T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK GERİLİM ENERJİ İLETİM SİSTEMLERİNDE KULLANILAN HAVAİ HAT İLETKENLERİNİN PERFORMANS ANALİZLERİ

Murat DİNÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Tesisleri Programı

Danışman

Doç. Dr. Oktay ARIKAN

Temmuz, 2022

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK GERİLİM ENERJİ İLETİM SİSTEMLERİNDE KULLANILAN HAVAİ HAT İLETKENLERİNİN PERFORMANS ANALİZLERİ

Murat DİNÇ tarafından hazırlanan tez çalışması 04.07.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik Tesisleri Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Oktay ARIKAN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Oktay ARIKAN, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa BAYSAL, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Kübra ERENOĞLU, Üye
Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi _____

Danışmanım Doç. Dr. Oktay ARIKAN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Yüksek Gerilim Enerji İletim Sistemlerinde Kullanılan Havai Hat İletkenlerinin Performans Analizi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Murat DİNÇ

İmza

Aileme

TEŞEKKÜR

Gerçekleştirmiş olduğum bu tez çalışmasının, araştırma, uygulama ve her aşamasında bilgisi, yönlendirmesi, yardımı ve katkılarıyla destek olan tez danışmanım Doç. Dr. Oktay ARIKAN'a, tezimin her aşamasında bilgisi ve tecrübesiyle destek olan Arş. Gör. Fırat AKIN'a ve maddi, manevi desteğini hiç esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Murat DİNÇ

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ viii
KISALTMA LİSTESİ xi
ŞEKİL LİSTESİ xii
TABLO LİSTESİ xx
ÖZET xxvii
ABSTRACT xxx
1 GİRİŞ 1
1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 10
1.3 Hipotez 11
2 YÜKSEK GERİLİM ENERJİ İLETİM SİSTEMLERİNDE KULLANILAN HAVAİ HAT İLETKENLERİ 13
2.1 İletken Yapısı 13
2.1.1 İletken Bölümü 13
2.1.2 Öz Bölümü 13
2.2 İletken Şekli 14
2.2.1 Yuvarlak Telli İletkenler 14
2.2.2 Trapez Telli İletkenler 14
2.3 Havai Hat İletkenlerinin Tanıtımı 15
2.3.1 Çelik Özlü Alüminyum İletkenler (ACSR) 15
2.3.2 Tam Alüminyum İletkenler (AAC) 16
2.3.3 Tam Alüminyum Alaşım İletkenler (AAAC) 16
2.3.4 İnvar Özlü Süper Termal Alaşım İletkenler (STACIR) 16
2.3.5 Çelik Özlü Gap Tip Termal Dayanıklı Alaşım İletkenler (GTACSR) 17
2.3.6 Kompozit Özlü Alüminyum İletkenler (ACCC) 17
2.3.7 Metal Matris Kompozit Özlü Alüminyum İletkenler (ACCR) 18
2.3.8 Çelik Destekli Alüminyum İletkenler (ACSS) 18
2.3.9 Alaşım Destekli Alüminyum İletkenler (ACAR) 19
2.4 Havai Hat İletkenlerinin Seçiminde Dikkat Edilmesi Gereken Kriterler 20
2.4.1 İletkenlik 20
2.4.2 İletken Çapı 20

2.4.3 Özgül Ağırlık 20
2.4.4 Isı Dayanımı 21
2.4.5 Mekanik Dayanım 21
2.4.6 Koronoya Karşı Dayanıklılık 21
2.4.7 Sehim 21
3 HAVAİ HAT İLETKENLERİNİN ISIL ANALİZLERİNDE KULLANILAN HESAPLAMALAR 22
3.1 Kararlı Hal Isı Dengesi Eşitliği 22
3.2 Konvektif Isı Kaybı (q_c) 23
3.2.1 Zorlanmış Konveksiyon 24
3.2.2 Doğal Konveksiyon 24
3.3 Yayılan Isı Kaybı Oranı (q_r) 25
3.4 Güneş Isı Kazanç Oranı (q_s) 25
3.5 İletken Elektriksel Direnci ($R(T_{avg})$) 27
3.6 İletken İçindeki Radyal Sıcaklık Gradyanı 27
4 ELEKTRİK VE MANYETİK ALAN KAVRAMLARI 29
4.1 Elektrik Alan 29
4.1.1 İletim Hatlarından Kaynaklanan Elektrik Alan Hesabı 30
4.2 Manyetik Alan 34
4.2.1 İletim Hatlarından Kaynaklanan Manyetik Alan Hesabı 35
4.3 Elektrik ve Manyetik Alan Arasındaki Farklar 36
4.4 Elektrik ve Manyetik Alanların Biyolojik Etkileri 36
4.4.1 Yasal Mevzuatlar 38
5 COMSOL MULTIPHYSICS YAZILIMININ TANITIMI 41
5.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi 41
5.2 Isı Transfer Modülü 42
5.3 AC/DC Modülü 48
5.3.1 Elektrik Alan (Electrostatics) 48
5.3.2 Manyetik Alan (Magnetic Fields) 50
6 İLETİM HATLARINDA SEHİM, GERİLİM DÜŞÜMÜ VE GÜÇ KAYBI HESABI 53
6.1 Sehim 53
6.1.1 Simetrik Menzilde Yaklaşık Bağıntı ile Sehim Hesabı 53
6.1.2 Asimetrik Menzilde Yaklaşık Bağıntı ile Sehim Hesabı 54
6.1.3 İletim Hatlarına Etki Eden Ek Yükler 54

6.2 Gerilim Düşümü ... 56
6.3 Güç Kaybı ... 57
7 ANALİZLER VE SAYISAL HESAPLAMALAR 58
7.1 Isıl Analizler ... 58
7.1.1 Modelleme ... 59
7.1.2 Simülasyon Yapısı ... 61
7.1.3 Isıl Analiz Sonuçları ... 62
7.2 İletkenlerin Elektrik ve Manyetik Alan Davranışları ... 88
7.2.1 Elektrik Alan Analiz Sonuçları ... 89
7.2.2 Manyetik Alan Analiz Sonuçları ... 138
7.3 İletkenlerin Sehim, Gerilim Düşümü ve Güç Kayıpları Hesaplamaları 185
7.3.1 Sehim Profili ... 185
7.3.2 Gerilim Düşümü Sonuçları ... 186
7.3.3 Güç Kaybı Sonuçları ... 187
8 SONUÇLAR VE ÖNERİLER 189
KAYNAKÇA 201
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR 207

SİMGE LİSTESİ

A	Katsayı
A'	İletkenin Projelendirilmiş Alanı (mm^2/m)
a	Direkler Arası Mesafe (m)
B	Manyetik Akı Yoğunluğu (T)
C	Güneş Azimut Sabiti
c	Tel Parametresi
D	Katsayı
D_0	İletken Çapı (m)
D_{core}	İletkenin Özünün Çapı (m)
d	Yükler Arasındaki Mesafe (m)
E_{AX}	A Noktasının x Eksenindeki Elektrik Alan Bileşeni (V/m)
E_{Ay}	A Noktasının y Eksenindeki Elektrik Alan Bileşeni (V/m)
E	Elektrik Alan (V/m)
F	İki Durgun Parçacık Arasındaki Kuvvet (N)
f	Sehim (m)
G	Katsayı
g	İletkenin Birim Uzunluk Başına Ağırlığı (kg/m)
g_b	Buz Yükü (kg/m)
g_w	Rüzgar Yükü (kg/m)
g_t	Toplam Ağırlık (kg/m)
H	Manyetik Alan (A/m)
H_{Xi}	İ Noktasının x Eksenindeki Manyetik Alan Bileşeni (A/m)
H_{Yi}	İ Noktasının y Eksenindeki Manyetik Alan Bileşeni (A/m)
H_e	İletkenin Deniz Seviyesinden Yüksekliği (m)
H_c	Güneşin Yüksekliği (°)
I	İletken Akımı (A)
k	Boltzman Sabiti ($N.m^2/C^2$)
k_b	Buz Yükü Bölgesi Katsayısı
K_{angle}	Rüzgar Yönü Faktörü
k_f	Havanın Termal İletkenliği (W/m.°C)
K_{solar}	Güneş Yüksekliği Düzeltme Faktörü
k_{th}	İletkenin Termal Radyal İletkenliği (W/m.°C)

Lat	Enlem Dereceleri (°)
N	Yılın Günü
N_{Re}	Reynold Sayısı
p	Dinamik Rüzgar Basıncı (kg/m^2)
$R(T_{avg})$	Ortalama Alüminyum Şerit Katman Sıcaklığında İletken Direnci (Ω/m)
$R(T_{high})$	İletkenin Yüksek Sıcaklık Referans AC Direnci (Ω/m)
$R(T_{low})$	İletkenin Düşük Sıcaklık Referans AC Direnci (Ω/m)
r	İletkenin Noktaya Uzaklığı (m)
r'	İletkenin Görüntüsünün Noktaya Uzaklığı (m)
r_0	İletkenin Çapı (m)
T_a	Ortam Sıcaklığı (°C)
T_{film}	Sınır Tabakası Sıcaklığı (°C)
T_s	İletken Yüzey Sıcaklığı (°C)
T_{high}	İletkenin Referans AC Direncinin Belirtildiği Yüksek İletken Sıcaklığı (°C)
T_{low}	İletkenin Referans AC Direncinin Belirtildiği Düşük İletken Sıcaklığı (°C)
T_{core}	İletkenin Özünün Sıcaklığı (°C)
q	İletken kesiti (mm^2)
$q_{1,2}$	Elektrik Yükü (C)
q_c	Birim Uzunluk Başına Konvektif Isı Kaybı Oranı (W/m)
q_r	Birim Uzunluk Başına Yayılan Isı Kaybı Oranı (W/m)
q_s	Güneşten Isı Kazanç Oranı (W/m)
Q_s	Güneş ve Gökyüzünden Yayılan Isı Yoğunluğu Toplamı (W/m^2)
Q_{se}	Yükseklik için Düzeltilmiş Güneş ve Gökyüzünden Yayılan Isı Yoğunluğu (W/m^2)
V_w	Rüzgar Hızı (m/s)
Z_1	Hattın Azimutu (°)
Z_c	Güneşin Azimutu (°)
ρ_f	Hava Yoğunluğu (kg/m^3)
μ_f	Havanın Dinamik Vizikozitesi (kg/m.s)
$\emptyset$	Rüzgar Yönü ve İletken Ekseni Arasındaki Açı (°C)
ε	Yayılım
α	Güneş absorbsiyonu
θ	Güneş Işınlarının Geliş Açısı (°)
ω	Öğlene Göre Saat Açısı (°)

δ	Güneş Sapması (°)
χ	Güneş Azimut Değişkeni
ε	Dielektrik sabiti
μ	Ortamın Manyetik Geçirgenliği
γ	İletkenin Özgül Ağırlığı (kg/m.mm^2)
σ	Yatay Gerilme Kuvveti (kg/mm^2)

KISALTMA LİSTESİ

AAAC	Tam Alüminyum Alaşım İletken (All Aluminum Alloy Conductor
AAC	Tam Alüminyum İletken (All Aluminum Conductor)
ACAR	Alaşım Destekli Alüminyum İletken (Aluminum Conductor Alloy Reinfored)
ACCC	Kompozit Özlü Alüminyum İletken (Aluminum Conductor Composite Core)
ACCR	Metal Matris Kompozit Özlü Alüminyum İletken (Aluminum Conductor Composite Reinforced)
ACSR	Çelik Özlü Alüminyum İletken (Aluminum Conductor Steel Reinforced)
ACSS	Çelik Destekli Aluminyum İletken (Aluminum Conductor Steel Supported)
CIGRE	Uluslararası Büyük Elektrik Sistemleri Konseyi (International Council on Large Electric Systems)
GTACSR	Çelik Özlü Gap Tip Süper Termal Dayanıklı Alüminyum Alaşım İletken (Gap Type Thermal-Resistant Aluminum Alloy Conductor Steel Reinforced)
HTLS	Yüksek Sıcaklık Düşük Sehim (High Temperature Low Sag)
ICNIRP	Uluslararası İyonize Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)
IEEE	Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (The Institute of Electrical and Electronics Engineering)
MCM	Mega Dairesel Mil (Mega Circular Mile)
MKSA	Metre, Kilogram, Saniye, Amper Birim Sistemi
STACIR	Invar Özlü Süper Termal Alaşım İletken (Super Thermal Alloy Conductor Invar Reinforced)
TACSR	Çelik Güçlendirilmiş Termal Dayanıklı Alüminyum Alaşım İletken (Thermal Resistant Alloy Conductor Invar Reinforced)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 ACSR iletken kesitinde iletken bölüm 13
Şekil 2.2 ACSR iletken kesitinde öz bölümü 14
Şekil 2.3 Yuvarlak telli iletken kesiti 14
Şekil 2.4 Trapez telli iletken kesiti 15
Şekil 2.5 ACSR iletkeni, **a.** Örnek görsel **b.** Örnek autocad çizimi 15
Şekil 2.6 AAC iletkeni, **a.** Örnek görsel **b.** Örnek autocad çizimi 16
Şekil 2.7 AAAC iletkeni, **a.** Örnek görsel **b.** Örnek autocad çizimi 16
Şekil 2.8 STACIR iletkeni, **a.** Örnek görsel **b.** Örnek autocad çizimi 17
Şekil 2.9 GTACSR iletkeni, **a.** Örnek görsel **b.** Örnek autocad çizimi..... 17
Şekil 2.10 ACCC iletkeni, **a.** Örnek görsel **b.** Örnek autocad çizimi..... 18
Şekil 2.11 ACCR iletkeni, **a.** Örnek görsel **b.** Örnek autocad çizimi..... 18
Şekil 2.12 ACSS iletkeni, **a.** Örnek görsel **b.** Örnek autocad çizimi..... 19
Şekil 2.13 ACAR iletkeni, **a.** Örnek görsel **b.** Örnek autocad çizimi 19
Şekil 4.1 Elektromanyetik dalga spektrumu..... 29
Şekil 4.2 Elektrik alan yönü 30
Şekil 4.3 P noktasındaki elektrik alan vektörü 31
Şekil 4.4 n adet iletkenli iletim hattı görüntüsü..... 33
Şekil 4.5 Manyetik alan vektörü yönü..... 34
Şekil 4.6 Üç iletkenli bir sistemde manyetik alanın hesaplanması için gerekli vektörel büyüklükler……35
Şekil 5.1 İletken kesiti finer mesh görüntüsü 42
Şekil 5.2 Model seçim ekranı 43
Şekil 5.3 Boyut seçim ekranı..... 43
Şekil 5.4 Fizik seçim ekranı 44
Şekil 5.5 Domen seçim ekranı..... 44
Şekil 5.6 Dosya seçim ekranı 45
Şekil 5.7 İletken geometrisi..... 45
Şekil 5.8 Parametre tanımlama ekranı..... 46
Şekil 5.9 Özellik tanımlama ekranı 46
Şekil 5.10 İki boyutlu iletkenin ısıl dağılımı 47
Şekil 5.11 Elektrik alan fizik seçim ekranı..... 48
Şekil 5.12 "Time dependent" domen seçim ekranı 49

Şekil 5.13 Tek devre hatta kullanılan üç iletkene ait geometri 49
Şekil 5.14 İletken parametre tanımlama ekranı 49
Şekil 5.15 Tek devre hat yapısında 3 faz iletkenin elektrik alan dağılımı..... 50
Şekil 5.16 Manyetik alan seçim ekranı..... 51
Şekil 5.17 Manyetik alan sınır koşulları..... 51
Şekil 5.18 Tek devre hat yapısı için üç iletkenin manyetik alan dağılımı..... 52
Şekil 6.1 İletkene etki eden buz yükü ve ağırlığı 55
Şekil 7.1 İletken eşdeğer yapısı 61
Şekil 7.2 ACSR iletkeni comsol analizi görüntüsü 63
Şekil 7.3 ACSR iletkenine ait alüminyum ve çelik tellerin farklı sıcaklık ve rüzgar hızlarında ortalama sıcaklık değişimi…….….63
Şekil 7.4 9 tip iletkene ait alüminyum tellerin rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi (25°C&1000 W/m^2)…….……..64
Şekil 7.5 9 tip iletkene ait özlerin rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi (25°C&1000 W/m^2)…….…….65
Şekil 7.6 AAAC ve AAC iletkenleri simülasyon ve IEEE hesaplamalarının karşılaştırılması…….……...66
Şekil 7.7 ACAR ve ACCC iletkenleri simülasyon ve IEEE hesaplamalarının karşılaştırılması.....67
Şekil 7.8 ACCR ve ACSR iletkenleri simülasyon ve IEEE hesaplamalarının karşılaştırılması…….……...67
Şekil 7.9 ACSS ve GTACSR iletkenleri simülasyon ve IEEE hesaplamalarının karşılaştırılması…..……...68
Şekil 7.10 STACIR iletkeni simülasyon ve IEEE hesaplamalarının karşılaştırılması ... 68
Şekil 7.11 9 tip iletkene ait maksimum yüklenme akımlarında alüminyum tellerin rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi (25°C&1000 W/m^2)….…….78
Şekil 7.12 9 tip iletkene ait maksimum yüklenme akımlarında iletken özlerinin rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi (25°C&1000 W/m^2)……..…79
Şekil 7.13 Direk konfigürasyonu ve analiz mesafeleri..... 89
Şekil 7.14 Tek devre iletken konfigürasyonu..... 89
Şekil 7.15 400 kV gerilim seviyesinde zeminden Hy=1 m yüksekte analiz konfigürasyonu…..……...……..90
Şekil 7.16 400 kV gerilim seviyesinde zeminden Hy=1 m yüksekte 9 tip iletken için elektrik alan dağılımı…….……91
Şekil 7.17 400 kV gerilim seviyesinde iletkenlerin Ha=1 m altında analiz

konfigürasyonu…….…….92
Şekil 7.18 400 kV gerilim seviyesinde iletkenlerin Ha= 1 m altında 9 tip iletken için elektrik alan dağılımı…….……93
Şekil 7.19 400 kV gerilim seviyesinde T fazının +x yönünde Hs=1 m mesafede analiz konfigürasyonu…….……...94
Şekil 7.20 400 kV gerilim seviyesinde T fazının +x yönünde Hs=1 m mesafede 9 tip iletken için elektrik alan dağılımı…….…….95
Şekil 7.21 400 kV gerilim seviyesinde ACSR iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu…….……..96
Şekil 7.22 400 kV gerilim seviyesinde ACSR iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu…….……..97
Şekil 7.23 400 kV gerilim seviyesinde ACCC iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu…….……..98
Şekil 7.24 400 kV gerilim seviyesinde ACCC iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu…….……..99
Şekil 7.25 400 kV gerilim seviyesinde STACIR iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu…….……...100
Şekil 7.26 400 kV gerilim seviyesinde STACIR iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu…….……...101
Şekil 7.27 400 kV gerilim seviyesinde GTACSR iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu…….……...102
Şekil 7.28 400 kV gerilim seviyesinde GTACSR iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu…….……...103
Şekil 7.29 400 kV gerilim seviyesinde AAAC iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu……....104
Şekil 7.30 400 kV gerilim seviyesinde AAAC iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu……....105
Şekil 7.31 400 kV gerilim seviyesinde AAC iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu…….……...106
Şekil 7.32 400 kV gerilim seviyesinde AAC iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu…….……...107
Şekil 7.33 400 kV gerilim seviyesinde ACAR iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu…….……...108
Şekil 7.34 400 kV gerilim seviyesinde ACAR iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu…….……...109

Şekil 7.35 400 kV gerilim seviyesinde ACCR iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu……..……...110
Şekil 7.36 400 kV gerilim seviyesinde ACCR iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu……..……...111
Şekil 7.37 400 kV gerilim seviyesinde ACSS iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu……...……112
Şekil 7.38 400 kV gerilim seviyesinde ACSS iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu……..……...113
Şekil 7.39 750 kV gerilim seviyesinde zeminden Hy=1 m yüksekte analiz konfigürasyonu……..……...114
Şekil 7.40 750 kV gerilim seviyesinde zeminden Hy=1 m yüksekte 9 tip iletken için elektrik alan dağılımı……..……..115
Şekil 7.41 750 kV gerilim seviyesinde iletkenlerin Ha=1 m altında analiz konfigürasyonu……..……...116
Şekil 7.42 750 kV gerilim seviyesinde iletkenlerin Ha= 1 m altında 9 tip iletken için elektrik alan dağılımı……..……...117
Şekil 7.43 750 kV gerilim seviyesinde T fazının +x yönünde Hs=1 m mesafade analiz konfigürasyonu……..…….118
Şekil 7.44 750 kV gerilim seviyesinde T fazının +x yönünde Hs=1 m mesafade 9 tip iletken için elektrik alan dağılımı……..……...119
Şekil 7.45 750 kV gerilim seviyesinde ACSR iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu……..……...120
Şekil 7.46 750 kV gerilim seviyesinde ACSR iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu……..……...121
Şekil 7.47 750 kV gerilim seviyesinde ACCC iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu……..……...122
Şekil 7.48 750 kV gerilim seviyesinde ACCC iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu……..……...123
Şekil 7.49 750 kV gerilim seviyesinde STACIR iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu……..……...124
Şekil 7.50 750 kV gerilim seviyesinde STACIR iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu……..……...125
Şekil 7.51 750 kV gerilim seviyesinde GTACSR iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu……..……...126
Şekil 7.52 750 kV gerilim seviyesinde GTACSR iletkeni ile T fazının +x yönünde

farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu…….……...127
Şekil 7.53 750 kV gerilim seviyesinde AAAC iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu…….……...128
Şekil 7.54 750 kV gerilim seviyesinde AAAC iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu…….……...129
Şekil 7.55 750 kV gerilim seviyesinde AAC iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu…….……...130
Şekil 7.56 750 kV gerilim seviyesinde AAC iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu…….……...131
Şekil 7.57 750 kV gerilim seviyesinde ACAR iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu…….……...132
Şekil 7.58 750 kV gerilim seviyesinde ACAR iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu…….……...133
Şekil 7.59 750 kV gerilim seviyesinde ACCR iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu…….……...134
Şekil 7.60 750 kV gerilim seviyesinde ACCR iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu…….……...135
Şekil 7.61 750 kV gerilim seviyesinde ACSS iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu…….……...136
Şekil 7.62 750 kV gerilim seviyesinde ACSS iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu……....137
Şekil 7.63 990 A akım uygulandığında zeminden Hy=1 m yüksekte analiz konfigürasyonu…..……...139
Şekil 7.64 990 A akım uygulandığında zeminden Hy=1 m yüksekte 9 tip iletken için manyetik alan dağılımı…….……140
Şekil 7.65 990 A akım uygulandığında iletkenlerin Ha=1 m altında analiz konfigürasyonu…….……...141
Şekil 7.66 990 A akım uygulandığında iletkenlerin Ha= 1 m altında 9 tip iletken için elektrik alan dağılımı…….……...142
Şekil 7.67 990 A akım uygulandığında T fazının +x yönünde Hs=1 m mesafede analiz konfigürasyonu…….……143
Şekil 7.68 990 A akım uygulandığında T fazının +x yönünde Hs=1 m mesafede 9 tip iletken için manyetik alan dağılımı…..……...144
Şekil 7.69 990 A akım uygulandığında ACSR iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu…….……...145

Şekil 7.70 990 A akım uygulandığında ACSR iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu……...146
Şekil 7.71 990 A akım uygulandığında ACCC iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu……...147
Şekil 7.72 990 A akım uygulandığında ACCC iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu……...148
Şekil 7.73 990 A akım uygulandığında STACIR iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu……...149
Şekil 7.74 990 A akım uygulandığında STACIR iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu……...150
Şekil 7.75 990 A akım uygulandığında GTACSR iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu……...151
Şekil 7.76 990 A akım uygulandığında GTACSR iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu……...152
Şekil 7.77 990 A akım uygulandığında AAAC iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu……...153
Şekil 7.78 990 A akım uygulandığında AAAC iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu……...154
Şekil 7.79 990 A akım uygulandığında AAC iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu……...155
Şekil 7.80 990 A akım uygulandığında AAC iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu……...156
Şekil 7.81 990 A akım uygulandığında ACAR iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu……...157
Şekil 7.82 990 A akım uygulandığında ACAR iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu……...158
Şekil 7.83 990 A akım uygulandığında ACCR iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu……...159
Şekil 7.84 990 A akım uygulandığında ACCR iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu……...160
Şekil 7.85 990 A akım uygulandığında ACSS iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu……...…161
Şekil 7.86 990 A akım uygulandığında ACSS iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu……...162
Şekil 7.87 Maksimum akımlar uygulandığında zeminden Hy=1 m yüksekte analiz

konfigürasyonu…….……...……163
Şekil 7.88 Maksimum akımlar uygulandığında zeminden Hy=1 m yüksekte 9 tip iletken için manyetik alan dağılımı…….164
Şekil 7.89 Maksimum akımlar uygulandığında iletkenlerin Ha=1 m altında analiz konfigürasyonu……165
Şekil 7.90 Maksimum akımlar uygulandığında iletkenlerin Ha=1 m altında 9 tip iletken için manyetik alan dağılımı…….166
Şekil 7.91 Maksimum akımlar uygulandığında T fazının +x yönünde Hs=1 m mesafede analiz konfigürasyonu…….167
Şekil 7.92 Maksimum akımlar uygulandığında T fazının +x yönünde Hs=1 m mesafede 9 tip iletken için manyetik alan dağılımı…….168
Şekil 7.93 1946 A akım uygulandığında ACCC iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu…….……...169
Şekil 7.94 1946 A akım uygulandığında ACCC iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu…….……...170
Şekil 7.95 1846 A akım uygulandığında STACIR iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu…….……...171
Şekil 7.96 1846 A akım uygulandığında STACIR iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu…….……...172
Şekil 7.97 1877 A akım uygulandığında GTACSR iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu…….……...173
Şekil 7.98 1877 A akım uygulandığında GTACSR iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu…….……...174
Şekil 7.99 1018 A akım uygulandığında AAAC iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu…….……...175
Şekil 7.100 1018 A akım uygulandığında AAAC iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu…….……....176
Şekil 7.101 1079 A akım uygulandığında AAC iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu…….……177
Şekil 7.102 1079 A akım uygulandığında AAC iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu…….……178
Şekil 7.103 1050 A akım uygulandığında ACAR iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu…….……179
Şekil 7.104 1050 A akım uygulandığında ACAR iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu…….……180

Şekil 7.105 2031 A akım uygulandığında ACCR iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu…….…….181
Şekil 7.106 2031 A akım uygulandığında ACCR iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu…….…….182
Şekil 7.107 1788 A akım uygulandığında ACSS iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu…….…….183
Şekil 7.108 1788 A akım uygulandığında ACSS iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu…….…….184
Şekil 7.109 Direkler arası mesafeye göre iletkenlerin sehim karşılaştırması..... 185
Şekil 7.110 Hat uzunluğuna göre iletkenlerin gerilim düşümü karşılaştırması..... 187
Şekil 7.111 Hat uzunluğuna göre iletkenlerin güç kaybı karşılaştırması 188

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 İletkenlere ait genel özellikler..... 19
Tablo 3.1 Değişken aralıkları..... 24
Tablo 3.2 Solar azimut sabiti (C) seçimi..... 26
Tablo 3.3 Katsayı seçim tablosu..... 27
Tablo 4.1 0 Hz-300 GHz frekans batlarındaki limit değerler..... 38
Tablo 4.2 Mesleki limit değerler..... 39
Tablo 4.3 Halk için limit değerler..... 39
Tablo 4.4 50 Hz için limit değerler..... 40
Tablo 6.1 Türkiye'de buz yükü bölgeleri ve katsayıları..... 54
Tablo 6.2 Dinamik rüzgar basıncı değerleri..... 55
Tablo 6.3 Dinamik rüzgar basıncı katsayıları..... 56
Tablo 7.1 İletkenlere ait bilgiler..... 59
Tablo 7.2 İletkenlerde kullanılan malzemeler..... 60
Tablo 7.3 İletkenlerde kullanılan malzemeler için kullanılan karakteristik değerler..... 60
Tablo 7.4 Analitik hesaplarda kullanılan parametreler..... 65
Tablo 7.5 ACSR iletkeninin hava sıcaklığı ve rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi…….69
Tablo 7.6 STACIR iletkeninin hava sıcaklığı ve rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi…….70
Tablo 7.7 ACCC iletkeninin hava sıcaklığı ve rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi…….71
Tablo 7.8 GTACSR iletkeninin hava sıcaklığı ve rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi…….72
Tablo 7.9 ACSS iletkeninin hava sıcaklığı ve rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi…….72
Tablo 7.10 ACAR iletkeninin hava sıcaklığı ve rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi……...73
Tablo 7.11 AAC iletkeninin hava sıcaklığı ve rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi……...74
Tablo 7.12 AAAC iletkeninin hava sıcaklığı ve rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi……...75

Tablo 7.13 ACCR iletkeninin hava sıcaklığı ve rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi……..……..76
Tablo 7.14 STACIR iletkeninin hava sıcaklığı ve rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi…..……..80
Tablo 7.15 ACCC iletkeninin hava sıcaklığı ve rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi…..……...81
Tablo 7.16 GTACSR iletkeninin hava sıcaklığı ve rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi…..……..82
Tablo 7.17 ACSS iletkeninin hava sıcaklığı ve rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi…….……...83
Tablo 7.18 ACAR iletkeninin hava sıcaklığı ve rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi…….……...84
Tablo 7.19 AAC iletkeninin hava sıcaklığı ve rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi.……...84
Tablo 7.20 AAAC iletkeninin hava sıcaklığı ve rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi…….……...85
Tablo 7.21 ACCR iletkeninin hava sıcaklığı ve rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi…..……...86
Tablo 7.22 400 kV gerilim seviyesinde zeminden Hy=1 m yüksekte grafiğin maksimum noktasında iletkenlerin elektrik alan büyüklükleri ve yüzde farkları…..……91
Tablo 7.23 400 kV gerilim seviyesinde iletkenlerin Ha=1 m altında grafiğin maksimum noktasında iletkenlerin elektrik alan büyüklükleri ve yüzde farkları……..…93
Tablo 7.24 400 kV gerilim seviyesinde T fazının +x yönünde Hs=1 m mesafede grafiğin maksimum noktasında iletkenlerin elektrik alan büyüklükleri ve yüzde farkları…….……95
Tablo 7.25 400 kV gerilim seviyesinde ACSR iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde elektrik alan değerleri…..……96
Tablo 7.26 400 kV gerilim seviyesinde ACSR iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde elektrik alan değerleri.……97
Tablo 7.27 400 kV gerilim seviyesinde ACCC iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde elektrik alan değerleri…….……98
Tablo 7.28 400 kV gerilim seviyesinde ACCC iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde elektrik alan değerleri…..……99
Tablo 7.29 400 kV gerilim seviyesinde STACIR iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde elektrik alan değerleri…..……..100

Tablo 7.30 400 kV gerilim seviyesinde STACIR iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde elektrik alan değerleri……..…….101
Tablo 7.31 400 kV gerilim seviyesinde GTACSR iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde elektrik alan değerleri…….……..102
Tablo 7.32 400 kV gerilim seviyesinde GTACSR iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde elektrik alan değerleri…….……..103
Tablo 7.33 400 kV gerilim seviyesinde AAAC iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde elektrik alan değerleri…..……..104
Tablo 7.34 400 kV gerilim seviyesinde AAAC iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde elektrik alan değerleri…..……..105
Tablo 7.35 400 kV gerilim seviyesinde AAC iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde elektrik alan değerleri…..……..106
Tablo 7.36 400 kV gerilim seviyesinde AAC iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde elektrik alan değerleri…..……..107
Tablo 7.37 400 kV gerilim seviyesinde ACAR iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde elektrik alan değerleri…….……..108
Tablo 7.38 400 kV gerilim seviyesinde ACAR iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde elektrik alan değerleri…..……..109
Tablo 7.39 400 kV gerilim seviyesinde ACCR iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde elektrik alan değerleri…….……..110
Tablo 7.40 400 kV gerilim seviyesinde ACCR iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde elektrik alan değerleri…….……..111
Tablo 7.41 400 kV gerilim seviyesinde ACSS iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde elektrik alan değerleri.……..112
Tablo 7.42 400 kV gerilim seviyesinde ACSS iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde elektrik alan değerleri…….……..113
Tablo 7.43 750 kV gerilim seviyesinde zeminden Hy=1 m yüksekte grafiğin maksimum noktasında iletkenlerin elektrik alan büyüklükleri ve yüzde farkları……..115
Tablo 7.44 750 kV gerilim seviyesinde iletkenlerin Ha=1 m altında grafiğin maksimum noktasında iletkenlerin elektrik alan büyüklükleri ve yüzde farkları…..….117
Tablo 7.45 750 kV gerilim seviyesinde T fazının +x yönünde Hs=1 m mesafede grafiğin maksimum noktasında iletkenlerin elektrik alan büyüklükleri ve yüzde farkları.……...119
Tablo 7.46 750 kV gerilim seviyesinde ACSR iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde elektrik alan değerleri…….……..120

Tablo 7.47 750 kV gerilim seviyesinde ACSR iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde elektrik alan değerleri…….....121
Tablo 7.48 750 kV gerilim seviyesinde ACCCiletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde elektrik alan değerleri…..……..122
Tablo 7.49 750 kV gerilim seviyesinde ACCC iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde elektrik alan değerleri…..……..123
Tablo 7.50 750 kV gerilim seviyesinde STACIR iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde elektrik alan değerleri…..……..124
Tablo 7.51 750 kV gerilim seviyesinde STACIR iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde elektrik alan değerleri…….……..125
Tablo 7.52 750 kV gerilim seviyesinde GTACSR iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde elektrik alan değerleri…….……..126
Tablo 7.53 750 kV gerilim seviyesinde GTACSR iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde elektrik alan değerleri…..……..127
Tablo 7.54 750 kV gerilim seviyesinde AAAC iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde elektrik alan değerleri…..……..128
Tablo 7.55 750 kV gerilim seviyesinde AAAC iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde elektrik alan değerleri.……..129
Tablo 7.56 750 kV gerilim seviyesinde AAC iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde elektrik alan değerleri…..……..130
Tablo 7.57 750 kV gerilim seviyesinde AAC iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde elektrik alan değerleri…….……..131
Tablo 7.58 750 kV gerilim seviyesinde ACAR iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde elektrik alan değerleri…….……..132
Tablo 7.59 750 kV gerilim seviyesinde ACAR iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde elektrik alan değerleri…..……..133
Tablo 7.60 750 kV gerilim seviyesinde ACCR iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde elektrik alan değerleri…….……..134
Tablo 7.61 750 kV gerilim seviyesinde ACCR iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde elektrik alan değerleri…..……..135
Tablo 7.62 750 kV gerilim seviyesinde ACSS iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde elektrik alan değerleri…..……..136
Tablo 7.63 750 kV gerilim seviyesinde ACSS iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde elektrik alan değerleri…..……..137
Tablo 7.64 990 A akım uygulandığında zeminden Hy=1 m yüksekte grafiğin maksimum

noktasında iletkenlerin manyetik alan büyüklükleri ve yüzde farkları……140
Tablo 7.65 990 A akım uygulandığında iletkenlerin Ha=1 m altında grafiğin maksimum noktasında iletkenlerin manyetik alan büyüklükleri ve yüzde farkları…...142
Tablo 7.66 990 A akım uygulandığında T fazının +x yönünde Hs=1 m mesafede grafiğin maksimum noktasında iletkenlerin manyetik alan büyüklükleri ve yüzde farkları……144
Tablo 7.67 990 A akım uygulandığında ACSR iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde manyetik alan değerleri…….……...145
Tablo 7.68 990 A akım uygulandığında ACSR iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde manyetik alan değerleri…….……...146
Tablo 7.69 990 A akım uygulandığında ACCC iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde manyetik alan değerleri…….……...147
Tablo 7.70 990 A akım uygulandığında ACCC iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde manyetik alan değerleri…….……...148
Tablo 7.71 990 A akım uygulandığında STACIR iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde manyetik alan değerleri…..……...149
Tablo 7.72 990 A akım uygulandığında STACIR iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde manyetik alan değerleri…..……...150
Tablo 7.73 990 A akım uygulandığında GTACSR iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde manyetik alan değerleri…….……...151
Tablo 7.74 990 A akım uygulandığında GTACSR iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde manyetik alan değerleri…….……...152
Tablo 7.75 990 A akım uygulandığında AAAC iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde manyetik alan değerleri…….……...153
Tablo 7.76 990 A akım uygulandığında AAAC iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde manyetik alan değerleri…….……...154
Tablo 7.77 990 A akım uygulandığında AAC iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde manyetik alan değerleri…..……...155
Tablo 7.78 990 A akım uygulandığında AAC iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde manyetik alan değerleri…….……...156
Tablo 7.79 990 A akım uygulandığında ACAR iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde manyetik alan değerleri…….……...157
Tablo 7.80 990 A akım uygulandığında ACAR iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde manyetik alan değerleri…..……...158
Tablo 7.81 990 A akım uygulandığında ACCR iletkeni kullanıldığında S fazının –y

yönünde manyetik alan değerleri…….……...159
Tablo 7.82 990 A akım uygulandığında ACCR iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde manyetik alan değerleri…..……...160
Tablo 7.83 990 A akım uygulandığında ACSS iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde manyetik alan değerleri.……...161
Tablo 7.84 990 A akım uygulandığında ACSS iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde manyetik alan değerleri…….……...162
Tablo 7.85 Maksimum akımlar uygulandığında zeminden Hy=1 m yüksekte grafiğin maksimum noktasında iletkenlerin manyetik alan büyüklükleri ve yüzde farkları…….……...164
Tablo 7.86 Maksimum akımlar uygulandığında iletkenlerin Ha=1 m altında grafiğin maksimum noktasında iletkenlerin manyetik alan büyüklükleri ve yüzde farkları…..……...166
Tablo 7.87 Maksimum akımlar uygulandığında T fazının +x yönünde Hs=1 m mesafede grafiğin maksimum noktasında iletkenlerin manyetik alan büyüklükleri ve yüzde farkları……..…….168
Tablo 7.88 1946 A akım uygulandığında ACCC iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde manyetik alan değerleri…….……...169
Tablo 7.89 1946 A akım uygulandığında ACCC iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde manyetik alan değerleri…….……...170
Tablo 7.90 1846 A akım uygulandığında STACIR iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde manyetik alan değerleri…..……...171
Tablo 7.91 1846 A akım uygulandığında STACIR iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde manyetik alan değerleri…..……...172
Tablo 7.92 1877 A akım uygulandığında GTACSR iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde manyetik alan değerleri.……...173
Tablo 7.93 1877 A akım uygulandığında GTACSR iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde manyetik alan değerleri…..……...174
Tablo 7.94 1018 A akım uygulandığında AAAC iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde manyetik alan değerleri…….……...175
Tablo 7.95 1018 A akım uygulandığında AAAC iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde manyetik alan değerleri…….……...176
Tablo 7.96 1079 A akım uygulandığında AAC iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde manyetik alan değerleri…….……...177

Tablo 7.97 1079 A akım uygulandığında AAC iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde manyetik alan değerleri…..……...178
Tablo 7.98 1050 A akım uygulandığında ACAR iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde manyetik alan değerleri…..……...179
Tablo 7.99 1050 A akım uygulandığında ACAR iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde manyetik alan değerleri…….……...180
Tablo 7.100 2031 A akım uygulandığında iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde manyetik alan değerleri…..……181
Tablo 7.101 2031 A akım uygulandığında ACCR iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde manyetik alan değerleri…..…….182
Tablo 7.102 1788 A akım uygulandığında ACSS iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde manyetik alan değerleri…….…….183
Tablo 7.103 1788 A akım uygulandığında ACSS iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde manyetik alan değerleri…….…….184
Tablo 7.104 İletkenlerin direkler arası mesafeye göre sehim değerleri 186
Tablo 7.105 Gerilim düşümü hesabı yapılırken kullanılan değerler..... 186
Tablo 7.106 Hat uzunluğuna göre gerilim düşümü değerleri 187
Tablo 7.107 Hat uzunluğuna göre güç kaybı değerleri 188

ÖZET

YÜKSEK GERİLİM ENERJİ İLETİM SİSTEMLERİNDE KULLANILAN HAVAİ HAT İLETKENLERİNİN PERFORMANS ANALİZİ

Murat DİNÇ

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışman: Doç. Dr. Oktay ARIKAN

Elektrik enerjisi, üretim tesislerinde üretilir ve yükseltici transformatörlerle yüksek gerilim seviyesine çıkarılır. Yüksek gerilim seviyelerinde havai hatlar ile tüketim noktalarına iletilir. İletim aşamasında kullanılacak iletkenin belirlenmesi elektrik enerjisinin verimli ve güvenli olarak iletimi açısından önem arz etmektedir. Gelişen teknoloji ve artan nüfus yoğunluğu sebebiyle gün geçtikçe elektrik enerjisi talebi artmaktadır. Artan talebi karşılamak için yeni iletim hatları inşa edilmeli, var olan iletim hatlarına yeni hatlar eklenmeli, gerilim seviyesi yükseltilmeli, var olan iletim hatları kesiti artırılmalı ya da var olan iletim hatları farklı tip iletkenlerle değiştirilmelidir. Bu tez çalışmasında, yapılabilecek bu çalışmalara referans olması amacıyla yaklaşık olarak aynı dış çapa sahip ACSR (Aluminum Conductor Steel Reinforced), AAC (All Aluminum Conductor), AAAC (All Aluminum Alloy Conductor), STACIR (Super Thermal Alloy Conductor Invar Reinforced), GTACSR (Gap Type Thermal-Resistant Aluminum Alloy Conductor Steel Reinforced), ACCC (Aluminum Conductor Composite Core), ACCR (Aluminum Conductor Composite Reinforced), ACSS (Aluminum Conductor Steel Supported) ve ACAR (Aluminum Conductor Alloy Reinforced) havai hat iletkenlerinin performans analizleri yapılmıştır. İletkenlerin termal analizleri, 5-15-25-35 °C hava

sıcaklıklarında ve 0,1-0,5-1-3-5-7-9-11-13-15 m/s rüzgar hızlarında 2-D, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak COMSOL Multiphysic yazılımında yapılmıştır. Aynı zamanda, IEEE-738 standartında verilen formülasyonlara göre değişen ortam şartlarında akım-sıcaklık ilişkişinin analitik sonuçları MATLAB yazılımında hesaplanarak termal analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. İletkenlerin 400 kV ve 750 kV gerilim seviyelerinde elektrik alan, eşit yüklenme durumunda iletkenlerin davranışlarını incelemek için, ACSR iletkeninin maksimum akım taşıma kapasitesi olan 990 A akım değerinde ve iletkenlerin maksimum çalışma akımlarında manyetik alan davranışları, 2-D olarak COMSOL Multiphysic yazılımında incelenmiştir. Farklı iletkenler kullanıldığı zaman, oluşan gerilim düşümü, güç kaybı ve sehim hesaplamaları ise MATLAB yazılımıyla hesaplanmıştır.

Birinci bölümde, elektrik enerjisine olan talep artışından, iletim zorluklarından ve artan enerji talebini karşılamak için önerilen çeşitli çözüm yollarından bahsedilmiştir. Tüm dünyada bu çözümler için hangi çalışmalar yapıldığına yer verilmiştir. Bu çalışmamızın amacı ve hipotezimiz açıklanmıştır.

İkinci bölümde, yüksek gerilim havai iletim hatlarında kullanılan iletken tipleri tanıtılmıştır. İlekten tiplerinin farklı özellikleri bakımından karşılaştırmalar yapılmıştır. Aynı zamanda, iletken tipi seçiminde dikkate alınması gereken kriteler verilmiştir. Bu kriterlerin önemini anlamak açısından açıklamaları yapılmıştır.

Üçüncü bölümde, IEEE-738 standartı referans alınarak iletkenlerin farklı ortam koşullarında akım ve sıcaklık hesaplamaları için kullanılan formüller tanıtılmıştır. Ortam koşulları ve iletken akımına göre iletken sıcaklığının belirlenmesi açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde, elektrik ve manyetik alan kavramları tanıtılmıştır. Aynı zamanda elektrik ve manyetik alan hesaplamları için kullanılan eşitlikler verilmiştir.

Beşinci bölümde, COMSOL Multiphysic proramının Heat Transfer ve AC/DC modülü tanıtılmıştır.

Altıncı bölümde, yüksek gerilim havai iletim hatlarında kullanılan iletken tiplerinin gerilim düşümü, güç kaybı ve sehim hesaplamalarını yapabilmek için formülasyonlar verilmiştir.

Yedinci bölümde, yüksek gerilim havai iletim hatlarında kullanılan iletken tiplerinin 5-35 °C arasında 4 farklı ortam sıcaklığında ve 0,1-15 m/s arasında 9 farklı rüzgar hızında uygulanan akım değerine göre iletken sıcaklıkları analizi yapılmıştır. Sonlu elemanlar

yönteminde ulaşılan sonuçlar IEEE-738 standartında yapılan hesaplama sonuçları ile desteklenmiştir. İletkenlerin 400 kV ve 750 kV gerilim seviyelerinde elektrik alan davranışları, her iletkene eşit yüklenme durumunda iletkelerin davranışlarını incelemek için ACSR iletkeninin maksimum çalışma akımı olan 990 A akım ve her iletkenin maksimum çalışma akımı uygulanarak, manyetik alan davranışları incelenmiştir. MATLAB yazılımında belirli bir hat üzerinde farklı iletken tiplerine göre yapılan gerilim düşümü, güç kaybı ve sehim hesaplamaları karşılaştırılmıştır.

Sonuç bölümünde, 9 tip iletken ısıl, elektromanyetik davranış, sehim, gerilim düşümü ve güç kaybı yönünden değerlendirilip, hesaplama ve analiz sonuçlarından elde edilen çıkarımlar yapılmış ve öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yüksek Gerilim Havai Hat İletkenleri, COMSOL, MATLAB, Isıl Analiz, IEEE 738, Manyetik Alan, Elektrik Alan.

ABSTRACT

PERFORMANCE ANALYSIS OF OVERHEAD CONDUCTORS USED IN HIGH VOLTAGE ENERGY TRANSMISSION SYSTEMS

Murat DİNÇ

Department of Electrical Engineering

MSc. Thesis

Supervisor: Ass. Prof. Dr. Oktay ARIKAN

Electrical energy is produced in the production facilities and increased to high voltage level with step-up transformers. It is transmitted to consumption points with overhead line conductors at high voltage levels. Determining the conductor to be used in the transmission phase is important in terms of efficient and safe transmission of electrical energy. Due to developing technology and increasing population density, electric energy demand is increasing day by day. In order to meet the increasing energy demand, new transmission lines should be built, new lines should be added to existing transmission lines, the voltage level should be increased, the cross-section of existing transmission lines should be increased or existing transmission lines should be replaced with different types of conductors. In this thesis studies, can be done performance analyzes of ACSR(Aluminum Conductor Steel Reinforced), AAC(All Aluminum Conductor), AAAC(All Aluminum Alloy Conductor), STACIR(Super Thermal Alloy Conductor Invar Reinforced), GTACSR(Gap Type Thermal-Resistant Aluminum Alloy Conductor Steel Reinforced), ACCC(Aluminum Conductor Composite Core), ACCR(Aluminum Conductor Composite Reinforced), ACSS(Aluminum Conductor Steel Supported), ACAR(Aluminum Conductor Alloy Reinforced) overhead line conductors with approximately the same outer as a reference for these studies. Thermal analyzes of the conductors were performed at air temperatures of 5-15-25-35 °C and wind speeds of 0,1-0,5-1-3-5-7-9-11-13-15 m/s using the 2-D, finite element method using COMSOL

Multiphysic made in software. At the same time, the analytical results of the current-temperature relationship under varying ambient conditions according to the formulations given in the IEEE-738 standard were calculated in the MATLAB software and the thermal analysis results were compared. In order to examine the behavior of the conductors at 400 kV and 750 kV voltage levels with electric field and equal load, the magnetic field behavior of the ACSR conductor at a current value of 990 A, which is the maximum current carrying capacity of the conductors, and at the maximum operating currents of the conductors, was investigated in 2-D in COMSOL Multiphysic software. When different conductors are used, voltage drop, power loss and deflection calculations are calculated with MATLAB software.

In the first chapter, the increase in demand for electrical energy, transmission difficulties and various proposed solutions to meet the increasing energy demand are mentioned. The studies carried out for these solutions all over the world are given. The aim of this study and our hypothesis are explained.

In the second chapter, the types of conductors used in high voltage overhead transmission lines are introduced. Comparisons were made in terms of different properties of the conductor types. At the same time, the criteria to be considered in the selection of conductor type are given. Explanations have been made to understand the importance of these criteria.

In the third chapter, the formulas used for current and temperature calculations of conductors in different ambient conditions are introduced with reference to the IEEE 738 standard. Determination of conductor temperature according to ambient conditions and conductor current is explained.

In the fourth chapter, the concepts of electric and magnetic field are introduced. At the same time, the equations used for electric and magnetic field calculations are given.

In the fifth chapter, the Heat Transfer and AC/DC module of the COMSOL Multiphysic program are introduced.

In the sixth chapter, formulations are given to calculate voltage drop, power loss and sag of conductor types used in high voltage overhead transmission lines.

In the seventh chapter, the conductor temperatures of the conductor types used in high voltage overhead transmission lines are analyzed according to the current value applied at 4 different ambient temperatures between 5-35 °C and 9 different wind speeds between

0,1-15 m/s. The results obtained in the finite element method were supported by the calculation results made in the IEEE 738 standard. In order to examine the electric field behavior of the conductors at 400 kV and 750 kV voltage levels, and the behavior of the conductors under equal load on each conductor, the magnetic field behavior of the ACSR conductor was investigated by applying the maximum operating current of 990 A and the maximum operating current of each conductor. In MATLAB software, voltage drop, power loss and sag calculations made according to different conductor types on a certain line are compared.

In the conclusion section, 9 types of conductors are evaluated in terms of thermal, electromagnetic behavior, deflection, voltage drop and power loss, inferences obtained from the calculation and analysis results are made and suggestions are presented.

Keywords: High Voltage Overhead Line Conductors, COMSOL, MATLAB, Thermal Analysis, IEEE 738, Magnetic Field, Electric Field.

1
GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Ülkemizde ve dünya genelinde sürekli artan elektrik enerjisi talebini karşılamak için, yeni elektrik üretim tesisleri inşa edilmektedir. Fakat, üretilen bu enerjinin iletimi sırasında karşılaşılan en büyük sorunlardan birisi maksimum kapasitesine ulaşan iletim hatlarıdır. Bu sorunun çözümü için gerilim seviyesi yükseltme, yeni iletim hatları inşa etme, var olan iletim hatlarına yeni hatlar ekleme, var olan iletim hatlarındaki iletkenleri daha büyük çapta aynı iletkenle değiştirme veya var olan iletim hatlarındaki iletkenleri kapasitesi daha yüksek farklı iletkenlerle değiştirme gibi çeşitli modifikasyonlar yapılmaktadır. Çalışmalar yapılırken temel amaç en verimli ve ekonomik yöntemi seçmektir. Bu çalışmalarda ve belirlenecek yöntemlerde havai hat iletkeninin doğru seçimi büyük önem taşımaktadır. Gelişen teknolojiyle beraber havai hat iletkenlerinin geometrileri, güç taşıma kapasiteleri, sıcaklık dayanımları, sehim özellikleri, ağırlıkları, güç kayıpları ve mukavemet dayanımları gibi özellikleri de değişmektedir.

Elektrik enerjisinin iletiminde, önceki zamanlarda yüksek elektrik iletkenliği, kolay işlenebilmesi ve uygun mekanik özellikleri sebebiyle bakır iletkenler kullanılmıştır. Fakat, son zamanlarda birçok ülkede bakıra göre daha ucuz ve yaklaşık %30 daha hafif olan alüminyum ana iletken malzeme olarak kullanılmaktadır. Alüminyum, elektrik alanında 1895 yılında Amerika ve Fransa'da havai hat örgülü alüminyum iletken olarak, 1908 yılında ise çelik özlü alüminyum iletken olarak kullanılmaya başlanmıştır [1]. Daha sonra, teknolojinin gelişmesiyle çelik özlü iletkenlere göre daha yüksek sıcaklık performansı ve akım taşıma kapasitesine sahip olan HTLS (High Temperature Low Sag) iletkenler kullanılmaya başlanmıştır.

Havai hatların güç taşıma kapasitesi, hattın taşıdığı akım ile doğru orantılıdır. Hatların akım taşıma kapasitesini belirleyen faktör ise seçilen iletkenin maksimum çalışma sıcaklığıdır. İletkeni maksimum çalışabileceği sıcaklık değeri arttıkça iletkenin yüklenebilirliği yani akım taşıma kapasitesi artmaktadır. İletkenlerin maksimum akım taşıma kapasitesindeki maksimum çalışma sıcaklığı iletkenlerin tipine bağlı olarak değişmektedir [2]. Akım ve sıcaklık ilişkisi ile yapılan bir simülasyon çalışmasında

ACSR iletkeni 85 °C maksimum çalışma sıcaklığında maksimum 902 A akım taşıyabilirken, ACCC iletkeni 210 °C çalışma sıcaklığında maksimum 2114 A akım taşıyabildiği ortaya konulmuştur [2]. Ayrıca, farklı iletken tipleri aynı seviyelerde akım ile yüklendiklerinde farklı malzeme özelikleri ve geometrilerinden dolayı, yüzey sıcaklıkları değişkenlik gösterir. ACSR ve 4 tip HTLS iletkeni ile gerçekleştirilen çalışmada tüm iletkenlere 1750 A akım uygulanmıştır. ACSR iletkeni yüzey sıcaklığı 180 °C seviyelerine ulaşırken, 4 farklı tip HTLS iletkeni sıcaklıkları sırasıyla 180 °C, 170 °C, 140 °C ve 120 °C olarak belirlenmiştir [3]. İletkenlerin farklı malzeme özelliklerine ve geometrilerine bağlı olarak iletkenlerin aynı sıcaklıkta taşıyabilecekleri maksimum akım seviyeleri de değişiklik gösterir. Atanasovski ve arkadaşlarının yaptığı çalışmaya göre 100 °C çalışma sıcaklığında ACCC iletkeni 692 A, AAAC/TW iletkeni 951 A akım taşıyabilirken, ACSR iletkeni 648 A akım taşıyabilmektedir [4].

İletkenlerin akım taşıma kapasitesinin artmasında veya azalmasında rüzgar hızı da önemli bir etkendir. Rüzgar hızı arttıkça ilekten yüzeyinde konvektif soğutma artar ve böylece iletken daha yüksek akım seviyelerinde maksimum çalışma sıcaklığına ulaşır. Yani iletkenin yüklenebilirliği artar. Reddy ve Mitra 4 farklı tip iletken üzerinde rüzgar hızının etkisini incelemiştir. 0,5 m/s rüzgar hızında ACSR iletkeni 700 A, ACCC iletkeni 1600 A, ACCR iletkeni 1900 A ve ACSS iletkeni 1500 A akım taşıyabilirken, 2,5 m/s rüzgar hızında ACSR iletkeninin 1200 A, ACCC iletkeninin 2250 A, ACCR iletkeninin 2500 A ve ACSS iletkeninin 2000 A taşıyabildiği görülmüştür [5]. Başka bir çalışmada ise diğer koşullar sabit tutularak 1 m/s rüzgar hızında ACSR iletkeni 812 A, ACCC iletkeni 784 A, ACCR iletkeni 816 A ve GTACSR iletkeni 794 A akım taşıyabildikleri görülürken, 2 m/s rüzgar hızında ACSR iletkeni 975 A, ACCC iletkeni 937 A, ACCR iletkeni 979 A, GTACSR iletkeni 950 A akım ile yüklenebildiği tespit edilmiştir [6]. ANSYS yazılımı kullanılarak yapılan simülasyon çalışmasında, iletken 2-D ve 3-D modellenerek rüzgar hızına ve yönüne bağlı olarak iketkenin sıcaklık değişimi incelenmiştir. ACSR Lynx iletkenine 433 A akım uygulanarak 20 °C hava sıcaklığında 0,1 m/s-15 m/s arasında değişen rüzgar hızına hızlarına ve yönlerine göre iletkenin sıcaklık değişimleri verilmiştir. Çalışmaya göre çapraz rüzgar yönünde 2-D CFD modelinde 0,1 m/s rüzgar hızında iletken sıcaklığı 51 °C olurken 15 m/s rüzgar hızında iletken sıcaklığı 21 °C olduğu belirlenmiştir. Aynı koşullarda, çapraz rüzgar yönünde 3-D CFD modelinde ise 0,1 m/s rüzgar hızında iletken sıcaklığı 51 °C olurken 15 m/s rüzgar hızında 21 °C olduğu belirlenmiş ve böylelikle 2-D CFD modeliyle benzer sonuçlar verdiği ortaya

konulmuştur. Daha sonra paralel rüzgar yönünde 3-D CFD modelinde aynı çalışma yapılmış, 0,1 m/s rüzgar hızında iletken sıcaklığı 73 °C olurken 15 m/s rüzgar hızında iletken sıcaklığı 26 °C olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlardan hareketle, çapraz rüzgarların paralel rüzgarlara daha iyi soğutma sağladığı ve rüzgar hızıyla iletken sıcaklığının ters orantılı olarak değiştiği görülmüştür [7]. Konvektif soğutma modellerinin iletken sıcaklığına olan etkisini incelemek için ACSR ve AAAC iletkenleri ile bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada, doğal konvektif soğutma modeli, zorlanmış konvektif soğutma modeli ve karma soğutma modeli karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma neticesinde, karma modelin diğer modellere göre daha etkili olduğu ve iletkenlerin daha düşük sıcaklıklarda çalıştığı belirlenmiştir [8].

İletkenlerin yüzey sıcaklığı hava sıcaklıklığı ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Hava sıcaklığı arttığında iletken yüzey sıcaklığı artmakta, hava sıcaklığı azaldığında iletken yüzey sıcaklığı da azalmaktadır. Buna bağlı olarak iletkenin yüklenebilirliği değişmektedir. Bu konuda yapılan bir çalışmada, 1 m/s rüzgar hızında 800 A akım uygulanarak 4,8 mm, 3,45 mm ve 1,83 mm çapında ki iletkenlerin sıcaklıkları 10 °C ve 40 °C hava sıcaklığında karşılaştırılmıştır. Hava sıcaklığı 10 °C olduğunda 4,8 mm çaplı iletken sıcaklığının 36 °C, 3,45 mm çaplı iletken sıcaklığının 35 °C ve 1,83 mm çaplı iletken sıcaklığının 33 °C olarak olduğu görülmüştür. Hava sıcaklığı 40 °C'ye çıkarıldığında ise 4,8 mm çaplı iletken sıcaklığının 66 °C, 3,45 mm çaplı iletken sıcaklığının 65 °C ve 1,83 mm çaplı iletken sıcaklığının 63 °C olduğu görülmüştür. Böylece, hava sıcaklığı 30 °C arttığında iletken sıcaklıklarının da 30 °C arttığı belirlenmiştir [9]. Hava sıcaklığına bağlı olarak ACSR ve farklı tiplerde ki HTLS iletkenlerinin çalışma ısısını incelemek için bir modelleme yapılmıştır. Bu modellemede iletkenlere 1000 A akım uygulanmış, rüzgar hızı 0,61 m/s'de sabit tutularak hava sıcaklığı 20 °C ve 55 °C olduğunda iletken ısıları karşılaştırılmıştır. Hava sıcaklığı arttıkça tüm iletkenlerin çalışma ısılarının arttığı gözlenirken, en iyi ısıl performansı HTLS 4 tipi iletkenin gösterdiği belirlenmiştir [10]. Maria ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, rüzgar hızı, hava sıcaklığı ve rakımın iletken sıcaklığına etkisini inceleyen simulasyonlar yapılmıştır. Simulasyon sonuçları, IEEE ve CIGRE standartlarında verilen hesaplama yöntemleri ile karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Sıcaklık ve rüzgar önceki çalışmalarla benzer sonuçlar verirken, rakımın iletken sıcaklığında etkisinin az olduğu belirlenmiştir [11]. Liu, ACSR iletkenin dış yüzeyi ve çelik özü arasındaki sıcaklık farkını incelemiştir. İletkene 250 A ve 550 A aralığında 4 farklı değerde akım uygulanarak hem deneysel hem

de simulasyon çalışmaları sonucunda iletkene uygulanan akım arttıkça çelik öz ve dış yüzey arasındaki sıcaklık farkının arttığı tespit edilmiştir [12].

Enerji iletimi sırasında iletim hatlarının çalıştıkları gerilim seviyesine göre iletkenlerin etrafında elektrik alan meydana gelmektedir. Bu elektrik alan gerilim seviyesi yükseldikçe artarken, iletkenlerden uzaklaştıkça azalmaktadır. Oluşan elektrik alanlar etrafında ki canlı yaşamını olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle, iletim hatları kurulurken dikkat edilmesi gereken koruma mesafeleri yönetmeliklerle belirlenmiştir. Mujezinović ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, tek devre, yatay dizilimli, ikili demet, 490/65 mm^2 Al-Fe iletken kullanılan, standart (yaklaşık 11 m yükseklik) ve alçaltılmış (yaklaşık 10 m yükseklik) direk yapılarına 400 kV, 420 kV, 425 kV, 430 kV ve 435 kV gerilim seviyeleri uygulanarak zeminden 1 m yükseklikte elektrik alan büyüklükleri incelenmiştir. Standart direk yapısında 400 kV gerilim seviyesinde sıfır noktasında (merkez iletken baz alınarak) yerden 1 m yüksekte elektrik alan 4 kV/m olurken, alçaltılmış direk yapısında 4,2 kV/m olduğu belirlenmiştir. 435 kV gerilim seviyesinde ise, standart direk yapısında sıfır noktasında yerden 1 m yüksekte elektrik alan 4,4 kV/m iken, alçaltılmış direk yapısında 4,8 kV/m olduğu tespit edilmiştir. Gerilim seviyesi arttıkça ve direk yüksekliği azaldıkça, zeminden 1 m yüksekte elektrik alanın büyüklüğü arttığı görülmüştür [13]. Başka bir çalışmada ise, paralel iletim hatlarının arasında bulanan mesafelere ve faz sıralarına bağlı olarak elektrik alan büyüklükleri incelenmiştir. Paralel hatların sağında ve solunda çift devre ikili demet, dikey dizimli, 220 kV iletim hattı, ortasında ise tek devre, üçlü demet, yatay dizilimli 500 kV iletim hattı bulunmaktadır. İletim hatları arası mesafe 40 m iken zeminden 1 m yüksekte maksimum elektrik alan yaklaşık 3,7 kV/m olurken, iletim hatları arası 400 m olduğunda maksimum elektrik alan yaklaşık 3,5 kV/m olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, faz sırası değişikliklerinin de oluşan elektrik alanı etkilediği belirlenmiştir [14]. Elektrik alanın gerilim seviyelerine ve yerden yüksekliğine bağlı değişiminin incelendiği Comsol Multiphysics yazılımıyla yapılan simülasyon çalışmasında yatay dizilimli iletim hattı yükseklikliği 20 m iken 800 kV gerilim seviyesi için yerden 1 m yükseklikte elektrik alan büyüklüğü 6,1 kV/m olurken, iletim hattı yüksekliği 39 m olduğunda ise 1,94 kV/m olduğu görülmüştür. 1000 kV gerilim seviyesi için ise dikey dizilimli iletim hattı yüksekliği 40 m iken yerden 1 m yükseklikte elektrik alan yaklaşık 4,9 kV/m belirlenmiş olup, iletim hattı yüksekliği 80 m'ye çıkarıldığında ise elektrik alanın yaklaşık 1,9 kV/m'ye düştüğü belirlenmiştir. Ayrıca, iletim hatlarının

fazları arasında kalan bölgelerde fazlarda oluşan elektrik alanların üst üste gelmesi sebebiyle daha yüksek elektrik alanlar oluştuğu görülmüştür [15].

İletim hatlarıyla elektrik enerjisi iletilirken iletkenlerden taşınan akım sebebiyle iletim hatları etrafında manyetik alanlar oluşmaktadır. Manyetik alanların büyüklüğü akımın artmasıyla artarken, iletkenlerden uzaklaştıkça azalmaktadır. Gelişen iletken geometrileri ve malzemelerine bağlı olarak iletkenlerde taşınan akım miktarları da arttığından dolayı iletim hatlarının etrafında meydana gelen manyetik alan büyüklükleri de artmaktadır. ACSR ve HTLS iletkenlerinin manyetik alan davranışını incelemek için iletkenleri Comsol yazılımında modelleyen Reddy ve Chattarjee simülasyon sonucunda, ACSR ve HTLS iletkenlerinin benzer manyetik alan davranışları sergilediğini fakat HTLS iletkenlerinde akım taşıma kapasitesine bağlı olarak manyetik alanın büyüklüğünün de arttığını tespit etmiştir. Aynı zamanda iletkenden uzaklaştıkça manyetik alan büyüklüğünün de azaldığını belirlemiştir [3]. Diğer bir çalışmada ise, 300 A, 600 A, 800 A ve 1000 A akım altında ACSS iletkenin manyetik alan davranışı incelenmiştir. ACSS iletkenine 300 A akım uygulandığında 0,5 m uzaklıkta manyetik alan değeri 120 μT, 2 m uzaklıkta ise 30 μT olurken, 1000 A uygulandığında 0,5 m uzaklıkta 400 μT, 2 m uzaklıkta ise 100 μT olarak belirlenmiştir. Bu sonuca göre iletkenden uzaklaştıkça manyetik alanın değerinin azaldığı ortaya konulmuştur [16]. Ghani ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada 132 kV, çift devre, 300 mm^2 kesitli iletkenlere 616 A, 275 kV çift devre, ikili demet, 400 mm^2 kesitli iletkenlere 717 A akım uygulanarak ANSYS yazılımında simülasyon çalışmaları yapılmıştır. 132 kV iletim hattı için simülasyon sonuçları, gerçek ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlara göre, 132 kV iletim hattında maksimum manyetik alan büyüklüğü 0,637 μT olurken, 275 kV iletim hattında 17,135 μT olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, 132 kV iletim hattı için simülasyon sonuçları ve ölçüm sonuçlarının %97,8 benzer olduğu görülmüştür [17].

