

**YÜKSEK GERİLİM İLETİM HATLARINDA
HAT GEOMETRİSİNE BAĞLI OLARAK
ELEKTRİK VE MANYETİK ALAN ANALİZİ**

M.Mustafa İZGEÇ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NİSAN 2006
ANKARA**

M.Mustafa İZGEÇ tarafından hazırlanan YÜKSEK GERİLİM İLETİM HATLARINDA HAT GEOMETRİSİNE BAĞLI OLARAK ELEKTRİK VE MANYETİK ALAN ANALİZİ adlı bu tezin yüksek lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof.Dr. M.Cengiz TAPLAMACIOĞLU
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Elektirik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç.Dr. Osman GÜRDAL

Üye : Prof.Dr. M.Cengiz TAPLAMACIOĞLU

Üye : Yrd.Doç.Dr. M.Timur AYDEMİR

Üye : _____

Üye : _____

Tarih : 24/04/2006

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

M.Mustafa İZGEÇ

**YÜKSEK GERİLİM İLETİM HATLARINDA
HAT GEOMETRİSİNE BAĞLI OLARAK
ELEKTRİK VE MANYETİK ALAN ANALİZİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

M.Mustafa İZGEÇ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Nisan 2006**

ÖZET

Elektrik güç sistemlerinin gelişmesine bağlı olarak enerji sistem ekipmanlarının yaymış olduğu elektromanyetik alanların, bu ekipmanların yakın çevresinde bulunanlar üzerindeki etkisi ile ilgili çalışmalar yoğunlaşmıştır. Bu çalışmada, Borçka-İyidere Enerji İletim Hattı'nın hat geometrisi göz önünde bulundurularak, A.B.D'nin "Electric Power Research Institute" (EPRI) kuruluşu için, "Power Computing Company" tarafından geliştirilen, "EMF Workstation" yazılımı kullanılarak yeni bir model gerçekleştirilmiştir. Öncelikle, genelleştirilmiş elektrik ve manyetik alan dağılım eğrileri kullanılarak hat geometrisine bağlı matematiksel bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Elde edilen analiz çalışmaları sonuçları, standart alan değerleriyle karşılaştırılarak alan etkisinin azaltılmasına yönelik önerilerde bulunulmuştur.

Bilim Kodu	: 905.1.150
Anahtar Kelimeler	: İletim Hattı, Hat Geometrisi, Elektrik Alan, Manyetik Alan
Sayfa Adedi	: 89
Tez Yöneticisi	: Prof.Dr. M.Cengiz TAPLAMACIOĞLU

**ELECTRICAL AND MAGNETIC FIELD ANALYSIS
OF HIGH VOLTAGE TRANSMISSION LINES
DUE TO LINE GEOMETRY
(M.Sc. Thesis)**

M.Mustafa İZGEÇ

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

April 2006

ABSTRACT

In connection to the development of electrical power systems, the study of the effect of the electromagnetic field dissipated by the electrical equipments on both the workers and the people around has intensified. In this study, a model is realized considering the geometry of Borçka-İyidere Energy Transmission Line, using the "EMF Workstation" software developed by "Power Computing Company" for the foundation "Electric Power Research Institute" (EPRI) of U.S.A. First of all, a mathematical study depending on the line geometry is carried out using the generalized electrical and magnetic field curves. The results of the analysis are compared with the standart field values and suggestions aimed at decreasing the field effect are made.

Science Code	: 905.1.150
Key Words	: Transmission Line, Line Geometry, Electrical Field, Magnetic Field
Number of Pages	: 89
Advisor	: Prof.Dr. M.Cengiz TAPLAMACIOĞLU

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında değerli yardım, katkı ve yönlendirmelerinden dolayı, değerli hocam Sayın Prof.Dr. M.Cengiz TAPLAMACIOĞLU başta olmak üzere, hocalarım Sayın Prof.Dr. M.Sezai DİNÇER ve Sayın Yrd.Doç.Dr.Timur AYDEMİR'e, TEİAŞ Genel Müdürlüğünde görev yapan değerli arkadaşlarım Mustafa TUNCER, Murat ÖZDEMİR, Ercüment ÖZDEMİRCİ'ye, TEDAŞ Bilgi İşlem Daire Başkanlığındaki mesai arkadaşlarıma, eşim Güler ve oğlum Taha Emir'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1.GİRİŞ.....	1
2. ELEKTRİK VE MANYETİK ALANA İLİŞKİN TANIMLAMALAR.....	3
2.1. Fazörler ve Vektörler.....	3
2.2. Elektrik Alan.....	3
2.3. Manyetik Alan.....	4
2.4. Frekans.....	4
2.5. Elektrik ve Manyetik Alanın Maksimum Değeri.....	4
2.6. Tek Faz ve Üç Faz Alanlar.....	4
2.7. Elektrik Alanının Düşey Bileşeni.....	5
2.8. Uzay Potansiyeli.....	5
3.ELEKTRİK ALAN HESABI.....	6
3.1. İletim Hatları İçin Genel Bir Yöntem.....	6
3.2. Toprak Seviyesinde Elektrik Alan Profili.....	10
3.3. Topraktaki Maksimum Elektrik Alan Genelleştirilmiş Eğrileri.....	12
3.4. Hat Geometrisi Değişikliğinin Elektrik Alan Etkisi.....	15

	Sayfa
3.4.1. Hat konfigürasyonu	15
3.4.2. Hat yüksekliği	16
3.4.3. Sehim	18
3.4.4. İletken boyutları	19
3.4.5. Faz aralığı	20
3.4.6. Koruma teli	21
3.5. Çift Devre Hatlarda Elektrik Alan	21
3.6. Hattın Açık Yaptığı Noktalardaki Elektrik Alan	28
4. MANYETİK ALAN HESABI	32
4.1. İletim Hatları İçin Genel Bir Yöntem	32
4.2. Örnek Manyetik Alan Hesabı	35
5. 380 kV BORÇKA-İYİDERE ENERJİ İLETİM HATTINDA ELEKTRİK VE MANYETİK ALAN MODELLEMESİ	38
5.1. Modelin Tanıtılması	38
5.2. Mevcut Sistemin Tanımlanması ve Alan Analizi	38
5.3. Hat Parametrelerinde Yapılan Değişikliklerin Elektrik ve Manyetik Alan Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi	47
5.3.1. Hat yüksekliğinin değiştirilmesi	47
5.3.2. İletken boyutlarının değiştirilmesi	49
5.3.3. Faz aralığının değiştirilmesi	51
5.3.4. Koruma telinin alan üzerindeki etkisi	52
5.4. Modelleme Yapılan Noktada 380 kV Çift Devre Bir Direk Olması Durumunda Alan Analizi	56
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	59

	Sayfa
KAYNAKLAR	62
EKLER.....	63
EK-1 Maksimum alan hesabı	64
EK-2 Modelleme yapılan 3PB direği	67
EK-3 3PB direk konsolu	68
EK-4 Çift devre S2 direği.....	69
EK-5 S2 direk konsolu.....	70
EK-6 Çelik özlü alüminyum iletkenlerin mekanik ve elektriksel özellikleri	71
EK-7 İletim hattının elektrik ve manyetik alan analiz sonuçları	72
ÖZGEÇMİŞ.....	89

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Tek devre hat parametreleri.....	35
Çizelge 4.2. Toprak seviyesinde manyetik alan hesabı örneği.....	36
Çizelge 4.3. $x=0$ ve $y=0$ noktasındaki manyetik alan.....	36
Çizelge 5.1. Analiz yapılan bölgenin fiziksel bilgileri.....	42
Çizelge 5.2. 50/60 Hz elektrik ve manyetik alana maruz kalma standartları.....	43
Çizelge 5.3. Hat aksına en yakın binalar için elektromanyetik alan değerleri.....	46

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Bir noktaki elektrik alan elipsi.....	9
Şekil 3.2. İletkendeki yük nedeniyle toprakta oluşan elektrik alan.....	10
Şekil 3.3. Topraktaki elektrik alan yan profili.....	12
Şekil 3.4. Düz geometrili hatlarda, topraktaki E maksimum alanın hesaplanması için genel eğriler.....	13
Şekil 3.5. $T/S=0,5$ olan üçgen geometrili hatlarda, topraktaki E maksimum alanın hesabı için genel eğriler (H, iletken yığını yüksekliğidir).....	13
Şekil 3.6. $T/S=1$ olan üçgen geometrili hatlarda, topraktaki E maksimum alanın hesabı için genel eğriler (H, iletken yığını yüksekliğidir).....	14
Şekil 3.7. $T/S=1,5$ olan üçgen geometrili hatlarda, topraktaki E maksimum alanın hesabı için genel eğriler (H, iletken yığını yüksekliğidir).....	14
Şekil 3.8. Düz eşkenar üçgen ve dikey geometriye sahip hatlar için, topraktaki elektrik alan yan profili.....	15
Şekil 3.9. Toprak seviyesindeki elektrik alan büyüklüğünün, hattın yüksekliğine bağlı olarak değişmesi. (L_c kritik mesafesinde, elektrik alanının genliğinde değişiklik olmaz).....	17
Şekil 3.10. Hat yüksekliğinde yapılan bir değişikliğin, elektrik alan büyüklüğünde bir değişikliğe neden olmadığı L_c kritik mesafesi (L_c , hat merkezinden yatay olarak ölçülmüştür).....	18
Şekil 3.11. Toprak seviyesindeki elektrik alan üzerinde faz aralığının etkisi.....	21
Şekil 3.12. Çift devre geometrili ve farklı düzenlemeler için toprak elektrik alanı ($V= 525$ kV). 1 nolu faz düzenlemesi, maksimum toprak eğimi ve minimum iletken eğimi için öngörülmüştür. 5 nolu faz düzenlemesi, düşük reaktanslı olup minimum toprak eğimi için hesaplanmıştır (Aynı zamanda maksimum iletken eğimi ve maksimum güç taşıma kapasitesi düşünülmüştür).....	22

Şekil	Sayfa
Şekil 3.13. Çift devre geometrili ve farklı düzenlemeler için toprak seviyesindeki elektrik alan ($V = 345 \text{ kV}$)	24
Şekil 3.14. Toprak seviyesindeki maksimum elektrik alanının hesaplanması için genelleştirilmiş eğriler (Dikey faz geometrili tek devre).....	24
Şekil 3.15. Toprak seviyesindeki maksimum elektrik alanının hesaplanması için genelleştirilmiş eğriler (Şekil 3.12' deki süper yığın faz düzenlemesine sahip çift devre geometriler için).....	25
Şekil 3.16. Toprak seviyesindeki maksimum elektrik alanının hesaplanması için genelleştirilmiş eğriler (Şekil 3.12' deki düşük reaktans faz düzenlemesine sahip çift devre geometriler için).....	26
Şekil 3.17. Toprak seviyesindeki maksimum elektrik alanının hesaplanması için genelleştirilmiş eğriler (Şekil 3.13' deki düşük reaktans faz düzenlemesine sahip çift devre geometriler için).....	26
Şekil 3.18. Toprak seviyesindeki maksimum elektrik alanının hesaplanması için genelleştirilmiş eğriler (Şekil 3.13' deki süper yığın faz düzenlemesine sahip çift devre geometriler için).....	27
Şekil 3.19. Şekil 3.13'deki 3 nolu düzenlemenin yansıyan görüntüsü için toprak seviyesindeki elektrik alanının faz açısı (A fazı için).....	28
Şekil 3.20. 90^0 lik kıvrılma açısı için hat görünümü.....	29
Şekil 3.21. Hat kıvrımının açıortayı boyunca farklı noktalardaki düzeltme faktörü (kıvrım noktası ve hattın düz olduğu kısımdaki alan arasındaki oran) Toprak üzerindeki yükseklik 50 eşdeğer yığın çapına eşittir (90^0 'lik kıvrılma açısı için).....	30
Şekil 3.22. 45^0 lik kıvrılma açısı için hat görünümü.....	30
Şekil 3.23. Hat kıvrımının açıortayı boyunca farklı noktalardaki düzeltme faktörü (kıvrım noktası ve hattın düz olduğu kısımdaki alan arasındaki oran) Toprak üzerindeki yükseklik 50 eşdeğer yığın çapına eşittir (45^0 'lik kıvrılma açısı için).....	31
Şekil 4.1. Manyetik alan hesabı koordinat sistemi.....	33
Şekil 4.2. Manyetik akı (Alan elipsinin majör ve minör eksenlerinin genliği).....	37
Şekil 5.1. Çalışma yapılan bölgenin profili.....	40

Şekil	Sayfa
Şekil 5.2. İletim hattının yığın geometrisi (Üçlü bundle).....	40
Şekil 5.3. İletim hattının devre konfigürasyonu.....	41
Şekil 5.4. Analiz yapılan bölgenin kuşbakışı görünüşü.....	42
Şekil 5.5. Modelleme yapılan direğin sağında ve solunda,yer seviyesindeki elektrik alan dağılımı.....	43
Şekil 5.6. Modelleme yapılan direğin sağında ve solunda,çatı seviyesindeki (9,68 m) elektrik alan dağılımı.....	44
Şekil 5.7. Modelleme yapılan direğin sağında ve solunda,yer seviyesindeki manyetik alan dağılımı.....	44
Şekil 5.8. Modelleme yapılan direğin sağında ve solunda,çatı seviyesindeki (9,68 m) manyetik alan dağılımı.....	45
Şekil 5.9. Modelleme yapılan direğin sağında ve solunda,yer seviyesindeki elektrik alan dağılımı (Hat yüksekliği 40 m ve toprak koruma teli yüksekliği 50 m).....	48
Şekil 5.10. Modelleme yapılan direğin sağında ve solunda,yer seviyesindeki manyetik alan dağılımı (Hat yüksekliği 40 m ve toprak koruma teli yüksekliği 50 m).....	48
Şekil 5.11. Modelleme yapılan direğin sağında ve solunda,yer seviyesindeki elektrik alan dağılımı (Plover iletken için).....	50
Şekil 5.12. Modelleme yapılan direğin sağında ve solunda,yer seviyesindeki manyetik alan dağılımı (Plover iletken için).....	50
Şekil 5.13. Modelleme yapılan direğin sağında ve solunda,yer seviyesindeki elektrik alan dağılımı (S=5,6 m için).....	51
Şekil 5.14. Modelleme yapılan direğin sağında ve solunda,yer seviyesindeki manyetik alan dağılımı (S=5,6 m için).....	52
Şekil 5.15. Modelleme yapılan direğin sağında ve solunda,yer seviyesindeki elektrik alan dağılımı(Dengesiz tek koruma teli).....	53
Şekil 5.16. Modelleme yapılan direğin sağında ve solunda,yer seviyesindeki manyetik alan dağılımı (Dengesiz tek koruma teli).....	53

Şekil	Sayfa
Şekil 5.17. Modelleme yapılan direğin sağında ve solunda,yer seviyesindeki elektrik alan dağılımı (Dengeli tek koruma teli).....	54
Şekil 5.18. Modelleme yapılan direğin sağında ve solunda,yer seviyesindeki manyetik alan dağılımı(Dengeli tek koruma teli).....	55
Şekil 5.19. Modelleme yapılan direğin sağında ve solunda, yer seviyesindeki elektrik alan dağılımı (Koruma teli yok).....	55
Şekil 5.20. Modelleme yapılan direğin sağında ve solunda, yer seviyesindeki manyetik alan dağılımı (Koruma teli yok).....	56
Şekil 5.21. Çift devre hat için hat konfigürasyonu.....	57
Şekil 5.22. Modelleme yapılan direğin sağında ve solunda, yer seviyesindeki elektrik alan dağılımı (Çift devre hat için).....	58
Şekil 5.23. Modelleme yapılan direğin sağında ve solunda, yer seviyesindeki manyetik alan dağılımı (Çift devre hat için).....	58

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklama
A.B.D	Amerika Birleşik Devletleri
EPRI	Electric Power Research Institute
HES	Hidro Elektrik Santrali
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
APK	Araştırma Planlama Koordinasyon
EİH	Enerji İletim Hattı

1. GİRİŞ

Yüksek gerilim hatları ve istasyonları elektrik ve manyetik alan üretirler. Üretilen bu alanlar tüm tasarım aşamalarında göz önünde bulundurulmak zorundadır. Yüksek gerilim hatlarının giderek artan kullanımına paralel olarak, akım ve gerilimin ürettiği bu alan etkilerinin önemi artmış ve bu konuda yapılan araştırmalar hız kazanmıştır.

Elektrik ve manyetik alanlar, elektrik iletim ve dağıtım hatları, iletken ve kablolar tarafından üretilmektedir. Elektrik alanları, gerilim kaynaklı bir büyüklük olup, gerilim seviyesi arttıkça büyür. Manyetik alan ise akıma bağlı bir büyüklük olup artan akımla doğru orantılı olarak artar. Başka bir deyişle içinden akım geçmeyen ancak bir potansiyel farka maruz kalan bir elektriksel sistem çevresinde elektrik alan oluşturur. Ancak bir manyetik alanın söz konusu olabilmesi için mutlaka sistemin çalışıyor olması yani bir akım taşıması gereklidir.

Elektrik alanları, ağaçlar, binalar ve insan derisi gibi pek çok malzeme tarafından perdelenmekte veya azaltılmaktadır. Diğer taraftan manyetik alanlar, pek çok malzemeden kolayca geçtikleri için perdelenmeleri zordur. Hem elektrik hem de manyetik alanlar, alanı oluşturan kaynaktan uzaklaştıkça azalma eğiliminde olurlar.

Yüksek gerilim iletim hatlarının çevresinde oluşan elektrik ve manyetik alanlar, hattın gerilim seviyesi ve taşıdığı akımın büyüklüğüne bağlı olduğu kadar, çevresel etkenlere ve hattın geometrisine de bağlıdır. Gerilim seviyesinde ve bağlı olan yüklerde bir düzenleme yapmanın mümkün olmadığı durumlarda, hat geometrisi değiştirilerek, oluşan alanlar, Çizelge 5.2’de gösterilen ve aşılması halinde insan sağlığı açısından tehlike arz edebilecek seviyelerin altına indirilebilirler.

İkinci bölümde elektrik ve manyetik alana ilişkin bir takım tanımlamalar yapılmıştır [1,4]. Yapılmış olan bu tanımlamalar hat geometrisine ilişkin yapılan özel alan uygulamalarını ve hesaplamalarının anlaşılmasını kolaylaştırmaktadır.

Üçüncü bölümde, elektrik alan hesabı için genel bir yöntem tanımlanmış ve sonrasında genelleştirilmiş eğriler göz önünde bulundurularak hat parametrelerinde yapılan değişikliklerin alan üzerindeki etkileri incelenmiştir [1,4].

Dördüncü bölümde, manyetik alan hesabı için genel bir yöntem tanımlanmış ve örnek bir manyetik alan hesabı yapılmıştır [2,3,4].

Beşinci bölümde, 380 kV gerilim seviyesindeki Borçka-İyidere Enerji İletim Hattından (EİH) kaynaklanması olası elektrik ve manyetik alanın analizi yapılmış ve elde edilen değerler, Çizelge 5.2'de gösterilen değerlerle karşılaştırılmıştır [5,6]. Daha sonra mevcut hat geometrisi üzerinde bir takım değişikliklere gidilerek her durum için alan analizleri yapılmıştır. Son olarak analiz yapılan noktada, çift devre bir direk düşünülerek modelleme ve analiz yapılmıştır.

2. ELEKTRİK VE MANYETİK ALANA İLİŞKİN TANIMLAMALAR

2.1. Fazörler ve Vektörler

Elektrik ve manyetik alanı tanımlayabilmek için, fazör ve vektör kavramlarının açıklığa kavuşturulmasına ihtiyaç vardır. Bir vektör, genliği ve uzaydaki sahip olduğu açı ile tanımlanır, oysa bir fazör genliği ve zamanda bir açıyla tanımlanan, sinüzoidal zaman dönüşümlü bir niceliktir. Bir vektör, vektörü tanımlayan harfin üzerinde bir ok işareti ile ($\vec{E}$) bir fazör ise, fazörü tanımlayan harfin üzerinde bir dalga işareti ile ($\tilde{E}$) veya zamanın bir sinüzoidal fonksiyonu olarak ($[e(t)]$) gösterilir.

2.2. Elektrik Alan

Elektrik Alan, elektrik alan etkisinin bir vektör alanıdır ve bir birlerine dik üç eksen boyunca tanımlanır. Sürekli durum sinüzoidal alan için her bir uzay bileşeni, bir etkin değeri (V/m) ve bir faz ile ifade edilen bir fazördür:

$$\vec{E} = e_x(t)\vec{u}_x + e_y(t)\vec{u}_y + e_z(t)\vec{u}_z \quad (2.1)$$

Burada, u_x, u_y, u_z ; x,y,z eksenleri boyunca birim vektör ve $e_x(t)$, $e_y(t)$, $e_z(t)$ fazörlerdir. Zamana bağımlılık, x uzay bileşeni için , Eş.2.2'de gösterilmiştir:

$$e_x(t) = E_x \cos(\omega t + \phi_x) = E_{x,r} \cos \omega t + E_{x,i} \sin \omega t \quad (2.2)$$

Burada, E_x genlik ve ϕ_x , e_x' in faz açısıdır. $E_{x,r}$ ve $E_{x,i}$, gerçel ve sanal eksenlerdir. Eş.2.2, y ve z eksenleri için de yazılabilir. $\vec{E}$ vektörü Eş.2.1 ifadesiyle uzayda bir hareket vektörü olarak düşünülebilir. Maksimum alan etkisi elipsin ana eksenini boyunca elde edilir. Yarım eksen uzunluğu, maksimum alan şiddetinin değerini temsil eder. Bir çeyrek periyot sonra,

minör eksen yönündeki alan ve yarı eksenin boyu alan büyüklüğünü ifade eder. Elips düzlemine dik yöndeki alan sıfırdır [1].

2.3. Manyetik Alan

İletim hatlarında, iletkenlerden akan akım nedeniyle oluşan manyetik alanın tanımlanmasında, manyetik akı yoğunluğu (B), manyetik alan etkisinden ($H=B/\mu$) daha sık kullanılan bir kavramdır. Böylece manyetik alan, manyetik akı yoğunluğunun bir vektör alanı olarak tanımlanır. Manyetik alanın vektörel özellikleri, elektrik alan için tanımlanan özelliklerle aynıdır. Uzay bileşenlerinin büyüklükleri, etkin değerleri ile ifade edilebilirler. Uluslararası birim sisteminde (S.I) birimi Tesla(T) olup bu 1 Weber/m² (Wb/m²)' dir. Gauss (G), manyetik alanı tanımlamak için sıkça kullanılan bir birim olup, 1 Tesla, 10⁴ Gauss'dur.

2.4. Frekans

Elektrik ve manyetik alan uzay bileşenleri iletim frekansına eşit bir frekansa sahiptir. Ülkemizde iletim ve dağıtım hatlarında kullanılan sistem frekansı 50 Hz' dir.

2.5. Elektrik ve Manyetik Alanın Maksimum Değeri

Elektrik ve manyetik alanın maksimum değeri, alanın maksimum uzay bileşenlerinin etkin değeri olup yönü, elips yüzeyinin majör eksen yönündedir.

2.6. Tek Faz ve Üç Faz Alanlar

Bir faz elektrik ya da manyetik alan, bir tek faz kaynak tarafından enerjilendirilmiş iletkenler tarafından üretilir. Herbir noktadaki alan, zaman değişim değerleri ve değişmeyen doğrultu bileşeni ile tanımlanır.

Üç fazlı iletim hatları ve istasyonları üç fazlı alan üretir ve üretilen bu alanlar aynı fazda değildir. Alanlar, alan elipsleri tarafından tanımlanır. Pratikte

minör yarı eksen, majör yarı eksenden çok küçük olduğunda (%10 dan küçük), alan tek fazlı olarak göz önüne alınır.

2.7. Elektrik Alanının Düşey Bileşeni

Bir iletim hattının altındaki elektrik alanının düşey bileşeni, ölçüm noktasının içinden geçen düşey çizgi boyunca, elektrik alanının düşey bileşeninin etkin değeridir. Bu değer toprak seviyesindeki kapalı objelerde endüksiyon etkisinin belirlenmesi için kullanılır.

2.8. Uzay Potansiyeli

Bir noktanın uzay potansiyeli, bu nokta ile toprak arasındaki gerilim farkıyla ifade edilen bir fazördür.

3. ELEKTRİK ALAN HESABI

3.1. İletim Hatları İçin Genel Bir Yöntem

Alternatif akım iletim hatlarının çevresindeki elektrik alan, havada serbest bir yük olmadığı farzedilerek hesaplanır. Toprak mükemmel bir iletken olarak kabul edilir. Çünkü; toprak yüzeyinde oluşan yükün şarj süresi, güç frekansı ile karşılaştırıldığında aşırı derecede küçük olduğu görülür ($\tau = \rho \cdot \epsilon$, 0,1-100 ns). Havanın geçirgenliği pratikte hava şartlarından bağımsızdır ve boşluğun geçirgenliğine eşittir ($\epsilon = 8,854 \cdot 10^{-12}$ F/m).

İletim hatlarının her bir iletkeninin içerdği toprak potansiyelindeki teller, reel ve imajiner gerilim ($V = V_r + jV_i$) ve iletken çapı ile karakterize edilebilir. Düzenli bir geometriye sahip yığın iletkenleri için ve iletken yüzeyinden uzaktaki alanların hesaplanması için d_{eq} çapına sahip tek iletken değeri göz önüne alınarak hesap yapılması uygundur.

$$d_{eq} = D \cdot \sqrt[n]{\frac{nd}{D}} \quad (3.1)$$

Burada, D iletken yığınının çapı, n iletken sayısı, d ise iletken çapıdır. Düzenli bir geometriye sahip olmayan yığınlar için toplam şarja sahip tek iletkenin çapı eşdeğer çap hesaplamada kullanılabilir. Bu şekilde bir hesaplama için, yığının tek fazının enerjilendirilmiş olduğunu farzetmek yeterli olur.

