

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENERJİ NAKİL HATLARI ÇEVRESİNDE OLUŞAN ELEKTRİK VE
MANYETİK ALANLARIN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE BELİRLENMESİ**

Evin Gizem ÖGEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

Bu tez **BAP-2010.02.0121.034** proje numarası ile Akdeniz Üniversitesi Bilimsel
Araştırma Projeleri Yönetim Birimi tarafından desteklenmiştir.

2012

**ENERJİ NAKİL HATLARI ÇEVRESİNDE OLUŞAN ELEKTRİK VE
MANYETİK ALANLARIN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE BELİRLENMESİ**

Evin Gizem ÖGEL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

2012

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ NAKİL HATLARI ÇEVRESİNDE OLUŞAN ELEKTRİK VE
MANYETİK ALANLARIN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE BELİRLENMESİ

Evin Gizem ÖGEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

Bu tez 11/05/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından (.....) not takdir edilerek
Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Şükrü ÖZEN (Danışman)

Doç. Dr. Selçuk HELHEL

Yrd. Doç. Dr. Ali Şükrü ONURAL

ÖZET

ENERJİ NAKİL HATLARI ÇEVRESİNDE OLUŞAN ELEKTRİK VE MANYETİK ALANLARIN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE BELİRLENMESİ

Evin Gizem ÖGEL

Yüksek Lisans Tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Şükrü ÖZEN

Mayıs 2012, 84 sayfa

Bu tez çalışmasında, Enerji İletim Hatlarının çevresinde oluşan elektrik ve manyetik alanların belirlenebilmesi için yeni bir yaklaşım olarak Yapay Sinir Ağları kullanılmıştır. İlk olarak iletim hatları etrafında oluşan elektrik ve manyetik alan değerleri ölçülmüş, daha sonra Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağı modeli kullanılarak enerji iletim hatları etrafında oluşan alan seviyeleri tahmin edilmiştir. Ayrıca elektrik ve manyetik alanların analitik hesabında sırası ile Yük Benzetim Yöntemi ve Biot Sawart Yasası kullanılmıştır. Çalışmada Türkiye de kullanılan tipik 31.5 kV, 154 kV ve 380 kV güç iletim hatları seçilmiştir. Bu hatların çevresinde oluşan elektrik ve manyetik alan seviyelerinin Yapay Sinir Ağı ile yüksek doğruluk da tahmin edilebileceği gösterilmiştir. Yıllık güç talebine bağlı olarak, bu güç hatları için alan seviyeleri hakkında yeni bilgilere ulaşılmıştır. Bu çalışma ile elde edilen sonuçlar, elektrik ve manyetik alanların biyolojik etkileri konusundaki araştırmacılara referans olacaktır.

ANAHTAR KELİMELELER: Enerji İletim Hattı, Elektrik Alan, Manyetik Alan, Yük Benzetim Yöntemi, Biot Sawart Yasası, Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları, Halk Sağlığı

JÜRİ: Doç. Dr. Şükrü ÖZEN (Danışman)

Doç. Dr. Selçuk HELHEL

Yrd. Doç. Dr. Ali Şükrü ONURAL

ABSTRACT

THE DETERMINATION OF THE ELECTRIC AND MAGNETIC FIELD THAT OCCURED AROUND THE POWER TRANSMISSION LINES WITH ARTIFICAL NEURAL NETWORK

Evin Gizem ÖGEL

M. Sc., in Electric-Electronic Engineering

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Şükrü OZEN

May 2012, 84 pages

In this study, to be estimate the electric and magnetic fields that occurred around the power transmission lines, Artificial Neural Network has been used as a new approach. Firstly, electric and magnetic fields levels around the power transmission lines has been measured, and then levels of field that occurred around this power lines has been predicted by using multilayer artificial neural networks model. Also, for the analytical calculation of electric and magnetic fields have been used Charge Simulation Method and Biot Sawart Law, respectively. In the study, 31.5 kV, 154 kV and 380 kV typical power transmission lines used in Turkey have been selected. Electric and magnetic field levels occurred around this power lines has been showed to be predicted with ANN models, as a highly accuracy results. The new information which is related to field levels has been obtained for this power lines, depending on annual power demand. The results obtained from this research will be reference to the researchers focused on biological effects of electric and magnetic fields.

KEYWORDS: Power Transmission Lines, Electric Field, Magnetic Field, Load Simulation Method, Biot Sawart Law, Multi Layer Artificial Neural Networks, Human Healty

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. Şükrü OZEN (Adviser)

Assoc. Prof. Dr. Selçuk HELHEL

Asst. Prof. Dr. Ali Şükrü ONURAL

ÖNSÖZ

Gelişmekte olan teknolojiyle birlikte her geçen gün enerji ihtiyacı artmakta ve dolayısıyla enerji kaynaklarının tüketimi, enerji santrallerinin sayısı, kullanılan ağlar giderek fazlalaşmaktadır. Ancak bu artışın sağladığı yararların yanında bir takım zararları da gözlemlenmiştir. Bunlardan en önemlisi insan sağlığı üzerindeki etkileridir. Literatürde, çeşitli örgüt ve kuruluşlarca sürekli olarak bu konu üzerinde uğraşılmış, çeşitli hesaplar ve ölçümler yapılmıştır. Konuyla ilgili olarak yoğun bir tartışma sürmektedir. Bu çalışmada, bu sorun esas alınarak, hesap metodlarından biri olan Yük Benzetim Yöntemiyle bir enerji nakil hattı etrafında oluşan elektrik alan ve Biot Sawart Yasası ile manyetik alan hesaplanmıştır. Daha sonra YSA ile bir ağ oluşturularak elde edilen veriler ile ağ eğitilmiş, olası çıkış değerleri tahmin edilmeye çalışılmış ve elde edilen çıkış verileriyle giriş verileri karşılaştırılarak doğruluk oranı hesaplanmıştır.

Türkiye kullanılan tipik enerji hatlarının çevresindeki elektrik ve manyetik alan seviyelerinin geleneksel ve yeni tekniklerle incelediği bu çalışma, elektromanyetik alanların biyolojik etkileri konusunda yapılacak çalışmalara ışık tutacak nitelikte bilgiler ve bulgular içermektedir.

Bana bu konuda çalışma olanağı veren, gerek yol göstericiliğiyle gerekse konuya yaklaşımları ve desteğiyle danışmanım Sayın Doç. Dr. Şükrü ÖZEN ve YSA konusundaki yardımlarından dolayı Yrd. Doç. Dr. Süleyman BİLGİN' e teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL BİLGİLER ve KAYNAK TARAMALARI.....	3
3. MATERYAL VE METOT.....	11
3.1. Tipik Enerji İletim Hatlarının Temel Özellikleri.....	11
3.1.1. Havai hat iletkenleri ve özellikleri.....	12
3.1.2. Havai hatlarda kullanılan direkler.....	14
3.2. 154 kV Kafes Direk Tipleri ve Bu Direkler İçin İletken Dizilimleri.....	14
3.3. Yük Benzetim Yöntemi	19
3.4. Biot Sawart Yasası.....	22
3.5. Yapay Sinir Ağları.....	25
3.5.1. Nöron modeli.....	26
3.5.2. Çok katmanlı YSA modeli.....	29
3.5.3. MATLAB’ ta ileri beslemeli ÇKYSA’ nın tasarımı.....	30
3.5.4. ÇKYSA modeliyle ağı eğitilmesi.....	31
4. BULGULAR.....	32
4.1. Yük Benzetim Yöntemi ile Elektrik Alan Hesabı.....	33
4.2. Manyetik Alan Hesabı.....	37
4.3. Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları Modeliyle Tahmin.....	39
4.3.1. Elektrik alan tahmini.....	39
4.4. Orta Gerilim, Yüksek Gerilim ve Çok Yüksek Gerilim Hatları	
Çevresindeki Elektrik ve Manyetik Alanların Tahmini.....	40
4.4.1. 31.5 kV tek devre orta gerilim hattı	40
4.4.1.1. 31.5 kV tek devre orta gerilim hattı EA tahmini.....	41
4.4.1.2. 31.5 kV tek devre orta gerilim hattı MA tahmini.....	43

4.4.2. 154 kV tek devre yüksek gerilim hattı.....	44
4.4.2.1. 154 kV tek devre yüksek gerilim hattı EA tahmini.....	47
4.4.2.2. 154 kV tek devre yüksek gerilim hattı MA tahmini.....	48
4.4.3. 31.5 kV çift devre orta gerilim hattı.....	49
4.4.3.1. 31.5 kV çift devre orta gerilim hattı MA tahmini.....	54
4.4.4. 154 kV çift devre yüksek gerilim hattı.....	54
4.4.4.1. 154 kV çift devre yüksek gerilim hattı EA tahmini.....	55
4.4.4.2. 154 kV çift devre yüksek gerilim hattı MA tahmini.....	56
4.4.5. 380 kV çift devre çok yüksek gerilim hattı.....	59
4.5. Elektromanyetik Alan Ölçümleri.....	63
4.5.1. 380kV ve 154kV YG hatları için manyetik alan seviyeleri.....	64
5. TARTIŞMA.....	68
6. SONUÇ.....	70
7. KAYNAKLAR.....	71
8. EKLER.....	75
EK- 1 ÇKYSA ile EİH için MA ve EA Tahmini.....	75
EK- 2 MATLAB’ ta MA’ ın Hesaplanması.....	79
EK- 3 MATLAB’ ta EA’ ın Hesaplanması.....	81
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

A	Amper
AA	Alternatif Akım
Al	Alüminyum
b	Bir YSA' nın Eşik Değeri
B	Manyetik Akı Yoğunluğu
Cu	Bakır
DC	Doğru Akım
f	Frekans
J	Uzayda Dağılan Akım
$\vec{J}$	Elektrik Akım Yoğunluğu
kV	Kilovolt
m	Metre
P _{ij}	Bilinen Potansiyel Katsayıları
$\vec{r}$	Akım Bileşen Vektörü
R	Omik Direnç
St	Çelik
T	Tesla
μT	Mikro Tesla
v	Parçacık Hızı
V	Volt
V _i	Yükün Herhangi bir Noktadaki Potansiyeli
$\vec{Z}_{rr}$	Akım Bileşeniyle Herhangi bir P Noktası Arasındaki Uzaklık
q	Elektriksel Yük
ω	Açısal Frekans Değeri
w	YSA Ağırlık Değeri
σ	İletkenlik
Θ	Açı Değeri
ϕ_j	Radyal Simetrik Fonksiyon
$\ \cdot\ $	Öklit Normu

Kısaltmalar

AAC	Tam Alüminyum İletken
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AG	Alçak Gerilim
ASCR	Çelik Özlü Alüminyum İletkenler
BSY	Biot Sawart Yasası
ÇYG	Çok Yüksek Gerilim
ÇKYSA	Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları
ÇYGEİH	Çok Yüksek Gerilim Enerji İletim Hatları
DSÖ	Dünya Sağlık Örgütü
EA	Elektrik Alanlar
EHC	Çevre Sağlık Kriterleri
ELF	Son Derece Düşük Frekanslar
EMA	Elektromanyetik Alanlar
EİH	Enerji İletim Hattı
EXPOMAG	Maruz Kalma Yaklaşım Modeli
HEİH	Havai Enerji İletim Hatları
IARC	Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı
ICNRP	Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komitesi
LF	Düşük Frekans
MA	Manyetik Alan
NIEHS	Amerika Milli Çevre Sağlığı Bilimleri Enstitüsü
OG	Orta Gerilim
RAD	Radyasyon ve Çevre Sağlığı Birimi
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
YG	Yüksek Gerilim
YBY	Yük Benzetim Yöntemi
YGEİH	Yüksek Gerilim Enerji İletim Hatları
YSA	Yapay Sinir Ağları

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Çift devreli hatlarda kullanılan kafes direk.....	15
Şekil 3.2. Tek devreli hatlarda kullanılan kafes direk.....	16
Şekil 3.3. EİH iletken dizilim şekilleri (A) Düzlem dizilim (B) Delta dizilim.....	18
Şekil 3.4. YBY simülasyon programı için algoritma.....	21
Şekil 3.5. Uzayda tek faz için akım bileşenleri	22
Şekil 3.6. Üç iletkenli bir hattın manyetik alan hesabı.....	24
Şekil 3.7. Ağ modelleri	26
Şekil 3.8. x giriqli, y çıkışlı basit bir nöron yapısı.....	26
Şekil 3.9. Aktivasyon fonksiyonları (A) Doğrusal (B) Eşik aktivasyon (C) Logaritma sigmoid (D) Hiperbolik tanjant.....	28
Şekil 3.10. Çok katmanlı YSA.....	29
Şekil 3.11. ÇKYSA algoritması.....	30
Şekil 4.1. Ölçüm için seçilen direk tipi ve direk ölçüleri.....	34
Şekil 4.2. Dengeli 3 fazlı tek devreli bir sistemde iletkenlerin dizilim geometrisi.....	34
Şekil 4.3. Tipik 154 kV EİH için YBY ile EA' ın hesabı.....	37
Şekil 4.4. 156.83 A akım değeri için 154 kV EİH MA hesabı.....	38
Şekil 4.5. Çalışmada kullanılan YSA yapısı.....	39
Şekil 4.6. 31.5 kV tek devre OG hattı için 2010 yılı manyetik alan ve akım değişimi.....	41
Şekil 4.7. 31.5 kV tek devre hattın merkezinden uzaklığa bağlı olarak EA değişimi.....	42
Şekil 4.8. 31.5 kV tek devre hattın merkezinden uzaklığa bağlı olarak 2 farklı akım değeri için manyetik alan değişimi.....	43
Şekil 4.9. 154 kV tek devre YG hattı için aylık bazda manyetik alan ve akımın değişimi.....	45
Şekil 4.10. 154 kV tek devre YG hattı için manyetik alan şiddeti ve akım arasındaki ilişki.....	46
Şekil 4.11. 154 kV tek devre hattın merkezinden uzaklığa bağlı olarak elektrik alan değişimi.....	47
Şekil 4.12. 154 kV tek devre hattın merkezinden uzaklığa bağlı olarak manyetik alan değişimi.....	48

Şekil 4.13. Kumluca sağ- Kumluca sol çift devre hat için 12 aylık periyotta manyetik alan ve akımın değişimi.....	50
Şekil 4.14. Kumluca Sağ ve Kumluca Sol hatları için yıllık bazda manyetik alan değişimi.....	51
Şekil 4.15. Kumluca Sağ- Kumluca Sol çift devre 31.5 kV hat için maksimum yükün çekildiği aylarda manyetik alan değişimi.....	53
Şekil 4.16. 31.5 kV çift devre hatta uzaklığa bağlı olarak YSA manyetik alan değerleri ile test manyetik alan değerleri arasındaki ilişki.....	54
Şekil 4.17. 154 kV çift devre hattın karakteristiği.....	55
Şekil 4.18. 154 kV çift devre hat için $y= 1.2 \text{ m'}$ de YSA ve ölçülen elektrik alan arasındaki ilişki.....	56
Şekil 4.19. 154 kV çift devre hattın merkezinden uzaklığa bağlı olarak yıllık bazda manyetik alan ve akım arasındaki ilişki.....	56
Şekil 4.20. 154 kV çift devre hattan uzaklığa bağlı olarak ölçülen ve tahmin edilen manyetik alan değerleri arasındaki ilişki.....	58
Şekil 4.21. 380 kV çift devre hattın karakteristiği.....	59
Şekil 4.22. 380 kV çift devre hat için $x=0\text{m}$ $y=0 \text{ m'}$ de yıllık bazda manyetik alan ve akım değişimi.....	60
Şekil 4.23. $y=0 \text{ m}$ için $x=0, 10 \text{ ve } 25 \text{ m'}$ de yıllık bazda manyetik alan ve akım değişimi.....	60
Şekil 4.24. $y=1 \text{ m}$ için $x=0, 10, 25\text{m'}$ de yıllık bazda manyetik alan ve akım değişimi.....	61
Şekil 4.25. 380 kV çift devre ÇYG hat için YSA ve test manyetik alan değerlerinin karşılaştırılması.....	62
Şekil 4.26. EA ve MA ölçüm cihazı.....	63
Şekil.4.27. MA ölçüm cihazı.....	64
Şekil 4.28. 380 kV EİH için 400A hat akımında ölçülen MA değişimi.....	64
Şekil 4.29. Çalışma yapılan 380kV EİH.....	65
Şekil 4.30. 380 kV tek devre tüz tertip YG hattı çevresindeki MA ve EA' nın yerden 1m yükseklik için değişimi.....	66
Şekil 4.31. 154 kV EİH için direk altında ve maksimum sehimde ölçülen MA' ın hatta olan yatay mesafeye göre değişimi.....	67

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Mesleki ve genel halk için indüklenen akım yoğunluğu değerleri.....	4
Çizelge 2.2. Mesleki ve genel halk için EA referans değerleri.....	4
Çizelge 2.3. Mesleki ve genel halk için MA referans değerleri.....	4
Çizelge 3.1. Tam alüminyum iletkenlerin özellikleri.....	13
Çizelge 3.2. Çelik özlü alüminyum iletkenlerin özellikleri.....	13
Çizelge 3.3. T-R-W-Z tipi kafes direkleri için ölçüler.....	15
Çizelge 3.4. A-B-C-D tipi kafes direkleri için ölçüler.....	16
Çizelge 3.5. N-E-F-P tipi kafes direkleri için ölçüler.....	17
Çizelge 3.6. O-L-S-K tipi kafes direkleri için ölçüler.....	17

1. GİRİŞ

Bir enerji iletim hattı (EİH) çevresinde oluşan elektrik ve manyetik alanların önceden belirlenmesi, hatların neden olduğu elektromanyetik kirlenmenin kontrolü açısından önem arz eder. Yüksek gerilim enerji nakil hatlarının (YGEİH) yıllık yük kapasitelerindeki değişim, hatların etrafında oluşan manyetik alan (MA) değerlerinin de değişmesine neden olur. Dolayısı ile gerek mevcut hatların gerekse yeni tesis edilecek olan hatların çevresindeki elektromanyetik güvenlik koridorlarının belirlenmesi bakımından alan şiddetlerinin hesabı, elektromanyetik alanların (EMA) sağlık üzerine etkilerine dönük olarak yürütülen çalışmalara ışık tutacaktır. Bu temelde; tez çalışması ile EİH çevresinde oluşabilecek elektrik ve manyetik alan seviyeleri, hattın yüklenme kapasitesine ve geometrisine bağlı olarak yapay sinir ağları (YSA) yöntemi ile hesaplanarak analitik hesap yöntemine nazaran daha pratik bir tahmin metodunun geliştirilmesi amaçlanmıştır. YSA modelinin eğitim verileri için seçilen hatlar çevresinde elektrik ve manyetik alan seviyeleri ölçülmüş ve bu şekilde elde edilen ölçüm değerleri ağ eğitimlerinde veri olarak kullanılmıştır.

Elektrik alan (EA) ve MA' lar elektrik üretim, iletim ve dağıtım hatlarında (havai hatlar), yer altı kablolarında ve diğer elektriksel uygulamaların tümünde vardır. Özellikle EİH ve evlerdeki cihazlaşma yoğunluğunun getirdiği MA riski ve bunlara bağlı olarak çocukların bu alanlara karşı çok riskli grup olarak değerlendirilmesi, bu konudaki araştırmalara öncelik kazandırmıştır (Maruvada 1993). Son derece düşük frekanslarda (ELF) dışarıdan EA ve MA' a maruz kalmak, vücut içerisinde elektriksel akımların indüklenmesine neden olmaktadır. Bu şekilde indüklenen akımların şiddeti, EA ve MA' ın biyolojik objelerle etkileşiminin önemli bir sonucudur ve tanımlanması son derece önemlidir (Özen 2008, Polk 1990, Hamza 2005, Deford vd 1985). Elektrik kullanımının modern yaşam tarzının ayrılmaz bir parçası olması, hızla artan nüfusun dağılımındaki büyümeler ve ELF' ın etkisi, bu alanların olduğu bölgelerle canlıların yaşam alanları arasında daha çok kesişen noktalar oluşturmaktadır. Dolayısıyla, oluşan alanların canlı türlerinin sağlığı üzerinde olumsuz etkiler oluşturabileceğinden hareketle bu konuda çeşitli incelemeler ve deneyler yapılarak çeşitli limitler oluşturulmuştur. EMA' la etkileşim sonucu etki altında kalınan süre maruz kalma olarak tanımlanmış, maruz kalmayla ilgili bazı kriterler belirlenmiş ve EMA' a maruz kalma değer

aralıklarını etkileyen unsurlar tespit edilmiştir. Bazı epidemiyolojik çalışmalar kanser ile 50 Hz EM alanlar arasında zayıf ilişkiden bahsederken bazıları ise lösemi ile ilişki kurmaktadır.

2. KURAMSAL BİLGİLER ve KAYNAK TARAMALAR

EMA ile ilgili yapılan çalışmaları şu şekilde özetleyebiliriz:

Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ 1998), halk sağlığı ile ilgili endişelere cevap olması adına çok kapsamlı ve çok disiplinli bir Uluslararası EMA Projesi başlatmıştır. Bu çalışmayla, halk sağlığı konusunda duyulan kaygılara bir yanıt verebilme çabasında bulunulmuştur. Konuyla alakalı olarak 25.000’ den fazla makale yayınlanmış, çeşitli bilimsel araştırmalar yapılmış, bilgisayar ortamında çeşitli hayvan ve insan modelleri oluşturularak laboratuvar ortamında bu modeller ve gönüllüler üzerinde çeşitli deneyler yapılmış, canlılara ait farklı organlar üzerinde farklı metotlarla organlar ve dokular üzerinde oluşabilecek EA ve MA hesaplanmıştır. Yapılan bu çalışmalar sonucunda Çevre Sağlığı Kriterleri (EHC) oluşturulmuştur (DSÖ 1998). Belirlenen bu kriterlerde, ELF’ lı EA ve MA’ a maruz kalınması durumunun sağlık üzerindeki olası etkiler yer almaktadır. Bu çalışmalar yapılırken alt sınır 0 Hz, üst sınır 100 kHz olarak alınmış olup, çalışmaların çoğu güç hatları frekansları olan 50–60 Hz aralığında yapılmıştır. Bir kaynağın ortamda oluşturduğu elektrik alan şiddeti E (V/m veya kV/m) ve manyetik alan şiddeti ise H (μ T veya A/m) olarak ifade edilir. Gelişen teknolojiyle mobil iletişimin artması ve radyasyon yayan diğer ileri teknolojik ürünlerin yaygınlaşmasıyla birlikte artan kamu endişesine karşılık olarak DSÖ tarafından 1996 yılında **Radyasyon ve Çevre Sağlığı Birimi (RAD)** kurulmuştur.

Avrupa ve Amerika Birleşik Devletleri’ nde (ABD) yapılan çalışmalarda, bir evde maruz kalınan ortalama MA değerleri sırasıyla 0.025- 0.07 μ T/ 0.055- 0.11 μ T aralıklarında belirlenmiştir. Bunun yanında oluşan anlık MA değerlerinin bazı elektrikle çalışan aletlerin etrafında birkaç yüz μ T, güç hatları etrafında 20 μ T olduğu hesaplanmış, EA’ ın ise aynı ekipmanlar için birkaç bin V/m civarında olabileceği tespit edilmiş, mesleki maruz kalma durumlarında ise MA’ ın elektrik mühendisleri ve elektrik işçileri için 0.4-0.6 μ T, hatta çalışan işçiler için yaklaşık 1.0 μ T, ofis çalışanları, kaynakçılar, demiryolu çalışanları gibi gruplarda ise 3.0 μ T’ nin üstünde olduğu görülmüştür. Ayrıntılı olarak, farklı frekans değer aralıkları için EA, MA, akım yoğunluğu değerleri ve maruz kalma referans seviyeleri sırasıyla Çizelge 2.1, Çizelge 2.2 ve Çizelge 2.3’ te verilmiştir (NIEHS 1992).

Çizelge 2.1. Mesleki ve genel halk için indüklenen akım yoğunluğu değerleri

Frekans (f, Hz)	İndüklenen Akım Yoğunluğu (mA/m ² , rms)	
	Mesleki	Genel
0.1- 1	40	16
1 -4	40/ f	16/ f
4- 1000	10	4
1000 - 10000	f/ 1000	f/250

Çizelge 2.2. Mesleki ve genel halk için EA referans değerleri

Frekans (f, Hz)	EA (E, kV/ m)	Frekans(f, Hz)	EA (E, kV/ m)
	Mesleki		Genel
0 – 0.1	103	0 - 0.1	42
0.1 - 50	214	0.1 - 60	30
50 – 150	120	60 - 1500	1500/ f
150 – 1500	121	1500- 10000	1500/ f
1500- 10000	210		1

Çizelge 2.3. Mesleki ve genel halk için MA referans değerleri

Frekans(f, Hz)	MA	Frekans(f, Hz)	MA
	Mesleki		Genel
0 – 0.1	2 T	0 – 0.1	0.04 T
0.1 – 0.23	1.4 T	0.1 – 1.15	0.028 T
0.23 - 1	320/ f mT	1.15 – 1500	32/ fmT
1 – 4	1320/ f ² mT	1500 - 10000	0.021 mT
4 – 1500	80/ f mT		
1500 - 10000	0.053 mT		

Amerika Milli Çevre Sağlığı Birimleri Enstitüsü' nce (NIEHS 1992) yapılan araştırmalarda 50- 60 Hz frekans aralığı için EİH' na 50 m ve daha az mesafede yaşayan insanlarda yetişkin lösemi riskinin 50 ile 100 m arası mesafede yaşayan insanlara göre %33 daha yüksek olduğu rapor edilmektedir (NIEHS 1992, ICNIRP 1998). 0.3 µT' yı aşan maruz kalma durumlarında bazı çocuklarda lösemi riskinin arttığı görülmüştür. ELF elektrik ve manyetik alanların hücre zarlarında iyon akımı, melatonin üretimi ve enzim aktiviteleri üzerinde etkin olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, 0.3 – 0.4 µT değerli ELF alanlar muhtemel kanserojen olarak kabul edilmiş olup bir DSÖ birimi olan Uluslararası Kanseri Araştırma Ajansı (IARC) tarafından belirlenen 2B grubuna dahil edilmiştir (Maruvada 1993, Greenland vd 2000, Ahlbom vd 2000, IARC 2001, OZEN 26 Mayıs 2007).

IACR sınıflandırmasında, yoğun olarak lösemili çocuklar üzerinde birçok epidemiyolojik çalışma yapılmış, kadınlarda meme kanseri riski, yetişkinlerde beyin kanseri ve lösemi konularında da araştırmalarına devam edilmektedir. Ancak; 2001 yılının Haziran ayında IACR, elindeki resmi sonuçları değerlendirmiş ve mevcut kanıtların yetersiz olması dolayısıyla maruz kalınan alanların kanserojen olarak değerlendirilemeyeceğini kabul etmek zorunda kalmıştır.

Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komitesi (ICNIRP 1998), 50Hz güç frekansı için mesleki maruz kalma standardını 500 μT ve genel halk için ise 100 μT olarak kabul etmiştir. ICNRP' ye göre çalışanların vücutlarına indüklenen J_{rms} akım yoğunluğu limit değeri 4Hz-1kHz frekans aralığı için 10 mA/m^2 ve genel halk içinse 2 mA/m^2 olarak kabul edilmektedir (Özen 2008, ICNIRP 2009).

DSÖ, IACR, RAD gibi kurum ve birimlerin çalışmalarının yanında, bilim adamları ve akademisyenler tarafından da çeşitli kişisel çalışmalar eş zamanlı olarak yürütülmüştür.

N. Day ve Allen (1999), çocuklarda lösemi hastalığı ve EMA' ın lösemiye etkileri üzerine bilimsel ve ölçümsel bulgulara dayalı bir çalışma yapmışlardır. Farklı ülkelerde sürdürdükleri bu çalışmanın sonucunda, EMA' ın kanser üzerine etkisi olup olmadığına dair herhangi bir kanıt bulamamışlardır.

Maria A. Stuchly ve Shengkai Zhao (1996), yayınladıkları bir makalede, EİH etrafında oluşan MA indüksiyon akımlarının insan vücuduna etkileri üzerine bir araştırma yapmışlardır. Çalışma, EMA' a maruz kalmanın kanser üzerinde etkili olabileceği fikri üzerine yapılmış olup 60 Hz frekans değeri üzerinde çalışılmıştır (Sahl vd 1993, Theriault vd 1994). Gerilim düzeyi olarak 500 kV, 138 kV ve 25 kV, çözüm yöntemi olarak da Biot Sawart Yasası (BSY) seçilmiş ve oluşturulan bir insan modeli üzerinde çeşitli hesaplamalar yapılmıştır. Genelde; hesaplama için maruz kalınan alan şiddetinin büyüklüğü 0.2- 2 μT aralığında seçilmiştir (Theriault vd 1994). Çalışmanın sonunda, bulunan sonuçlar ile başka çalışmalardan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış, vücuttaki MA dağılımının eşit olmadığı, vücut yapısı, kaynağa olan mesafe ve kaynağın

büyükluğu gibi parametrelere bağlı olarak değiştiği sonucuna varılmıştır (Van Deventer vd 2005, Mahmoud vd 2005, Hamza vd 2002).

P.S. Wong ve **A. Sastre** (1995), yapmış oldukları çalışmada MA' ın konutsal yapılaşma üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Hesaplamaları, uzay ve zaman domenlerinde yapmışlardır. Materyal olarak konutların yakınlarından geçen EİH' nı kullanmışlardır. Hesap yapmadan önce maruz kalma parametrelerini belirlemişler (Blackman vd 1990), ölçümleri dört farklı bölgede farklı günlerde sıcaklık değerlerini göz önünde bulundurarak yapmışlardır.

T.E. Van Deventer vd (2005), yayınladıkları makale ile DSÖ tarafından yapılmış olan Uluslararası EMA projesinin sonucunda oluşturulan EHC' ne katkıda bulunmayı ummuşlardır (Van Deventer vd 2005). Bu doğrultuda, DSÖ tarafından EMA' la ilgili araştırma yapmak için kurulmuş olan birimlerin çalışmalarını titizlikle değerlendirmişlerdir. Çalışma sonucunda elde ettikleri veriler DSÖ tarafından daha önce yapılmış olan çalışmaların sonuçlarını destekler niteliktedir.

K. M. Srinivasa vd (1998), 220 kV ve 400 kV gerilim düzeylerindeki EİH üzerinde çalışarak, bu hatlar etrafında oluşan EMA' ın insanlar, hayvanlar ve diğer canlılar üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışmayı yaparken, ölçümlerden ve analitik metotlardan faydalanmışlardır.