Elektrik ve manyetik alanlarının beraber incelendiği çalışmada, 765 kV, 2 kA , tek devre, 4'lü demet, 31,8 mm dış çaplı iletken kullanılarak oluşturulan iletim hattı yatay ve delta direk konfigürasyonlarına göre Matlab yazılımında GUI arayüzünde hesaplamalar yapılmıştır. İletken yükseklikleri 15 m iken yerden 2 m yüksekte yatay direk konfigürasyonunda elektrik alan büyüklüğü yaklaşık 8,5 kV/m, manyetik alan büyüklüğü ise yaklaşık 340 mG olarak belirlenmiştir. Delta direk konfigürasyonunda, elektrik alanın yaklaşık 7,2 kV/m ve manyetik alan yaklaşık 230 mG olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda, iletken yükseklikleri arttıkça elektrik ve manyetik alan değerlerinin de azaldığı

tespit edilmiştir [18]. Diğer bir çalışmada, faz düzenlerine göre elektrik alan değişimi Comsol Multiphysics yazılımında incelenmiştir. 11 kV'luk iletim hatları için aynı faz düzeninde Matlab ve Comsol yazılımları benzer sonuçlar vermiştir. 230 kV'luk iletim hatlarında, dairesel dizilim iletken konfigürasyonunun, yatay dizilime göre elektrik alan büyüklüğünü üçte bir oranında azalttığı görülmüştür [19]. Ülkemizde Sakarya bölgesinde yapılan çalışmada, 380 kV, 1187 A, 1272 MCM Pheasant iletim hatları altında elektrik ve manyetik alan ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre iletim hattının 30 m altında elektrik alan 0,99 kV/m, manyetik alan ise 1,09 A/m olarak ölçülmüştür. Hattın 23 m altında yapılan ölçümlerde ise, elektrik alan 2,3 kV/m, manyetik alan 1,7 A/m olarak ölçülürken, iletim hattlarına yaklaştıkça elektrik ve manyetik alan büyüklüklerinin arttığı belirlenmiştir [20]. Elektrik alanın canlı bakım personelleri üzerindeki etkisini incelemek için yapılan çalışmada, 500 kV DC iletim hattı tek devre, çift devre ve çift devre ile dönüş hattı bulunan 3 farklı konfigürasyonda, ANSYS yazılımında elektrik alan etkileri incelenmiştir. Elektrik alan etkileri incelenirken, farklı pozisyonlarda insan modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan bu insan modelleri, iletim hatlarının farklı bölgelerinde çalıştıklarında, baş, el, göğüs ve ayak bölgeleri incelenerek en fazla elektrik alana maruz kalan bölge tespit edilmiştir. Tek devre konfigürasyonunda, en yüksek elektrik alana 554,4 kV/m ile personelin ellerinin maruz kaldığı belirlenmiştir. Çift devre iletim hattında, en yüksek elektrik alana 666,3 kV/m altta bulunan iletim hattında çalışan personelin elleri maruz kaldığı görülmüştür. Çift devre ve dönüş hattı olan iletim hattında, en yüksek elektrik alana 697,1 kV/m ile yine altta bulunan iletim hattında çalışan personelin elleri maruz kaldığı tespit edilmiştir ve iletim hattı sayısı arttıkça personelin maruz kaldığı elektrik alan şiddetinin arttığı tespit edilmiştir [21].

İletkenlerin sıcaklıklarının ve kullanılan malzemelerin değişmesiyle iletkenlerin sehim özellikleri de değişmektedir. Sehim, iletkenlerde kullanılan malzemenin özelliklerine bağlı olarak iletken tiplerine göre farklılık göstermektedir. Sehim fazla artarsa iletkenler için yönetmeliklerde verilen yaklaşma mesafesi ihlal edilebileceğinden ve güvenlik riski oluşturabileceğinden, sehim iletken seçimi konusunda önemli bir faktör olmaktadır. ACSR ve ACCC iletkenleri ile yapılan uygulamada, hattın mevcut direkleri değiştirilmeden var olan ACSR iletkeni ACCC iletkeni ile değiştirilerek akım taşıma kapasitesinin yaklaşık %15 arttırılmasına karşın sehimin 1,5 m azaltıldığı tespit edilmiştir [22]. Başka bir çalışmada, ACCC, AAAC ve ACSR iletkenleri -20 °C – 100 °C sıcaklıkları arasında sehim özellikleri bakımından karşılaştırılmıştır. En iyi performansı

gösteren iletken ACCC iletkeni olurken, düşük sıcaklıklarda en kötü perfomansı ACSR iletkeni göstermiştir. Yüksek sıcaklıklarda, ACSR ve AAAC tipi iletkenlerin neredeyse aynı sehim özelliklerini gösterdiği tespit edilmiştir [4]. Zamora ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, limit sehim değeri olan 8,52 m'ye ACSR iletkeni 50 °C, ZTACIR iletkeni 50 °C, ACSS iletkeni 60 °C ve GTACSR iletkeni 80 °C'de ulaştığı belirlenmiş olup, GTACSR tipi iletkeninin en iyi perfomansı gösterdiği sonucuna varılmıştır [23]. ACSR, AAAC, ACCC ve ACCR iletkenlerinin farklı sıcaklık derecelerinde, iletkenin boyutuna göre sehimlerinin karşılaştırıldığı çalışmada; ACSR ve AAAC iletkenlerinin 70 °C'de, ACCC ve ACCR iletkenlerinin ise 180 °C'de sehimleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar yapılırken her iletken için Brant, Drake ve Lapwing tipleri kullanılmıştır. 70 °C çalışma sıcaklığında en fazla sehim artışı, ACSR Brant iletkeninde 15,33 mm, AAAC Brant iletkeninde 39,57 mm olarak belirlenmiş olup çap arttıkça, sehimin azaldığı tespit edilmiştir. 180 °C çalışma sıcaklığında en fazla sehim artışı, ACCC Lapwing iletkeninde 15,20 mm, ACCR Lapwing iletkeninde 11,06 mm olarak belirlenmiştr. Ayrıca ACCC ve ACSR iletkenlerinde çap arttıkça sehiminde arttığı belirlenmiştir. En iyi perfomansı ACCR iletkeni gösterirken en kötü performansı AAAC iletkeni göstermiştir [8]. Diğer bir çalışmada ise, ACSR Duck ve ACSR Grosbeak iletkenlerin farklı direk açıklıklarında ve farklı direk yüksekliklerinde sehimleri karşılaştırılmıştır. Direk yüksekliği 20 m, direk açıklığı 344 m iken ACSR Duck iletkeninin sehimi 7,8 m, ACSR Grosbeak iletkeninin sehimi 8,6 m olarak belirlenmiş olup, iletken çapı arttıkça sehimin arttığı görülmüştür. Direk yüksekliği 58 m, direk açıklığı 678,35 m olduğunda, ACSR Duck iletkeni sehiminin 31,71 m ve ACSR Grosbeak iletkeni sehiminin 34,18 m olduğu tespit edilmiştir. Direk yüksekliği 58 m, direk açıklığı 643 m olduğunda ise ACSR Duck iletkeni sehimi 28,43 m, ACSR Grosbeak iletkeni sehimi 30,68 m olduğu belirlenmiştir. Direk yüksekliği ve direk açıklığı arttıkça sehimin de arttığı tespit edilmiştir [24]. Etap yazılımı kullanılarak ACSR iletkeninde sehimin; direk açıklığı, rüzgar hızı ve hava sıcaklığına bağlı değişmini inceleyen çalışmada 5 °C hava sıcaklığında, 25 N/m^2 rüzgar hızında, 100 m direk açıklığında ACSR iletkeninin sehiminin 1,03 m olduğu görülürken, 300 m direk açıklığında 9,23 m olduğu belirlenmiş olup direk açıklığı artıkça sehimin arttığı ortaya konulmuştur. 5 °C hava sıcaklığında rüzgar hızı 50 N/m^2'ye çıkarıldığında sehimin değişmediği görülmüştür. Hava sıcaklığı 50 °C'ye çıkarıldığında rüzgar hızı 25 N/m^2 iken, 100 m direk açıklığında ACSR iletkeninin sehiminin 1,24 m'ye yükseldiği, direk açıklığı 300 m'ye çıkarıldığında sehimin de 11,17 m olduğu belirlenmiş olup hava sıcaklığıyla sehimin arttığı tespit

edilmiştir [25]. Bir Akdeniz adasında yapılan çalışmada ise, yaklaşık olarak aynı dış çapa sahip ACSR, ZTACIR, ACSS ve GZTACSR iletkenlerinin sehim davranışları incelenmiştir. GZTACSR iletkeni 9,44 m sehime 138 °C çalışma sıcaklığından ulaşarak en iyi perfomansı gösterirken, aynı sehime ACSR iletkeni 55 °C sıcaklıkta ulaşarak en kötü performansı göstermiştir [26].

Elektrik enerjisinin tüketim noktalarına iletimi sırasında, iletim hatlarında gerilim düşümü meydana gelmektedir. Bu gerilimi düşümünü en aza indirmek için elektrik enerjisi olabildiğince yüksek gerilim seviyelerinde tüketim noktalarına taşınmaktadır. Böylece sabit güçte gerilim artırıldığından akım düşürülecektir. Akımın düşürülmesi ile hem iletim hattı kayıpları azalacak hem de daha küçük kesitli iletken kullanılabilecektir. Aynı akımı taşımak için iletken geometrilerine bağlı olarak iletkenlerin kesitleri de değişmektedir. Gerilim düşümünün incelendiği bir çalışmada, 24,21 mm dış çapa sahip ACSR Duck iletkeni ile 25,15 mm dış çapa sahip ACSR Grosbeak iletkeninin gerilim düşümleri karşılaştırılmıştır. 230 kV gerilim seviyesinde, 0,9 güç faktörü ile ACSR Duck iletkeninde 18,366 kV gerilim düşümü meydana geldiği hesaplanırken, ACSR Grosbeak iletkeninde 17,927 kV gerilim düşümü meydana geldiği belirlenmiştir. İletkenin çapı arttıkça, gerilim düşümünün azaldığı belirlenmiştir. [24]. PSCAD yazılımıyla yapılan simülasyon çalışmasında, 100 km'lik iletim hattında 230 kV, 345 kV, 500 kV, 765 kV ve 1100 kV gerilim seviyelerinde hattın gerilim düşümleri ve aynı zamanda, aynı gerilim seviyelerinde havai iletim hatları ile gaz izoleli iletim hatlarının gerilim düşümleri karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlara göre, havai iletim hatlarında 230 kV gerilim seviyesinde 11,4 kV gerilim düşümü olurken, 1100 kV gerilim seviyesinde –2 kV gerilim düşümü olduğu belirlenmiştir. Gaz izoleli iletim hatlarında 230 kV gerilim seviyesinde 2,2 kV gerilim düşümü olurken, 1100 kV gerilim seviyesinde -4 kV gerilim düşümü olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, tüm gerilim seviyelerinde gaz izoleli iletim hatlarının gerilim düşümünün havai iletim hatlarından daha düşük olduğu belirlenmiş olup, gaz izoleli iletim hatlarının daha iyi gerilim profili gösterdiği sonucuna varılmıştır [27].

Elektrik enerjisi, havai iletim hatlarıyla tüketim noktalarına iletilirken, iletkenlerin direncinden dolayı iletim hattında güç kaybı meydana gelmektedir. Kullanılan havai iletim hattının direnci ve akım taşıma kapasitesi arttıkça güç kaybı da artmaktadır. Bu durumda kullanılan iletken tipinin doğru seçimi önem arz etmektedir. Yanlış iletken seçimi özellikle çok uzun iletim hatlarında hattın verimini önemli oranda etkilemektedir. PSS@E yazılımıyla, farklı uzunlukta 9 fiderde gerçekleştirilen yük akış çalışmalarında

ACSR, STACIR ve ACCC iletkenleri kullanıldığında hattın güç kayıpları incelenmiştir. Bütün fiderlerde en yüksek güç kaybı ACSR iletkeni kullanıldığında oluşurken ACCC iletkeni kullanıldığında ise en düşük güç kaybının meydana geldiği görülmüştür [28]. Bosna Hersek'te yapılan çalışmada, kullanılan bütün iletim hatları ACSR iletkeni ile modellenirken toplam aktif güç kaybı yaklaşık 82 MW olduğu belirlenmiştir. Kurulum ömrü 10-70 yıl arasında olan iletim hatları ACSR yerine ACCC iletkeni ile değiştirilerek modellendiğinde ise aktif güç kaybı yaklaşık 73 MW seviyelerine düştüğü ortaya konulmuştur [29]. Matesscu ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, 480 MW brüt güçlü, 220 kV çift devre, 1260 A akım uygulanan iletim hattı yaklaşık olarak aynı dış çapa sahip ACSS, ZTACIR, GZTACSR, ACCR ve ACCC iletkenleri kullanıldığında güç kayıpları karşılaştırılmıştır. Buna göre, ZTACIR iletkeninin 14,9 MW ile en yüksek güç kaybına neden olduğu ACCC iletkeninin 9,2 MW ile en düşük güç kaybına neden olduğu belirlenmiştir [30]. Diğer bir çalışmada ise, 400 kV gerilim seviyesi, 400 m hat açıklığı olan, 6 adet direk bulunan iletim hattı PLS-CADD yazılımında modellenerek, ACSR ve ACCC iletkeni güç kayıpları ve AC dirençleri karşılaştırılmıştır. İki iletkene de 902 A uygulandığında ACSR iletkeninin hat kaybı 172 kW/ckt olurken, ACCC iletkeninin hat kaybı 130 kW/ckt olduğu belirlenmiştir. Düşük sıcaklıklarda ACCC iletkeni hat kayıpları ACSR iletkeninden yaklaşık %25 daha düşük olduğu ortaya konulmuştur. Yüksek sıcaklıklara çıkıldığında, ACSR iletkeni bu sıcaklıklarda çalışamadığından ve ACCC iletkeni daha fazla akımla yüklenebildiğinden dolayı kayıpları da artmaktadır. 902 A akım ve 85 °C sıcaklıkta, ACSR iletkeni AC direnci 0,070644 ohm/km iken 902 A akım ve 77 °C sıcaklıkta ACCC iletkeni AC direnci 0,0531 ohm/km olduğu belirlenmiştir. Akım 2114 A ve sıcaklık 210 °C olduğunda ise ACSR iletkeni bu akıma çıkamazken ACCC iletkeninin AC direnci 0,0706 ohm/km olduğu belirlenmiştir [2]. Analitik hesaplamalar sonucunda, güç kayıplarının iletken tipine göre incelendiği çalışmada, ACSR Moose iletkenin yaklaşık olarak benzeri AAAC, TACSR, AL59, ACSS, STACIR ve ACCC iletkenlerinin sıcaklık değişimine göre AC dirençleri ve güç kayıplarında ki değişimler karşılaştırılmıştır. 20 °C'de, AC direnci en düşük iletken 0,04527 ohm/km ile ACCC iletkeni olurken, en yüksek AC dirence sahip iletken 0,06941 ohm/km ile STACIR iletkeni olmuştur. 85 °C'de, en düşük AC dirence sahip iletken 0,05618 ile ACCC olurken, en yüksek AC dirence sahip iletken 0,08689 ohm/km ile STACIR iletkeni olduğu belirlenmiştir. Sıcaklık artışıyla STACIR iletkeni AC direncinin daha fazla artış gösterdiği ortaya konulmuştur. 85 °C'de, ACCC iletkeni 160,54 MW güç kaybı ile en iyi

performansı gösteren iletken olurken, STACIR iletkeninin 248,31 MW ile en kötü performansı gösterdiği tespit edilmiştir [31].

1.2 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında, yüksek gerilim iletim hatlarında kullanılan yaklaşık olarak aynı dış çapa sahip ACSR(Aluminum Conductor Steel Reinforced), AAC(All Aluminum Conductor), AAAC(All Aluminum Alloy Conductor), STACIR(Super Thermal Alloy Conductor Invar Reinforced), GTACSR(Gap Type Thermal-Resistant Aluminum Alloy Conductor Steel Reinforced), ACCC(Aluminum Conductor Composite Core), ACCR(Aluminum Conductor Composite Reinforced), ACSS(Aluminum Conductor Steel Supported), ACAR(Aluminum Conductor Alloy Reinforced) iletkenlerinin ısıl analizlerinin, elektrik ve manyetik alan davranışlarının, sehimlerinin, gerilim düşümlerinin ve güç kayıplarının karşılaştırılarak performans analizlerinin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

Havai hat iletiminde kullanılan iletkenlerin akım taşıma kapasitesi, ısıl performansına bağlıdır. İletkenkerin ısınması ise kullanılan malzeme, rüzgar hızı, hava sıcaklığı, güneş ışıması gibi çeşitli parametrelere bağlı olarak değişmektedir. İletkenlerin akım taşıma kapasitesi arttıkça, iletkenlerin etrafında oluşan manyetik alan büyüklüğü de artmaktadır. Gerilim düşümünü azaltmak ve daha fazla güç taşımak için iletim hatlarında kullanılan gerilim seviyesinin arttırılmasına bağlı olarak ise hatların etrafında oluşan elektrik alan büyüklükleri de artış göstermektedir. İletkenlerin geometrilerinin, malzemelerinin değişmesiyle ve daha yüksek sıcaklıklarda çalışmasıyla sehim özellikleri değişmektedir. Görüldüğü gibi bütün parametreler birbirine bağlı olarak değişmekte ve gelişmektedir.

Bu nedenle, bu çalışmada, var olan iletim hatlarının değiştirilmesi ve yeni iletim hatlarının inşa edilmesi gibi planlamalara referans olması amacıyla, havai iletim hatlarında kullanılan iletkenlerin 5-15-25-35 °C hava sıcaklıklarında ve 0,1-0,5-1-3-5-7-9-11-13-15 m/s rüzgar hızlarında iki boyutlu, Comsol Multiphsics yazılımında ısıl analiz sonuçları, 400 kV ve 750 kV gerilim seviyelerinde elektrik alan davranışları, eşit yüklenme durumunda iletkenlerin davranışlarını incelemek için ACSR iletkeninin maksimum çalışma akımı olan 990 A akım tüm iletkenlere uygulanarak ve her iletkenin maksimum çalışma akımında manyetik alan davranışları, sehim, gerilim düşümü ve güç kaybı hesaplamaları ortaya konulacaktır.

Bu çalışma sonucunda, iletim hatlarının güç taşıma kapasitesinin artırılması hususunda, var olan iletim hatlarındaki iletkenleri aynı dış çapa sahip akım taşıma kapasitesi daha yüksek olan farklı iletkenlerle değiştirme, var olan iletim hatlarındaki iletkenleri daha büyük çapta aynı iletkenle değiştirme, yeni iletim hatları inşa etme ve gerilim seviyesi yükseltme gibi çeşitli modifikasyonlar için farklı tip havai hat iletkenlerinin performanslarını incelemek ve sonuçta, teknik ve ekonomik olarak en uygun olanın belirlenmesi için yol gösterici olmak amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Elektrik enerjisini tüketim noktalarına taşıyabilmek için en kritik malzeme havai iletim hatlarında kullanılan iletkenlerdir. En uygun iletkeni seçebilmek için kullanılan iletkenlerin ısıl özellikleri, sehim, iletkenlik vb. özelliklerinin bilinmesi gerekir.

Havai hat iletiminde birçok iletken tipi kullanılmaktadır. İletken tipine göre geometrileri ve kullanılan malzemelerin değişmesi de iletkenlerin bütün özelliklerinin değişmesine sebep olur. Örneğin; iletkenlerde kullanılan malzemenin değişmesiyle ısıl davranışları, sehim özellikleri, gerilim düşümü ve güç kaybı profilleri de değişmektedir. İletken geometrilerinin farklılaşmasıyla kesit alanları, akım taşıma kapasiteleri, manyetik alan davranışları da farklılaşmaktadır. Ayrıca, havai hat iletkenleri çıplak iletkenler olduklarından ve doğrudan dış ortamla temas ettiklerinden dolayı, çevre şartlarından da etkilendiği bilinmektedir. Hava sıcaklığının artması, hattın yüklenebilirliğini azaltırken, havanın rüzgarlı olması, hattın yüklenebilirliğini artırabilmektedir. Ayrıca, sıcak havalarda sehim artarken soğuk havalarda çeşitli buz ve rüzgar yüküne bağlı olarak azalabilmektedir. Hattın akım ve gerilim profillerinin yükseltilmesi güç taşıma kapasitesi için olumlu etki ederken hattın etrafında oluşan manyetik ve elektrik alan büyüklüklerinin artması canlılar için olumsuz etkiler yapabilmektedir.

Bütün bu etkiler göz önüne alındığında iletim hatları inşa edilmeden önce havai hat iletiminde kullanılan iletkenlerin ısıl performansı, akım taşıma kapasitesi, elektrik ve manyetik alan davranışları, sehim, gerilim düşümü ve güç kaybı profilleri vb. kriterlere göre analizinin yapılması insan sağlığı, güç taşıma kapasitesi, ekonomiklik vb. durumlar için son derece önem arz etmektedir.

Uygun hat tasarımı için, iletkenlerin akım taşıma kapasitesinin çevresel koşullardan etkilenmesini incelemek amacıyla ısıl analizleri, çevreye etkisini belirlemek açısından

elektrik ve manyetik alan analizleri ile sehim hesaplamaları, iletkenlerin gerilim düşümü ve güç kaybı profillerinden ekonomik performans analizleri yapılmalıdır.

Bu analizlerle, teknik ve ekonomik açıdan en iyi performansa sahip iletken seçilerek, en verimli tasarımların yapılabilmesine katkı sağlanmaktadır.

2
YÜKSEK GERİLİM ENERJİ İLETİM SİSTEMLERİNDE KULLANILAN HAVAİ HAT İLETKENLERİ

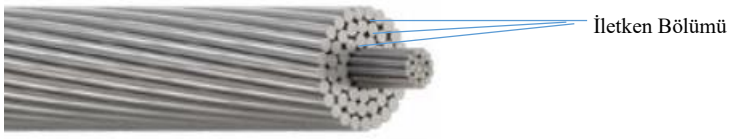
Elektrik enerjisinin üretim noktalarından tüketim noktalarına taşınmasında havai hatlar ile iletilmesi en yaygın kullanılan yöntemdir. Bu iletim yönteminde çeşitli tip havai hat iletkenleri kullanılmaktadır. Bu bölümde kısaca iletken tipleri tanıtılmaktadır.

2.1 İletken Yapısı

Yüksek gerilim havai iletim hatlarında kullanılan iletkenler, iletken ve öz bölümü olarak iki kısımdan oluşmaktadır.

2.1.1 İletken Bölümü

Bir iletkende elektrik enerjisinin iletildiği, akımın taşındığı bölümdür. Bu bölümde enerji kayıplarını azaltmak için iletkenliği yüksek, özdirenci düşük malzeme tercih edilmelidir. Bilindiği üzere en iyi iletken gümüş olup daha sonra bakır, altın ve alüminyum gelmektedir. Havai hat iletkenlerinde hem daha ekonomik hem de daha hafif olması sebebiyle alüminyum veye alüminyum alaşımlar kullanılmaktadır. Şekil 2.1'de iletken üzerindeki iletken bölüm gösterilmiştir [32].

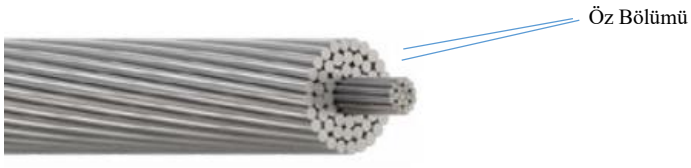


Şekil 2.1 ACSR iletken kesitinde iletken bölüm [32]

2.1.2 Öz Bölümü

Havai hat iletkenlerinde mukavemeti sağlayarak taşıyıcı kısım olarak görev yapmaktadırlar. Bu bölümde galvaniz çelik teller, alüminyum kaplı çelik teller, galfan kaplı çelik teller, alüminyum ve alüminyum alaşımlar, nikel çelik teller, alüminyum matrisler ve karbon kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Temel amacı akım taşımak

olmayıp üzerinden az da olsa akım geçmektedir [33]. Bu bölümden geçen akım ısı enerjisine dönüşerek kayıp güç olarak değerlendirilmektedir. Şekil 2.2'de iletken üzerinde öz bölümü gösterilmiştir [32].



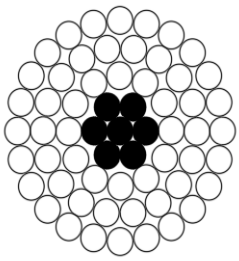
Şekil 2.2 ACSR iletken kesitinde öz bölümü [32]

2.2 İletken Şekli

Gelişen teknolojiyle beraber iletken geometrileri de değişmektedir. Böylece aynı dış çapa sahip iletkenlerin kesitleri farklı olabilmektedir. Aynı zamanda, iletkenlerin şekilleri değiştirilerek korona kaybı, titreşim ve korozyonun azaltılması amaçlanmaktadır. Genellikle kullanılan geometriler yuvarlak ve trapez teller şekillerdir [34].

2.2.1 Yuvarlak Telli İletkenler

Havai hat iletkenlerinde en çok kullanılan tel şeklidir. Teller eş merkezli olarak sarılmış olup aralarında boşluklar bulunur[34]. Şekil 2.3'de yuvarlak tel şekli kullanılan iletken kesiti verilmiştir.

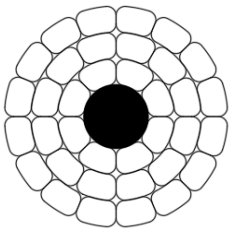


Şekil 2.3 Yuvarlak telli iletken kesiti

2.2.2 Trapez Telli İletkenler

İletken teknolojisinin gelişmesiyle yuvarlak teller zamanla yerini trapez tellere bırakmaya başlamıştır. Trapez tellerle aynı çaplı yuvarlak tellere göre daha fazla iletken kesit alanı oluşturularak akım taşıma kapasitesi artırılmaktadır. Alüminyum kesit alanı aynı olan trapez tellerden oluşan iletkenin çapı, yuvarlak tellerden oluşan iletken çapından yaklaşık

%10 daha küçük olmaktadır [34]. Şekil 2.4'te trapez tel şekli kullanılan iletken kesiti verilmiştir.



Şekil 2.4 Trapez telli iletken kesiti

2.3 Havai Hat İletkenlerinin Tanıtımı

Havai iletim hatlarında çeşitli malzeme ve geometrilerden oluşan iletkenler kullanılmaktadır. İletken bölümde kullanılan tellerin sayısı ve çapı, iletkenlerin akım taşıma kapasitesini belirler.

2.3.1 Çelik Özlü Alüminyum İletkenler (ACSR)

ACSR iletkenlerinin dış kısmında akımın taşınmasını sağlayan alüminyum teller, öz kısmında ise mukavemeti sağlayan çelik teller kullanılmaktadır. En yaygın olarak kullanılan iletken tipidir. İletken kesiti arttıkça iletkenin katman sayısı artmaktadır. Bu katmanlar birbirine zıt yönde helisel olarak sarılarak hem tellerin açılması engellenir hem de zıt yönde oluşacak manyetik alanların birbirini yok etmesi sağlanır [35]. Çalışma sıcaklıkları 75-85 °C arasında değişir [28]. Bu sıcaklıklardan sonra malzeme bozulmaya başlar ve kopmalar meydana gelebilir. Şekil 2.5'de ACSR iletkeni örnek görseli ve autocad çizimi verilmiştir.



Şekil 2.5 ACSR iletkeni, **a.** Örnek görsel [36] **b.** Örnek autocad çizimi

2.3.2 Tam Alüminyum İletkenler (AAC)

Bu iletken tipinde bütün teller alüminyumdan yapılmaktadır. Minimum %99.7 saflıkta alüminyumdan üretilirler. Korozyon dayanımı yüksektir. Genelde kısa iletim hatlarında tercih edilirler [22]. Maksimum çalışma sıcaklıkları 100 °C olarak tanımlanır [37]. Şekil 2.6'da AAC iletken örnek görseli ve autocad çizimi verilmiştir.



Şekil 2.6 AAC iletkeni, **a.** Örnek görsel [38] **b.** Örnek autocad çizimi

2.3.3 Tam Alüminyum Alaşım İletkenler (AAAC)

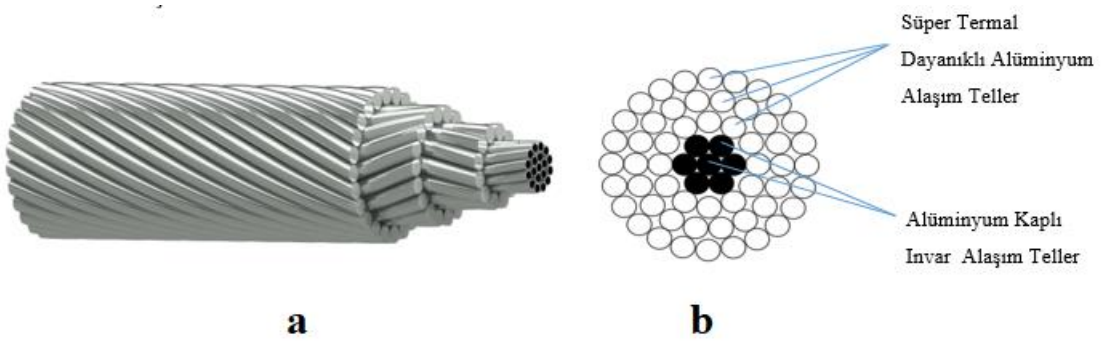
Bu tipte ise iletken bütün teller alüminyum alaşım malzemeden yapılan tellerden oluşmaktadır. Mekanik ve korozyon dayanımı yüksektir [22]. Maksimum çalışma sıcaklığı 95 °C olarak tanımlanır [39]. Şekil 2.7'de AAAC iletken örnek görseli ve autocad çizimi verilmiştir.



Şekil 2.7 AAAC iletkeni, **a.** Örnek görsel [40] **b.** Örnek autocad çizimi

2.3.4 İnvar Özlü Süper Termal Alaşım İletkenler (STACIR)

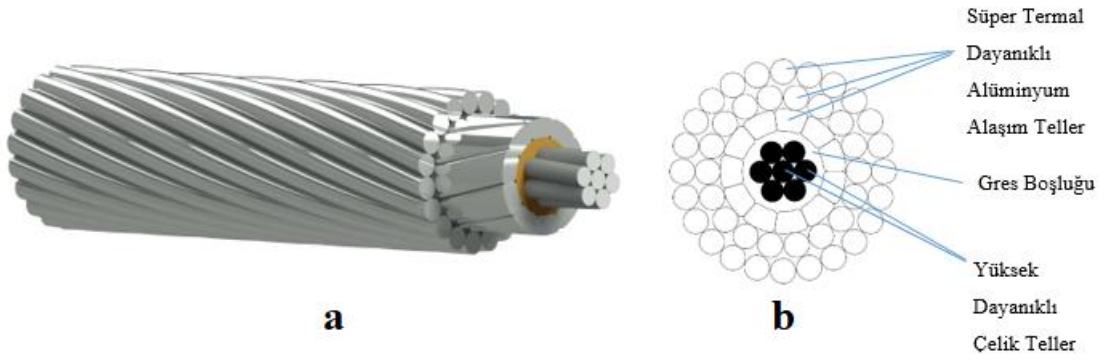
Bu iletkenlerin öz bölümü invar (demir-nikel) alaşımdan, iletken bölüm ise süper termal dayanıklı alüminyum alaşımdan (alüminyum-zirkonyum) oluşur. İnvar öz, düşük termal genleşme katsayısına ve gerilmeye sahip ama ağır bir malzemedir. Süper termal dayanıklı alüminyum alaşım ise yüksek sıcaklıklara dayanabilme özelliğine sahiptir [41]. Maksimum çalışma sıcaklığı 210 °C'ye kadar çıkabilir [18]. Şekil 2.8'de STACIR iletkeni örnek görseli ve autocad çizimi verilmiştir.



Şekil 2.8 STACIR iletkeni, **a.** Örnek görsel [42] **b.** Örnek autocad çizimi

2.3.5 Çelik Özlü Gap Tip Termal Dayanıklı Alaşım İletkenler (GTACSR)

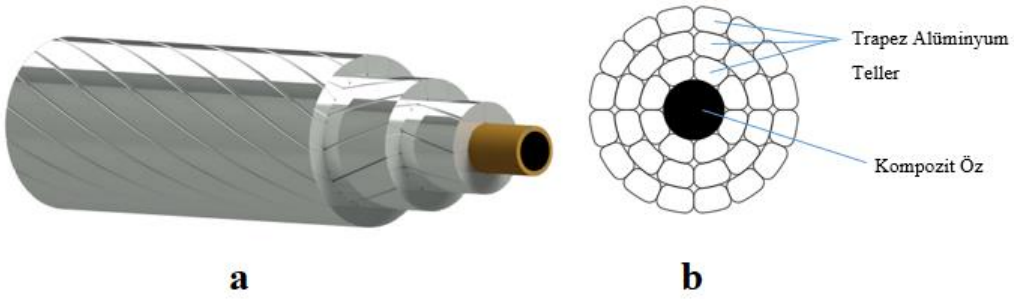
Bu tip iletkenlerde öz bölümü yüksek dayanıklı galvaniz çelik tellerden, iletken bölüm ise süper termal dayanıklı alüminyum alaşım tellerden oluşmaktadır. Öz bölümü ve iletken bölüm arasında termal gres boşluğu bulunmaktadır. Gres yağı kullanılmasındaki temel amaçlar su geçirmezliği sağlamak, özde bulunan çelik tellerin galvaniz kaplamasını korumak ve çelik tellerle alüminyum teller arasında sürtünmeyi azaltmaktır [43]. Maksimum çalışma sıcaklığı 210 °C'ye kadar ulaşabilir [28]. GTACSR iletkeni örnek görseli ve autocad çizimi Şekil 2.9'da verilmiştir.



Şekil 2.9 GTACSR iletkeni, **a.** Örnek görsel [44] **b.** Örnek autocad çizimi

2.3.6 Kompozit Özlü Alüminyum İletkenler (ACCC)

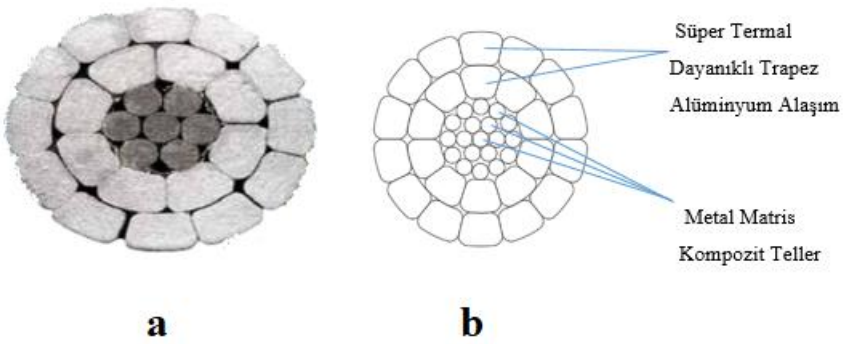
Öz bölümünde cam elyaf ve karbondan oluşan hibrit malzeme ve iletken bölümde tavlanmış trapez şekilli alüminyum malzemeden oluşan iletken tipidir. Kompozit öz kullanılması sebebiyle düşük termal genleşme katsayısına, düşük güç kayıplarına sahip olup aynı zamanda hafiftir. Yüksek çalışma sıcaklıklarına çıkabilir. Maksimum çalışma sıcaklığı 175 °C seviyelerindedir [45]. Şekil 2.10'da ACCC iletkeni örnek görseli ve autocad çizimi verilmiştir.



Şekil 2.10 ACCC iletkeni, **a.** Örnek görsel [46] **b.** Örnek autocad çizimi

2.3.7 Metal Matris Kompozit Özlü Alüminyum İletkenler (ACCR)

Bu iletkenin öz bölümü fiber takviyeli alüminyum matris malzemeden, iletken bölümü ise süper termal dayanıklı alüminyum alaşımlı tellerden oluşmaktadır. Metal matris kompozit öz kullanılarak yüksek dayanım, düşük termal genleşme katsayısı ve hafiflik sağlanmıştır. Yüksek sıcaklıklarda çalışabilir. Maksimum çalışma sıcaklığı 240 °C'ye kadar çıkarılabilir [47]. Şekil 2.11'de ACCR iletkeni örnek görseli ve autocad çizimi verilmiştir.



Şekil 2.11 ACCR iletkeni, **a.** Örnek görsel [47] **b.** Örnek autocad çizimi

2.3.8 Çelik Destekli Alüminyum İletkenler (ACSS)

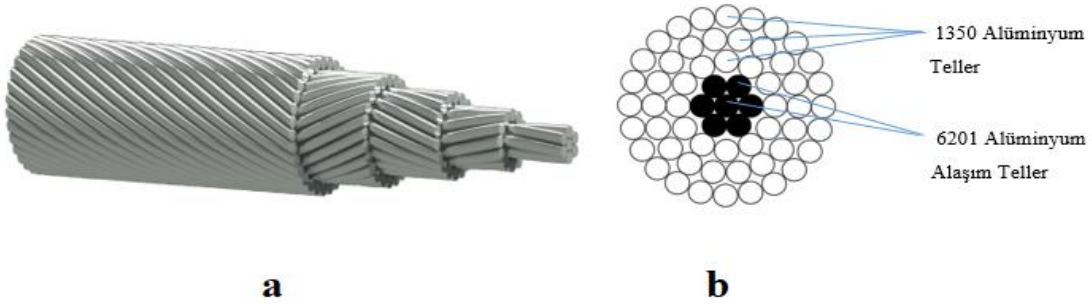
Öz bölümünde alüminyum kaplı çelik teller veya %5 çinko-alüminyum (mischmetal) alaşım kaplı çelik teller bulunan, iletken bölümünde ise 1350-O tavlanmış alüminyum tellerden oluşan iletken tipidir. Çalışma sıcaklığı özünde kullanılan malzemeye bağlı olarak 250 °C'ye kadar çıkabilir [48]. Şekil 2.12'de ACSS iletkeni örnek görseli ve autocad çizimi verilmiştir.



Şekil 2.12 ACSS iletkeni, **a.** Örnek görsel [49] **b.** Örnek autocad çizimi

2.3.9 Alaşım Destekli Alüminyum İletkenler (ACAR)

Bu iletken tipinin öz bölümünde genellikle alüminyum alaşım 6201 (Alüminyum-Magnezyum-Silikon) teller, iletken bölümünde 1350 alüminyum teller kullanılır. Yüksek mukavet ağırlık oranı ve yüksek korozyon dayanımına sahiptir [50]. Maksimum çalışma sıcaklıkları 75 °C'ye çıkabilir [51]. Şekil 2.13'de ACAR iletkeni örnek görseli ve autocad çizimi verilmiştir.



Şekil 2.13 ACAR iletkeni, **a.** Örnek görsel [52] **b.** Örnek autocad çizimi

Bu tez çalışmasında kullanılan yaklaşık aynı dış çapa sahip iletkenlere ait genel özellikler Tablo 2.1'de verilmiştir [32], [43], [45], [47], [48], [50], [51], [53]-]58].

Tablo 2.1 İletkenlere ait genel özellikler

Özellikler	ACSR	AAC	AAAC	STACIR	GTACSR	ACCC	ACCR	ACSS	ACAR
Yüklenme Kapasitesi (A)	990	1079	1018	1846	1877	1946	2031	1788	1050
DC Direnç (20°C)(Ohm/km)	0,0598	0,0511	0,0712	0,0591	0,0545	0,0461	0,0473	0,0566	0,0530

Tablo 2.1 İletkenlere ait genel özellikler (devamı)

Maks. Çalışma Sıcaklığı (°C)	75	100	95	210	210	175	210	200	75
Ağırlık (kg/km)	1837	1553	1295	1795.7	1939	1832	1878	1758	1537
Maliyet Oranı	1	1,2	1,2	3-5	2	2,5-3	5-6,5	1,2-1,5	-
Kopma Dayanımı(kN)	150	87,3	136	130,2	163,3	165,78	179,65	109	95,9

2.4 Havai Hat İletkenlerinin Seçiminde Dikkat Edilmesi Gereken Kriterler

Havai hatlarda kullanılan iletkenlerin işlevini tam olarak yerine getirebilmesi için bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir. Hattın verimli, güvenli ve ekonomik olarak çalışabilmesi için iletkenler seçilirken bazı kriterlere dikkat edilmelidir. İletkenlerin özellikleri iyi bilinirse hattın tesis edileceği bölgeye, hattın taşıma kapasitesine, … vb. özelliklere göre en iyi iletken seçimi yapılabilir. Bu sebeple, iletken seçiminde dikkat edilmesi gereken kriterler aşağıda alt başlıklar halinde açıklanmıştır.

2.4.1 İletkenlik

Elektrik enerjisi iletilirken güç kayıplarını en aza indirmek için iletkenliği en iyi olan malzemeler seçilmelidir. Gümüş ve altın gibi metallerin iletkenliği iyi olmasına rağmen pahalı olduklarından dolayı havai hat iletkenlerinde tercih edilmezler. Havai hat iletkenlerinde bakır ve alüminyum iletkenler kullanılır. Bakırın iletkenliği daha iyi olmasına rağmen alüminyuma göre daha ağır ve pahalı olması sebebiyle havai hat iletkenlerinde iletken olarak alüminyum ve alaşımları tercih edilir.

2.4.2 İletken Çapı

Havai hat iletkenlerinde daha hafif ve daha ucuz olmasından dolayı alüminyum iletkenler kullanılır. Fakat, alüminyum iletkenlerin bakır iletkenlere göre iletkenliği daha düşük olduğundan çapları daha büyük olmaktadır. İletken çapı arttıkça iletken rüzgar ve buz yükü gibi çevresel etkilere daha fazla maruz kalmaktadır [35].

2.4.3 Özgül Ağırlık

Havai hat iletkenlerinin özgül ağırlıkları yüksek olursa direklere etki eden çekme kuvveti de yüksek olur. Özgül ağırlık aynı zamanda iletkenlerin mekanik zorlanmasını da etkiler.

Bu nedenle havai hatlar ile iletimde kullanılan iletkenlerin özgül ağırlıklarının düşük olması istenir. Hattın ekonomikliği açısından özgül ağırlık önemli bir kriterdir [35].

2.4.4 Isı Dayanımı

Havai hat iletkenlerinden enerji iletimi sırasında akım geçmesinden dolayı iletken ısınmaktadır. Hava sıcaklığı ve rüzgar hızları gibi çevresel faktörler bu ısı değişimini etkilemektedir. İletken ısısı hava sıcaklığı arttıkça artarken, rüzgar hızı arttıkça azalmaktadır. Sıcaklık artışıyla beraber iletkende sarkma meydana gelir. Bu nedenle iletkenlerin uzama katsayıları önceden bilinmeli ve hesaplamalarda dikkate alınmalıdır [35].

2.4.5 Mekanik Dayanım

Havai hat iletkenleri çıplak iletkenler olduğundan doğrudan çevre şartlarının etkisinde kalır. Bu nedenle, iletkenler rüzgar, buz, kar, sıcak ve soğuk hava gibi olumsuz çevresel faktörlere karşı dayanıklı olmalıdır. Eğer iletkenlerin mekaniki dayanımı düşük olursa, bu olumsuz çevresel faktörlerin etkisinde iletkenlerde kopma meydana gelebilir. Bu nedenle, iletkenlerin mekanik dayanımının yüksek olması istenir [35].

2.4.6 Koronoya Karşı Dayanıklılık

Havai iletim hatlarında uygulanan gerilim seviyesine bağlı olarak özellikle nemli ve sisli havalarda oluşan elektrik alan iletkeni çevreleyen gazın dayanma gerilimini aşarsa iletken etrafında mor renkli ışık halkaları şeklinde deşarjlar meydana gelir. Bu olay, korona olayı olarak adlandırılır. İletken etrafında bir zedelenme veya yüzeyinde bir bozulma varsa ve bu halkalar birbirine temas ederse iletken yüzeyinde delinmelere dolayısıyla da aşınmalara sebep olur. Bu nedenle, iletkenlerin bu olaya karşı dayanıklı ve yüzeyinin düzgün olması gerekir [35].

2.4.7 Sehim

Enerji iletim hatlarında direkler arasına çekilen bir iletken kendi ağırlığı sebebiyle sarkmaktadır. İki direk arasında iletkenlerin bağlı olduğu izolatörler arasında varsayılan doğru çizgi ile iletkenin en çok sarktığı yer arasında ki mesafeye sehim denir. İletkenler iki direk arasına iletkenin cer kuvveti, ağırlığı, rüzgar ve buz yükü, iklim şartları ve direkler arası mesafe dikkate alınarak çekilir [35].

3
HAVAİ HAT İLETKENLERİNİN ISIL ANALİZLERİNDE KULLANILAN HESAPLAMALAR

Havai hat iletkenlerinin akım taşıma kapasitesini sınırlandıran en önemli faktör iletkenin ısınmasıdır. Havai hat iletkenleri çıplak iletkenler olduklarından dolayı çevre şartlarından doğrudan etkilenirler. Bu nedenle, malzeme özelliklerine ve çevresel faktörlere göre iletkenin akım taşıma kapasitesinin belirlenmesi iletim hattının verimliliği, güvenlik ve ekonomiklik açısından önem arz etmektedir. İletkenin akım taşıma kapasitesini etkileyen faktörler ;

- Kullanılan malzeme ve iletken şekli,
- Hava sıcaklığı,
- Rüzgar hızı, yönü ve açısı,
- Güneş ışıması, yönü ve açısı,
- Havanın kirlilik derecesi,
- Deniz seviyesinden yükseklik,

şeklinde sıralanabilir. Bu faktörlerin etkisini incelemek için IEEE-738 standartında detaylı hesaplamalar verilmiştir. Bu standartta, çıplak havai iletkenlerinin akım-sıcaklık ilişkisinin hesaplanması için formülasyonlar sunulmuştur. Bu bölümde, standart referans alınarak akım-sıcaklık hesaplaması için gerekli ifadeler verilmiştir [59].

3.1 Kararlı Hal Isı Dengesi Eşitliği

Çıplak havai hat iletkenlerinin akım-sıcaklık ilişkisini hesaplamak için standartın temel aldığı eşitliktir. Bu eşitlik;

$$q_c+q_r=q_s+I^2.R(T_{avg}) \tag{3.1}$$

şeklindedir. Burada, q_c (W/m) birim uzunluk başına konvektif ısı kaybı oranını, q_r (W/m) birim uzunluk başına yayılan ısı kaybı oranını, q_s (W/m) güneşten ısı kazanç oranını, I (A) iletken akımını, $R(T_{avg})$ (Ω/m) ortalama alüminyum şerit katman sıcaklığında iletken direncini ifade etmektedir. Buradan akımı bulmak istersek denklem şu şekilde ifade edilir:

$$I=\sqrt{\frac{q_c+q_r-q_s}{R(T_{avg})}} \tag{3.2}$$

3.2 Konvektif Isı Kaybı (q_c)

Konvektif ısı kaybı doğal ve zorlanmış konveksiyon olarak ikiye ayrılır. Doğal konveksiyon sürekli bir işlemde, durgun hava koşullarında ısınan iletkenin etrafındaki soğuk havanın ısınıp yükselmesiyle ve yerini soğuk havanın doldurmasıyla meydana gelir. Zorlanmış konveksiyon ise hareket eden havanın iletkeni üfleyerek geçerken ısıtılmış havayı iletkenden uzaklaştırmasıyla oluşur. Doğal konveksiyon soğutma gücü zorlanmış konveksiyondan daha düşüktür. Fakat, rüzgar hızı 0.2 m/s'den düşük olduğu durumlarda doğal konveksiyon soğutma gücü zorlanmış konveksiyon soğutma gücüne eşittir.

Konvektif ısı kaybının büyüklüğü genellikle boyutsuz Reynold sayısının bir fonksiyonudur. Reynold sayısı aşağıdaki eşitlikteki gibi ifade edilir :

$$N_{Re}=\frac{D_o.\rho_f.V_w}{\mu_f} \tag{3.3}$$

Burada; D_0 (m) iletken çapı, ρ_f (kg/m^3) hava yoğunluğu, V_w (m/s) rüzgar hızı, μ_f (kg/m.s) havanın dinamik vizkozitesini ifade etmektedir.

Havanın yoğunluğunu ve vizkozitesini hesaplamak için de standartta eşitlikler tanımlanmıştır. Bu eşitlikler;

$$\rho_f=\frac{1.293-1.525.10^{-4}.H_e.+6.379.10^{-9}.{H_e}^2}{1+0.00367.T_{film}} \tag{3.4}$$

$$\mu_f=\frac{1.458.10^{-6}.(T_{film}+273)^{1.5}}{T_{film}+383.4} \tag{3.5}$$

şeklinde olup H_e (m) iletkenin deniz seviyesinden yüksekliği, T_{film} (°C) sınır tabakasının sıcaklığını ifade etmektedir. T_{film} ise (6)'da verilen eşitlikle belirlenmektedir.

$$T_{film}=\frac{T_s+T_a}{2} \tag{3.6}$$

Burada, T_s (°C) iletken yüzey sıcaklığı, T_a (°C) ortam sıcaklığını ifade etmektedir.

Düşük rüzgar hızlarında doğal ve zorlanmış ısı kayıpları hesaplanıp büyük olan değer kullanılması standart tarafından önerilmektedir.

3.2.1 Zorlanmış Konveksiyon

Zorlanmış konveksiyon ısı kaybında, Reynold eğrisinin düşük numaralı ve yüksek numaralı ucuna göre iki farklı eşitlik tanımlanmıştır. Eşitlik (3.7) düşük rüzgar hızlarında, Eşitlik (3.8) ise yüksek rüzgar hızlarında doğru sonuçlar verir. Herhangi bir rüzgar hızında iki eşitlikte kullanılan değerlerin hesaplanması ve büyük olanı kullanılması önerilir.

$$q_{c1}=K_{angle}.(1{,}01+1{,}35.N_{Re}^{0,52}).k_f.(T_s-T_a)\ (Watt/m) \quad (3.7)$$

$$q_{c2}=K_{angle}.0{,}754.N_{Re}^{0,6}.k_f.(T_s-T_a)\ \ (Watt/m) \quad (3.8)$$

Burada, K_{angle} rüzgar yönü faktörü, k_f (W/m.°C) havanın termal iletkenliği ifade eder.

K_{angle} rüzgar yönü ve iletken ekseni arasındaki açıya (∅) bağlı olarak ;

$$K_{angle}=1{,}194-\cos(\emptyset)+0{,}194.\cos(2\emptyset)+0{,}368.\sin(2\emptyset) \quad (3.9)$$

şeklinde tanımlanır.

Havanın termal iletkenliğini belirlemek için ise (3.10)'da verilen eşitlik kullanılır.

$$k_f=2{,}424.10^{-2}+7{,}477.10^{-5}.T_{film}-4{,}407.10^{-9}.T_{film}^2 \quad (3.10)$$

Zorlanmış konveksiyon ısı kaybı eşitlikleri çok geniş değişken aralıkları için geçerlidir. Aralıklar Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1 Değişken aralıkları

Değişken	SI Birim
Çap (mm)	0,01-150
Rüzgar Hızı (m/s)	0-18,9
Hava Sıcaklığı (°C)	15,6-260
Tel Sıcaklığı (°C)	21-1004
Hava Basıncı (kPa)	140,5-405

3.2.2 Doğal Konveksiyon

Rüzgar hızı sıfır olduğunda (durgun) doğal konveksiyon oluşur. Doğal konveksiyon hesaplanmasında kullanılan eşitlik;

$$q_{cn}=3{,}645.\rho_f^{0,5}.D_0^{0,75}.(T_s-T_a)^{1,25}\ \ (Watt/m) \quad (3.11)$$

şeklindedir.

3.3 Yayılan Isı Kaybı Oranı (q_r)

İletkenlere akım uygulandığında iletkenler ısınır. İletkenlerin sıcaklığı çevre sıcaklığının üzerine çıktığında çevreye ışıma yoluyla enerji iletilir. Bu enerjinin yayılma hızı iletken ve çevre sıcaklığı arasındaki farka bağlıdır. Aynı zamanda, iletkenin yüzey durumu da ısı transferini etkilemektedir. Buna bağlı olarak yayılan ısı kaybı oranı Eşitlik (3.12)'de verilen ifade ile belirlenir.

$$q_r=17{,}8.D_0.\varepsilon.[(\frac{T_s+273}{100})^4 -(\frac{T_a+273}{100})^4] \text{ (Watt/m)} \quad (3.12)$$

Burada, ε yayılım'ı (emissitivity) ifade etmekte olup iletkenin yüzeyinin siyah veya parlak olmasına bağlı olarak 0,23-0,91 arasında değişmektedir.

3.4 Güneş Isı Kazanç Oranı (q_s)

Güneş iletkenin ısınmasına sebep olur. İletkene güneşten gelen ısı miktarı, güneşin konumu, gelen ısı miktarı ve ilekenin yüzey durumu gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Parlak yüzeyli iletkenler güneş ışınlarının çoğunu yansıtırken, siyah yüzeyli iletkenler ise çoğunu absorbe eder. İletkene etki eden güneş ısı kazanç oranı;

$$q_s=\alpha.Q_{se}.\sin(\theta).A' \text{ (Watt/m)} \quad (3.13)$$

ifadesi ile elde edilir. Burada, α güneş absorbsiyonunu (absorbsivity) ifade etmekte olup yüzeye bağlı olarak 0,23-0,91 arasında değişen değerler alır. Q_{se} (W/m^2) yükseklik için düzeltilmiş güneş ve gökyüzünden yayılan ısı yoğunluğunu, θ (derece) güneş ışınlarının geliş açısını, A' (m^2/m) öngörülen iletken alanını ifade etmektedir.

Güneş ışınlarının geliş açısı, (Z_l)(derece) hattın azimutu, (Z_c)(derece) güneşin azimutu ve (H_c)(derece) güneşin yüksekliğine bağlı olarak;

$$\theta=\arccos[\cos(H_c).\cos(Z_c-Z_l)] \quad (3.14)$$

şeklinde ifade edilir.

Güneşin yüksekliği ise (15)'de verilen eşitliğe göre belirlenir.

$$H_c=\arcsin[\cos(Lat).\cos(\delta).\cos(\omega)+\sin(Lat).\sin(\delta)] \quad (3.15)$$

Burada, Lat (derece) enlem derecelerini, ω (derece) saat 12:00'ye hesaplanan açıyı, δ güneş sapma açısını (derece) ifade etmektedir. ω öğleden(12:00) önce her 1 saat için -15

derece olarak hesaplanırken, öğleden(12:00) sonra her 1 saat için +15 derece olarak hesaplanır.

Güneş sapma açısını (δ) belirlemek için Eşitlik (3.16)'da verilen denklem tanımlanmıştır.

$$\delta=23{,}46.\sin[\frac{284+N}{365}.360] \tag{3.16}$$

Burada, N yılın gününü ifade etmektedir.

Güneşin azimutu(Z_c) ise Eşitlik (3.17)'de verilen eşitliğe göre belirlenmektedir.

$$Z_c=C+\arctan(\chi) \tag{3.17}$$

Burada, C güneş azimut sabitini, χ güneş azimut değişkenini ifade etmektedir.

Güneş azimut değişkeni ise;

$$\chi=\frac{\sin(\omega)}{\sin(Lat).\cos(\omega)-\cos(Lat).\tan(\delta)} \tag{3.18}$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Güneş azimut sabiti (C) ise saat açısının ve güneş azimut değişkenin fonksiyonu olarak Tablo 3.2'de verilen değerlere göre belirlenir.

Tablo 3.2 Solar azimut sabiti (C) seçimi

Saat Açısı	Eğer $\chi \geq 0$ ise C	Eğer $\chi < 0$ ise C
$-180 \leq \omega < 0$	0	180
$0 \leq \omega < 180$	180	360

Yükseklik için düzeltilmiş güneş ve gökyüzünden yayılan ısı yoğunluğunu(Q_{se}) belirlemek için Eşitlik (3.19)'da verilen eşitlik kullanılmaktadır.

$$Q_{se}=K_{solar}.Q_s \tag{3.19}$$

Burada, K_{solar} güneş yüksekliği düzeltme faktörünü, Q_s (W/m^2) güneş ve gökyüzünden yayılan ısı yoğunluğu toplamını ifade etmektedir.

Güneş yüksekliği düzeltme faktörünü (K_{solar}) belirlemek için;

$$K_{solar}=A+B.H_e+C.H_e^2 \tag{3.20}$$

eşitliği kullanılır. A katsayısı 1, B katsayısı $1{,}148.10^{-4}$, C katsayısı $-1{,}108.10^{-8}$ olarak kabul edilir.

Güneş ve gökyüzünden yayılan ısı yoğunluğu toplamını belirlemek için ise Eşitlik (3.21)'de verilen formülasyon kullanılır.

$$Q_s = A + B.H_c + C.H_c^2 + D.H_c^3 + E.H_c^4 + F.H_c^5 + G.H_c^6 \quad (3.21)$$

Burada A, B, C, D, E, F ve G katsayıları temiz ve endüstriyel atmosfer şartlarına göre Tablo 3.3'de verilen değerlere göre seçilir.

Tablo 3.3 Katsayı seçim tablosu

Katsayılar	Temiz Atmosfer	Endüstriyel Atmosfer
A	-42,2391	53,1821
B	63,8044	14,2110
C	-1,9220	$6{,}6138.10^{-1}$
D	$3{,}46921.10^{-2}$	$-3{,}1658.10^{-2}$
E	$-3{,}61118.10^{-4}$	$5{,}4654.10^{-4}$
F	$1{,}94318.10^{-6}$	$-4{,}3446.10^{-6}$
G	$-4{,}07608.10^{-9}$	$1{,}3236.10^{-8}$

3.5 İletken Elektriksel Direnci ($R(T_{avg})$)

İletkenin elektriksel direnci, kesit alanı, frekans, akım ve sıcaklığına bağlı olarak değişir. Herhangi bir sıcaklıklıkta iletkenin direncini bulmak için Eşitlik (3.22)'de verilen formülasyon kullanılmaktadır.

$$R(T_{avg}) = \left[\frac{R(T_{high}) - R(T_{low})}{T_{high} - T_{low}}\right].(T_{avg} - T_{low}) + R(T_{low}) \quad (3.22)$$

Burada, $R(T_{high})$ (Ω/m) iletkenin yüksek sıcaklıkta referans AC direncini, $R(T_{low})$ (Ω/m) iletkenin düşük sıcaklıkta referans AC direncini, T_{high} (°C) iletken referans AC direncinin belirtildiği ortalama yüksek iletken sıcaklığını, T_{low} (°C) iletkenin referans AC direncinin belirtildiği ortalama düşük iletken sıcaklığını ifade etmektedir.

3.6 İletken İçindeki Radyal Sıcaklık Gradyanı

İletkenin iç katmanlarında üretilen ısı, dağıtılması için yüzey katmanına iletilmelidir. Isı aktarımı yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru olduğundan, iletkenin özünün yüzeyine göre daha sıcak olduğu düşünülmektedir. Bu sıcaklığın büyüklüğü; iletkenin dizilim şekli, akımın büyüklüğü, iletken katmanlarındaki tellerin elektriksel direnci,

iletkenin katman sayısı, yaşlanmış iletkenin durumu, katmanlar arasındaki temas alanı ve basıncı gibi çeşitli parametrelere bağlı olarak değişmektedir. İletkenin özü ve yüzeyi arasındaki sıcaklık farkını belirmek için Eşitlik (3.23)'de verilen eşitlik kullanılmaktadır.

$$T_{core}\text{-}T_s = \frac{I^2.R(T_{avg})}{2.\pi.k_{th}}.[\frac{1}{2} - \frac{D_{core}^2}{D_0^2 - D_{core}^2}.(\ln\frac{D_0}{D_{core}})] \quad (3.23)$$

Burada,T_{core} (°C) iletkenin özünün sıcaklığını, k_{th} (W/m.°C) iletkenin termal radyal iletkenliğini, D_{core} (m) iletkenin özünün çapını ifade etmektedir.

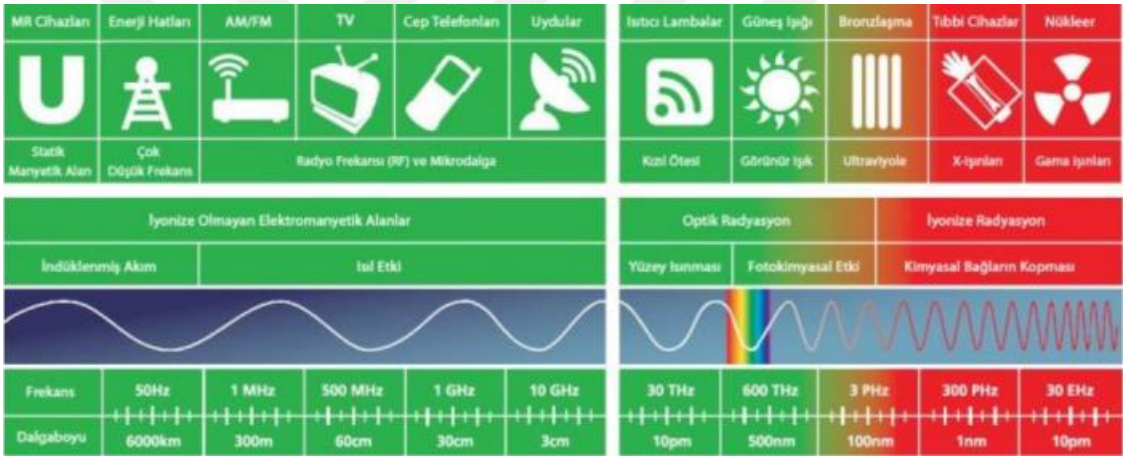
Tam alüimyum iletkenleri için ise formülasyon basitleştirilerek;

$$T_{core}\text{-}T_s = \frac{I^2.R(T_{avg})}{4.\pi.k_{th}} \quad (3.24)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

4
ELEKTRİK VE MANYETİK ALAN KAVRAMLARI

19. yüzyılda elektriğin keşfi insanların yaşamını kolaylaştırmıştır. Gün geçtikçe teknolojilerin gelişmesiyle insan yaşamlarındaki yenilikler de artmaktadır. Bu gelişmeler ve yenilikler insan yaşamını olumlu etkilemesine rağmen bazı olumsuzlukları da beraberinde getirmiştir. Bu olumsuzluklardan birisi de elektrik enerjisiyle çalışan cihazlardan yayılan elektromanyetik alanlardır [60]. Elektriksel cihazlar farklı frekanslarda ve dalga boylarında elektromanyetik alanlar yaymaktadır. Şekil 4.1'de elektromanyetik dalga spektrumu verilmiştir [61].



Şekil 4.1 Elektromanyetik dalga spektrumu [61]

Şekil 4.1'de görüldüğü üzere elektrik enerjisinin iletilmesinde kullanılan enerji iletim hatları da 50 Hz çok düşük frekanslı (Extremely Low Frequency) iyonize olmayan elektromanyetik alanlar oluştururlar.

4.1 Elektrik Alan

Elektrik alan, elektrik yüklerinin arasında oluşan itme veya çekme etkisini ifade eder. Elektrik yüklerinin birikmesi sonucu elektrik alanlar oluşmaktadır. Bu aynı zamanda elektrik gerilimini ifade etmektedir. Buna bağlı olarak, herhangi bir elektrikli cihaz şebekeye bağlandığı anda çalışmasa bile elektrik alanı meydana getirmeye başlamaktadır. Bu elektrik alan, şebeke geriliminin büyüklüğüne bağlı olarak değişmektedir. Şebeke

gerilimi arttıkça oluşan elektrik alan da artmaktadır. Elektrik alan büyüklüğü kaynak yanında maksimum olup kaynaktan uzaklaştıkça ise azalmaktadır [62].

Coulomb 1785 yılında yüklü iki durgun parçacık arasında oluşan kuvveti ifade eden temel elektrik kuvvet yasasını ortaya koymuştur. Bu yasaya göre [60];

$$F=k.\frac{q_1*q_2}{d^2} \tag{5.1}$$

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \tag{5.2}$$

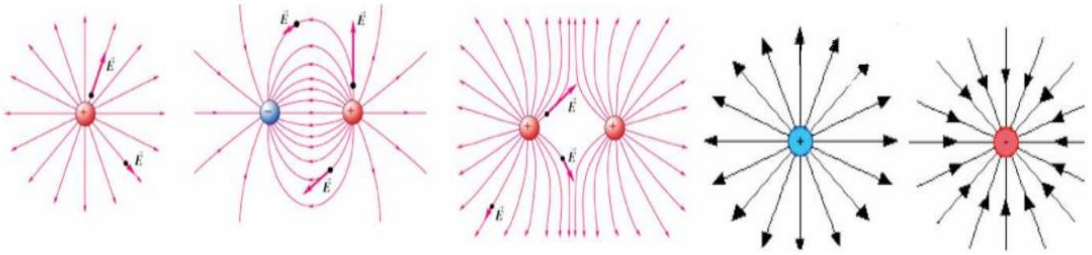
şeklindedir. Burada, F (N) iki durgun parçacık arasında oluşan kuvveti, q_1 ve q_2 (C) elektrik yükleri, k (k=8.9875.10^9 N.m^2/C^2) boltzman sabiti, d (m) yükler arasında ki mesafeyi ifade etmektedir.

Bu yüklerin oluşturduğu elektrik alan ise;

$$E=\frac{F}{q}=k\frac{q}{d^2} \tag{5.3}$$

olarak tanımlanmaktadır. E (N/C) elektrik alanı ifade eder. Elektrik alanın birimi MKSA birim sisteminde N/C'dur. Fakat, 1 N = 1 J/m ve 1 J = 1 CV olduğu göz önüne alınırsa V/m birimi de kullanılabilir.

Elektrik alan vektörel bir büyüklük olduğundan, elektrik alanın yönü vardır. Pozitif yükler için elektrik alan vektörünün yönü kaynaktan dışarı doğru iken negatif yükler için elektrik alanın yönü dışardan kaynağa doğrudur. Elektrik alan yönü Şekil 4.2'de verilmiştir [60].



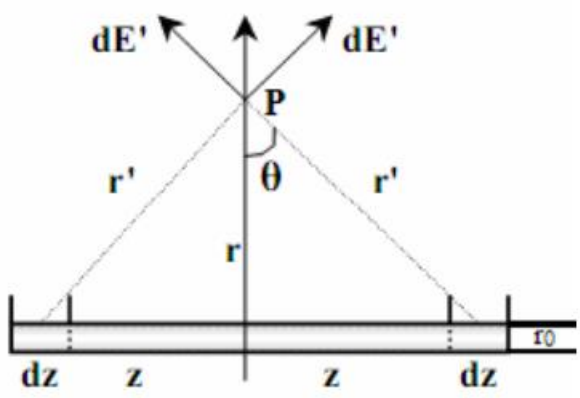
Şekil 4.2 Elektrik alan yönü [60]

4.1.1 İletim Hatlarından Kaynaklanan Elektrik Alan Hesabı

AC (alternatif akım) iletim hatları etrafında oluşan elektrik alan hesaplanırken atmosferde serbest bir yük olmadığı varsayılır. Toprağın ise iletkenliğinin çok yüksek olduğu kabul

edilir. Üç fazlı iletim hatları etrafında oluşan elektrik alan hesaplanırken faz iletkenlerinin sonsuz uzunlukta ve birbiririne paralel yükler olduğu düşünülür [60].

İletim hatlarında oluşan elektrik alanın hesabı yapılırken sonsuz çizgisel yük tipi modeli kullanılır. Bu modelde iletken üzerindeki yük, sonsuz uzunluktaki çizgisel yüklerle benzetilir. Görüntü alma yöntemiyle elektrik alan hesabı yapılır [60]. Yarıçapı sonsuz küçük, düzgün yüklü ve çok uzun çizgisel bir kaynağın alanı, eksenine simetrik olup, radyal doğrultudadır. Çizgisel kaynağın elektrik alan çizgileri iletken yüzeyini dik keser [63]. Elektrik alanın yatay bileşeni ise simetri nedeniyle sıfır olmaktadır. Şekil 4.3'de verilen sonsuz çizgisel yükten r kadar uzakta P noktasında elektrik alan vektörü ifadesi [60];



Şekil 4.3 P noktasındaki elektrik alan vektörü [60]

Elektrik alanın düşey bileşeni Şekil 5.3'den ;

$$dE = dE'.\cos(\theta)\ (V/m) \tag{5.4}$$

şeklinde ifade edilir. Elektrik alan vektörü ise;

$$dE' = \frac{q.dz}{4\pi\varepsilon r'^2}\ (V/m) \tag{5.5}$$

olarak tanmlanır. Şekil 5.3'e göre trigometrik çevrimlerden;

$$\tan\theta=\frac{z}{r},\ z = r.\tan\theta,\ dz = \frac{r.d\theta}{\cos^2\theta} \tag{5.6}$$

$$\cos\theta = \frac{r}{r'},\ r' = \frac{r}{\cos\theta} \tag{5.7}$$

r' (m) uzaklığı ve dz, r (m) ve dθ cinsinden ifade edilirse ve yerine yazılırsa;

$$dE = \frac{q}{4\pi\varepsilon r}\cos\theta d\theta \ \text{(V/m)} \tag{5.8}$$

elekrik alanın düşey bileşeni vektörü ifadesine dönüşür. İntegral çözümüyle vektörden çıkarılırsa;

$$E = \frac{q}{4\pi\varepsilon r}\int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} cos\theta d\theta \ \text{(V/m)} \tag{5.9}$$

$$E = \frac{q}{2\pi\varepsilon r} \ \text{(V/m)} \tag{5.10}$$

şeklinde ifade edilir.

$$V = -\int E.dr = -\frac{q}{2\pi\varepsilon}\int \frac{dr}{r} + c = -\frac{q}{2\pi\varepsilon}\ln r + c \tag{5.11}$$

$r = r_0$ için potansiyel sıfır seçilirse;

$$0 = -\frac{q}{2\pi\varepsilon}\ln r_0 + c \text{ ve } c = \frac{q}{2\pi\varepsilon}\ln r_0 \tag{5.12}$$

c sabiti Eşitlik (5.11)'de yerine konulursa;

$$V = -\frac{q}{2\pi\varepsilon}\ln r + \frac{q}{2\pi\varepsilon}\ln r_0 \ \text{(V)} \tag{5.13}$$

$$V = \frac{q}{2\pi\varepsilon}\ln\frac{r_0}{r} \ \text{(V)} \tag{5.14}$$

elektriksel potansiyel şeklinde olur. Burada q (C) iletken yükünü, r_0 (m) iletken çapını, r (m) iletkenin P noktasına uzaklığını ve ε dielektrik sabitini ifade eder.

