ve parmak uçlarında korona oluşumu için yeterli büyüklükte olabileceği belirtilmiştir.

Yih Shiau (1981), biyolojik objelerin uzatılmış ve baskın dielektrik küresel modellerine elektrik alan kuplajı ile ilgili olarak Separation Yöntemini kullanarak ifadeler elde etti. Elde edilen basit ifadeler, çeşitli geometrik şekilli biyolojik cisimlerin ELF elektrik alanlara kuplajının özelliklerine bağlı olarak hesaplamak için kullanılmıştır. Elektrik alan

kuplajında, ilgili uzatılmış (yada basık) küreselin durumuna bağlı olarak etki eden alanın farklı büyüklükte olduğu bulundu. Bu düzenlemeyle, elektriksel olarak induklenen iç elektrik alan kısa ve uzun eksenlerin b/a oranıyla azalır veya artar. Etki eden alan uzatılmış küreselin daha kısa eksenine doğru yönlendirilirse b/a oranındaki artıa bağlı olarak artar. Maksimum alan şiddeti b/a oranının sıfıra yaklaşığı uzatılmış küresel durumuna karşılık gelir, minimum kuplaj basık küreselin b/a oranının sıfıra eşit olduğu duruma karşılık gelir. Bu durumda, induklenen iç alan, etki eden alanın $\xi = \epsilon_2/\epsilon_1$ katıdır, burada ϵ_2 ve ϵ_1 sırasıyla, küreselin ve ortamın dielektrik sabitidir..

Ronald J. Spiegel (1981), 10 kV/m lik 60 Hz elektrik alan ortamında bulunan insan ve maymun içerisinde induklenen akım yoğunlıklarını hesaplamak için, insan ve maymunu bloklar ile modellemiştir. 70 kg lik insan modeli 180, 12.7 kg lik maymun modeli de 214 blok ile modellenerek hesaplamalar yapılmıştır

Atsuo Chiba ve arkadaşları (1984), asimetrik insan modellerinin içinde induklenen akım yoğunlıklarının analizine Sonlu Eleman Yöntemi uygulamıştır. Yapılan hesaplamalardan elde edilen sonuçlar deney sonuçlarıyla da karşılaştırılmıştır. Deneylerde insan, alüminyum kaplı izolasyon malzemesi ve tahta ile modellenmiştir.

Randall M. Takemoto ve arkadaşları (1988), bir standart video display terminalin karşısında bulunan insan vücudunda, terminalin ortamda meydana getirdiği elektrik ve magnetik alandan dolayı induklenen elektrik ve magnetik alanlar 50 ve 18500 Hz için hesaplamıştır. Hesaplamalarda uzatılmış küre modeli kullanılmıştır.

Jin-Yuan Chen ve arkadaşları (1991), insanı ölçüler 2.62 ve 1.31 cm olan, sırasıyla 5628 ve 45024 adet küp ile modelleyerek, Sonlu Farklar Yöntemi ile induklenen alan ve akım yoğunluğunu hesaplamıştır.

2. YÜK BENZETİM YÖNTEMİ

Bu bölümde, elektrik alanların sayısal analizlerinde yaygın olarak kullanılan ve etkili yöntemlerden biri olan Yük Benzetim Yöntemi tanıtlacak ve yöntemin temel ilkesi ile ilgili bağıntılar verilecektir. YBY de yaygın olarak kullanılan başlıca benzetim yüklerinin potansiyel ve alan katsayı ifadeleri verilecektir.

2.1. Yöntemin Temel İlkesi

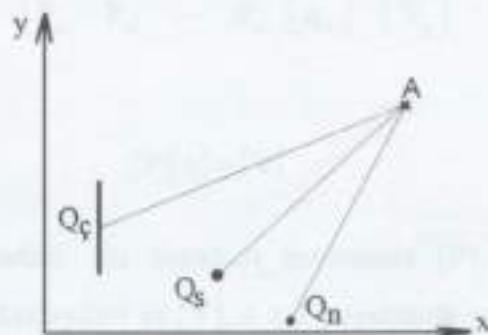
Yük Benzetim Yöntemi ile elektrik alan hesabının temeli, gerçek elektrik alanın, alan hesaplanacak bölgenin dışına yerleştirilen hayali yüklerle benzetilmesi ilkesine dayanmaktadır. Burada, elektrotların yüzeyine, fiziksel olarak dağılmış yüzeysel yükler yerine "ayrık yükler" yerleştirilir. Ayrık yüklerin değerleri, sınır üzerinde seçilen belirli sayıda "sınır noktası" 'nda, sınır koşullarının sağlanmasıyla belirlenir. Benzetim yüklerinin oluşturduğu potansiyeller, incelenen bölge içinde Laplace ve Poisson denklemlerini sağlamaktadır. Benzetim yüklerin yerleri ve değerleri bilinirse, söz konusu bölge içinde herhangi bir noktadaki potansiyel ve alan şiddeti değerleri kolaylıkla hesaplanabilir.

Yük Benzetim Yönteminin temel ilkesi, oldukça basittir ve süperpozisyon prensibine dayanır. Sistem üzerinde bulunan n sayıda ayrı yükün herhangi bir A noktasında (A noktası herhangi bir yükün bulunduğu nokta olmadığı sürece) meydana getirdiği potansiyel, her bir yükün (q_j) A noktasında meydana getirdiği potansiyellerin toplamından bulunur. Bu noktadaki potansiyeli V_i ile gösterecek olursak,

$$V_i = \sum_{j=1}^n P_{ij} q_j \quad (2.1)$$

olur. Burada P_{ij} , Laplace ve Poisson denklemlerinin özel çözümlerinin yapıldığı bir çok

yük tipi için bilinen "potansiyel katsayıları" 'dır. Şekil 2.1. 'de sonlu çizgisel bir Q_C , noktasal bir Q_N ve sonsuz çizgisel Q_S yükleri ve A noktası görülmektedir.



Şekil 2.1. Sonlu çizgisel, sonsuz çizgisel ve noktasal yük

Bu yüklerin A noktasında meydana getirdiği V_i potansiyeli denklem (2.1) kullanılarak

$$V_i = P_{i1}Q_1 + P_{i2}Q_2 + P_{i3}Q_3 \quad (2.2)$$

elde edilir. P_{ij} potansiyel katsayıları, Q_j büyüklüğü ile V_i potansiyeli arasındaki ilişkiyi sağlayan ek sınır koşullar olarak bilinir. Genelde elektrik alanı hesaplanacak olan elektrot sisteminin potansiyeli bilinmektedir. Benzetim yükleri, alanı hesaplanacak bölgein kenarına veya yüzeyi eş potansiyel bir yüzey olan kapalı bir elektrot içine yerleştirilir. Bu benzetim yüklerinin tipi ve yeri için kabul yapılır. Elektrik alanı hesabı, elektrodun gerçek yüzeyel yükleri yerine, benzetim yükleri kullanılarak yapılır. Benzetim yüklerinin sayısı kadar nokta seçilir. Bu noktalara "sınır noktası" adı verilir. Eğer sınır noktası elektrot yüzeyinde alımmış bir nokta ise, o zaman sınır noktası potansiyeli elektrot potansiyeline eşittir.

Seçilen sınır noktalarından herhangi birinde, bütün benzetim yüklerinin potansiyellerinin toplamından oluşan potansiyelin elektrot potansiyeline eşit olması gereklidir. Bu işlem n adet sınır noktası ve n adet benzetim yükü için,

$$\begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \cdots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \cdots & P_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{n1} & P_{n2} & \cdots & P_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \vdots \\ q_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

veya kısaca

$$[P][q] = [V] \quad (2.4)$$

denklem sistemi elde edilir. Bu denklem sisteminde $[P]$, değerleri bilinen $n \times n$ boyutundaki potansiyel katsayıları ve $[V]$, $n \times 1$ boyutunda sınır noktaları potansiyelidir. $n \times 1$ boyutundaki değerleri bilinmeyen q benzetim yükleri sayısal yöntemler kullanılarak bulunur.

(2.3) denklem sisteminde, gerçek elektrot sistemi yerine n adet ayrık sınır noktasının ve n adet benzetim yükünün kullanıldığı bilinmektedir. Bu nedenle sınır noktalarından başka herhangi bir noktasının potansiyeli gerçek elektrot potansiyelinden farklı olabilir. Bu fark benzetimin doğruluğunu belirler.

Benzetimin doğruluğunu belirlemek için elektrot üzerinde bulunan ve potansiyelleri bilinen belirli sayıda "kontrol noktası" seçilir. Bu kontrol noktaları için denklem (2.1) çözülderek kontrol noktalarının benzetim yüklerinden dolayı meydana gelen potansiyelleri bulunur. Bu potansiyellerle gerçek sınır potansiyelleri arasındaki fark benzetimin doğruluğunu bir ölçüsüdür. Bu fark, tolerans sınırları içerisinde değilse, aşağıdaki dört veriden bir veya birkaçı değiştirmek hesaplamalar tekrarlanır.

- 1- Benzetim yüklerinin sayısı
- 2- Benzetim yüklerinin yeri
- 3- Benzetim yüklerinin tipi
- 4- Sınır noktalarının yeri

Uygun yük sisteminin belirlenmesinden sonra sistemin herhangi bir noktasında potansiyel, superpozisyon ile analitik olarak hesaplanabilir.

Herhangi bir noktadaki elektrik alan şiddetini hesap için, potansiyel ifadesinden

$$\vec{E} = \nabla V \quad (2.5)$$

bağıntısı yardımıyla kartezyen koordinat sisteminde E_i alan ifadesi,

$$\begin{aligned} \vec{E}_i &= \left[\sum_{j=1}^n \frac{\partial P_j}{\partial x} q_j \right] \vec{u}_x + \left[\sum_{j=1}^n \frac{\partial P_j}{\partial y} q_j \right] \vec{u}_y + \left[\sum_{j=1}^n \frac{\partial P_j}{\partial z} q_j \right] \vec{u}_z \\ &= \left[\sum_{j=1}^n (f_{ij})_x q_j \right] \vec{u}_x + \left[\sum_{j=1}^n (f_{ij})_y q_j \right] \vec{u}_y + \left[\sum_{j=1}^n (f_{ij})_z q_j \right] \vec{u}_z \end{aligned} \quad (2.6)$$

bağıntısı ile verilir. Burada $(f_{ij})_x$, $(f_{ij})_y$ ve $(f_{ij})_z$ 'e "alan katsayıları" denir. \vec{u}_x , \vec{u}_y ve \vec{u}_z ise sırasıyla x, y ve z doğrultularındaki birim vektörlerdir.

2.2. Benzetim Yükleri

Yük Benzetim Yöntemi ile elektrik alan hesabının temel ilkesinin gerçek elektrik alanın, alan hesaplanacak bölgenin dışına yerleştirilen ayrık yüklerle benzetilmesi olduğu Bölüm 2.1. 'de belirtildi. Herhangi bir benzetim yükünü kullanmak için potansiyel ve alan sabitlerinin bilinmesi esastır. Bu bölümde, ayrık yük tipleri ve bu yük tipleri için Laplace ve Poisson denklemlerinin özel çözümlerinin yapıldığı potansiyel katsayıları ve elektrik alan ifadeleri verilecektir.

Genelde noktasal ve çizgisel yüklerin potansiyel ve alan sabitleri, hesaplama süresi az olan basit analitik ifadelerle verilebilir. Daha karmaşık yük tipleri için potansiyel ve alan sabitlerinin, zorunlu olarak sayısal yöntemlerle hesaplanması gerekebilir. Elektrot sisteminin yapısma bağlı olarak, karmaşık şekilli yük tiplerinin kullanılması halinde yük sayısı ve bilgisayarda hesaplama süresi basit yüklerle benzetilmesine nazaran azalabilir.

Genel olarak, yüksek gerilim sistemlerinin çoğunun benzetiminde temel yük tipleri; noktasal, çizgisel ve halkasal yükler veya bunların uygun bileşikleri kullanılarak yöntem başarı ile uygulanabilir.

2.2.1. Noktasal Yük

Noktasal yükün alanı Coulomb Kanunu'ndan gidilerek bulunur. Buna göre, aynı işaretli yükler birbirini iterler ve zit işaretli yükler birbirini çekerler. Boyutları, aralarındaki uzaklık yanında çok küçük iki iletken cisim arasındaki itme veya çekme kuvveti, yüklerin çarpımı ile orantılı ve aralarındaki uzaklığın karesiyle ters orantılıdır. Bu kuvvet ayrıca yüklerin içinde bulunduğu ortama da bağıtdır. Yukarıdaki şartı sağlayan yüke *noktasal yük* adı verilir. Aralarında r uzaklığının olan q ve Q gibi iki noktasal yük arasında bu yükleri birleştiren doğrultuda, radyal yönde meydana gelen kuvvet Coulomb Kanunu'na göre vektörel olarak

$$\vec{F} = \frac{Qq}{4\pi\epsilon r^2} \hat{u}_r \quad (2.7)$$

şeklinde ifade edilir. Burada \hat{u}_r , yükleri birleştiren doğrultu üzerinde, bir yükten diğerine yönelik radyal yöndeki birim vektörü, ϵ ise ortamın dielektrik sabitidir.

Bir elektrik alan içine sokulan, boyut ve değerce alanı bozmayacak kadar küçük olduğu farzedilen noktasal Q yüküne etki eden kuvvet hem bu yükün değeri ile orantılıdır ve hem de yükün koordinatlarına bağlıdır. Bu kuvvet vektör olarak,

$$\vec{F} = Q\vec{E} \quad (2.8)$$

elektrik alan şiddeti de,

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q} \quad (2.9)$$

bağıntısı ile ifade edilir. (2.7) eşitliği (2.9) da yerine yazıldığında alan ifadesi

$$\vec{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon r^2} \hat{u}_r \quad (2.10)$$

şeklinde elde edilir.

Noktasal bir yükün alanında, bu yükten uzaklığı r olan herhangi bir noktanın sonsuza göre mutlak potansiyeli,

$$V = \int_r^\infty \vec{E} \cdot d\vec{r} = \frac{q}{4\pi\epsilon} \int_r^\infty \frac{dr}{r^2} = \frac{q}{4\pi\epsilon r} \quad (2.11)$$

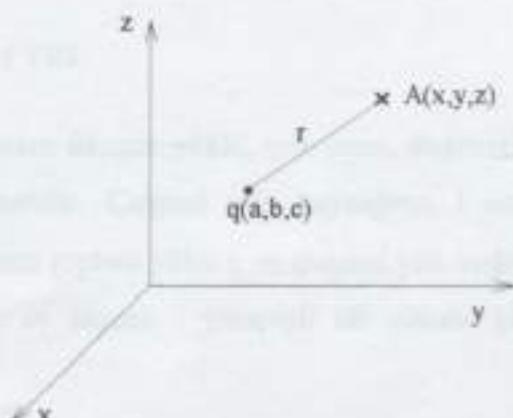
bağıntısı ile elde edilir. $r \rightarrow \infty$ için $V=0$ olacağından sonsuzdaki bir nokta, noktasal yükün potansiyel alanı için referans bir nokta olarak alınabilir. Gerilim ifadesi,

$$V = \frac{q}{4\pi\epsilon r} = p q \quad (2.12)$$

şeklinde düzenlenebilir. Burada

$$p = \frac{1}{4\pi\epsilon r} \quad (2.13)$$

terimine noktasal yükün "potansiyel katsayısı" denir.



Şekil 2.2. Kartezyen koordinatlarda noktasal yük

Potansiyel katsayısını kartezyen koordinatlarda hesaplamak için Şekil 2.2 'den r ,

$$r = \sqrt{(x-a)^2 + (y-b)^2 + (z-c)^2} \quad (2.14)$$

olarak elde edilir. (2.14) bağıntısı, (2.13)' de yerine yazıldığında

$$p = \frac{1}{4\pi\epsilon r \sqrt{(x-a)^2 + (y-b)^2 + (z-c)^2}} \quad (2.15)$$

şeklinde açık olarak ifade edilebilir. Noktasal yükün "alan katsayı" ise, (2.15) eşitliğine (2.5) denkleminin uygulanmasıyla bulunur. Buna göre (2.15) ifadesinin x , y ve z 'ye göre kısmi türevleri alınarak alan şiddetinin x , y ve z bileşenlerinin alan katsayıları,

$$f_x = \frac{\partial p}{\partial x} = \frac{(x-a)}{4\pi\epsilon r^3} \quad (2.16)$$

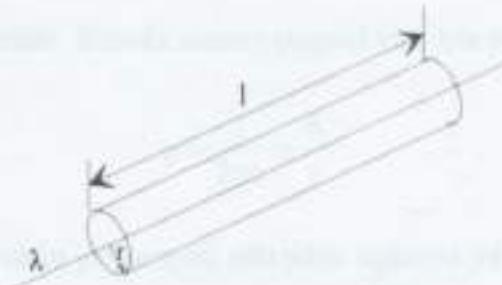
$$f_y = \frac{\partial p}{\partial y} = \frac{(y-b)}{4\pi\epsilon r^3} \quad (2.17)$$

$$f_z = \frac{\partial p}{\partial z} = \frac{(z-c)}{4\pi\epsilon r^3} \quad (2.18)$$

olarak bulunur.

2.2.2. Sonsuz Çizgisel Yük

Yarıçapı sonsuz küçük olan düzgün yüklü, çok uzun, doğrusal bir iletken, çizgisel yük kaynağı olarak ele alınabilir. Çizgisel yük kaynağının 1 uzunluğundaki bir parçası incelendiğinde, bu parçanın toplam yükü q ve çizgisel yük yoğunluğu da $\lambda = q / l$ olur. Yük kaynağını kuşatan eş eksenli τ yarıçaplı bir silindir yüzeyine Gauss Teoremi uygulanır.



Şekil 2.3. Çizgisel yük kaynağı

$$\oint \bar{D} ds = \oint D_r ds = D_r \cdot 2\pi r l = q = \lambda l \quad (2.19)$$

buradan,

$$D_r = \frac{q}{2\pi r l} = \frac{\lambda}{2\pi r} = \epsilon E_r \quad (2.20)$$

$$E_r = \frac{\lambda}{2\pi \epsilon r} \quad (2.21)$$

olarak elde edilir. Çizgisel yükün potansiyeli,

$$V = - \int \bar{E}_r dr = - \int E_r dr = - \frac{q}{2\pi \epsilon} \int \frac{dr}{r} = - \frac{q}{2\pi \epsilon} \ln r + K \quad (2.22)$$

bağıntısıyla bulunur. Burada K integral sabitinin değeri, potansiyeli sıfır olan referans noktasına göre sınır koşullarından bulunur. Referans noktasının çizgisel yük kaynağının uzaklıği R ise,

$$V = 0 = - \frac{q}{2\pi \epsilon} \ln R + K \quad (2.23)$$

$$K = \frac{q}{2\pi \epsilon} \ln R \quad (2.24)$$

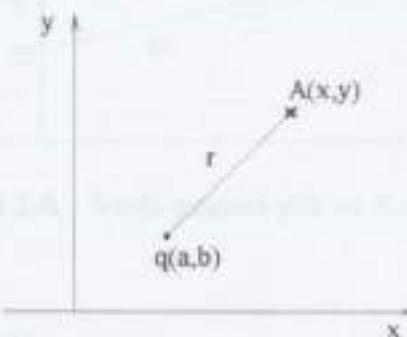
(2.22) bağıntısında K değeri yerine yazıldığında,

$$V = - \frac{q}{2\pi \epsilon} \ln \frac{r}{R} = \frac{q}{2\pi \epsilon} \ln \frac{R}{r} \quad (2.25)$$

potansiyel bağıntısı elde edilir. Burada sonsuz çizgisel yük için potansiyel katsayısi

$$p = \frac{1}{2\pi\epsilon} \ln \frac{R}{r} \quad (2.26)$$

dir. Burada R, çizgisel yükün potansiyeli sıfır olan noktaya ya da simetri düzlemindeki en yakın noktaya uzaklığdır.



Şekil 2.4. Sonsuz çizgisel yük ve A noktası

Şekil 2.4.'den r değeri,

$$r = \sqrt{(x-a)^2 + (y-b)^2} \quad (2.27)$$

şeklinde ifade edilir. Bu ifade (2.26) da yerine yazıldığında kartezyen koordinatlarda

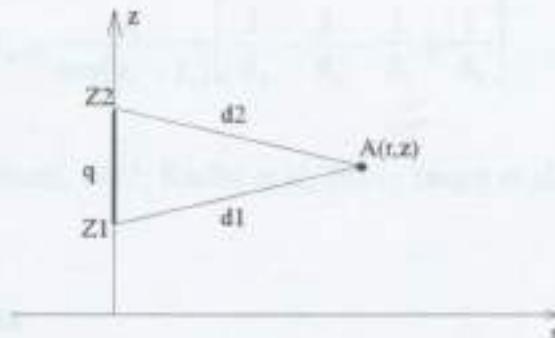
$$p = \frac{1}{2\pi\epsilon} \ln \frac{R}{\sqrt{(x-a)^2 + (y-b)^2}} \quad (2.28)$$

olur. (2.28) ifadesi (2.6) denklemine uygulandığında yani potansiyel katsayısının x ve y 'ye göre kısmi türevleri alındığında

$$f_x = \frac{(x-a)}{2\pi\epsilon \left((x-a)^2 + (y-b)^2 \right)} \quad (2.29)$$

$$f_y = \frac{(y-b)}{2\pi\epsilon \left((x-a)^2 + (y-b)^2 \right)} \quad (2.30)$$

şeklinde sonsuz çizgisel yükün elektrik alan şiddetinin, x ve y bileşenlerinin alan katsayıları elde edilir (Ergeneli, 1986; Yıldırım, 1992; Malik, 1989).



Şekil 2.5. Sonlu çizgisel yük ve A noktası

2.2.3. Sonlu Çizgisel Yük

Şekil 2.5 de görülen sonlu çizgisel yükün A noktasında meydana getirdiği potansiyel,

$$V = \frac{q}{4\pi\epsilon(z_2 - z_1)} \ln \frac{(z_2 - z + d_2)(z_2 + z + \delta_1)}{(z_1 - z + d_1)(z_2 + z + \delta_2)} \quad (2.31)$$

denklemiyle elde edilir. $V=pq$ ifadesinden sonlu çizgisel yük için potansiyel katsayısı p,

$$p = \frac{1}{4\pi\epsilon(z_2 - z_1)} \ln \frac{(z_2 - z + d_2)(z_2 + z + \delta_1)}{(z_1 - z + d_1)(z_2 + z + \delta_2)} \quad (2.32)$$

şeklinde ifade edilir. Burada,

$$\begin{aligned} d_1 &= \sqrt{r^2 + (z_1 - z)^2} & ; & \delta_1 = \sqrt{r^2 + (z_1 + z)^2} \\ d_2 &= \sqrt{r^2 + (z_2 - z)^2} & ; & \delta_2 = \sqrt{r^2 + (z_2 + z)^2} \end{aligned} \quad (2.32a)$$

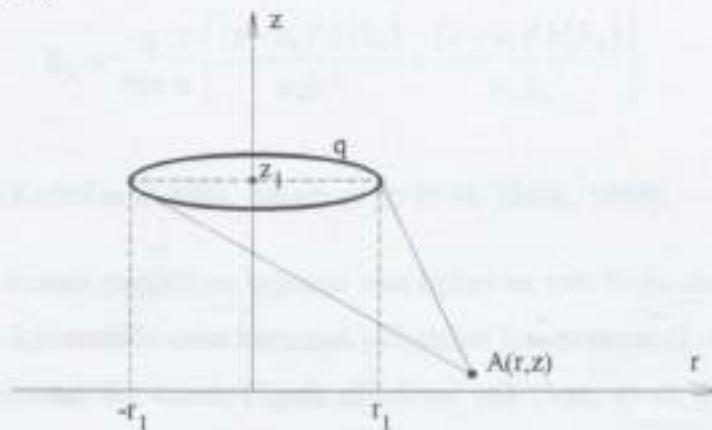
dir. A noktasındaki elektrik alan şiddetinin r ve z bileşenleri potansiyel ifadesinin r ve z 'ye göre türevleri alarak,

$$E_r = \frac{q}{4\pi\epsilon(z_2 - z_1)} \left[\frac{(z_2 - z)}{r d_2} - \frac{(z_1 - z)}{r d_1} + \frac{(z_1 + z)}{r \delta_1} - \frac{(z_2 + z)}{r \delta_2} \right] \quad (2.33)$$

$$E_z = \frac{q}{4\pi\epsilon(z_2 - z_1)} \left[\frac{1}{d_2} - \frac{1}{d_1} - \frac{1}{\delta_1} + \frac{1}{\delta_2} \right] \quad (2.34)$$

olarak elde edilir (Yıldırım, 1992; Kuffel et al, 1984; Singer et al, 1974; Malik, 1989).

2.2.4. Halkasal Yük



Şekil 2.6. Merkezi z ekseninde bulunan halkasal yük ve A noktası

Şekil 2.6 da verilen halkasal yük için potansiyel katsayıları,

$$p = \frac{2}{4\pi^2\epsilon} \left[\frac{K(k_1)}{\alpha_1} - \frac{K(k_2)}{\alpha_2} \right] \quad (2.35)$$

olup, burada

$$\alpha_1 = \sqrt{(r + r_1)^2 + (z - z_1)^2} \quad ; \quad \alpha_2 = \sqrt{(r - r_1)^2 + (z + z_1)^2} \quad (2.35a)$$

$$\beta_1 = \sqrt{(r - r_1)^2 + (z - z_1)^2} \quad ; \quad \beta_2 = \sqrt{(r + r_1)^2 + (z + z_1)^2}$$

ve

$$k_1 = \frac{2\sqrt{r_1 r}}{\alpha_1} \quad , \quad k_2 = \frac{2\sqrt{r_1 r}}{\alpha_2} \quad (2.35b)$$

dir. (2.35) ifadesinden alan şiddeti ifadesine geçirilirse, alanın r , z bileşenleri,

$$E_r = \frac{-q}{4\pi\epsilon_0 \pi r} \left\{ \frac{[r_1^2 - r^2 + (z - z_1)^2] E(k_1) - \beta_1^2 K(k_1)}{\alpha_1 \beta_1^2} - \frac{[r_1^2 - r^2 + (z + z_1)^2] E(k_2) - \beta_2^2 K(k_2)}{\alpha_2 \beta_2^2} \right\} \quad (2.36)$$

$$E_r = \frac{-q}{4\pi\epsilon_0 \pi} \left\{ \frac{(z - z_1)^2 E(k_1)}{\alpha_1 \beta_1^2} + \frac{(z + z_1)^2 E(k_2)}{\alpha_2 \beta_2^2} \right\} \quad (2.37)$$

şeklinde elde edilir (Kuffel et al, 1984; Singer et al, 1974; Malik, 1989).

Noktasal, sonlu ve sonsuz çizgisel ve halkasal yük tipleri en çok kullanılan ve kullanımı kolay yük tipleridir. Literatürde daha karmaşık yük tipleri için potansiyel ve alan ifadeleri bulunmaktadır. Bunlardan bir kısmı; Eliptik silindirsel yük (Sato et al, 1979), basık ve uzatılmış küremsi yükler ve eksenel hiperboloidal yük (Sato et al, 1979) için potansiyel ve alan ifadeleri ilgili kaynaklarda bulunmaktadır.

3. ENERJİ İLETİM HATLARINDA ELEKTRİK VE MAGNETİK ALAN HESAPLAMALARI

Bu bölümde, YBY ile yüksek gerilimli (YG) enerji iletim hatlarında elektrik ve magnetik alan hesaplamalarının yapılması için gerekli bağıntılar verilecektir. Önce, elektrik alan hesabı için, YBY enerji iletim hatlarına uygulanarak ve ilgili bağıntılar çıkarılacaktır. Üç, altı ve oniki fazlı sistemler için potansiyel ifadeleri verilecektir. Ayrıca magnetik alan hesaplamaları için de ilgili bağıntılar verilecektir. Ortamda elektrik ve magnetik alandan dolayı insan vücutunun uzatılmış küre modelinde induklenen elektrik alan, akım yoğunluğu ve kısa devre akımı ifadeleri verilecektir.

3.1. Yük Benzetim Yönteminin YG Enerji İletim Hatlarına Uygulanması

YG enerji iletim hatlarında YBY ile elektrik alan hesabı için önce uygun bir yük tipi belirlenir. İletim hatlarının meydana getirdiği alanlar için benzetim yükü olarak, sonsuz çizgisel yük tipi seçilir. Bir iletken üzerindeki yükün, sonsuz uzunluktaki çizgisel yüklerle benzetilmesi, silindirsel iletkenlerin elektrostatik alanlarının hesabı için bilinen bir yoldur.

Yarıçapı sonsuz küçük olan düzgün yüklü, çok uzun, doğrusal bir iletken çizgisel yük kaynağı olarak ele alınabilir. Böyle bir kaynağın alanı, eksenel simetriden dolayı doğrultuda olacağından, alan çizgileri iletken yüzeyini dik olarak keser. Çizgisel yük kaynağına dik paralel düzlemlerdeki alan şekilleri birbirinin aynı olur.

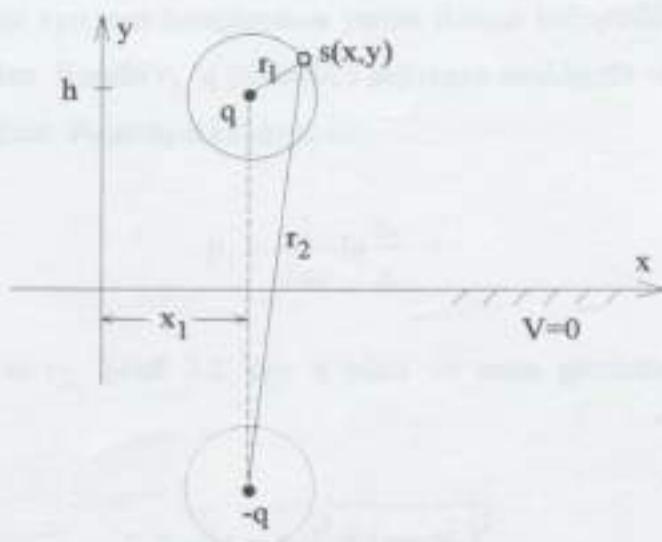
İletkenlerin yerini alacak benzetim yük tipi belirlendikten sonra, iletim hatlarında elektrik alan hesabı için bu benzetim yükünün sayısal değerinin hesaplanması gereklidir. Bunun için de iletken kesiti üzerinde benzetim yükünün, sınır noktasının ve kontrol noktasının yerleri belirlenir. Buna bir örnek Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. İletken kesit yüzeyi üzerinde yük, sınır noktası ve kontrol noktası

Burada benzetim yükü sayısı kadar, sınır noktası seçilmelidir. Benzetim yüklerimin ve sınır noktalarının yerleri keyfi olarak belirlenir.

Benzetim yüklerinin sayısal değerlerinin bulunması için sıfır potansiyelli referans noktasına göre sınır noktası potansiyeli kullanılır. Burada sınır noktası potansiyeli iletken gerilimine eşittir. Sıfır potansiyelli referans noktası olarak toprak yüzeyi alınır. Teorik olarak toprak yüzeyi potansiyelini sıfır yapmak için, toprak yüzeyi simetri düzlemini olarak kabul edilerek benzetim yüklerinin, ters işaretli görüntüyü yükleri kullanılır. Potansiyel ifadesinin çıkarılmasının daha kolay anlaşılmaması için bir iletken ve onun görüntüsünden oluşan bir sistem seçilmiştir. Bu sistemde iletken tek bir sonsuz çizgisel q yükü ile benzeştirilmiştir ve bu sistem Şekil 3.2. de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Görüntü yükü ve sıfır potansiyelli düzlemler

Sonsuz çizgisel yükün potansiyel katsayısi ifadesi denklem (2.26) in Şekil 3.2. deki çizgisel yük ve görüntüsüne uygulanması ile q yükü ve görüntüyü yükünün s noktasındaki potansiyel ifadesi,

$$V_s = \frac{q}{2\pi\epsilon} \ln \frac{h}{r_1} = \frac{-q}{2\pi\epsilon} \ln \frac{h}{r_2} \quad (3.1)$$

$$V_s = \frac{q}{2\pi\epsilon} \ln \frac{h}{r_1} = \frac{q}{2\pi\epsilon} \ln \frac{r_2}{h} \quad (3.2)$$

$$V_s = \frac{q}{2\pi\epsilon} \ln \frac{h}{r_1} - \frac{q}{2\pi\epsilon} \ln \frac{r_2}{h} \quad (3.3)$$

$$V_s = \frac{q}{2\pi\epsilon} \left\{ \ln \frac{h}{r_1} - \ln \frac{r_2}{h} \right\} \quad (3.4)$$

$$V_s = \frac{q}{2\pi\epsilon} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (3.5)$$

şeklinde elde edilir. (3.5) ifadesi yükün ve görüntüsünün s kontrol noktasındaki potansiyel ifadesidir. İllerideki hesaplamalarda yükün potansiyel ifadesi ve görüntüsünün potansiyel ifadesinin aynı aynı hesaplanması yerine ikisinin birleştirildiği (3.5) potansiyel ifadesi kullanılacaktır. Burada r_1 , q yükünün s noktasına uzaklığdır ve r_2 ise $-q$ yükünün s noktasına uzaklığdır. Potansiyel katsayısi ise,

$$p_s = \frac{1}{2\pi\epsilon} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (3.6)$$

olur. Burada r_1 ve r_2 , Şekil 3.2 'den q yükü ve onun görüntüsü ile s noktasının koordinatına göre

$$r_1 = \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2} \quad (3.7)$$

$$r_2 = \sqrt{(x - x_1)^2 + (y + y_1)^2} \quad (3.8)$$

(3.7) ifadeleri (3.5) 'de yerine yazıldığında,

$$V_s = \frac{q}{2\pi\epsilon} \ln \frac{\sqrt{(x-x_1)^2 + (y+y_1)^2}}{\sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2}} \quad (3.9)$$

potansiyel ifadesi açık olarak elde edilir. Bu ifadede V_s sınır noktası potansiyeli bilinmekte ve iletken gerilimine eşittir. Yük ve görüntüsü kartezyen koordinat eksenine oturtulur, bu durumda bilinmeyen sadece q değeridir, q yük değeri de denklemden çözülmektedir.

YG enerji iletim hatlarında gerilim değeri kompleks bir büyüklük olduğundan, (3.9) ifadesinde potansiyel değeri olarak her bir faz için, gerilimin kompleks ifadesi kullanılır.

YG enerji iletim sistemlerinde birden fazla iletken bulunmaktadır. n adet iletken için ve her bir iletkenin benzetiminde bir tek benzetim yükü kullanıldığında (3.9) potansiyel ifadesinin genelleştirilmiş hali,

$$\hat{V} = \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{2\pi\epsilon} \ln \frac{\sqrt{(x-x_i)^2 + (y+y_i)^2}}{\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}} \quad (3.10)$$

Bu denklem yardımcıyla n sayıda iletkenin bilinen sınır noktası potansiyellerinden n sayıda bilinmeyen yüklerin bulunması için bir denklem sistemi oluşturulur. Bu sistem

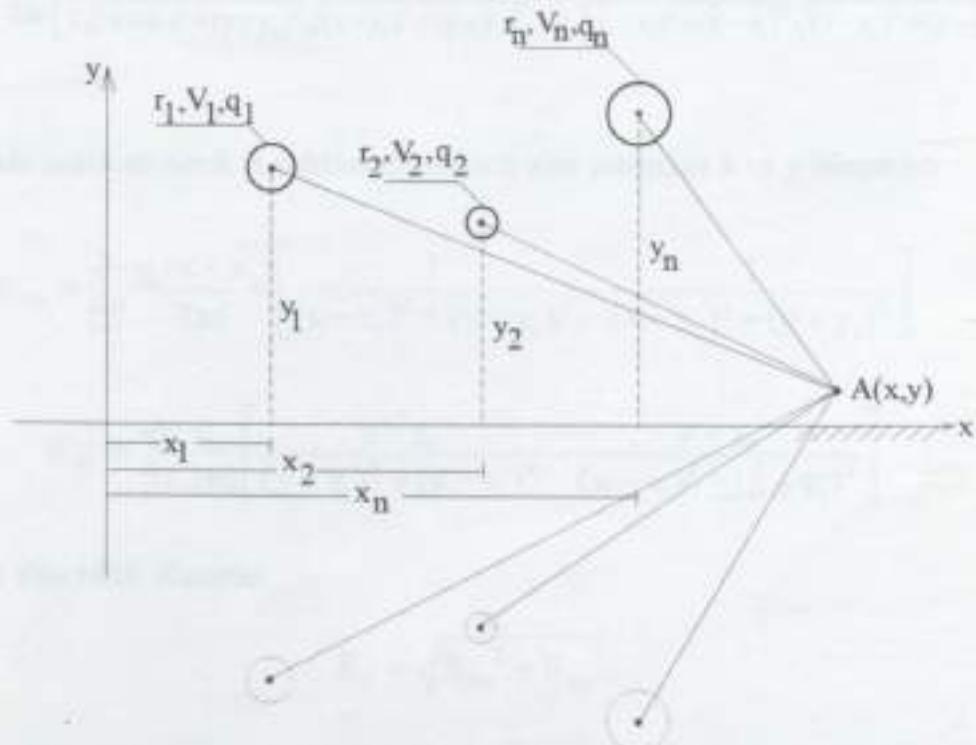
$$\begin{aligned} \hat{V}_1 &= q_1 P_{11} + q_2 P_{12} + \dots + q_n P_{1n} \\ \hat{V}_2 &= q_1 P_{21} + q_2 P_{22} + \dots + q_n P_{2n} \\ &\vdots && \vdots \\ \hat{V}_n &= q_1 P_{n1} + q_2 P_{n2} + \dots + q_n P_{nn} \end{aligned} \quad (3.11)$$

$$\begin{bmatrix} \hat{V}_1 \\ \hat{V}_2 \\ \vdots \\ \hat{V}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \vdots \\ q_n \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

şeklindedir. n sayıda bilinmeyenden ve n sayıda denklemden oluşan bu sistem uygun bir sayısal hesaplama yöntemlerinden birinin kullanımı ile hesaplanır ve q yüklerinin kompleks değerleri bulunur.

Yöntemin doğruluğunu belirlemek için, hesaplanan q yük değerleri kullanılarak kontrol noktası potansiyelleri hesaplanır. Kontrol noktasının koordinatları (x,y) ise denklem (3.10) kullanılarak, bu koordinatlardaki kontrol noktasının potansiyelleri hesaplanır. Sınır noktaları potansiyelleri ile kontrol noktaları potansiyelleri arasındaki fark benzetimin doğruluğunu bir ölçüsündür. Bu fark tolerans sınırı içinde ise işleme devam edilir. Hata, tolerans sınırının dışında ise o zaman, Bölüm 2.1. de anlatıldığı gibi; Benzetim yüklerinin sayısı, Benzetim yüklerinin yeri, Sınır noktalarının yeri ve Benzetim yüklerinin tipi, şeklindeki dört esastan bir veya birkaçını değiştirerek işlem, hata tolerans sınırı içine çekilene kadar tekrarlanır.

Yük değerlerini elde ettikten sonra YG enerji iletim sisteminin herhangi bir A noktasındaki (Şekil 3.3.) potansiyel ve elektrik alan hesabına geçilebilir.



Şekil 3.3 n sayıda iletken ve A noktası

Şekil 3.3 deki A noktasında potansiyelin değeri denklem (3.11) den

$$\dot{V}_A = \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{2\pi\epsilon} \ln \frac{\sqrt{(x-x_i)^2 + (y+y_i)^2}}{\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}} \quad (3.13)$$

bağıntısıyla elde edilir.

Sistemdeki n iletkeninden dolayı A noktasındaki elektrik alan şiddetinin değerini hesaplamak için önce bu sistem için elektrik alan ifadesi, (2.5) bağıntısı (3.13)'e uygulandığında,

$$\vec{E}_A = -\frac{\partial \dot{V}_A}{\partial x} \vec{u}_x - \frac{\partial \dot{V}_A}{\partial y} \vec{u}_y \quad (3.14)$$

$$\begin{aligned} \vec{E}_A &= \sum_{i=1}^n \left[-\frac{q_i}{2\pi\epsilon} \left[\frac{2(x-x_i)}{2\sqrt{(x-x_i)^2 + (y+y_i)^2} \sqrt{(x-x_i)^2 + (y+y_i)^2}} - \frac{2(x-x_i)}{2\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}} \right] \vec{u}_x \right] \\ &+ \sum_{i=1}^n \left[-\frac{q_i}{2\pi\epsilon} \left[\frac{2(y+y_i)}{2\sqrt{(x-x_i)^2 + (y+y_i)^2} \sqrt{(x-x_i)^2 + (y+y_i)^2}} - \frac{2(y-y_i)}{2\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}} \right] \vec{u}_y \right] \end{aligned} \quad (3.15)$$

Bu ifade sadeleştirilerek A noktasında elektrik alan şiddetinin x ve y bileşenleri

$$E_{Ax} = \sum_{i=1}^n \frac{q_i(x-x_i)}{2\pi\epsilon} \left[\frac{1}{(x-x_i)^2 + (y+y_i)^2} - \frac{1}{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} \right] \quad (3.16)$$

$$E_{Ay} = \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{2\pi\epsilon} \left[\frac{y+y_i}{(x-x_i)^2 + (y+y_i)^2} - \frac{y-y_i}{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} \right] \quad (3.17)$$

olarak elde edilir. Buradan

$$E_A = \sqrt{E_{Ax}^2 + E_{Ay}^2} \quad (3.18)$$

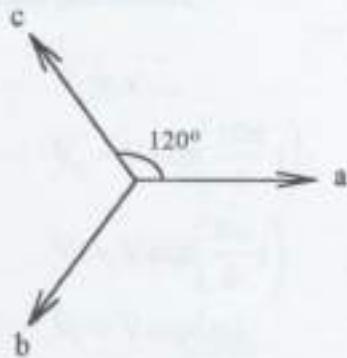
(3.18) ifadesi, A noktasındaki Bileşke Elektrik Alan ifadesidir (Abdel-Salam, 1990; Abdel-Salam et al, 1990; Malik, 1989).

3.1.1. YBY'nin Üç, Altı ve Oniki Fazlı Enerji İletim Hatlarında Uygulanması

Herhangi bir iletim hattının elektrik alan hesabı için önce hat konfigürasyonu koordinat eksenlerine yerleştirilir. Bu şekilde yüklerin sınır ve kontrol noktalarının koordinatları belirlenmiş olur. Sınır noktası potansiyeli olarak her bir iletkenin faz gerilimi ve faz açısı alır. Faz açısının alan hesaplamalarında kullanılması ile fazların birbirlerine karşı etkisi göz önüne alınmış olur. Böylece, yük değerleri kompleks olarak elde edilir. Elde edilen yük değerlerinden herhangi bir noktada elektrik alan hesabı yapılabılır. Faz açısının değişimi ile altı ve oniki fazlı sistemlerde de alan hesabı yapılabılır.

3.1.1.1. Üç Fazlı Sistemler

Üç fazlı sistemlerde fazlar arasında 120 derecelik bir açı bulunmaktadır. Bu nedenle faz-faz gerilimi, faz nötr gerilimden büyüktür. Şekil 3.4 de üç fazlı sistem için gerilim fazör diyagramı verilmiştir.



Şekil 3.4. Üç fazlı sistem gerilim fazör diyagramı

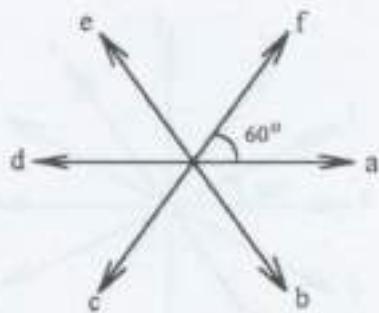
Üç fazlı bir iletim sistemi için faz gerilimleri,

$$\begin{aligned}\hat{V}_a &= V \\ \hat{V}_b &= V \exp\left(\frac{4\pi i}{3}\right) \\ \hat{V}_c &= V \exp\left(\frac{2\pi i}{3}\right)\end{aligned}\tag{3.19}$$

olarak alır.

3.1.1.2. Altı Fazlı Sistemler

Altı fazlı sistemlerde sıralı fazlar arasında 60 derecelik bir açı bulunmaktadır. Bu nedenle sıralı faz - faz gerilimleri, faz nötr gerilimine eşittir. Şekil 3.5 de altı fazlı sistem için gerilim fazör diyagramı verilmiştir.



Şekil 3.5. Altı fazlı sistem gerilim fazör diyagramı

Altı fazlı bir iletişim sistemi için faz gerilimleri,

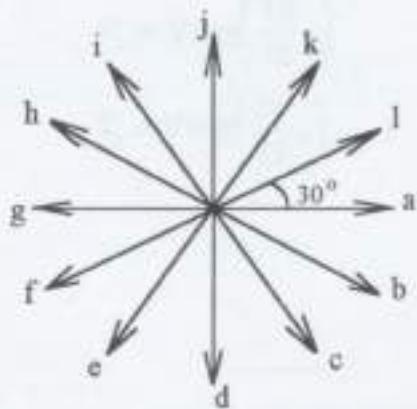
$$\begin{aligned}\dot{V}_a &= V \\ \dot{V}_b &= V \exp\left(\frac{10\pi}{6}j\right) \\ \dot{V}_c &= V \exp\left(\frac{8\pi}{6}j\right) \\ \dot{V}_d &= V \exp(\pi j) \\ \dot{V}_e &= V \exp\left(\frac{4\pi}{6}j\right) \\ \dot{V}_f &= V \exp\left(\frac{2\pi}{6}j\right)\end{aligned}$$

(3.20)

olarak alır.

3.1.1.3. Oniki Fazlı Sistemler

Oniki fazlı sistemlerde sıralı fazlar arasında 30 derecelik bir açı bulunmaktadır. Bu nedenle sıralı faz - faz gerilimleri, faz nötr geriliminden küçüktür. Şekil 3.6 da oniki fazlı sistem için gerilim fazör diyagramı verilmiştir.



Şekil 3.6. Oniki fazlı sistem gerilim fazör diyagramı

Oniki fazlı bir iletim sistemi için faz gerilimleri,

$$\begin{aligned}\dot{V}_a &= V \\ \dot{V}_b &= V \exp\left(\frac{22\pi}{12}j\right) \\ \dot{V}_c &= V \exp\left(\frac{20\pi}{12}j\right) \\ \dot{V}_d &= V \exp\left(\frac{18\pi}{12}j\right) \\ \dot{V}_e &= V \exp\left(\frac{16\pi}{12}j\right) \\ \dot{V}_f &= V \exp\left(\frac{14\pi}{12}j\right)\end{aligned}$$

(3.21a)

ve

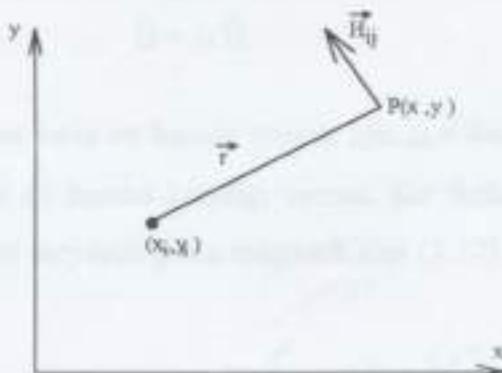
$$\begin{aligned}\hat{V}_s &= V \exp(\pi j) \\ \hat{V}_b &= V \exp\left(\frac{10\pi}{12} j\right) \\ \hat{V}_i &= V \exp\left(\frac{8\pi}{12} j\right) \\ \hat{V}_j &= V \exp\left(\frac{6\pi}{12} j\right) \\ \hat{V}_k &= V \exp\left(\frac{4\pi}{12} j\right) \\ \hat{V}_l &= V \exp\left(\frac{2\pi}{12} j\right)\end{aligned}\quad (3.21b)$$

olarak alınır.

3.2. Enerji İletim Hatlarında Magnetik Alan Hesabı

İçerisinden akım geçen her iletken etrafında magnetik bir alan meydana getirir. Magnetik alan içerisinde bulunan iletken yada dielektrik cisimlerde magnetik alandan dolayı iç akımlar induklenir. İndüklenen akımların çevresel ve özellikle de canlılar üzerindeki biyolojik etkileri yapılan araştırmalar sonucunda ortaya çıkartılmıştır. Bu konuda geliştirilen standartlarda magnetik alanların sınırları tespit edilmiştir. Magnetik alan kaynaklarının en önemlilerinden biri de enerji iletim hatlarıdır. Yeni kurulacak iletim hatlarının dizayn aşamasında magnetik alan şiddetinin standartlarda öngörülen değerlerin üzerinde olup olmadığıının tespit edilmesi için magnetik alan hesabı büyük önem kazanmaktadır.

Enerji iletim hatlarının magnetik alan hesabı, toprak üzerinde havaya yerleştirilen paralel hatların iki boyutlu analizleri kullanılarak yapılmaktadır. Şekil 3.7 'de, koordinat ekseninde (x_i, y_i) koordinatlarına yerleştirilen 1 akımlı bir iletken ve magnetik alan şiddeti hesaplanacak boşluktaki bir nokta görülmektedir.



Şekil 3.7. Akım taşıyan bir iletken ve Magnetik alan şiddeti hesaplanacak P noktası

Şekil 3.7 deki sistem için P noktasındaki magnetik alan büyüklüğü,

$$H_i = \frac{I_i}{2\pi r} \quad (3.22)$$

ifadesiyle hesaplanabilir. (3.22) denklemmin vektörel notasyonda ifadesi

$$\vec{H}_i = \frac{\vec{I}_i \times \vec{r}_i}{2\pi \phi_{ij}} = \frac{I_i}{2\pi \phi_{ij}} \hat{\phi}_{ij} \quad (3.23)$$

şeklindedir. Bu denklemde $\hat{\phi}_{ij}$ birim vektördür ve

$$\hat{\phi}_{ij} = \frac{-y_i - y_j}{r_{ij}} \bar{u}_x + \frac{x_i - x_j}{r_{ij}} \bar{u}_y \quad (3.24)$$

olarak ifade edilir. \bar{u}_x ve \bar{u}_y yatay ve dikey yönlerdeki birim vektörlerdir. Birden fazla sayıdaki iletkenlerin herhangi bir noktada meydana getirdikleri toplam magnetik alan şiddeti

$$\vec{H}_j = \sum_i \frac{I_i}{2\pi r_{ij}} \hat{\phi}_{ij} \quad [\text{A/m}] \quad (3.25)$$

bağıntısıyla elde edilir. Magnetik akı yoğunluğu,

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (3.26)$$

şeklindedir. Burada, hem hava ve hemde toprak için $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m 'dir. Toprak dönüş akımlarının etkisi de hesaba katıldığı zaman, her iletken akımı ve onun toprak dönüş akımları tarafından meydana gelen magnetik alan (3.27) eşitliği ile ifade edilir.

$$\vec{H}_{ji} = \frac{I_i}{2\pi r_{ij}} \vec{\phi}_{ij} - \frac{I_i}{2\pi r'_{ij}} \left[1 + \frac{1}{3} \left(\frac{2}{\gamma r'_{ij}} \right)^4 \right] \vec{\phi}'_{ij} \quad (3.27)$$

Burada;

$$\gamma = [j\omega\mu(\sigma + j\omega\epsilon)]^{1/2} \quad (3.28)$$

σ , toprak iletkenliği ($\sigma \approx 0.001 \sim 0.02$ s/m) ve ϵ , toprak dielektrik sabitidir ($\epsilon \approx 8.85 \cdot 10^{-12}$, havanın dielektrik sabiti toprak içinde kullanılabilir). (3.27) eşitliğinde

$$r'_{ij} = \left[(x_i - x_j)^2 + (y_i + y_j + z_j/\gamma)^2 \right]^{1/2} \quad (3.29)$$

ve

$$\vec{\phi}'_{ij} = \left[\frac{y_i + y_j + z_j/\gamma}{r'_{ij}} \right] \vec{u}_x + \frac{x_i - x_j}{r'_{ij}} \vec{u}_y \quad (3.30)$$

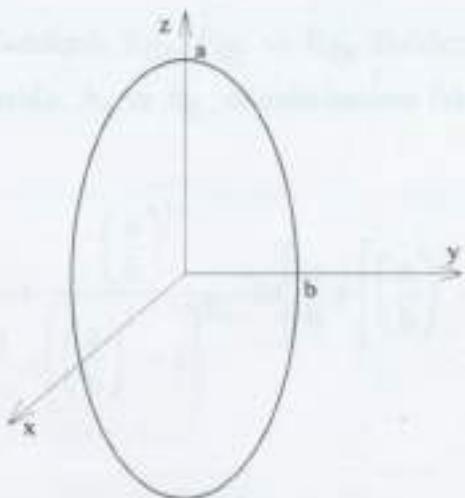
dir.

$$\begin{aligned} H_x &= H_{xz} + jH_{xy} \\ H_y &= H_{yz} + jH_{xy} \\ \vec{H}_r &= H_{xz}\vec{u}_x + H_{yz}\vec{u}_y \\ \vec{H}_i &= H_{xz}\vec{u}_x + H_{yz}\vec{u}_y \end{aligned} \quad (3.31)$$

Akımin kompleks bir büyüklük olmasından dolayı magnetik alanın x ve y bileşenlerinin reel ve imajinel kısımları bulunmaktadır. Bu da eşitlik (3.31) de ifade edilmiştir (EPRI, 1987).

3.3. Enerji İletim Hatlarının İnsan Vücutundan İndüklediği Elektrik Alanı ve Akım Yoğunluğunun Hesabı

Elektrik ve magnetik alan ortamında bulunan biyolojik cisimlerde induklenen elektrik alanı hesaplamak için öncelikle biyolojik cismin modellenmesi gereklidir. Biyolojik cisim modeli olarak, Şekil 3.8'de verilen uzatılmış küre (prolate spheroid) modeli ele alınacaktır.



Şekil 3.8. Uzatılmış küre modeli

Biyolojik cisim içinde induklenen elektrik alanı, ortamda elektrik ve magnetik alandan meydana gelen bileşenleri bulunmaktadır. Bu bileşenler Eşitlik (3.32) de verilmiştir.

$$\vec{E} = \vec{E}_e + \vec{E}_m \quad (3.32)$$

Burada, E_e , ortamda elektrik alandan dolayı meydana gelen iç elektrik alan bileşeni.

\vec{E}_m , ortamda magnetik alandan dolayı meydana gelen iç elektrik alan bileşenidir ve

$$\vec{E}_e = \vec{E}_{ex} + \vec{E}_{ey} + \vec{E}_{ez} \quad (3.33)$$

$$\vec{E}_m = \vec{E}_{m1} + \vec{E}_{m2} + \vec{E}_{m3} \quad (3.34)$$

olarak ifade edilir. E_e ifadesindeki sırasıyla x, y ve z bileşenleri

$$\bar{E}_{ex} = \frac{E_{0x}}{1 + A_b(\varepsilon_r^* - 1)} \bar{u}_x \quad (3.35)$$

$$\bar{E}_{ey} = \frac{E_{0y}}{1 + A_b(\varepsilon_r^* - 1)} \bar{u}_y \quad (3.36)$$

$$\bar{E}_{ez} = \frac{E_{0z}}{1 + A_a(\varepsilon_r^* - 1)} \bar{u}_z \quad (3.37)$$

şeklindedir. Yukarıdaki ifadelerde E_{0x} , E_{0y} ve E_{0z} ifadeleri ortamındaki elektrik alanının sırasıyla x, y ve z bileşenleridir. A_a ve A_b , depolarizasyon faktörüdür ve

$$A_a = \frac{-1}{\left(\frac{a}{b}\right)^2 - 1} + \frac{\left(\frac{a}{b}\right)^2}{\left[\left(\frac{a}{b}\right)^2 - 1\right]^{3/2}} \cdot \ln \left(\frac{a}{b} + \left[\left(\frac{a}{b}\right)^2 - 1 \right]^{1/2} \right) \quad (3.38)$$

$$A_b = \frac{1 - A_a}{2} \quad (3.39)$$

şeklinde verilir.

ε_r^* , bağılı dielektrik sabitidir ve

$$\varepsilon_r^* = \frac{\varepsilon^*}{\varepsilon_0} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} - j \frac{\sigma}{\omega \varepsilon_0} \quad (3.40)$$

ile ifade edilir. Kas dokusundaki biyolojik cisimler için; ε_r^* , $3.30 \times 10^7 / 87.2$ olarak alınır

\bar{E}_m 'nin bileşenleri de,

$$\bar{E}_{ml} = -j\omega\mu_0 H_{0x} \frac{\left[y \bar{u}_z - \left(\frac{b}{a}\right)^2 z \bar{u}_y \right]}{1 + \left(\frac{b}{a}\right)^2} \quad (3.41)$$

$$\bar{E}_{m2} = -j\omega\mu_0 H_{0y} \frac{\left[\left(\frac{b}{a}\right)^2 z \bar{u}_x - x \bar{u}_z \right]}{1 + \left(\frac{b}{a}\right)^2} \quad (3.42)$$

$$\bar{E}_{m3} = -j\omega\mu_0 H_{0z} \frac{[x \bar{u}_y - y \bar{u}_x]}{2} \quad (3.43)$$

şeklindedir. Yukarıdaki ifadelerde H_{0x} , H_{0y} ve H_{0z} ifadeleri ortamındaki magnetik alan şiddetinin sırasıyla x, y ve z bileşenleridir.

İndüklenen elektrik alandan dolayı meydana gelen akım yoğunluğu da,

$$\bar{J} = j\omega\epsilon_0\epsilon_r^*\bar{E} = j\omega\epsilon_0|\epsilon_r^*|e^{-j\phi}\bar{E} \quad (3.44)$$

akım yoğunluğunun genliği de,

$$|\bar{J}| = \omega\epsilon_0|\epsilon_r^*||\bar{E}| = \omega\epsilon_0|\epsilon_r^*|\bar{E} \quad (3.45)$$

şeklindedir. Burada $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ F/m, $\omega = 2\pi f$ 'dir (Takemoto-Hambleton et al., 1988).

Ortamda elektrik alandan dolayı induklenen kısa devre akımı da,

$$I_{sc} = 15.0 \times 10^{-8} f W^{2/3} E_0 \quad (3.46)$$

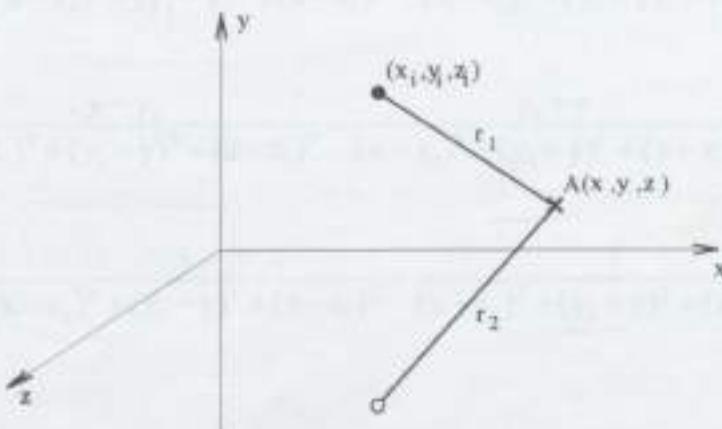
ifadesi ile elde edilir. Burada, f , frekans, W, insanın gram olarak ağırlığı, E_0 , ortamda V/m olarak elektrik alan şiddeti ve I_{sc} , μ A olarak kısa devre akımıdır (WHO, 1989).

4. İKİ DİREK ARASI MENZİL BOYUNCA ÜÇ BOYUTLU ELEKTRİK VE MAGNETİK ALAN HESABI

İki direk arasında üç boyutlu Elektrik ve Magnetik Alan hesaplamaları için öncelikle üç boyutlu kartezyen koordinatlar sisteminde alan ifadeleri elde edilecektir. Üç boyutlu eksen takımında x ekseni alan hesaplanacak hat güzergahına, y ekseni iletkenlerin yerden yüksekliğine ve z ekseni de menzil boyuna yerleştirilecektir. İletim hattında iletkenlerin sehim eğrisi ve yer eğrisi Kübik Spline yöntemi ile modellenerek, menzil boyunca iletkenlerin yere olan yükseklikleri bulunacaktır. Direk yakınlarda sehim eğrisinin hızla değiştiği bölgede alan hesaplanacak noktaya, iletken üzerindeki en yakın noktanın (sehim eğrisine dik olan yer) koordinatları tespit edilecektir. Elektrik alan hesabında direklerin ekranlama etkileri gözönünde bulundurulacaktır.

4.1. Üç Boyutlu Ortamda Elektrik Alan İfadelerinin Çıkartılması

Bölüm 3.1 de YBY ile enerji iletim hatlarında iki boyutlu elektrik alan hesaplamalarında kullanılacak alan ifadeleri çıkartılmıştır. İki boyutlu alan ifadeleri, menzil boyunca elektrik alan hesaplamalarında sehimin hızla değiştiği direk yakınlarda yeterli olmamaktadır. Bunun nedeni, alan hesaplanacak nokta ile iletken sehim eğrisi üzerindeki en yakın noktası aynı eksen üzerinde olmamasıdır. Bundan dolayı bu bölgelerde üç boyutlu alan ifadelerinin kullanılması gereklidir.