A. S. H. Hamza (2005), EİH yakınındaki insan vücudunun maruz kaldığı MA üzerine bir çalışma yapmıştır. Hamza, 50/60 Hz frekanslı MA' ın canlı vücudu üzerindeki zararlı etkileri hakkında önermelerde bulunmuştur. İnsan vücudunu 400 kV ve 220 kV gerilim düzeylerindeki iki farklı EİH' da konumlandırmıştır. Vücudu, paralel kablo gibi kabul ederek modellemiştir. Çalışması, analitik hesaplara ve pratik uygulamalara dayanmaktadır.

Ş. Özen (2007), Antalya ilinde 380/154 kV düzeyli trafo merkezlerinde mesleki maruz kalmaya ilişkin bir çalışma yapmış, işçilerin maruz kalabileceği alan seviyelerini araştırmıştır.

S. Helhel ve Ş. Özen (2008), Antalya ilinde 154/ 31.5 kV düzeyli 3 farklı trafo merkezinde MA üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada 8 saatlik 3 farklı vardiyada kaydettikleri değerleri incelemişlerdir. Trafo merkezlerinde MA şiddetini, en düşük 0.3 μ T, en fazla da 1 μ T olarak kaydetmişlerdir. Şalt bölgelerinde bu değerlerin çok daha fazla olduğunu, 23 μ T ile 70 μ T arasında değiştiğini, kesici hücre devrelerinde ise 62 μ T' nin çok üstünde olduğunu gözlemlemişlerdir.

L.L. Dvorak ve L. Romero (1997), yayınladıkları bir çalışmada, EİH' nin bakımında kullanılan topraklama yöntemlerini incelemiş, 4 farklı temel topraklama tekniğini inceleyerek hat çalışanlarının topraklama esnasında maruz kalabileceği etkileri belirleyip çalışma esnasında korunması gereken güvenlik mesafeleri hakkında önerilerde bulunmuşlardır (Dvorak vd 1997).

P. Sarma Maruvada (1993), tarımsal alanlar, endüstri sanayi, kamusal alanlar ve ofis çalışma ortamları gibi farklı yerleşim yerlerinde oluşan MA üzerine bir çalışma yapmıştır. 24 saat boyunca farklı alanlarda MA değerlerini kaydetmiş ve bunlar arasında karşılaştırma yapmıştır. Çalışmanın sonunda, MA yoğunluğunun kaynağa olan uzaklıkla arasındaki ilişkiler konusunda önermelerde bulunmuştur.

P. Sarma Maruvada ve D. L. Goulet (1998), EİH' nin etrafında meydana gelen MA ile ilgili deneysel bir çalışma yapmışlardır. Yazarlar, EXPOMAG (Maruvada ve Goulet 1995) yazılımını kullanarak EİH' nin etrafında oluşan MA' ın değer aralıklarını belirlemeye çalışmışlardır. Çalışmada, EİH yakınlarında 94 farklı evdeki insanları denek olarak kullanmışlar, 735 kV, 315 kV ve 210 kV gibi 3 farklı gerilim düzeyinde, her 48 saatte bir yaptıkları ölçümleri kaydetmişlerdir (Maruvada ve Goulet 1998).

Robert G. Olsen ve Paul S. Wong (1992), 'Elektrik Güç Hatlarının Yakınındaki Düşük Frekanslı (LF) EA ve MA' ın karakteristiği' isimli çalışmalarında yarı statik teoriyle EMA' ın hesaplanıp hesaplanmayacağı, yüzde kaçlık bir hata oranıyla bu hesapların yapılabileceği, hangi alanların güç hatlarında iletim yapabileceği ve Maxwell denklemleri yardımıyla hesap yapıp yapılamayacağı gibi sorulara yanıt bulmayı amaçlamışlardır.

Shaner A. Mahmoud, A.H. Hamza, N.M. Abdel-Gawad ve Samy M. Ghania (2004), 220/ 66 kV değerindeki bir trafonun 66 kV ve 220 kV baralarının hemen altında ve baralar ile trafoya farklı uzaklıklarda (2 m, 50 m, 66 m, 83 m, 100 m) çeşitli ölçümler yapmışlar, MA değerlerini hesaplamışlardır. Daha sonra, bir insan vücudu modeli oluşturmuşlar, oluşturdukları bu modeli yine aynı trafodan farklı uzaklıklara koyarak üzerindeki EMA' ı Faraday Kanunu yardımıyla belirlemişlerdir (Mahmoud vd 2005).

Faraday Kanunu' na göre maruz kalınan MA, insan vücudunda sırasıyla Eşitlik 2.1, 2.2, 2.3 ve 2.4' e göre bir EA meydana getirmektedir.

$$\vec{E}_{mx} = j\omega \cdot \left(\frac{zB_y}{2} - \frac{kyB_z}{1+k} \right) (\text{kV/m}) \quad (2.1)$$

$$\vec{E}_{my} = j \cdot \left(\frac{\omega}{1+k} \right) (xB_z - zB_x) (\text{kV/m}) \quad (2.2)$$

$$\vec{E}_{mz} = j\omega \cdot \left(\frac{kyB_x}{1+k} - \frac{xB_y}{2} \right) (\text{kV/m}) \quad (2.3)$$

$$E_m = \sqrt{E_{mx}^2 + E_{my}^2 + E_{mz}^2} (\text{kV/m}) \quad (2.4)$$

Burada E_m , dışarıdan uygulanan EA; B , dış MA; ω , açısal frekans değerleridir. İndüklenen akım yoğunluğu $\vec{J}$ iç alandan;

$$\vec{J} = \sigma \vec{E}_m \quad (2.5)$$

olarak bulunur. Burada σ , biyolojik dokunun ilgili frekans için iletkenliğidir (S/m). Mahmoud ve arkadaşları yaptıkları hesaplamalar ve ölçümlerden elde ettikleri değerleri karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, vücudun genişliğinin, kaynağa olan uzaklığının ve vücudun maruz kalınan alanla yaptığı açının indüklenen alan değerlerinde belirleyici olduğunu saptamışlardır (Mahmoud vd 2005, Polk 1990).

Abdul- Salem A. H. Hamza, Shaner A. Mahmoud ve Samy M. Ghania (2002), yaptıkları bir çalışmada bu kez Alternatif Akım (AA) Çok Yüksek Gerilim Enerji İletim

Hatları (ÇYGEİH) üzerine bir araştırma yaparak bu hatların ürettikleri MA' ın çevre kirliliğine etkilerini ele almışlardır (Hamza vd 2002).

Çalışmaya göre Doğru Akım (DC) MA' ların etkileşim mekanizmaları şunlardır:

1. Ferromanyetik parçacıkların doğrultusu
2. Diyamanyetik ya da paramanyetik parçacıklar, izotropik moleküller ve hücresel elementler
3. F_m ' ün bir sonucu olarak dik açılarda oluşan potansiyel farklar

$$F_m = q \nu B \sin \theta \quad (2.6)$$

4. Elektriksel potansiyel farklarından ve büyük statik MA' ın hızlı hareketinden dolayı organizmalarda oluşan akımdan dolayı indüklenen EA (Hamza vd 2002).

Eşitlik 2.6' da q , elektriksel yük; ν , parçacık hızı; B , manyetik akı yoğunluğu ve θ , ν ve B arasındaki açıdır. Hesaplama yaparken 500 kV gerilim düzeyinde, 50 Hz frekans değerinde 3 fazlı bir sistemi ele almışlar, hattın ekseninden yatayda farklı uzaklık mesafelerinde, üçgen ve delta iletken dizilimlerine göre BSY' nı kullanmışlardır. Çalışmanın sonunda yazar ve arkadaşları, MA' ın büyüklüğünün minimum güvenlik değerinden büyük olması durumunda canlı sağlığına olumsuz etkileri olabileceğini, vücut alan boyutuna göre indüklenen MA değerinin büyüklükle orantılı olabileceğini ve MA değerinin hat konfigürasyona bağlı olarak değişebileceğini öne sürmüşlerdir (Hamza vd 2002).

Habiballah vd (2006), yaptıkları bir çalışmada seçtikleri çift devreli 132 kV gerilim düzeyindeki bir EİH üzerinde hatta çalışan işçilerin maruz kaldıkları EA ve MA üzerinde çalışmışlardır. EA hesabında Yük Benzetim Yöntemi' ni (YBY), MA hesabında ise Amper kanununu kullanmışlardır.

Belhadj ve **El- Ferik** (2009), YSA yardımıyla bir EİH' da çalışan işçilerin maruz kaldığı EA ve MA şiddetini tahmini etmeye çalışmışlardır. Çalışmada, çift devreli olan 115 kV, 132 kV ve 230 kV gerilim düzeylerindeki EİH' nı kullanmışlardır. MA

hesabında BSY' nı, EA hesaplamalarında ise YBY' ni kullanmışlardır. Çalışmalarında hattın hemen altında yerden 1 m kadar bir yükseklikte oluşan alanları baz almışlardır.

Bir EİH' nın çevresinde oluşan elektrik ve manyetik alanların önceden belirlenmesi, hatların neden olduğu elektromanyetik kirlenmenin kontrolü açısından önem arz eder. YGEİH' nın yıllık yük kapasitelerindeki değişim, hatların etrafında oluşan MA değerlerinin de değişmesine neden olur. Dolayısı ile gerek mevcut hatların gerekse yeni tesis edilecek olan hatların çevresindeki elektromanyetik güvenlik koridorlarının belirlenmesi bakımından alan şiddetlerinin hesabı, EMA' ın sağlık üzerine etkilerine dönük olarak yürütülen çalışmalara ışık tutacaktır. Bu temelde, yapılan tez çalışması ile EİH' nın çevresinde oluşabilecek EA ve MA seviyeleri, hattın yüklenme kapasitesine ve geometrisine bağlı olarak YSA yöntemi ile hesaplanarak analitik hesap yöntemine nazaran daha pratik bir tahmin metodunun geliştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma için sırasıyla, Türkiye' de Finike Trafo Merkezinden farklı bölgelere dağılmakta olan 31.5 kV gerilim düzeyli çift devreli delta dizilimli Kumluca Sol- Kumluca Sağ hatları ve 31.5 kV tek devre düzlem dizilimli Finike hattı, Antalya Varsak İndirici Merkezinden çıkarak Kemere ve Finike Trafo Merkezine giden 154 kV tek devre düzlem dizilimli Kemer hattı, 154 kV çift devre delta dizilimli Varsak İndirici Merkezi ve Serbest Bölge arasında bulunan Serbest Bölge I-II hattı, 380 kV çift devre düzlem dizilim Varsak-Oymapınar EİH seçilmiştir. Seçilen EİH' ları için öncelikle EA ve MA' ı farklı metotlarla hesaplanmıştır. EA hesabı için YBY, MA hesabı için de BSY kullanılmıştır. Model alınan sistem için farklı akım değerlerinde oluşan alan değerleri karşılaştırılmıştır. Daha sonraki aşamada elde edilen EA ve MA değerleri bir matris formuna dönüştürülerek oluşturulan YSA modelinin eğitimi için kullanılmıştır. Hesap işlemleri esnasında yükler, sonsuz çizgisel olarak kabul edilmiş olup buz yükü gibi dış etkenler ihmal edilmiştir. YSA uygulamalarıyla ileri yönlü bir ağ modeli oluşturulmuştur. Hesap işleminde kullanılan değerler saatlik, günlük, aylık ve mevsimsel verilere dayanmaktadır. Oluşturulan MATLAB kodlarında iletkenlerin hattın eksenine olan yatay ve düşey uzaklıkları direklerin yapısına göre değişim göstermektedir. Son aşamada da oluşturulan ve eğitilen program sayesinde herhangi bir anda bu hatlar tarafından çekilen yük miktarıyla orantılı olarak oluşan EMA' ın değerleri tahmin edilmeye çalışılmıştır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Tipik Enerji İletim Hatlarının Temel Özellikleri

EİH, elektrik santrallerinde üretilmiş olan enerjinin kontrollü ve planlı olarak güvenli bir şekilde farklı noktalara aktarılmasını sağlayan hatlardır. Başka bir ifadeyle, enerjinin üretildiği santraller ile santrallerden alınan enerjinin gerek daha küçük seviyeli iletim şebekelerine gerekse dağıtım bölgelerine taşınarak seçilmiş dağıtım gerilimi seviyesine dönüştürülmesini sağlayan transformatör merkezlerine ya da ana indirici merkezlere ve oradan da son tüketici noktalarına iletilmesini sağlayan sistemlerdir. EİH, taşıdıkları gerilim düzeylerine göre genel olarak dört şekilde adlandırılmaktadırlar. Etkin değeri 1000 V ve altında olan gerilim düzeyine Alçak Gerilim (AG), 1000 V ile 34.5 kV arası gerilim düzeyine Orta Gerilim (OG), 35 kV ile 154 kV arası gerilim düzeyine Yüksek Gerilim (YG), 154 kV ve üstü gerilim düzeyine de Çok Yüksek Gerilim (ÇYG) denilmektedir. Türkiye’ de 6.3, 10, 15, 31.5 ve 34.5 kV gibi OG, 66, 154 gibi YG ve 380 kV ÇYG kademeli şebekeler mevcuttur.

Enerji iletiminin sağlanması aşamasında maliyetin düşük olması, EİH’ nın geçtiği noktalar, güvenlik gibi hususların yanında gerilim düşümleri ve güç kayıpları da önemli yer tutmaktadır. Bu amaçla enerji, santrallerden ana indirici merkezlerine YG düzeyleriyle iletilmektedir. Bu iletim, uzun mesafeler için Türkiye şartlarında genellikle açık arazilerde ve nüfusun seyrek olduğu alanlarda Havai Enerji İletim Hatları ile (HEİH), yerleşim birimlerinin bulunduğu alanlarda ise kısmen yer altı kablolarıyla gerçekleştirilmektedirler. Ancak; artan nüfus yoğunluğu dolayısıyla yerleşim alanlarının genişlemesine bağlı olarak YG hatlarının yaşam alanlarındaki konutlar arasından geçer hale gelmesi EA ve MA’ a maruz kalmayla ilgili tartışmaların artmasına neden olmuştur. İçerisinden akım geçen her malzemenin etrafında bir miktar MA oluşması kaçınılmazdır.

Bir Havai hat temel olarak; bakır (Cu) veya alüminyum’ dan (Al) oluşan iletkenler, taşıyıcı direkler (pilon) ve iletkenlerle direkler arasındaki bağlantıyı sağlayan yalıtkan izolatörlerden meydana gelir. Enerji, santrallerden ana indirici merkezlerine kadar YG,

ana indirici merkezlerinden dağıtım merkezlerine OG, dağıtım merkezlerinden kullanıcıya da AG şeklinde iletilir.

Üretim santrallerinden çıkan yüksek miktarlardaki akımı ileten YGEİH' ı Türkiye'de 380 kV veya 154 kV düzeyindedir. Uzak mesafeler arasına kurulan büyük iletim şebekeleri ve enterkonnekte sistemler bu tip hatlardan oluşur. İletim şebekeleri bölgesel, ulusal veya uluslar arası ölçekte de olsa, yönetim ve organizasyon nedenleriyle iletim işi Türkiye' de 34,5 kV' un üzerindeki gerilim kademelerinde gerçekleştirilir. En çok kullanılan gerilim şebekeleri 380 kV, 154 kV, 66 kV' tur. 34,5 kV ve altındaki şebekelerde ise dağıtım gerilimleri 31.5 kV, 10.5 kV, 15 kV, 6.3 kV' tur.

3.1.1. Havai hat iletkenleri ve özellikleri

EİH çevresindeki EA' ın hesabında kullanılan YBY, iletkenlerin çap özelliklerine de bağlı olduğundan iletkenlere ilişkin temel özellikler sunulmuştur. İletkenler, elektriği geçirebilen maddelerdir (Metal, Altın, Gümüş, Bakır,...vs). Oluşan yükün bir noktadan diğer bir noktaya taşınmasında ve taşınma esnasında oluşan MA' ın büyüklüğü konusunda önemli bir yere sahiptirler. EİH' nda kullanılan iletkenler, şartnamelere ve standartlara bağlı kalınarak kullanılacakları güce, gerilime ve hava şartlarına göre üretilirler. Türkiye'deki YGEİH' nda çelik özlü alüminyum iletkenler (ASCR) kullanılmaktadır. Bunlar; Kanada CSA-C/49.1-1975 normlarına göre dizayn edilmiş olan, kuşlar ve yabani hayvanlara ait isimler ile anılan iletkenlerdir. Şehir içi dağıtımlarında ise genellikle Tam Alüminyum İletkenler (AAC) kullanılmaktadırlar. Türkiye'de genel olarak iletken malzemeler Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) şartnamelerine ve Türk Standartları Enstitüsü (TSE) yönetmeliklerine göre belirlenmiş koşullarda, uygun makine parklarına sahip fabrikalarda üretilebilmektedir. Genel olarak hazırlanmış standartlar yurtdışından derlenmiştir (Bkz. Çizelge 3.1, Çizelge 3.2).

Çizelge 3.1. Tam alüminyum iletkenlerin özellikleri

KANADA STANDARDI ANMA ADI	TSE ANMA ADI (mm ²)	KESİT		AKIM TAŞIMA KAPASİTESİ (A)		
		AWG	Toplam kesit	1	2	3
ROSE	21	4	21,14	110	140	150
LILY	27	3	26,66	125	160	170
PANSY	42	1	42,37	165	200	230
POPPY	53	0	53,49	193	230	270
ASTER	67	00	67,45	225	260	300
PHLOX	85	000	84,99	262	300	340
OXLIP	107	0000	107,3	306	370	400

Çizelge 3.2. Çelik özlü alüminyum iletkenlerin özellikleri

Kanada Standardı Anma Adı	TSE Anma Adı Al/St mm ²	Al mm ²	St mm ²	Toplam İletken Kesiti	Amper		
					1	2	3
SWALLOW	27.Nis	26,69	4,45	31,14	120	160	180
SPARROW	34/6	33,59	5,6	39,19	140	180	200
ROBIONE	45/7	44,7	7,45	52,15	175	200	230
RAVEN	54/9	53/52	8,92	62,44	195	230	280
PIGEON	85/14	85/13	14,18	99,3	275	300	360
PARTRIDGE	135/22	134,87	21,99	156,86	345	460	510
OSTRICH	152/25	152,19	24,71	176,9	410	490	540
HAWK	242/39	241,65	39,19	280,84	540	670	740
DRAKE	403/65	402,56	65,44	468	760	900	1020
CONDOR	402/52	402,33	53,15	454,48	760	900	1020
RAIL	483/34	483,4	33,6	517	860	1010	1100
CARDINAL	485/63	484,53	62,81	547,34	860	1010	1090
PHEASANT	645/82	645,08	81,71	726,79	1000(4)	1160(5)	1300(6)

3.1.2. Havai hatlarda kullanılan direkler

Havai hat iletkenlerini topraktan ve birbirlerinden yalıtmaq için enerji iletim ve dağıtım şebekelerinde direkler kullanılır. Kullanım amaçlarına, yapıldıkları malzemelere ve devre sayısına göre direk tipleri değışiklik göstermektedir. Genel olarak Türkiye’ de EİH’ ndaki kullanım fonksiyonlarına göre direkler;

1. Taşıyıcı direkler
2. Durdurucu direkler
3. Geçit direkleri
4. Köşe direkleri
5. Köşede durdurucu
6. Köşede taşıyıcı
7. Son direkler
8. Dağıtım direkleri olmak üzere 8’ e ayrılır.

Ayrıca; direkler, yapısal olarak kullanılan malzemenin cinsine göre de demir, beton ve ağaç olmak üzere 3’ e ayrılırlar.

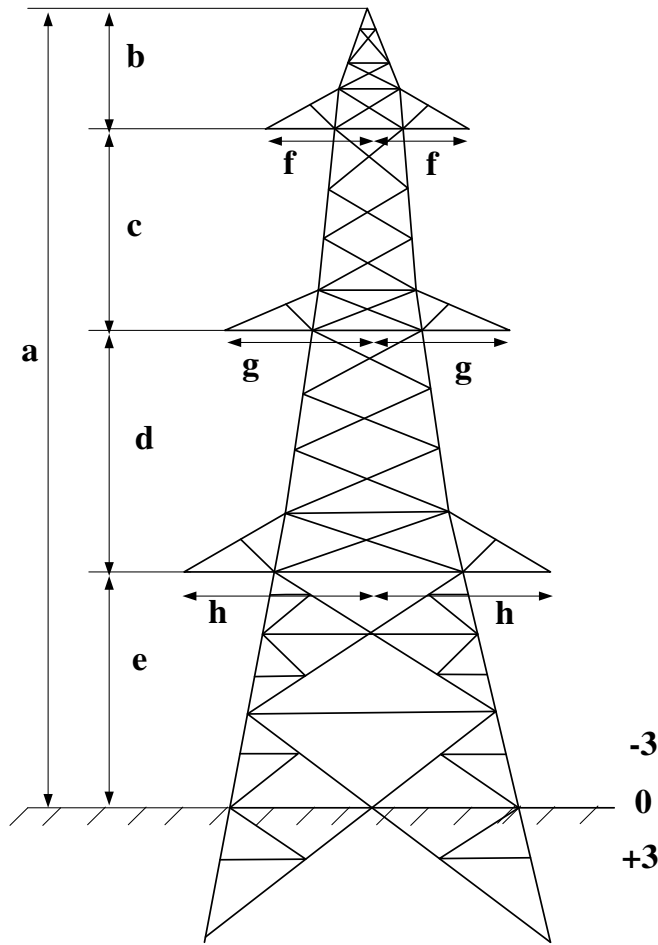
3.2. 154 kV Kafes Direk Tipleri ve Bu Direkler İçin İletkenlerin Dizilimleri

Genel olarak kullanılan direkler, tipine göre dört gruba ayrılır:

1. 400 mm²’ lik Al- St (çelik) iletken için çift devre taşıyan kafes direkler, T-R-W-Z ve H-G-J tipleri olmak üzere yedi tanedir. Türkiye’ de yaygın olarak T-R-W-Z tipleri kullanılmaktadır. Bu kafes direklerden T tipi taşıyıcı; R tipi ağır taşıyıcı; W tipi durdurucu; Z tipi ise ağır durdurucu olarak kullanılırlar.

Çizelge 3.3. T-R-W-Z tipi kafes direkler için ölçüler

Direk tipi	a (m)	b(m)	c(m)	d(m)	e(m)	f(m)	g(m)	h(m)	i(m)
T±0	29.35	3.15	4.15	4.15	17.90	3.20	4.10	3.50	0.90
R±0	30.40	4.10	4.20	4.20	17.90	3.70	4.60	4.00	1.00
W±0	29.35	5.30	4.15	4.15	15.75	3.20	4.10	3.50	1.20
Z±0	29.35	5.30	4.15	4.15	15.75	3.90	4.90	4.20	1.60



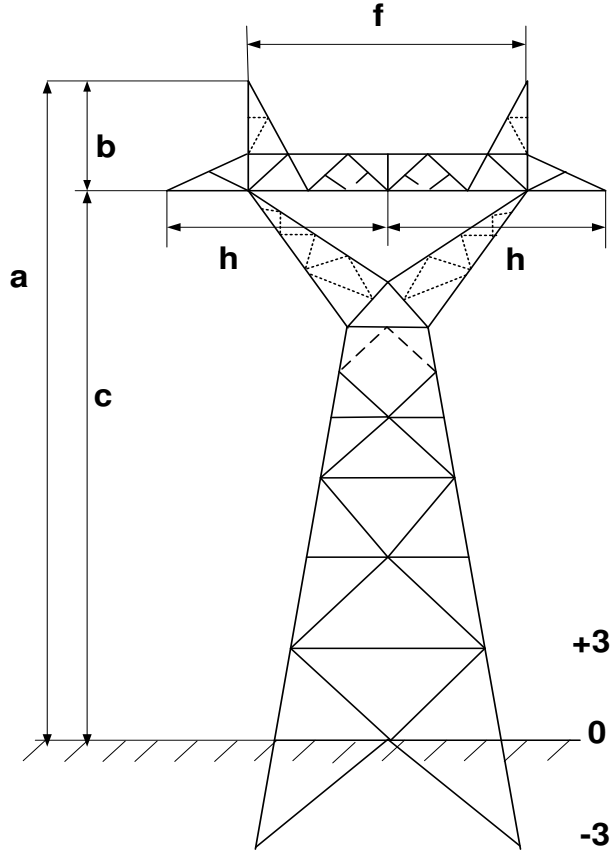
Şekil 3.1. Çift devreli hatlarda kullanılan kafes direk

Burada a, normal tipler için toprak seviyesinden itibaren direk boyunu ifade etmektedir. Bu direk tipi için a, b, c, d, e, f, g ve h değerleri Çizelge 3.3' te verilmiştir. a değeri arazi şartlarına ve diğer çevresel koşullara göre değişebilmektedir.

2. 240 mm²’ lik Al- St iletkenler için tek devre kafes direklerin A, B, C ve D olmak üzere dört tipi mevcuttur. Bu kafes direklerin A tipi taşıyıcı; B tipi ağır taşıyıcı; C tipi durdurucu; D tipi ise ağır durdurucu ve nihayet direkleri olarak kullanılırlar.

Çizelge 3.4. A-B-C-D tipi kafes direkler için ölçüler

Direk tipi	a (m)	b (m)	c (m)	d (m)	e (m)	f (m)	h (m)
A±0	19.30	1.70	10.10	11.80	0.60	7.20	5.90
B±0	19.30	2.50	10.10	13.40	0.70	7.90	6.70
C±0	21.00	3.85	17.15	11.80	1.00	7.20	5.90
D±0	21.40	4.25	17.15	13.40	1.20	8.40	6.70



Şekil 3.2. Tek devreli hatlarda kullanılan kafes direk

3. 240 mm²’ lik Al- St kablolar için çift devreli kafes direklerin N-E-F ve P tipi olmak üzere dört tipi mevcuttur. Direklerin tipi, 1. gruptaki T-R-W-Z’ ye benzerdir. (Bkz. Şekil 3.1)

Çizelge 3.5. N-E-F-P tipi kafes direkler için ölçüler

Direk tipi	a (m)	b (m)	c (m)	d (m)	e (m)	f (m)	g (m)	h (m)
N±0	30.80	3.30	4.10	4.10	19.30	3.30	4.20	3.60
E±0	30.80	5.45	4.10	4.10	17.15	3.80	4.80	4.10
F±0	30.80	5.45	4.10	4.10	17.15	3.30	4.20	3.60
P±0	31.40	3.90	4.10	4.10	19.30	3.60	4.50	3.90

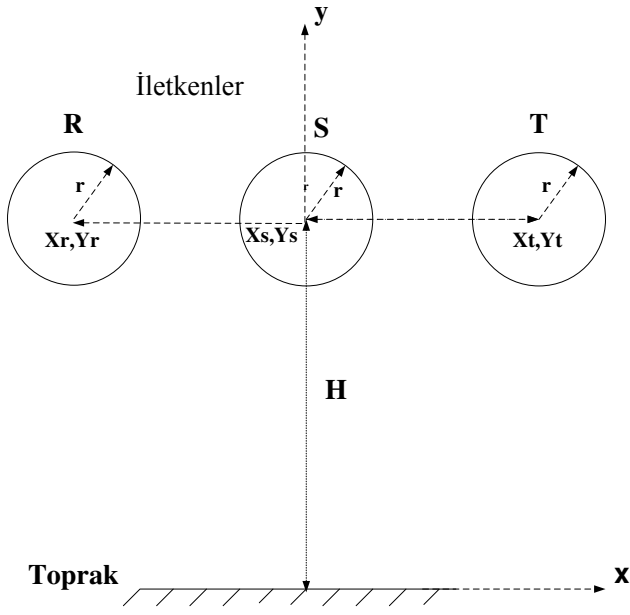
4. 170 mm²’ lik Al- St kablolar için tek devre kafes direklerin ise O-L-S ve K olmak üzere dört tipi mevcuttur. Bu kafes direklerden O tipi, durdurucu; L tipi, ağır taşıyıcı; S tipi, normal taşıyıcı; K tipi ise nihayet direği olarak kullanılırlar.

Çizelge 3.6. O-L-S-K tipi kafes direkler için ölçüler

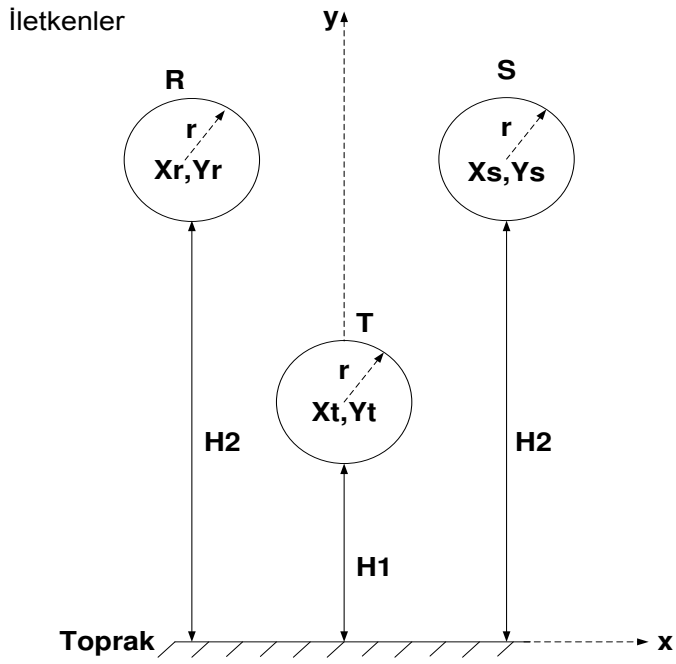
Direk tipi	a (m)	b (m)	c (m)	d (m)	e (m)	f (m)	g (m)	h (m)
K±0	20.00	4.25	15.75	12.20	0.60	7.30	0.60	6.10
S±0	19.80	1.90	17.90	13.70	0.70	8.20	0.70	6.85
L±0	20.35	2.35	18.00	12.20	0.90	7.30	0.90	6.10
O±0	19.80	4.05	15.75	13.70	1.10	8.60	1.10	6.85

EİH’ nda taşınan yük açısından iletkenlerin dizilimi önemli bir yere sahiptir. Bu nedenle EMA hesaplarında hattın geometrisinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. İletkenlerin dizilim şekilleri; sistemin kaç devreli ya da fazlı olduğuna, taşınan gerilimin büyüklüğüne ve kullanılan direklerin tipine bağlı olarak değişmektedir. İletkenler ise dizilim şekillerine göre temel olarak; düzlemsel, dikey, ters delta ve delta dizilim olmak üzere dört farklı karakteristiğe sahiptir (Kaune ve Zaffanella 1992).