İletkendeki Q yükü, V gerilimi vasıtasıyla ve P maxwell gerilim katsayısıyla matris olarak şu şekilde gösterilir:

$$[Q] = [P]^{-1} \cdot [V] \quad (3.2)$$

Eş.3.2 reel ve imajiner yükler için yazılabilir:

$$[Q] = [Q_r] + j[Q_i] \quad (3.3)$$

$$[Q_r] = [P]^{-1} \cdot [V_r] \quad , \quad [Q_i] = [P]^{-1} \cdot [V_i] \quad (3.4)$$

Tam olarak düz bir toprak yüzeyi üzerindeki paralel iletkenlerin (a,b,c,...), iletim hattı düzenlemeleri için $[P]$ matrisinin elemanları Eş.3.5 ve Eş.3.6 kullanılarak elde edilebilir.

$$P_{aa} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \ln \left(\frac{4y_a}{d_a} \right) \quad (3.5)$$

$$P_{ab} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \ln \left[\frac{(x_a - x_b)^2 + (y_a + y_b)^2}{(x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2} \right]^{1/2} \quad (3.6)$$

Burada, y_a ve y_b , a ve b iletkenlerin yüksekliği, d_a , a iletkeninin çapı ve x_a ve x_b ise a ve b iletkenlerinin yatay koordinatlarıdır. Eş.3.2 çözülür ve her bir iletken için sonuç bilinirse, uzay koordinatları (x_N, y_N) olan bir N noktası için elektrik alan hesaplanabilir. a iletkeninde ve onun toprak içerisindeki görüntüsünde yük nedeniyle oluşan alan şu şekilde hesaplanır:

$$\vec{E}_a = \tilde{E}_{x,a} \vec{u}_x + \tilde{E}_{y,a} \vec{u}_y \quad (3.7)$$

Burada, $\vec{u}_x$ ve $\vec{u}_y$ yatay ve dikey eksen boyunca birim vektörlerdir ve $\tilde{E}_{x,a}$ ve $\tilde{E}_{y,a}$ şu şekildedir :

$$\tilde{E}_{x,a} = \frac{(q_{ra} + jq_{ia})(x_N - x_a)}{2\pi\epsilon[(x_a - x_N)^2 + (y_a - y_N)^2]} - \frac{(q_{ra} + jq_{ia})(x_N - x_a)}{2\pi\epsilon[(x_a - x_N)^2 + (y_a + y_N)^2]} \quad (3.8)$$

$$\tilde{E}_{y,a} = \frac{(q_{ra} + jq_{ia})(y_N - y_a)}{2\pi\epsilon[(x_a - x_N)^2 + (y_a - y_N)^2]} - \frac{(q_{ra} + jq_{ia})(y_N + y_a)}{2\pi\epsilon[(x_a - x_N)^2 + (y_a + y_N)^2]} \quad (3.9)$$

Yatay ve dikey bileşenler, elektrik alanının $\tilde{E}_x$ ve $\tilde{E}_y$ bileşenleri, tüm iletkenlerin katkısı eklenerek elde edilir (a,b,...).

$$\tilde{E}_x = \tilde{E}_{x,a} + \tilde{E}_{x,b} + \dots \quad (3.10)$$

$$\tilde{E}_y = \tilde{E}_{y,a} + \tilde{E}_{y,b} + \dots \quad (3.11)$$

Bileşenlerin herbiri bir fazör olup reel ve imajiner bölümlerle ifade edilebilir:

$$\tilde{E}_x = \tilde{E}_{rx} + j\tilde{E}_{ix} \quad (3.12)$$

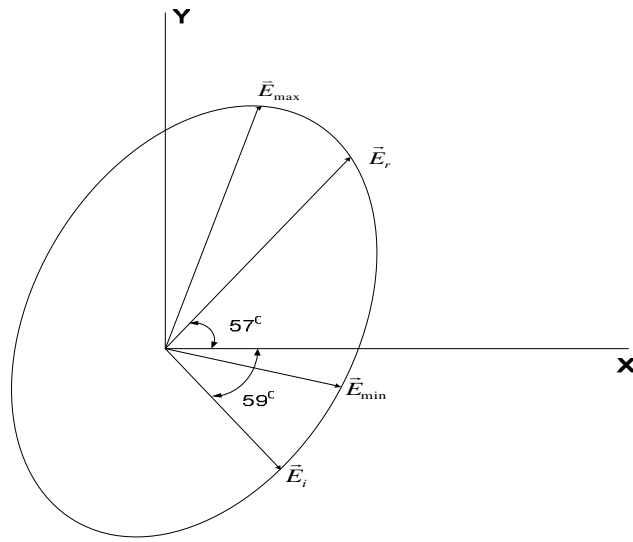
$$\tilde{E}_y = \tilde{E}_{ry} + j\tilde{E}_{iy} \quad (3.13)$$

Eş.3.12 ve Eş.3.13, elektrik alanı tam olarak tanımlar. Kullanılan yatay ve dikey bileşenlerin yerine, elektrik alanın reel ve imajiner kısımları tanımlanabilir.

$$\vec{E}_r = E_{rx}\vec{u}_x + E_{ry}\vec{u}_y \quad (3.14)$$

$$\vec{E}_i = E_{ix}\vec{u}_x + E_{iy}\vec{u}_y \quad (3.15)$$

Yukarıda sunulan her iki ifade şekli de Şekil 3.1' de gösterilmiştir. Şekil 3.1' de alan vektörü, faz açısı sıfırken E_r ile (uzay açısı 57^0), faz açısı 90^0 ' ye eşitken E_i ile (uzay açısı -59^0) uyumludur. Verilen örnekte vektör saat yönünde dönmektedir. Vektör elipsin majör eksenini doğrultusunda $\vec{E}_{\max}$ maksimum alana yaklaşır. Yatay ve dikey eksenlerdeki vektörün gösterimi, yatay ve dikey bileşenleri tanımlar (Bkz. EK-1).



Şekil 3.1. Bir noktadaki elektrik alan elipsi

$[Q_r] + j[Q_i]$ iletken yükleri değerlendirilirken öncelikle, x_N ve y_N koordinatlarının N noktasındaki uzay potansiyeli hesaplanmalıdır. İletken yüklerinin neden oldukları potansiyel şu şekilde hesaplanır:

$$V_{N,a} = \frac{q_{ra} + jq_{ia}}{2\pi\epsilon} \ln \frac{\sqrt{(x_a - x_N)^2 + (y_a - y_N)^2}}{y_a} - \frac{q_{ra} + jq_{ia}}{2\pi\epsilon} \ln \frac{\sqrt{(x_a - x_N)^2 + (y_a + y_N)^2}}{y_a} \quad (3.16)$$

Tüm iletkenlerin (a,b,...) neden olduğu uzay potansiyeli ise;

$$V_N = V_{N,a} + V_{N,b} + \dots = V_{rN} + jV_{iN} \quad (3.17)$$

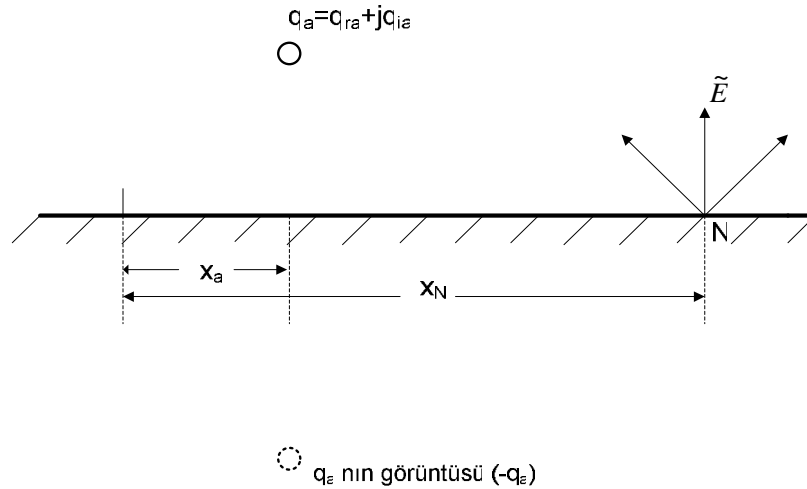
ile bulunur [2].

3.2. Toprak Seviyesinde Elektrik Alan Profili

İletim hattının toprak seviyesinde elektrik alan hesabı, genel alan hesap yönteminin önemli ölçüde kolaylaştırılmış şeklidir. Buna göre düz yatay topraktaki elektrik alan dikey bir vektörle ifade edilebilir (Şekil 3.2). a iletkenindeki q_a yükü ve onun toprak içerisindeki görüntüsü olan $-q_a$ yükü nedeniyle, toprak yüzeyindeki bir N noktasında oluşan alan Eş.3.9 yardımı ile $y_N=0$ için hesaplanabilir. Bu durumda:

$$\tilde{E}_a = \frac{q_{ra} + jq_{ia}}{2\pi\epsilon} \frac{2y_a}{(x_a - x_N)^2 + y_a^2} \quad (3.18)$$

ifadesi elde edilir. Burada; q_{ra} ve q_{ia} , Eş.3.4 ile hesaplanan yükün reel ve imajiner kısımları ve $(x_a - x_N)$, a iletkeni ile alan hesabı yapılan N noktası arasındaki yatay mesafedir.



Şekil 3.2. İletkendeki yük nedeniyle toprakta oluşan elektrik alan

N noktasındaki toplam elektrik alan, tüm iletkenlerin (a,b,c,...) elektrik alan katkısının toplanması ile elde edilir. Eş.3.19 , bir fazör ifade eder.

$$\tilde{E} = \tilde{E}_a + \tilde{E}_b + \tilde{E}_c + \dots \quad (3.19)$$

$$\tilde{E} = \tilde{E}_r + j\tilde{E}_i \quad (3.20)$$

Elektrik alanın genliği;

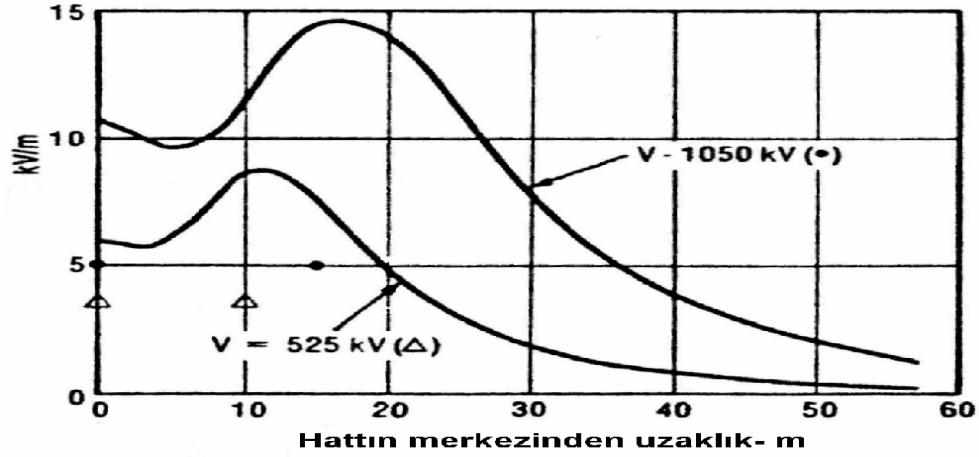
$$E = \sqrt{E_r^2 + E_i^2} \quad (3.21)$$

ifadesi ile hesaplanırken, faz açısı θ ;

$$\theta = \arctan \frac{E_i}{E_r} \quad (3.22)$$

şeklinde hesaplanır.

Eğer elektrik alan hesabı, iletim hattına dik olarak farklı noktalar için hesaplanırsa, iletim hattı elektrik alanının yan profili elde edilir. Aksi belirtilmedikçe, elektrik alan hesabı toprağa en yakın açıklıkta yapılır. Örnek olarak hesaplanan alan profili Şekil 3.3'de gösterilmiştir. İletim hattı tasarımı noktasında, maksimum alan ve kenarlardaki alan önem teşkil eder [1].

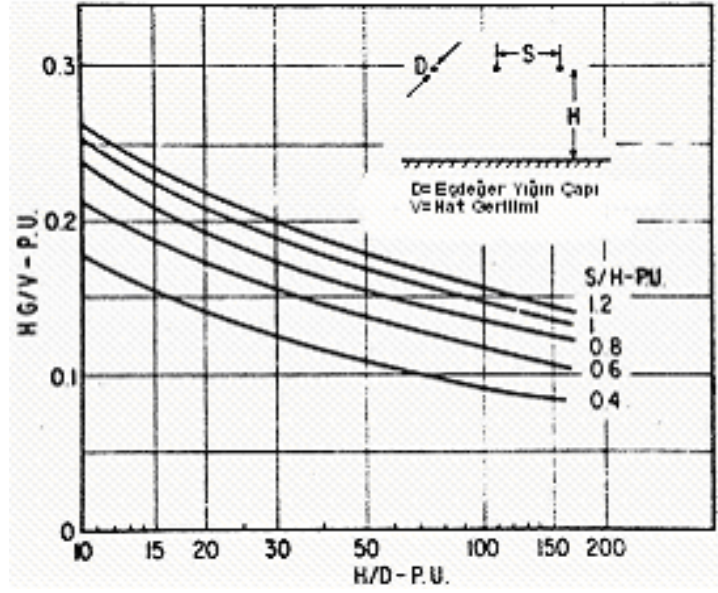


Şekil 3.3. Topraktaki elektrik alan yan profili (a) 525 kV, 3x3,3 cm 45 cm hava aralığı, 10 m iletken aralığı, 10,6 m toprak üzerinde, düz geometrili (b) 1050 kV, 101 cm çapında 8x3,3 cm iletken yığını, 18,3 m hava aralığı, 18,3 m toprak üzerinde, düz geometrili

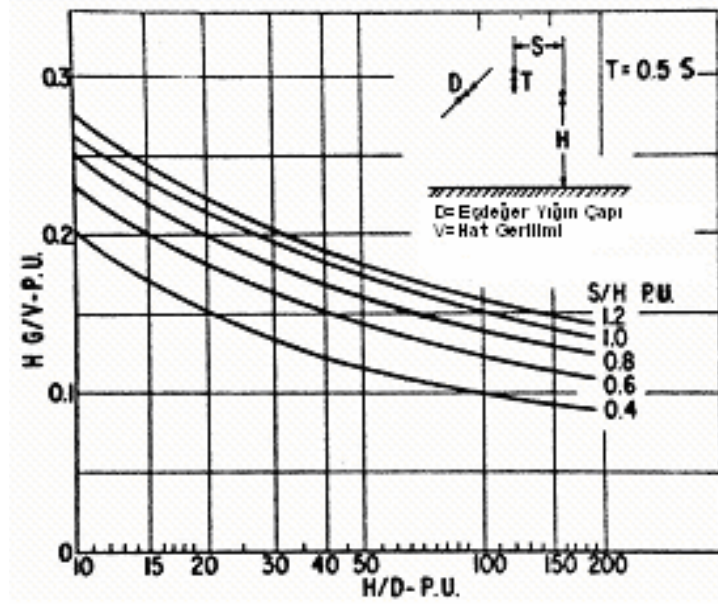
3.3. Topraktaki Maksimum Elektrik Alan Genelleştirilmiş Eğrileri

Şekil 3.4 – Şekil 3.7'de, farklı tek devre hatlar için, topraktaki maksimum alan hesabı kullanılarak elde edilmiş eğriler gösterilmiştir.

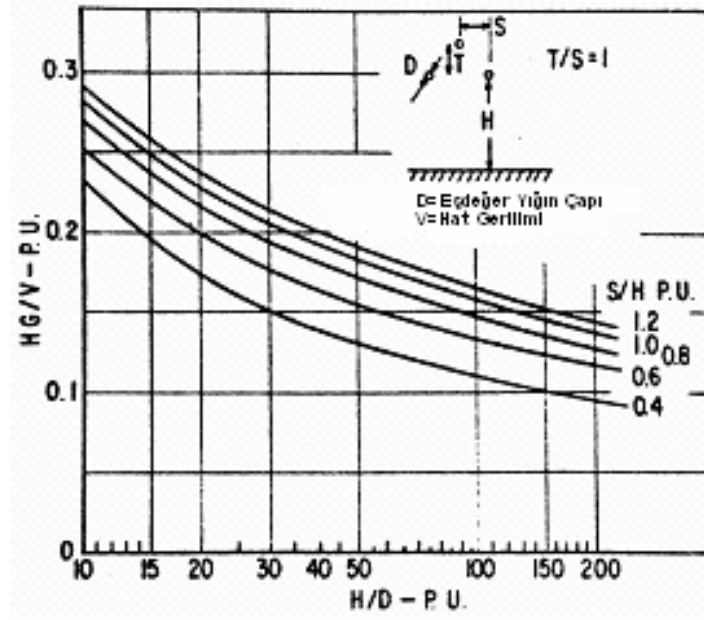
Şekil 3.4 kullanılarak, tek devre bir iletim hattı için topraktaki maksimum elektrik alan hesabı yapalım. Bu örnek için gerilim $V=525 \text{ kV}$ olarak seçilmiş olup 3x3,3 cm'lik iletken demeti 45 cm çapında bir demet halinde kullanılmıştır. Faz-faz yarıçapı $S=10 \text{ m}$ ve iletken yığınının merkezinden toprağa olan yükseklik $H=10,6 \text{ m}$ 'dir. Eşdeğer yığın yarıçapı Eş.3.1 ile $D=0,3 \text{ m}$ 'dir. $H/D=10,6/0,3=35,3$ ve $S/H=10/0,6=0,94$ bulunur. Şekil 3.4'de $HG/V=0,179$ olarak verilmiştir. Topraktaki maksimum elektrik alan, $E=0,179 \times 525/10,6=8,8 \text{ kV/m}$ bulunur. Şekil 3.4-Şekil 3.7'de tepe toprak teli göz önünde bulundurulmaz ve buradaki toprak alan etkisi ihmal edilir [1].



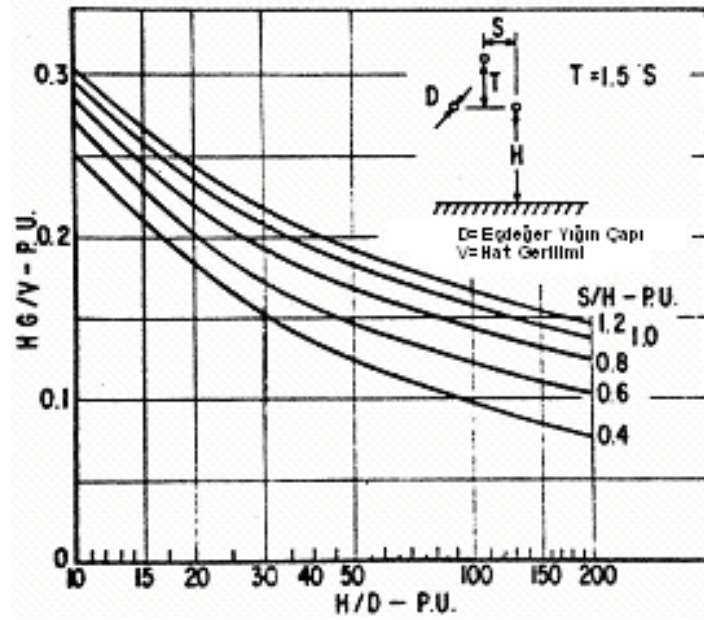
Şekil 3.4. Düz geometrili hatlarda, topraktaki E maksimum alanın hesaplanması için genel eğriler



Şekil 3.5. $T/S=0,5$ olan üçgen geometrili hatlarda, topraktaki E maksimum alanın hesabı için genel eğriler (H , iletken yığını yüksekliğidir)



Şekil 3.6. $T/S=1$ olan üçgen geometrili hatlarda, topraktaki E maksimum alanın hesabı için genel eğriler (H , iletken yığını yüksekliğidir)



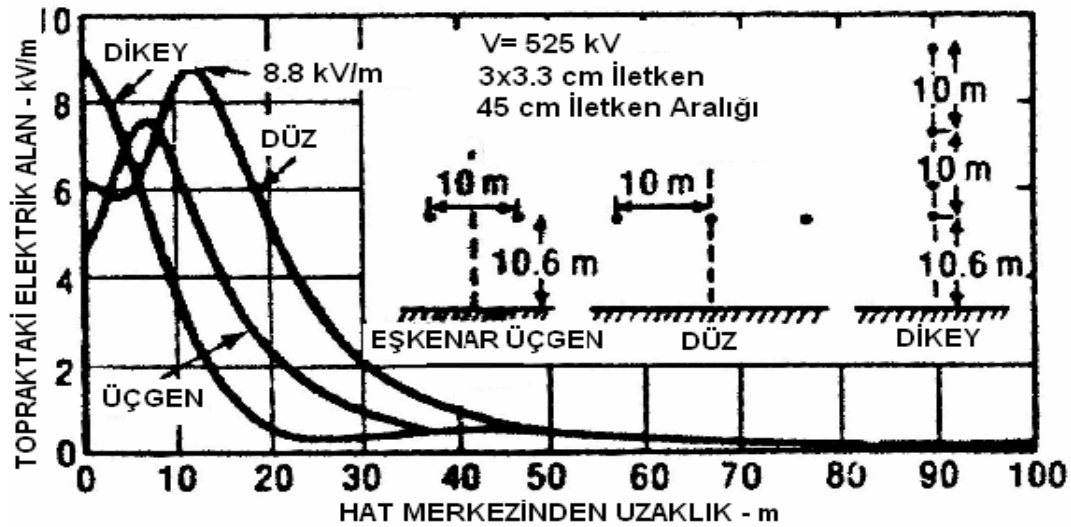
Şekil 3.7. $T/S=1,5$ olan üçgen geometrili hatlarda, topraktaki E maksimum alanın hesabı için genel eğriler (H , iletken yığını yüksekliğidir)

3.4. Hat Geometrisi Değişikliğinin Elektrik Alan Etkisi

İletim hattının yakınında meydana gelen elektrik alan, hattın geometrik parametrelerinin bir fonksiyondur. Bundan dolayı alan etkisi, iletim hattı tasarımındaki yeni yaklaşımlarla azaltılabilir. Hat tasarımındaki bazı değişiklikler, iletim hattı boyunca meydana gelen alandan farklı olarak, hattın altında veya sonundaki (maksimum alan durumu) alan üzerinde etkili olurlar. Alan etkisinin incelenmesinde göz önünde tutulan parametreler şunlardır: Hat konfigürasyonu, yükseklik, iletken boyutları, fazlar arası mesafe ve toprak koruma teli.

3.4.1. Hat konfigürasyonu

Şekil 3.8'de, üç farklı hat geometrisi için elektrik alan profili gösterilmiştir (düz, eşkenar üçgen ve dikey).



Şekil 3.8. Düz eşkenar üçgen ve dikey geometriye sahip hatlar için, topraktaki elektrik alan yan profili

Gerilim, fazlar arası mesafe, iletken boyutları ve toprağa olan mesafe üç konfigürasyon için de aynıdır. Topraktaki maksimum elektrik alan, eşkenar üçgen geometrisine sahip hat için en düşük, düz ve dikey geometrili hatlar için ise daha yüksektir. Eşkenar olmayan üçgen geometrisi için alan profili,

düz geometrili hat ile eşkenar üçgen geometrili hat profili arasındadır. İletim koridoru dışındaki elektrik alan dikey geometrili hatlar için son derece düşük, düz geometrili hatlar için ise oldukça yüksektir.

3.4.2. Hat yüksekliği

Arttırılan hat yüksekliği, topraktaki elektrik alanın azaltılması için uygulanacak en etkili yöntemdir. Bununla birlikte artan hat yüksekliği, daha yüksek ya da daha sık tesis edilmiş direklere ihtiyaç duyar. Hat yüksekliğinin elektrik alan üzerindeki etkisi Şekil 3.4-Şekil 3.7'de kolayca gözlemlenemez. Şekillerdeki dikey eksen değişiklikleri, hat yüksekliği (H) ile elektrik alanın (E) ters orantılı olduğunu ifade eder. Hat yüksekliği, yatay eksen değişikliğinde ve S/H parametresinin içinde yer alır. Hat yüksekliği ve elektrik alan arasındaki ilişki, aşağıdaki amprik eşitlikle ifade edilebilir:

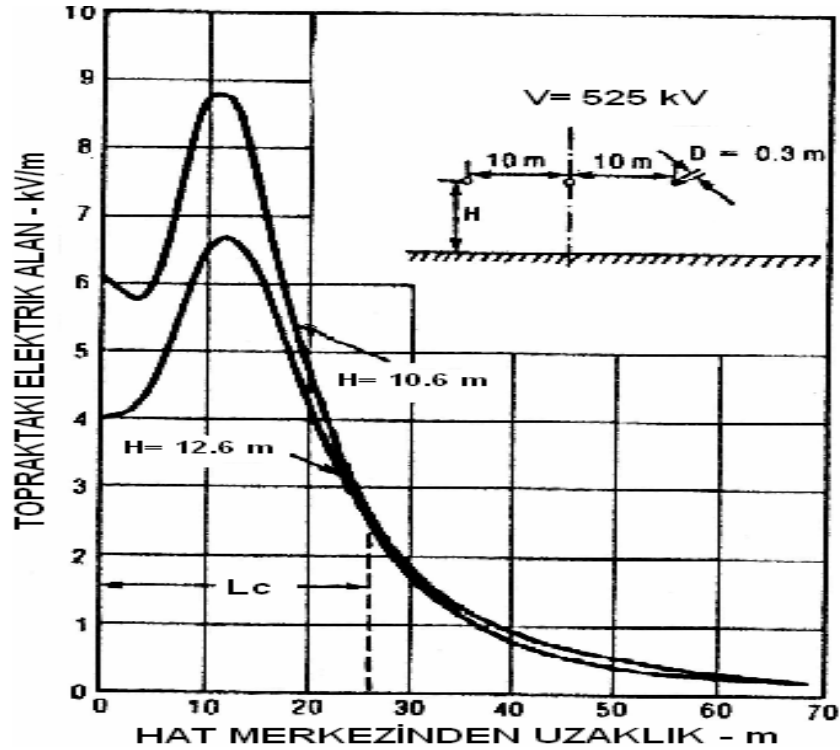
$$\left(\frac{E_1}{E_2} \right) = \left(\frac{H_1}{H_2} \right)^m \quad (3.23)$$

Burada; E_1 ve E_2 sırasıyla, minimum hat yükseklikleri H_1 ve H_2 için maksimum elektrik alanlarıdır. m değeri hat geometrisine bağlıdır. Düz geometrili üç fazlı iletim hatları için, S/H=1 ve S/D=33 ise $m \approx -1,4$ ve eşkenar üçgen geometrili üç fazlı iletim hatları için $m \approx -1,6$ olarak alınır. Örneğin; düz geometrili bir hattın yerden 10,6 m yükseklikteki alan büyüklüğü 8,8 kV/m kabul edilirse, yükseklik 1 m arttırılarak 11,6 m için inceleme yapıldığında Eş.3.23 nolu ifade gereği:

$$E_2 = 8,8 \left(\frac{11,6}{10,6} \right)^{-1,4} = 7,8 \text{ kV / m} \quad (3.24)$$

olarak bulunur.

İletim koridoru dışındaki alan, hat yüksekliğinin değişmesinden, farklı bir şekilde etkilenir. Şekil 3.9'da bu duruma ilişkin bir örnek profil verilmiştir. Hat yüksekliğindeki bir artış; hattın merkezinden L_c kritik mesafesine kadar, elektrik alanında bir azalmaya neden olur. L_c den daha büyük mesafelerde ise elektrik alan büyüklüğünde bir artış görülür. Böylece, hat yüksekliğinin artırılması, iletim hattı koridoru dışındaki elektrik alan söz konusu olduğunda bir avantaj teşkil etmez.

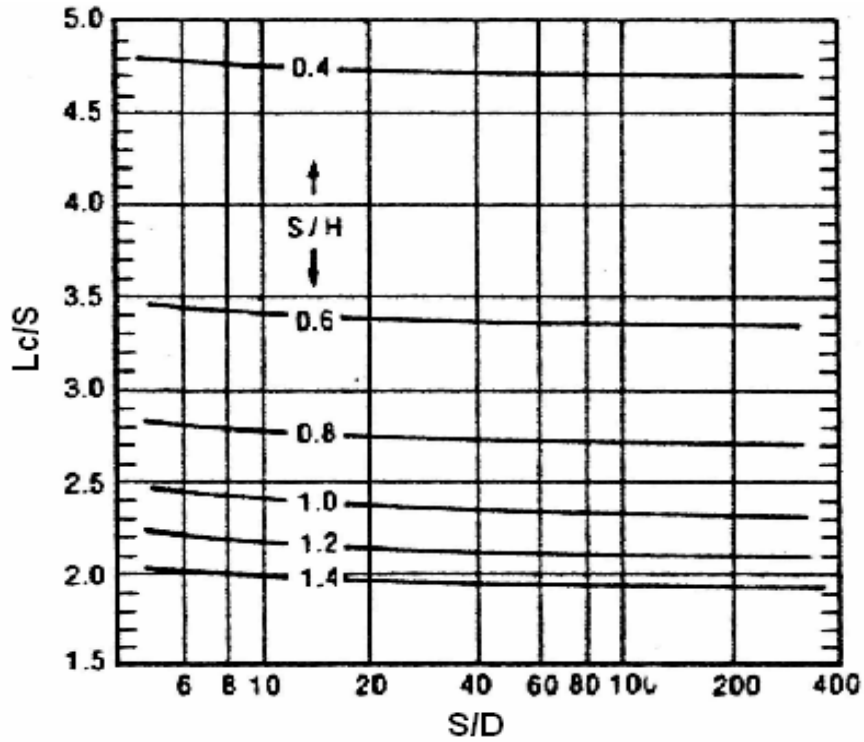


Şekil 3.9. Toprak seviyesindeki elektrik alan büyüklüğünün, hattın yüksekliğine bağlı olarak değişmesi (L_c kritik mesafesinde, elektrik alanının genliğinde değişiklik olmaz)

Hattın yüksekliğinin değiştirilmesine karşın elektrik alan büyüklüğünde bir değişiklik görülmeyen L_c kritik mesafesi, Şekil 3.10'da, yatay geometrili üç fazlı bir hat için tanımlandığı gibi, hat parametrelerinin bir fonksiyonudur. Örneğin; Şekil 3.8'de tanımlanan yatay geometrili hat gözönüne alınırsa,

$S/H=0,94$ ve $S/D=33$ olduğu ve bu değerler doğrultusunda Şekil 3.10'dan $L_c/S=2,5$ yani $L_c=2,5 \times 10=25$ m olduğu görülür.