Şekil 4.1. Üç boyutlu ortamda sonsuz çizgisel yük ve görüntüsü ile alan hesaplanacak A noktası

Sekil 4.1 'den,

$$r_1 = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y_i - y)^2 + (z - z_i)^2} \quad (4.1)$$

$$r_2 = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y_i + y)^2 + (z - z_i)^2}$$

olur ve A noktası potansiyel ifadesi, (4.1) bağıntısı Eşitlik (3.5) de yerine yazıldığında,

$$\hat{V}_A = \frac{q_i}{2\pi\epsilon} \ln \frac{\sqrt{(x - x_i)^2 + (y_i + y)^2 + (z - z_i)^2}}{\sqrt{(x - x_i)^2 + (y_i - y)^2 + (z - z_i)^2}} \quad (4.2)$$

olarak elde edilir. (2.5) bağıntısı (4.2) ye uygulandığında

$$\bar{E}_A = -\frac{\partial \hat{V}_A}{\partial x} \bar{u}_x - \frac{\partial \hat{V}_A}{\partial y} \bar{u}_y - \frac{\partial \hat{V}_A}{\partial z} \bar{u}_z \quad (4.3)$$

olur. Potansiyel ifadesinin sırasıyla x, y ve z 'ye göre türevleri alınarak A noktasındaki elektrik alanının x, y, z bileşenleri

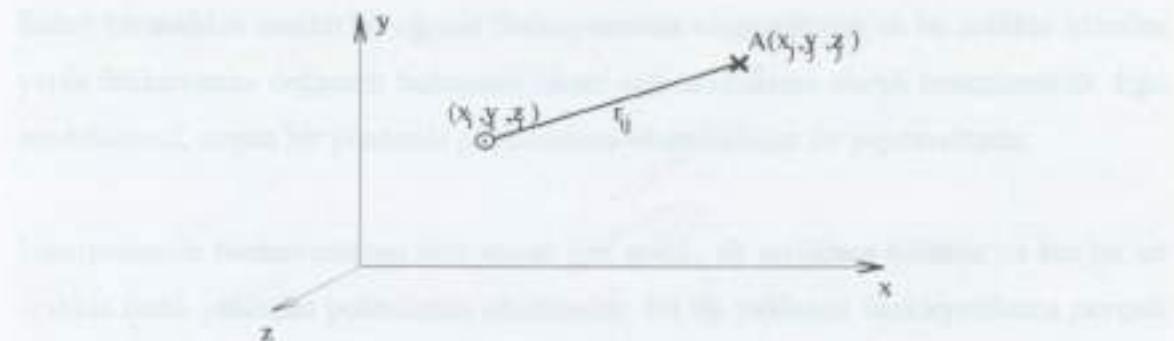
$$E_{Ax} = \frac{q(x - x_i)}{2\pi\epsilon} \left[\frac{1}{(x - x_i)^2 + (y_i - y)^2 + (z - z_i)^2} - \frac{1}{(x - x_i)^2 + (y_i + y)^2 + (z - z_i)^2} \right]$$

$$E_{Ay} = \frac{q}{2\pi\epsilon} \left[\frac{y - y_i}{(x - x_i)^2 + (y_i - y)^2 + (z - z_i)^2} - \frac{y_i + y}{(x - x_i)^2 + (y_i + y)^2 + (z - z_i)^2} \right]$$

$$E_{Az} = \frac{q(z - z_i)}{2\pi\epsilon} \left[\frac{1}{(x - x_i)^2 + (y_i - y)^2 + (z - z_i)^2} - \frac{1}{(x - x_i)^2 + (y_i + y)^2 + (z - z_i)^2} \right] \quad (4.4)$$

olarak elde edilir.

4.2. Üç Boyutlu Ortamda Magnetik Alan İfadelerinin Çıkarılması



Şekil 4.2. Üç boyutlu ortamda sonsuz çizgisel akım kaynağı ile alan hesaplanacak A noktası

Bölüm 3.2 'de enerji iletim hatlarının iki boyutlu magnetik alan şiddeti ifadeleri elde edilmişti. Benzer şekilde üç boyutlu düzlem için alan şiddeti ifadeleri elde edilecektir. Bu ifadelerde toprak dönüş akımlarının etkisi ihmal edilecektir. (3.23) ifadesinde $\vec{I}_i \times \vec{r}_{ji}$ ve \vec{r}_{ij} ifadeleri üç boyutlu olarak düzenlenendiğinde

$$\vec{I}_i \times \vec{r}_{ji} = \begin{vmatrix} \vec{u}_x & \vec{u}_y & \vec{u}_z \\ 0 & 0 & I_i \\ (x_i - x_j) & (y_i - y_j) & (z_i - z_j) \end{vmatrix} = I_i \cdot \{ -(y_i - y_j)\vec{u}_x + (x_i - x_j)\vec{u}_y \} \quad (4.5)$$

ve

$$r_{ij} = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 + (z_j - z_i)^2} \quad (4.6)$$

olarak elde edilir. r_{ij} ifadesi denklem (3.23) ve (3.24) de yerine yazarak, üç boyutlu ortam için magnetik alan şiddeti ifadesi,

$$\vec{H}_g = \frac{I_i}{2\pi[(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 + (z_j - z_i)^2]} \{ (-y_i - y_j)\vec{u}_x + (x_i - x_j)\vec{u}_y \} \quad (4.7)$$

olarak elde edilir.

4.3. Kübik Spline Algoritması

Belirli bir aralıkta tanımlı bir eğrinin fonksiyonunun oluşturulması ve bu aralıkta istenilen yerde fonksiyonun değerinin bulunması işlemi eğri modellemec olarak tanımlanabilir. Eğri modellemesi, uygun bir yöntemle polinomların oluşturulması ile yapılmaktadır.

Enterpolasyon fonksiyonlarını elde etmek için aralık, alt aralıklara bölünür ve her bir alt aralıkta farklı yaklaşım polinomları oluşturulur. Bu tip yaklaşım fonksiyonlarına *parçalı yaklaşım polinomu* denir. Parçalı yaklaşım polinomunun en basit tipi, düzenli çizgilerin bir serisi olarak $\{(x_0, f(x_0)), (x_1, f(x_1)), \dots, (x_n, f(x_n))\}$ şeklinde veri noktalarının oluşturularak birleşimini içerir ve parçalı lineer enterpolasyon olarak adlandırılır. Bu yaklaşımın dezavantajı; bu tip fonksiyon kullanılan yaklaşım problemlerinde her alt aralığın üç noktalarıdır, türetilebilirliğine güvenilmez, geometrik şartlarda enterpolasyon fonksiyonunun ortalaması bu noktalarda düzgün değildir. Düzgün olmayan durumlara benzer fiziksel durumlardan kurtarılmalı ve bu durumda da yaklaşım fonksiyonu sürekli türetilebilir olmalıdır. Örneğin, eğer f ve f' : $x_0 < x_1 < \dots < x_n$ noktalarının her birinde fonksiyon değerleri biliniyorsa $[x_0, x_n]$ aralığında sürekli türetilebilir bir fonksiyon elde etmek için $[x_0, x_1], [x_1, x_2], \dots, [x_{n-1}, x_n]$ alt aralıkların herbirinde üçüncü dereceden bir polinom kullanılabilir. Kübik polinomlar, uzayda hareket eden partiküllerin uygulama problemlerinde yaygın olarak kullanılır.

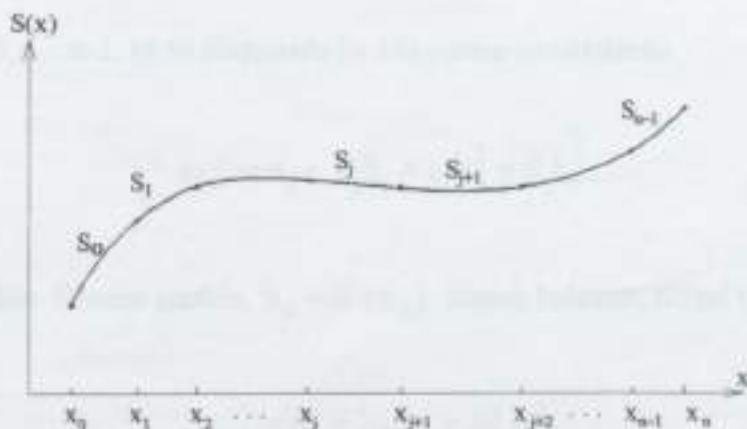
$[x_0, x_n]$ aralığında türetilebilir parçalı polinom fonksiyonunun en basit tipi, sıralı düğüm çiftlerinin her biri arasında ikinci dereceden bir polinom kurulması ile elde edilen fonksiyondur. Bu da, x_0 ve x_1 de fonksiyona uygun $[x_0, x_1]$ üzerinde ikinci dereceden yapılanma ile elde edilir, daha sonra x_1 ve x_2 de fonksiyona uygun $[x_1, x_2]$ üzerinde ikinci dereceden yapılanma ile elde edilir ve böylece işlem devam eder. İkinci dereceden polinomun üç keyfi sabiti vardır. Bunlar, sabit terimler, x 'in katsayısi ve x^2 'nin katsayısidır. Seçilen ikinci derece yaklaşımın fleksibilitesinin olması ve ayrıca enterpolasyonun $[x_0, x_n]$ aralığında sürekli türevinin olması gereklidir. Parçalı polinomlar kullanılarak yapılan bu yaklaşımda fonksiyonun uydurulduğu aralıkların son

noktaları hariç türev bilgisi gerekmemektedir. Bu yöntemdeki zorluk, x_0, x_n uç noktalarında fonksiyonun ve enterpolasyonun türevlerinin uyuşmasını sağlamasıdır. Bu durumda, şartların yerine gelmesi için yeterli sayıda sabitlerin olamadığını gösterir.

Sıralı nokta çiftleri arasında kübik polinomlar kullanılarak, parçalı polinom yaklaşımı *küpik spline enterpolasyonu* denir. Kübik polinom dört sabit içerir. Yeterli fleksibilite bu yöntemde vardır, öyleki; herhangi bir aralıkta sürekli türevinin yanı sıra ikinci sürekli türevler de bulunabilir.

$[a, b]$ aralığında tanımlanmış bir f fonksiyonu ve $a = x_0 \leq x_1 \leq \dots \leq x_n = b$ şeklinde düğümler verilmiş olsun. f için, S küpik spline enterpolasyonu aşağıdaki koşulları sağlar.

- a) S_j olarak gösterilen bir S küpik polinomu $[x_j, x_{j+1}]$ aralığını tanımlar, burada $j = 0, 1, \dots, n-1$ 'dir.
- b) $S(x_j) = f(x_j)$ ve $j = 0, 1, \dots, n$;
- c) $S_{j+1}(x_{j+1}) = S_j(x_{j+1})$ ve $j = 0, 1, \dots, n-2$;
- d) $S'_{j+1}(x_{j+1}) = S'_j(x_{j+1})$ ve $j = 0, 1, \dots, n-2$;
- e) $S''_{j+1}(x_{j+1}) = S''_j(x_{j+1})$ ve $j = 0, 1, \dots, n-2$;
- f) Smır şartlarının oluşturulması aşağıdaki durumlardan biri ile gerçekleşir.
 - $S''(x_0) = S''(x_n) = 0$ (serbest smır)
 - $S'(x_0) = f(x_0)$ ve $S'(x_n) = f'(x_n)$ (sıkramalı smır)



Şekil 4.3. $[x_0, x_n]$ aralığında tanımlı eğri ve alt bölgeler

Serbest sınır şartları sağlanlığında spline, *doğal spline* olarak adlandırılır ve onun grafiğine, $\{(x_0, f(x_0)), (x_1, f(x_1)), \dots, (x_n, f(x_n))\}$ veri noktalarının herbirine doğru yönlendirilirse uzun fleksibl çubuk şeklinde yaklaşır.

Verilen f fonksiyonu için kübik spline interpolasyonunu yapılandırmada, yukarıda sıralanan koşullar kübik polinoma uygulanabilir.

$$S_j(x) = a_j + b_j(x - x_j) + c_j(x - x_j)^2 + d_j(x - x_j)^3 \quad (4.8)$$

burada $j = 0, 1, \dots, n-1$. Açık olarak ifade edilirse $S_j(x_j) = a_j = f(x_j)$ olur ve (c) koşulu uygulanırsa,

$$\begin{aligned} a_{j+1} &= S_{j+1}(x_{j+1}) = S_j(x_{j+1}) \\ &= a_j + b_j(x_{j+1} - x_j) + c_j(x_{j+1} - x_j)^2 + d_j(x_{j+1} - x_j)^3 \end{aligned} \quad (4.9)$$

burada $j = 0, 1, \dots, n-1$. Burada $(x_{j+1} - x_j)$, ortak ifade olup denklemlerde sıkça kullanılacağından daha basit gösterimle

$$h_j = x_{j+1} - x_j \quad (4.10)$$

burada $j = 0, 1, \dots, n-1$. (4.9) ifadesinde (4.10) yerine yazıldığında

$$a_{j+1} = a_j + b_j h_j + c_j h_j^2 + d_j h_j^3 \quad (4.11)$$

olarak elde edilir. Benzer şekilde, $b_n = S'(x_n)$ olarak bulunur. Koşul (d) uygulanarak;

$$b_{j+1} = b_j + 2c_j h_j + 3d_j h_j^2 \quad (4.12)$$

ve S_j nin katsayıları arasındaki diğer bağıntıdan $c_n = S''(x_n) / 2$ olarak elde edilebilir ve koşul (e) uygulandığında

$$c_{j+1} = c_j + 3d_j h_j \quad (4.13)$$

elde edilir. Eşitlik (4.13) den d_j çözülür, bu değer Eşitlik (4.11) ve (4.12) de yerine yazılırsa, elde edilen yeni eşitlikler

$$a_{j+1} = a_j + b_j h_j + \frac{h_j^2}{3} (2c_j + c_{j+1}) \quad (4.14)$$

$$b_{j+1} = b_j + h_j (c_j + c_{j+1}) \quad (4.15)$$

olarak elde edilir. Eşitlik (4.14) den b_j ifadesi

$$b_j = \frac{1}{h_j} (a_{j+1} - a_j) - \frac{h_j}{3} (2c_j + c_{j+1}) \quad (4.16)$$

elde edilir ve b_{j-1} için düzenlenerek,

$$b_{j-1} = \frac{1}{h_{j-1}} (a_j - a_{j-1}) - \frac{h_{j-1}}{3} (2c_{j-1} + c_j) \quad (4.17)$$

olur. Benzer şekilde Eşitlik (4.15) den b_j çekilir ve b_{j-1} için düzenlenerek elde edilen denklem ile (4.16) eşitlenirse

$$h_{j-1} c_{j-1} + 2(h_{j-1} + h_j) c_j + h_j c_{j+1} = \frac{3}{h_j} (a_{j+1} - a_j) - \frac{3}{h_{j-1}} (a_j - a_{j-1}) \quad (4.18)$$

lineer sistem eşitliği elde edilir. Bu sistem $Ax=b$ vektör eşitliği ile gösterilirse;

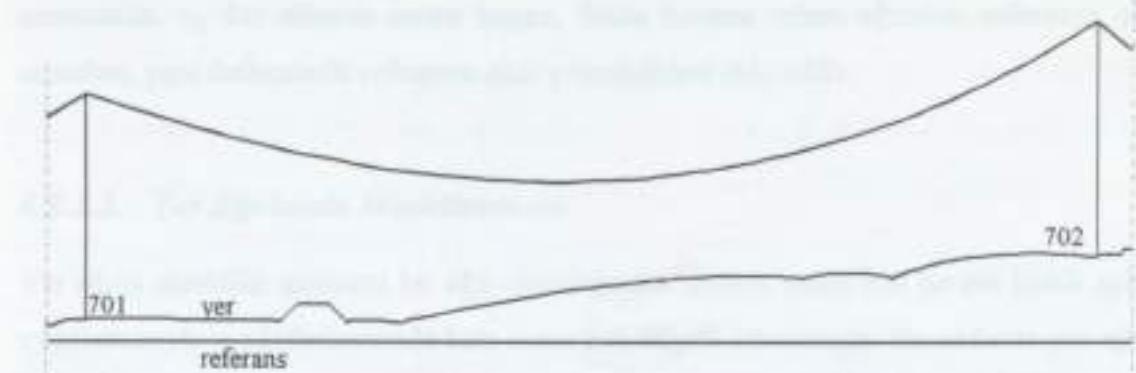
$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & & 0 \\ h_0 & 2(h_0 + h_1) & h_1 & & \\ 0 & h_1 & 2(h_1 + h_2) & h_2 & \\ & & & & 0 \\ & & h_{n-2} & 2(h_{n-2} + h_{n-1}) & h_{n-1} \\ 0 & & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$b = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{3}{h_1}(a_2 - a_1) - \frac{3}{h_0}(a_1 - a_0) \\ \vdots \\ \frac{3}{h_{n-1}}(a_n - a_{n-1}) - \frac{3}{h_{n-2}}(a_{n-1} - a_{n-2}) \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{ve} \quad x = \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ \vdots \\ c_n \end{bmatrix}$$

olur.

4.3.1. Kübik Spline Algoritması İle İletim Hatlarının Sehim ve Yer Eğrilerinin Modellenmesi

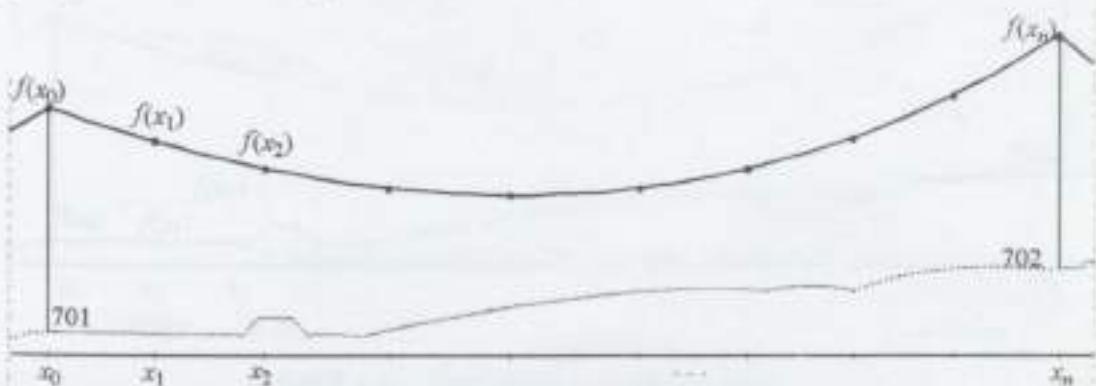
İki direk arasında üç boyutlu elektrik ve magnetik alan hesaplamalarında, alan hesabı yapılmak üzere seçilen iki direk arasında iletkenlerin yere olan uzaklığının her metre başına bilinmesi gerekmektedir. Bunun içinde hattın sehim ve yer eğrisi ayrı ayrı modellenerek, referans düzleme göre iletkenlerin ve yerin yükseklikleri her metre başma elde edilir. Bölüm 4.3 de verilen Kübik Spline Algoritması ile örnek olarak seçilen Şekil 4.4. deki Atatürk - Temelli iletişim hattının 701-702 nolu direkleri arasıının modellenmesi yapılacaktır.



Şekil 4.4. İletim hattının sehim ve yer eğrisi ile referans düzlemi

4.3.1.1. Sehim Eğrisinin Modellenmesi

Sehim eğrisi süreklilik gösteren bir eğri olduğundan dolayı tümü için bir tek kübik spline uygulamasıyla sehim eğrisi modellenebilir. Şekil 4.5 de örnek olarak alınan hattın sehim eğrisi ve referans düzlemi görülmektedir.



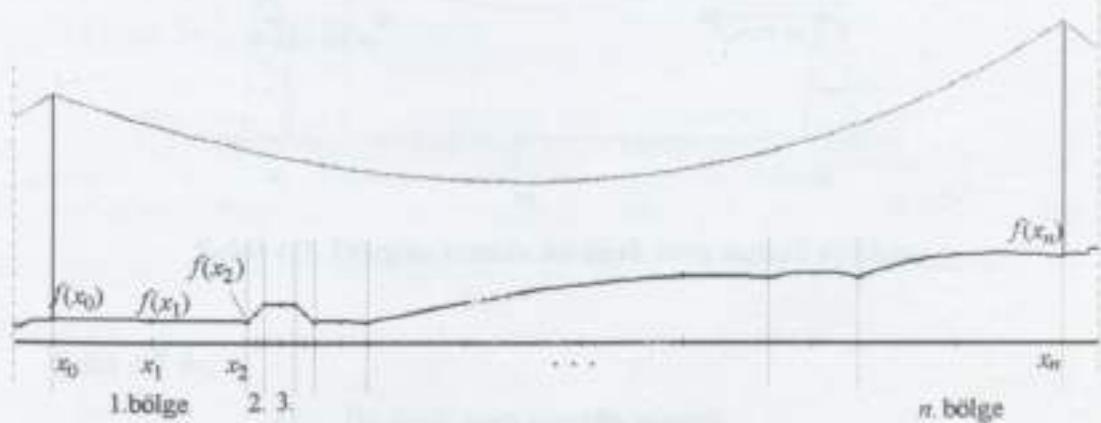
Şekil 4.5. Sehim eğrisinin modellenmesi

Sehim eğrisinin modellenmesi için, sehim eğrisi üzerinde keyfi olarak n adet nokta seçilir. Seçilen nokta sayısı ne kadar fazla olursa modellemenin hata oranı o kadar düşük olur. Böyle bir örnekte, on civarında nokta sayısı yeterli olmaktadır. Bu noktaların referansa olan uzaklıklarını, sehim eğrisinin fonksiyonunun ilgili noktalardaki değerleridir. Kübik spline algoritmasına, seçilen n adet noktanın x ve $f(x)$ değerleri, $\{(x_0, f(x_0)), (x_1, f(x_1)), \dots, (x_n, f(x_n))\}$ şeklinde veri olarak girilir. Modelleme

sonucunda, x_0 dan itibaren metre başma, iletim hattının sehim eğrisinin referansa olan mesafesi, yani iletkenlerin referansa olan yükseklikleri elde edilir.

4.3.1.2. Yer Eğrisinin Modellenmesi

Yer eğrisi sürekli gösteren bir eğri olmadığından dolayı, tümü için bir tek kübik spline uygulamasıyla modellenmesinde hata orası çok büyük olmaktadır. Bu nedenle yer eğrisi sürekli gösteren eğri parçalarından oluşan bölgelere bölünür. Şekil 4.6 da örnek olarak alman hattı yer ve referans düzlemi ile bölgeler görülmektedir. Her bölgede kalan yer eğrisi parçası sürekli bir eğri olması ve eğri fonksiyonlarının farklı olması nedeniyle, her bölge için aynı bir kübik spline uygulaması gerekmektedir. Her bölge için eğri modellemesi gerçekleştiriliyor, metre başma yerin referansa olan yüksekliği elde edilir. Bütün bölgeler için, metre başma yer yükseklikleri biraraya getirildiğinde, iki direk arasında yer eğrisinin tümü minimum hata ile modellenmiş olur.



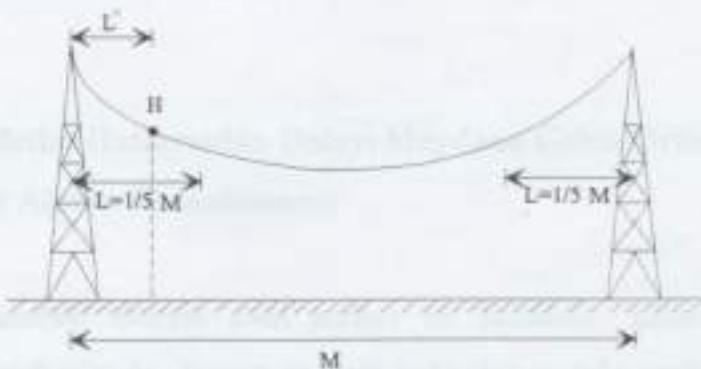
Şekil 4.6. Yer eğrisinin modellenmesi

4.4. Direk Yakınlarında Alanın Hesaplanacağı Noktaya Sehim Eğrisi Üzerindeki En Yakın Noktanın Bulunması

İletim hattı EM alan hesaplamaları sehimin maksimum olduğu bölgede yapıldığında, bu bölgede iletkenin sehim eğimi yaklaşık sıfır olduğundan dolayı alan hesaplanacak noktaya sehim eğrisi üzerindeki en yakın noktası, $z=0$ ekseni üzerinde olmaktadır ve iki boyutlu alan ifadeleri bu bölge için yeterlidir. Oysa menzil boyunca EM alan

hesaplamalarında, iletkenin direğe yakını olduğu bölgelerde, iletkenin sehim eğrisinin eğiminin sıfırdan çok farklı olması nedeniyle alan hesaplanacak noktaya sehim eğrisi üzerindeki en yakını nokta, z ekseni üzerindedir ve z sıfırdan farklıdır. Bu nedenle EM alan hesaplanacak noktaya sehim eğrisi üzerindeki en yakın noktanın belirlenmesi ve bu bölgede üç boyutlu alan ifadelerinin kullanılması gereklidir.

İki boyutlu analizlerde, EM alan hesabı yapılacak arazi düzgün kabul edilerek bu durumda, iki direk arası mesafenin $1/5'$ i kadar bir uzunlukta direk yakımlarında alan hesabı için, hesaplamalarda kullanılacak iletkenlerin yerden yükseklikleri (4.19) bağıntısı ile bulunabilir(Deno ve Silva 1987). Bu bağıntı menzil uzunluğunun orta kısımlarında uygulanmaz.



Şekil 4.7 Düzgün arazide iki direk arası menzil açılığı

Şekil 4.7 de,

M : İki direk arası mesafe, menzil

H : Gerçek yükseklik

L : Menzil uzunluğunun $1/5'$ i

L' : Direkten uzaklık

H_{es} : Hesaplamalarda kullanılacak eşdeğer yükseklik

$$H_{es} = \frac{H}{1 + 0.07 \frac{L - L'}{L}} \quad (4.19)$$

Bu ifade, arazinin düzgün olduğu durumlar için geçerlidir. Arazi yapısının dikkate aldığı durumlarda, EM alan hesaplamalarında (4.19) bağıntısı kullanılamaz. Bu durumda üç boyutlu hesaplamalara ihtiyaç vardır. Üç boyutlu hesaplamalar içinde direk yakımlarında alan hesaplanacak noktaya sehim eğrisi üzerindeki en yakın noktanın üç boyutlu koordinatları gerekmektedir. Bu durumda EM alan hesaplanacak noktaya sehim eğrisi üzerindeki en yakın noktanın bulunması için önce eksen takımı alan hesaplanacak noktaya getirilir, burada z ekseni iki direk arası menzil boyunca yerleştirilir. z eksenindeki sehim eğrisi üzerinde pozitif ve negatif yönde çeşitli mesafelerde sehim eğrisinin alan hesaplanacak noktaya uzaklıkları karşılaşılır ve en kısa mesafenin bulunduğu sehim eğrisi üzerindeki noktanın x, y ve z koordinatları kullanılarak üç boyutlu alan hesabı yapılır.

4.5. Enerji İletim Hatlarından Dolayı Meydana Gelen Ortamdaki Elektrik Alanının Ekranlanması

Ekranlama, ortamdaki elektrik alanı azaltıcı bir faktördür. Ekranlama için çeşitli materyaller kullanılmaktadır. Bunlar ile ilgili bağıntılar aşağıda verilmiştir. Ekranlama derecesini belirtmek için kullanılan faktör, SF, ekranlama faktörüdür. (4.20) bağıntısı ile ifade edilir.

$$E_S = E_U \cdot SF \quad (4.20)$$

Burada,

E_S : Ekranlı alan

E_U : Ekranlamadan önceki alan.

$$SF = E_S / E_U = 1 - K E_0 / E_U \quad (4.21)$$

Ekranlama fonksiyonu K, (4.22) eşitliği ile bulunur.

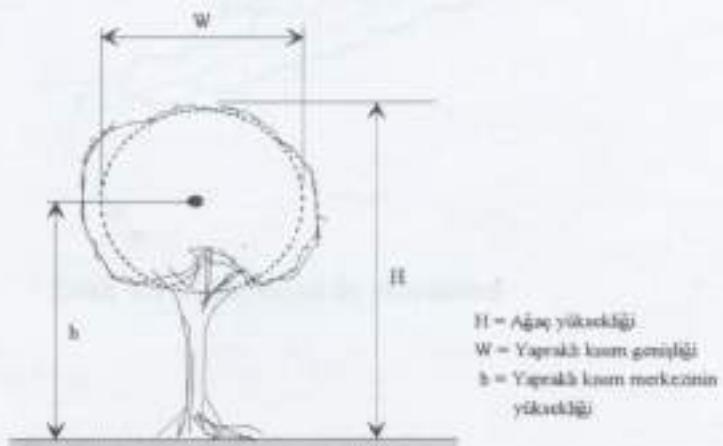
$$K = (E_U - E_S) / E_0 \quad (4.22)$$

E_0 : Ekranın bulunduğu yerde önceki alan şiddeti

Aşağıda bazı ekran çeşitleri için geliştirilen ekranlama fonksiyonları verilmiştir.

4.5.1. Tek Ağaç İle Ekranolama

Tek ağaç küre ile benzeştirilerek, ekranlama fonksiyonu için ağacın tüm yüksekliği ve yapraklı kısmın genişliği ekranlama fonksiyonu için kullanılır. Tek ağaçın ekranlama fonksiyonu (4.23) bağıntısı ile verilir.



Şekil 4.8 Tek ağaç ekranlama parametreleri

$$K = \frac{2 r / h}{\left[1 + \frac{x^2}{h^2} \right]^{3/2}} \quad (4.23)$$

Burada,

$$r = W / 2$$

$$h = H - W / 2$$

$$x = \text{Ağacın uzaklığı}$$

4.5.2. Ağaç Dizisi İle Ekranolama

Ağaç dizisi, toprak üzerindeki yüksekliği yapraklı kısmının merkezinin yüksekliğine eşit olan ve ağaç genişliğinin yarısına eşit yarıçaplı yatay silindir ile benzeştirilir. Şekil 4.9 da ağaç dizisi ile ekranlama verilmiştir. Ağaç dizisinin ekranlama fonksiyonu eşitlik (4.24) ile ifade edilir.

$$K = \frac{x K_r + y K_i}{x + y} \quad (4.24)$$



Şekil 4.9 Ağaç dizisi ile ekranlama

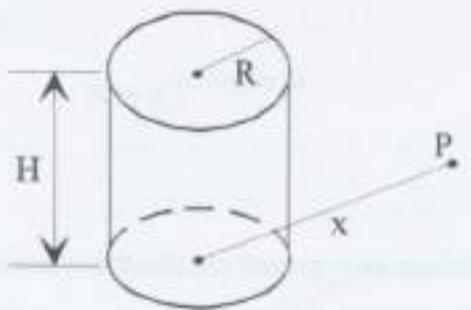
Burada,

$$K_r = \left[\frac{2}{1 + \frac{x^2 + y^2}{h^2}} \right] \left[\ln \frac{2h}{r} \right] \quad (4.25)$$

$$K_i = \left[\frac{2 r/h}{1 + \frac{x^2 + y^2}{h^2}} \right]^{3/2} \quad (4.26)$$

4.5.3. Dikey Silindir İle Ekranolama

Dikey silindir ile ekranlama Şekil 4.10 da gösterilmiş ve ekranlama fonksiyonu (4.27) ifadesi ile verilmiştir.



Şekil 4.10. Dikey silindir ile ekranlama

$$K = e^{-(x-R)/H}/\alpha \quad (4.27)$$

Burada, x : silindir merkezine uzaklık

H : silindir yüksekliği

R : silindir yarıçapı

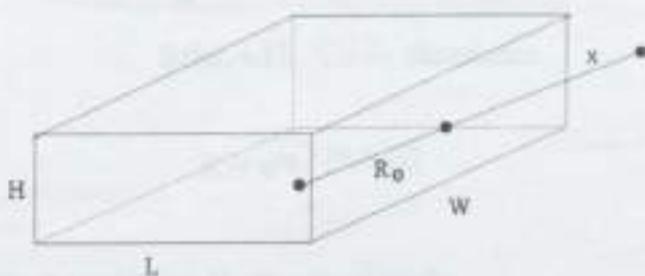
ve

$$\alpha = [1 - e^{-(R/H)^{1/4}}]^{1/3} \quad (4.28)$$

dir.

4.5.4. Dikdörtgen Prizma İle Ekranolama

Dikdörtgen prizmanın ekranlama parametreleri Şekil 4.11 de gösterilerek, ekranlama fonksiyonu (4.29) ifadesi ile verilmiştir.



Şekil 4.11 Dikdörtgen prizma ekranlama parametreleri

$$K = e^{-(x-R_\infty)/H} \alpha \quad (4.29)$$

Burada,

R_0 : prizma merkezinden kenara olan uzaklık

x : prizma merkezine uzaklık

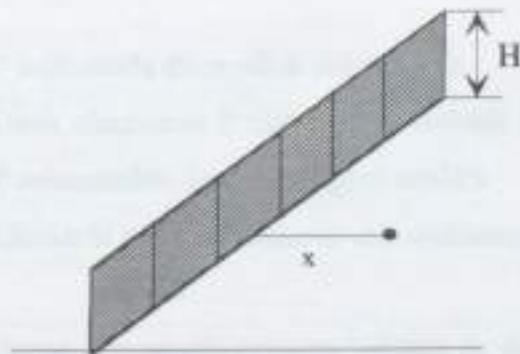
H : yükseklik

$$\alpha = \left[1 - e^{-(R_\infty/H)^{1/4}} \right]^{1/3} \quad (4.30)$$

$$R_\infty = 1 / 2\sqrt{L^2 + W^2} \quad (4.31)$$

4.5.5. Çit İle Ekranolama

Çit ile ekranolama Şekil 4.12 de gösterilmiş ve ekranolama fonksiyonu (4.32) ile verilmiştir.



Şekil 4.12 Çit ile ekranolama

$$K = e^{-x / (0.8 H)} \quad (4.32)$$

Burada x , çitten uzaklık ve H , çit yüksekliğidir.

4.5.6. Direk Ekranlaması

Direk ekranlaması direk tipine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Burada sunulan yaklaşım, değişik örnek hesaplamalarından elde edilen sonuçların ortalamasından D.W. DENO (1987) tarafından çıkarılmıştır. Direk ekranlaması Şekil 4.13 de gösterilmiştir. Direğin ekranlama etkisinden sonra P noktasındaki elektrik alan şiddeti eşitlik (4.33) ile ifade edilir.



Şekil 4.13 Direk ekranlaması

$$E_t = E_0 \left[1 - e^{(R/(H_t/3))} \right] \quad (4.33)$$

Burada,

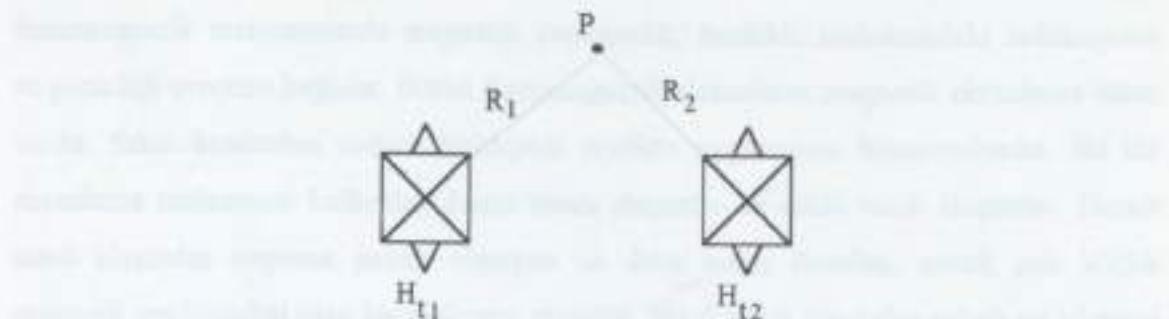
E_t : P noktasında direk etkili elektrik alan

E_0 : Direk olmaksızın P noktasındaki elektrik alan

R : P noktasından direk merkezine uzaklık

H_t : Direkteki en alçak iletkenin askı noktasının yüksekliği

İki paralel hattan oluşan sistemlerde yan yana bulunan iki direğin bir P noktasındaki ekranlama etkisi Şekil 4.14 'de gösterilmiş ve ekran etkili sonuç alan Eşitlik (4.34) ile hesaplanacaktır.



Şekil 4.14 İki direk ekranlaması

(4.33) eşitliği iki direk ekranlaması için geliştirildiğinde

$$E_t = E_o \left[1 - e^{(R_1/(H_{t1}/B))} \right] \left[1 - e^{(R_2/(H_{t2}/B))} \right] \quad (4.34)$$

olarak elde edilir.

4.6. MAGNETİK EKRANLAMA

Enerji iletim hatlarının üzerinden çekilen akımlardan dolayı magnetik alanlar meydana gelmektedir. Bu magnetik alanlardan, hatların yakımlarında bulunan canhıcların ve hassas cihazların korunması için magnetik alan ekranlaması önem kazanmaktadır. Bu bölümde, magnetik alanlı bir ortamda bulunan kapalı hacimlerin içerisine, dış ortamındaki magnetik alanın ne kadarnın geçeceğini ve kapalı hacmin dış tabakasının hangi özelliklerinin magnetik ekranlamada önemli rol oynadığı incelenerek ve küre ekranları için temel bağıntılar verilecektir..

1 Mhz 'den küçük frekanslı AC Magnetik alan ekranlamasında, ideal olarak iki tür konfigürasyon kullanılmaktadır. Bunlar, eşmerkezli küre ve sonsuz uzun silindir olarak tanımlanır. Küre veya silindir ekran, bir veya birden fazla tabaka olabilir. Her tabakanın kesintili olmayan sabit bir magnetik geçirgenliği (μ) ve sabit bir t kalınlığı vardır. Tüm

ferromagnetik malzemelerde magnetik geçirgenlik, özellikle malzemedeki induksiyona ve geçirdiği evrelere bağlıdır. Bütün ferromagnetik alaşımaların magnetik ekranlama etkisi vardır, fakat bunlardan sadece birkaçının pratikte uygulaması bulunmaktadır. İki tür ekranlama malzemesi kullanılır; demir esash alaşımalar ve nikel esash alaşımalar. Demir esash alaşımalar nispeten pahalı olmayan ve daha kolay üretilen, ancak çok küçük magnetik geçirgenliği olan bir malzeme türüdür. Nikel esash alaşımalar pahalı ve işlemesi zor, fakat etkili magnetik ekranlama için gerekli olan yüksek magnetik geçirgenliğe sahiptir. AC ekranlamalarında frekans düşük olmalıdır (<1 MHz) ve dalgı boyu ekran boyutuna kıyasla büyük olmalıdır. AC ekranlama, alçak relüktanslı devre elemanına doğru alanın yönlendirilmesi ve alana karşı koyan ekran içindeki girdap akımlarının induksiyon etkilerinin bileşimidir. Alçak frekanslarda yer değiştirme etkisi etkin rol oynar, yüksek frekanslarda girdap akımı ekranlaması etkin olur. Ekranlama faktörü, dış alanın, ekran içindeki alana oranıdır. Küre için magnetik ekranlama faktörü S, AC alanlar için eşitlik (4.36) ile elde edilir.

$$S = \frac{H_0}{H_{i_0}} \quad (4.35)$$

$$S = \left| \cosh(x + jy) + \left\{ \frac{2}{3} \frac{1}{y + jy} \frac{1}{3} (y + jy) \right\} \sinh(x + jx) \right| \quad (4.36)$$

Burada,

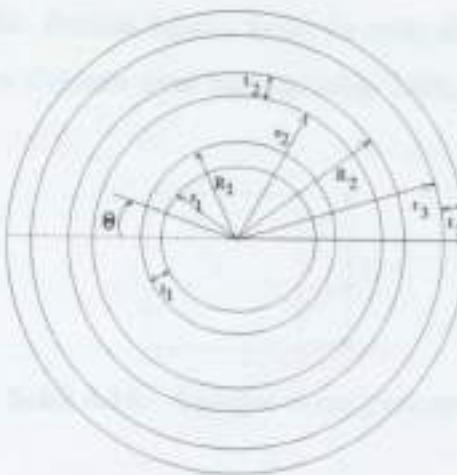
$$x = 0.505 t \sqrt{\frac{\mu f}{\rho}} \quad (4.37)$$

$$y = 6.05 R \sqrt{\frac{f}{\mu \rho}}$$

t, inch; R, feet; ρ, microohm-cm'dir. x < 1 için S ifadesi,

$$S = 1 + \frac{2x}{3y} \quad (x < 1) \quad (4.38)$$

olar.



Şekil 4.15. Çok tabaklı küre ekran modeli

(4.37) ifadesindeki birimler metrik sisteme çevrilirse, bu takdirde (4.38) ekranolama ifadesi ($x < 1$) için,

$$S = 1 + \frac{2 \mu t}{3 R} \quad (4.39)$$

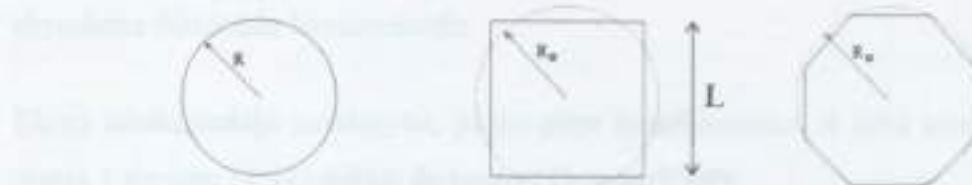
olur. Bu ifadede t ve R santimetre cinsinden, tabaka kalınlığı ve yarıçapıdır. Çok tabaklı ekranda, toplam ekranolama faktörünü bulmak için,

$$\begin{aligned} S = & 1 + S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_N \\ & + S_1 \cdot S_2 \left(1 - \frac{V_1}{V_2} \right) \cdot S_3 \left(1 - \frac{V_2}{V_3} \right) \dots S_N \left(1 - \frac{V_{N-1}}{V_N} \right) \end{aligned} \quad (4.40)$$

ifadesi kullanılır. Burada, V_i , her bir ekranın hacmi dir ($i = 1..N$).

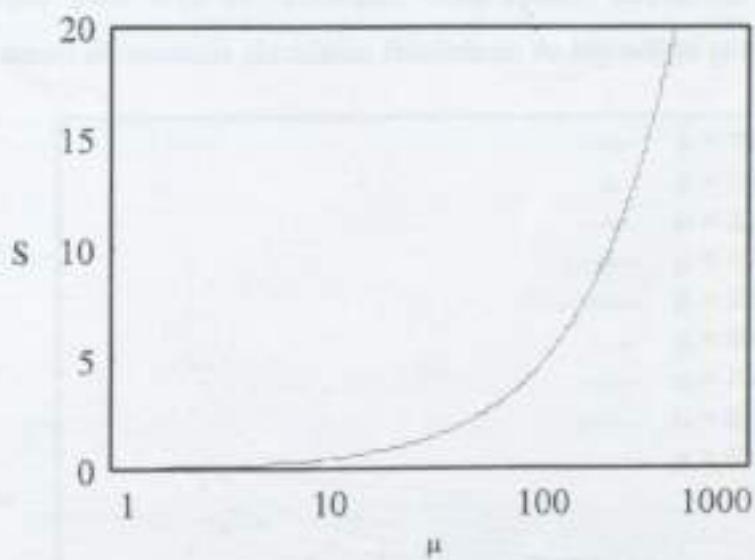
Ekranolama için, gereken ekranolama malzemesinin miktarı ekran hacmi ile direkt olarak orantılıdır. Analizler genellikle ideal küre ve silindir şekilleri için yapılır. Küp yada sekizgen küp şekli için ekranolama faktörü, küre formülünde eşdeğer yarıçapın kullanımını ile yaklaşık hesap edilebilir. Benzer bir küpün eşdeğer yarıçapını bulmanın en iyi yolu, aynı hacimli kürenin yarıçapını elde etmektir. Örneğin, yüksekliği L olan bir küpün eşdeğer yarıçapı, $R_e=0.62L$ ve benzer şekilde sekizgen küp için eşdeğer yarıçap, $R_e=0.58L$ ve küre için yarıçap $R=0.5L$ olarak bulunur. Şekil 4.16'da çeşitli şekiller için eşdeğer yarıçaplar verilmiştir. Çok uzun dikdörtgen tabaka için silindirik formülden de

eşdeğer yarıçap bulunabilir. Burada tabaka kesiti ile aynı alana sahip dairenin yarıçapı alınır. Ekran içindeki alan dağılımı aynı hacime sahip küre, küp ve sekizgen küp için aynıdır.



Şekil 4.16. Eşdeğer ekran yarıçapı

İletim hattı yakınlarında bulunan yapıların ekranlamaları için, yapıların duvar malzemelerinin magnetik geçirgenliğine bağlı olarak, ekranlama faktörünün değişimi incelenecektir. Eşdeğer yarıçapı 150 cm olan ve duvar kalınlığı 10 cm olan tek tabakalı yaklaşım ile bir konutun, magnetik geçirgenlik ve ekranlama faktörü arasındaki değişim Şekil 4.17 de verilmiştir



Şekil 4.17. Magnetik geçirgenliğe bağlı olarak ekranlama faktörünün değişimi

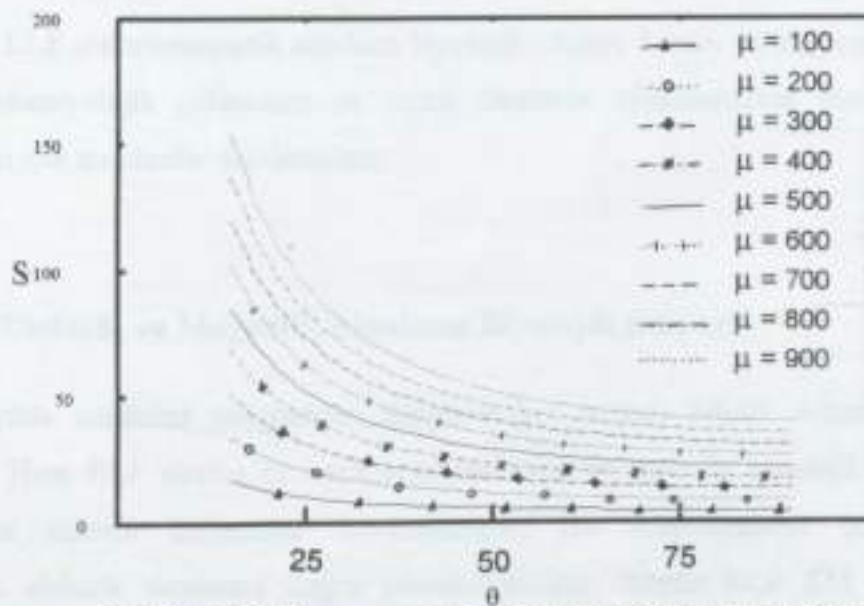
Şekil 4.17 de görüldüğü gibi, yapıda kullanılan duvar malzemesinin magnetik geçirgenliği ne kadar büyük olursa, ekranlama faktöründe büyük değer almakta, bundan dolayı da duvar içerisine magnetik alan geçiş azalmaktadır. Örneğin, ele aldığımız

yapıda magnetik geçirgenliği 225 olan malzemeden yapılan duvardan, dış ortamdan gelen magnetik alanın 1/10 'nu iç ortama geçmektedir. Eşitlik (4.39) ile verilen ekranlama faktörü üzerinde, t/R oranı da büyük öneme sahiptir ve bu oran büyündükçe ekranlama faktöründe büyümektedir.

Ecran tabakasındaki induksiyon, pozisyonun fonksiyonudur, θ geliş açısının fonksiyonu olarak küre için, (4.41) eşitliği ile verilir (Thomas, 1968).

$$B_0(\theta) = H_0 \left[1 + \frac{3R}{2t} \sin\theta \right] \quad (4.41)$$

Bir iletim hattının yakınlarında bulunan yapılara magnetik alanın geliş açısı ile ekranlama faktörü arasındaki bağlantı incelenmiştir. Bunun için de, yine eşdeğer yarıçapı 150 cm ve duvar kalmığı 10 cm olan bir konut modeli kullanılacaktır. Geliş açısına göre, ekranlama faktörünün değişimi, çeşitli magnetik geçirgenliğe sahip malzemeler için incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.18 de verilmiştir. Geliş açısının küçülmesi ve magnetik geçirgenliğin büyümesi durumunda ekranlama faktörünün de büyüğü görülmektedir.



Şekil 4.18. Geliş açısına göre ekranlama faktörünün değişimi

5. ELEKTRİK VE MAGNETİK ALANLARIN BIYOLOJİK ETKİLERİ VE GÜVENLİK STANDARTLARI

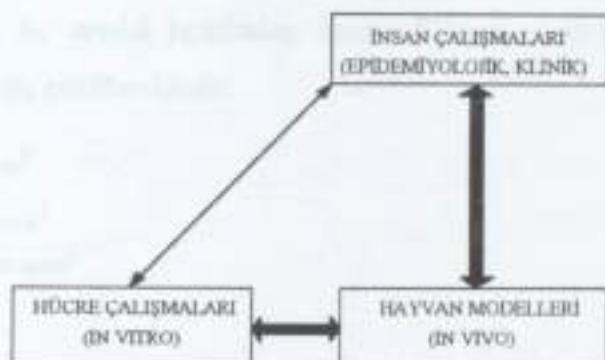
Endüstrileşme ve elektrifikasiyonun gelişimi sonucunda, tüm frekanslarda yüksek değerlerdeki elektromagnetik(EM) alanlara insanlarım, hayvanlarım ve çevrenin maruziyeti sonucunu ortaya çıkarmıştır. Bu elektriksel çevre değişimine en önemli katkıda bulunan ögelerden biri elektrik güç üretimi ve iletim sistemlerinin büyümesi ile ilgili teknolojik gelişmelerdir. Buna ilaveten, EM alan üreten cihazların kullanımı toplumun her kesiminde artmıştır. EM alanlar, genellikle insanlar tarafından farkedilemez ve kaynaktan bir hayli uzağa yayılabilir. Geçmişte EM spektrumun oldukça düşük frekans (ELF) bölgesindeki alanların biyolojik etkilerinin olup olmadığı konusunda önemli tartışmalar olmuştur. Bununla birlikte, alanların biyolojik etkilerine kolayca engel olunamayacağım araştırma ve klinik bilgiler göstermiştir, bunun nedeni de alanların farkına varılamamasıdır. Yeni verilerin bazıları, ELF alanlarının bazı biyolojik sistemlerde değişikliklere neden olabileceğiğini belirten önceki raporları desteklemektedir.

Bu bölümde ELF elektromagnetik alanların biyolojik etkileri, kanser ve elektromagnetik alanların epidemiyolojik çalışmaları ve çeşitli ülkelerde uygulanmakta olan yüksek gerilim hatları için standartlar incelenmiştir.

5. 1. ELF Elektrik ve Magnetik Alanların Biyolojik Etkileri

Son yirmi yılda araştırma programları dünyanın her yerinde büyük miktarda artış göstermiştir. Hem ELF alanlar ile canlı organizmaların ve hem de biyolojik etkilerin anlatılmasında önemli ileriemeler kaydedilmiştir. Bu araştırmaların çoğu güç frekansındaki elektrik alanlarına doğru yönlendirilmiştir. Bugün ELF EM alanlarının biyolojik etkilere neden olduğu açık olarak bilinmektedir. Bu etkiler için esaslar ve etkileşim mekanizmalarını oluşturan unsurlarda büyük miktarda bilinmeyen mevcuttur.

Diğer bilimsel araştırma alanlarında olduğu gibi, ELF biyoetkileri üzerine yürütülen araştırmalar; insan üzerine çalışmalar (öncelikle epidemiyolojik), hayvan deneyleri ve hücrelerle ilgili (mekanizma) çalışmaları olarak bir kaç seviyede düzenlenmiştir. Bu çalışmalar arasındaki ilişki Şekil 5.1 de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. ELF elektrik ve magnetik alan araştırmalarında üç temel araştırma düzeyi

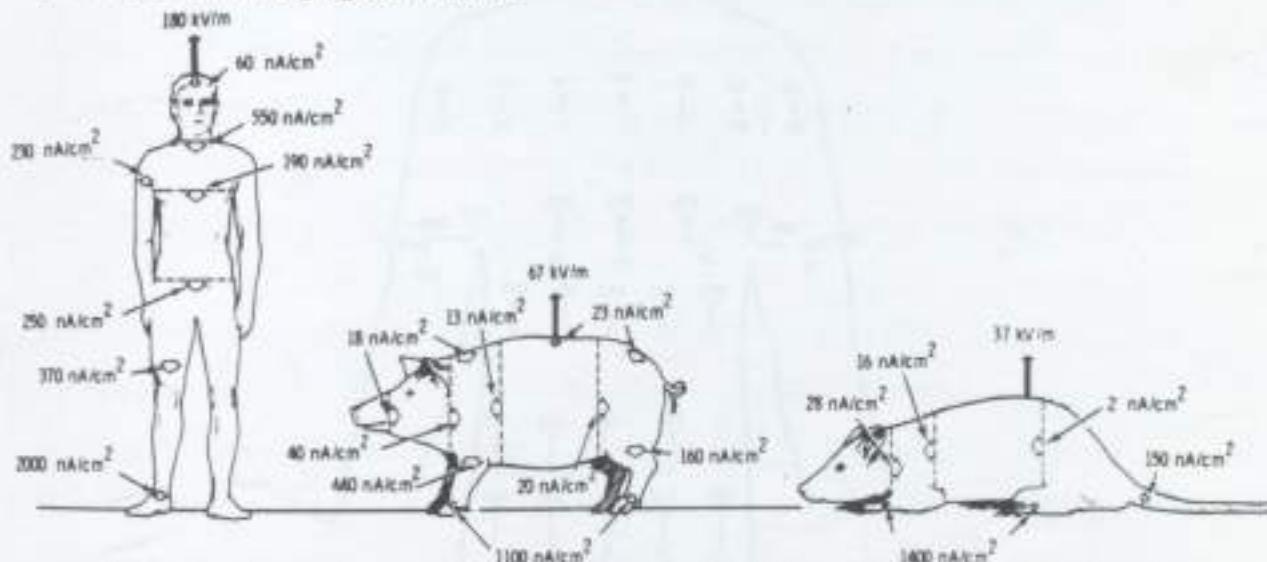
Biyolojik araştırmaların çoğunun hücre sistemleri ve hayvan modelleri ile yürütülmesi daha uygun ve etkili olmaktadır. Elektrik alana maruz kalan hayvanlarda ve modellerde bir kısa devre akımı induklenir. İnsanlar ve çeşitli hayvanların sabit bir ELF elektrik alanlarına maruziyetleri esnasındaki toplam induklenen akımlar Tablo 5.1'de verilmiştir.

TABLO 5.1
ELF Elektrik Alan Tarafından Hayvanlar ve İnsanlarda
İndüklenen Akımlar

Türler	Akım (μA)
İnsan	$5.0 \times 10^{-8} \cdot f \cdot W^{2/3} E_0$
At	$8.5 \times 10^{-8} \cdot f \cdot W^{2/3} E_0$
Inek	$8.6 \times 10^{-8} \cdot f \cdot W^{2/3} E_0$
Domuz	$7.7 \times 10^{-8} \cdot f \cdot W^{2/3} E_0$
Yaban Domuzu	$4.2 \times 10^{-8} \cdot f \cdot W^{2/3} E_0$
Fare	$4.0 \times 10^{-8} \cdot f \cdot W^{2/3} E_0$

Burada; f , Hz olarak frekans, W, türlerin gram olarak ağırlığı, E_0 , ortamda V/m olarak elektrik alan şiddetidir (WHO, 1989).

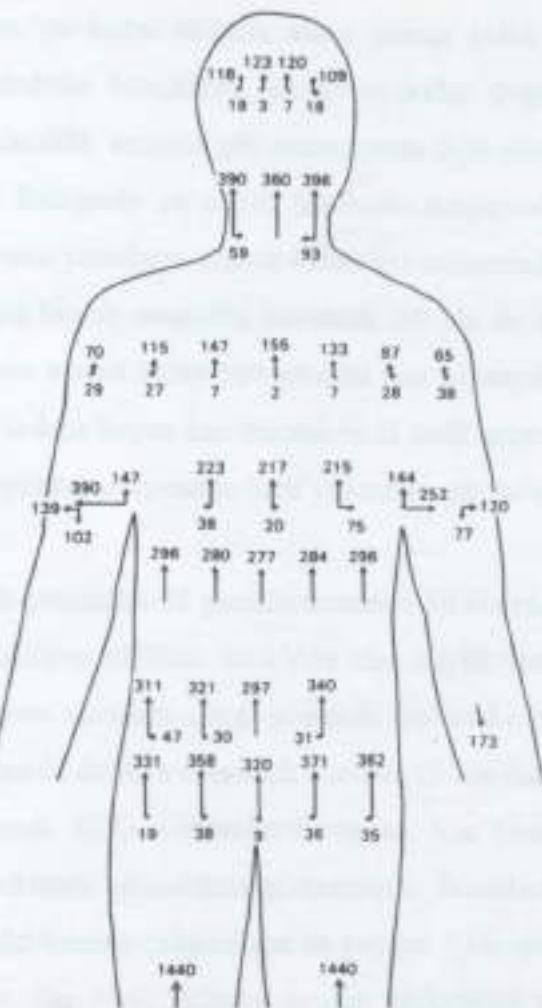
10 kV/m 60 Hz'lik elektrik alanlara maruz bırakılan üç modelin yüzey elektrik alanları ve akım yoğunlukları Şekil 5.2 de verilmiştir (WHO, 1989; Gandhi, 1990). Verilerin değerlendirilmesiyle üç model tarafından maruz kalan elektrik alanların dozajının tamamen farklı olduğu görülmektedir.



Şekil 5.2 İnsan, domuz ve sıçan yüzeyindeki en yüksek nokta için elektrik alan değerleri(WHO, 1989)

Doz, indüklenen akım yoğunluğu (vücutun uzunluğu boyunca) yada yüzeysel elektrik alan tepe değeri ile gösterilirse, değerler insanda hayvan modellerinden daha büyütür. Bu nedenle eğer bir türden diğerine bilinen biyolojik verilerden bilinmeyeni tahmin istenirse, düzenlemeler maruziyet parametrelerini ölçülendirmek için yapılmalıdır. Türler arasındaki farkları dengelemek için bir çarpan (ölçü faktörü) kullanılır. Örneğin vücutun üzerinde yüzey alanları (sırasıyla, insan, domuz ve sıçan için 180, 67 ve 37 kV/m) bu türler için 1: 2.7: 4.9 ölçülendirme faktörü gereklidir. Boyunda eksenel akım yoğunluğunun karşılaştırılması durumunda ölçülendirme faktörü 1: 13.8: 13.6'dır. Bu değerler karın altından geçen akım yoğunlukları için 1: 12.5: 125 olarak değişir. Karşı türlerin bilinen verilerinden bilinmeyenleri hassas olarak tahmin oranı için belirli biyolojik uç noktalarda etkinin özel durumu hakkında ilave bilgiler gereklidir. Dikey olarak 10 kV/m elektrik alana

maruz kalan insan modeli için akım yoğunluğu Şekil 5.3 de gösterilmiştir. Benzer veriler hayvan modelleri için de araştırmacılar tarafından elde edilmiştir.



Şekil 5.3 10 kV/m, 60 Hz elektrik alana maruz kalan insan modelinde ölçülen akım (nA/cm^2) yoğunlukları

İnsanların yada hayvanların ELF magnetik alanlara kuplajı elektrik alan kuplajından farklıdır. Biyolojik organizmalar ELF magnetik alanlara bağlı rahatsızlık vermeselerde, induklenen girdap akımında iletim yolu olarak görev yaparlar. Bu dolaşan akımlar gelen magnetik alanın doğrultusuna dik düzlem içinde oluşur. Dış magnetik alan tarafından induklenen elektrik alanın büyüklüğü çevrim boyutuna bağlıdır. 10 kV/m elektrik alanı ile 30×10^{-4} T magnetik alanlar tarafından insan içinde induklenen elektrik alanın bağıl büyüklüğü karşılaştırılırsa, elektrik alan tarafından induklenen iç alanlar, magnetik alan tarafından induklenenden daha büyuktur(Spiegel, 1977; Ghandi, 1990).

İnsan sağlığı üzerinde ELF EM alanların muhtemel sağlığa zararlı etkileri hakkında ilk incelemeler Sovyetler Birliğinde 1960'ların sonu 1970'lerin başlarında çıktı. Bu çalışmalar ile, 26 kV/m 'ye kadar elektrik alana maruz kalan manevra anahtarlama işçilerinde baş ağrısı, sindirim bozukluğu, kardiyovasküler değişimler, libido (şchvet) azalması, uykusuzluk, sınırlılık artması gibi maruziyetle ilgili semptomlar ortaya atıldı. Bu bulgular, Sovyetler Birliğinde ve çeşitli ülkelerde araştırmaların artmasına neden oldu. ELF EM radyasyona insanların maruz kalmaları neticesinde potansiyel biyolojik olayların belirlenmesi için birçok araştırma başlatıldı. 50 Hz de 1, 15 ve 20 kV/m 'lik alanlara kısa peryotlar için maruz kalan 100 gönüllü için kapsamlı klinik değerlendirme neticesinde, alanla ilgili sadece beyaz kan hücrelerinde hafif artma, reaksiyon süresinde hafif azalma ve norepinephrine seviyesinde hafif yükselme gibi birkaç etki gözlandı.