Yapılan çalışmada, düzlem dizilim kullanılmış olmakla birlikte Şekil 3.3’ te en yaygın dizilim modelleri gösterilmiştir. İletkenlerin dizilimi, iletkenlerin YBY’ nde hesap için belirlenmiş olan herhangi bir noktada oluşturdukları EA ve MA’ da farklılıklar gözlenmektedir.



A) Düz dizilim



B) Delta dizilim

Şekil 3.3. EİH iletken dizilim şekilleri

3.3. Yük Benzetim Yöntemi

Literatürde EA' ın hesaplanması için birtakım yöntemler geliştirilmiş, farklı metotlar denenmiştir. Bu çalışmada, EA' ın hesabında, çözüm metotlarından biri olan YBY kullanılmıştır. Bu yöntemin seçilmiş olma nedeni; hesaplamada kullanılan değerlerin çeşitliliği ve hattın karakteristiğinin rahatlıkla kullanılarak sisteme uygulanabilmesidir. YBY' nin temel ilkesi, elektrotların yüzeyine fiziksel olarak dağılmış olan yüzeysel yüklerin yarattığı EA' ın yerine, miktarı kullanıcıya göre seçilmiş olan hayali her bir yükün o noktada ayrı ayrı oluşturduğu her bir alanın toplamı hesabına dayanır (Schmidt vd 1996, Yıldırım ve Kalenderli 2005). Bu yöntemde, yapılan hesapların doğruluğu için yük sayısı, seçilen yüklerin tipi ki bu potansiyel katsayısının değeri için önemlidir ve yüklerin mümkün olduğunca uygun yerlere yerleştirilmiş olması önemlidir (Talaat 2010). Yüklerin değerleri, iletken yüzeyinde alınan belirli sayıdaki sınır noktasına ait potansiyelin, iletkenin bilinen potansiyeline eşit olması koşulundan gidilerek bulunur (Singer vd 1974, Wahab vd 2010).

1. n tane benzetim yükü olduğu varsayılırsa, q_j , j. yükü; V_i , bu yüklerin herhangi bir noktada oluşturdukları gerilimi ve P_{ij} birçok yük tipi için bilinen potansiyel katsayıları olmak üzere;

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

ifadesiyle hesaplanabilir.

2. Bir adet noktasal q yükünün kendisinden r kadar uzaklıktaki bir noktada oluşturacağı potansiyel ise:

$$V = P.q = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} \text{ (V)} \quad (3.2)$$

şeklindedir.

3. Seçilen yükün çizgisel olması durumunda ise r_0 , yükün potansiyeli sıfır olan en yakın noktaya olan uzaklığı; ϵ , ortamın dielektrik sabiti olmak üzere potansiyel katsayı;

$$P = \left(\ln \frac{r_0}{r}\right) \cdot \frac{1}{2\pi\epsilon} \quad (3.3)$$

ifadesiyle bulunur (SINGER vd 1974).

Eşitlik 3.1 yardımıyla belirlenen yük değerlerinin hesaplanabilmesi için n adet bilinen potansiyele ihtiyaç vardır. Potansiyel katsayı değeri bilinen n adet nokta seçilir. Bu noktalara sınır noktası adı verilir. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus, benzetim yükü sayısı ile sınır noktası sayılarının orantılı oluşudur. Seçilen benzetim yükü sayısı ile aynı miktarda her bir nokta için birer sınır noktası belirlenmesi gerekir. Yüklerin tipleri ve yerleri tanımlandıktan sonra herhangi bir sınır noktasında potansiyel ve yük değerleri arasında matematiksel bir bağıntı yazmak artık mümkün hale gelir. Eşitlik 3.3 n tane yük ve n tane potansiyeli bilinen sınır noktası için düzenlenir ve matrissel formda yazılarak rahatlıkla yüklerin değerleri bulunabilir.

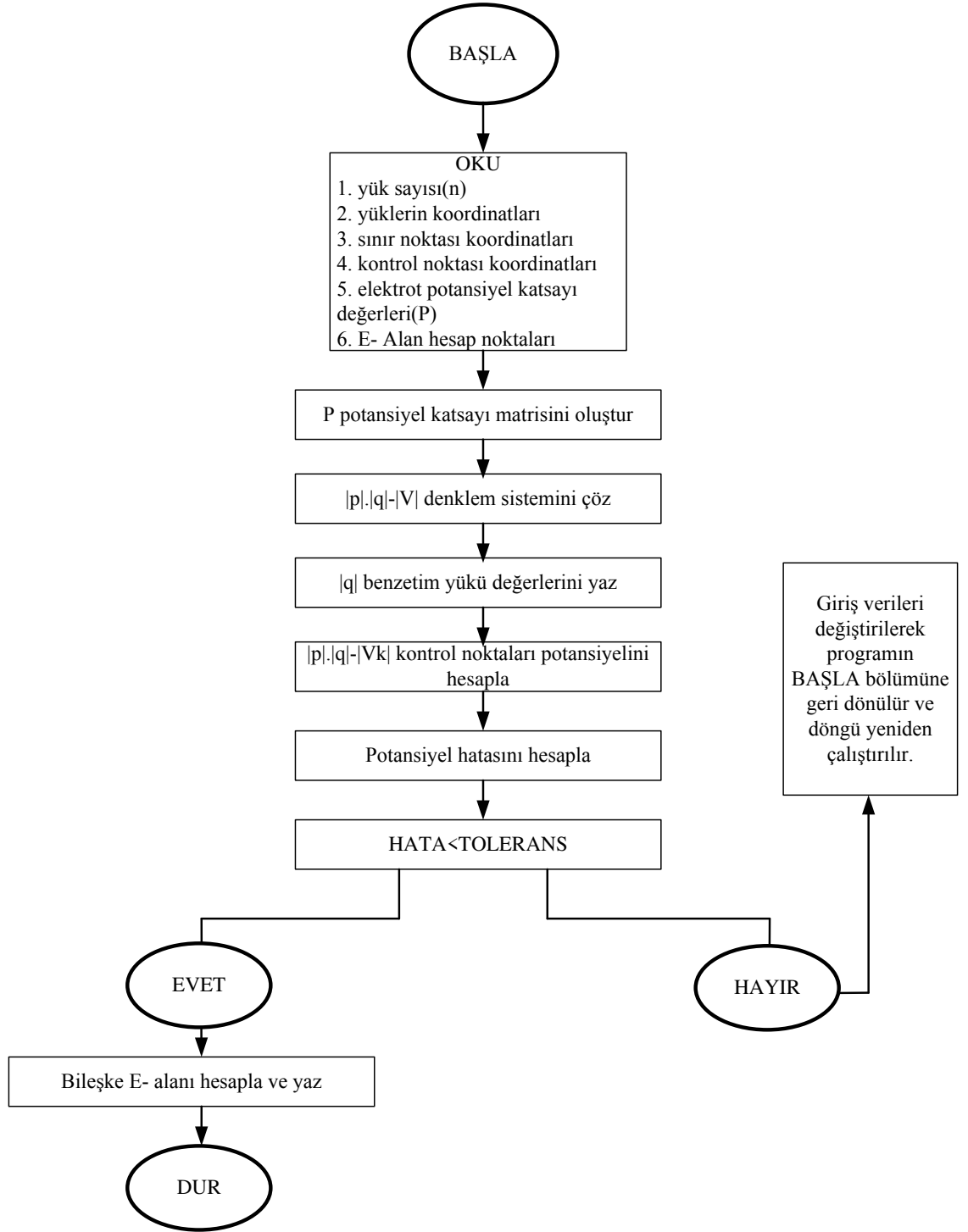
$$\begin{bmatrix} P_{11} & \cdots & P_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{n1} & \cdots & P_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1 \\ \vdots \\ q_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_1 \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

Benzetim yüklerinin değerleri ve yerleri bilinirse herhangi bir noktadaki potansiyel ve alan şiddeti süper pozisyon ilkesiyle bulunabilir (Habiballah vd 2006, Belhadj ve El Ferik 2009). Benzetim yükünün doğruluğunu kontrol etmek amacıyla potansiyeli bilinen ve elektrot sınırına yerleştirilen birkaç kontrol noktasında potansiyeller hesaplanır. Hesaplanan kontrol noktası potansiyelleri ile verilen sınır noktası potansiyelleri arasındaki fark, benzetimin doğruluğunun ve uygulanabilir olmasının bir ölçüsüdür. YBY ile herhangi bir noktada oluşan EA şiddetinin genel ve açık ifadeleri sırasıyla Eşitlik 3.5 ve 3.6’ da verilmiştir. Eşitlik 3.6 için; $\vec{i\hat{x}}$, $\vec{i\hat{y}}$, $\vec{i\hat{z}}$ ifadeleri sırasıyla x,y ve z yönlerindeki birim vektörlerdir.

$$\vec{E} = -\nabla V \quad (V/m) \quad (3.5)$$

$$\vec{E}_i = \left[\sum_{j=1}^n \frac{\partial P_{ij}}{\partial x} q_j \right] \vec{i\hat{x}} + \left[\sum_{j=1}^n \frac{\partial P_{ij}}{\partial y} q_j \right] \vec{i\hat{y}} + \left[\sum_{j=1}^n \frac{\partial P_{ij}}{\partial z} q_j \right] \vec{i\hat{z}} \quad (V/m) \quad (3.6)$$

Şekil 3.4’ te sunulan algoritma esas alınmak koşuluyla Eşitlik 3.1, 3.4 ve 3.6 kullanılarak bilgisayar ortamında rahatlıkla bir algoritma kurulabilir ve gereken sayısal değerlerin hesabı kolaylıkla yapılabilir.



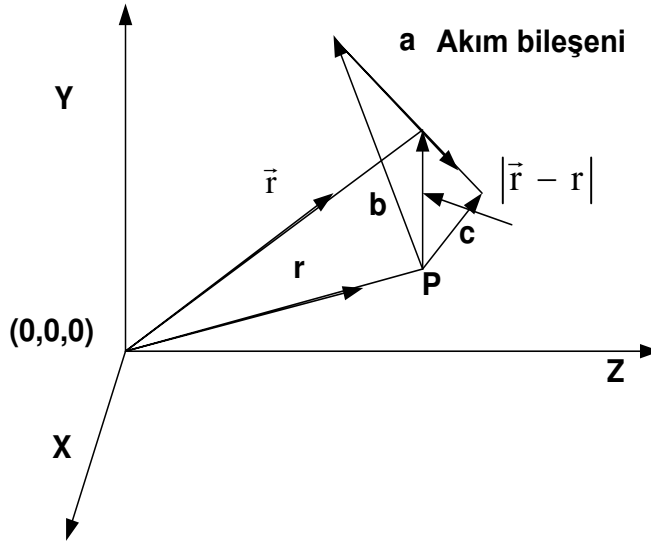
Şekil 3.4. YBY simülasyon programı için algoritma

3.4. Biot Sawart Yasası

EİH' nın oluşturduğu MA seviyeleri, hat düzeni ve geometrisi, iletkenlerin yerden yüksekliği, akım ve gerilim seviyeleri ile hatların çevresindeki yansıtıcı özellikte yapı vb. faktörlere bağlı olarak değişim gösterir. Herhangi bir noktadaki MA yoğunluğu BSY' ndan yararlanılarak hesaplanabilir (Hamza vd 2002). Bu yasaya göre, MA içine yerleştirilen bir iletken akım geçtiğinde bu iletkeni MA içinde hareket ettirmeye çalışan bir kuvvet etkir (Hamza vd 2002, Lee vd 2006). Bu yasaya göre herhangi bir P noktasında MA:

$$\vec{H} = \frac{1}{4\pi} \int \frac{\vec{J} \times \vec{Z}_{rr}}{|\vec{r} - \vec{r}|^2} dV \text{ (A/m)} \quad (3.7)$$

şeklindeir. $\vec{r}$, akım bileşen vektörü; $\vec{r}$, P noktasının vektörel bileşeni; $\vec{J}$, akım yoğunluğu; $\vec{Z}_{rr}$, akım bileşeniyle P noktası arasındaki vektördür.



Şekil 3.5. Uzayda tek faz için akım bileşenleri (Hamza vd 2002)

Şekil 3.5' te b ve c, P noktası için durum vektörleridir. Eşitlik 3.7' den BSY' nın integrasyonu ile bir P noktasındaki MA:

$$\vec{H} = \frac{\vec{i}}{4\pi} \frac{\vec{c} \times \vec{a}}{|\vec{c} \times \vec{a}|^2} \left\{ \frac{\vec{a} \cdot \vec{c}}{|\vec{c}|} - \frac{\vec{a} \cdot \vec{b}}{|\vec{b}|} \right\} \text{ (A/m)} \quad (3.8)$$

ve n .a bileşeninde manyetik akı yoğunluğu:

$$\vec{B}(n) = 0.1 \left(\vec{i} \frac{\vec{c} \times \vec{a}}{|\vec{c} \times \vec{a}|^2} \left\{ \frac{\vec{a} \cdot \vec{c}}{|\vec{c}|} - \frac{\vec{a} \cdot \vec{b}}{|\vec{b}|} \right\} \right) (\mu T) \quad (3.9)$$

ya da

$$\vec{B}(n) = (B_x(n)\vec{i} + B_y(n)\vec{j} + B_z(n)\vec{k})(\mu T) \quad (3.10)$$

şeklindedir. Burada i, j ve k , X, Y ve Z düzlemlerindeki birim vektörler; $B_x(n)$, $B_y(n)$, $B_z(n)$, manyetik akı yoğunluğunun X, Y ve Z düzlemlerindeki bileşenleridir. X, Y ve Z düzlemlerinde n akım iletkeninin akı yoğunluğu:

$$\vec{b}_x = \sum_{n=1}^N \vec{B}_x(n)(\mu T) \quad (3.11)$$

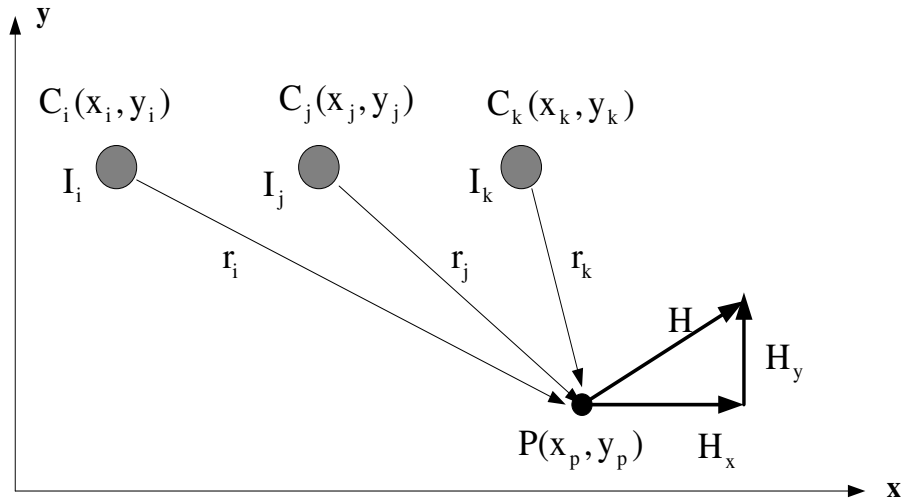
$$\vec{b}_y = \sum_{n=1}^N \vec{B}_y(n)(\mu T) \quad (3.12)$$

$$\vec{b}_z = \sum_{n=1}^N \vec{B}_z(n)(\mu T) \quad (3.13)$$

ve toplam MA akı büyüklüğü:

$$b_t = \sqrt{b_x^2 + b_y^2 + b_z^2} (\mu T) \quad (3.14)$$

şeklinde olmaktadır. Bu hesap, ortamda içinden akım akan çok sayıda iletken bulunduğu da her bir iletkenin geçen akımın MA' a katkısı göz önüne alınarak da uygulanır. Şekil 3.6' da üç fazlı YG hatlarında olduğu gibi üç iletkenli bir sistemin MA hesabında kullanılan büyüklükler gösterilmiştir. MA vektörel bir büyüklüktür. Şekil 3.6' da görüldüğü gibi her bir iletkenindeki akımın bir P noktasında yarattığı MA' ın bileşkesi, yatay ve düşey bileşenleri ile P noktasındaki MA' ı verir.



Şekil 3.6. Üç iletkenli bir hattın manyetik alan hesabı

Koordinatları x_p, y_p olan bir P noktasının koordinatları x_i, y_i olan bir noktaya (iletkene) olan uzaklığı r_i şu şekilde hesaplanır:

$$r_i = \sqrt{(x_p - x_i)^2 + (y_p - y_i)^2} \quad (3.15)$$

Koordinatları (x_i, y_i) olan iletkenin I_i akımının bir P (x_p, y_p) noktasında oluşturduğu MA'ın H_{xi} yatay ve H_{yi} düşey bileşenleri 3.16 ve 3.17' deki bağıntılar ile hesaplanabilir.

$$H_{xi} = \frac{I_i}{2\pi} \frac{y_p - y_i}{r_i^2} \quad (3.16)$$

$$H_{yi} = \frac{I_i}{2\pi} \frac{x_p - x_i}{r_i^2} \quad (3.17)$$

MA'ın x bileşeni yere paralel, iletkene diktir, y bileşeni ise düşey bileşendir. Buna göre n iletkenli bir sistemin (hattın) herhangi bir noktada oluşturduğu H:

$$H = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n H_{xi}\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n H_{yi}\right)^2} \quad (3.18)$$

ve B manyetik akı yoğunluğu (veya manyetik endüksiyon) ile MA arasındaki bağıntı Eşitlik 3.19' da verilir (Habiballah vd 2006).

$$B = \mu_0 H \quad (3.19)$$

Bu eşitlikte $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ H/m boşluğun (havanın) manyetik geçirgenliğidir (Habiballah vd 2006).

MATLAB kodları yardımıyla MA hesabı yapılırken dikkat edilmesi gereken bazı nitelikler bulunmaktadır. Dikkat edilecek hususlar şöyle sıralanabilir:

- İletkenlerin yerden yüksekliği
- İletkenler arası açıklık
- Belirlenen sınır ve kontrol noktalarının koordinatları (direk merkezi 0 noktası kabul edilerek x eksenini toprağa paralel olan düzlemi ve y eksenini direk eksenine eş olmak üzere)
- İletkenlerin taşıyabileceği maksimum akım kapasitesi (MA hesabı için)
- Varsayılan yük tipine göre (çizgisel, noktasal...vb) potansiyel katsayısı
- İletkenlerin yarıçapı
- Dengeli fazlar olup olmadığı belirlenerek iletkenin üzerinde seçilen sınır noktalarındaki potansiyel değerleri
- Fazlar arası gerilim değeri.

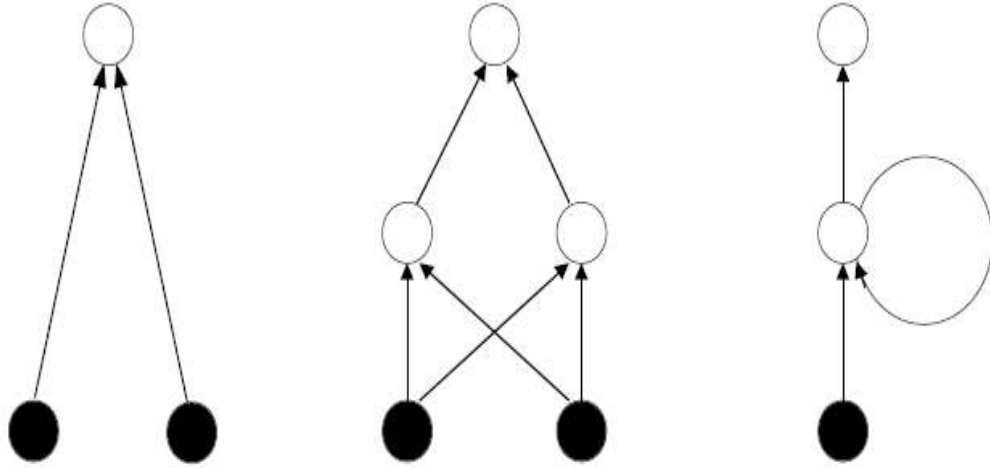
3.5. Yapay Sinir Ağları

Sinir ağları, nöron ismi verilen hesaplama elemanlarının paralel bir şekilde çalışmalarından meydana gelir. Bu elemanlar biyolojik sinir sistemlerinden esinlenerek tasarlanmıştır. Biyolojik sinir sistemlerinde olduğu gibi, bu ağ modellerinde de, bilgi iletimi her bir nöronun bir diğer nöronla etkileşimiyle meydana gelmektedir. Yaygın olarak kullanılması ve tez çalışmasında bir yöntem olarak seçilme nedeni, YSA' nın hesaplama ve bilgi işleme gücünün yüksek olmasındandır. Ayrıca; paralel dağılmış yapısı sayesinde öğrenbilme ve genelleme yapabilme yetenekleri gelişmiştir. Genelleme, eğitim ya da öğrenme sürecinde karşılaşılmayan girişler için YSA' nın uygun tepkileri üretmesi olarak tanımlanır. Bu özelliği sayesinde YSA ile rahatlıkla karmaşık problemler çözülebilmektedir. YSA; katmanlar, katmanları oluşturan nöronlar, ağırlıklar ve fonksiyonlardan oluşmaktadır. Belirli bir fonksiyonu

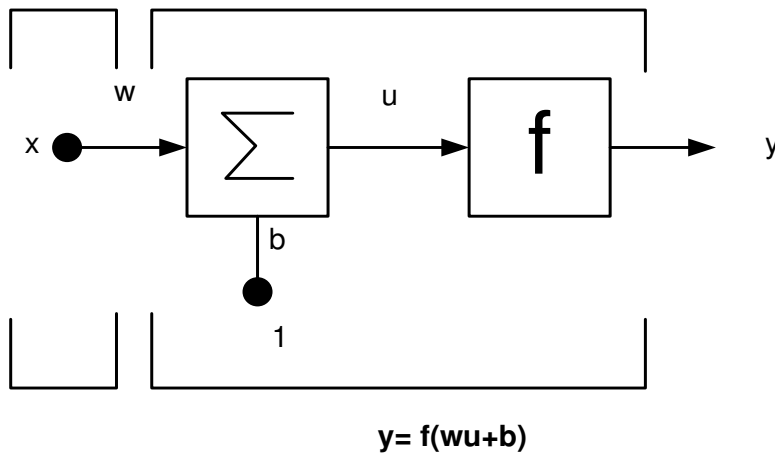
gerçekleştirebilmek için sinir ağı veya ağları, elemanlar arasındaki bağlantıların (ağırlıkların) değerleri ayarlanarak eğitilebilir. Sinir ağları; örüntü tanıma, kimliklendirme, sınıflandırma, ses ve işaret işleme, bilgisayarla görü ve kontrol sistemleri gibi karmaşık problemler içeren pek çok sahada kullanılmaktadır.

3.5.1. Nöron modeli

Basit bir yapay nöron, bir ya da birden çok skaler girişe ve çıkışa sahip tek katmanlı bir hesaplama elemanıdır. YSA, birden fazla model içermektedir. Oluşturulabilecek ağ modelleri Şekil 2.7’ de örneklenmiştir.



a) İleri Yönlü Tek Katmanlı Ağ b) İleri Yönlü Çok Katmanlı Ağ c) Geri Dönüşümlü Ağ
Şekil 3.7. Ağ modelleri



Şekil 3.8. x girişli, y çıkışlı basit bir nöron yapısı (Ekonomu 2007)

Burada x , nöronun girişi olan skaler değeri; w , x girişi ile nöron arasındaki ağırlık değerini; b , nöronun eşik değerini; f , transfer fonksiyonunu; y , nöronun çıkışını ifade etmektedir. İlk katman x tane girişi, ikinci katman (gizli katman) sınırlandırılmış lokal fonksiyonları, üçüncü katman ise çıkış veri ya da verilerini içerir. Çıkış verileri genel olarak Eşitlik 3.20' deki şekilde hesaplanır (Ekonomu 2007).

$$f_i(x) = \sum_{j=1}^q \phi_j(\|x - C_j\|) \theta_{ji}, 1 \leq i \leq q \quad (3.20)$$

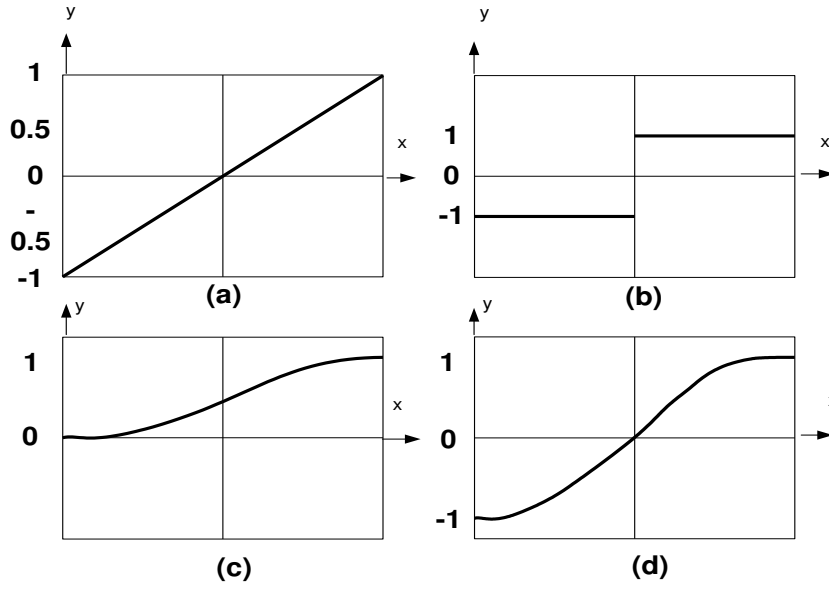
Burada; q ağırlık çıkış boyutunu; x giriş vektörünü; C_j q . elemanın merkezini; $\|.\|$ Öklit normunu; θ_{ji} q . elemanın genişliğini ve ϕ_j radyal simetrik fonksiyonu ifade etmektedir. W , ağırlık değeri olmak üzere birden fazla giriş değeri için ağırlıklar $w_1, w_2, w_3, \dots, w_i$ şeklinde ifade edilmektedir. Eşitlik 3.20 normalize edilirse;

$$net = \sum_{i=1}^n w_i x_i + b \quad (3.21)$$

$$f(net) = f\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i + b\right) \quad (3.22)$$

şeklinde yazılır. Burada; f aktivasyon fonksiyonunu ifade eder.

Bir nöronun çıkışı hesaplanırken çok çeşitli aktivasyon fonksiyonları kullanılmakla birlikte en çok kullanılanları; doğrusal, adım, logaritma sigmoid ve tanjant hiperbolik aktivasyon fonksiyonlarıdır (Bkz. Şekil 3.9). Bu aktivasyon fonksiyonları yardımıyla, veri değer aralıkları normalize edilerek işlem yapılmaktadır. YSA' da hangi aktivasyon fonksiyonunun kullanılacağı probleme bağlı olarak değişmektedir.



Şekil 3.9. Aktivasyon fonksiyonları A) Doğrusal B) Eşik aktivasyon
C) Logaritma sigmoid D) Hiperbolik tanjant

Aktivasyon fonksiyonları, değer aralıklarını normalize etmek için kullanılmaktadır. Lineer aktivasyon fonksiyonunda, girişe uygulanan veri, çıkışa eşittir (Bkz. Eşitlik 3.23).

$$f(x) = x \quad (3.23)$$

Logaritma sigmoid transfer fonksiyonu, lojistik fonksiyon olarak da bilinmektedir. Bu fonksiyonun lineer olmamasından dolayı türevi alınabilmektedir. Böylelikle, geri yayınlımlı ağlarda bu fonksiyon rahatlıkla kullanılabilir.

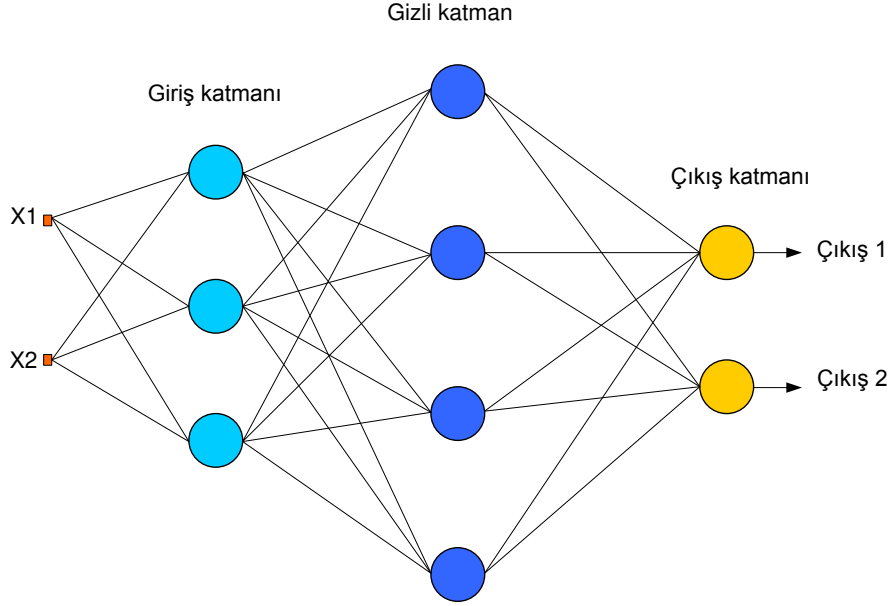
$$f(x) = \text{lojistik}(x) = \frac{1}{1 + \exp(-\beta x)} \quad (3.24)$$

Burada β , eğim sabiti ifadesidir. Bir diğer aktivasyonu olan hiperbolik tanjant ise lineer olmayan türevi alınabilir bir fonksiyondur. +1 ile -1 arasında çıkış değerleri üretir (Bkz. Eşitlik 3.25).

$$f(x) = \tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (3.25)$$

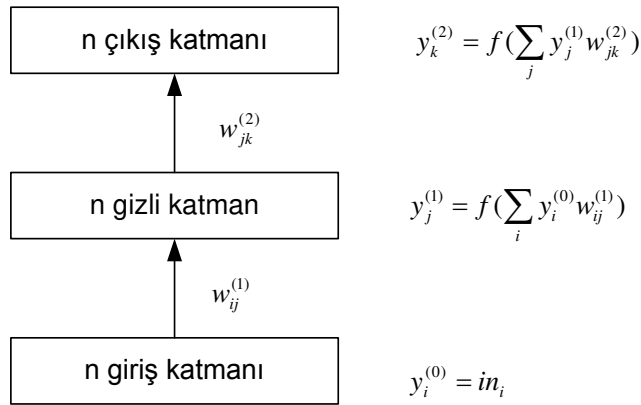
3.5.2. Çok katmanlı YSA modeli

YSA' da çok çeşitli ağ yapıları ve modelleri vardır. En çok kullanılan ağ yapısı ÇKYSA modelidir. Bu ağda bilginin akışı ileri veya geri yayılım yöntemiyle iletilmektedir. Öğrenme ve eğitme algoritmalarında genellikle türeve dayalı geriye yayılım algoritmaları tercih edilir.