Önceki görüşün doğal bir sonucu olarak, iletim koridorunun dışındaki alan, direğin tepesine doğru daha büyüktür (Direğin tepesindeki toprak koruma teli etkisi ihmal edilir) [1].



Şekil 3.10. Hat yüksekliğinde yapılan bir değişikliğin, elektrik alan büyüklüğünde bir değişikliğe neden olmadığı L_c kritik mesafesi (L_c , hat merkezinden yatay olarak ölçülmüştür)

3.4.3. Sehim

Eğer yan profil, zincir eğrisinin en düşük noktası için alınırsa, sehim etkisi ihmal edilir. Topraktaki elektrik alanın hesabında, sehim etkisi göz önünde bulundurulur ve ihmal edilerek yapılan hesaplamalar arasındaki fark, iletim koridorunda $\pm 1\%$ 'den küçüktür. Bu fark, hat merkezinden uzaklaştıkça alanın yüzdesi olarak ifade edilir fakat mutlak değeri genelde ihmal edilir.

Örneğin, Şekil 3.3'deki 550 kV'luk düz hat geometrisi için, hat merkezinden yan kesit açıklığının hat merkezinden 76 m uzağındaki alan, sehim göz önüne alınarak hesaplandığında 128 V/m bulunur ki bu, sehim göz önüne alınmadan yapılan ve 116 V/m hesaplanan alandan, %10 veya 12 V/m kadar daha büyüktür. Direkten itibaren, direkler arası açıklığın 1/3'üne eşit olan kısımlarda, yan profiller için sehim etkisi ihmal edilebilir. Ancak direğe daha yakın kısımlarda profil hesaplaması yapılırken, kesit yüksekliği hat yüksekliği olarak alınarak, Eş.3.18-Eş.3.22 ile yapılan hesaplamalar sonucunda önemli farklılıklar ortaya çıkabilir. Örneğin; Şekil 3.3'de 16,8 m için hesaplama yapılırsa (direk toprak koruma teli etkisi ihmal edilerek), toprak üzerinde 23,7 m bir yükseklik kullanılarak elde edilen yan profilin, bu yükseklik yerine gerçek direk yüksekliği olan 27,4 m kullanılması ile elde edilen yan profile yakın olduğu görülür.

3.4.4. İletken boyutları

İletken boyutlarının etkisi, iletken yığını durumunda eşdeğer iletken çapı Eş.3.1'in kullanılması ile değerlendirilebilir. Gerçekten, bu tek iletkenin çapı yığın uzunluğunun birim başına taşıdığı toplam iletken akımıyla aynı akımı taşır ve bu yüzden toprakta aynı alanın oluşmasına neden olur. Şekil 3.4-Şekil 3.7, topraktaki maksimum alanda D'nin etkisini göstermektedir. İletim koridoru dışındaki alanda D'nin etkisi, pratikte maksimum alandaki etkisiyle aynıdır. Elektrik alanın tüm noktalarındaki alan şiddeti, iletkendeki yükke orantılı olarak değişir. Üç fazlı hatlar için, iletkenin çapı ile topraktaki elektrik alan arasındaki ilişki yaklaşık olarak şu şekilde ifade edilebilir:

$$\frac{E_1}{E_2} \approx \frac{\ln(2S / D_2)}{\ln(2S / D_1)} \quad (3.25)$$

Burada; E_1 ve E_2 , S faz aralığına sahip hatlar için elektrik alan ve D_1, D_2 iletken çaplarıdır. Eş.3.25 kullanılarak, iletken çapının etkisi kolayca doğrulanır. Örneğin; toprağa yakın bir noktadaki elektrik alanın 5 kV/m

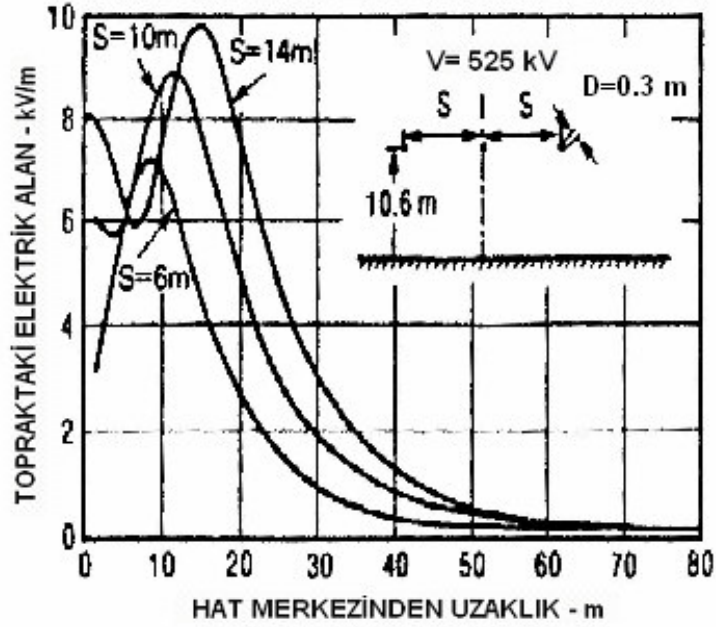
olduğunu varsayalım. Çift iletkenli bu yığında, iletken çapı $d=3,8$ cm, iletkenler arası mesafe 46 cm ve fazlar arası mesafe 9,15 m olsun. Eş.3.1' den , eşdeğer çap 18,7 cm elde edilir. İletken çapında bir değişiklik yapıp $d=5,1$ cm olarak düşünürsek elektrik alan aşağıdaki gibi olur:

$$E = 5 \frac{\ln \frac{18,3}{0,187}}{\ln \frac{18,3}{0,051}} = 3,9 kV / m \quad (3.26)$$

Bu örnek, iletken boyutlarındaki zorlayıcı değişikliklerin yapılabilmesi için toprak seviyesindeki elektrik alanın hesaplamasının gerekli olduğunu gösterir. Bu değişikliklerin yapılması, maliyet ve korona kayıplarının artacak olması nedenleriyle sürekli mümkün olmayabilir.

3.4.5. Faz aralığı

Topraktaki maksimum eğimdeki faz aralığının etkisi, Şekil 3.4-Şekil 3.7 kullanılarak değerlendirilebilir. Daha sıkıştırılmış hatlar, toprakta daha düşük elektrik alan üretirler. Bu etki, Şekil 3.11'de düz geometrilili hatlar için, açık bir şekilde gösterilmiştir. Bundan dolayı çok yüksek gerilimli iletim hatlarının sıkıştırılması alanın azaltılması için çok önemlidir. Çok yüksek gerilim hatlarının sıkıştırılması, fazlar arasında metalik parçalar olmayan direkler gerektirir ve bu hattın korona performansının kötüleşmesine neden olur. Bu nedenle, topraktaki alanının azaltılmasına neden olan faz aralığındaki daralmayla birlikte, ses ve radyo gürültüsünden kaçınmak için, daha fazla sayıda veya daha geniş iletken ihtiyacı duyulur.



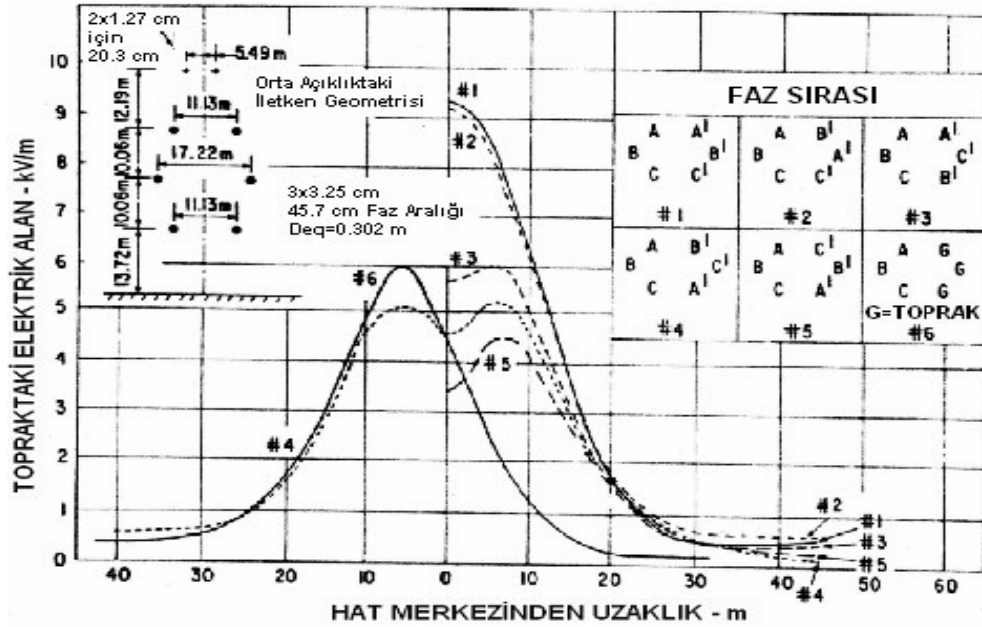
Şekil 3.11. Toprak seviyesindeki elektrik alanı üzerinde faz aralığının etkisi

3.4.6. Koruma teli

Pratikte, yıldırım koruması için tesis edilen koruma teli, toprak seviyesindeki elektrik alanını etkilemez. Koruma telinin mevcudiyeti, elektrik alanında %1-2' den daha fazla olmayan bir azalmaya neden olur. Bu azalmanın küçük olmasının sebebi, koruma telinin faz iletkenlerinin üzerinde ve toprağa daha uzak olmasından dolayıdır.

3.5. Çift Devre Hatlarda Elektrik Alan

Çift devre hatlar için topraktaki elektrik alanının hesabı, daha önce tanımlanan genel hesap metodu kullanılarak yapılabilir. Çift devre hatlardaki alan hesaplamalarında, ek geometrik parametrelerin hesaba katılmasından dolayı genelleştirilmiş eğrileri kullanmak zordur. Ayrıca her iki devrenin fazları, topraktaki gerilim değişiminden büyük oranda etkilenecektir. Şekil 3.12'de, farklı faz düzenlemeleri için, 525 kV'luk bir hattın yan profilleri gösterilmiştir. Şekil 3.13'de ise, 345 kV'luk bir iletim hattının farklı geometrilerdeki yan profilleri gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Çift devre geometrili ve farklı düzenlemeler için toprak elektrik alanı (V= 525 kV). 1 nolu faz düzenlemesi, maksimum toprak eğimi ve minumum iletken eğimi için öngörülmüştür. 5 nolu faz düzenlemesi, düşük reaktanslı olup minumum toprak eğimi için hesaplanmıştır (Aynı zamanda maksimum iletken eğimi ve maksimum güç taşıma kapasitesi düşünülmüştür)

Süper yığın düzenlemesi iletkendeki en düşük alan ve topraktaki en yüksek alan için uygunken, düşük reaktans düzenlemesi iletkendeki en yüksek elektrik alan ve topraktaki en düşük alan için uygun olmaktadır. Yalnız bir devresi enerjilendirilmiş ve ikinci devresi topraklanmış çift devre iletim hatları, Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'deki 6 nolu eğrilerle tanımlanmışlardır. Bu durumda, elektrik alan eğrisi düşük reaktans ve süper yığın faz sırası için oluşan eğriler arasındadır. Tüm eğriler Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'de, toprak teli göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır.

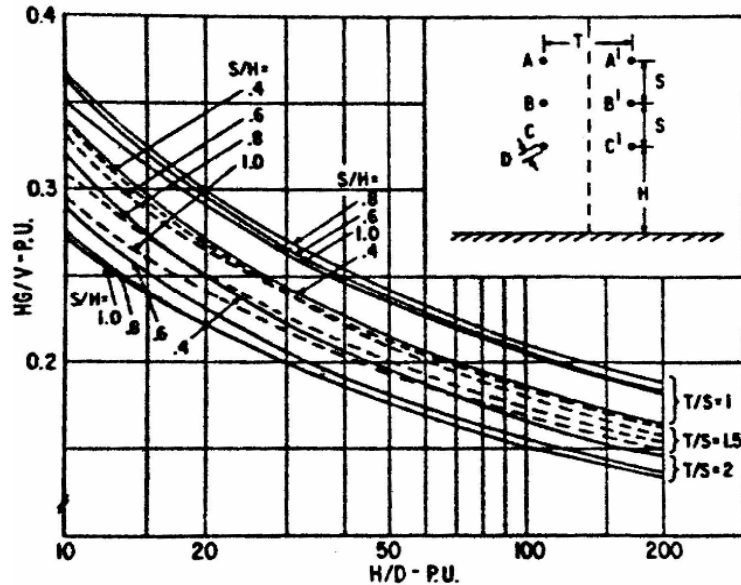
Genelleştirilmiş eğriler, Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'de sunulan temel geometriler için hesaplanan, toprak seviyesindeki maksimum elektrik alanı verir. Faz düzenlemelerinden göz önüne alınanlar, süper yığın (Şekil 3.12 ve

Şekil 3.13'deki 1 nolu), düşük reaktans (Şekil 3.12 ve Şekil 3.13' deki 5 nolu) ve tek faz geometrileridir (Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'deki 6 nolu). Eğer enerjilendirilmemiş devre topraklanırsa tek devre durumunda küçük bir fark meydana gelir. Bu durumda genelleştirilmiş eğriler, Şekil 3.12'deki çift devre düzenlemeleri için Şekil 3.14'den, Şekil 3.13'deki çift devre düzenlemeleri için Şekil 3.16'dan elde edilir.

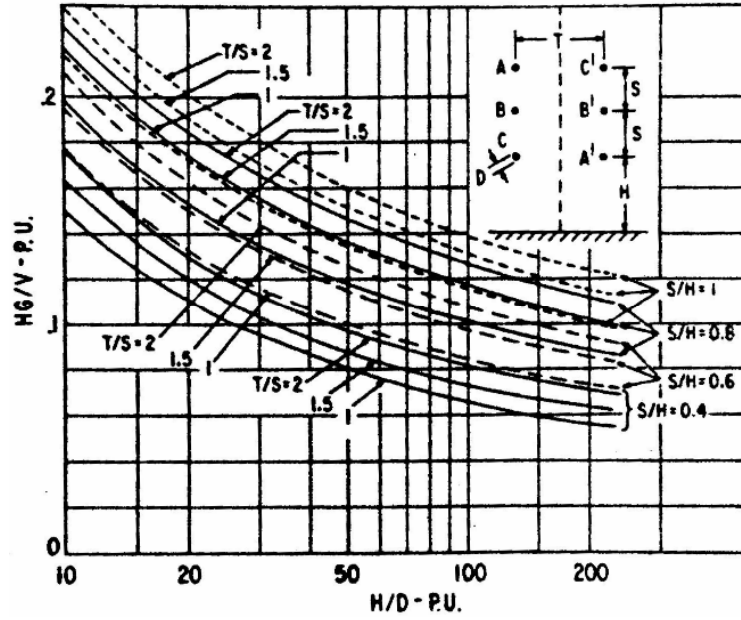
Şekil 3.14, toprak seviyesindeki maksimum elektrik alana küçük bir etkisi olan T mesafesini göstermektedir. $T=0$ alındığı takdirde genelleştirilmiş eğriler elde edilebilir. Süper yığın düzenlemeleri için genelleştirilmiş eğriler Şekil 3.15'de, düşük reaktans düzenlemeleri içinse Şekil 3.16'da verilmiştir. Şekil 3.13'deki geometri için genelleştirilmiş eğriler, etkisi ihmal edilerek limitlerde olan Δ parametresine bağlı olarak hesaplanabilir (Şekil 3.17'deki gibi). Düşük reaktans düzenlemeleri için genelleştirilmiş eğriler Şekil 3.17'de, süper yığın düzenlemeleri için ise Şekil 3.18'de verilmiştir. Daha önce tanımlanan genelleştirilmiş eğriler yardımıyla, maksimum elektrik alan, hat geometrisi çok farklı iletim hatları için de hesaplanabilir. Diğer faz düzenlemeleri için, Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'le uyumlu benzer süper yığın veya düşük reaktans düzenlemeleri kullanılarak başarılı yaklaşımlar geliştirilebilir.

Örneğin; Şekil 3.12'de yer alan tipteki bir geometriye ve $V=765$ kV, $d_{eq}=42,5$ cm, $H=15,1$ m, $S=12$ m, $T=13,4$ m hat parametrelerine sahip üç fazlı bir iletim hattını göz önüne alalım. Şekil 3.15'deki süper yığın düzenlemesi göz önüne alındığında, $H/D=32$, $T/S=1,1$, $S/H=0,8$ ve $HE/V=0,258$ elde edilir ki bu veriler doğrultusunda $E=13$ kV/m olarak bulunur. Benzer şekilde düşük reaktans düzenlemesinde (Şekil 3.16) elektrik alan $E=6,9$ kV/m olarak bulunur. Süper yığın düzenlemesinin elektrik alanının, düşük reaktans düzenlemesinin elektrik alanına oranı $13/6,9=1,88$ olarak bulunur ve bu değer Şekil 3.12'deki $9,3/4,5=2,05$ oranına yakın bir değerdir. Bundan dolayı verilen parametreler doğrultusunda 3 nolu düzenleme için tahmini değer, Şekil 3.12'deki 1 ve 3 nolu düzenlemelerin maksimum alan değerleri arasındaki orana göre şu şekilde bulunur:

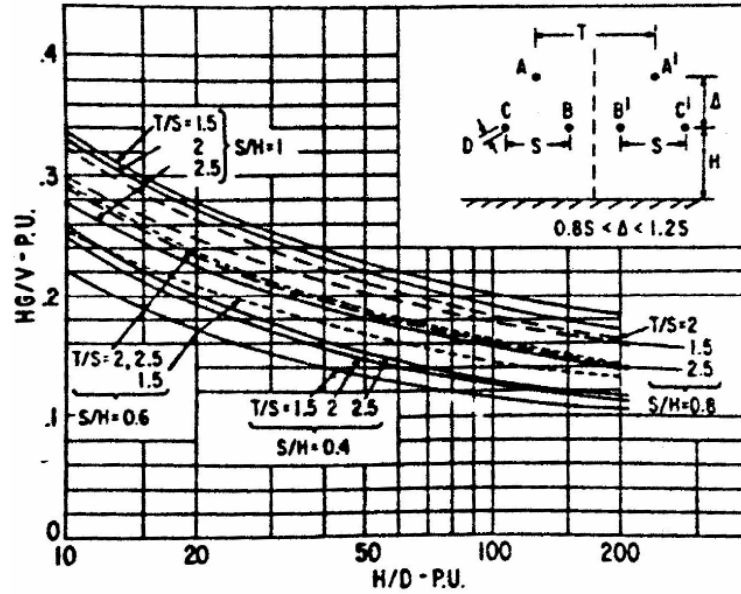
$$E_{\max 3} = \frac{6}{9,3} \times 13 = 8,4 \text{ kV/m} \quad (3.27)$$



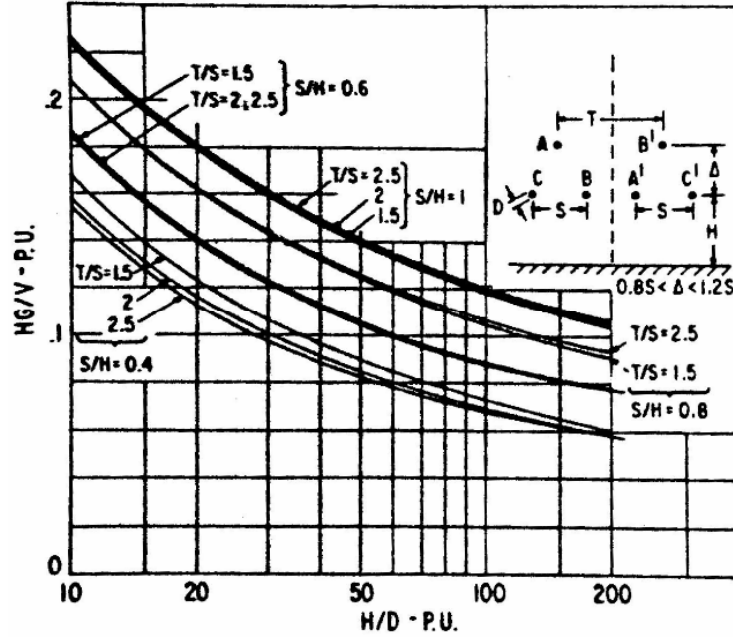
Şekil 3.15. Toprak seviyesindeki maksimum elektrik alanının hesaplanması için genelleştirilmiş eğriler (Şekil 3.12'deki süper yığın faz düzenlemesine sahip çift devre geometriler için)



Şekil 3.16. Toprak seviyesindeki maksimum elektrik alanının hesaplanması için genelleştirilmiş eğriler (Şekil 3.12'deki düşük reaktans faz düzenlemesine sahip çift devre geometriler için)



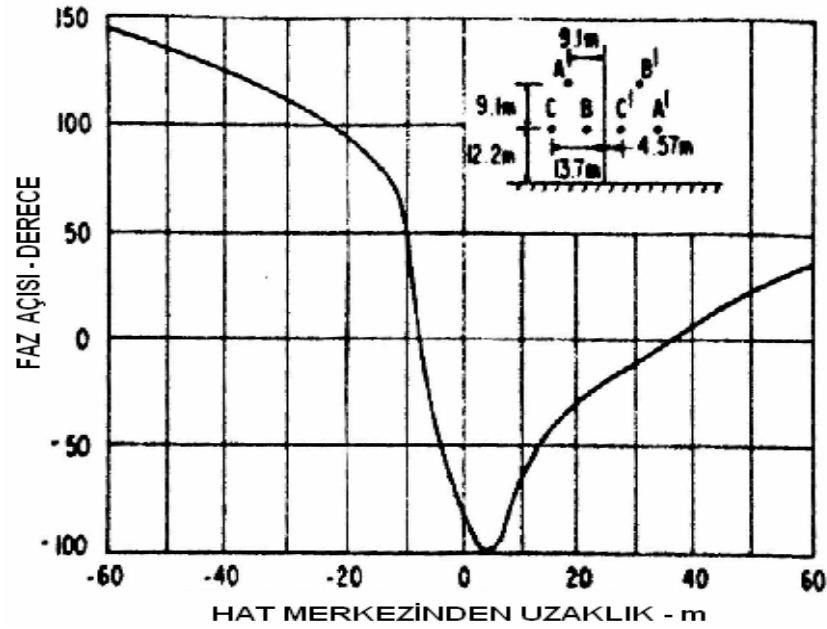
Şekil 3.17. Toprak seviyesindeki maksimum elektrik alanının hesaplanması için genelleştirilmiş eğriler (Şekil 3.13'deki düşük reaktans faz düzenlemesine sahip çift devre geometriler için)



Şekil 3.18. Toprak seviyesindeki maksimum elektrik alanının hesaplanması için genelleştirilmiş eğriler (Şekil 3.13'deki süper yığın faz düzenlemesine sahip çift devre geometriler için)

İletim hatlarına paralel olmayan uzun objeler üzerindeki elektrostatik etkinin analizi, hattın merkezinden farklı uzaklıklardaki elektrik alanının hem faz hem de genlik olarak değerlendirilmesini gerektirir. Faz açısı, Eş.3.22 kullanılarak hesaplanabilir.

Toprak seviyesindeki elektrik alanının faz açısının hesabı için, Şekil 3.13'deki 3 nolu düzenleme göz önüne alınarak faz açısı hesabı örneği Şekil 3.19'da verilmiştir.



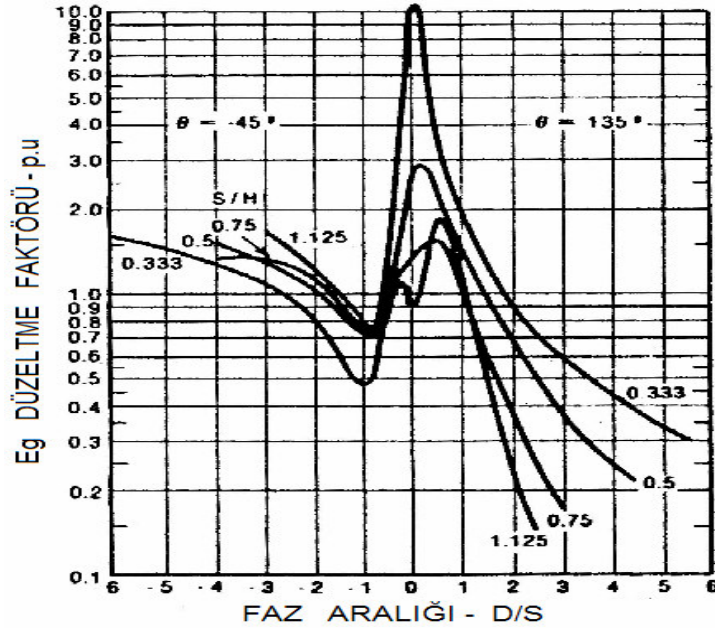
Şekil 3.19. Şekil 3.13'deki 3 nolu düzenlemenin yansıyan görüntüsü için toprak seviyesindeki elektrik alanının faz açısı (A fazı için)

3.6. Hattın Açı Yaptığı Noktalardaki Elektrik Alan

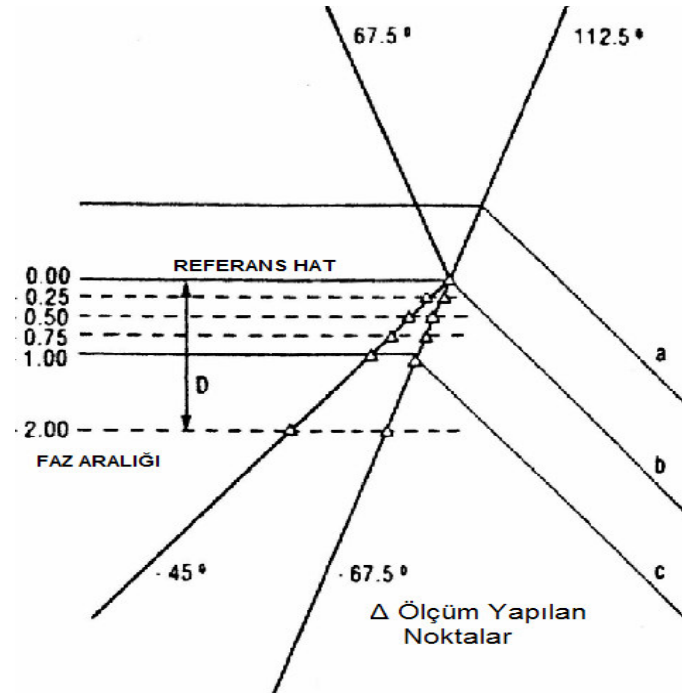
Hattın kıvrım noktalarında elektrik alan hesaplanırken geleneksel iki boyutlu analiz yerine daha zor olan üç boyutlu analiz gerekir. İletim hattının yön değiştirdiği bu noktalarda hesap yaparken, k düzeltme faktörü kullanılır ve k faktörü şu şekilde tanımlanır:

$$E_b = kE_g \quad (3.28)$$

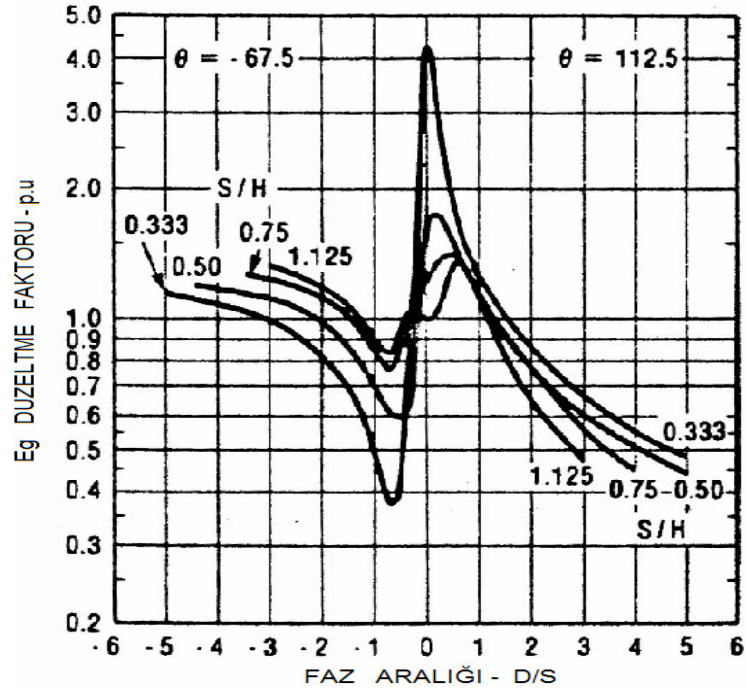
Burada; E_b , hattın kıvrım noktasındaki elektrik alan ve E_g , hattın düz olduğu noktadaki elektrik alan değeridir. k faktörünün 1 den sapması kırılma noktasındaki açığa bağlı olarak değişir. 90° 'lik bir açı için hattın gösterimi Şekil 3.20'de ve bu açığa bağlı düzeltme faktörü k Şekil 3.21'de sunulmuştur. 45° 'lik açı içinse hat gösterimi Şekil 3.22'de, düzeltme faktörü k ise Şekil 3.23'de sunulmuştur.