Polonya'da yürütülen bir çalışmada 35 gönüllü üzerinde 50 Hz elektrik alanlarında ışık ve ses uyarımına bilinçli reaksiyon ölçüldü. 10 kV/m 'den büyük alan şiddetlerinde her iki uyarı tipi içinde reaksiyon süresinin arttığı gözlandı. Bir başka çalışmada ise, 100 den fazla denek üzerinde zamanla değişen magnetik alanlara (5 Hz den 1 kHz 'e, B 100 mT 'dan az) maruziyet gözlendi. EEG, elektrokardiyogram, kan basıncı ve vücut sıcaklığı ölçümleri maruziyetin etkisinin olmadığını göstermiştir. İnsanlarda magnetik alanlara maruziyetin biyolojik etkisi üzerine çalışmaların en yaygını "phosphenes" olarak bilinen görüntü ile ilgili olaydır. Bu olay, retinayı uyaran elektriksel akım induksiyonunun meydana gelmesiyle görülür.

Elektrik ve magnetik alanlar ile insanların etkileşimleri esas hedef olsa da, çoğu biyolojik araştırma alanlarında çalışmaların çeşitli hayvan türleri üzerinde yürütülmesi daha uygun olmaktadır.

ELF alanlara maruz kalan hayvanlardaki biyolojik etkilerin çoğunluğunun direk yada dolaylı olarak sinir sistemiyle ilgili olduğu gözlenmiştir. Sinir sistemi, elektriksel sinyallere uyumlu işlemler ve dokulardan ibarettir. Çevresi ile hayvanın etkileşiminde bu sistem fonksiyonel ve yapısal olarak karmaşıktır. Dış uyarılardan duyum girişinin geçişi,

bu gibi bilgilerin merkezi işlemi ve sonuç olarak dışarı götürülen dokunun ve organların canlandırılması gibi etkileşimin temel karakteristikleri ile, ELF maruziyeti ve gözlenen biyolojik sonuçlar arasındaki muhtemel bağlantılar belirlenebilir.

İlk deneysel çalışmalarında, sinir sistemi fonksiyonu ile ilgili olan davranışlar öncelikle gözlenmiş ve arasında da sinir sistemi parametreleri ölçülümüştür. 1970'lerin sonlarındaki ELF maruziyetin sinir sistemi fonksiyonları üzerindeki etkisi çalışmaları, genel olarak üç katagoride sınıflandırılabilir; aktivitenin değerlendirilmesi yada ırkılma-tepki davranışları, stress ile ilgili hormonların değerlendirilmesi (corticosteroidler gibi), merkezi sinir sistem cevaplarının genel ölçümleri (EEG ve ana tepki süreleri gibi).

Canlı organizmaların metabolizma ve fonksiyonlarının statik olmadan uzak yani dinamik olduğu gösterilmiştir. Bu dinamiklerin ana elemanları değişken frekanslı endogeneous (örneğin: ultradian, circadian ve infradian) ritimlerdir. Dış etkilere bağlı olarak büyüyen çevresel etkileyici olaylara cevap veren bu biyolojik ritimler, genellikle p phase-locked ritimlerinin bir kompleks karışımıdır ve organizmanın fizyolojik ve psikolojik oluşumu üzerinde önemli etkileri vardır. Biokimyasal işlemler, hücrelerle ilgili bağlantılar ve fonksiyonel sistemler, çevreye tepki olarak bütün sisteme etki eden endogenous ritimler ile ilgili dolaylı anlatımlar vardır. Bu ritimler altında uzuvların görevini yapmaması esas olarak organizmanın bozulması ve biyolojik etkilerin değişimini gösterir. Araştırmaların çoğu doğal biyolojik ritimler üzerinde ELF elektromagnetik alanların etkisini araştırmaya yönelikti. 1983 de yapılan bir araştırmada 60 Hz elektrik alanlarına maruz bırakılan sıçan ve farelerde hem circadian ve hem de ultradian ritimler araştırmak için metabolik indikatörler kullanıldı. Sonuçta, sıçanlar üzerinde maruziyetin etkisi görülmeli, fakat erkek farelerde oxidative metabolizmanın ritimleri ve aktivitesi maruziyet ile faz kaymasının olabileceği görüldü.

Bir başka araştırmada, sıçanlarda indolaminlerin ve enzimlerin üretiminin ölçümü ile circadian aktivitenin görünüşü araştırıldı. 1.5 ... 40 kV/m alana maruz bırakılan sıçanlarda beyin epifizinde melatonin ve biosynthetic enzimlerin artışında önemli azalma

gözlenmiştir. Sıçan ve farelerde nocturnal beyin bileşimlerinin dönel magnetik alanlara duyarlı olduğu saptanmıştır (Gandhi, 1990; Carstensen, 1987).

5.2. Elektromagnetik Alanların Epidemiyolojik Çalışmaları

Yüksek gerilim güç hatlarından dolayı alternatif magnetik alan ikamet maruziyetinde olan kimselerdeki kanser üzerindeki vaka-kontrol çalışmaları aşağıda sıralanmıştır.

Wertheimer ve Leeper çalışması, Colorado doğumlu ve Denver bölgesinde bulunan, 1950 ve 1973 arasında Colorado'da 19 yaşından önce kanserden ölen kişileri içerir. Çalışma grubu doğum tarihi ve yeri işaretlenen 344 kanser ölümü ve 355 kontrol deneğinden oluşur. 472 kontrol birimi ile kanser hastalarının 491 ikameti karşılaştırıldı. Yüksek ve alçak akım taşıyan çeşitli hat tertibatlarında ve çalışma deneklerinin evlerinden 40 metrelük mesafe içinde güç frekanslı magnetik alana potansiyel maruziyet değerlendirilmiştir. Güç hatları civarında magnetik alan ölçümleri yapılmıştır. Yüksek akımlı hatlara kanserli hasta evlerinin, kontrol deneklerinin evlerinden önemli derecede daha yakını olduğu saptanmıştır. En fazla göze çarpan fark doğumdan ölüme yalnız bir adreste bulunan 128 kontrol deneği ve 109 vakının evleri arasında görülmüştür. Leukemia, lymphoma ve sinir sistemi tümörlerinin 3 te 2 oranında fazla olduğu saptanmıştır.

1980'de Fulton ve arkadaşları Rhode Island'da, Wertheimer ve Leeper çalışmasının esasını tekrarlamak için, 1964-1978 arasında 20 yaşına kadar olanlarda sadece Leukemia vakalarıyla ilgilenerek bir rapor hazırladılar. Rhode Island Hastanesi dosyalarından 119 hasta ve onların 209 adresi seçilerek, bu hastalar ile ilgili rutin olarak tutulan kayıtlar ve tam adres hikayeleri tespit edilmiştir. Her hasta için aynı yıl doğan iki kontrol deneği ülke doğum kayıtlarından seçilerek 240 kontrol adresi elde edilmiştir. Leukemia hastalarının 209 adresi ve 240 kontrol adreslerinde bulunan her ikametin 50 metre civarında bulunan güç hatları işaretlenerek, maruziyet değerleri Wertheimer ve Leeper prosedürü takip edilerek oluşturuldu. İlk çalışmaların aksine, çocukluk leukemia ile ilişki kurulmadı.

Wertheimer ve Leeper 1980 'de, Rhode Island verileri ile tekrar çalışarak çocukluk leukemiası ve yüksek akımlı düzenler arasında zayıf ilişki bulmuştur. Wertheimer ve Leeper tarafından 1982 'de, evlerin yakınındaki yüksek akımlı elektrik hatları ile kanser ilişkisinin daha ileri bir araştırması, erişkin kanserlerinin vaka-kontrol çalışması yürütülmüştür. Çalışma grubu 1179 erişkin kanser denegi ve 1179 işaretli kontrol denegi 1967-1979 süresi için Denver 'ın büyük dört alanından seçilen dört örnekte düzenlenmiştir. Çocukluk çalışmalarından farklı olarak, toplam çalışma grubu bazı canlı kanser hastalarını (275) içermiştir. Kanser ölümleri ölüm kayıtlarından çıkarıldı, kanser hastaları Colorado kanser kayıtlarından çıkarılmıştır. Yüksek akımlı hatların yakınında yaşayan 55 yaşım altındakilerde dört tip kanserde (sinir sistemi, rahim, göğüs ve lymphoma) önemli artış gözlenmiştir.

1986 'da Tomenius, bütün rapor edilen tümörleri kullanarak Sweden Colorado çocukluk vaka-kontrol çalışmasında, 1958 - 1973 arasında 18 yaşına kadar, İsviçre Kanser Kayıtları kullanılarak, kontrol denekleri kasaba ve ilçe doğum kayıtlarından, doğum günü ve cinsiyet işaretlenerek seçilmiştir. Çalışma ilçede doğan ve halen burada yaşayan 716 hasta ve bir o kadar kontrol denegi ile sınırlandırıldı. 3 mG yada daha fazla magnetik alanlar 48 konutta ölçülmüştür. Konutlardaki magnetik alan ölçümünün değerlerinin 0.004 den 19 mG 'a kadar olduğu görülmüştür. İncelenen 150 metre sınır içerisinde bütün tümör vakalarının iki kat fazla olması ve sinir sistemi neoplasmalarında artış Wertheimer ve Leeper 'in bulgularıyla uygundur.

Ev dışındaki hat konfigürasyonlarının ev içindeki direkt ölçümler ile ilişkisi Kaune ve arkadaşları tarafından 1987 'de bulundu. Hat konfigürasyonu ve kanser riskinin artışı arasındaki pozitif ilişki; bütün kanser türleri, özellikle leukemialar ve daha düşük olarak beyin tümörleri için bulundu (Gandhi, 1990; WHO; 1989; Carstensen, 1987; Marino, 1988).

1988 'de Davit Savitz, Wertheimer ve Leeper çalışmasını daha iyi epidemiyolojik metod ile tekrarladı ve büyük magnetik alanlı iletim hatları ile çocukluk kanseri riskinin artması ile ilgili benzer sonuçları elde etti.

1991 'de yayınlanan bir raporda, ev tesisatı ve çocukluk leukemia arasındaki ilişkiyi; televizyon setleri ve elektrikli saç kurutucuları ile leukemia arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarıldı.

1992 'de İsviçre çalışmasında, $0.1 \mu\text{T}$ 'nın altında alanlı evde yaşayan çocuklara göre, $0.2 \mu\text{T}$ alanlı evde yaşayanların leukemia riski üç kat ve $0.4 \mu\text{T}$ ve üzerindeki alanların riskinin dört kat olduğu ve böylece alan şiddetinin riskle direkt olarak bağlı olduğunu gösterildi.

1993 'de Danimarka çalışmasında, $0.4 \mu\text{T}$ 'dan daha yüksek magnetik alana çocukların maruziyeti ile çocukluk kanserinin bütün ana tipleri arasındaki ilişki tespit edildi. 1993 'de tamamlanan iletim hatlarının 500 metre yakınında yaşayan çocuklar ile ilgili bir çalışmada, leukemia ve lymphoma da istatistiksel olmayan önemli bir artış tespit edildi. Bir başka çalışmada, aluminyum fabrikasındaki işçilerde, yüksek akım bulunan arıtma işleminde çalışanlarda, leukemia ve lymphomadan ölümlerin beş kat fazla olduğu bulundu. Telefon kablo çalışanlarında, diğer telefon çalışanlarına göre leukemia riski yedi kat fazla olduğu tespit edildi. Elektrik işletmesi çalışanlarında telefon çalışanlarına göre yüzde 20 - 30 daha fazla leukemia gelişimi bulundu (Spectrum, 1994).

5.3. Yüksek Gerilim İletim Hatları İçin Mevcut Güvenlik Standartları

Genel olarak kabul edilen tarife göre: *Standart, tek yada topluluk olarak insanın güvenliğini tesis etmek için kanunlar yada şartnamelerin düzenlenmesini gösteren genel bir terimdir.* Standartlar, düzenleyiciler ve yönetmeliklere bölünebilir, düzenleme zorunlu standartı meşru kanun altında yürürlüğe koymaktır, oysa yönetmelik genelde sadece şartlara göre yol göstermek için tavsiyelerden oluşan yayındır. Bir standart kabuledebilir sınırlar içinde sağlık risklerini azaltmak için uyulan bir çeşit özel kanundur.

Bir sınır değer; herhangi bir belirli eşik değer olmadığından, ortaya konulan seviyelerin biyolojik yada sağlık etkileri arasındaki farkın uygun tespitinin yapılarak, fayda-risk analizleri üzerine kurulan kabuledilebilir risk boyutu belirlenerek kurulmalıdır.

Bu bölümde, 50/60 Hz elektrik ve magnetik alanlar için çeşitli ülkelerde mevcut standartlar incelenmiştir.

5.3.1. Çeşitli Ülkelerde Yayınlanan Standartlar

Elektriksel uygulamaların kullanımı birkaç on sene içinde yaygınlaşmasına ve de ortaya çıkan elektrik alanların sürekli olarak artmasına rağmen yüksek gerilim merkezi çalışanları tarafından subjektif şikayetlerin sayısı rapor edilip, Sovyet tip grubunun ilk çalışmaları yayımlanana kadar yani atmiş yillardın sonlarına kadar koruma problemlerine yaygın olarak önem verilmemiştir.

Sovyet araştırmacıların buldukları, elektrik alanların biyolojik sistem üzerindeki muhtemel etkilerinin çeşitleri üzerinde çok sayıda çalışma harekete geçirdi. Sonuçlar hala ihtilaflıdır ve sadece yüksek gerilim iletim hatları çevresinde maruz kalınan elektrik alan seviyelerinin gözlenmesiyle elde edilen biyolojik tepkiyi göstermektedir. Bu yüzden yayımlanan yada tasarlannakta olan standartlar hemen hemen sadece yüksek gerilim trafo merkezleri ve enerji iletim hatları ile ilgili olmaktadır.

1986 'da, endüstrileşmiş ülkelerdeki güç iletim sistemlerinde meydana gelen elektrik ve magnetik alanlar ile ilgili problemlerin genel görünüşü olarak, Yüksek Gerilimli Elektrik Sistemleri Uluslararası Konferansının çalışma komitesi tarafından yapılan uluslararası tetkiklerin sonuçları verildi. Tetkiklerin hedefi; büyük yüksek gerilim şebekeleri ile gelişmiş ülkelerdeki bilgiye ulaşmak, kamuoyunun eğilimi, enerji iletim hatları tarafından üretilen alanlar ve alanların fiziksel etkisinin bilgisi, alan etkileri üzerindeki devam eden ya da planlanan çalışmalar hakkında genel bilgi elde etmektir. Çalışma komitesine üye 21 ülkenin yaklaşık yarısında (21 de 10) hatların altındaki elektrik alanları için sınır değerlerin verildiği düzenlemeler ya da yönetmelikler bulunmadığı gözlandı.

Biyolojik etkiler hakkında nispeten az bilgiden dolayı, sağlık etkisinin farklı değerlendirilmesi sonucunda verilen sınır değerler farklı olabilir. Bazı standartlarda, büyük cisimlerden deşarj akımının azaltılması ile ilgili sınır değerler, bir kısmında mikroşoklar ve benzer istenmeyen etkilerden uzak durulması, bazlarında yüksek alanlara uzun müddet maruz kalmanın sınırlanmasına dikkat edilir (Franceschetti et al, 1989).

Tablo 5.2.
Çeşitli ülkelerde elektrik şebekelerinin çalışma gerilimi
ve iletim hattı uzunluğu

Ülke	Gerilim (kV)	Uzunluk (km)	Ülke	Gerilim (kV)	Uzunluk (km)
Avustralya	500	1420	Hollanda	400	574
	330	4800	Norveç	420	1140
	275	3640		300	3570
Belçika	400	802	Polonya	750	114
Brezilya	750	570		400	2140
	500	9260	Güney Afrika	400	8926
	345	6800		275	5965
Kanada	750	9600	İspanya	380	8496
	500	9060	İsveç	400	8957
	345	7600	İsviçre	400	1000
Çekoslovakya	400	4500	İngiltere	275	1693
Danimarka	400	365	Amerika	765	3100
Türkiye	380	10512		500	32000
	154	22728		345	45000
F.Almanya	380	10250	Sovyetler Bir.	1150	800
Finlandiya	400	3200		750	3800
İtalya	420	5300		500	34000
Japonya	500	3456		330	27000
	275	6776	Fransa	400	9013

Tablo 5.2 'de çeşitli ülkelerdeki ve Türkiye 'deki elektrik şebekelerinin çalışma gerilimi ve iletim hattı uzunluğu verilmiştir (Franceschetti et al, 1989; TEK, 1994).

Magnetik alan terimi olarak magnetik akı yoğunluğu (B) ve magnetik alan şiddeti (H) terimlerinden her ikisi de kullanılır. H 'nin birimi metre başına amper (A/m), B tesla (T) dir. Biyolojik materyaller ekseriya magnetik değildir ve magnetik geçirgenlik genellikle bioelektromagnetik etkileşimde önemli bir faktör değildir. Bu durumda, 1 A/m yaklaşık $1.3 \mu T$ 'ya ve diğer taraftan $1 \mu T$ yaklaşık $0.77 A/m$ 'ye karşılık gelir.

5.3.1.1. Almanya

Almanya'da, 0 Hz den 3000 Ghz 'e kadar frekansta elektromagnetik alanın tehlikelerine karşı insanları korumak için bir ulusal standart tasarısı Ağustos 1986 da yayıldı ve böylece itiraz ve fikir vermesi bakımından kamuoyuna sunuldu. Standartın 0 Hz ve 30 MHz arasındaki frekans ile ilgili bölümü onaylandı.

Bütün düşük frekans oranlarını içeren, 0 Hz ve 30 kHz frekans arahında, elektrik alan şiddetinin rms değeri için sınır değer aşağıdaki ifade ile verilir.

$$E = a / f^b \quad (5.1)$$

Burada E , V/m olarak sınır değer, f Hertz cinsinden frekans, a ve b sabitleri Tablo 5.3 'de verilmiştir. Sınır değerler altında elektrik alanlara maruz kalmaya sınırsız zaman için izin verilir. Kısa zaman için (her çalışma günü için 2 saat), sınır değerinin 1.5 katına kadar üzerinde alan şiddetine maruz kalmalara izin verilir.

Tablo 5.3.

ELF elektrik alan sınır değerleri için hesaplamalarda kullanılan parametre değerleri

Frekans (Hz)	a	b
0 - 10	40000	0
10 - 30000	102850	0.4101

Bazı insanlarım, 2 ila 10 kV/m yoğunluklu elektrik alanlarında rahatsızlık hissetmeleri mümkünür, yada elektrik alan içinde diğer insanlara veya yüklü objelere dokunduğu zaman hoş gitmeyen elektriksel deşarjlara maruz kalabilir, bu etkilerin varlığı kabul edilir, fakat günümüzde sağlık etkilerine bu duyarlıkların ifadesini sağlayacak bilimsel veriler mevcut değildir. Standart, alçak frekans magnetik alanlar için ayrıca sınır değerleri düzenler. Temel kriter esas olarak aynıdır. Ayrıca magnetik alan için, maksimum müsaade edilebilir seviye, 0 Hz - 30 kHz arasındaki frekanslarda aşağıdaki ifade ile bulunur.

$$H = c / f d \quad (5.2)$$

H, sınır değer A/m; f, frekans Hertz, c ve sabit değerleri Tablo 5.4 'de verildi.

Tablo 5.4.
ELF magnetik alan sınır değerleri için hesaplamalarda kullanılan parametre değerleri

Frekans (Hz)	c	d
0 - 2	önemsiz	0
2 - 30000	21593	0.4325

Yukarıdaki sınır değerler, tüm vücutun sınırsız maruz kalmaları için tasarlandı. Kısa süre için (her saat başı 5 dakika), sınır değerinin 1.5 katı fazlası alan şiddetine maruziyete izin verilir.

5.3.1.2. Japonya

Japonya 'da, bütün elektriksel ekipmanlar 1973 de yayınlanan, Uluslararası Ticaret ve Sanayi Bakanlığının düzenlediği Elektriksel Tesisatların Teknik Standartlarına mecbur tutulur. Kalabalık nüfuslu, % 25 yada daha fazla yapıların kapladığı bölgelerde yüksek gerilim havai hatların yapımı yasaklanır. Standart ayrıca hat altında elektrik alan şiddetini, toprak seviyesinden 1 m yükseklikte 3 kV/m 'yi aşmayan bir sınır değer tayin eder. Bu sınır değer güç hatları altındaki metal şemsiyeden deşarjdan dolayı insan üzerinde

hoşa gitmeyen hissin önlenmesi niyetiyle açıklanır. Böylece bu rahatsız etki sadece hat altından geçtiği esnada şemsiyenin metal parçasma dokunan insanda meydana gelir, tarlalar, ormanlar vs. gibi içinde insanların geliş ve gidişlerinin nadiren olduğu yerlerde şart uygulanmaz.

Metal şemsiye ile yanak yada parmağın temas ettiği zaman induklenen akımın hissedilmesi yüzünden 3 kV/m olarak ortalama eşik değerinin belirlenmesinde kullanılan bilimsel veriler 1976 'da Japon IERE Konseyi tarafından rapor edildi. Tablo 5.5 ve 5.6 'da gösterildiği gibi, hissedebilme, psikolojik faktörler, şemsiyenin karakteristiklerine vs., bağlı olarak çeşitli seviyelerde alanın algılanması meydana gelir. Zaten 3 kV/m 'nin altındaki alanlar sadece bazı insanlar tarafından hissedilebilir, halbuki 4 - 5 kV/m lik alanlar rahatsız edici his verebilir. Yapılan araştırmada 48 de 7 kişi sadece 4 kV/m üzerindeki alanı algılamıştır.

Tablo 5.5.

Şemsiyede induklenen çeşitli gerilimler için yanakta hissetme

<u>Elektrik Alan Şiddeti</u> (kV/m)	<u>Yanak şemsiye ile temas ettiği zaman hissedilen</u>
0.5 - 1	Nadiren hissedilir
1.5 - 2	Hissedilebilir
2.5 - 3	Dokunulduğu anda hafifçe uyarma hissedilebilir
> 4	Tamamen iyi hissedilir

Tablo 5.6.

275 kV iletim hattı altında şemsiyeden hissedilen insanların sayısı

<u>Elektrik Alan Şiddeti</u> (kV/m)	<u>İnsanların sayısı</u>
< 2	0
2.1 - 3	12
3.1 - 4	22
4.1 - 5	7
5.1 - 6	7

5.3.1.3. Amerika Birleşik Devletleri

Birleşik Devletler'de, düzenlemeler bir eyaletten diğerine yaygın olarak farklıdır. Yeni hatların dizayn kriterleri için, havai besleme ve komunikasyon hatlarının bakımı ve onların ilgili ekipmanları, yapıdan meydana gelen tehlikelerden kişilerin pratik olarak korunma tedbirleri için, bütün eyaletler Ulusal Elektrik Güvenlik Kodu (NESC) 'nu yada onun bazı düzenlemelerini kabul eder. Eğer toprağa kısa devre edilmiş hattın altında büyük ekipman yada araç, kamyon bulunursa 5 mA 'lık deşarj akımı sınır değer olarak, hatların dizaynının yapılmasında göz önünde bulundurulur.

Hat güzergahı genişliği (ROW) kavramı bütün eyaletlerde elektrik şirketleri tarafından kabul edilir. Hat güzergahında ev kurmaya ve tam gün aktivitelere izin verilmez. Hat güzergahının genişliği şirket politikasına ve hattın gerilimine bağlıdır. Elektrik alanların tipik değerleri Tablo 5.7 'de verildi. Sadece maksimum müsaade edilebilir elektrik alan için tavsiye edilen birkaç yönetmelik vardır. Tablo 5.8 'de görüldüğü gibi, standartlar birbirine uymaz, böylece her bir eyaletin hat güzergahı sınırları yada içinde farklı sınır değerler vardır(Franceschetti et al, 1989).

Mevcut sınır değerler nüfusun korunmasını amaçlar. Trafo merkezlerinde çalışanlar için sabit olmayan kurallar mevcuttur. Benzer durum gerçekte, merkez otomasyonu ve koruyucu dizayndan dolayı yeterlidir, yüksek alanlarda çalışanların kaldığı süre azdır.

Tablo 5.7.

ABD de maksimum elektrik alan değerleri ve hat güzergahı genişlikleri

Gerilim (kV)	Maks. alan şiddeti (kV/m)	Hat güzergahı genişliği (m)
345	5	45
500	8	53
765	10	76

Tablo 5.8.

ABD de iletim hatları altında tavsiye edilen elektrik alan şiddetinin sınır değerleri

Eyalet	Maks. alan şiddeti(kV/m)	Açıklama
Minnesota	8	ROW içinde
Montana	7	Yol geçişinde
	1	ROW sınırmada
New Jersey	3	ROW sınırmada
New York	11.8	ROW içinde
	11	Özel yollarda
	7	Ulusal yollarda
	1.6	ROW sınırmada
Kuzey Dakota	8	ROW içinde
Oregon	9	ROW içinde

5.3.1.4. Rusya

Sovyetler Birliği 'nde (USSR), Asanova - Rakov ve Sazonova 'nın bulgularını ifade etmelerinin neticesi olarak, iletim hatları tarafından üretilen elektrik alanlar için resmi maruziyet standartlarını yayımlayan ilk ülkedir. 400, 500 ve 750 kV AC trafo merkezleri ve iletim hatlarına tatbik edilerek çalışanlar hakkında ilk yönetmelik dökümanı (USSR, 1970), 29 Ekim 1970 de Sovyetler Birliği Sağlık Bakanlığı tarafından onaylandı, 1971 de uygulamaya geçildi. Beş yıl sonra, standart yeni yönetmelik ile değiştirildi (USSR, 1975), yeni yönetmelik 400 kV ve üzeri iletim hatlarında ve yeni 1150 kV EHV sistemlerde çalışanları da kapsar. Standarta göre, elektrik alanlara maruziyet süresi, alan şiddetine bağlı olarak Tablo 5.9 'da verildiği gibi sınırlanmıştır. Elektrik alanın direkt etkisi hakkında, organizmanın reaksiyonu kesin değildir, nispeten uzun süreden (2 - 5 ay) sonra gelişebilir, uzun müddet maruziyetin belirgin birikerek çoğalan etkileri vardır ve yaygın olarak bireyin karakteristiklerine bağlıdır.

Yüksek alanlara maruziyetin sürdürülmesi kalp-damar sistemine ve merkezi sinir sistemine, seksuel özelliklerin azalmasına, kan bileşimlerinde değişikliklere sebeb olarak fonksiyonel rahatsızlık verebilir.

Elektrik deşarjları, bir insan elektrik alan içindeki nesneye dokunduğu zaman maruz kalmabilir, beynin dış tabakalarında reflekslerin tutulması ve harekete geçirme rahatsızlığına yol açabilir. Büyük deşarjlar durumunda, kalp fibrilasyonuna engel olunamayabilir.

Tablo 5.9.

USSR 'de 500 kV ve üzeri, donanımlarda çalışanlar için elektrik alan maruziyet sınırları (1975)

Elektrik alan şiddeti (kV/m)	İzin verilen günlük maruziyet süresi (dak)
5	smırsız
10	180
15	90
20	10
25	5

Not: Eğer çalışanlar standart tarafından izin verilen tam süre 10 kV/m yada daha fazla elektrik alanlara maruz kalsrsa, günün kalan kısmında 5 kV/m yada daha az alanlarda kalmak zorundadır.

Standart elektrik alan şiddetlerinin maksimum müsaade edilebilir seviyeleri Tablo 5.10 'da listelendi. Elektrik alanın etkilerinden genel nüfusu korumak için, ayrıca alan şiddetinin 1 kV/m 'yi aşığı iletişim hattı güzergahı boyunca "sağlık koruma bölgesi" diye bilinen bölge oluşturulur. Dıştaki faz iletkeninin toprak üzerindeki iz düşümünden sağlık koruma bölgesinin sınırlarının maksimum müsaade edilebilir mesafeleri Tablo 5.11 'de listelendi.

Dizayn aşamasında, enerji iletim hatlarının güzergahları evler, ulusal yapılar, parklar, araba servis istasyonları ve benzinlikler sağlık koruma bölgesinin dışında kalacak şekilde seçilir. Koruma bölgesinde mevcut evlerin kaldırılması sağlanır, açık arazi üzerinde ve

yapıların içinde Tablo 5.10 'daki sınır değerlerin altında alan şiddeti şart koşulur, yada metal çatılar, tel kafesler, çitler vb. ekranlama sistemleri ile alan büyütükleri bu sınır değerlerin içine çekilir (Franceschetti et al, 1989).

Tablo 5.10.

USSR 'de genel halk için elektrik alan şiddetinin maksimum müsaade edilebilir seviyeleri

Bölgenin karakteristikleri	Elektrik alan şiddeti (kV/m)
İkamete ait bina içinde	0.5
İkamete ait yerleşim bölgeleri	1
Kırsal ikamet bölgeleri, banliyö bölgeleri, sağlık başvuruları, muhtemel kentsel gelişim bölgeleri vs.	5
Anayollar ile hatlarm çapraz olduğu bölgede	10
İkamet edilmeyen girilebilir bölgeler, ekilebilir arazi	15
İkamet edilmeyen, kolayca girilemeyen bölgeler	20

Not: 1. Toprak seviyesinden yada odada kat seviyesinden 1.8 m yükseklikte alanlar için kendine özgü sınır değerler vardır.

2. 1 kV/m üzerinde alan şiddetleri için elektriksel deşarjlar ve kaçak akımlar tarafından insanların etkilenmesinin önlenmesi için tedbir alınmak zorunludur.

Tablo 5.11.

USSR 'de sağlık koruma bölgesinin yarı-genişliği

Çalışma gerilimi (kV)	Yarı-genişlik (m)
330	20
500	30
750	40
1150	55

Sonuç olarak, sağlık koruma bölgesinin bulunmasından başka, ikamet edilen yerleşim bölgelerinin sınırlarından, iletişim hattına minimum uzaklık dizayn aşamasında tespit edilir. Bu mesafe 750 kV hatlar için 250 m ve 1150 kV hatlar için 300 m dir ve sadece doğal

engeller ile hat güzergahının sınırlandığı yerlerde yada istisnai durumlarda azaltılabilir. Eğer hatlar kursal ikamet edilen yerleşim bölgelerine yukarıda gösterilenden daha az mesafeler içinde yaklaşırsa, iletkenler 5 kV/m alan şiddetinin altında olacak şekilde tertibatlanır, yani kararlı olmayan durumlar için Tablo 5.10'daki alan değerlerinden sınır ayarlanır.

Diğer bazı ülkelerde kullanılan sınır değerler ve uygulamalar şu şekilde sıralanabilir:

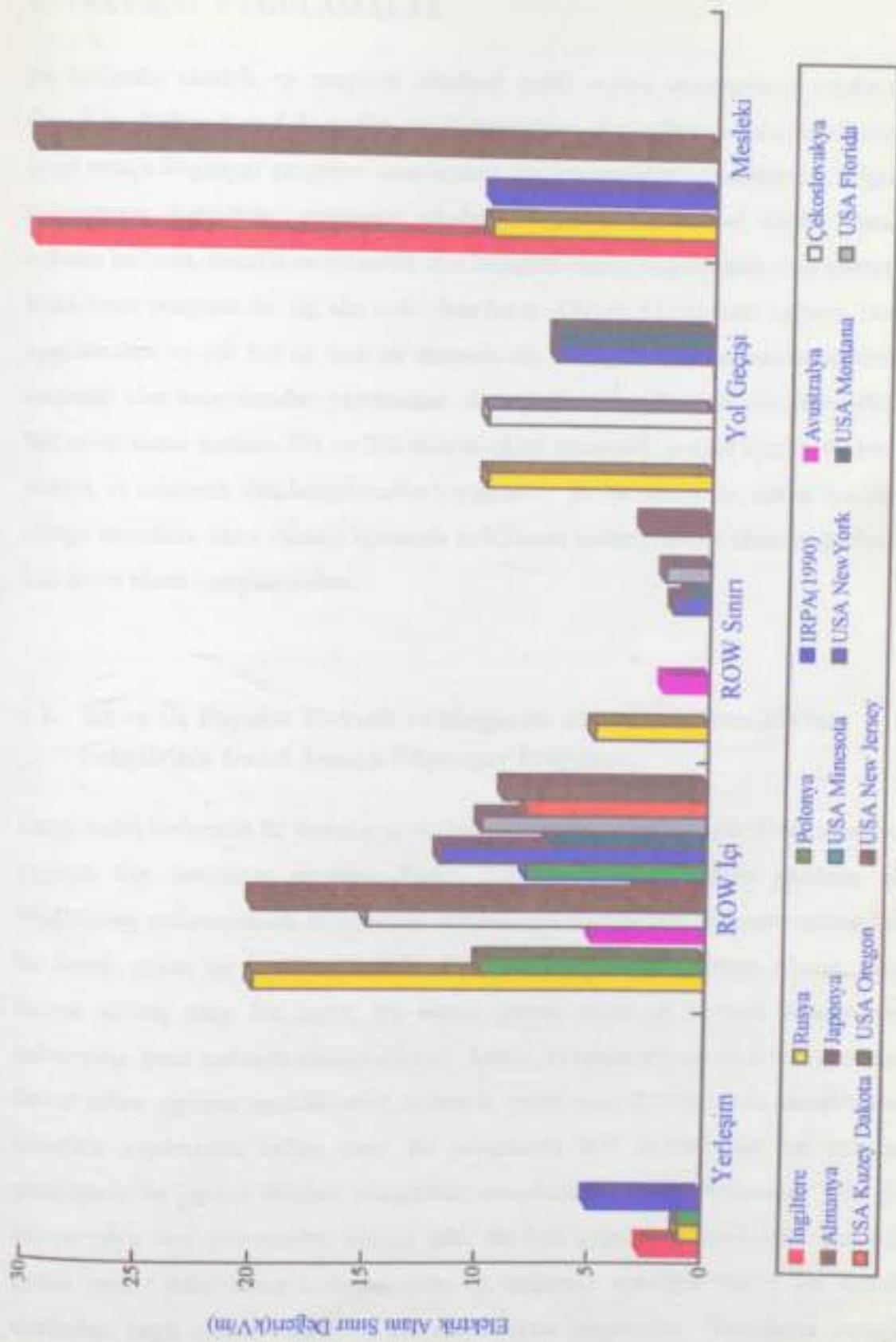
Australya'da, enerji iletim hatlarının hat güzergahı genişliği sınırında elektrik alan şiddetinin 2 kV/m ve hat güzergahı içinde 5 kV/m değerini aşmaması istenir. Buna göre 330 kV hatlar için minimum hat güzergahı genişliği 60 metre ve 500 kV hatlar için de 60-70 metredir. Bu bölge içinde yapılara ve full-time aktivitelere izin verilmez.

Çekoslovakya'da, elektrik alan şiddetinin hat güzergahı içinde 15 kV/m ve anayol geçişinde 10 kV/m'yi aşmaması istenir. Ayrıca hat güzergahında tarıma sınır olarak izin verilir. Arabalar ve tarım makinalarının hatların altında durmasına izin verilmez.

Polonya'da, enerji iletim hatlarının elektrik alan şiddetinin 10 kV/m'yi aşmaması istenir. Bu sınır değerinin aşıldığı hat boyunca koruma kuşağı tayin edilir ve bu bölgeye çalışanlar dışında giriş yasaklanır. İkinci bir koruma kuşağı yerleşim merkezleri için kabul edilen maksimum 1 kV/m'lik sınır değer ile 10 kV/m'lik alan arasındaki bölge olarak tespit edilir. Bu bölgede ancak geçici aktivitelere izin verilir. Çalışanlar için 15 kV/m'lik alan değerine maruz kalmaya izin verilir.

İngiltere'de, elektrik alanlara mesleki olarak maruz kalmalara 30 kV/m, girilebilir bölgelerde 12 kV/m ve ikamet bölgesinde ise 2.6 kV/m'lik sınır değerlere izin verilir (Franceschetti et al., 1989; Spectrum, 1990).

Ceşitli ülkelerin, yerleşim merkezlerinde, hat güzergahı genişliği (ROW) içinde, ROW sınırında, yol geçişinde ve mesleki maruziyetler için kullandığı standart değerler Şekil 5.4'de biraraya getirilmiştir.



Şekil 5.4. Uluslararası Elektrik Alan Standardları

6. SAYISAL UYGULAMALAR

Bu bölümde, elektrik ve magnetik alanların çeşitli sayısal uygulamaları yapılacaktır. Öncelikle, Bölüm 3 ve 4 de verilen teorik hesaplama yöntemleri yardımıyla oluşturulan genel amaçlı bilgisayar programı tanıtılcaktır. Bu yöntemlerin ve oluşturulan bilgisayar programının doğruluğu, programın uluslararası literatürden alınan ölçüm sonuçları bulunan hatlarda, elektrik ve magnetik alan hesaplamalarına uygulanarak elde edilecektir. Daha sonra program ile; üç, altı, oniki fazlı hatlar, OG ve YG üç fazlı hatların Türkiye uygulamaları ve çift hat üç fazlı bir sistemin altı fazlı çalışma durumunda elektrik ve magnetik alan hesaplamaları yapılacaktır. Ayrıca, Atatürk - Temelli çift devre 380 kV luk enerji iletim hattının 701 ve 702 nolu direkleri arasındaki menzil içinde üç boyutlu elektrik ve magnetik alan hesaplamaları yapılacaktır. Bu hat içerisinde, alanında maksimum olduğu mesafede insan vücudu içerisinde induklenen elektrik alanın akım yoğunluğu ve kısa devre akımı hesaplanacaktır.

6.1. İki ve Üç Boyutlu Elektrik ve Magnetik Alan Hesaplamaları İçin Geliştirilen Genel Amaçlı Bilgisayar Programı

Enerji iletim hatlarında iki boyutlu ve üç boyutlu elektrik ve magnetik (EM) alan hesabı yapmak için tasarlanan program Paskal 7.0 programlama dilinde yazılmış olup, 486DX2-66 mikroişlemcili bilgisayarda derlenmiştir. Geliştirilen program sadece belirli bir örneği yapan bir program değildir. Program genel amaca hizmet edecek şekilde dizayn edilmiş olup, faz sayısı, faz başına iletken sayısı ve koruma iletkeni sayısı bakımından geniş kullanım alanına sahiptir. Ayrıca, program içerisinde arazi yapısının ve iletken sehim eğrisinin modellenmesi nedeniyle, çeşitli arazi durumlarında hesaplamaların rahatlıkla yapılmasına imkan verir. Bu programda 200 metrelük bir hat güzergahı genişliğinde ve yerden istenilen yükseklikte hesaplamalar yapılabilmektedir. Veri girişi klavye veya veri dosyasından olduğu gibi, ilk kez uygulanan örneklerde klavyeden girilen veriler daha sonra kullanım kolaylığı sağlamak amacıyla dosya adı kullanıcı tarafından keyfi olarak verilebilen bir veri dosyası oluşturulur. Hesaplama sonuçları

ekrandan görülebildiği gibi aynı zamanda yine kullanıcının keyfi olarak verdiği dosya adı ile açılan çıkış dosyasına kaydedilerek sonuçların saklanması sağlanır. Ayrıca hesaplama sonuçlarından elde edilen "Elektrik Alan Şiddeti - Mesafe" ve "Magnetik Alan Şiddeti - Mesafe" eğrileri iki boyutlu olarak ekranda görülmektedir.

Program üç ana bölümünden meydana gelmiştir. Birinci bölümde, hattın direklerinin ekranlama etkilerinin ihmali edildiği, daha çok sehimin maksimum olduğu bölge için geçerlidir. Bu bölümde iki boyutlu EM alan hesaplamaları yapılmaktadır. Veri girişinin basitliği kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Ayrıca iletim hatlarındaki çeşitli konfigürasyonlar için EM alan hesaplarının sayısal sonuçları ve bu sonuçlardan elde edilen iki boyutlu eğriler ekranda görülebilmektedir.

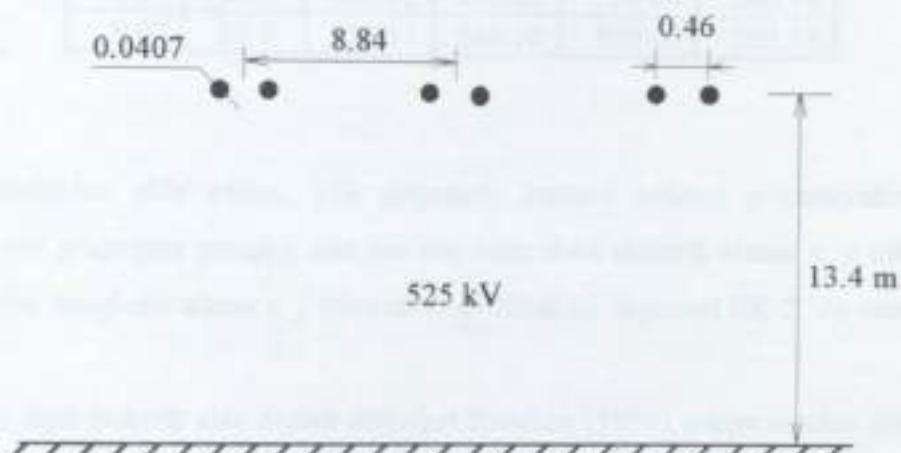
İkinci bölümde, iki direk arası menzil boyunca ve 200 metre genişliğinde bir alan içerisinde iletim hatlarının sehim eğrisi, iki direk arasındaki arazi durumunun eğrisi modellenerek, her mesafe için iletkenlerin yerden yükseklikleri tespit edilir. Bütün menzil boyunca alan hesaplanacak noktalara en yakın iletkenlerin konumu belirlenir. Daha sonra direk ekranlama etkileri de gözönünde bulundurularak üç boyutlu ortamda EM alan hesaplamaları yapılır. Hesaplamaların sonucunda menzil içerisinde istenilen mesafelerde 200 metrelük hat güzergahı genişliğinde iki boyutlu EM alan eğrileri ekranda görülebilmekte ve ayrıca tüm menzil boyunca alan şiddeti değişimlerini üç boyutlu olarak çizdirebilmek amacıyla, üç boyutlu çizim yapan paket programların veri dosyası olarak kullanabilmesi için çıkış dosyaları uygun hale getirilerek hazırlanır. Bu bölüm dört alt bölüme ayrılr. Bunlar sırasıyla; yeni bir hattın iletken ve yer modellemesi yapılarak EM alan hesaplamalarını yapan bölüm, önceden iletken ve yer modellemesi yapılmış ve bu bilgileri dosyadan alıp EM alan hesaplamaları yapan bölüm ve sadece iletken ve yer eğrisi modelleyen bölündür.

Üçüncü bölümde, ortamındaki elektrik ve magnetik alanlar nedeniyle uzatılmış küre modelindeki insan vücutu içerisinde induklenen elektrik alanlardan dolayı meydana gelen akım yoğunluğu hesaplanmaktadır.

Geliştirilen programın listesi EK 1 de verilmiştir.

6.2. Ölçüm Sonuçları İle Sayısal Hesaplamaların Karşılaştırılması

- İki ve üç boyutlu elektrik ve magnetik alan hesaplamaları için geliştirilen bilgisayar programının doğruluğunun belirlenebilmesi için uluslararası literatürden (Bracken, 1976; Atoian, 1978; Bridges et al, 1981) alman ve ölçüm sonuç değerleri bulunan üç fazlı çeşitli hatlar üzerinde yöntem uygulanacaktır.



Şekil 6.1. İkili demet iletkenli 525 kV gerilimli üç fazlı hat

525 kV gerilimli üç fazlı Portal direk tipli hattın, her fazi ikili demet iletkenlerden meydana gelmiştir. Fazarası mesafe 8.8 metre, demette iletkenler arası 0.46 metredir. Faz akımı olarak 1000 A değeri kabul edilmiştir. Hattın direk etkilerinin gözardı edildiği ve sehimin yaklaşık maksimum olduğu bölgede iletkenlerin yereden yüksekliğinin 13.4 metre olması durumunda, elektrik ve magnetik alan hesabı yerden bir metre yükseklikte yapılacaktır. Bu hattın konfigürasyonu Şekil 6.1 de gösterilmiştir. Hesaplamalar için, Bölüm 6.1 de özellikleri verilen geliştirilen bilgisayar programı kullanılacaktır. Sistem kesiti koordinat eksenlerine yerleştirilir ve buna göre, iletkenlerin koordinatları $\{X_i, Y_i\}$, faz gerilimlerinin genliği $\{V(kV)\}$ ve faz açısı $\{\theta_V\}$, faz akımlarının genliği $\{I(A)\}$ ve faz açısı $\{\theta_I\}$ Tablo 6.1 de verildiği gibi bilgisayara veri olarak girilir.

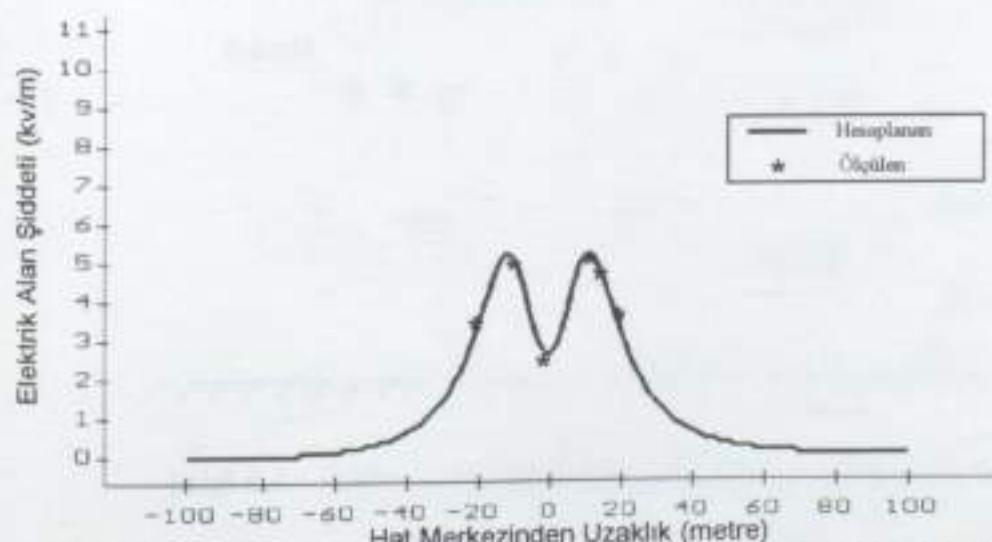
Tablo 6.1

Fazları aynı yükseklikte olan 525 kV üç fazlı hat için giriş verileri

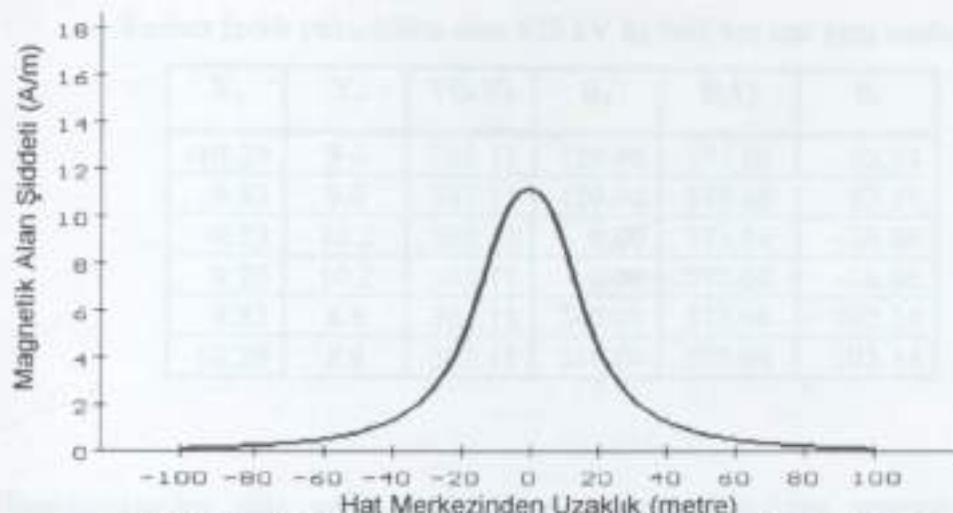
X _q	Y _q	V(kV)	θ _V	I(A)	θ _I
-9.07	13.4	303.11	120.00	500.00	83.14
-8.61	13.4	303.11	120.00	500.00	83.14
-0.23	13.4	303.11	0.00	500.00	-36.86
0.23	13.4	303.11	0.00	500.00	-36.86
8.61	13.4	303.11	240.00	500.00	203.14
9.07	13.4	303.11	240.00	500.00	203.14

Hesaplamlardan elde edilen, yük değerleri, kontrol noktası potansiyelleri, 200 metrelük hat güzergahı genişliği için her beş metredeki elektrik alanın x, y bileşenleri ile bileşkesi, magnetik alanın x, y bileşenleri ile bileşkesi değerleri EK 2'de verilmiştir.

Bu hat ile ilgili elektrik alan ölçüm değerleri Bracken (1976) çalışmasından almıştır. Hesaplamlardan elde edilen elektrik alan değerleri - mesafe eğrisi ve ölçüm değerleri Şekil 6.2 de verilmiştir. Ayrıca hattın magnetik alan - mesafe eğrisi de Şekil 6.3 de verilmiştir.



Şekil 6.2. 525 kV hat için hesaplanan ve ölçülen elektrik alan şiddeti değerleri



Şekil 6.3. 525 kV hat için hesaplanan magnetik alan değerleri

2. Benzer şekilde, 525 kV gerilimli üç fazlı ve ikili demet iletkenlerden oluşan ve fazları farklı yükseklikte olan, fazlararası mesafe 10.06 metre, demetlerde iletkenler 0.46 metre olan ve Şekil 6.4 de gösterilen hat için elektrik ve magnetik alan hesabı yerden 1 metre yükseklik için yapılacaktır. Faz akımı, 0.8 geri güç faktörü altında 750 A olarak kabul edilmiştir.



Şekil 6.4. Fazları farklı yükseklikte olan 525 kV gerilimli üç fazlı hat

Bu hat ile ilgili elektrik alan ölçüm değerleri yine Bracken (1976) çalışmasından alınmıştır. Hesaplama için giriş verileri Tablo 6.2 de verilmiştir.

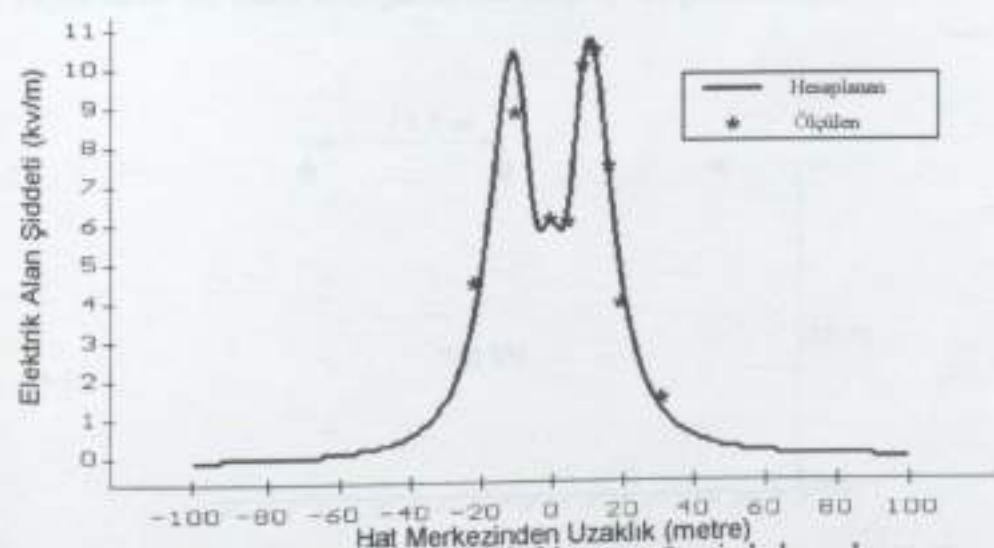
Tablo 6.2

Fazları farklı yükseklikte olan 525 kV üç fazlı hat için giriş verileri

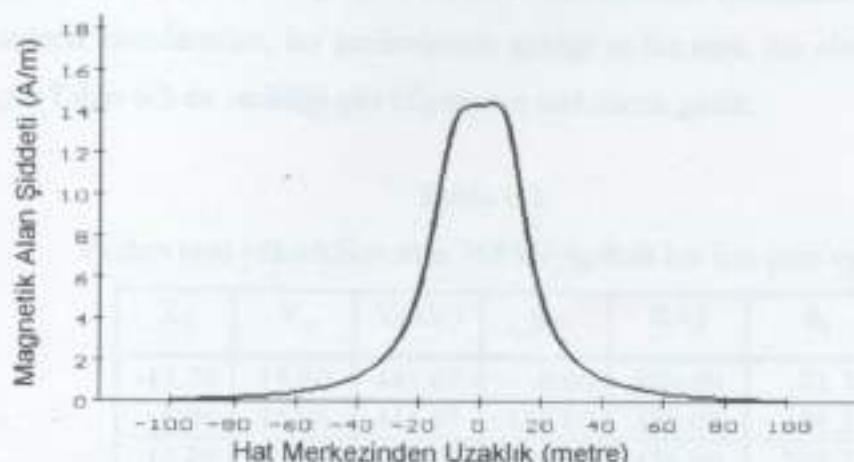
X _q	Y _q	V(kV)	θ _V	I(A)	θ _I
-10.29	9.0	303.11	120.00	375.00	83.14
-9.83	9.0	303.11	120.00	375.00	83.14
-0.23	10.2	303.11	0.00	375.00	-36.86
0.23	10.2	303.11	0.00	375.00	-36.86
9.83	8.8	303.11	240.00	375.00	203.14
10.29	8.8	303.11	240.00	375.00	203.14

Hesaplamlardan elde edilen, yük değerleri, kontrol noktası potansiyelleri, 200 metrelük hat güzergahı genişliği için her beş metredeki elektrik alanın x, y bileşenleri ile bileşkesi, magnetik alanın x, y bileşenleri ile bileşkesi değerleri EK 3 de verilmiştir.

Hesaplamlardan elde edilen elektrik alan değerleri - mesafe eğrisi ve ölçüm değerleri Şekil 6.5 de verilmiştir. Ayrıca hesaplamlardan elde edilen magnetik alan - mesafe eğrisi de Şekil 6.6 da verilmiştir.

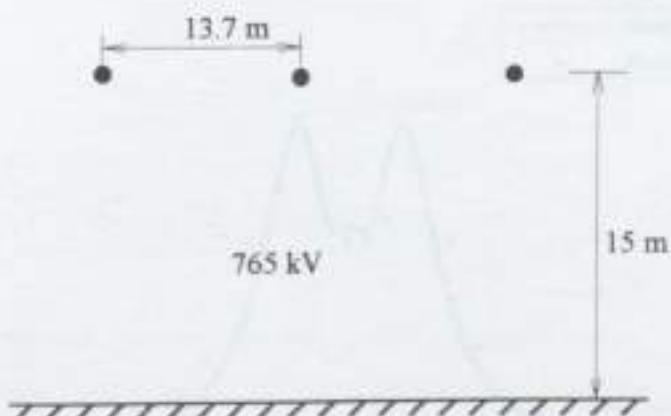


Şekil 6.5. Toprak seviyesinin bir metre üzerinde hesaplanan ve ölçülen elektrik alan şiddetinin değerleri



Şekil 6.6. Fazları farklı yükseklikte olan hat için magnetik alan değerleri

3. Hesaplamların bu bölümünde program ölçüm değerleri bulunan 765 kV'lu bir hatta uygulanacaktır. 765 kV gerilimli üç fazlı Portal direk tipli hattın, fazlararası mesafesi 13.7 metredir. Faz akımı olarak 462 A değeri kabul edilmiştir. Hattın direk etkilerinin gözardı edildiği ve sehimin yaklaşık maksimum olduğu bölgede iletkenlerin yerden yüksekliğinin 15 metre olması durumunda, elektrik ve magnetik alan hesabı yerden 1.5 metre yükseklikte (ölçüm değerleri yerden 1.5 metre yükseklikte alındığı için) yapılacaktır. Bu hattın konfigürasyonu Şekil 6.7 de gösterilmiştir.



Şekil 6.7. 765 kV gerilimli Portal hat

Önceki hesaplamalarda olduğu gibi, sistem kesiti koordinat eksenlerine yerleştirilerek, iletkenlerin koordinatları, faz gerilimlerinin genliği ve faz açısı, faz akımlarının genliği ve açısı Tablo 6.3 de verildiği gibi bilgisayara veri olarak girilir.

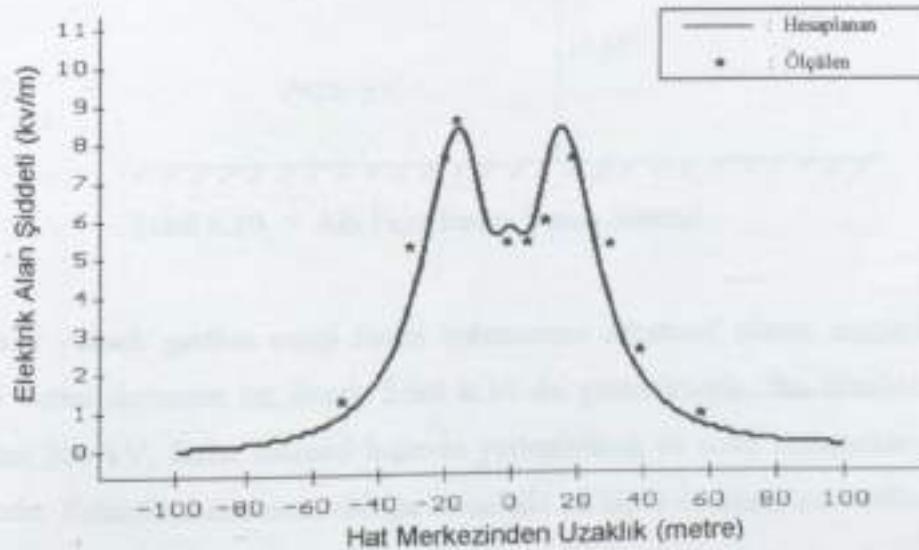
Tablo 6.3

Fazları aynı yükseklikte olan 765 kV üç fazlı hat için giriş verileri

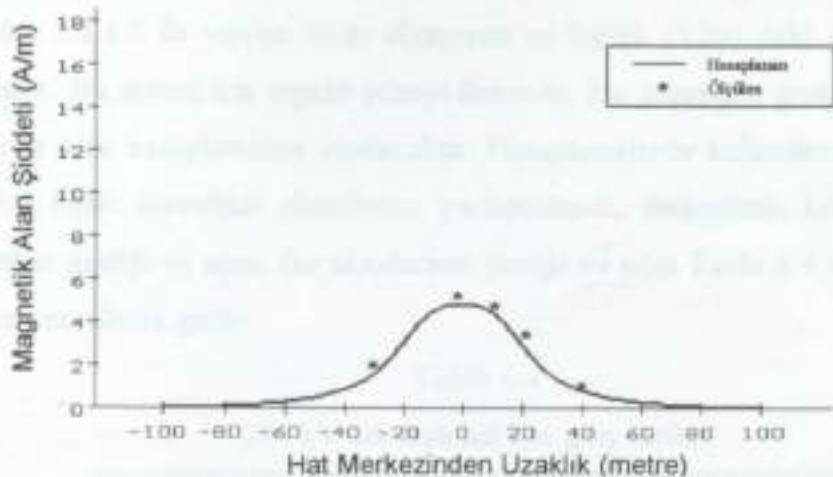
X _q	Y _q	V(kV)	θ _V	I(A)	θ _I
-13.70	15.00	441.67	0.00	426.00	-31.78
0.00	15.00	441.67	120.00	426.00	88.21
13.70	15.00	441.67	240.00	426.00	208.21

Hesaplamalardan elde edilen, yük değerleri, kontrol noktası potansiyelleri, 200 metrelük hat güzergahı genişliği için her beş metredeki elektrik alanın x, y bileşenleri ile bileşkesi, magnetik alanın x, y bileşenleri ile bileşke değerleri EK 4 de verilmiştir.

Bu hat ile ilgili elektrik ve magnetik alan ölçüm değerleri Atoian (1976), Bridges ve Preache (1981) çalışmalarından alınmıştır. Hesaplamalardan elde edilen elektrik alan şiddeti - mesafe eğrisi, magnetik alan şiddeti -mesafe eğrisi ve ölçüm değerleri Şekil 6.8 ve 6.9. da verilmiştir.