İletim hatları elektrik alan hesabı için elektrik alan ve elektrik potansiyel eşitliklerine göre yük dağılımının bilinmesi gerekir. İletim hattının potansiyeli bilindiğine göre Eşitlik (5.14)'e göre bilinenler yerine yazılarak yük değeri (q) elde edilebilir ve böylece elektrik alan hesabı yapılabilir. İletim hattı boyunca yük dağılımı sabit kabul edildiği için her bir hat boyunca yük değeri de değişmeyecektir [60].

Elektrik alanı bulmak için öncelikle q yüküne sahip iletkenin görüntüsüyle birlikte bir noktada oluşturduğu potansiyel değeri bulunmalıdır. İletkene r_1 (m) kadar uzaklıkta q yükünün görüntüsü, r_2 (m) kadar uzakta –q yükü olur [60]. Buna göre iletkenin görüntüsüyle birlikte bir noktada oluşturduğu potansiyel [63];

$$V = \frac{q}{2\pi\varepsilon}\ln\frac{r_0}{r_1} = \frac{-q}{2\pi\varepsilon}\ln\frac{r_0}{r_2} \ \text{(V)} \tag{5.15}$$

$$V = \frac{q}{2\pi\varepsilon}\ln\frac{r_0}{r_1} = \frac{q}{2\pi\varepsilon}\ln\frac{r_2}{r_0} \ \text{(V)} \tag{5.16}$$

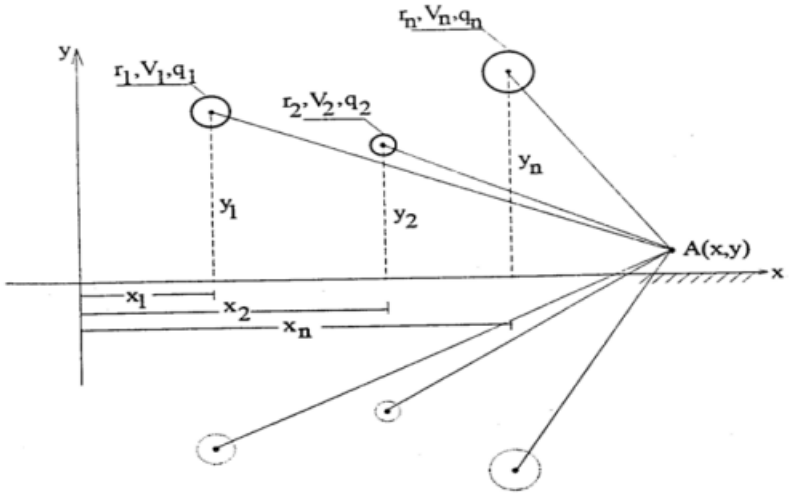
$$V = \frac{q}{2\pi\varepsilon}\ln\frac{r_0}{r_1} - \frac{q}{2\pi\varepsilon}\ln\frac{r_2}{r_0}\ (V) \tag{5.17}$$

$$V = \frac{q}{2\pi\varepsilon}\left(\ln\frac{r_0}{r_1} - \ln\frac{r_2}{r_0}\right)\ (V) \tag{5.18}$$

$$V = \frac{q}{2\pi\varepsilon}\ln\frac{r_2}{r_1}\ (V) \tag{5.19}$$

şeklinde olur .

Şekil 4.4'de verilen bir A noktasındaki n adet iletkenin oluşturduğu potansiyel değeri ifadesi ise [63];



Şekil 4.4 n adet iletkenli iletim hattı görüntüsü [63]

$$V_A = \sum_{i=1}^{n}\frac{q_i}{2\pi\varepsilon}\ln\frac{\sqrt{(x-x_i)^2+(y+y_i)^2}}{\sqrt{(x-x_i)^2+(y-y_i)^2}}\ (V) \tag{5.20}$$

bağıntısı ile hesaplanır. Buna göre A noktasındaki elektrik alanın x ve y bileşenleri ise [63];

$$E_{AX} = \sum_{i=1}^{n}\frac{q_i(x-x_i)}{2\pi\varepsilon}\left[\frac{1}{(x-x_i)^2+(y-y_i)^2} - \frac{1}{(x-x_i)^2+(y+y_i)^2}\right]\ (V/m) \tag{5.21}$$

$$E_{AY} = \sum_{i=1}^{n}\frac{q_i}{2\pi\varepsilon}\left[\frac{(y-y_i)}{(x-x_i)^2+(y-y_i)^2} - \frac{(y+y_i)}{(x-x_i)^2+(y+y_i)^2}\right]\ (V/m) \tag{5.22}$$

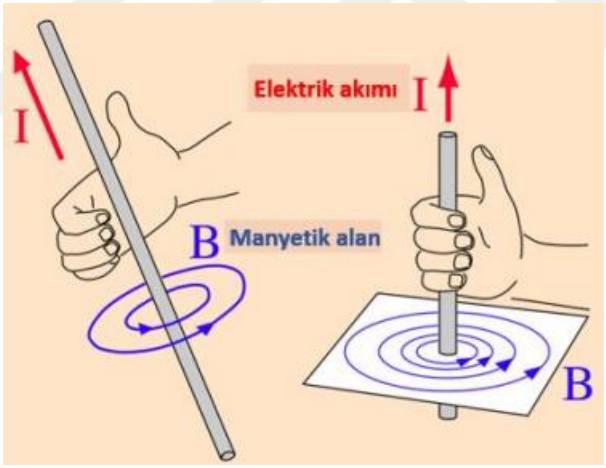
bağıntılarına göre hesap edilir. Buradan da;

$$E_A = \sqrt{{E_{AX}}^2 + {E_{AY}}^2}\ (V/m) \tag{5.23}$$

ifadesi ile A noktasındaki bileşke elektrik alan bulunur.

4.2 Manyetik Alan

Manyetik alan, elektrik yüklerinin düzgün doğrusal yer değiştirmesi sonucu oluşan alandır [60]. Bir cihazın kabloyla şebekeye bağlanması sonucu cihaz çalışmasa da elektrik alan oluşurken, cihaz çalışmaya başladığında ise kablosundan akım geçeceğinden manyetik alan da oluşmaktadır. Bu manyetik alanın büyüklüğü iletkenden geçen akım miktarı arttıkça artmaktadır. Manyetik alan, iletkenin yanında maksimum olup iletkenden uzaklaştıkça azalmaktadır. Akımların oluşturduğu manyetik alanlara ait ilk deneysel gözlemler 1820 yılında Oersted tarafından yapılmıştır [62]. Oersted, bir pusulanın üzerinde akım geçen tel varken pusulanın uzun ekseninin tele dik konuma geldiğini gözlemlemiştir. Daha sonra Biot-Savart ve Ampere tarafından deneyler yapılmıştır. Bu deney sonuçlarına göre ise akım taşıyan bir iletkenin, etrafındaki uzayın herhangi bir noktasında oluşan manyetik alanı veren denklemler elde edilmiştir [62]. Manyetik alan vektörel bir büyüklük olup manyetik alanın hareket yönü yüklerin hareket yönüne diktir. Manyetik alan çizgileri kendi üzerine kapanan eğriler oluşturur. Şekil 4.5'de akım taşıyan telin manyetik alan yönleri gösterilmiştir [61].



Şekil 4.5 Manyetik alan vektörü yönü [61]

Manyetik alan, bir noktada v hızıyla hareket eden bir q yükünde F kuvvetini oluşturan alan vektörüdür. Bu kuvvetin büyüklüğü ise akımın büyüklüğüne ve yükün hızına bağlı olarak değişir [60].

$$F = q.(vxB) \ \ (N) \tag{5.24}$$

Burada, v yüklü parçacığın hızı, B (T vey G) manyetik akı yoğunluğunu ifade etmektedir [60].

Manyetik akı yoğunluğu ise [62];

$$B = \mu.H \tag{5.25}$$

şeklinde ifade edilir. Burada, μ (Henry/m) ortamın manyetik geçirgenliği, H (A/m) manyetik alan şiddetini ifade etmektedir.

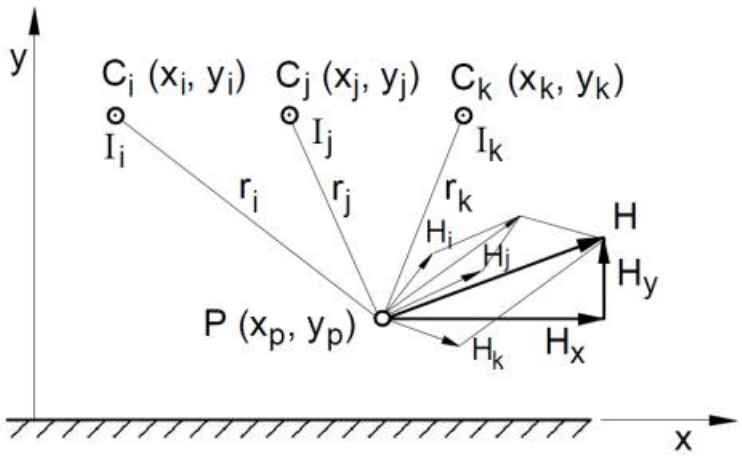
Manyetik alanın değerini bulmak için ise Biot-Savart yasası kullanılabilir. Bu yasaya göre, I (A) akımı taşıyan bir iletkenin r (m) kadar uzaklıkta meydana getirdiği manyetik alan şiddeti [62];

$$H = \frac{I}{2\pi r} \text{ (A/m)} \tag{5.26}$$

ifadesiyle hesaplanabilir.

4.2.1 İletim Hatlarından Kaynaklanan Manyetik Alan Hesabı

Biot-Savart yasasıyla akım taşıyan bir iletkenin belirli bir uzaklıkta meydana getirdiği manyetik alan şiddeti Eşitlik (5.26)'da verilmiştir. İletim hatlarında ise akım taşıyan birden fazla iletken olduğundan her iletkenin taşıdığı akımın manyetik alana etkisi hesaba katılmalıdır. Şekil 4.6'da birden fazla iletken olması durumunda iletkenlerin taşıdığı akımın belirli bir uzaklıktaki P noktasında meydana getirdiği manyetik alanların bileşkesi, yatay ve düşey ile P noktasındaki manyetik alanı verilmiştir [62].



Şekil 4.6 Üç iletkenli bir sistemde manyetik alanın hesaplanması için gerekli vektörel büyüklükler [62]

Şekil 4.6'da görüldüğü gibi koordinatları (x_p, y_p) olan P noktasının, koordinatları (x_i, y_i) olan iletkene uzaklığı bulunurken;

$$r_i = \sqrt{(x_p - x_i)^2 + (y_p - y_i)^2} \text{ (m)} \quad (5.27)$$

bağıntısı kullanılarak hesaplanır. Aynı noktada bulunan iletkenin taşıdığı I_i akımın P noktasında meydana getirdiği manyetik alanın x eksenindeki yatay bileşeni H_{xi} ve y ekseninde düşey bileşeni H_{yi} olur. H_{xi} ve H_{yi} bileşenleri hesaplanırken [62];

$$H_{xi} = \frac{I_i}{2\pi} \cdot \frac{y_p - y_i}{{r_i}^2} \quad (5.28)$$

$$H_{yi} = \frac{I_i}{2\pi} \cdot \frac{x_p - x_i}{{r_i}^2} \quad (5.29)$$

formülasyonları kullanılabilir. Manyetik alanın x bileşeni zemine paralel, y bileşeni ise dikey bileşendir. Manyetik alanın x bileşeni iletkene dik olurken, y bileşeni ise paralel bileşendir. İletim hatlarında birden fazla iletken olduğu için, n tane iletkenli sistemin bir noktada oluşturduğu manyetik alan bulunurken [62];

$$H = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^{n} H_{xi}\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^{n} H_{yi}\right)^2} \quad (5.30)$$

bağıntısı kullanılabilir.

4.3 Elektrik ve Manyetik Alan Arasındaki Farklar

Elektrik alan ve manyetik alanlar arasındaki temel farklılıklar veya benzerlikler aşağıda ki gibi özetlenebilir [60]:

- Elektrik alan gerilim ile artarken, manyetik alan akım ile artmaktadır.
- Elektrik alan birimi V/m ile tanımlanırken, manyetik alan birimi A/m, G veya T ile ifade edilmektedir.
- Elektrik alan şebekeye bağlı bir cihaz kapalı olsa da meydana gelirken, manyetik alan akım akmadığı sürece oluşmaz.
- Binalar, ağaçlar ve birçok iletken malzeme elektrik alana engel olabilirken, manyetik alana engel olmak çok zordur. Ferromanyetik malzemeler ile manyetik alan etkisi düşürülebilir.

Elektrik ve manyetik alanlar için kaynağın yanında maksimum büyüklükler meydana gelirken kaynaktan uzaklaştıkça elektrik ve manyetik alan büyüklükleri azalmaktadır.

4.4 Elektrik ve Manyetik Alanların Biyolojik Etkileri

Enerji iletim hatları etrafında oluşan 50 Hz çok düşük frekanslı elektrik ve manyetik alanların ölçülmesiyle 1960'larda sayısal yaklaşımlar hesaplanmaya başlamıştır. Oluşan

bu elektrik ve manyetik alanların etkileri araştırılmış ve kesin olmamakla birlikte elektrik ve manyetik alanların kanserojen etki riski taşıyan yapılar kategorisinde değerlendirilmesi uygun görülmüştür. Dünya sağlık örgütü (WHO) elektrik ve manyetik alanları "olası kanserojen" (Grup-2B) sınıfına almıştır. Yapılan çalışmalar ve mevcut oluşturulabilmiş veriler tam olarak ispatlanmamış olsa da elektrik ve manyetik alanların fizyolojik ve psikolojik etkileri olduğunu göstermektedir. Elektrik alanın etkisini incelemek için farklı seviyelerde elektrik alana maruz kalan insanların bazı reaksiyonlar verdiği tespit edilmiştir. Aynı zamanda, elektrik alan algı eşiklerinin de kişiden kişiye göre değiştiği görülmüştür. Elektrik alanın etkileri şu şekilde sıralanabilir [64].

- 10 kV/m elektrik alan büyüklüğü altında, çok az sayıda kişi ciltlerine "üfleniyormuş gibi hisseder,
- 12 kV/m'den itibaren bazı insanlar derilerinde iğnelenme hisseder,
- 20 kV/m'den itibaren, insanların %5'i iğnelenme hissederken bazıları hoş olmayan bir his olarak tanımlar.

İnsan vücudu iletken olduğundan manyetik alana maruz kalınca akımlar oluşur. Bu akımların yoğunluğu çok düşük olduğundan genelde hissedilmezler, fakat yoğun manyetik alana maruz kalınması anlık algı şeklinde hissedilir. Manyetik alan algı eşiği de kişiden kişiye göre değişmektedir [64].

Dünya sağlık örgütü (WHO) tarafından kabul edilen eşikler ve etkileri aşağıda ki gibi sıralanabilir [64].

- 1-10 mA/m^2 arasında önemsiz biyolojik etkiler rapor edilmiştir,
- 10-100 mA/m^2 arasında sinir sistemi ve görme duyusu üzerinde etkiler tespit edilmiştir,
- 100-1000 mA/m^2 arasında uyarılabilir dokuların uyarımı gözlenmiştir ve sağlık açısından zararlı etkileri muhtemeldir,
- 1000 mA/m^2 üzerinde ise ventriküler fibrilasyon ve kalpte ritim bozukluğu gibi riskli etkiler raporlanmıştır.

Elektrik enerjisinin iletilmesinde enerji iletim hatları kullanılmakta ve sayıları da gün geçtikçe artarak ülkeleri ağ gibi sarmaktadır. İletim hatlarının yaygın olması ve elektrik ve manyetik alanlarında zararlı etkileri göz önüne alındığında ülkemizde ve dünyada insan sağlığını korumak için yönetmelik ve standartlarla limit değerler belirlenmiştir.

4.4.1 Yasal Mevzuatlar

Türkiye'de iyonlaştırıcı olmayan radyasyon sonucu oluşan elektromanyetik alanların, insan ve çevre üzerindeki etkilerinin araştırılması ve azaltılması, elektromanyatik radyasyon yayan cihazların insan ve çevre üzerindeki etkileri konusunda halkı bilgilendirmek ve kurumların alması gereken tedbirleri belirlemek amacıyla Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından 24.07.2010 tarihinde "İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyonun Olumsuz Etkilerinden Çevre Ve Halkın Sağlığının Korunmasına Yönelik Alınması Gereken Tedbirlere İlişkin Yönetmelik" yayınlanmıştır. Bu yönetmelikte yer alan meskun mahalde 0 Hz – 300 GHz frekans batlarındaki elektrik alan şiddeti, manyetik alan şiddeti, manyetik akı yoğunluğu ve eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu için sınır değerler Tablo 4.1'de verilmiştir [65].

Tablo 4.1 0 Hz-300 GHz frekans batlarındaki limit değerler

Frekans Aralığı (Hz)	**Elektrik Alan Şiddeti E (V/m)**	**Manyetik Alan Şiddeti H (A/m)**	**Manyetik Akı Yoğunluğu B (μT)**	**Eşdeğer Düzlem Dalga Güç Yoğunluğu Seq (W/m^2)**
1 Hz'e Kadar	-	32 000	40 000	-
1 Hz – 8 Hz	10 000	32 000 / f^2	40 000/f^2	-
8 Hz – 25 Hz	10 000	4000 / f	5000 / f	-
0.025 kHz – 0.8 kHz	750 / f	8 / f	10 / f	-
0.8 kHz – 3 kHz	250 / f	5	6,25	-
3 kHz – 150 kHz	87	5	6,25	-
0.15 MHz – 1 MHz	87	0,73 / f	0,92 / f	-
1 MHz – 10 MHz	87 / $f^{1/2}$	0,73 / f	0,92 / f	-
10 MHz – 400 MHz	28	0,073	0,092	2
400 MHz – 2000 MHz	1,375$f^{1/2}$	0,0037$f^{1/2}$	0,0046$f^{1/2}$	f / 200
2 GHz – 300 GHz	61	0,16	0,20	10

Dünyada ise bu konuda "International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)" komisyonu elektromanyetik alanın olumsuz etkilerine karşı koruma sağlayacak sınırlamalar için kılavuzlar oluşturmak amacıyla, 2010 tarihinde "Guidelines

For Limiting Exposure To Time-Varying Electric And Magnetic Fields (1 Hz - 100 kHz)" kılavuzunu yayınlamıştır. Bazı ülkeler bu kılavuzu olduğu gibi kullanırken bazı ülkelerde kendi standart ve yönetmeliklerine uyarlayarak kullanmaktadır. Bu kılavuza göre zamana göre değişen mesleki elektromanyetik alan sınır değerleri Tablo 4.2'de verilmiştir [66].

Tablo 4.2 Mesleki limit değerler

Frekans Aralığı (Hz)	**Elektrik Alan Şiddeti E (kV/m)**	**Manyetik Alan Şiddeti H (A/m)**	**Manyetik Akı Yoğunluğu B (T)**
1 Hz – 8 Hz	20	$1{,}63\text{x}10^5 / f^2$	$0{,}2/f^2$
8 Hz – 25 Hz	20	$2\text{x}10^4$ / f	$2{,}5\text{x}10^{-2}$ / f
25 Hz – 300 Hz	$5\text{x}10^2$ / f	$8\text{x}10^2$	$1\text{x}10^{-3}$
300 Hz – 3 kHz	$5\text{x}10^2$ / f	$2{,}4\text{x}10^5$ / f	0,3 / f
3 kHz – 10 MHz	$1{,}7\text{x}10^{-1}$	80	$1\text{x}10^{-4}$

Genel halk için zamana göre değişen elektromanyetik etkilerin sınır değerleri ise Tablo 4.3'de verilmiştir.

Tablo 4.3 Halk için limit değerler

Frekans Aralığı (Hz)	**Elektrik Alan Şiddeti E (V/m)**	**Manyetik Alan Şiddeti H (A/m)**	**Manyetik Akı Yoğunluğu B (T)**
1 Hz – 8 Hz	5	$3{,}2\text{x}10^4/f^2$	$4\text{x}10^{-2}/f^2$
8 Hz – 25 Hz	5	$4\text{x}10^3/f$	$5\text{x}10^{-3}/f$
25 Hz – 50 Hz	5	$1{,}6\text{x}10^2$	$2\text{x}10^{-4}$
50 Hz – 400 Hz	$2{,}5\text{x}10^2/f$	$1{,}6\text{x}10^2$	$2\text{x}10^{-4}$
400 Hz – 3 kHz	$2{,}5\text{x}10^2/f$	$6{,}4\text{x}10^4/f$	$8\text{x}10^{-2}/f$
3 kHz – 10 MHz	$8{,}3\text{x}10^{-2}$	21	$2{,}7\text{x}10^{-5}$

İletim hatlarının çalışma frekansı olan 50 Hz için limit değerler Tablo 4.4'de verilmiştir [20].

Tablo 4.4 50 Hz için limit değerler

Yönetmelikler	Elektrik Alan Şiddeti (kV/m)	Manyetik Alan Şiddeti (A/m)	Manyetik Akı Yoğunluğu (μT)
ICNIRP-Mesleki Maruziyet	10	800	1000
ICNIRP-Umumi Maruziyet	5	160	200
Orman Bakanlığı- 24.07.2010	15	160	200

5
COMSOL MULTIPHYSICS YAZILIMININ TANITIMI

Comsol Multiphysics yazılımı, mühendislik, üretim ve bilimsel çalışma ve uygulama gibi birçok alanda kullanılan genel amaçlı bir simülasyon yazılımıdır. Yazılımın kullanıldığı alanlardan bazıları şunlardır [67]:

- Isı transferi
- Elektromanyetik
- Plazma
- Yarı iletken
- Optik
- Akustik
- Yapısal Mekanik
- Korozyon
- Elektrokimya
- Akışkanlar
- Optimizasyon

Çeşitli alanlarda birçok simülasyonu gerçekleştirme fırsatı sağlayan yazılımda farklı alanlara uygun olarak çok sayıda arayüz yer almaktadır. Elektrik mühendisliği alanında ise "Heat Transfer" ve "AC/DC" modülleri yaygın olarak kullanılmaktadır [68]. COMSOL Multiphysics yazılımı sonlu elemanlar yöntemi ile nümerik sonuçlar vermektedir [69].

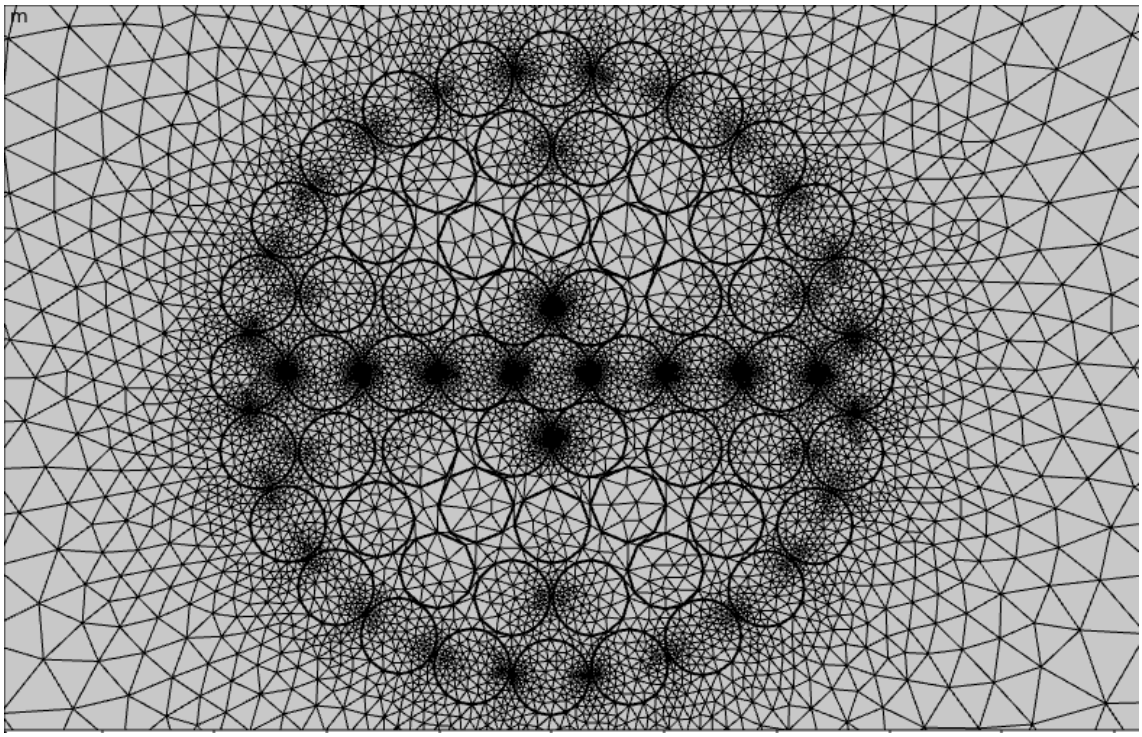
5.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi, matematik ve mühendislik problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılan popüler bir sayısal yöntemdir. Bu yöntemle ilgili ilk çalışmaların Alman matematikçi Courant tarafından 1943 yılında sunulduğu kabul edilmektedir [70]. Sonlu elemanlar yöntemi problemin çözüm bölgesini çok küçük, birbirine bağlı alt bölgelere ayrıştırılması ile karmaşık denklemleri eş zamanlı denklemlere çevirerek çözen bir yöntemdir [67].

Sonlu elemanlar yönteminin çalışması şu şekilde ilerlemektedir [70]:

- Çözüm bölgesinin sınırlı sayıda alt bölgelere indirgenmesi
- Oluşan eşitliklerin uygun yöntemle türetilmesi
- İndirgenen alt bölgelerin tekrar birleştirilmesi
- Eşitliklerin çözümü

Oluşturulan bu alt bölgelere "mesh" adı verilmektedir. Oluşturulan alt bölgeler ne kadar fazla olursa sonuç da o kadar hassas olur. Mesh sayısı fazla olursa sonuçların doğruluğu ve işlem süresi de artar. İletken kesitine ait "finer mesh" görüntüsü Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1 İletken kesiti finer mesh görüntüsü

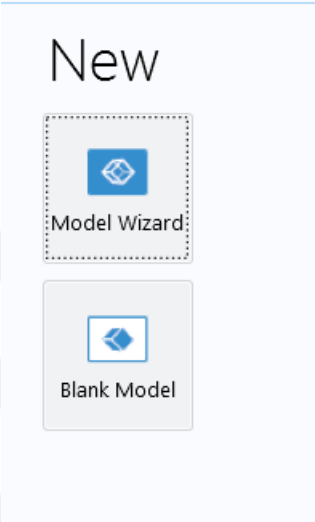
5.2 Isı Transfer Modülü

Isı transfer modülü, bir kaynaktan üretilen ısının kaynakta kullanılan malzemelerin özelliklerine bağlı olarak meydana getirdiği ısı dağılımını belirlemek için kullanılır [68]. Isı transfer modülünde, yüksek gerilim enerji iletiminde kullanılan havai hat iletkenleri kaynak olarak seçilebilir. İletkenden taşınan akımın sebep olduğu ısı enerjisi miktarı programda girdi olarak kullanılıp iletkenlerin ısıl analizleri yapılabilmektedir. İletkene akım uygulandığında, üreticisi tarafından belirlenen maksimum çalışma sıcaklığına ulaşıyorsa, iletkenin maksimum akım taşıma kapasitesine ulaştığı anlamına gelmektedir.

Bu çalışmada yüksek gerilim enerji iletim sistemlerinde kullanılan havai hat iletkenlerinin ısıl analizleri ısı transfer modülünde gerçekleştirilmiştir.

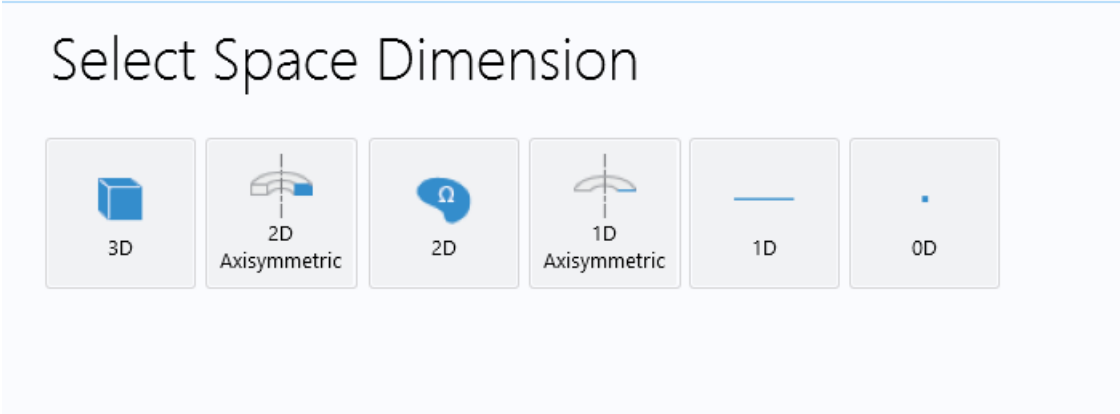
Comsol yazılımında, ısı transfer modülünde, simülasyon çalışmaları yapmak için aşağıda verilen adımlar takip edilmelidir:

- İlk olarak program başlatıldığında "Model Wizard" model seçimi yapılmalıdır. Şekil 5.2'de seçim ekranı görüntüsü verilmiştir.



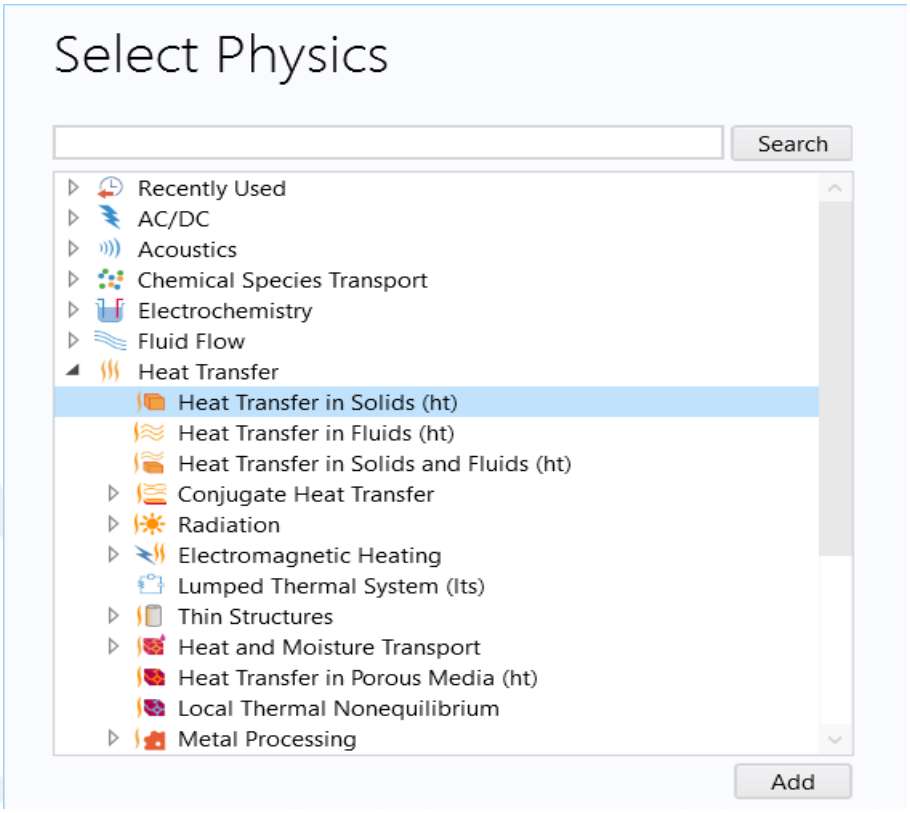
Şekil 5.2 Model seçim ekranı

- Daha sonra incelenecek olan malzemeye göre çalışma boyutu seçilir. Bu çalışmada analizler iki boyutlu (2-D) olarak gerçekleştirilmiştir. Boyut seçim ekranı Şekil 5.3'te verilmiştir.



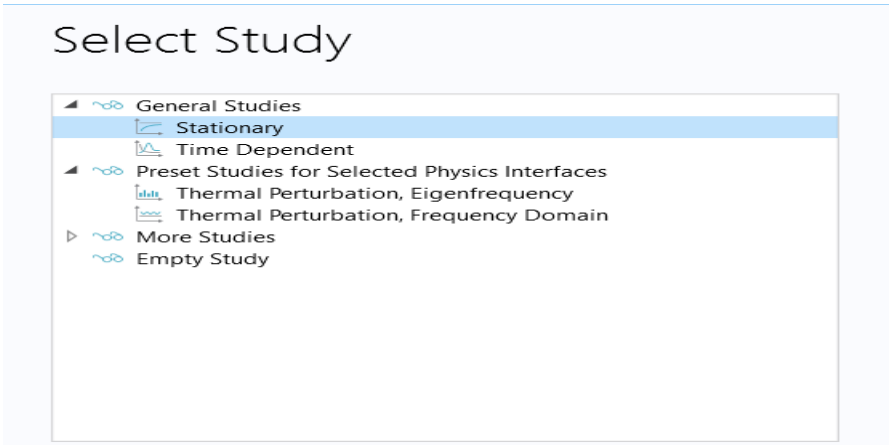
Şekil 5.3 Boyut seçim ekranı

- Boyut seçiminden sonra ise yapılacak işleme göre fizik seçimi yapılır. Bu çalışamada ısıl analizler "Heat Transfer" modülünde "Heat Transfer in Solids(ht)" alt biriminde yapılmıştır. Fizik seçim ekranı Şekil 5.4'te verilmiştir.



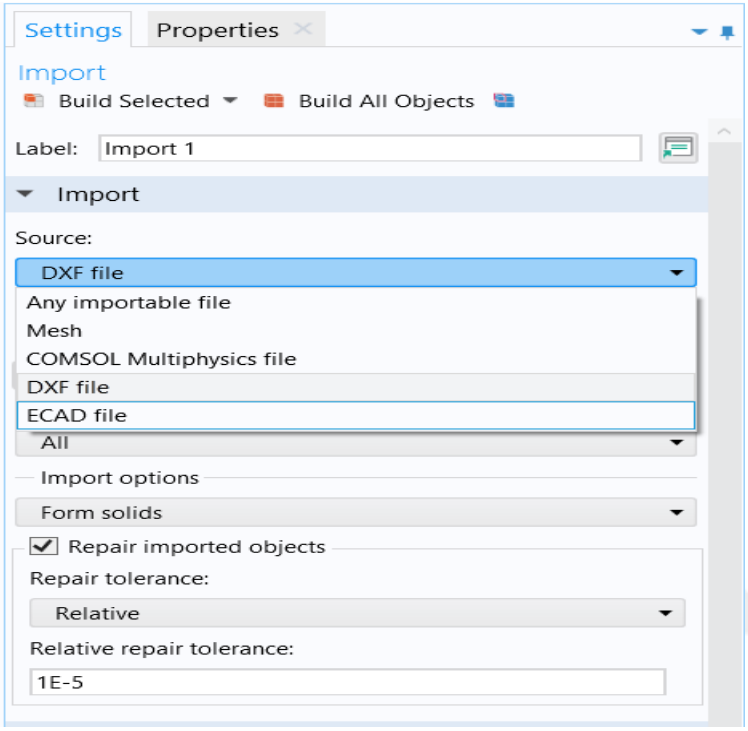
Şekil 5.4 Fizik seçim ekranı

- Son olarak yapılacak analizin çalışma domenleri seçilerek simülasyon ekranına geçilir. Bu çalışmada ısıl analizler yapılırken kararlı ve zamana bağlı değişmeyen sonuçların alındığı "stationary" kullanılmıştır. Domen seçim ekranı Şekil 5.5'te verilmiştir.



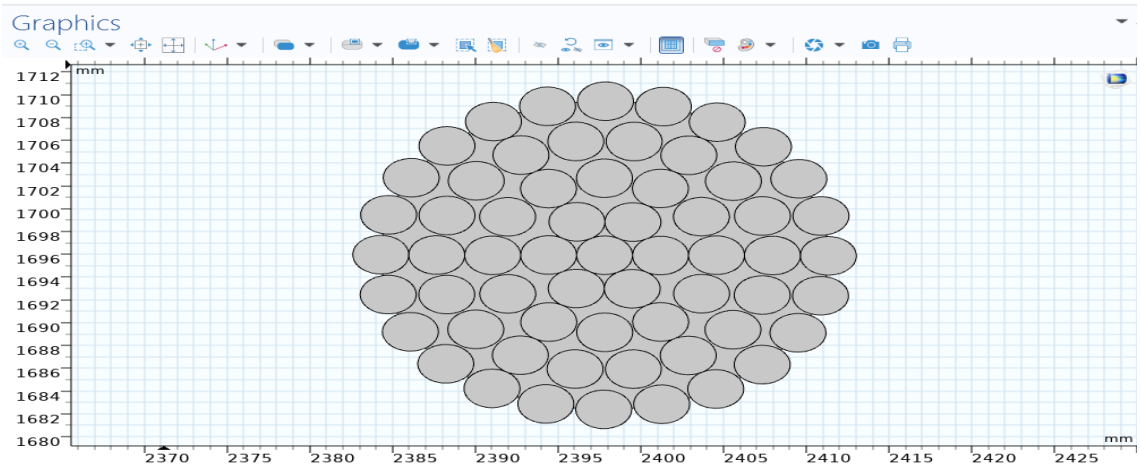
Şekil 5.5 Domen seçim ekranı

- Simülasyon ekranında, önce kullanılacak model geometrisini oluşturmak gerekmektedir. Model geometrisi yazılımda çizilebilir veya farklı CAD yazılımlarından Comsol yazılımına aktarılabilir. Bu çalışmada, AUTOCAD yazılımında çizilen iletken geometrileri Comsol yazılımına aktarılmıştır. Farklı yazılımlardan geometrileri yüklemek için kullanılabilecek dosya türlerininin seçim ekranı Şekil 5.6'da verilmiştir.



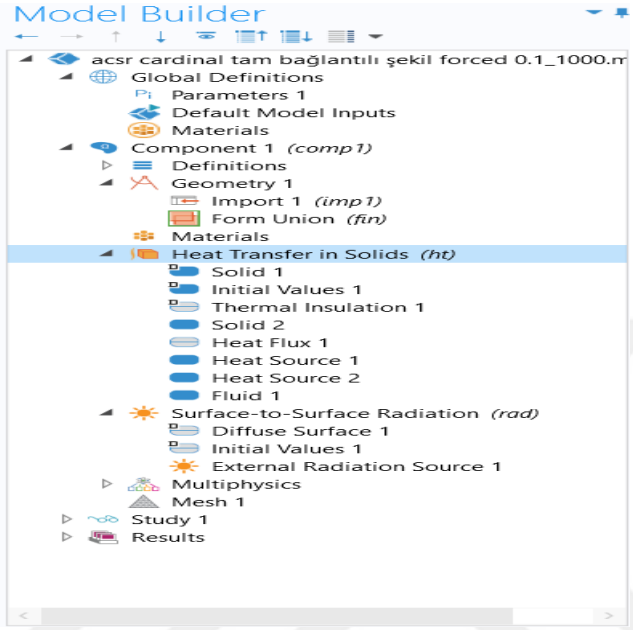
Şekil 5.6 Dosya seçim ekranı

Çalışmada kullanılan havai hat iletkeninin Comsol yazılımına aktarılmış geometrisi Şekil 5.7'de verilmiştir.



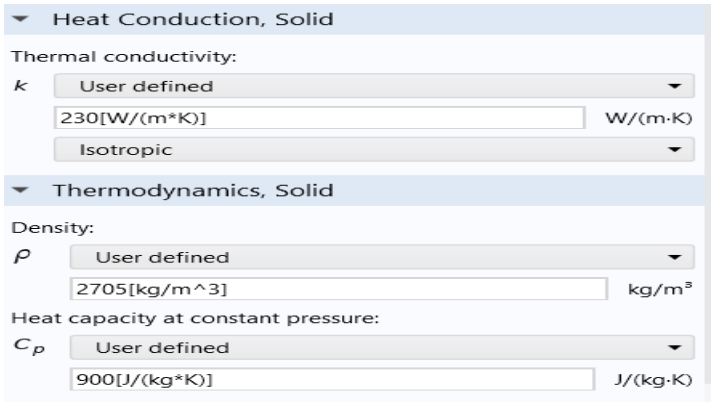
Şekil 5.7 İletken geometrisi

- Geometriler yazılıma aktarıldıktan sonra ısıl modeli oluşturmak için iletkene ait özelliklerin iletkene tanımlanması gerekir. Comsol yazılımı nümerik sonuçlar vermek için sonlu elemanlar yöntemini kullandığından, bu tanımlar ve kabuller aynı zamanda sınır koşullarını oluşturmaktadır. Şekil 5.8'de parametre tanımlama ekranı gösterilmiştir.



Şekil 5.8 Parametre tanımlama ekranı

İletkenin ısıl analizleri yapabilmek için aktarılan iletken geometrisine iletkenin özelliklerinin tanımlanması gerekir. Her iletken çeşidine göre değişebilen bu özellikler ısıl iletkenlik (thermal conductivity), yoğunluk (density) ve spesifik ısı kapasitesi (specific heat capacity)'dir. Havai hat iletkenlerinde öz ve iletken bölümünde kullanılan malzemeler farklı olduğu için iki ayrı "solid" tanımlarak bu özellikler girilmiştir. Tanımlama giriş ekranı Şekil 5.9'da verilmiştir.



Şekil 5.9 Özellik tanımlama ekranı

Diğer bir sınır koşulu olan ısıl kaynak (heat source) ise iletkenlerin öz ve iletken bölümlerinde kullanılan malzemelerin özdirençleri farklı olmasından dolayı farklı tanımlanmıştır. Modelin ısı üretimini tanımlamak için ısıl kaynak (heat source)'da genel kaynak (general source) kullanılmıştır.

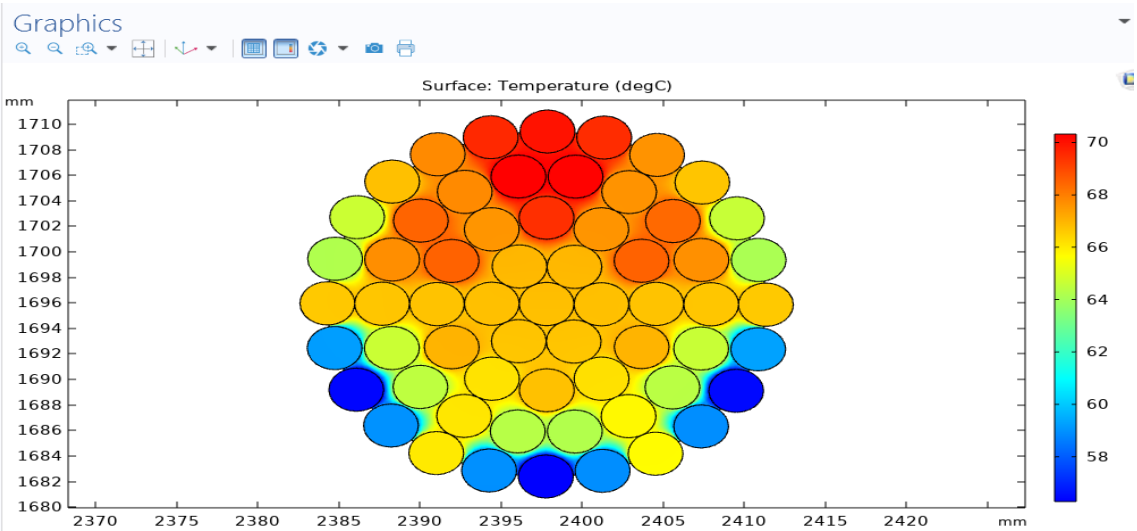
İletkenler dış ortamda bulunan çıplak iletkenler olduğundan ısı akısı (heat flux) sınır koşulu oluşturmaktadır. Bu sınır koşulunda konveksiyon ısı akısı (convective heat flux) kullanılmıştır. Isı transfer katsayısını belirlemek için dış zorlanmış konveksiyon (external forced convection) ve çapraz akışlı silindir (cylinder in cross flow) kullanılmıştır. Burada, rüzgar hızı ve iletken çapı girilerek ısı transfer katsayısı program tarafından hesaplanmaktadır.

Güneş tarafından verilen ısı miktarı ise yüzeyden yüzeye radyasyon (surface to surface radiation) olarak tanımlanmakta olup sınır koşulu oluşturmaktadır. Burada, güneş dış radyasyon kaynağı (external radiation source) olarak kaynak ısı akısı (source heat flux) (W/m^2) tanımlanır. Ayrıca, güneşin pozisyonu da ayarlanabilir.

İletkeni oluşturan teller arasındaki boşluklarda ise durgun hava (fluid) tanımlanır. Durgun havanın ısıl iletkenliği, yoğunluğu, spesifik ısı kapasitesi ve özgül ısı oranı programa girilir.

Diğer sınır koşullarından ısıl izolasyon tüm ısı transfer modellerinde ortak kullanılır. Dışarıdan harici bir ısı akısı olmadığını tanımlamak için kullanılır [68].

Tüm bu tanımlanan sınır koşullara göre yazılım problemi çözümler ve ısıl dağılımı gösterir. Şekil 5.10'da örnek bir iletkenin iki boyutlu ısıl dağılımı verilmiştir.



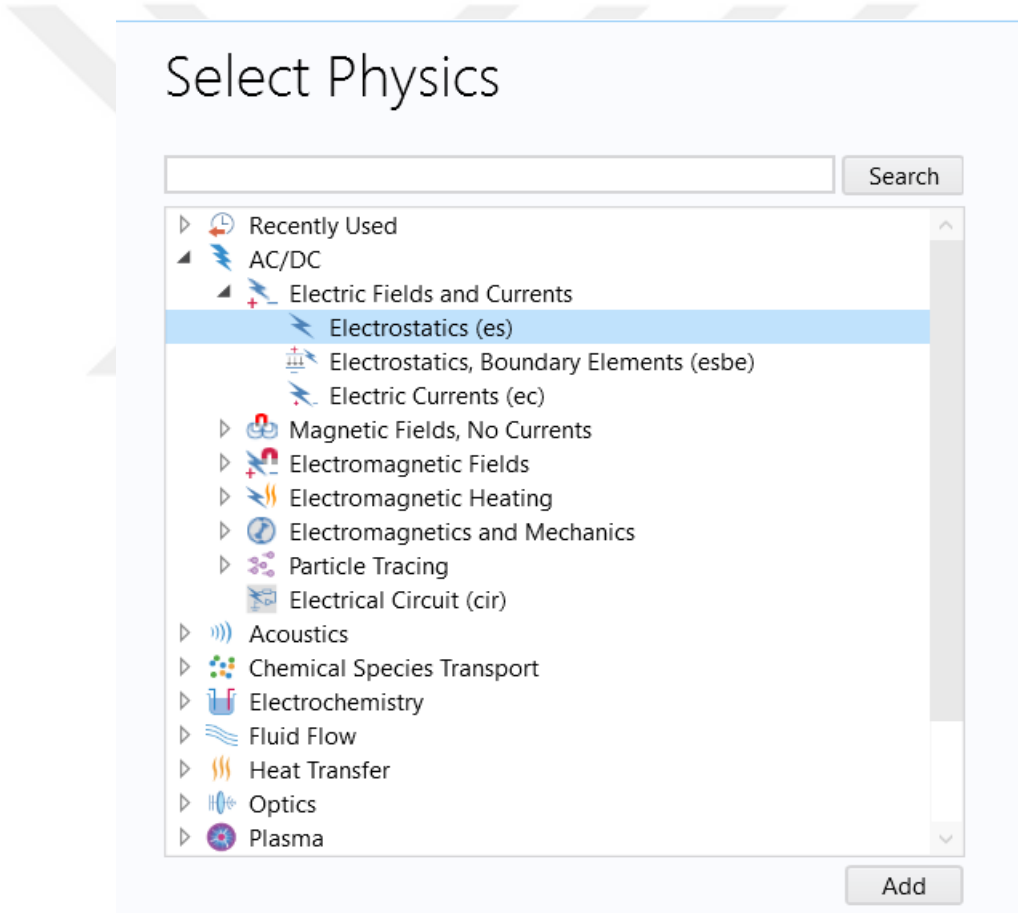
Şekil 5.10 İki boyutlu iletkenin ısıl dağılımı

5.3 AC/DC Modülü

Comsol yazılımında elektrik ve manyetik alan analizlerinin gerçekleştirildiği modüldür. Elektrik alan için "electrostatics" modeli, manyetik alan için ise "magnetic fields" modeli kullanılabilir [68].

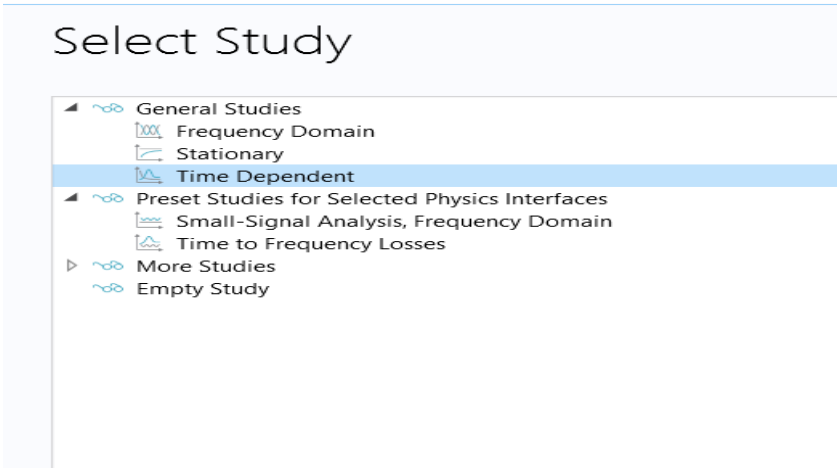
5.3.1 Elektrik Alan (Electrostatics)

Elektrik alan analizleri yapabilmek için Comsol yazılımında "wizard modeli" ve boyut seçimi yapıldıktan sonra fizik seçiminde "AC/DC modülü" ve "electrostatics" modeli seçilir. Bu çalışmada, iletkenlerin elektrik alan davranışları "AC/DC modülü"nde ve "electrostatics" modelinde incelenmiştir. Şekil 5.11'de elektrik alan fizik seçim ekranı verilmiştir.



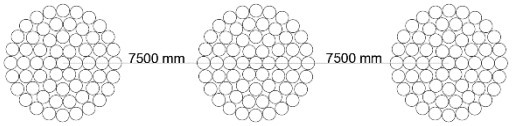
Şekil 5.11 Elektrik alan fizik seçim ekranı

Fizik seçimi yapıldıktan sonra, çalışmalar zamana bağlı değişen sonuçlar veren "time dependent" modelinde yapılmıştır. "Time dependent" domen seçim ekranı Şekil 5.12'de verilmiştir.



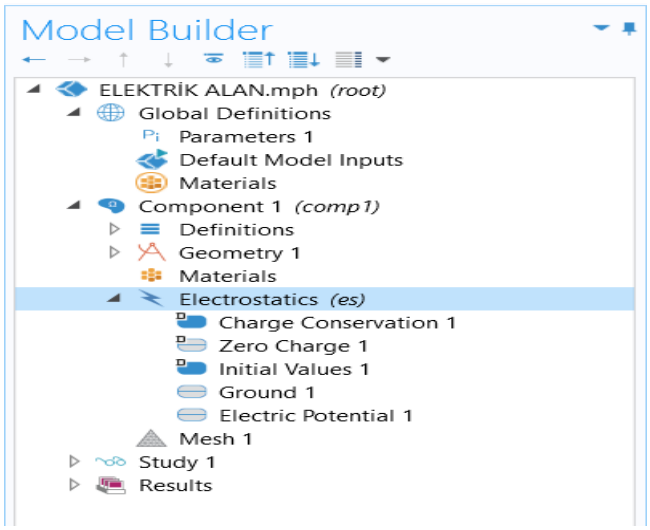
Şekil 5.12 "Time dependent" domen seçim ekranı

Daha sonra iletken geometrisi AUTOCAD yazılımından programa aktarılır. Şekil 5.13'de yan yana yerleştirilmiş tek devre hat yapısını oluşturan iletekenlere ait sistem geometrisi verilmiştir.



Şekil 5.13 Tek devre hatta kullanılan üç iletkene ait geometri

İletken geometrisi sisteme aktarıldıktan sonra sistemin sınır koşulları ve malzeme özellikleri tanımlaması yapılmalıdır. "Electrostatics" modeli için sınır koşulları ve parametre tanımlama ekranı görüntüsü Şekil 5.14' de verilmiştir.



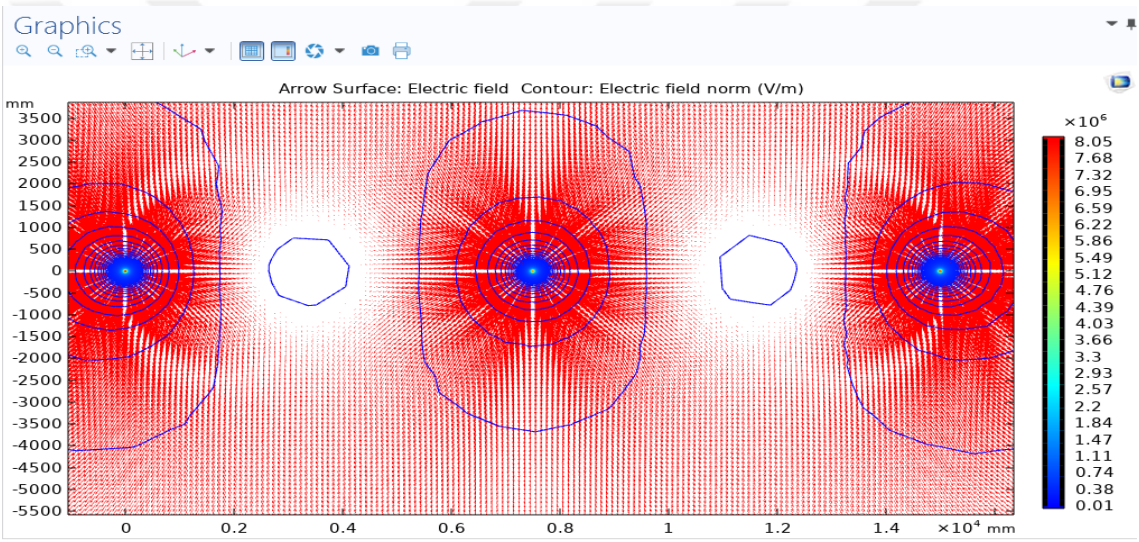
Şekil 5.14 İletken parametre tanımlama ekranı

Şarj koruma (charge conservation) sınır koşulunda malzemenin bağıl dielektrik sabitleri programa girilmelidir.

Sıfır şarj (zero charge) her elektrik alan analizinde kullanılan bir sınır koşuldur. Sınırdan dışarıya herhangi bir elektrik alan çıkışı olmadığını ifade eder.

Elektrik potansiyel (electric potential) sınır koşulu ise sisteme uygulanan gerilim seviyesini tanımlar.

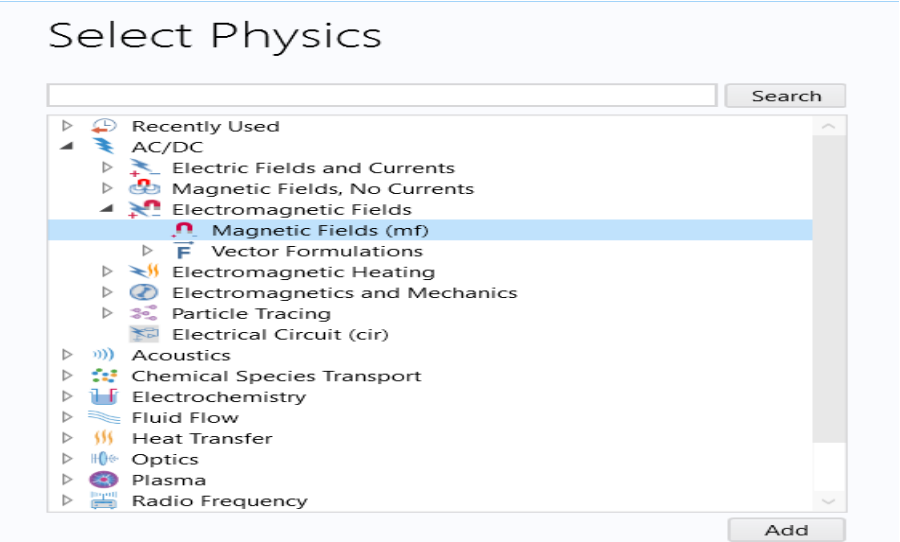
İletkenlerin elektrik alan davranışlarını incelemek için programa yalnızca malzemenin bağıl dielektrik sabitleri ve uygulanan gerilim girilmesi yeterli olur. Bu girdilerden sonra yazılım problemi çözümler ve elektrik alan dağılımını gösterir. Şekil 5.15'de tek devre hat yapısında bulunan 3 faz iletkenin elektrik alan dağılımı verilmiştir.



Şekil 5.15 Tek devre hat yapısında 3 faz iletkenin elektrik alan dağılımı

5.3.2 Manyetik Alan (Magnetic Fields)

Manyetik alan analizleri yapabilmek için "AC/DC modülü"nde "magnetic fields" modeli seçilmelidir. Bu çalışamada iletkenlerin manyetik alan davranışları "AC/DC modülü" ve "magnetic fields" modelinde incelenmiştir. Şekil 5.16'da manyetik alan seçim ekranı verilmiştir.

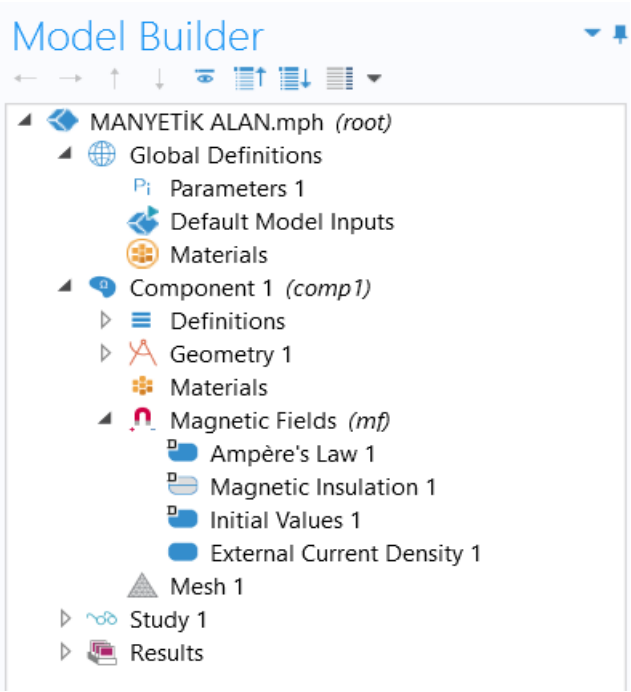


Şekil 5.16 Manyetik alan seçim ekranı

Fizik seçimi yapıldıktan sonra çalışmalar yine zamana bağlı değişen sonuçlar veren "time dependent" modelinde yapılmıştır.

Şekil 5.13'de verilen iletken geometrisi AUTOCAD yazılımından Comsol yazılımına aktarılır.

İletken geometrisi programa aktarıldıktan sonra sistemin sınır koşulları ve malzeme özellikleri tanımlaması yapılmalıdır. "Magnetic fields" modeli için sınır koşulları Şekil 5.17'de verilmiştir.



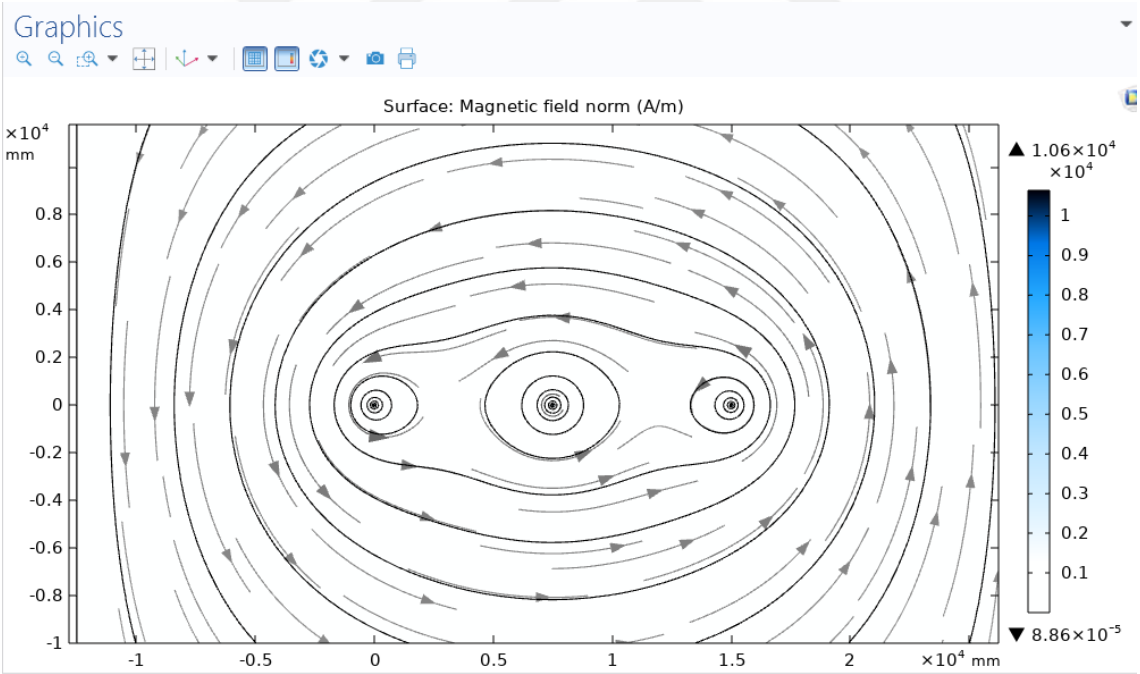
Şekil 5.17 Manyetik alan sınır koşulları

Amper yasası (amper’s law) sınır koşulunda tanımlanan malzemenin elektriksel iletkenliği (S/m), bağıl dielektrik sabiti ve bağıl manyetik geçirgenliği tanımlanmalıdır.

Manyetik izolasyon (magnetic insulation) her manyetik alan analizinde kullanılan sınır koşuludur. Sınırdan dışarıya manyetik alan çıkışı olmadığını tanımlar.

Dış akım yoğunluğu (external current density) (A/m^2) sınır koşulu ise iletkenlere uygulanan akımın iletkenin kesit alanına bölünmesiyle tanımlanır.

İletkenlerin manyetik alan davranışını incelemek için programa tanımlanan malzemenin elektriksel iletkenliği, bağıl dielektrik sabiti ve bağıl manyetik geçirgenlik değeri girilmelidir. Aynı zamanda, iletkenin, ana iletken ve öz bölümünün paralel şekilde bir araya geldiği düşünülerek eşit yüklenme meydana getirmek için uygulanan akım kullanılan materyallerin direnç değerine göre öz ve iletken teller arasında paylaştırılmıştır. Her tel için elde edilen akım değeri, telin kesit bölünerek programa girildikten sonra tek devre hat yapısı için üç iletkenin manyetik alan dağılımı Şekil 5.18’de verilmiştir.



Şekil 5.18 Tek devre hat yapısı için üç iletkenin manyetik alan dağılımı

6
İLETİM HATLARINDA SEHİM, GERİLİM DÜŞÜMÜ VE GÜÇ KAYBI HESABI

Havai hat iletkenleri açık alanda bulunan elemanlar olduğundan hava koşullarından etkilenmektedir. İletim hatlarında, iletkenlerin kendi ağırlıkları ve hava koşullarına bağlı olarak direkler arasına çekilen iletkenlerde sehim denilen sarkmalar oluşmaktadır. Aynı zamanda, iletim hatlarında hattın uzunluğuna ve direncine bağlı olarak hat sonunda gerilim ve güç kapasitesinde azalma meydana gelmektedir. Bu nedenle, elektrik enerjisi iletiminde kullanılan iletkenlerin mekanik ve elektriksel özellikleri basit analizlerle incelenmiştir. Bu bölümde sehim, gerilim düşümü ve güç kaybını hesaplamak için bağıntılar verilmiştir.

6.1 Sehim

Sehim, aynı yükseklikte bulunan iki direk arasına asılmış telin, bu iki direği birleştiren doğrunun orta noktası ile, bu noktadan inilen dikin eğriyi kestiği nokta arasındaki uzaklığa denir [71].

6.1.1 Simetrik Menzilde Yaklaşık Bağıntı ile Sehim Hesabı

Direkler arasında kot farkı yoksa yani direkler eşit yükseklikteyse simetrik menzilde sehim hesaplaması kullanılır.

Yaklaşık bağıntı ile sehim hesabı yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisidir. Buna göre sehim [72];

$$f = \frac{g.a^2}{8.H} = \frac{\gamma.a^2}{8.\sigma} \text{ (m)} \tag{6.1}$$

bağıntısıyla hesaplanır. Burada f (m) sehimi, g (kg/m) birim uzunluk başına ağırlığı, γ (kg/m.mm^2) özgül ağırlığı H (kg) yatay noktadaki çekme kuvvetini, σ (kg/mm^2) yatay gerilme kuvvetini ifade etmektedir.

Sehim parametresi ise[72];

$$c = \frac{H}{g} = \frac{\gamma}{\sigma} \text{ (m)} \tag{6.2}$$

olarak ifade edilir. Aynı zamanda H ve σ arasında [72];

$$\sigma = \frac{H}{q} \tag{6.3}$$

ilişkisi da vardır. Burada, q (mm^2) iletkenin kesitini ifade etmektedir [72].

6.1.2 Asimetrik Menzilde Yaklaşık Bağıntı ile Sehim Hesabı

Direkler arasında kot farkı varsa, yani direkler eşit yükseklikte değilse asimterik menzilde sehim hesapları kullanılır.

Asimetik menzilde kot farkı nedeniyle yaklaşık bağıntı ile sehim hesabı [72];

$$f = \frac{g.a^2}{8.H.cos\varphi} = \frac{\gamma.a^2}{8.\sigma.cos\varphi} \text{ (m)} \tag{6.4}$$

bağıntısıyla hesaplanır. Burada, φ (°) eğim açısını ifade etmektedir.