Şekil 3.21. Hat kıvrımının açıortayı boyunca farklı noktalardaki düzeltme faktörü (kıvrım noktası ve hattın düz olduğu kısımdaki alan arasındaki oran) Toprak üzerindeki yükseklik 50 eşdeğer yığın çapına eşittir (90° 'lik kıvrılma açısı için)



Şekil 3.22. 45° 'lik kıvrılma açısı için hat görünümü



Şekil 3.23. Hat kıvrımının açıortayı boyunca farklı noktalardaki düzeltme faktörü (kıvrım noktası ve hattın düz olduğu kısımdaki alan arasındaki oran) Toprak üzerindeki yükseklik, 50 eşdeğer yığın çapına eşittir (45° lik kıvrılma açısı için)

4. MANYETİK ALAN HESABI

4.1. İletim Hatları İçin Genel Bir Yöntem

İletim hatlarının manyetik alanı, hattın toprak yüzeyine paralel olduğu varsayıp, iki boyutlu analiz kullanılarak hesaplanır. Kullanılan koordinat sistemi Şekil 4.1'de tanımlanmıştır. Bu koordinat sisteminde Z eksenini iletim hattına paraleldir. Manyetik alan kuvveti $H_{j,i}$, I_i akımına sahip bir iletken, $r_{i,j}$ mesafesindeki bir (x_i, y_i) noktasında hesaplanır ve genliği şu şekilde bulunur:

$$H_{j,i} = \frac{I_i}{2\pi \cdot r_{i,j}} \quad (4.1)$$

Bu ifadenin vektörel gösterimi:

$$\vec{H}_{j,i} = \frac{\vec{I}_i \times \vec{r}_{j,i}}{2\pi \cdot r_{i,j}^2} = \frac{I_i}{2\pi r_{i,j}} \vec{\phi}_{i,j} \quad (4.2)$$

şeklindedir. Burada, $\vec{\phi}_{i,j}$, vektörel akımın ürettiği alan yönündeki birim vektördür. Birim vektör şu eşitlikle bulunur:

$$\vec{\phi}_{i,j} = -\frac{y_i - y_j}{r_{i,j}} \vec{u}_x + \frac{x_i - x_j}{r_{i,j}} \vec{u}_y \quad (4.3)$$

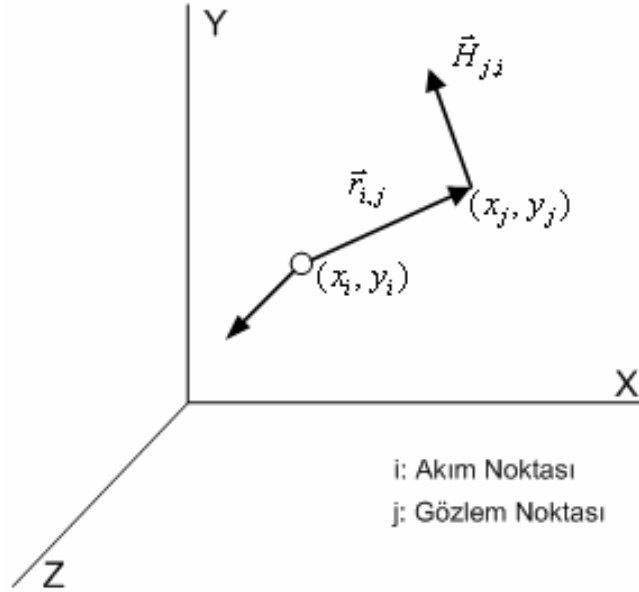
Burada; $\vec{u}_x$ ve $\vec{u}_y$, sırasıyla yatay ve dikey doğrultudaki birim vektörlerdir. Toplam manyetik alan, hat akımlarının tümünün katkısının toplamı şeklinde ifade edilir.

$$\vec{H}_j = \sum_i \frac{I_i}{2\pi r_{ij}} \vec{\phi}_{i,j} \quad (4.4)$$

Manyetik akı yoğunluğu:

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (4.5)$$

ile bulunur. Burada; hava ve toprak için $\mu = 4\pi 10^{-7}$ H/m' dir.



Şekil 4.1. Manyetik alan hesabı koordinat sistemi

Pratikte, üç fazlı dengeli yüklenmiş bir iletim hattının yakınındaki alan, toprak koruma teli ve toprak akımları ihmal edilip, iletkenden geçen akım göz önüne alınarak hesaplanabilir. Özellikle hatta büyük mesafelerde toprağa dönen akımların bulunması manyetik alanı etkiler. Dönen bu akımlar, üç fazlı sistemi dengelemek için toprakta dağıtılır ve böylece bu akımların toplamı sıfır yapılır. Her bir iletken ve topraktaki görüntüsü tarafından oluşturulan manyetik alan, aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\vec{H}_{j,i} = \frac{I_i}{2\pi r_{i,j}} \vec{\phi}_{i,j} - \frac{I_i}{2\pi r'_{i,j}} \left[1 + \frac{1}{3} \left(\frac{2}{r'_{i,j}} \right)^4 \right] \vec{\phi}'_{i,j} \quad (4.6)$$

Bu ifadedeki birinci terim, Eş.4.2' nin aynısıdır ve bu ifade hattın 100 m uzağına kadar olan noktalardaki manyetik alan hesabı için yeterlidir. Eş.4.6' nın ikinci terimi, toprak dönüş akımının hesaplanmasında kullanılan düzeltme faktörünü ifade eder.

$$\gamma = [j\omega\mu(\sigma + j\omega\epsilon)]^{1/2} \quad (4.7)$$

Burada; σ toprağın iletkenliği ($\sigma \approx 0,001$ ie $0,02$ S/m arasındadır), ϵ ise, toprağın elektriksel geçirgenliğidir ($\epsilon \approx 8,85 \cdot 10^{-12}$ aynı elektriksel geçirgenlik hava içinde kullanılabilir). Eş.4.8, $r'_{i,j}$ değerini verir.

$$r'_{i,j} = \left[(x_i - x_j)^2 + \left(y_i + y_j + \frac{2}{\gamma} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (4.8)$$

$\vec{\phi}'_{i,j}$ ifadesi şu şekilde hesaplanır:

$$\vec{\phi}'_{i,j} = - \left[\frac{y_i + y_j + (2/\gamma)}{r'_{i,j}} \right] \vec{u}_x + \frac{x_i - x_j}{r'_{i,j}} \vec{u}_y \quad (4.9)$$

Eş.4.6'nın sonucu bir kompleks değerdir ve H manyetik alanı (toprak direnci hesaba katılırsa) , iletkenlen geçen akımla aynı fazda değildir. Eş.4.6 kullanılarak, (x, y) noktasındaki toplam manyetik alan, tüm iletkenlerin ($i=1,n$) akımlarının manyetik alan katkılarının toplanması ile elde edilir. Eş.4.6 sonucunda manyetik alan, x ve y eksenleri boyunca karmaşık vektörler olarak şu şekilde ifade edilebilirler:

$$H_x = H_{x,r} + jH_{x,i} \quad (4.10)$$

$$H_y = H_{y,r} + jH_{y,i}$$

Reel veya imajiner vektörler kullanılarak ifade edilebilir. Şöyle ki:

$$\begin{aligned}\vec{H}_r &= \vec{H}_{x,r} \vec{u}_x + \vec{H}_{y,r} \vec{u}_y \\ \vec{H}_i &= \vec{H}_{x,i} \vec{u}_x + \vec{H}_{y,i} \vec{u}_y\end{aligned}\quad (4.11)$$

Manyetik alan eksenlerinin doğrultusu ve genliği elektrik alan hesabına benzer şekilde tanımlanır [3].

4.2. Örnek Manyetik Alan Hesabı

Manyetik alan yoğunluğu Çizelge 4.1'de sunulan 800 kV'luk bir hat gözönüne alınarak hesaplanabilir (faz aralığı 14 m, iletken yüksekliği 18.5 m olup iletken akımları: $I_A = -1000 - j1732$ A, $I_B = 2000$ A ve $I_C = -1000 + j1732$ A' dir).

Çizelge 4.1. Tek devre hat parametreleri

Maksimum Sistem Gerilimi (kV)	Hat Tipi	Faz Aralığı (m)	Ortalama Alt Faz Yüksekliği (m)	Toprak Koruma İletkeni			Faz Başına İletken Sayısı
				Çap (cm)	Ortalama Yükseklik (m)	Ayırım (m)	
362	Yatay	7,5	12,5	0,95	22,2	9,4	1,2
	Üçgen	9,0	12,5	0,95	27,7	6,8	1,2
550	Yatay	10,0	14,0	1,27	24,3	14,6	1,2,3,4
	Dikey	9,0	14,0	1,91	41,0	-	1,2,3,4
	Üçgen	10,0	14,0	0,95	33,0	7,3	1,2,3,4
800	Yatay	14,0	18,5	1,91	30,7	22,1	3,4,6,8
	Üçgen	16,8	18,5	1,91	45,5	12,8	3,4,6,8
1200	Yatay	18,5	24,0	2,54	39,9	33,8	6,8,12,16
	Üçgen	22,0	24,0	2,54	57,9	16,8	6,8,12,16
1500	Yatay	22,5	28,0	2x1,8	45,9	40,0	8,12,16

Sonuçlar Çizelge 4.2, Çizelge 4.3 ve Şekil 4.2' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Toprak seviyesinde manyetik alan hesabı örneği

Hat Merkezinden Uzaklık (m)	İletken akımının Neden Olduğu Alan Bileşeni (A/m)	Toprak Akımının Neden Olduğu Alan Bileşeni (A/m)	Toplam alan
0	14,34	$0,117 \times 10^{-1}$	14,3
70	1,530	$0,118 \times 10^{-1}$	1,531
100	0,762	$0,119 \times 10^{-1}$	0,763
700	$0,157 \times 10^{-1}$	$0,114 \times 10^{-1}$	$0,243 \times 10^{-1}$
1 000	$0,772 \times 10^{-2}$	$0,811 \times 10^{-2}$	$0,1143 \times 10^{-1}$
-1 000	$0,772 \times 10^{-2}$	$0,819 \times 10^{-2}$	$0,1150 \times 10^{-1}$
10 000	$0,772 \times 10^{-4}$	$0,778 \times 10^{-4}$	$0,146 \times 10^{-4}$

Çizelge 4.3. $x=0$ ve $y=0$ noktasındaki manyetik alan

	Yatay Bileşen (A/m)	Dikey Bileşen (A/m)	Majör Eksen Genliği (A/m)	Majör Eksen Faz (Derece)
Toprak Dönüş Akımı Olmadan	6,26	-j14,3	14,34	0
Toprak Dönüş Akımı Göz Önünde Bulundurulur	$-0,98 \times 10^{-4}$	-0,012	0,012	-91
Toplam Alan	$6,26 + j0,11 \times 10^{-3}$	$-0,12 - j14,3$	14,34	0,03

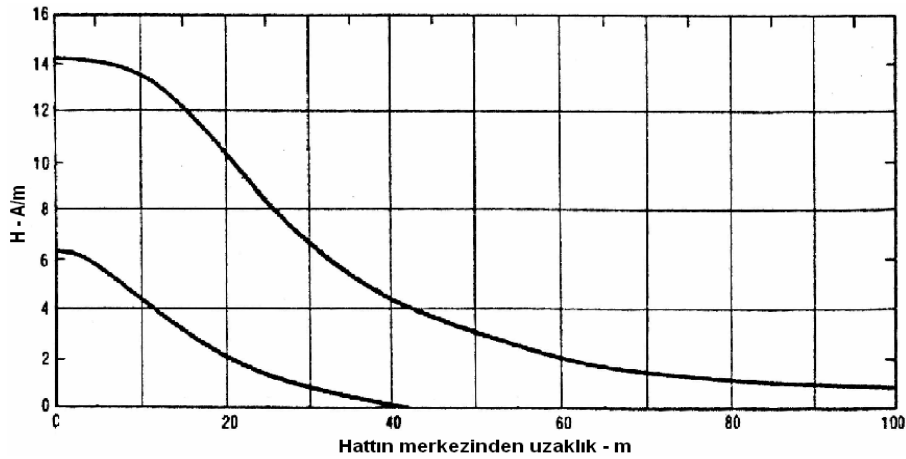
Hattan 100 m mesafeye kadar, topraktan dönen akımların derinliği küçük mesafelerle karşılaştırıldığında, topraktan dönen akımların manyetik alan üzerinde ihmal edilir bir etkisi olduğu görülür. Bu durum Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'de gösterilmiştir.

Yüzey derinliği bölgesinde, iletim akımının oluşturduğu alan ve toprak akımının oluşturduğu alan arasında, artma eğiliminde olan bileşke bir alan vardır. Maksimum toprak seviyesi manyetik alanı hattın merkezinde meydana gelir ve $H_{\max} = 14 \text{ A/m}$ 'dir. Bu durumda manyetik akı yoğunluğu şu şekilde hesaplanır:

$$B = \mu H = 4\pi 10^{-7} \times 14 = 1,76 \times 10^{-5} \text{ Wb/m}^2 = 0,176 \text{ gauss} \quad (4.12)$$

Karşılaştıracak olursak; dünyanın manyetik alanı yaklaşık 0,5 gauss'dur. Ancak, dünyanın manyetik alanının zamana bağlı bir değişken olmadığı bununla birlikte hattın manyetik alanının güç frekansı ile değiştiğini (50 Hz) göz önünde bulundurmamız gerekir. Dönel vektörün majör eksen, hattın merkezine yatay konumda ve hat merkezinden yaklaşık 14 m uzaklıkta 45°'lik eğime sahiptir[4].

İletim hatlarının altındaki manyetik alanın pratik ölçümleri, hesaplanan değerlerden yeterli bir sapma değeri ile birlikte gösterilebilir. Manyetik alan dengesiz akımlı hatlarda çok değişkendir ve genellikle doğru olarak ölçülmez. Toprak koruma telinde indüklenen akım ve homojen olmayan toprağın etkisinden kaynaklanan diğer akımlar nedeniyle manyetik alan doğru olarak hesaplanamayabilir. Sonuç olarak manyetik alan analizi, son derece uzun ve dengeli hatların olmadığı durumlarda yeterli bir sapma göz önüne alınarak yapılmalıdır [5].



Şekil 4.2. Manyetik akı (Alan elipsinin majör ve minör eksenlerinin genişliği)

5. 380 kV BORÇKA-İYİDERE ENERJİ İLETİM HATTINDA ELEKTRİK VE MANYETİK ALAN MODELLEMESİ

380 kV gerilim seviyesindeki Borçka-İyidere Enerji İletim Hattından (EİH) kaynaklanması olası elektrik ve manyetik alanın analizinin yapılabilmesi için, A.B.D ' nin "Electric Power Research Institute" (EPRI) kuruluşu için, "Power Computing Company" tarafından geliştirilen, EMF Workstation yazılım paketi kullanılarak bir model gerçekleştirilmiştir.

5.1. Modelin Tanıtılması

Yukarıda bahsedildiği gibi, analiz için EMF Workstation yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım aynı zamanda, tasarımcı ve planlamacıların alternatif akım, doğru akım ve alternatif/doğru akım karışımı hatların işletim karakterlerinin değerlendirilmesini sağlayan bir yazılım paketidir. Bu paket, iletken yüzey gerilim gradyanları, korona kayıpları, duyulabilir gürültü, radyo gürültüsü, ozon, elektrik alan, iyon yoğunluğu, iyon akımı, insanların elektrik alanı hissetme düzeyleri, nesneleri kaplama, nesneler tarafından perdelenme, manyetik alan, kule tipi direklerin performansları ve izolatörlerin yüzey kirliliği analizi gibi pek çok modellemeye imkan verir. Bu çalışma için, yazılım paketi içerisinde bulunan ENVIRO yazılım aracı kullanılmıştır. ENVIRO yazılım aracı, bir iletim yada dağıtım hattındaki direkleri tek tek modelleyerek, modellenen direk çevresinde belli bir aralıkta oluşan manyetik alanın incelenmesine imkan verir.

5.2. Mevcut Sistemin Tanımlanması ve Alan Analizi

Sistem tanımı Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) Araştırma Planlama ve Koordinasyon Daire Başkanlığı'ndan (APK) alınan bilgiler ve hat profili üzerinden yapılmıştır. Buna göre, Borçka-İyidere EİH, Borçka Hidro Elektrik Santrali'nden (HES) başlayacak ve Tirebolu-İyidere EİH'nın son direğinde bitecektir. EİH güzergahı Rize ve Artvin il sınırları içerisinde

kalmaktadır. EİH, 127 km uzunluğunda olup, 32 adet some noktası ile 350 adet direk ile tesis edilmesi planlanan bir EİH'dır.

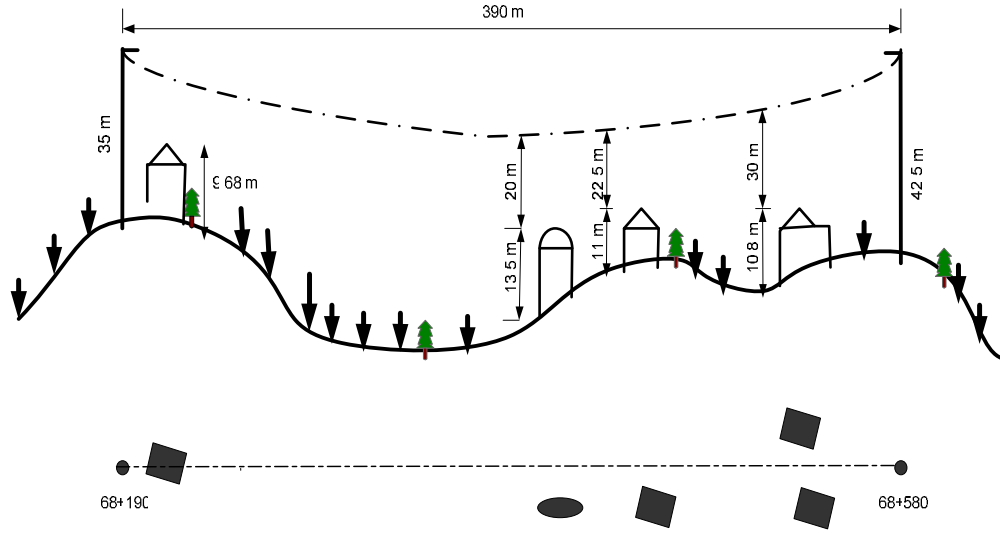
EİH'nın geçtiği arazi, genelde tarım arazisi, mera ve orman vasfındadır. Güzergahın geçtiği Karadeniz Bölgesi'nin dağınık yerleşime sahip olması, topoğrafyanın çok engebeli oluşu ve ormanların sıklığı, EİH'nın güzergah seçimini ve tesisini zorlaştıran etkenlerdir.

Pratikte EİH güzergahının seçiminde yerleşim bölgelerinden uzak olması kriteri gözönüne alınmakla birlikte, hat güzergahının yerleşime açık bölgelerden geçmesinin zorunluluk arz ettiği durumlarda, Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği'ndeki emniyet mesafeleri gözönünde bulundurularak projelendirme ve tesis çalışmaları yapılır. EİH'nın geçmek zorunda olduğu yerleşim birimlerinde, insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler oluşabileceği düşünülerek, EİH'nın meskenlere yaklaştığı bölgelerde elektrik ve manyetik alan incelemesi yapılmalıdır. İletim hattının özelliklerine bağlı olarak oluşan elektrik ve manyetik alan, hat boyunca çok fazla değişiklik göstermez. Bu yüzden en kritik noktalarda yapılan analiz yeterli olur.

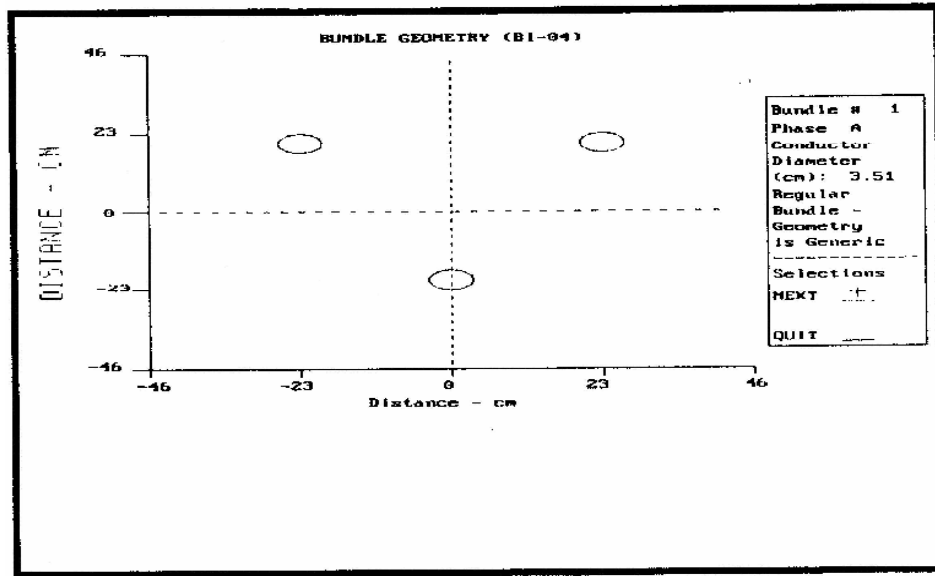
İletim hattının 68+190 ile 68+580 noktasındaki direkler arasındaki eksene 40 m'de, 9 m yüksekliğinde bir bina, hattın 190. metresinde hatta 10 m mesafede 13 m yüksekliğinde bir cami ve 200. metresinde hatta 15 m uzakta 11 m yüksekliğinde bir başka bina bulunduğundan, hattın bu kısmı elektromanyetik alan açısından kritik bir mevkidir. Modellemenin yapıldığı direğin bulunduğu mevki (68+190 ve 68+580 arası) Şekil 4.2'de gösterilmiştir.

İletim hattı tek devre, üçlü yığın geometrisine sahip 1272 MCM Pheasant (726 mm^2) üçlü bundle, iletken tertibine sahip olacak şekilde planlanmıştır. Hattın gerilimi 380 kV ve akımı 1300 A'dır. Modelleme için ilk direğin geometrik özelliklerinden yararlanılmıştır. Kullanılan direğin geometrik yapısı

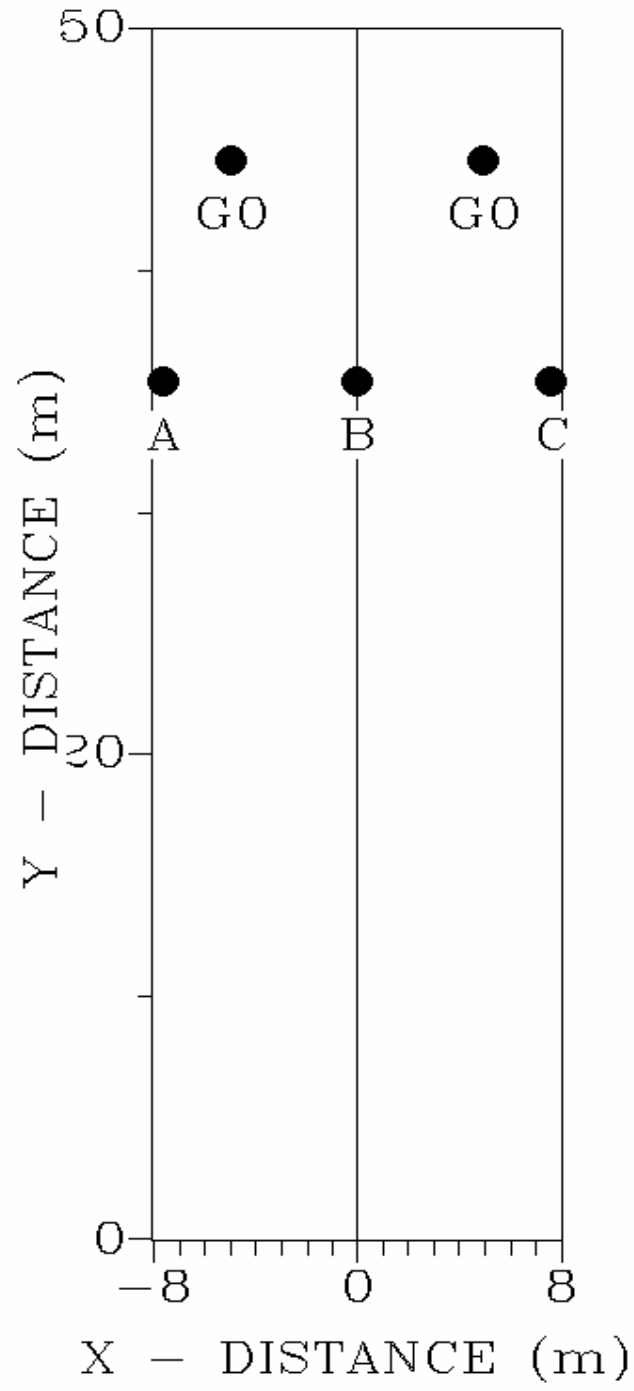
EK-2 ve EK-3'de, hatta kullanılan iletken özellikleri ise EK-6'da verilmiştir. Bu direğin fazlar arası yatay mesafesi 7.6 m'dir.