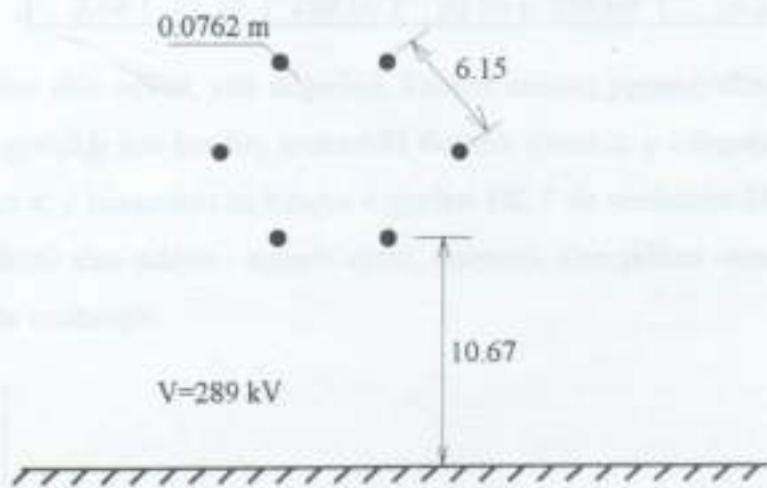


Şekil 6.8. 765 kV hat için hesaplanan ve ölçülen elektrik alan değerleri



Şekil 6.9. 765 kV hat için hesaplanan ve ölçülen magnetik alan değerleri

6.3. Altı Fazlı Hatiarda Elektrik ve Magnetik Alan Hesabı



Şekil 6.10. Altı Fazlı Enerji İletim Sistemi

Üç fazlı yüksek gerilim enerji iletim sistemlerine alternatif olarak araştırılan altı fazlı enerji iletim sisteme bir örnek Şekil 6.10 da gösterilmiştir. Bu örnekte, faz - nötr gerilimi 289 kV, fazlar dairesel biçimde yerleştirilmiş ve sıralı fazlararası mesafe 6.15 metredir. Sehimin maksimum olduğu mesafede en alçak iletkenin yere yüksekliği 10.67 metredir.

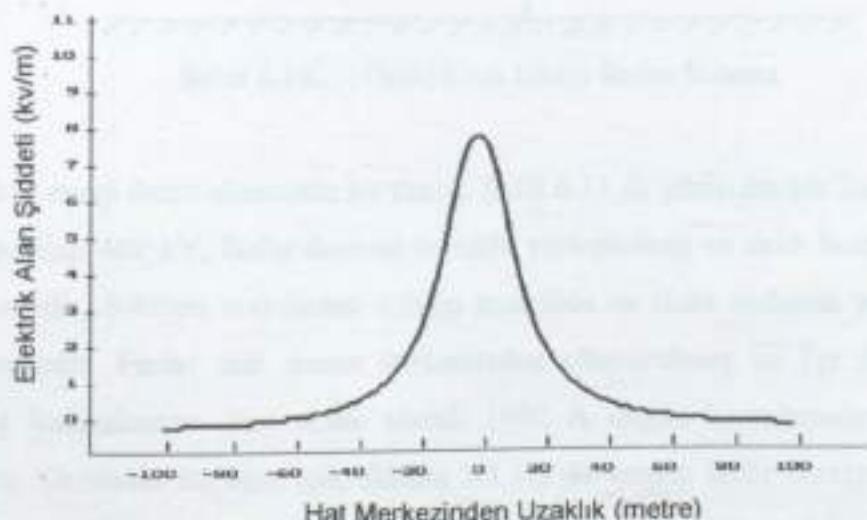
Faz akımı olarak 750 A değeri hesaplamalarda gözönüne alınmıştır. Gerilimin faz açısı için, Bölüm 3.1.1.2 de verilen fazör diyagramı ve Eşitlik (3.20) deki gerilim ifadeleri kullanılmıştır. Bu sistem için toprak yüzeyi üzerinde, hat güzergahı genişliğinde elektrik ve magnetik alan hesaplamaları yapılacaktır. Hesaplamalarda kullanılacak giriş verileri için, sistem kesiti koordinat eksenlerine yerleştirilerek, iletkenlerin koordinatları, faz gerilimlerinin genliği ve açısı, faz akımlarının genliği ve açısı Tablo 6.4 de verildiği gibi bilgisayara veri olarak girilir.

Tablo 6.4

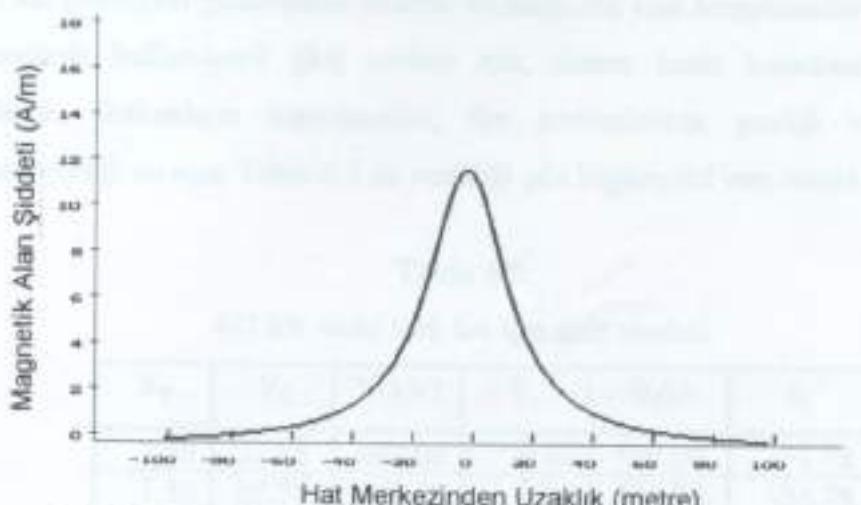
289 kV altı fazlı hat için giriş verileri

X _q	Y _q	V(kV)	θ _V	I(A)	θ _I
6.15	16.00	289.00	0.00	750.00	-31.78
3.08	10.67	289.00	300.00	750.00	268.22
-3.08	10.67	289.00	240.00	750.00	208.22
-6.15	16.00	289.00	180.00	750.00	148.22
-3.08	21.32	289.00	120.00	750.00	88.22
3.08	21.32	289.00	60.00	750.00	28.22

Hesaplamalardan elde edilen, yük değerleri, kontrol noktası potansiyelleri, 200 metrelük hat güzergahı genişliği için her beş metredeki elektrik alanın x, y bileşenleri ile bileşkesi, magnetik alanın x, y bileşenleri ile bileşke değerleri EK 5 de verilmiştir. Hesaplamalardan elde edilen elektrik alan şiddeti - mesafe eğrisi, magnetik alan şiddeti -mesafe eğrisi Şekil 6.11 ve 6.12 de verilmiştir.

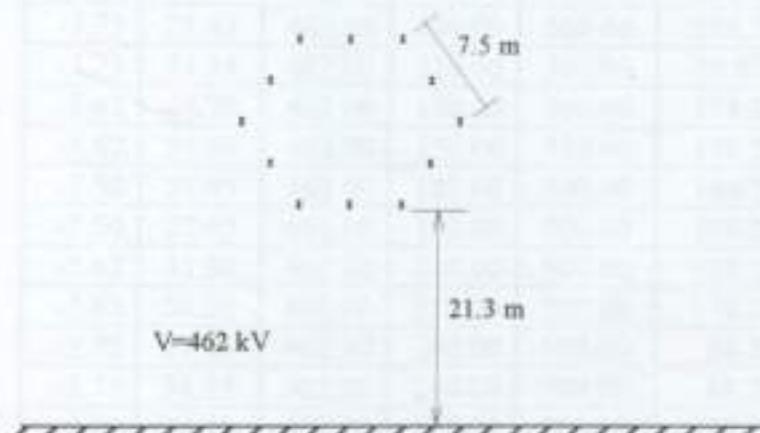


Şekil 6.11. Altı fazlı sistem için elektrik alan - mesafe eğrisi



Şekil 6.12. Altı fazlı sistem için magnetik alan - mesafe eğrisi

6.4. Oniki Fazlı Hatlarda Elektrik ve Magnetik Alan Hesabı



Şekil 6.13. Oniki Fazlı Enerji İletim Sistemi

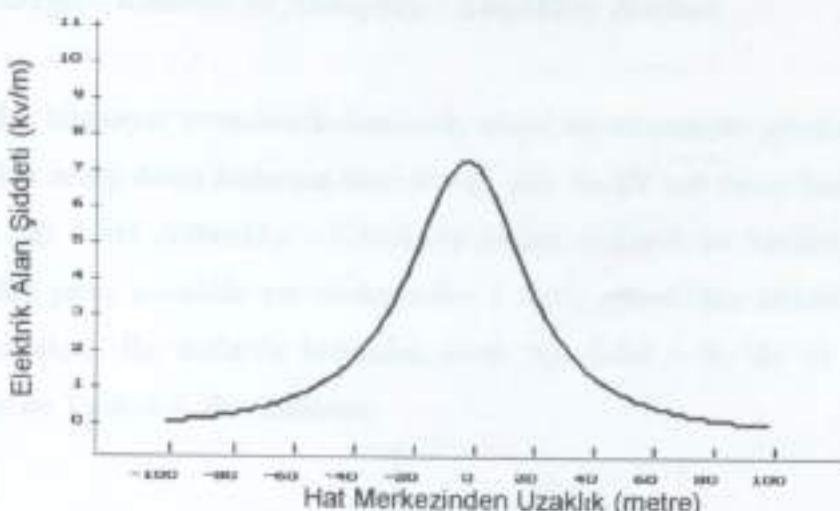
Oniki fazlı enerji iletim sisteminin bir örneği Şekil 6.13 de gösterilmiştir. Bu sistemde, faz - nötr gerilimi 462 kV, fazlar dairesel biçimde yerleştirilmiş ve sıralı fazlararası mesafe 3.75 metredir. Sehimin maksimum olduğu mesafede en alçak iletkenin yere yüksekliği 21.3 metredir. Fazlar ikili demet iletkenlerden oluşturulmuş ve faz iletkeni olarak Bluebird kullanılmıştır. Faz akımı olarak 1000 A değeri hesaplamalarda gözönüne alınmıştır. Gerilimin faz açısı için, Bölüm 3.1.1.3 de verilen fazör diyagramı ve Eşitlik (3.21a) ve (3.21b) deki gerilim ifadeleri kullanılmıştır. Bu sistem için toprak yüzeyi

üzerinde, hat güzergahı genişliğinde elektrik ve magnetik alan hesaplamaları yapılacaktır. Hesaplamalarda kullanılacak giriş verileri için, sistem kesiti koordinat eksenlerine yerleştirilerek, iletkenlerin koordinatları, faz gerilimlerinin genliği ve açısı, faz akımlarının genliği ve açısı Tablo 6.5 de verildiği gibi bilgisayara veri olarak girilir.

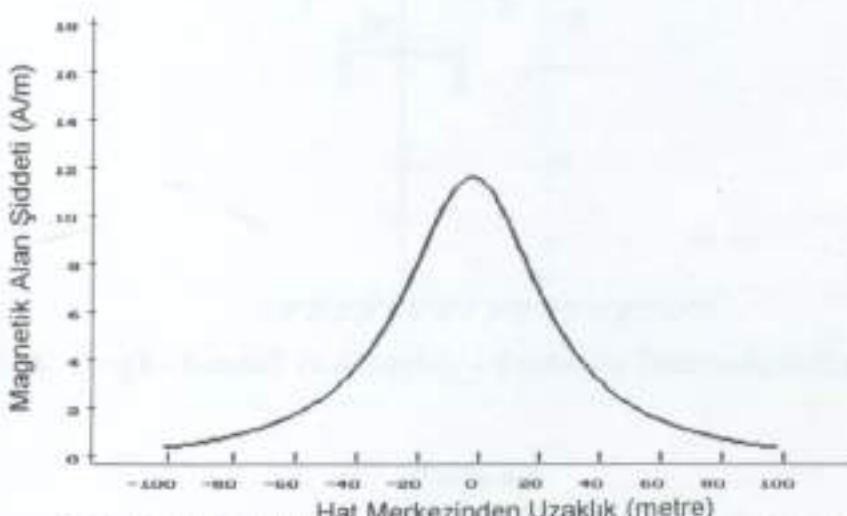
Tablo 6.5
462 kV oniki fazlı hat için giriş verileri

X _q	Y _q	V(kV)	θ _V	I(A)	θ _I
7.50	27.95	462.00	0.00	500.00	-31.78
7.50	27.75	462.00	0.00	500.00	-31.78
5.62	24.70	462.00	30.00	500.00	298.22
5.62	24.40	462.00	30.00	500.00	298.22
3.75	21.45	462.00	60.00	500.00	268.22
3.75	21.15	462.00	60.00	500.00	268.22
0.00	21.45	462.00	90.00	500.00	238.22
0.00	21.15	462.00	90.00	500.00	238.22
-3.75	21.45	462.00	120.00	500.00	208.22
-3.75	21.15	462.00	120.00	500.00	20.822
-5.62	24.70	462.00	150.00	500.00	178.22
-5.62	24.40	462.00	150.00	500.00	178.22
-7.50	27.95	462.00	180.00	500.00	148.22
-7.50	27.65	462.00	180.00	500.00	148.22
-5.62	31.20	462.00	210.00	500.00	118.22
-5.62	30.90	462.00	210.00	500.00	118.22
-3.75	34.45	462.00	240.00	500.00	88.22
-3.75	34.15	462.00	240.00	500.00	88.22
0.00	34.45	462.00	270.00	500.00	58.22
0.00	34.15	462.00	270.00	500.00	58.22
3.75	34.45	462.00	300.00	500.00	28.22
3.75	34.15	462.00	300.00	500.00	28.22
5.62	27.95	462.00	330.00	500.00	-1.78
5.62	27.65	462.00	330.00	500.00	-1.78

Hesaplamalardan elde edilen, yük değerleri, kontrol noktası potansiyelleri, 200 metrelük hat güzergahı genişliği için her beş metredeki elektrik alanın x, y bileşenleri ile bileşkesi, magnetik alanın x, y bileşenleri ile bileşke değerleri EK 6 da verilmiştir. Hesaplamalardan elde edilen elektrik alan şiddeti - mesafe eğrisi, magnetik alan şiddeti -mesafe eğrisi Şekil 6.14 ve 6.15 de verilmiştir.



Şekil 6.14. Oniki fazlı sistem için elektrik alan - mesafe eğrisi



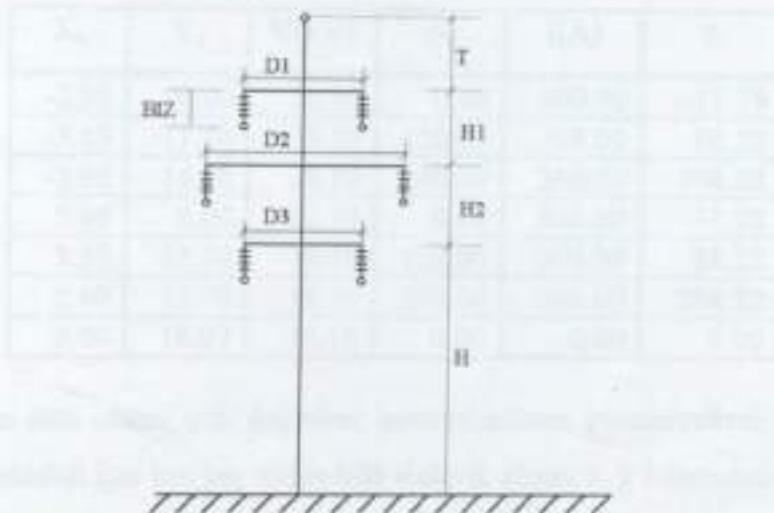
Şekil 6.15. Oniki fazlı sistem için magnetik alan - mesafe eğrisi

6.5. OG ve YG Üç fazlı Hatlarda Elektrik ve Magnetik Alan Hesabının Türkiye Uygulamaları

Bu bölümde, geliştirilen elektrik ve magnetik alan programının Türkiye'deki mevcut hatlar için uygulamaları yapılacaktır. Sayısal hesaplamalar için, 66, 154 ve 380 kV hatlarından birer örnek olarak, sırasıyla Ereğli - Kandilli, Alibeyköy - Küçükköy ve Karakaya - KebanII hatları seçilmiştir. Bu hatlarda elektrik ve magnetik alan hesabı, hat merkezinden çeşitli uzaklıklar için yapılacaktır.

6.5.1. Ereğli - Kandilli ve Alibeyköy - Küçükköy Hatları

Geliştirilen bilgisayar programı kullanılarak, ulusal enternonnekte şebekedeki, 66 kV ve 154 kV'luk enerji iletim hatlarının birer örneği olan 66 kV çift devre Ereğli - Kandilli ve 154 kV çift devre Alibeyköy - Küçükköy hatları seçilerek bu hatların çevresinde hat ekseninden yatay uzaklıktır yer düzleminde 1 metre yükseklikte elektrik alan şiddetleri hesaplanacaktır. Bu hatlarda kullanılan direk tipi Şekil 6.16 'da ve direklerle ilgili özellikler de Tablo 6.6 'da verilmiştir.



Şekil 6.16. Ereğli - Kandilli ve Alibeyköy - Küçükköy Hatlarında kullanılan direk tipi

Tablo 6.6
Direk Özellikleri

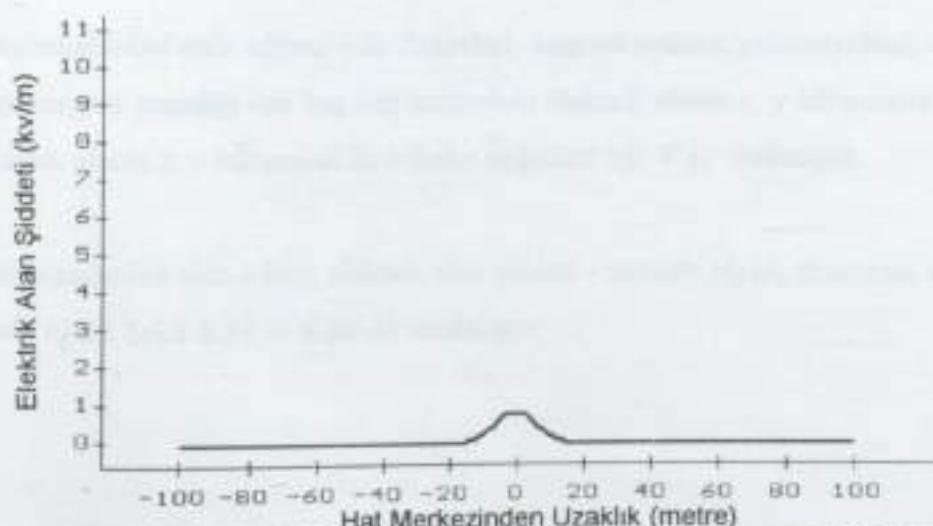
Gerilim	66 kV	154 kV
H (m)	15.24	18.93
H1 (m)	3.04	4.15
H2 (m)	2.74	4.15
T (m)	2.99	3.15
BIZ (m)	1.2	2.2
D1 (m)	5.8	7
D2 (m)	7.15	9.4
D3 (m)	5.8	7.4

Bu sistemler için toprak yüzeyinin bir metre üzerinde, hat merkezinden çeşitli mesafeler için, elektrik ve magnetik alan hesaplamaları, direk etkilerinin ihmal edildiği yaklaşık sehimin maksimum olduğu direk uzaklığında yapılacaktır. 66 kV ve 154 kV sistemler için giriş verileri; iletkenlerin koordinatları, faz gerilimlerinin genliği ve açısı, faz akımlarının genliği ve açısı, sırasıyla Tablo 6.7 ve 6.8 'de verildiği gibi bilgisayara veri olarak girilir.

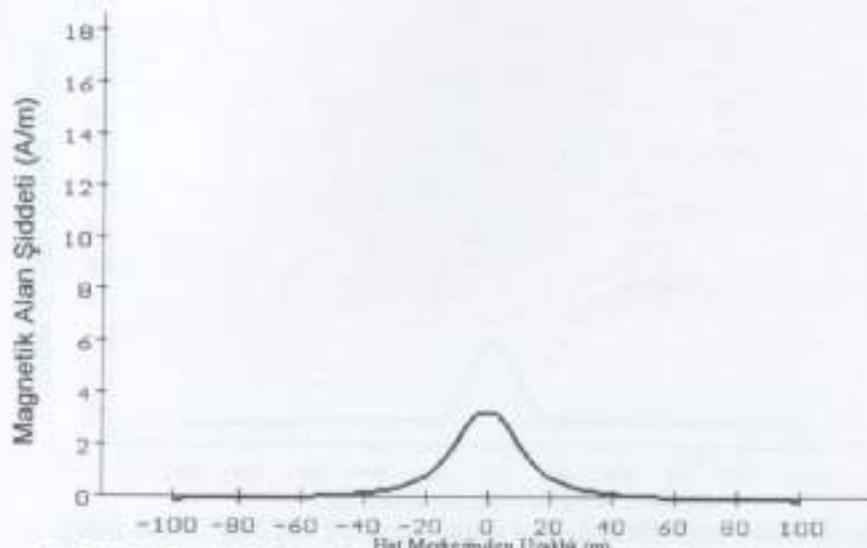
Tablo 6.7
66 kV üç fazlı için giriş verileri

X _q	Y _q	V(kV)	θ _V	I(A)	θ _I
-2.90	9.00	38.10	0.00	300.00	-31.78
-3.57	11.74	38.10	120.00	300.00	88.22
-2.90	14.78	38.10	240.00	300.00	208.22
2.90	9.00	38.10	0.00	300.00	-31.78
3.57	11.74	38.10	120.00	300.00	88.22
2.90	14.78	38.10	240.00	300.00	208.22
0.00	18.97	38.10	0.00	0.00	0.00

Hesaplamlardan elde edilen, yük değerleri, kontrol noktası potansiyelleri, 200 metrelük hat güzergahı genişliği için her beş metrededeki elektrik alanın x, y bileşenleri ile bileşkesi, magnetik alanın x, y bileşenleri ile bileşke değerleri EK 7 de verilmiştir. Hesaplamlardan elde edilen elektrik alan şiddeti - mesafe eğrisi, magnetik alan şiddeti -mesafe eğrisi Şekil 6.17 ve 6.18 de verilmiştir.



Şekil 6.17. 66 kV üç fazlı sistem için elektrik alan - mesafe eğrisi



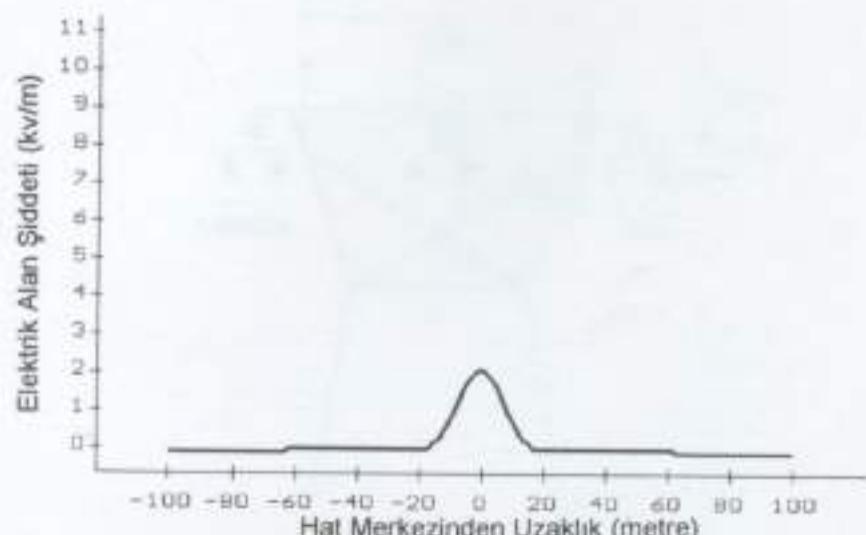
Şekil 6.18. 66 kV üç fazlı sistem için magnetik alan - mesafe eğrisi

Tablo 6.8
154 kV üç fazlı için giriş verileri

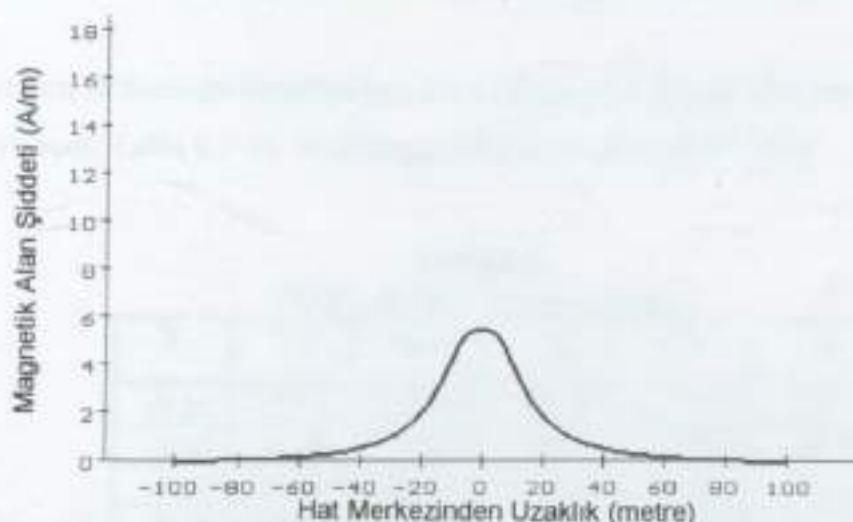
X _q	Y _q	V(kV)	θ _v	I(A)	θ _i
-3.70	10.00	88.91	0.00	500.00	-31.78
-4.70	14.15	88.91	120.00	500.00	88.22
-3.50	18.30	88.91	240.00	500.00	208.22
3.70	10.00	88.91	0.00	500.00	-31.78
4.70	14.15	88.91	120.00	500.00	88.22
3.50	18.30	88.91	240.00	500.00	208.22
0.00	23.65	0.00	0.00	0.00	0.00

Hesaplamalardan elde edilen, yük değerleri, kontrol noktası potansiyelleri, 200 metrelük hat güzergahı genişliği için her beş metredeki elektrik alanın x, y bileşenleri ile bileşkesi, magnetik alanın x, y bileşenleri ile bileşke değerleri EK 8'de verilmiştir.

Hesaplamalardan elde edilen elektrik alan şiddeti - mesafe eğrisi, magnetik alan şiddeti - mesafe eğrisi Şekil 6.19 ve 6.20 de verilmiştir.



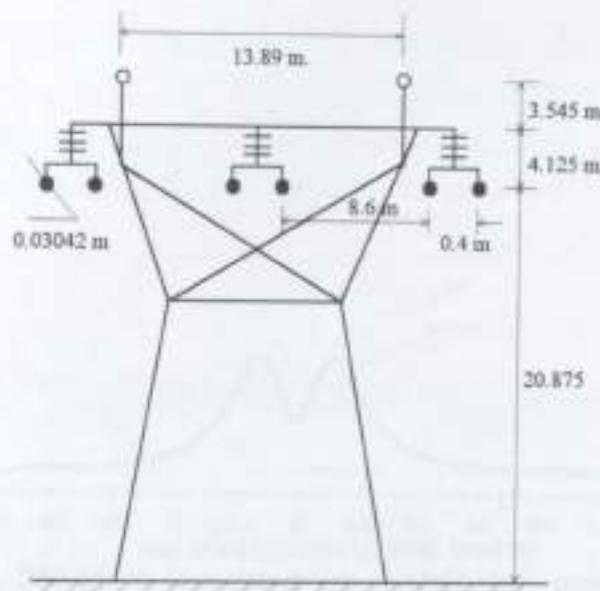
Şekil 6.19. 154 kV üç fazlı sistem için elektrik alan - mesafe eğrisi



Şekil 6.20. 154 kV üç fazlı sistem için magnetik alan - mesafe eğrisi

6.5.2. Karakaya - KebanII Hattı

380 kV gerilimli ve her fazı ikili demet iletkenlerden meydana gelen Karakaya-KebanII hattı çevresinde hat ekseninden yatay uzaklıktı ve toprak yüzeyinin bir metre üzerinde elektrik alan ve magnetik alan hesaplamaları direk etkilerinin ihmal edildiği yaklaşık sehitmin maksimum olduğu direk uzaklığında yapılacaktır. Bu hatta kullanılan direk tipi ve iletken konfigürasyonu Şekil 6.21 'de verilmiştir.



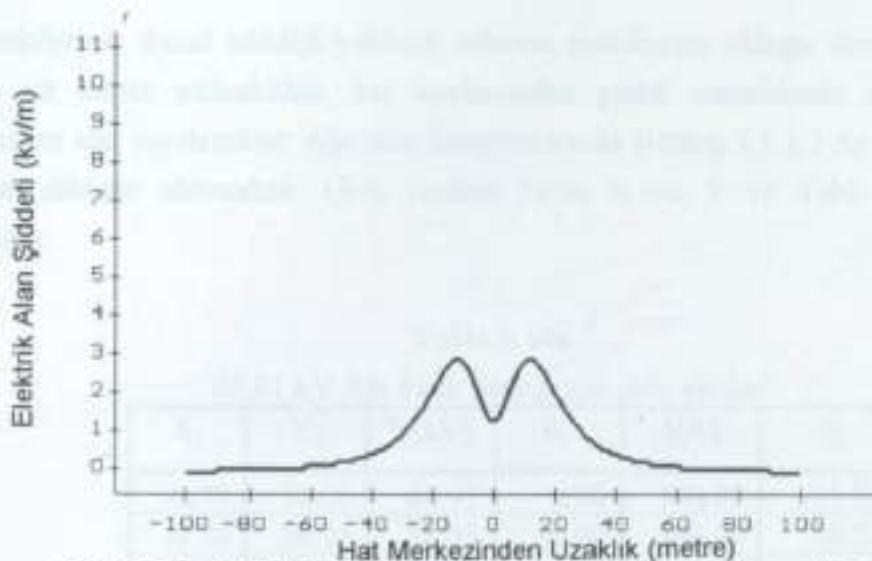
Şekil 6.21. 380 kV' luk ikili demet iletkenli enerji iletim hatti direk boyutları.

Giriş verileri; iletkenlerin koordinatları, faz gerilimlerinin genişliği ve açısı, faz akımlarının genişliği ve açısı, Tablo 6.9 'da verildiği gibi bilgisayara veri olarak girilir.

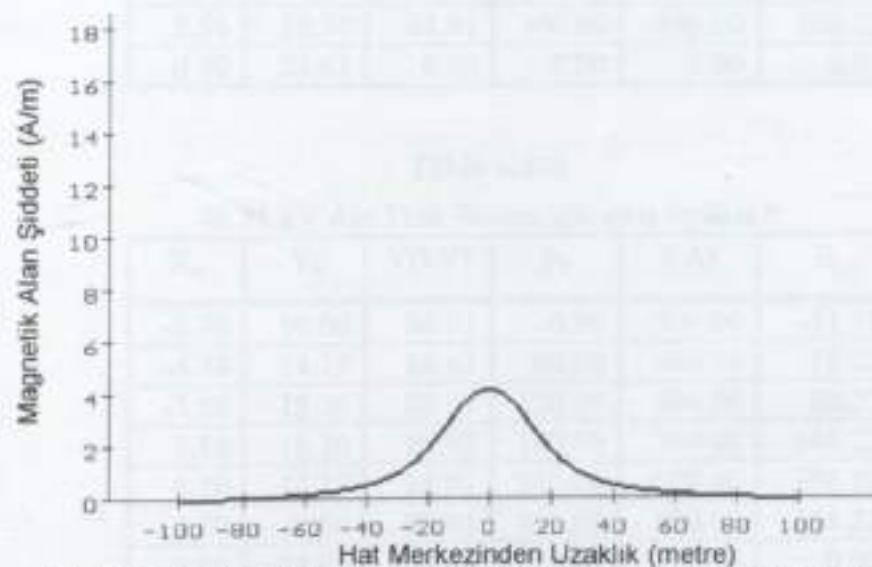
Tablo 6.9
380 kV üç fazlı için giriş verileri

X _q	Y _q	V(kV)	θ _V	I(A)	θ _I
-0.20	15.00	220.00	0.00	225.00	-31.78
-8.88	15.00	220.00	120.00	225.00	88.22
-9.20	15.00	220.00	120.00	225.00	88.22
0.20	15.00	220.00	0.00	225.00	-31.78
8.80	15.00	220.00	240.00	225.00	208.22
9.20	15.00	220.00	240.00	225.00	208.22
-6.95	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6.95	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Hesaplamlardan elde edilen, yük değerleri, kontrol noktası potansiyelleri, 200 metrelilik hat güzergahı genişliği için her beş metrededeki elektrik alanın x, y bileşenleri ile bileşkesi, magnetik alanın x, y bileşenleri ile bileşke değerleri EK 9 da verilmiştir. Hesaplamlardan elde edilen elektrik alan şiddeti - mesafe eğrisi, magnetik alan şiddeti -mesafe eğrisi Şekil 6.22 ve 6.23 de verilmiştir.



Şekil 6.22. 380 kV üç fazlı sistem için elektrik alan - mesafe eğrisi



Şekil 6.23. 380 kV üç fazlı sistem için magnetik alan - mesafe eğrisi

6.6. Çift Devre Üç Fazlı Sistemin Altı Fazlı İşletilmesi

Bu bölümde, bir çift devre üç fazlı sistemin, altı fazlı olarak işletilmesi durumunda elektrik ve magnetik alan hesaplamaları; önce faz - nötr gerilimi ve faz akımını değiştirmeksızın, sonra faz - nötr geriliminin $\sqrt{3}$ kat artırılması durumu için yapılacaktır. Örnek olarak, Bölüm 6.5.1 de verilen Alibeyköy - Küçükköy 154 kV çift devre hattı seçilmiştir. Hattın konfigürasyonu Şekil 6.16 da verilmiştir. Hesaplamalar,

direk etkilerinin ihmali edildiği yaklaşık sehimin maksimum olduğu direk uzaklığında, yerden bir metre yükseklikte, hat merkezinden çeşitli mesafelerde ve değişik faz sıralamaları için yapılacaktır. Altı fazlı hesaplamalarda Bölüm 3.1.1.2 de verilen gerilim fazörleri dikkate alınacaktır. Giriş verileri Tablo 6.10a, b ve Tablo 6.11a, b 'de verilmiştir.

Tablo 6.10a

88.91 kV Altı Fazlı Sistem için giriş verileri

X _q	Y _q	V(kV)	θ _v	I(A)	θ _i
-3.70	10.00	88.91	0.00	500.00	-31.78
-4.70	14.15	88.91	60.00	500.00	28.22
-3.50	18.30	88.91	120.00	500.00	88.22
3.70	10.00	88.91	180.00	500.00	148.22
4.70	14.15	88.91	240.00	500.00	208.22
3.50	18.30	88.91	300.00	500.00	268.22
0.00	23.65	0.00	0.00	0.00	0.00

Tablo 6.10b

88.91 kV Altı Fazlı Sistem için giriş verileri *

X _q	Y _q	V(kV)	θ _v	I(A)	θ _i
-3.70	10.00	88.91	0.00	500.00	-31.78
-4.70	14.15	88.91	60.00	500.00	28.22
-3.50	18.30	88.91	120.00	500.00	88.22
3.50	18.30	88.91	180.00	500.00	148.22
4.70	14.15	88.91	240.00	500.00	208.22
3.70	10.00	88.91	300.00	500.00	268.22
0.00	23.65	0.00	0.00	0.00	0.00

Tablo 6.11a

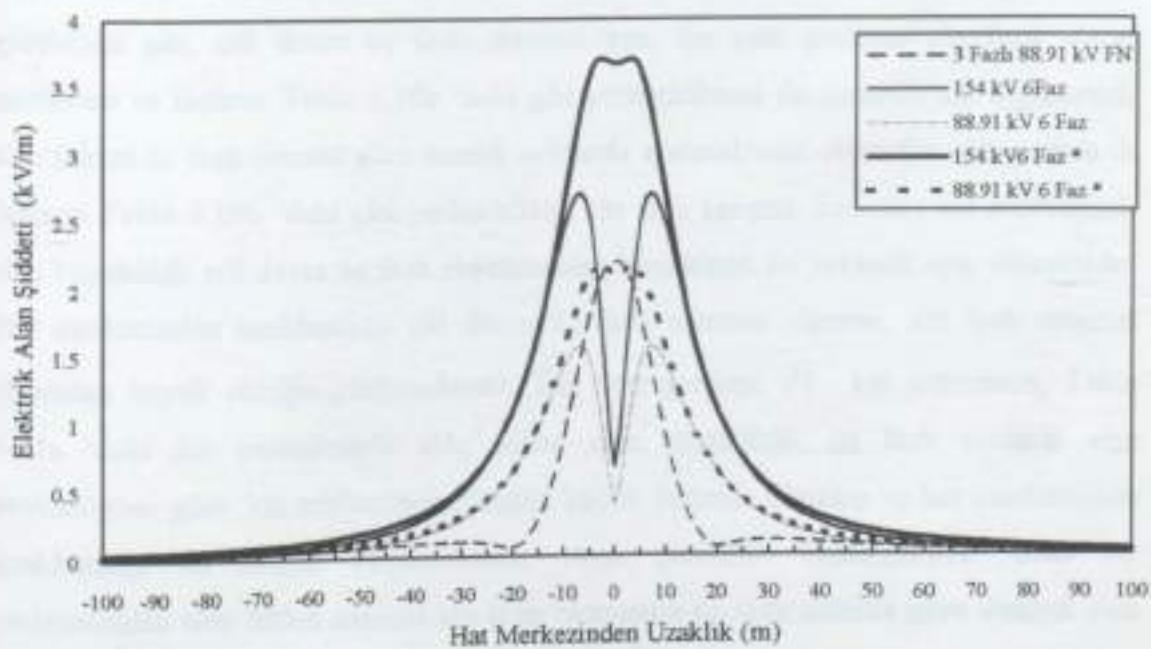
154 kV Altı Fazlı Sistem için giriş verileri

X _q	Y _q	V(kV)	θ _v	I(A)	θ _i
-3.70	10.00	154.00	0.00	500.00	-31.78
-4.70	14.15	154.00	60.00	500.00	28.22
-3.50	18.30	154.00	120.00	500.00	88.22
3.70	10.00	154.00	180.00	500.00	148.22
4.70	14.15	154.00	240.00	500.00	208.22
3.50	18.30	154.00	300.00	500.00	268.22
0.00	23.65	0.00	0.00	0.00	0.00

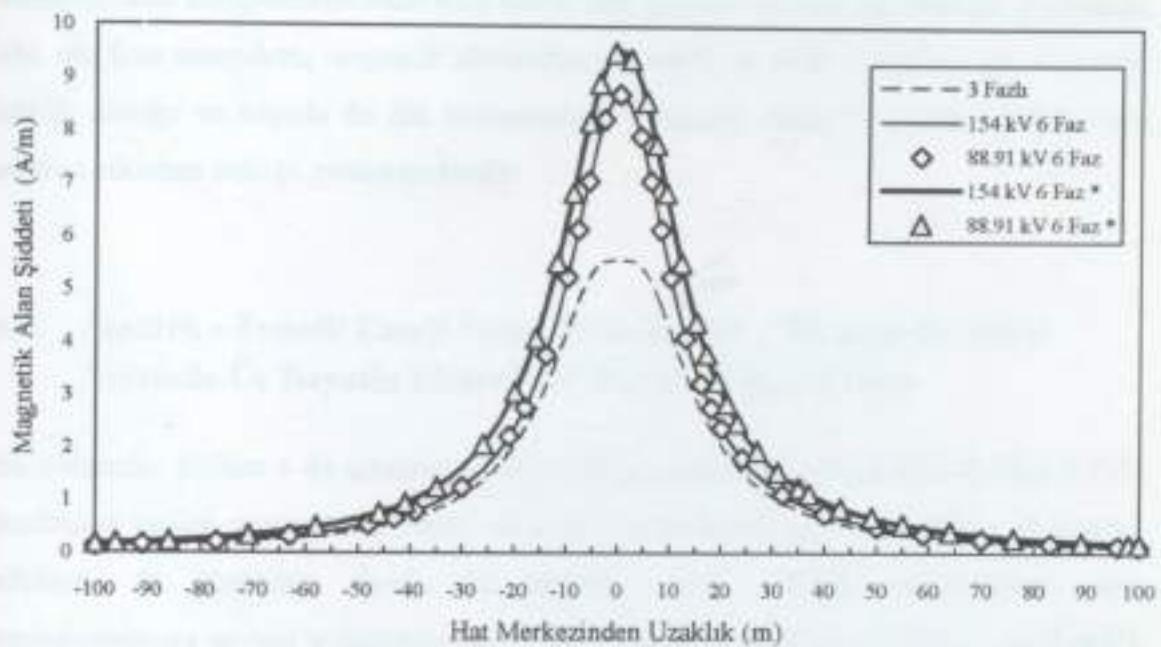
Tablo 6.11b
154 kV Altı Fazlı Sistem için giriş verileri *

X _q	Y _q	V(kV)	θ _V	I(A)	θ _I
-3.70	10.00	154.00	0.00	500.00	-31.78
-4.70	14.15	154.00	60.00	500.00	28.22
-3.50	18.30	154.00	120.00	500.00	88.22
3.50	18.30	154.00	180.00	500.00	148.22
4.70	14.15	154.00	240.00	500.00	208.22
3.70	10.00	154.00	300.00	500.00	268.22
0.00	23.65	0.00	0.00	0.00	0.00

Hesaplamalardan elde edilen, yük değerleri, kontrol noktası potansiyelleri, 200 metrelük hat güzergahı genişliği için her beş metredeki elektrik ve magnetik alanın x, y bileşenleri ile bileşkesi EK 10 da verilmiştir. Hesaplamalardan elde edilen elektrik alan şiddeti - mesafe eğrileri, magnetik alan şiddeti - mesafe eğrileri Şekil 6.24 ve 6.25 de verilmiştir.



Şekil 6.24. Çift devre üç fazlı sistemin altı fazlı çalıştırılması durumunda
elektrik alan - mesafe eğrileri



Şekil 6.25. Çift devre üç fazlı sistemin altı fazlı çahşırılması durumunda
magnetik alan - mesafe eğrileri

Yapılan elektrik alan hesaplamalarının sonucundaki elektrik alan - mesafe eğrilerinden görüldüğü gibi, çift devre üç fazlı sistemin aynı faz nötr gerilimli altı fazlı olarak işletilmesi ve fazların Tablo 6.10a 'daki gibi yerleştirilmesi durumunda hat merkezinde alan şiddeti üç fazlı sisteme göre önemli miktarda azalmaktadır. Aynı faz nötr gerilim ile fazlarının Tablo 6.10b 'deki gibi yerleştirildiği altı fazlı çalışma durumda hat merkezinde alan büyüklüğü çift devre üç fazlı sistemin alan büyüklüğü ile yaklaşık aynı olmaktadır. Hat merkezinden uzaklaştıkça çift devre üç fazlı sistemin alanının, altı fazlı sistemin alanından büyük olduğu görülmektedir. Faz nötr gerilimi $\sqrt{3}$ kat artırılınca, Tablo 6.11a 'daki faz yerleşiminde elde edilen alan büyüklüğü, üç fazlı sistemin alan büyüklüğine göre, hat merkezinde oldukça küçük değerde olmakta ve hat merkezinden uzaklaştıkça bir miktar büyümektedir. Aynı gerilimle Tablo 6.11b 'deki faz yerleşiminde elde edilen sonuçta altı fazlı işletmenin üç fazlı sisteme göre elektrik alan değerinin her mesafede oldukça büyük olduğu görülmektedir.

Magnetik alan hesaplamalarından elde edilen alan şiddeti - mesafe eğrilerinden görüldüğü gibi, altı fazlı sistemlerin magnetik alanlarının çift devre üç fazlı sistemden her mesafede büyük olduğu ve burada da faz sıralamasının magnetik alanlar üzerinde azaltıcı veya artırcı etkisinin olduğu gözlenmektedir.

6.7. Atatürk - Temelli Enerji İletim Hattının 701 - 702 nolu Direkleri Arasında Üç Boyutlu Elektrik ve Magnetik Alan Hesabı

Bu bölümde, Bölüm 4 de çizartılan ifadelerden yararlanılarak geliştirilen, Bölüm 6.1 de özellikleri verilen program ile, sehim ve arazi yapısı modellenerek, direklerin ekranlama etkilerini de gözönüne alarak, üç boyutlu olarak elektrik ve magnetik alan hesaplamalarına sayısal uygulama yapılacaktır. Sayısal hesaplama, Türkiye' de Atatürk Barajı ile Temelli arasında bulunan üç fazlı, çift hat 380 kV' luk enerji iletim hattının bir bölümüne uygulanacaktır. Alan hesabı yapılacak kısım, "Atatürk - Temelli Enerji Nakil Hattı Profil ve Planı" üzerinden 701 ve 702 nolu direkler arası olarak seçilmiştir. Hattın bu bölümünü, hatsonuna 4200 metre uzaklıktadır. Hat ile Ankara - Temelli karayolu Ankara' ya 40. km 'de kesişmektedir. Hattın sayısal uygulama için seçilen bölümü Şekil 6.26 'da perspektif olarak gösterilmiştir. Hattın bu bölümünün fotoğrafları EK 11 de verilmiştir.

Atatürk - Temelli hattında her faz demeti üç iletkenden oluşmuş ve faz iletkeni olarak *Feaseant* kullanılmıştır. 701 ve 702 nolu direk tipi *Portal* 'dır. Hesaplamalarda faz iletken çapı olarak Eşitlik 6.1 de verilen eşdeğer çap bağıntısı ile bulunan değer kullanılacaktır.

$$d_{eq} = D \sqrt{\frac{s \cdot d}{D}} \quad (6.1)$$

Burada,

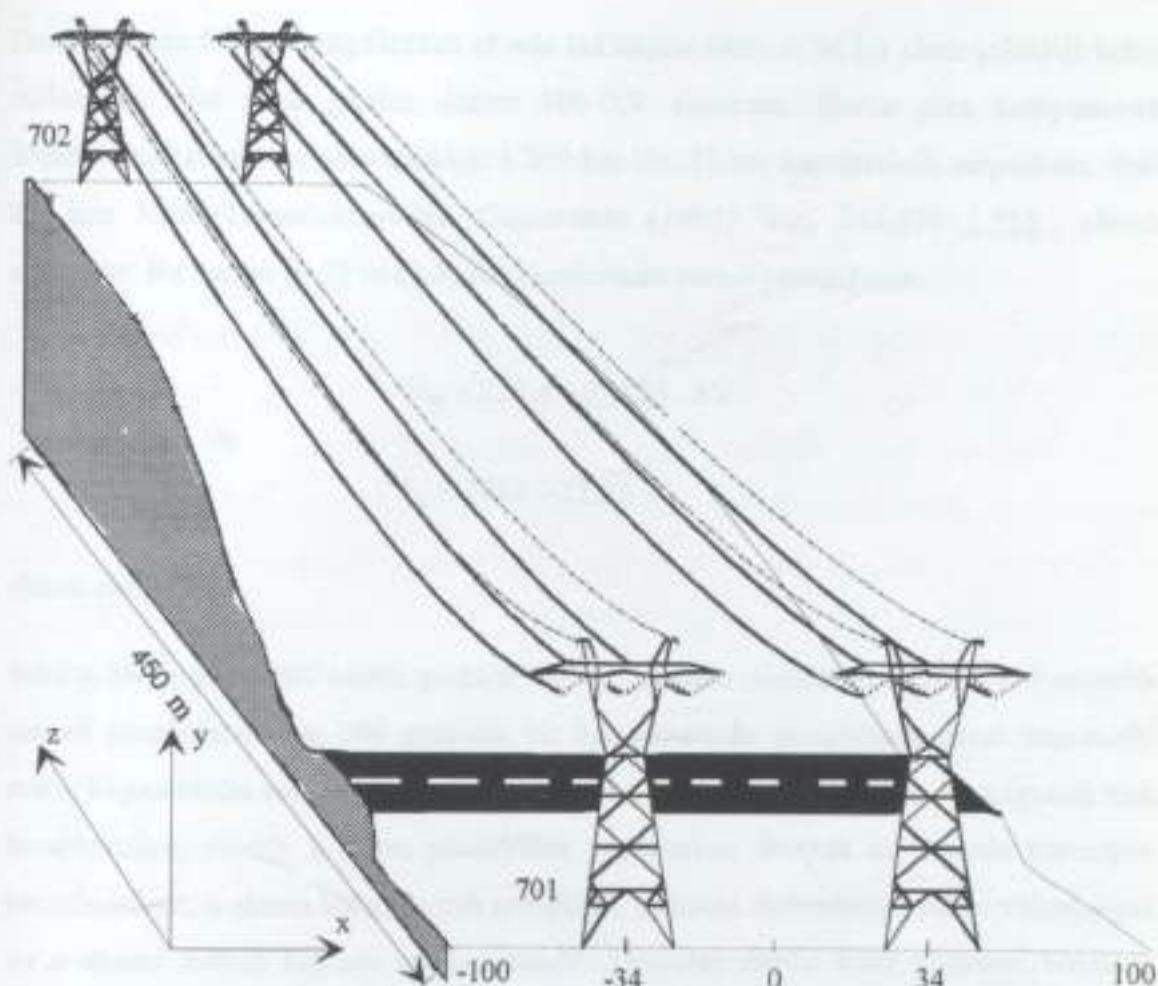
D : demet iletkenlerin bulunduğu dairenin çapı = 0.5276 m

d : iletken çapı = 0.035 m

s : iletken sayısı = 3

ve

$d_{eq} = 0.308$ m olarak Eşitlik (6.1) den elde edilir.



Şekil 6.26. Üç boyutlu hesaplama yapılacak hattın perspektif görünüsü

Hattın bu bölümündeki akım ve gerilim değerlerinin hesaplanması için uzun iletim hattı bağıntıları olan Eşitlik 6.2 ve 6.3 kullanılacaktır (Çakır, 1989; Stevenson, 1982).

$$V_x = V_R \operatorname{Cosh} \gamma x + I_R Z_C \operatorname{Sinh} \gamma x \quad (6.2)$$

$$I_x = I_R \operatorname{Cosh} \gamma x + \frac{V_R}{Z_C} \operatorname{Sinh} \gamma x \quad (6.3)$$

Burada,

V_R : Hatsonu gerilimi,

I_R : Hatsonu akımı,

Z_C : Hattın karakteristik empedansı.

Hat sonundan 0.9 geri güç faktörü altında faz başına 1000 A lik bir akım çekildiği kabul edilecektir. Hat sonu gerilim değeri 380 kV almıştır. Hattın alan hesaplanacak bölümünün hat sonuna olan uzaklığı 4.209 km 'dir. Hattın karakteristik empedansı, ilgili hat için Mitaş-Transelectro-Ouit Consortium (1992) 'dan, 246.676/-1.715 olarak almıştır. Bu veriler (6.2) ve (6.3) denklemlerinde yerine yazıldığında

$$V_X = 220.4 \text{ /-0.1265} \text{ kV}$$

ve

$$I_X = 1003 \text{ /-25.73} \text{ A}$$

olarak elde edilir.

Şekil 6.26 'da perspektif olarak görülen 701 ve 702 nolu direkler arasındaki 450 metrelük menzil uzunlığında ve 200 metrelük bir hat güzergahı genişliğinde arazi üzerindeki metre başına bütün noktalarda yani 90000 (200 x 450) noktada elektrik ve magnetik alan hesaplamaları, yerden 1 metre yükseklikte yapılacaktır. Burada üç boyutlu kartezyen koordinatların; x eksenini hat güzergah genişliğini, y eksenini iletkenlerin yerden yüksekliğini ve z eksenini menzil boyunu tariflemektedir. Hesaplamalarda arazi x eksenini boyunca düzgün kabul edilecektir. z eksenini boyunca arazi şartları ve iletkenin sehimini hesaplamalarda dikkate alınacaktır.

Bölüm 6.1 'de özellikleri verilen, geliştirilen program çalıştırılıp alan hesaplamalarına başlandığında öncelikle; eşdeğer faz iletken sayısı, koruma iletkeni sayısı, iletkenlerin gerilimi ve akımları, hat başında (701 nolu direk) faz ve koruma iletkenlerinin koordinatları Şekil 6.26 daki eksen takımıma oturtularak programa veri olarak girilir. Giriş verileri Tablo 6.10 da verilmiştir.

Alan hesaplamalarına geçmeden önce iletkenlerin sehim eğrisi ve yer eğrisi Bölüm 4.3 de anlatılan *Kübik Spline Algoritması* kullanılarak modellenenecek, 701 nolu direkten itibaren 450 metre boyunca metre başına iletken ve yer yükseklikleri tespit edilecektir. Bunun için, programda sehim eğrisi ve yer eğrisi modellenmesi aynı yapılmaktadır. Sehim

eğrisinin modellemesi için, Bölüm 4.3.1.1 de anlatıldığı gibi, menzil boyunca 50 metrelük eşit aralığa sahip 10 noktadaki iletkenlerin sehim eğrisinin yüksekliği, her bir nokta için proje üzerinden ölçulenerek tespit edilmiş ve programa veri olarak girilmiştir.

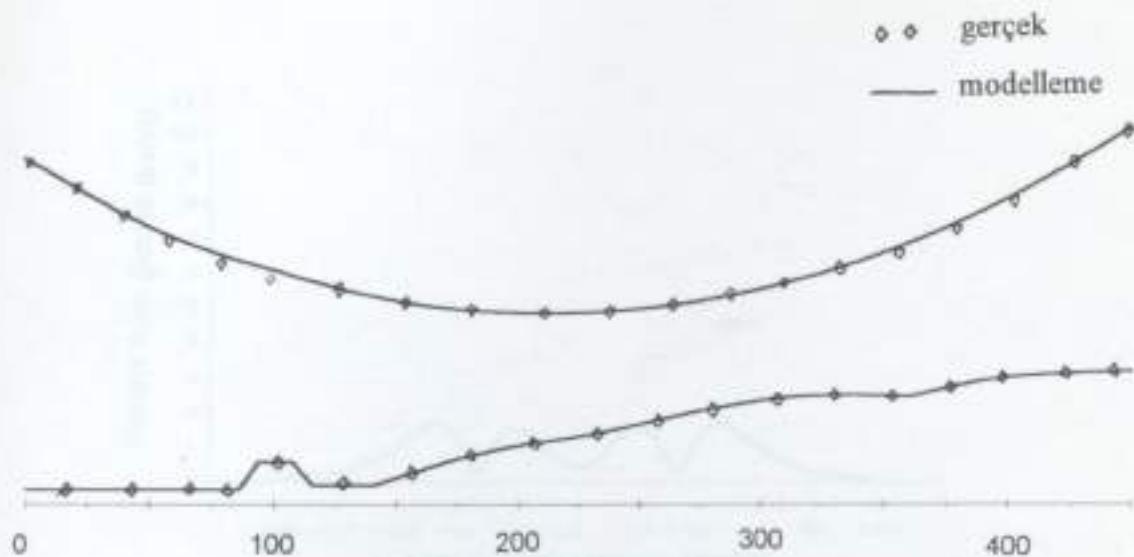
Yer eğrisinin modellenmesi için, Bölüm 4.3.1.2 de anlatıldığı gibi, menzil uzunluğu eğim yönünden aynı karakteristik özelliğe sahip bölgelere bölünür. Bu örnekte 8 bölge tespit edilmiştir. Her bölge üç ila dört nokta ile modellenerek ve bunlara karşılık gelen yer yükseklikleri proje üzerinden ölçulenerek tespit edilerek programa veri olarak girilmiştir. Program bütün bölgeler için aynı modelleme yaparak, her bölgenin uzunluğunun metre başına referansa olan yüksekliklerini hesaplar, sonra bütün bölgeler sırasıyla birleştirilerek 450 metrelük menzil boyunca metre başına toprak seviyesinin referansa olan yükseklikleri elde edilir. Sehim ve yer eğrilerinin modellenmesiyle elde edilen eğriler ile gerçek proje üzerinden alınan eğriler Şekil 6.27 de gösterilmiştir.

Bu işlemlerden sonra program, menzil uzunluğu boyunca 0 - 450 metre arasında x eksenini z eksenin üzerinde bir metre artımla kaydırır ve böylece alan hesaplanacak noktalar x eksenin üzerinde bulunur. 450 metre boyunca alan hesaplanacak noktalara, sehim eğrisi üzerindeki, iletkenlerin en yakın konumda bulunduğu koordinatlar üç boyutlu olarak tespit edilir.

Şekil 6.10.

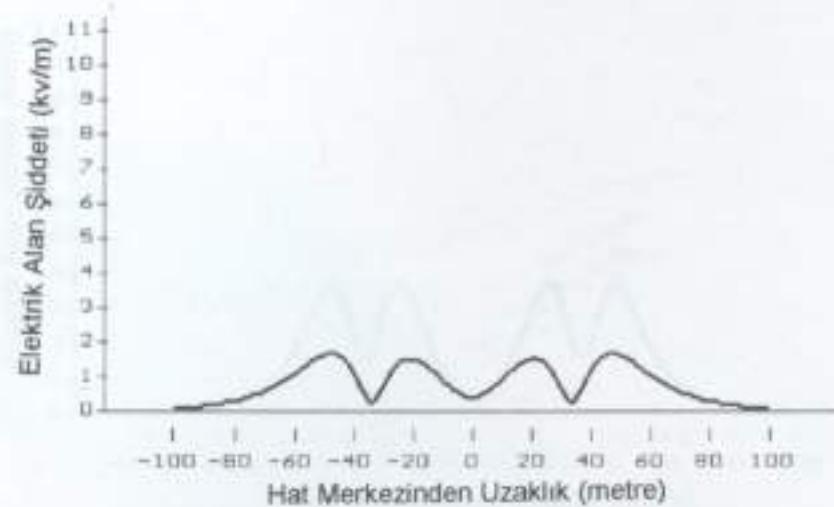
Üç boyutlu hesaplamalar için hatbaşı giriş verileri

X _q	Y _q	Z _q	V(kV)	θ _v	I(A)	θ _i
-41.60	36.00	0.00	220.40	119.87	1003.00	94.27
-34.00	36.00	0.00	220.40	-0.13	1003.00	-25.73
-26.40	36.00	0.00	220.20	239.87	1003.00	214.27
26.40	36.00	0.00	220.40	119.87	1003.00	94.27
34.00	36.00	0.00	220.40	-0.13	1003.00	-25.73
41.60	36.00	0.00	220.40	239.87	1003.00	214.27
-39.60	43.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-32.00	43.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
32.00	43.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
39.60	43.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

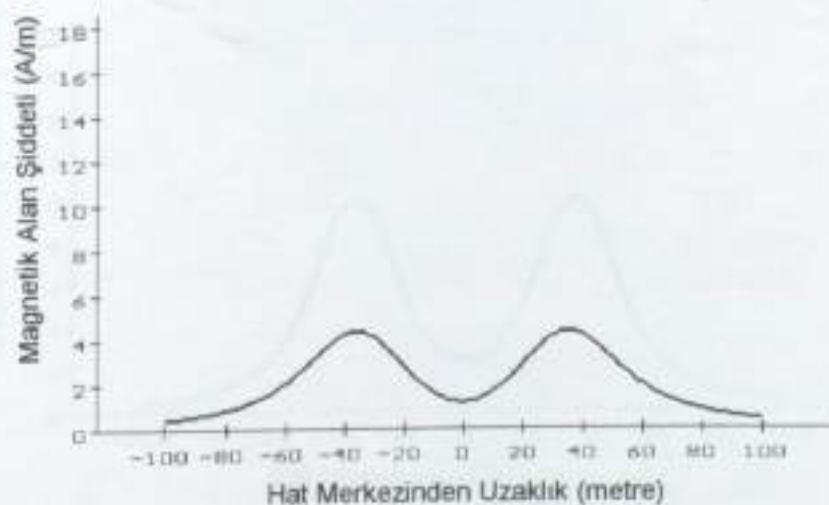


Şekil 6.27. Sehim ve yerin gerçek eğrileri ile modelleme sonucu elde edilen eğriler

450 metre menzil boyunca, 200 metre hat güzergah genişliğinde ve her bir metrede elektrik ve magnetik alan hesaplamaları, direklerin ekranlama etkileri eşitlik (4.34) ile göz önüne alınarak üç boyutlu olarak yapılr. Program, kullanıcıya menzil boyunca herhangi bir mesafede (örneğin, 100. metre ve 225. metre), 200 metre güzergah genişliğinde, yerden bir metre yükseklikte hesaplanan elektrik ve magnetik alan değerlerini iki boyutlu olarak ekranda görebilme imkanını Şekil 6.28 ve 6.29 'da görüldüğü gibi vermektedir. Tüm menzil boyunca yapılan üç boyutlu hesaplamalardan elde edilen sonuçlar bir grafik programı yardımıyla üç boyutlu olarak Şekil 6.30 ve 6.31 'de gösterildiği gibi elde edilmiştir. Şekil 6.30 ve 6.31 de verilen üç boyutlu elektrik ve magnetik alan eğrileri 50 metrelük bölümler halinde detaylı olarak EK 12 de verilmiştir.