Şekil 3.10. Çok katmanlı YSA

Şekil 3.10' da üç katmanlı olarak dizayn edilmiş olan bir YSA modeli görülmektedir. Her bir katmanda en az bir nöron bulunur. Bir önceki katmandaki tüm nöronlar bir sonraki katmandaki nöronlara bağlantı içermektedir. Bu şekilde arzu edildiği kadar katman oluşturulabildiği gibi istenilen sayıda giriş ve çıkış uygulanabilir. n katmanlı bir YSA modeli için n adet ağırlık ve n adet giriş katman elemanı olduğu düşünülür (Bkz. Şekil 3.11).



Şekil 3.11. ÇKYSA algoritması

3.5.3. MATLAB’ ta ileri beslemeli ÇKYSA’ nın tasarımı

Bu ağ yapısının kullanılabilinmesi için bir ileri beslemeli ağ nesnesi oluşturulması gerekir. MATLAB’ taki **newff** komutu bu işlemi gerçekleştirmektedir. newff komutunun yazım biçimi, `net = newff(PR,[S1 S2...SNi],{TF1 TF2...TFNi},BTF,BLF,PF)` şeklindedir. Burada;

PR : R elemanlı giriş vektörünün min ve max değerlerini içeren $R \times 2$ ‘ lik matris

Si : i. katmanda bulunan nöron sayısı

TFi : i. katmanın transfer fonksiyonu, varsayılan= 'tansig'

BTF : Geriye yayılım ağ eğitim fonksiyonu, varsayılan = 'trainlm'

BLF : Geriye yayılım ağırlık/bias öğrenme fonksiyonu, varsayılan = 'learngdm'

PF : Performans fonksiyonu, varsayılan = 'mse' ifade etmektedir.

Ağın eğitimi ile ilgili temel parametreler aşağıdaki şekilde düzenlenebilir:

`net.trainParam.show = 50`; kaç iterasyonda bir eğitim durumunun gösterileceği

`net.trainParam.lr = 0.2`; öğrenme katsayısı

`net.trainParam.epochs = 300`; iterasyon sayısı

`net.trainParam.goal = 1e-5`; hedeflenen hata değeri

Eğer parametrelerde herhangi bir değişim yapılmazsa ağ bunu kendisi otomatik olarak atar. Oluşturulan ağda bu fonksiyonu kullanarak ağ eğitilip veriler simule edilmiştir. Simulasyon işleminde ağ' a girişler uygulanıp çıkış değerleri elde edilir.

3.5.4. ÇKYSA modeliyle ağın eğitilmesi

MATLAB komutu 13 aşamadan oluşmaktadır:

1. Elde edilen dataların ve çıkış verilerinin girilmesi: Kullanılan YSA modeline ve fonksiyonlara uygun olarak verilerin normalize edilmesi (0 1 aralığında)
2. Data grubundan eğitim ve test setinin belirlenmesi
3. Seçilen eğitim ve test setine göre çıkış değerlerinin belirlenmesi
4. Ağ yapısının oluşturulması
5. Ağ parametrelerinin atanması (bu parametrelerin belirlenmemesi durumunda ağ otomatik olarak kendi atayacaktır)
6. Ağın eğitilmesi
7. Ağın eğitim simülasyonunun oluşturulması
8. Ağın test simülasyonunun oluşturulması
9. Hata hesaplamalarının yapılabilmesi için hedef değerlerinin belirlenmesi (test edilecek hedef veriler)
10. Test hedef değerleriyle hatanın hesaplanması
11. Eğitim seti verilerinin hata oranının hesaplanması
12. Test verileri için hatanın yüzde olarak hesaplanması
13. Eğitim verileri için hata oranının hesaplanması

4. BULGULAR

Yöntem belirlendikten ve ağ modeli oluşturulduktan sonra ağ' a öncelikle MA şiddeti tahmini yapılmak üzere sırasıyla 31.5 kV, 154 kV ve 380 kV gerilim düzeyli hatlar için ölçülen akım ve MA şiddeti değerleri, daha sonra yine aynı ağ' a ölçülen EA değerleri girilmiştir. Hedef olarak girilen verilerle tahmin edilen MA ve EA şiddeti değerleri karşılaştırılarak ekran çıktısı alınmıştır. MA ve EA şiddeti tahmini yapılırken hattın eksenine olan dikey uzaklık (y) 1m ve 1.8 m' de sabit tutulurken, hattın eksenine olan yatay uzaklık (x) mesafeleri ve akım değerleri değiştirilmiştir. Giriş verisi olarak x ve akım değerleri, hedef olarak da ölçülen MA ve EA şiddetleri girilmiştir (Bkz. Ek-2, Ek-3). ÇKYSA yardımıyla oluşturulan ağ, üç katmanlı olarak tasarlanmıştır. İlk katman olan giriş katmanında 10 adet, gizli katmanda yerinde göre 10 veya 20 adet ve çıkış katmanında 2 adet nöron bulunmaktadır. Hata oranı (hassasiyet) yerine göre %1 veya %0.1 oranlarında alınmış olup, öğrenme katsayısı, döngü sayısı, amaç gibi parametreler çeşitli denemeler sonucunda en doğru sonucu verecek şekilde seçilmiştir. Giriş verileri normalize edildikten sonra ağın eğitime başlanmıştır. Eğitim tamamlandıktan sonra ağ için hata oranı hesaplanarak doğruluk yüzdesi belirlenmeye çalışılmıştır. Son olarak da tahmin edilen ve ölçülen MA ve EA şiddetleri karşılaştırılarak grafikler karşılaştırılmıştır.

Hatlara ilişkin YSA modelinde 154 kV ve 31.5 kV tek devreli hatlarda MA tahmini için eğitim setinde 96, test setinde 96; EA tahmininde eğitim setinde 99, test setinde 55 veri kullanılmıştır. Çift devreli sistemlerde 31.5 kV için MA tahmininde 112 veri eğitim setinde, 80 veri test setinde; 154 kV için MA tahmininde 288 veri eğitim setinde ve 192 veri test setinde kullanılmıştır. 154 kV için EA tahmininde ise 99 veri eğitimde, 55 veri testte; 380 kV için MA tahmininde 357 veri eğitimde, 294 veri testte ve EA tahmini için ise 168 veri eğitimde, 126 veri testte kullanılmıştır.

4.1. Yük Benzetim Yöntemi ile Elektrik Alan Hesabı

154 kV bir EİH için hesap yapılırken kullanılan parametre değerleri aşağıdaki gibidir (Zhang vd 2006, Singer vd 1974) :

1. Direk tipi: tek devreli 3 fazlı sisteme uygun olan D±0 tipi kafes direk
2. İletken tipi: 240 mm² Hawk (Al- St)
3. Fazlar arası gerilim: U=154 kV
4. İletken yarıçapı: r=10.9 mm= 0.0109 m
5. İletkenlerin yerden yüksekliği: h= 17.15 m
6. İletkenler arası açıklı: a= 6.7 m
7. Yüklerin koordinatları: Y₁(-6.7;17.15), Y₂(0;17.15), Y₃(6.7;17.15)
8. Sınır noktalarının koordinatları: S₁(-6.7;17.1391), S₂(0;17.1391), S₃(6.7;17.1391)
9. Kontrol noktalarının koordinatları:
K₁(-6.6891;17.15), K₂(0.0109;17.15), K₃(6.6891;17.15)
10. Fazlar dengeli ve sistem 3 fazlı olduğundan potansiyel hesabı genel olarak Eşitlik 4.1, 4.2 ve 4.3' ten bulunabilmektedir (Shaan vd 2010, Wahab vd 2010).

$$V_1 = V \text{ (V)} \quad (4.1)$$

$$V_2 = V \exp\left(\frac{2\pi}{3} j\right) \text{ (V)} \quad (4.2)$$

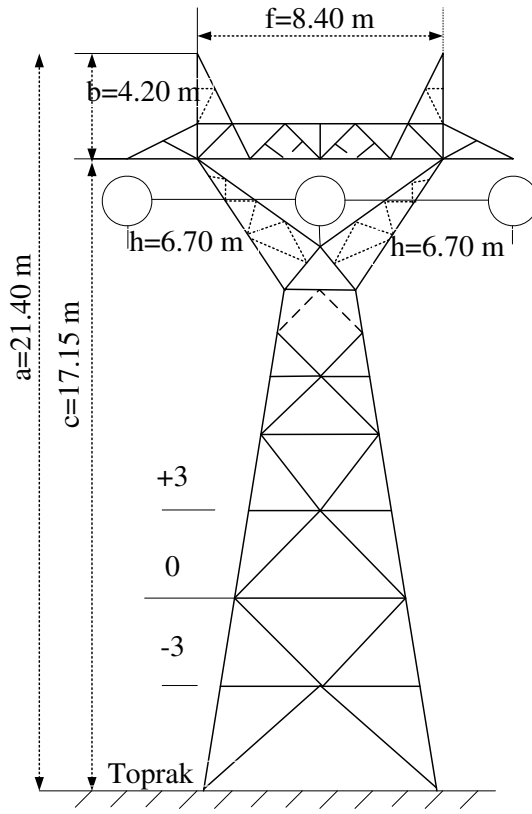
$$V_3 = V \exp\left(\frac{4\pi}{3} j\right) \text{ (V)} \quad (4.3)$$

Sistemde, sınır noktalarının potansiyel değerleri Eşitlik 4.4, 4.5 ve 4.6' daki gibidir.

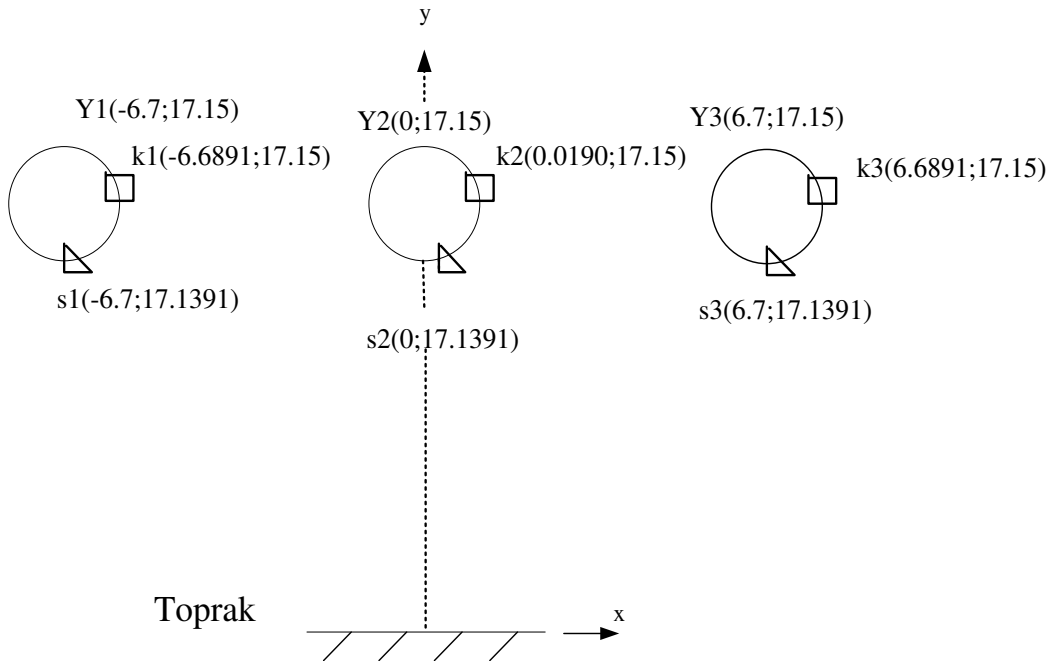
$$V_1 = \frac{154k}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ = 88.91 \angle 0^\circ \text{ kV} = 88.91 \text{ (kV)} \quad (4.4)$$

$$V_2 = \frac{154k}{\sqrt{3}} \angle 120^\circ = 88.91 \angle 120^\circ \text{ kV} = 88.91(-0.5 + j0.866) \text{ kV} = -44.455 + j77 \text{ (kV)} \quad (4.5)$$

$$V_3 = \frac{154k}{\sqrt{3}} \angle 240^\circ = 88.91 \angle 240^\circ \text{ kV} = 88.91(-0.5 - j0.866) \text{ kV} = -44.455 - j77 \text{ (kV)} \quad (4.6)$$



Şekil 4.1. Ölçüm için seçilen direk tipi ve direk ölçüleri



Şekil 4.2. Dengeli 3 fazlı tek devreli bir sistemde iletkenlerin dizilim geometrisi

S1, S2 ve S3 noktaları için potansiyel değerleri Eşitlik 4.7, 4.8 ve 4.9’ da verilmiştir (Shaalan vd 2010, Erzhi vd 2006).

$$V_1 = \frac{1}{2\pi\epsilon} \left[\ln \frac{\overline{Y_1 G}}{\overline{Y_1 S_1}} q_1 + \ln \frac{\overline{Y_2 G}}{\overline{Y_2 S_1}} q_2 + \ln \frac{\overline{Y_3 G}}{\overline{Y_3 S_1}} q_3 \right] (\text{V}) \quad (4.7)$$

$$V_2 = \frac{1}{2\pi\epsilon} \left[\ln \frac{\overline{Y_1 G}}{\overline{Y_1 S_2}} q_1 + \ln \frac{\overline{Y_2 G}}{\overline{Y_2 S_2}} q_2 + \ln \frac{\overline{Y_3 G}}{\overline{Y_3 S_2}} q_3 \right] (\text{V}) \quad (4.8)$$

$$V_3 = \frac{1}{2\pi\epsilon} \left[\ln \frac{\overline{Y_1 G}}{\overline{Y_1 S_3}} q_1 + \ln \frac{\overline{Y_2 G}}{\overline{Y_2 S_3}} q_2 + \ln \frac{\overline{Y_3 G}}{\overline{Y_3 S_3}} q_3 \right] (\text{V}) \quad (4.9)$$

$r_0 = \overline{Y_1 G} = \overline{Y_2 G} = \overline{Y_3 G} = 17.15m$ olarak alınır. Seçilen her bir yükün sınır noktalarına olan mesafeleri hesaplanır. MATLAB kodları yardımıyla Eşitlik 4.7, 4.8 ve 4.9’dan toplam potansiyel hesaplanır (Wahab vd 2010). Toplam potansiyel değeri için ekran çıktısı Eşitlik 4.10’ da, q değerleri için ise Eşitlik 4.11’ de verilmiştir.

P =

$$\begin{array}{r} 1.0\text{e}+011 * \\ 1.3224 \quad 0.1688 \quad 0.0443 \\ 0.1688 \quad 1.3224 \quad 0.1688 \\ 0.0443 \quad 0.1688 \quad 1.3224 \end{array} \quad (4.10)$$

q =

$$\begin{array}{r} 1.0\text{e}-006 * \\ 0.7326 + 0.0639i \\ -0.3900 - 0.6755i \\ -0.3109 + 0.6664i. \end{array} \quad (4.11)$$

q değerlerini elde ettikten sonra herhangi bir A noktası için potansiyel değerleri hesaplanır. A noktasını (0;2.8) olarak aldıktan sonra A noktasındaki potansiyel değeri Eşitlik 4.12’ deki gibi bulunur ve yine Eşitlik 4.12’ den kolayca EA hesabı yapılabilir.

$$V_A = -0.0711 + 0.1233i = 0.1423e^{-j60} \text{ (V)} \quad (4.12)$$

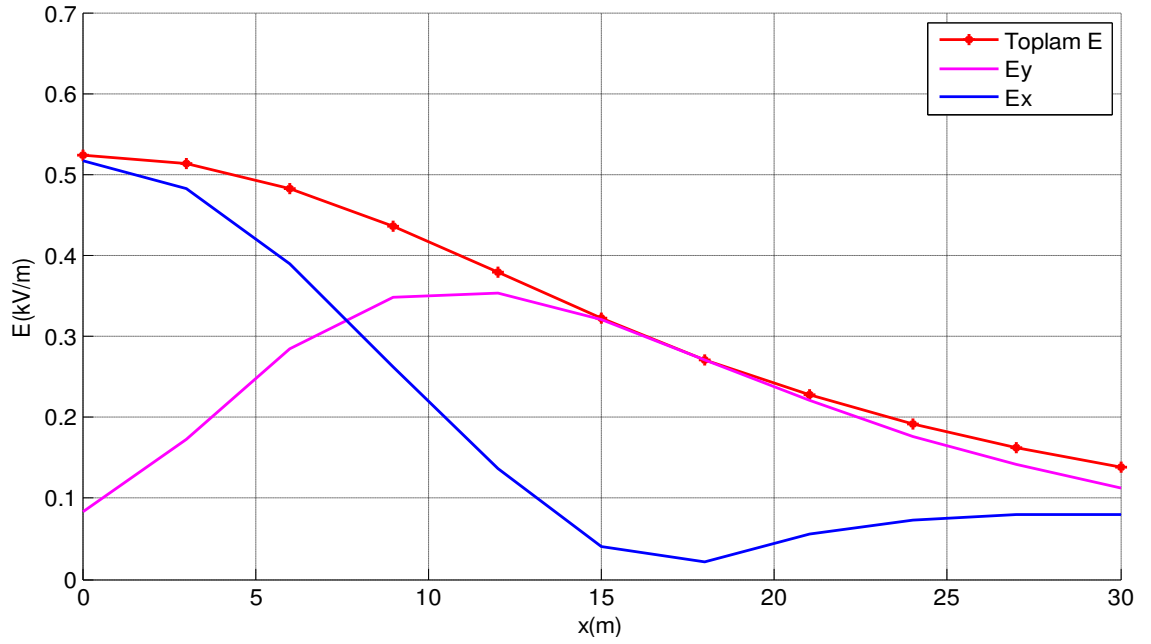
Bir A noktasındaki EA değeri bileşenleri ve toplam EA değeri için genel formüller sırasıyla Eşitlik 4.13, 4.14 ve 4.15’ te verilmiştir.

$$E_{xA} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \left(\frac{x_{y1} - x_A}{y_1 A^2} q_1 + \frac{x_{y2} - x_A}{y_2 A^2} q_2 + \frac{x_{y3} - x_A}{y_3 A^2} q_3 \right) (V/m) \quad (4.13)$$

$$E_{yA} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \left(\frac{y_{y1} - y_A}{y_1 A^2} q_1 + \frac{y_{y2} - y_A}{y_2 A^2} q_2 + \frac{y_{y3} - y_A}{y_3 A^2} q_3 \right) (V/m) \quad (4.14)$$

$$E_A = E_{xA} + E_{yA} \text{ (V/m)} \quad (4.15)$$

y=1.80 m olarak alınmıştır (Bkz. Ek-3). Yatayda mesafe, tahmin işleminde giriş ve hedef verilerinin oluşturulması için sırasıyla 0-30 m ve 2-32 m aralıklarında 3’ er m farkla değiştirilmiştir. A noktasındaki EA’ nın hatta olan 0-30 m aralığında yatay mesafeye göre değişimi Şekil 4.3’ te verilmiştir.



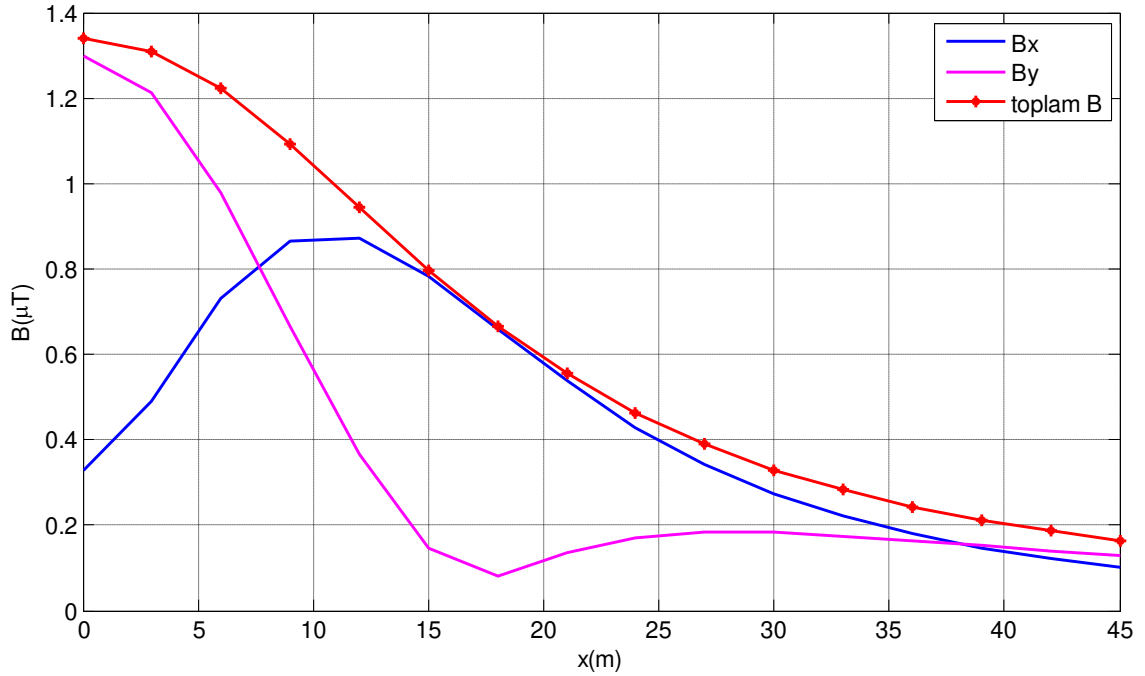
Şekil 4.3. Tipik 154 kV EİH için YBY ile EA' nın hesabı

Ex bileşeninin değeri hattın hemen altında maksimum olurken hattın uzaklaştıkça giderek azalmaktadır. Ey bileşeni ise hat altında minimumken hattın 10 m uzaklıkta maksimum değere ulaşmaktadır. Bunların bilinmesi EA dozimetri çalışmaları için önemlidir. Şekil 4.3' ten görüldüğü gibi, oluşturulan yazılım ile YBY için farklı hat konfigürasyonlarında, sadece iletken dizilim ve özellikleri ile direk boyutlarına ilişkin parametrelerin belirlenmesi, istenen noktalarda EA' nın bileşenleri ile birlikte hesaplanmasına pratik bir çözüm oluşturmuştur. Şekilden de görüldüğü gibi EA' nın Ey ve Ex bileşenleriyle toplam alan değişimi kolaylıkla incelenebilmektedir.

4.2. Manyetik Alan Hesabı

Çalışmada, Bölüm 3.3' teki kriterler göz önünde bulundurularak ve BSY uygulanarak MA şiddeti yazılımı oluşturulmuştur. Fazların dizilimi düzlem olduğundan hat konfigürasyonuna göre iletkenlerin gerçek yükseklikleri hesaba katılarak h değeri 17.15 m alınmıştır. y değeri ise EA hesabında olduğu 1.8 m olarak sabit tutulmuştur. Hatta olan yatay uzaklık mesafesi 0-45 m ve 2-47 m aralıklarında 3'er m farkla değiştirilerek farklı akım değerleri için MA hesabı yapılmıştır. D tipi direk modeli ve 477 MCM iletken tipi seçilmiştir. Tek devre D direk için gerekli ölçüler Bölüm 2.2' de ayrıntılı olarak verilmektedir. Ölçümler Finike bölgesinde yer alan Kemer hattı için yapılmıştır.

Şekil 4.4' te 156.83 A değeri için 0-45 m yatay mesafe aralığında hesaplanan MA grafiği yer almaktadır.



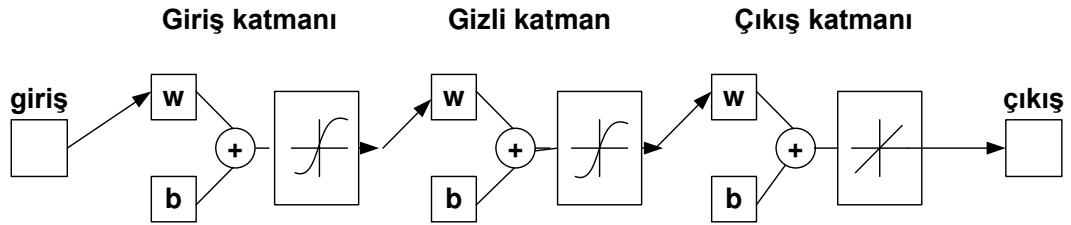
Şekil 4.4. 156.83 A akım değeri için 154 kV EİH MA hesabı

Şekil 4.4' ten MA' ın Bx bileşeninin hattın hemen altında minimum değere sahip olduğu, hattan yatay olarak 10 m uzaklıkta maksimum değerine ulaştığı görülmektedir. Yine aynı şekilden By bileşeninin hattın hemen altında maksimum değerde, hattan yatay olarak 15-20 m aralığında da minimum değere ulaştığı görülmektedir. Çalışmadan ayrıca, MA şiddetinin mevsimsel değişimi de ele alınmıştır. 2010 yılı için ölçülen akım değerlerinin ortalaması alınmış, bu değerlere göre belirlenmiştir.

4.3. Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları Modeliyle Tahmin

4.3.1. Elektrik alan tahmini

ÇKYSA ile oluşturulan model yardımıyla daha önce (Bkz. Bölüm 3.5.3) ifade edildiği gibi gerekli parametreler tanımlanarak 154 kV EİH için EA tahmini yapılmıştır. Şekil 4.5’ te görüldüğü gibi 3 katmanlı bir ağ oluşturulmuştur. Ağ, ilk katman giriş katmanı olmak üzere sırasıyla gizli katman ve çıkış katmanı olmak üzere 3 katmandan oluşmaktadır. İlk katmanda 10, ikinci katmanda 20 ve üçüncü katmanda 1 adet nöron bulunmaktadır.



Şekil 4.5. Çalışmada kullanılan YSA yapısı

YSA için seçilen parametreler ve değerleri şu şekildedir:

net.trainParam.epochs =600

net.trainParam.lr= 0.2

net.trainParam.mc= 0.1

net.trainParam.goal= 0.00001

Burada epoch, döngü sayısını; lr, öğrenme hızını; mc, hata oranını ve goal, hedef eğitme değerini ifade etmektedir. Daha önce elde edilen EA değerleri normalize edilerek girişlere uygulanmış, girilen değerler giriş ve hedef veriler olarak simule edilmiş ve ağ tarafından yeni çıkışlar elde edilmiştir.

Normalizasyon işlemi için kullanılan yöntem, aşağıda verilmiştir.

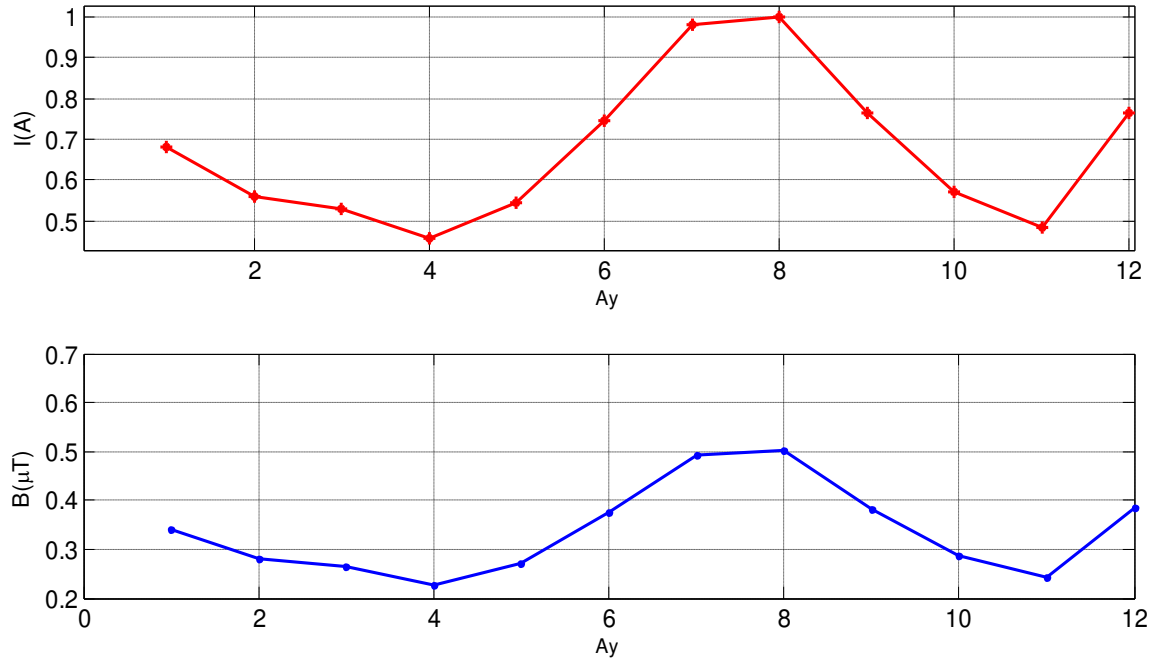
```
for i=1:Ntt
    target1(i)=target(i)/tort;
end
```

MATLAB programı çalıştırılarak ölçülen ve tahmin edilen EA arasındaki doğruluk oranı hesaplanmaya çalışılmıştır. $y=12.3$ m ve $y=1.2$ m için ağın çıkışında elde edilen ve ölçülen değerler arasındaki ilişki Şekil 4.6' da verilmiştir. Bu çalışmada 31.5 kV, 154 kV ve 380 kV olmak üzere 3 farklı gerilim düzeyinde çalışılmıştır. Kullanılan sistemler, 2 farklı dizilim geometrisine sahip olup çift ve tek devre yapıya sahiptir.

4.4. Orta Gerilim, Yüksek Gerilim ve Çok Yüksek Gerilim Hatları Çevresindeki Elektrik ve Manyetik Alanların Tahmini

4.4.1. 31.5 kV tek devre orta gerilim hattı

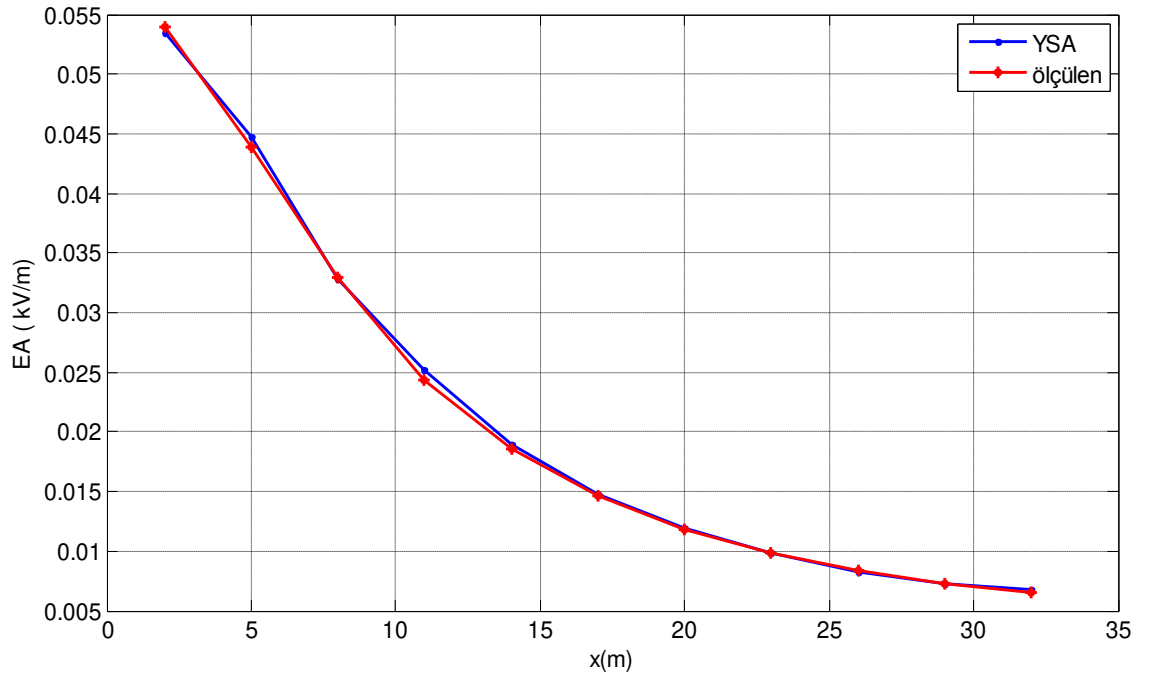
31.5 kV EİH için yapılan çalışmada; tek devreli, düz tertip iletken dizilimli ve swallow iletkenli Finike EİH incelemiştir. Finike Trafo merkezinde ölçülen saatlik akım değerleri baz alınarak aylık ortalama akım değerleri bulunmuş ve yük talebinin maksimum olduğu ay belirlenmiştir. Bunun yanında, yapılan ölçümler sonucu elde edilen MA değerleri, normalize edilmiştir. YSA yardımıyla oluşturulan ağ' a sırasıyla EA ve MA tahmini için gerekli veriler girilmiştir. EA tahmini için ağ' ın eğitimi sırasında, eğitim veri seti olarak değişen x ve y değerleri girilmiş olup hedef veri setiyse ölçülen EA değerleriyle oluşturulmuştur. MA tahmininde ise eğitim veri seti olarak y sabit alınırken (1.8 m), x ve I değerleri değiştirilmiş, hedef veri setiyse MA değerlerinden oluşturulmuştur.



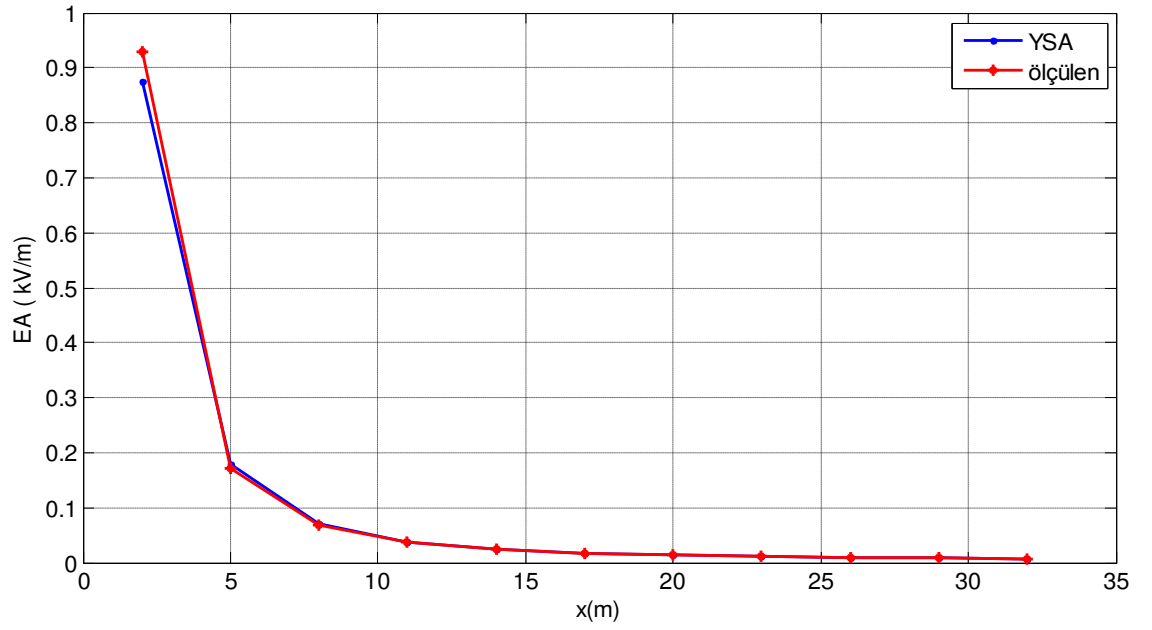
Şekil 4.6. 31.5 kV tek devre OG hattı için 2010 yılı manyetik alan ve akım değişimi

4.4.1.1. 31.5 kV tek devre orta gerilim hattı EA tahmini

Oluşturulan ağ çalıştırılmış olup, eğitim doğruluk oranı %100, test doğruluk oranı ise %96.3636 olarak bulunmuştur. Eğitilen ağ ile elde edilen EA' nın değişim grafiği Şekil 4.7' de verilmiştir. İncelenen hatta iletkenler düzlem dizilim geometrilidir.



A)y=0.8 m için



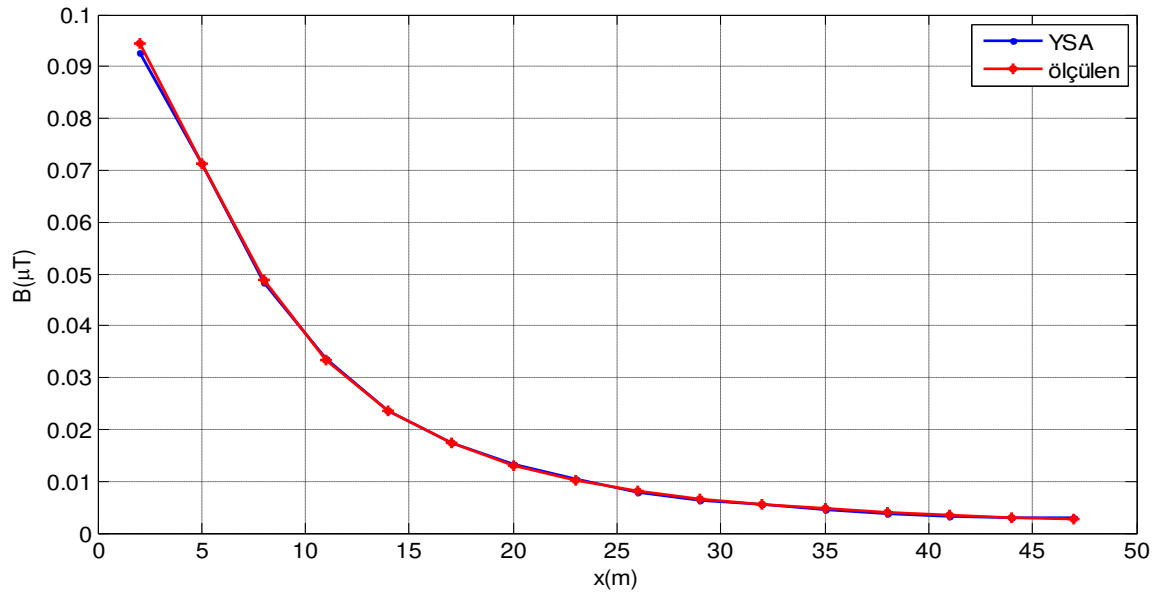
B)y=8.5 m için

Şekil 4.7. 31.5 kV tek devre hattın merkezinden uzaklığa bağlı olarak EA değişimi

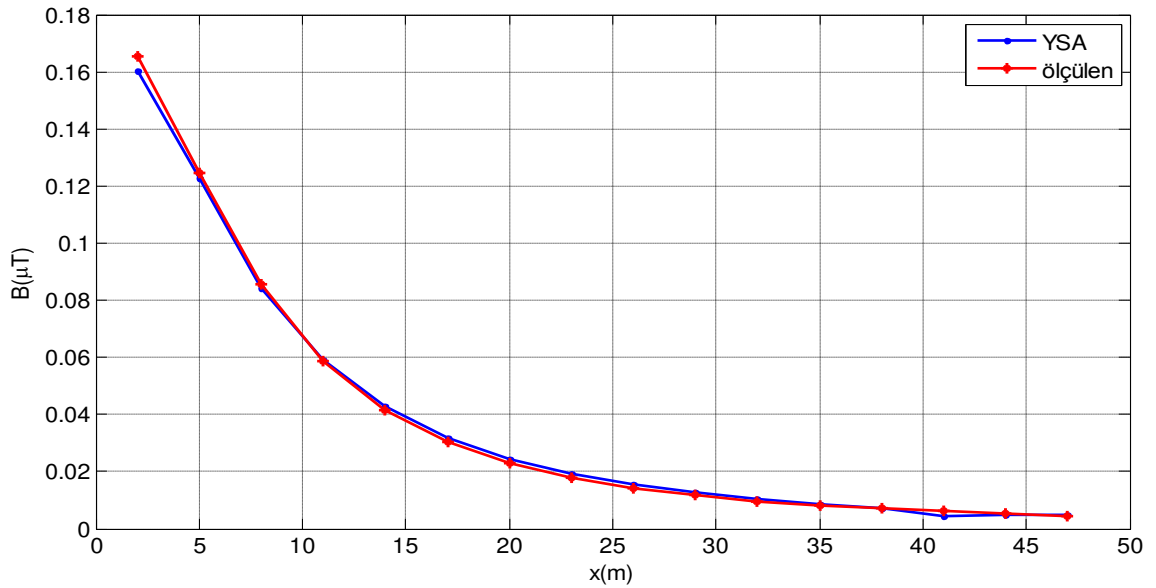
Şekil 4.7.A' dan görüldüğü gibi, yer seviyesinden $y= 0.8$ m yükseklikte, hattın ekseninden yatayda uzaklaşıldıkça EA şiddetinde belirgin bir azalma görülmektedir. Yer seviyesinden $y= 8.5$ m yükseklik değeri için x değerinin 2-32 m aralığında değişimine karşılık oluşan EA (kV/m) şiddeti ise Şekil 4.7. B' de gösterilmiştir.

4.4.1.2. 31.5 kV tek devre orta gerilim hattı MA tahmini

$y = 1.8$ m için x ' in değişimine bağlı olarak (2-47 m aralığı) hattın ekseninden yatayda farklı uzaklıklara göre oluşan MA tahmini yapılmıştır. Şekil 4.8' de ölçülen farklı iki akım değeri için oluşturulan ağı eğitilmesi sonucu elde edilen YSA tahmin değerleri verilmiştir. Şekil 4.8.A hat akımının $I=21.73$ A olduğu duruma karşılık MA değişimini temsil ederken Şekil 4.8.B ise $I=38$ A hat akımına karşılık gelmektedir.



A) $I=21.73$ A için



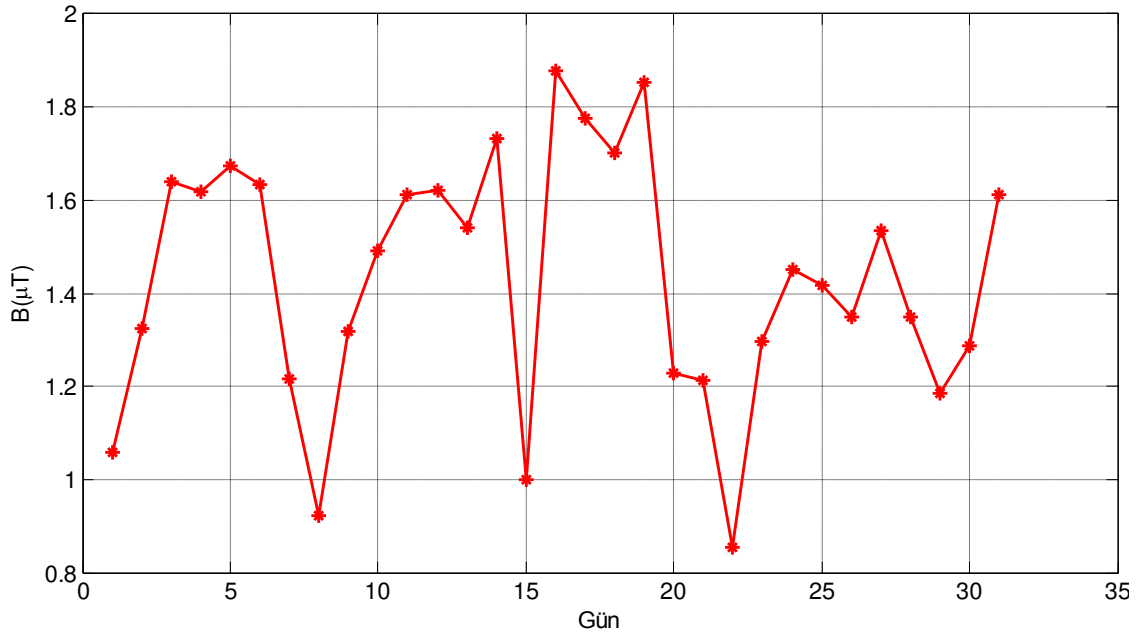
B) $I=38$ A için

Şekil 4.8. 31.5 kV tek devre hattın merkezinden uzaklığa bağlı olarak 2 farklı akım değeri için manyetik alan değişimi

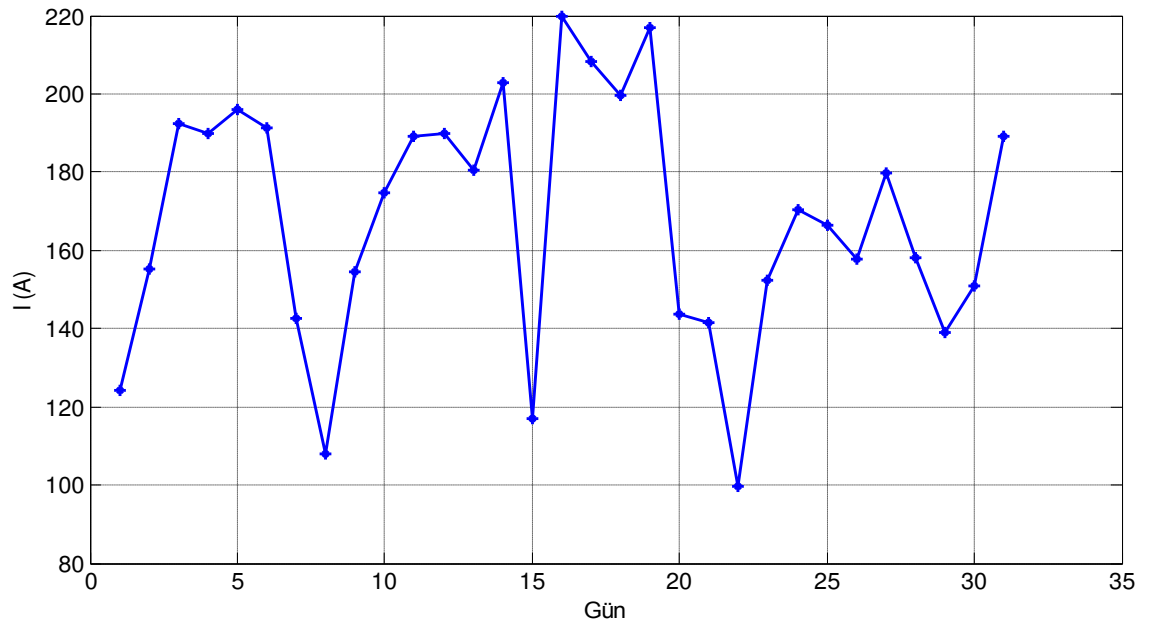
Şekil 4.8' den görüldüğü üzere, hattın yatayda uzaklaştıkça MA şiddetinde sürekli bir azalma görülmekle birlikte akım değerinin artışıyla birlikte elde edilen MA şiddeti de artış göstermektedir. En yakın test mesafesi olan 2 m için B değeri maksimum olurken, en uzak test mesafesi olan 47 m için ise MA şiddetinin değeri minimum değerini almaktadır. Ağ' ın eğitim doğruluk oranı %100 olarak bulunurken test doğruluk oranı ise % 98.9583 olarak belirlenmiştir.

4.4.2. 154 kV tek devre yüksek gerilim hattı

Bu çalışma için, 154 kV tek devreli Kemer- Finike hattı kullanılmıştır. Sistem düz tertip, tek devre, 477 MCM iletkenlidir. Üzerinde çalışılan direk, D tipi taşıyıcı direktir. Bu çalışmada da yine MA şiddeti tahmininde $y=1$ m olarak sabit alınmış olup x ve I değerleri değiştirilerek ağ eğitilmiştir. x ve y değerlerinin değişimine bağlı olarak EA şiddeti bulunmuştur. 31.5 kV tek devreli sistemde olduğu gibi yıllık ölçüm değerleri esas alınmıştır. Ancak; bu kısımda 31.5 kV tek devreli sistemden farklı olarak maksimum yükün çekildiği ay bulunarak, bu ay için günlere göre oluşan MA değişimi ile I değerleri arasındaki ilişki incelenmiştir.



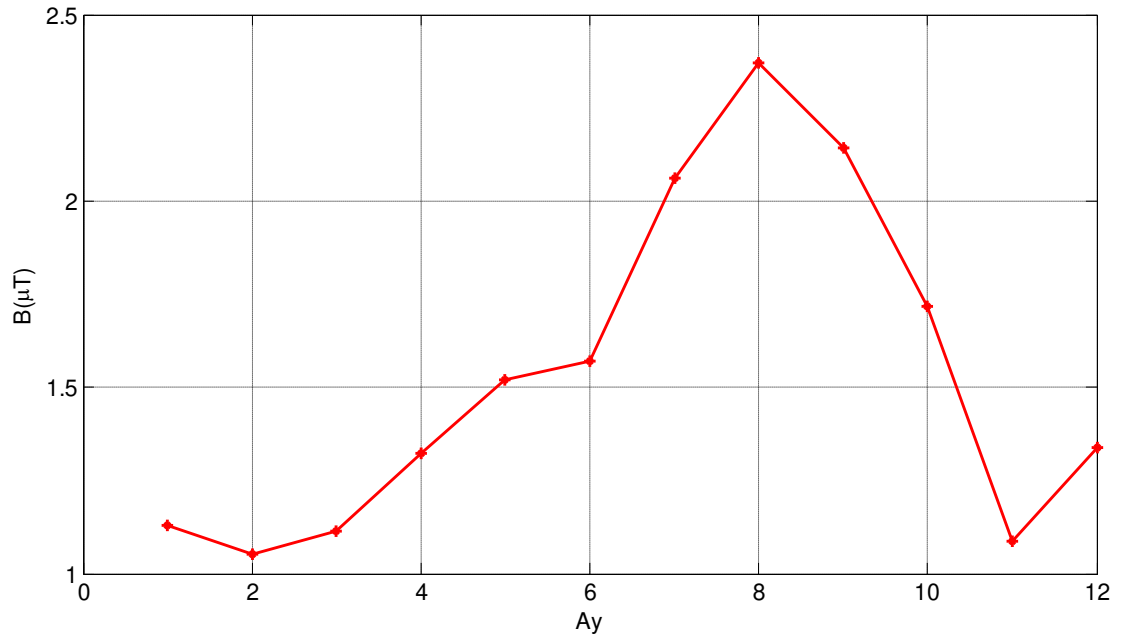
A) MA şiddeti değişimi



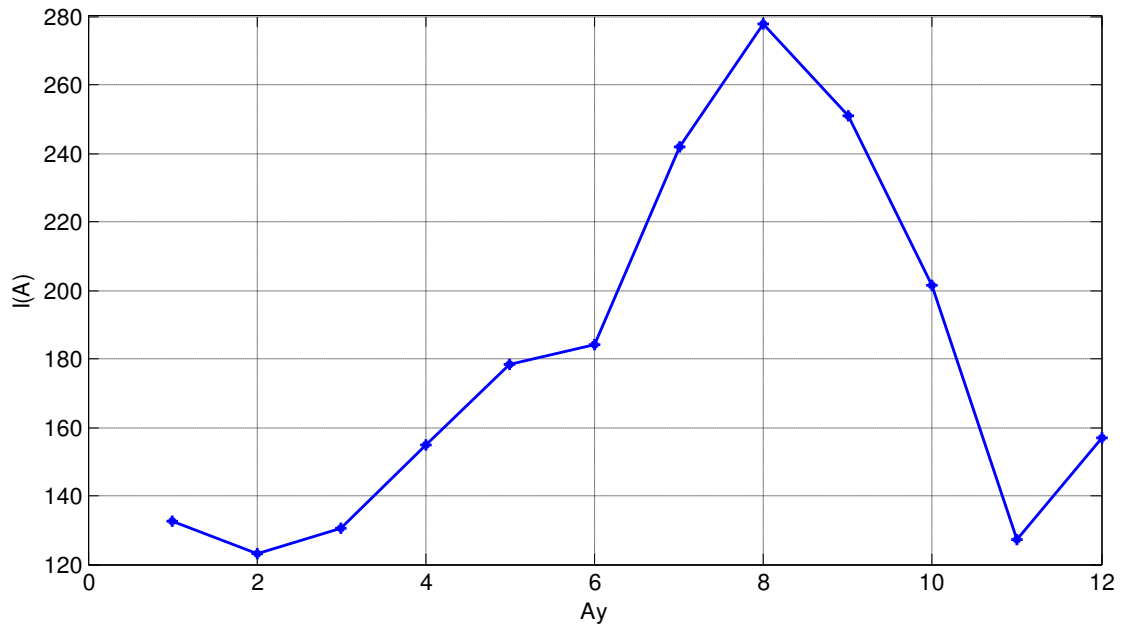
B) Akım değişimi

Şekil 4.9. 154 kV tek devre YG hattı için aylık bazda manyetik alan ve akımın değişimi (2010 yılı için)

Şekil 4.9' dan görüldüğü üzere, MA şiddeti ve akım arasında beklendiği gibi orantılı bir ilişki mevcuttur. Çalışma yapılan hat için maksimum yükün çekildiği ay, yapılan ölçümler sonucunda ağustos olarak bulunmuş olup, 15. ve 19. günler arasında tüketimin yoğun olmasından dolayı bu zaman dilimindeki MA şiddetinin daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Ölçümler hattın hemen altında gerçekleştirilmiştir.



A) MA şiddeti değişimi



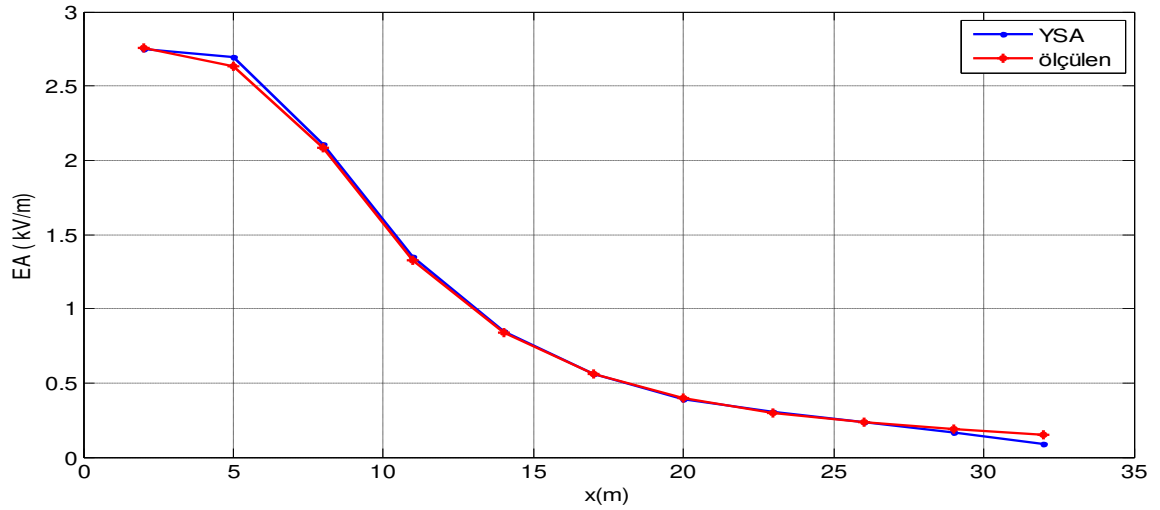
B) Akım değişimi

Şekil 4.10. 154 kV tek devre YG hattı için manyetik alan şiddeti ve akım arasındaki ilişki (2010 yılı için)

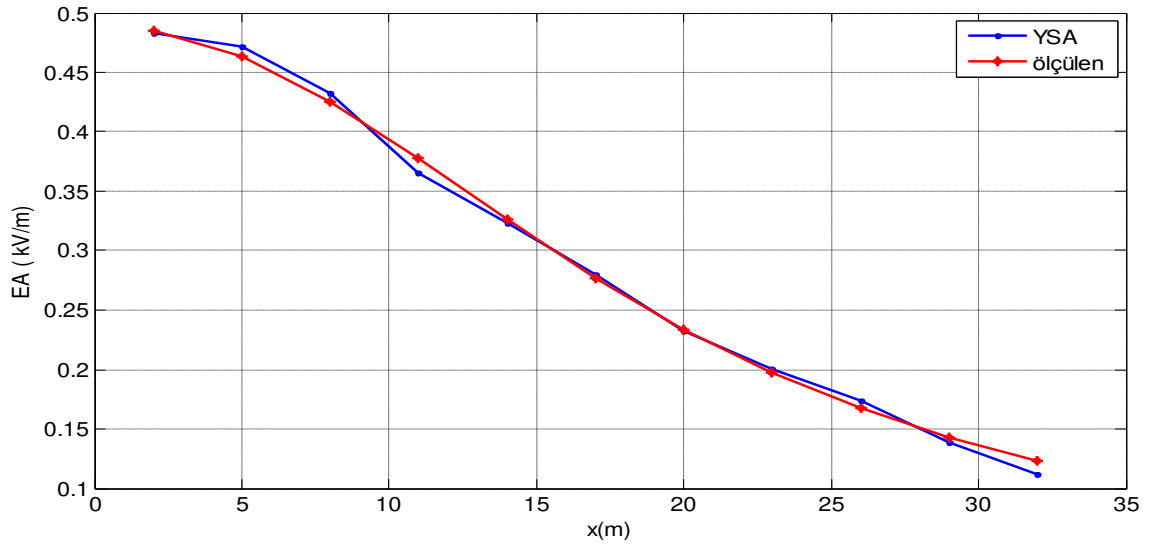
Şekil 4.10' dan görüldüğü üzere, MA şiddetinin minimum olduğu ay Şubat iken maksimum olduğu ay Ağustostur.

4.4.2.1. 154 kV tek devre yüksek gerilim hattı EA tahmini

EA tahminindeki eğitim doğruluk oranı % 100 olmakla birlikte test doğruluk oranı %90.9091 olarak bulunmuştur. Yapılan eğitim sonucunda elde edilen EA değeri, $y=1$ m ve $y=12$ m için Şekil 4.11' de gösterilmiştir.



A) $y=1$ m



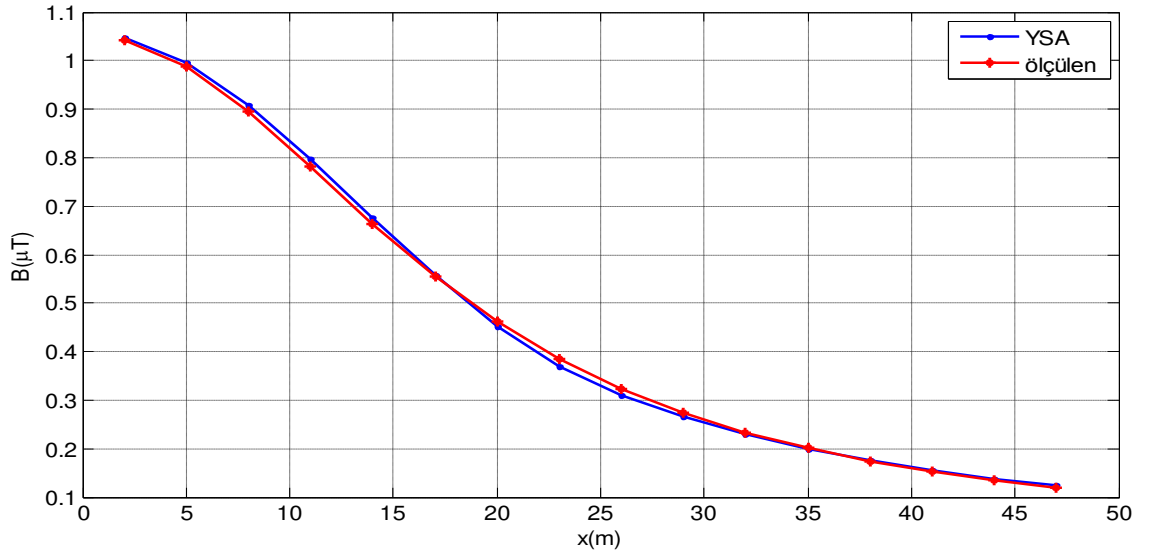
B) $y=12$ m

Şekil 4.11. 154 kV tek devre hattın merkezinden uzaklığa bağlı olarak elektrik alan değişimi

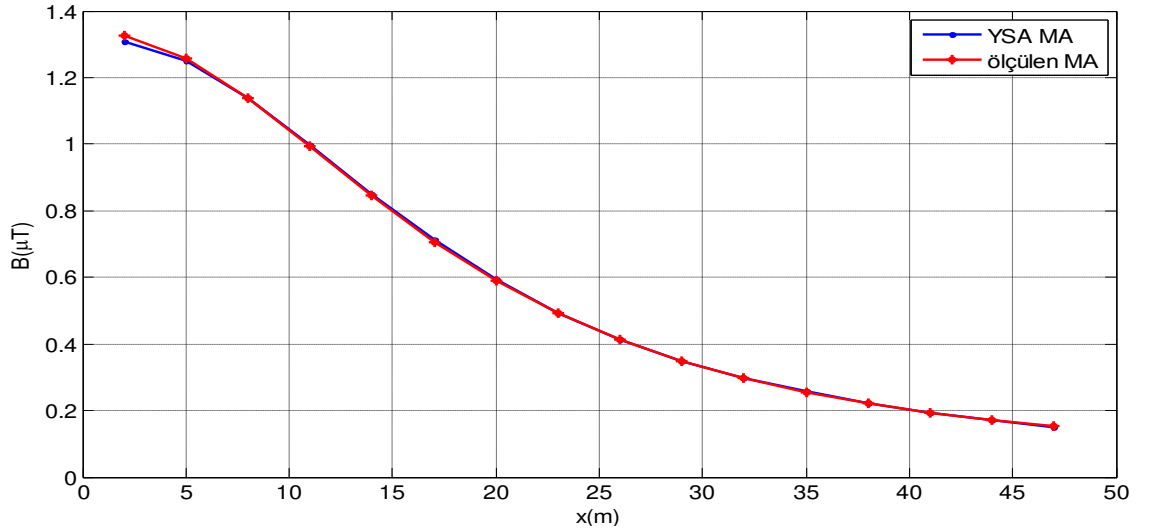
Şekil 4.11' den görüldüğü üzere, yer seviyesinden hatta doğru yaklaşıldıkça EA şiddetinde artış görülmekle birlikte, hattın yatayda uzaklaşıldıkça azalma gözlenmektedir.

4.4.2.2. 154 kV tek devre yüksek gerilim hattı MA tahmini

Değişen akım ve x değerlerine göre elde edilen B değerleri ile eğitilen ağ, % 100 eğitim ve % 100 test doğruluk oranıyla çalıştırılmıştır. Şekil 4.12' de farklı akım değerleri için ağın eğitimi sonucu elde edilen YSA tahmin değerleri ile ağ' a uygulanan test değerleri verilmiştir.



A) I=123.23 A için



B) I= 156.83 A için

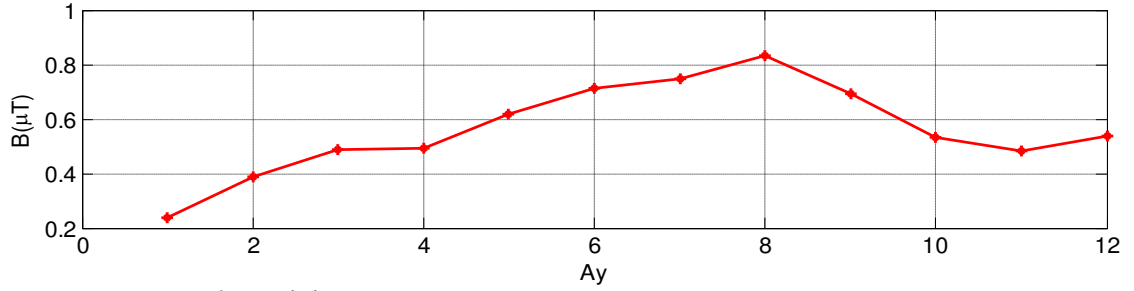
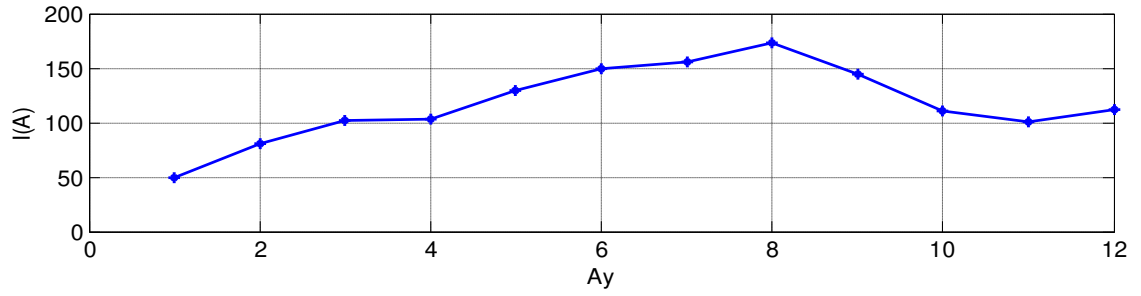
Şekil 4.12. 154 kV tek devre hattın merkezinden uzaklığa bağlı olarak manyetik alan değişimi

Şekil 4.12' den görüldüğü üzere eğitilen ağ ile tahmin edilen MA değerlerine ait grafik ile ağ' a girilen test verileri arasında yoğun bir benzerlik bulunmaktadır. Hattın

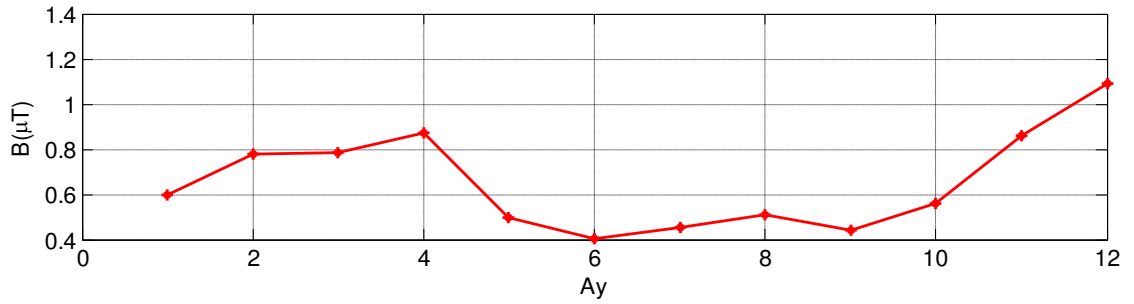
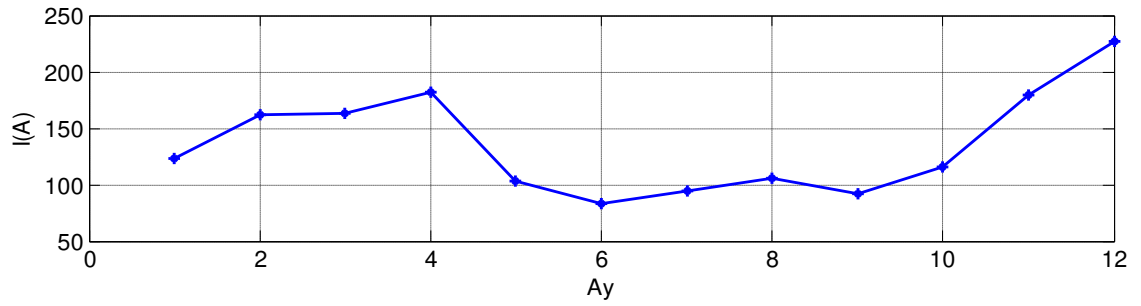
ekseninden uzaklaşıldıkça MA değeriinde azalma görölürken hattın eksenine yakın yerlerde ise bu değeri yüksek olmaktadır.

4.4.3. 31.5 kV çift devre orta gerilim hattı

Bu çalışmada Finike TM' den çıkarak Finike Bölgesinde Hasyurt ve Sahilkent Beldeleri ile Kumluca bölgesinde Mavikent beldesi, Yazır köy grubu ve Kumluca ilçe merkezini besleyen Kumluca Sağ- Kumluca Sol hatları kullanılmıştır. Hatların gerilim düzeyleri 31.5 kV olmakla birlikte hattın dizilim geometrileri delta şeklindedir. EİH' da swallow iletken kullanılmıştır. $y=1$ m alınmıştır. Hatlar için alınan I değerleri bir ay' a ait günlük çekilen akım değerlerinin ortalamasıdır. Şekil 4.13' te her iki devre için akım ve MA şiddeti değerleri arasındaki ilişki ile yıllık değişimler incelenmiştir.



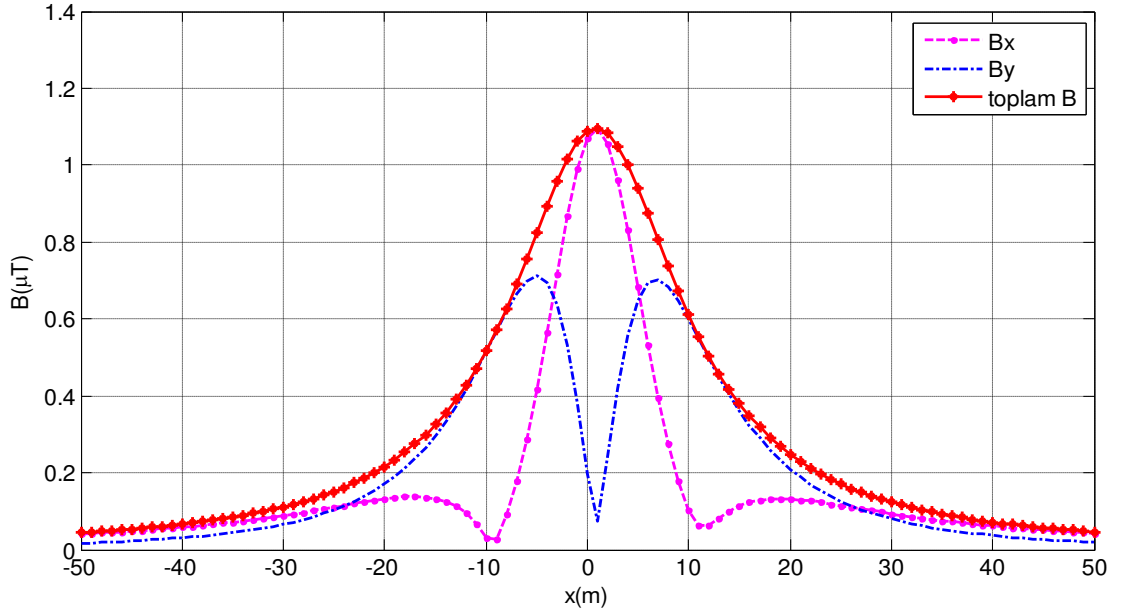
A) Kumluca sol devre için



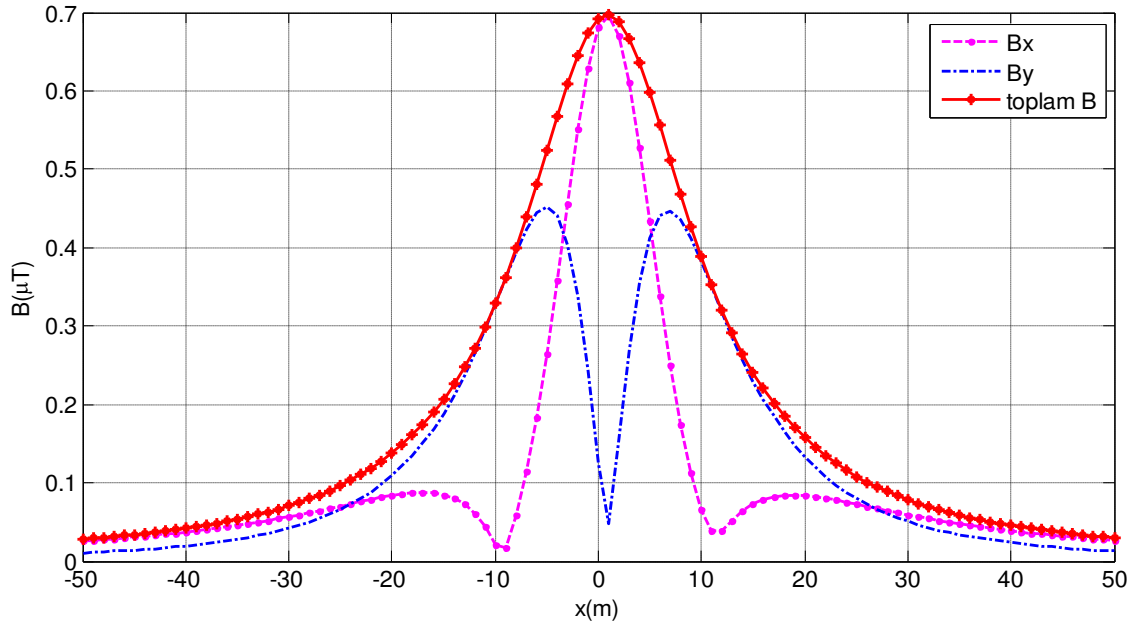
B) Kumluca sağ devre için

Şekil 4.13. Kumluca sağ- Kumluca sol çift devre hat için 12 aylık periyotta manyetik alan ve akımın değişimi

Şekil 4.13.A' da Kumluca Sol devre için yıllık akım değişimine bakıldığında maksimum yükün çekildiği Ağustos ay' ında akım değeri yaklaşık olarak 173 A' dir. Akım ile orantılı olarak MA da değişmiştir. MA değeri Ağustos ay' ında maksimum olmakla birlikte yaklaşık olarak 0.85 μT ' dir. Şekil 4.13.B' de ise Kumluca Sağ devre için maksimum yükün çekildiği ay Aralık olarak görülmekle birlikte çekilen akım değeri 226.6 A olarak ölçülürken MA şiddeti ise yaklaşık olarak 1.1 μT ' dir.



A) Kumluca Sağ devre için

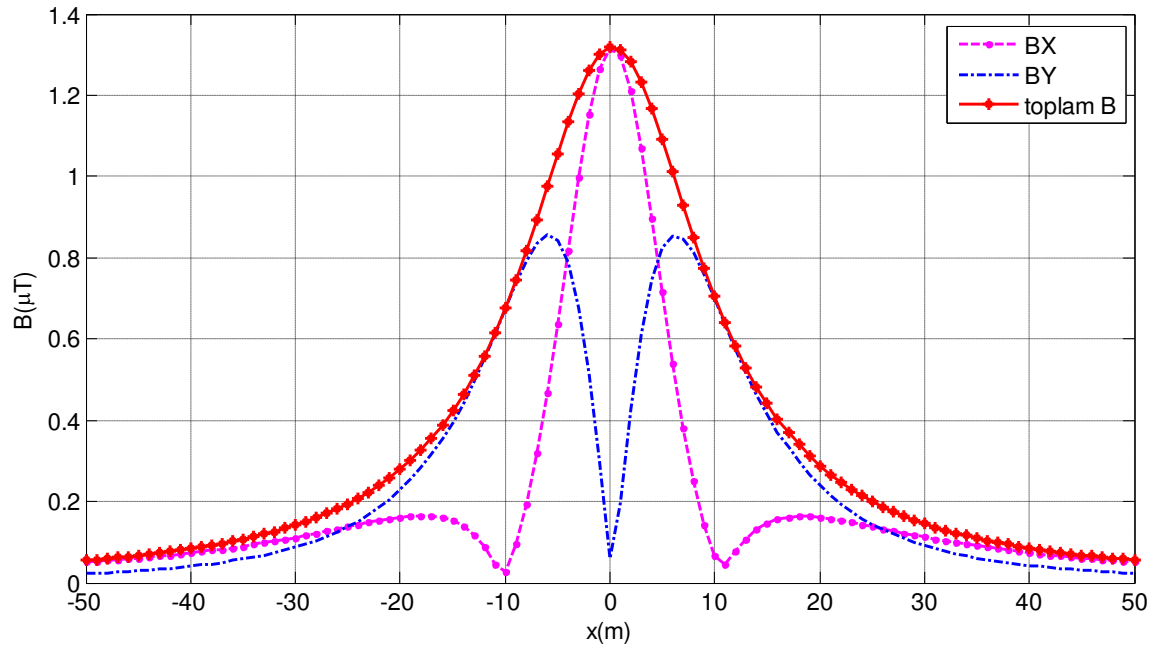


B) Kumluca Sol devre için

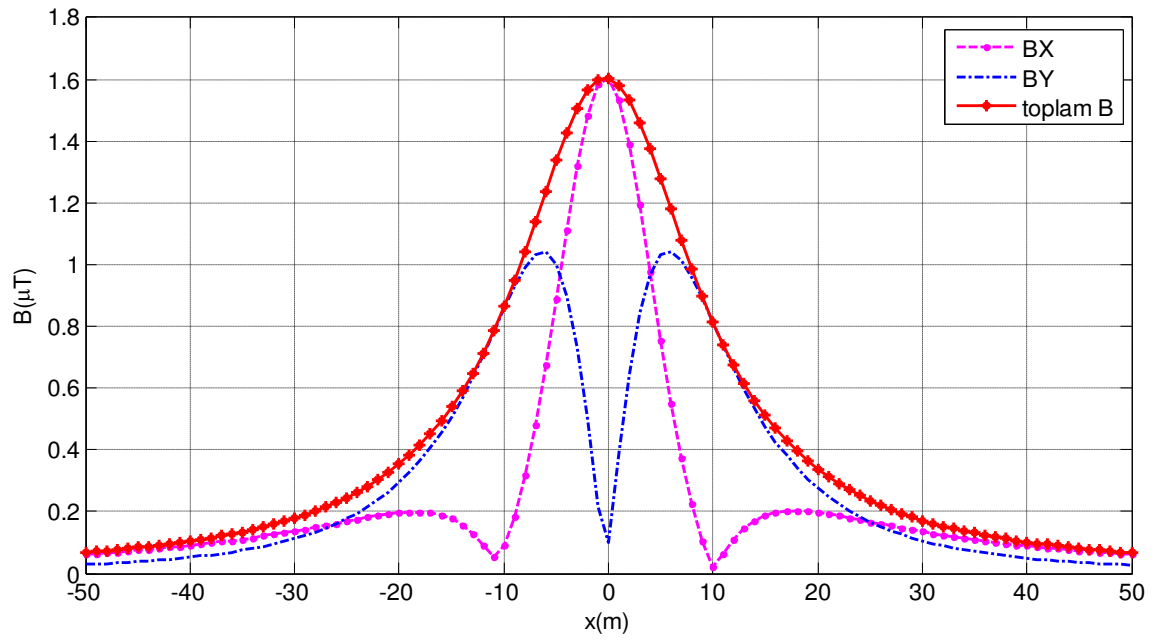
Şekil 4.14. Kumluca Sağ ve Kumluca Sol hatları için yıllık bazda manyetik alan değişimi

Şekil 4.14.A' da Kumluca Sağ devrede Ağustos ay' ı maksimum yük akımı için, Şekil 4.14.B' de ise Kumluca Sol devrede Aralık ay' ı maksimum yük akımı için MA şiddeti değişimleri yer almaktadır. Ölçümler, hattın ekseninde yerden 1 m yükseklik için hat ekseninden sağ ve sol taraflara doğru yapılmıştır. Şekillerden görüldüğü üzere hattın hemen altında toplam MA şiddeti değeri maksimum değerini alırken hattın uzaklaştıkça bu değer giderek düşmektedir. Toplam MA şiddeti değerinin x bileşeni

hattın hemen ekseninde yine maksimum değerini alırken hattın yaklaşık 10 m uzaklıktaki mesafede minimum değerine ulaşmakta, y bileşeniye hattın hemen altında minimum değerini almaktadır. Toplam MA şiddeti, x ve y bileşenlerinin toplamından oluşmaktadır. Şekil 4.15’ te sırasıyla Kumluca sol ve Kumluca sağ devrelerin maksimum yük çektiği aylar için çift devreli sistemin etrafında oluşan toplam B değerine ait değişim grafikleri verilmiştir.



A) Ağustos ay' ı için

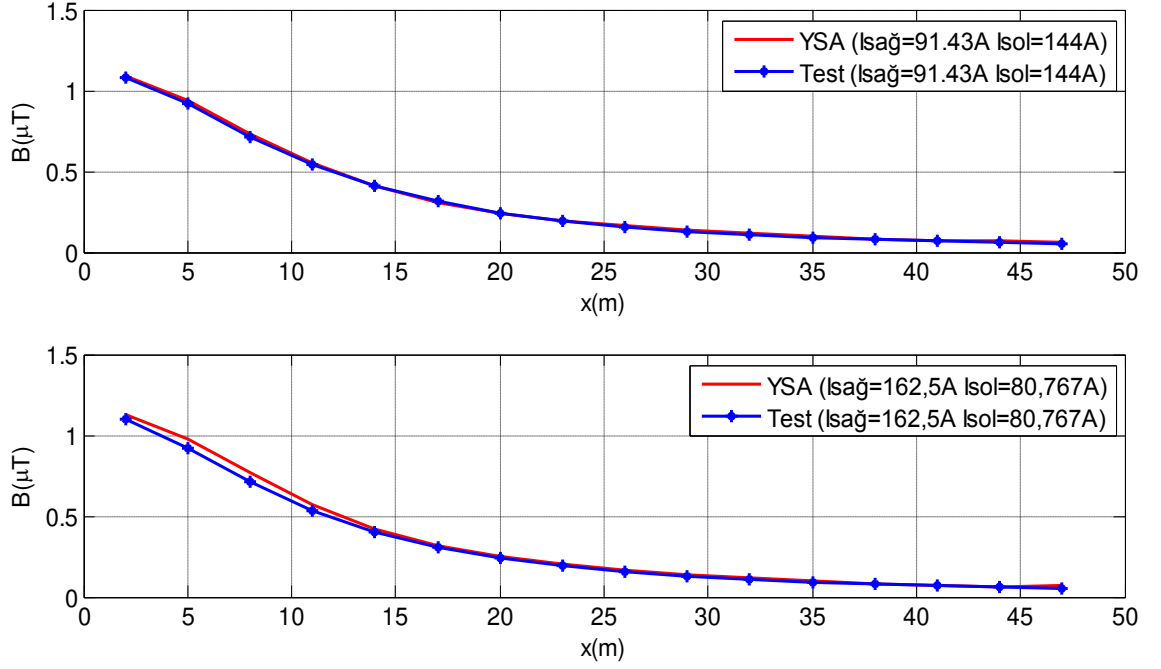


B) Aralık ay' ı için

Şekil 4.15. Kumluca Sağ- Kumluca Sol çift devre 31.5 kV hat için maksimum yükün çekildiği aylarda manyetik alan değişimi

4.4.3.1. 31.5 kV çift devre orta gerilim hattı MA tahmini

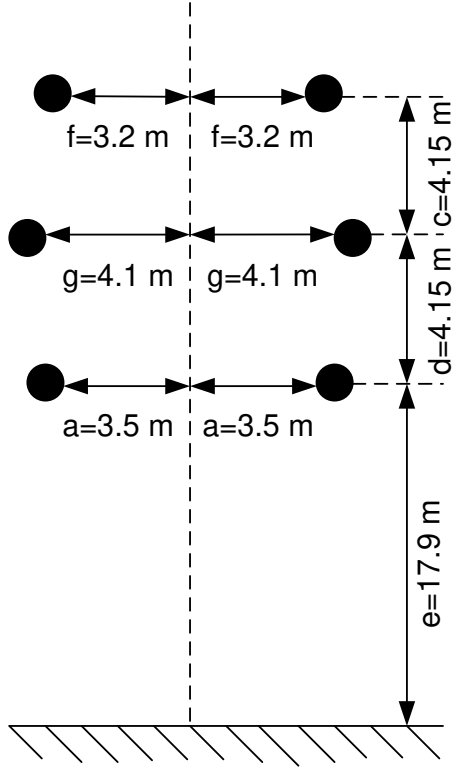
Ağ' ın eğitimi için doğruluk oranı % 100 olarak bulunurken test için ise doğruluk oranı % 95 olmaktadır.



Şekil 4.16. 31.5 kV çift devre hatta uzaklığa bağlı olarak YSA manyetik alan değerleri ile test manyetik alan değerleri arasındaki ilişki

4.4.4. 154 kV çift devre yüksek gerilim hattı

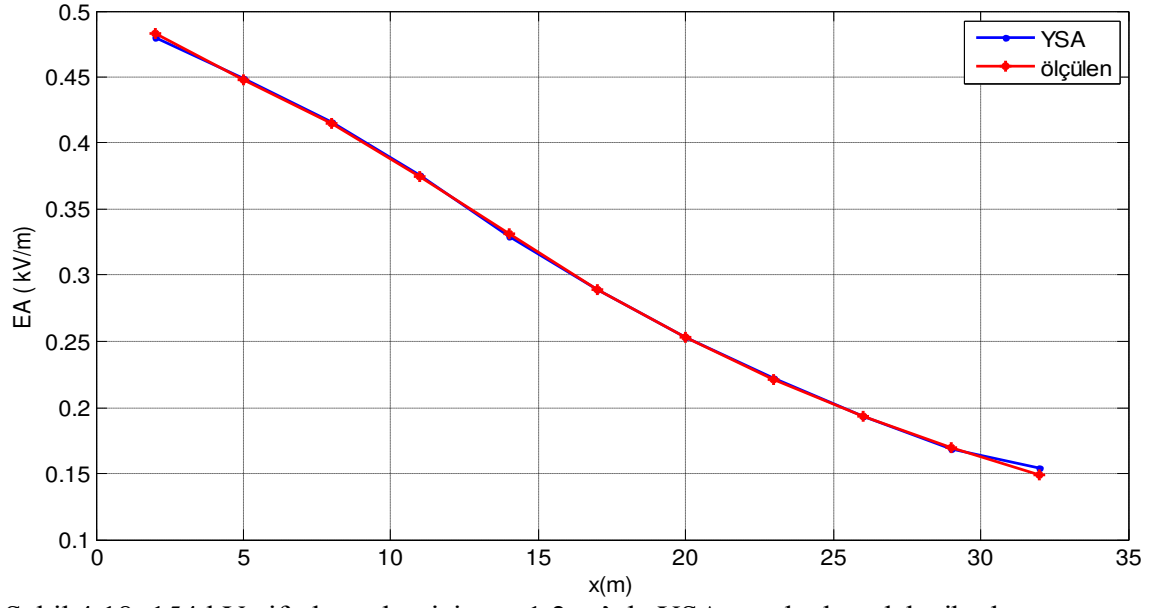
Bu kısımda, Varsak Serbest Bölge 1-2 ana hattında çalışılmıştır. Hatta T tipi taşıyıcı direk kullanılmıştır. Kullanılan hatta ait yükseklik değerleri ve hattın karakteristiği Şekil 4.17' de verilmiştir.



Şekil 4.17. 154 kV çift devre hattın karakteristiği

4.4.4.1. 154 kV çift devre yüksek gerilim hattı EA tahmini

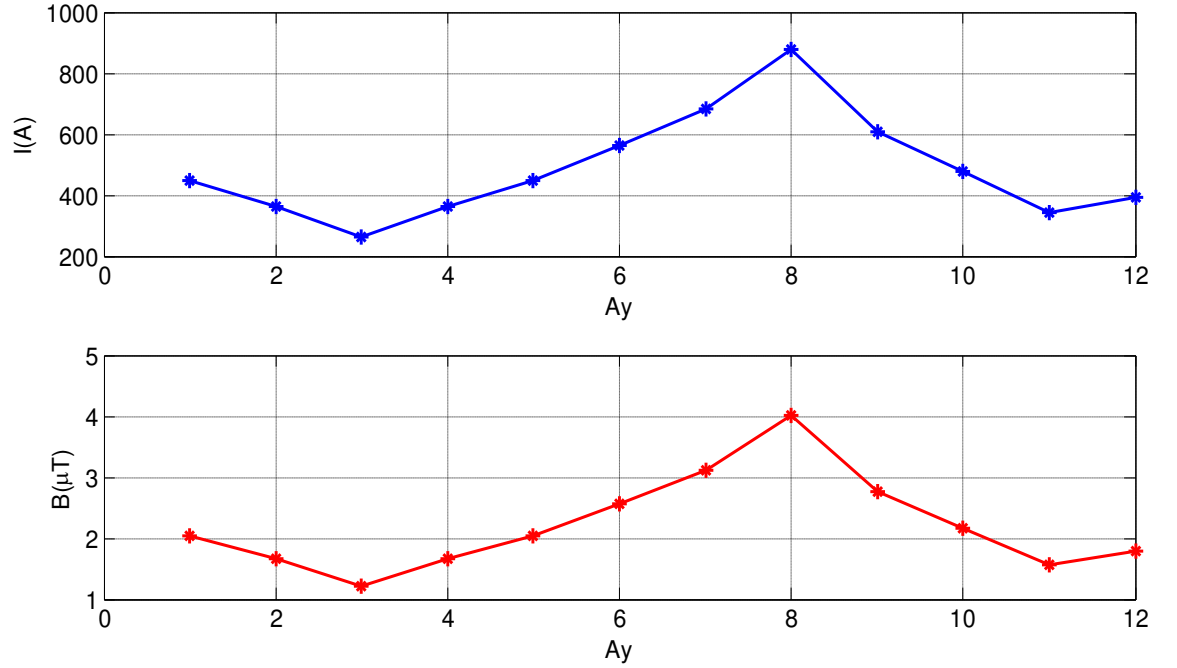
Çalışmada değişen x ve y değerlerine göre EA ölçümleri yapılmış ve ağ, bulunan EA değerlerine göre oluşturularak eğitilmiştir. EİH’ da kullanılan iletken 795 MCM Drank, iletkenlerin dizilim geometrisi delta olmakla birlikte hat çift devreli sistemden oluşmaktadır. Ağ’ ın eğitimi sonrası elde edilen doğruluk oranı % 100 iken test doğruluk oranıysa % 95.5556’ tır.



Şekil 4.18. 154 kV çift devre hat için $y= 1.2 \text{ m}$ ’ de YSA ve ölçülen elektrik alan arasındaki ilişki

4.4.4.2. 154 kV çift devre yüksek gerilim hattı MA tahmini

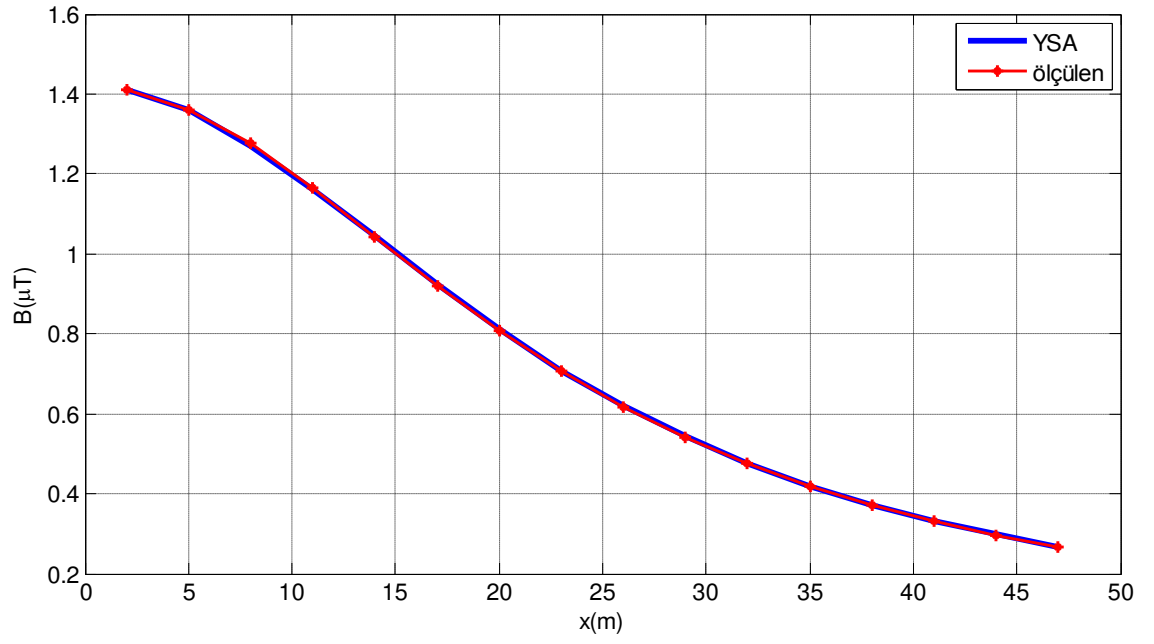
Çalışılan EİH için 2010 yılına ait MA şiddeti ve akım değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.19’ da verilmiştir.