Şekil 5.1. Çalışma yapılan bölgenin profili



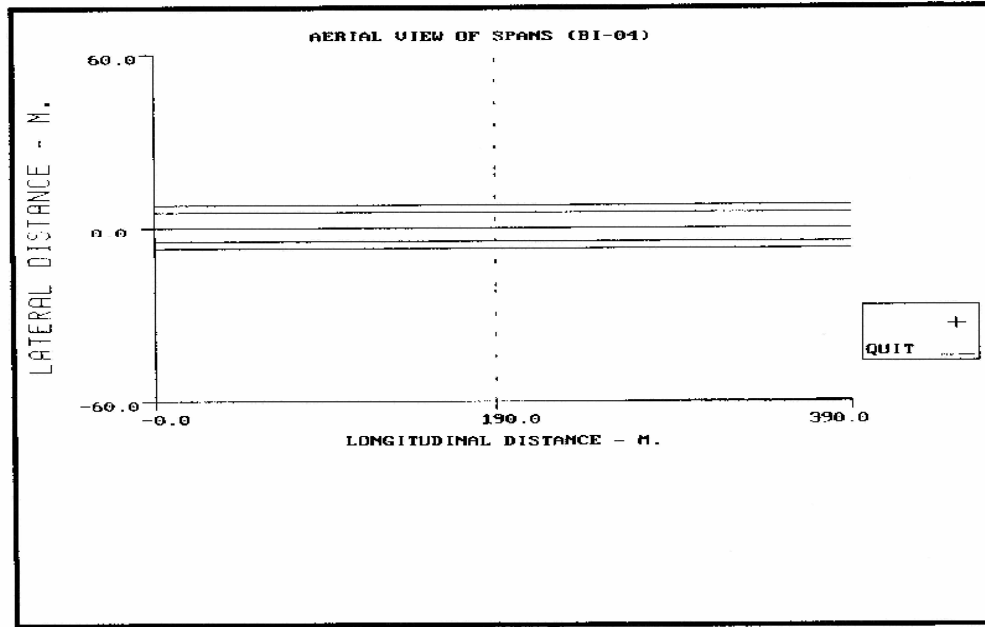
Şekil 5.2. İletim hattının yığın geometrisi (üçlü bundle)



Şekil 5.3. İletim hattının devre konfigürasyonu

Çizelge 5.1. Analiz yapılan bölgenin fiziksel bilgileri

Direk Tipi	3PB - 34	3PB - 46
Başlangıçtan Mesafe (m)	68.190.000	68.580.000
Kot (m)	302	280
Direk Yüksekliği (m)	34	46
Direkler Arası Mesafe	390	
Hat Aksından En Yakın Yapıya Yatay Mesafe (m)	0	

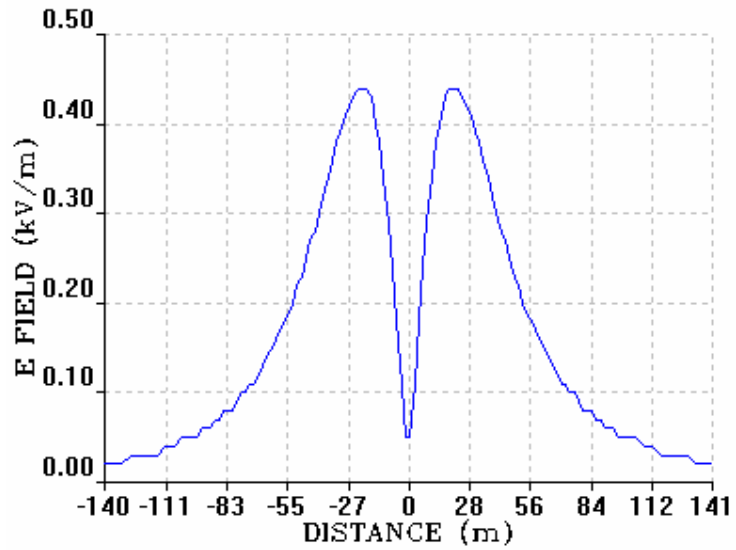


Şekil 5.4. Analiz yapılan bölgenin kuşbakışı görünüşü

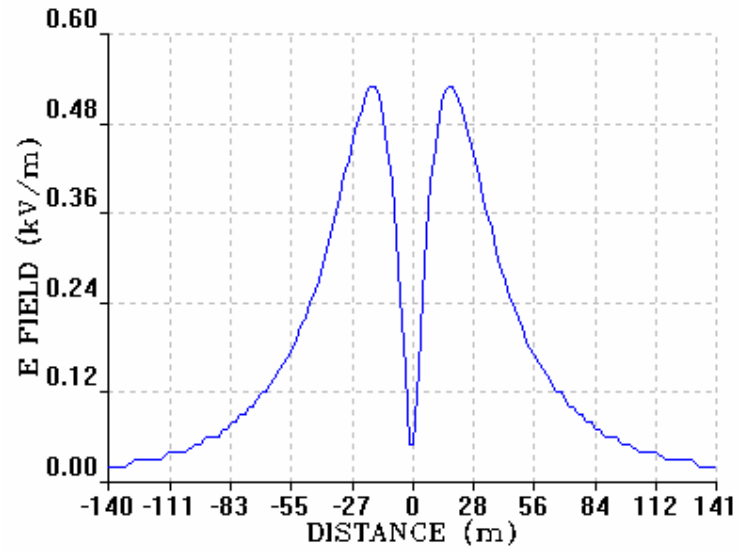
Yukarıda belirtilen kriterler baz alınarak yapılan bir analiz sonucunda elde edilen değerler (elektrik ve manyetik alan), daha önce yapılan teorik hesaplamalar ve geçerli standartlarla (Çizelge 5.2) karşılaştırılır [6].

Çizelge 5.2. 50/60 Hz elektrik ve manyetik alana maruz kalma standartları

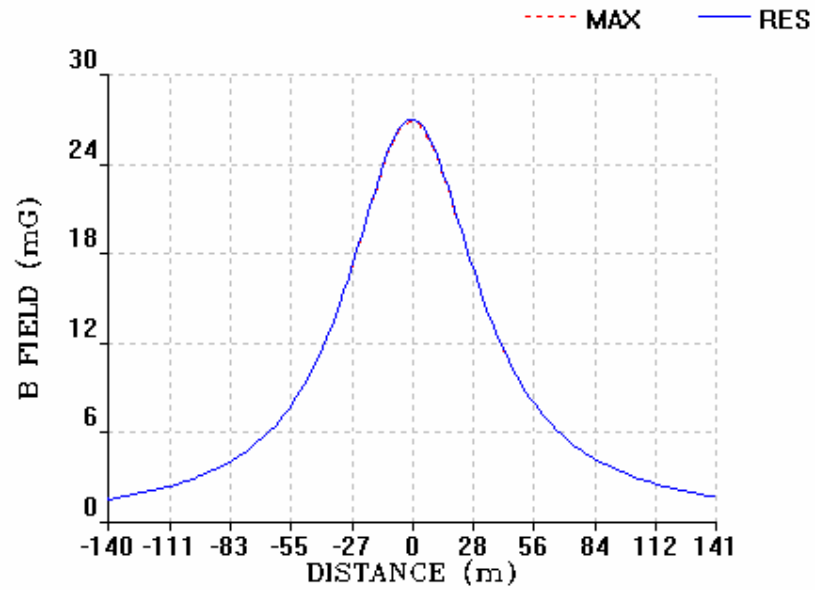
Maruz Kalma Koşulları	Elektrik Alanı (kV/m)	Manyetik Alan (Gauss)
<u>Çalışanlar:</u>		
Tam mesai günü	10	5
Kısa süre* Uzunlar	30	50
(Kol ve bacak gibi vücuda eklemle bağlı)		250
<u>Halk:</u>		
24 saat/gün	5	1
Günde bir kaç saat	10	10
* 10-30 kV/m düzeyindeki elektrik alanları için, alan şiddeti (kV/m) x maruz kalma süresi, tüm mesai günü için 80 Gauss değerini aşmamalıdır. Vücudun tamamının günde iki saat maruz kaldığı manyetik alan şiddeti 50 Gauss değerinin altında olmalıdır. (Kaynak : IRPA / INIRC 1990)		



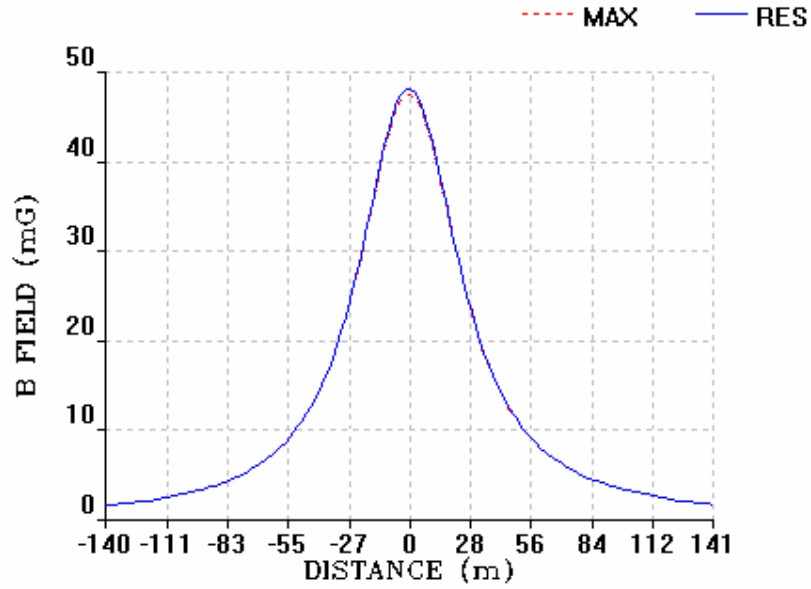
Şekil 5.5. Modelleme yapılan direğin sağında ve solunda, yer seviyesindeki elektrik alan dağılımı



Şekil 5.6. Modelleme yapılan direğin sağında ve solunda, çatı seviyesindeki (9,68 m) elektrik alan dağılımı



Şekil 5.7. Modelleme yapılan direğin sağında ve solunda, yer seviyesindeki manyetik alan dağılımı



Şekil 5.8. Modelleme yapılan direğin sağında ve solunda, çatı seviyesindeki (9,68 m) manyetik alan dağılımı

Şekil 5.5-Şekil 5.6'dan görüleceği üzere, modelleme yapılan direğin 140 m sağında ve solunda oluşan elektrik alan büyüklüğü, toprak seviyesi için direk konsolunun orta noktasında sıfıra yaklaşıırken, konsol merkezinin sağ ve solundaki 23. metrelerde maksimum değeri olan 0,44 kV/m değerine ulaşmıştır. Aynı şekilde çatı seviyesinde en yüksek değer, konsol merkezinin sağında ve solunun 19.metresinde ve 0,51 kV/m'dir. Şekil 5.7-Şekil 5.8'de ise, hattın mevcut durumunun modellenmesi sonucunda elde edilen manyetik alan değerleri görülmektedir. Manyetik alan elektrik alanın aksine direk konsolunun merkezinde maksimum değere ulaşmaktadır. Yer seviyesinde yapılan modelleme için manyetik alanın en yüksek değeri, hat merkezinde ve 26,8 mG, çatı seviyesinde ise 47,5 mG'dur.

Analiz yaptığımız bu noktada elde edilen elektrik alan değerlerini, standartlarla karşılaştıracak olursak, hattın bu bölgesinde değerlerin standartların çok altında ve uygun olduğu görülür. Modellemede elde edilen maksimum elektrik alan şiddetleri (0,44 kV/m ve 0,51 kV/m), Çizelge 5.2'de verilen 10 kV/m standart elektrik alan değerinin (halk için günde birkaç

saatten fazla maruz kalınmaması gereken değer) çok altında bir değerdir. Bu değer, aynı çizelgede yer alan ve halk için günde 24 saat sürekli maruz kalınabilecek sınır değerinin de altındadır. Analiz çalışmalarında genel bir yaklaşım olan en kötü durum analizi yöntemi kullanıldığı ve değerlerin yüksek ve en kritik bölgede seçildiği düşünülürse pratikte bu değerlerin daha da düşük olması beklenebilir .

Modellemede elde edilen maksimum manyetik alan değerleri (26,8 mG ve 47,5 mG) Çizelge 5.2'de verilen 10 G standart değerinin (halk için günde birkaç saatten fazla maruz kalınmaması gereken değer) ve 1 G standart değerinin (halk için sürekli maruz kalınmaması gereken değer) altında bir değerdir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.3'de özetlenmiştir. Modelleme ile elde edilen değerler, konutlar için 24 saat sürekli standartlarla, konut dışı alanlarda ise birkaç saatlik standartlarla karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.3. Hat aksına en yakın binalar için elektromanyetik alan değerleri

	Zemin Kat	Binanın Üst Katı	Standart (sürekli)
Elektrik Alanı – kV/m	0,44	0,51	5
Manyetik Alan – mG	28,8	47,5	1 000

Görüldüğü gibi modellenen direk çevresinde oluşan alanlar standart değerlerin altındadır (analiz sonuçlarının ayrıntısı EK-7'de verilmiştir). Dolayısıyla söz konusu iletim hattı, mevcut hali ile elektrik ve manyetik alanların şiddeti açısından tehlike arz etmemektedir. Ancak hat geometrisi üzerinde yapılacak değişikliklerin alan şiddetleri üzerinde nasıl bir etki doğuracağı, modelleme parametreleri (yükseklik, iletken boyutları, fazlar arası mesafe ve toprak koruma teli) değiştirilmek suretiyle analiz edilebilir. Ayrıca modellediğimiz iletim hattı direği, düz yatay geometriye sahiptir ve farklı bir geometri kullanılarak aynı güç değerleri üzerinden alan analizi yapılarak hattın geometrik yapısının alan üzerindeki etkisi gözlemlenebilir.

5.3. Hat Parametrelerinde Yapılan Değişikliklerin Elektrik ve Manyetik Alan Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi

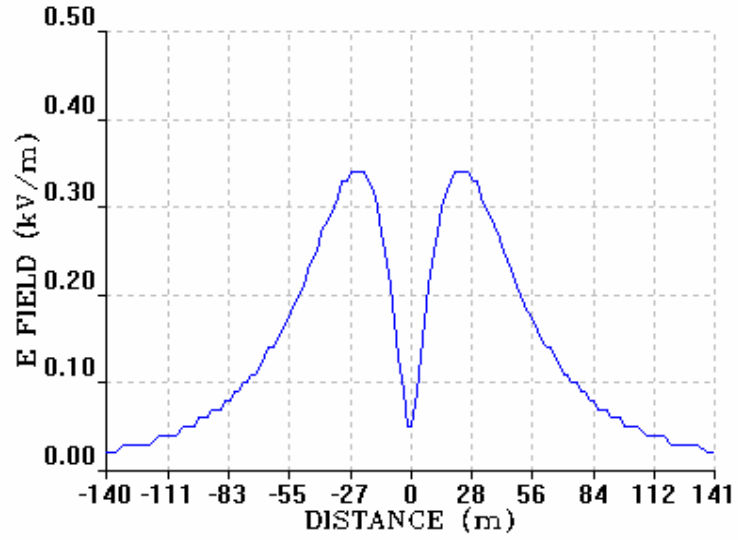
Mevcut düz yatay geometrili hat üzerinde yapılan analiz çalışmaları sonucunda hattın mevcut konfigürasyonunun standartların üzerinde bir alan etkisi oluşturmadığı görülmüştür. Ancak hattın geometrik parametrelerinin elektrik ve manyetik alan üzerinde ne gibi bir etki doğuracağı, söz konusu parametrelerin değiştirilerek analiz edilmesiyle anlaşılabilir.

5.3.1. Hat yüksekliğinin değiştirilmesi

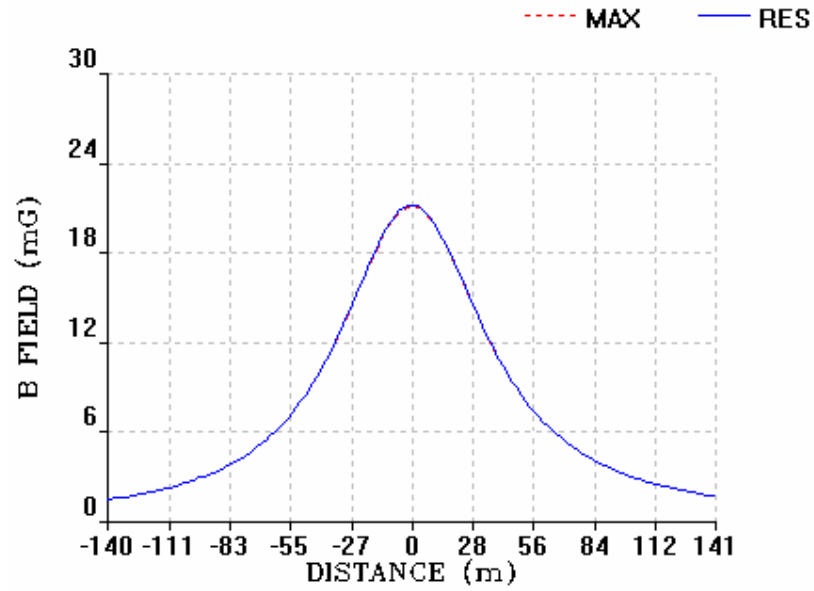
Mevcut durumda direk yüksekliği 44,5 m, iletkenlerin yerden yüksekliği ise 35,39 m'dir. Hat yüksekliği parametresi 35,39 m ,den 40 m'ye, toprak koruma teli yüksekliği de 44,5 m'den 50 m'ye çıkarıldığında yer seviyesindeki alan değerleri Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'daki gibi olur. Burada en yüksek elektrik alan büyüklüğü 0,34 kV/m ve en yüksek manyetik alan şiddeti ise 21,2 mG'dur. Bu değerler Şekil 5.5 ve Şekil 5.7'deki değerlerle karşılaştırılırsa, hat yüksekliği arttırıldığında alan şiddetlerinde bir azalma olduğu görülür. Eş.3.24 göz önünde bulundurularak bir hesaplama yapıldığında 40 m hat yüksekliği için elektrik alan şiddeti,

$$E_2 = 0,44 \left(\frac{40}{35,39} \right)^{-1,6} = 0,36 kV / m \quad (5.1)$$

olarak bulunur. Bu değer simülasyon sonucu bulunan 0,34 kV/m değerine oldukça yakın bir değerdir. Burada m, hat geometrisine bağlı bir sabit olup düz geometrili hatlar için , -1,6'dır. Görüldüğü gibi elektrik ve manyetik alan şiddetinin standartların üzerinde olduğu durumlarda hat yüksekliğini arttırmak bir çözümdür. Ancak hat yüksekliğinin arttırılması direğin mukavemetini, dolayısıyla iletken taşıma kapasitesini düşürür. Hattın güçlü hale getirilmeye çalışılması ise ek maliyetlere sebep olacaktır.



Şekil 5.9. Modelleme yapılan direğin sağında ve solunda, yer seviyesindeki elektrik alan dağılımı (Hat yüksekliği 40 m ve toprak koruma teli yüksekliği 50 m)



Şekil 5.10. Modelleme yapılan direğin sağında ve solunda, yer seviyesinde manyetik alan dağılımı (Hat yüksekliği 40 m ve toprak koruma teli yüksekliği 50 m)

5.3.2. İletken boyutlarının değiştirilmesi

Mevcut durumda, üçlü iletken yığın geometrisine sahip 1272 MCM Pheasant (35,10 mm) iletken kullanılmıştır. Aynı yığın geometrisine bağlı kalarak, Pheasant iletken yerine, Plover (37,24 mm) iletken kullanarak modelleme yaparsak, Şekil 5.11 ve Şekil 5.12 'deki sonuçlara ulaşılır.

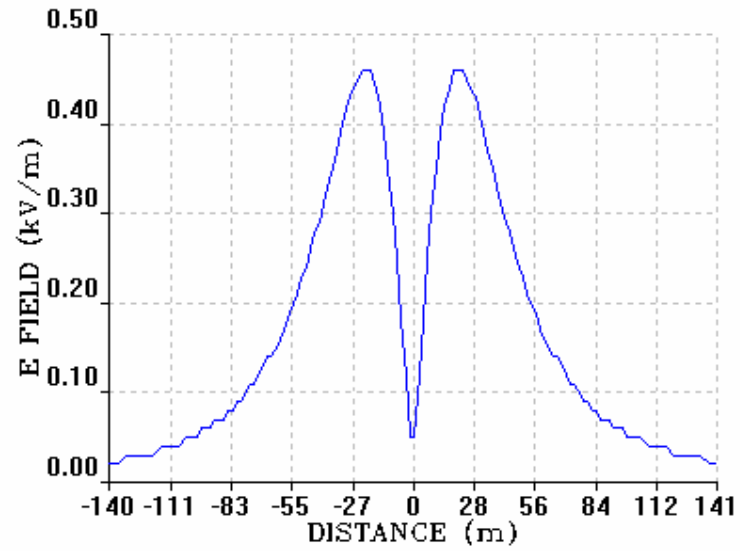
İletken boyutlarının alan üzerindeki etkisi Eş.3.1 ve Eş.3.26 kullanılarak değerlendirilebilir. Burada yığın çapı 3,51 cm , fazlar arası mesafe 7,6 m'dir. Eş.3.1 kullanılarak Pheasant ve Plover iletkenler için ayrı ayrı eşdeğer yığın çapı bulunup, Eş.3.25 ile Plover iletken için yer seviyesindeki elektrik alan hesaplanırsa:

$$d_{eq_pheasant} = 3.51 \cdot \sqrt[3]{\frac{3 \times 0,351}{3,51}} = 2,35 \text{ cm} \quad (5.2)$$

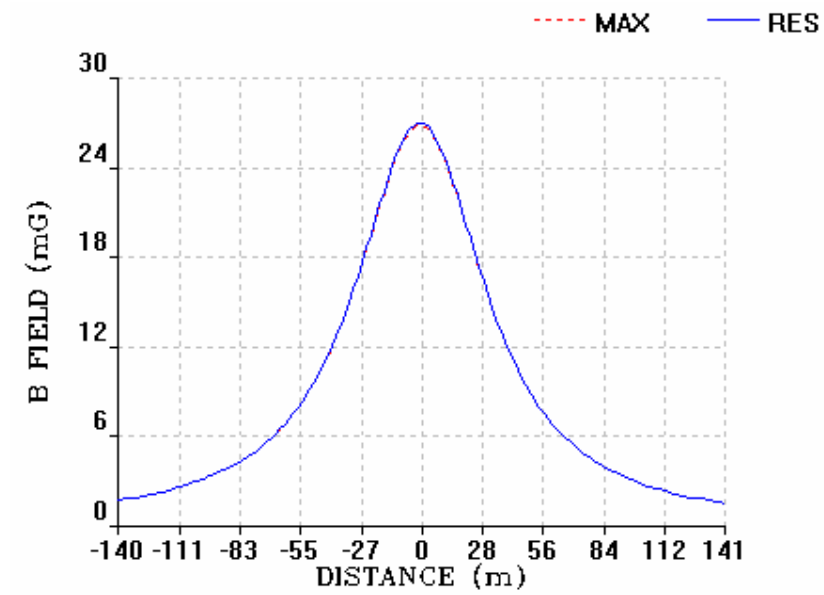
$$d_{eq_plover} = 3.51 \cdot \sqrt[3]{\frac{3 \times 0,3724}{3,51}} = 2,40 \text{ cm} \quad (5.3)$$

$$E = 0,44 \frac{\ln \frac{15,2}{0,0235}}{\ln \frac{15,2}{0,0240}} \approx 0,44 \text{ kV / m} \quad (5.4)$$

Eş.5.4'de görüleceği gibi elektrik alan büyüklüğünde hissedilir bir değişiklik olmamıştır. Bunun başlıca sebebi yığın geometrimizin üçlü yığın olmasından kaynaklanmaktadır. Çünkü, Eş.3.1'de n ifadesi iletken sayısıdır ve bu iki iletkenin yığın çapı arasındaki farkı belirler. n ne kadar büyük olursa iletken kesitinin arttırılması, alan üzerinde o kadar az etki yapar. Özellikle tek iletkenli yığın geometrisine sahip hatlarda, iletken boyutlarındaki zorlayıcı değişikliklerin yapılabilmesi için toprak seviyesindeki elektrik alanın hesaplanması gerekir. Bu değişikliklerin yapılması maliyet ve korona kayıplarının artacak olması nedenleriyle her zaman mümkün olmayabilir.



Şekil 5.11. Modelleme yapılan direğin sağında ve solunda, yer seviyesinde elektrik alan dağılımı (Plover iletken için)

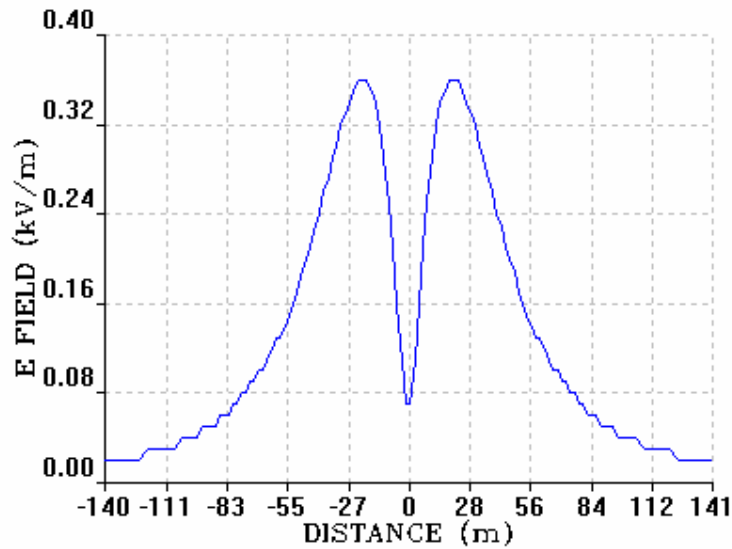


Şekil 5.12. Modelleme yapılan direğin sağında ve solunda, yer seviyesinde manyetik alan dağılımı (Plover iletken için)

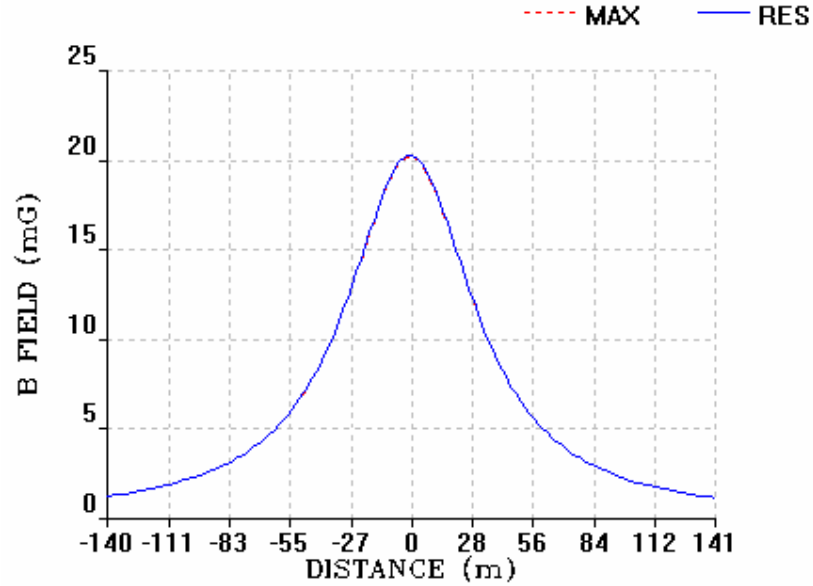
5.3.3. Faz aralığının değiştirilmesi

Mevcut durumda fazlar arası mesafe 7,6 m'dir. Bu mesafeyi daraltarak fazlar arası mesafeyi 5,6 m'ye indirirsek Şekil 5.13 ve Şekil 5.14' deki sonuçlar elde edilir. Sonuçlar incelenecek olunursa, normal durumda 0,44 kV/m seviyesindeki elektrik alan şiddetinin 0,35 kV/m seviyelerine düştüğü, 28,8 mG seviyesindeki manyetik alan şiddetinin ise 20,2 mG seviyelerine düştüğü görülür.

Alan etkisinin standart değerlerin üzerinde olduğu ve tehlike arz ettiği durumlarda fazlar arası açıklığın azaltılması etkili bir yöntem gibi görünmekle birlikte, çok yüksek gerilimli hatlarının sıkıştırılması, izolasyon koordinasyonu açısından tehlike arz eder ve fazlar arasında metalik parçalar olmayan direkler gerektirir. Bu durum hattın korona performansının kötüleşmesine neden olur. Bu nedenle, topraktaki alanının azaltılmasına neden olan faz aralığındaki daralmayla birlikte, ses ve radyo gürültüsünden kaçınmak için, daha fazla sayıda veya daha geniş iletkene ihtiyaç duyulur.