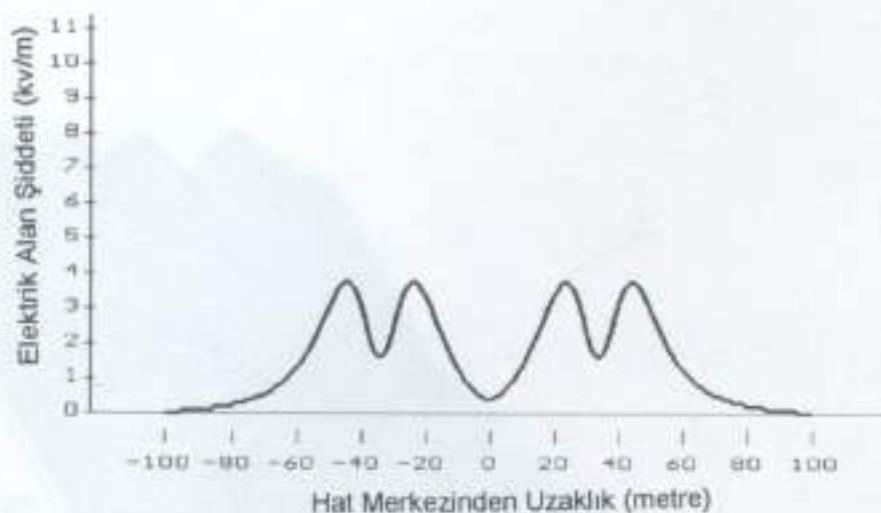


(a)

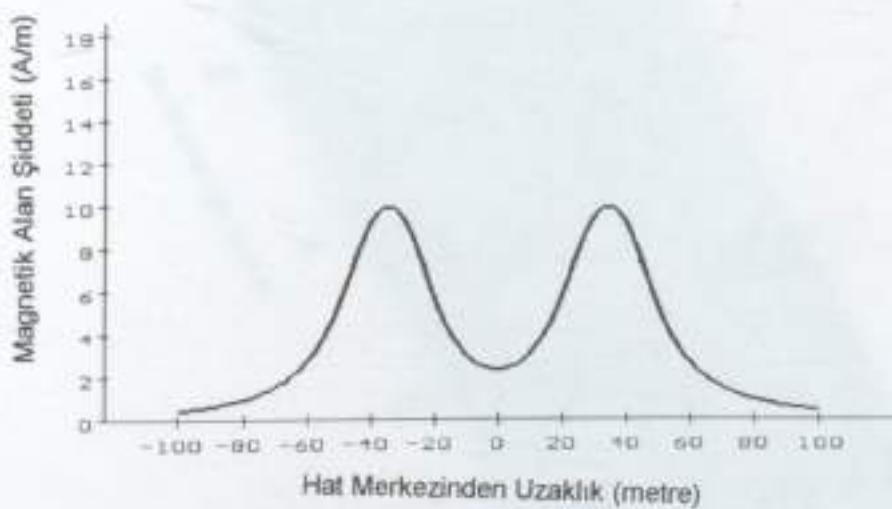


(b)

Şekil 6.28. Hattın 100. metresinde elektrik(a) ve magnetik(b) alanın mesafe ile değişimleri

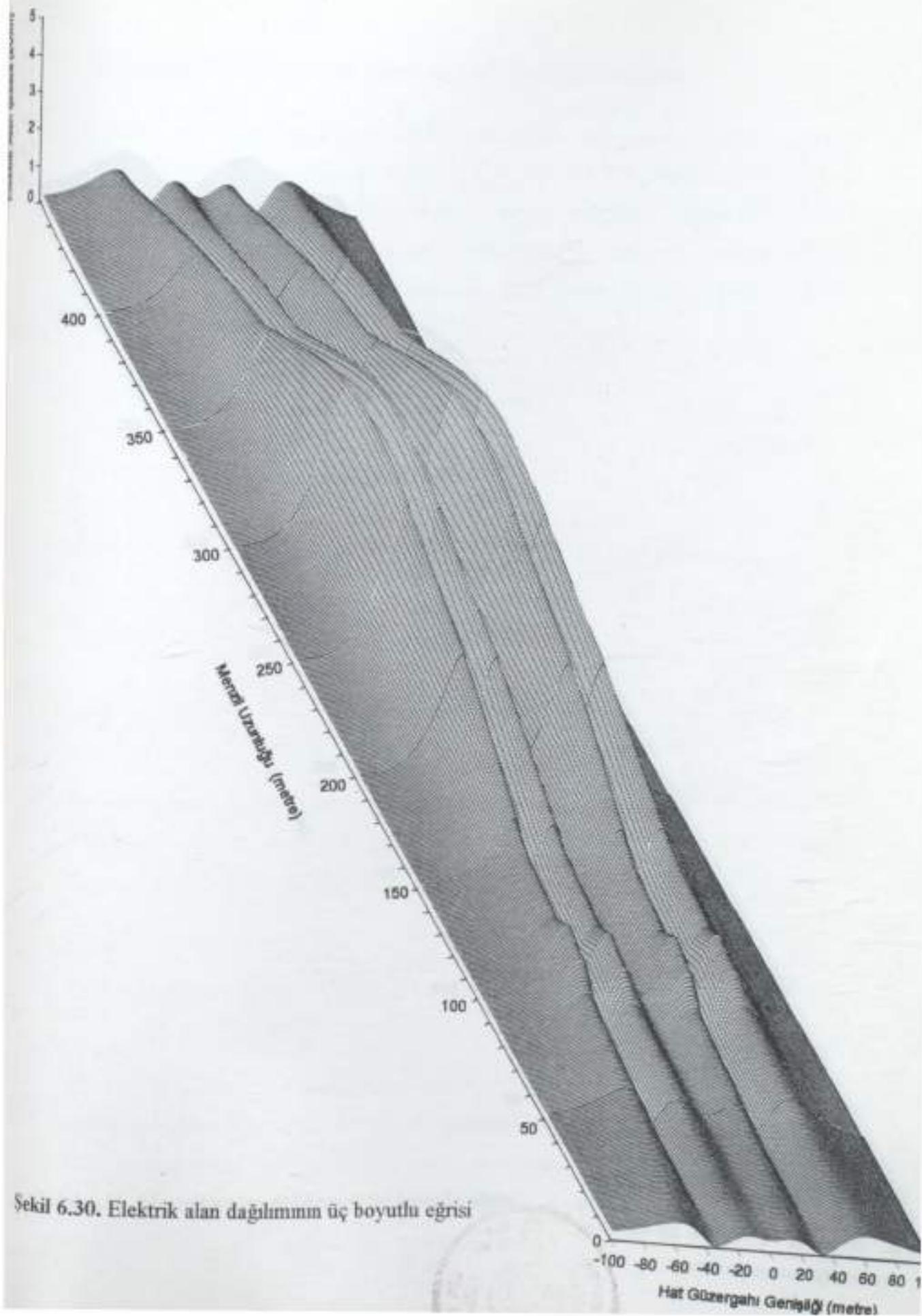


(a)

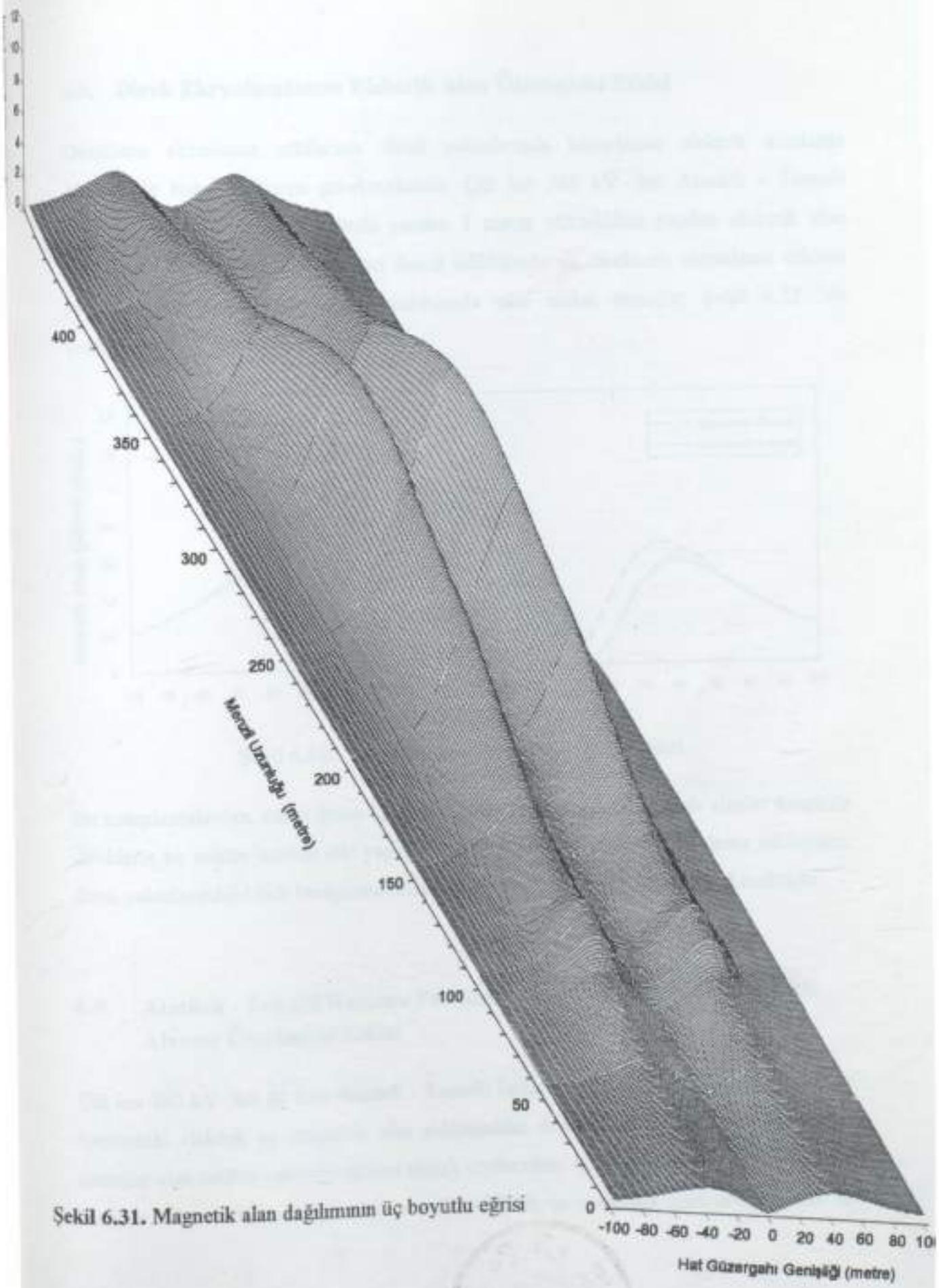


(b)

Şekil 6.29. Hattın 225. metresinde elektrik(a) ve magnetik(b) alanın mesafe ile değişimleri



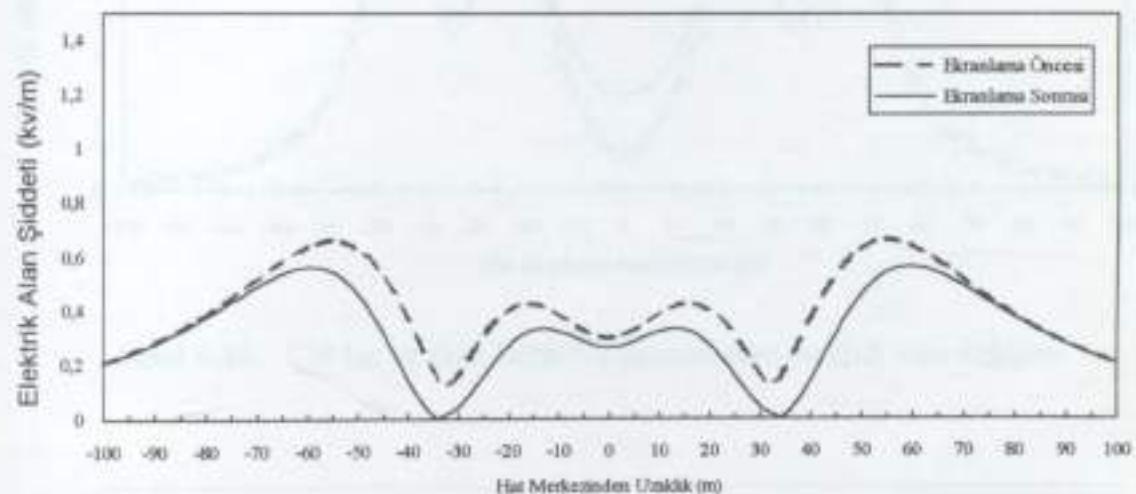
Şekil 6.30. Elektrik alan dağılımının üç boyutlu eğrisi



Şekil 6.31. Magnetik alan dağılımının üç boyutlu eğrisi

6.8. Direk Ekranlamasının Elektrik Alan Üzerindeki Etkisi

Direklerin ekranlama etkilerinin direk yakınlarda hesaplanan elektrik alanlarda gözönünde bulundurulması gerekmektedir. Çift hat 380 kV 'luk Atatürk - Temelli hattının 701 nolu direkleri altında yerden 1 metre yükseklikte yapılan elektrik alan hesaplamalarında direk ekranlaması ihmali edildiğinde ve direklerin ekranlama etkileri (4.34) eşitliği ile hesaplamalara katıldığında elde edilen sonuçlar Şekil 6.32 'de verilmiştir.



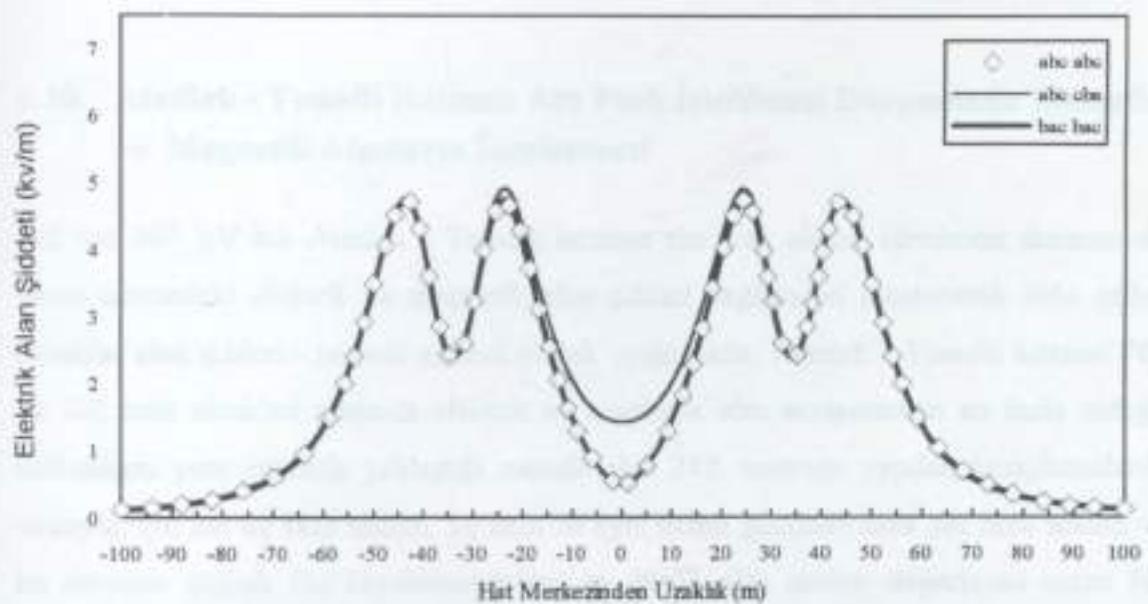
Şekil 6.32. 701 nolu direklerin ekranlama etkileri

Bu hesaplamalardan, enerji iletim hatlarının direk yakınlardaki elektrik alanlar üzerinde direklerin bir miktar azaltıcı etki yaptığı görülmektedir. Direklerin ekranlama etkilerinin, direk yakınlardaki alan hesaplamalarında gözönünde bulundurulması gerekmektedir.

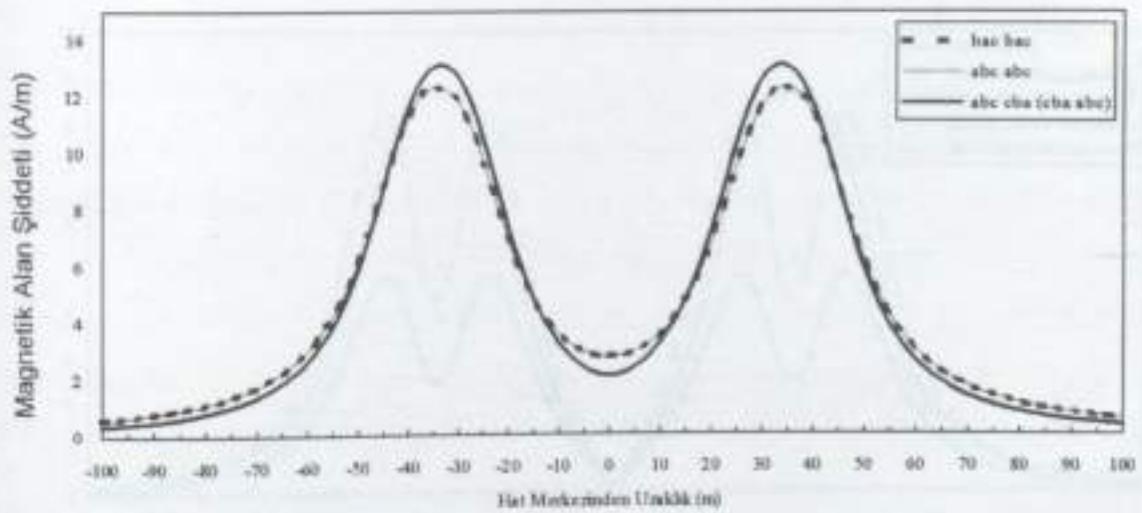
6.9. Atatürk - Temelli Hattının Faz Sıralamasının Elektrik ve Magnetik Alanlar Üzerindeki Etkisi

Çift hat 380 kV 'luk üç fazlı Atatürk - Temelli hattının değişik faz sıralamalarının çevre üzerindeki elektrik ve magnetik alan şiddetindeki değişimleri incelenerek elde edilen sonuçlar alan şiddeti - mesafe eğrileri olarak verilecektir. Hesaplamalar Atatürk - Temelli hattının 701 ve 702 nolu direkleri arasında elektrik ve magnetik alan seviyelerinin en

fazla olduğu iletkenlerin yere en fazla yaklaştığı mesafe olan 282. metrede yapılmıştır ve alan şiddetleri - mesafe eğrileri Şekil 6.33 ve 6.34 de verilmiştir.



Şekil 6.33. Çift hat üç fazlı hattın faz sırasına göre elektrik alan değişimi



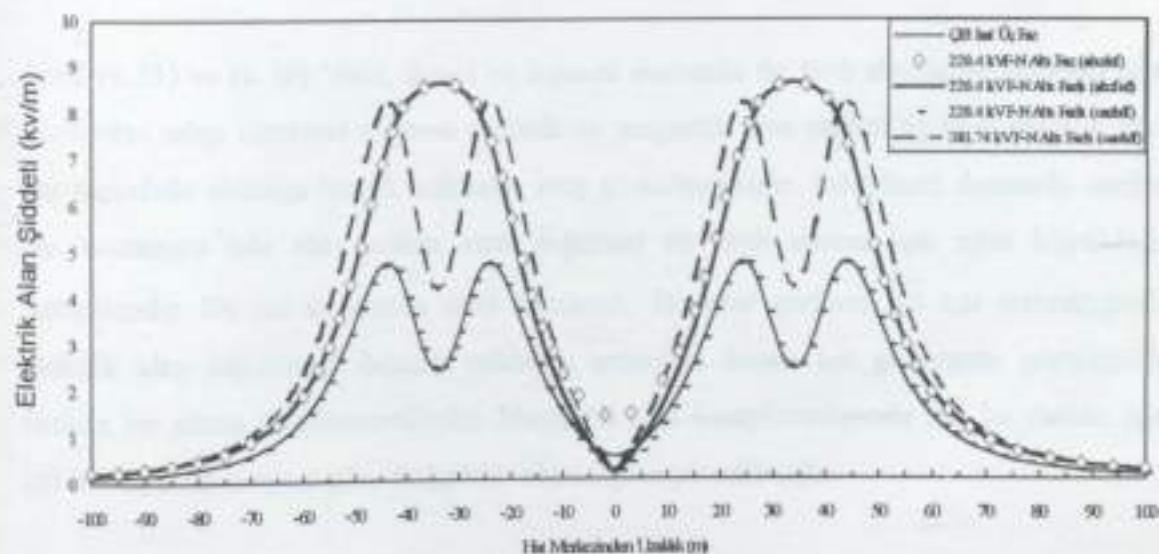
Şekil 6.34. Çift hat üç fazlı hattın faz sırasına göre magnetik alan değişimi

Çift hat üç fazlı sistemde, değişik faz sıralamaları için yapılan elektrik ve magnetik alan hesaplamalarından, ele alınan sistem için faz sıralamasının elektrik ve magnetik alan

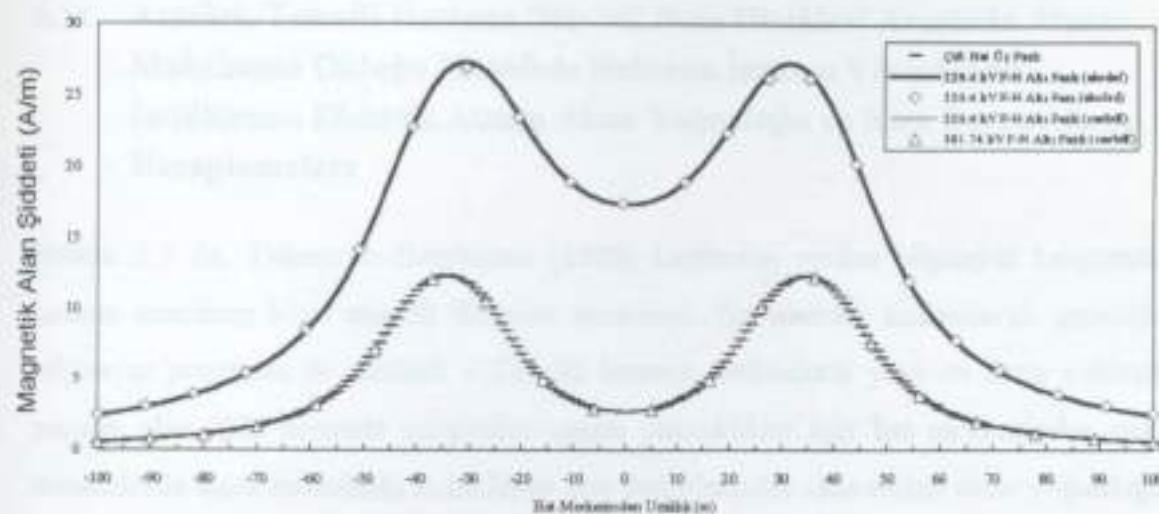
üzerinde fazlaca bir değişiklik yapmadığı, sadece hat merkezinde bir miktar artma olduğu görülmektedir.

6.10. Atatürk - Temelli Hattının Altı Fazlı İşletilmesi Durumunda Elektrik ve Magnetik Alanların İncelenmesi

Çift hat 380 'kV luk Atatürk - Temelli hattının altı fazlı olarak işletilmesi durumunda çevre üzerindeki elektrik ve magnetik alan şiddeti değişimleri incelenerek elde edilen sonuçlar alan şiddeti - mesafe eğrileri olarak verilecektir. Atatürk - Temelli hattının 701 ve 702 nohu direkleri arasında elektrik ve magnetik alan seviyelerinin en fazla olduğu iletkenlerin yere en fazla yaklaştığı mesafe olan 282. metrede yapılan hesaplamalarda sırasıyla; çift hat üç fazlı sistem, üç fazlı ile aynı iletim gücünde olan altı fazlı sistem ve bu sistemin değişik faz kombinasyonları, en düşük alan şiddeti değerlerini veren faz sıralaması sabit kalarak iletim gücü $\sqrt{3}$ kat artırıldığında (faz gerilimi $\sqrt{3}$ kat artırılır) alan şiddetleri - mesafe eğrileri Şekil 6.35 ve 6.36 da görülmektedir.



Şekil 6.35. Üç fazlı hattın altı fazlı işletilmesinde elektrik alan değişimi



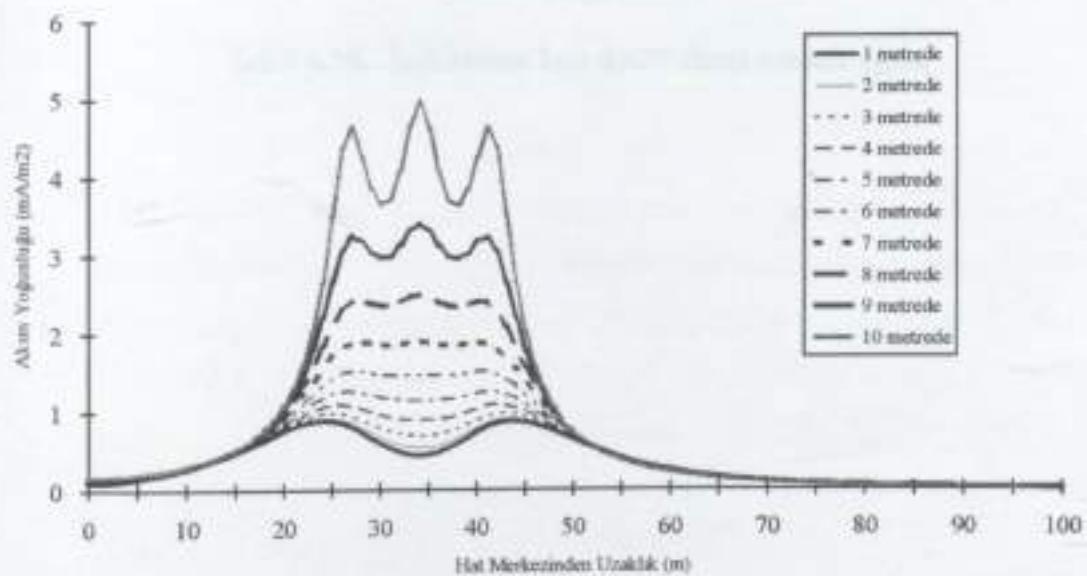
Şekil 6.36. Üç fazlı hattın altı fazlı işletilmesinde magnetik alan değişimi

Çift hat üç fazlı sistemin aynı faz nötr gerilimi ile altı fazlı çalıştırılması durumunda, değişik faz sıralamaları için yapılan hesaplamalardan elde edilen eğrilerden görüldüğü gibi, altı fazlı sistemde faz sıralamasının elektrik ve magnetik alanlar üzerinde önemli miktarda değişikliğe sebeb olduğu görülmektedir.

Şekil (6.35) ve (6.36) 'daki, ikinci ve üçüncü durumda üç fazlı sistem ile aynı faz nötr gerilimine sahip olmasına rağmen elektrik ve magnetik alan şiddeti üç fazlı sisteme göre her mesafede oldukça büyük miktarda artış göstermektedir. Dördüncü durumda verilen faz sıralaması için elde edilen alan değerleri üç fazlı sistem için aynı büyüklüğü vermektedir. Bu faz sıralaması sabit tutularak, faz nötr gerilimi $\sqrt{3}$ kat arttırlımda elektrik alan büyüklüğü önemli miktarda artmakta ancak hat güzergahı genişliğinde fazlaca bir artma görülmemektedir. Magnetik alan hesaplamalarında ise, bu durum için çift hat üç fazlı sisteme göre değişiklik olmadığı tespit edilmiştir.

6.11. Atatürk-Temelli Hattının 701-702 Nolu Direkleri Arasında Alanın Maksimum Olduğu Mesafede Bulunan İnsanın Vücutunda İndüklenen Elektrik Alanın Akım Yoğunluğu ve Kısa Devre Akımı Hesaplamaları

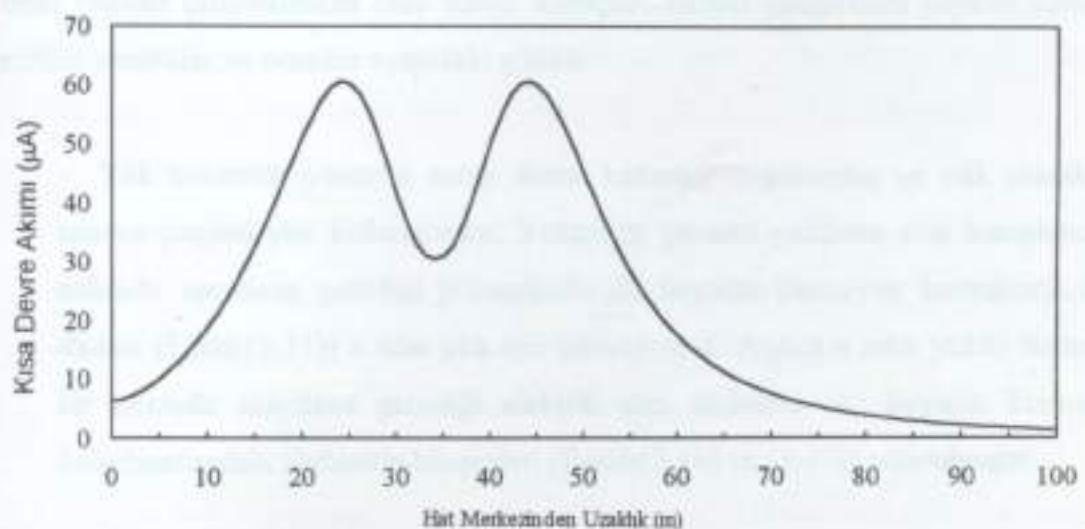
Bölüm 3.3 de, Takemoto-Hambleton (1988) tarafından verilen bilgisayar karşısındaki insanın uzatılmış küre modeli ifadeleri verilmiştir. Bu ifadeler kullanılarak geliştirilen bilgisayar programı ile Atatürk - Temelli hattının iletkenlerin yere en fazla yaklaşığı mesafe olan 282. metrede ve yerden çeşitli yükseklikler için hat merkezinden çeşitli mesafelerde insan modelinde indüklenen alan değerlerinden elde edilen akım yoğunluğu - mesafe eğrileri Şekil 6.37 de verilmiştir.



Şekil 6.37. İndüklenen akım yoğunluğu mesafe eğrisi

Benzer şekilde, ortamda elektrik alan değerinden dolayı insan içindeki indüklenen kısa devre akımı ifadesi, Bölüm 3.3 'de eşitlik (3.46) ile verilmiştir. Bu ifade de frekans 50 Hz, örnek insan ağırlığı 70000 gr almıştır. Ömek olarak yine, Atatürk-Temelli hattının 701-702 nolu direkler arasında iletkenlerin yere en fazla yaklaşığı mesafe olan 282. metrede ve yerden bir metre yükseklik için hat merkezinden çeşitli mesafelerde

bulunan insan modelinde indüklenen kısa devre akımı değerinden elde edilen akım - mesafe eğrisi Şekil 6.38 de verilmiştir.



Sekil 6.38. İndüklenen kısa devre akımı mesafe eğrisi

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tezde yapılan çalışmalarдан elde edilen sonuçlar, önceki çalışmalarla yapılan katkılar, getirilen yenilikler ve öneriler aşağıdaki gibidir.

- Yük benzetim yöntemi enerji iletim hatlarına uygulanmış ve yük olarak da sonsuz çizgisel yük kullanılmıştır. Yükün ve görüntü yükünün alan hesaplanacak noktada meydana getirdiği potansiyelin iki boyutlu kartezyen koordinatlardaki ifadesi (Eşitlik(3.11)) n adet yük için çıkartılmıştır. Ayrıca n adet yükün herhangi bir noktada meydana getirdiği elektrik alan ifadesinin iki boyutlu kartezyen koordinatlardaki ifadesinin bileşenleri (Eşitlik(3.16) ve (3.17)) çıkartılmıştır.
- Enerji iletim hatlarında magnetik alan hesabında genel hal için ifadeler (Eşitlik (3.25) ve (3.27)) verilmiştir.
- İnsanın bulunduğu ortamda elektrik ve magnetik alanlardan dolayı insan vücutunda induklenen elektrik alanının hesaplanması için, insan gövdesi uzatılmış küre modeli ile tariflenerek induklenen elektrik alan ifadeleri (Eşitlik(3.32)-(3.43)) verilmiştir. Ayrıca, kas dokusu olarak kabul edilen insan vücutundaki induklenen elektrik alandan dolayı meydana gelen akım yoğunluğu ifadesi(Eşitlik(3.45) ile ortamda elektrik alandan dolayı induklenen kısa devre akımı ifadesi(Eşitlik(3.46) verilmiştir.
- Üç boyutlu ortamda enerji iletim hatlarının elektrik alan hesaplamaları için; Yük Benzetim Yöntemi kullanılarak, üç boyutlu kartezyen koordinatlarda potansiyel ifadesi (Eşitlik(4.2)) ve elektrik alan şiddetinin bileşenlerinin ifadesi (Eşitlik(4.4)) ilk kez çıkartılmıştır.
- Üç boyutlu ortamda enerji iletim hatlarının magnetik alan hesaplamaları için; üç boyutlu kartezyen koordinatlarda magnetik alan ifadesi ilk kez çıkartılmıştır.

- İletkenlerin her mesafede yere olan yüksekliğini belirleyen sehim eğrisi, ilk kez olarak Kübik Spline Algoritması ile modellenmiştir.
- Hattın altında bulunan yer yüzeyinin her mesafede yüksekliğinin tespiti için yer yüzeyi şekli ilk kez Kübik Spline Algoritması kullanılarak modellenmiştir.
- Hesaplamaların üç boyutlu yapılmasıyla, Deno ve Silva (1987) tarafından verilen arazinin düz olması kabulu ile, direk yakınlardaki iki boyutlu elektrik ve magnetik alan hesaplamalarında kullanılacak eşdeğer iletken yüksekliğini veren ifade(Eşitlik(4.19)) ile meydana gelen hata oranı ortadan kaldırılmış olmaktadır.
- Direklerin ekranlama etkisinin ifadesi, Deno ve Silva (1987) tarafından bir direk için verilmiştir. Bu ifade, çift hathlı sistemde iki direğin yan yana bulunması durumu için (Eşitlik(4.34)) geliştirilmiştir.
- Elektrik ve magnetik alanların bryolojik etkileri ve epidemiyolojik çalışmaları ile ilgili araştırma sonuçları incelenmiştir. Çeşitli ülkelerde kullanılan standartlar değerlendirilerek, bu ülkelerdeki yerleşim merkezleri, hat güzergahı genişliği (ROW), ROW sınırı, yol geçisi ve mesleki maruziyet için kullanılan standart değerlerin topluca gösterildiği bir grafik (Şekil 5.4) elde edilmiştir. Bu standart değerlerden yaygın olarak kullanılan; yerleşim merkezleri için 1 kV/m, hat güzergahı sınır için 2 kV/m ve hat güzergahı içinde maksimum 8 kV/m değerleri Türkiye 'deki iletişim hatlarının elektrik alan hesaplamalarının değerlendirilmesi için baz olarak kullanılacaktır.
- Elde edilen ifadeler ve geliştirilen yöntemler yardımcı ile yazılan ve EK1 de verilen bilgisayar programıyla; iki ve üç boyutlu ortamda, her türlü yeryüzeyi şekillerinde, direk ekranlama etkisinin gözönünde bulundurulduğu, tek ve çift enerji iletişim hatlarında elektrik ve magnetik alan hesaplamaları yapılmaktadır.

- Uluslararası literatürden alınan ölçüm değerleri bulunan, üç fazlı 525 kV gerilimli fazları aynı ve farklı yükseklikte bulunan hatlara ve 765 kV gerilimli hatta yukarıda sözü edilen geliştirilen bilgisayar programı uygulanmış, ölçüm değerleri ve hesaplama sonuçlarının uygunluğu (Şekil 6.2 - 6.9) tespit edilmiştir.
- 289 kV gerilimli altı fazlı ve 462 kV oniki fazlı hatlarda elektrik ve magnetik alan hesabı iki boyutlu olarak yapılmıştır. Elde edilen değerlerden alan şiddet-mesafe eğrileri (Şekil 6.11 ve 6.12 ; Şekil 6.15 ve 6.16) olarak elde edilmiştir.
- Elektrik ve magnetik alan hesaplamalarının Türkiye' deki hatlara uygulanması için 66, 154 ve 380 kV 'luk hatlar seçilmiştir. Bilgisayar programının bu hatlara uygulanması ile alan şiddet-mesafe eğrileri (Şekil 6.17 ve 6.18 ; Şekil 6.19 ve 6.20 ; Şekil 6.22 ve 6.23) elde edilmiştir. Hesaplamalardan elde edilen sonuçlar; 66 kV 'luk hat için alan değerlerinin yerleşim merkezleri için uluslararası standart değerinin altında olduğu, 154 kV 'luk hat için hat merkezinden 8 metre mesafeden sonra alan şiddetinin yerleşim merkezleri için standart değerinin altında olduğu, 380 kV 'luk hat için hat merkezinden 30 metre mesafeden sonra alan şiddetinin yerleşim merkezleri için belirlenen standart değerinin altında olduğu sonucu elde edilmiştir.
- Çift devre 154 kV 'luk üç fazlı bir sistemin (Şekil 6.16) altı fazlı olarak işletilmesi durumunda meydana gelen elektrik ve magnetik alanların, üç fazlı sistemlerinki ile karşılaştırılması (Şekil 6.24 ve 6.25) yapılmıştır. İlk olarak, üç fazlı sistemdeki faz-nört gerilimi sabit kalarak aynı gücün iletilmesi için sistemin altı fazlı işletilmesi durumunda elektrik ve magnetik alan değişimi incelenmiştir. Alan değerlerinde artma olduğu bu durumda hat merkezinden 14 metre mesafeden sonra alan şiddetinin yerleşim merkezleri için belirlenen uluslararası standart değerinin altında olduğu gözlenmiştir. Daha sonra sistem, iletilen gücü $\sqrt{3}$ kat artırmak için 154 kV faz-nötr gerilimi ile çalıştırılarak elektrik ve magnetik alan değişimi incelenmiştir. Bu durumda hat merkezinden 20 metre mesafeden sonra

alan şiddetinin yerleşim merkezleri için belirlenen standart değerinin altında olduğu gözlenmiştir. Gerilim ve akımın genliği sabit kaldığı halde, faz sayısının artması ile orantılı olarak azalan gerilim ve akımın faz-faz açılarının, elektrik ve magnetik alan üzerinde artırmacı etkisinin olduğu sonucu elde edilmiştir.

- Atatürk - Temelli çift hat üç fazlı enerji iletim sisteminin 701 ve 702 nolu direkler arasında 450 metrelük menzil boyunca 200 metrelük hat güzergahı genişliğinde bir alan içerisindeki elektrik ve magnetik alan dağılımı üç boyutlu olarak ilk kez hesaplanmış ve çizdirilmiştir (Şekil 6.30 ve 6.31).
- Çift hat üç fazlı bir sistemde direklerin elektrik alan üzerindeki ekranlama etkisini belirlemek için, ekranlama öncesi ve sonrası elektrik alan hesaplamaları ilk kez yapılarak, sonuç eğrilerle ifade edilmiştir (Şekil 6.32).
- Atatürk - Temelli arasındaki çift hat üç fazlı enerji iletim sisteminin 701 ve 702 nolu direkler arasında iletkenlerin toprağa en yakın olduğu durum için, faz sıralamasının çeşitli konfigürasyonlarında elektrik ve magnetik alan değişimi ilk kez incelenmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen elektrik ve magnetik alan değişimleri verilmiştir (Şekil 6.33 ve 6.34).
- Atatürk - Temelli arasındaki çift hat üç fazlı enerji iletim sisteminin 701 ve 702 nolu direkler arasında iletkenlerin toprağa en yakın olduğu yerde, hattın altı fazlı işletilmesi durumunda elektrik ve magnetik alan değişimleri, çeşitli faz konfigürasyonları için incelenmiştir. Önce, üç fazlı sistem ile aynı faz-nötr geriliminde, üç değişik faz konfigürasyonları için alan hesaplamaları yapılmıştır. Bu hesaplamalardan elde edilen, en düşük alan değerini veren faz konfigürasyonu için faz nötr gerilimi $\sqrt{3}$ kat arttırdığında meydana gelen elektrik ve magnetik alan değişimini, çift hat üç fazlı sistemin alan değişimleri ile grafik üzerinde karşılaştırmalı olarak elde edilmiştir (Şekil 6.35 ve 6.36). Bu eğrilerden, iletim gücünü $\sqrt{3}$ kat artıracak altı fazlı çalışma ve en uygun faz konfigürasyonu durumunda faz açısına

ve faz sıralaması bağlı olarak alan değerlerinin çift hat üç fazlı sisteme göre yaklaşık % 80 fazla olduğu görülmektedir. Ancak bütün sistemlerde hat merkezine 65 ile 70 metre mesafeden sonra alan değerleri, yerleşim merkezleri için öngörülen standartların altına inmektedir. Hattı altı fazlı işletmenin, 140 metrelük hat güzergahı genişliğinde çeşitli aktiviteler (tarım, hayvancılık, konaklama, v.b.) sınırlandırıldığı takdirde elektrik ve magnetik alanlar yönünden uygulanabilir olduğu ve hat güzergahı genişliğini önemli derecede artturmadığı tespit edilmiştir.

- Atatürk - Temelli arasındaki çift hat üç fazlı enerji iletim sisteminin 701 ve 702 nolu direkler arasında iletkenlerin toprağa en yakın olduğu durum için, meydana gelen elektrik ve magnetik alanlardan dolayı insanın uzatılmış küre modeli kullanılarak induklenen elektrik alan değerlerinden elde edilen akım yoğunlukları hat merkezine çeşitli mesafeler ve çeşitli yükseklikler için hesaplanmıştır. Bu hesaplamaların sonuçlarından elde edilen eğriler çizdirilmiştir (Şekil 6.37). Ortamda alanlardan dolayı insan vücudu içinde induklenen kısa devre akımları da hat merkezine çeşitli mesafeler için hesaplanmış ve sonuçlar akım-mesafe eğrisi olarak verilmiştir (Şekil 6.38).
- Yapılan hesaplamalar sonucunda Türkiye 'de kullanılan çeşitli gerilim seviyeleri için elektrik alan değerleri Tablo 7.1 de verilmiştir.

Tablo 7.1
Türkiye 'deki gerilimler için hesaplanan maksimum
elektrik alan şiddetleri

Gerilim(kV)	Elektrik alan şiddeti (kV/m)
66	1
154	2
380	5

Tablo 7.1 'den, Türkiye 'de kullanılan bütün gerilim seviyelerinden dolayı hat güzergahı içinde meydana gelen elektrik alan şiddeti değerlerinin, hat güzergahı

için belirlenen maksimum 8 kV/m 'lik sınır değerinin altında olduğu görülmektedir. Türkiye 'deki gerilim seviyesinin ancak 675 kV 'un üzerinde olması halinde, elektrik alan şiddetinin maksimum değerinin 8 kV/m 'ye yükseleceği tespit edilmiştir.

Türkiye 'de bugün itibarıyle elektrik ve magnetik alanlar konusunda herhangi bir standart bulunmamaktadır. Dünyanın bir çok ülkesinde kullanılan standartlardan uygun olan değerler alınarak enerji iletim hatları için standart oluşturulabilir ve bu şekilde hatlara güvenli yaklaşım mesafeleri için sınır değerler tespit edilebilir. 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 elektrik ve magnetik alan hesabı son derece önem kazanmaktadır.

KAYNAKLAR

1. **Abdel-Salam, M.**, 1990. "Electric Fields" in "High Voltage Engineering Theory and Practice", M.Khalifa, Ed.NewYork: Marsel Dekker, ch.2
2. **Abdel-Salam, M., and El-Mohandes, M.T.**, 1989. "Combined Method Based on Finite Differences and Charge Simulation for Calculating Electric Fields", IEEE, IA, Vol.25, pp.1060-1066
3. **Abdel-Salam, M., El-Mohandes, M.T., and El-Kishky, H.**, 1990. "Electric Field around Parallel dc and Multi-phase ac Transmission Lines", IEEE, EI, Vol.25, pp.1145-1152
4. **Abou-Seada, M.S. and Nasser, E.**, 1968. "Digital Computer Calculation of the Potential and Field of a Rod Gap", Proc IEE, Vol. 56, pp.813-820
5. **Abou-Seada, M.S. and Nasser, E.**, 1969. "Digital Computer Calculation of the Potential and its Gradient of a Twin Cylindrical Conductor", IEEE, PAS, Vol.88, pp.1802-1812
6. **Atoian, G.E.**, 1978. "Are There Biological and Psychological Effects Due to Extra High Voltage Installations?", IEEE, PAS, Vol.97, pp.8-15
7. **Barnes, F.S.**, 1990. "The Effects of Time Varying Magnetic Fields on Biological Materials", IEEE, Trans. on Magnetics, Vol.26, pp.2092-2097
8. **Beasley, M.D.R., et al.**, 1979. "Comparative Study of Three Methods for Computing Electric Fields", Proc IEE, Vol.126 pp.126-134
9. **Bracken, T.D.**, 1976. "Field Measurements and Calculations of Electrostatic Effects of Overhead Transmission Lines", IEEE, PAS, Vol.95, pp.494-504
10. **Bridges, J.E., and Preache, M.**, 1981. "Biological Influences of Power Frequency Electric Fields - A Tutorial Review from a Physical and Experimental Viewpoint", Proc. IEEE, Vol.69, pp.1092-1120
11. **Burden, R.L., and Faires, J.D.**, 1985. "Numerical Analysis", Pws Publishers
12. **Caola, R.J., Deno, D.W., Dymek, V.S.W.**, 1983. "Measurements of Electric and Magnetic Fields in And Around Homes Near a 500 kV Transmission Line", IEEE, PAS, Vol.102, pp.3338-3345
13. **Caola, R.J., and LaForest, J.J.**, 1981. "Electric Field Control in the Vicinity of EHV Transmission Lines", IEEE, PAS, Vol.100, pp.2017-2025
14. **Carstensen, E.L.**, 1987. "Biological Effects of Transmission Line Fields", Elsevier

15. Chiba, A., Isaka, K., Yokoi, Y., Nagata, M., Kitagawa, M., and Matsuo, T., 1984. "Application of Finite Element method to Analysis of Induced Current Densities Inside Human Model Exposed to 60 Hz Electric Fields", IEEE, PAS, Vol.103, pp.1895-1902
16. Çakır, H., 1989. "Enerji İletimi - Elektrik Hesaplar", İstanbul
17. Daily, W.K., and Dawalibi, F., 1994. "Measurements and Computations Electromagnetic Fields in Electric Power Substations", IEEE, Trans. Power Delivery, Vol.9, pp.324-333
18. De Bor, C., 1978. "A Practical Guide to Splines ", Springer-Verlag, New York
19. Deno, D.W., 1974. "Calculating Electrostatic Effects of Overhead Transmission Lines", IEEE, PAS, Vol.93, pp.1458-1471
20. Deno, D.W., 1975. "Electrostatic Effect Induction Formulae ", IEEE, PAS, Vol.94, pp.1524-1536
21. Deno, D.W., 1976. "Transmission Line Fields", IEEE,PAS,Vol.95,pp.1600-1611
22. Deno, D.W., 1977. "Currents Induced in The Human Body by High Voltage Transmission Line Electric Field - Measurement and Calculation of Distribution and Dose", IEEE, PAS, Vol. 96, pp.1517-1527
23. Deno, D.W., and Silva, J.M., 1987. "Transmission Line Electric Field Shielding By Objects", IEEE, Trans. on Power Delivery, Vol. PWRD2, pp.269-279
24. Durney, C.H., Johnson, C.C., and Massoudi, H., 1975. "Long-Wavelength Analysis of Plane Wave Irradiation of a Prolate Spheroid Model of Man", IEEE, Trans. Microwave Theory Tech.,Vol.MTT-23,pp.246-253
25. EPRI, 1987. "Transmission Line Reference Book - 345 kV and Above", Electric Power Research Institute, California
26. Ergeneli A., 1986. "Elektromagnetik Alan Teorisi", Yıldız Üniversitesi Yayınları
27. Franceschetti, G., Gandhi, O.P., and Grandolfo M., 1989. "Electromagnetic Biointeraction", Plenum Press
28. Gandhi, O.P., 1990. "Biological Effects and Medical Applications of Electromagnetic Energy ", Prentice Hall, ch. 9, 17
29. Gauger, J.R., 1985. "Household Appliance Magnetic Field Survey", IEEE, PAS,Vol.104,pp.2436-2444
30. Grand, I.S., and Stewart, J.R., 1984. "Mechanical and Electrical Characteristics of EHV High Phase Order Overhead Transmission", IEEE, PAS,Vol.103,pp.3380-3385

31. Guyker, W.C., and Shankle, D.F., 1985. "138 kV Six-Phase Upgrading of a 138 kV Double-Circuit Line", IEEE, PAS, Vol.104, pp.2547-2554
32. IEEE, 1972. "Electrostatic Effects of Overhead Transmission Lines: Part I - Hazards and Effects", Working Group on Electrostatic Effects of Transmission Lines, PAS, Vol.91, pp.422-426
33. IEEE, 1972. "Electrostatic Effects of Overhead Transmission Lines: Part II - Methods of Calculation", Working Group on Electrostatic Effects of Transmission Lines, PAS, Vol.91, pp.426-431
34. IEEE, 1991. "An Evaluation of Instrumentation Used to Measure AC Power System Magnetic Fields", AC Fields Working Group of the Corona and Field Effects, PD, Vol.6, pp.373-383
35. Iravani, M.R., and Raghubeer, M.R., 1982. "Accurate Field Solution in the Entire Interelectrode Space of a Rod-Plane Gap Using Optimized Charge Simulation", IEEE, EI, Vol.17, pp.333-337
36. Jin-Yuan Chen and Om P. Gandhi, 1991. "Currents Induced in an Anatomically Based Model of a Human for Exposure to Vertically Polarized Electromagnetic Pulses", IEEE, Trans. on Microwave Theo. Tech. Vol.39, pp.31-39
37. Kato, S., 1979. "An Estimation Method for the Electric Field Error of a Charge Simulation Method", Third Int. Sym. on HV. Eng., Milan, p.11.09
38. Kavet, R., 1982. "Biological Effects of Electric Fields: EPRI's Role", IEEE, PAS, Vol.101, pp.2115-2121
39. Kuffel,E., and Zaengl,W.S., 1984. "High Voltage Engineering", New York Pergamon
40. Kusic, G.L., 1986. "Computer - Aided Power Systems Analysis", Prentice Hall
41. Lewin, P.L., Hoburg, J.F., and Cendes, Z.J., 1987. "Charge Simulation and Interactive Computer Graphics in a First Course in Applied Electromagnetics", IEEE, Trans. Educ., Vol.E-30, pp.5-8
42. Malik, N.H., 1989. "A Review of the Charge Simulation Method and its Applications", IEEE, EI, Vol.24, pp.3-20
43. Marino, A.A., 1988. "Modern Bioelectricity", Marcel Dekker, Inc.
44. Massoudi, H., Durney, C.H., and Johnson, C.C., 1977. "Long-Wavelength Analysis of Plane Wave Irradiation of an Ellipsoidal Model of Man", IEEE, Trans. Microwave Theory Tech., Vol.MTT-25, pp.41-46
45. Morgan, M.G., Florig, H.K., Nair, L., and Lincoln, D., 1985. "Power Line Fields and Human Health", IEEE Spectrum, Feb., pp. 62-68

46. Obuto, H., Amemiya, T., and Honda, M., 1979. "Borda's Profile and Electric Field Optimization by Using Charge Simulation Method", Third Int. Sym.on HV. Eng., Milan, p.11.16
47. Okubo, H., and Kito, Y., 1991. "Three Dimensional Electric Field Analysis Using Segment Arrangement Based on Charge Simulation Method", ETEP, Vol.1, pp.123-129
48. Okubo, H., Ikeda, M., Honda, M., and Yanari, T., 1982. "Electric Field Analysis By Combination Method", IEEE, PAS, Vol.101, pp.4039-4046
49. Onogi, Y., Isaka, K., Chiba, A., and Okumoto, Y., 1983. "A Method of Suppressing Fault Currents and Improving The Ground Level Electric Field in a Novel Six-Phase Power Transmission System", IEEE, PAS, Vol.102,pp.870-880
50. OTA, 1989. "Biological Effects of Power Frequency Electric and Magnetic Fields", Congress of The United States Office of Technology Assessment
51. Poli, E., 1992. "The Use of Image Charges in the Charge Simulation Method: a Parallel-Plane Dielectric Plate Covering a Conductor", IEEE, TM, Vol.28, pp.1076-1079
52. REA, 1976. "Electrostatic and Electromagnetic Effects of Overhead Transmission Lines", Rural Electrification Administration Bulletin, May,
53. Reilly, J.P., 1979. "Electric Field Induction on Long Objects - A Methodology For Transmission Line Impact Studies", IEEE, PAS, Vol.98, pp.1841-1852
54. Sato, S., Menju, S., Aoyagi, K., and Honda, M., 1979. "Electric Field Calculation in 2 Dimensional Multible Dielectric by the Use of Elliptic Cylinder Charge ", Third Int. Sym.on HV. Eng., Milan, p.11.03
55. Sato, S., Menju, S., Sakakibara, T., Aoyagi, K., and Honda, M., 1979. "Electric Field Calculation by Charge Simulation Method Using Axi-Spheroidal Charge", Third Int. Sym.on HV. Eng., Milan,p.11.07
56. Shiau, Y., and Valentino, A.R., 1981. "ELF Electric Field Coupling to Dielectric Spheroidal Models of Biological Objects", IEEE, Trans. on Biomed. Eng., Vol.BME28,pp.429-437
57. Singer, H., Steinbigler, H., and Weiss, P., 1974. "A Charge Simulation Method for the Calculation of High Voltage Fields", IEEE, PAS, Vol.93, pp.1660-1668
58. Spectrum, 1990. "Electromagnetic Fields: the jury's still out", IEEE Spectrum, Aug, pp.22-35
59. Spectrum, 1994."Today's view of magnetic fields",IEEE Spectrum,Dec,pp.22-35

60. Spiegel, R.J., 1976. "Electromagnetic Fields in The Near Vicinity of Transmission Line Tower", IEEE, PAS, Vol.95, pp.1863-1871
61. Spiegel, R.J., 1976. "ELF Coupling to Spherical Models of Man and Animals", IEEE, Trans. on Biomed. Eng., Vol. BME23, pp.387-391
62. Spiegel, R.J., 1977. "High - Voltage Electric Field Coupling to Humans Using Moment Method Techniques", IEEE, Trans. on Biomed. Eng., Vol. BME 24, pp.466-472
63. Spiegel, R.J., 1977. "Magnetic Coupling to a Prolate Spheroid Model of Man", IEEE, PAS, Vol.96, pp.208-212
64. Spiegel, R.J., 1981. "Numerical Determination of Induced Currents in Humans and Baboons Exposed to 60 Hz Electric Fields", IEEE, Trans. on Electromag. Comp., Vol. EMC23, pp.382-390
65. Steinbigler, H., 1979. "Combined Application of Finite Element Method and Charge Simulation Method for the Computation of Electric Fields", Third Int. Sym. on HV. Eng. Milan, p.11.11
66. Steinbigler, H., Haller, D., 1991. "Comparative Analysis of Methods for computing 2-D and 3-D Electric Fields", IEEE, EI, Vol.26, pp.529-536
67. Stevenson W.D., 1982. "Elements of Power System Analysis", McGraw-Hill
68. Stewart, J.R., and Grand, L.S., 1982. "High Phase Order - Ready for Application", IEEE, PAS, Vol.101, pp.1757-1764
69. Stewart, J.R., and Wilson, D.D., 1978. "High Phase Order Transmission- A Feasibility Analysis Part I - Steady State Considerations", IEEE, PAS, Vol.97, pp.2300-2307
70. Stewart, J.R., and Wilson, D.D., 1978. "High Phase Order Transmission- A Feasibility Analysis Part II - Overvoltages and Insulation Requirements", IEEE, PAS, Vol.97, pp.2308-2315
71. Stewart, J.R., Kallaur, E., and Grand, L.S., 1984. "Economics of EHV High Phase Order Transmission", IEEE, PAS, Vol.103, pp.3386-3392
72. Şeker, S., ve Çerezci, O., 1991. "Elektromagnetik Alanların Biyolojik Etkileri Güvenlik Standartları ve Korunma Yöntemleri", BÜ Yayımları
73. Şeker, S., ve Çerezci, O., 1992. "Elektromagnetik Alanlar ve Mühendislik Uygulamaları", İTÜ Yayımları Sakarya
74. Takashima, T., Ishibashi, R., 1978. "Electric Fields in Dielectric Multi-Layers Calculated by Digital Computer", IEEE, EI, Vol. 13, pp.37-44

75. **Takemoto-Hambleton, R.M., Dunseath, W.J.R., and Joines, W.T., 1988.** "Electromagnetic Fields Induced in a Person Due to Devices Radiating in the 10 Hz to 100 kHz Range", IEEE, Trans. on Electromag. Comp., Vol.30, pp.529-537
76. **Takuma, T., Kawamoto, T., 1979.** "Field Calculation Including Surface Resistance by Charge Simulation Method", Third Int. Sym.on HV. Eng., Milan, p.12.01
77. **Takuma, T., Kawamoto, T., Fujinami, H., 1981.** "Charge Simulation Method with Complex Fictitious Charges for Calculating Capacitive - Resistive Fields", IEEE, PAS, Vol.100, pp.4665-4672
78. **Thomas A. K., 1968.** "Magnetic Shielded Enclosure Design in the DC and VLF Region", IEEE, Trans. on Electromag. Compatibility., Vol. EMC-10, pp.142-152
79. **TEK, 1992.** "Türkiye Ulusal Elektrik Ağındaki Hava Hatlarının Trafolarının ve Generatörlerin Elektriki Karakteristikleri", Sistem Araştırma ve Kontrol Müdürlüğü, SA-92/1
80. **TEK, 1994.** "380 kV Transmission Lines, Atatürk - Elbistan - Ankarall - Temelli - Tepeören", Special Report of ELTEM - TEK - DECON Consultants Consortium ABB, SIEMENS, STFA
81. **TEK, 1994.** "Türkiye Elektrik İstatistikleri Özeti", Araştırma Planlama ve Koordinasyon Dairesi, Mayıs, 1994.
82. **WHO, 1989.** "Nonionizing Radiating Protection", Section 5.
83. **Utmischi, D., 1979.** "Charge Substitution Method for Three Dimensional High Voltage Fields", Third Int. Sym.on HV. Eng. Milan, p.11.01
84. **Yıldırım, H., 1992.** "Elektrostatik Alanların Yük Benzetim Yöntemiyle İncelenmesi", Y.Lisans Tezi, ITÜ
85. **Yializis, A., Kuffel, E., Alexander, P.H., 1978.** "An Optimized Charge Simulation Method for The Calculation of High Voltage Fields", IEEE, PAS, Vol.97, pp.2434-2440