6.1.3 İletim Hatlarına Etki Eden Ek Yükler

Havai hat iletkenleri hava şartlarından etkilendiğinden dolayı iletkenler üzerinde ek yükler meydana gelmektedir. Bu ek yükler buz ve rüzgar yükleridir.

Türkiye'de buz yükü ve sıcaklık bakımından Tablo 6.1'de verildiği gibi 5 farklı bölgeye ayrılmıştır [73].

Tablo 6.1 Türkiye'de buz yükü bölgeleri ve katsayıları [73]

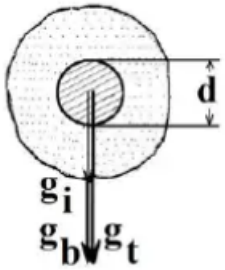
Buz Yükü Bölgesi	k_b	Buz Yükü (kg/m)	Ortam Sıcaklığı °C	
			Minimum	Maksimum
1. Bölge	0	0	-10	+50
2. Bölge	0.2	$0.2\sqrt{d}$	-15	+45
3. Bölge	0.3	$0.3\sqrt{d}$	-25	+40
4. Bölge	0.5	$0.5\sqrt{d}$	-30	+40
5. Bölge	1.2	$1.2\sqrt{d}$	-30	+40

Bölgelere göre buz yükü hesaplanırken [73];

$$g_b = k_b.\sqrt{d} \quad \text{(kg/m)} \tag{6.5}$$

bağıntısı kullanılır. Burada, k_b Tablo 6.1'de verilen bölgelere göre buz yükü katsayısı, d (mm) iletken çapını ifade etmektedir [73].

Buz yükü iletkene Şekil 6.1'de verildiği gibi iletkenin ağırlığı yönünde etki etmektedir [72].



Şekil 6.1 İletkene etki eden buz yükü ve ağırlığı [72]

Bu nedenle iletken ağırlığına buz yükü de eklenirse buzlu iletken ağırlığı [72];

$$g_t = g_i + g_b \ (kg/m) \tag{6.6}$$

şeklinde ifade edilir. Burada g_i (kg/m) iletkenin 1m başına ağırlığını, g_b (kg/m) buz yükü ağırlığını, g_t (kg/m) toplam ağırlığı ifade etmektedir.

İletkene etki eden rüzgar yükü ise [72];

$$g_w = c.p.d.10^{-3} \ (kg/m) \tag{6.7}$$

bağıntısıyla hesaplanır. Burada, p (kg/m^2) dinamik rüzgar basıncını, c dinamik rüzgar basıncı katsayısını, d (mm) iletken çapını ifade etmektedir. Dinamik rüzgar basıncı (p) bulunurken Tablo 6.2 ve dinamik rüzgar basınç katsayısı (c) bulunurken Tablo 6.3 kullanılır [73].

Bileşke rüzgar yükü ise;

$$g_t = \sqrt{{g_i}^2 + {g_w}^2} \ (kg/m) \tag{6.8}$$

bağıntısıyla elde edilir [72].

Tablo 6.2 Dinamik rüzgar basıncı değerleri [73]

Arazi Üzerindeki Yükseklik (m)	**Dinamik Rüzgar Basıncı (kg/m^2)**	
	Direk, Travers, İzalatör	**İletkenler**
0-15	55	44(*)
15-40	70	53

Tablo 6.2 Dinamik rüzgar basıncı değerleri (devamı)

40-100	90	68
100-150	115	86
150-200	125	95

(*) Uzun aralıklı hatlarda bu değer 53 olarak alınacaktır.

Tablo 6.3 Dinamik rüzgar basıncı katsayıları [73]

Rüzgar Etkisinde Kalan İletkenler	**c**
Çapı 12.5 mm'ye kadar olan iletkenler	1.2
Çapı 12.5<d<15.8 mm olan iletkenler	1.1
Çapı 15.8 mm'den büyük olan iletkenler	1.0

Rüzgar hızı ölçülebiliyorsa dinamik rüzgar basıncı (p);

$$p = \frac{V^2}{16} \tag{6.9}$$

şeklinde ifade edilir. Burada V (m/s) rüzgar hızını ifade etmektedir [72].

Rüzgar ve buz yükü birlikte olduğu durumlarda, buzlu iletkene rüzgar yükü hesabı yapılırken, buz kılıfı yüzeyi pürüzlü olduğu düşünülerek c basınç katsayısı $c = c_b = 2$ veya $c_b = 1$ olarak alınabilir. Buz üzerine dinamik rüzgar basıncı da normal rüzgar basıncının altında p_b (kg/m^2) olarak alınabilir. Bu durumda, buzlu iletkenin birim uzunluğuna rüzgar yükü [72];

$$g_{wb} = c_b.p_b.d_b.10^{-3} \text{ (kg/m)} \tag{6.10}$$

bağıntısıyla edilir [64]. Eşdeğer yük ise;

$$g_{eş} = \sqrt{(g_i + g_b)^2 + {g_{wb}}^2} \text{ (kg/m)} \tag{6.11}$$

bağıntısıyla hesaplanır [72].

6.2 Gerilim Düşümü

İletim hatlarının, hat başı gerilimi ve hat sonu gerilimi arasında ki farka gerilim düşümü adı verilir. Gerilim düşümü, iletim hatlarının gerilim seviyesi, akım taşıma kapasitesi, uzunluğu ve direnci gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir.

Simetrik yüklü 3 fazlı iletim hatlarında gerilim düşümü hesaplamak için;

$$\Delta U = \sqrt{3}.I.L.(R_L.\cos\varphi + X_L.\sin\varphi) \quad (6.12)$$

eşitliği kullanılır. Burada, I (A) akımı, L (km) hat uzunluğunu, R_L (Ω/km) hat direncini, X_L (Ω/km) hat reaktansını, cosφ güç faktörünü, sinφ reaktif güç faktörünü ifade etmektedir [74].

6.3 Güç Kaybı

İletim hatlarında kullanılan iletkenlerin direncinden dolayı iletim hatlarında güç kayıpları meydana gelmektedir.

Güç kayıplarını belirlemek için;

$$P_K = 3.I^2.R.L \quad (6.13)$$

ifadesi kullanılır. Burada I (A) akımı, R (Ohm/km) direnci, L (km) hat uzunluğunu ifade etmektedir [31].

7
ANALİZLER VE SAYISAL HESAPLAMALAR

Bu bölümde, yüksek gerilim havai enerji iletim hatlarında kullanılan yaklaşık olarak aynı dış çapa sahip havai hat iletkenlerinin ısıl, elektrik ve manyetik alan, sehim, gerilim düşümü ve güç kaybı analizleri yapılmıştır. Analizlerde, AAAC, AAC, ACAR, ACCC, ACCR, ACSR, ACSS, GTACSR ve STACIR iletkenleri dikkate alınmıştır. Isıl analizler, eşit yüklenme durumunda tüm iletkenlerin davranışlarını incelemek amacıyla ACSR iletkeninin maksimum akım taşıma kapasitesi olan 990 A uygulanarak ve iletkenlerin maksimum çalışma koşullarını görmek amacıyla her iletkenin taşıayabileceği maksimum akımları uygulanarak yapılmıştır. Isıl analizler, 5-15-25-35 °C hava sıcaklıklarında, 0,1-0,5-1-3-5-7-9-11-13-15 m/s rüzgar hızlarında, iki boyutlu olarak, zamanla değişmeyen kararlı halde, ısı transfer modülünde, Comsol Multiphysics yazılımında gerçekleştirilmiştir. Elektrik alan analizleri, ülkemizde yaygın olarak kullanılan 400 kV ve yurt dışında kullanılan 750 kV gerilim seviyesinde, zamana bağlı değişen halde, iki boyutlu olarak, "AC/DC - Electrostatics" modülünde, Comsol Multiphysics yazılımında gerçekleştirilmiştir. Manyetik alan analizleri, tüm iletkenleri aynı akım altında manyetik alan davranışlarını karşılaştırabilmek amacıyla ACSR iletkenin maksimum akım taşıma kapasitesi olan 990 A akım altında ve her iletkenin yüklenebileceği maksimum akımları uygulanarak, zamana bağlı değişen halde, iki boyutlu olarak, "AC/DC - Magnetic Fields" modülünde, Comsol Multiphysics yazılımında gerçekleştirilmiştir. İletkenlerin mekanik ve elektriksel özelliklerini incelemek için basit analizlerle, sehim, gerilim düşümü ve güç kayıpları MATLAB yazılımında hesaplanmıştır.

7.1 Isıl Analizler

ACSR, AAC, AAAC, STACIR, GTACSR, ACCC, ACCR, ACSS ve ACAR iletkenlerinin, 5-15-25-35 °C hava sıcaklıklarında ve 0,1-0,5-1-3-5-7-9-11-13-15 m/s rüzgar hızlarında 2-D termal analizleri Comsol Multiphysics yazılımında "Heat Transfer" modülünde gerçekleştirilmiş ve sonuçlar IEEE-738-Std. hesaplamaları ile karşılaştırılmıştır.

Isıl transfer modülünde kararlı durumda ısı iletim eşitliği aşağıdaki gibidir [75]:

$$k\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right)+q = C_p\frac{\partial T}{\partial t} \quad (7.1)$$

Burada, k (W/K.m) malzemelerin termal iletkenliklerini, q (W/m^3) üretilen ısıyı, C_p ($J/m^3.K$) sabit bir sıcaklık için malzemelerin özgül ısı kapasitelerini, x ve y sistem koordinatlarını ifade etmektedir.

Ayrıca, iletken yüzey sınır koşulu ise;

$T = T_{conductor}$

$$k\frac{\partial T}{\partial n} = h(T-T_\infty) \quad (7.2)$$

eşitliği ile ifade edilir. Burada, T (K) yüzey sıcaklığını, h ($W/m^2.K$) ısı transfer katsayısını, T_∞ (K) ortam sıcaklığını ifade etmektedir .

Konvektif ısı transfer katsayısı (h) dış zorlanmış konveksiyon (external forced convection) sekmesinde iletken çapı (m) ve rüzgar hızı (m/s) girilerek program tarafından hesaplanmaktadır.

7.1.1 Modelleme

İletken geometrileri Autocad yazılımında oluşturulmuş ve Comsol Multiphysics yazılımına aktarılmıştır. Autocad çiziminde dikkate alınan iletken boyutları Tablo 7.1'de verilmiştir [32], [43], [45], [47], [48], [50], [51], [53], [54]. GTACSR iletkeni geometrisi oluşturulurken iletken katoloğunda verilen çap ve kesitlere bağlı kalınarak 1 mm gres boşluğu bırakılmıştır.

Tablo 7.1 İletkenlere ait bilgiler

İletken	Dış Çap (mm)	İletken Kesiti (mm^2)	Öz Kesiti (mm^2)
ACSR	30,42	484	62
ACCC	30,43	619	60
STACIR	30,42	484	62
GTACSR	31,5	540	52
AAAC	28,1	381	88
AAC	30,87	500	64
ACCR	30,4	587	76
ACAR	30,7	493	64

Tablo 7.1 İletkenlere ait bilgiler (devamı)

ACSS	30,4	485	62

İletkenlerin tipine göre alüminyum ve öz bölümünde kullanılan malzemeler ise Tablo 7.2'de verilmiştir [22].

Tablo 7.2 İletkenlerde kullanılan malzemeler

İletken	**Al**	**Öz**	**Gres**
ACSR	1350-H19	Galvaniz Çelik	-
ACCC	1350-O	Kompozit Öz	-
STACIR	AT3	Invar Çelik	-
GTACSR	AT3	Yüksek Dayanıklı Çelik	Termal Gres
AAAC	6201-T81	6201-T81	-
AAC	1350-H19	1350-H19	-
ACCR	AT3	Metal Matris	-
ACAR	1350-H19	6201-T81	-
ACSS	1350-0	Alüminyum Kaplı Çelik	-

Autocad'de hazırlanan ilekten geometrileri Comsol Multiphysics yazılımına aktarıldıktan sonra ise Tablo 7.3'de verilen karakteristik özellikler malzemelere tanımlanmıştır [76]-[92].

Tablo 7.3 İletkenlerde kullanılan malzemeler için kullanılan karakteristik değerler

İletken	**Yoğunluk (kg/m^3)**	**Isıl İletkenlik (W/m.K)**	**Isıl Kapasite (J/kg.K)**	**Direnç (nΩ.m)**
Süper Termal Alüminyum Alaşım (AT3)	2703	200	908	28,735
1350-O Alüminyum	2705	234	899	27,899
1350-H19 Alüminyum	2705	230	900	28,2
Invar Çelik	8140	13,4	515	815
Galvaniz Çelik	7780	56	500	192
Yüksek Dayanıklı Çelik	7850	44,5	475	248,02

Tablo 7.3 İletkenlerde kullanılan malzemeler için kullanılan karakteristik değerler (devamı)

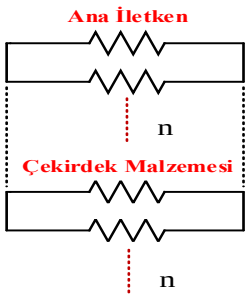
Kompozit Öz	1935	18	813	1,4 Ω
Termal Gres	2600	3	1200	-
Alüminyum Matris Öz	3290	100	863	63,9
6201-T81 Alüminyum Alaşım	2690	205	895	29,984
Alüminyum Kaplı Çelik	6590	56	500	84,8

7.1.2 Simülasyon Yapısı

Simulasyon çalışması, "Heat Transfer" modülünde, kararlı (stationary) durumda iki boyutlu olarak gerçekleştirilmiştir.

Lazetic ve arkadaşarı tarafından yapılan çalışmada, 50 Hz frekansta, iletkenden taşınan akım büyük oranda homojen olarak iletkenin alüminyum kısmından akarken, çok küçük de olsa iletkenin özünden de akım geçmektedir. Örneğin, 240/40 mm^2 kesitli ACSR iletkeni kullanılarak yapılan çalışma sonucunda, iletkenin öz kısmından geçen akımın alüminyum kısımdan geçen akımın %2,5 ile %0,2'si arasında değer aldığı tespit edilmiştir [33].

Bu çalışmadan hareketle tüm iletken tiplerinin Şekil 7.1'de gösterildiği gibi tüm katmanlardaki ana iletken ve öz malzemesinin paralel şekilde bir araya gelmesiyle oluştuğu kabul edilmiştir. Bu nedenle, eşit yüklenme meydana getirmek için, tüm iletkenlere ACSR'nin maksimum taşıma kapasitesi olan 990 A akım uygulanmıştır. Uygulunan akım, iletken malzemelerin direnç değerlerine göre öz ve ana iletken arasında paylaştırılmıştır.



Şekil 7.1 İletken eşdeğer yapısı

Her tel için akım değeri elde edildikten sonra Eşitlik (7.3) kullanılarak üretilen ısı hesaplanmış ve simülasyonda uygulanmıştır [7].

$$S=\frac{I^2*R}{L*A} \tag{7.3}$$

Burada, I (A) tele uygulanan akımı, R (Ω) tel direncini, L (m) tel uzunluğunu, A (m^2) tel alanını ifade etmektedir.

Daha sonra aynı simülasyon çalışması, iletkenlerin maksimum çalışma koşullarındaki davranışlarını analiz etmek için, her iletkene kendi maksimum akım taşıma kapasiteleri uygulanarak ısıl analizleri gerçekleştirilmiştir.

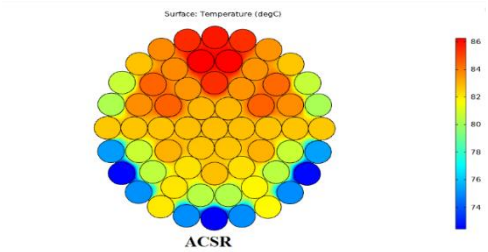
7.1.3 Isıl Analiz Sonuçları

Comsol Multiphysics yazılımında ısıl analiz çalışmaları yapılırken iki senaryo belirlenmiştir. Birinci senaryo olarak, eşit yüklenme meydana getirmek için tüm iletkenlere ACSR iletkeninin maksimum akım taşıma kapasitesi olan 990 A akım uygularanak 5-15-25-35 °C hava sıcaklıklarında ve 0,1-0,5-1-3-5-7-9-11-13-15 m/s rüzgar hızlarında 2-D ısıl analizleri yapılmış ve sonuçlar IEEE 738 standartına göre yapılan sayısal hesaplamalar ile karşılaştırılmıştır. İkinci senaryo ise, iletkenlerin maksimum çalışma koşullarındaki ısıl davranışlarını analiz etmek için, her iletkene kendi maksimum akım taşıma kapasiteleri uygulanarak, 5-15-25-35 °C hava sıcaklıklarında ve 0,1-0,5-1-3-5-7-9-11-13-15 m/s rüzgar hızlarında 2-D ısıl analizleri yapılmıştır ve sonuçlar IEEE 738 standartına göre yapılan sayısal hesaplamalar ile karşılaştırılmıştır.

7.1.3.1 Senaryo 1

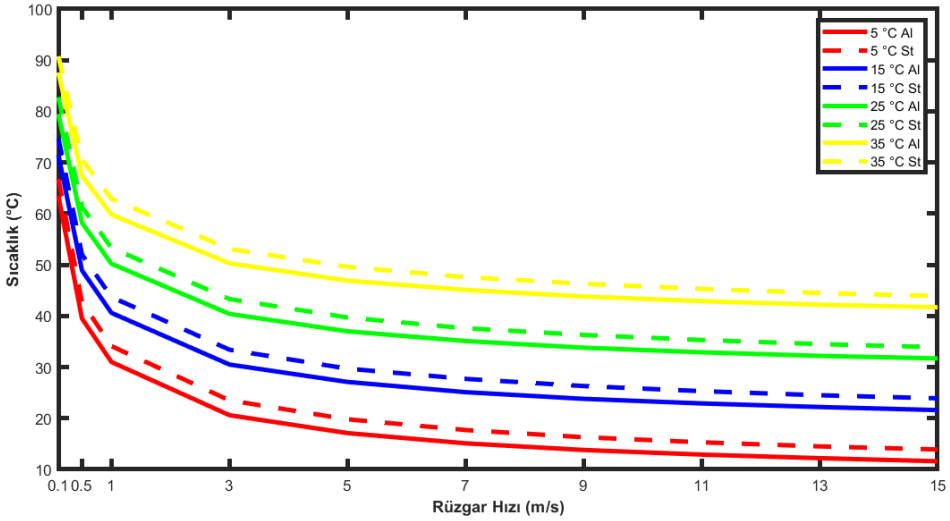
Eşit yüklenme meydana getirmek için tüm iletkenlere ACSR iletkeninin maksimum akım taşıma kapasitesi olan 990 A akım uygulanarak 5-15-25-35 °C hava sıcaklıklarında ve 0,1-0,5-1-3-5-7-9-11-13-15 m/s rüzgar hızlarında, ısı transfer modülünde, 2-D ısıl analizleri yapılmış ve sonuçlar IEEE 738 standartına göre yapılan sayısal hesaplamalar ile karşılaştırılmıştır.

Örnek olarak 25 °C hava sıcaklığında ve 0,1 m/s rüzgar hızında ACSR iletkenin Comsol ısıl analizi görüntüsü Şekil 7.2'de verilmiştir.



Şekil 7.2 ACSR iletkeni comsol analizi görüntüsü

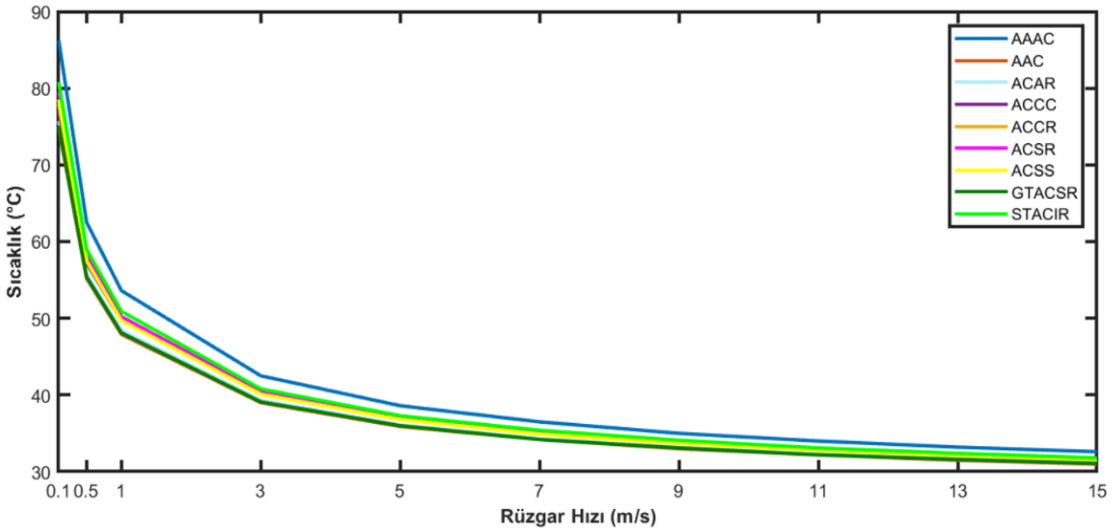
Şekil 7.3'de görüldüğü gibi rüzgar hızı ve hava sıcaklığının, iletken sıcaklıkları üzerindeki etkisi oldukça yüksektir.



Şekil 7.3 ACSR iletkenine ait alüminyum ve çelik tellerin farklı sıcaklık ve rüzgar hızlarında ortalama sıcaklık değişimi

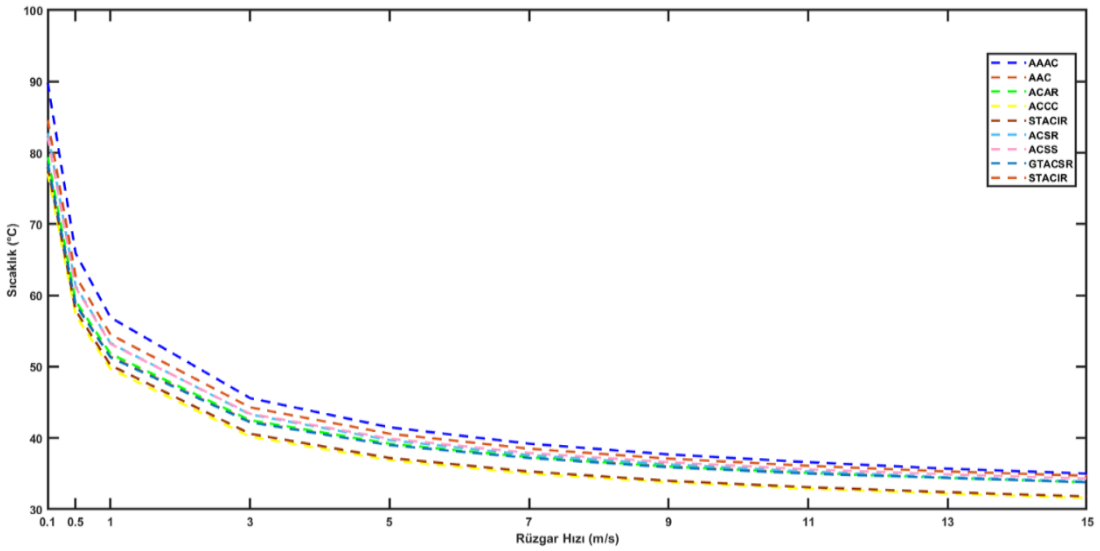
Bu grafikte de görüldüğü üzere hava sıcaklığı arttıkça iletkenin alüminyum ve çelik öz ortalama sıcaklıkları da artmaktadır. Hava sıcaklığında 10 °C artış olması düşük rüzgar hızlarında iletkenin ortalama sıcaklığını yaklaşık 8 °C artırırken, yüksek rüzgar hızlarında hava sıcaklığı etkisi daha da belirginleşmekte olup iletkenin ortalama sıcaklığını yaklaşık 10 °C artırmaktadır. Aynı zamanda, rüzgar hızı arttıkça iletkenin ortalama sıcaklığında belirgin bir düşüş meydana gelmektedir. Düşük rüzgar hızlarında, küçük rüzgar hızı değişimleri iletkenin ortalama sıcaklığını önemli ölçüde düşürken, rüzgar hızı arttıkça iletkenin ortalama sıcaklığının rüzgar değişiminden etkilenmesi azalmaktadır. Örneğin, rüzgar hızı 0,1 m/s'den 0,5 m/s'ye çıktığında iletkenin ortalama sıcaklığı yaklaşık 20 °C düşerken, rüzgar hızı 13 m/s'den 15 m/s'ye çıktığında iletkenin ortalama sıcaklığı yaklaşık 0,5 °C düşmektedir.

ACSR, ACCC, STACIR, GTACSR, AAAC, AAC, ACCR, ACAR ve ACSS iletkenlerinin 25 °C ortam sıcaklığında 0,1-0,5-1-3-5-7-9-11-13-15 m/s rüzgar hızlarında iletken bölüm ve öz bölümlerinin ortalama sıcaklık değişimleri Şekil 7.4 ve Şekil 7.5'de verilmiştir.



Şekil 7.4 9 tip iletkene ait alüminyum tellerin rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi (25°C&1000 W/m^2)

Alüminyum tellere ait ortalama sıcaklık en yüksek AAAC iletkeninde görülürken, en düşük ortalama sıcaklık AAC iletkeninde görülmüştür. 0,1 m/s rüzgar hızında AAAC iletkeninin ortalama sıcaklığı ACSR iletkeninden yaklaşık 6,7 °C, STACIR iletkeninden yaklaşık 5,4 °C, ACCC iletkeninden yaklaşık 9,2 °C, GTACSR iletkeninden yaklaşık 11,1 °C, ACSS iletkeninden yaklaşık 7,7 °C, ACAR iletkeninden yaklaşık 10,5 °C, AAC iletkeninden yaklaşık 11,4 °C ve ACCR iletkeninden yaklaşık 8,3 °C yüksek olduğu görülmüştür.



Şekil 7.5 9 tip iletkene ait özlerin rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi (25°C&1000 W/m^2)

İletkenlerin öz bölümünün sıcaklık değerleri, beklenildiği gibi alüminyum tellerden daha yüksek sıcaklığa sahiptir. Eşit yüklenme durumunda, iletkenin öz bölümünün, alüminyum bölümden 3,5-4 °C daha sıcak olduğu görülmüştür. Eşit yüklenme durumunda, 25 °C hava sıcaklığında, 0,1 m/s rüzgar hızında ortalama öz sıcaklığı en yüksek iletken 89,8 °C ile AAAC tipinde görülürken en düşük ortalama öz sıcaklığı 77,1 °C ile ACCC tipi iletkende görülmüştür. AAAC tipi iletkenin ortalama öz sıcaklığı ACSR iletkeninden yaklaşık 7 °C STACIR iletkeninden yaklaşık 5,2 °C, ACCC iletkeninden yaklaşık 12,7 °C, GTACSR iletkeninden yaklaşık 11,3 °C, ACSS iletkeninden yaklaşık 7,6 °C, ACAR iletkeninden yaklaşık 10,4 °C, AAC iletkeninden yaklaşık 11,2 °C ve ACCR iletkeninden yaklaşık 11,8 °C daha yüksektir.

Yapılan simülasyon çalışmasının karşılaştırması IEEE 738 standartına göre tüm iletkenler için yapılan hesaplamalar ile gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalar sırasında kullanılan parametremeler Tablo 7.4'de verilmiştir. Simülasyon çalışması için de bu değerler baz alınmıştır.

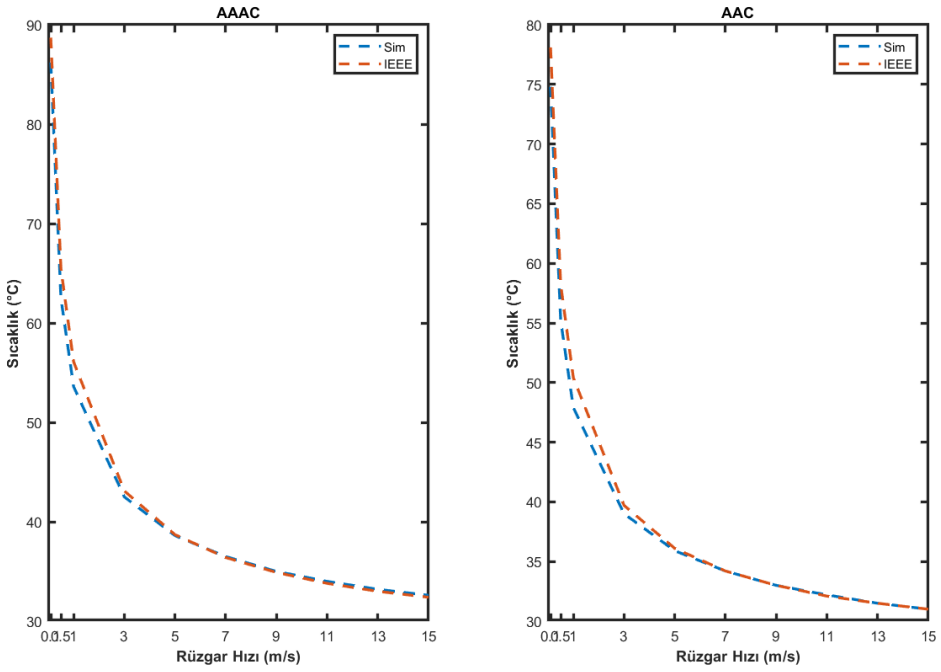
Tablo 7.4 Analitik hesaplarda kullanılan parametreler

Parametre	**Kullanılan Bilgi**
Ortam Sıcaklığı	25 °C
Absorbtivity	0,8

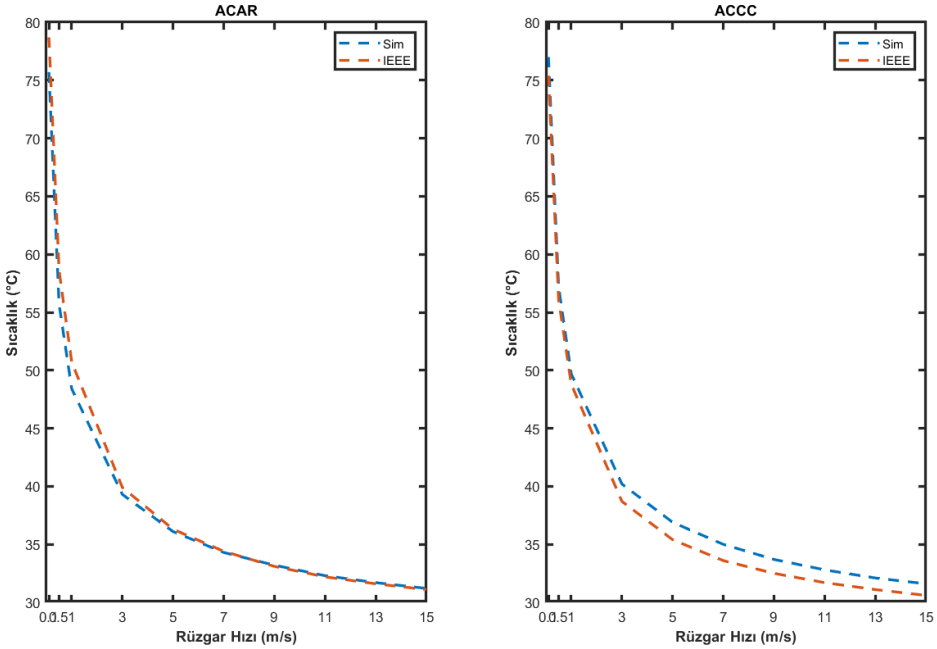
Tablo 7.4 Analitik hesaplarda kullanılan parametreler (devamı)

Emissivity	0,8
Güneş Geliş Açısı	90 °
Rüzgar Açısı	90 °
Güneş Radyasyonu	1000 W/m^2
Akım	990 A
Havanın Vizkozitesi (μ_f)	2,043 x 10^{-5}
Hava Kütlesi (ρ_f)	1,029
Havanın Termal İletkenliği (k_f)	0,02945

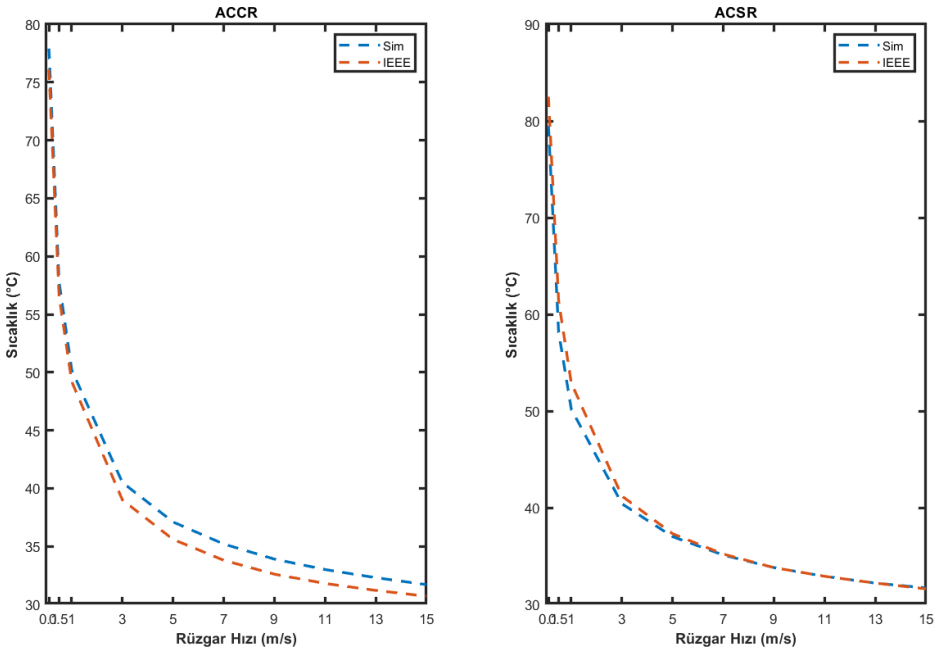
Tüm iletkenler için 25 °C hava sıcaklığında, ortalama iletken sıcaklıklarının rüzgar hızına göre değişimi, simülasyon sonuçları ve IEEE 738 standartına göre analitik hesaplama .sonuçları karşılaştırması Şekil 7.6, Şekil 7.7, Şekil 7.8, Şekil 7.9 ve Şekil 7.10'da verilmiştir.



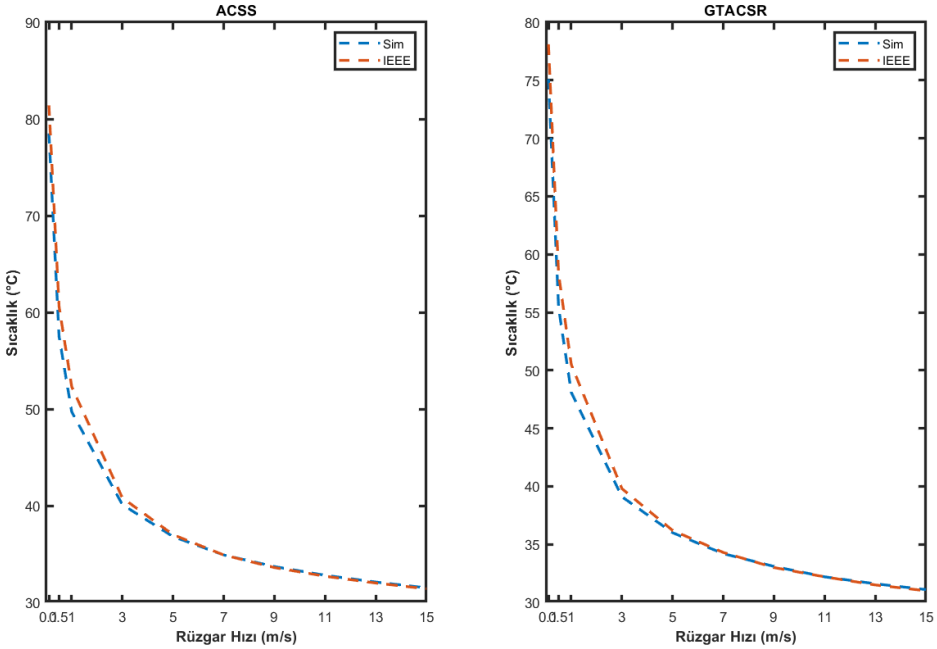
Şekil 7.6 AAAC ve AAC iletkenleri simülasyon ve IEEE hesaplamalarının karşılaştırılması



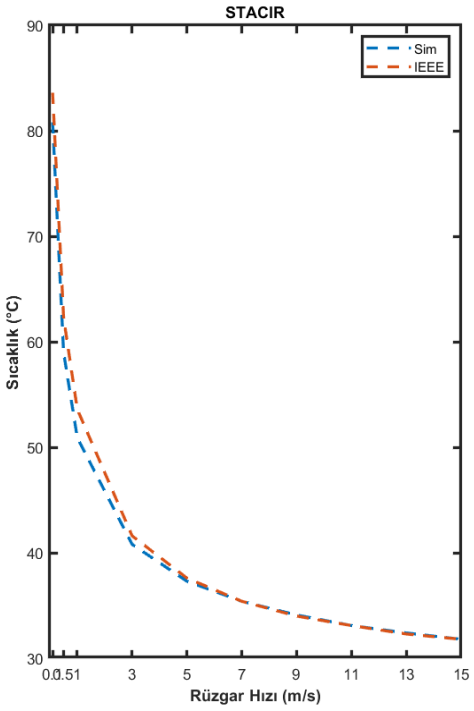
Şekil 7.7 ACAR ve ACCC iletkenleri simülasyon ve IEEE hesaplamalarının karşılaştırılması



Şekil 7.8 ACCR ve ACSR iletkenleri simülasyon ve IEEE hesaplamalarının karşılaştırılması



Şekil 7.9 ACSS ve GTACSR iletkenleri simülasyon ve IEEE hesaplamalarının karşılaştırılması



Şekil 7.10 STACIR iletkeni simülasyon ve IEEE hesaplamalarının karşılaştırılması

Şekil 7.6, Şekil 7.7, Şekil 7.8, Şekil 7.9 ve Şekil 7.10'da görüldüğü üzere AAAC, AAC, ACAR, ACSR, ACSS, GTACSR ve STACIR tipi iletkenler için düşük rüzgar hızlarında

simülasyon sonuçları, analitik sonuçlardan yaklaşık 3 °C daha düşük sonuçlar vermiştir. Rüzgar hızı arttıkça aradaki fark düşmekte ve 9 m/s'den sonra sonuçlar yaklaşık eşit olmaktadır. ACCC ve ACCR iletkenleri için ise simülasyon çalışmalarında, yaklaşık 2 °C daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Rüzgar hızı arttıkça bu fark 1 °C civarına düşmektedir. Sonuçlar arasında küçük farklar olsa da analitik sonuçlar ve simülasyon sonuçlarının tutarlı olduğu görülmüştür.

ACSR iletkeninin 5 °C, 15 °C, 25 °C ve 35 °C hava sıcaklıklarında farklı rüzgar hızları için simülasyon ve analitik hesaplar ile elde edilen ortalama sıcaklık değerleri Tablo 7.5'de verilmiştir.

Tablo 7.5 ACSR iletkeninin hava sıcaklığı ve rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi

Hava Sıcaklığı	**5 °C**				**15 °C**			
	Sim.(°C)		**Std(°C)**		**Sim. (°C)**		**Std.(°C)**	
Rüzgar Hızı(m/s)	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**
0,1	63,5	66,8	66,3	69,5	71,5	74,8	74,4	77,6
0,5	39,5	42,7	43,1	46,3	48,9	52,0	52,3	55,5
1	31,0	34,1	33,9	37,1	40,6	43,7	43,4	46,6
3	20,6	23,5	21,5	24,7	30,5	33,4	31,3	34,6
5	17,1	19,8	17,4	20,7	27,1	29,7	27,4	30,6
7	15,1	17,7	15,3	18,5	25,1	27,7	25,2	28,5
9	13,8	16,3	13,9	17,1	23,8	26,3	23,9	27,1
11	12,9	15,3	12,9	16,2	22,9	25,3	22,9	26,1
13	12,2	14,5	12,2	15,4	22,2	24,5	22,2	25,4
15	11,6	13,9	11,6	14,9	21,6	23,9	21,6	24,8
Hava Sıcaklığı	**25 °C**				**35 °C**			
	Sim.(°C)		**Std(°C)**		**Sim. (°C)**		**Std.(°C)**	
Rüzgar Hızı(m/s)	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**
0,1	79,5	82,8	82,5	85,8	87,6	90,8	90,7	93,9
0,5	58,2	61,3	61,4	64,7	67,4	70,6	70,6	73,8
1	50,2	53,3	52,9	56,2	59,8	62,9	62,4	65,7
3	40,4	43,3	41,2	44,4	50,3	53,1	51,0	54,2
5	37,0	39,7	37,3	40,5	46,9	49,6	47,2	50,4
7	35,1	37,6	35,2	38,4	45,1	47,6	45,1	48,3
9	33,8	36,3	33,8	37,0	43,8	46,3	43,8	47,0
11	32,9	35,3	32,9	36,1	42,9	45,3	42,8	46,1
13	32,2	34,5	32,2	35,4	42,2	44,5	42,1	45,3
15	31,7	33,9	31,6	34,8	41,7	43,9	41,6	44,8

Ortalama sıcaklık değerlerine bakıldığında hava sıcaklığı arttıkça iletkenin ortalama sıcaklığının arttığı açık şekilde görülmektedir. 0,1 m/s rüzgar hızı için hava sıcaklığı 5 °C'den 35 °C'ye çıkarıldığında iletkenin ortalama sıcaklığı 24,1 °C arttığı görülmektedir.

Rüzgar hızı arttıkça ise iletkenin ortalama sıcaklığı belirgin şekilde düşmektedir. 5 °C ortam sıcaklığında rüzgar hızı 0,1 m/s'den 0,5 m/s'ye çıkarıldığında iletkenin ortalama sıcaklığı 24,5 °C düşmektedir.

STACIR iletkeninin 5 °C, 15 °C, 25 °C ve 35 °C hava sıcaklıklarında farklı rüzgar hızları için simülasyon ve analitik hesaplar ile elde edilen ortalama sıcaklık değerleri Tablo 7.6'da verilmiştir.

Tablo 7.6 STACIR iletkeninin hava sıcaklığı ve rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi

Hava Sıcaklığı	**5 °C**				**15 °C**			
	Sim.(°C)		**Std(°C)**		**Sim. (°C)**		**Std.(°C)**	
Rüzgar Hızı(m/s)	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**
0,1	64,8	68,7	67,5	70,8	72,8	76,7	75,5	78,9
0,5	40,4	44,2	44,0	47,3	49,7	53,5	53,1	56,5
1	31,6	35,3	34,6	37,9	41,3	44,9	44,1	47,4
3	21,0	24,5	21,9	25,2	30,9	34,4	31,7	35,1
5	17,4	20,7	17,7	21,1	27,4	30,7	27,6	31,0
7	15,4	18,6	15,5	18,9	25,4	28,6	25,5	28,8
9	14,1	17,2	14,1	17,5	24,1	27,2	24,1	27,4
11	13,1	16,1	13,1	16,5	23,1	26,1	23,1	26,4
13	12,4	15,3	12,4	15,7	22,4	25,3	22,4	25,7
15	11,8	14,7	11,8	15,1	21,8	24,7	21,8	25,1
Hava Sıcaklığı	**25 °C**				**35 °C**			
	Sim.(°C)		**Std(°C)**		**Sim. (°C)**		**Std.(°C)**	
Rüzgar Hızı(m/s)	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**
0,1	80,8	84,6	83,6	87,0	88,7	92,6	91,7	95,1
0,5	59,0	62,7	62,3	65,6	68,2	72,0	71,4	74,7
1	50,9	54,5	53,6	56,9	60,5	64,1	63,1	66,4
3	40,8	44,3	41,6	44,9	50,7	54,1	51,4	54,7
5	37,3	40,6	37,6	40,9	47,3	50,5	47,5	50,8
7	35,4	38,5	35,4	38,8	45,3	48,5	45,3	48,7
9	34,1	37,1	34,0	37,4	44,0	47,1	44,0	47,3
11	33,1	36,1	33,1	36,4	43,1	46,1	43,0	46,4
13	32,4	35,3	32,3	35,7	42,4	45,3	42,3	45,6
15	31,8	34,7	31,8	35,1	41,8	44,7	41,7	45,1

Ortalama sıcaklık değerlerine bakıldığında hava sıcaklığı arttıkça iletkenin ortalama sıcaklığının arttığı açık şekilde görülmektedir. 0,1 m/s rüzgar hızı için hava sıcaklığı 5 °C'den 35 °C'ye çıkarıldığında iletkenin ortalama sıcaklığı 23,9 °C arttığı görülmektedir. Rüzgar hızı arttıkça ise iletkenin ortalama sıcaklığı belirgin şekilde düşmektedir. 5 °C ortam sıcaklığında rüzgar hızı 0,1 m/s'den 0,5 m/s'ye çıkarıldığında iletkenin ortalama sıcaklığı 24,4 °C düşmektedir.

ACCC iletkeninin 5 °C, 15 °C, 25 °C ve 35 °C hava sıcaklıklarında farklı rüzgar hızları için simülasyon ve analitik hesaplar ile elde edilen ortalama sıcaklık değerleri Tablo 7.7'de verilmiştir.

Tablo 7.7 ACCC iletkeninin hava sıcaklığı ve rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi

Hava Sıcaklığı	**5 °C**				**15 °C**			
	Sim.(°C)		**Std(°C)**		**Sim. (°C)**		**Std.(°C)**	
Rüzgar Hızı(m/s)	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**
0,1	61,0	61,0	58,8	61,5	69,0	69,0	67,1	69,8
0,5	38,6	38,7	37,5	40,2	47,9	47,9	46,8	49,5
1	30,5	30,5	29,6	32,3	40,1	40,1	39,2	41,9
3	20,4	20,4	19,0	21,7	30,3	30,3	28,9	31,6
5	16,9	17,0	15,5	18,3	26,9	26,9	25,5	28,2
7	15,0	15,0	13,7	16,4	25,0	25,0	23,7	26,4
9	13,7	13,8	12,6	15,3	23,7	23,8	22,5	25,4
11	12,8	12,8	11,7	14,5	22,8	22,9	21,7	24,4
13	12,1	12,1	11,1	13,8	22,1	22,2	21,1	23,8
15	11,6	11,6	10,6	13,4	21,6	21,6	20,6	23,3
Hava Sıcaklığı	**25 °C**				**35 °C**			
	Sim.(°C)		**Std(°C)**		**Sim. (°C)**		**Std.(°C)**	
Rüzgar Hızı(m/s)	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**
0,1	77,0	77,1	75,4	78,1	85,1	85,1	83,7	86,5
0,5	57,2	57,2	56,1	58,8	66,5	66,5	65,4	68,1
1	49,7	49,7	48,8	51,5	59,3	59,3	58,3	61,1
3	40,2	40,2	38,7	41,4	50,1	50,1	48,6	51,3
5	36,9	36,9	35,4	38,1	46,8	46,8	45,3	48,0
7	35,0	35,0	33,6	36,3	45,0	45,0	43,6	49,3
9	33,7	33,8	32,5	35,2	43,7	43,7	42,4	45,2
11	32,8	32,9	31,7	34,4	42,8	42,9	41,0	43,8
13	32,1	32,2	31,1	33,8	42,2	42,2	41,0	43,8
15	31,6	31,6	30,6	33,3	41,6	41,6	40,6	43,3

Ortalama sıcaklık değerlerine bakıldığında hava sıcaklığı arttıkça iletkenin ortalama sıcaklığının arttığı açık şekilde görülmektedir. 0,1 m/s rüzgar hızı için hava sıcaklığı 5 °C'den 35 °C'ye çıkarıldığında iletkenin ortalama sıcaklığı 24,1 °C arttığı görülmektedir. Rüzgar hızı arttıkça ise iletkenin ortalama sıcaklığı belirgin şekilde düşmektedir. 5 °C ortam sıcaklığında rüzgar hızı 0,1 m/s'den 0,5 m/s'ye çıkarıldığında iletkenin ortalama sıcaklığı 22,4 °C düşmektedir.

GTACSR iletkeninin 5 °C, 15 °C, 25 °C ve 35 °C hava sıcaklıklarında farklı rüzgar hızları için simülasyon ve analitik hesaplar ile elde edilen ortalama sıcaklık değerleri Tablo 7.8'de verilmiştir.

Tablo 7.8 GTACSR iletkeninin hava sıcaklığı ve rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi

Hava Sıcaklığı	5 °C				15 °C			
	Sim.(°C)		Std(°C)		Sim. (°C)		Std.(°C)	
Rüzgar Hızı(m/s)	Al	Öz	Al	Öz	Al	Öz	Al	Öz
0,1	58,8	62,2	61,6	64,7	66,9	70,3	69,9	72,9
0,5	36,6	40,0	39,9	42,9	46,0	49,3	49,1	52,2
1	28,8	32,0	31,4	34,5	38,5	41,7	41,0	44,0
3	19,3	22,4	20,0	23,1	29,2	32,3	29,9	32,9
5	16,1	19,1	16,3	19,4	26,0	29,0	26,3	29,3
7	14,3	17,2	14,4	17,4	24,2	27,2	24,3	27,4
9	13,1	15,9	13,1	16,2	23,1	25,9	23,1	26,1
11	12,2	15,0	12,2	15,3	22,2	25,0	22,2	25,3
13	11,6	14,3	11,6	14,6	21,6	24,4	21,6	24,6
15	11,1	13,8	11,1	14,1	21,1	23,8	21,0	24,1
Hava Sıcaklığı	**25 °C**				**35 °C**			
	Sim.(°C)		Std(°C)		Sim. (°C)		Std.(°C)	
Rüzgar Hızı(m/s)	Al	Öz	Al	Öz	Al	Öz	Al	Öz
0,1	75,1	78,5	78,1	81,2	83,2	86,6	86,3	89,4
0,5	55,4	58,7	58,3	61,4	64,7	68,0	67,5	70,6
1	48,1	51,3	50,5	53,6	57,7	61,0	60,1	63,1
3	39,1	42,2	39,8	42,8	49,0	52,1	49,6	52,6
5	36,0	39,0	36,2	39,2	45,9	48,9	46,1	49,1
7	34,2	37,2	34,3	37,3	44,2	47,1	44,2	47,3
9	33,1	35,9	33,0	36,1	43,1	45,9	43,0	46,1
11	32,2	35,0	32,2	35,2	42,2	45,0	42,1	45,2
13	31,6	34,4	31,5	34,6	41,6	44,4	41,5	44,5
15	31,1	33,8	31,0	34,1	41,1	43,8	41,0	44,0

Ortalama sıcaklık değerlerine bakıldığında hava sıcaklığı arttıkça iletkenin ortalama sıcaklığının arttığı açık şekilde görülmektedir. 0,1 m/s rüzgar hızı için hava sıcaklığı 5 °C'den 35 °C'ye çıkarıldığında iletkenin ortalama sıcaklığı 24,4 °C arttığı görülmektedir. Rüzgar hızı arttıkça ise iletkenin ortalama sıcaklığı belirgin şekilde düşmektedir. 5 °C ortam sıcaklığında rüzgar hızı 0,1 m/s'den 0,5 m/s'ye çıkarıldığında iletkenin ortalama sıcaklığı 22,2 °C düşmektedir.

ACSS iletkeninin 5 °C, 15 °C, 25 °C ve 35 °C hava sıcaklıklarında farklı rüzgar hızları için simülasyon ve analitik hesaplar ile elde edilen ortalama sıcaklık değerleri Tablo 7.9'da verilmiştir.

Tablo 7.9 ACSS iletkeninin hava sıcaklığı ve rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi

Hava Sıcaklığı	5 °C	15 °C

Tablo 7.9 ACSS iletkeninin hava sıcaklığı ve rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi (devamı)

	Sim.(°C)		Std(°C)		Sim. (°C)		Std.(°C)	
Rüzgar Hızı(m/s)	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**
0,1	62,4	66,2	65,2	68,3	70,5	74,2	73,3	76,4
0,5	38,9	42,5	42,2	45,4	48,2	51,8	51,4	54,6
1	30,5	34,0	33,2	36,4	40,1	43,6	42,8	45,9
3	20,3	23,6	21,1	24,2	30,2	33,5	31,0	34,1
5	16,9	20,0	17,1	20,3	26,8	29,9	27,1	30,2
7	14,9	17,9	15,0	18,2	24,9	27,9	25,0	28,1
9	13,7	16,6	13,7	16,8	23,7	26,6	23,7	26,8
11	12,8	15,6	12,8	15,9	22,8	25,6	22,7	25,9
13	12,1	14,8	12,0	15,2	22,1	24,9	22,0	25,1
15	11,5	14,2	11,5	14,6	21,5	24,3	21,5	24,6
Hava Sıcaklığı			**25 °C**				**35 °C**	
	Sim.(°C)		**Std(°C)**		**Sim. (°C)**		**Std.(°C)**	
Rüzgar Hızı(m/s)	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**
0,1	78,5	82,2	81,4	84,6	86,6	90,3	89,6	92,7
0,5	57,5	61,1	60,6	63,7	66,8	70,4	69,8	72,9
1	49,7	53,2	52,3	55,4	59,3	62,8	61,8	64,9
3	40,1	43,4	40,8	43,9	50,0	53,3	50,6	53,8
5	36,8	39,9	37,0	40,1	46,7	49,8	46,9	50,0
7	34,9	37,9	34,9	38,1	44,9	47,9	44,9	48,0
9	33,7	36,6	33,6	36,7	43,6	46,6	43,6	46,7
11	32,8	35,6	32,7	35,8	42,8	45,6	42,7	45,8
13	32,1	34,9	32,0	35,1	42,1	44,9	42,0	45,1
15	31,5	34,3	31,4	34,6	41,5	44,3	41,4	44,5

Ortalama sıcaklık değerlerine bakıldığında hava sıcaklığı arttıkça iletkenin ortalama sıcaklığının arttığı açık şekilde görülmektedir. 0,1 m/s rüzgar hızı için hava sıcaklığı 5 °C'den 35 °C'ye çıkarıldığında iletkenin ortalama sıcaklığı 24,2 °C arttığı görülmektedir. Rüzgar hızı arttıkça ise iletkenin ortalama sıcaklığı belirgin şekilde düşmektedir. 5 °C ortam sıcaklığında rüzgar hızı 0,1 m/s'den 0,5 m/s'ye çıkarıldığında iletkenin ortalama sıcaklığı 23,5 °C düşmektedir.

ACAR iletkeninin 5 °C, 15 °C, 25 °C ve 35 °C hava sıcaklıklarında farklı rüzgar hızları için simülasyon ve analitik hesaplar ile elde edilen ortalama sıcaklık değerleri Tablo 7.10'da verilmiştir.

Tablo 7.10 ACAR iletkeninin hava sıcaklığı ve rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi

Hava Sıcaklığı			**5 °C**				**15 °C**	
	Sim.(°C)		**Std(°C)**		**Sim. (°C)**		**Std.(°C)**	
Rüzgar Hızı(m/s)	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**

Tablo 7.10 ACAR iletkeninin hava sıcaklığı ve rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi (devamı)

0,1	59,5	63,1	62,3	65,2	67,6	71,3	70,5	73,4
0,5	37,0	40,6	40,2	43,0	46,4	49,9	49,4	52,3
1	29,1	32,5	31,6	34,5	38,7	42,2	41,2	44,1
3	19,5	22,7	20,2	23,1	29,4	32,6	30,0	32,9
5	16,2	19,3	16,4	19,3	26,1	29,2	26,4	29,2
7	14,4	17,3	14,5	17,3	24,4	27,3	24,4	27,3
9	13,2	16,0	13,2	16,1	23,2	26,0	23,2	26,0
11	12,3	15,1	12,3	15,2	22,3	25,1	22,3	25,2
13	11,7	14,4	11,6	14,5	21,7	24,4	21,6	24,5
15	11,1	13,8	11,1	14,0	21,1	23,8	21,1	24,0
Hava Sıcaklığı			**25 °C**				**35 °C**	
	Sim.(°C)		**Std(°C)**		**Sim. (°C)**		**Std.(°C)**	
Rüzgar Hızı(m/s)	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**
0,1	75,7	79,4	78,7	81,6	83,9	87,5	87,0	89,8
0,5	55,7	59,2	58,6	61,5	65,0	68,6	67,8	70,7
1	48,4	51,8	50,7	53,6	58,0	61,4	60,3	63,2
3	39,3	42,5	39,9	42,8	49,2	52,4	49,7	52,6
5	36,1	39,2	36,3	39,2	46,0	49,1	46,2	49,1
7	34,3	37,3	34,4	37,2	44,3	47,2	44,3	47,2
9	33,2	36,0	33,1	36,0	43,2	46,0	43,1	46,0
11	32,3	35,1	32,2	35,1	42,3	45,1	42,2	45,1
13	31,7	34,4	31,6	34,5	41,7	44,4	41,6	44,4
15	31,2	33,8	31,1	33,9	41,2	43,8	41,0	43,9

Ortalama sıcaklık değerlerine bakıldığında hava sıcaklığı arttıkça iletkenin ortalama sıcaklığının arttığı açık şekilde görülmektedir. 0,1 m/s rüzgar hızı için hava sıcaklığı 5 °C'den 35 °C'ye çıkarıldığında iletkenin ortalama sıcaklığı 24,4 °C arttığı görülmektedir. Rüzgar hızı arttıkça ise iletkenin ortalama sıcaklığı belirgin şekilde düşmektedir. 5 °C ortam sıcaklığında rüzgar hızı 0,1 m/s'den 0,5 m/s'ye çıkarıldığında iletkenin ortalama sıcaklığı 22,5 °C düşmektedir.

AAC iletkeninin 5 °C, 15 °C, 25 °C ve 35 °C hava sıcaklıklarında farklı rüzgar hızları için simülasyon ve analitik hesaplar ile elde edilen ortalama sıcaklık değerleri Tablo 7.11'de verilmiştir.

Tablo 7.11 AAC iletkeninin hava sıcaklığı ve rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi

Hava Sıcaklığı			**5 °C**				**15 °C**	
	Sim.(°C)		**Std(°C)**		**Sim. (°C)**		**Std.(°C)**	
Rüzgar Hızı(m/s)	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**
0,1	58,5	62,3	61,6	64,4	66,7	70,4	69,8	72,7
0,5	36,4	40,1	39,7	42,5	45,8	49,4	48,9	51,8
1	28,6	32,2	31,3	34,1	38,3	41,8	40,8	43,7

Tablo 7.11 AAC iletkeninin hava sıcaklığı ve rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi (devamı)

3	19,2	22,5	20,0	22,8	29,1	32,4	29,8	32,7
5	16,0	19,1	16,3	19,1	25,9	29,1	26,2	29,0
7	14,2	17,2	14,3	17,2	24,2	27,2	24,3	27,1
9	13,0	16,0	13,1	15,9	23,0	26,0	23,0	25,9
11	12,2	15,1	12,2	15,0	22,2	25,1	22,2	25,0
13	11,5	14,3	11,5	14,4	21,5	24,4	21,5	24,4
15	11,0	13,8	11,0	13,9	21,0	23,8	21,0	23,8
Hava Sıcaklığı			**25 °C**				**35 °C**	
Rüzgar Hızı(m/s)	**Sim.(°C)**		**Std(°C)**		**Sim. (°C)**		**Std.(°C)**	
	Al	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**
0,1	74,8	78,6	78,1	80,9	83,0	86,7	86,3	89,1
0,5	55,2	58,8	58,2	61,0	64,5	68,1	67,4	70,2
1	47,9	51,4	50,4	53,2	57,6	61,1	59,9	62,8
3	39,0	42,3	39,7	42,5	48,9	52,2	49,5	52,4
5	35,9	39,0	36,1	39,0	45,8	49,0	46,0	48,9
7	34,2	37,2	34,2	37,1	44,1	47,2	44,2	47,0
9	33,0	36,0	33,0	35,8	43,0	46,0	43,0	45,8
11	32,2	35,1	32,1	35,0	42,2	45,1	42,1	44,9
13	31,5	34,4	31,5	37,3	41,5	44,4	41,5	44,3
15	31,0	33,8	31,0	33,8	41,0	43,8	41,0	43,8

Ortalama sıcaklık değerlerine bakıldığında hava sıcaklığı arttıkça iletkenin ortalama sıcaklığının arttığı açık şekilde görülmektedir. 0,1 m/s rüzgar hızı için hava sıcaklığı 5 °C'den 35 °C'ye çıkarıldığında iletkenin ortalama sıcaklığı 24,5 °C arttığı görülmektedir. Rüzgar hızı arttıkça ise iletkenin ortalama sıcaklığı belirgin şekilde düşmektedir. 5 °C ortam sıcaklığında rüzgar hızı 0,1 m/s'den 0,5 m/s'ye çıkarıldığında iletkenin ortalama sıcaklığı 22,1 °C düşmektedir.

AAAC iletkeninin 5 °C, 15 °C, 25 °C ve 35 °C hava sıcaklıklarında farklı rüzgar hızları için simülasyon ve analitik hesaplar ile elde edilen ortalama sıcaklık değerleri Tablo 7.12'de verilmiştir.

Tablo 7.12 AAAC iletkeninin hava sıcaklığı ve rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi

Hava Sıcaklığı			**5 °C**				**15 °C**	
Rüzgar Hızı(m/s)	**Sim.(°C)**		**Std(°C)**		**Sim. (°C)**		**Std.(°C)**	
	Al	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**
0,1	70,6	74,2	72,7	75,8	78,4	82,0	80,7	83,8
0,5	44,0	47,4	47,3	50,4	53,2	56,7	56,4	59,5
1	34,4	37,7	37,1	40,2	44,0	47,3	46,6	49,7
3	22,7	25,8	23,4	26,5	32,6	35,7	33,3	36,3
5	18,7	21,6	18,9	22,0	28,7	31,6	28,8	31,9
7	16,5	19,3	16,5	19,6	26,5	29,3	26,4	29,5
9	15,1	17,7	15,0	18,0	25,1	27,7	24,9	28,0

Tablo 7.12 AAAC iletkeninin hava sıcaklığı ve rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi (devamı)

11	14,0	16,6	13,9	17,0	24,0	26,6	23,8	26,9
13	13,2	15,7	13,1	16,1	23,2	25,7	23,0	26,1
15	12,5	15,0	12,4	15,5	22,6	25,0	22,4	25,5
Hava Sıcaklığı	**25 °C**				**35 °C**			
	Sim.(°C)		**Std(°C)**		**Sim. (°C)**		**Std.(°C)**	
Rüzgar Hızı(m/s)	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**
0,1	86,2	89,8	88,7	91,8	94,1	97,6	96,7	99,8
0,5	62,5	65,9	65,5	68,6	71,7	75,1	74,6	77,7
1	53,6	56,9	56,1	59,1	63,1	66,4	65,5	63,6
3	42,5	45,6	43,1	46,2	52,4	55,4	52,9	56,0
5	38,6	41,5	38,7	41,8	48,6	51,4	48,6	51,7
7	36,5	39,2	36,4	39,4	46,4	49,2	46,3	49,4
9	35,0	37,7	34,9	37,9	45,0	47,7	44,8	47,9
11	34,0	36,6	33,8	36,9	44,0	46,6	43,8	46,8
13	33,2	35,7	33,0	36,1	43,2	45,7	43,0	46,0
15	32,6	35,0	32,4	35,4	42,6	45,0	42,3	45,4

Ortalama sıcaklık değerlerine bakıldığında hava sıcaklığı arttıkça iletkenin ortalama sıcaklığının arttığı açık şekilde görülmektedir. 0,1 m/s rüzgar hızı için hava sıcaklığı 5 °C'den 35 °C'ye çıkarıldığında iletkenin ortalama sıcaklığı 23,5 °C arttığı görülmektedir. Rüzgar hızı arttıkça ise iletkenin ortalama sıcaklığı belirgin şekilde düşmektedir. 5 °C ortam sıcaklığında rüzgar hızı 0,1 m/s'den 0,5 m/s'ye çıkarıldığında iletkenin ortalama sıcaklığı 26,6 °C düşmektedir.

ACCR iletkeninin 5 °C, 15 °C, 25 °C ve 35 °C hava sıcaklıklarında farklı rüzgar hızları için simülasyon ve analitik hesaplar ile elde edilen ortalama sıcaklık değerleri Tablo 7.13'de verilmiştir.

Tablo 7.13 ACCR iletkeninin hava sıcaklığı ve rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi

Hava Sıcaklığı	**5 °C**				**15 °C**			
	Sim.(°C)		**Std(°C)**		**Sim. (°C)**		**Std.(°C)**	
Rüzgar Hızı(m/s)	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**
0,1	62,0	62,1	59,5	62,0	69,9	70,0	67,8	70,2
0,5	39,3	39,4	38,0	40,5	48,6	48,6	47,3	49,7
1	31,0	31,0	30,0	32,4	40,6	40,7	39,6	42,0
3	20,8	20,8	19,2	21,7	30,6	30,7	29,1	31,5
5	17,2	17,3	15,7	18,2	27,2	27,2	25,6	28,1
7	15,2	15,3	13,9	16,3	25,2	25,3	23,8	26,3
9	13,9	14,0	12,7	15,1	23,9	24,0	22,6	25,1
11	13,0	13,1	11,8	14,3	23,0	23,1	21,8	24,3
13	12,3	12,3	11,2	13,7	22,3	22,4	21,2	23,6
15	11,7	11,8	10,7	13,2	21,7	21,8	20,7	23,1

Tablo 7.13 ACCR iletkeninin hava sıcaklığı ve rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi (devamı)

Hava Sıcaklığı	25 °C				35 °C			
	Sim.(°C)		Std(°C)		Sim. (°C)		Std.(°C)	
Rüzgar Hızı(m/s)	Al	Öz	Al	Öz	Al	Öz	Al	Öz
0,1	77,9	78,0	76,1	78,5	86,0	86,0	84,4	86,8
0,5	57,8	57,9	56,6	59,0	67,1	67,2	65,8	68,3
1	50,2	50,2	49,2	51,6	59,8	59,8	58,7	61,2
3	40,5	40,6	39,0	41,4	50,4	50,5	48,8	51,2
5	37,1	37,2	35,6	38,0	47,0	47,1	45,5	47,9
7	35,2	35,3	33,8	36,2	45,2	45,2	43,7	46,1
9	33,9	34,0	32,6	35,0	43,9	44,0	42,6	45,0
11	33,0	33,1	31,8	34,2	43,0	43,1	41,8	44,2
13	32,3	32,4	31,2	33,6	42,3	42,4	41,1	43,6
15	31,7	31,8	30,7	33,1	41,7	41,8	40,7	43,1

Ortalama sıcaklık değerlerine bakıldığında hava sıcaklığı arttıkça iletkenin ortalama sıcaklığının arttığı açık şekilde görülmektedir. 0,1 m/s rüzgar hızı için hava sıcaklığı 5 °C'den 35 °C'ye çıkarıldığında iletkenin ortalama sıcaklığı 24 °C arttığı görülmektedir. Rüzgar hızı arttıkça ise iletkenin ortalama sıcaklığı belirgin şekilde düşmektedir. 5 °C ortam sıcaklığında rüzgar hızı 0,1 m/s'den 0,5 m/s'ye çıkarıldığında iletkenin ortalama sıcaklığı 22,7 °C düşmektedir.