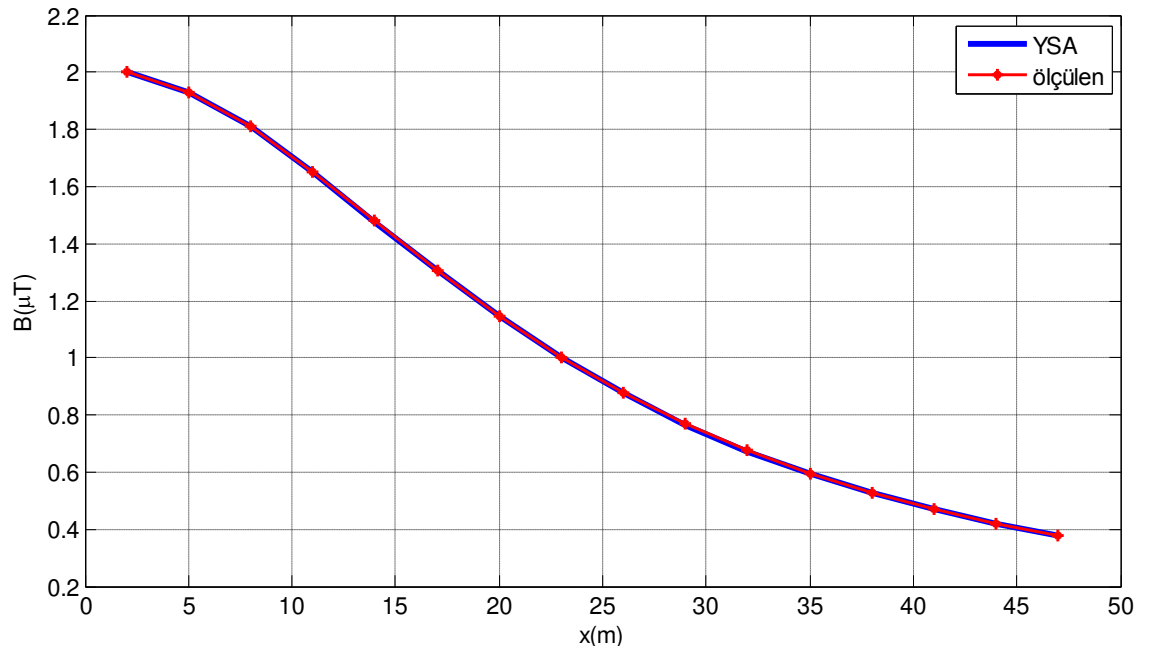
Şekil 4.19. 154 kV çift devre hattın merkezinden uzaklığa bağlı olarak yıllık bazda manyetik alan ve akım arasındaki ilişki

Şekil 4.19' da yapılan ölçümler $y=0$, $x=0$ noktalarında yapılmıştır. Grafiğe bakıldığında hattın Ağustos ay' ında maksimum kapasiteye ulaştığı görülmektedir. Ayrıca; B ile akım değerleri arasında aylara göre bakıldığında bir doğru orantı bulunmaktadır.

Çalışmada YSA tahmini için kullanılan akım değerleri ise maksimum yükün çekildiği Ağustos ayına göre alınmıştır. Ağustos ayının her günü için 6 farklı saatte ölçüm yapılmış, her gün için ortalama akım değeri hesaplanmıştır. Ortalama akım değerlerinin hesabıyla 31 adet yeni I değeri bulunmuştur. Oluşturulan ağ' da eğitim sonrası elde edilen doğruluk oranı % 100 iken test doğruluk oranı % 97.1154' dir. Hassasiyet oranı ise % 0.01 alınmıştır. Çalışmanın sonunda YSA tahmin değerleri ile elde edilen B ölçüm değerleri karşılaştırılmıştır. $I=473.36078$ A ve $I=671.36$ A akım değerleri için elde edilen YSA sonuçları ile ölçüme dayalı test dataları arasındaki ilişki Şekil 4.20' de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi hattaki akım değerinin yükselmesi MA değerini de yükseltmektedir. Şekil 4.20.B' de hattın 45 m uzaklıktaki MA değeri $0.4 \mu T$ ' nin üstünde tespit edilmiştir. Yüksek akım çekilen hatlarda yaklaşım mesafeleri $0.4 \mu T$ için belirlenmelidir.



A) I=473.36078 A için

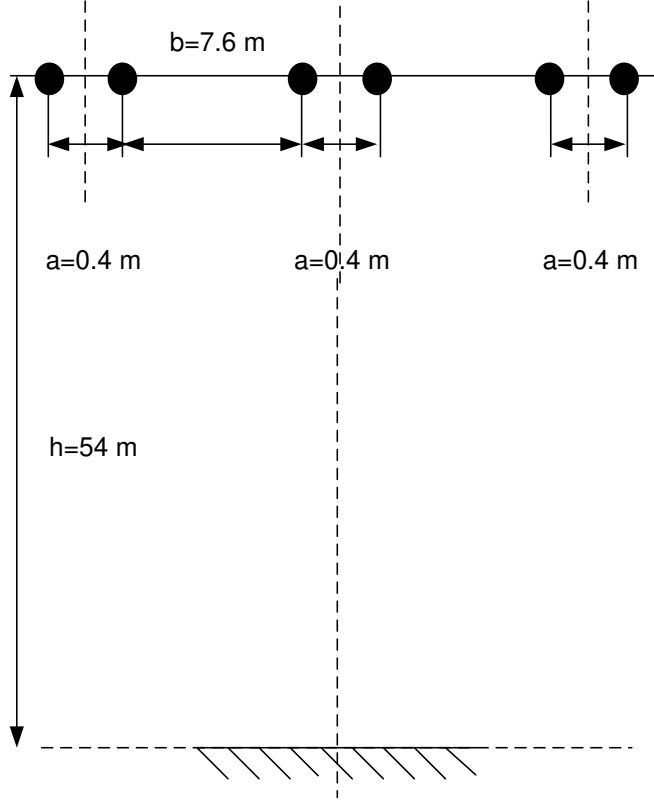


B) I=671.36 A için

Şekil 4.20. 154 kV çift devre hattın uzaklığına bağlı olarak ölçülen ve tahmin edilen manyetik alan değerleri arasındaki ilişki

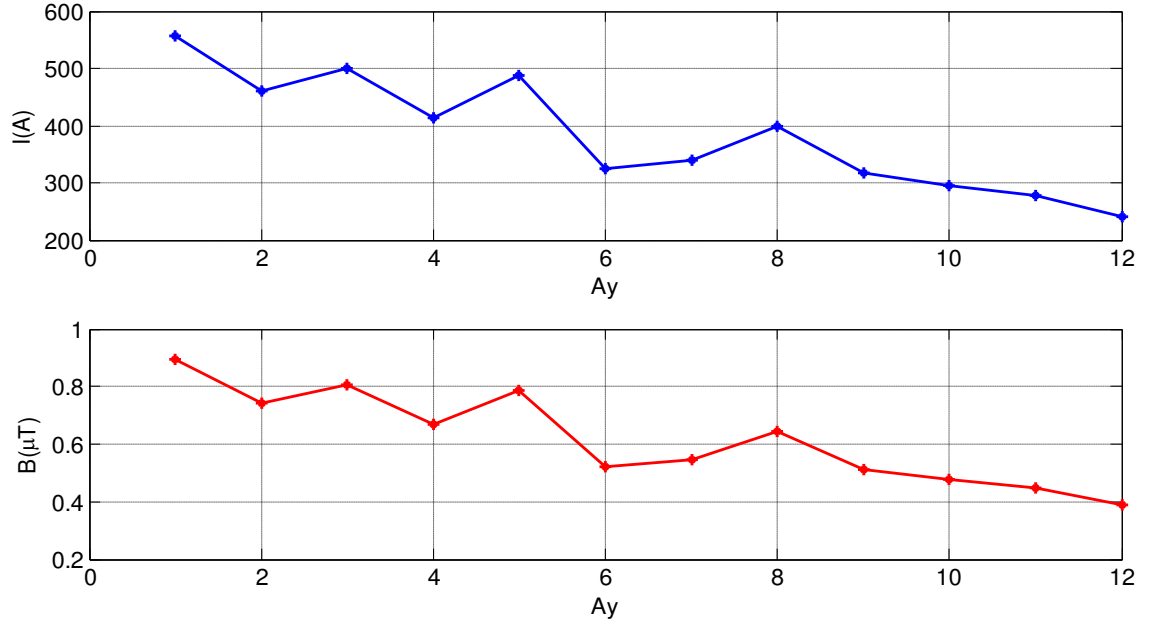
4.4.5. 380 kV çift devre çok yüksek gerilim hattı

Bu kısımda, 380 kV Oymapınar Varsak çift devreli EİH ile çalışılmıştır. Kullanılan sistem çift devreli olmakla birlikte 2x954 MCM iletkenli TA1 tipi taşıyıcı kafes direklidir. Hattın karakteristiği Şekil 4.21’ de verilmiştir.

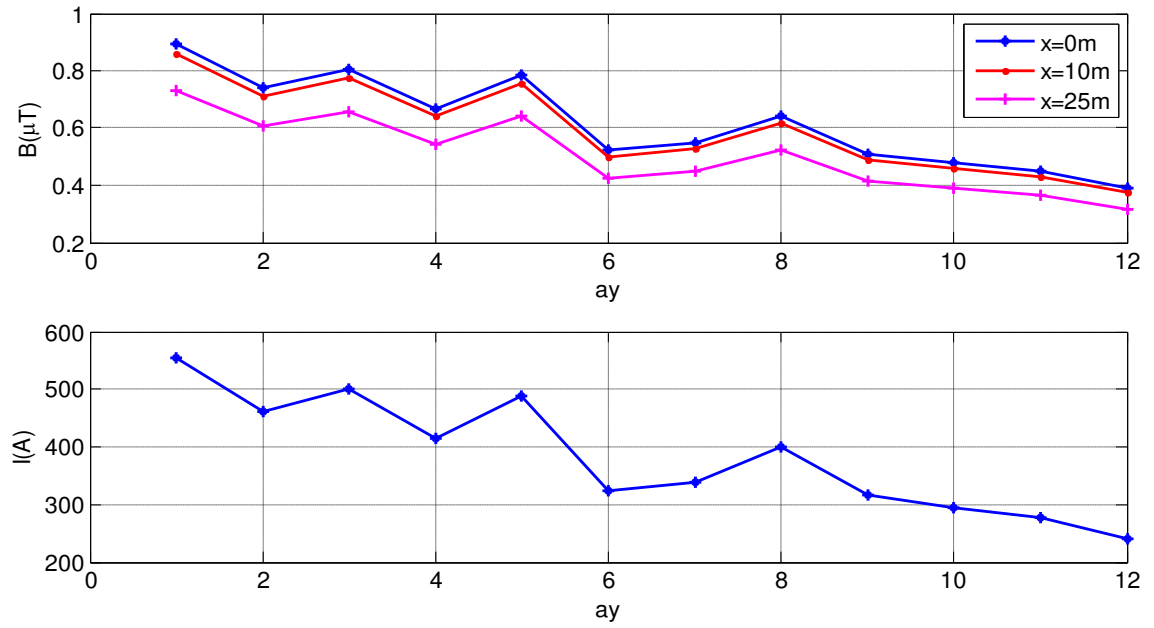


Şekil 4.21. 380 kV çift devre hattın karakteristiği

Öncelikle çalışılan hatta ait ölçülen yıllık bazda B-I arasındaki ilişki incelenmiştir. Sırasıyla $y=0$ $x=0$, $y=0$ $x=0,10,25m$, $y=1$ $x=0,10, 25m$ için ölçülen yıllık akım ve B değerleri incelenmiştir. Şekil 4.22’ de $x=0$ $y=0m$ için MA şiddeti ve akım arasındaki ilişki görülmektedir.

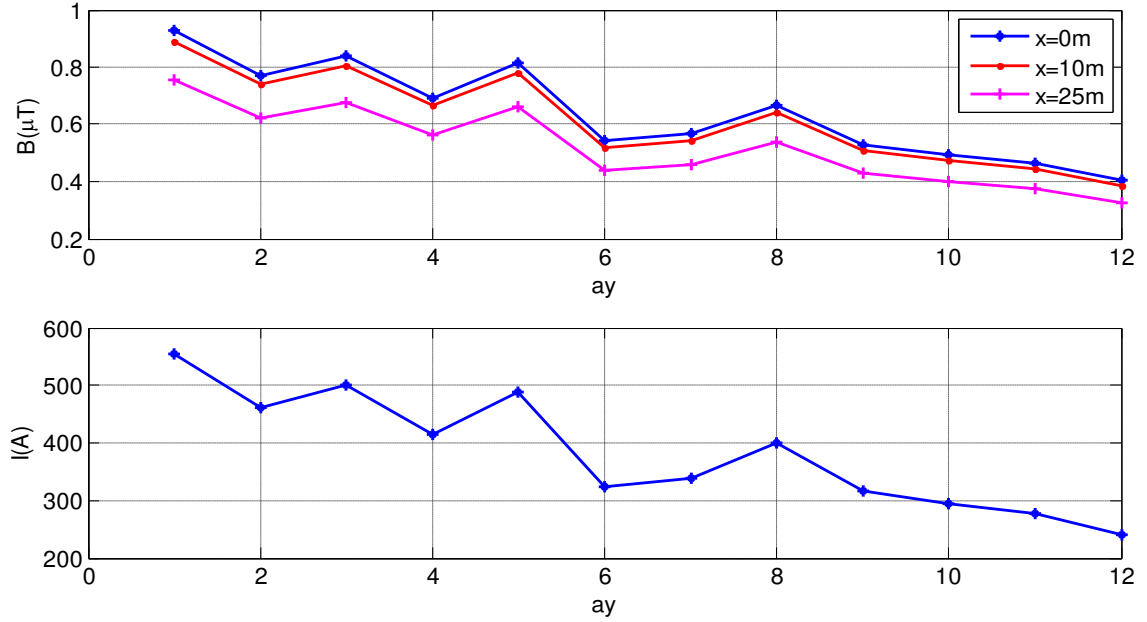


Şekil 4.22. 380 kV çift devre hat için $x=0m$ $y=0 m$ ' de yıllık bazda manyetik alan ve akım değişimi



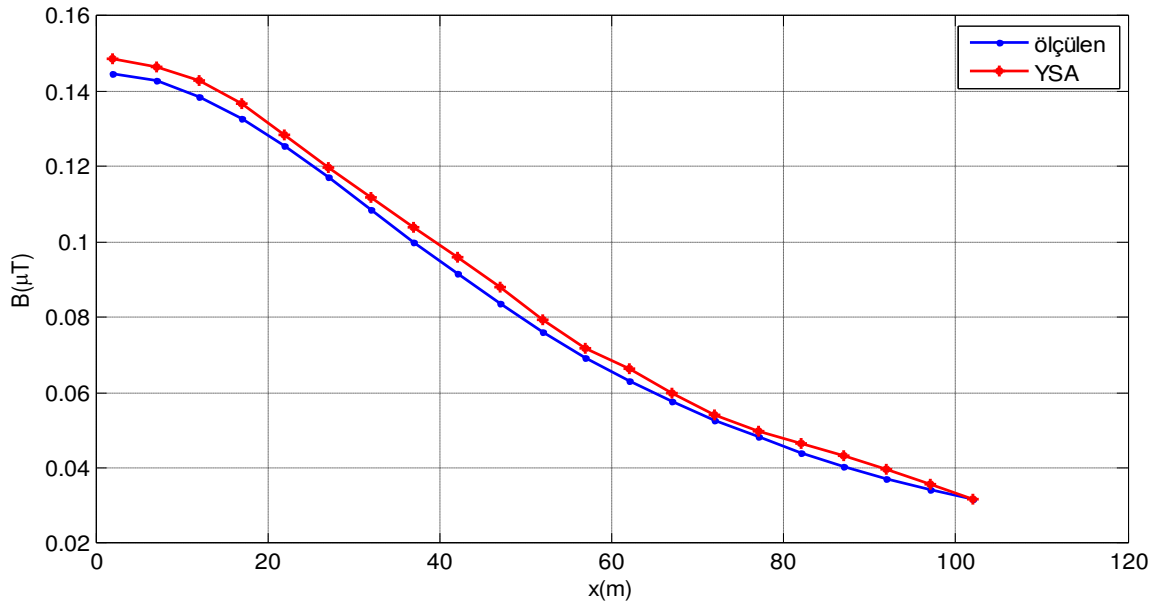
Şekil 4.23. $y=0 m$ için $x=0, 10$ ve $25 m$ ' de yıllık bazda manyetik alan ve akım değişimi

Şekil 4.24' te ise $y=1$ m için x ' e göre değişen MA şiddeti ve akım değişimi verilmiştir.

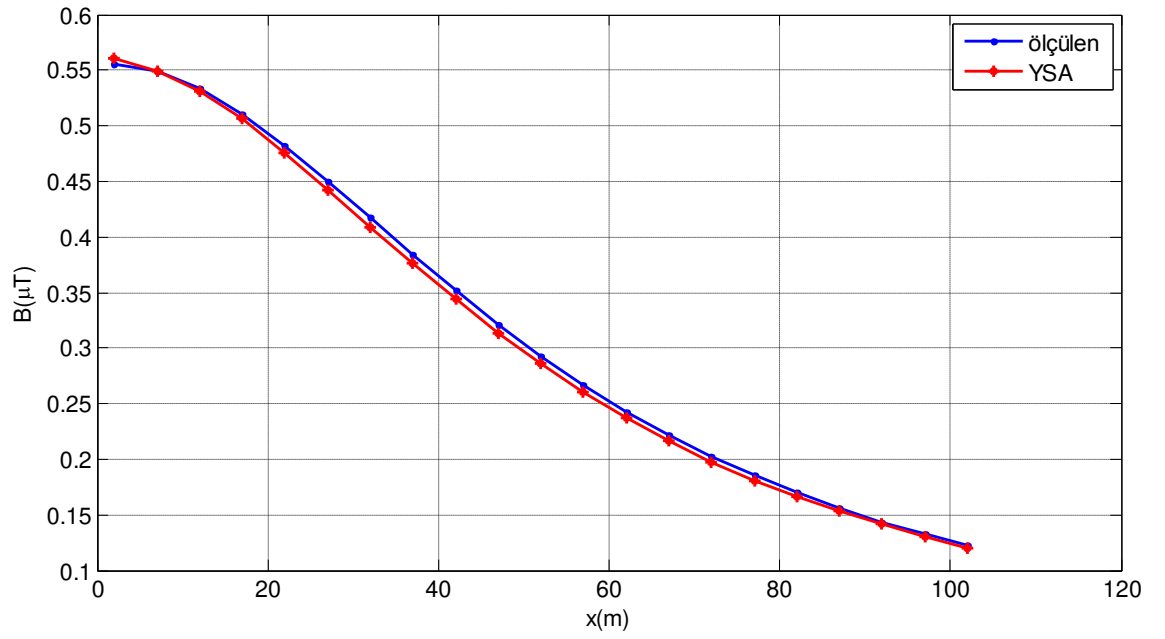


Şekil 4.24. $y=1$ m için $x=0, 10, 25m$ ' de yıllık bazda manyetik alan ve akım değişimi

Hatta yapılan çalışmalardan elde edilen ölçülmüş akım değerleri değerlendirildiğinde hattın maksimum yükü Ocak ay' ında çektiği görülmüştür. Dolayısıyla, ağ' ın eğitimi için Ocak ay' ı verileri kullanılmıştır. Gün içerisinde 6 farklı saatte ölçülen akım değerleri esas alınarak ölçüm yapılan gün için I değerlerinin maksimum değerleri alındı. Bulunan ortalama akım değerleri, hattın karakteristiğine uygun olarak oluşturulan yazılıma girildi ve bu I değerleri için hattın hemen altında $y=0$ m noktasında, yatayda ise farklı x mesafelerine göre B değerleri bulundu. Tahmin için ağ' ın eğitimi esnasında $x = 0:5:100$ m alınırken test seti oluşturulurken ise $x=2:5:102$ m olarak seçildi. Ağ' ın oluşumu esnasında veri setinde ilk 272 veri eğitim, son 224 veri ise test setinde kullanıldı.



A) 92.3 A için



B) 336.8198 A için

Şekil 4.25. 380 kV çift devre ÇYG hat için YSA ve test manyetik alan değerlerinin karşılaştırılması

4.5. Elektromanyetik Alan Ölçümleri

Programın girişlerine uygulanan EA ve MA değerleri, ölçüm cihazı yardımıyla tespit edilen değerlerdir. Çalışmada, EMA' ın ölçümü için ölçümlerinde CHAUVIN ARNOUX firmasının ürünü olan ve DC frekanslardan 400 kHz seviyelerine kadar ölçüm yapabilen C.A 42 EA ve MA Ölçüm cihazı EF 400 (1 V/m to 30 kV/m) elektrik alan probu ile birlikte kullanılmıştır. Özellikle enerji nakil hatları ve trafoların çevresindeki manyetik alan seviyelerinin ölçümlerinde kullanılan C.A 42 MA Ölçüm Cihazı ve EF 400 elektrik alan prob bağlantısı Şekil 4.26' da gösterilmiştir.



Şekil 4.26. EA ve MA ölçüm cihazı

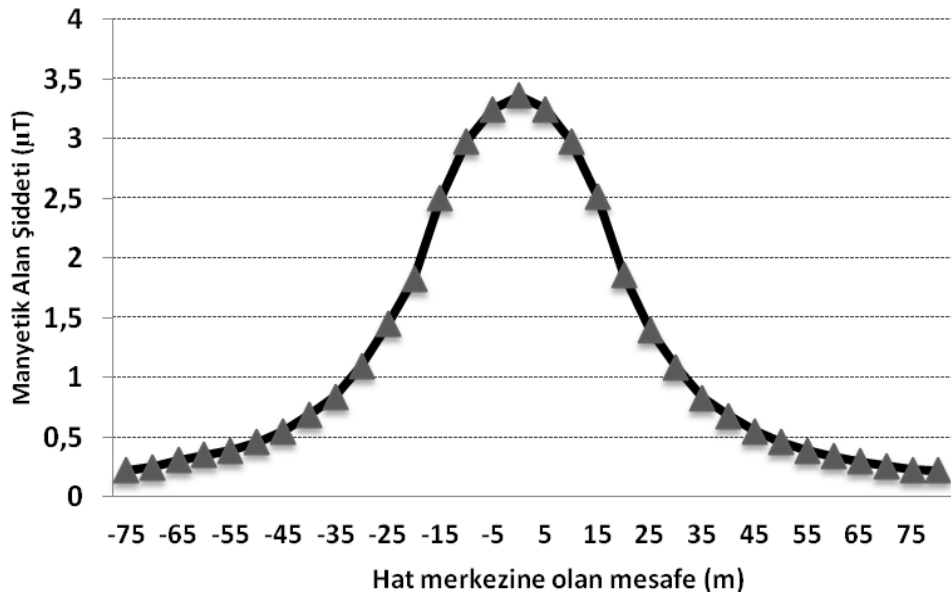
MA ölçümlerinde HIOKI firmasının ürünü olan ve 10 Hz den 400 kHz seviyelerine kadar ölçüm yapabilen HITESTER 3470 Manyetik Alan Ölçüm cihazı 3471 manyetik alan sensörü ile birlikte kullanılmıştır. HITESTER 3470 MA Ölçüm cihazı IEC 62233 ve EN 50366 standartları ile uyumlu olarak dizayn edilmiştir.



Şekil.4.27. MA ölçüm cihazı

4.5.1. 380kV ve 154kV YG hatları için manyetik alan seviyeleri

Güç merkezi bağlantılı 380 kV (düz tertip ikili demet iletkenli) hat için iki direk arasında yerden 1m yükseklikte hat merkezine yatay mesafede yapılan MA ölçümleri Şekil 4.28’ de verilmiştir. Ölçümler 400 A hat akımında yapılmış ve hattın merkezinde maksimum 3.3 μ T manyetik alan değeri ölçülmüştür.

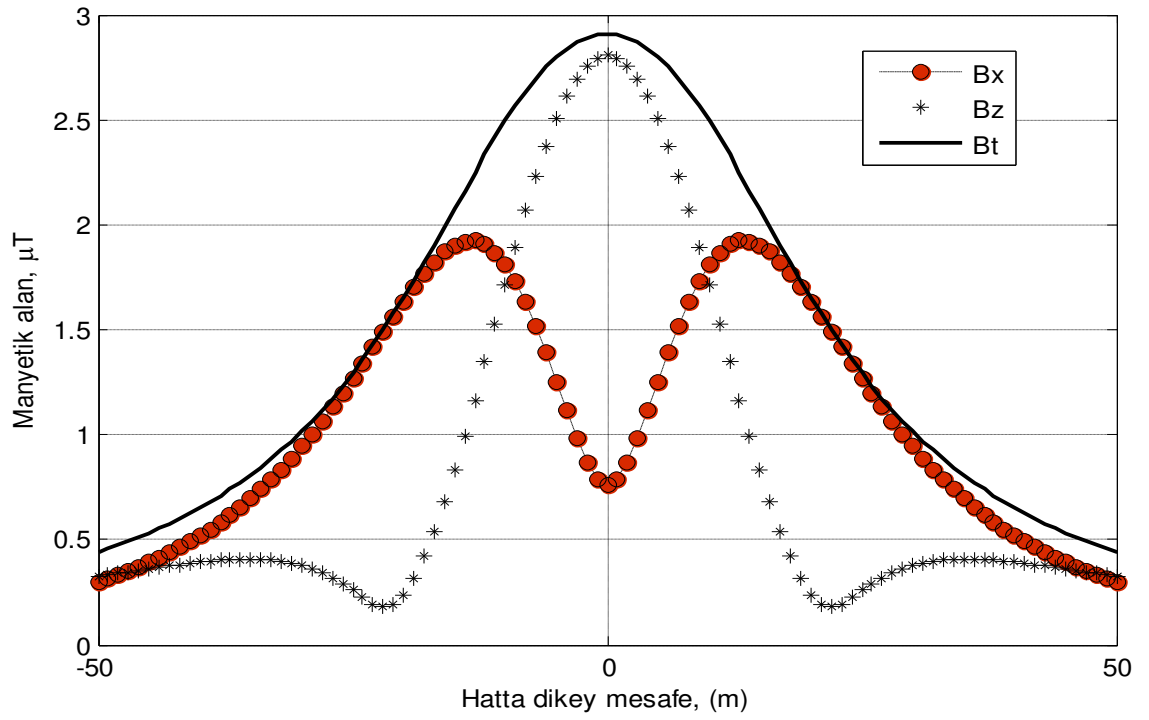


Şekil 4.28. 380 kV EİH için 400A hat akımında ölçülen MA değişimi

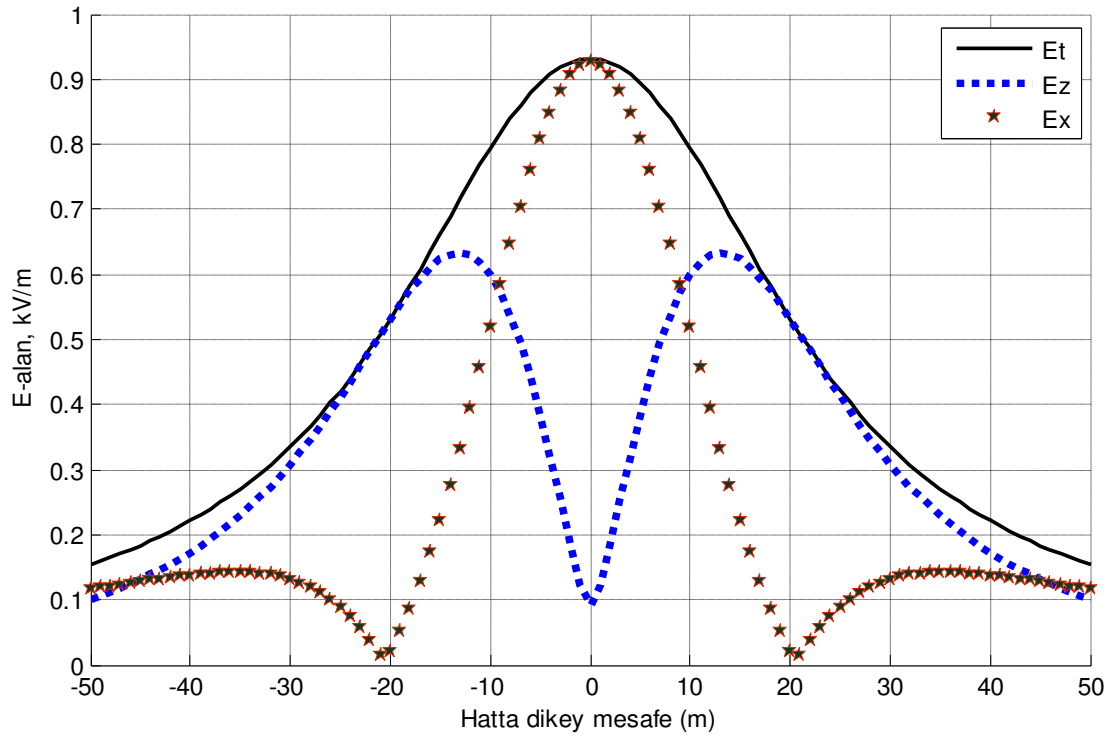


Şekil 4.29. Çalışma yapılan 380kV EİH

380 kV tek devre düz tertip EİH dikkate alınarak hat çevresinde MA ve EA bileşenlerinin değişimleri incelenmiştir. MA bileşenlerinin değişimi yerden 1m yükseklik için Şekil 4.30.A’ da verilmiştir. YBY kullanılarak hesaplanan EA değişimi ise Şekil 4.30.B’ de gösterilmiştir. Şekil 4.30.B’ de iletkenler arası açıklık 7.24 m ve yerden yükseklik 20.5 m alınmıştır. Hat iletkenlerinin y eksenine paralel olduğu kabul edilmiştir.



A) MA şiddeti bileşenlerinin değişimi (hat akımı $I=400A$)

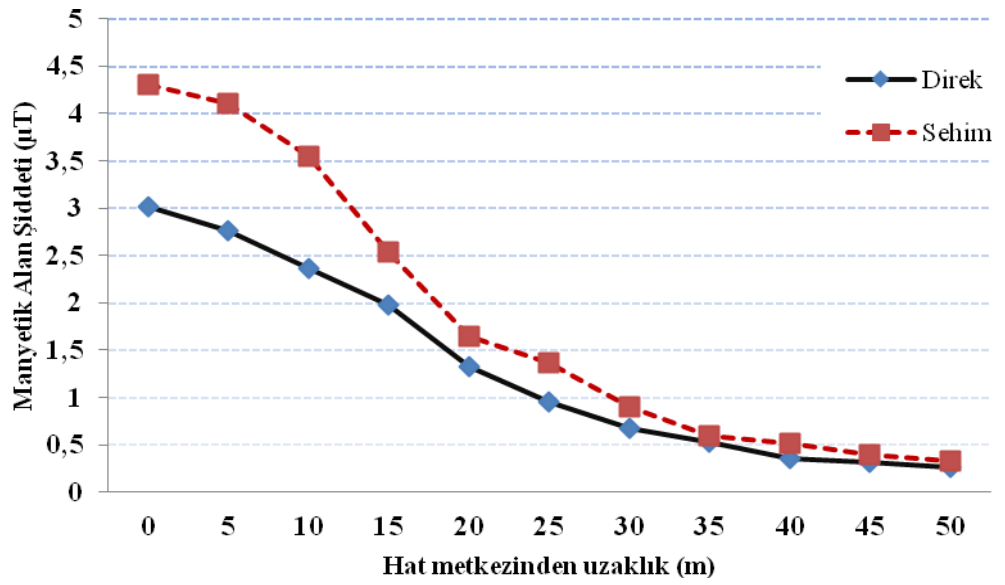


B) EA bileşenleri

Şekil 4.30. 380 kV tek devre tüz tertip YG hattı çevresindeki MA ve EA' nın yerden 1m yükseklik için değişimi

MA' ın Bz bileşeni orijinde hattın orta iletkeni altında ($L=0m$) maksimum değeri alırken Bx bileşeni simetrik olarak $L=13m$ de $1.923 \mu T$ değerinde maksimum değerlerini almaktadır.

Şekil 4.31' de ise 154 kV EİH için direk yanında ve maksimum sehim bölgesinde 350 A hat akımı için ölçülen MA' ın hatta olan yatay mesafeye göre değişimi görülmektedir. Ölçümler yer seviyesinden 1m yükseklik için yapılmıştır. Sehim bölgesinde hattın altında $4.3 \mu T$ ve direk altında ise $3.01 \mu T$ ölçülmüştür.



Şekil 4.31. 154 kV EİH için direk altında ve maksimum sehimde ölçülen MA hatta olan yatay mesafeye göre değişimi (350 A hat akımı için)

5. TARTIŞMA

Bilimsel olarak EMA' ın canlı sağlığı üzerine etkilerini saptamak için literatürde sayısız çalışma bulunmaktadır. Yapılan bu çalışma ile EMA' ın hesaplanması konusunda kullanılabilecek birkaç yöntem sunulmuştur. Çalışma neticesinde, bir EİH çevresinde oluşan EA ve MA' lar tahmin edilmeye çalışılarak oluşturulan MATLAB kodlarının ve eğitilen ağ' ın doğruluk derecesi hesaplanmıştır.

Hattın yakınında yaşayan veya hatlarda çalışan işçilerin maruz kaldıkları alan seviyelerinde bazı kriterler belirleyici olmaktadır. Bunlar; hatta olan uzaklık, hattın yerden yüksekliği, hattın çektiği yük miktarı ve gerilim düzeyi, yükün çekildiği dönem, mevsim ve saat gibi etmenlerdir. Model olarak Antalya bölgesinde bulunan 31.5 kV, 154 kV ve 380 kV gerilim düzeylerinde farklı dizilim geometrilerine sahip 6 farklı hat kullanılmıştır.

Yaşam alanlarına bakıldığında; bazı yerlerde hatların yerleşim alanlarına çok yakın olduğu, hatta hatların bazı bölümlerinin insanların yaşadığı konutların ya da sera, park... vs gibi insanların zaman geçirdikleri alanların üzerinden geçtiği görülmektedir. Yapılan çalışmalar neticesinde iletim hatları çevresinde oluşan alan seviyelerine bakıldığında, 31.5 kV hat için yaklaşık olarak 22 m' de, 154 kV hat için yaklaşık olarak 35 m' de, 380 kV bir hat için ise 20 m' de MA için maruz kalma güvenlik eşiği olan 0.2 μ T değeri görülmektedir. Ancak; hattın çektiği yük miktarının alan seviyesi üzerindeki etkisi büyüktür. Çekilen akım miktarına bağlı olarak, güvenlik koridoru mesafesi azalmakta veya artış göstermektedir.

Bu çalışmada tespit edilen bir diğer önemli konuya, hatların hemen altında oluşan MA değerlerinin normalde maruz kalınması kabul edilebilir düzeyin çok üstünde olduğudur. Hattın hemen altında oluşan MA değerleri, 31.5 kV için en az 0.7 μ T, 154 kV için 1.1 μ T ve 380 kV için ise en az 1.15 μ T olmaktadır. Bazı yerleşim yerlerinde bulunan konut vb. yerlerin hatların hemen altında olduğu ve maruz kalınması gereken maksimum MA şiddeti göz önünde bulundurulduğunda, oluşan alan değerlerinin ne kadar büyük bir tehlike arz ettiği rahatlıkla görülmektedir.

Elde edilen bulgular değerlendirildiğinde yeni yapılacak hatlar mutlaka güvenlik koridorları göz önünde bulundurularak tesis edilmelidir. Güvenlik sınırının 0.2 μT olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Mevcut hatlar revize edilerek yerleşim birimlerinin hemen üzerinden geçen hatlar için gerekli önlemler alınmalıdır.

6. SONUÇ

Yapılan bu çalışmayla, OG, YG ve ÇYG hatları çevresinde oluşan EA ve MA' ın tahmininde, YSA' nın yüksek doğruluk oranı ile kullanılabildiği gösterilmiştir. Bu hatlar için maksimum yükün çekildiği dönemler ve yıllık yük değişiminin neden olduğu MA değişimleri birlikte incelenmiş ve Ulusal enerji şebekelerine ilişkin önemli bir bilgi literatüre kazandırılmıştır.

3 farklı gerilim seviyesi ve yıllık yüklenmelere ilişkin elde edilen bu analizler, ulusal şebekeler için yeni bir çalışmadır ve bu alanda çalışacak araştırmacılara referans niteliğindedir.

EA ve MA' ın sağlık üzerine etkileri araştırıldığında, son yıllarda, biyolojik, deneysel ve epidemiyolojik araştırmalar için alan seviyelerinin yıllık ve gerçek değerlere dayalı bir analiz sunulmuştur.

EİH' ndaki yüklenmeler, MA seviyelerini etkilemekte ve hatların çevresinde yaşayanların ya da hatlarda çalışan işçilerin maruz kalacakları alan seviyelerini doğrudan etkilemektedir.

Elde edilen sonuçlara göre, mevcut hatların çevresinde, özellikle genel literatürde halk için riskli kabul edilen 0.2 μ T ve üzerindeki manyetik alan değerinin aşılabildiği gözlenmiştir. Ulusal şebekelerin maksimum yüklenme dönemlerine ilişkin analizler yapılmalıdır. Yeni tesis edilecek hatlar için EMA güvenlik koridorları tanımlanması önemlidir. Ulusal Enerji ağının çevresinde oluşan alan seviyelerinin yük akışına bağlı olarak belirli bir merkezden izlenebildiği bir çalışma ileri bir araştırma olarak ortaya çıkmıştır.

7. KAYNAKLAR

AHLBORN, A. et al. 2000. A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukemia. *Br J. Cancer*, 83: 692- 698 PP.

BELHADJ, C. A. and EL- FERIK, S. 2009. Electric and Magnetic Fields Estimation for Live Transmission Line Right of Way Workers Using Artificial Neural Network. ISAP'09. 15th International Conference, Intelligent System Applications to Power Systems, 978-1-4244-5097-8: 1-6 pp.

BLACKMAN, C. F., BENANE, S. G., HAUSE, D. E. and ELLIOTT, D. J. 1990. Importance of alignment between local DC magnetic field and an oscillating magnetic field in responses of brain tissue in vitro and in vivo. *Bio Electro Magnetism*, 11(2), 159-167 pp.

ÇEVRE SAĞLIK ÖRGÜTLERİ. 2006. Statik alanlar. Cenevre Dünya Sağlık Örgütü, 232 ss.

DAY, N. and ALLEN, S. G. UK Childhood Cancer Study Investigators.1999. Exposure to Power-Frequency Magnetic Fields and the Risk of Childhood Cancer, *Lancet*, 354: 1925- 1931 pp.

DEFORD, J. F. and GANDHI, O. P. 1985. Impedance Method to Calculate Currents Induced in Biological Bodies Exposed to Quasi- Static Electromagnetic Fields, *IEEE Trans. Electromagnetic Compat. EC- 27(3)*: 168- 173 pp.

DSÖ (Dünya Sağlık Örgütü). 1998. Electromagnetic Fields and Public Health: Extremely Low Frequency (ELF). International EMF Project, Fact Sheet 205.

DURNEY, CH., MASSOUDI, H. and ISKENDER, MF. 1986. "Radiofrequency Dosimetry Handbook", 4th Ed., Brooks Air Fors Base, Texas.

DVORAK, L. L. and ROMERO, L. 1997. Evaluation of Grounding Methods Used for Maintenance of Transmission Lines. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 12 (3): 1379- 1384 pp.

EKONOMOU, L., GONOS, I. F., IRACLEOUS, D. P. and STATHOPULOS, I. A. 2007. Application of Artificial Neural Network Methods for The Lightning Performance Evaluation of Hellenic High Voltage Transmission Lines. *Electric Power Systems Research*, 77: 55- 63 pp.

ERZHI, W., CHANGWEI, H., XIAOMING, LIU. and YUNDONG, C. 2006. Electric Field Calculation for Vacuum Interrupter by Optimized Charge Simulation Method. XXIIInd Int. Symp. on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum, Matsue, 2: 485-488 pp.

GREENLAND, S., SHEPPARD, A., KAUNE, W., POOLE, C. and KELSH, M. 2000. A pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia. *Epidemiology*, 11: 624-634 pp.

HABIBALLAH, I. O., ABDEL- GALIL, T. K., DAWOUD, M. M., BELHADJ, C. A., ABDUL- MAJEED, M. A. and AL-BETAIRI, T. A. 2006. ELF Electric and Magnetic Fields Exposure Assessment of Live-Line Workers for 132 Kv Transmission Line of SEC. IEEE Transmission and Distribution Conference and Exposition, Latin America, 1-4244-0287-5: 1-6 pp.

HAMZA, H. A., MAHMOUD, S. A. and GHANIA, S. M. 2002. Environmental Pollution by Magnetic Field Associated With Power Transmission Lines. Energy Conversion and Management, 43: 2443- 2452 pp.

HAMZA, A. S. H. 2005. Evaluation and Measurement of Magnetic Field Exposure Over Human Body Near EHV Transmission Lines. ELSEVIER, Electric Power Systems Research, 74: 105- 118 pp.

HELHEL, S. and OZEN, S. 2008. Assessment of Occupational Exposure to Magnetic Fields in The High Voltage Substations (154/34.5kV). Radiation Protection Dosimetry, doi:10.1093/rpd/ncm443, 128 (4): 464-470 pp.

IARC (Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı). 2001. Static and Extremely Low Frequency Electric and Magnetic Fields. Monographs on The Evaluation of Carcinogenic Risks to Human, 80.

ICNIRP (Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu). 1998. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Physics, 74 (3): 494- 522 pp.

ICNIRP. 2009. Exposure to Static and Low Frequency Electromagnetic Fields, Biological Effects and Health Consequences (0-300 kHz), Review of the Scientific Evidence and Health Consequences. ISBN 978-3-934994-10-2.

KAUNE, W. T. and ZAFFANELLA, L. E. 1992. Analysis of Magnetic Fields Produced Far From Electric Power Lines. IEEE Transactions on Power Delivery, 7 (4):2082-2091 pp.

LEE, H. and SONG, H. 2006. Efficient Magnetic Field Calculation Method for Pancake Coil Using Biot-Savart Law. Electromagnetic Field Computation, 2006 12th Biennial IEEE Conference, 1-4244-0320-0: 193 pp.

MAHMOUD, S. A., HAMZA, A. H., ABDEL-GAWAD, N. M. and GHANIA, S. M. 2005. Evaluation of Magnetic Induction Inside Humans at High Voltage Substations. Electric Power Systems Research, 74: 231- 237 pp.

MARUVADA, P. S. 1993. Characterization of Power Frequency Magnetic Fields in Different Environments. IEEE Transactions on Power Delivery, 8(2): 598- 606 pp.

MARUVADA, P. S. and GOULET, D. L. 1995. Study of Population Exposure to Magnetic Fields Due to Secondary Utilization of Transmission Line Corridors. IEEE Transactions on Power Delivery, 10 (3): 1541- 1548 pp.

MARUVADA, P. S. and GOULET, D. L. 1998. An Experimental Study of Residential Magnetic Fields in the Vicinity of Transmission Lines. IEEE Transactions on Power Delivery, 13(4): 1328-1334 pp.

NIEHS. 1992. Report on Health Effects from Exposure to Power- Line Frequency Electric and Magnetic Fields. Energy policy. Act. 2118: 102- 486 pp.

OLSEN, R. G. and WONG, P. S. 1992. Characteristics of Low Frequency Electric and Magnetic Fields in the Vicinity of Electric Power Lines. IEEE Transactions on Power Delivery, 7(4): 2046-2055 pp.

OZEN, S. May 26 2007. Low-Frequency Transient Electric and Magnetic Fields Coupling to Child Body. Radiation Protection Dosimetry, (10.1093/rpd/ncm315), 128 (1): 62-7 pp.

OZEN, S. May 19 2007. Evaluation and Measurement of Magnetic Field Exposure at a Typical High Voltage Substation and Its Power Lines. Radiation Protection Dosimetry, (doi:10.1093/rpd/ncm326), 128(2): 198-205 pp.

OZEN, S. 2008. Yüksek Gerilim Trafo Merkezlerinde Manyetik Alan Seviyeleri ve Mesleki Maruz Kalmanın Değerlendirilmesi. 12. Ulusal Elektrik Elektronik Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, Eskişehir.

POLK, C. 1990. Electric Field and Surface Charges Due to ELF Magnetic Fields. Bioelectromagnetics, 11:189-201 pp.

SAHL, J. D., KELSH, M. A. ve GREENLAND, S. 1993. Elektrik Çalışanları Arasında Hematopoetik Kanserler ve Beyin Kanseri Üzerine Vaka Kontrol Çalışmaları. Epidemiyoloji, 104- 114 pp.

SCHMIDT, S., ZECH, G. and OTTO, W. 1996. Fast and Precise Computation of Electrostatic Fields with a Charge Simulation Method using Modern Programming Techniques. IEEE Transactions on Magnetics, May, 32(3): 1457- 1460 pp.

SHAALAN, E. M., GHANIA, S. M. and WARD, S. A. 2010. Analysis of Electric Field inside HV Substations using Charge simulation method in three dimensional. IEEE Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, 978-1-4244-9468-2: 1-5 pp.

SHIAU Y. and VALENTINO A. R. 1981. ELF Electric field coupling to dielectric spheroid models of biological objects, IEEE Trans. On Biomedical Engineering BME-28.

SINGER, H., STEINBIGLER, H. and WEISS, P. 1974. Charge Simulation Method For The Calculation Of High Voltage Fields. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, PAS- 93(5): 1660- 1668 pp.

SRINIVASA, K. M., MARUTI, R., RAJESH KUMAR, O., NAMBU DIRI, P. V. V., LALLI, M. S. SRINIVASAN, K. N. and GOSWAMI, M. M. 1998. Field Measurements of Electric and Magnetic Fields on HV and EHV Transmission Lines and Substations. Conference Record of the 1998 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, USA, 2: 347- 350 pp.

STUCHLY, M. A. ve ZHAO, S. 1996. Güç Magnetic Field Induced Currents In The Human Body In Proximity of Power Lines. IEEE Transactions on Power Delivery, 11(1): 102- 108 pp.

TALAAT, M. 2010. Charge Simulation Modeling for Calculation of Electrically Induced Human Body Currents. IEEE Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, 978-1-4244-9468-2:1-4 pp.

THERIAULT, G., GOLDBERG, M., MILLER, A. B., ARMSTRONG, B., GUENEL, P., DEADMAN, J, IMBORNAN, E., CHEUALIER, A., CYR, D. and WOLL, C. 1994. Cancer Risks Associated with Occupational Exposure to Magnetic Fields among Electric Utility Workers in Ontario and Quebec, Canada, and France: 1970–1989. American Journal of Epidemiology, 139: 550- 572 pp.

VAN DEVENTER, T. A., SAUNDER, R. and REPACHOLI, M. H. 2005. WHO health risk assessment process for static fields. ELSEVIER, Progress in Biophysics and Molecular Biology, 87: 355- 363 pp.

WAHAB, M. A. A., HAMADA, M. M., EL DEIN, A. Z. and EMMARY, T. H. 2010. Computation of Electric Field and Human Body Induced Current under Overhead Transmission Lines. IEEE 7th International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices, 978-1- 4244-7532-2: 1-6 ss.

WONG, P. S. and SASTRE, A. 1995. Simultaneous AC and DC Magnetic Field Measurements in Residential Areas: Implications For Resonance Theories of Biological Effects, IEEE Transactions on Power Delivery, 10(4): 1906- 1912 pp.

YILDIRIM, H. ve KALENDERLI, O. Şubat 2005. Korona Başlangıç Geriliminin Yük Benzetim Yöntemiyle Hesabı. İTÜ Dergisi/ d Mühendislik, 4(1): 25- 36 ss.

ZHANG, B., HE, J., CUI, X., HAN, S. and ZOU, J. 2006. Electric Field Calculation for HV Insulators on the Head of Transmission Tower by Coupling CSM with BEM. IEEE Transactions and Magnetics, April, 42 (4) : 543- 546 pp.

8. EKLER

EK-1 ÇKYSA ile EİH için MA ve EA Tahmini

```
clear all
close all
clc
%x ve y değişken, akım sabit
% Verilerin Yüklenmesi ve Target Normalizasyonu
sens=0.01;
load data2
load target          % hedef değerlerin verisi

% Eğer Excel dosyası olursa
%data=xlsread('data.xlsx', 1, 'A2:B21')

data2=data2';
target=target';

% Tansig için normalize [0,1]
tort=mean(target);
Ntt=length(target);

% ort=tort*ones(1,Ntt);
% target=target-ort;

for i=1:Ntt
    target1(i)=target(i)/tort;
%    if (target(i)==0)
%        target(i)=0;
%    else
%        target(i)=target(i)/tort;
%    end
```

end

%Verilerin eğitim ve test sayılarının belirlenmesi

Ne=288; % Eğitim veri sayısı

Nt=496; % Toplam veri sayısı

data2_e=data2(1:2,1:Ne); %Yaklaşım Bileşenleri Eğitim Dataları

data2_test=data2(1:2,Ne+1:Nt); %Yaklaşım Bileşenleri Test Dataları

target_egit=target(1,1:Ne);

target_test=target(1,Ne+1:Nt);

% Hedef çıkış Değerlerinin Oluşturulması

targete=target1(1:Ne); % Eğitim target

targett=target1(Ne+1:Nt);

% Ağ yapısının oluşturulması

net=newff(minmax(data2_e),[10 10 1],{'tansig' 'tansig' 'purelin'},'trainlm'); %Logsig
ve LM ile

% Ağ parametrelerinin oluşturulması

net.trainParam.epochs =600; % İterasyon sayısı

net.trainParam.lr= 0.2; % Öğrenme Hızı

net.trainParam.mc= 0.1;

net.trainParam.goal= 0.00001; % Hedef eğitim değeri

% Ağın eğitilmesi

net = train(net,data2_e,targete); % Eğitim

% Ağın Eğitim için doğruluk simülasyonu

Y= sim(net,data2_e); % Simüle et

% Ağın Test için doğruluk simülasyonu

```

Y_test=sim(net,data2_test);      % Test degerleri ile test et

% Test değerleri için hatanın hesabı
hata=Y_test-targett;             % Test için hatanın hesaplanması

% Eğitme verileri için hatanın hesabı
hata_e=Y-targete;                % Eğitme için hatanın hesaplanması

% Test verileri için hatanın yüzde olarak hesabı
Reeldistance=Y_test*tort;

% stem(target(96:192)); hold on; stem(Reeldistance, 'r--')
tara1=0;
for tara=1:length(data2_test)
if hata(tara)>-sens && hata(tara)< sens %-0.1-0.1 doğruluk aralığı
tara1=tara1;
else
    tara1=tara1+1;
end
end
accuracytest=100-((tara1/length(data2_test))*100) %Test hata yüzdesi

% Eğitme verileri için hata hesabı
tara2=0;
for tar=1:length(data2_e)
if hata_e(tar)>-sens && hata_e(tar)< sens %-0.1-0.1 doğruluk aralığı
tara2=tara2;
else
    tara2=tara2+1;
end
end
accuracytrain=100-((tara2/length(data2_e))*100) %Eğitme Hata Yüzdesi

```

```

comp=[Y_test;target_test]
ttt=Ne+1:Nt;
plot(ttt,Y_test,'r--',ttt,target_test,'b')
legend('Y_test','target_test')
title('.....')
input_weigth=net.IW{1}          % Giriş nöron ağırlık
hidden_weigth_1=net.LW{2,1}    % saklı katman nöron ağırlık
hidden_weigth_2=net.LW{3,2}    % saklı katman nöron ağırlık
bias_input=net.b{1};
bias_hidden=net.b{2};
bias_output=net.b{3};
save input_weigth input_weigth

```

EK- 2 MATLAB’ ta MA’ ın Hesaplanması

```
% BSYyla .... kV EİH için B Hesabı
xr=-6.7; yr=17.15; xs=0; ys=17.15; xt=6.7; yt=17.15; xi=0:3:45; yi=1.8;

%x=0:10;y=0;
%[xi,yi]=meshgrid(x,y);
t=1;
w=2*pi*50;
I=156.83;
alfar=0;%akımların faz açıları
alfas=120;
alfat=240;
muo=4*pi*10^-7;
rr=((xi-xr).^2+(yi-yr).^2);
rs=((xi-xs).^2+(yi-ys).^2);
rt=((xi-xt).^2+(yi-yt).^2);

Hxr=((0.5*I/pi)*(yi-yr)./rr)*exp((w*t+alfar*pi/180)*i);
Hxs=exp(i*(2*pi/3))*(0.5*I/pi).*(yi-ys)./rs*exp((w*t+alfas*pi/180)*i);
Hxt=exp(i*(4*pi/3))*(0.5*I/pi).*(yi-yt)./rt*exp((w*t+alfat*pi/180)*i);

Hyr=(0.5*I/pi)*(xi-xr)./rr*exp((w*t+alfar*pi/180)*i);
Hys=exp(i*(2*pi/3))*(0.5*I/pi).*(xi-xs)./rs*exp((w*t+alfas*pi/180)*i);
Hyt=exp(i*(4*pi/3))*(0.5*I/pi).*(xi-xt)./rt*exp((w*t+alfat*pi/180)*i);

%HX=(Hxr+Hxs+Hxt);
%HY=(Hyr+Hys+Hyt);
HX=-abs(Hxr+Hxs+Hxt)%mikro tesla 10^6
HY=abs(Hyr+Hys+Hyt)

Ht=sqrt(HX.^2+HY.^2)
%*****
```

```

Bx=muo.*HX*10^6
By=muo.*HY*10^6
Bt=muo.*Ht*10^6 %%mikrotesla
%GX=abs(Bx)
%GY=abs(By)

%B mikroT için çizimler
%subplot(3,1,1)
%plot(xi,abs(HX),'R');xlabel('Hatta dikey mesafe,[m]');ylabel('B,[\muT/kA]')
%hold on
%plot(xi,abs(HY),'P')
%hold on;
%plot(xi,Ht)
%grid
%*****
plot(xi,abs(Bx),'-ok')
hold on
plot(xi,abs(By),'*')
hold on;
plot(xi,Bt)
legend('Bx bileseni','By bileseni','toplam B')
%mesh(xi,yi,abs(Bx));colorbar;
grid on;
xlabel('Hatta olan yatay uzaklık(m)');ylabel('B(/muT\mA)')
%title('BSY ile 154 kV EİH için B Hesabı');

```

EK- 3 MATLAB’ ta EA’ ın Hesaplanması

% YBYyle EA HesabıkV Fid. Tek dev. Dizilim.....

U=154; %Fazlar arası gerilim,[kV]

r=0.010895; %iletken yarıçapı[m]

h=17.15 %iletkenlerin yerden yüksekliği[m]

a=6.7 %iletkenler arası açıklık[m]

%x=(-50:50)'; y=(0:16)';

%[Bx,By]=meshgrid(x,y);

Bx=0:3:30;

By=1.8;

V1=1000*U/sqrt(3);

V2=V1*exp((2*pi/3)*i);

V3=V1*exp((4*pi/3)*i);

epsilon=8.86*1e-12;

A=1/(2*pi*epsilon)%çizgisel düzlem sonsuz uzunlukta yükler

%Yüklerin koordinatları

H1x=-6.7;H1y=17.15;H2x=0;H2y=17.15;H3x=6.7;H3y=17.15;

%Sınır noktalarının koordinatları

S1x=-6.7;S1y=17.15-r;S2x=0;S2y=17.15-r;S3x=6.7;S3y=17.15-r;

%Kontrol noktalarının koordinatları

K1=[-6.7-r;17.15];

K2=[r;17.15];

K3=[6.7-r;17.15];

%Yükler ve sınır noktaları arasındaki mesafenin hesabı

```
H1S1=sqrt(((H1x-S1x)^2)+((H1y-S1y)^2));
H2S1=sqrt(((H2x-S1x)^2)+((H2y-S1y)^2));
H3S1=sqrt(((H3x-S1x)^2)+((H3y-S1y)^2));
```

```
H1S2=sqrt(((H1x-S2x)^2)+((H1y-S2y)^2));
H2S2=sqrt(((H2x-S2x)^2)+((H2y-S2y)^2));
H3S2=sqrt(((H3x-S2x)^2)+((H3y-S2y)^2));
```

```
H1S3=sqrt(((H1x-S3x)^2)+((H1y-S3y)^2));
H2S3=sqrt(((H2x-S3x)^2)+((H2y-S3y)^2));
H3S3=sqrt(((H3x-S3x)^2)+((H3y-S3y)^2));
```

```
H1D=17.15;H2D=17.15;H3D=17.15;
```

```
%H1D=input('1.yükün yüksekligi= ');
%H2D=input('2.yükün yüksekligi= ');
%H3D=input('3.yükün yüksekligi= ');
```

```
%P matrisinin tanimi;çizgisel yük için potansiyel katsayısı
```

```
P11=A*log(H1D/H1S1);P21=A*log(H2D/H2S1);P31=A*log(H3D/H3S1);
P12=A*log(H1D/H1S2);P22=A*log(H2D/H2S2);P32=A*log(H3D/H3S2);
P13=A*log(H1D/H1S3);P23=A*log(H2D/H2S3);P33=A*log(H3D/H3S3);
```

```
P=[P11 P21 P31; P12 P22 P32; P13 P23 P33];
```

```
V=[V1 V2 V3];
```

```
%Benzetim yüklerinin hesabi
```

```
q=(P)\V'
```

```
%herhangi bir A noktasındaki potansiyelin hesabi
```

```
%Bx=input('A noktasinin x bilesenini giriniz= ');
```

```
%By=input('A noktasinin y bilesenini giriniz= ');
```

```
%Yüklerin sınır noktalarına olan uzaklıklarının hesabi
```

```

H1B=sqrt(((H1x-Bx).^2)+((H1y-By).^2));
H2B=sqrt(((H2x-Bx).^2)+((H2y-By).^2));
H3B=sqrt(((H3x-Bx).^2)+((H3y-By).^2));

% N matrisinin tanimi
N1=A*log(H1D./H1B);N2=A*log(H2D./H2B);N3=A*log(H3D./H3B);

N=[N1; N2; N3];
VB=q'*N %A noktasındaki potansiyel degeri
G=abs(VB); %A noktasındaki potansiyelin genligi
G=G/1000; %kV
teta=angle(VB)/pi*180; %A noktasındaki potansiyelin açisi
VB=[G teta];

%Herhangibir A noktasındaki elektrik alan hesabı
H1B=abs(H1B);H2B=abs(H2B);H3B=abs(H3B);

Mx1=A*((H1x-Bx)./(H1B).^2);
Mx2=A*((H2x-Bx)./(H2B).^2);
Mx3=A*((H3x-Bx)./(H3B).^2);

Mx=[Mx1; Mx2; Mx3];
Ex=q'*Mx;
Ex=abs(Ex);
My1=A*((H1y-By)./(H1B).^2);
My2=A*((H2y-By)./(H2B).^2);
My3=A*((H3y-By)./(H3B).^2);

My=[My1; My2; My3];
Ey=q'*My
Ey=abs(Ey)

E=10^-3*sqrt((Ex.^2)+(Ey.^2));

```

```

trans=E'
%grafik olarak çizim
hold on;
plot(Bx,E,'.')
hold on;
plot(Bx,Ey/1000,'-');
hold on;
plot(Bx,Ex/1000,'+');title('YBY ile 154 kV EİH için E Hesabı');
xlabel('Hatta olan yatay uzaklık(m)'); ylabel('E(kV/m)');
grid on
legend('Toplam E','Ey bileşeni','Ex bileşeni');
E=E/1000;

```

ÖZGEÇMİŞ

Evin Gizem ÖGEL 1985 yılında Diyarbakır'da doğdu. İlk, orta, lise öğrenimini Diyarbakır'da tamamladı. 2004 yılında girdiği Dicle Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden 2008 yılında Elektrik Elektronik Mühendisi olarak mezun oldu. 2009 yılı Şubat ayında Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen Finike ve Kumluca İlçeleri İşletme Baş Mühendislikleri Arıza Onarım ve Bakım Servislerinde Koordinatör Mühendis olarak çalışmaktadır.