EKİ. GELİŞTİRİLEN BİLGİSAYAR PROGRAMI

```
PROGRAM ALAN;
USES CRT,DOS,GRAPH;
CONST
  KSA=1/(2*3.141592654*8.854E-14);
  PIR=1/(2*3.141592654);
  VAR
    XQ,YQ,ZQ,XS,YS,ZS,XK,YK,ZK,VK,VKL,EXRE,EXLE,EYRE,EYLE:ARRAY[0..40] OF
    REAL;
    HXRE,HXLE,HYRE,HYLE,AK,AL,IR,IL,AIR,AIL,ACII,ACIV,AP,AVL,EZRE,EZLE:
    ARRAY[0..40] OF REAL;
    HHB,EEB:ARRAY[1..220] OF INTEGER;
    ZTQ:ARRAY[1..550] OF INTEGER;
    YFF:ARRAY[1..550] OF REAL;
    EA:CHAR;
    T1,E:WORD;
    ZT,Gd,Gm,A,W,EB1,EB3,PO,EBY,EBX,HBX,HBY,MUU,EE,MU:INTEGER;
    Z1,22,X1,Y8,Y1,Y2,EXR,EXL,EYR,EYL,Y,XE,YE,KE,DA,EX,EY,EB,WE,V,U,YH:
    REAL;
    HXR,HXL,HYR,HYL,HX,HY,HB,BB,YA,YRC,M,F,G1,F1,G,XC,Z,ZE,EBB:REAL;
    YD,YDS,DX1,DX2,R1,R2,EBS,YF,HB1,EZ,EZR,EZL,KYR,KT:REAL;
    DS,B,C,I,J,KA,S,N,KTS,FTS:BYTE;
    RO,R,L,P,PK,GER,GEL:ARRAY[1..30,1..30] OF REAL;
    NR,NRO,NRS:STRING[60];
    ad,NNN,ANA,CIZ:STRING[15];
    SOR,TUR,TUS,TUSA,TUS1,CIZ1,D,K,KOR:CHAR;
    DOSYA,DOSYAIC,DOST,DOSY,DOSY1,DOSY2,DOSYM,DOSTUM,DOSYAEA,
    DOSYAMA:TEXT;
    DOSY11,DOSY21,DOSY3,DOSY31,DOSY4,DOSY41,DOSY5,DOSY51,DOSY6,
    DOSY61,DOSY7,DOSY71:TEXT;
    DOSY8,DOSY81,DOSY9,DOSY91,DOSY10,DOSY101,DOSY01,DOSY111:TEXT;
    X,Y7:INTEGER;
    KAR:CHAR;
    CH,VH:STRING;
    {$I READSCRN.INC}

    PROCEDURE BASLIK;
    BEGIN
      TEXTBACKGROUND(1);TEXTCOLOR(14);
      CLRSCR;
    END;

    PROCEDURE MENUBASI;
    BEGIN
      TEXTBACKGROUND(1);TEXTCOLOR(14);
      CLRSCR;
    END;
```

```
PROCEDURE VERIMENU;
BEGIN
  TEXTCOLOR(15); GOTOXY(23,9); WRITE('FAZ ILETKENI SAYISI      ?: ');
  GOTOXY(23,12); WRITE('FAZ ILETKENI YARICAPI [metre] ?: ');
  GOTOXY(23,15); WRITE('KORUMA ILETKENI VARMI [E/H] ?: ');
  TEXTCOLOR(14); GOTOXY(60,9); READLN(FTS); GOTOXY(60,12); READLN(YRC);
  GOTOXY(60,15); READLN(KOR);
  IF (KOR='e') OR (KOR='E') THEN
    BEGIN
      CLRSCR; MENUBASI;
      GOTOXY(23,9); WRITE('KORUMA ILETKENI SAYISI      ?: ');
      GOTOXY(23,12); WRITE('KORUMA ILETKENI YARICAPI [metre] ?: ');
    TEXTCOLOR(14); GOTOXY(60,9); READLN(KTS); GOTOXY(60,12); READLN(KYR);
    END; CLRSCR; MENUBASI;
    GOTOXY(17,9); WRITE('CIKIS DOSYASI ADI GIRINIZ      ?: ');
    GOTOXY(17,11); WRITE('ALAN HESAPLANACAK YER YUKSEKLIGI [m] ?: ');
    GOTOXY(17,13); WRITE('VERI GIRISI DOSYADAN (D), KLAVYEDEN (K) ?: ');
  TEXTCOLOR(14); GOTOXY(60,9); READLN(NNN);
  GOTOXY(60,11); READLN(YH); GOTOXY(60,13); READLN(TUSA);
  ASSIGN(DOSYA, NNN);
  REWRITE(DOSYA);
END;

PROCEDURE VERI;
BEGIN
  IF (KOR='H') OR (KOR='h') THEN KTS:=0;
  N:=FTS+KTS; S:=N+1;
  ASSIGN(DOSYA, NNN);
  REWRITE(DOSYA);
  CASE TUSA OF
    'd', 'D': BEGIN
    TEXTCOLOR(15); GOTOXY(23,15); WRITE('VERI DOSYASI ADI GIRINIZ :');
    TEXTCOLOR(14); GOTOXY(60,15); READLN(ad);
    ASSIGN(DOST, AD); RESET(DOST); CLRSCR;
    FOR I:=1 TO N DO
      BEGIN
        READLN(DOST, XQ[I], YQ[I], AP[I], AVL[I], AIR[I], AIL[I]);
      END; CLOSE(DOST); END;
    'k', 'K': BEGIN
    TEXTCOLOR(15); GOTOXY(23,19); WRITE('VERI DOSYASININ ADI NE OLSUN ?: ');
    TEXTCOLOR(14); GOTOXY(58,19); READLN(ANA);
    ASSIGN(DOSYM, ANA); REWRITE(DOSYM); CLRSCR;
    GOTOXY(1,1); WRITE(' ***** FAZ ILETKENLERI ***** ');
    GOTOXY(1,2); WRITE(' I XQ YQ V ACI(V) I ACI(I) ');
    GOTOXY(2,3); WRITE(' _____ ');
    FOR I:=1 TO N-KTS DO BEGIN
      GOTOXY(5,I+3); WRITE(I); GOTOXY(12,I+3); READ(XQ[I]);
    END;
  END;
END;
```

```
GOTOXY(21,I+3);READ(YQ[I]); GOTOXY(31,I+3);READ(AP[I]);
GOTOXY(41,I+3);READ(AVL[I]);GOTOXY(51,I+3);READ(AIR[I]);
GOTOXY(61,I+3);READ(AIL[I]); END;
IF (KOR='e') OR (KOR='E') THEN
  BEGIN
    CLRSCR;
    GOTOXY(1,1);WRITE(' ***** KORUMA ILETKENLERİ ****
*** ');
    GOTOXY(1,2);WRITE(' I   XQ   YQ   V   ACI(V)   I   ACI(I) ');
    GOTOXY(2,3);WRITE(' _____ _____ _____ _____ _____ _____ ');
    FOR I:=FTS+1 TO N DO BEGIN
      GOTOXY(5,I+3);WRITE(I); GOTOXY(12,I+3);READ(XQ[I]);
      GOTOXY(21,I+3);READ(YQ[I]); GOTOXY(31,I+3);READ(AP[I]);
      GOTOXY(41,I+3);READ(AVL[I]);GOTOXY(51,I+3);READ(AIR[I]);
      GOTOXY(61,I+3);READ(AIL[I]); END; END;
      FOR I:=1 TO N DO BEGIN
        WRITELN(DOSYM,' ',XQ[I]:5:2,' ',YQ[I]:5:2,' ',AP[I]:5:2,' ',AVL[I]:5:2,' ',AIR[I]:5:2,
        ' ,AIL[I]:5:2);
        END; CLOSE(DOSYM); END; {case'nin end'i}
        FOR I:=1 TO N DO BEGIN
          ACII[I]:=((AIL[I]*3.141592654)/180);ACIV[I]:=((AVL[I]*3.141592654)/180);
          P[I,S]:=AP[I]*COS(ACIV[I]); L[I,S]:=AP[I]*SIN(ACIV[I]);
          IR[I]:=AIR[I]*COS(ACII[I]); IL[I]:=AIR[I]*SIN(ACII[I]);
          END; END; {PROCEDURE VERI'NIN }

PROCEDURE POTKAT;
BEGIN
  FOR I:=1 TO N-KTS DO
    BEGIN
      XS[I]:=XQ[I];YS[I]:=YQ[I]-YRC;
      YK[I]:=YQ[I];XK[I]:=XQ[I]+YRC; END;
  FOR I:=FTS+1 TO N DO
    BEGIN
      XS[I]:=XQ[I];YS[I]:=YQ[I]-KYR;
      YK[I]:=YQ[I];XK[I]:=XQ[I]+KYR;END;
  FOR I:=1 TO N DO BEGIN
    FOR J:=1 TO N DO BEGIN
      RO[I,J]:=SQRT(SQR(XS[I]-XQ[J])+SQR(YS[I]+YQ[J]));
      R[I,J]:=SQRT(SQR(XS[I]-XQ[J])+SQR(YS[I]-YQ[J]));
      L[I,J]:=LN(RO[I,J]/R[I,J]);P[I,J]:=KSA*L[I,J];
      END; END; {PROCEDURE POTKAT'IN}

PROCEDURE GAUSS_JORDAN;
BEGIN
  FOR B:=1 TO N DO BEGIN
    FOR C:=1 TO N DO BEGIN
      L[B,C]:=0
      END; END;
```

```
FOR I:=1 TO N DO BEGIN
  Z1:=P[I,I];Z2:=L[I,I];
  X1:=Z1*Z1+Z2*Z2;
  FOR J:=1 TO S DO BEGIN
    Y8:=(P[I,J]*Z1+L[I,J]*Z2)/X1;
    L[I,J]:=(L[I,J]*Z1-P[I,J]*Z2)/X1;
    P[I,J]:=Y8;
  END;
  FOR KA:=1 TO N DO BEGIN
    IF KA<>I THEN BEGIN
      Y1:=P[KA,I];Y2:=L[KA,I];
      FOR J:=1 TO S DO BEGIN
        P[KA,J]:=P[KA,J]-Y1*P[I,J]+Y2*L[I,J];
        L[KA,J]:=L[KA,J]-Y2*P[I,J]-Y1*L[I,J];
      END; END; END; CLRSCR;
    GOTOXY(30,3);WRITE(A,' YUK DEGERLERİ ');
  WRITELN(DOSYA,'');
  WRITELN(DOSYA,'');
  WRITELN(DOSYA,'***** Y U K D E G E R L E R I *****');
  WRITELN(DOSYA,'');
  FOR I:=1 TO N DO BEGIN
    IF L[I,S]<0 THEN EA:='-' ELSE EA:='+';
    GOTOXY(18,I+5);WRITE('q',I,'=',P[I,S],EA,'J',ABS(L[I,S]));
    WRITELN(DOSYA,' ','q',I,'=',P[I,S],EA,'J',ABS(L[I,S]));
  END; END;(PROCEDURE GAUSS_JORDAN'UN)

PROCEDURE KONTPOT;
BEGIN
  FOR I:=1 TO N DO BEGIN
    FOR J:=1 TO N DO BEGIN
      RO[I,J]:=0; R[I,J]:=0; L[I,J]:=0; END;END;
    TUS:=READKEY;CLRSCR;
    FOR I:=1 TO N DO BEGIN
      FOR J:=1 TO N DO BEGIN
        RO[I,J]:=SQRT(SQR(XK[I])-XQ[J])+SQR(YK[I]+YQ[J]);
        R[I,J]:=SQRT(SQR(XK[I])-XQ[J])+SQR(YK[I]-YQ[J]);
        L[I,J]:=LN(RO[I,J]/R[I,J]);PK[I,J]:=KSA*L[I,J];
      END; END;
    FOR I:=1 TO N DO BEGIN
      VK[I]:=0; VKL[I]:=0;
      FOR J:=1 TO N DO BEGIN
        VK[I]:=VK[I]+(PK[I,J]*P[J,S]);V рKL[I]:=VKL[I]+(PK[I,J]*L[J,S]);
      END; END;
    WRITELN(DOSYA,"**** K O N T R O L P O T A N S I Y E L L E R I ****");
    FOR I:=1 TO N DO BEGIN
      IF VKL[I]<0 THEN EA:='-' ELSE EA:='+';
      GOTOXY(18,I+5);WRITE('VK(.I.)=',VK[I],EA,'J',ABS(VKL[I]));
      WRITELN(DOSYA,' ','VK(.I.)=',VK[I],EA,'J',ABS(VKL[I]));
    END; END;(PROCEDURE KONTPOT'UN)
```

```
PROCEDURE EMALAN;
BEGIN
  ASSIGN(DOSY,'CIZ1');
  REWRITE(DOSY);
  ASSIGN(DOSY1,'ECIZ');
  REWRITE(DOSY1);
  ASSIGN(DOSY2,'MCIZ');
  REWRITE(DOSY2);
  WRITELN(DOSYA,' ');
  WRITELN(DOSYA,' ');
  WRITELN(DOSYA,' ***** ALAN DEGERLERİ *****');
  WRITELN(DOSYA,' MESAFE ** EX ** EY ** EB ** HX ** HY ** HB
**');
  WRITELN(DOSYA,' ');
  GOTOXY(15,25);WRITE("***** Herhangi Bir Tusa BASINIZ! *****");
  TUS:=READKEY;clrscr;
  GOTOXY(1,I);WRITELN(' ***** ALAN DEGERLERİ
***** ');
  GOTOXY(1,I+1);WRITELN(' MESAFE ** EX ** EY ** EB(kV/m)** HX **
HY ** HB(A/m) ** ');
  FOR A:=-100 TO 100 DO
    BEGIN
      EXR:=0;EXL:=0;EYR:=0;EYL:=0;
      HXR:=0;HXL:=0;HYR:=0;HYL:=0;
      Y:=YH;
      FOR I:=1 TO N DO
        BEGIN
          XE:=A-XQ[I]; YE:=Y-YQ[I];
          YA:=YQ[I]-Y; F:=SQR(XE)+SQR(YE);
          KE:=Y+YQ[I]; DA:=SQR(XE)+SQR(KE);
          EXRE[I]:=P[I,S]*KSA*XE*((1/F)-(1/DA));
          EXLE[I]:=L[I,S]*KSA*XE*((1/F)-(1/DA));
          EYRE[I]:=P[I,S]*KSA*((YE/F)-(KE/DA));
          EYLE[I]:=L[I,S]*KSA*((YE/F)-(KE/DA));
          HXRE[I]:=IR[I]*(YA/F)*PIR;
          HYRE[I]:=IR[I]*(XE/F)*PIR;
          HXLE[I]:=IL[I]*(YA/F)*PIR;
          HYLE[I]:=IL[I]*(XE/F)*PIR;
          HXR:=HXR+HXRE[I];HXL:=HXL+HXLE[I];
          HYR:=HYR+HYRE[I];HYL:=HYL+HYLE[I];
          HX:=SQRT(SQR(HXR)+SQR(HXL));
          HY:=SQRT(SQR(HYR)+SQR(HYL));
          EXR:=EXR+EXRE[I];EXL:=EXL+EXLE[I];
          EYR:=EYR+EYRE[I];EYL:=EYL+EYLE[I];
          EX:=SQRT(SQR(EXR)+SQR(EXL));
          EY:=SQRT(SQR(EYR)+SQR(EYL));END;
          EB:=SQRT(SQR(EX)+SQR(EY)); { Bileske E = kV/m }
          HB:=SQRT(SQR(HX)+SQR(HY)); { BILESKE H = A/m }
```

```
WE:=A;
WRITELN(' ',WE:3:0,' ',EX:6:4,' ',EY:6:4,' ',EB:6:4,' ',HX:6:4,' ',HY:6:4,
' ',HB:6:4);
WRITELN(DOSYA,' ',WE:3:0,' ',EX:6:4,' ',EY:6:4,' ',EB:6:4,' ',HX:6:4,
' ',HY:6:4,' ',HB:6:4);
WRITELN(DOSY1,' ',EB:6:4); WRITELN(DOSY2,' ',HB:6:4);
EB:=EB*10; HB:=HB*10; EB1:=ROUND(EB); HB1:=ROUND(HB);
WRITELN(DOSY,' ',EB1:6,' ',HB1:5:0);
END; CLOSE(DOSYA); CLOSE(DOSY); CLOSE(DOSY1); CLOSE(DOSY2);
END; {PROCEDURE EMALAN'IN}

PROCEDURE INDUKLENEN;
VAR
AA,AB,A,B,EOX,EOY,EOZ,EEX,EEY,EEZ,OMEGA,MUO,HOX,HOY,HOZ:REAL;
X,Y,Z,DD,LL,C,D,KK,KD,KB,KR,EZKOR,KR1,EM1Y,EM1Z,EM2X,EM2Z,EM3Y,EM3X:REAL;
EXKOR,EYKOR,E,P,EXKORL,EYKORL,EZKORL:REAL;
QP,PP,BEL,ZR,SZXR,SZXL,SZYR,SZYL,SZZR,SZZL,SZX,SZY,SZZ,HX,HY,HZ,SN:REAL;
AK,EBJ,EB,EXL,EYL,EZL,EX,EY,EZ,S1,T1,S2,T2,S3,T3,EX1,EY1,EZ1:REAL;
I:BYTE;
AD,BUFALO,DOR:TEXT;
EBA,EXOX,EYOY,EZOZ,HOXO,HOYO:ARRAY[1..101] OF REAL;
TUS:CHAR;
BEGIN
ASSIGN(AD,'CEYLAN');
RESET(AD); CLRSCR;
TEXTBACKGROUND(1); TEXTCOLOR(14);
FOR I:=1 TO 101 DO
READLN(AD,EXOX[I],EYOY[I],EZOZ[I],HOXO[I],HOYO[I]);
CLOSE(AD);
FOR I:=1 TO 101 DO
EBA[I]:=SQRT(SQR(EXOX[I])+SQR(EYOY[I])+SQR(EZOZ[I]));
ASSIGN(BUFALO,'ICAKYO');
REWRITE(BUFALO);
ASSIGN(DOR,'ICAKIM');
REWRITE(DOR);
X:=0; Y:=0; Z:=0.30;
A:=0.800; B:=0.100;
DD:=A/B; D:=SQR(DD); C:=(D-1);
LL:=(DD+SQRT(C)); AA:=(-1/C)+(D/(C*SQRT(C)))*LN(DD+SQRT(C));
AB:=(1-AA)/2; KK:=33E+6; KD:=KK*COS(1.521927108);
KB:=KK*SIN(1.521927108); KR:=1+(AA*KD)-AA;

FOR J:=1 TO 101 DO BEGIN
EOX:=EXOX[J]; EOY:=EYOY[J]; EOZ:=EZOZ[J];
HOX:=HOXO[J]; HOY:=HOYO[J]; HOZ:=0;
```

```
EZKOR:=EOZ/KR; EZKORL:=EOZ/(AA*KB);
EZ1:=EOZ/(SQRT(SQR(KR)+SQR(AA*KB)));
KR1:=1+(AB*KD)-AB; EXKOR:=EOX/KR1;
EXKORL:=EOX/(AB*KB); EYKOR:=EOY/KR1;
EYKORL:=EOY/(AB*KB); EX1:=EOX/(SQRT(SQR(KR1)+SQR(AB*KB)));
EY1:=EOY/(SQRT(SQR(KR1)+SQR(AB*KB))){BURADA 3.94784176E-04
MUO*OMEGA 'DIR];
P:=(3.94784176E-04)/(1+SQR(B/A)); EM1Z:=P*HOX*Y;
EM1Y:=P*HOX*(SQR(B/A))*Z; EM2Z:=P*HOY*X;
EM2X:=-P*HOY*Z*(SQR(B/A)); EM3Y:=(3.94784176E-04)*HOZ*X/2;
EM3X:=(3.94784176E-04)*HOZ*Y/2; EXL:=EXKORL+EM2X+EM3X;
EYL:=EYKORL+EM1Y+EM3Y; EZL:=EZKORL+EM1Z+EM2Z;
EX:=SQRT(SQR(EXKOR)+SQR(EXL)); EY:=SQRT(SQR(EYKOR)+SQR(EYL));
EZ:=SQRT(SQR(EZKOR)+SQR(EZL));
EB:=(SQRT(SQR(EX)+SQR(EY)+SQR(EZ)))*1000;
CLRSCR; OMEGA:=314.1592654; QP:=1612000; PP:=32960000;
BEL:=(SQR(B/A))+1; ZR:=SQR(B/A);
SZXR:=(OMEGA*EZ1*PP*(Y/2))-((OMEGA*EY1*PP*ZR*Z)/BEL);
SZXL:=((OMEGA*EY1*QP*ZR*Z)/BEL)-(OMEGA*EZ1*QP*(Y/2));
SZYR:=((OMEGA*EX1*PP*ZR*Z)/BEL)-(OMEGA*EZ1*PP*(X/2));
SZYL:=(OMEGA*EZ1*QP*(X/2))-((OMEGA*EX1*QP*ZR*Z)/BEL);
SZZR:=((OMEGA*EY1*PP*X)/BEL)-((OMEGA*EX1*PP*Y)/BEL);
SZZL:=((OMEGA*EX1*QP*Y)/BEL)-((OMEGA*EY1*QP*X)/BEL);
SZX:=SQRT(SQR(SZXR)+SQR(SZXL));
SZY:=SQRT(SQR(SZYR)+SQR(SZYL));
SZZ:=SQRT(SQR(SZZR)+SQR(SZZL));
HX:=HOX+SZX; HY:=HOY+SZY;
HZ:=HOZ+SZZ; SN:=SQRT(SQR(HX)+SQR(HY)+SQR(HZ));
MENU BASI;
EBJ:=EB*0.1;
TEXTCOLOR(15); GOTOXY(30,8); WRITE(J,'m', J=,EBJ:10:5,' mA/m2');
WRITELN(BUFALO,' ',EBJ:10:5);
AK:=0.012738744*EBA[J];
TEXTCOLOR(15); GOTOXY(33,10); WRITE(' I=',AK:10:5,' mikroA');
TUS:=READKEY;
WRITELN(DOR,' ',AK:10:5);
END;
CLOSE(DOR); CLOSE(BUFALO);
TEXTBACKGROUND(14); TEXTCOLOR(15);
CLRSCR;
END;
```

PROCEDURE SEHIM;{ILETIM HATTI MODELLENEREK YERDEN YUKSEKLIKLERİ
BULUNUR}

```
VAR
X,Y,A,H,K,C,B,D,L,M,Z,F,G,S,R:ARRAY[0..75] OF REAL;
N,BH,BM,MUU,NURI,MEE:INTEGER;
KR:REAL;
I,J,SEC,JI:BYTE;
```

```
CIZ1,YER,SEHIM:CHAR;
DOSY,DOSTUM:TEXT;
DAD:STRING[15];
label 80;

PROCEDURE ALIHSAN;
VAR
  I,J:BYTE;
BEGIN
  FOR I:=0 TO N-1 DO BEGIN
    H[I]:=X[I+1]-X[I];
  END;
  FOR I:=1 TO N-1 DO
  BEGIN
    F[I]:=A[I+1]*H[I-1]; G[I]:=A[I]*(X[I+1]-X[I-1]);
    S[I]:=A[I-1]*H[I]; K[I]:=3*(F[I]-G[I]+S[I])/(H[I-1]*H[I]);
  END;
  L[0]:=1;M[0]:=0;Z[0]:=0;
  FOR I:=0 TO N-1 DO
  BEGIN
    L[I]:=2*(X[I+1]-X[I-1])-(H[I-1]*M[I-1]);
    M[I]:=H[I]/L[I];
    Z[I]:=(K[I]-H[I-1]*Z[I-1])/L[I];
  END;
  L[N]:=0;Z[N]:=0;C[N]:=0;
  FOR J:=(N-1) DOWNTO 0 DO
  BEGIN
    C[J]:=Z[J]-M[J]*C[J+1];
    B[J]:=((A[J+1]-A[J])/H[J])-(H[J]*(C[J+1]+2*C[J]))/3;
    D[J]:=(C[J+1]-C[J])/(3*H[J]);
  END;
  ASSIGN(DOSY,'CIZ2'); REWRITE(DOSY);
  FOR J:=0 TO N DO
  BEGIN
    WRITELN(DOSY,' ',X[J],' ',A[J],' ',B[J],' ',C[J],' ',D[J]);
  END;
  CLOSE(DOSY); ASSIGN(DOSY,'CIZ2'); RESET(DOSY);
  FOR I:=0 TO N DO BEGIN
    READLN(DOSY,Y[I],A[I],B[I],C[I],D[I]);
  END;
  CLOSE(DOSY);
END; {PROCEDURE ALIHSAN'IN END'I}

PROCEDURE DURUM ;
VAR
  BH:INTEGER;
  I,J:BYTE;
  LABEL GO;
BEGIN
```

```
ASSIGN(DOSTUM,DAD); APPEND(DOSTUM); CLRSCR;
FOR BH:=MEE TO MUU-1 DO BEGIN
FOR I:=1 TO N+1 DO BEGIN
  IF Y[I]>BH THEN
    BEGIN
      KR:=BH-Y[I-1];
      R[I]:=A[I-1]+B[I-1]*KR+C[I-1]*SQR(KR)+D[I-1]*(SQR(KR)*KR);
      WRITELN(DOSTUM,' ',R[I]:5:3); GOTOXY(30,BH+3);
      WRITELN(' ',BH:3,' ',R[I]:5:3); GOTO GO;
    END; END;
  GO:END; CLOSE(DOSTUM);
END; {PROCEDURE DURUM'UN END'I}

BEGIN
  SOUND(1200); DELAY(100); NOSOUND;
  TEXTCOLOR(14); GOTOXY(20,10); WRITE('ILETKEN MODELLENMESI [1] ');
  GOTOXY(20,12); WRITE('YER DUZLEMININ MODELLENMESI [2] ');
  GOTOXY(20,14); WRITE('SECIMINIZ [1] / [2] : ? ');
  TEXTCOLOR(15); GOTOXY(50,14); READLN(SEC);
  CASE SEC OF
  1: BEGIN
    TEXTBACKGROUND(2); TEXTCOLOR(14);
    MENUBASI;
    SOUND(1200); DELAY(100); NOSOUND;
    TEXTCOLOR(15); GOTOXY(20,10); WRITE('MENZIL UZUNLUGU ?: ');
    GOTOXY(20,13); WRITE('NOKTA SAYISI ?: ');
    GOTOXY(20,15); WRITE('NOKTALAR ARASI MESAFE ?: ');

    TEXTCOLOR(14); GOTOXY(41,10); READLN(MUU); GOTOXY(41,13); READLN(N); G
    OTOXY(45,15); READLN(BM);
    TEXTBACKGROUND(11); TEXTCOLOR(15); CLRSCR;
    MENUBASI;
    FOR I:=0 TO N DO BEGIN
      X[I]:=I*BM;
      GOTOXY(25,I+10); WRITELN(X[I]:4:2,' metrede iletken yuksekligi=? ');
      TEXTCOLOR(15); GOTOXY(65,I+10); READLN(A[I]);
    END;
    ALIIHSAN;
    DAD:='SEHIM'; ASSIGN(DOSY,DAD); REWRITE(DOSY);
    CLOSE(DOSY); MEE:=0;
    DURUM;
    ASSIGN(DOSTUM,DAD); APPEND(DOSTUM);
    WRITELN(DOSTUM,' ',A[N]:5:3); CLOSE(DOSTUM);

    clrscr;
    GOTOXY(10,10); WRITELN('YER DUZLEMİ MODELLENCEK MI? [E/H]');
    TUS:=READKEY;
    IF (TUS='E') OR (TUS='e') THEN GOTO 80;
    END;
  2: BEGIN
```

```
80: TEXTBACKGROUND(10);
  TEXTCOLOR(14);
  CLRSCR;
  MENUBASI;
  TEXTCOLOR(15);GOTOXY(20,13);WRITE("YER KAC BOLGEYE BOLUNUP
  MODELLENECEK ?:");
  TEXTCOLOR(14);GOTOXY(62,13);READLN(NURI);
  DAD:='YER';
  ASSIGN(DOSY,DAD);
  REWRITE(DOSY);
  CLOSE (DOSY);
  MEE:=0;
  FOR JI:=1 TO NURI DO BEGIN
    TEXTBACKGROUND(1);
    TEXTCOLOR(11);
    CLRSCR;
    MENUBASI;
    SOUND(5000);
    DELAY(100);
    NOSOUND;
    TEXTCOLOR(14); GOTOXY(20,6);WRITE("***** ",JI,'. C I B O L G E *****");
    TEXTCOLOR(15); GOTOXY(30,10);WRITE(JI,'.'.'BOLGE UZUNLUGU ?: ');
    GOTOXY(30,13);WRITE('NOKTA SAYISI ?: ');
    GOTOXY(30,15);WRITE('NOKTALAR ARASI MESAFE ?: ');

    TEXTCOLOR(14);GOTOXY(51,10);READLN(MUU);GOTOXY(53,13);READLN(N);G
    OTOXY(57,15);READLN(BM);
    TEXTBACKGROUND(2);
    TEXTCOLOR(11);
    CLRSCR;
    MENUBASI;
    FOR I:=0 TO N DO BEGIN
      X[I]:=I*BM;
      SOUND(1000);
      DELAY(100);
      NOSOUND;
      TEXTCOLOR(0);
      GOTOXY(20,I+10);WRITELN(JI,'. BOLGE ',X[I]:4:2,' metrede YER yuksekligi=? ');
      TEXTCOLOR(14);
      GOTOXY(60,I+10);READLN(A[I]);
    END;
    ALIIHSAN;
    DURUM;
    TUS:=READKEY;
    END;
    ASSIGN(DOSTUM,DAD);
    APPEND(DOSTUM);
    WRITELN(DOSTUM,' ',A[N]:5:3);
```

```
CLOSE(DOSTUM);
END;
END; { CASE'NIN END'I)
END; {PROCEDURE SEHIM'IN END'I)

PROCEDURE YAKIN_BUL;
VAR
YS,YR:ARRAY[0..600] OF REAL;
R:ARRAY[0..600] OF REAL;
I,J,N,Z,SAG:INTEGER;
YT:REAL;
POST:TEXT;
LABEL 12,15;
BEGIN
TEXTCOLOR(15);
GOTOXY(20,I+10);WRITELN('IKI DIREK ARASI MENZIL UZUNLUGU: ?');
TEXTCOLOR(14);
GOTOXY(60,I+10);READLN(N);
ASSIGN(DOSY,'SEHIMATA');
RESET(DOSY);
SAG:=N DIV 2;
FOR I:=0 TO N DO BEGIN
READLN(DOSY,YS[I]);
END;
CLOSE(DOSY);
ASSIGN(DOSY,'YERATA');
RESET(DOSY);
FOR I:=0 TO N DO BEGIN
READLN(DOSY,YR[I]);
END;
CLOSE(DOSY);
ASSIGN(POST,'YAKINTEL'); {Bu dosyaya her x'e karsi en yakin tel
uzakligi ve onun x m.de oldugu yazilacak)
REWRITE(POST);
CLRSCR;
FOR I:=0 TO SAG DO BEGIN
FOR J:=I TO SAG DO BEGIN
R[J]:=SQRT(SQR(J-I)+SQR(YS[J]-YR[I]));
R[J+1]:=SQRT(SQR(J+1-I)+SQR(YS[J+1]-YR[I]));
IF R[J+1]>R[J] THEN
BEGIN
Z:=J-I;
YT:=YS[J]-YR[I];
WRITELN(POST,' ',Z,' ',YT:6:3);
WRITELN(I,'.',J,' ',R[J]:8:4);
GOTO 12;
END;
END;
12: END;
```

```
CLOSE(POST);
ASSIGN(POST,'YAKINTEL');
APPEND(POST);
CLRSCR;
FOR I:=SAG+1 TO N DO BEGIN
  FOR J:=I-20 TO N-1 DO BEGIN
    R[J]:=SQRT(SQR(J-I)+SQR(YS[J]-YR[I]));
    R[J+1]:=SQRT(SQR(J+1-I)+SQR(YS[J+1]-YR[I]));
    IF R[J+1]>R[J] THEN
      BEGIN
        Z:=J-I;
        YT:=YS[J]-YR[I];
        WRITELN(POST,' ',Z,' ',YT:6:3);
        WRITELN(I,' ',J,' ',R[J]:8:4);
        GOTO 15;
      END;
    END;
  END;
15: END;
CLOSE(POST);
END; {PROCEDURE YAKIN_BUL'UN END '1}
```

```
PROCEDURE CIZ_OKU;
BEGIN
  ASSIGN(DOSY,'CIZ1');
  RESET(DOSY);
  CLRSCR;
  FOR I:=1 TO 201 DO BEGIN
    READLN(DOSY,EEB[I],HHB[I]);
  END;
  CLOSE(DOSY);
END; {PROCEDURE'in END'i}
```

```
PROCEDURE MAGALAN_CIZ;
BEGIN
  LINE(75,60,75,432);
  LINE(75,432,570,432);
  SETTEXTSTYLE(2,0,6);
  OUTTEXTXY(71,422,'-');OUTTEXTXY(71,382,'-');OUTTEXTXY(71,342,'-');
  OUTTEXTXY(71,302,'-');OUTTEXTXY(71,262,'-');OUTTEXTXY(71,222,'-');
  OUTTEXTXY(71,182,'-');OUTTEXTXY(71,142,'-');OUTTEXTXY(71,102,'-');
  OUTTEXTXY(71,62,'-');
  OUTTEXTXY(120,422,'>');OUTTEXTXY(162,422,'>');OUTTEXTXY(202,422,'>');
  OUTTEXTXY(242,422,'>');OUTTEXTXY(282,422,'>');OUTTEXTXY(322,422,'>');
  OUTTEXTXY(362,422,'>');OUTTEXTXY(402,422,'>');OUTTEXTXY(442,422,'>');
  OUTTEXTXY(482,422,'>');OUTTEXTXY(522,422,'>');
  OUTTEXTXY(80,425,'0');OUTTEXTXY(60,385,'2');OUTTEXTXY(60,345,'4');
  OUTTEXTXY(60,305,'6');OUTTEXTXY(60,265,'8');OUTTEXTXY(50,225,'10');
  OUTTEXTXY(50,185,'12');OUTTEXTXY(50,145,'14');OUTTEXTXY(50,105,'16');
  OUTTEXTXY(50,65,'18');SETTEXTSTYLE(2,0,6);OUTTEXTXY(80,50,'(A/m)');
```

```
{ SETTEXTSTYLE(1,0,1);
  OUTTEXTXY(98,445,'-100');OUTTEXTXY(145,445,'-80');
  OUTTEXTXY(185,445,'-60');
  OUTTEXTXY(225,445,'-40');OUTTEXTXY(265,445,'-20');OUTTEXTXY(318,445,'0');

  OUTTEXTXY(353,445,'20');OUTTEXTXY(393,445,'40');OUTTEXTXY(433,445,'60');
  OUTTEXTXY(473,445,'80');OUTTEXTXY(510,445,'100');
  SETTEXTSTYLE(2,0,6);OUTTEXTXY(580,415,'(metre)');
  SETTEXTSTYLE(1,0,1);
  OUTTEXTXY(135,10,'MAGNETIK ALAN EGRISI');
  FOR I:=1 TO 201 DO
    BEGIN
      IF I=1 THEN BEGIN
        HBY:=435-(HHB[I]*2);
        HBX:=119+(I*2);
        MOVETO(HBX,HBY);
      END
      ELSE
        BEGIN
          HBY:=435-(HHB[I]*2);
          HBX:=119+(I*2);
          SETLINESTYLE(0,0,3);
          LINETO(HBX,HBY);
        END;
    END;
    SOUND(1200);
    DELAY(500);
    NOSOUND;
{***** ELEKTRIK ALAN EGRISI CIZIMI *****}
  TUS:=READKEY;
  CLOSEGRAPH;
END; { PROCEDURE MAGALAN_CIZ'IN ENDI}
```

```
PROCEDURE ELKALAN_CIZ;
BEGIN
  LINE(75,70,75,432);
  LINE(75,432,570,432);
  SETTEXTSTYLE(2,0,6);
  OUTTEXTXY(71,402,'-');OUTTEXTXY(71,372,'-');OUTTEXTXY(71,342,'-');
  OUTTEXTXY(71,312,'-');OUTTEXTXY(71,282,'-');OUTTEXTXY(71,252,'-');
  OUTTEXTXY(71,222,'-');OUTTEXTXY(71,192,'-');OUTTEXTXY(71,162,'-');
  OUTTEXTXY(71,132,'-');OUTTEXTXY(71,102,'-');OUTTEXTXY(71,72,'-');
  OUTTEXTXY(120,422,'1');OUTTEXTXY(162,422,'1');OUTTEXTXY(202,422,'1');
  OUTTEXTXY(242,422,'1');OUTTEXTXY(282,422,'1');OUTTEXTXY(322,422,'1');
  OUTTEXTXY(362,422,'1');OUTTEXTXY(402,422,'1');OUTTEXTXY(442,422,'1');
  OUTTEXTXY(482,422,'1');OUTTEXTXY(522,422,'1');
  OUTTEXTXY(60,400,'0');OUTTEXTXY(60,370,'1');OUTTEXTXY(60,340,'2');
  OUTTEXTXY(60,310,'3');OUTTEXTXY(60,280,'4');OUTTEXTXY(60,250,'5');
```

```
OUTTEXTXY(60,220,'6');OUTTEXTXY(60,190,'7');OUTTEXTXY(60,160,'8');
OUTTEXTXY(60,130,'9');OUTTEXTXY(50,100,'10');OUTTEXTXY(50,70,'11');
OUTTEXTXY(80,50,'(kV/m)');
OUTTEXTXY(98,445,'-100');OUTTEXTXY(145,445,'-80');
OUTTEXTXY(185,445,'-60');
OUTTEXTXY(225,445,'-40');OUTTEXTXY(265,445,'-20');OUTTEXTXY(318,445,'0');
OUTTEXTXY(353,445,'20');OUTTEXTXY(393,445,'40');OUTTEXTXY(433,445,'60');
OUTTEXTXY(473,445,'80');OUTTEXTXY(510,445,'100');
SETTEXTSTYLE(2,0,6);OUTTEXTXY(580,415,'(metre)');
SETTEXTSTYLE(1,0,1);
OUTTEXTXY(125,10,'E L E K T R I K A L A N E G R I S I');
FOR I:=1 TO 201 DO
BEGIN
  EBY:=0;
  EBX:=0;
  IF I=1 THEN BEGIN
    EBY:=415-(EEB[I]*3);
    EBX:=119+(I*2);
    MOVETO(EBX,EBY);
  END
  ELSE
  BEGIN
    EBY:=415-(EEB[I]*3);
    EBX:=119+(I*2);
    SETLINESTYLE(0,0,3);
    LINETO(EBX,EBY);
  END;
  SOUND(1200);
  DELAY(500);
  NOSOUND;
END;
{***** MAGNETIK ALAN EGRISI CIZIMI *****}
```

```
PROCEDURE CIZDIR;
BEGIN
  CIZ_OKU;
  Gd:=Detect;
  Initgraph(Gd,Gm,"");
  if GraphResult <> grOk Then
    Halt(1);
  SETBKCOLOR(1);
  SETCOLOR(14);
  MAGALAN_CIZ;
  Gd:=Detect;
  Initgraph(Gd,Gm,"");
  if GraphResult <> grOk Then
    Halt(1);
  SETBKCOLOR(1);
```

```
SETCOLOR(14);
ELKALAN_CIZ;
TUS1:=READKEY;
CLOSEGRAPH;
CASE TUS1 OF
'B','b': BEGIN
CIZ_OKU;
Gd:=Detect;
Initgraph(Gd,Gm,"");
if GraphResult <> grOk Then
Halt(1);
SETBKCOLOR(15);
SETCOLOR(1);
MAGALAN_CIZ;
Gd:=Detect;
Initgraph(Gd,Gm,"");
if GraphResult <> grOk Then
Halt(1);
SETBKCOLOR(15);
SETCOLOR(1);
ELKALAN_CIZ;
TUS1:=READKEY;
CLOSEGRAPH;
END;
END;
END;{PROCEDURE CIZDIR'IN}

PROCEDURE UCBOYUT_VERI;
BEGIN
VERIMENU;
TEXTCOLOR(15); GOTOXY(20,15);WRITE('MENZIL UZUNLUGU ?: ');
TEXTCOLOR(14); GOTOXY(40,15);READLN(MU);
IF (KOR='H') OR (KOR='h') THEN KTS:=0;
N:=FTS+KTS;
S:=N+1;
CASE TUSA OF
'd','D': BEGIN
TEXTCOLOR(15); GOTOXY(23,17);WRITE('VERI DOSYASI ADI GIRINIZ ?: ');
TEXTCOLOR(14); GOTOXY(60,17);READLN(ad);
ASSIGN(DOST,AD);
RESET(DOST);
CLRSCR;
FOR I:=1 TO N DO
BEGIN
READLN(DOST,XQ[I],YQ[I],ZQ[I],AP[I],AVL[I],AIR[I],AIL[I]);
END;
CLOSE(DOST);
END;
'k','K': BEGIN
```

```
TEXTCOLOR(15);GOTOXY(23,19);WRITE('VERI DOSYASININ ADI NE OLSUN ? :');
');
TEXTCOLOR(14);GOTOXY(56,19);READLN(ANA);
ASSIGN(DOSYM,ANA);
REWRITE(DOSYM);
CLRSCR;
GOTOXY(1,1);WRITE(' ***** FAZ I LETKENLERİ ***** ');
GOTOXY(1,2);WRITE(' I XQ YQ ZQ V ACI(V) AKIM
ACI(I) ');
GOTOXY(2,3);WRITE(' _____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____ ');
FOR I:=1 TO N-KTS DO BEGIN
    GOTOXY(5,I+3);WRITE(I);
    GOTOXY(12,I+3);READ(XQ[I]);
    GOTOXY(21,I+3);READ(YQ[I]);
    GOTOXY(31,I+3);READ(ZQ[I]);
    GOTOXY(41,I+3);READ(AP[I]);
    GOTOXY(51,I+3);READ(AVL[I]);
    GOTOXY(61,I+3);READ(AIR[I]);
    GOTOXY(71,I+3);READ(AIL[I]);
END;
IF (KOR='e') OR (KOR='E') THEN
BEGIN
    CLRSCR;
    GOTOXY(1,1);WRITE(' ***** KORUMA I LETKENLERİ ***** ');
    GOTOXY(1,2);WRITE(' I XQ YQ ZQ V ACI(V) AKIM
ACI(I) ');
    GOTOXY(2,3);WRITE(' _____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____ ');
    FOR I:=FTS+1 TO N DO BEGIN
        GOTOXY(5,I-FTS+3);WRITE(I);
        GOTOXY(12,I-FTS+3);READ(XQ[I]);
        GOTOXY(21,I-FTS+3);READ(YQ[I]);
        GOTOXY(31,I-FTS+3);READ(ZQ[I]);
        GOTOXY(41,I-FTS+3);READ(AP[I]);
        GOTOXY(51,I-FTS+3);READ(AVL[I]);
        GOTOXY(61,I-FTS+3);READ(AIR[I]);
        GOTOXY(71,I-FTS+3);READ(AIL[I]);
    END;
END;
FOR I:=1 TO N DO BEGIN
    WRITELN(DOSYM,' ',XQ[I]:5:2,' ',YQ[I]:5:2,' ',ZQ[I]:5:2,' ',AP[I]:5:2,' ',AVL[I]:5:2,
'AIR[I]:5:2,' ',AIL[I]:5:2);
    END;
    CLOSE(DOSYM);
END;
END;
FOR I:=1 TO N DO BEGIN
```

```
ACII[I]:=((AIL[I]*3.141592654)/180);
ACIV[I]:=((AVL[I]*3.141592654)/180);
P[I,S]:=AP[I]*COS(ACIV[I]);
L[I,S]:=AP[I]*SIN(ACIV[I]);
IR[I]:=AIR[I]*COS(ACII[I]);
IL[I]:=AIR[I]*SIN(ACII[I]);
GER[I,S]:=P[I,S];
GEL[I,S]:=L[I,S];
AK[I]:=IR[I];
AL[I]:=IL[I];
END;
IF SOR='2'THEN BEGIN
WRITELN(DOSYA,'***** GIRIS VERILERI ***** ');
WRITELN(DOSYA,'');
WRITELN(DOSYA,' IL.NO XQ YQ ZQ V ACI(V) I ACI(I) ');
WRITELN(DOSYA,' _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ ');
FOR I:=1 TO N DO BEGIN
WRITELN(DOSYA,' ',I,'.',XQ[I]:7:2,' ',YQ[I]:7:2,' ',ZQ[I]:7:2,' ',AP[I]:7:2,' ',AVL[I]:7:2,
'AIR[I]:7:2,' ',AIL[I]:7:2);
END;
END;
END;

PROCEDURE POTKAT_3D;
BEGIN
FOR I:=1 TO N DO BEGIN
FOR J:=1 TO N DO BEGIN
RO[I,J]:=SQRT(SQR(XS[I]-XQ[J])+SQR(YS[I]-YQ[J])+SQR(ZS[I]-ZQ[J]));
R[I,J]:=SQRT(SQR(XS[I]-XQ[J])+SQR(YS[I]-YQ[J])+SQR(ZS[I]-ZQ[J]));
L[I,J]:=LN(RO[I,J]/R[I,J]);
P[I,J]:=KSA*L[I,J];
END;
END;
END;{ PROCEDURE POTKAT_3D'IN END'I}

PROCEDURE UCBOYUT_ALAN;
BEGIN
IF SOR='2'THEN BEGIN
WRITELN(DOSYA,'');
WRITELN(DOSYA,' ',A,' ','metrede',' ');
WRITELN(DOSYA,' ***** ALAN DEGERLERİ ***** ');
WRITELN(DOSYA,' MESAFE ** EX ** EY ** EZ ** EB ** HX ** HY ** HB
**');
WRITELN(DOSYA,'');
END;
Y:=YH;
Z:=0;
ASSIGN(DOSY01,'EOCIZ');
REWRITE(DOSY01);
```

```
ASSIGN(DOSY111,'ESCIZ');
REWRITE(DOSY111);
ASSIGN(DOSY101,'HCIZ');
REWRITE(DOSY101);
FOR EE:=-100 TO 100 DO
BEGIN
EXR:=0;EXL:=0;EYR:=0;EYL:=0;EZR:=0;EZL:=0;
HXR:=0;HXL:=0;HYR:=0;HYL:=0;
FOR I:=1 TO N DO
BEGIN
XE:=EE-XQ[I];
YE:=Y-YQ[I];
ZE:=Z-ZQ[I];
YA:=YQ[I]-Y;
F:=SQR(XE)+SQR(YA)+SQR(ZE);
KE:=Y+YQ[I];
DA:=SQR(XE)+SQR(KE)+SQR(ZE);
EXRE[I]:=P[I,S]*KSA*XE*((1/F)-(1/DA));
EXLE[I]:=L[I,S]*KSA*XE*((1/F)-(1/DA));
EYRE[I]:=P[I,S]*KSA*((YE/F)-(KE/DA));
EYLE[I]:=L[I,S]*KSA*((YE/F)-(KE/DA));
EZRE[I]:=P[I,S]*KSA*ZE*((1/F)-(1/DA));
EZLE[I]:=L[I,S]*KSA*ZE*((1/F)-(1/DA));
HXRE[I]:=IR[I]*(YA/F)*PIR;
HYRE[I]:=IR[I]*(XE/F)*PIR;
HXLE[I]:=IL[I]*(YA/F)*PIR;
HYLE[I]:=IL[I]*(XE/F)*PIR;
HXR:=HXR+HXRE[I];
HXL:=HXL+HXLE[I];
HYR:=HYR+HYRE[I];
HYL:=HYL+HYLE[I];
HX:=SQRT(SQR(HXR)+SQR(HXL));
HY:=SQRT(SQR(HYR)+SQR(HYL));
EXR:=EXR+EXRE[I];
EXL:=EXL+EXLE[I];
EYR:=EYR+EYRE[I];
EYL:=EYL+EYLE[I];
EZR:=EZR+EZRE[I];
EZL:=EZL+EZLE[I];
EX:=SQRT(SQR(EXR)+SQR(EXL));
EY:=SQRT(SQR(EYR)+SQR(EYL));
EZ:=SQRT(SQR(EZR)+SQR(EZL));
EB:=SQRT(SQR(EX)+SQR(EY)+SQR(EZ)); { Bileske E = kV/m }
HB:=SQRT(SQR(HX)+SQR(HY)); { BILESKE H = A/m }

END;
WRITELN(DOSY01,' ',EB:7:3);{EKRANLAMA ETKISINDEN ONCEKI DEGERLERİ
DOSYAYA YAZAR}
WRITELN(DOSY101,' ',HB:7:3);
```

```
IF (A<75) AND (DS=2) THEN
  BEGIN
    R1:=SQRT(SQR(EE-DX1)+SQR(A));
    R2:=SQRT(SQR(EE-DX2)+SQR(A));
    EBS:=EB*(1-EXP(-R1/(YD/3)));
    EB:=EBS*(1-EXP(-R2/(YD/3)));
  END;
IF (A<75) AND (DS=1) THEN
  BEGIN
    R1:=SQRT(SQR(EE)+SQR(A));
    EB:=EB*(1-EXP(-R1/(YD/3)));
  END;
IF (A>MU-75) AND (DS=2) THEN
  BEGIN
    R1:=SQRT(SQR(EE-DX1)+SQR(MU-A));
    R2:=SQRT(SQR(EE-DX2)+SQR(MU-A));
    EBS:=EB*(1-EXP(-R1/(YDS/3)));
    EB:=EBS*(1-EXP(-R2/(YDS/3)));
  END;
IF (A>MU-75) AND (DS=1) THEN
  BEGIN
    R1:=SQRT(SQR(EE)+SQR(MU-A));
    EB:=EB*(1-EXP(-R1/(YDS/3)));
  END;
IF SOR='2' THEN BEGIN
  WRITELN(DOSY111,' ',EB:7:3); { EKRANLAMA ETKISINDEN SONRAKİ
  DEGERLERİ DOSYAYA YAZAR}
END;
IF (SOR='2') AND (EE>=0) THEN BEGIN
  WRITELN(DOSYA,EE,' ',EX:7:3,' ',EY:7:3,' ',EZ:7:3,' ',EB:7:3,' ',HX:7:3,' ',HY:7:3,
  ',HB:7:3);
END;

IF (SOR='2') AND (EE>=0) THEN BEGIN
  EX:=EX*1000; EY:=EY*1000; EZ:=EZ*1000;
  WRITELN(DOSYAI,EX:7:3,' ',EY:7:3,' ',EZ:7:3,' ',HX:7:3,' ',HY:7:3);
END;
IF SOR='2' THEN BEGIN
  EB:=EB*10; HB:=HB*10;
  EB1:=ROUND(EB); HB1:=ROUND(HB);
  WRITELN(DOSY,' ',EB1:6,' ',HB1:5:0);
END;
IF SOR='1' THEN BEGIN
  WRITE(DOSYAEA,".EB:5:2);
  WRITE(DOSYAMA,".HB:5:1);
  IF A<51 THEN BEGIN
    WRITE(DOSY1,".EB:5:2);
    WRITE(DOSY11,".HB:5:1);
  END;
```

```
IF (A>51) AND (A<101) THEN BEGIN
  WRITE(DOSY2,".EB:5:2);
  WRITE(DOSY21,".HB:5:1);
  END;
  IF (A>101) AND (A<151) THEN BEGIN
    WRITE(DOSY3,".EB:5:2);
    WRITE(DOSY31,".HB:5:1);
    END;
    IF (A>151) AND (A<201) THEN BEGIN
      WRITE(DOSY4,".EB:5:2);
      WRITE(DOSY41,".HB:5:1);
      END;
      IF (A>201) AND (A<251) THEN BEGIN
        WRITE(DOSY5,".EB:5:2);
        WRITE(DOSY51,".HB:5:1);
        END;
        IF (A>251) AND (A<301) THEN BEGIN
          WRITE(DOSY6,".EB:5:2);
          WRITE(DOSY61,".HB:5:1);
          END;
          IF (A>301) AND (A<351) THEN BEGIN
            WRITE(DOSY7,".EB:5:2);
            WRITE(DOSY71,".HB:5:1);
            END;
            IF (A>351) AND (A<401) THEN BEGIN
              WRITE(DOSY8,".EB:5:2);
              WRITE(DOSY81,".HB:5:1);
              END;
              IF (A>401) AND (A<451) THEN BEGIN
                WRITE(DOSY9,".EB:5:2);
                WRITE(DOSY91,".HB:5:1);
                END;
                END;
                END;CLOSE(DOSY01);CLOSE(DOSY111);
                CLOSE(DOSY101);
                CLOSE(DOSYA);
                END; {Procedure UCBOYUT_ALAN'in END 'i}
```

```
PROCEDURE UCDVERI_KOOR;
  BEGIN
    FOR I:=1 TO N DO BEGIN
      P[I,S]:=GER[I,S];
      L[I,S]:=GEL[I,S];
      IR[I]:=AK[I];
      IL[I]:=AL[I];
    END;
    YF:=YFF[A];
    ZT:=ZTQ[A];
    FOR I:=1 TO N DO
```

```
BEGIN
ZQ[I]:=ZT;
END;
FOR I:=1 TO N-KTS DO
BEGIN
YQ[I]:=YF;
END;
FOR I:=FTS+1 TO N DO
BEGIN
YQ[I]:=YF+KT;
END;
FOR I:=1 TO N-KTS DO
BEGIN
XS[I]:=XQ[I];
YS[I]:=YQ[I]-YRC;
ZS[I]:=ZQ[I];
YK[I]:=YQ[I];
XK[I]:=XQ[I]+YRC;
ZK[I]:=ZQ[I];
END;
FOR I:=FTS+1 TO N DO
BEGIN
XS[I]:=XQ[I];
YS[I]:=YQ[I]-KYR;
ZS[I]:=ZQ[I];
YK[I]:=YQ[I];
XK[I]:=XQ[I]+KYR;
ZK[I]:=ZQ[I];
END;
END;{ PROCEDURE UCDVERIKOOR'UN END'}
```

PROCEDURE YAKINTEL_OKU;
BEGIN
ASSIGN(DOSTUM,'YAKINTEL');
RESET(DOSTUM);
FOR A:=0 TO MU DO
BEGIN
READLN(DOSTUM,ZTQ[A],YFF[A]);
END; CLOSE(DOSTUM); END;

PROCEDURE DIREK_VERI;
BEGIN
CLRSCR;
GOTOXY(13,6); WRITE('SISTEM TEK HATLI ?: [1]');
GOTOXY(13,9); WRITE('SISTEM IKI PARALEL HATLI ?: [2]');
TEXTCOLOR(15); GOTOXY(13,13); WRITE(' ***** SECIMINIZ
***** (1/2) ?: ');
GOTOXY(70,13); SOUND(1200); DELAY(100); NOSOUND;
TUR:=READKEY;

```
IF TUR='1' THEN BEGIN
  DS:=1;
  TEXTCOLOR(15);GOTOXY(13,15);WRITE('HAT BASI DIREKTE EN ALCAK FAZ
ILETKENININ YUKSEKLIGI ?:');
  TEXTCOLOR(15);GOTOXY(13,17);WRITE('HAT SONU DIREKTE EN ALCAK
FAZ ILETKENININ YUKSEKLIGI ?:');

  TEXTCOLOR(14);GOTOXY(75,15);READLN(YD);GOTOXY(75,17);READLN(YDS);
  SOUND(1200);  DELAY(100);  NOSOUND;
  END;
IF TUR='2'THEN BEGIN
  DS:=2;
  TEXTCOLOR(15);
    GOTOXY(13,15); WRITE('1.DIREK X KOORDINATI           ?:');
    GOTOXY(13,17); WRITE('2.DIREK X KOORDINATI           ?:');
    GOTOXY(13,19);WRITE('HATBASI DIREKTE EN ALCAK FAZ ILETKENININ
YUKSEKLIGI ?:');
    GOTOXY(13,21);WRITE('HATSONU DIREKTE EN ALCAK FAZ ILETKENININ
YUKSEKLIGI ?:');
    TEXTCOLOR(11);
    GOTOXY(70,15);READLN(DX1);GOTOXY(70,17);READLN(DX2);
    GOTOXY(75,19);READLN(YD);GOTOXY(75,21);READLN(YDS);
    SOUND(1200);  DELAY(100);  NOSOUND;
    END;
END;{PROSEDURUN ENDI}
```

```
PROCEDURE MENZIL_ALAN;
LABEL 30;
BEGIN

  ASSIGN(DOSYAIC,'CEYLAN');  REWRITE(DOSYAIC);
  ASSIGN(DOSYAEA,'ea.m');   REWRITE(DOSYAEA);
  ASSIGN(DOSYAMA,'ma.m');   REWRITE(DOSYAMA);
  ASSIGN(DOSYA,NNN);        REWRITE(DOSYA);
  WRITE(DOSYAEA,'EA=');WRITE(DOSYAMA,'J=');
  UCBOYUT_VERI;
  KT:=YQ[N]-YQ[1];
  YAKINTEL_OKU;
  DIREK_VERI;
  CLRSCR;
  GOTOXY(13,6); WRITE('IKI DIREK ARASINDAKI MENZIL BOYUNCA');
  GOTOXY(13,7); WRITE('UC BOYUTLU EM ALAN HESABI      ?: [1]');
  GOTOXY(13,9); WRITE('IKI DIREK ARASINDAKI MENZIL ICINDE');
  GOTOXY(13,10); WRITE('HERHANGI BIR MESAFE ICIN UC BOYUTLU');
  GOTOXY(13,11); WRITE('EM ALAN HESABI VE EGRISININ CIZIMI ?: [2]');
  TEXTCOLOR(15);GOTOXY(13,13);WRITE(' ***** SECIMINIZ
*****(1/2): ?');
  GOTOXY(65,13);READLN(SOR);
  SOUND(1200);  DELAY(100);  NOSOUND;
```

```
CASE SOR OF
'1': BEGIN
30: FOR A:=0 TO MU DO      {0..MU BUTUN MENZIL BOYUNCA HESABIN
BASLANGICI}
BEGIN
IF A=0 THEN BEGIN
  ASSIGN(DOSY1,'ea1.m');    REWRITE(DOSY1);
  ASSIGN(DOSY11,'ma1.m');   REWRITE(DOSY11);
  WRITE(DOSY1,'EA=[');    WRITE(DOSY11,'J=[');
END;
IF A=51 THEN BEGIN
CLOSE(DOSY1); CLOSE(DOSY11);
  ASSIGN(DOSY2,'ea2.m');    REWRITE(DOSY2);
  ASSIGN(DOSY21,'ma2.m');   REWRITE(DOSY21);
  WRITE(DOSY2,'EA=[');    WRITE(DOSY21,'J=[');
END;
IF A=101 THEN BEGIN
CLOSE(DOSY2); CLOSE(DOSY21);
  ASSIGN(DOSY3,'ea3.m');    REWRITE(DOSY3);
  ASSIGN(DOSY31,'ma3.m');   REWRITE(DOSY31);
  WRITE(DOSY3,'EA=[');    WRITE(DOSY31,'J=[');
END;
IF A=151 THEN BEGIN
CLOSE(DOSY3); CLOSE(DOSY31);
  ASSIGN(DOSY4,'ea4.m');    REWRITE(DOSY4);
  ASSIGN(DOSY41,'ma4.m');   REWRITE(DOSY41);
  WRITE(DOSY4,'EA=[');    WRITE(DOSY41,'J=[');
END;
IF A=201 THEN BEGIN
CLOSE(DOSY4); CLOSE(DOSY41);
  ASSIGN(DOSY5,'ea5.m');    REWRITE(DOSY5);
  ASSIGN(DOSY51,'ma5.m');   REWRITE(DOSY51);
  WRITE(DOSY5,'EA=[');    WRITE(DOSY51,'J=[');
END;
IF A=251 THEN BEGIN
CLOSE(DOSY5); CLOSE(DOSY51);
  ASSIGN(DOSY6,'ea6.m');    REWRITE(DOSY6);
  ASSIGN(DOSY61,'ma6.m');   REWRITE(DOSY61);
  WRITE(DOSY6,'EA=[');    WRITE(DOSY61,'J=[');
END;
IF A=301 THEN BEGIN
CLOSE(DOSY6); CLOSE(DOSY61);
  ASSIGN(DOSY7,'ea7.m');    REWRITE(DOSY7);
  ASSIGN(DOSY71,'ma7.m');   REWRITE(DOSY71);
  WRITE(DOSY7,'EA=[');    WRITE(DOSY71,'J=[');
END;
IF A=351 THEN BEGIN
CLOSE(DOSY7); CLOSE(DOSY71);
  ASSIGN(DOSY8,'ea8.m');    REWRITE(DOSY8);