Şekil 5.13. Modelleme yapılan direğin sağında ve solunda, yer seviyesinde elektrik alan dağılımı (S=5,6 m için)

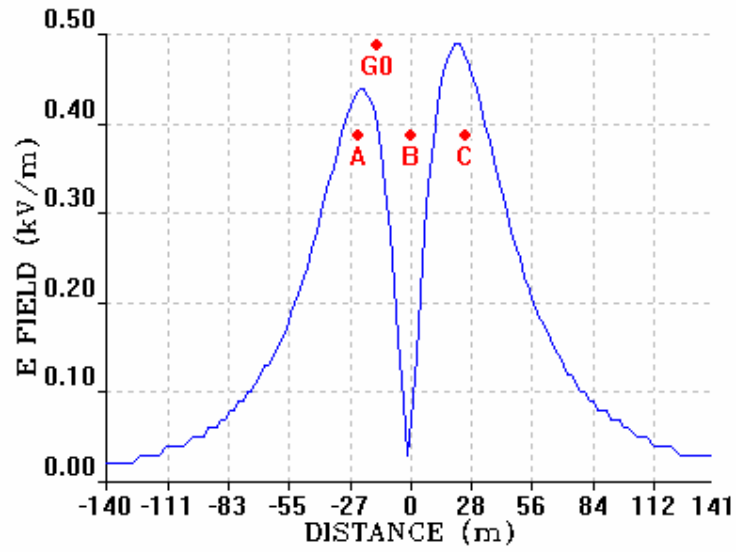


Şekil 5.14. Modelleme yapılan direğin sağında ve solunda, yer seviyesinde manyetik alan dağılımı (S=5,6 m için)

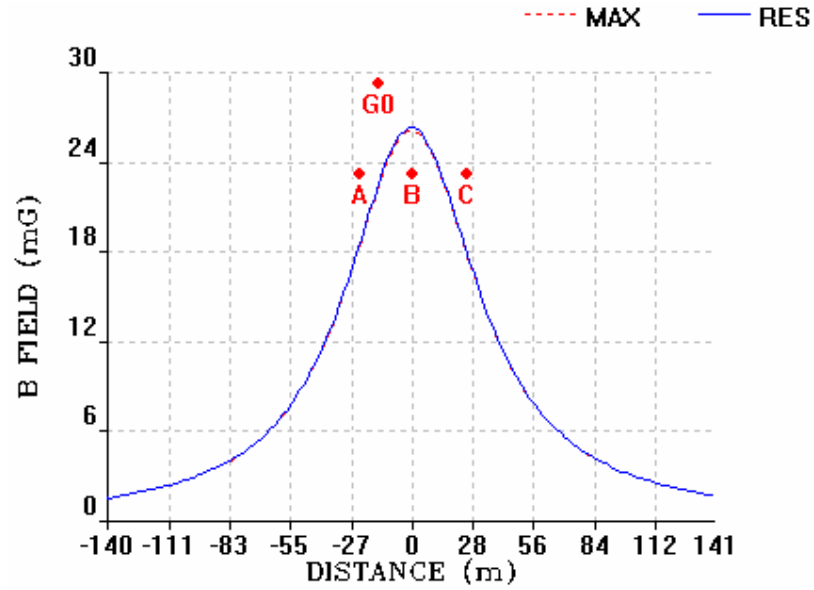
5.3.4. Koruma telinin alan üzerindeki etkisi

Mevcut durumda yerden 44,5 m mesafede iki adet toprak koruma teli bulunmaktadır. Toprak koruma telinin etkisini gözlemleyebilmek için öncelikle bir toprak koruma iletkeni kaldırılmış, daha sonra iki koruma iletkeni de kaldırılmak suretiyle analiz yapılmıştır.

Şekil 5.15 ve Şekil 5.16'da koruma tellerinden biri kaldırılmış ancak koruma telinin alan üzerindeki etkisinin daha kolay görülebilmesi için toprak teli hattı dengeleyecek şekilde orta noktaya kaydırılmamıştır. Şekil 5.15 incelendiğinde, koruma telinin bulunduğu kısımdaki elektrik alanının en yüksek değerinin 0,43 kV/m seviyesinde olduğu, koruma iletkeninin olmadığı kısımdaki elektrik alan seviyesinin ise 0,49 kV/m seviyesine kadar çıktığı görülür. Pratikte koruma telleri hattı dengeleyecek şekilde simetrik bir yapı arzeder ve simetrik bir geometri içerisinde koruma telinin alan üzerindeki etkisi %1-2'den fazla olmaz.



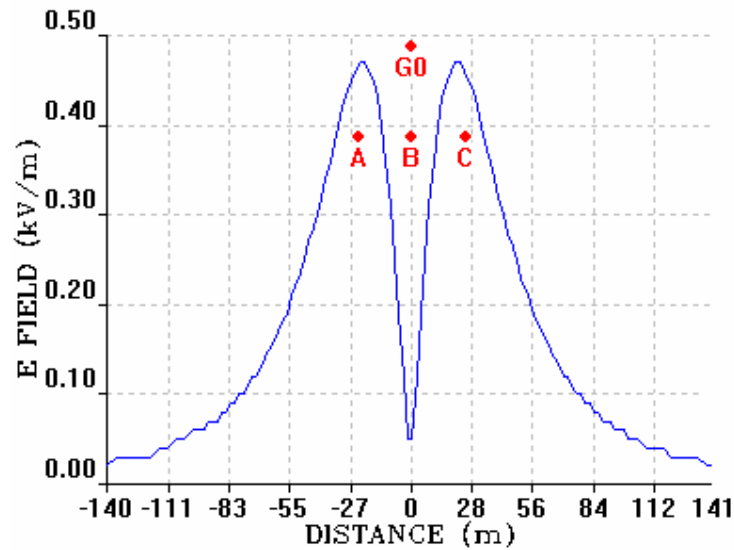
Şekil 5.15. Modelleme yapılan direğin sağında ve solunda, yer seviyesinde elektrik alan dağılımı (Dengesiz tek koruma teli)



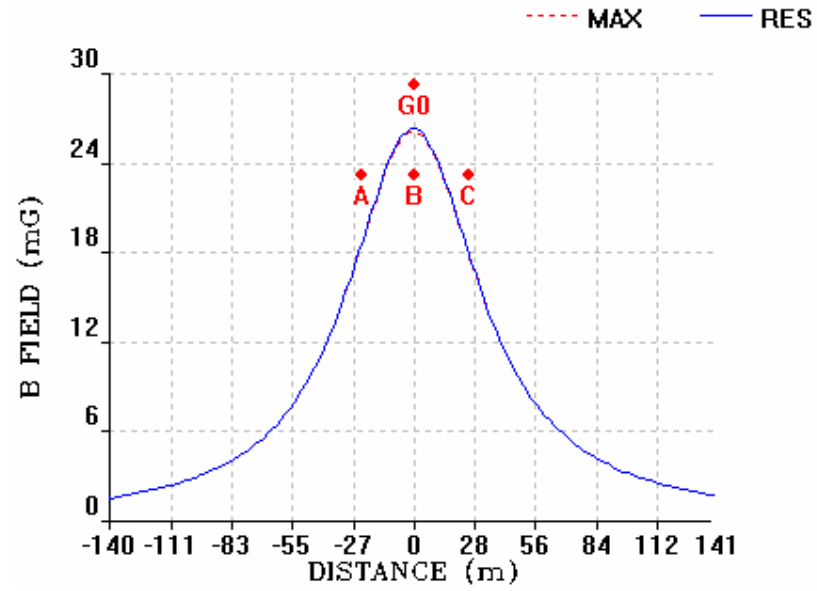
Şekil 5.16. Modelleme yapılan direğin sağında ve solunda, yer seviyesinde manyetik alan dağılımı (Dengesiz tek koruma teli)

Koruma teli simetrik bir şekilde orta noktaya alındığında elektrik alanında simetrik bir yapı arzettiği görülür. Bu durumda elektrik alanın en yüksek değerinin 0,47 kV/m, manyetik alanın ise 26 mG seviyesinde olduğu Şekil 5.17 ve Şekil 5.18'de görülmektedir. Koruma telinin alan üzerindeki etkisinin ortaya konması için, koruma iletkeninin tamamen kaldırılması ve bu durumda oluşan alanların Şekil 5.17 ve Şekil 5.18 ile karşılaştırılmaları yeterli olacaktır.

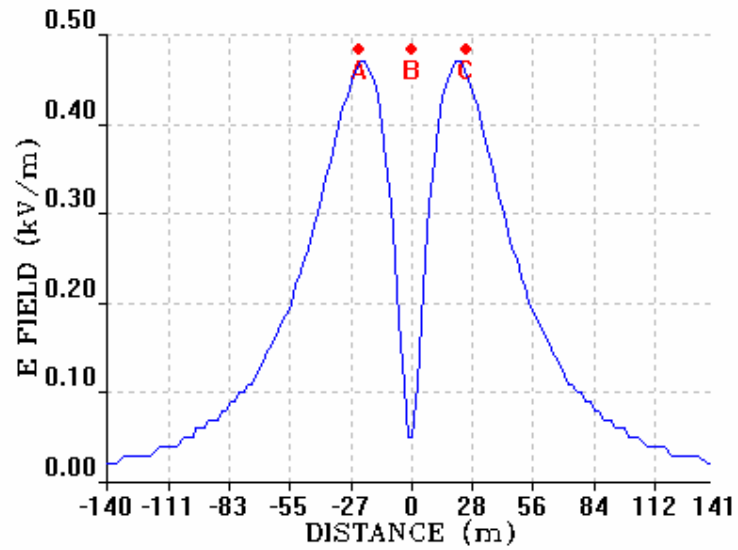
Koruma teli olmadan yapılan modelleme sonucu oluşan alanlar Şekil 5.19 ve Şekil 5.20'de sunulmuştur. Koruma teli olmadan elde edilen alan büyüklüklerinin, tek koruma telli alan büyüklüklerinden %2 kadar daha büyük olması beklenir. Başka bir deyişle, elektrik alan için 0,47 kV/m'nin %2'si olan 0,0094 kV/m'ye kadar, manyetik alan için ise 26 mG'un %2'si olan 0,52 mG kadar daha büyük alan değerleri beklenir. Ancak oluşan bu fark pratikte hissedilmeyecek kadar küçüktür ve alan şekilleri üzerinde gözle görülür bir fark oluşturmaz.



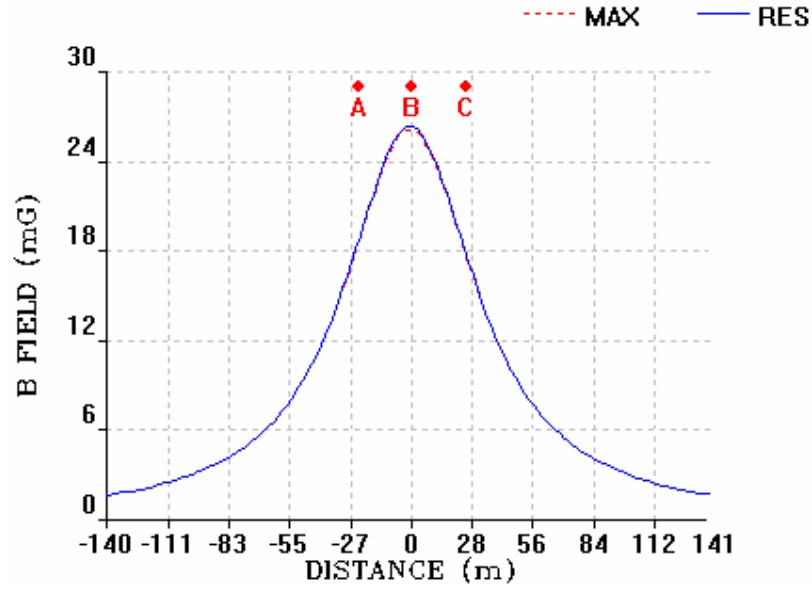
Şekil 5.17. Modelleme yapılan direğin sağında ve solunda, yer seviyesinde elektrik alan dağılımı (Dengeli tek koruma teli)



Şekil 5.18. Modelleme yapılan direğin sağında ve solunda, yer seviyesinde manyetik alan dağılımı (Dengeli tek koruma teli)



Şekil 5.19. Modelleme yapılan direğin sağında ve solunda, yer seviyesinde elektrik alan dağılımı (Koruma teli yok)



Şekil 5.20. Modelleme yapılan direğin sağında ve solunda, yer seviyesinde manyetik alan dağılımı (Koruma teli yok)

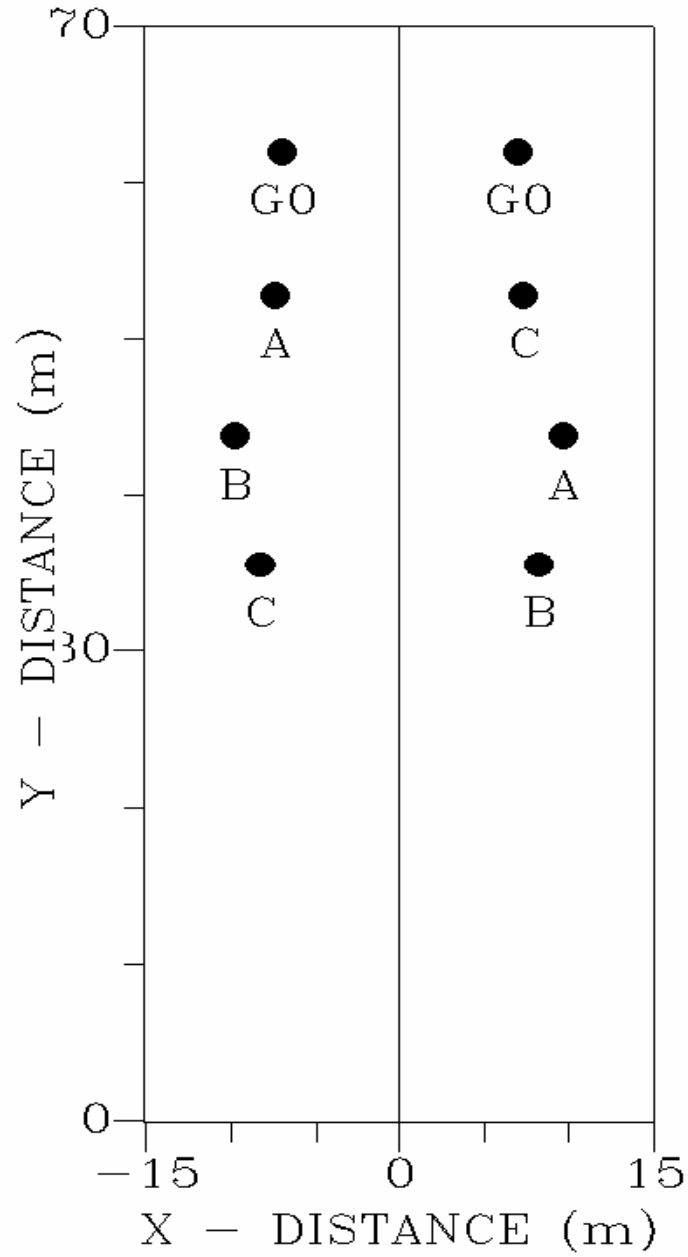
5.4. Modelleme Yapılan Nuktada 380 kV Çift Devre Bir Direk

Olması Durumunda Alan Analizi

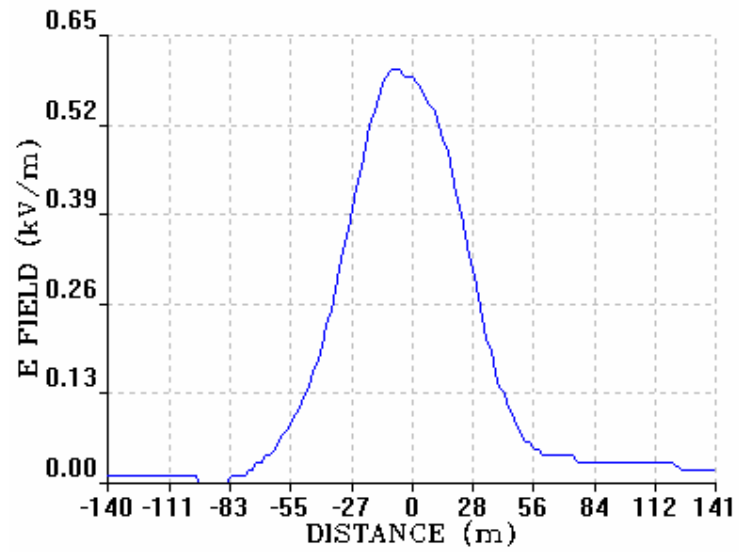
Mevcut hattımız 3PB tipi, 380 kV, tek devre, üçlü yığın geometrisine sahip bir hat olmakla beraber, aynı noktada S2 tipi, 380 kV, çift devre ve üçlü yığın geometrisine sahip bir hat olduğu düşünülerek çift devre hatlardaki alan etkisi tek devre hatlardaki alan etkisi ile karşılaştırılabilir. Bu hattın geometrisine ilişkin bilgiler EK-4 ve EK-5'de verilmiştir.

Alternatif bir model olarak düşünülen ve mevcut durumla aynı elektriksel büyüklüklere sahip çift devre hat konfigürasyonu Şekil 5.21'de gösterilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde, yer seviyesindeki elektrik alan şiddetinin en yüksek değerinin 0,60 kV/m seviyesinde olduğu, manyetik alan şiddetinin en yüksek değerinin ise 38 mG seviyesinde olduğu görülür. Bu değerler tek devre hat için elde edilen değerlerden oldukça yüksek olmakla beraber, alan şiddetleri için belirlenmiş standartların altındadır. Dolayısıyla aynı noktada bir

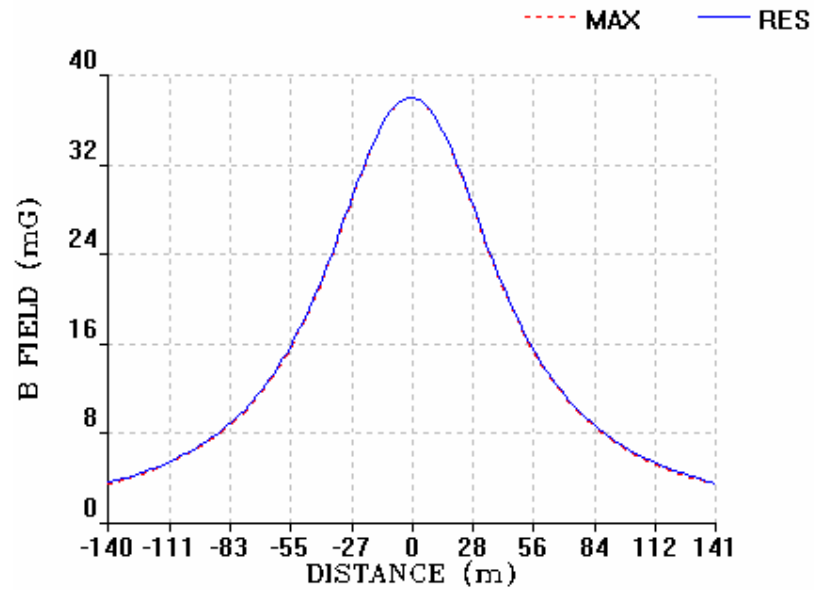
çift devre konfigürasyon olsa dahi, herhangi bir geometri değişikliğine gitmeden iletim hattı işletmeye alınabilir.



Şekil 5.21. Çift devre hat için hat konfigürasyonu



Şekil 5.22. Modelleme yapılan direğin sağında ve solunda, yer seviyesinde elektrik alan dağılımı (Çift devre hat için)



Şekil 5.23. Modelleme yapılan direğin sağında ve solunda, yer seviyesinde manyetik alan dağılımı (Çift devre hat için)

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sosyal ve ekonomik gelişmeye paralel olarak artan enerji ihtiyacı beraberinde enerjinin üretimi ve iletimindeki gelişmeyi kaçınılmaz kılmıştır. Ancak bu gelişmenin, özellikle enerjinin yüksek gerilim hatlarıyla iletimi noktasında bir metal ve elektromanyetik kirlenmeyi de beraberinde getirdiği açıktır. Bu kirlenmenin kabul edilebilir boyutlara indirilebilmesi için çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan bu çalışmada ise, öncelikle iletim hattının geometrisine bağlı ve genelleştirilmiş eğriler göz önüne alınarak teorik bir çalışma yapılmış ve bu çalışma sonucunda; iletim hattının yakınında meydana gelen elektrik ve manyetik alan etkisinin, hattın geometrik parametrelerine (hat konfigürasyonu, hat yüksekliği, sehim, iletken boyutları, faz aralığı) bağlı olarak değiştiği görülmüştür.

Gerilimin, fazlar arası mesafenin, iletken boyutlarının ve toprağa olan mesafelerin aynı olduğu farz edildiğinde topraktaki maksimum alanın, eşkenar üçgen geometrisine sahip hatlar için en düşük, dikey geometrili hatlar için ise en yüksek olduğu görüldü. Bu saptama iletim koridoru içindeki alan için söz konusudur. İletim koridoru dışındaki alan şiddetinin ise, düz geometrili hatlar için yüksek, dikey geometrili hatlar içinse son derece düşük olduğu görülmüştür. Bu durumda; iletim hattının hemen altında veya iletim koridoru içinde tehlike arz edecek bir yapılanma varsa kesinlikle dikey geometrili bir hat geometrisi kullanılmaması gerektiği açıktır. Benzer bir yaklaşımla, iletim koridorunda herhangi bir tehlike arz edecek yapılanma bulunmaması ancak bu koridor dışında olduğu durumlarda yatay geometrili hatlar, elektrik ve manyetik alanın azaltılması amacıyla tercih edilebilir.

İletim koridoru içinde topraktaki maksimum alanın azaltılabilmesi için, hat yüksekliğinin arttırılması bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak hat yüksekliğinin arttırılması, iletim hattını oluşturan direklerin daha yüksek seçilmesini veya direklerin daha sık aralıklarla tesis edilmesini gerektirir. Bu durum iletim hattının tesis maliyetini yükselteceğinden optimum bir çözüm

yöntemi değildir. L_c kritik mesafesine kadar alan büyüklüğünün azalmasına neden olan iletim hattının yüksekliğinin arttırılması, L_c kritik mesafesinden daha büyük mesafelerde elektrik büyüklüğünün artışına neden olur. Bu nedenle, iletim koridoru dışında alanın azaltılması için hat yüksekliğini arttırmak avantaj teşkil etmez. İletim hattının sehim, topraktaki maksimum alanı etkileyen faktörlerden bir diğeridir. Ancak alan hesabında sehim etkisinin göz önünde bulundurulması $\pm\%1$ 'den daha büyük bir etki meydana getirmez. Alan büyüklüklerini etkileyen iletim hattı parametreleri içinde, sehim etkisi en az etkili parametredir.

Faz aralığı da topraktaki maksimum alanın belirlenmesinde etki eden faktörlerden biridir. Toprakta daha düşük alan oluşması için yüksek gerilim iletim hatlarının sıkıştırılması gerekir. Çok yüksek gerilimli hatların sıkıştırılması, fazlar arasında metalik parçalar olmayan direkler gerektirir. Bu tip direklerin kullanılması ise hattın korona performansını etkiler. Dolayısıyla hatların sıkıştırılması beraberinde radyo ve ses gürültüsünün artışını getirdiği için daha fazla sayıda ve geniş iletken tertibatında zorunlu kılmaktadır. Bu da iletim hattının kuruluş maliyetini artıran bir sonuç doğurur.

Toprak koruma telinin alan üzerindeki etkisi $\%1-2$ kadardır. Bu etkinin az olmasının sebebi toprak koruma telinin faz iletkenlerinin üzerinde ve toprağa daha uzak olmasıdır.

Görüldüğü gibi hattın yapısını belirleyen özelliklerin her biri oluşan elektrik ve manyetik alan üzerinde etki yapmaktadır.

Oluşan alanların insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yapmaması için, verilen standart değerlerin altında tutulmaları zorunludur. İletim hattının ürettiği alanların standart değerlerle karşılaştırılabilmesi için, hattın bir program tarafından modellenmesi ve alan analizi yapılması gerekmektedir. İletim hattının tüm noktalarında modelleme yapmak zaman alıcı bir çalışmadır. Bu yüzden, hattın insan sağlığını tehlikeye düşürebilecek

meskun bölgelere yakın noktalarında modelleme yapılarak elde edilen sonuçlar standartlarla karşılaştırılır. Bu noktalarda meydana gelen alan standart değerlerin dışında ise, hat geometrisine ilişkin parametreler değiştirilerek alan değerleri standardize edilebilir. Yapılan bu çalışmada, incelenen iletim hattının yerleşim biriminden geçen kısmında bir modelleme yapılmış ve elde edilen alan değerlerinin, standart alan değerlerinin altında olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

1. E.P.R.I,"Calculation of Electric Fields", Transmission Line Reference Book, 345 kV and Above 2nd ed., **Electric Power Research Institute**, 331-333 (1982).
2. Hayt, W.H.,"Engineering Electromagnetics 50nd ed.", **McGraw Hill**, Newyork, 215-216 (1989).
3. Govindarajan, B.I,Stephen, A.S, "Study of Transmission Line Magnetic Fields", **IEEE**, 222-231(1990).
4. E.P.R.I,"Calculation of Magnetic Fields", Transmission Line Reference Book, 345 kV and Above 2nd ed., **Electric Power Research Institute**, 341-343 (1982).
5. Jinliang,H., Shuiming,C., "Electromagnetic Environment Analysis of a Software Park Near Transmission Lines", **IEEE Transactions on Industry Applications** , 40(4): 995-1002(1990).
6. TEİAŞ, "Borçka-İyidere EİH Elektromanyetik Alan ve Gürültü Modellemesi", **TEİAŞ**, Ankara,14, (2000).

EKLER

EK-1 Maksimum alan hesabı

Uzayda bir noktadaki elektrik yada manyetik alanın maksimum fazör bileşeni alan elipsinin majör yarı ekseninin doğrultusu ve genliği tarafından tanımlanır. Açının türevi Eş.3.14 ve Eş.3.15 ile ifade edilen yatay ve dikey bileşenler ile başlar.

Yatay bileşen göz önüne alınarak, α açısı tarafından tanımlanan bir doğrultu boyunca alan bileşeninin E_α genliği şu şekilde ifade edilir:

$$(E_\alpha)^2 = (E_{ry} \sin \alpha + E_{rx} \cos \alpha)^2 + (E_{iy} \sin \alpha + E_{ix} \cos \alpha)^2$$

Maksimum ve minumum alanlarla ilgili açıların hesabı için,yukarıdaki ifadenin türevinin sıfıra eşitlenmesi gerekir.

$$\frac{d(E_\alpha)^2}{d\alpha} = 0$$

Gerekli işlemler yapıldıktan sonra, $\tan \alpha$ bilinmeyen değişken olmak üzere ikinci dereceden bir eşitlik olarak yazılabilir:

$$\tan^2 \alpha (E_{ry} \cdot E_{rx} + E_{iy} \cdot E_{ix}) + \tan \alpha (-E_{iy}^2 + E_{ix}^2 - E_{ry}^2 + E_{rx}^2) - (E_{ry} \cdot E_{rx} + E_{iy} \cdot E_{ix}) = 0$$

Elipsin majör ve minör eksenlerine uygun olarak iki çözüme sahiptir. Yarı eksenin genliği açılar yerine konularak elde edilir. Zamanın türevi dikey ve yatay bileşenlerin zamanda anlık değer değişkenlerinin bir vektör olarak ifade edilmesiyle başlar.

$$\vec{E}_x = H \cos(\omega t + \theta) \cdot \vec{u}_x$$

$$\vec{E}_y = V \cos(\omega t + \phi) \cdot \vec{u}_y$$

EK-1 (Devam) Maksimum alan hesabı

Burada H , maksimum yatay bileşendir ve şu şekilde bulunur:

$$H^2 = E_{rx}^2 + E_{ix}^2$$

θ , yatay bileşenin faz açısıdır.

$$\theta = \arctan \frac{E_{ix}}{E_{rx}}$$

V , maksimum dikey bileşendir ve şu şekilde bulunur:

$$V^2 = E_{ry}^2 + E_{iy}^2$$

ϕ , dikey bileşenin faz açısıdır.

$$\phi = \arctan \frac{E_{iy}}{E_{ry}}$$

Anlık alan uzayda bir vektördür ve şu şekilde ifade edilir:

$$\vec{E} = \vec{E}_x + \vec{E}_y$$

Anlık alan genliğinin karesi alınır:

$$E^2 = H^2 \cos^2(\omega t + \theta) + V^2 \cos^2(\omega t + \phi)$$

ifadesi elde edilir. E^2 eşitliğinin türevi sıfıra eşit olduğunda, alan maksimum veya minumdur.

EK-1 (Devam) Maksimum alan hesabı

$$\frac{dE^2}{dt} = 0$$

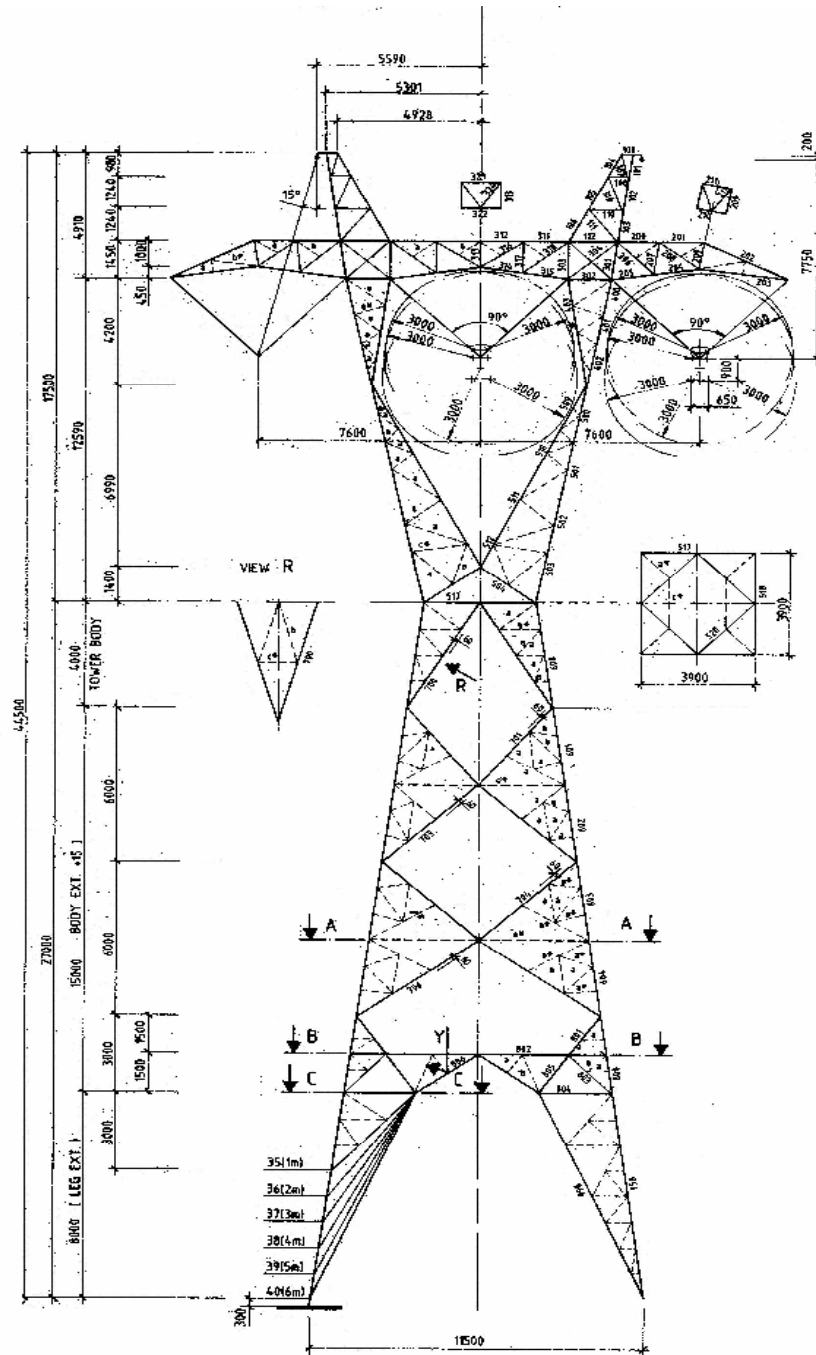
Yukarıdaki ifadenin çözümü şu şekildedir:

$$\tan(2\omega t) = -\frac{H^2 \sin 2\theta + V^2 \sin 2\phi}{H^2 \cos 2\theta + V^2 \cos 2\phi}$$

$$\omega t_m = \omega t_1 + (m-1)(\pi/2)$$

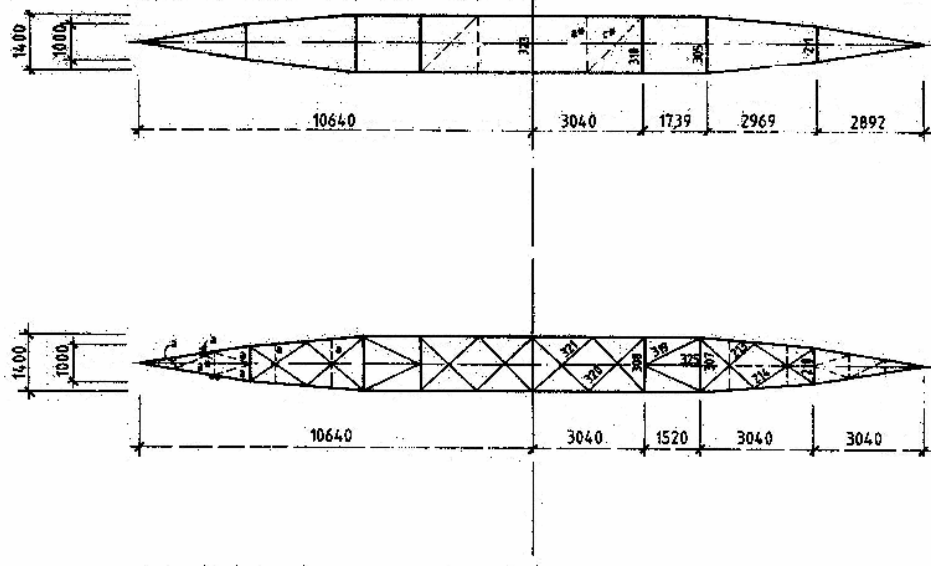
Burada dört çözüm vardır (m=1,2,3,4). t_1, t_3 ve t_2, t_4 ikilileri yarı eksenin iki farklı yönüne uygulanır.

EK-2 Modelleme yapılan 3PB direği *



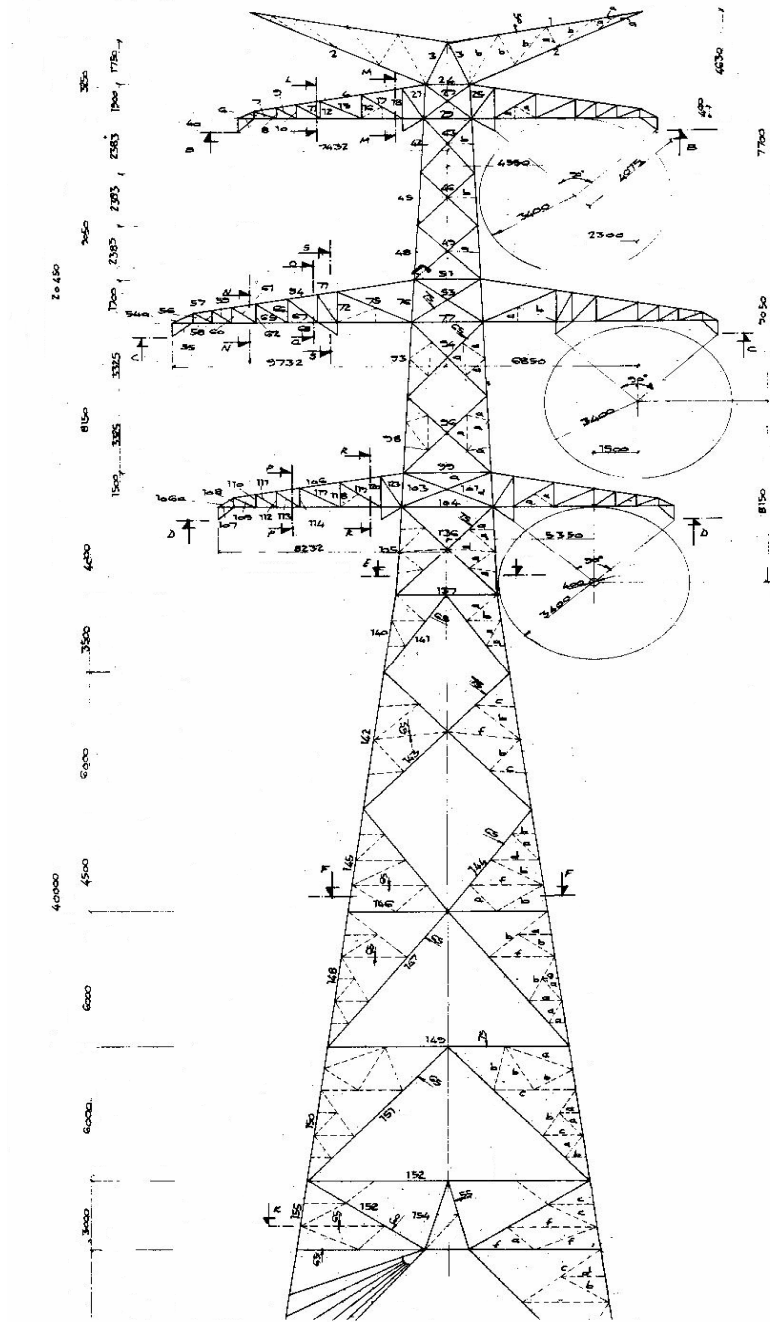
*TEİAŞ APK Daire Başkanlığı'ndan alınmıştır.

EK-3 3PB direk konsolu *



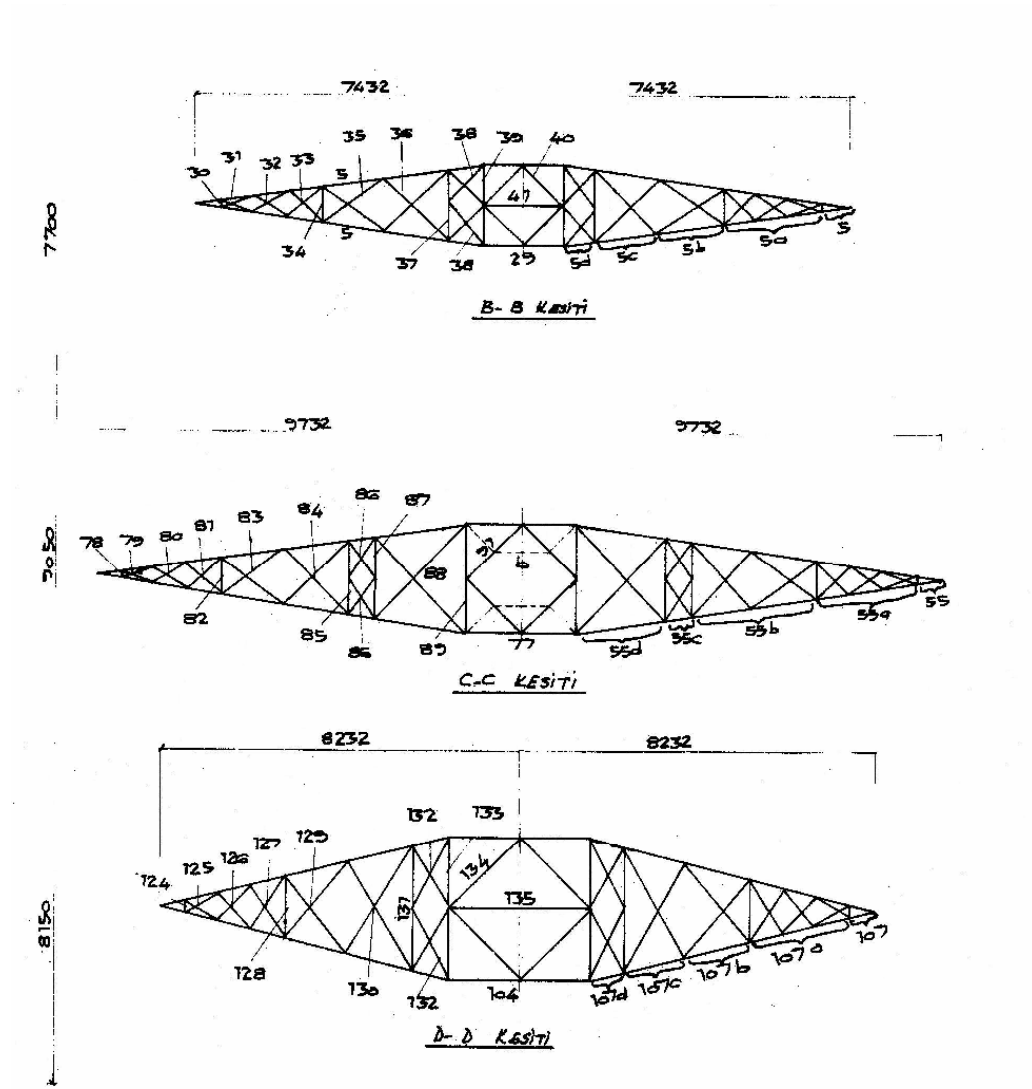
*TEİAŞ APK Daire Başkanlığı'ndan alınmıştır.

EK-4 Çift devre S2 direği *



*TEİAŞ APK Daire Başkanlığı'ndan alınmıştır.

EK-5 S2 direk konsolu *



*TEİAŞ APK Daire Başkanlığı'ndan alınmıştır.

EK-6 Çelik özlü alüminyum iletkenlerin mekanik ve elektriksel özellikleri*

ANMA DEĞERİ AL/Ç mm ²	KANADA STD. DINDAKİ		K E S İ T			Tel. Soy. ve Çapları			Anma Çapı		20 °C de Doğru akım direnci ohm/km	Anma birim ölç. liği				Makaralı std. embolaj						
	Kesiti AWG veya Çirç. mill.	AL mm ²	Çelik mm ²	Toplam mm ²	Bakır eş değeri mm ²	Alüminyum		Çelik	Çelik Toplam	Anma Kopma		Al. kg/km	Çelik kg/km	Toplam kg/km	Çelik AL %	Makara tipi	Bir Makarada iletken boyu m	Net ağırlık kg				
						Soyl. Çap mm.	Soyl. Çap mm.												öz iletken mm.	mm.		
402/62	CONDOR	795000	40233	5215	45448	2530	54	308	7	308	924	2772	12947	00718	1112.6	407.1	15197	73.2	26.8	R-180	1600	2431
447/23	-	874500	44729	2288	46717	2784	42	367	7	204	612	2814	10378	00650	12276	178.7	14063	87.3	12.7	R-180	1600	2250
442/57	CRANE	874500	44247	5736	49883	2783	54	323	7	423	969	2907	14233	00653	12236	447.6	16712	73.2	26.8	R-180	1600	2674
456/24	-	900000	45648	2356	48004	2871	42	372	7	207	621	2853	10663	00633	12611	183.6	14447	87.3	12.7	R-180	1600	2312
456/59	CANARY	900000	45628	5915	51543	2869	54	328	7	328	984	2952	14685	00633	12817	461.8	1723.5	73.2	26.8	R-180	1600	2758
484/25	PHOENIX	951000	48388	2494	50882	3013	42	383	7	213	639	2937	11300	00596	1386.6	194.5	15311	87.3	12.7	R-200	2200	3370
485/63	CARDINAL	951000	48153	6281	54734	3017	54	338	7	338	1014	3042	15589	00597	1399.6	490.2	18298	73.2	26.8	R-200	2100	3843
525/27	SNOWBIRD	1033500	52515	2685	55700	3302	42	399	7	221	663	3057	12085	00550	1450.8	209.8	16606	87.3	12.7	R-200	2200	3654
523/68	CURLEW	1033500	52251	6773	59024	3286	54	351	7	351	1053	3159	16823	00553	1444.6	529.0	1973.6	73.2	26.8	R-200	2000	3950
505/29	BEAUMONT	1113000	50538	2908	59446	3556	42	414	7	230	690	3174	17924	00511	1561.6	226.8	17884	87.3	12.7	R-200	2100	3756
585/72	FINCH	1113000	58503	7157	63660	3553	54	365	19	219	1095	3285	18275	00511	1582.2	560.9	2123.1	73.6	26.4	R-200	1800	3822
604/31	-	1192500	60426	3114	63540	3800	42	428	7	238	714	3282	13827	00477	1689.3	232.2	1972.5	87.3	12.7	R-200	1800	3443
603/77	GRACKLE	1192500	60279	7689	67968	3781	54	377	19	227	1130	3392	19561	00479	1666.6	602.6	22692	73.6	26.4	R-200	1700	3860
644/33	SCISSORTAIL	1272000	64444	3327	67771	4053	42	442	7	246	738	3390	14785	00448	1779.6	259.6	20392	87.3	12.7	R-200	1700	3467
645/82	PHEASANT	1272000	64508	8171	72679	4057	54	390	19	234	1170	3500	20383	00449	1783.8	639.7	24235	73.6	26.4	R-200	1500	3636
686/35	-	1351500	68631	3519	72101	4313	42	456	7	259	759	3495	15675	00421	1894.7	274.9	21886	87.3	12.7	R-200	1600	3472
685/87	MARTIN	1351500	68538	8667	77206	4310	54	402	19	261	1205	3617	21631	00422	1885.3	678.4	2573.7	73.6	26.4	R-200	1400	3604
741/37	-	1430000	74113	3715	77658	4661	42	474	7	261	783	3627	16872	00388	2042.5	287.4	23389	87.5	12.5	R-200	1600	3510
727/52	PIVOTER	1430000	72692	9178	81820	4571	54	414	19	248	1240	3724	22599	00398	2093.7	718.6	27283	73.6	26.4	R-200	1300	3547
766/39	-	1510500	76636	3919	80555	4819	42	482	7	267	801	3693	17501	00377	21170	306.0	24230	87.3	12.7	R-200	1400	3393
766/97	PARROT	1510500	76606	9703	86309	4817	54	425	19	255	1275	3825	24212	00377	21180	760.3	28783	73.6	26.4	R-200	1200	3454
805/71	-	1590000	80466	7125	87591	5060	48	462	7	360	1080	3852	21612	00360	2222.7	556.3	27790	800	200	R-200	1200	3335
806/102	FALCON	1590000	80622	10165	90787	5070	54	436	19	261	1305	3921	25416	00358	2299.6	796.0	30756	73.2	26.3	R-200	1100	3329

*TEİAŞ APK Daire Başkanlığı'ndan alınmıştır.

EK-7 İletim hattının elektrik ve manyetik alan analiz sonuçları

Mevcut Tek Devre Hat İçin

```

*****
*                                     *
*               BUNDLE INFORMATION               *
*                                     *
*****
| | | |VOLTAGE| |CURRENT|# | COORDINATES | | |
|BNDL|CIRC| VOLTAGE| ANGLE| LOAD | ANGLE| OF| X | Y | PHASE
|
| #| #| (kV) |(DEG)| (AMPS) |(DEG)| COND| (M) | (M) | |

*****
*****
| 1| 1| 380.0| .0| 1300.0| .0| 3| -7.6| 35.4| A |
| 2| 1| 380.0|240.0| 1300.0|240.0| 3| .0| 35.4| B |
| 3| 1| 380.0|120.0| 1300.0|120.0| 3| 7.6| 35.4| C |
| 4| 1| .0| .0| .0| .0| 1| -4.9| 44.5| GND |
| 5| 1| .0| .0| .0| .0| 1| 4.9| 44.5| GND |

*****
*****
*               MINIMUM GROUND CLEARANCE = 35.390 M.               *
*               *
*****
*****
*               SUBCONDUCTOR INFORMATION - REGULAR BUNDLES               *
*
*****
*****
|BNDL| DIAMETER | SPACING | DC RESIST. | AC RESIST. | AC REACT. |
| # | (CM) | (CM) | (OHMS/KM) | (OHMS/KM) | (OHMS/KM) |

*****
*****
| 1 | 3.510| 3.210| .04517| .04666| .231150|
| 2 | 3.510| 3.210| .04517| .04666| .231150|
| 3 | 3.510| 3.210| .04517| .04666| .231150|
| 4 | .914| .000| 4.04513| 4.19426| .932060|
| 5 | .914| .000| 4.04513| 4.19426| .932060|

*****
*****

```

EK-7 (Devam) İletim hattının elektrik ve manyetik alan analiz sonuçları

*
*
* AC ELECTRIC FIELD PROFILE *
* at .50 meter above ground *
*
*

LATERAL MAXIMUM MINOR/MAJOR SPACE
DISTANCE FIELD ELLIPSE AXES VERTICAL HORIZONTAL
POTENTIAL

(feet)	(meters)	(kV/m)	(ratio)	(kV/m)	(kV/m)	(kV)
-459.3	-140.00	.022	.001	.022	.000	.011
-446.2	-136.00	.024	.001	.024	.000	.012
-433.1	-132.00	.026	.001	.026	.000	.013
-419.9	-128.00	.028	.001	.028	.000	.014
-406.8	-124.00	.031	.001	.031	.000	.015
-393.7	-120.00	.033	.001	.033	.000	.017
-380.6	-116.00	.036	.001	.036	.000	.018
-367.5	-112.00	.040	.001	.040	.000	.020
-354.3	-108.00	.044	.001	.044	.001	.022
-341.2	-104.00	.048	.001	.048	.001	.024
-328.1	-100.00	.053	.001	.053	.001	.026
-324.8	-99.00	.054	.001	.054	.001	.027
-318.2	-97.00	.057	.001	.057	.001	.029
-311.7	-95.00	.060	.001	.060	.001	.030
-305.1	-93.00	.063	.001	.063	.001	.032
-298.6	-91.00	.067	.001	.067	.001	.033
-292.0	-89.00	.071	.001	.071	.001	.035
-285.4	-87.00	.075	.001	.075	.001	.037
-278.9	-85.00	.079	.001	.079	.001	.039
-272.3	-83.00	.083	.001	.083	.001	.042
-265.7	-81.00	.088	.001	.088	.001	.044
-259.2	-79.00	.094	.001	.093	.001	.047
-252.6	-77.00	.099	.001	.099	.001	.050
-246.1	-75.00	.105	.001	.105	.002	.053
-239.5	-73.00	.112	.001	.112	.002	.056
-232.9	-71.00	.119	.001	.119	.002	.059
-226.4	-69.00	.126	.001	.126	.002	.063
-219.8	-67.00	.135	.001	.135	.002	.067
-213.3	-65.00	.143	.001	.143	.002	.072
-206.7	-63.00	.153	.001	.153	.002	.076
-200.1	-61.00	.163	.001	.163	.003	.082

EK-7 (Devam) İletim hattının elektrik ve manyetik alan analiz sonuçları

-193.6	-59.00	.174	.001	.174	.003	.087
-187.0	-57.00	.186	.001	.186	.003	.093
-180.4	-55.00	.199	.001	.198	.003	.099
-173.9	-53.00	.212	.001	.212	.003	.106
-167.3	-51.00	.226	.001	.226	.004	.113
-160.8	-49.00	.242	.001	.242	.004	.121
-154.2	-47.00	.258	.001	.258	.004	.129
-147.6	-45.00	.275	.001	.275	.004	.138
-141.1	-43.00	.293	.001	.293	.005	.147
-134.5	-41.00	.312	.001	.312	.005	.156
-128.0	-39.00	.332	.001	.331	.005	.166
-121.4	-37.00	.351	.001	.351	.005	.176
-114.8	-35.00	.371	.001	.371	.005	.185
-108.3	-33.00	.390	.001	.390	.005	.195
-101.7	-31.00	.408	.001	.408	.004	.204
-95.1	-29.00	.425	.001	.425	.004	.213
-88.6	-27.00	.440	.001	.440	.003	.220
-82.0	-25.00	.451	.002	.451	.002	.225
-75.5	-23.00	.458	.002	.458	.001	.229
-68.9	-21.00	.459	.002	.459	.001	.229
-62.3	-19.00	.454	.002	.454	.002	.227
-55.8	-17.00	.441	.002	.441	.004	.221
-49.2	-15.00	.420	.002	.420	.006	.210
-42.7	-13.00	.391	.002	.390	.009	.195
-36.1	-11.00	.351	.001	.351	.011	.176
-29.5	-9.00	.303	.000	.303	.013	.151
-23.0	-7.00	.247	.003	.246	.015	.123
-16.4	-5.00	.184	.011	.183	.017	.091
-9.8	-3.00	.116	.037	.115	.018	.057
-3.3	-1.00	.051	.220	.048	.018	.024
3.3	1.00	.051	.220	.048	.018	.024
9.8	3.00	.116	.037	.115	.018	.057
16.4	5.00	.184	.011	.183	.017	.091
23.0	7.00	.247	.003	.246	.015	.123
29.5	9.00	.303	.000	.303	.013	.151
36.1	11.00	.351	.001	.351	.011	.176
42.7	13.00	.391	.002	.390	.009	.195
49.2	15.00	.420	.002	.420	.006	.210
55.8	17.00	.441	.002	.441	.004	.221
62.3	19.00	.454	.002	.454	.002	.227
68.9	21.00	.459	.002	.459	.001	.229
75.5	23.00	.458	.002	.458	.001	.229
82.0	25.00	.451	.002	.451	.002	.225

EK-7 (Devam) İletim hattının elektrik ve manyetik alananaliz sonuçları

88.6	27.00	.440	.001	.440	.003	.220
95.1	29.00	.425	.001	.425	.004	.213
101.7	31.00	.408	.001	.408	.004	.204
108.3	33.00	.390	.001	.390	.005	.195
114.8	35.00	.371	.001	.371	.005	.185
121.4	37.00	.351	.001	.351	.005	.176
128.0	39.00	.332	.001	.331	.005	.166
134.5	41.00	.312	.001	.312	.005	.156
141.1	43.00	.293	.001	.293	.005	.147
147.6	45.00	.275	.001	.275	.004	.138
154.2	47.00	.258	.001	.258	.004	.129
160.8	49.00	.242	.001	.242	.004	.121
167.3	51.00	.226	.001	.226	.004	.113
173.9	53.00	.212	.001	.212	.003	.106
180.4	55.00	.199	.001	.198	.003	.099
187.0	57.00	.186	.001	.186	.003	.093
193.6	59.00	.174	.001	.174	.003	.087
200.1	61.00	.163	.001	.163	.003	.082
206.7	63.00	.153	.001	.153	.002	.076
213.3	65.00	.143	.001	.143	.002	.072
219.8	67.00	.135	.001	.135	.002	.067
226.4	69.00	.126	.001	.126	.002	.063
232.9	71.00	.119	.001	.119	.002	.059
239.5	73.00	.112	.001	.112	.002	.056
246.1	75.00	.105	.001	.105	.002	.053
252.6	77.00	.099	.001	.099	.001	.050
259.2	79.00	.094	.001	.093	.001	.047
265.7	81.00	.088	.001	.088	.001	.044
272.3	83.00	.083	.001	.083	.001	.042
278.9	85.00	.079	.001	.079	.001	.039
285.4	87.00	.075	.001	.075	.001	.037
292.0	89.00	.071	.001	.071	.001	.035
298.6	91.00	.067	.001	.067	.001	.033
305.1	93.00	.063	.001	.063	.001	.032
311.7	95.00	.060	.001	.060	.001	.030
318.2	97.00	.057	.001	.057	.001	.029
324.8	99.00	.054	.001	.054	.001	.027
331.4	101.00	.052	.001	.052	.001	.026
331.4	101.00	.052	.001	.052	.001	.026
344.5	105.00	.047	.001	.047	.001	.023
357.6	109.00	.043	.001	.043	.001	.021
370.7	113.00	.039	.001	.039	.000	.019
383.9	117.00	.036	.001	.036	.000	.018

EK-7 (Devam) İletim hattının elektrik ve manyetik alan analiz sonuçları

397.0	121.00	.033	.001	.033	.000	.016
410.1	125.00	.030	.001	.030	.000	.015
423.2	129.00	.028	.001	.028	.000	.014
436.4	133.00	.025	.001	.025	.000	.013
449.5	137.00	.024	.001	.024	.000	.012
462.6	141.00	.022	.001	.022	.000	.011

*

*

*

MAGNETIC FIELD PROFILE

*

*

at .50 meter above ground

*

*

*

<----- AC MAGNETIC FIELD ----->

LATERAL DISTANCE		MAJOR AXIS	MINOR/ MAJOR	VERTICAL COMP	HORIZONTAL COMP	RMS RESULTANT
(feet)	(meters)	(mG)	(RATIO)	(mG)	(mG)	(mG)

-459.3	-140.00	1.56	.025	1.37	.75	1.56
-446.2	-136.00	1.65	.023	1.44	.82	1.65
-433.1	-132.00	1.75	.021	1.51	.89	1.75
-419.9	-128.00	1.86	.020	1.59	.96	1.86
-406.8	-124.00	1.98	.018	1.67	1.05	1.98
-393.7	-120.00	2.10	.016	1.76	1.15	2.10
-380.6	-116.00	2.24	.014	1.85	1.26	2.24
-367.5	-112.00	2.39	.012	1.95	1.38	2.39
-354.3	-108.00	2.56	.011	2.06	1.52	2.56
-341.2	-104.00	2.75	.009	2.17	1.68	2.75
-328.1	-100.00	2.95	.007	2.29	1.87	2.95
-324.8	-99.00	3.01	.006	2.32	1.91	3.01
-318.2	-97.00	3.12	.005	2.38	2.02	3.12
-311.7	-95.00	3.24	.004	2.44	2.13	3.24
-305.1	-93.00	3.37	.003	2.51	2.25	3.37
-298.6	-91.00	3.50	.002	2.57	2.37	3.50
-292.0	-89.00	3.64	.001	2.64	2.51	3.64
-285.4	-87.00	3.79	.000	2.70	2.66	3.79
-278.9	-85.00	3.95	.001	2.77	2.81	3.95
-272.3	-83.00	4.12	.002	2.84	2.98	4.12
-265.7	-81.00	4.29	.003	2.90	3.16	4.29

EK-7 (Devam) İletim hattının elektrik ve manyetik alan analiz sonuçları

-259.2	-79.00	4.48	.005	2.97	3.36	4.48
-252.6	-77.00	4.68	.006	3.03	3.57	4.68
-246.1	-75.00	4.89	.007	3.09	3.79	4.89
-239.5	-73.00	5.12	.009	3.15	4.04	5.12
-232.9	-71.00	5.36	.010	3.20	4.30	5.36
-226.4	-69.00	5.62	.012	3.25	4.58	5.62
-219.8	-67.00	5.89	.013	3.29	4.89	5.89
-213.3	-65.00	6.18	.015	3.32	5.21	6.18
-206.7	-63.00	6.49	.017	3.33	5.57	6.49
-200.1	-61.00	6.82	.018	3.34	5.95	6.82
-193.6	-59.00	7.17	.020	3.32	6.36	7.18
-187.0	-57.00	7.55	.022	3.29	6.80	7.55
-180.4	-55.00	7.96	.024	3.23	7.28	7.96
-173.9	-53.00	8.39	.027	3.13	7.79	8.39
-167.3	-51.00	8.85	.029	3.01	8.33	8.86
-160.8	-49.00	9.35	.032	2.83	8.91	9.35
-154.2	-47.00	9.87	.034	2.61	9.53	9.88
-147.6	-45.00	10.44	.037	2.33	10.18	10.44
-141.1	-43.00	11.04	.040	1.99	10.87	11.05
-134.5	-41.00	11.68	.043	1.58	11.58	11.69
-128.0	-39.00	12.36	.047	1.11	12.32	12.37
-121.4	-37.00	13.08	.050	.72	13.08	13.10
-114.8	-35.00	13.85	.054	.88	13.84	13.87
-108.3	-33.00	14.65	.058	1.62	14.59	14.68
-101.7	-31.00	15.50	.062	2.62	15.30	15.53
-95.1	-29.00	16.38	.066	3.81	15.97	16.42
-88.6	-27.00	17.29	.071	5.19	16.54	17.34
-82.0	-25.00	18.23	.076	6.74	17.00	18.29
-75.5	-23.00	19.19	.080	8.46	17.29	19.25
-68.9	-21.00	20.16	.085	10.34	17.39	20.23
-62.3	-19.00	21.12	.090	12.34	17.24	21.20
-55.8	-17.00	22.06	.095	14.44	16.81	22.16
-49.2	-15.00	22.96	.100	16.58	16.05	23.08
-42.7	-13.00	23.81	.105	18.70	14.96	23.94
-36.1	-11.00	24.59	.109	20.72	13.51	24.73
-29.5	-9.00	25.28	.113	22.57	11.74	25.44
-23.0	-7.00	25.85	.116	24.16	9.67	26.03
-16.4	-5.00	26.31	.119	25.43	7.40	26.49
-9.8	-3.00	26.62	.121	26.32	5.14	26.81
-3.3	-1.00	26.79	.122	26.77	3.46	26.99
3.3	1.00	26.81	.122	26.76	3.69	27.01
9.8	3.00	26.68	.121	26.29	5.58	26.88
16.4	5.00	26.40	.120	25.39	7.91	26.59

EK-7 (Devam) İletim hattının elektrik ve manyetik alan analiz sonuçları

23.0	7.00	25.99	.118	24.10	10.19	26.17
29.5	9.00	25.45	.115	22.49	12.27	25.61
36.1	11.00	24.79	.112	20.62	14.04	24.95
42.7	13.00	24.05	.108	18.58	15.48	24.19
49.2	15.00	23.22	.104	16.45	16.57	23.35
55.8	17.00	22.34	.099	14.30	17.31	22.45
62.3	19.00	21.42	.095	12.19	17.73	21.52
68.9	21.00	20.48	.091	10.18	17.87	20.56
75.5	23.00	19.53	.086	8.29	17.76	19.60
82.0	25.00	18.58	.082	6.56	17.45	18.64
88.6	27.00	17.65	.078	5.01	16.98	17.70
95.1	29.00	16.74	.073	3.64	16.39	16.79
101.7	31.00	15.86	.070	2.46	15.71	15.90
108.3	33.00	15.02	.066	1.50	14.98	15.05
114.8	35.00	14.22	.062	.91	14.21	14.24
121.4	37.00	13.45	.059	.97	13.44	13.48
128.0	39.00	12.73	.056	1.41	12.67	12.75
134.5	41.00	12.05	.053	1.87	11.92	12.06
141.1	43.00	11.40	.050	2.27	11.19	11.42
147.6	45.00	10.80	.048	2.61	10.49	10.81
154.2	47.00	10.23	.046	2.89	9.82	10.24
160.8	49.00	9.70	.043	3.11	9.19	9.71
167.3	51.00	9.20	.041	3.28	8.60	9.21
173.9	53.00	8.73	.039	3.40	8.05	8.74
180.4	55.00	8.29	.038	3.49	7.53	8.30
187.0	57.00	7.88	.036	3.55	7.04	7.89
193.6	59.00	7.50	.035	3.58	6.59	7.51
200.1	61.00	7.14	.033	3.60	6.17	7.15
206.7	63.00	6.80	.032	3.59	5.79	6.81
213.3	65.00	6.49	.031	3.57	5.42	6.49
219.8	67.00	6.19	.029	3.54	5.09	6.20
226.4	69.00	5.91	.028	3.49	4.78	5.92
232.9	71.00	5.65	.027	3.44	4.49	5.66
239.5	73.00	5.41	.027	3.39	4.22	5.41
246.1	75.00	5.18	.026	3.33	3.97	5.18
252.6	77.00	4.96	.025	3.26	3.74	4.96
259.2	79.00	4.76	.024	3.20	3.52	4.76
265.7	81.00	4.56	.023	3.13	3.32	4.56
272.3	83.00	4.38	.023	3.06	3.14	4.38
278.9	85.00	4.21	.022	2.99	2.96	4.21
285.4	87.00	4.05	.022	2.92	2.80	4.05
292.0	89.00	3.89	.021	2.85	2.65	3.89
298.6	91.00	3.75	.021	2.78	2.51	3.75

EK-7 (Devam) İletim hattının elektrik ve manyetik alan analiz sonuçları

305.1	93.00	3.61	.020	2.71	2.38	3.61
311.7	95.00	3.48	.020	2.65	2.26	3.48
318.2	97.00	3.36	.020	2.58	2.15	3.36
324.8	99.00	3.24	.019	2.52	2.04	3.24
331.4	101.00	3.13	.019	2.45	1.94	3.13
331.4	101.00	3.13	.019	2.45	1.94	3.13
344.5	105.00	2.92	.018	2.33	1.76	2.92
357.6	109.00	2.73	.018	2.22	1.60	2.73
370.7	113.00	2.56	.018	2.11	1.46	2.56
383.9	117.00	2.41	.017	2.01	1.33	2.41
397.0	121.00	2.27	.017	1.91	1.22	2.27
410.1	125.00	2.14	.017	1.82	1.12	2.14
423.2	129.00	2.02	.017	1.73	1.03	2.02
436.4	133.00	1.91	.017	1.65	.95	1.91
449.5	137.00	1.81	.017	1.58	.88	1.81
462.6	141.00	1.71	.017	1.50	.82	1.71

EK-7 (Devam) İletim hattının elektrik ve manyetik alan analiz sonuçları

Öngörülen Çift Devre Hat İçin

* BUNDLE INFORMATION *

				VOLTAGE	CURRENT	#		COORDINATES		
				BNDL CIRC	VOLTAGE	ANGLE	LOAD	ANGLE OF	X	Y
										PHASE
	#		#	(kV)		(DEG)		(AMPS)		(DEG)
	COND		(M)		(M)					

	1		1		380.0		.0		1300.0		.0		3		-7.4		52.8		A	
	2		1		380.0		240.0		1300.0		240.0		3		-9.7		43.7		B	
	3		1		380.0		120.0		1300.0		120.0		3		-8.2		35.5		C	
	4		2		380.0		120.0		1300.0		.0		3		7.4		52.8		C	
	5		2		380.0		.0		1300.0		240.0		3		9.7		43.7		A	
	6		2		380.0		240.0		1300.0		120.0		3		8.2		35.5		B	
	7		1		.0		.0		.0		.0		1		-7.1		61.8		GND	
	8		2		.0		.0		.0		.0		1		7.1		61.8		GND	

* MINIMUM GROUND CLEARANCE = 35.550 M. *

EK-7 (Devam) İletim hattının elektrik ve manyetik alan analiz sonuçları

```

*****
*****
*
*          SUBCONDUCTOR INFORMATION - REGULAR BUNDLES
*
*****
*****
|BNDL | DIAMETER | SPACING | DC RESIST. | AC RESIST. | AC REACT. |
| # | (CM) | (CM) | (OHMS/KM) | (OHMS/KM) | (OHMS/KM) |
*****
*****
| 1 | 3.510 | 3.210 | .04517 | .04666 | .231150 |
| 2 | 3.510 | 3.210 | .04517 | .04666 | .231150 |
| 3 | 3.510 | 3.210 | .04517 | .04666 | .231150 |
| 4 | 3.510 | 3.210 | .04517 | .04666 | .231150 |
| 5 | 3.510 | 3.210 | .04517 | .04666 | .231150 |
| 6 | 3.510 | 3.210 | .04517 | .04666 | .231150 |
| 7 | .914 | .000 | 4.04513 | 4.19426 | .932060 |
| 8 | .914 | .000 | 4.04513 | 4.19426 | .932060 |
*****
*****

```


EK-7 (Devam) İletim hattının elektrik ve manyetik alan analiz sonuçları

*
* AC ELECTRIC FIELD PROFILE *
* at .50 meter above ground *
*

LATERAL DISTANCE		MAXIMUM FIELD		MINOR/MAJOR ELLIPSE AXES		SPACE VERTICAL	HORIZONTAL
POTENTIAL (feet)	(meters)	(kV/m)	(ratio)	(kV/m)	(kV/m)	(kV)	
-459.3	-140.00	.011	.001	.011	.000	.005	
-446.2	-136.00	.011	.000	.011	.000	.005	
-433.1	-132.00	.011	.000	.011	.000	.005	
-419.9	-128.00	.011	.001	.011	.000	.005	
-406.8	-124.00	.010	.001	.010	.000	.005	
-393.7	-120.00	.010	.000	.010	.000	.005	
-380.6	-116.00	.010	.000	.010	.000	.005	
-367.5	-112.00	.009	.000	.009	.000	.005	
-354.3	-108.00	.009	.001	.009	.000	.004	
-341.2	-104.00	.008	.003	.008	.000	.004	
-328.1	-100.00	.006	.007	.006	.000	.003	
-324.8	-99.00	.006	.009	.006	.000	.003	
-318.2	-97.00	.005	.015	.005	.000	.002	
-311.7	-95.00	.004	.026	.004	.000	.002	
-305.1	-93.00	.003	.055	.003	.000	.002	
-298.6	-91.00	.002	.135	.002	.000	.001	
-292.0	-89.00	.002	.225	.002	.000	.001	
-285.4	-87.00	.003	.108	.003	.000	.001	
-278.9	-85.00	.004	.045	.004	.000	.002	
-272.3	-83.00	.006	.022	.006	.001	.003	
-265.7	-81.00	.009	.012	.009	.001	.004	
-259.2	-79.00	.011	.007	.011	.001	.006	
-252.6	-77.00	.014	.004	.014	.001	.007	
-246.1	-75.00	.018	.002	.018	.001	.009	
-239.5	-73.00	.022	.001	.021	.001	.011	
-232.9	-71.00	.026	.000	.026	.001	.013	
-226.4	-69.00	.031	.000	.031	.001	.015	
-219.8	-67.00	.036	.001	.036	.001	.018	
-213.3	-65.00	.042	.001	.042	.002	.021	

EK-7 (Devam) İletim hattının elektrik ve manyetik alan analiz sonuçları

-206.7	-63.00	.049	.002	.049	.002	.025
-200.1	-61.00	.057	.002	.057	.002	.028
-193.6	-59.00	.066	.002	.066	.002	.033
-187.0	-57.00	.075	.002	.075	.003	.038
-180.4	-55.00	.086	.002	.086	.003	.043
-173.9	-53.00	.098	.003	.098	.003	.049
-167.3	-51.00	.111	.003	.111	.004	.056
-160.8	-49.00	.126	.003	.126	.004	.063
-154.2	-47.00	.143	.003	.143	.004	.071
-147.6	-45.00	.161	.003	.161	.005	.080
-141.1	-43.00	.181	.003	.181	.005	.090
-134.5	-41.00	.202	.003	.202	.006	.101
-128.0	-39.00	.226	.003	.226	.006	.113
-121.4	-37.00	.251	.002	.251	.007	.126
-114.8	-35.00	.279	.002	.279	.007	.139
-108.3	-33.00	.308	.002	.307	.007	.154
-101.7	-31.00	.338	.001	.338	.008	.169
-95.1	-29.00	.369	.001	.369	.008	.184
-88.6	-27.00	.401	.000	.401	.008	.200
-82.0	-25.00	.432	.001	.432	.008	.216
-75.5	-23.00	.463	.002	.463	.008	.232
-68.9	-21.00	.493	.003	.493	.007	.246
-62.3	-19.00	.519	.004	.519	.007	.260
-55.8	-17.00	.543	.006	.543	.006	.271
-49.2	-15.00	.563	.007	.563	.006	.281
-42.7	-13.00	.578	.009	.578	.006	.289
-36.1	-11.00	.589	.012	.589	.007	.294
-29.5	-9.00	.595	.014	.595	.008	.298
-23.0	-7.00	.598	.016	.598	.009	.299
-16.4	-5.00	.597	.018	.597	.011	.299
-9.8	-3.00	.594	.020	.594	.012	.297
-3.3	-1.00	.590	.021	.590	.012	.295
3.3	1.00	.585	.021	.585	.013	.293
9.8	3.00	.579	.021	.579	.013	.290
16.4	5.00	.572	.021	.572	.012	.286
23.0	7.00	.564	.020	.564	.012	.282
29.5	9.00	.553	.019	.553	.011	.277
36.1	11.00	.539	.017	.539	.010	.270
42.7	13.00	.522	.016	.522	.010	.261
49.2	15.00	.501	.015	.501	.009	.251
55.8	17.00	.477	.014	.477	.009	.239
62.3	19.00	.450	.013	.450	.009	.225
68.9	21.00	.421	.013	.421	.009	.210

EK-7 (Devam) İletim hattının elektrik ve manyetik alan analiz sonuçları

75.5	23.00	.390	.012	.390	.009	.195
82.0	25.00	.358	.012	.358	.009	.179
88.6	27.00	.326	.012	.326	.009	.163
95.1	29.00	.295	.012	.295	.008	.148
101.7	31.00	.265	.012	.265	.008	.133
108.3	33.00	.237	.012	.237	.007	.119
114.8	35.00	.211	.013	.210	.007	.105
121.4	37.00	.186	.014	.186	.006	.093
128.0	39.00	.164	.014	.164	.006	.082
134.5	41.00	.144	.016	.143	.005	.072
141.1	43.00	.125	.017	.125	.005	.063
147.6	45.00	.110	.019	.109	.004	.055
154.2	47.00	.095	.021	.095	.004	.048
160.8	49.00	.083	.023	.083	.003	.042
167.3	51.00	.073	.025	.073	.003	.036
173.9	53.00	.064	.027	.064	.003	.032
180.4	55.00	.057	.029	.057	.002	.029
187.0	57.00	.051	.031	.051	.002	.026
193.6	59.00	.047	.032	.047	.002	.023
200.1	61.00	.043	.032	.043	.002	.022
206.7	63.00	.041	.031	.041	.001	.020
213.3	65.00	.039	.030	.039	.001	.019
219.8	67.00	.037	.027	.037	.001	.019
226.4	69.00	.036	.025	.036	.001	.018
232.9	71.00	.036	.022	.036	.001	.018
239.5	73.00	.035	.020	.035	.001	.018
246.1	75.00	.035	.017	.035	.001	.018
252.6	77.00	.035	.015	.035	.001	.017
259.2	79.00	.035	.013	.035	.000	.017
265.7	81.00	.034	.012	.034	.000	.017
272.3	83.00	.034	.010	.034	.000	.017
278.9	85.00	.034	.009	.034	.000	.017
285.4	87.00	.034	.008	.034	.000	.017
292.0	89.00	.033	.007	.033	.000	.017
298.6	91.00	.033	.007	.033	.000	.016
305.1	93.00	.033	.006	.033	.000	.016
311.7	95.00	.032	.005	.032	.000	.016
318.2	97.00	.032	.005	.032	.000	.016
324.8	99.00	.031	.004	.031	.000	.016
331.4	101.00	.031	.004	.031	.000	.015
331.4	101.00	.031	.004	.031	.000	.015
344.5	105.00	.030	.003	.030	.000	.015
357.6	109.00	.029	.003	.029	.000	.014

EK-7 (Devam) İletim hattının elektrik ve manyetik alan analiz sonuçları

370.7	113.00	.028	.002	.028	.000	.014
383.9	117.00	.027	.002	.027	.000	.013
397.0	121.00	.026	.002	.026	.000	.013
410.1	125.00	.025	.001	.025	.000	.012
423.2	129.00	.024	.001	.024	.000	.012
436.4	133.00	.023	.001	.023	.000	.011
449.5	137.00	.022	.001	.022	.000	.011
462.6	141.00	.021	.001	.021	.000	.010

*
*
* MAGNETIC FIELD PROFILE *
* at .50 meter above ground *
*

<----- AC MAGNETIC FIELD ----->

LATERAL DISTANCE		MAJOR AXIS	MINOR/ MAJOR	VERTICAL COMP	HORIZONTAL COMP	RMS RESULTANT
(feet)	(meters)	(mG)	(RATIO)	(mG)	(mG)	

-459.3	-140.00	3.50	.272	2.39	2.72	3.62
-446.2	-136.00	3.70	.266	2.56	2.84	3.82
-433.1	-132.00	3.91	.260	2.74	2.97	4.04
-419.9	-128.00	4.14	.255	2.95	3.10	4.28
-406.8	-124.00	4.40	.249	3.17	3.24	4.53
-393.7	-120.00	4.67	.244	3.42	3.38	4.81
-380.6	-116.00	4.97	.238	3.70	3.53	5.11
-367.5	-112.00	5.30	.233	4.01	3.68	5.44
-354.3	-108.00	5.66	.228	4.35	3.84	5.80
-341.2	-104.00	6.05	.223	4.73	3.99	6.19
-328.1	-100.00	6.47	.218	5.17	4.15	6.63
-324.8	-99.00	6.59	.216	5.28	4.19	6.74
-318.2	-97.00	6.82	.214	5.52	4.26	6.98
-311.7	-95.00	7.07	.212	5.78	4.34	7.23
-305.1	-93.00	7.33	.209	6.05	4.41	7.49
-298.6	-91.00	7.60	.207	6.34	4.48	7.76
-292.0	-89.00	7.88	.204	6.64	4.54	8.05
-285.4	-87.00	8.18	.202	6.97	4.60	8.35
-278.9	-85.00	8.50	.199	7.31	4.66	8.67
-272.3	-83.00	8.83	.197	7.67	4.71	9.00
-265.7	-81.00	9.18	.195	8.06	4.75	9.35
-259.2	-79.00	9.55	.192	8.47	4.78	9.72

-

EK-7 (Devam) İletim hattının elektrik ve manyetik alan analiz sonuçları

252.6	-77.00	9.94	.190	8.90	4.80	10.11
-246.1	-75.00	10.34	.187	9.36	4.80	10.52
-239.5	-73.00	10.77	.185	9.85	4.79	10.96
-232.9	-71.00	11.23	.183	10.37	4.77	11.41
-226.4	-69.00	11.70	.180	10.91	4.72	11.89
-219.8	-67.00	12.21	.178	11.49	4.65	12.40
-213.3	-65.00	12.74	.175	12.10	4.56	12.93
-206.7	-63.00	13.30	.173	12.74	4.44	13.49
-200.1	-61.00	13.89	.170	13.42	4.28	14.09
-193.6	-59.00	14.51	.168	14.13	4.10	14.71
-187.0	-57.00	15.16	.165	14.87	3.88	15.37
-180.4	-55.00	15.85	.162	15.64	3.64	16.06
-173.9	-53.00	16.57	.159	16.44	3.39	16.78
-167.3	-51.00	17.33	.156	17.26	3.14	17.54
-160.8	-49.00	18.13	.153	18.10	2.94	18.34
-154.2	-47.00	18.96	.150	18.96	2.85	19.18
-147.6	-45.00	19.84	.147	19.83	2.97	20.05
-141.1	-43.00	20.74	.143	20.68	3.36	20.96
-134.5	-41.00	21.69	.139	21.53	4.03	21.90
-128.0	-39.00	22.67	.135	22.33	4.96	22.88
-121.4	-37.00	23.68	.131	23.09	6.12	23.88
-114.8	-35.00	24.72	.126	23.76	7.49	24.92
-108.3	-33.00	25.78	.121	24.34	9.05	25.97
-101.7	-31.00	26.86	.116	24.79	10.80	27.04
-95.1	-29.00	27.95	.111	25.08	12.71	28.12
-88.6	-27.00	29.03	.105	25.18	14.77	29.19
-82.0	-25.00	30.11	.099	25.05	16.96	30.25
-75.5	-23.00	31.16	.092	24.67	19.26	31.29
-68.9	-21.00	32.18	.085	24.00	21.61	32.30
-62.3	-19.00	33.15	.078	23.03	23.99	33.25
-55.8	-17.00	34.06	.070	21.74	26.33	34.14
-49.2	-15.00	34.90	.063	20.12	28.60	34.97
-42.7	-13.00	35.65	.055	18.19	30.72	35.70
-36.1	-11.00	36.31	.047	15.96	32.66	36.35
-29.5	-9.00	36.87	.038	13.45	34.36	36.90
-23.0	-7.00	37.32	.030	10.72	35.77	37.34

EK-7 (Devam) İletim hattının elektrik ve manyetik alan analiz sonuçları

-16.4	-5.00	37.66	.021	7.79	36.86	37.67
-9.8	-3.00	37.89	.013	4.73	37.60	37.89
-3.3	-1.00	38.01	.004	1.59	37.97	38.01
3.3	1.00	38.01	.004	1.59	37.97	38.01
9.8	3.00	37.89	.013	4.73	37.60	37.89
16.4	5.00	37.66	.021	7.79	36.86	37.67
23.0	7.00	37.32	.030	10.72	35.77	37.34
29.5	9.00	36.87	.038	13.45	34.36	36.90
36.1	11.00	36.31	.047	15.96	32.66	36.35
42.7	13.00	35.65	.055	18.19	30.72	35.70
49.2	15.00	34.90	.063	20.12	28.60	34.97
55.8	17.00	34.06	.070	21.74	26.33	34.14
62.3	19.00	33.15	.078	23.03	23.99	33.25
68.9	21.00	32.18	.085	24.00	21.61	32.30
75.5	23.00	31.16	.092	24.67	19.26	31.29
82.0	25.00	30.11	.099	25.05	16.96	30.25
88.6	27.00	29.03	.105	25.18	14.77	29.19
95.1	29.00	27.95	.111	25.08	12.71	28.12
101.7	31.00	26.86	.116	24.79	10.80	27.04
108.3	33.00	25.78	.121	24.34	9.05	25.97
114.8	35.00	24.72	.126	23.76	7.49	24.92
121.4	37.00	23.68	.131	23.09	6.12	23.88
128.0	39.00	22.67	.135	22.33	4.96	22.88
134.5	41.00	21.69	.139	21.53	4.03	21.90
141.1	43.00	20.74	.143	20.68	3.36	20.96
147.6	45.00	19.84	.147	19.83	2.97	20.05
154.2	47.00	18.96	.150	18.96	2.85	19.18
160.8	49.00	18.13	.153	18.10	2.94	18.34
167.3	51.00	17.33	.156	17.26	3.14	17.54
173.9	53.00	16.57	.159	16.44	3.39	16.78
180.4	55.00	15.85	.162	15.64	3.64	16.06
187.0	57.00	15.16	.165	14.87	3.88	15.37
193.6	59.00	14.51	.168	14.13	4.10	14.71
200.1	61.00	13.89	.170	13.42	4.28	14.09
206.7	63.00	13.30	.173	12.74	4.44	13.49
213.3	65.00	12.74	.175	12.10	4.56	12.93
219.8	67.00	12.21	.178	11.49	4.65	12.40
226.4	69.00	11.70	.180	10.91	4.72	11.89
232.9	71.00	11.23	.183	10.37	4.77	11.41
239.5	73.00	10.77	.185	9.85	4.79	10.96
246.1	75.00	10.34	.187	9.36	4.80	10.52
252.6	77.00	9.94	.190	8.90	4.80	10.11

EK-7 (Devam) İletim hattının elektrik ve manyetik alan analiz sonuçları

259.2	79.00	9.55	.192	8.47	4.78	9.72
265.7	81.00	9.18	.195	8.06	4.75	9.35
272.3	83.00	8.83	.197	7.67	4.71	9.00
278.9	85.00	8.50	.199	7.31	4.66	8.67
285.4	87.00	8.18	.202	6.97	4.60	8.35
292.0	89.00	7.88	.204	6.64	4.54	8.05
298.6	91.00	7.60	.207	6.34	4.48	7.76
305.1	93.00	7.33	.209	6.05	4.41	7.49
311.7	95.00	7.07	.212	5.78	4.34	7.23
318.2	97.00	6.82	.214	5.52	4.26	6.98
324.8	99.00	6.59	.216	5.28	4.19	6.74
331.4	101.00	6.36	.219	5.05	4.11	6.51
331.4	101.00	6.36	.219	5.05	4.11	6.51
344.5	105.00	5.94	.224	4.63	3.95	6.09
357.6	109.00	5.56	.229	4.26	3.80	5.71
370.7	113.00	5.21	.234	3.93	3.64	5.36
383.9	117.00	4.90	.240	3.63	3.49	5.03
397.0	121.00	4.60	.245	3.36	3.35	4.74
410.1	125.00	4.33	.251	3.11	3.20	4.47
423.2	129.00	4.08	.256	2.89	3.07	4.22
436.4	133.00	3.86	.262	2.70	2.93	3.99
449.5	137.00	3.64	.267	2.52	2.81	3.77
462.6	141.00	3.45	.273	2.35	2.69	3.57

ÖZGEÇMİŞ**Kişisel Bilgiler**

Soyadı, adı : İZGEÇ, M.Mustafa
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 13.02.1975 Maden
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (312) 215 71 51
Faks : ----
e-mail : mmizgec@yahoo.com.

Eğitim

Derece
Lisans

Eğitim Birimi
Fırat Üniversitesi/
Elek-Elektronik Müh. Bölümü

Mezuniyet tarihi

1995

Lise

Elazığ Lisesi

1991

İş Deneyimi

Yıl

Yer

Görev

1997-2006

TEDAŞ Gen.Müd.

Mühendis

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Kitap,Fotoğraf, Bilgisayar teknolojileri, Futbol