```

```
ASSIGN(DOSY81,'ma8.m');    REWRITE(DOSY81);
WRITE(DOSY8,'EA=[');    WRITE(DOSY81,'J=]');
END;
IF A=401 THEN BEGIN
CLOSE(DOSY8); CLOSE(DOSY81);
ASSIGN(DOSY9,'ea9.m');    REWRITE(DOSY9);
ASSIGN(DOSY91,'ma9.m');    REWRITE(DOSY91);
WRITE(DOSY9,'EA=[');    WRITE(DOSY91,'J=]');
END;
IF A=451 THEN BEGIN
CLOSE(DOSY9); CLOSE(DOSY91);
ASSIGN(DOSY10,'ea10.m');    REWRITE(DOSY10);
ASSIGN(DOSY101,'ma10.m');    REWRITE(DOSY101);
WRITE(DOSY10,'EA=[');    WRITE(DOSY101,'J=]');
END;
IF A=501 THEN BEGIN
CLOSE(DOSY10); CLOSE(DOSY101);
ASSIGN(DOSY01,'ea11.m');    REWRITE(DOSY01);
ASSIGN(DOSY111,'ma111.m');    REWRITE(DOSY111);
WRITE(DOSY01,'EA=[');    WRITE(DOSY111,'J=]');
END;
UCDVERI_KOOR;
POTKAT_3D;
GAUSS_JORDAN;
UCBOYUT_ALAN;
WRITELN(DOSYAEA,'.');//WRITELN(DOSYAMA,'.');
IF A<51 THEN BEGIN
WRITELN(DOSY1,'.');//WRITELN(DOSY11,'.');
END;
IF (A>50) AND (A<101) THEN BEGIN
WRITELN(DOSY2,'.');//WRITELN(DOSY21,'.');
END;
IF (A>100) AND (A<151) THEN BEGIN
WRITELN(DOSY3,'.');//WRITELN(DOSY31,'.');
END;
IF (A>150) AND (A<201) THEN BEGIN
WRITELN(DOSY4,'.');//WRITELN(DOSY41,'.');
END;
IF (A>200) AND (A<251) THEN BEGIN
WRITELN(DOSY5,'.');//WRITELN(DOSY51,'.');
END;
IF (A>250) AND (A<301) THEN BEGIN
WRITELN(DOSY6,'.');//WRITELN(DOSY61,'.');
END;
IF (A>300) AND (A<351) THEN BEGIN
WRITELN(DOSY7,'.');//WRITELN(DOSY71,'.');
END;
IF (A>350) AND (A<401) THEN BEGIN
WRITELN(DOSY8,'.');//WRITELN(DOSY81,'.');
```

```
END;
IF (A>400) AND (A<451) THEN BEGIN
WRITELN(DOSY9,'');WRITELN(DOSY91,'');
END;
IF (A>450) AND (A<501) THEN BEGIN
WRITELN(DOSY10,'');WRITELN(DOSY101,'');
END;
IF (A>500) AND (A<551) THEN BEGIN
WRITELN(DOSY01,'');WRITELN(DOSY111,'');
END; END;
WRITE(DOSYAEA,'] ');WRITE(DOSYAMA,'] ');
CLOSE(DOSYAEA);CLOSE(DOSYAMA);
END;
'2': BEGIN
REPEAT
GOTOXY(13,15);WRITE('EM ALAN HESABI YAPILACAK METRE : ?');
GOTOXY(55,15);READLN(A);
UCDVERI_KOOR;
POTKAT_3D;
GAUSS_JORDAN;
ASSIGN(DOSY,'CIZ1');
REWRITE(DOSY);
UCBOYUT_ALAN;
CLOSE(DOSY);
CIZDIR;
TEXTBACKGROUND(1); TEXTCOLOR(14);GOTOXY(13,13);
WRITE('BASKA MESADEFEDI EM ALAN EGRISINI GORMEK ISTERMISINIZ
?:(E/H) ');
SOUND(1200);DELAY(100);NOSOUND;TUS1:=READKEY;
UNTIL (TUS1 IN['h','H']);
END;
END; {CASE'IN END'I}
TEXTBACKGROUND(1);
TEXTCOLOR(14);
GOTOXY(13,15);WRITE('BUTUN MENZIL BOYUNCA EM ALAN HESAPLANMASINI
ISTERMISINIZ ?: (E/H) ');
SOUND(1200);
DELAY(100);
NOSOUND;
TUS1:=READKEY;
IF (TUS1='E') OR (TUS1='e') THEN GOTO 30;
{ CLOSE(DOSYA);}
END;{PROCEDURE}

PROCEDURE BARMENU;
BEGIN
TEXTCOLOR(11);TEXTBACKGROUND(1);
GOTOXY(20,11);WRITE(NR);
GOTOXY(20,13);WRITE(NRO);
```

```
GOTOXY(20,15);WRITE(NRS);
BEGIN
Y7:=11;
REPEAT
VH:=""; FOR X:=19 TO 64 DO
BEGIN
CH:=READSCRN(X,Y7);
VH:=VH+CH;
END;
GOTOXY(19,Y7);TEXTCOLOR(14);
TEXTBACKGROUND(10);{BAND RENGI}
WRITE(VH);TEXTCOLOR(11);TEXTBACKGROUND(1);
KAR:=READKEY;
CASE KAR OF
#80 : BEGIN
GOTOXY(19,Y7);
{ TEXTCOLOR(10);TEXTBACKGROUND(11);}
WRITE(VH);
IF Y7=15 THEN
Y7:=11
ELSE
Y7:=Y7+2;
END;
#72: BEGIN
GOTOXY(19,Y7);
{ TEXTCOLOR(10);TEXTBACKGROUND(11);}
WRITE(VH);
IF Y7=11 THEN
Y7:=15
ELSE
Y7:=Y7-2;
END;
END;
UNTIL KAR=#13
END;

END; {PROCEDURE SONU}

BEGIN {***** ANA PROGRAMIN BASLANGICI *****}
REPEAT
BASLIK;
TUS:=READKEY;
TEXTCOLOR(14);TEXTBACKGROUND(1);
MENUBASI;
{ CLRSCR;}
NR:='TASIMA HATTI IKI BOYUTLU EM ALAN HESABI';
NRO:='TH MENZIL BOYUNCA UC BOYUTLU EM ALAN HESABI';
NRS:='INDUKLENEN IC ALAN HESABI';
BARMENU;
```

```
IF Y7=11 THEN BEGIN
CLRSCR;
MENUBASI;
VERIMENU;
VERI;
POTKAT;
GAUSS_JORDAN;
KONTPOT;
EMALAN;
CIZDIR;
END;
IF Y7=15 THEN BEGIN
CLRSCR;
INDUKLENEN;
END;
IF Y7=13 THEN BEGIN
CLRSCR;
TEXTCOLOR(14);TEXTBACKGROUND(1);
MENUBASI;
{ CLRSCR;}
NR:='ILETKEN VE YER KS ILE MODELLENEREK';
NRO:='ILETKEN VE YER DURUMU DOSYADAN ALINIP';
NRS:='SADECE ILETKEN VE YERIN MODELLEMESI';
BARMENU;
IF Y7=11 THEN BEGIN
CLRSCR;
MENUBASI;
SEHIM;
YAKIN_BUL;
MENUBASI;
MENZIL_ALAN;
END;
IF Y7=13 THEN BEGIN
CLRSCR;
MENZIL_ALAN;
END;
IF Y7=15 THEN BEGIN
CLRSCR;
MENUBASI;
SEHIM;
YAKIN_BUL;
END;
END;

SOUND(500);
DELAY(1000);
NOSOUND;
TEXTBACKGROUND(1);
```

```
TEXTCOLOR(14);
CLRSCR;
GOTOXY(23,13);WRITE('PROGRAMI TEKRAR KULLANMAK ISTERMISINIZ
?:(E/H) ');
TUS:=READKEY;
UNTIL (TUS IN['h','H']);
CLRSCR;EXIT;
END.
```

READSCRN.INC Dosyası

```
FUNCTION READSCRN(COL,ROW:INTEGER):CHAR;
VAR
SCREENADDRESS:WORD;
OFFSET:INTEGER;
BEGIN
IF(MEM[0000:1040] AND 48) <>48 THEN
SCREENADDRESS:=$b800
ELSE SCREENADDRESS:=$b000;
OFFSET:=((ROW-1)*160)+((COL-1)*2);
READSCRN:=CHR(MEM[SCREENADDRESS:OFFSET]);
END;
```

EK 2. Fazları Aynı Yükseklikte Olan 525 kV Hattın EM Alan Hesaplama
Sonuçları

***** Y U K D E G E R L E R I *****

q1=-1.0126936757E-11+J 1.4419205826E-11
q2=-1.0583551248E-11+J 1.4587282509E-11
q3= 1.9242314116E-11-J 4.3449909901E-13
q4= 1.9242314116E-11+J 4.3449910151E-13
q5=-1.0583551236E-11-J 1.4587282515E-11
q6=-1.0126936745E-11-J 1.4419205833E-11

**** K O N T R O L P O T A N S I Y E L L E R I ****

VK(1)=-1.5231055973E+02+J 2.6366256567E+02
VK(2)=-1.5068206502E+02+J 2.6139209028E+02
VK(3)= 3.0468563570E+02-J 1.7731417247E-01
VK(4)= 3.0166739457E+02-J 1.8104034383E-01
VK(5)=-1.5249710174E+02-J 2.6373087199E+02
VK(6)=-1.5087211972E+02-J 2.6146240209E+02

***** A L A N D E G E R L E R I *****

MESAFE **	EX **	EY **	EB **	HX **	HY **	HB **
-100	0.0015	0.0517	0.0517	0.0597	0.2346	0.2421
-95	0.0018	0.0600	0.0600	0.0695	0.2589	0.2681
-90	0.0023	0.0701	0.0702	0.0816	0.2871	0.2984
-85	0.0028	0.0828	0.0828	0.0967	0.3200	0.3342
-80	0.0036	0.0986	0.0987	0.1157	0.3587	0.3769
-75	0.0046	0.1189	0.1189	0.1399	0.4046	0.4281
-70	0.0060	0.1450	0.1452	0.1715	0.4596	0.4906
-65	0.0080	0.1795	0.1797	0.2132	0.5260	0.5676
-60	0.0108	0.2259	0.2261	0.2694	0.6070	0.6641
-55	0.0150	0.2894	0.2898	0.3469	0.7067	0.7872
-50	0.0213	0.3788	0.3794	0.4567	0.8301	0.9474
-45	0.0313	0.5081	0.5091	0.6168	0.9833	1.1608
-40	0.0474	0.7009	0.7025	0.8582	1.1722	1.4528
-35	0.0741	0.9978	1.0006	1.2361	1.3967	1.8651
-30	0.1186	1.4686	1.4733	1.8493	1.6332	2.4672
-25	0.1887	2.2236	2.2316	2.8684	1.7782	3.3749
-20	0.2698	3.3786	3.3894	4.5159	1.5096	4.7615
-15	0.2467	4.7632	4.7696	6.6758	1.1266	6.7702
-10	0.2848	5.2133	5.2210	7.6728	4.9038	9.1060
-5	0.7235	3.6772	3.7477	5.6875	9.1905	10.8080
0	0.7453	2.6401	2.7433	4.3200	10.5041	11.3577
5	0.7235	3.6772	3.7477	5.6875	9.1905	10.8080

10	0.2848	5.2133	5.2210	7.6728	4.9038	9.1060
15	0.2467	4.7632	4.7696	6.6758	1.1266	6.7702
20	0.2698	3.3786	3.3894	4.5159	1.5096	4.7615
25	0.1887	2.2238	2.2316	2.8684	1.7782	3.3749
30	0.1186	1.4686	1.4733	1.8493	1.6332	2.4672
35	0.0741	0.9978	1.0006	1.2361	1.3967	1.8651
40	0.0474	0.7009	0.7025	0.8582	1.1722	1.4528
45	0.0313	0.5081	0.5091	0.6168	0.9833	1.1608
50	0.0213	0.3788	0.3794	0.4567	0.8301	0.9474
55	0.0150	0.2894	0.2898	0.3469	0.7067	0.7872
60	0.0108	0.2259	0.2261	0.2694	0.6070	0.6641
65	0.0080	0.1795	0.1797	0.2132	0.5260	0.5676
70	0.0060	0.1450	0.1452	0.1715	0.4596	0.4906
75	0.0046	0.1189	0.1189	0.1399	0.4046	0.4281
80	0.0036	0.0986	0.0987	0.1157	0.3587	0.3769
85	0.0028	0.0828	0.0828	0.0967	0.3200	0.3342
90	0.0023	0.0701	0.0702	0.0816	0.2871	0.2984
95	0.0018	0.0600	0.0600	0.0695	0.2589	0.2681
100	0.0015	0.0517	0.0517	0.0597	0.2346	0.2421

EK 3. Fazları Farklı Yükseklikte Olan 525 kV Hattın EM Alan
Hesaplama Sonuçları

***** Y U K D E G E R L E R I *****

q1=-1.0019143365E-11+J 1.4726930634E-11
q2=-1.0371993353E-11+J 1.4822505759E-11
q3= 1.8611307112E-11-J 3.5304610103E-13
q4= 1.8608912230E-11+J 3.0925298294E-13
q5=-1.0375555809E-11-J 1.4876186545E-11
q6=-1.0027344881E-11-J 1.4781948543E-11

**** K O N T R O L P O T A N S I Y E L L E R I ****

VK(1)=-1.5230603534E+02+J 2.6372031635E+02
VK(2)=-1.5070334092E+02+J 2.6140882687E+02
VK(3)= 3.0465570983E+02-J 1.3594712413E-01
VK(4)= 3.0173937353E+02-J 1.3406687323E-01
VK(5)=-1.5244661616E+02-J 2.6376365705E+02
VK(6)=-1.5084986311E+02-J 2.6144576237E+02

***** A L A N D E G E R L E R I *****

MESAFL*	EX **	EY **	EB **	HX **	HY **	HB **
-100	0.0012	0.0399	0.0399	0.0372	0.2063	0.2096
-95	0.0015	0.0464	0.0464	0.0430	0.2284	0.2324
-90	0.0018	0.0545	0.0545	0.0501	0.2542	0.2591
-85	0.0023	0.0646	0.0646	0.0589	0.2846	0.2907
-80	0.0029	0.0774	0.0774	0.0701	0.3208	0.3284
-75	0.0038	0.0938	0.0939	0.0844	0.3644	0.3740
-70	0.0050	0.1153	0.1154	0.1031	0.4174	0.4299
-65	0.0067	0.1440	0.1441	0.1280	0.4826	0.4993
-60	0.0092	0.1831	0.1834	0.1620	0.5643	0.5871
-55	0.0131	0.2380	0.2384	0.2097	0.6681	0.7003
-50	0.0193	0.3174	0.3180	0.2788	0.8027	0.8497
-45	0.0296	0.4367	0.4377	0.3830	0.9807	1.0529
-40	0.0476	0.6240	0.6258	0.5477	1.2216	1.3388
-35	0.0813	0.9346	0.9381	0.8241	1.5538	1.7588
-30	0.1487	1.4842	1.4916	1.3229	2.0149	2.4104
-25	0.2911	2.5283	2.5450	2.3052	2.6204	3.4900
-20	0.5767	4.6132	4.6492	4.3990	3.1418	5.4057
-15	0.8121	8.3211	8.3607	8.5665	2.0285	8.8034
-10	0.5840	10.4039	10.4203	11.4477	6.0329	12.9401
-5	1.6781	6.3209	6.5399	7.1206	12.5969	14.4701
0	1.1687	6.0488	6.1607	7.2008	12.7106	14.6086
5	1.7261	6.4152	6.6433	7.1389	12.8055	14.6610

10	0.5842	10.7688	10.7846	11.7851	6.0271	13.2369
15	0.8635	8.4768	8.5207	8.6651	2.2462	8.9515
20	0.5911	4.6110	4.6487	4.3516	3.2873	5.4537
25	0.2925	2.4962	2.5133	2.2481	2.6919	3.5072
30	0.1477	1.4532	1.4607	1.2774	2.0527	2.4177
35	0.0802	0.9093	0.9128	0.7894	1.5757	1.7624
40	0.0467	0.6038	0.6056	0.5210	1.2353	1.3407
45	0.0289	0.4205	0.4215	0.3621	0.9899	1.0540
50	0.0188	0.3042	0.3048	0.2620	0.8091	0.8505
55	0.0127	0.2271	0.2275	0.1960	0.6728	0.7007
60	0.0089	0.1740	0.1742	0.1506	0.5678	0.5874
65	0.0064	0.1362	0.1363	0.1184	0.4853	0.4996
70	0.0048	0.1086	0.1087	0.0949	0.4195	0.4301
75	0.0036	0.0880	0.0881	0.0773	0.3661	0.3742
80	0.0028	0.0723	0.0723	0.0639	0.3222	0.3285
85	0.0022	0.0601	0.0601	0.0535	0.2858	0.2908
90	0.0017	0.0505	0.0505	0.0453	0.2552	0.2592
95	0.0014	0.0428	0.0429	0.0388	0.2292	0.2324
100	0.0011	0.0367	0.0367	0.0335	0.2070	0.2097

EK 4. 765 kV Hattin EM Alan Hesaplama Sonuçları

***** Y U K D E G E R L E R I *****

q1= 5.3037876761E-11-J 4.5793201718E-12
q2=-2.8385629819E-11+J 4.9165353019E-11
q3=-2.2553130753E-11-J 4.8221808736E-11

***** K O N T R O L P O T A N S I Y E L L E R I *****

VK(1)= 4.4122437688E+02+J 6.5633062623E-01
VK(2)=-2.2212170797E+02+J 3.8180723685E+02
VK(3)=-2.2081565978E+02-J 3.8337701538E+02

***** A L A N D E G E R L E R I *****

MESAFE ** EX ** EY ** EB ** HX ** HY ** HB **

-100	0.0059	0.1337	0.1338	0.0437	0.1554	0.1614
-95	0.0073	0.1556	0.1558	0.0510	0.1715	0.1789
-90	0.0090	0.1827	0.1829	0.0600	0.1901	0.1994
-85	0.0113	0.2164	0.2167	0.0713	0.2119	0.2236
-80	0.0144	0.2589	0.2593	0.0856	0.2375	0.2524
-75	0.0186	0.3133	0.3139	0.1039	0.2678	0.2873
-70	0.0243	0.3841	0.3849	0.1278	0.3041	0.3299
-65	0.0325	0.4778	0.4789	0.1596	0.3477	0.3826
-60	0.0443	0.6041	0.6057	0.2029	0.4005	0.4490
-55	0.0618	0.7782	0.7807	0.2631	0.4648	0.5341
-50	0.0884	1.0241	1.0279	0.3490	0.5430	0.6455
-45	0.1297	1.3803	1.3864	0.4756	0.6368	0.7947
-40	0.1947	1.9095	1.9194	0.6678	0.7444	1.0001
-35	0.2962	2.7112	2.7273	0.9686	0.8525	1.2903
-30	0.4415	3.9257	3.9505	1.4457	0.9124	1.7095
-25	0.5858	5.6626	5.6928	2.1746	0.7927	2.3146
-20	0.5189	7.6416	7.6592	3.0861	0.5267	3.1307
-15	0.4247	8.5155	8.5260	3.5897	1.8038	4.0174
-10	1.2509	6.9670	7.0784	2.9947	3.5675	4.6578
-5	1.4375	5.4862	5.6714	2.3840	4.3450	4.9560
0	1.1370	5.8129	5.9231	2.5484	4.3491	5.0408
5	1.4375	5.4862	5.6714	2.3835	4.3453	4.9560
10	1.2509	6.9670	7.0784	2.9942	3.5678	4.6577
15	0.4247	8.5155	8.5260	3.5893	1.8041	4.0172
20	0.5189	7.6416	7.6592	3.0858	0.5266	3.1304
25	0.5858	5.6626	5.6928	2.1744	0.7923	2.3143
30	0.4415	3.9257	3.9505	1.4456	0.9120	1.7092
35	0.2962	2.7112	2.7273	0.9684	0.8522	1.2900
40	0.1947	1.9095	1.9194	0.6677	0.7442	0.9998
45	0.1297	1.3803	1.3864	0.4755	0.6365	0.7945

50	0.0884	1.0241	1.0279	0.3490	0.5428	0.6453
55	0.0618	0.7782	0.7807	0.2630	0.4646	0.5339
60	0.0443	0.6041	0.6057	0.2029	0.4003	0.4488
65	0.0325	0.4778	0.4789	0.1596	0.3475	0.3824
70	0.0243	0.3841	0.3849	0.1278	0.3039	0.3297
75	0.0186	0.3133	0.3139	0.1039	0.2677	0.2871
80	0.0144	0.2589	0.2593	0.0855	0.2374	0.2523
85	0.0113	0.2164	0.2167	0.0713	0.2117	0.2234
90	0.0090	0.1827	0.1829	0.0600	0.1900	0.1992
95	0.0073	0.1556	0.1558	0.0510	0.1713	0.1788
100	0.0059	0.1337	0.1338	0.0437	0.1553	0.1613

EK 5. Altı Fazlı Hat İçin EM Alan Hesaplama Sonuçları

***** Y U K D E G E R L E R I *****

q1= 2.5843598172E-11-J 9.7572905118E-13
q2= 1.3073508766E-11-J 2.3795775611E-11
q3=-1.3073508739E-11-J 2.3795775630E-11
q4=-2.5843598176E-11-J 9.7572906063E-13
q5=-1.2823722281E-11+J 2.1385748203E-11
q6= 1.2823722269E-11+J 2.1385748208E-11

**** K O N T R O L P O T A N S I Y E L L E R I ****

VK(1)= 2.8912372276E+02+J 5.5599528947E-01
VK(2)= 1.4511937642E+02-J 2.4992476294E+02
VK(3)=-1.4427099974E+02-J 2.5031002228E+02
VK(4)=-2.8889311174E+02+J 5.2076391131E-01
VK(5)=-1.4386995641E+02+J 2.5070455293E+02
VK(6)= 1.4475782635E+02+J 2.5035191209E+02

***** A L A N D E G E R L E R I *****

MESAFE	EX	EY	EB	HX	HY	HB
-100	0.0000	0.1330	0.1330	0.2147	0.2148	0.3037
-95	0.0000	0.1472	0.1472	0.2373	0.2374	0.3356
-90	0.0000	0.1638	0.1638	0.2635	0.2637	0.3728
-85	0.0000	0.1834	0.1834	0.2944	0.2945	0.4164
-80	0.0000	0.2068	0.2068	0.3309	0.3310	0.4680
-75	0.0000	0.2348	0.2348	0.3745	0.3746	0.5297
-70	0.0000	0.2689	0.2689	0.4271	0.4273	0.6042
-65	0.0000	0.3110	0.3110	0.4915	0.4916	0.6952
-60	0.0000	0.3635	0.3635	0.5712	0.5713	0.8079
-55	0.0000	0.4305	0.4305	0.6714	0.6714	0.9495
-50	0.0000	0.5174	0.5174	0.7993	0.7992	1.1303
-45	0.0000	0.6327	0.6327	0.9659	0.9655	1.3657
-40	0.0000	0.7899	0.7899	1.1874	1.1863	1.6785
-35	0.0000	1.0106	1.0106	1.4885	1.4863	2.1035
-30	0.0000	1.3306	1.3306	1.9073	1.9038	2.6949
-25	0.0000	1.8098	1.8098	2.5016	2.4991	3.5360
-20	0.0000	2.5466	2.5466	3.3517	3.3642	4.7489
-15	0.0000	3.6936	3.6936	4.5546	4.6071	6.4784
-10	0.0000	5.4393	5.4393	6.2150	6.1782	8.7634
-5	0.0000	7.4228	7.4228	7.9525	7.7397	11.0971
0	0.0000	8.1190	8.1190	8.3871	8.7701	12.1350
5	0.0000	7.4228	7.4228	7.9525	7.7397	11.0971

10	0.0000	5.4393	5.4393	6.2150	6.1782	8.7634
15	0.0000	3.6936	3.6936	4.5546	4.6071	6.4784
20	0.0000	2.5466	2.5466	3.3517	3.3642	4.7489
25	0.0000	1.8098	1.8098	2.5016	2.4991	3.5360
30	0.0000	1.3306	1.3306	1.9073	1.9038	2.6949
35	0.0000	1.0106	1.0106	1.4885	1.4863	2.1035
40	0.0000	0.7899	0.7899	1.1874	1.1863	1.6785
45	0.0000	0.6327	0.6327	0.9659	0.9655	1.3657
50	0.0000	0.5174	0.5174	0.7993	0.7992	1.1303
55	0.0000	0.4305	0.4305	0.6714	0.6714	0.9495
60	0.0000	0.3635	0.3635	0.5712	0.5713	0.8079
65	0.0000	0.3110	0.3110	0.4915	0.4916	0.6952
70	0.0000	0.2689	0.2689	0.4271	0.4273	0.6042
75	0.0000	0.2348	0.2348	0.3745	0.3746	0.5297
80	0.0000	0.2068	0.2068	0.3309	0.3310	0.4680
85	0.0000	0.1834	0.1834	0.2944	0.2945	0.4164
90	0.0000	0.1638	0.1638	0.2635	0.2637	0.3728
95	0.0000	0.1472	0.1472	0.2373	0.2374	0.3356
100	0.0000	0.1330	0.1330	0.2147	0.2148	0.3037

EK 6. Oniki Fazlı Hat İçin EM Alan Hesaplama Sonuçları

***** Y U K D E G E R L E R I *****

q1= 1.5452496992E-11+J 5.2711019326E-12
q2= 1.5703248105E-11+J 3.3745416838E-12
q3= 1.2750372897E-11+J 1.2385274761E-11
q4= 1.4754118812E-11+J 1.0058220084E-11
q5= 7.1862878915E-12+J 1.5112676098E-11
q6= 8.8218338160E-12+J 1.5519910918E-11
q7=-4.2294329127E-14+J 1.7585150341E-11
q8=-3.3138911700E-14+J 1.7908648708E-11
q9=-7.3009157210E-12+J 1.4588649060E-11
q10=-8.8992382154E-12+J 1.5078371569E-11
q11=-1.3628401627E-11+J 9.8595894044E-12
q12=-1.5346258851E-11+J 8.1431005275E-12
q13=-1.5573670434E-11+J 1.7603408140E-12
q14=-1.6487764748E-11-J 6.0034798474E-13
q15=-1.4326148922E-11-J 6.4960977779E-12
q16=-1.4249582881E-11-J 9.1939566980E-12
q17=-8.0305384609E-12-J 1.2768163015E-11
q18=-7.3501174654E-12-J 1.4010836985E-11
q19= 7.2758607880E-13-J 1.5405419368E-11
q20= 8.1344191846E-13-J 1.7025963929E-11
q21= 1.0356734105E-11-J 1.3079509255E-11
q22= 1.0232311213E-11-J 1.4434963770E-11
q23= 1.1472569220E-11-J 1.4969677760E-11
q24= 1.1256475806E-11-J 1.8690451434E-11

***** K O N T R O L P O T A N S I Y E L L E R I *****

VK(1)= 4.5913837867E+02-J 5.8509484062E-01
VK(2)= 4.6328920839E+02+J 3.8119176088E-01
VK(3)= 3.9888658449E+02+J 2.2825783957E+02
VK(4)= 4.0244748337E+02+J 2.3118868158E+02
VK(5)= 2.3078992016E+02+J 3.9731892246E+02
VK(6)= 2.3285554224E+02+J 4.0139253585E+02
VK(7)= 9.7575539199E-01+J 4.5917847657E+02
VK(8)= 9.3740017468E-01+J 4.6393430908E+02
VK(9)=-2.2952664502E+02+J 3.9821570733E+02
VK(10)=-2.3169022821E+02+J 4.0219006695E+02
VK(11)=-3.9782111489E+02+J 2.2936934327E+02
VK(12)=-4.0166399113E+02+J 2.3177470720E+02
VK(13)=-4.5975862014E+02-J 7.4484274484E-01
VK(14)=-4.6396819381E+02-J 5.6832417689E-01
VK(15)=-3.9740337814E+02-J 2.3079305801E+02
VK(16)=-4.0110327859E+02-J 2.3286373290E+02
VK(17)=-2.2901369565E+02-J 3.9865596952E+02

VK(18)=-2.3097714799E+02-J 4.0222648577E+02
VK(19)= 7.8646416374E-01-J 4.5979833973E+02
VK(20)= 1.0142448114E+00-J 4.6415134752E+02
VK(21)= 2.2977105770E+02-J 3.9781664476E+02
VK(22)= 2.3248761328E+02-J 4.0150281294E+02
VK(23)= 3.9912550875E+02-J 2.2914274411E+02
VK(24)= 4.0218107238E+02-J 2.3364789301E+02

***** ALAN DEGERLERİ *****

MESAFE	EX	EY	EB	HX	HY	HB
-100	0.0000	0.3920	0.3920	0.6223	0.5980	0.8630
-95	0.0000	0.4330	0.4330	0.6852	0.6566	0.9490
-90	0.0000	0.4806	0.4806	0.7578	0.7241	1.0481
-85	0.0000	0.5363	0.5363	0.8420	0.8022	1.1630
-80	0.0000	0.6019	0.6019	0.9403	0.8933	1.2970
-75	0.0000	0.6798	0.6798	1.0560	1.0001	1.4544
-70	0.0000	0.7732	0.7732	1.1928	1.1265	1.6406
-65	0.0000	0.8863	0.8863	1.3560	1.2771	1.8627
-60	0.0000	1.0245	1.0245	1.5519	1.4584	2.1296
-55	0.0000	1.1952	1.1952	1.7889	1.6784	2.4530
-50	0.0000	1.4085	1.4085	2.0772	1.9480	2.8477
-45	0.0000	1.6777	1.6777	2.4298	2.2813	3.3329
-40	0.0000	2.0209	2.0209	2.8619	2.6967	3.9323
-35	0.0000	2.4611	2.4611	3.3902	3.2172	4.6738
-30	0.0000	3.0263	3.0263	4.0298	3.8694	5.5867
-25	0.0000	3.7447	3.7447	4.7874	4.6769	6.6927
-20	0.0000	4.6305	4.6305	5.6499	5.6448	7.9866
-15	0.0000	5.6510	5.6510	6.5654	6.7280	9.4005
-10	0.0000	6.6736	6.6736	7.4235	7.7928	10.7628
-5	0.0000	7.4453	7.4453	8.0701	8.5961	11.7906
0	0.0000	7.6997	7.6997	8.3850	8.8415	12.1853
5	0.0000	7.3360	7.3360	8.3014	8.4007	11.8104
10	0.0000	6.4839	6.4839	7.7801	7.4805	10.7930
15	0.0000	5.4175	5.4175	6.9111	6.4163	9.4304
20	0.0000	4.3821	4.3821	5.8952	5.4226	8.0099
25	0.0000	3.5004	3.5004	4.9100	4.5708	6.7082
30	0.0000	2.7980	2.7980	4.0506	3.8607	5.5957
35	0.0000	2.2552	2.2552	3.3430	3.2727	4.6783
40	0.0000	1.8397	1.8397	2.7765	2.7870	3.9339
45	0.0000	1.5209	1.5209	2.3272	2.3859	3.3329
50	0.0000	1.2740	1.2740	1.9705	2.0546	2.8468
55	0.0000	1.0804	1.0804	1.6854	1.7804	2.4516
60	0.0000	0.9266	0.9266	1.4555	1.5525	2.1281
65	0.0000	0.8027	0.8027	1.2680	1.3624	1.8611
70	0.0000	0.7017	0.7017	1.1136	1.2027	1.6391
75	0.0000	0.6183	0.6183	0.9852	1.0679	1.4529
80	0.0000	0.5488	0.5488	0.8774	0.9534	1.2956

85	0.0000	0.4903	0.4903	0.7860	0.8555	1.1618
90	0.0000	0.4406	0.4406	0.7080	0.7713	1.0470
95	0.0000	0.3980	0.3980	0.6409	0.6986	0.9480
100	0.0000	0.3613	0.3613	0.5828	0.6353	0.8621

**EK 7. 66 kV Ereğli-Kandilli Çift Devre Üç Fazlı Sistem İçin
EM Alan Hesaplama Sonuçları**

***** Y U K D E G E R L E R I *****

q1= 3.2177476363E-12-J 2.8828016520E-13
q2=-1.7452115899E-12+J 3.0140080851E-12
q3=-1.3085711226E-12-J 2.8394330813E-12
q4= 3.2177476363E-12-J 2.8828016520E-13
q5=-1.7452115899E-12+J 3.0140080851E-12
q6=-1.3085711226E-12-J 2.8394330813E-12
q7= 3.6245360292E-13+J 3.6172758026E-13

**** K O N T R O L P O T A N S I Y E L L E R I ****

VK(1)= 3.8093896188E+01+J 4.0868000133E-03
VK(2)=-1.9065871645E+01+J 3.2984129030E+01
VK(3)=-1.9050891286E+01-J 3.3009356486E+01
VK(4)= 3.8086347799E+01+J 7.3264062203E-03
VK(5)=-1.9070073909E+01+J 3.2988037657E+01
VK(6)=-1.9050518306E+01-J 3.3002795585E+01
VK(7)= 2.3681782986E-03+J 2.8336419200E-03

***** A L A N D E G E R L E R I *****

MESAFE ** EX ** EY ** EB ** HX ** HY ** HB **

-100	0.0001	0.0064	0.0064	0.0462	0.0103	0.0473
-95	0.0001	0.0071	0.0071	0.0510	0.0120	0.0524
-90	0.0002	0.0079	0.0079	0.0566	0.0141	0.0583
-85	0.0002	0.0087	0.0087	0.0631	0.0166	0.0653
-80	0.0002	0.0098	0.0098	0.0708	0.0199	0.0736
-75	0.0003	0.0110	0.0110	0.0800	0.0240	0.0835
-70	0.0003	0.0125	0.0125	0.0910	0.0294	0.0956
-65	0.0004	0.0142	0.0143	0.1044	0.0365	0.1106
-60	0.0005	0.0164	0.0164	0.1208	0.0459	0.1292
-55	0.0006	0.0190	0.0190	0.1412	0.0590	0.1530
-50	0.0007	0.0222	0.0222	0.1668	0.0774	0.1839
-45	0.0009	0.0261	0.0261	0.1993	0.1041	0.2249
-40	0.0010	0.0308	0.0309	0.2411	0.1443	0.2810
-35	0.0012	0.0363	0.0364	0.2948	0.2071	0.3602
-30	0.0011	0.0419	0.0419	0.3621	0.3098	0.4766
-25	0.0008	0.0449	0.0449	0.4394	0.4862	0.6553
-20	0.0050	0.0358	0.0362	0.4974	0.8019	0.9437
-15	0.0203	0.0234	0.0310	0.4153	1.3656	1.4273
-10	0.0604	0.2063	0.2149	0.4061	2.1785	2.2160
-5	0.0849	0.6078	0.6137	2.2716	2.1660	3.1387
0	0.0000	0.8453	0.8453	3.4403	0.0000	3.4403

5	0.0849	0.6078	0.6137	2.2716	2.1660	3.1387
10	0.0604	0.2063	0.2149	0.4061	2.1785	2.2160
15	0.0203	0.0234	0.0310	0.4153	1.3656	1.4273
20	0.0050	0.0358	0.0362	0.4974	0.8019	0.9437
25	0.0008	0.0449	0.0449	0.4394	0.4862	0.6553
30	0.0011	0.0419	0.0419	0.3621	0.3098	0.4766
35	0.0012	0.0363	0.0364	0.2948	0.2071	0.3602
40	0.0010	0.0308	0.0309	0.2411	0.1443	0.2810
45	0.0009	0.0261	0.0261	0.1993	0.1041	0.2249
50	0.0007	0.0222	0.0222	0.1668	0.0774	0.1839
55	0.0006	0.0190	0.0190	0.1412	0.0590	0.1530
60	0.0005	0.0164	0.0164	0.1208	0.0459	0.1292
65	0.0004	0.0142	0.0143	0.1044	0.0365	0.1106
70	0.0003	0.0125	0.0125	0.0910	0.0294	0.0956
75	0.0003	0.0110	0.0110	0.0800	0.0240	0.0835
80	0.0002	0.0098	0.0098	0.0708	0.0199	0.0736
85	0.0002	0.0087	0.0087	0.0631	0.0166	0.0653
90	0.0002	0.0079	0.0079	0.0566	0.0141	0.0583
95	0.0001	0.0071	0.0071	0.0510	0.0120	0.0524
100	0.0001	0.0064	0.0064	0.0462	0.0103	0.0473

**EK 8. 154 kV Alibeykoy-Küçükköy Çift Devre Üç Fazlı Sistem İçin
EM Alan Hesaplama Sonuçları**

******* Y U K D E G E R L E R I *******

q1= 8.0906852138E-12-J 7.2432033904E-13
q2=-4.2999442350E-12+J 7.6815190619E-12
q3=-3.1590817310E-12-J 7.1766303775E-12
q4= 8.0906852138E-12-J 7.2432033904E-13
q5=-4.2999442350E-12+J 7.6815190619E-12
q6=-3.1590817310E-12-J 7.1766303774E-12
q7= 9.5996407464E-13+J 9.4673816232E-13

****** K O N T R O L P O T A N S I Y E L L E R I ******

VK(1)= 8.8889991810E+01+J 1.6499954012E-02
VK(2)=-4.4519980989E+01+J 7.6947178390E+01
VK(3)=-4.4459122195E+01-J 7.7061861357E+01
VK(4)= 8.8855835600E+01+J 2.8081029723E-02
VK(5)=-4.4532179032E+01+J 7.6968492748E+01
VK(6)=-4.4455260770E+01-J 7.7024582888E+01
VK(7)= 5.1407803403E-03+J 6.4417203685E-03

******* A L A N D E G E R L E R I *******

MESAFE ** EX ** EY ** EB ** HX ** HY ** HB **

-100	0.0004	0.0217	0.0217	0.1088	0.0296	0.1127
-95	0.0005	0.0238	0.0238	0.1199	0.0344	0.1247
-90	0.0005	0.0263	0.0263	0.1327	0.0403	0.1387
-85	0.0006	0.0292	0.0292	0.1477	0.0476	0.1552
-80	0.0007	0.0325	0.0325	0.1652	0.0568	0.1747
-75	0.0008	0.0364	0.0364	0.1860	0.0685	0.1982
-70	0.0010	0.0410	0.0410	0.2107	0.0835	0.2266
-65	0.0012	0.0464	0.0465	0.2403	0.1033	0.2616
-60	0.0014	0.0529	0.0529	0.2763	0.1296	0.3052
-55	0.0017	0.0605	0.0605	0.3202	0.1655	0.3604
-50	0.0019	0.0694	0.0695	0.3741	0.2156	0.4318
-45	0.0022	0.0797	0.0798	0.4405	0.2873	0.5259
-40	0.0024	0.0910	0.0910	0.5219	0.3931	0.6534
-35	0.0022	0.1015	0.1015	0.6191	0.5541	0.8309
-30	0.0026	0.1066	0.1066	0.7262	0.8077	1.0862
-25	0.0087	0.0939	0.0943	0.8155	1.2190	1.4666
-20	0.0282	0.0552	0.0620	0.7929	1.8919	2.0513
-15	0.0786	0.2438	0.2562	0.4516	2.9220	2.9567
-10	0.1702	0.8398	0.8568	1.4885	3.9650	4.2352
-5	0.1624	1.7657	1.7731	4.3674	3.1270	5.3715

0	0.0000	2.1670	2.1670	5.5883	0.0000	5.5883
5	0.1624	1.7657	1.7731	4.3674	3.1270	5.3715
10	0.1702	0.8398	0.8568	1.4885	3.9650	4.2352
15	0.0786	0.2438	0.2562	0.4516	2.9220	2.9567
20	0.0282	0.0552	0.0620	0.7929	1.8919	2.0513
25	0.0087	0.0939	0.0943	0.8155	1.2190	1.4666
30	0.0026	0.1066	0.1066	0.7262	0.8077	1.0862
35	0.0022	0.1015	0.1015	0.6191	0.5541	0.8309
40	0.0024	0.0910	0.0910	0.5219	0.3931	0.6534
45	0.0022	0.0797	0.0798	0.4405	0.2873	0.5259
50	0.0019	0.0694	0.0695	0.3741	0.2156	0.4318
55	0.0017	0.0605	0.0605	0.3202	0.1655	0.3604
60	0.0014	0.0529	0.0529	0.2763	0.1296	0.3052
65	0.0012	0.0464	0.0465	0.2403	0.1033	0.2616
70	0.0010	0.0410	0.0410	0.2107	0.0835	0.2266
75	0.0008	0.0364	0.0364	0.1860	0.0685	0.1982
80	0.0007	0.0325	0.0325	0.1652	0.0568	0.1747
85	0.0006	0.0292	0.0292	0.1477	0.0476	0.1552
90	0.0005	0.0263	0.0263	0.1327	0.0403	0.1387
95	0.0005	0.0238	0.0238	0.1199	0.0344	0.1247
100	0.0004	0.0217	0.0217	0.1088	0.0296	0.1127

EK 9. 380 kV Karakaya-KebanII Hattının EM Alan Hesaplama Sonuçları

***** Y U K D E G E R L E R I *****

q1= 1.3259209511E-11-J 2.3775911631E-13
q2=-7.2346605026E-12+J 1.0193830782E-11
q3=-6.9764727565E-12+J 1.0094998656E-11
q4= 1.3259209511E-11+J 2.3775911778E-13
q5=-7.2346604942E-12-J 1.0193830786E-11
q6=-6.9764727482E-12-J 1.0094998661E-11
q7=-6.1456414089E-14-J 1.9279715667E-12
q8=-6.1456415676E-14+J 1.9279715684E-12

**** K O N T R O L P O T A N S I Y E L L E R I ****

VK(1)= 2.2092951508E+02-J 8.8739871630E-02
VK(2)=-1.0948890027E+02+J 1.8984764297E+02
VK(3)=-1.1045108689E+02+J 1.9121662616E+02
VK(4)= 2.1913738303E+02-J 8.9802856899E-02
VK(5)=-1.1054733482E+02-J 1.9125322050E+02
VK(6)=-1.0958656075E+02-J 1.8988527815E+02
VK(7)= 1.7899870942E-02-J 3.5593669949E-02
VK(8)=-1.4045903944E-02+J 6.1101811298E-03

***** A L A N D E G E R L E R I *****

MESAFE ** EX ** EY ** EB ** HX ** HY ** HB **

-100	0.0011	0.0372	0.0372	0.0306	0.1062	0.1105
-95	0.0013	0.0431	0.0431	0.0356	0.1170	0.1223
-90	0.0016	0.0503	0.0504	0.0418	0.1295	0.1361
-85	0.0020	0.0593	0.0594	0.0495	0.1440	0.1523
-80	0.0025	0.0706	0.0707	0.0591	0.1611	0.1716
-75	0.0033	0.0850	0.0851	0.0714	0.1812	0.1948
-70	0.0042	0.1036	0.1037	0.0873	0.2051	0.2229
-65	0.0056	0.1281	0.1282	0.1082	0.2338	0.2576
-60	0.0076	0.1609	0.1610	0.1363	0.2683	0.3009
-55	0.0105	0.2056	0.2059	0.1747	0.3101	0.3559
-50	0.0149	0.2683	0.2687	0.2287	0.3607	0.4271
-45	0.0217	0.3583	0.3589	0.3064	0.4217	0.5213
-40	0.0323	0.4909	0.4919	0.4217	0.4932	0.6489
-35	0.0494	0.6914	0.6932	0.5978	0.5709	0.8266
-30	0.0762	1.0001	1.0030	0.8731	0.6368	1.0807
-25	0.1139	1.4713	1.4757	1.3049	0.6357	1.4515
-20	0.1463	2.1338	2.1388	1.9401	0.4468	1.9909
-15	0.1127	2.8181	2.8204	2.6525	0.6068	2.7210
-10	0.1721	2.9102	2.9153	2.8484	2.0678	3.5198
-5	0.3799	2.0214	2.0568	2.0813	3.5339	4.1012

0	0.4075	1.3581	1.4160	1.4948	4.0294	4.2977
5	0.3799	2.0214	2.0568	2.0813	3.5339	4.1012
10	0.1721	2.9102	2.9153	2.8484	2.0678	3.5198
15	0.1127	2.8181	2.8204	2.6525	0.6068	2.7210
20	0.1463	2.1338	2.1388	1.9401	0.4468	1.9909
25	0.1139	1.4713	1.4757	1.3049	0.6357	1.4515
30	0.0762	1.0001	1.0030	0.8731	0.6368	1.0807
35	0.0494	0.6914	0.6932	0.5978	0.5709	0.8266
40	0.0323	0.4909	0.4919	0.4217	0.4932	0.6489
45	0.0217	0.3583	0.3589	0.3064	0.4217	0.5213
50	0.0149	0.2683	0.2687	0.2287	0.3607	0.4271
55	0.0105	0.2056	0.2059	0.1747	0.3101	0.3559
60	0.0076	0.1609	0.1610	0.1363	0.2683	0.3009
65	0.0056	0.1281	0.1282	0.1082	0.2338	0.2576
70	0.0042	0.1036	0.1037	0.0873	0.2051	0.2229
75	0.0033	0.0850	0.0851	0.0714	0.1812	0.1948
80	0.0025	0.0706	0.0707	0.0591	0.1611	0.1716
85	0.0020	0.0593	0.0594	0.0495	0.1440	0.1523
90	0.0016	0.0503	0.0504	0.0418	0.1295	0.1361
95	0.0013	0.0431	0.0431	0.0356	0.1170	0.1223
100	0.0011	0.0372	0.0372	0.0306	0.1062	0.1105

EK 10. 88.91 kV ve 154 kV Altı Fazlı Sistem İçin EM Alan Hesaplama Sonuçları

88.91 kV faz - nötr gerilimli altıfazlı sistem

***** Y U K D E G E R L E R I *****

q1= 7.7508743022E-12-J 9.5793064921E-13
q2= 3.4779352694E-12+J 6.0443840335E-12
q3=-4.7112745913E-12+J 6.2420667413E-12
q4=-7.7508743031E-12+J 9.5793064659E-13
q5=-3.4779352676E-12-J 6.0443840346E-12
q6= 4.7112745929E-12-J 6.2420667392E-12
q7=-5.0112268753E-22-J 2.0513794226E-23

**** K O N T R O L P O T A N S I Y E L L E R I ****

VK(1)= 8.8891547322E+01+J 1.0838679282E-02
VK(2)= 4.4389112177E+01+J 7.7012437180E+01
VK(3)=-4.4487391127E+01+J 7.6929823397E+01
VK(4)=-8.8950214754E+01-J 6.1734917475E-02
VK(5)=-4.4411153385E+01-J 7.7048512537E+01
VK(6)= 4.4472295432E+01-J 7.7017048697E+01
VK(7)= 2.5441072546E-03-J 1.3317420834E-02

***** A L A N D E G E R L E R I *****

MESAFFE ** EX ** EY ** EB ** HX ** HY ** HB **

-100	0.0003	0.0109	0.0109	0.0341	0.1256	0.1301
-95	0.0004	0.0127	0.0127	0.0396	0.1384	0.1439
-90	0.0005	0.0149	0.0149	0.0464	0.1532	0.1601
-85	0.0006	0.0175	0.0175	0.0547	0.1705	0.1790
-80	0.0007	0.0208	0.0209	0.0652	0.1907	0.2016
-75	0.0010	0.0251	0.0251	0.0785	0.2147	0.2286
-70	0.0012	0.0305	0.0305	0.0956	0.2433	0.2614
-65	0.0016	0.0375	0.0376	0.1180	0.2776	0.3017
-60	0.0022	0.0469	0.0469	0.1479	0.3193	0.3519
-55	0.0030	0.0596	0.0596	0.1884	0.3704	0.4156
-50	0.0041	0.0770	0.0772	0.2447	0.4335	0.4978
-45	0.0059	0.1018	0.1020	0.3250	0.5118	0.6063
-40	0.0087	0.1377	0.1380	0.4428	0.6093	0.7532
-35	0.0133	0.1915	0.1920	0.6213	0.7293	0.9580
-30	0.0209	0.2745	0.2753	0.9013	0.8714	1.2536
-25	0.0338	0.4061	0.4075	1.3555	1.0206	1.6968
-20	0.0557	0.6188	0.6213	2.1109	1.1172	2.3883
-15	0.0880	0.9557	0.9597	3.3512	1.0128	3.5009
-10	0.0982	1.3979	1.4014	5.0723	1.4076	5.2640
-5	0.1308	1.4293	1.4352	5.3878	5.2697	7.5364

0	0.3766	0.0000	0.3766	0.0000	8.7281	8.7281
5	0.1308	1.4293	1.4352	5.3878	5.2697	7.5364
10	0.0982	1.3979	1.4014	5.0723	1.4076	5.2640
15	0.0880	0.9557	0.9597	3.3512	1.0128	3.5009
20	0.0557	0.6188	0.6213	2.1109	1.1172	2.3883
25	0.0338	0.4061	0.4075	1.3555	1.0206	1.6968
30	0.0209	0.2745	0.2753	0.9013	0.8714	1.2536
35	0.0133	0.1915	0.1920	0.6213	0.7293	0.9580
40	0.0087	0.1377	0.1380	0.4428	0.6093	0.7532
45	0.0059	0.1018	0.1020	0.3250	0.5118	0.6063
50	0.0041	0.0770	0.0772	0.2447	0.4335	0.4978
55	0.0030	0.0596	0.0596	0.1884	0.3704	0.4156
60	0.0022	0.0469	0.0469	0.1479	0.3193	0.3519
65	0.0016	0.0375	0.0376	0.1180	0.2776	0.3017
70	0.0012	0.0305	0.0305	0.0956	0.2433	0.2614
75	0.0010	0.0251	0.0251	0.0785	0.2147	0.2286
80	0.0007	0.0208	0.0209	0.0652	0.1907	0.2016
85	0.0006	0.0175	0.0175	0.0547	0.1705	0.1790
90	0.0005	0.0149	0.0149	0.0464	0.1532	0.1601
95	0.0004	0.0127	0.0127	0.0396	0.1384	0.1439
100	0.0003	0.0109	0.0109	0.0341	0.1256	0.1301

154 kV faz - nötr gerilimli altı fazlı sistem

***** Y U K D E G E R L E R I *****

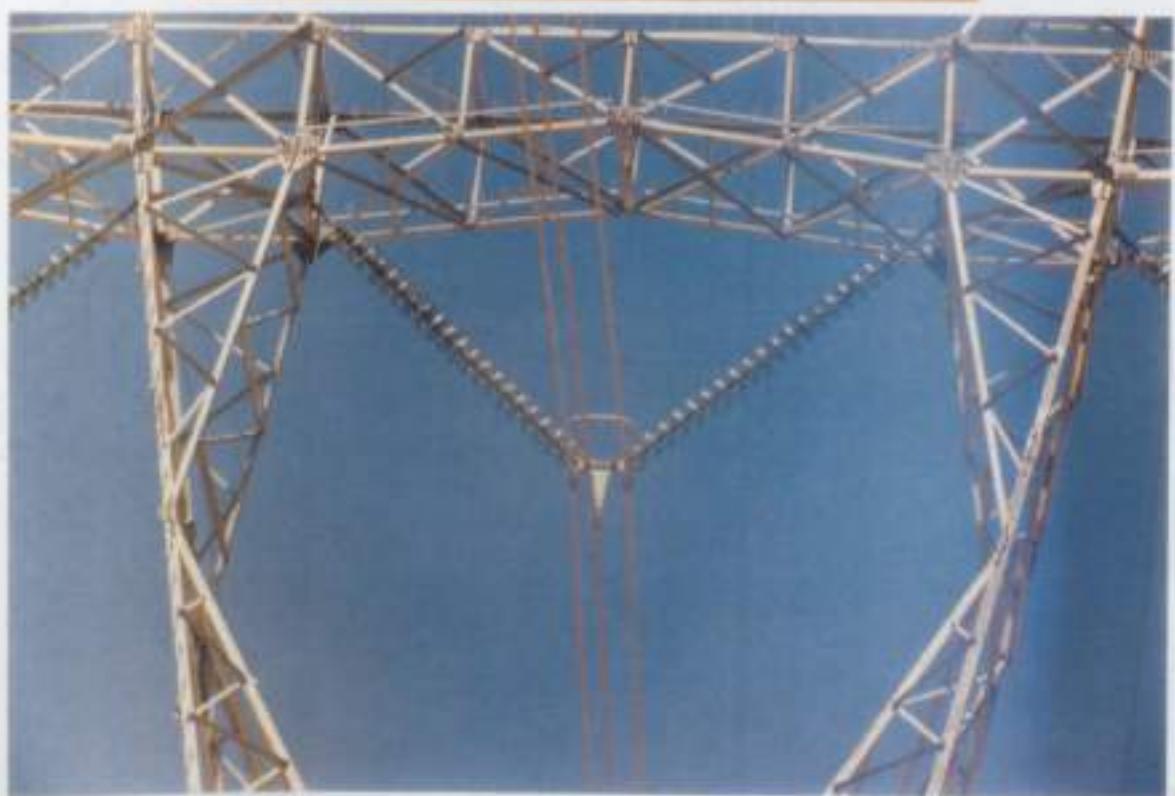
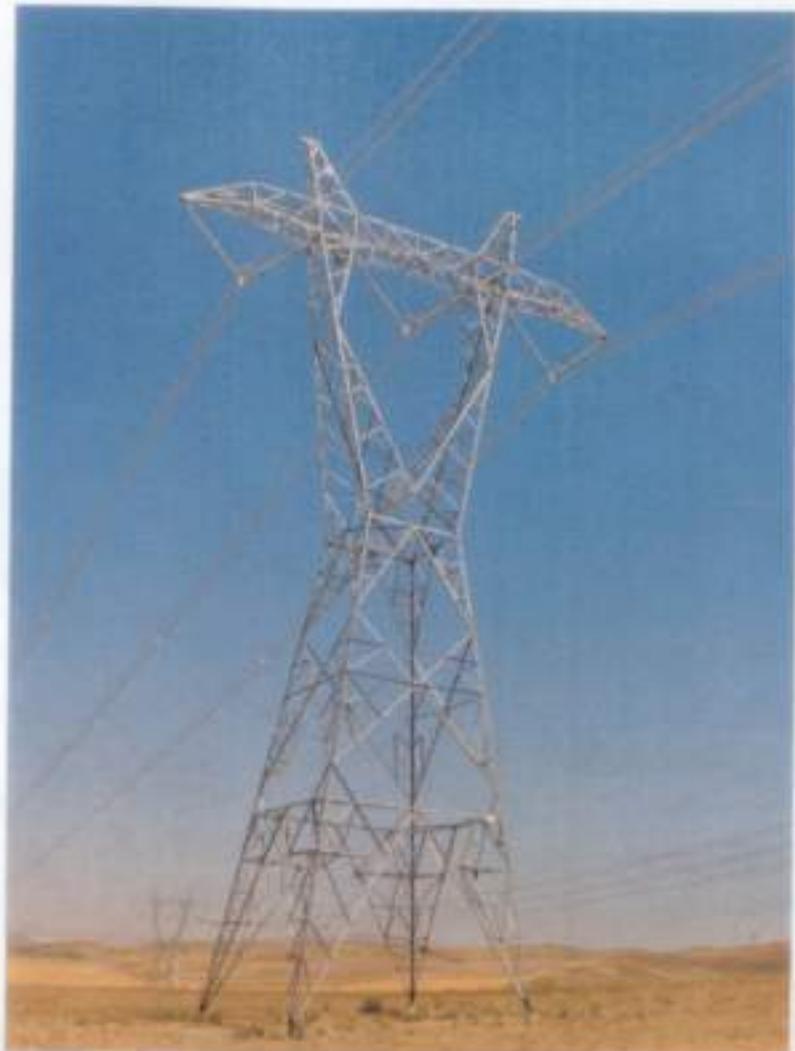
q1= 1.3425201243E-11-J 1.6592207848E-12
q2= 6.0240921324E-12+J 1.0469408853E-11
q3=-8.1603451474E-12+J 1.0811812824E-11
q4=-1.3425201245E-11+J 1.6592207803E-12
q5=-6.0240921292E-12-J 1.0469408855E-11
q6= 8.1603451502E-12-J 1.0811812820E-11
q7=-8.7134783095E-22-J 3.1259115012E-23

***** K O N T R O L P O T A N S I Y E L L E R I *****

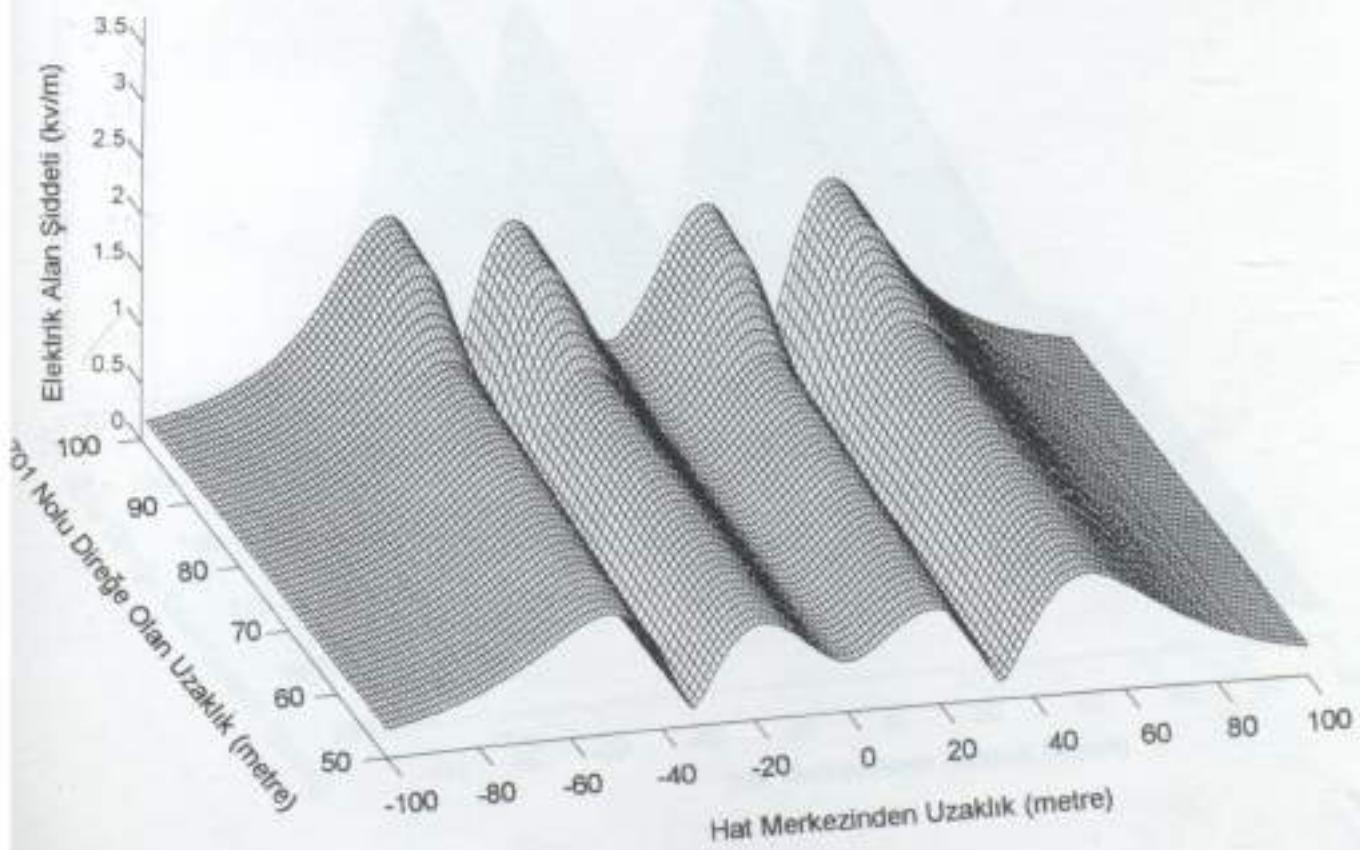
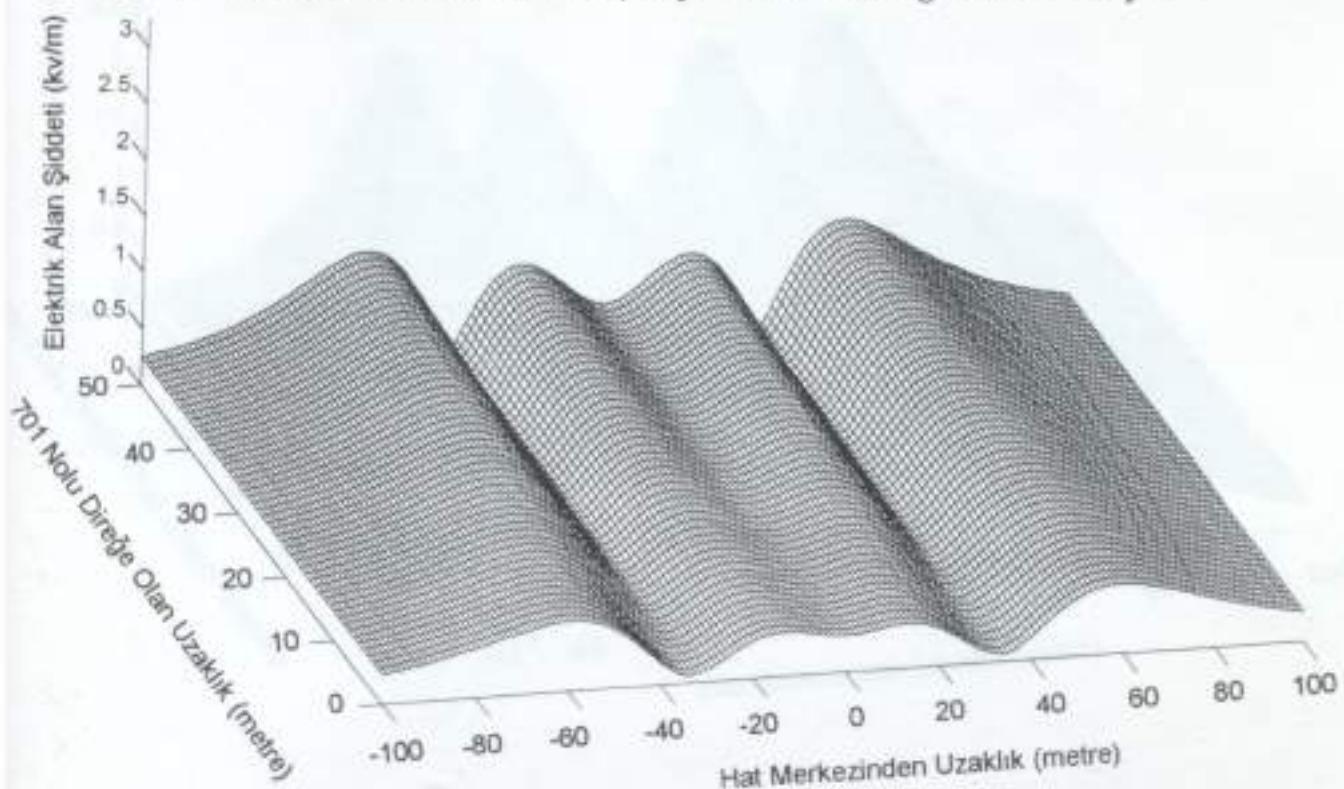
VK(1)= 1.5396803833E+02+J 1.8773553145E-02
VK(2)= 7.6885876452E+01+J 1.3339236673E+02
VK(3)=-7.7056104303E+01+J 1.3324927233E+02
VK(4)=-1.5406965552E+02-J 1.0693034866E-01
VK(5)=-7.6924053777E+01-J 1.3345485244E+02
VK(6)= 7.7029957221E+01-J 1.3340035428E+02
VK(7)= 4.4066193313E-03-J 2.3066953106E-02

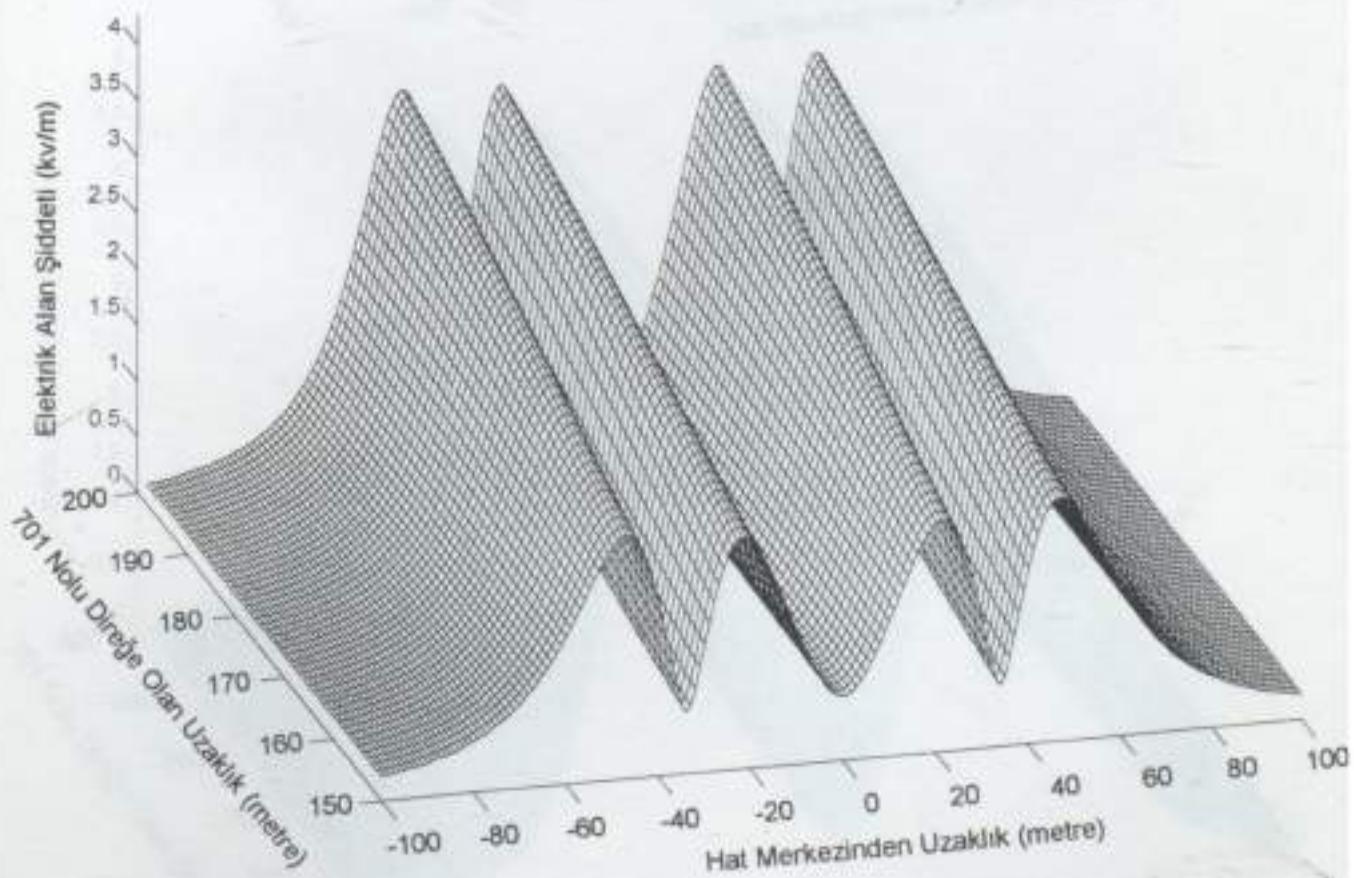
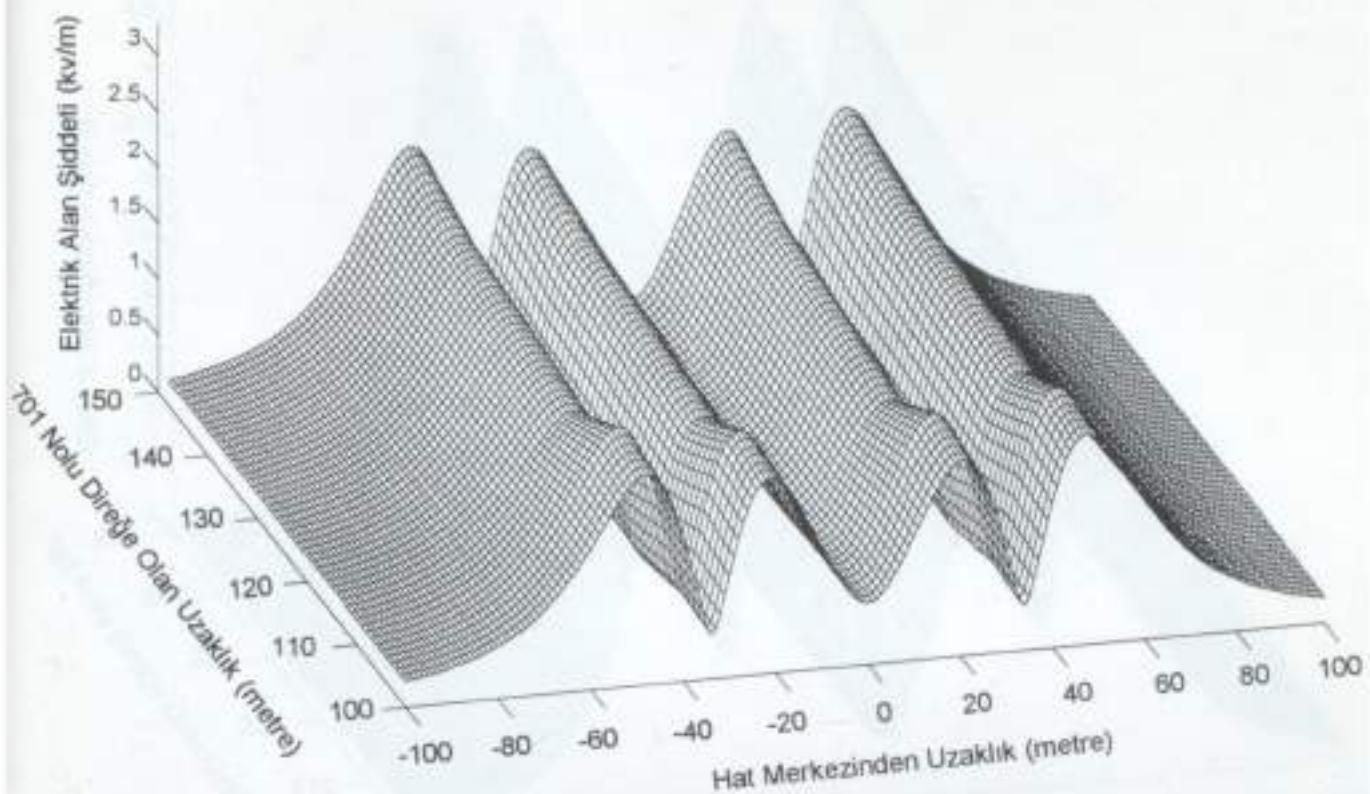
EK 11. Atatürk-Temelli Hattının Fotoğrafları

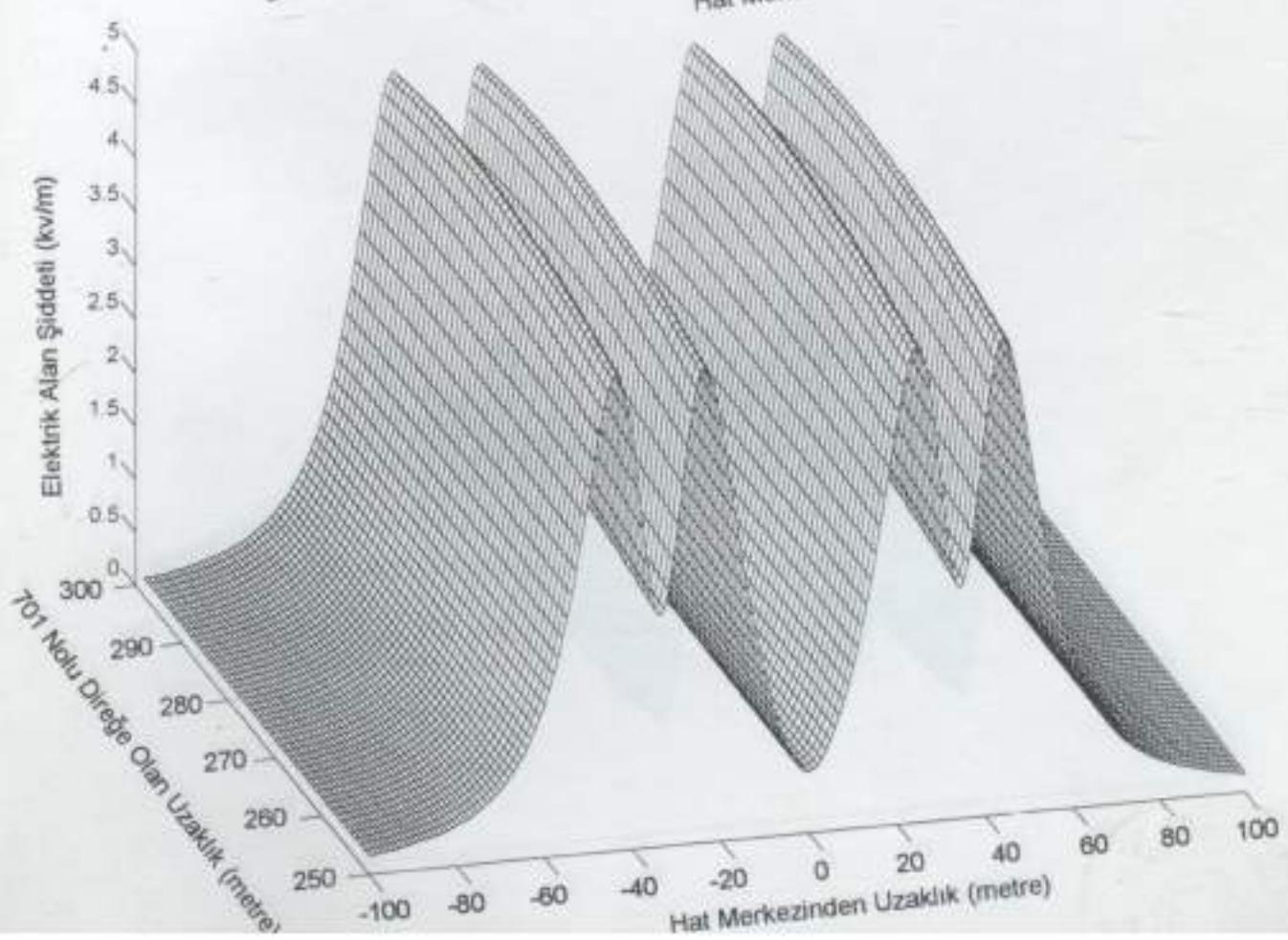
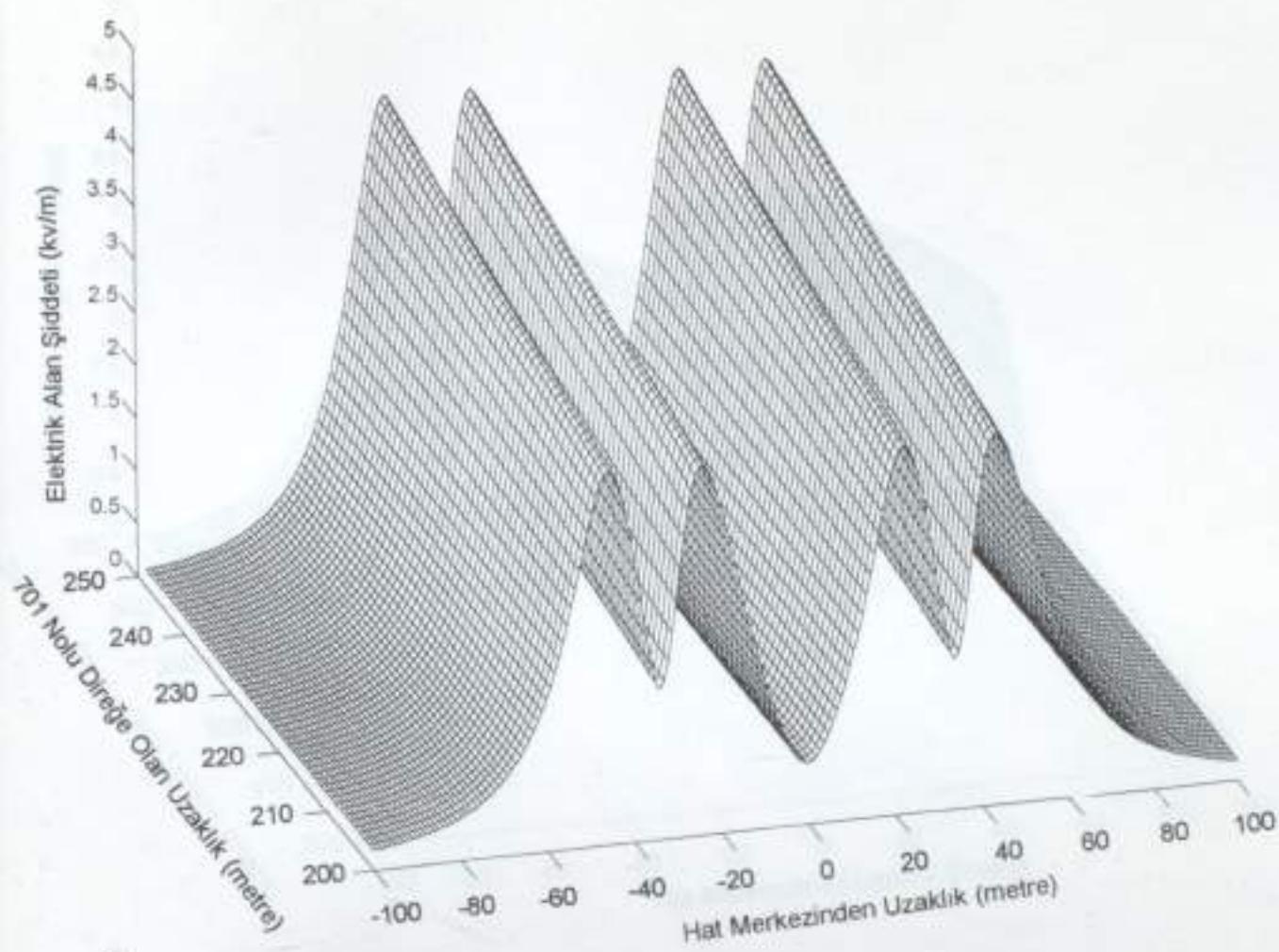


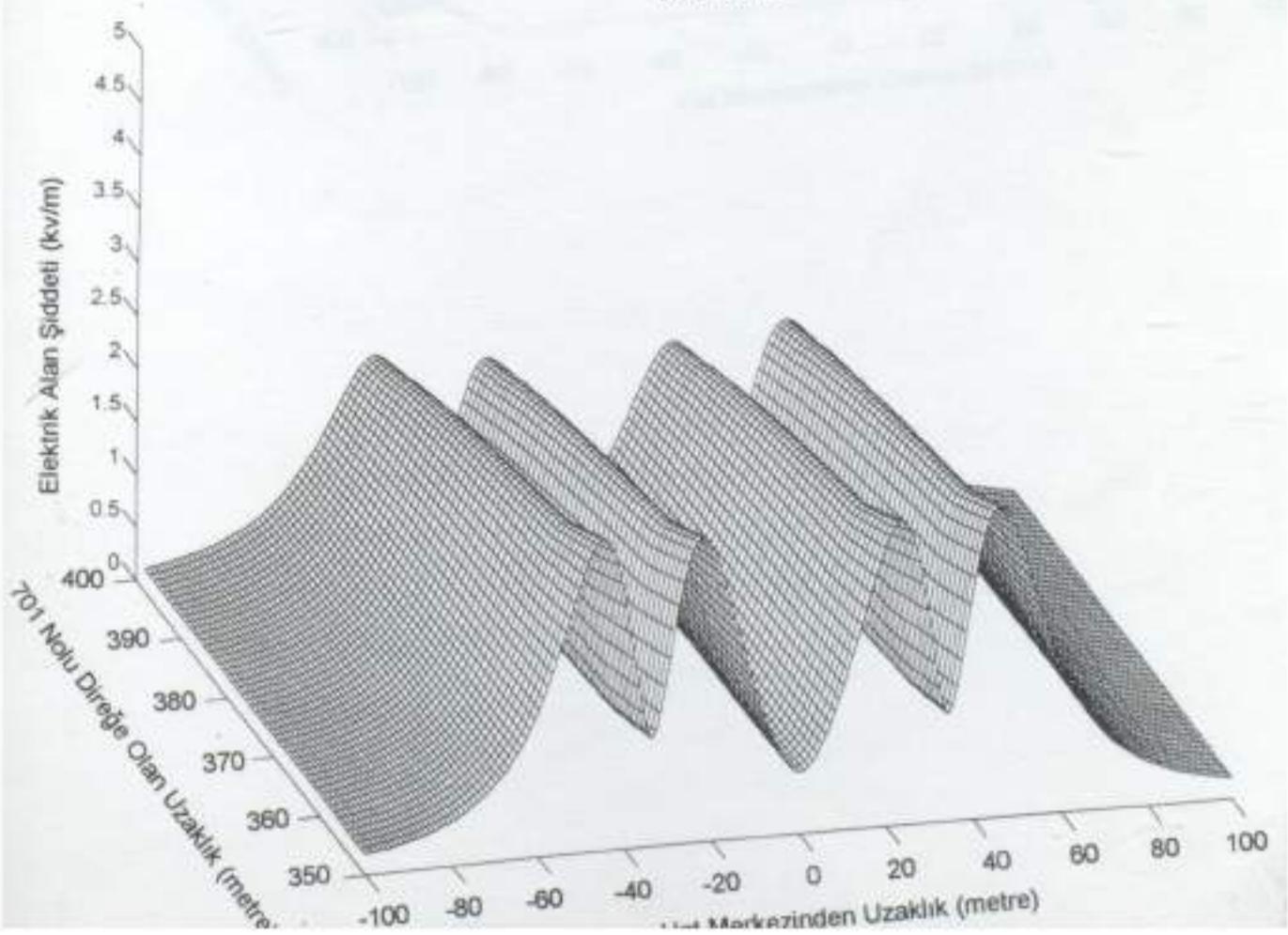
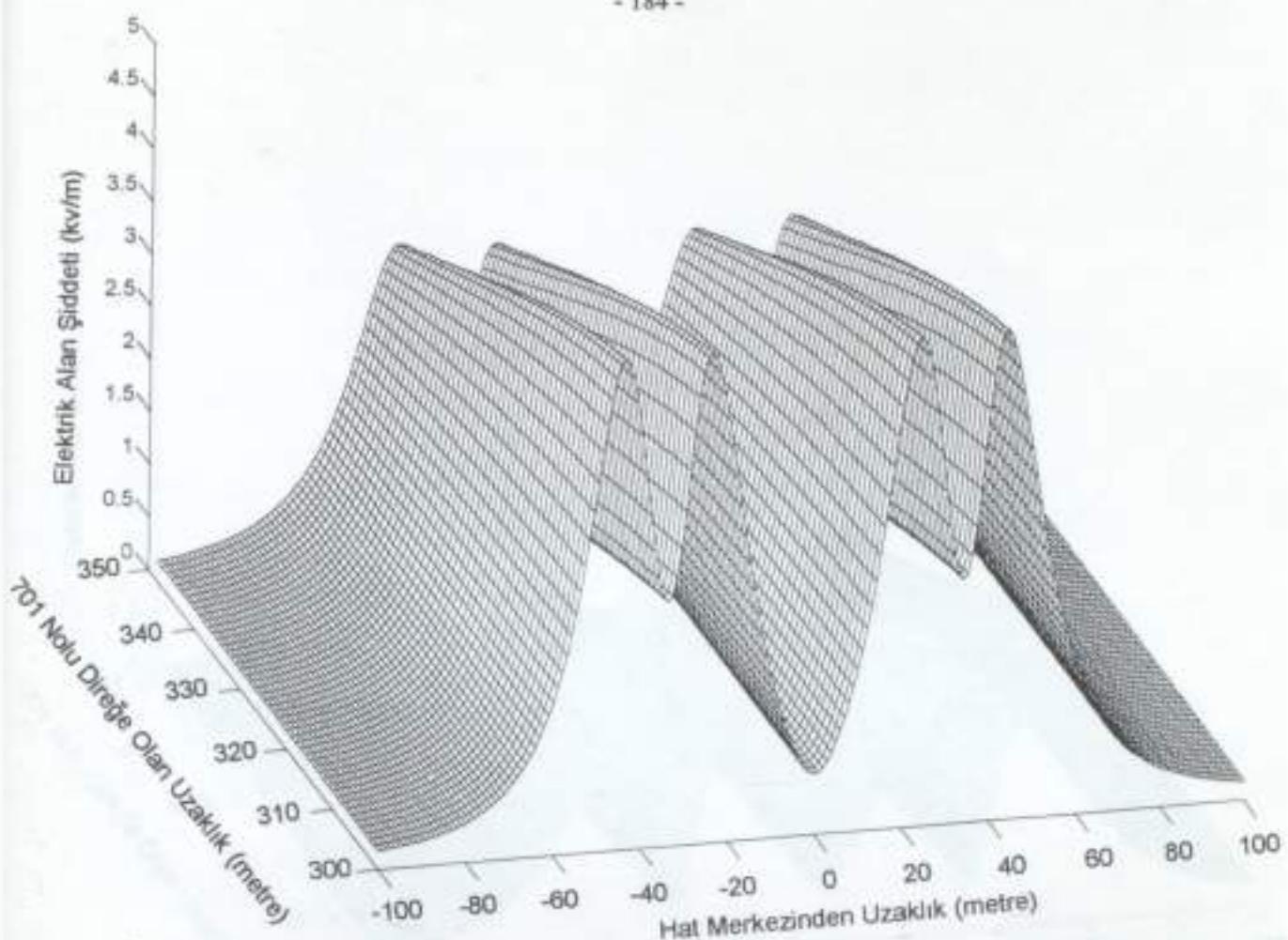


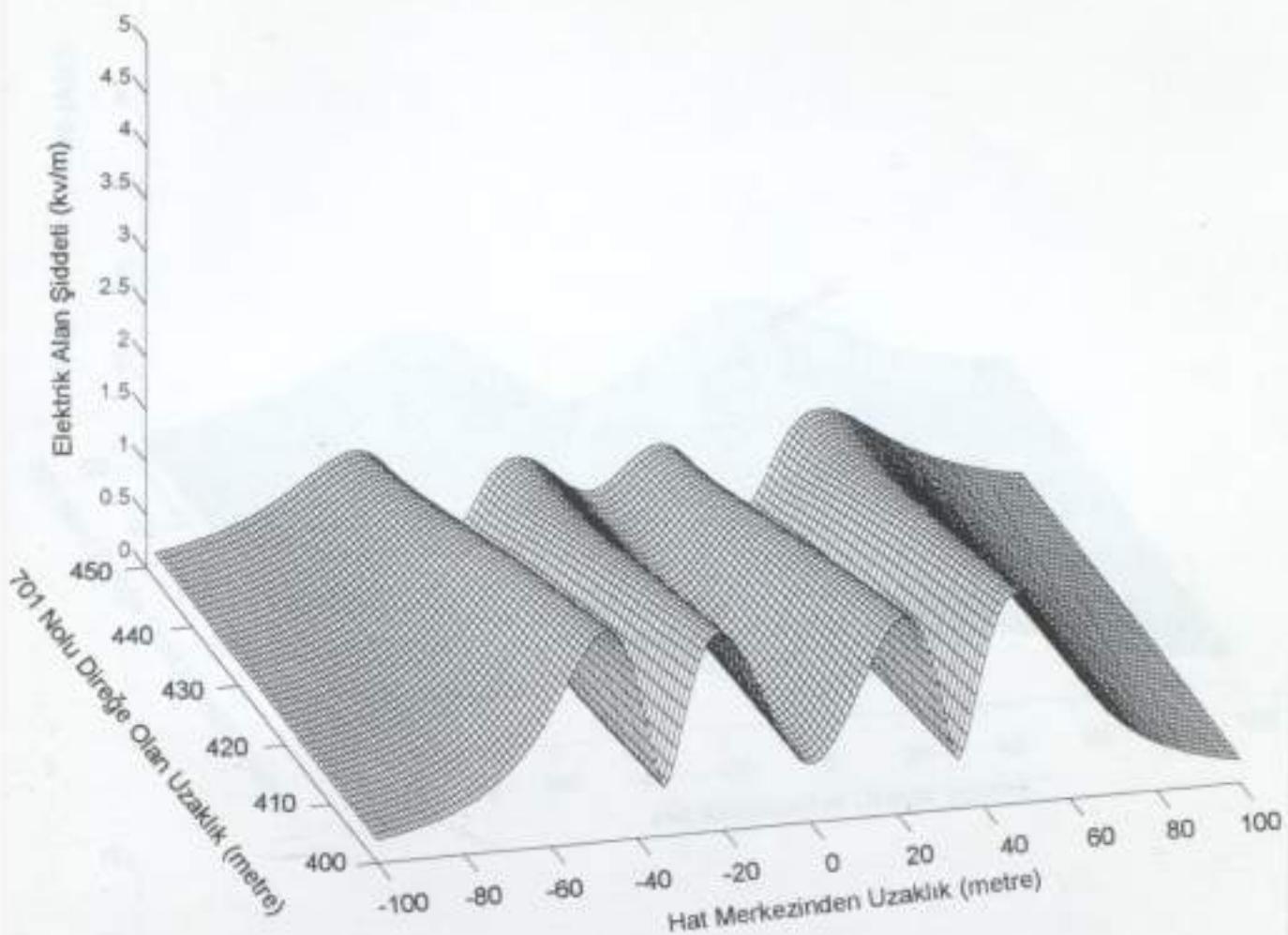
EK 12. Atatürk-Temelli Hattının Üç Boyutlu EM Alan Eğrilerinin Detayları

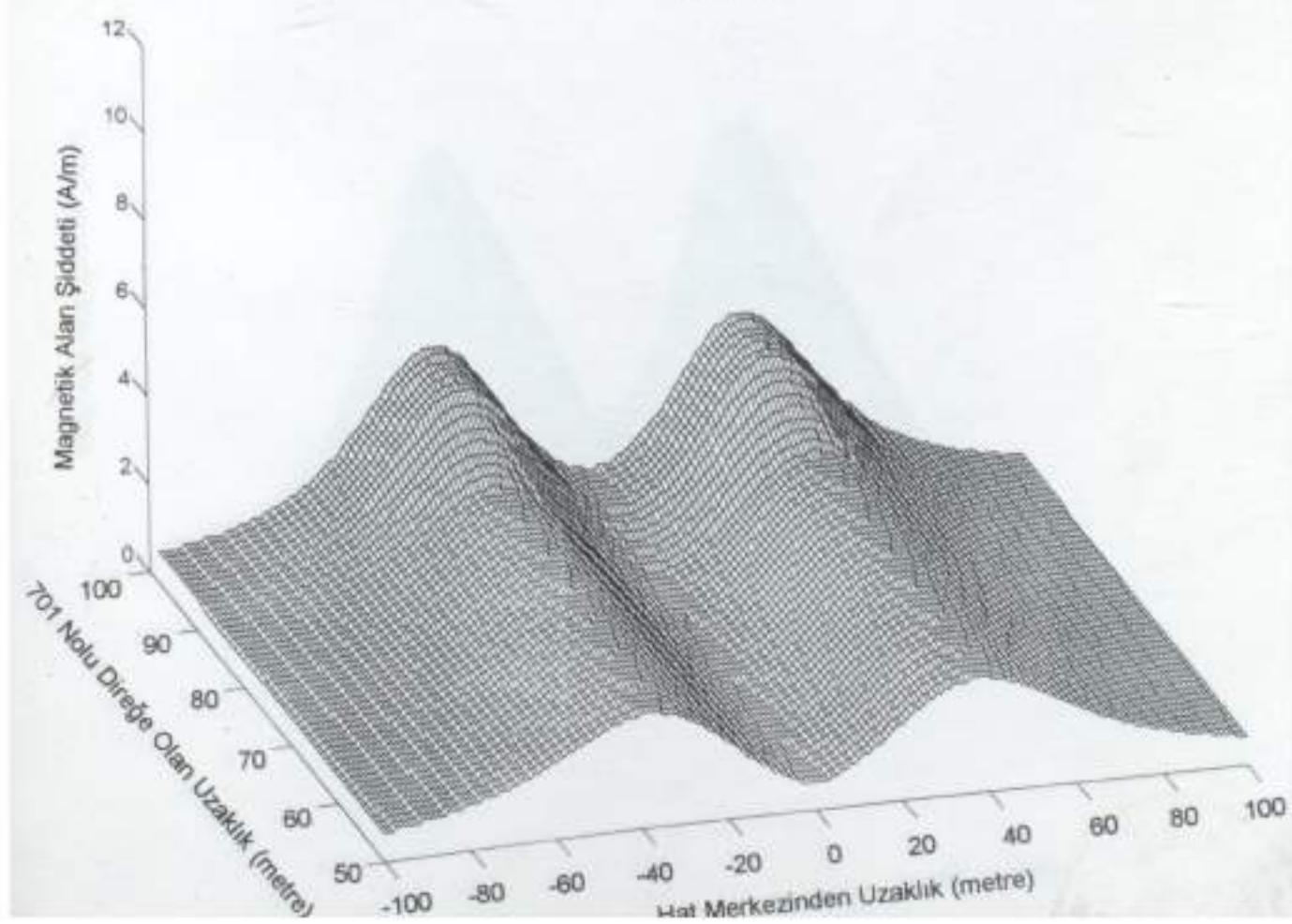
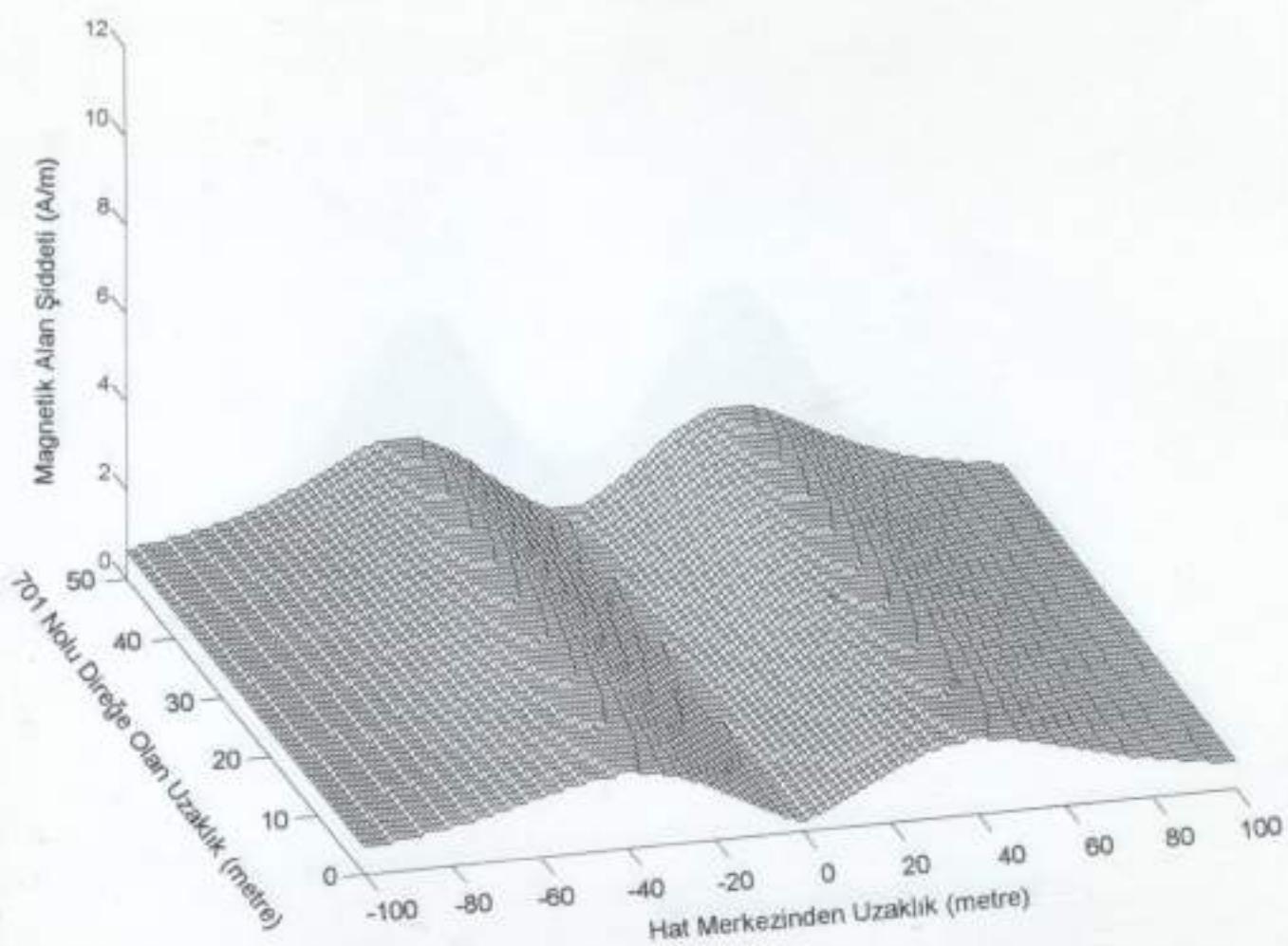


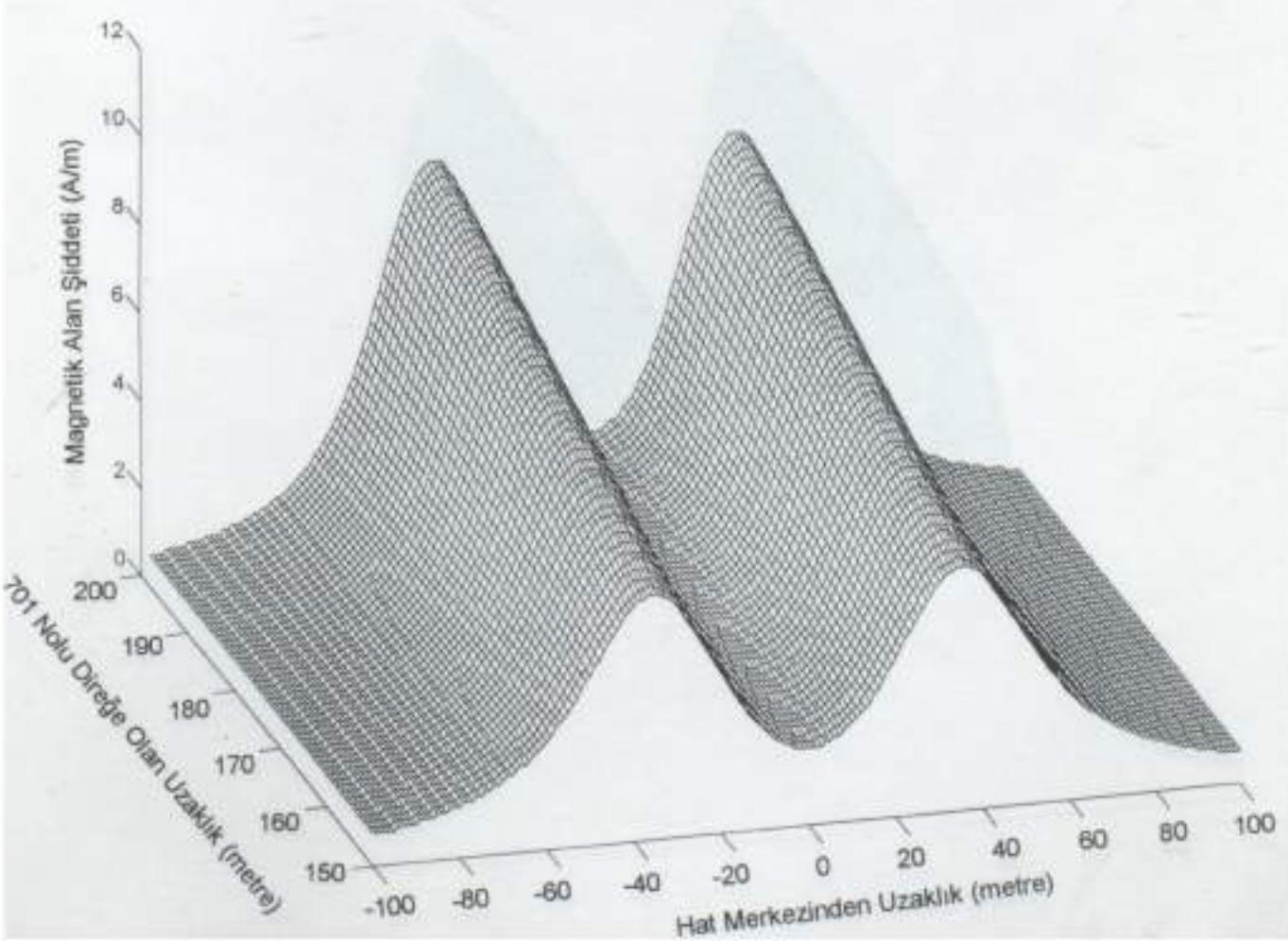
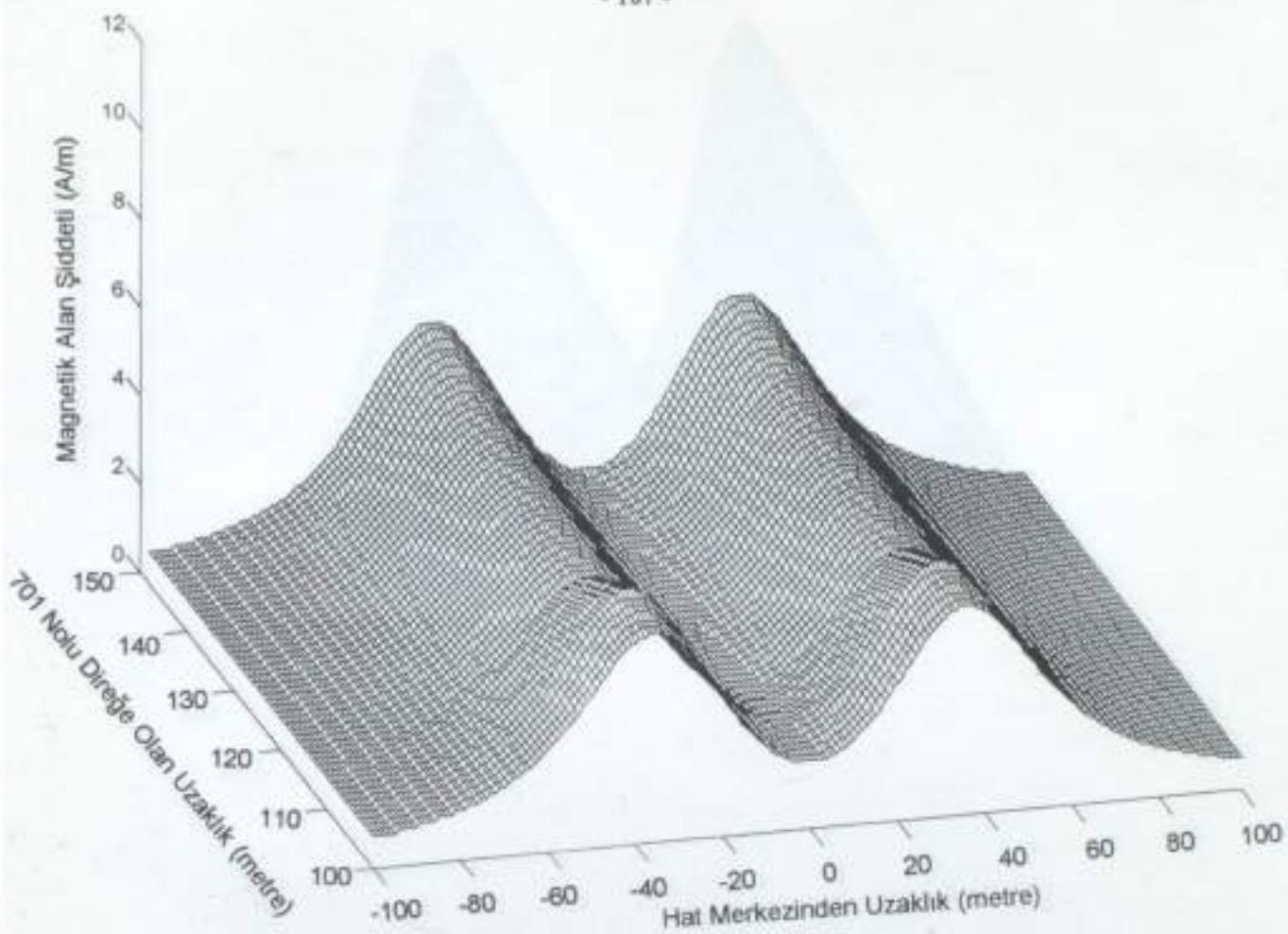


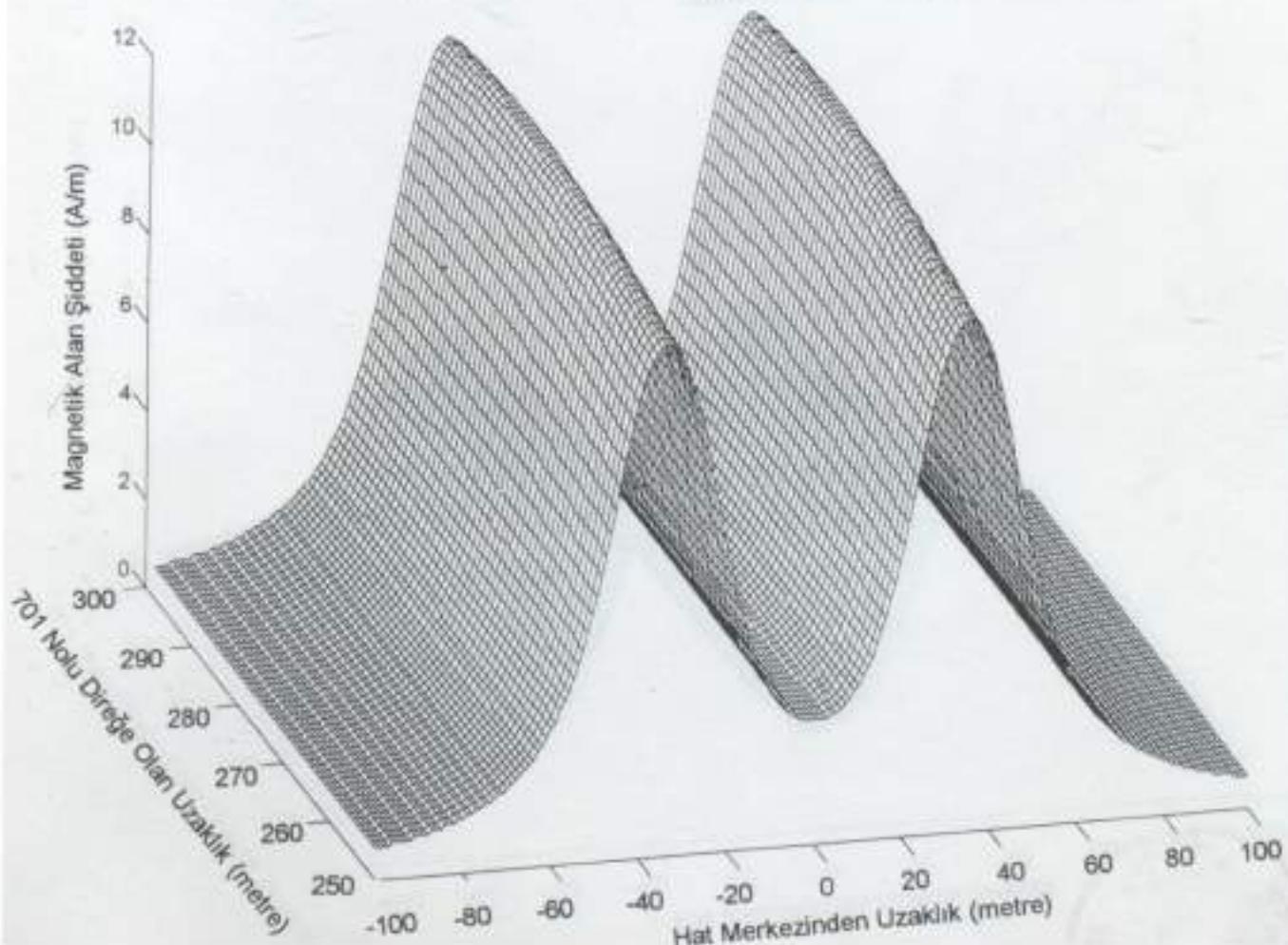
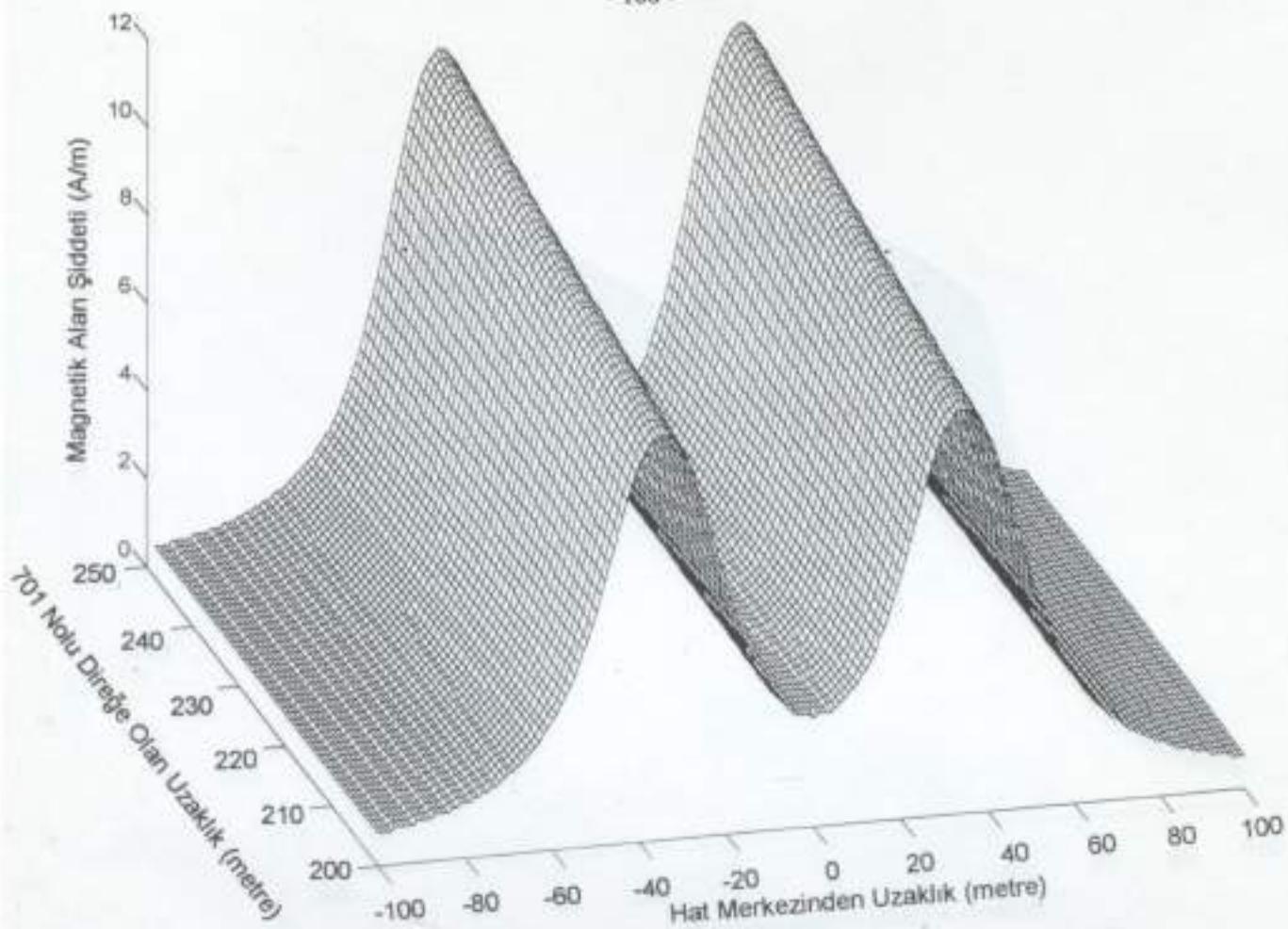


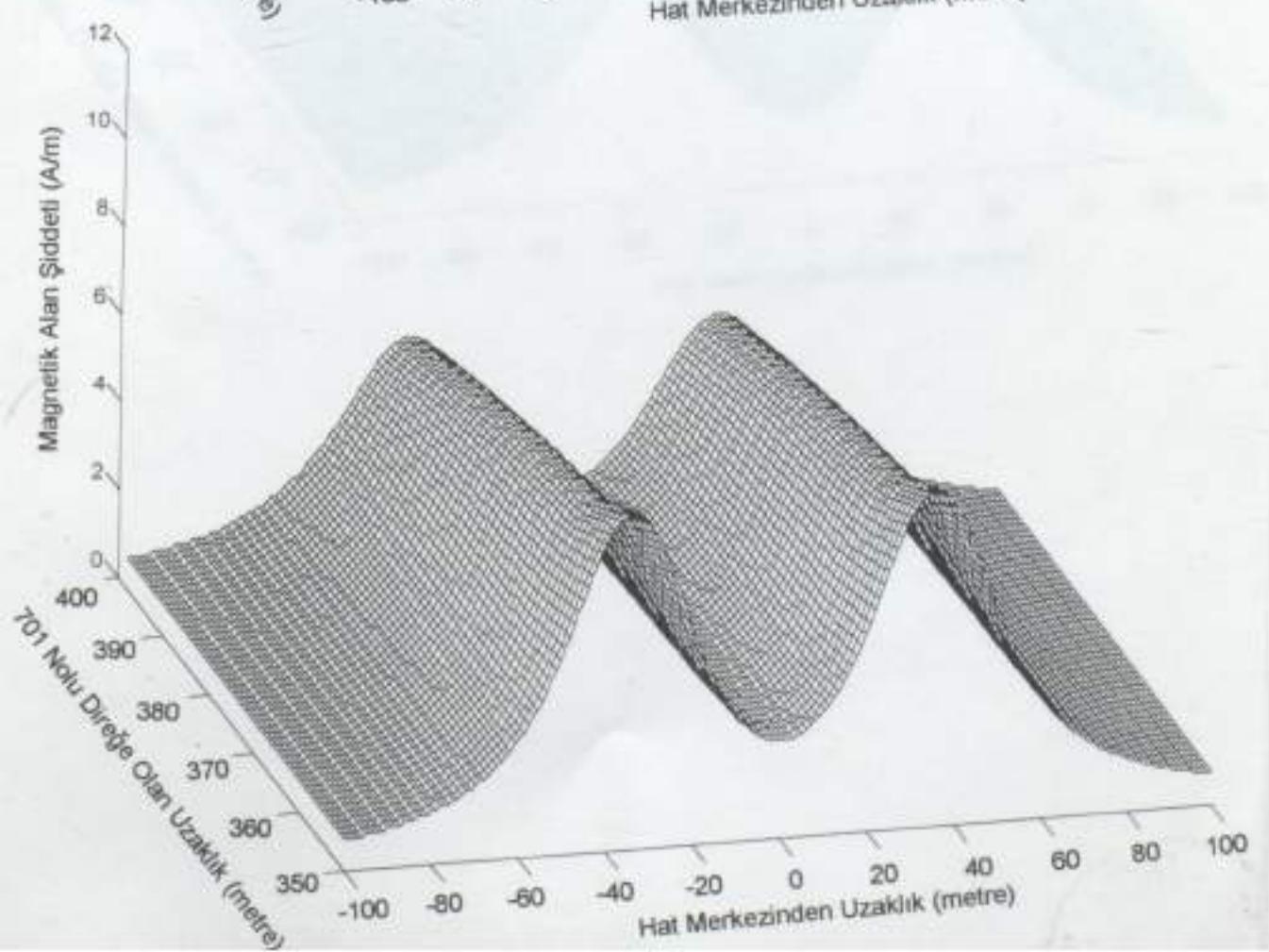
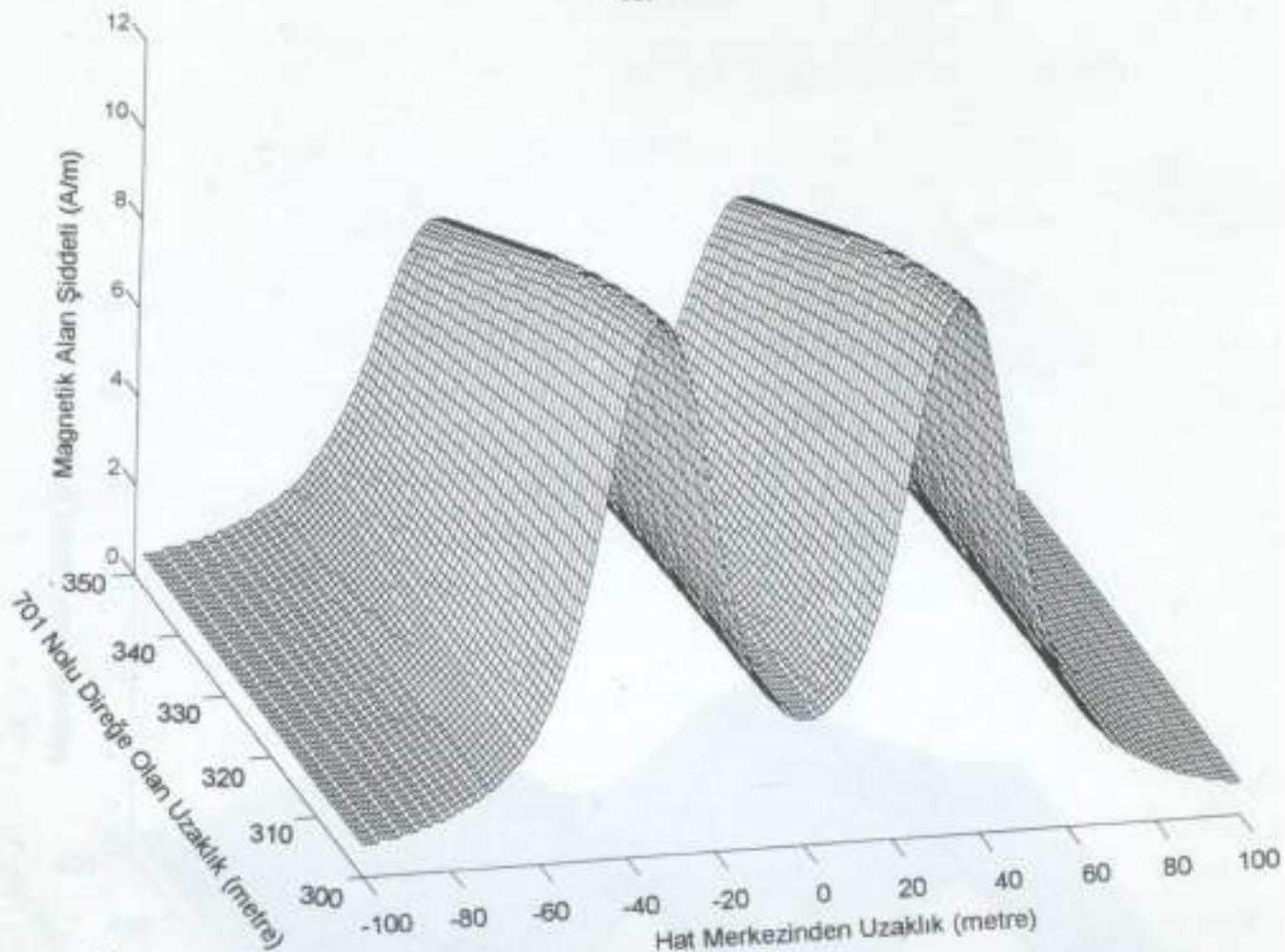


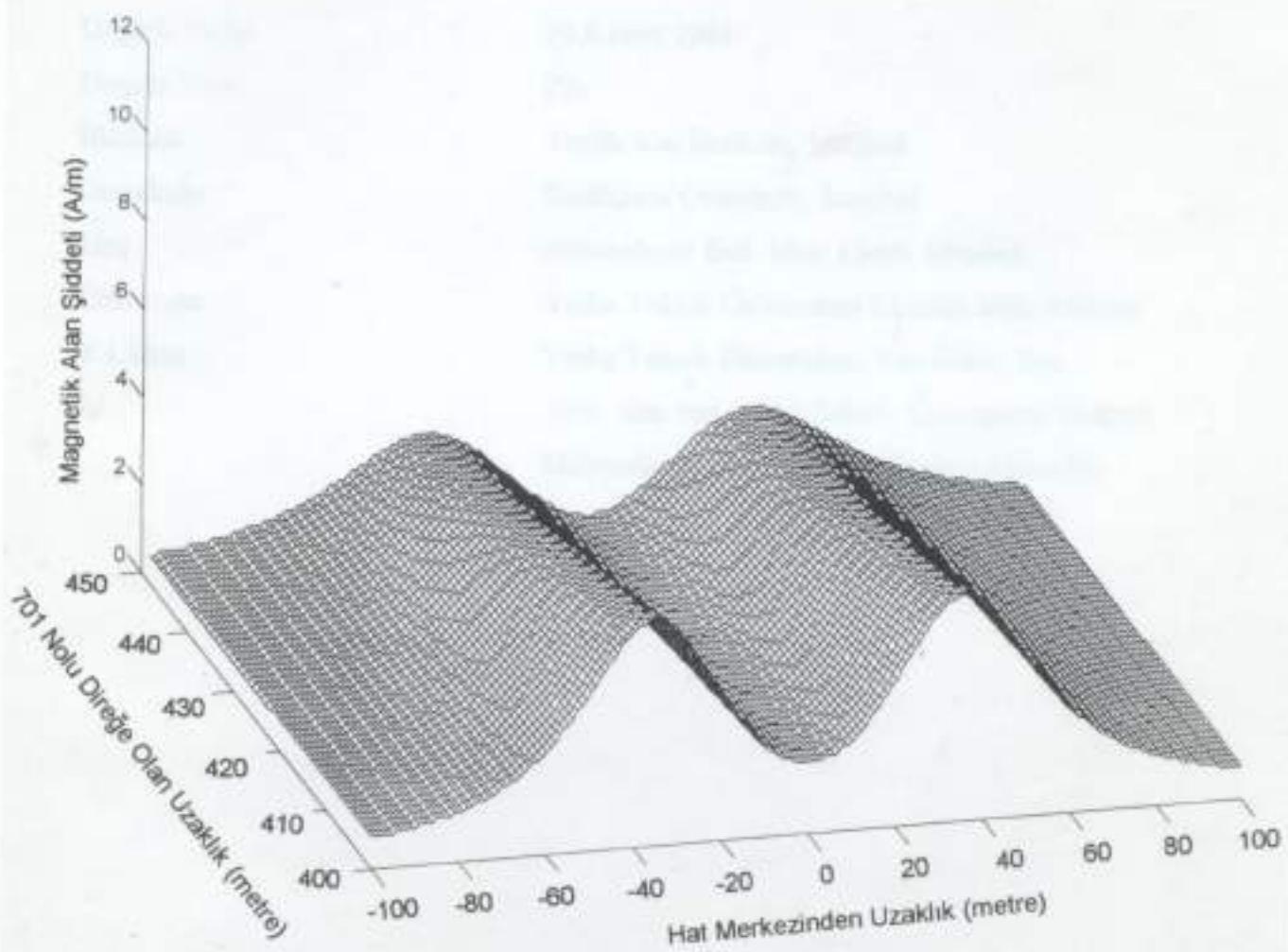












ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	:	20.Kasım.1964
Doğum Yeri	:	Zile
İlkokulu	:	Tevfik Kut İlkokulu, İstanbul
Ortaokulu	:	Gedikpaşa Ortaokulu, İstanbul
Lise	:	Sultanahmet End. Mes. Lisesi, İstanbul
Üniversite	:	Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Müh.Bölümü
Y.Lisans	:	Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilim. Ens.
İşİ	:	1990 'dan beri Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi