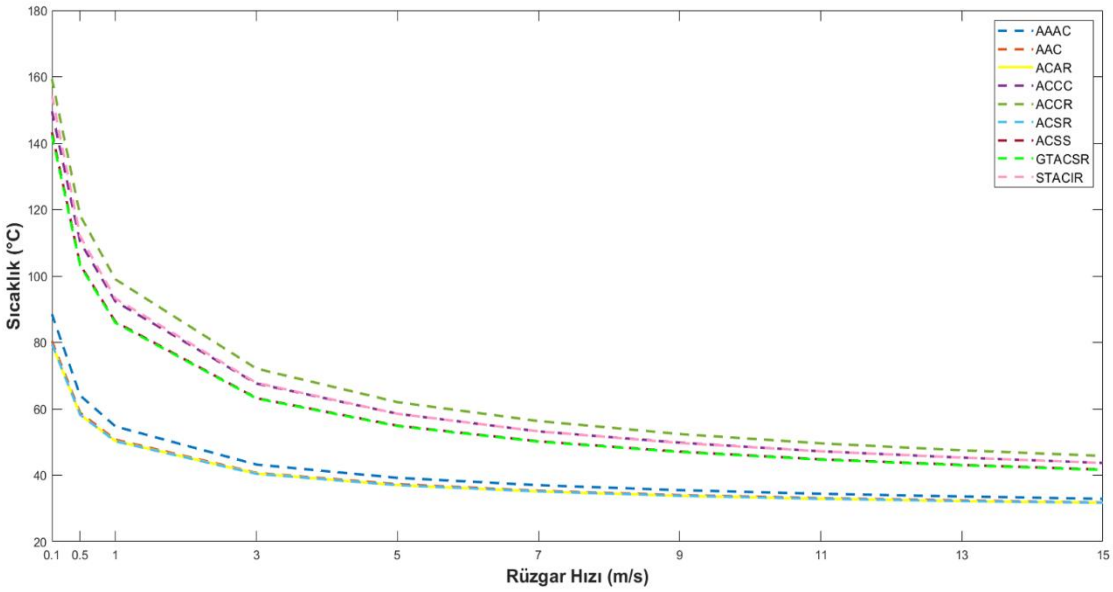
Bu sonuçlara bakılarak, AAAC iletkeni hava sıcaklığı değişiminden daha az etkilenirken, AAC tipi iletken daha fazla etkilenmektedir. 0,1 m/s rüzgar hızında, hava sıcaklığı 5 °C'den 35 °C'ye çıkarıldığında, AAC iletkeni sıcaklık artışı 24,5 °C, AAAC iletkeni sıcaklık artışı 23,5 °C olduğu görülmüştür. Sıcaklık değişiminden en az etkilenen öz sıcaklığı ise 23,4 °C artış ile AAAC iletkeni olurken, en fazla etkilenen iletken 24,4 °C artış ile AAC olduğu görülmüştür. Diğer yandan, rüzgar hızı artışı en fazla AAAC iletkeninde etkinken en az ise AAC iletkeninde etkindir. 5 °C hava sıcaklığında, 0,1 m/s'den 15 m/s'ye çıkarıldığında, AAAC iletkeni sıcaklık düşüşü 58,1 °C olurken, AAC iletkeni sıcaklık düşüşü 47,5 °C olduğu görülmüştür. Rüzgar hızı değişiminden en fazla etkilenen öz sıcaklığı 59,2 °C düşüş ile AAAC iletkeni olurken, en az etkilenen 48,4 °C düşüş ile GTACSR iletkeni olduğu görülmüştür. Isıl analizler sonucunda, eşit yüklenme durumunda, en iyi performansı AAC iletkeni gösterirken en kötü performansı ise AAAC iletkeni göstermiştir. Ayrıca hava sıcaklığının artması, rüzgar hızının etkisini azalttığı görülmüştür. ACCR iletkeni için örnek verecek olursak, 5 °C hava sıcaklığında rüzgar hızı 0,1 m/s'den 15 m/s'ye çıkarıldığında iletken sıcaklığı 50,3 °C azalırken, 35 °C hava sıcaklığından rüzga rızı 0,1 m/s'den 15 m/s'ye çıkarıldığında iletken sıcaklığı 44,3 azalmaktadır. İletkenin sıcaklık değişiminde, rüzgar hızının, hava sıcaklığından daha

etkin olduğu görülmüştür. Hava sıcaklığı 35 °C'den 5 °C'ye düştüğünde iletken sıcaklığı yaklaşık 24 °C azalırken, rüzgar hızı 1 m/s'den 15 m/s'ye çıktığında yaklaşık 45-50 °C azalmaktadır.

7.1.3.2 Senaryo 2

İletkenlerin maksimum çalışma koşullarında ısıl davranışlarını analiz etmek için tüm iletkenlere Tablo 2.1'de verilen maksimum yüklenme akımları uygulanarak 5-15-25-35 °C hava sıcaklıklarında ve 0,1-0,5-1-3-5-7-9-11-13-15 m/s rüzgar hızlarında, ısı transfer modülünde, 2-D ısıl analizleri yapılmıştır ve sonuçlar IEEE 738 standartına göre yapılan sayısal hesaplamalar ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 7.11'de 25 °C ortam sıcaklığında çeşitli rüzgar hızlarında iletkenlerin maksimum yüklenme akımları uygulandığında alüminyum tellerin ortalama sıcaklık değişimi verilmiştir.

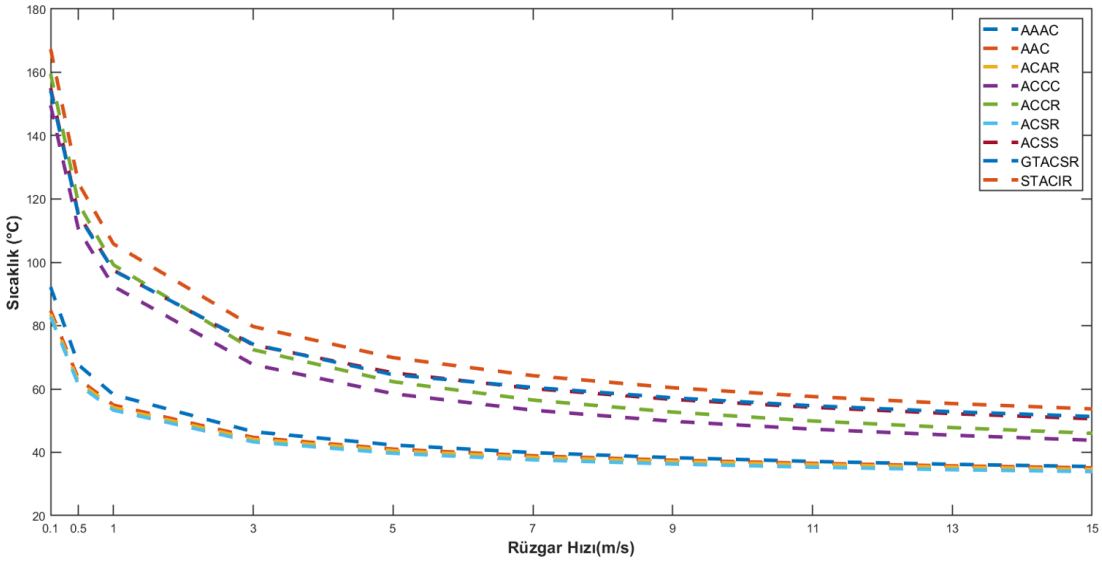


Şekil 7.11 9 tip iletkene ait maksimum yüklenme akımlarında alüminyum tellerin rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi (25°C&1000 W/m^2)

Şekilde görüldüğü üzere iletkenlerin maksimum yüklenme kapasiteleri arttıkça iletkenlerin ortalama sıcaklıkları da artmaktadır. En yüksek akım taşıma kapasitesine sahip ACCR iletkeni en fazla ısınan iletken olduğu görülmüştür. STACIR iletkeni akım taşıma kapasitesi ACCC ve GTACSR iletkenlerinden daha düşük olmasına rağmen, 25 °C hava sıcaklığında, 0,1 m/s rüzgar hızında, ACCC'den 4,7 ° ve GTACSR'den 11,9 °C daha fazla ısınarak daha kötü performans göstermiştir. ACSS iletkeni akım taşıma

kapasitesi GTACSR iletkeninden daha düşük olmasına rağmen, 25 °C hava sıcaklığında, 0,1 m/s rüzgar hızında 1,1 °C daha fazla ısınarak daha kötü performans göstermiştir. ACAR iletkeni akım taşıma kapasitesi ACSR'den daha yüksek olmasına rağmen, 25 °C hava sıcaklığında, 0,1 m/s rüzgar hızında, yaklaşık olarak aynı sıcaklık değerine ulaşarak daha iyi performans göstermiştir. AAAC iletkeni akım taşıma kapasitesi AAC ve ACAR iletkenlerinden daha düşük olmasına rağmen, 25 °C hava sıcaklığında, 0,1 m/s rüzgar hızında, AAC'den yaklaşık 8,1 °C ve ACAR'dan yaklaşık 9 °C daha fazla ısınarak daha kötü performans göstermiştir. Akım taşıma ve ısınma özellikleri dikkate alındığında trapez dizilimli iletkenler yuvarlak dizilimli iletkenlere göre daha iyi performans göstermiştir. ACSR iletkeni daha düşük akımlarda çalışmasına rağmen, kendisinden büyük akımlarda çalışabilen ACAR iletkeniyle benzer seviyelerde ısınarak daha kötü performans göstermiştir.

Şekil 7.12'de 25 °C ortam sıcaklığında çeşitli rüzgar hızlarında iletkenlerin maksimum yüklenme akımları uygulandığında iletkenlerin özlerinin ortalama sıcaklık değişimi verilmiştir.



Şekil 7.12 9 tip iletkene ait maksimum yüklenme akımlarında iletken özlerinin rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi (25°C&1000 W/m^2)

0,1 m/s rüzgar hızında en yüksek ortalama alüminyum tel sıcaklığına ACCR iletkeni ulaşmasına rağmen ortalama öz sıcaklığı en yüksek iletken STACIR iletkeni olduğu görülmektedir. Düşük rüzgar hızlarında ACCR iletkeninin ortalama öz sıcaklığı daha yüksekken, rüzgar hızı yaklaşık 3 m/s'nin üzerine çıktığında ACCR iletkeninin ortalama

öz sıcaklığı daha fazla etkilenerek GTACSR ve ACSS iletkenlerinin ortalama öz sıcaklığının altına düşmektedir. STACIR iletkeni akım taşıma kapasitesi ACCC, GTACSR ve ACCR iletkenlerinden daha düşük olmasına rağmen, 25 °C hava sıcaklığında, 0,1 m/s rüzgar hızında, öz malzemesi ACCC'nin özünden yaklaşık 17,8 °C, GTACSR'nin özünden yaklaşık 13,1 °C ve ACCR'nin özünden yaklaşık 7,8 °C daha fazla ısınarak daha kötü performans göstermiştir. AAAC iletkeninin akım taşıma kapasitesi AAC ve ACAR iletkenlerinden daha düşük olmasına rağmen, 25 °C hava sıcaklığında, 0,1 m/s rüzgar hızında, AAAC iletkenin özü, AAC'den yaklaşık 7,4 °C ve ACAR'dan yaklaşık 8,6 °C daha fazla ısınarak daha kötü performans göstermiştir.

STACIR iletkeninin 5 °C, 15 °C, 25 °C ve 35 °C hava sıcaklıklarında, maksimum taşıma kapasitesi olan 1846 A akım uygulandığında, farklı rüzgar hızları için simülasyon ve analitik hesaplar ile elde edilen ortalama sıcaklık değerleri Tablo 7.14'de verilmiştir.

Tablo 7.14 STACIR iletkeninin hava sıcaklığı ve rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi

Hava Sıcaklığı	**5 °C**				**15 °C**			
	Sim.(°C)		**Std(°C)**		**Sim. (°C)**		**Std.(°C)**	
Rüzgar Hızı(m/s)	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**
0,1	142,8	156,0	139,5	151,1	148,5	161,6	145,9	157,6
0,5	95,8	108,7	105,8	117,4	103,9	116,8	113,5	125,1
1	75,3	88,0	84,1	95,7	84,3	96,9	92,7	104,3
3	48,4	60,3	51,6	63,2	58,1	70,0	61,1	72,8
5	38,8	50,2	40,4	52,0	48,6	60,0	50,1	61,7
7	33,4	44,4	34,3	46,0	43,3	54,3	44,2	55,8
9	29,8	40,5	30,5	42,1	39,8	50,5	40,3	52,0
11	27,2	37,6	27,7	39,3	37,2	47,6	37,6	49,2
13	25,2	35,4	25,6	37,3	35,2	45,4	35,6	47,2
15	23,6	33,6	24,0	35,6	33,7	43,6	33,9	45,6
Hava Sıcaklığı	**25 °C**				**35 °C**			
	Sim.(°C)		**Std(°C)**		**Sim. (°C)**		**Std.(°C)**	
Rüzgar Hızı(m/s)	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**
0,1	154,3	167,4	152,4	164,0	160,1	173,2	158,8	170,5
0,5	112,0	124,9	121,2	132,9	120,1	132,9	129,0	140,6
1	93,2	105,8	101,3	112,9	102,1	114,6	109,9	121,5
3	67,8	79,7	70,7	82,3	77,4	89,3	80,2	91,8
5	58,5	69,9	59,8	71,5	68,3	79,7	69,6	81,2
7	53,2	64,2	54,0	65,6	63,2	71,1	63,8	75,4
9	49,7	60,4	50,2	61,8	59,7	70,4	60,1	71,7
11	47,2	57,6	47,5	59,1	57,2	67,6	57,4	69,0
13	45,3	55,4	45,5	57,1	55,3	65,4	55,4	45,0
15	43,7	53,7	43,9	55,5	53,7	63,7	53,8	65,4

Ortalama sıcaklık değerlerine bakıldığında hava sıcaklığı arttıkça iletkenin ortalama sıcaklığının arttığı açık şekilde görülmektedir. 0,1 m/s rüzgar hızı için hava sıcaklığı 5 °C'den 35 °C'ye çıkarıldığında iletkenin ortalama sıcaklığı 17,3 °C arttığı görülmektedir. Rüzgar hızı arttıkça ise iletkenin ortalama sıcaklığı belirgin şekilde düşmektedir. 5 °C ortam sıcaklığında rüzgar hızı 0,1 m/s'den 0,5 m/s'ye çıkarıldığında iletken sıcaklığı 47 °C düşmektedir.

ACCC iletkeninin 5 °C, 15 °C, 25 °C ve 35 °C hava sıcaklıklarında, maksimum taşıma kapasitesi olan 1946 A akım uygulandığında, farklı rüzgar hızları için simülasyon ve analitik hesaplar ile elde edilen ortalama sıcaklık değerleri Tablo 7.15'de verilmiştir.

Tablo 7.15 ACCC iletkeninin hava sıcaklığı ve rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi

Hava Sıcaklığı	**5 °C**				**15 °C**			
	Sim.(°C)		**Std(°C)**		**Sim. (°C)**		**Std.(°C)**	
Rüzgar Hızı(m/s)	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**
0,1	138,1	138,2	126,1	136,6	143,8	143,9	132,8	143,3
0,5	94,2	94,2	93,4	103,9	102,2	102,3	101,4	112,0
1	74,6	74,7	73,9	84,4	83,5	83,6	82,7	93,2
3	48,3	48,4	45,3	55,8	58,0	58,1	54,9	65,4
5	38,8	38,8	35,6	46,1	48,6	48,7	45,3	55,9
7	33,4	33,5	30,3	40,9	43,3	43,4	40,2	50,7
9	29,8	29,9	27,0	37,5	39,8	39,9	36,9	47,4
11	27,2	27,3	24,6	35,1	37,2	37,3	34,5	45,0
13	25,2	25,3	22,8	33,3	35,3	35,3	32,7	43,3
15	23,6	23,7	21,4	31,9	33,7	33,8	31,3	41,9
Hava Sıcaklığı	**25 °C**				**35 °C**			
	Sim.(°C)		**Std(°C)**		**Sim. (°C)**		**Std.(°C)**	
Rüzgar Hızı(m/s)	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**
0,1	149,6	149,6	139,5	150,1	155,4	155,5	146,3	156,8
0,5	110,2	110,3	109,4	119,9	118,3	118,3	117,4	128,0
1	92,3	92,4	91,5	102,0	101,1	101,2	100,2	110,8
3	67,6	67,7	64,5	75,0	77,2	77,3	74,1	84,6
5	58,5	58,5	55,1	65,6	68,3	68,3	64,9	75,4
7	53,2	53,3	50,0	60,5	63,1	63,2	59,9	70,4
9	49,8	49,8	46,8	57,3	59,7	59,8	56,6	67,1
11	47,2	47,3	44,4	54,9	57,2	57,3	54,3	64,8
13	45,3	45,4	42,7	53,2	55,3	55,4	52,6	63,1
15	43,7	43,8	41,3	51,8	53,8	53,8	51,2	61,7

Ortalama sıcaklık değerlerine bakıldığında hava sıcaklığı arttıkça iletkenin ortalama sıcaklığının arttığı açık şekilde görülmektedir. 0,1 m/s rüzgar hızı için hava sıcaklığı 5 °C'den 35 °C'ye çıkarıldığında iletkenin ortalama sıcaklığı 17,3 °C arttığı görülmektedir.

Rüzgar hızı arttıkça ise iletkenin ortalama sıcaklığı belirgin şekilde düşmektedir. 5 °C ortam sıcaklığında rüzgar hızı 0,1 m/s'den 0,5 m/s'ye çıkarıldığında iletkenin ortalama sıcaklığı 43,9 °C düşmektedir.

GTACSR iletkeninin 5 °C, 15 °C, 25 °C ve 35 °C hava sıcaklıklarında, maksimum taşıma kapasitesi olan 1877 A akım uygulandığında, farklı rüzgar hızları için simülasyon ve analitik hesaplar ile elde edilen ortalama sıcaklık değerleri Tablo 7.16'da verilmiştir.

Tablo 7.16 GTACSR iletkeninin hava sıcaklığı ve rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi

Hava Sıcaklığı	**5 °C**				**15 °C**			
	Sim.(°C)		**Std(°C)**		**Sim. (°C)**		**Std.(°C)**	
Rüzgar Hızı(m/s)	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**
0,1	130,4	142,2	127,8	138,7	136,4	148,2	134,4	145,4
0,5	86,4	98,1	95,5	106,5	94,8	106,4	103,5	114,4
1	67,8	79,4	75,7	86,7	76,9	88,4	84,5	95,4
3	43,6	54,7	46,4	57,3	53,4	64,4	56,0	66,9
5	35,0	45,7	36,4	47,3	44,9	55,6	46,2	57,1
7	30,2	40,6	31,0	42,0	40,1	50,6	40,9	51,8
9	27,0	37,2	27,6	38,5	37,0	47,2	37,5	48,4
11	24,7	34,7	25,1	36,1	34,7	44,7	35,1	46,0
13	22,9	32,8	23,3	34,3	33,0	42,8	33,2	44,2
15	21,5	31,2	21,9	32,8	31,5	41,3	31,8	42,7
Hava Sıcaklığı	**25 °C**				**35 °C**			
	Sim.(°C)		**Std(°C)**		**Sim. (°C)**		**Std.(°C)**	
Rüzgar Hızı(m/s)	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**
0.1	142,4	154,3	141,1	152,1	148,6	160,4	147,8	158,7
0.5	103,1	114,7	111,4	122,4	111,3	123,0	119,3	130,3
1	85,9	97,4	93,2	104,2	94,9	106,4	101,9	112,9
3	63,1	74,1	65,5	76,5	72,8	83,8	75,1	86,1
5	54,8	64,5	55,9	66,9	64,6	75,3	65,7	76,6
7	50,1	60,5	50,7	61,7	60,0	70,4	60,5	71,5
9	47,0	57,2	47,3	58,3	56,9	67,1	57,2	68,2
11	44,7	54,7	45,0	55,9	54,7	64,7	54,9	65,8
13	43,0	52,8	43,2	54,1	53,0	62,8	53,1	64,0
15	41,6	51,3	41,7	52,7	51,6	61,3	51,7	62,6

Ortalama sıcaklık değerlerine bakıldığında hava sıcaklığı arttıkça iletkenin ortalama sıcaklığının arttığı açık şekilde görülmektedir. 0,1 m/s rüzgar hızı için hava sıcaklığı 5 °C'den 35 °C'ye çıkarıldığında iletkenin ortalama sıcaklığı 18,2 °C arttığı görülmektedir. Rüzgar hızı arttıkça ise iletkenin ortalama sıcaklığı belirgin şekilde düşmektedir. 5 °C ortam sıcaklığında rüzgar hızı 0,1 m/s'den 0,5 m/s'ye çıkarıldığında iletkenin ortalama sıcaklığı 44 °C düşmektedir.

ACSS iletkeninin 5 °C, 15 °C, 25 °C ve 35 °C hava sıcaklıklarında, maksimum taşıma kapasitesi olan 1788 A akım uygulandığında, farklı rüzgar hızları için simülasyon ve analitik hesaplar ile elde edilen ortalama sıcaklık değerleri Tablo 7.17'de verilmiştir.

Tablo 7.17 ACSS iletkeninin hava sıcaklığı ve rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi

Hava Sıcaklığı	**5 °C**				**15 °C**			
	Sim.(°C)		**Std(°C)**		**Sim. (°C)**		**Std.(°C)**	
Rüzgar Hızı(m/s)	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**
0,1	131,2	143,1	128,8	139,0	137,2	149,1	135,5	145,7
0,5	86,8	98,5	95,9	106,1	95,1	106,8	103,9	114,1
1	68,1	79,5	75,9	86,1	77,1	88,5	84,7	94,9
3	43,8	54,5	46,6	56,8	53,5	64,2	56,2	66,3
5	35,1	45,4	36,5	46,7	45,0	55,3	46,3	56,5
7	30,3	40,2	31,1	41,3	40,2	50,2	41,0	51,2
9	27,1	36,7	27,7	37,9	37,1	46,7	37,6	47,8
11	24,8	34,2	25,2	35,4	34,8	44,2	35,1	45,3
13	23,0	32,2	23,4	33,6	33,0	42,2	33,3	43,5
15	21,6	30,6	21,9	32,1	31,6	40,6	31,9	42,1
Hava Sıcaklığı	**25 °C**				**35 °C**			
	Sim.(°C)		**Std(°C)**		**Sim. (°C)**		**Std.(°C)**	
Rüzgar Hızı(m/s)	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**
0,1	143,3	155,1	142,1	152,3	149,4	161,2	148,8	159,0
0,5	103,4	115,0	111,8	122,0	111,7	123,3	119,7	129,9
1	86,2	97,5	93,4	103,6	95,2	106,5	102,2	112,4
3	63,2	73,9	65,7	75,9	72,9	83,6	75,3	85,5
5	54,9	65,1	56,0	66,2	64,7	75,0	65,8	76,0
7	50,2	60,1	50,8	61,0	60,1	70,0	60,6	70,8
9	47,1	56,7	47,4	57,6	57,0	66,6	57,3	67,5
11	44,8	54,2	45,0	55,2	54,8	64,2	54,9	65,1
13	43,1	52,2	43,2	53,4	53,1	62,2	53,1	63,3
15	41,7	50,6	41,8	52,0	51,7	60,7	51,7	61,9

Ortalama sıcaklık değerlerine bakıldığında hava sıcaklığı arttıkça iletkenin ortalama sıcaklığının arttığı açık şekilde görülmektedir. 0,1 m/s rüzgar hızı için hava sıcaklığı 5 °C'den 35 °C'ye çıkarıldığında iletkenin ortalama sıcaklığı 18,2 °C arttığı görülmektedir. Rüzgar hızı arttıkça ise iletkenin ortalama sıcaklığı belirgin şekilde düşmektedir. 5 °C ortam sıcaklığında rüzgar hızı 0,1 m/s'den 0,5 m/s'ye çıkarıldığında iletkenin ortalama sıcaklığı 45 °C düşmektedir.

ACAR iletkeninin 5 °C, 15 °C, 25 °C ve 35 °C hava sıcaklıklarında, maksimum taşıma kapasitesi olan 1050 A akım uygulandığında, farklı rüzgar hızları için simülasyon ve analitik hesaplar ile elde edilen ortalama sıcaklık değerleri Tablo 7.18'de verilmiştir.

Tablo 7.18 ACAR iletkeninin hava sıcaklığı ve rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi

Hava Sıcaklığı	5 °C				15 °C			
Rüzgar Hızı(m/s)	Sim.(°C)		Std(°C)		Sim. (°C)		Std.(°C)	
	Al	Öz	Al	Öz	Al	Öz	Al	Öz
0,1	63,5	67,7	66,2	69,4	71,5	75,6	74,3	77,5
0,5	39,6	43,6	43,1	46,3	48,9	52,9	52,2	55,5
1	31,0	34,9	33,9	37,1	40,7	44,5	43,4	46,7
3	20,7	24,3	21,5	24,7	30,6	34,2	31,3	34,6
5	17,1	20,6	17,4	20,7	27,1	30,5	27,3	30,6
7	15,1	18,5	15,3	18,5	25,1	28,5	25,2	28,5
9	13,9	17,1	13,9	17,2	23,9	27,1	23,9	27,1
11	12,9	16,0	12,9	16,2	22,9	26,1	22,9	26,2
13	12,2	15,3	12,2	15,5	22,2	25,3	22,2	25,4
15	11,6	14,6	11,6	14,9	21,7	24,6	21,6	24,9
Hava Sıcaklığı	**25 °C**				**35 °C**			
Rüzgar Hızı(m/s)	Sim.(°C)		Std(°C)		Sim. (°C)		Std.(°C)	
	Al	Öz	Al	Öz	Al	Öz	Al	Öz
0,1	79,5	83,6	82,4	85,6	87,5	91,7	90,5	93,8
0,5	58,2	62,2	61,4	64,6	67,5	71,4	70,5	73,8
1	50,3	54,1	52,9	56,2	59,9	63,7	62,4	65,7
3	40,5	44,1	41,2	44,4	50,3	53,9	51,0	54,2
5	37,0	40,5	37,3	40,5	47,0	50,4	47,2	50,4
7	35,1	38,4	35,2	38,4	45,1	48,4	45,1	48,3
9	33,8	37,1	33,8	37,1	43,8	47,0	43,8	47,0
11	32,9	36,1	32,9	36,1	42,9	46,1	42,8	46,1
13	32,2	35,3	32,2	35,4	42,2	45,3	42,1	45,4
15	31,7	34,6	31,6	34,8	41,7	44,7	41,6	44,8

Ortalama sıcaklık değerlerine bakıldığında hava sıcaklığı arttıkça iletkenin ortalama sıcaklığının arttığı açık şekilde görülmektedir. 0,1 m/s rüzgar hızı için hava sıcaklığı 5 °C'den 35 °C'ye çıkarıldığında iletkenin ortalama sıcaklığı 24 °C arttığı görülmektedir. Rüzgar hızı arttıkça ise iletkenin ortalama sıcaklığı belirgin şekilde düşmektedir. 5 °C ortam sıcaklığında rüzgar hızı 0,1 m/s'den 0,5 m/s'ye çıkarıldığında iletkenin ortalama sıcaklığı 23,9 °C düşmektedir.

AAC iletkeninin 5 °C, 15 °C, 25 °C ve 35 °C hava sıcaklıklarında, maksimum akım taşıma kapasitesi olan 1079 A akım uygulandığında, farklı rüzgar hızları için simülasyon ve analitik hesaplar ile elde edilen ortalama sıcaklık değerleri Tablo 7.19'da verilmiştir.

Tablo 7.19 AAC iletkeninin hava sıcaklığı ve rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi

Hava Sıcaklığı	5 °C	15 °C

Tablo 7.19 AAC iletkeninin hava sıcaklığı ve rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi (devamı)

	Sim.(°C)		Std(°C)		Sim. (°C)		Std.(°C)	
Rüzgar Hızı(m/s)	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**
0,1	64,5	68,9	67,3	70,6	72,4	76,9	75,4	78,7
0,5	40,2	44,5	44,0	47,3	49,5	53,8	53,1	56,5
1	31,5	35,7	34,6	38,0	41,1	45,3	44,1	47,5
3	21,0	24,9	21,9	25,2	30,9	34,8	31,7	35,1
5	17,3	21,1	17,7	21,1	27,3	31,1	27,6	31,0
7	15,3	19,0	15,5	18,9	25,3	29,0	25,5	28,8
9	14,0	17,5	14,1	17,5	24,0	27,5	24,1	27,4
11	13,1	16,5	13,1	16,5	23,1	26,5	23,1	26,5
13	12,3	15,7	12,4	15,8	22,4	25,7	22,4	25,7
15	11,8	15,0	11,8	15,2	21,8	25,1	21,8	25,1
Hava Sıcaklığı			**25 °C**				**35 °C**	
	Sim.(°C)		**Std(°C)**		**Sim. (°C)**		**Std.(°C)**	
Rüzgar Hızı(m/s)	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**
0,1	80,4	84,8	83,5	86,8	88,4	92,8	91,6	94,9
0,5	58,8	63,1	62,3	65,6	68,0	72,3	71,4	74,7
1	50,7	54,9	53,6	57,0	60,3	64,5	63,1	66,4
3	40,7	44,7	41,6	44,9	50,6	54,5	51,4	54,8
5	37,3	41,0	37,6	40,9	47,2	50,9	47,5	50,8
7	35,3	38,9	35,4	38,8	45,3	48,9	45,3	48,7
9	34,0	37,5	34,0	37,4	44,0	47,5	44,0	47,4
11	33,1	36,5	33,1	36,4	43,1	46,5	43,0	46,4
13	32,4	35,7	32,3	35,7	42,4	45,7	42,3	45,7
15	31,8	35,1	31,8	35,1	41,8	45,1	41,7	45,1

Ortalama sıcaklık değerlerine bakıldığında hava sıcaklığı arttıkça iletkenin ortalama sıcaklığının arttığı açık şekilde görülmektedir. 0,1 m/s rüzgar hızı için hava sıcaklığı 5 °C'den 35 °C'ye çıkarıldığında iletkenin ortalama sıcaklığı 23,9 °C arttığı görülmektedir. Rüzgar hızı arttıkça ise iletkenin ortalama sıcaklığı belirgin şekilde düşmektedir. 5 °C ortam sıcaklığında rüzgar hızı 0,1 m/s'den 0,5 m/s'ye çıkarıldığında iletkenin ortalama sıcaklığı 24,3 °C düşmektedir.

AAAC iletkeninin 5 °C, 15 °C, 25 °C ve 35 °C hava sıcaklıklarında, maksimum taşıma kapsitesi olan 1018 A akım uygulandığında, farklı rüzgar hızları için simülasyon ve analitik hesaplar ile elde edilen ortalama sıcaklık değerleri Tablo 7.20'de verilmiştir.

Tablo 7.20 AAAC iletkeninin hava sıcaklığı ve rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi

Hava Sıcaklığı			**5 °C**				**15 °C**	
	Sim.(°C)		**Std(°C)**		**Sim. (°C)**		**Std.(°C)**	
Rüzgar Hızı(m/s)	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**

Tablo 7.20 AAAC iletkeninin hava sıcaklığı ve rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi (devamı)

0,1	73,0	76,8	75,0	78,3	80,7	84,5	82,9	86,2
0,5	45,6	49,2	49,1	52,3	54,8	58,4	58,1	61,4
1	35,6	39,1	38,5	41,7	45,2	48,7	47,9	51,2
3	23,5	26,7	24,2	27,5	33,4	36,6	34,0	37,3
5	19,3	22,4	19,5	22,7	29,3	32,3	29,4	32,6
7	17,0	19,9	17,0	20,2	27,0	29,9	26,9	30,2
9	15,5	18,3	15,4	18,6	25,5	28,3	25,3	28,6
11	14,4	17,1	14,3	17,5	24,4	27,1	24,2	27,5
13	13,5	16,2	13,4	16,7	23,6	26,2	23,4	26,6
15	12,9	15,4	12,7	16,0	22,9	25,5	22,7	26,0
Hava Sıcaklığı			**25 °C**				**35 °C**	
	Sim.(°C)		**Std(°C)**		**Sim. (°C)**		**Std.(°C)**	
Rüzgar Hızı(m/s)	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**
0,1	88,5	92,2	90,9	94,1	96,3	100,0	98,8	102,0
0,5	64,0	67,6	67,2	70,4	73,1	76,7	76,2	79,5
1	54,7	58,2	57,4	60,6	64,3	67,8	66,8	70,1
3	43,2	46,5	43,9	47,1	53,1	56,3	53,7	56,9
5	39,2	42,3	39,3	42,5	49,1	52,2	49,2	52,4
7	37,0	39,9	36,8	40,1	46,9	49,8	46,8	50,0
9	35,5	38,3	35,3	38,5	45,4	48,3	45,2	48,5
11	34,4	37,1	34,2	37,4	44,4	47,1	44,1	47,4
13	33,6	36,2	33,3	36,6	43,6	46,2	43,3	46,6
15	32,9	35,5	32,7	35,9	42,9	45,5	42,6	45,9

Ortalama sıcaklık değerlerine bakıldığında hava sıcaklığı arttıkça iletkenin ortalama sıcaklığının arttığı açık şekilde görülmektedir. 0,1 m/s rüzgar hızı için hava sıcaklığı 5 °C'den 35 °C'ye çıkarıldığında iletkenin ortalama sıcaklığı 23,3 °C arttığı görülmektedir. Rüzgar hızı arttıkça ise iletkenin ortalama sıcaklığı belirgin şekilde düşmektedir. 5 °C ortam sıcaklığında rüzgar hızı 0,1 m/s'den 0,5 m/s'ye çıkarıldığında iletken sıcaklığı 27,4 °C düşmektedir.

ACCR iletkeninin 5 °C, 15 °C, 25 °C ve 35 °C hava sıcaklıklarında, maksimum akım taşıma kapasitesi olan 2031 A akım uygulandığında, farklı rüzgar hızları için simülasyon ve analitik hesaplar ile elde edilen ortalama sıcaklık değerleri Tablo 7.21'de verilmiştir.

Tablo 7.21 ACCR iletkeninin hava sıcaklığı ve rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi

Hava Sıcaklığı			**5 °C**				**15 °C**	
	Sim.(°C)		**Std(°C)**		**Sim. (°C)**		**Std.(°C)**	
Rüzgar Hızı(m/s)	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**
0,1	148,4	148,7	134,9	145,1	153,8	154,1	141,4	151,7
0,5	102,5	102,8	101,5	111,7	110,4	110,6	109,3	119,5
1	81,5	81,8	80,5	90,8	90,3	90,5	89,2	99,4
3	52,9	53,2	49,4	59,6	62,5	62,8	59,0	69,2

Tablo 7.21 ACCR iletkeninin hava sıcaklığı ve rüzgar hızına göre ortalama sıcaklık değişimi (devamı)

5	42,4	42,6	38,7	48,9	52,2	52,5	48,4	58,7
7	36,4	36,7	32,9	43,2	46,4	46,6	42,8	53,0
9	32,5	32,8	29,2	39,5	42,5	42,7	39,1	49,3
11	29,6	29,9	26,6	36,9	39,6	39,9	36,5	46,8
13	27,4	27,7	24,6	34,9	37,5	37,7	34,6	44,8
15	25,7	25,9	23,1	33,3	35,7	36,0	33,0	43,3
Hava Sıcaklığı			**25 °C**				**35 °C**	
	Sim.(°C)		**Std(°C)**		**Sim. (°C)**		**Std.(°C)**	
Rüzgar Hızı(m/s)	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**	**Al**	**Öz**
0,1	159,3	159,6	148,0	158,2	164,9	165,2	154,5	164,7
0,5	118,2	118,5	117,1	127,4	126,0	126,3	124,9	135,2
1	99,0	99,2	97,9	108,1	107,6	107,9	106,5	116,7
3	72,1	72,4	68,5	78,7	81,6	81,9	78,0	88,3
5	62,0	62,3	58,2	68,4	71,8	72,1	67,9	78,1
7	56,3	56,5	52,6	62,8	66,1	66,4	62,4	72,6
9	52,4	52,7	49,0	59,2	62,4	62,7	58,8	69,1
11	49,6	49,9	46,4	56,6	59,6	59,9	56,3	66,5
13	47,5	47,8	44,5	54,7	57,5	57,8	54,4	64,6
15	45,8	46,0	43,0	53,2	55,8	56,1	52,9	63,1

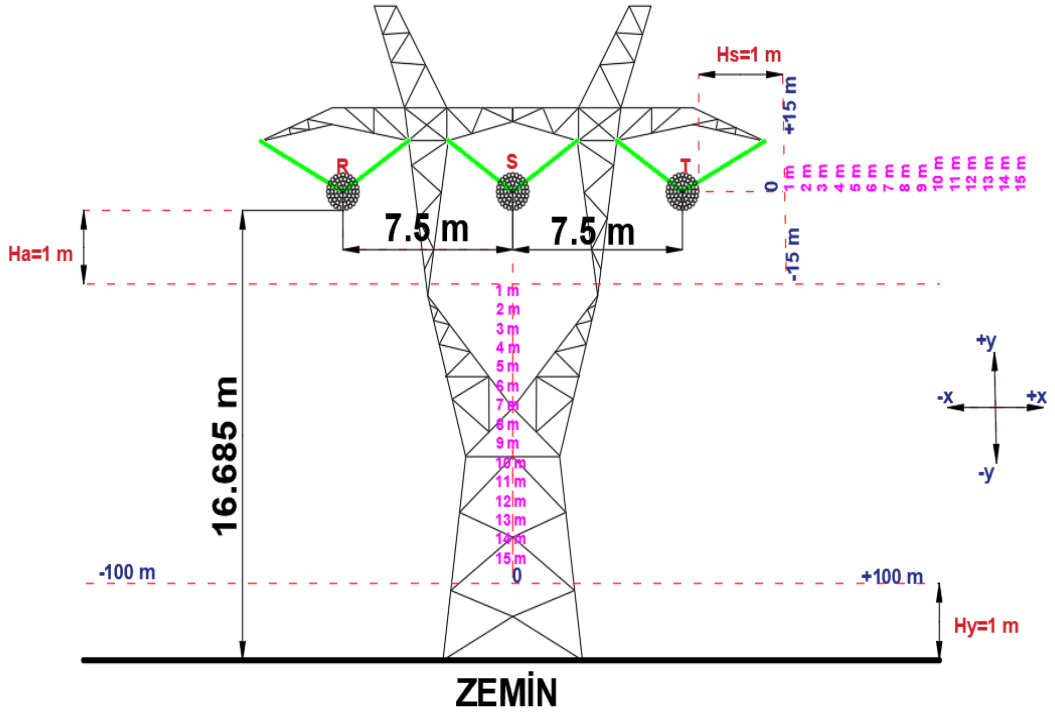
Ortalama sıcaklık değerlerine bakıldığında hava sıcaklığı arttıkça iletkenin ortalama sıcaklığının arttığı açık şekilde görülmektedir. 0,1 m/s rüzgar hızı için hava sıcaklığı 5 °C'den 35 °C'ye çıkarıldığında iletkenin ortalama sıcaklığı 16,5 °C arttığı görülmektedir. Rüzgar hızı arttıkça ise iletkenin ortalama sıcaklığı belirgin şekilde düşmektedir. 5 °C ortam sıcaklığında rüzgar hızı 0,1 m/s'den 0,5 m/s'ye çıkarıldığında iletkenin ortalama sıcaklığı 45,9 °C düşmektedir.

Bu sonuçlara göre, iletkenlerin çalışma sıcaklıkları arttıkça hava sıcaklığının etkisi düşmektedir. Örneğin, 0,1 m/s rüzgar hızında, hava sıcaklığı 5 °C'den 35 °C'ye çıkarıldığında, STACIR iletkenine 990 A uygulandığında, iletken sıcaklığı 23,9 °C artarken, maksimum taşıma kapasitesi olan 1846 A uygulandığında 17,3 °C artmaktadır. Her iletkene maksimum akımları uygulandığında, 0,1 m/s rüzgar hızında, hava sıcaklığı 5 °C'den 35 °C'ye çıkarıldığında, ACCR iletkeni sıcaklığı 16,5 °C artarak sıcaklık değişiminden en az etkilenen iletken olurken, ACSR iletkeni sıcaklığı 24,1 °C artarak en fazla etkilenen iletken olduğu görülmüştür. Aynı şekilde sıcaklık değişimiyle, öz sıcaklığı en az artan iletken 16,5 °C ile ACCR olurken, en fazla artan 24 °C ile ACSR olduğu görülmüştür. İletkenlerin çalışma sıcaklığı arttıkça ise rüzgar hızı değişiminin etkisi artmaktadır. Örneğin, 5 °C hava sıcaklığında, rüzgar hızı 0,1 m/s'den 0,5 m/s'ye çıkarıldığında, STACIR iletkenine 990 A uygulandığında iletken sıcaklığı 24,4 °C azalırken, maksimum taşıma kapasitesi olan 1846 A uygulandığında 47 °C azalmaktadır. 5 °C hava sıcaklığında, rüzgar hızı 0,1 m/s'den 0,5 m/s'ye çıkarıldığında, STACIR

iletkeni sıcaklığı 47 °C düşerek rüzgar hızı değişiminden en fazla etkilenen iletken olurken, ACAR iletkeni sıcaklığı 23,9 °C düşerek en az etkilenen iletken olduğu görülmüştür. Aynı şekilde rüzgar hızı değişimiyle, öz sıcaklığı en fazla düşen iletken 47,5 °C ile STACIR olurken, en az düşen iletken 24 °C ile ACAR olduğu görülmüştür. Ayrıca, iletkenlerin sıcaklıkları arttıkça alüminyum ve öz bölümleri arasındaki sıcaklık farkları da artış göstermiştir. Örneğin, STACIR iletkenine 5 °C hava sıcaklığında, 0,1 m/s rüzgar hızında, 990 A uygulandığında alüminyum ve öz arasındaki sıcaklık farkı 3,9 °C iken, 1846 A uygulandığında alüminyum ve öz arasındaki sıcaklık farkı 13,2 °C'ye çıkmaktadır.

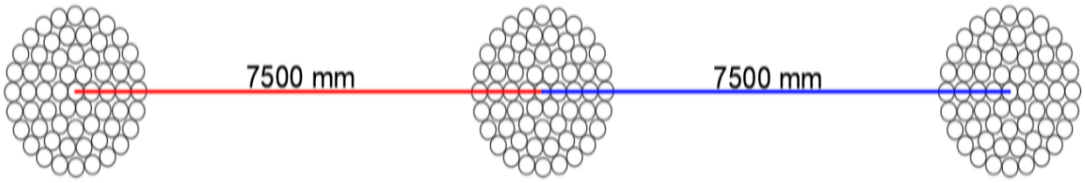
7.2 İletkenlerin Elektrik ve Manyetik Alan Davranışları

Yaklaşık olarak aynı dış çapa sahip ACSR, AAC, AAAC, STACIR, GTACSR, ACCC, ACCR, ACSS ve ACAR iletkenlerinin, ülkemizde kullanılan en yüksek gerilim seviyesi olan 400 kV ve yurt dışında kullanılan 750 kV gerilim seviyelerinde, iki boyutlu elektrik alan analizleri, Comsol Multiphysics yazılımında, "AC-DC / Electrostatics" modülünde gerçekleştirilmiştir. Manyetik alan analizleri, eşit yüklenme durumunda iletkenlerin manyetik alan davranışlarını karşılaştırmak için ACSR iletkeninin maksimum yüklenme kapasitesi olan 990 A akım tüm iletkenlere uygularak ve iletkenlerin maksimum yüklenme koşullarında manyetik alan davranışlarını analiz etmek için her iletkene maksimum akım taşıma kapasitesi uygulanarak, iki boyutlu olarak, Comsol Multiphysics yazılımında "AC-DC / Magnetic Fields" modülünde gerçekleştirilmiştir. Analizler gerçekleştirilirken Şekil 7.13'de direk konfigürasyonu üzerinde gösterildiği gibi, zeminden Hy=1 m yüksekte , iletkenlerin Ha=1 m altında ve T fazının +x yönündeki Hs=1 m mesafede elektrik ve manyetik alanların grafikleri verilmiştir. Şekil 7.13'de gösterildiği gibi S fazının –y yönünde ve T fazının +x yönünde, 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklığındaki elektrik ve manyetik alan değerleri tablolar halinde verilmiştir.



Şekil 7.13 Direk konfigürasyonu ve analiz mesafeleri

Simülasyon çalışmaları yapılırken, Şekil 7.14'de verildiği gibi tek devre iletken konfigürasyonu her iletken için Autocad yazılımında modellenerek, Comsol Multiphysics yazılımına aktarılmıştır.



Şekil 7.14 Tek devre iletken konfigürasyonu

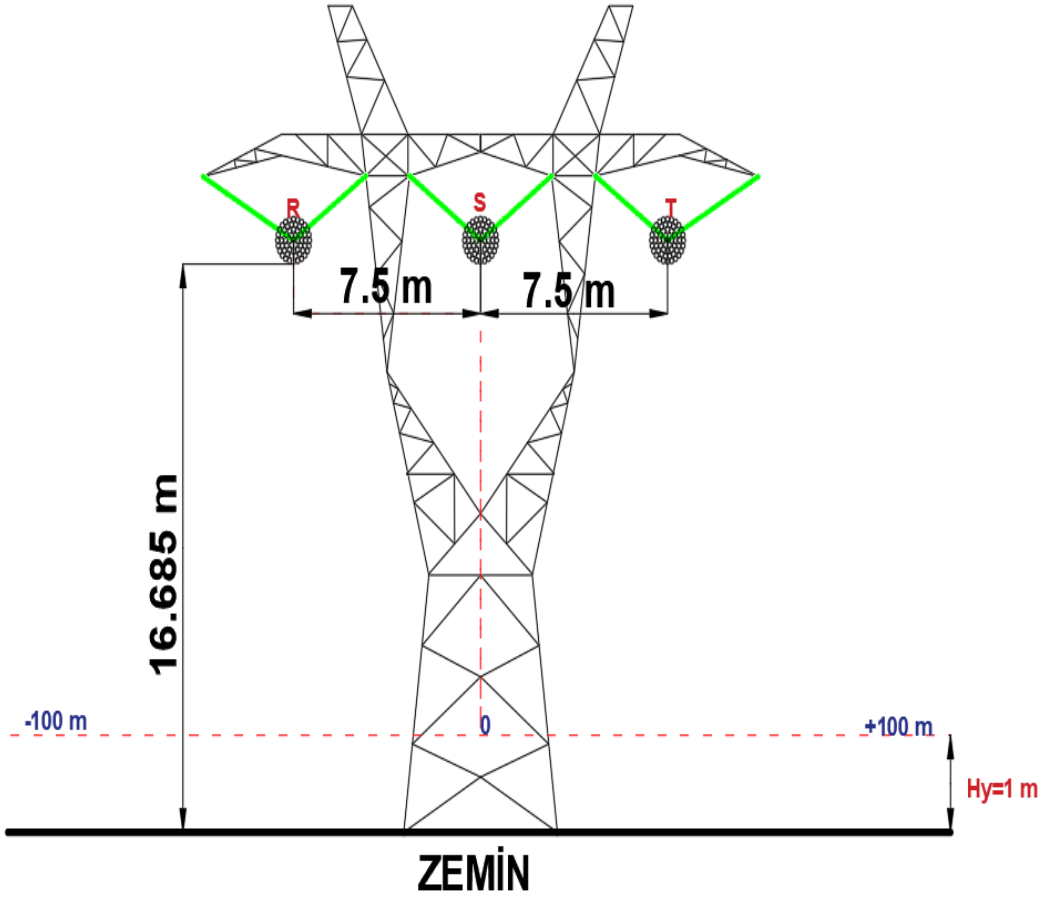
7.2.1 Elektrik Alan Analiz Sonuçları

Elektrik alan analizleri 9 tip iletken için 400 kV ve 750 kV seviyelerinde gerçekleştirilmiştir. Autocad'de modellenen iletken geometrileri Comsol Multiphysics yazılımına aktarılmıştır. Analiz çalışmaları yapılırken malzemelerin bağıl dielektrik sabitleri "1" olarak tanımlamıştır. Çalışmalar zamana bağlı olarak değişen "time dependent" domeninde gerçekleştirildiğinden, gerilimler S fazına V∠-120, R fazına V∠0 ve T fazına V∠120 şeklinde tanımlanmıştır. Grafikler ve tablolar oluşturulurken çalışma

periyodu 0-0,04 s aralığında, 0,002 adım artışıyla seçilmiş olup 0,0315. saniyedeki değerler baz alınmıştır.

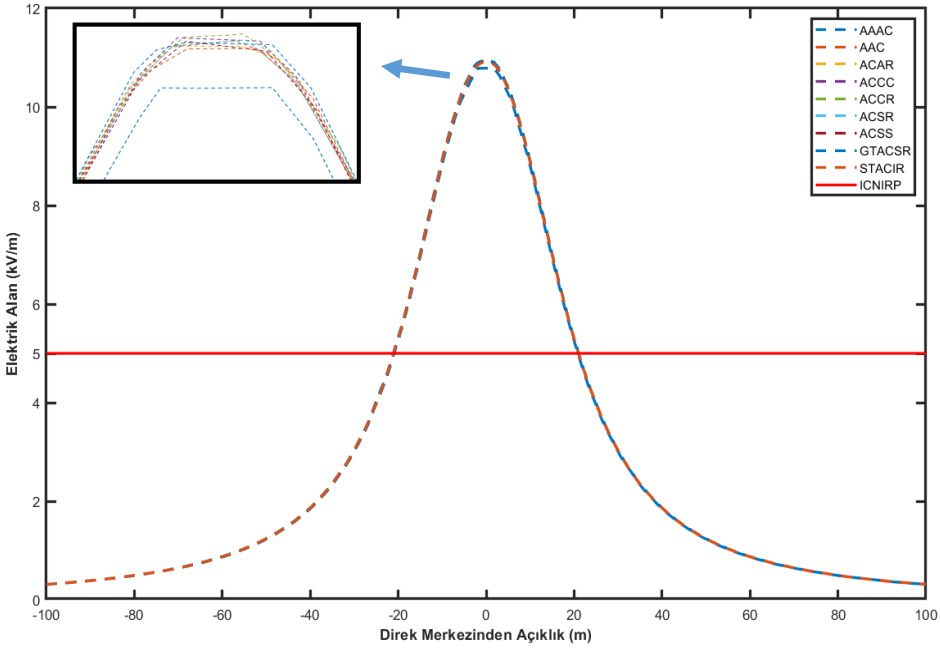
7.2.1.1 400 kV Gerilim Seviyesi İçin Elektrik Alan Analizleri

9 tip iletkene 400 kV gerilim uygulanarak Şekil 7.15'de verilen konfigürasyona göre zeminden Hy=1 m yüksekte ve -100 m ve +100 m direk açıklığında elektrik alan analizleri yapılmıştır.



Şekil 7.15 400 kV gerilim seviyesinde zeminden Hy=1 m yüksekte analiz konfigürasyonu

Bu analiz sonucunda zeminden Hy=1 m yüksekte iletkenlerin oluşturduğu elektrik alan dağılımı Şekil 7.16 'da verilmiştir.



Şekil 7.16 400 kV gerilim seviyesinde zeminden Hy=1 m yüksekte 9 tip iletken için elektrik alan dağılımı

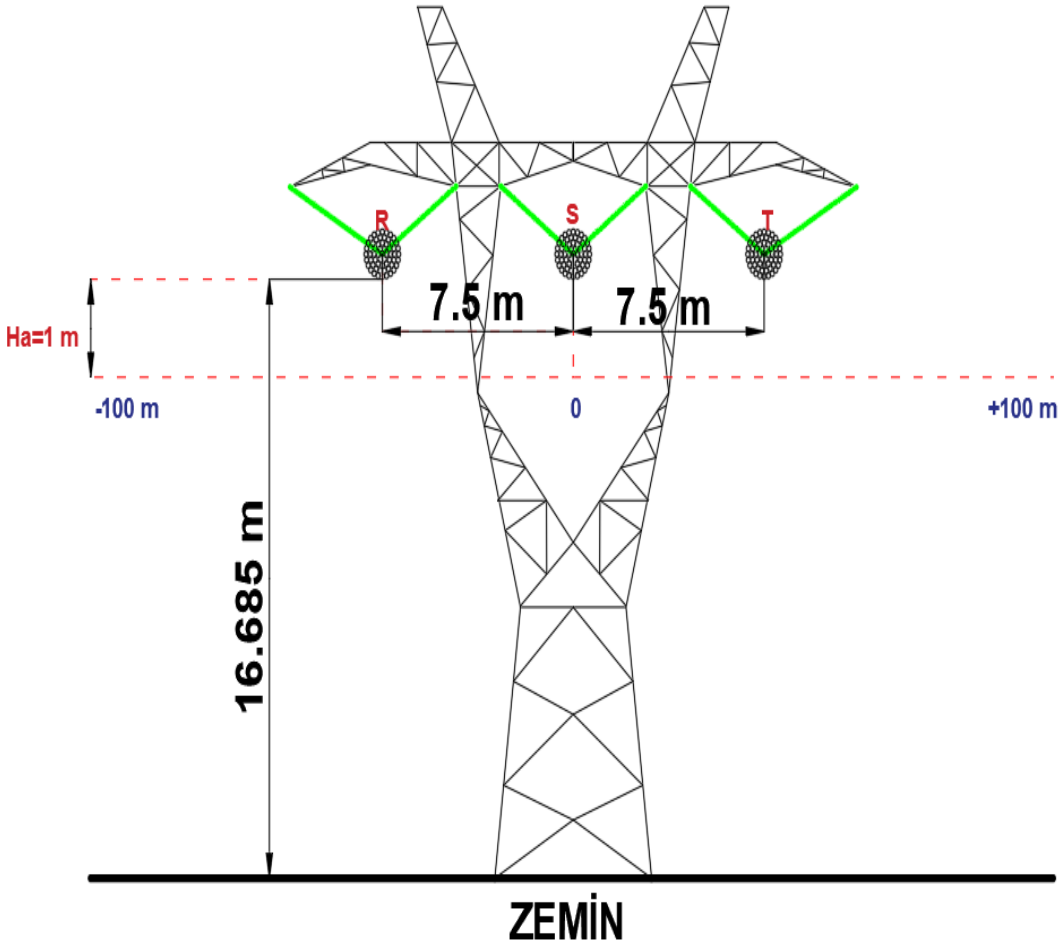
Şekilde görüldüğü üzere, 400 kV gerilim seviyesinde, yerden 1 m yüksekte, tüm iletkenlerin elektrik alan dağılımları, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m ve mesleki maruziyet için 10 kV/m sınır değerlerini aşmaktadır. Ayrıca iletkenlere yaklaştıkça elektrik alanın büyüklüğü artış göstermiştir. Grafiğin maksimum noktasında iletkenlerin elektrik alan değerleri ve ACSR iletkeni baz alınarak yüzde farkları Tablo 7.22'de verilmiştir.

Tablo 7.22 400 kV gerilim seviyesinde zeminden Hy=1 m yüksekte grafiğin maksimum noktasında iletkenlerin elektrik alan büyüklükleri ve yüzde farkları

İletken	E(kV/m)	Fark(%)
ACSR	10,925	**--**
ACCC	10,9275	**0,023**
STACIR	10,9246	**-0,003**
GTACSR	10,9577	**0,299**
AAAC	10,8358	**-0,816**
AAC	10,9425	**0,160**
ACAR	10,9363	**0,103**
ACCR	10,9374	**0,114**
ACSS	10,9212	**-0,035**

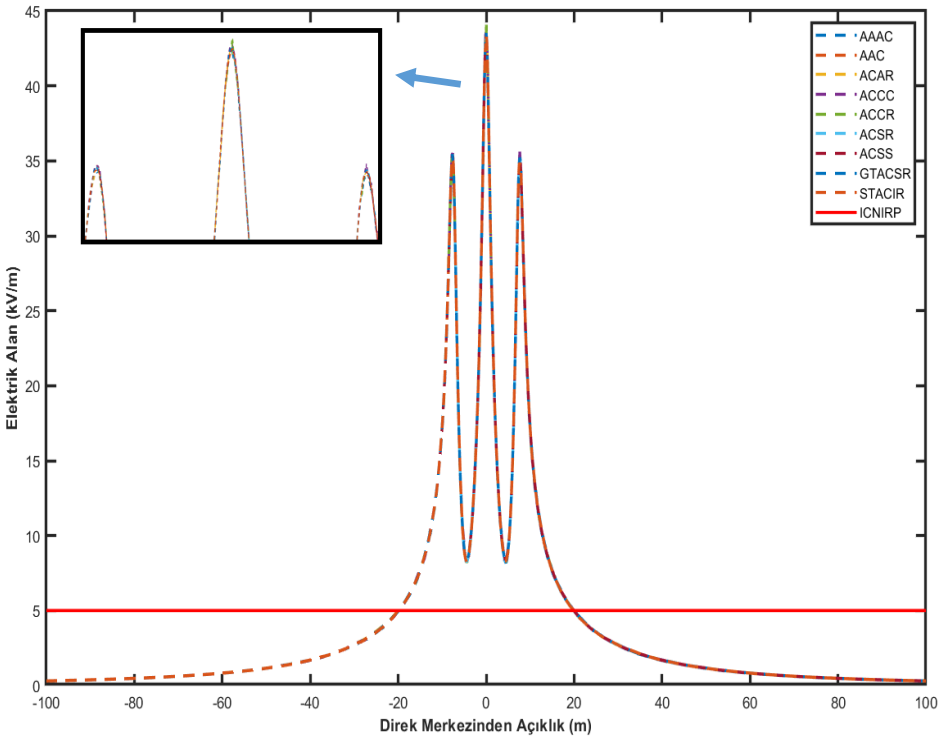
Tablodan da görüldüğü gibi iletkenlerin geometrilerine bağlı olarak elektrik alan büyüklüklerinde az da olsa farklılıklar görülmektedir. 400 kV gerilim seviyesinde, yerden 1 m yüksekte, en iyi elektrik alan performansını AAAC iletkeni gösterirken, en kötü performansı GTACSR iletkeni göstermiştir. GTACSR iletkeni AAAC'den yaklaşık %1,12 daha fazla elektrik alan meydana getirmiştir.

9 tip iletkene 400 kV gerilim uygulanarak, Şekil 7.17'de verilen konfigürasyona göre iletkenlerin Ha=1 m altında ve -100 m ve +100 m direk açıklığında elektrik alan analizleri yapılmıştır.



Şekil 7.17 400 kV gerilim seviyesinde iletkenlerin Ha=1 m altında analiz konfigürasyonu

Bu konfigürasyona göre yapılan analiz sonucunda iletkenin Ha=1 m altında elektrik alan dağılımı Şekil 7.18'de verilmiştir.



Şekil 7.18 400 kV gerilim seviyesinde iletkenlerin Ha= 1 m altında 9 tip iletken için elektrik alan dağılımı

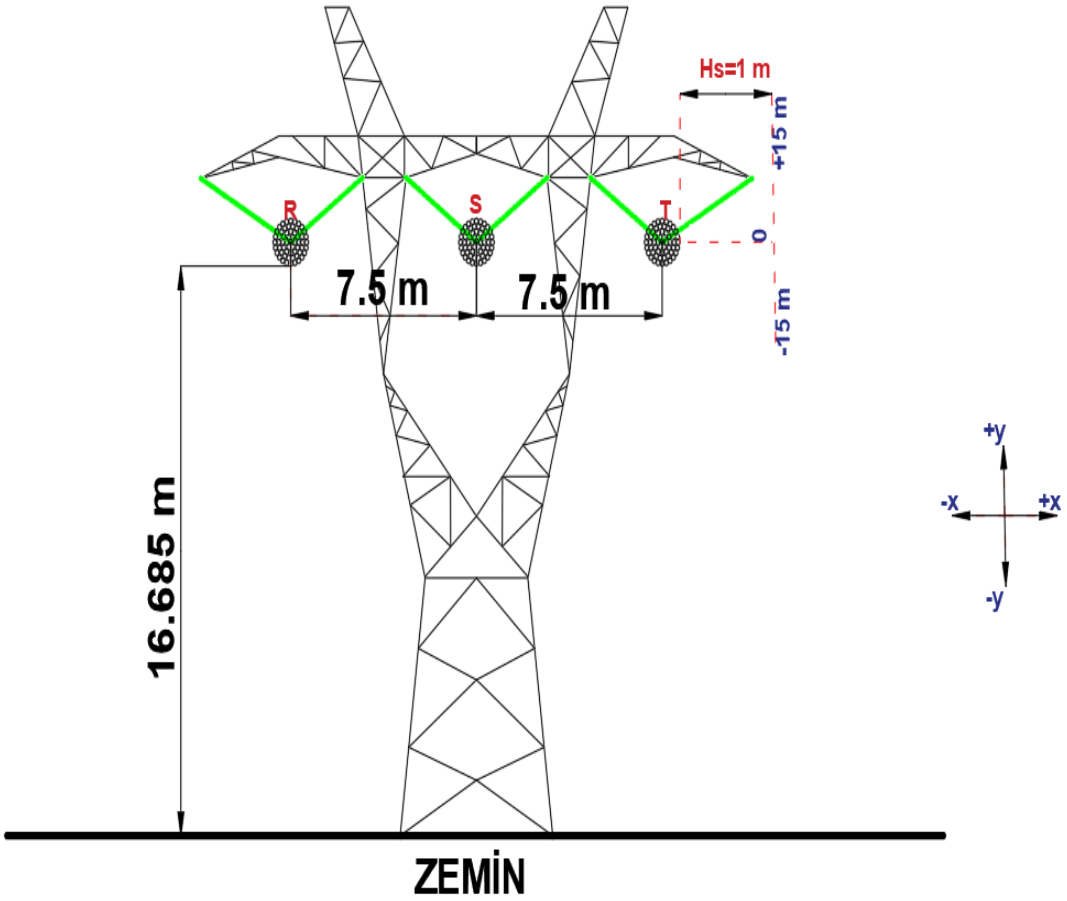
Şekilde görüldüğü üzere, 400 kV gerilim seviyesinde, iletkenlerin 1 m altında elektrik alan büyükleri ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m sınır değerinin yaklaşık 9 katına, mesleki maruziyet için belirlenen 10 kV/m sınır değerin yaklaşık 4,3 katına kadar çıkmaktadır. İletkenlere yaklaştıkça elektrik alanın arttığı görülmektedir. Grafiğin maksimum noktasında iletkenlerin elektrik alan değerleri ve ACSR iletkeni baz alınarak yüzde farkları Tablo 7.23'de verilmiştir.

Tablo 7.23 400 kV gerilim seviyesinde iletkenlerin Ha=1 m altında grafiğin maksimum noktasında iletkenlerin elektrik alan büyüklükleri ve yüzde farkları

İletken	E(kV/m)	Fark(%)
ACSR	43,1436	**--**
ACCC	43,5504	**0,943**
STACIR	43,3183	**0,405**
GTACSR	43,5401	**0,919**
AAAC	43,0881	**-0,129**
AAC	43,1853	**0,097**
ACAR	43,4121	**0,622**
ACCR	43,8179	**1,563**
ACSS	43,2331	**0,207**

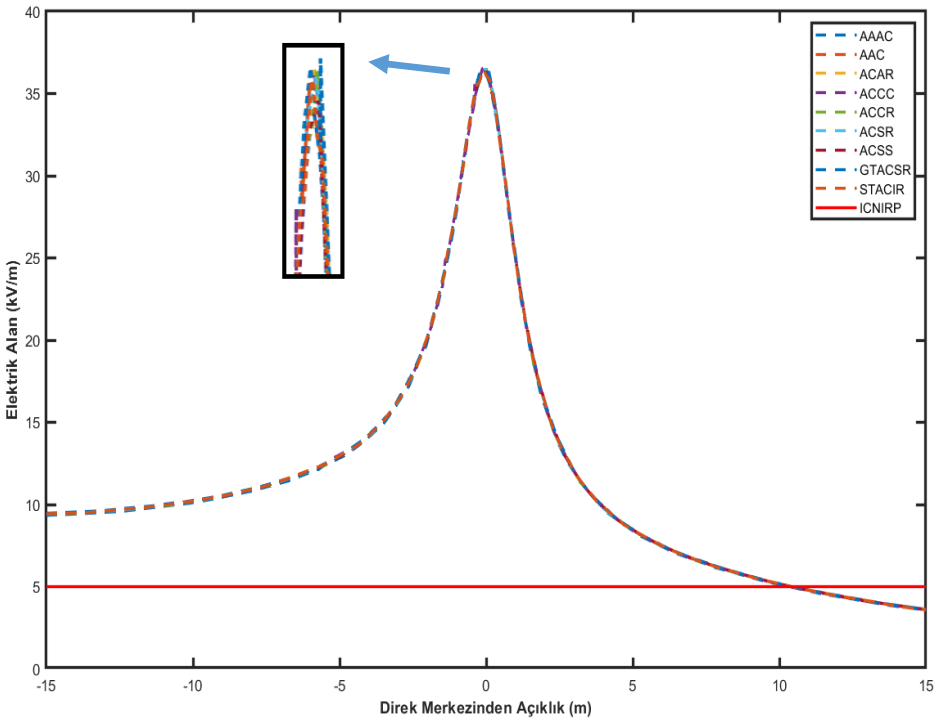
Tablodan da görüldüğü gibi iletkenlerin geometrilerine bağlı olarak elektrik alan büyüklüklerinde az da olsa farklılıklar görülmektedir. 400 kV gerilim seviyesinde, iletkenlerin 1m altında, en iyi elektrik alan performansını AAAC iletkeni gösterirken, en kötü performansı ACCR iletkeni göstermiştir. ACCR iletkeni AAAC'den yaklaşık %1,69 daha yüksek elektrik alan meydana getirmiştir.

9 tip iletkene 400 kV gerilim uygulanarak, Şekil 7.19'da verilen konfigürasyona göre T fazının +x yönünde Hs=1 m mesafede ve -15 m ve +15 m direk açıklığında elektrik alan analizleri yapılmıştır.



Şekil 7.19 400 kV gerilim seviyesinde T fazının +x yönünde Hs=1 m mesafede analiz konfigürasyonu

Bu konfigürasyona göre yapılan analiz sonucunda T fazının +x yönünde Hs=1 m mesafede elektrik alan dağılımı Şekil 7.20'de verilmiştir.



Şekil 7.20 400 kV gerilim seviyesinde T fazının +x yönünde Hs=1 m mesafede 9 tip iletken için elektrik alan dağılımı

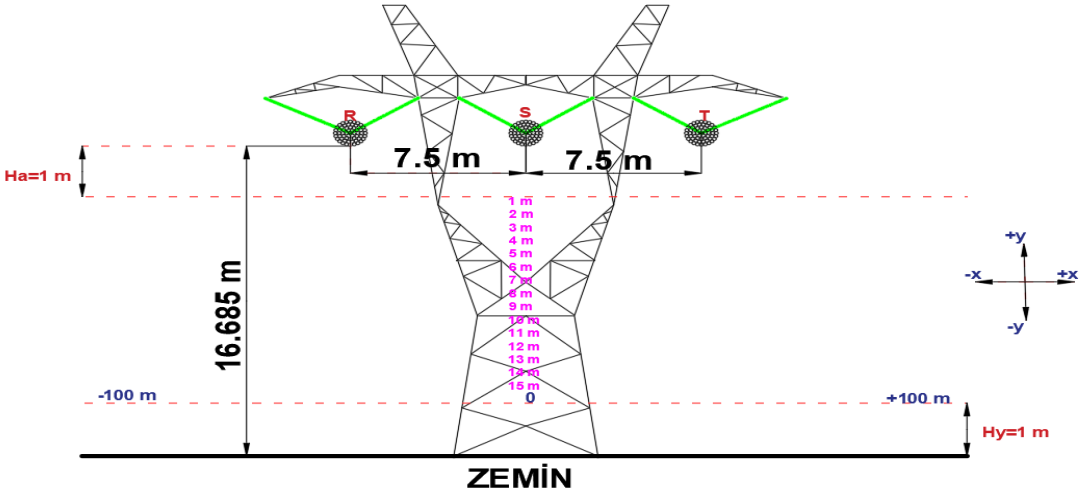
Şekilde görüldüğü üzere T fazının +x yönünde Hs=1 m mesafede elektrik alan büyüklükleri ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m sınır değerin yaklaşık 7 katına, mesleki maruziyet için belirlenen 10 kV/m sınır değerin yaklaşık 3,6 katına eşittir. Grafiğin maksimum noktasında iletkenlerin elektrik alan değerleri ve ACSR iletkeni baz alınarak yüzde farkları Tablo 7.24'de verilmiştir.

Tablo 7.24 400 kV gerilim seviyesinde T fazının +x yönünde Hs=1 m mesafede grafiğin maksimum noktasında iletkenlerin elektrik alan büyüklükleri ve yüzde farkları

İletken	E(kV/m)	Fark(%)
ACSR	36,4044	--
ACCC	36,3912	**-0,036**
STACIR	36,0812	**-0,888**
GTACSR	36,5353	**0,360**
AAAC	36,0998	**-0,837**
AAC	36,4392	**0,096**
ACAR	36,3758	**-0,079**
ACCR	36,4842	**0,219**
ACSS	36,1259	**-0,765**

Tablodan da görüldüğü gibi iletkenlerin geometrilerine bağlı olarak elektrik alan büyüklüklerinde az da olsa farklılıklar görülmektedir. 400 kV gerilim seviyesinde, T fazının +x yönünde Hs=1 m mesafede, en iyi elektrik alan performansını STACIR iletkeni gösterirken, en kötü performansı GTACSR iletkeni göstermiştir. GTACSR iletkeni STACIR'dan yaklaşık %1,25 daha yüksek elektrik alan meydana getirmiştir.

400 kV gerilim seviyesinde ACSR iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.21'e göre, S fazının –y yönünde 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında elektrik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.25'de verilmiştir.



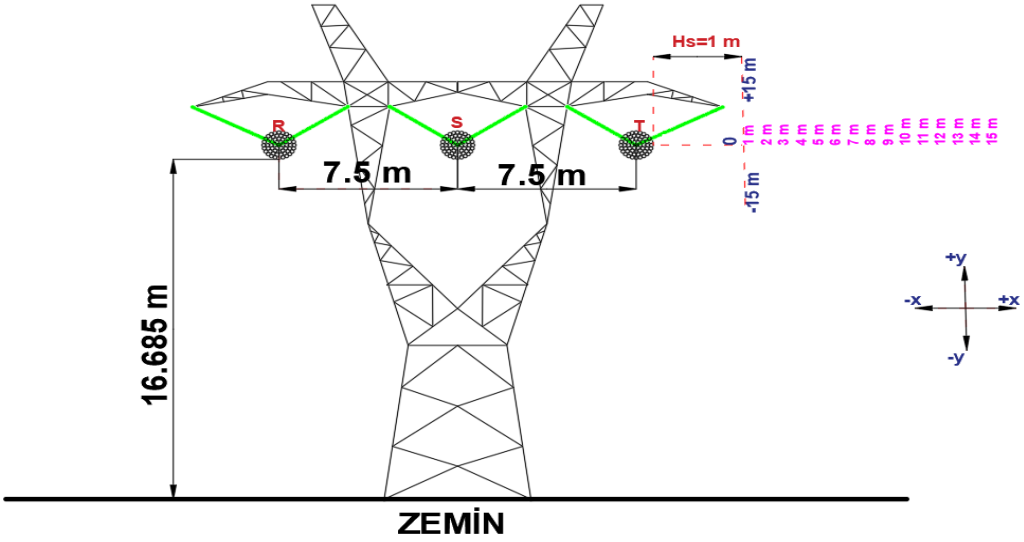
Şekil 7.21 400 kV gerilim seviyesinde ACSR iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.25 400 kV gerilim seviyesinde ACSR iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde elektrik alan değerleri

Mesafe(m)	E(kV/m)
1	43,1436
2	24,9368
3	19,2507
4	16,5965
5	15,1402
6	14,1233
7	13,437
8	12,8443
9	12,3915
10	11,9814
11	11,6814
12	11,4289
13	11,2227
14	11,0685
15	10,9851

İletkenlerden uzaklaştıkça elektrik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta elektrik alan değeri 43,1436 kV/m iken, 15 m mesafede 10,9851 kV/m değerine düşmektedir. Bütün mesafelerdeki elektrik alan büyüklükleri ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m ve mesleki maruziyet için 10 kV/m sınır değerin üzerindedir.

400 kV gerilim seviyesinde ACSR iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.22'e göre, T fazının +x yönünde, 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında elektrik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.26'da verilmiştir.



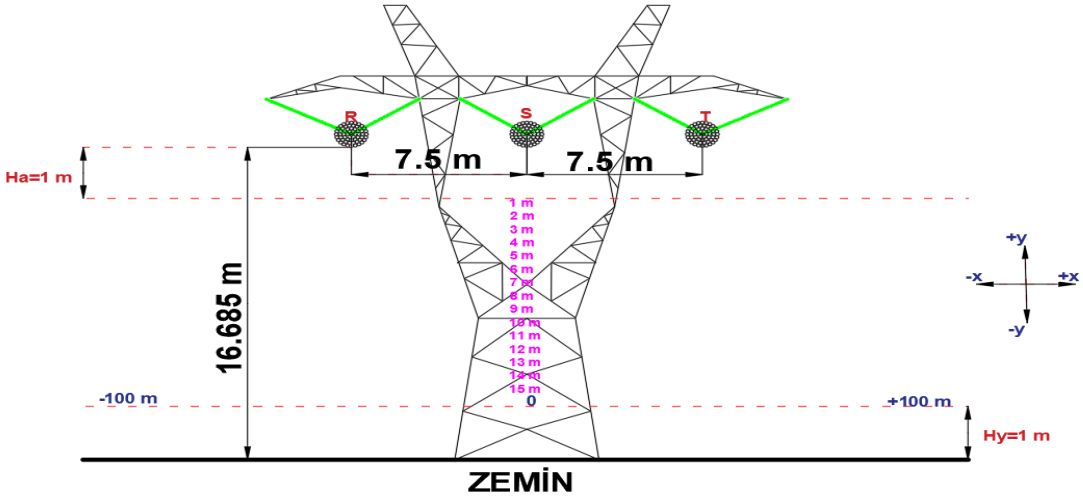
Şekil 7.22 400 kV gerilim seviyesinde ACSR iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.26 400 kV gerilim seviyesinde ACSR iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde elektrik alan değerleri

Mesafe(m)	E(kV/m)
1	36,4044
2	20,7892
3	15,086
4	12,1301
5	10,2647
6	8,9398
7	7,8939
8	7,0922
9	6,3996
10	5,8797
11	5,4395
12	5,0163
13	4,6756
14	4,3404
15	4,0723

İletkenlerden uzaklaştıkça elektrik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta elektrik alan değeri 36,4044 kV/m iken, 15 m mesafede 4,0723 kV/m değerine düşmektedir. Yaklaşık 12 m mesafeden sonra elektrik alan değeri, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m sınır değerinin altına, yaklaşık 5 m mesafeden sonra mesleki maruziyet için belirlenen 10 kV/m sınır değerin altına düşmektedir.

400 kV gerilim seviyesinde ACCC iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.23'e göre, S fazının –y yönünde 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında elektrik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.27'de verilmiştir.



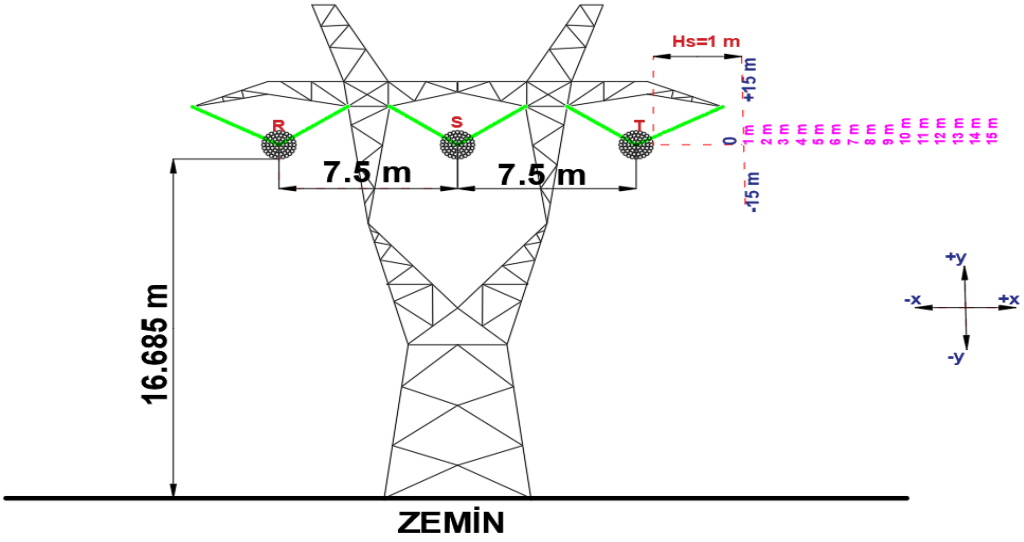
Şekil 7.23 400 kV gerilim seviyesinde ACCC iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.27 400 kV gerilim seviyesinde ACCC iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde elektrik alan değerleri

Mesafe(m)	E(kV/m)
1	43,5504
2	24,7736
3	19,2560
4	16,6645
5	15,1974
6	14,1451
7	13,4409
8	12,8712
9	12,4086
10	11,9953
11	11,6813
12	11,4488
13	11,2602
14	11,1004
15	10,9978

İletkenlerden uzaklaştıkça elektrik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta elektrik alan değeri 43,5504 kV/m iken, 15 m mesafede 10,9978 kV/m değerine düşmektedir. Bütün mesafelerdeki elektrik alan büyüklükleri ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m ve mesleki maruziyet için 10 kV/m sınır değerin üzerindedir.

400 kV gerilim seviyesinde ACCC iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.24'e göre, T fazının +x yönünde, 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında elektrik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.28'da verilmiştir.



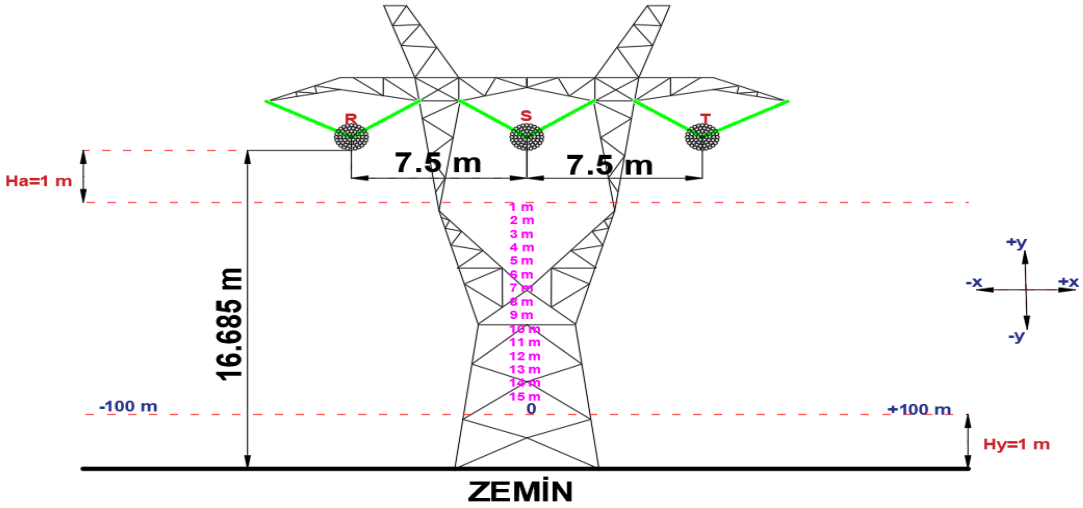
Şekil 7.24 400 kV gerilim seviyesinde ACCC iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.28 400 kV gerilim seviyesinde ACCC iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde elektrik alan değerleri

Mesafe(m)	E(kV/m)
1	36,3912
2	20,7944
3	15,1614
4	12,1757
5	10,2896
6	8,9108
7	7,9073
8	7,0787
9	6,4200
10	5,8970
11	5,3862
12	5,0129
13	4,6625
14	4,3646
15	4,0894

İletkenlerden uzaklaştıkça elektrik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta elektrik alan değeri 36,3912 kV/m iken, 15 m mesafede 4,0894 kV/m değerine düşmektedir. Yaklaşık 12 m mesafeden sonra elektrik alan değeri, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m sınır değerinin altına, yaklaşık 5 m mesafeden sonra mesleki maruziyet için belirlenen 10 kV/m sınır değerin altına düşmektedir.

400 kV gerilim seviyesinde STACIR iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.25'e göre, S fazının –y yönünde 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında elektrik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.29'da verilmiştir.



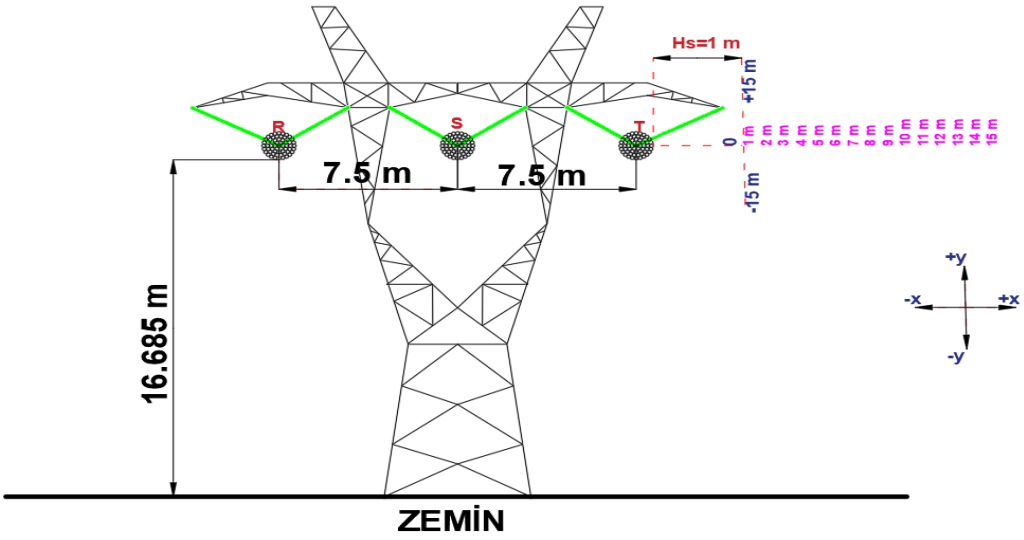
Şekil 7.25 400 kV gerilim seviyesinde STACIR iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.29 400 kV gerilim seviyesinde STACIR iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde elektrik alan değerleri

Mesafe(m)	E(kV/m)
1	43,3183
2	24,9508
3	19,2453
4	16,6337
5	15,1510
6	14,1686
7	13,4170
8	12,8545
9	12,3897
10	11,9957
11	11,6752
12	11,4379
13	11,2204
14	11,0635
15	10,9803

İletkenlerden uzaklaştıkça elektrik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta elektrik alan değeri 43,3183 kV/m iken, 15 m mesafede 10,9803 kV/m değerine düşmektedir. Bütün mesafelerdeki elektrik alan büyüklükleri ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m ve mesleki maruziyet için 10 kV/m sınır değerin üzerindedir.

400 kV gerilim seviyesinde STACIR iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.26'ya göre, T fazının +x yönünde, 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında elektrik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.30'da verilmiştir.



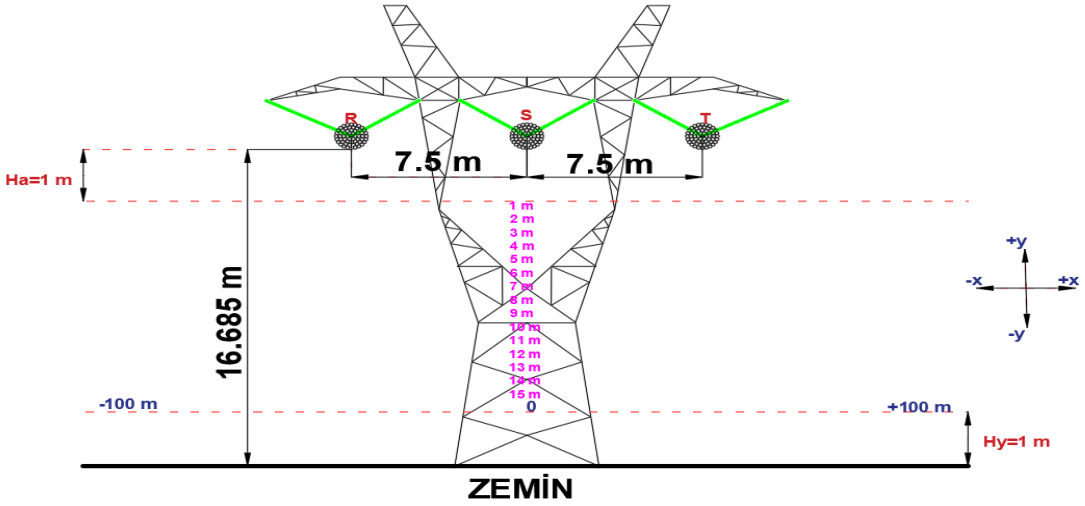
Şekil 7.26 400 kV gerilim seviyesinde STACIR iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.30 400 kV gerilim seviyesinde STACIR iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde elektrik alan değerleri

Mesafe(m)	E(kV/m)
1	36,0812
2	20,6160
3	15,1408
4	12,1112
5	10,2678
6	8,9119
7	7,9102
8	7,0738
9	6,4299
10	5,9079
11	5,4074
12	5,0010
13	4,6642
14	4,3551
15	4,0726

İletkenlerden uzaklaştıkça elektrik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta elektrik alan değeri 36,0812 kV/m iken, 15 m mesafede 4,0726 kV/m değerine düşmektedir. Yaklaşık 12 m mesafeden sonra elektrik alan değeri, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m sınır değerinin altına, yaklaşık 5 m mesafeden sonra mesleki maruziyet için belirlenen 10 kV/m sınır değerin altına düşmektedir.

400 kV gerilim seviyesinde GTACSR iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.27'ye göre, S fazının –y yönünde 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında elektrik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.31'de verilmiştir.



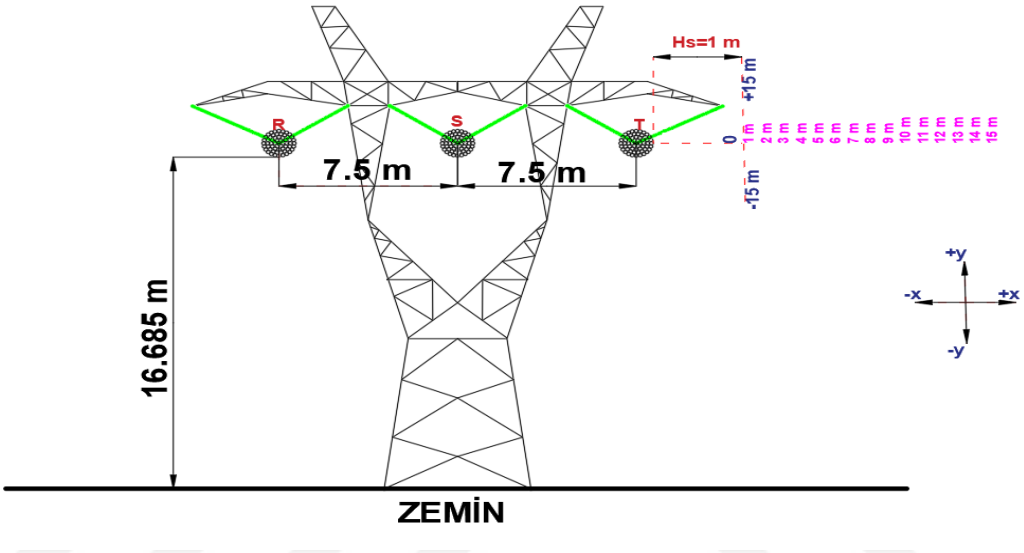
Şekil 7.27 400 kV gerilim seviyesinde GTACSR iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.31 400 kV gerilim seviyesinde GTACSR iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde elektrik alan değerleri

Mesafe(m)	E(kV/m)
1	43,5401
2	25,0385
3	19,3158
4	16,6722
5	15,1962
6	14,1938
7	13,4819
8	12,8992
9	12,4232
10	12,0554
11	11,7161
12	11,4768
13	11,2590
14	11,1014
15	11,0174

İletkenlerden uzaklaştıkça elektrik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta elektrik alan değeri 43,5401 kV/m iken, 15 m mesafede 11,0174 kV/m değerine düşmektedir. Bütün mesafelerdeki elektrik alan büyüklükleri ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m ve mesleki maruziyet için 10 kV/m sınır değerin üzerindedir.

400 kV gerilim seviyesinde GTACSR iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.28'e göre, T fazının +x yönünde, 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında elektrik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.32'de verilmiştir.



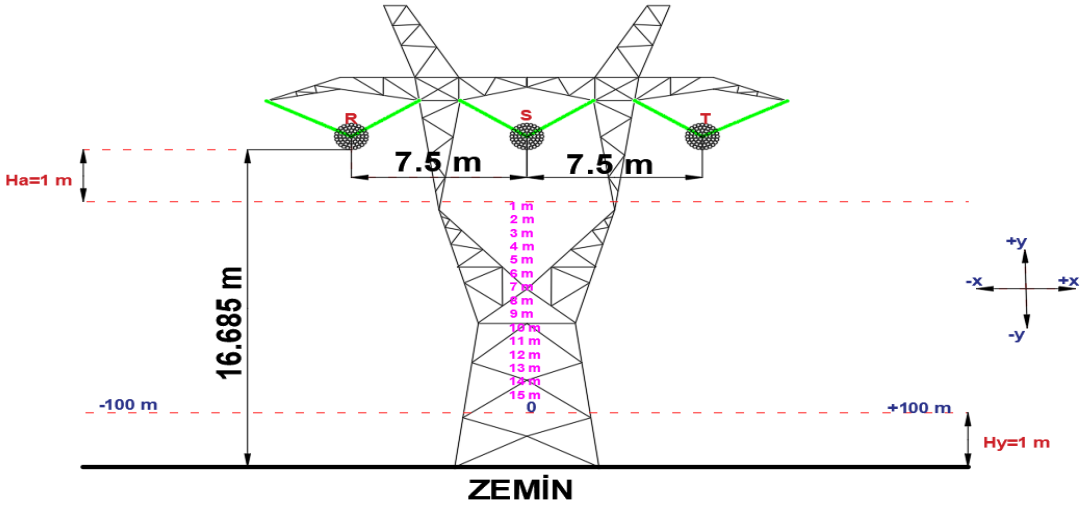
Şekil 7.28 400 kV gerilim seviyesinde GTACSR iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.32 400 kV gerilim seviyesinde GTACSR iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde elektrik alan değerleri

Mesafe(m)	E(kV/m)
1	36,5353
2	20,7969
3	15,1813
4	12,2018
5	10,2951
6	8,9528
7	7,9397
8	7,0992
9	6,4493
10	5,8887
11	5,4430
12	5,0261
13	4,6656
14	4,3379
15	4,0786

İletkenlerden uzaklaştıkça elektrik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta elektrik alan değeri 36,5353 kV/m iken, 15 m mesafede 4,0786 kV/m değerine düşmektedir. Yaklaşık 12 m mesafeden sonra elektrik alan değeri, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m sınır değerinin altına, yaklaşık 5 m mesafeden sonra mesleki maruziyet için belirlenen 10 kV/m sınır değerin altına düşmektedir.

400 kV gerilim seviyesinde AAAC iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.29'a göre, S fazının –y yönünde 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında elektrik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.33'de verilmiştir.



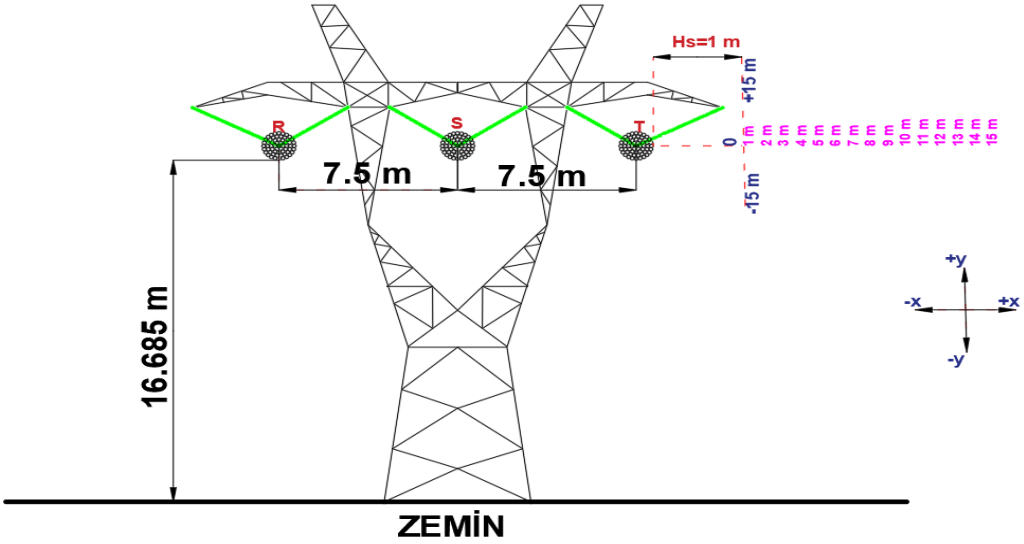
Şekil 7.29 400 kV gerilim seviyesinde AAAC iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.33 400 kV gerilim seviyesinde AAAC iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde elektrik alan değerleri

Mesafe(m)	E(kV/m)
1	43,0881
2	24,7515
3	19,1173
4	16,4980
5	14,9863
6	14,0509
7	13,3268
8	12,7675
9	12,2692
10	11,9101
11	11,5903
12	11,3309
13	11,1338
14	10,9892
15	10,8779

İletkenlerden uzaklaştıkça elektrik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta elektrik alan değeri 43,0881 kV/m iken, 15 m mesafede 10,8779 kV/m değerine düşmektedir. Bütün mesafelerdeki elektrik alan büyüklükleri ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m ve mesleki maruziyet için 10 kV/m sınır değerin üzerindedir.

400 kV gerilim seviyesinde AAAC iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.30'a göre, T fazının +x yönünde, 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında elektrik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.34'de verilmiştir.



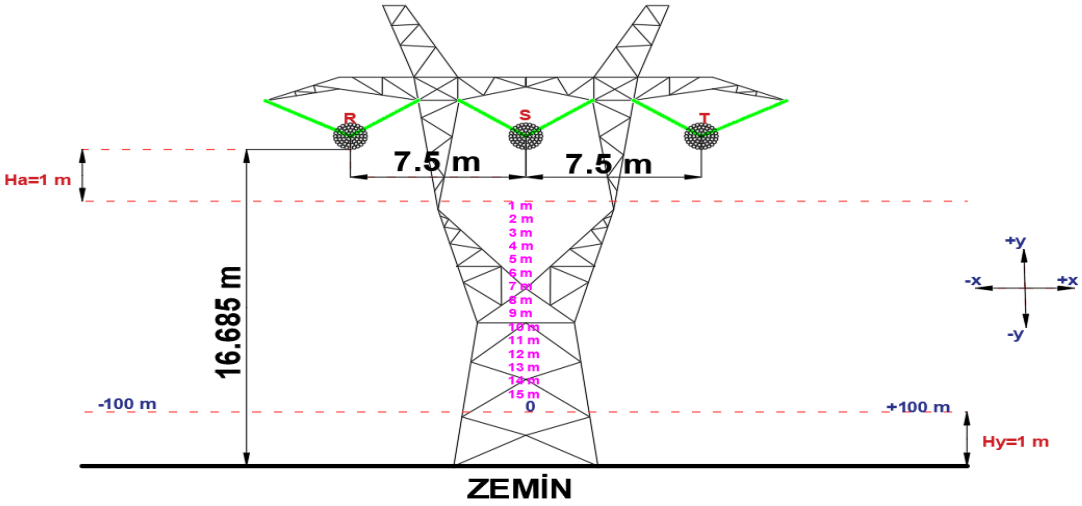
Şekil 7.30 400 kV gerilim seviyesinde AAAC iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.34 400 kV gerilim seviyesinde AAAC iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde elektrik alan değerleri

Mesafe(m)	E(kV/m)
1	36,0998
2	20,5435
3	15,0822
4	12,0836
5	10,1938
6	8,8784
7	7,8401
8	7,0449
9	6,3725
10	5,8428
11	5,3741
12	4,9582
13	4,6132
14	4,3005
15	4,0332

İletkenlerden uzaklaştıkça elektrik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta elektrik alan değeri 36,0998 kV/m iken, 15 m mesafede 4,0332 kV/m değerine düşmektedir. Yaklaşık 12 m mesafeden sonra elektrik alan değeri, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m sınır değerinin altına, yaklaşık 5 m mesafeden sonra mesleki maruziyet için belirlenen 10 kV/m sınır değerin altına düşmektedir.

400 kV gerilim seviyesinde AAC iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.31'e göre, S fazının -y yönünde 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında elektrik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.35'de verilmiştir.



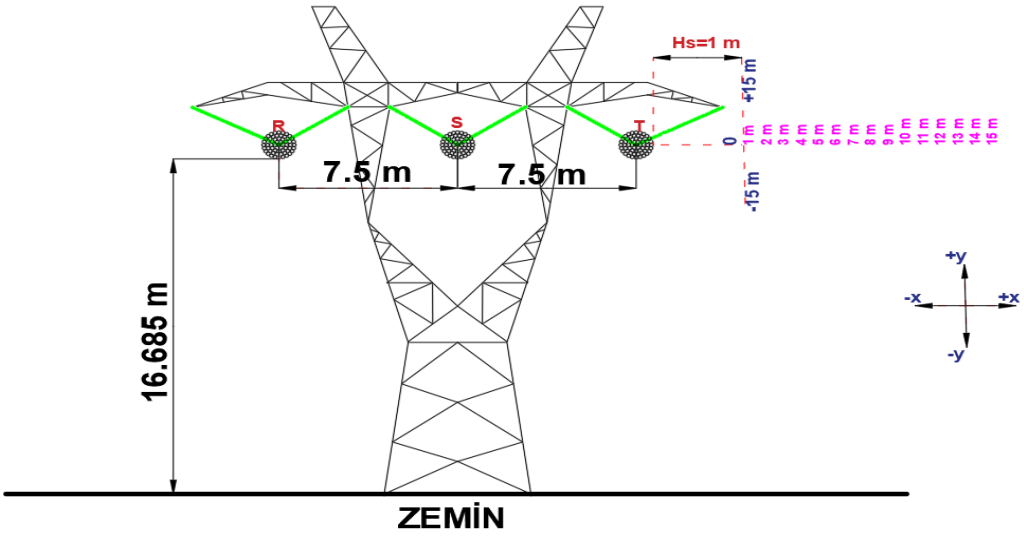
Şekil 7.31 400 kV gerilim seviyesinde AAC iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.35 400 kV gerilim seviyesinde AAC iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde elektrik alan değerleri

Mesafe(m)	E(kV/m)
1	43,1853
2	24,9784
3	19,2851
4	16,6695
5	15,1872
6	14,1841
7	13,4514
8	12,8771
9	12,4089
10	12,0074
11	11,6927
12	11,4406
13	11,2397
14	11,0761
15	10,9975

İletkenlerden uzaklaştıkça elektrik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta elektrik alan değeri 43,1853 kV/m iken, 15 m mesafede 10,9975 kV/m değerine düşmektedir. Bütün mesafelerdeki elektrik alan büyüklükleri ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m ve mesleki maruziyet için 10 kV/m sınır değerin üzerindedir.

400 kV gerilim seviyesinde AAC iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.32'ye göre, T fazının +x yönünde, 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında elektrik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.36'da verilmiştir.



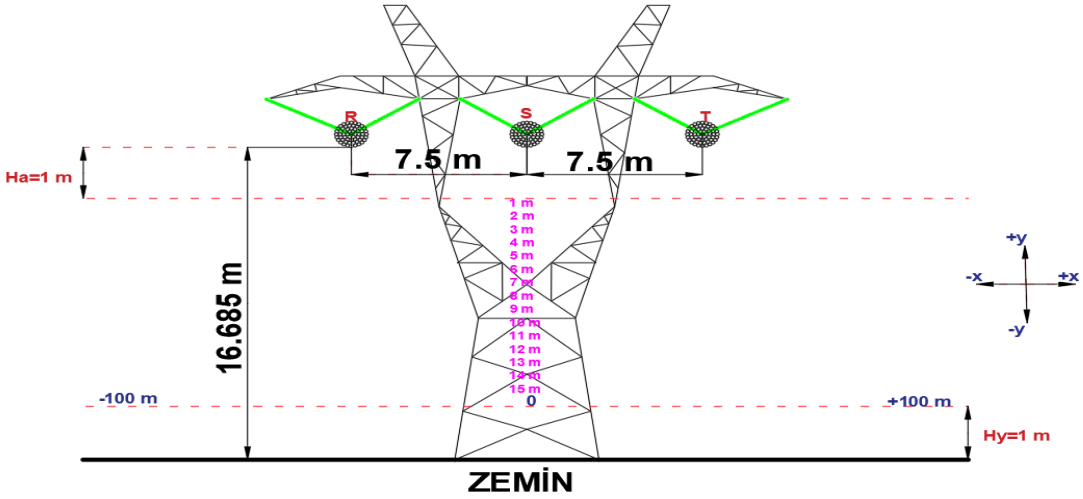
Şekil 7.32 400 kV gerilim seviyesinde AAC iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.36 400 kV gerilim seviyesinde AAC iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde elektrik alan değerleri

Mesafe(m)	E(kV/m)
1	36,4392
2	20,7251
3	15,1655
4	12,1253
5	10,3040
6	8,9349
7	7,8996
8	7,0976
9	6,4407
10	5,8923
11	5,4047
12	5,0223
13	4,6593
14	4,3370
15	4,0716

İletkenlerden uzaklaştıkça elektrik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta elektrik alan değeri 36,4392 kV/m iken, 15 m mesafede 4,0716 kV/m değerine düşmektedir. Yaklaşık 12 m mesafeden sonra elektrik alan değeri, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m sınır değerinin altına, yaklaşık 5 m mesafeden sonra mesleki maruziyet için belirlenen 10 kV/m sınır değerin altına düşmektedir.

400 kV gerilim seviyesinde ACAR iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.33'e göre, S fazının -y yönünde 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında elektrik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.37'de verilmiştir.



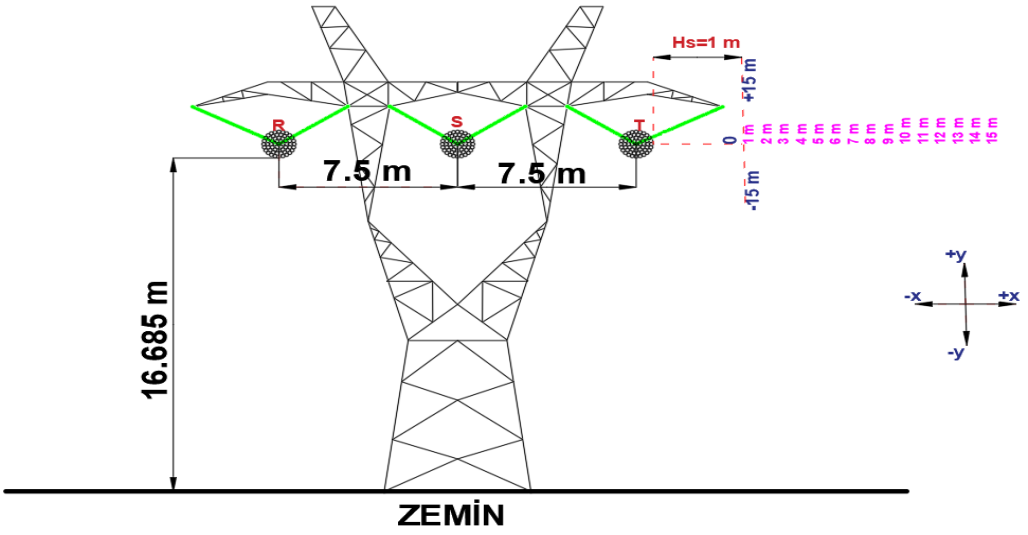
Şekil 7.33 400 kV gerilim seviyesinde ACAR iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.37 400 kV gerilim seviyesinde ACAR iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde elektrik alan değerleri

Mesafe(m)	E(kV/m)
1	43,4121
2	24,9638
3	19,1984
4	16,6809
5	15,1616
6	14,1852
7	13,4542
8	12,8690
9	12,3805
10	12,0134
11	11,6933
12	11,4274
13	11,2407
14	11,0652
15	10,9923

İletkenlerden uzaklaştıkça elektrik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta elektrik alan değeri 43,4121 kV/m iken, 15 m mesafede 10,9923 kV/m değerine düşmektedir. Bütün mesafelerdeki elektrik alan büyüklükleri ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m ve mesleki maruziyet için 10 kV/m sınır değerin üzerindedir.

400 kV gerilim seviyesinde ACAR iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.34'e göre, T fazının +x yönünde, 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında elektrik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.38'de verilmiştir.



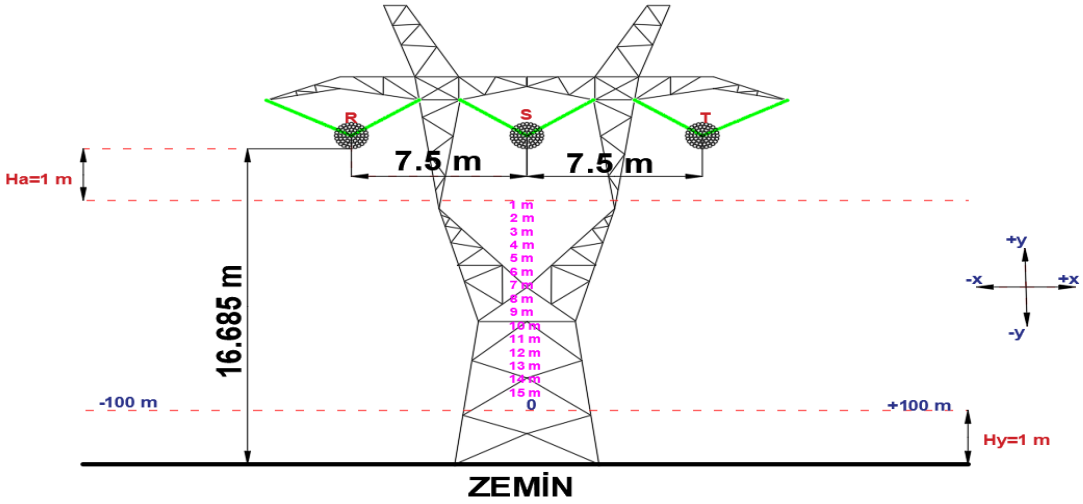
Şekil 7.34 400 kV gerilim seviyesinde ACAR iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.38 400 kV gerilim seviyesinde ACAR iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde elektrik alan değerleri

Mesafe(m)	E(kV/m)
1	36,3758
2	20,7638
3	15,1613
4	12,1616
5	10,2639
6	8,8976
7	7,9477
8	7,1047
9	6,4384
10	5,8658
11	5,4210
12	5,0132
13	4,6841
14	4,3503
15	4,0600

İletkenlerden uzaklaştıkça elektrik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta elektrik alan değeri 36,3758 kV/m iken, 15 m mesafede 4,0600 kV/m değerine düşmektedir. Yaklaşık 12 m mesafeden sonra elektrik alan değeri, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m sınır değerinin altına, yaklaşık 5 m mesafeden sonra mesleki maruziyet için belirlenen 10 kV/m sınır değerin altına düşmektedir.

400 kV gerilim seviyesinde ACCR iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.35'e göre, S fazının -y yönünde 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında elektrik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.39'da verilmiştir.



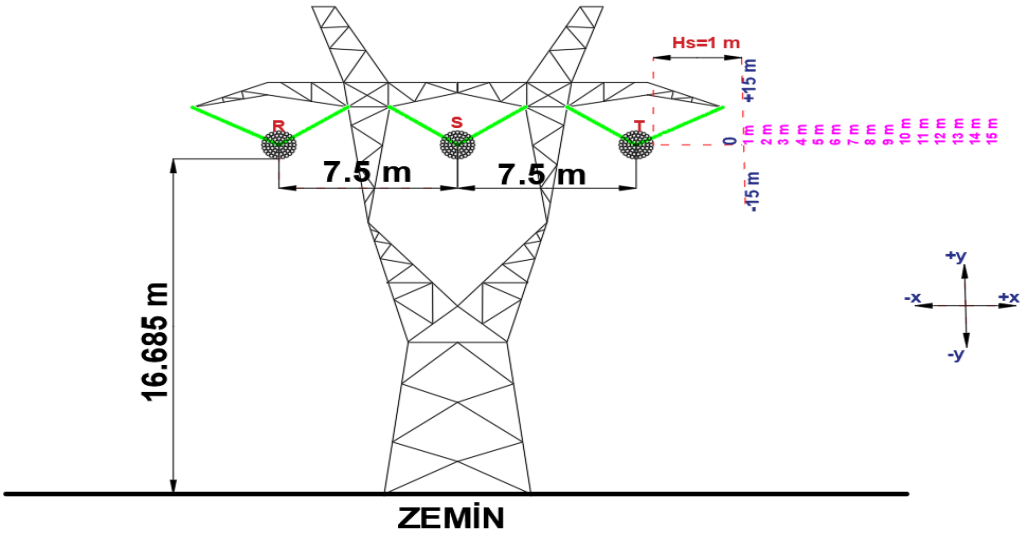
Şekil 7.35 400 kV gerilim seviyesinde ACCR iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.39 400 kV gerilim seviyesinde ACCR iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde elektrik alan değerleri

Mesafe(m)	E(kV/m)
1	43,8179
2	25,0505
3	19,2438
4	16,7009
5	15,1730
6	14,1695
7	13,4027
8	12,8809
9	12,4085
10	12,0311
11	11,6538
12	11,4224
13	11,2489
14	11,0683
15	10,9935

İletkenlerden uzaklaştıkça elektrik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta elektrik alan değeri 43,8179 kV/m iken, 15 m mesafede 10,9935 kV/m değerine düşmektedir. Bütün mesafelerdeki elektrik alan büyüklükleri ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m ve mesleki maruziyet için 10 kV/m sınır değerin üzerindedir.

400 kV gerilim seviyesinde ACCR iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.36'ya göre, T fazının +x yönünde, 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında elektrik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.40'da verilmiştir.



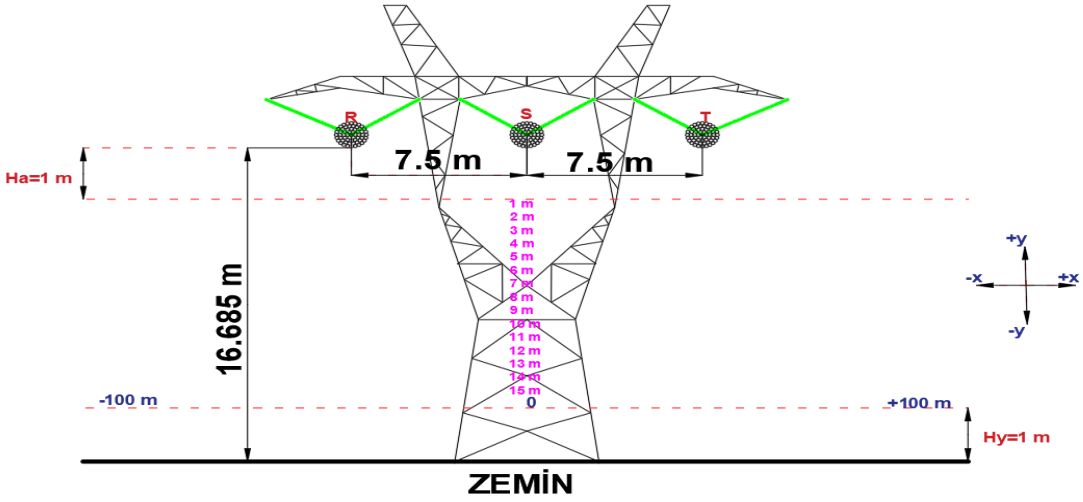
Şekil 7.36 400 kV gerilim seviyesinde ACCR iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.40 400 kV gerilim seviyesinde ACCR iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde elektrik alan değerleri

Mesafe(m)	E(kV/m)
1	36,4842
2	20,6392
3	15,1284
4	12,2000
5	10,2838
6	8,9093
7	7,9057
8	7,0838
9	6,4420
10	5,8775
11	5,4295
12	4,9945
13	4,6686
14	4,3797
15	4,0673

İletkenlerden uzaklaştıkça elektrik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta elektrik alan değeri 36,4842 kV/m iken, 15 m mesafede 4,0673 kV/m değerine düşmektedir. Yaklaşık 12 m mesafeden sonra elektrik alan değeri, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m sınır değerinin altına, yaklaşık 5 m mesafeden sonra mesleki maruziyet için belirlenen 10 kV/m sınır değerin altına düşmektedir.

400 kV gerilim seviyesinde ACSS iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.37'ye göre, S fazının -y yönünde 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında elektrik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.41'de verilmiştir.



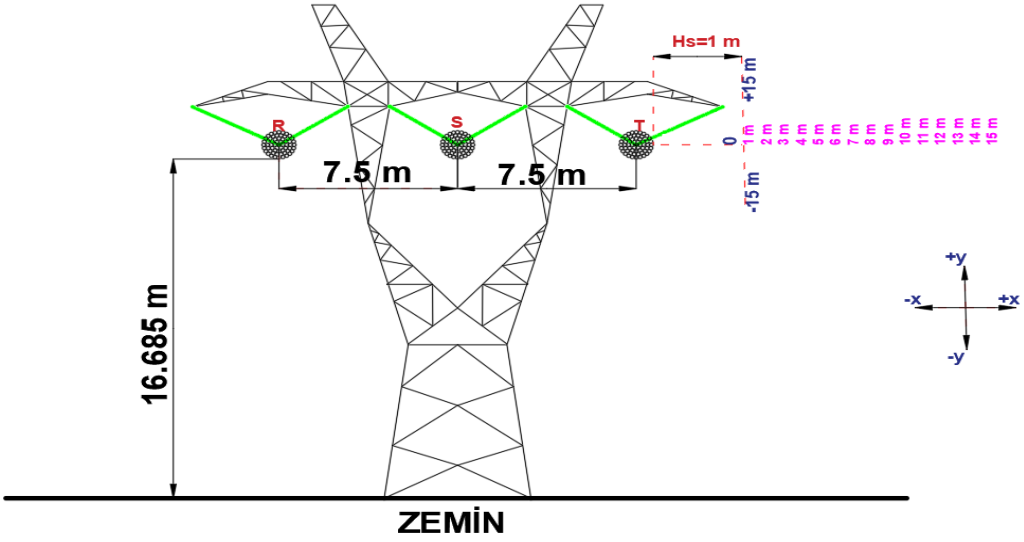
Şekil 7.37 400 kV gerilim seviyesinde ACSS iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.41 400 kV gerilim seviyesinde ACSS iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde elektrik alan değerleri

Mesafe(m)	E(kV/m)
1	43,2331
2	24,8071
3	19,2710
4	16,6354
5	15,1739
6	14,1467
7	13,4310
8	12,8542
9	12,3907
10	11,9871
11	11,6816
12	11,4044
13	11,2317
14	11,0345
15	10,9824

İletkenlerden uzaklaştıkça elektrik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta elektrik alan değeri 43,2331 kV/m iken, 15 m mesafede 10,9824 kV/m değerine düşmektedir. Bütün mesafelerdeki elektrik alan büyüklükleri ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m ve mesleki maruziyet için 10 kV/m sınır değerin üzerindedir.

400 kV gerilim seviyesinde ACSS iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.38'e göre, T fazının +x yönünde, 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında elektrik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.42'de verilmiştir.



Şekil 7.38 400 kV gerilim seviyesinde ACSS iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.42 400 kV gerilim seviyesinde ACSS iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde elektrik alan değerleri

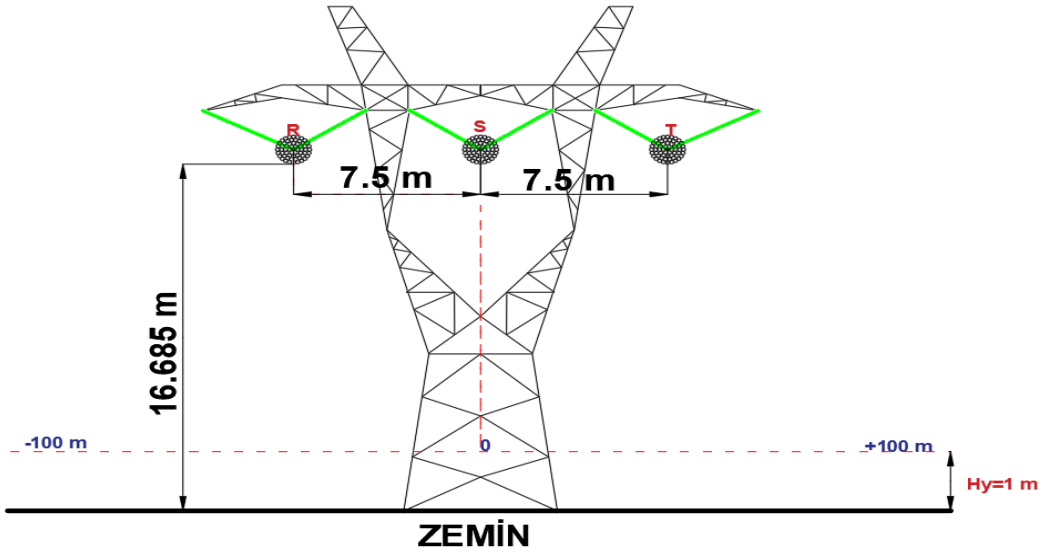
Mesafe(m)	E(kV/m)
1	36,1259
2	20,6940
3	15,1270
4	12,1307
5	10,2633
6	8,8892
7	7,8942
8	7,0852
9	6,4349
10	5,8809
11	5,4163
12	4,9989
13	4,6541
14	4,3428
15	4,0685

İletkenlerden uzaklaştıkça elektrik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta elektrik alan değeri 36,1259 kV/m iken, 15 m mesafede 4,0685 kV/m değerine düşmektedir. Yaklaşık 12 m mesafeden sonra elektrik alan değeri, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m sınır değerinin altına, yaklaşık 5 m mesafeden sonra mesleki maruziyet için belirlenen 10 kV/m sınır değerin altına düşmektedir.

Bu sonuçlara bakıldığında, 400 kV gerilim seviyesinde, yerden 1 m yüksekte, incelenen konfigürasyona göre ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m ve mesleki maruziyet için 10 kV/m sınır değerleri aşılmaktadır. Bu nedenle, yerden 1 m yüksekte halk için belirlenen 5 kV/m sınır değerin aşılmasını engellemek için direk boyu yaklaşık 32,985 m'ye yükseltilmelidir. Direk boyu yükseltilemiyorsa, iletim hatları yakınında yapılaşmaya müsade edilmemelidir. Aynı zamanda çalışan personellerinde iletim hatlarına yaklaşmasına izin verilmemelidir. T fazının +x yönünde, yaklaşık 12 m mesafeden sonra elektrik alan halk için belirlenen 5 kV/m sınır değerinin altına düştüğünden dolayı, bu mesafeden sonra yapılaşmaya izin verilebilir. Yaklaşık 5 m mesafeden sonra elektrik alan mesleki maruziyet için belirlenen 10 kV/m sınır değerin altına düştüğünden, bu mesafeye kadar çalışanlar yaklaşabilir.

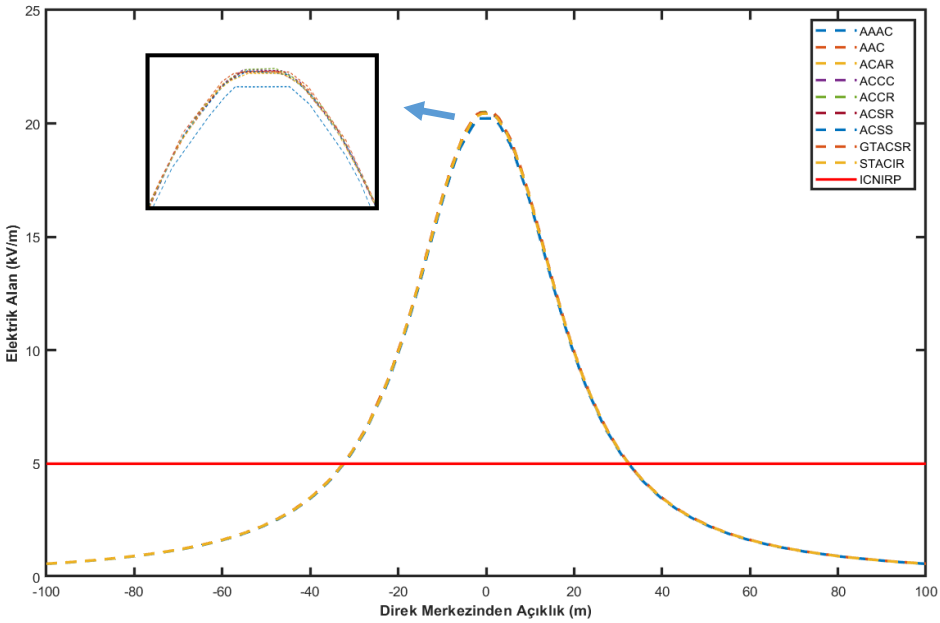
7.2.1.2 750 kV Gerilim Seviyesi İçin Elektrik Alan Analizleri

9 tip iletkene 750 kV gerilim uygulanarak Şekil 7.39'da verilen konfigürasyona göre zeminden Hy=1 m yüksekte ve -100 m ve +100 m direk açıklığında elektrik alan analizleri yapılmıştır.



Şekil 7.39 750 kV gerilim seviyesinde zeminden Hy=1 m yüksekte analiz konfigürasyonu

Bu analiz sonucunda zeminden Hy=1 m yüksekte iletkenlerin oluşturduğu elektrik alan dağılımı Şekil 7.40'da verilmiştir.



Şekil 7.40 750 kV gerilim seviyesinde zeminden Hy=1 m yüksekte 9 tip iletken için elektrik alan dağılımı

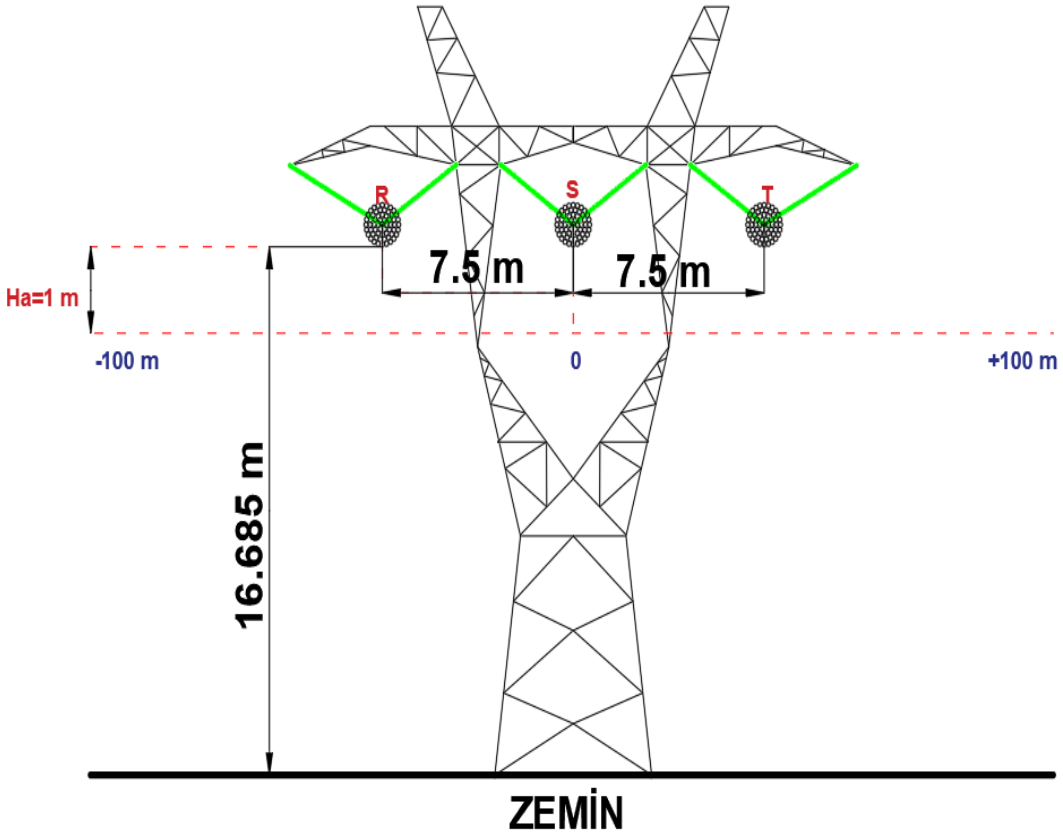
Şekilde görüldüğü üzere, 750 kV gerilim seviyesinde, yerden 1 m yüksekte, tüm iletkenlerin elektrik alan dağılımları ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m ve mesleki maruziyet için 10 kV/m sınır değeri aşmaktadır. Ayrıca iletkenlere yaklaştıkça elektrik alanın büyüklüğü artış göstermiştir. Grafiğin maksimum noktasında iletkenlerin elektrik alan değerleri ve ACSR iletkeni baz alınarak yüzde farkları Tablo 7.43'de verilmiştir.

Tablo 7.43 750 kV gerilim seviyesinde zeminden Hy=1 m yüksekte grafiğin maksimum noktasında iletkenlerin elektrik alan büyüklükleri ve yüzde farkları

İletken	E(kV/m)	Fark(%)
ACSR	20,4843	**--**
ACCC	20,489	**0,023**
STACIR	20,4836	**-0,003**
GTACSR	20,5457	**0,300**
AAAC	20,3172	**-0,816**
AAC	20,5172	**0.161**
ACAR	20,5056	**0,104**
ACCR	20,5076	**0,114**
ACSS	20,4772	**-0,035**

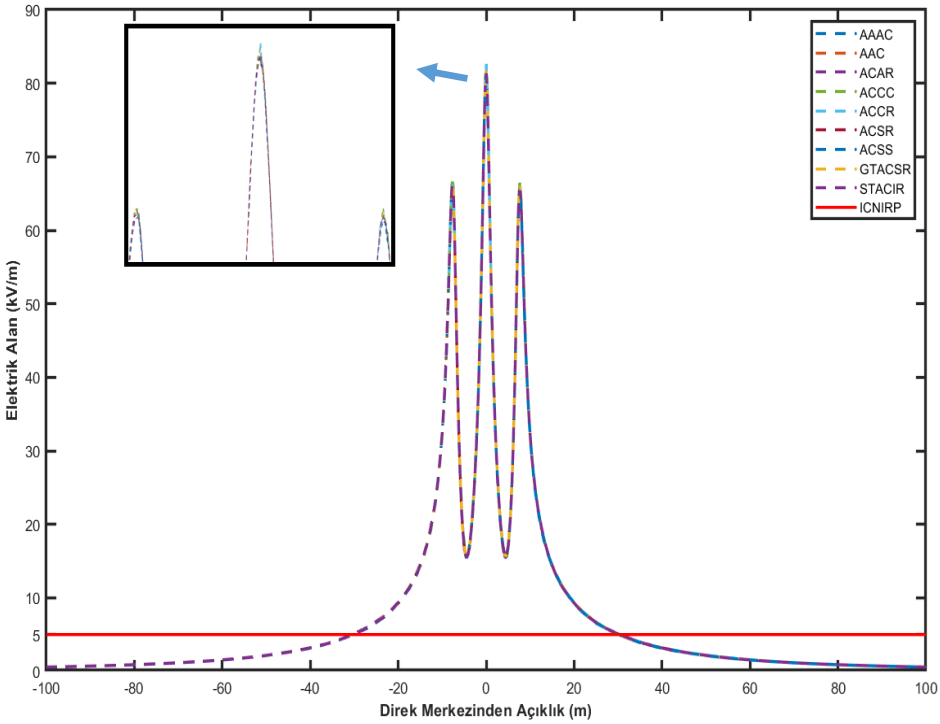
Tablodan da görüldüğü gibi iletkenlerin geometrilerine bağlı olarak elektrik alan büyüklüklerinde az da olsa farklılıklar görülmektedir. 750 kV gerilim seviyesinde, yerden 1 m yüksekte, en iyi elektrik alan performansını AAAC iletkeni gösterirken, en kötü performansı GTACSR iletkeni göstermiştir. GTACSR, AAAC'den yaklaşık %1,12 daha fazla elektrik alan meydana getirmiştir.

9 tip iletkene 750 kV gerilim uygulanarak, Şekil 7.41'de verilen konfigürasyona göre iletkenlerin Ha=1 m altında ve -100 m ve +100 m direk açıklığında elektrik alan analizleri yapılmıştır.



Şekil 7.41 750 kV gerilim seviyesinde iletkenlerin Ha=1 m altında analiz konfigürasyonu

Bu konfigürasyona göre yapılan analiz sonucunda iletkenin Ha=1 m altında elektrik alan dağılımı Şekil 7.42'de verilmiştir.



Şekil 7.42 750 kV gerilim seviyesinde iletkenlerin Ha= 1 m altında 9 tip iletken için elektrik alan dağılımı

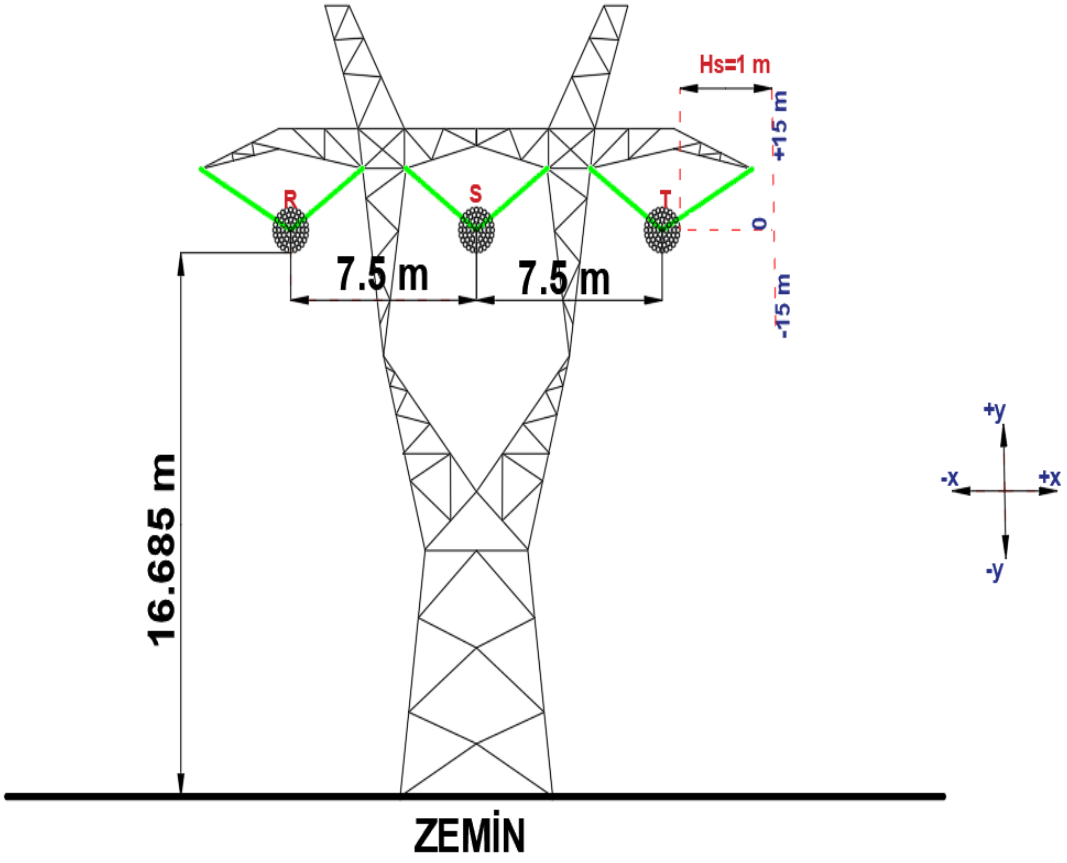
Şekilde görüldüğü üzere, 750 kV gerilim seviyesinde, iletkenlerin 1 m altında elektrik alan büyükleri maksimum noktada, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m sınır değerinin yaklaşık 16 katına, mesleki maruziyet için belirlenen 10 kV/m sınır değerin yaklaşık 8 katına çıkmaktadır. İletkenlere yaklaştıkça elektrik alanın arttığı görülmektedir. Grafiğin maksimum noktasında iletkenlerin elektrik alan değerleri ve ACSR iletkeni baz alınarak yüzde farkları Tablo 7.44'de verilmiştir.

Tablo 7.44 750 kV gerilim seviyesinde iletkenlerin Ha=1 m altında grafiğin maksimum noktasında iletkenlerin elektrik alan büyüklükleri ve yüzde farkları

İletken	E(kV/m)	Fark(%)
ACSR	80,8942	**--**
ACCC	81,657	**0,943**
STACIR	81,2219	**0,405**
GTACSR	81,6377	**0,919**
AAAC	80,7902	**-0,129**
AAC	80,9724	**0,097**
ACAR	81,3978	**0,623**
ACCR	82,1586	**1,563**
ACSS	81,062	**0,207**

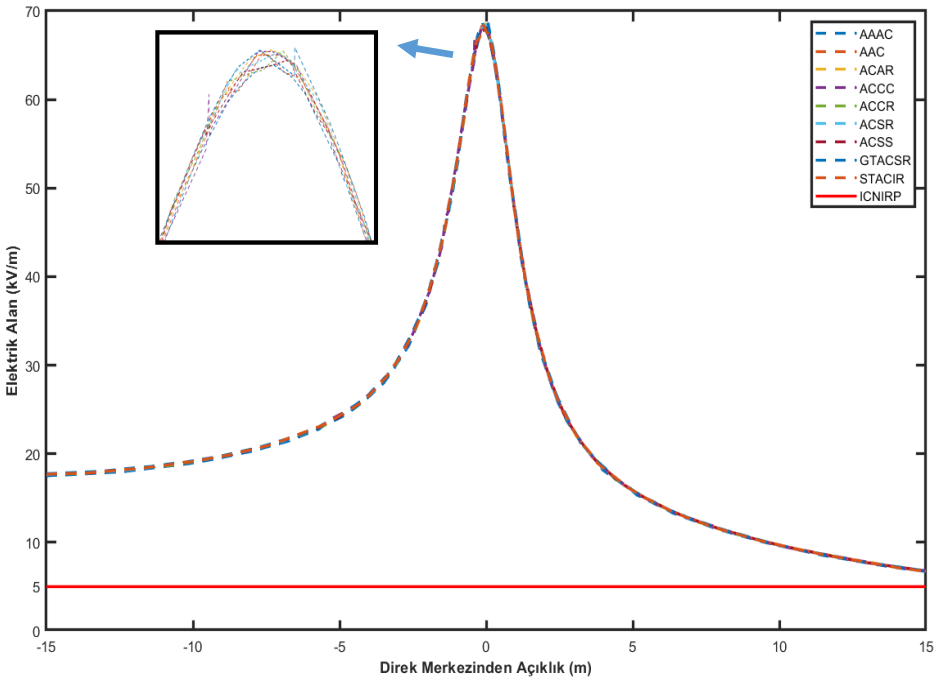
Tablodan da görüldüğü gibi iletkenlerin geometrilerine bağlı olarak elektrik alan büyüklüklerinde az da olsa farklılıklar görülmektedir. 750 kV gerilim seviyesinde, iletkenlerin 1m altında, en iyi elektrik alan performansını AAAC iletkeni gösterirken, en kötü performansı ACCR iletkeni göstermiştir. ACCR, AAAC'den yaklaşık %1,69 daha yüksek elektrik alan meydana getirmiştir.

9 tip iletkene 750 kV gerilim uygulanarak, Şekil 7.43'de verilen konfigürasyona göre T fazının +x yönünde Hs=1 m mesafede ve -15 m ve +15 m direk açıklığında elektrik alan analizleri yapılmıştır.



Şekil 7.43 750 kV gerilim seviyesinde T fazının +x yönünde Hs=1 m mesafede analiz konfigürasyonu

Bu konfigürasyona göre yapılan analiz sonucunda T fazının +x yönünde Hs=1 m mesafede elektrik alan dağılımı Şekil 7.44'de verilmiştir.



Şekil 7.44 750 kV gerilim seviyesinde T fazının +x yönünde Hs=1 m mesafade 9 tip iletken için elektrik alan dağılımı

Şekilde görüldüğü üzere T fazının +x yönünde, Hs=1 m mesafede, maksimum noktada elektrik alan büyüklükleri ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m sınır değerinin yaklaşık 13 katına, mesleki maruziyet için belirlenen 10 kV/m sınır değerin yaklaşık 6,8 katına çıkmaktadır. Grafiğin maksimum noktasında iletkenlerin elektrik alan değerleri ve ACSR iletkeni baz alınarak yüzde farkları Tablo 7.45'de verilmiştir.

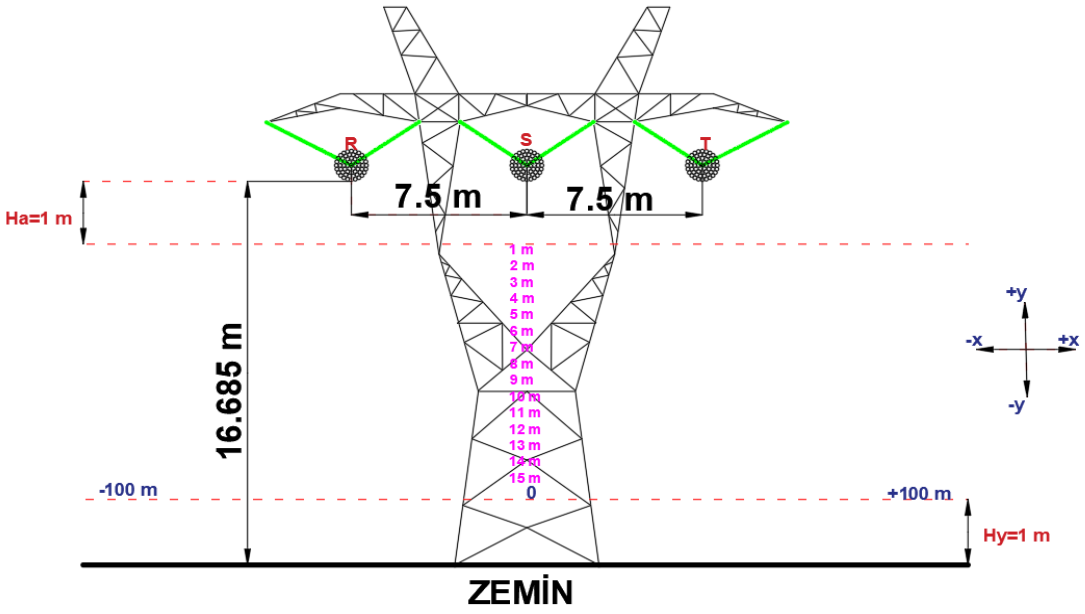
Tablo 7.45 750 kV gerilim seviyesinde T fazının +x yönünde Hs=1 m mesafede grafiğin maksimum noktasında iletkenlerin elektrik alan büyüklükleri ve yüzde farkları

İletken	E(kV/m)	Fark(%)
ACSR	68,2582	**--**
ACCC	68,2336	**-0,036**
STACIR	67,6522	**-0,888**
GTACSR	68,5036	**0,360**
AAAC	67,6871	**-0,837**
AAC	68,3235	**0,096**
ACAR	68,2047	**-0,078**
ACCR	68,4079	**0,219**
ACSS	67,7361	**-0,765**

Tablodan da görüldüğü gibi iletkenlerin geometrilerine bağlı olarak elektrik alan büyüklüklerinde az da olsa farklılıklar görülmektedir. 750 kV gerilim seviyesinde, T

fazının +x yönünde Hs=1 m mesafede, en iyi elektrik alan performansını STACIR iletkeni gösterirken, en kötü performansı GTACSR iletkeni göstermiştir. GTACSR, STACIR'dan yaklaşık %1,25 daha fazla elektrik alan meydana getirmiştir.

750 kV gerilim seviyesinde ACSR iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.45'e göre, S fazının -y yönünde 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında elektrik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.46'da verilmiştir.



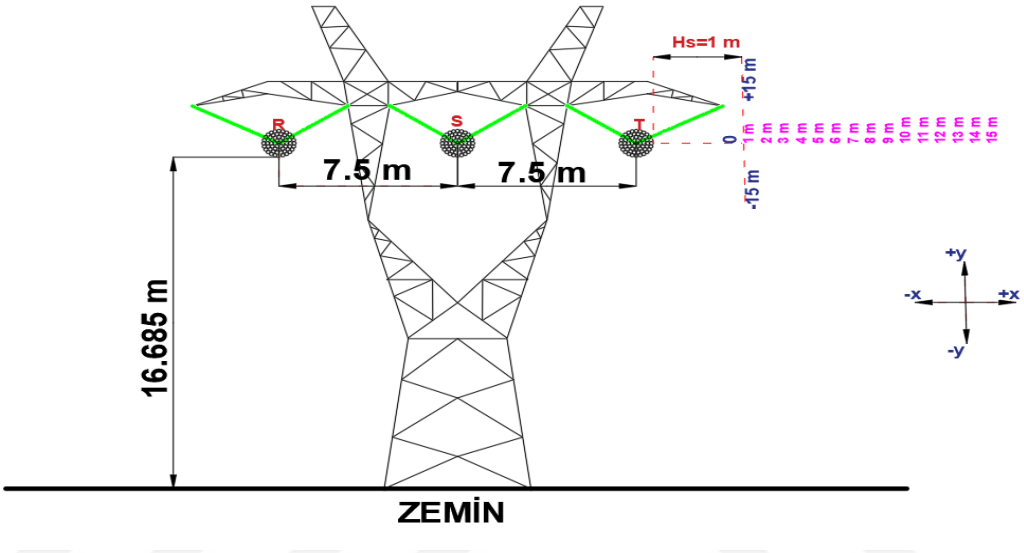
Şekil 7.45 750 kV gerilim seviyesinde ACSR iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.46 750 kV gerilim seviyesinde ACSR iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde elektrik alan değerleri

Mesafe(m)	E(kV/m)
1	80,8942
2	46,7564
3	36,0951
4	31,1184
5	28,3879
6	26,4811
7	25,1943
8	24,0830
9	23,2341
10	22,4651
11	21,9025
12	21,4293
13	21,0426
14	20,7535
15	20,5971

İletkenlerden uzaklaştıkça elektrik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta elektrik alan değeri 80,8942 kV/m iken, 15 m mesafede 20,5971 kV/m değerine düşmektedir. Bütün mesafelerdeki elektrik alan büyüklükleri ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m ve mesleki maruziyet için 10 kV/m sınır değerin üzerindedir.

750 kV gerilim seviyesinde ACSR iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.46'ya göre, T fazının +x yönünde, 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında elektrik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.47'de verilmiştir.



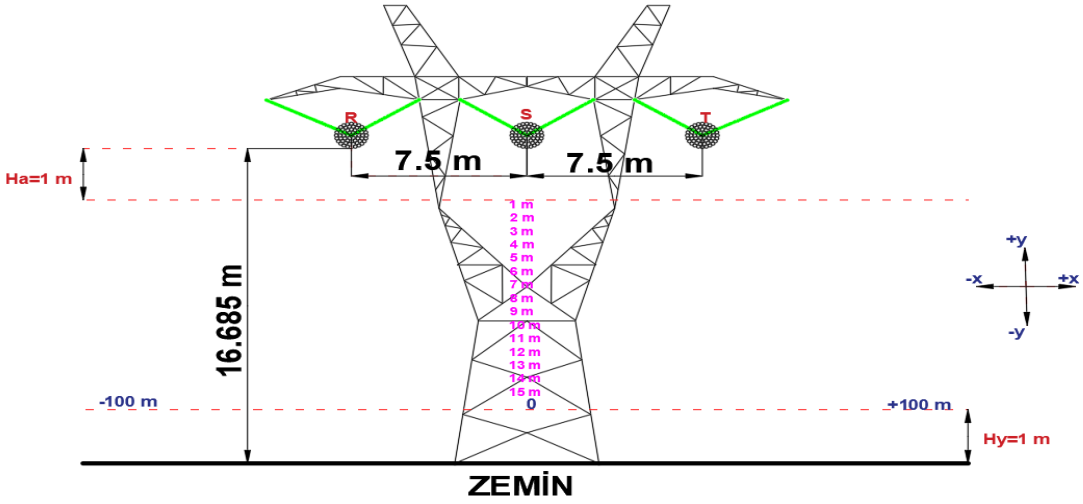
Şekil 7.46 750 kV gerilim seviyesinde ACSR iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.47 750 kV gerilim seviyesinde ACSR iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde elektrik alan değerleri

Mesafe(m)	E(kV/m)
1	68,2582
2	38,9798
3	28,2862
4	22,7440
5	19,2463
6	16,7621
7	14,8012
8	13,2979
9	11,9993
10	11,0245
11	10,1991
12	9,4056
13	8,7668
14	8,1382
15	7,6356

İletkenlerden uzaklaştıkça elektrik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta elektrik alan değeri 68,2582 kV/m iken, 15 m mesafede 7,6356 kV/m değerine düşmektedir. Bütün mesafelerdeki elektrik alan büyüklükleri ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m sınır değerin üzerinde iken, yaklaşık 11 m mesafeden sonra mesleki maruziyet için belirlenen 10 kV/m sınır değerin altına düşmektedir.

750 kV gerilim seviyesinde ACCC iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.47'ye göre, S fazının -y yönünde 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında elektrik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.48'de verilmiştir.



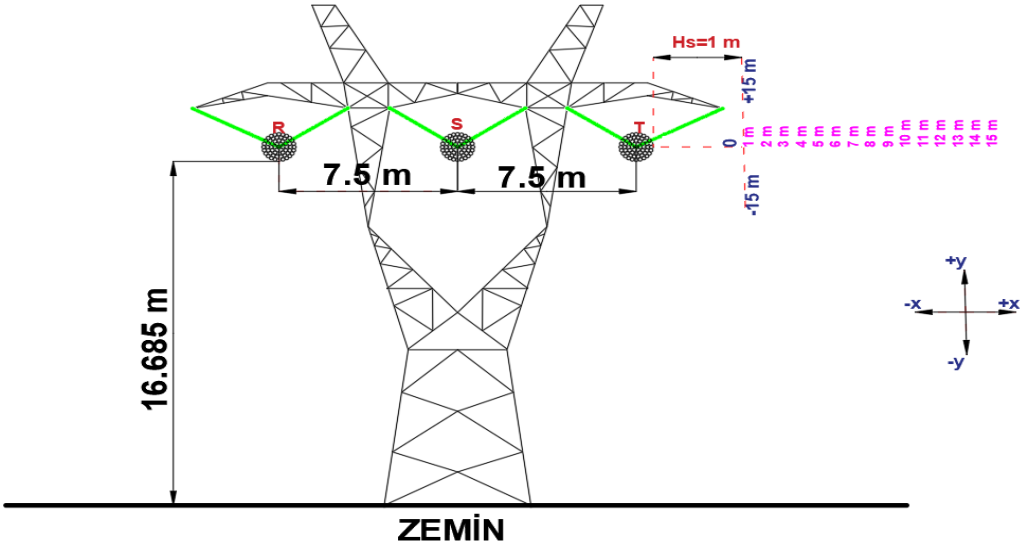
Şekil 7.47 750 kV gerilim seviyesinde ACCC iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.48 750 kV gerilim seviyesinde ACCCiletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde elektrik alan değerleri

Mesafe(m)	E(kV/m)
1	81,6570
2	46,4504
3	36,1051
4	31,2458
5	28,4951
6	26,5221
7	25,2018
8	24,1336
9	23,2660
10	22,4913
11	21,9024
12	21,4666
13	21,1128
14	20,8132
15	20,6208

İletkenlerden uzaklaştıkça elektrik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta elektrik alan değeri 81,6570 kV/m iken, 15 m mesafede 20,6208 kV/m değerine düşmektedir. Bütün mesafelerdeki elektrik alan büyüklükleri ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m ve mesleki maruziyet için 10 kV/m sınır değerin üzerindedir.

750 kV gerilim seviyesinde ACCC iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.48'e göre, T fazının +x yönünde, 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında elektrik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.49'da verilmiştir.



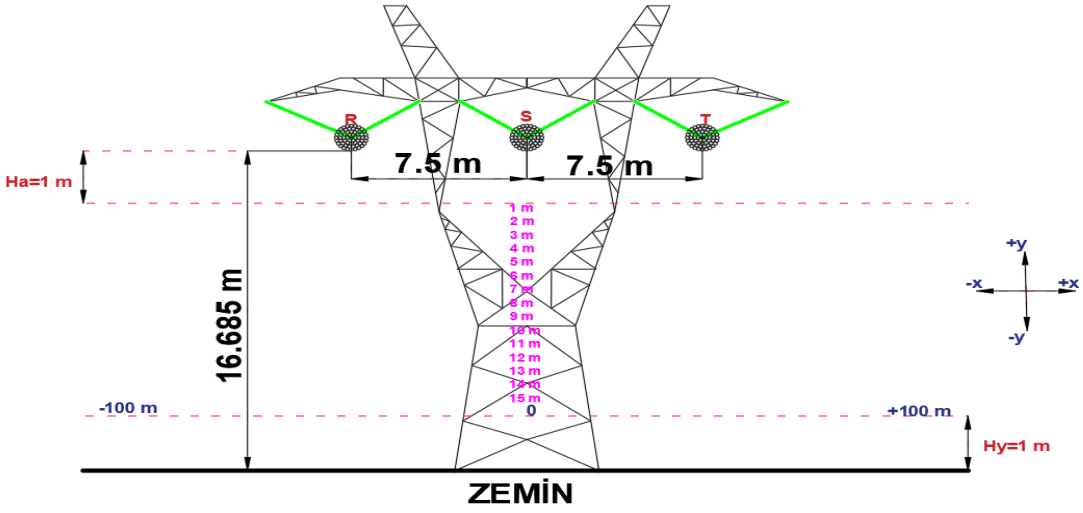
Şekil 7.48 750 kV gerilim seviyesinde ACCC iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.49 750 kV gerilim seviyesinde ACCC iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde elektrik alan değerleri

Mesafe(m)	E(kV/m)
1	68,2336
2	38,9896
3	28,4277
4	22,8293
5	19,2930
6	16,7077
7	14,8262
8	13,2725
9	12,0374
10	11,0569
11	10,0992
12	9,3992
13	8,7421
14	8,1837
15	7,6677

İletkenlerden uzaklaştıkça elektrik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta elektrik alan değeri 68,2336 kV/m iken, 15 m mesafede 7,6677 kV/m değerine düşmektedir. Bütün mesafelerdeki elektrik alan büyüklükleri ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m sınır değerin üzerinde iken, yaklaşık 11 m mesafeden sonra mesleki maruziyet için belirlenen 10 kV/m sınır değerin altına düşmektedir.

750 kV gerilim seviyesinde STACIR iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.49'a göre, S fazının -y yönünde 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında elektrik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.50'de verilmiştir.



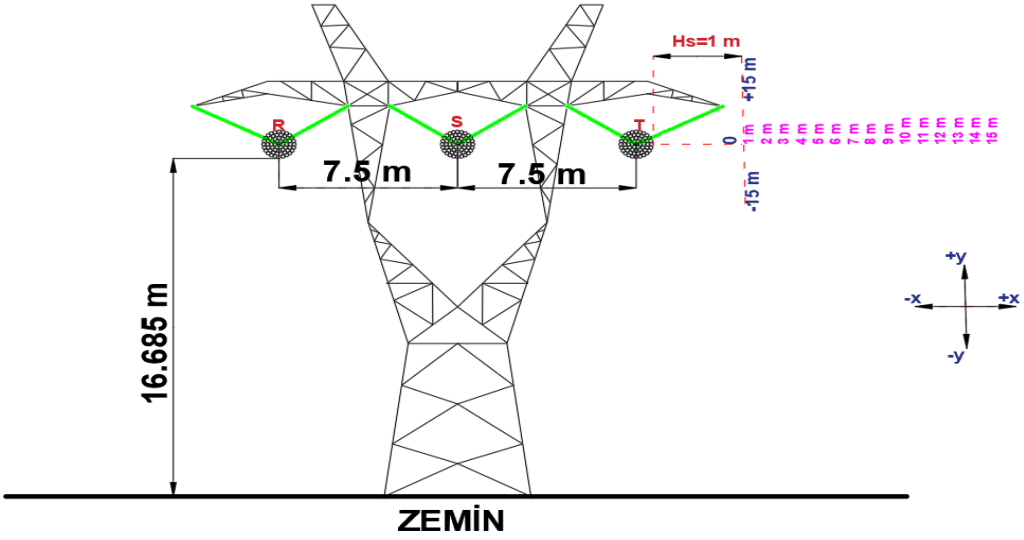
Şekil 7.49 750 kV gerilim seviyesinde STACIR iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.50 750 kV gerilim seviyesinde STACIR iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde elektrik alan değerleri

Mesafe(m)	E(kV/m)
1	81,2219
2	46,7827
3	36,0849
4	31,1883
5	28,4082
6	26,5661
7	25,1569
8	24,1022
9	23,2307
10	22,4919
11	21,8910
12	21,4460
13	21,0383
14	20,7440
15	20,5881

İletkenlerden uzaklaştıkça elektrik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta elektrik alan değeri 81,2219 kV/m iken, 15 m mesafede 20,5881 kV/m değerine düşmektedir. Bütün mesafelerdeki elektrik alan büyüklükleri ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m ve mesleki maruziyet için 10 kV/m sınır değerin üzerindedir.

750 kV gerilim seviyesinde STACIR iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.50'ye göre, T fazının +x yönünde, 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında elektrik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.51'de verilmiştir.



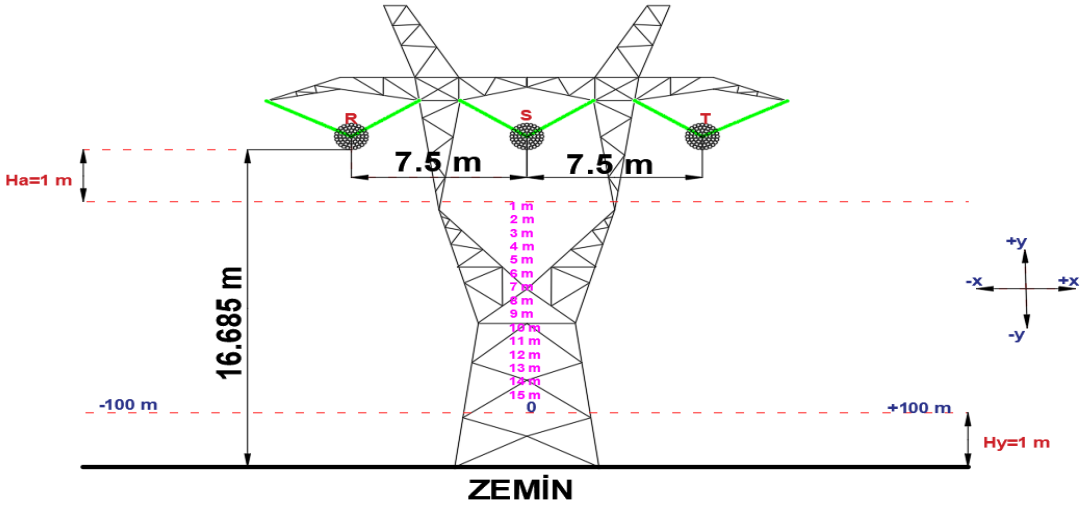
Şekil 7.50 750 kV gerilim seviyesinde STACIR iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.51 750 kV gerilim seviyesinde STACIR iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde elektrik alan değerleri

Mesafe(m)	E(kV/m)
1	67,6522
2	38,6550
3	28,3889
4	22,7085
5	19,2520
6	16,7098
7	14,8315
8	13,2633
9	12,0560
10	11,0773
11	10,1388
12	9,3768
13	8,7453
14	8,1657
15	7,6361

İletkenlerden uzaklaştıkça elektrik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta elektrik alan değeri 67,6522 kV/m iken, 15 m mesafede 7,6361 kV/m değerine düşmektedir. Bütün mesafelerdeki elektrik alan büyüklükleri ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m sınır değerin üzerinde iken, yaklaşık 11 m mesafeden sonra mesleki maruziyet için belirlenen 10 kV/m sınır değerin altına düşmektedir.

750 kV gerilim seviyesinde GTACSR iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.51'e göre, S fazının -y yönünde 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında elektrik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.52'de verilmiştir.



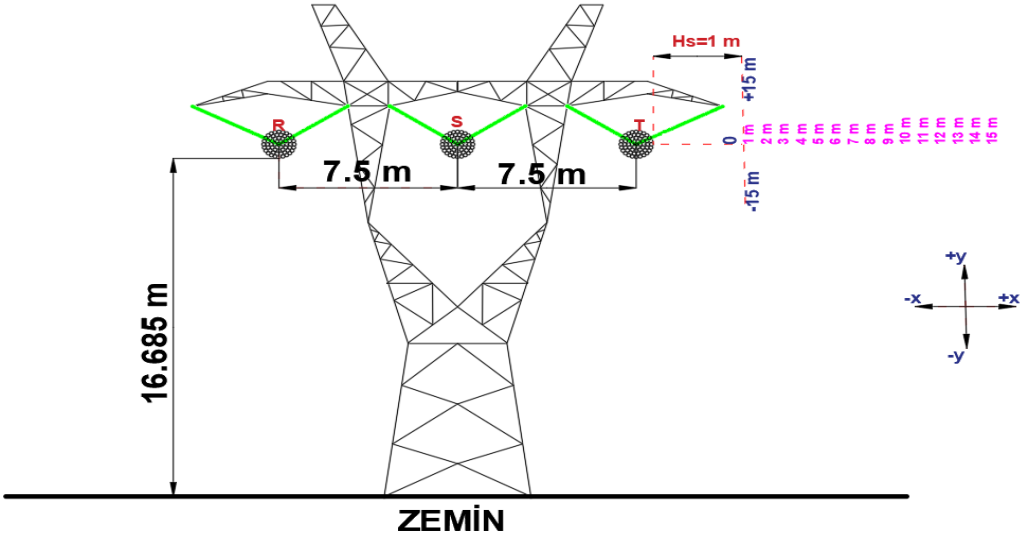
Şekil 7.51 750 kV gerilim seviyesinde GTACSR iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.52 750 kV gerilim seviyesinde GTACSR iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde elektrik alan değerleri

Mesafe(m)	E(kV/m)
1	81,638
2	46,947
3	36,217
4	31,260
5	28,493
6	26,613
7	25,279
8	24,186
9	23,294
10	22,604
11	21,968
12	21,519
13	21,111
14	20,817
15	20,658

İletkenlerden uzaklaştıkça elektrik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta elektrik alan değeri 81,638 kV/m iken, 15 m mesafede 20,658 kV/m değerine düşmektedir. Bütün mesafelerdeki elektrik alan büyüklükleri ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m ve mesleki maruziyet için 10 kV/m sınır değerin üzerindedir.

750 kV gerilim seviyesinde GTACSR iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.52'ye göre, T fazının +x yönünde, 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında elektrik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.53'de verilmiştir.



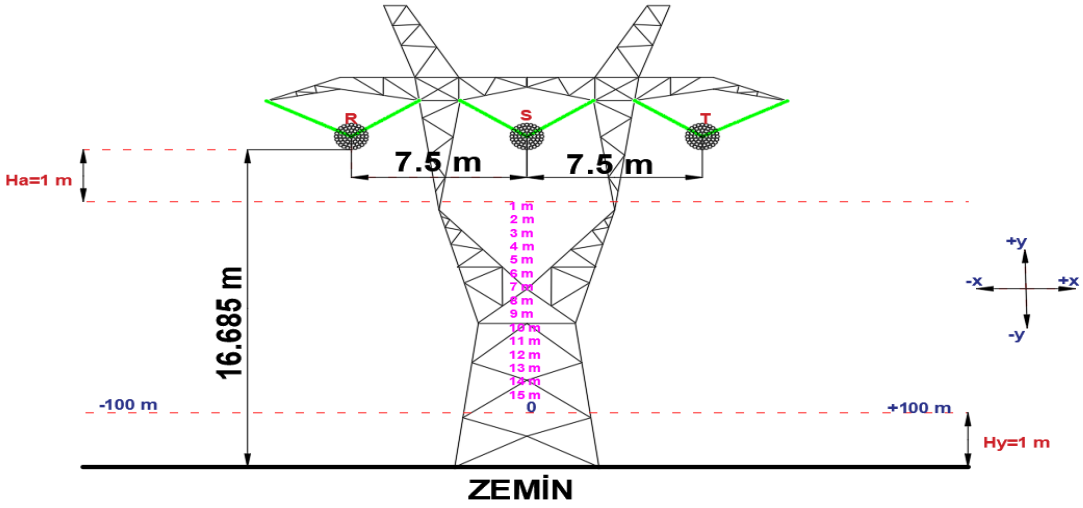
Şekil 7.52 750 kV gerilim seviyesinde GTACSR iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.53 750 kV gerilim seviyesinde GTACSR iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde elektrik alan değerleri

Mesafe(m)	E(kV/m)
1	68,5036
2	38,9941
3	28,4649
4	22,8784
5	19,3033
6	16,7865
7	14,8869
8	13,3110
9	12,0924
10	11,0414
11	10,2056
12	9,4239
13	8,7481
14	8,1337
15	7,6474

İletkenlerden uzaklaştıkça elektrik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta elektrik alan değeri 68,5036 kV/m iken, 15 m mesafede 7,6474 kV/m değerine düşmektedir. Bütün mesafelerdeki elektrik alan büyüklükleri ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m sınır değerin üzerinde iken, yaklaşık 11 m mesafeden sonra mesleki maruziyet için belirlenen 10 kV/m sınır değerin altına düşmektedir.

750 kV gerilim seviyesinde AAAC iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.53'e göre, S fazının -y yönünde 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında elektrik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.54'de verilmiştir.



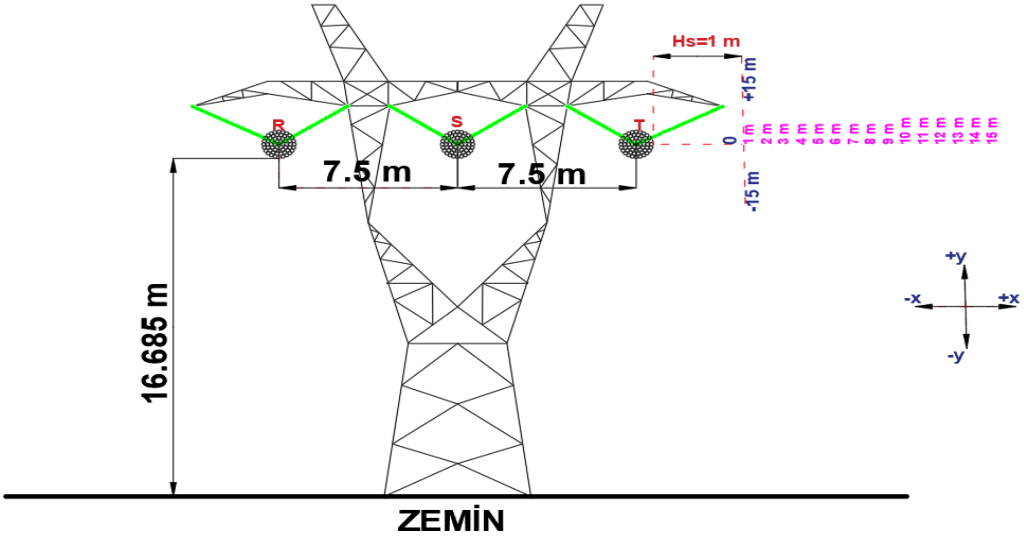
Şekil 7.53 750 kV gerilim seviyesinde AAAC iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.54 750 kV gerilim seviyesinde AAAC iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde elektrik alan değerleri

Mesafe(m)	E(kV/m)
1	80,7902
2	46,4092
3	35,8450
4	30,9338
5	28,0993
6	26,3455
7	24,9877
8	23,9390
9	23,0047
10	22,3313
11	21,7318
12	21,2454
13	20,8758
14	20,6048
15	20,3960

İletkenlerden uzaklaştıkça elektrik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta elektrik alan değeri 80,7902 kV/m iken, 15 m mesafede 20,3960 kV/m değerine düşmektedir. Bütün mesafelerdeki elektrik alan büyüklükleri ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m ve mesleki maruziyet için 10 kV/m sınır değerin üzerindedir.

750 kV gerilim seviyesinde AAAC iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.54'e göre, T fazının +x yönünde, 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında elektrik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.55'de verilmiştir.



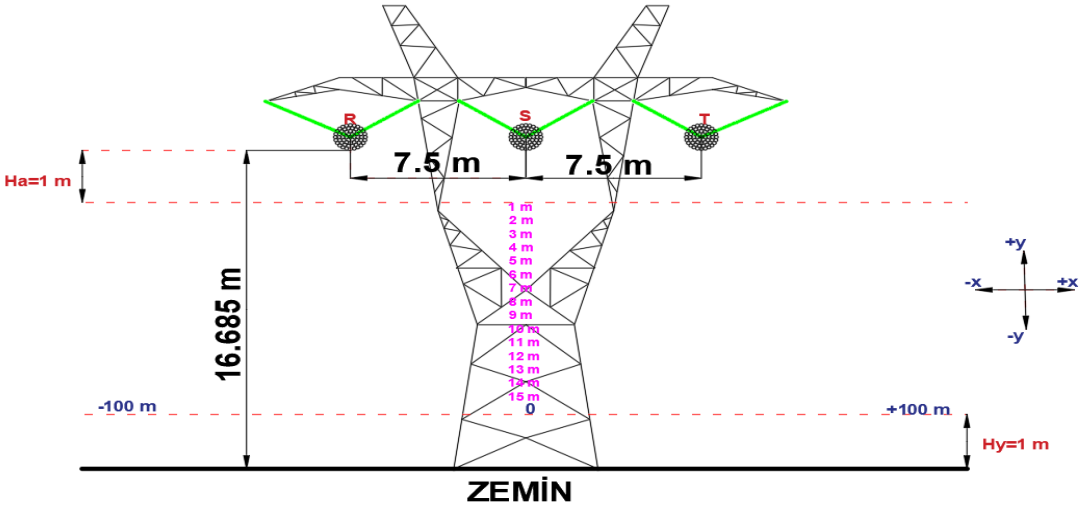
Şekil 7.54 750 kV gerilim seviyesinde AAAC iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.55 750 kV gerilim seviyesinde AAAC iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde elektrik alan değerleri

Mesafe(m)	E(kV/m)
1	67,6871
2	38,5191
3	28,2791
4	22,6568
5	19,1133
6	16,6470
7	14,7002
8	13,2092
9	11,9485
10	10,9553
11	10,0765
12	9,2966
13	8,6498
14	8,0634
15	7,5622

İletkenlerden uzaklaştıkça elektrik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta elektrik alan değeri 67,6871 kV/m iken, 15 m mesafede 7,5622 kV/m değerine düşmektedir. Bütün mesafelerdeki elektrik alan büyüklükleri ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m sınır değerin üzerinde iken, yaklaşık 11 m mesafeden sonra mesleki maruziyet için belirlenen 10 kV/m sınır değerin altına düşmektedir.

750 kV gerilim seviyesinde AAC iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.55'e göre, S fazının -y yönünde 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında elektrik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.56'da verilmiştir.



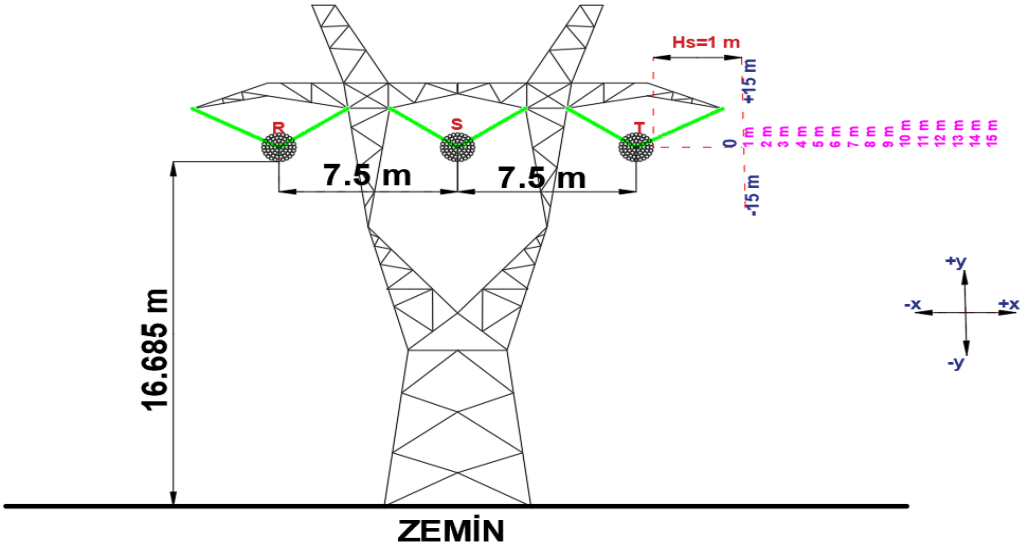
Şekil 7.55 750 kV gerilim seviyesinde AAC iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.56 750 kV gerilim seviyesinde AAC iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde elektrik alan değerleri

Mesafe(m)	E(kV/m)
1	80,9724
2	46,8346
3	36,1596
4	31,2552
5	28,4760
6	26,5952
7	25,2214
8	24,1446
9	23,2668
10	22,5139
11	21,9238
12	21,4511
13	21,0745
14	20,7678
15	20,6202

İletkenlerden uzaklaştıkça elektrik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta elektrik alan değeri 80,9724 kV/m iken, 15 m mesafede 20,6202 kV/m değerine düşmektedir. Bütün mesafelerdeki elektrik alan büyüklükleri ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m ve mesleki maruziyet için 10 kV/m sınır değerin üzerindedir.

750 kV gerilim seviyesinde AAC iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.56'ya göre, T fazının +x yönünde, 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında elektrik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.57'de verilmiştir.



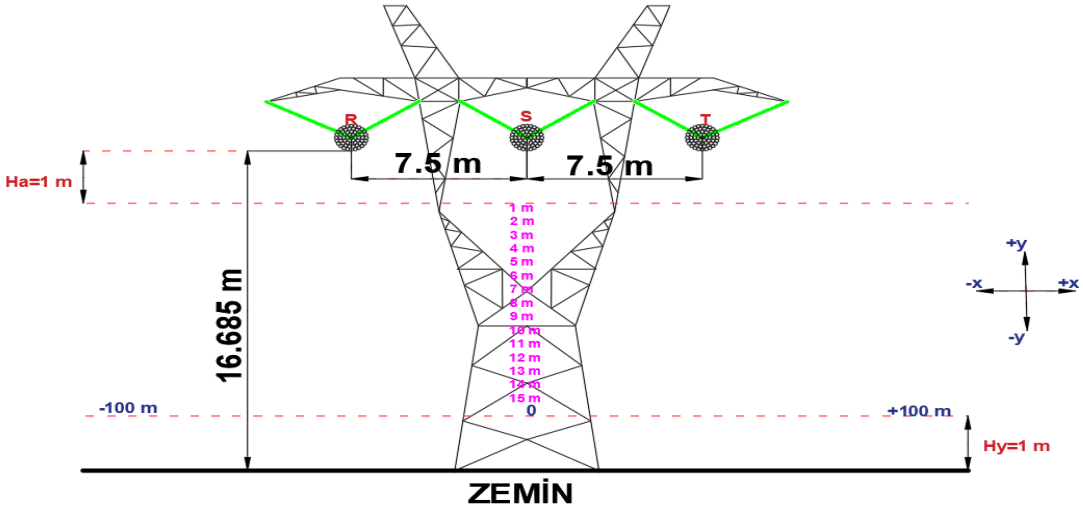
Şekil 7.56 750 kV gerilim seviyesinde AAC iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.57 750 kV gerilim seviyesinde AAC iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde elektrik alan değerleri

Mesafe(m)	E(kV/m)
1	68,3235
2	38,8595
3	28,4354
4	22,7349
5	19,3199
6	16,7530
7	14,8117
8	13,3079
9	12,0762
10	11,0480
11	10,1337
12	9,4168
13	8,7362
14	8,1318
15	7,6342

İletkenlerden uzaklaştıkça elektrik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta elektrik alan değeri 68,3235 kV/m iken, 15 m mesafede 7,6342 kV/m değerine düşmektedir. Bütün mesafelerdeki elektrik alan büyüklükleri ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m sınır değerin üzerinde iken, yaklaşık 11 m mesafeden sonra mesleki maruziyet için belirlenen 10 kV/m sınır değerin altına düşmektedir.

750 kV gerilim seviyesinde ACAR iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.57'ye göre, S fazının -y yönünde 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında elektrik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.58'de verilmiştir.



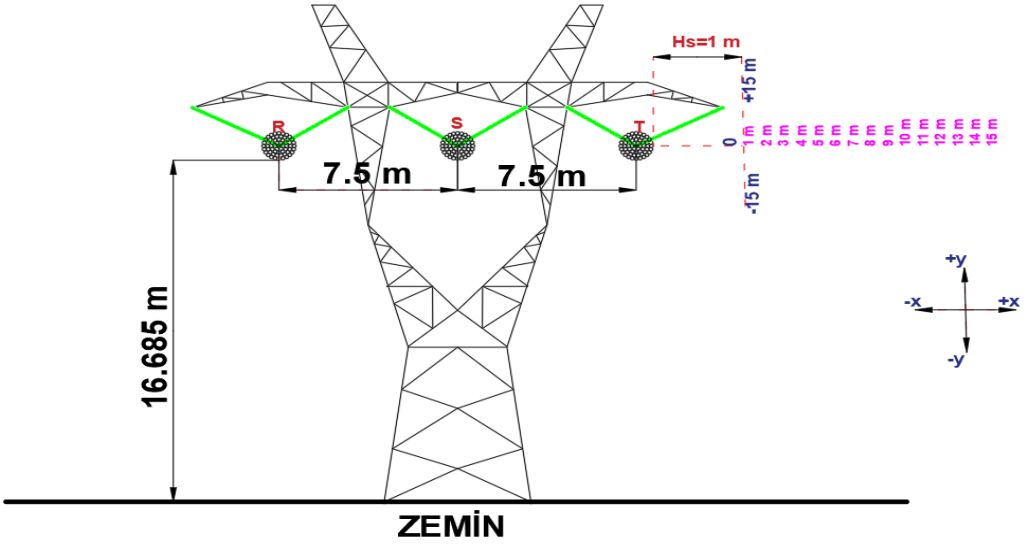
Şekil 7.57 750 kV gerilim seviyesinde ACAR iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.58 750 kV gerilim seviyesinde ACAR iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde elektrik alan değerleri

Mesafe(m)	E(kV/m)
1	81,3978
2	46,8071
3	35,9969
4	31,2767
5	28,4279
6	26,5972
7	25,2265
8	24,1294
9	23,2135
10	22,5250
11	21,9249
12	21,4264
13	21,0763
14	20,7472
15	20,6106

İletkenlerden uzaklaştıkça elektrik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta elektrik alan değeri 81,3978 kV/m iken, 15 m mesafede 20,6106 kV/m değerine düşmektedir. Bütün mesafelerdeki elektrik alan büyüklükleri ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m ve mesleki maruziyet için 10 kV/m sınır değerin üzerindedir.

750 kV gerilim seviyesinde ACAR iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.58'e göre, T fazının +x yönünde, 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında elektrik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.59'da verilmiştir.



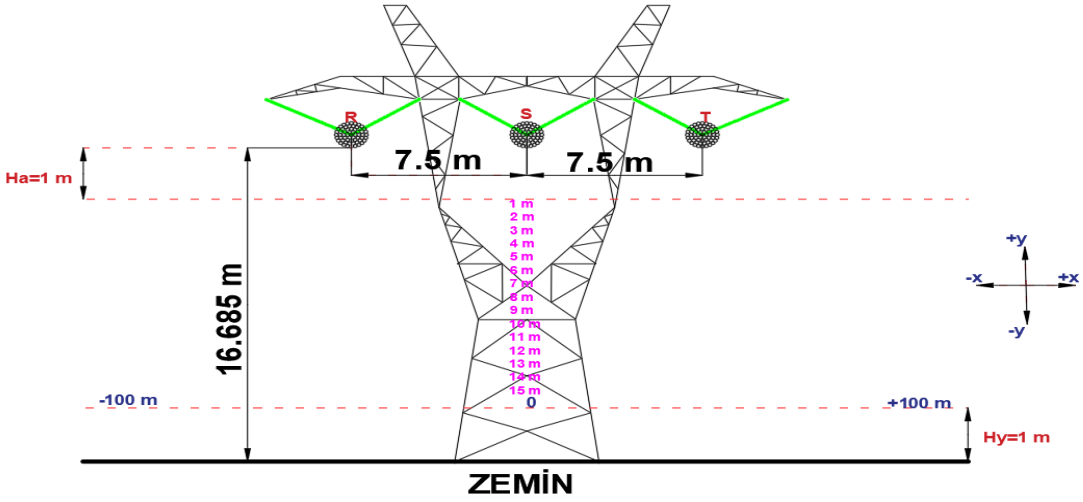
Şekil 7.58 750 kV gerilim seviyesinde ACAR iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.59 750 kV gerilim seviyesinde ACAR iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde elektrik alan değerleri

Mesafe(m)	E(kV/m)
1	68,2047
2	38,9321
3	28,4274
4	22,8029
5	19,2448
6	16,6830
7	14,9020
8	13,3213
9	12,0720
10	10,9983
11	10,1645
12	9,3998
13	8,7826
14	8,1567
15	7,6124

İletkenlerden uzaklaştıkça elektrik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta elektrik alan değeri 68,2047 kV/m iken, 15 m mesafede 7,6124 kV/m değerine düşmektedir. Bütün mesafelerdeki elektrik alan büyüklükleri ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m sınır değerin üzerinde iken, yaklaşık 11 m mesafeden sonra mesleki maruziyet için belirlenen 10 kV/m sınır değerin altına düşmektedir.

750 kV gerilim seviyesinde ACCR iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.59'a göre, S fazının -y yönünde 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında elektrik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.60'da verilmiştir.



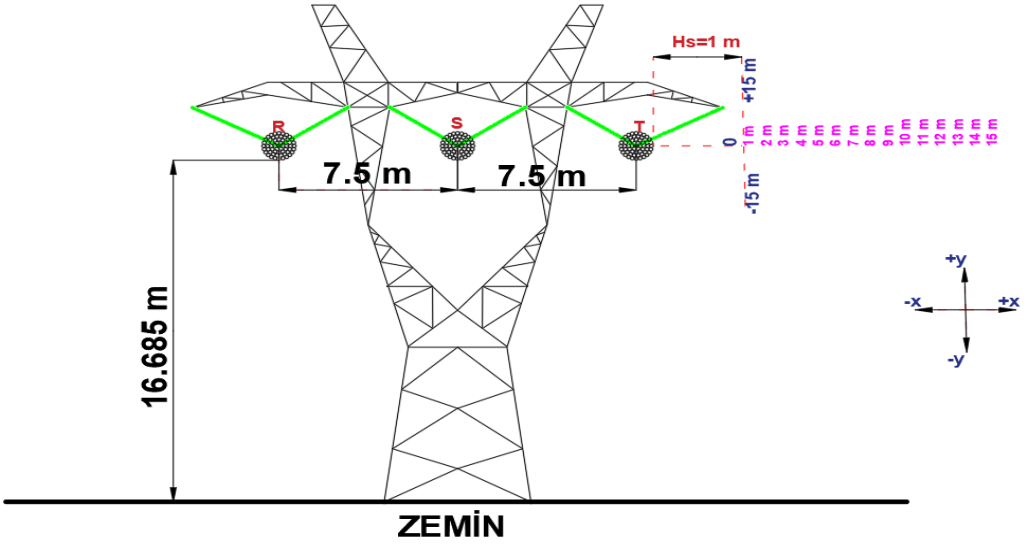
Şekil 7.59 750 kV gerilim seviyesinde ACCR iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.60 750 kV gerilim seviyesinde ACCR iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde elektrik alan değerleri

Mesafe(m)	E(kV/m)
1	82,1586
2	46,9696
3	36,0821
4	31,3143
5	28,4495
6	26,5679
7	25,1300
8	24,1516
9	23,2659
10	22,5584
11	21,8509
12	21,4170
13	21,0917
14	20,7532
15	20,6128

İletkenlerden uzaklaştıkça elektrik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta elektrik alan değeri 82,1586 kV/m iken, 15 m mesafede 20,6128 kV/m değerine düşmektedir. Bütün mesafelerdeki elektrik alan büyüklükleri ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m ve mesleki maruziyet için 10 kV/m sınır değerin üzerindedir.

750 kV gerilim seviyesinde ACCR iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.60'a göre, T fazının +x yönünde, 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında elektrik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.61'de verilmiştir.



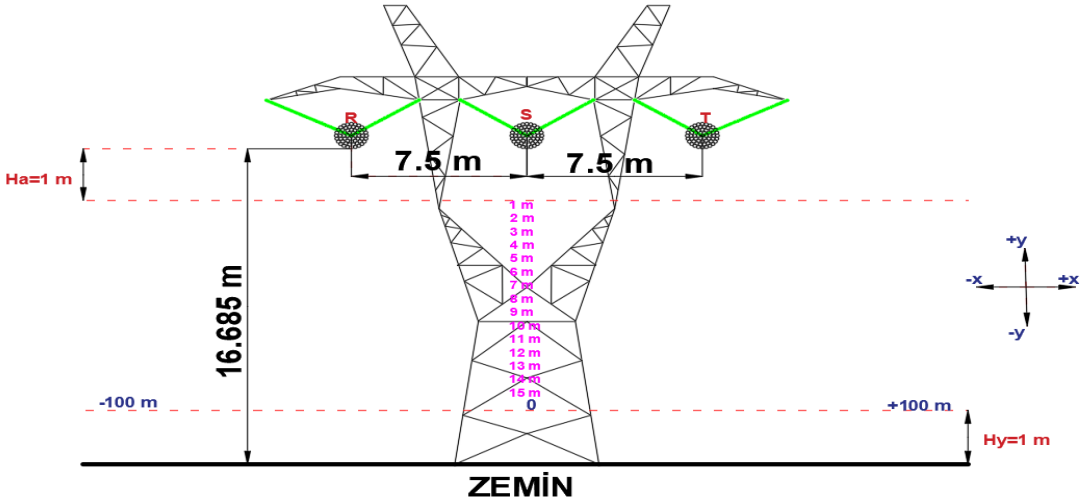
Şekil 7.60 750 kV gerilim seviyesinde ACCR iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.61 750 kV gerilim seviyesinde ACCR iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde elektrik alan değerleri

Mesafe(m)	E(kV/m)
1	68,4079
2	38,6985
3	28,3658
4	22,8750
5	19,2821
6	16,7049
7	14,8232
8	13,2821
9	12,0787
10	11,0204
11	10,1803
12	9,3648
13	8,7537
14	8,2120
15	7,6261

İletkenlerden uzaklaştıkça elektrik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta elektrik alan değeri 68,4079 kV/m iken, 15 m mesafede 7,6261 kV/m değerine düşmektedir. Bütün mesafelerdeki elektrik alan büyüklükleri ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m sınır değerin üzerinde iken, yaklaşık 11 m mesafeden sonra mesleki maruziyet için belirlenen 10 kV/m sınır değerin altına düşmektedir.

750 kV gerilim seviyesinde ACSS iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.61'e göre, S fazının -y yönünde 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında elektrik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.62'de verilmiştir.



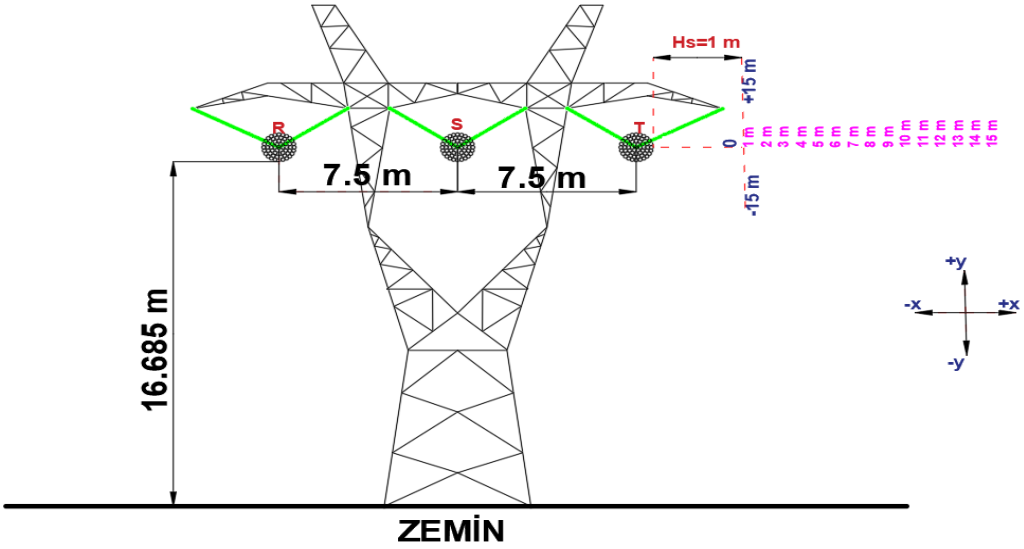
Şekil 7.61 750 kV gerilim seviyesinde ACSS iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.62 750 kV gerilim seviyesinde ACSS iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde elektrik alan değerleri

Mesafe(m)	E(kV/m)
1	81,0620
2	46,5134
3	36,1331
4	31,1914
5	28,4510
6	26,5251
7	25,1832
8	24,1016
9	23,2325
10	22,4759
11	21,9029
12	21,3832
13	21,0594
14	20,6897
15	20,5920

İletkenlerden uzaklaştıkça elektrik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta elektrik alan değeri 81,0620 kV/m iken, 15 m mesafede 20,5920 kV/m değerine düşmektedir. Bütün mesafelerdeki elektrik alan büyüklükleri ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m ve mesleki maruziyet için 10 kV/m sınır değerin üzerindedir.

750 kV gerilim seviyesinde ACSS iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.62'ye göre, T fazının +x yönünde, 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında elektrik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.63'de verilmiştir.



Şekil 7.62 750 kV gerilim seviyesinde ACSS iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.63 750 kV gerilim seviyesinde ACSS iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde elektrik alan değerleri

Mesafe(m)	E(kV/m)
1	67,7361
2	38,8012
3	28,3631
4	22,7450
5	19,2436
6	16,6672
7	14,8017
8	13,2847
9	12,0655
10	11,0267
11	10,1557
12	9,3729
13	8,7265
14	8,1428
15	7,6284

İletkenlerden uzaklaştıkça elektrik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta elektrik alan değeri 67,7361 kV/m iken, 15 m mesafede 7,6284 kV/m değerine düşmektedir. Bütün mesafelerdeki elektrik alan büyüklükleri ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m sınır değerin üzerinde iken, yaklaşık 11 m mesafeden sonra mesleki maruziyet için belirlenen 10 kV/m sınır değerin altına düşmektedir.

Bu sonuçlara bakıldığında, 750 kV gerilim seviyesinde, yerden 1 m yüksekte, incelenen konfigürasyona göre ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m ve mesleki maruziyet için 10 kV/m sınır değerleri aşılmaktadır. Bu nedenle, yerden 1 m yüksekte halk için belirlenen 5 kV/m sınır değerleri aşılmasını engellemek için direk boyu 55,485 m'ye yükseltilmelidir. Direk boyu yükseltilemiyorsa, iletim hatları yakınında yapılaşmaya müsade edilmemelidir. Aynı zamanda çalışan personellerinde iletim hatlarına yaklaşmasına izin verilmemelidir. T fazının +x yönünde, yaklaşık 11 m mesafeden sonra elektrik alan mesleki maruziyet için belirlenen 10 kV/m sınır değerin altına düştüğünden, bu mesafeye kadar çalışanlar yaklaşabilir.

Elektrik alan analizlerine bakıldığında, iletkenlere en yakın noktada elektrik alan büyüklüğünün en yüksek olduğu görülmektedir. İletkenden uzaklaştıkça yakın mesafede elektrik alan hızla azalırken, uzak mesafelerde elektrik alan azalma hızı yavaşlamaktadır. ACSS iletkeninden örnek verecek olursak, S fazının -y yönünde 1. metreden 2. metreye gidildiğinde elektrik alan büyüklüğü 28,9349 kV/m azalırken, 14. metreden 15. metreye gidildiğinde ise 0,5144 kV/m azalmaktadır.

Gerilim seviyesi arttıkça elektrik alan değeri de önemli oranda artış göstermektedir. Örneğin, ACSR iletkenine 400 kV gerilim uygulandığında, S fazının -y yönünde 1 metre uzaklıkta elektrik alan büyüklüğü 43,1436 kV/m iken, 750 kV gerilim uygulandığında elektrik alan büyüklüğü 80,8942 kV/m seviyelerine ulaşmaktadır. Gerilim seviyesi 400 kV'dan 750 kV'a çıktığında, aynı noktada elektrik alanın yaklaşık %85 arttığı görülmüştür.

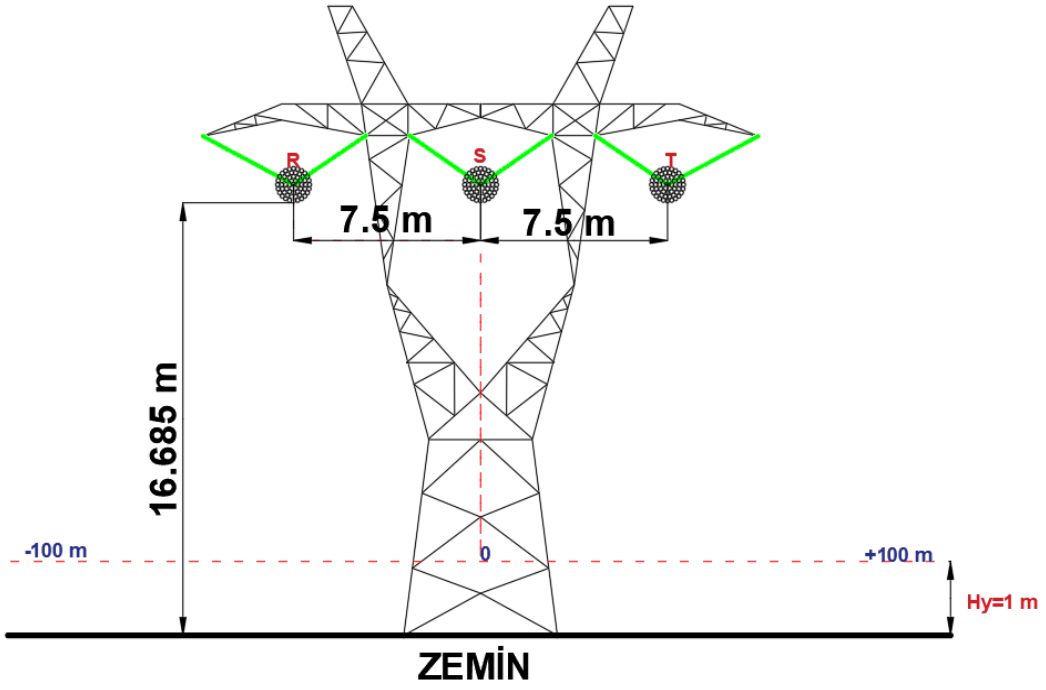
7.2.2 Manyetik Alan Analiz Sonuçları

Manyetik alan analizleri, eşit yüklenme durumunda iletkenlerin davranışlarını karşılaştırabilmek için 9 tip iletkene, ACSR iletkeninin maksimum yüklenme kapasitesi olan 990 A akım ve iletkenlerin maksimum koşullarda davranışını incelemek için taşıyabilecekleri maksimum akımları uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Autocad'de modellenen iletken geometrileri Comsol Multiphysics yazılımına aktarılmıştır. Analiz

çalışmaları yapılırken bağıl dielektrik sabiti ve bağıl manyetik geçirgenlik değerleri "1" olarak tanımlamıştır. İletkenler için tanımlanan elektriksel iletkenlik değerleri ise Tablo 7.3'de verilen direnç değerlerinin iletkenlik değerlerine çevrilmesiyle elde edilmiştir. Manyetik alan analizleri yapılırken, ısı transferinde olduğu gibi iletkenin öz ve iletken bölümleri paralel direnç şeklinde olduğu kabul edilip, uygulanan 900 A akım her tel için paylaştırılmıştır. Çalışmalar zamana bağlı olarak değişen "time dependent" domeninde gerçekleştirildiğinden, tel akımları S fazına I∠-120, R fazına I∠0 ve T fazına I∠120 şeklinde tanımlanmıştır. Daha sonra elde edilen fazör tel akımları her telin kesitine bölünerek programa girdi olarak uygulanmıştır. Grafikler ve tablolar oluşturulurken çalışma periyodu 0-0,05 s aralığında, 0,002 adım artışıyla seçilmiş olup 0,048. saniyedeki değerler baz alınmıştır.

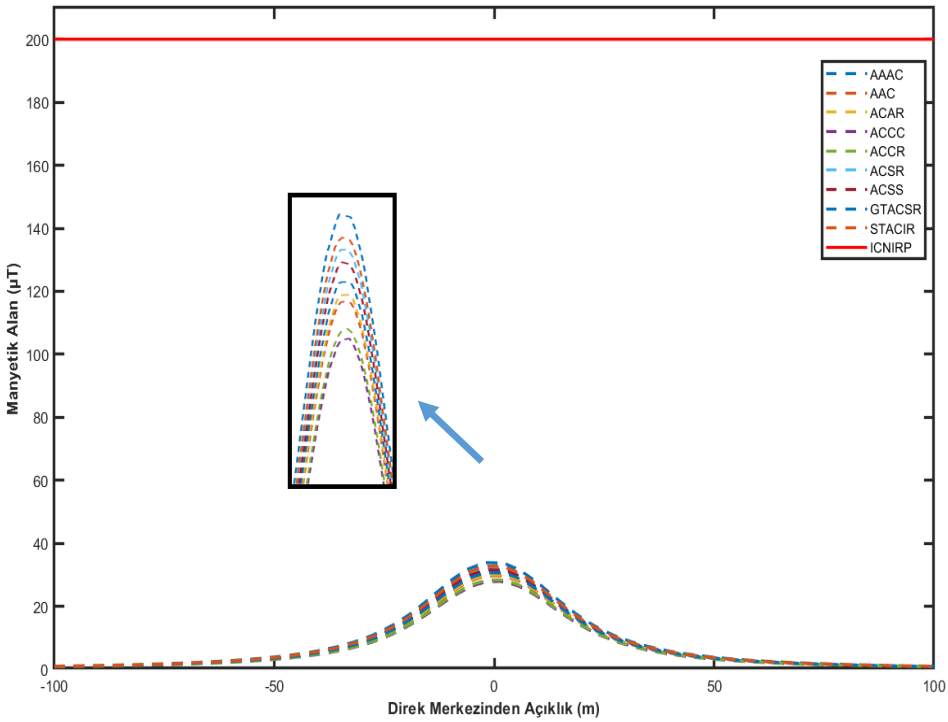
7.2.2.1 Tüm İletkenlere 990 A Uygulandığında Manyetik Alan Analizleri

9 tip iletkene 990 A akım uygulanarak Şekil 7.63'de verilen konfigürasyona göre zeminden Hy=1 m yüksekte ve -100 m ve +100 m direk açıklığında manyetik alan analizleri yapılmıştır.



Şekil 7.63 990 A akım uygulandığında zeminden Hy=1 m yüksekte analiz konfigürasyonu

Bu analiz sonucunda zeminden Hy=1 m yüksekte iletkenlerin oluşturduğu manyetik alan dağılımı Şekil 7.64'de verilmiştir.



Şekil 7.64 990 A akım uygulandığında Zeminden Hy=1 m yüksekte 9 tip iletken için manyetik alan dağılımı

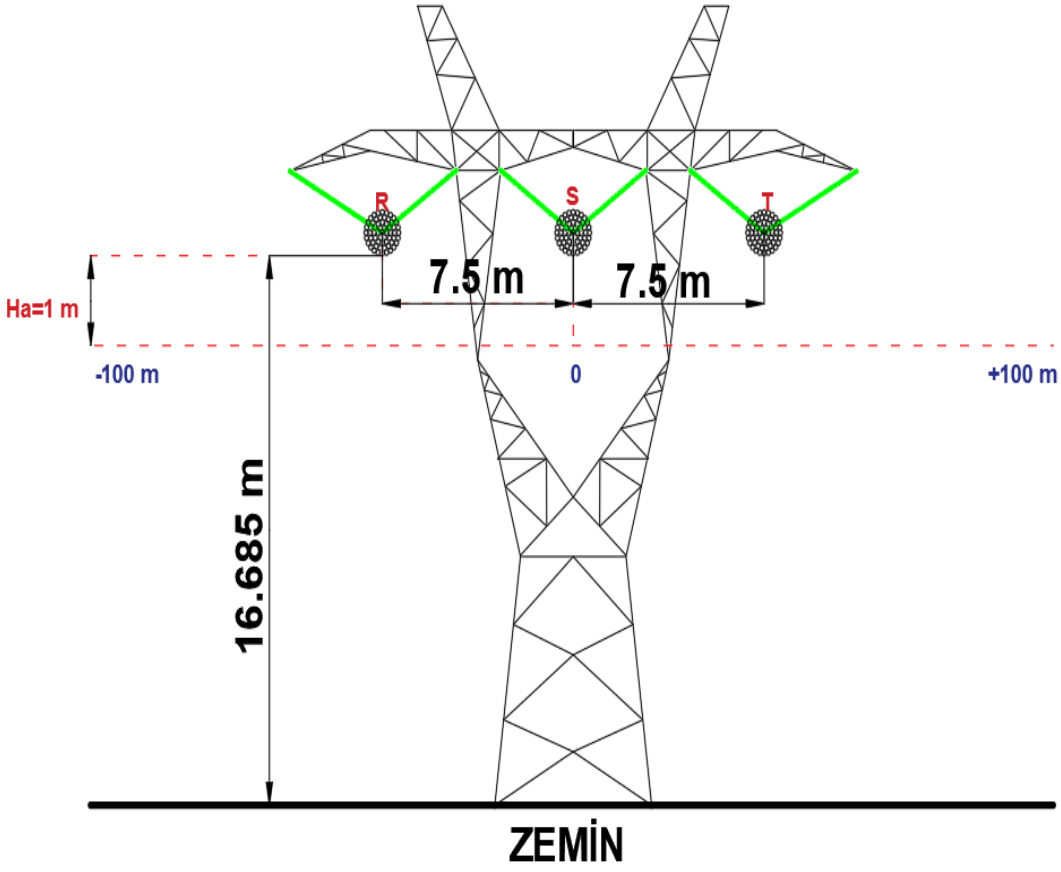
Şekilde görüldüğü üzere, iletkenlere 990 A akım uygulandığında, yerden 1 m yüksekte, tüm iletkenlerin manyetik alan dağılımları ICNIRP tarafından belirlenen halk için 200 μT, mesleki maruziyet için 1000 μT sınır değerini aşmamaktadır. Ayrıca iletkenlere yaklaştıkça manyetik alanın büyüklüğü artış göstermiştir. Grafiğin maksimum noktasında iletkenlerin manyetik alan değerleri ve ACSR iletkeni baz alınarak yüzde farkları Tablo 7.64'de verilmiştir.

Tablo 7.64 990 A akım uygulandığında zeminden Hy=1 m yüksekte grafiğin maksimum noktasında iletkenlerin manyetik alan büyüklükleri ve yüzde farkları

İletken	B(μT)	Fark(%)
ACSR	32,1905	**--**
ACCC	27,8939	**-13,347**
STACIR	32,7877	**1,855**
GTACSR	30,7373	**-4,514**
AAAC	33,9449	**5,450**
AAC	29,7734	**-7,509**
ACAR	30,2414	**-6,055**
ACCR	28,3743	**-11,855**
ACSS	31,5607	**-1,956**

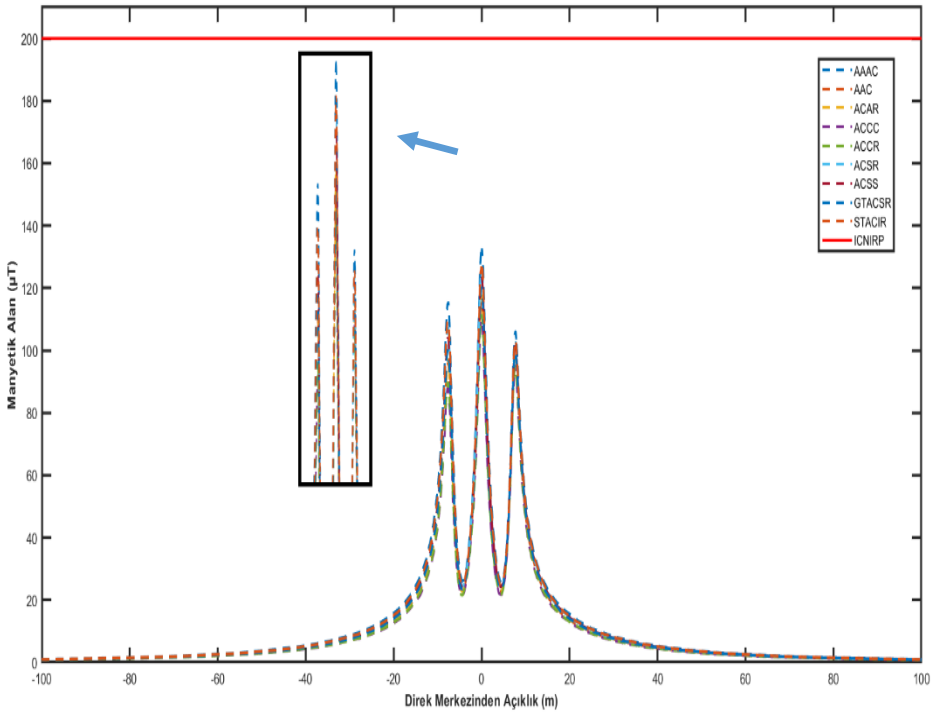
Tablodan da görüldüğü gibi iletkenlerin geometrilerine bağlı olarak manyetik alan büyüklüklerinde az da olsa farklılıklar görülmektedir. 990 A akım uygulandığında, yerden 1 m yüksekte, en iyi manyetik alan performansını ACCC iletkeni gösterirken, en kötü performansı AAAC iletkeni göstermiştir. AAAC, ACCC'den yaklaşık %21 daha fazla manyetik alan meydana getirmiştir.

9 tip iletkene 990 A uygulanarak, Şekil 7.65'de verilen konfigürasyona göre iletkenlerin Ha=1 m altında ve -100 m ve +100 m direk açıklığında manyetik alan analizleri yapılmıştır.



Şekil 7.65 990 A akım uygulandığında iletkenlerin Ha=1 m altında analiz konfigürasyonu

Bu konfigürasyona göre yapılan analiz sonucunda, iletkenin Ha=1 m altında manyetik alan dağılımı Şekil 7.66'da verilmiştir.



Şekil 7.66 990 A akım uygulandığında iletkenlerin Ha= 1 m altında 9 tip iletken için elektrik alan dağılımı

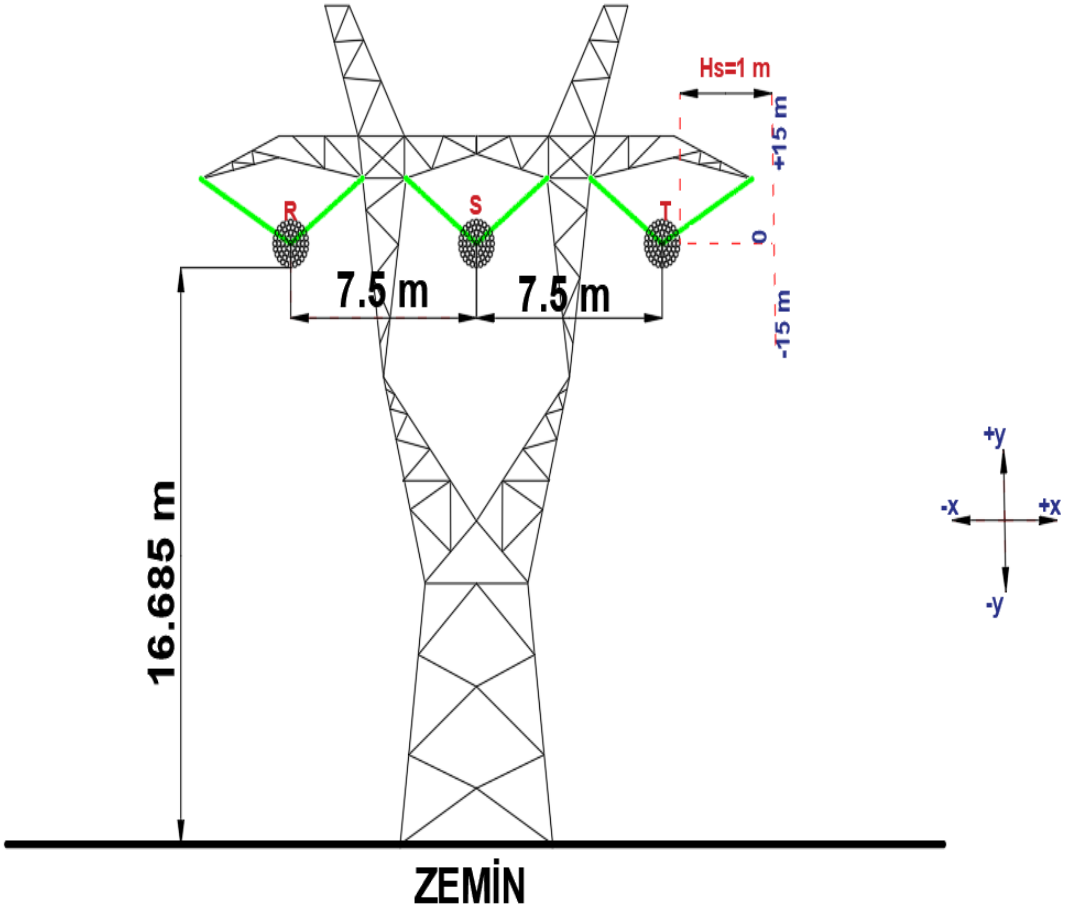
Şekilde görüldüğü üzere, 990 A akım uygulandığında, iletkenlerin Ha= 1 m altında manyetik alan büyükleri ICNIRP tarafından belirlenen halk için 200 µT, mesleki maruziyet için 1000 µT sınır değerini aşmamaktadır. İletkenlere yaklaştıkça manyetik alanın arttığı görülmektedir. Grafiğin maksimum noktasında iletkenlerin manyetik alan değerleri ve ACSR iletkeni baz alınarak yüzde farkları Tablo 7.65'de verilmiştir.

Tablo 7.65 990 A akım uygulandığında iletkenlerin Ha=1 m altında grafiğin maksimum noktasında iletkenlerin manyetik alan büyüklükleri ve yüzde farkları

İletken	B(µT)	Fark(%)
ACSR	125,2566	**--**
ACCC	109,7595	**-12,372**
STACIR	128,065	**2,242**
GTACSR	120,4105	**-3,869**
AAAC	132,9108	**6,111**
AAC	115,9034	**-7,467**
ACAR	117,7963	**-5,956**
ACCR	111,2645	**-11,171**
ACSS	123,1385	**-1,691**

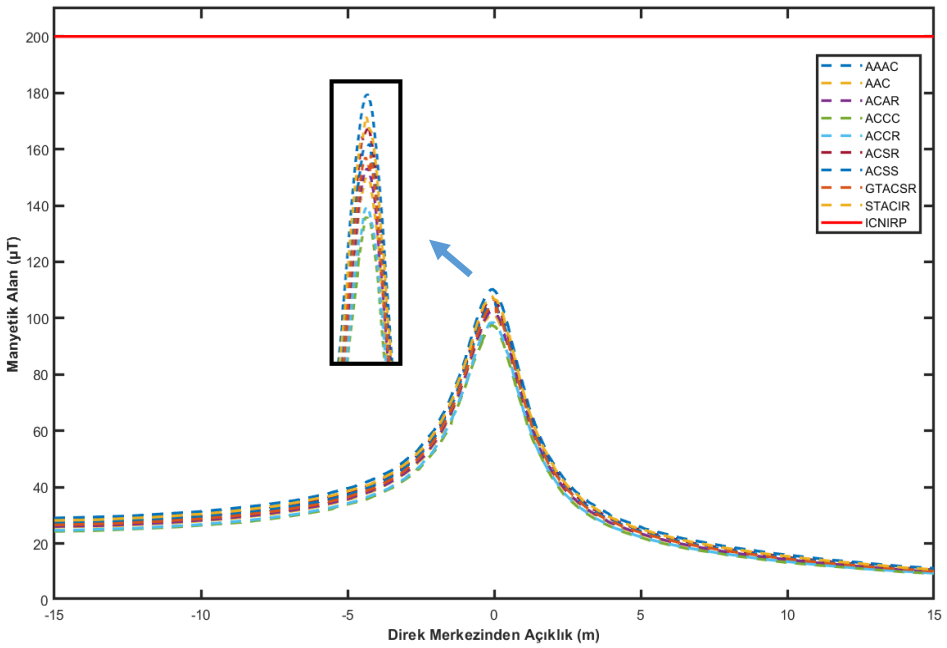
Tablodan da görüldüğü gibi iletkenlerin geometrilerine bağlı olarak manyetik alan büyüklüklerinde az da olsa farklılıklar görülmektedir. 990 A akım uygulandığında, iletkenlerin Ha=1m altında, en iyi manyetik alan performansını ACCC iletkeni gösterirken, en kötü performansı AAAC iletkeni göstermiştir. AAAC, ACCC'den yaklaşık %21 daha fazla manyetik alan meydana getirmiştir.

9 tip iletkene 990 A uygulanarak, Şekil 7.67'de verilen konfigürasyona göre T fazının +x yönünde Hs=1 m mesafede ve -15 m ve +15 m direk açıklığında manyetik alan analizleri yapılmıştır.



Şekil 7.67 990 A akım uygulandığında T fazının +x yönünde Hs=1 m mesafede analiz konfigürasyonu

Bu konfigürasyona göre yapılan analiz sonucunda T fazının +x yönünde Hs=1 m mesafede manyetik alan dağılımı Şekil 7.68'de verilmiştir.



Şekil 7.68 990 A akım uygulandığında T fazının +x yönünde Hs=1 m mesafede 9 tip iletken için manyetik alan dağılımı

Şekilde görüldüğü üzere T fazının +x yönünde Hs=1 m mesafede manyetik alan büyüklükleri ICNIRP tarafından belirlen halk için 200 µT, mesleki maruziyet için 1000 µT sınır değerini aşmamaktadır. Grafiğin maksimum noktasında iletkenlerin manyetik alan değerleri ve ACSR iletkeni baz alınarak yüzde farkları Tablo 7.66'da verilmiştir.

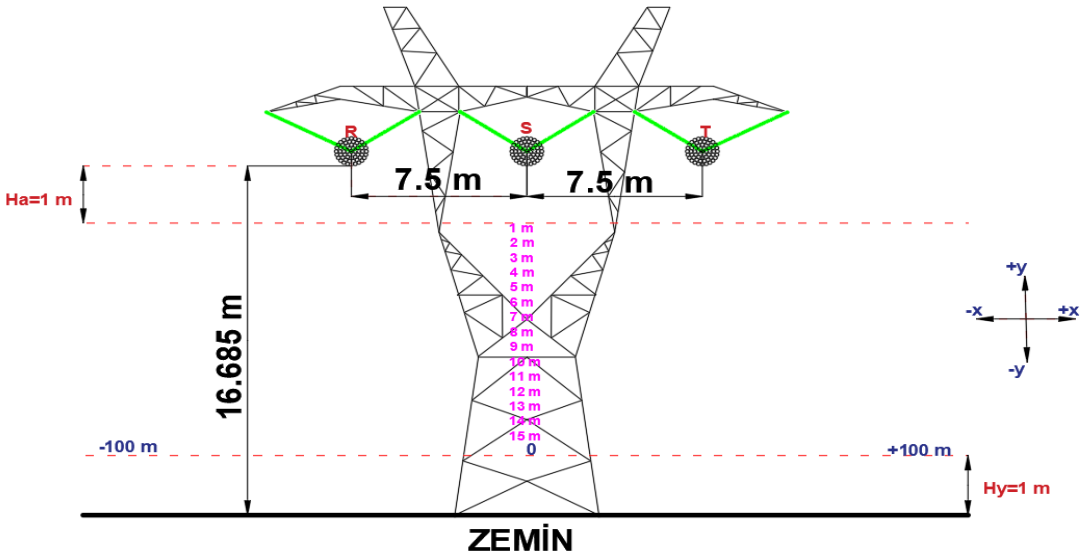
Tablo 7.66 990 A akım uygulandığında T fazının +x yönünde Hs=1 m mesafede grafiğin maksimum noktasında iletkenlerin manyetik alan büyüklükleri ve yüzde farkları

İletken	B(µT)	Fark(%)
ACSR	106,5308	**--**
ACCC	97,0602	**-8,890**
STACIR	106,7202	**0,178**
GTACSR	103,6342	**-2,719**
AAAC	109,8634	**3,128**
AAC	101,4614	**-4,759**
ACAR	102,0295	**-4,225**
ACCR	98,1297	**-7,886**
ACSS	104,4986	**-1,908**

Tablodan da görüldüğü gibi iletkenlerin geometrilerine bağlı olarak manyetik alan büyüklüklerinde az da olsa farklılıklar görülmektedir. 990 A akım uygulandığında, T

fazının +x yönünde Hs=1 m mesafede, en iyi manyetik alan performansını ACCC iletkeni gösterirken, en kötü performansı AAAC iletkeni göstermiştir. AAAC, ACCC'den yaklaşık %13 daha fazla manyetik alan meydana getirmiştir.

990 A akım uygulandığında, ACSR iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.69'a göre, S fazının -y yönünde 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında manyetik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.67'de verilmiştir.



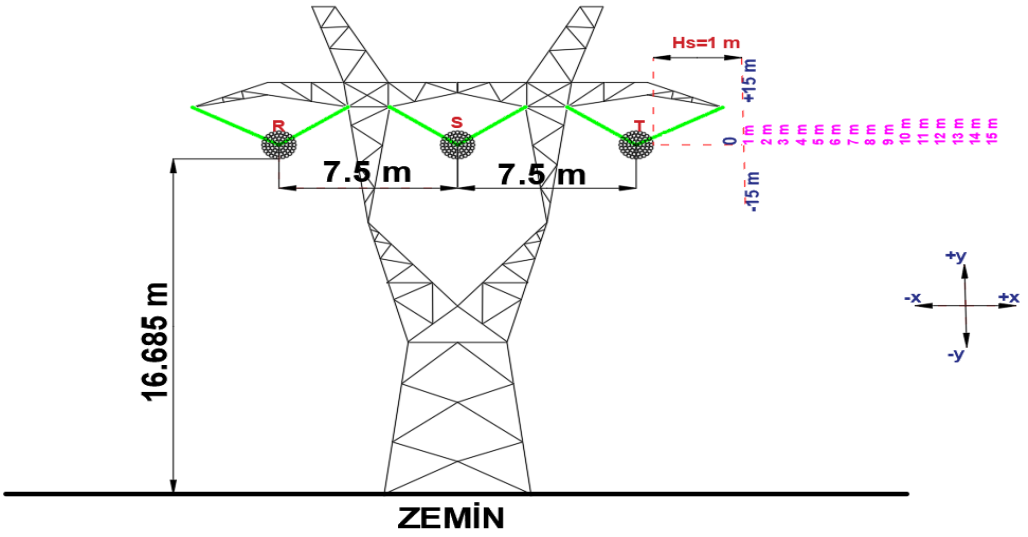
Şekil 7.69 990 A akım uygulandığında ACSR iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.67 990 A akım uygulandığında ACSR iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde manyetik alan değerleri

Mesafe(m)	B(μT)
1	125,2566
2	72,5943
3	56,1946
4	48,5586
5	44,3775
6	41,4563
7	39,4794
8	37,7685
9	36,4580
10	35,2668
11	34,3954
12	33,6594
13	33,0595
14	32,6099
15	32,3664

İletkenlerden uzaklaştıkça manyetik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta manyetik alan değeri 125,2566 µT iken, 15 m mesafede 32,3664 µT değerine düşmektedir. Bütün mesafelerde manyetik alan değerleri, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 200 µT, mesleki maruziyet için 1000 µT sınır değerini aşmamaktadır.

990 A akım uygulandığında, ACSR iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.70'e göre, T fazının +x yönünde, 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında manyetik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.68'de verilmiştir.



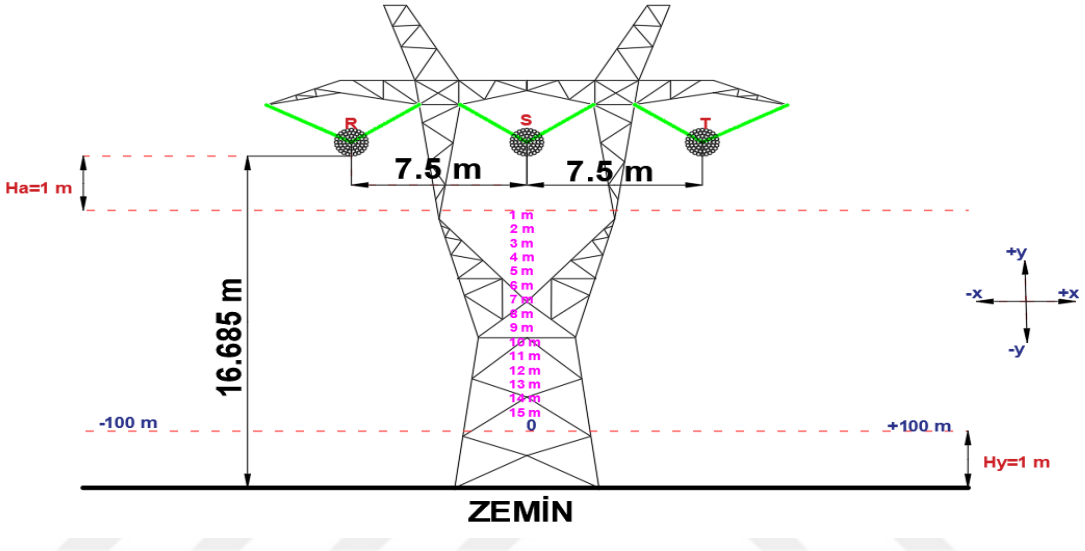
Şekil 7.70 990 A akım uygulandığında ACSR iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.68 990 A akım uygulandığında ACSR iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde manyetik alan değerleri

Mesafe(m)	B(µT)
1	106,5308
2	60,8709
3	44,1928
4	35,5478
5	30,0908
6	26,2143
7	23,1534
8	20,8064
9	18,7787
10	17,2561
11	15,9664
12	14,7267
13	13,7283
14	12,7458
15	11,9597

İletkenlerden uzaklaştıkça manyetik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta manyetik alan değeri 106,5308 µT iken, 15 m mesafede 11,9597 µT değerine düşmektedir. Bütün mesafelerde manyetik alan değerleri, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 200 µT, mesleki maruziyet için 1000 µT sınır değerini aşmamaktadır.

990 A akım uygulandığında, ACCC iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.71'e göre, S fazının -y yönünde 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında manyetik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.69'da verilmiştir.



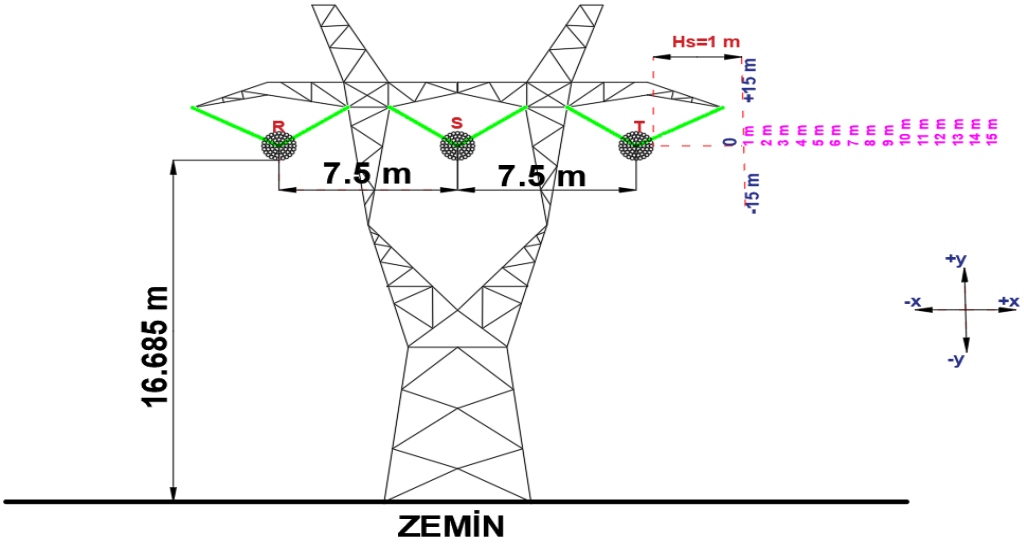
Şekil 7.71 990 A akım uygulandığında ACCC iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.69 990 A akım uygulandığında ACCC iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde manyetik alan değerleri

Mesafe(m)	B(µT)
1	109,7595
2	62,5767
3	48,7630
4	42,2793
5	38,6208
6	35,9902
7	34,2251
8	32,7980
9	31,6360
10	30,5944
11	29,8008
12	29,2118
13	28,7398
14	28,3326
15	28,0723

İletkenlerden uzaklaştıkça manyetik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta manyetik alan değeri 109,7595 µT iken, 15 m mesafede 28,0723 µT değerine düşmektedir. Bütün mesafelerde manyetik alan değerleri, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 200 µT, mesleki maruziyet için 1000 µT sınır değerini aşmamaktadır.

990 A akım uygulandığında, ACCC iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.72'ye göre, T fazının +x yönünde, 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında manyetik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.70'de verilmiştir.



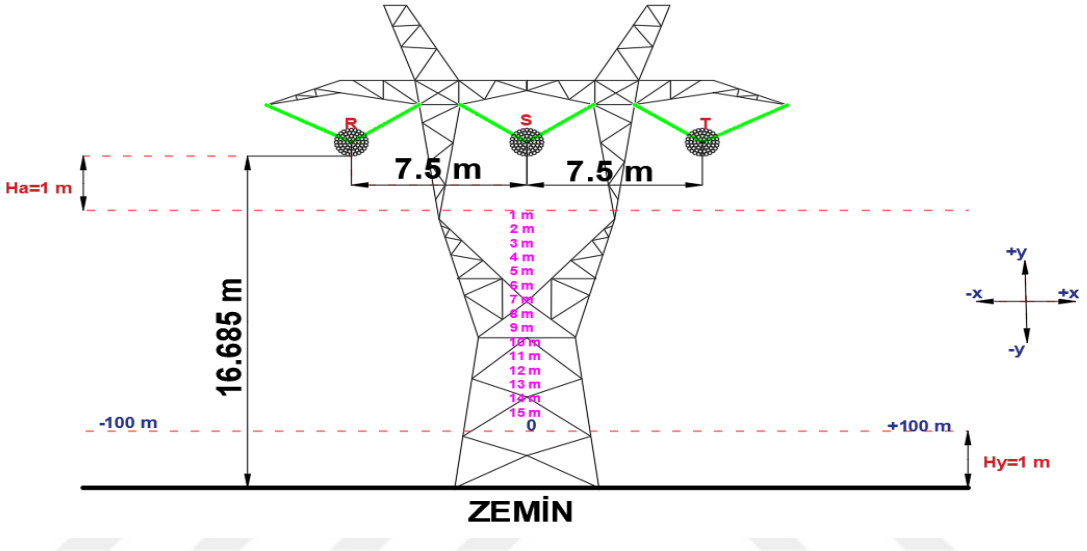
Şekil 7.72 990 A akım uygulandığında ACCC iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.70 990 A akım uygulandığında ACCC iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde manyetik alan değerleri

Mesafe(m)	B(µT)
1	97,0602
2	55,0549
3	39,9392
4	31,9593
5	26,9368
6	23,2762
7	20,6213
8	18,4334
9	16,6990
10	15,3252
11	13,9838
12	13,0070
13	12,0905
14	11,3116
15	10,5935

İletkenlerden uzaklaştıkça manyetik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta manyetik alan değeri 97,0602 µT iken, 15 m mesafede 10,5935 µT değerine düşmektedir. Bütün mesafelerde manyetik alan değerleri, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 200 µT, mesleki maruziyet için 1000 µT sınır değerini aşmamaktadır.

990 A akım uygulandığında, STACIR iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.73'e göre, S fazının -y yönünde 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında manyetik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.71'de verilmiştir.



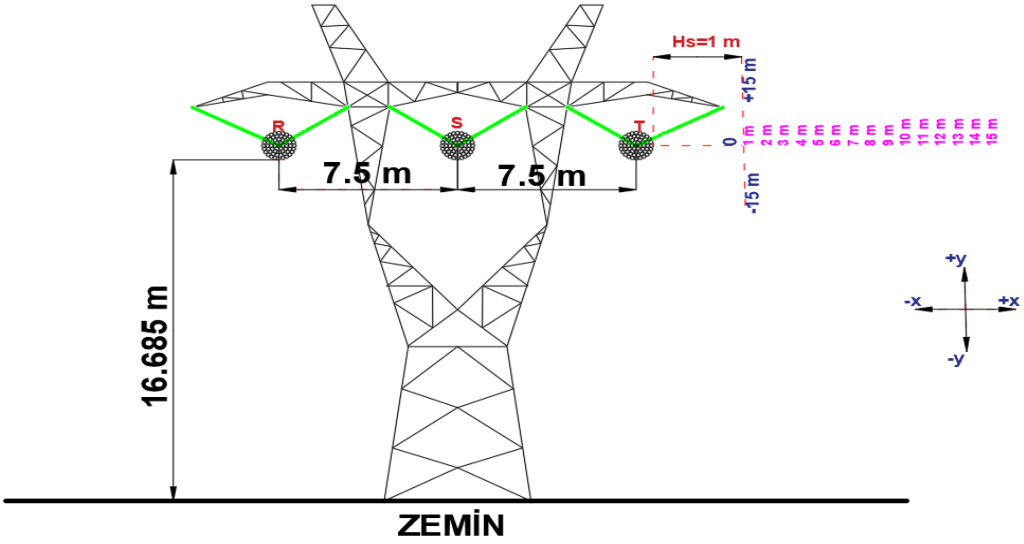
Şekil 7.73 990 A akım uygulandığında STACIR iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.71 990 A akım uygulandığında STACIR iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde manyetik alan değerleri

Mesafe(m)	B(µT)
1	128,0650
2	73,9688
3	57,2127
4	49,5665
5	45,2307
6	42,3561
7	40,1556
8	38,4990
9	37,1276
10	35,9654
11	35,0165
12	34,3129
13	33,6668
14	33,2004
15	32,9533

İletkenlerden uzaklaştıkça manyetik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta manyetik alan değeri 128,0650 µT iken, 15 m mesafede 32,9533 µT değerine düşmektedir. Bütün mesafelerde manyetik alan değerleri, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 200 µT, mesleki maruziyet için 1000 µT sınır değerini aşmamaktadır.

990 A akım uygulandığında, STACIR iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.74'e göre, T fazının +x yönünde, 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında manyetik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.72'de verilmiştir.



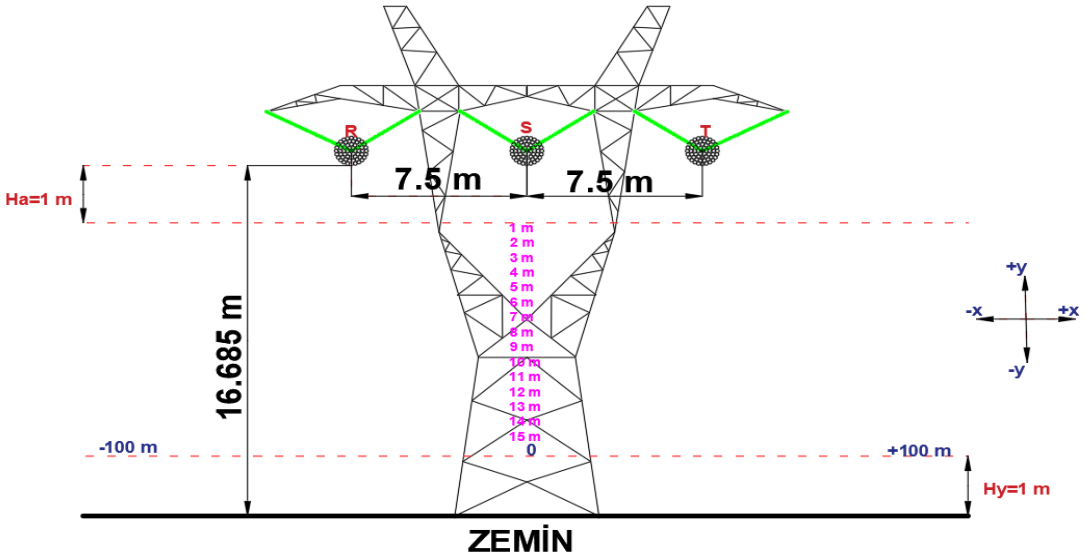
Şekil 7.74 990 A akım uygulandığında STACIR iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.72 990 A akım uygulandığında STACIR iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde manyetik alan değerleri

Mesafe(m)	B(µT)
1	106,7202
2	61,0892
3	44,9228
4	35,9714
5	30,5194
6	26,5069
7	23,5400
8	21,0611
9	19,1517
10	17,6029
11	16,1171
12	14,9100
13	13,9089
14	12,9903
15	12,1503

İletkenlerden uzaklaştıkça manyetik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta manyetik alan değeri 106,7202 μT iken, 15 m mesafede 12,1503 μT değerine düşmektedir. Bütün mesafelerde manyetik alan değerleri, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 200 μT, mesleki maruziyet için 1000 μT sınır değerini aşmamaktadır.

990 A akım uygulandığında, GTACSR iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.75'e göre, S fazının -y yönünde 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında manyetik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.73'de verilmiştir.



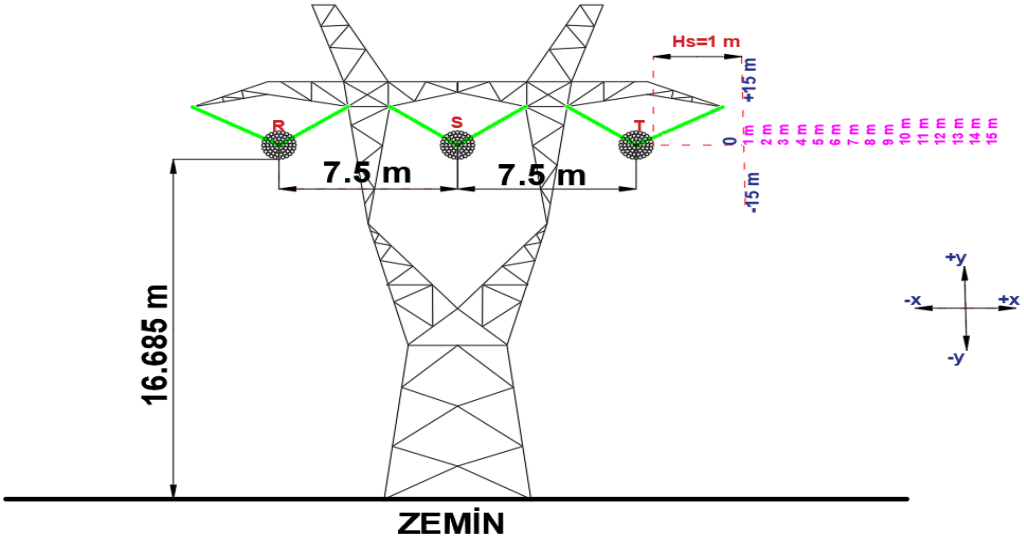
Şekil 7.75 990 A akım uygulandığında GTACSR iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.73 990 A akım uygulandığında GTACSR iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde manyetik alan değerleri

Mesafe(m)	B(μT)
1	120,4105
2	69,4248
3	53,6960
4	46,4503
5	42,4110
6	39,6666
7	37,7132
8	36,1110
9	34,7986
10	33,7813
11	32,8427
12	32,1789
13	31,5745
14	31,1396
15	30,9033

İletkenlerden uzaklaştıkça manyetik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta manyetik alan değeri 120,4105 µT iken, 15 m mesafede 30,9033 µT değerine düşmektedir. Bütün mesafelerde manyetik alan değerleri, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 200 µT, mesleki maruziyet için 1000 µT sınır değerini aşmamaktadır.

990 A akım uygulandığında, GTACSR iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.76'ya göre, T fazının +x yönünde, 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında manyetik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.74'de verilmiştir.



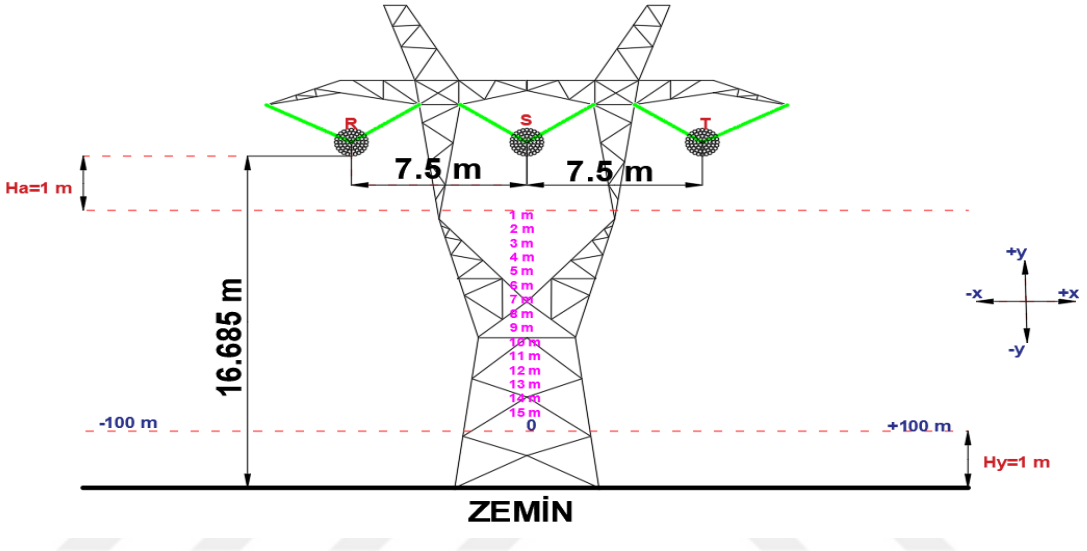
Şekil 7.76 990 A akım uygulandığında GTACSR iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.74 990 A akım uygulandığında GTACSR iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde manyetik alan değerleri

Mesafe(m)	B(µT)
1	103,6342
2	58,8559
3	42,8990
4	34,4440
5	29,0398
6	25,2397
7	22,3738
8	19,9980
9	18,1622
10	16,5797
11	15,3220
12	14,1461
13	13,1298
14	12,2061
15	11,4753

İletkenlerden uzaklaştıkça manyetik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta manyetik alan değeri 103,6342 µT iken, 15 m mesafede 11,4753 µT değerine düşmektedir. Bütün mesafelerde manyetik alan değerleri, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 200 µT, mesleki maruziyet için 1000 µT sınır değerini aşmamaktadır.

990 A akım uygulandığında, AAAC iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.77'ye göre, S fazının -y yönünde 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında manyetik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.75'de verilmiştir.



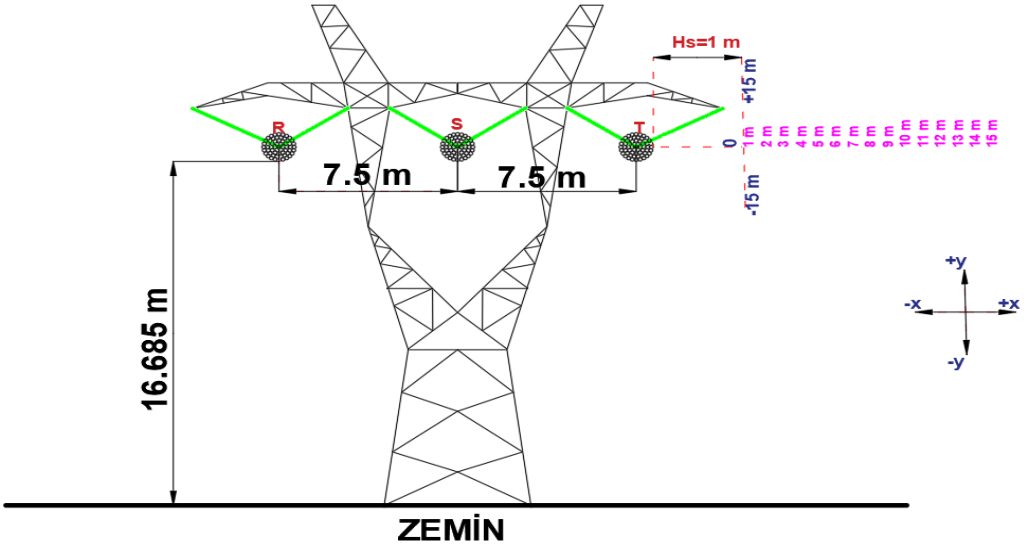
Şekil 7.77 990 A akım uygulandığında AAAC iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.75 990 A akım uygulandığında AAAC iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde manyetik alan değerleri

Mesafe(m)	B(µT)
1	132,9108
2	76,5727
3	59,3116
4	51,3110
5	46,6991
6	43,8419
7	41,6289
8	39,9113
9	38,3776
10	37,2715
11	36,2843
12	35,4801
13	34,8689
14	34,4228
15	34,0743

İletkenlerden uzaklaştıkça manyetik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta manyetik alan değeri 132,9108 µT iken, 15 m mesafede 34,0743 µT değerine düşmektedir. Bütün mesafelerde manyetik alan değerleri, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 200 µT, mesleki maruziyet için 1000 µT sınır değerini aşmamaktadır.

990 A akım uygulandığında, AAAC iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.78'e göre, T fazının +x yönünde, 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında manyetik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.76'da verilmiştir.



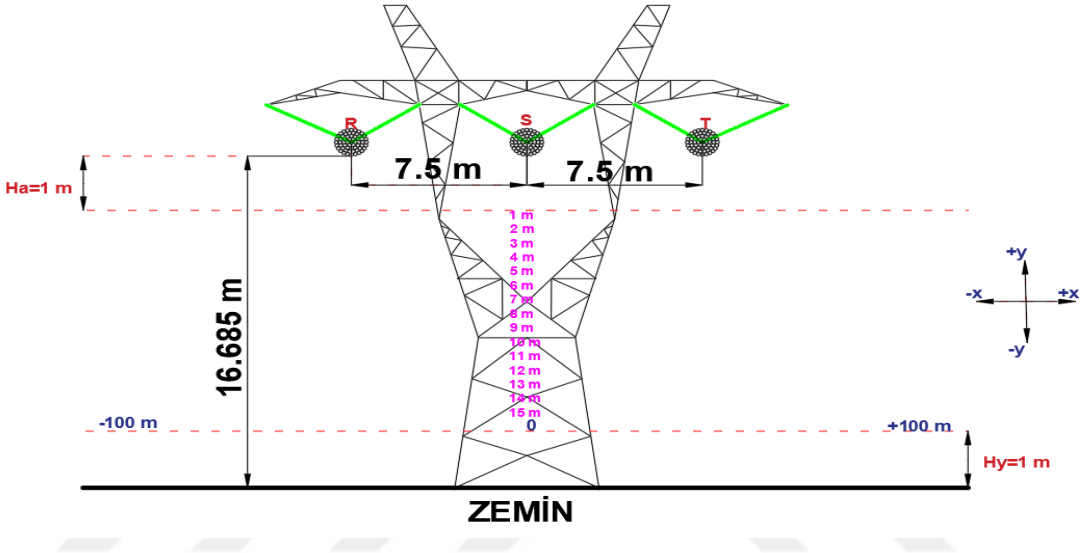
Şekil 7.78 990 A akım uygulandığında AAAC iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.76 990 A akım uygulandığında AAAC iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde manyetik alan değerleri

Mesafe(m)	B(µT)
1	109,8634
2	62,7826
3	46,2226
4	37,1143
5	31,3607
6	27,3505
7	24,1789
8	21,7467
9	19,6872
10	18,0624
11	16,6235
12	15,3453
13	14,2841
14	13,3213
15	12,4982

İletkenlerden uzaklaştıkça manyetik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta manyetik alan değeri 109,8634 μT iken, 15 m mesafede 12,4982 μT değerine düşmektedir. Bütün mesafelerde manyetik alan değerleri, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 200 μT, mesleki maruziyet için 1000 μT sınır değerini aşmamaktadır.

990 A akım uygulandığında, AAC iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.79'a göre, S fazının -y yönünde 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında manyetik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.77'de verilmiştir.



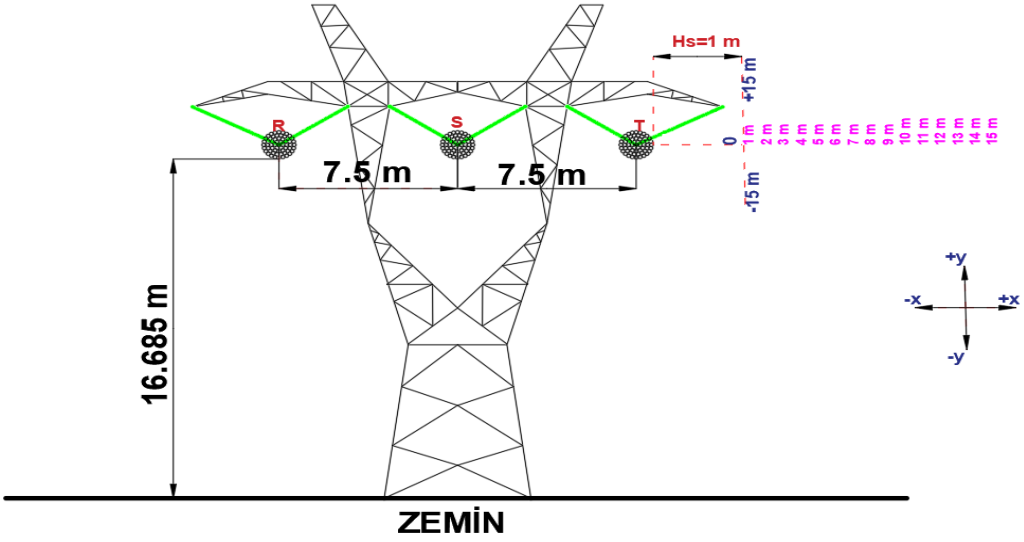
Şekil 7.79 990 A akım uygulandığında AAC iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.77 990 A akım uygulandığında AAC iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde manyetik alan değerleri

Mesafe(m)	B(μT)
1	115,9034
2	67,2079
3	52,0183
4	45,0590
5	41,1206
6	38,4539
7	36,5030
8	34,9696
9	33,7167
10	32,6395
11	31,7943
12	31,1166
13	30,5745
14	30,1340
15	29,9220

İletkenlerden uzaklaştıkça manyetik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta manyetik alan değeri 115,9034 µT iken, 15 m mesafede 29,9220 µT değerine düşmektedir. Bütün mesafelerde manyetik alan değerleri, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 200 µT, mesleki maruziyet için 1000 µT sınır değerini aşmamaktadır.

990 A akım uygulandığında, AAC iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.80'e göre, T fazının +x yönünde, 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında manyetik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.78'de verilmiştir.



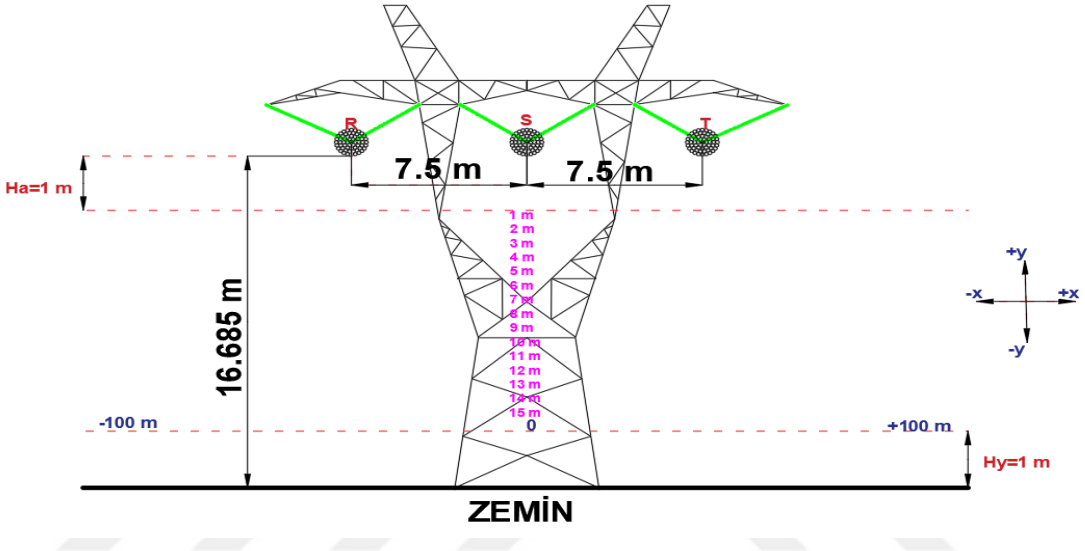
Şekil 7.80 990 A akım uygulandığında AAC iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.78 990 A akım uygulandığında AAC iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde manyetik alan değerleri

Mesafe(m)	B(µT)
1	101,4614
2	57,4657
3	41,9347
4	33,4597
5	28,3948
6	24,5945
7	21,7244
8	19,5047
9	17,6890
10	16,1749
11	14,8296
12	13,7759
13	12,7761
14	11,8887
15	11,1586

İletkenlerden uzaklaştıkça manyetik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta manyetik alan değeri 101,4614 μT iken, 15 m mesafede 11,1586 μT değerine düşmektedir. Bütün mesafelerde manyetik alan değerleri, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 200 μT, mesleki maruziyet için 1000 μT sınır değerini aşmamaktadır.

990 A akım uygulandığında, ACAR iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.81'e göre, S fazının -y yönünde 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında manyetik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.79'da verilmiştir.



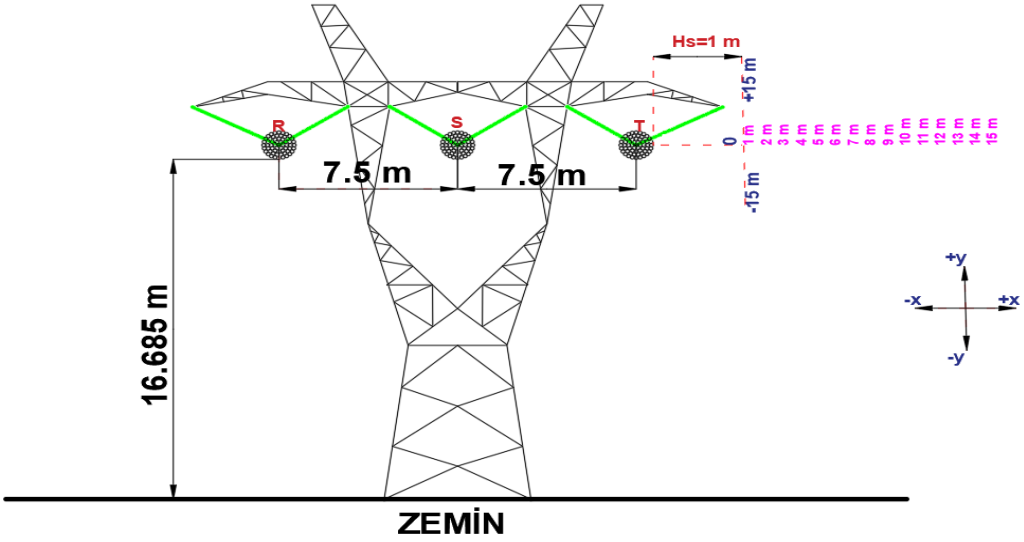
Şekil 7.81 990 A akım uygulandığında ACAR iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.79 990 A akım uygulandığında ACAR iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde manyetik alan değerleri

Mesafe(m)	B(μT)
1	117,7963
2	67,9098
3	52,3595
4	45,5879
5	41,5073
6	38,8843
7	36,9158
8	35,3371
9	34,0157
10	33,0194
11	32,1503
12	31,4269
13	30,9182
14	30,4401
15	30,2414

İletkenlerden uzaklaştıkça manyetik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta manyetik alan değeri 117,7963 µT iken, 15 m mesafede 30,2414 µT değerine düşmektedir. Bütün mesafelerde manyetik alan değerleri, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 200 µT, mesleki maruziyet için 1000 µT sınır değerini aşmamaktadır.

990 A akım uygulandığında, ACAR iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.82'ye göre, T fazının +x yönünde, 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında manyetik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.80'de verilmiştir.



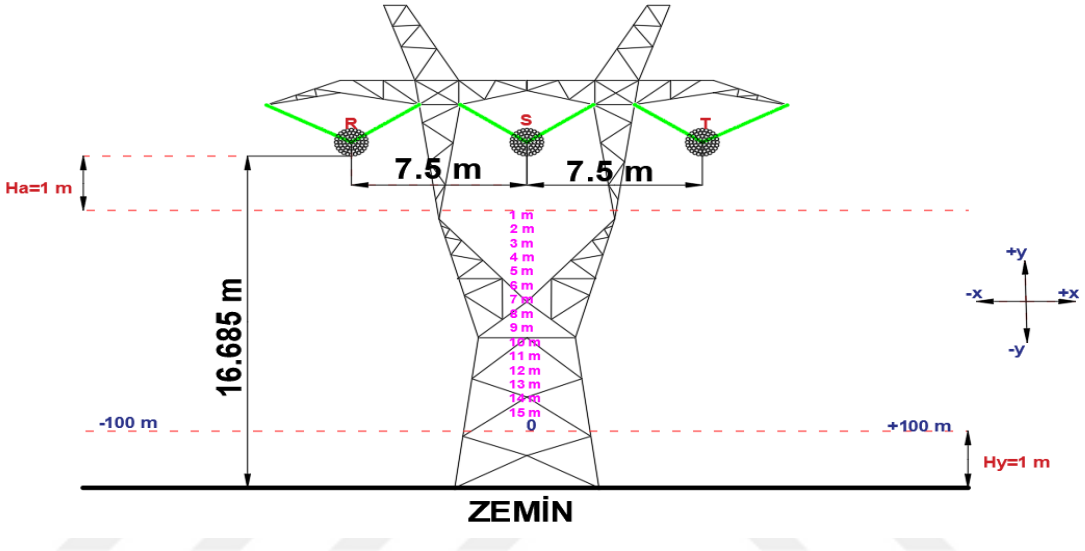
Şekil 7.82 990 A akım uygulandığında ACAR iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.80 990 A akım uygulandığında ACAR iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde manyetik alan değerleri

Mesafe(m)	B(µT)
1	102,0295
2	58,0324
3	42,2733
4	33,8518
5	28,5349
6	24,7123
7	22,0598
8	19,7069
9	17,8498
10	16,2546
11	15,0177
12	13,8837
13	12,9692
14	12,0419
15	11,2359

İletkenlerden uzaklaştıkça manyetik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta manyetik alan değeri 102,0295 μT iken, 15 m mesafede 11,2359 μT değerine düşmektedir. Bütün mesafelerde manyetik alan değerleri, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 200 μT, mesleki maruziyet için 1000 μT sınır değerini aşmamaktadır.

990 A akım uygulandığında, ACCR iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.83'e göre, S fazının -y yönünde 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında manyetik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.81'de verilmiştir.



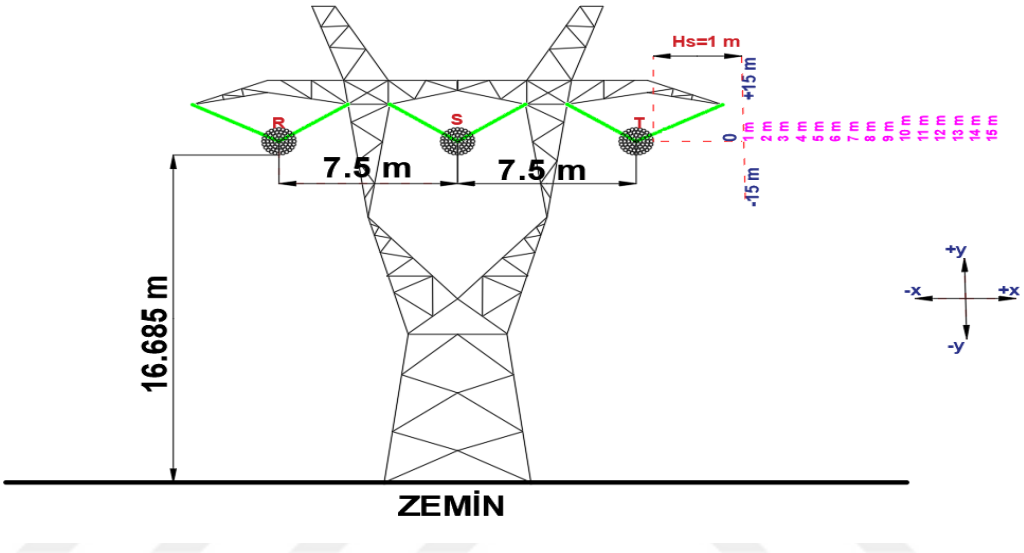
Şekil 7.83 990 A akım uygulandığında ACCR iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.81 990 A akım uygulandığında ACCR iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde manyetik alan değerleri

Mesafe(m)	B(μT)
1	111,2645
2	64,1707
3	49,5090
4	42,9656
5	39,1303
6	36,5427
7	34,8159
8	33,3255
9	32,1231
10	31,1203
11	30,3354
12	29,6311
13	29,1102
14	28,7655
15	28,4921

İletkenlerden uzaklaştıkça manyetik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta manyetik alan değeri 111,2645 µT iken, 15 m mesafede 28,4921 µT değerine düşmektedir. Bütün mesafelerde manyetik alan değerleri, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 200 µT, mesleki maruziyet için 1000 µT sınır değerini aşmamaktadır.

990 A akım uygulandığında, ACCR iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.84'e göre, T fazının +x yönünde, 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında manyetik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.82'de verilmiştir.



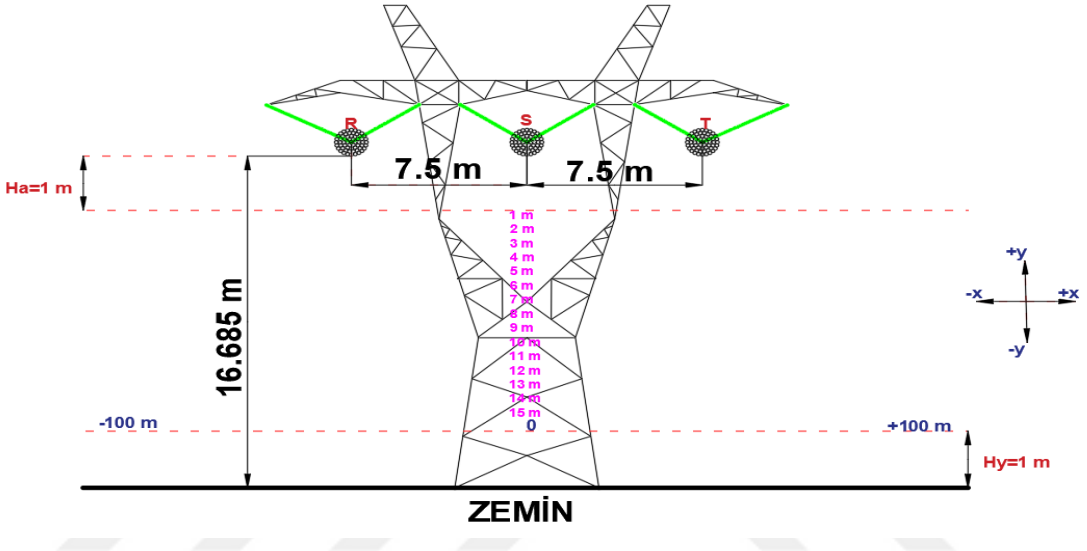
Şekil 7.84 990 A akım uygulandığında ACCR iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.82 990 A akım uygulandığında ACCR iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde manyetik alan değerleri

Mesafe(m)	B(µT)
1	98,1297
2	55,2889
3	40,4380
4	32,3243
5	27,2357
6	23,6131
7	20,9406
8	18,7187
9	17,1237
10	15,5263
11	14,2317
12	13,2216
13	12,2117
14	11,4494
15	10,6701

İletkenlerden uzaklaştıkça manyetik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta manyetik alan değeri 98,1297 μT iken, 15 m mesafede 10,6701 μT değerine düşmektedir. Bütün mesafelerde manyetik alan değerleri, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 200 μT, mesleki maruziyet için 1000 μT sınır değerini aşmamaktadır.

990 A akım uygulandığında, ACSS iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.85'e göre, S fazının -y yönünde 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında manyetik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.83'de verilmiştir.



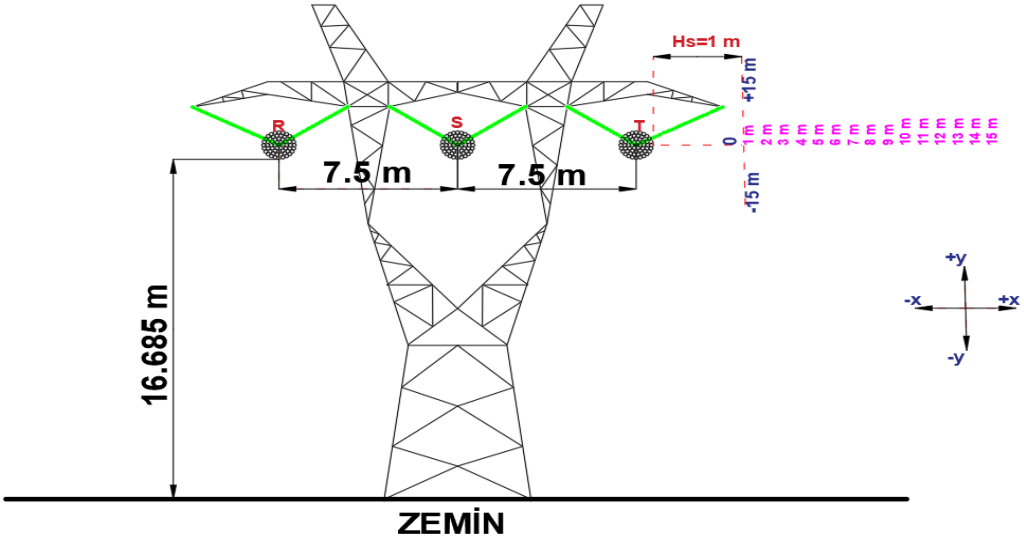
Şekil 7.85 990 A akım uygulandığında ACSS iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.83 990 A akım uygulandığında ACSS iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde manyetik alan değerleri

Mesafe(m)	B(μT)
1	123,1385
2	70,8468
3	55,1799
4	47,7415
5	43,6227
6	40,7271
7	38,7048
8	37,0713
9	35,7549
10	34,6073
11	33,7349
12	32,9430
13	32,4495
14	31,8848
15	31,7358

İletkenlerden uzaklaştıkça manyetik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta manyetik alan değeri 123,1385 μT iken, 15 m mesafede 31,7358 μT değerine düşmektedir. Bütün mesafelerde manyetik alan değerleri, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 200 μT, mesleki maruziyet için 1000 μT sınır değerini aşmamaktadır.

990 A akım uygulandığında, ACSS iletkeni kullanıldığında, Şekil 7.86'ya göre, T fazının +x yönünde, 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında manyetik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.84'de verilmiştir.



Şekil 7.86 990 A akım uygulandığında ACSS iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.84 990 A akım uygulandığında ACSS iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde manyetik alan değerleri

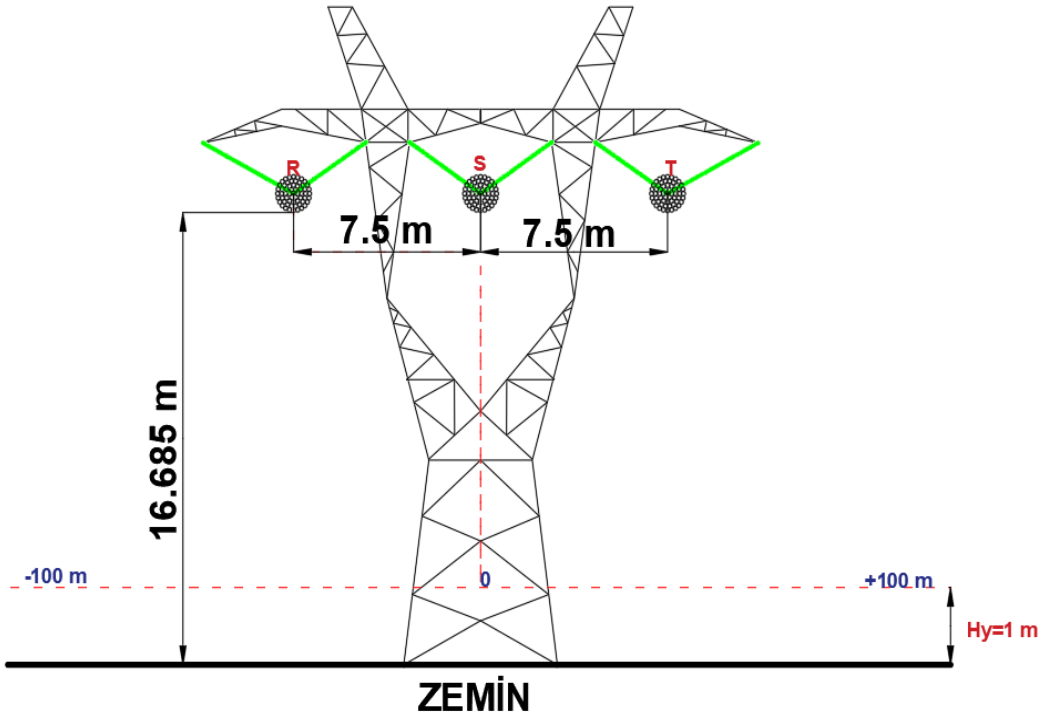
Mesafe(m)	B(μT)
1	104,4986
2	59,8196
3	43,7102
4	35,0440
5	29,6454
6	25,6741
7	22,7995
8	20,4623
9	18,5843
10	16,9843
11	15,6427
12	14,4373
13	13,4418
14	12,5431
15	11,7510

İletkenlerden uzaklaştıkça manyetik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta manyetik alan değeri 104,4986 μT iken, 15 m mesafede 11,7510 μT değerine düşmektedir. Bütün mesafelerde manyetik alan değerleri, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 200 μT, mesleki maruziyet için 1000 μT sınır değerini aşmamaktadır.

Manyetik alan analizlerine göre, iletkenlere en yakın noktada manyetik alan büyüklüğünün en yüksek olduğu görülmektedir. İletkenden uzaklaştıkça yakın mesafede manyetik alan hızla azalırken, uzak mesafelerde manyetik alan azalma hızı yavaşlamaktadır. ACCR iletkeninden örnek verecek olursak, S fazının –y yönünde 1 metreden 2 metreye gidildiğinde manyetik alan büyüklüğü 47,0938 μT azalırken, 14. metreden 15. metreye gidildiğinde ise 0,2734 μT azalmaktadır.

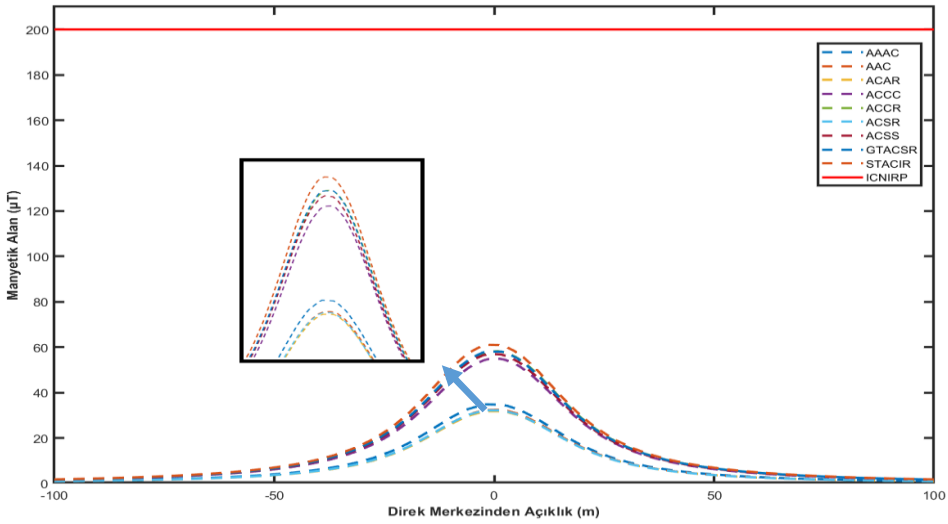
7.2.2.2 Her İletkene Maksimum Çalışma Akımları Uygulandığında Manyetik Alan Analizleri

Her iletkene maksimum çalışma akımları uygulanarak Şekil 7.87'de verilen konfigürasyona göre zeminden Hy=1 m yüksekte ve -100 m ve +100 m direk açıklığında manyetik alan analizleri yapılmıştır.



Şekil 7.87 Maksimum akımlar uygulandığında zeminden Hy=1 m yüksekte analiz konfigürasyonu

Bu analiz sonucunda zeminden Hy=1 m yüksekte iletkenlerin oluşturduğu manyetik alan dağılımı Şekil 7.88'de verilmiştir.



Şekil 7.88 Maksimum akımlar uygulandığında zeminden Hy=1 m yüksekte 9 tip iletken için manyetik alan dağılımı

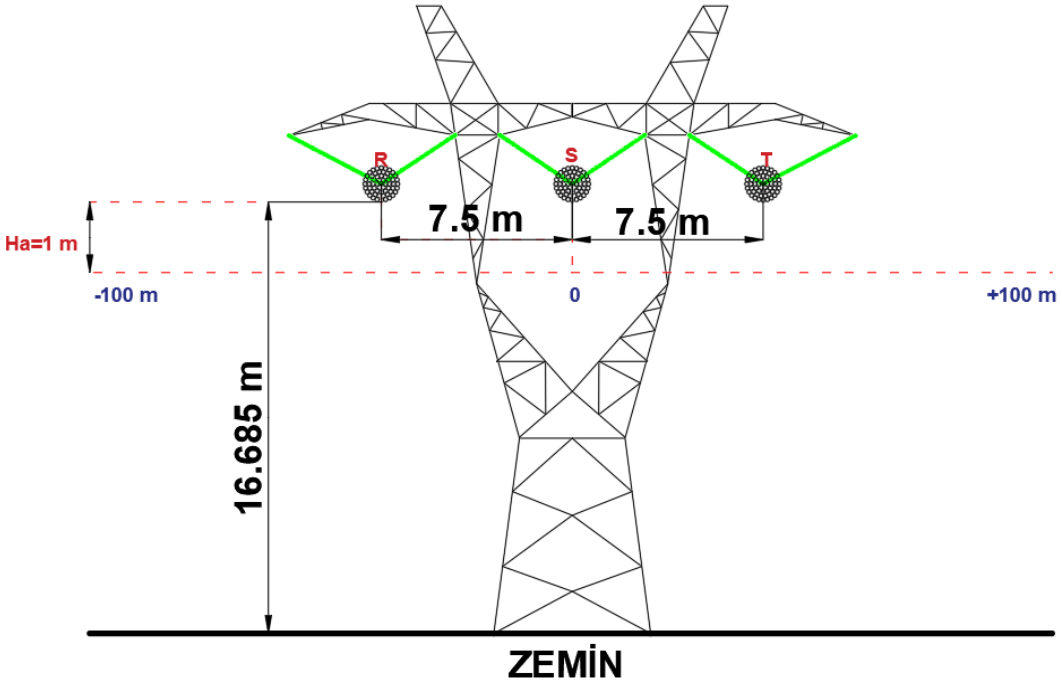
Şekilde görüldüğü üzere, iletkenlere maksimum çalışma akımları uygulandığında, yerden Hy=1 m yüksekte, iletkenlerin maksimum akım taşıma kapasitelerine göre manyetik alan değerleri değişiklik göstermektedir. En fazla akım taşıma kapasitesine sahip iletkenler kullanılmış olsa dahi zeminden 1 m yüksekte manyetik alan değerleri, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 200 µT ve mesleki maruziyet için 1000 µT sınır değerini aşmamaktadır. Ayrıca iletkenlere yaklaştıkça manyetik alanın büyüklüğü artış göstermiştir. Grafiğin maksimum noktasında iletkenlerin manyetik alan değerleri ve ACSR iletkeni baz alınarak yüzde farkları Tablo 7.85'de verilmiştir.

Tablo 7.85 Maksimum akımlar uygulandığında zeminden Hy=1 m yüksekte grafiğin maksimum noktasında iletkenlerin manyetik alan büyüklükleri ve yüzde farkları

İletken	B(µT)	Fark(%)
ACSR	32,1905	**--**
ACCC	54,8307	**70,332**
STACIR	61,1374	**89,924**
GTACSR	58,2757	**81,034**
AAAC	34,9052	**8,433**
AAC	32,4499	**0,806**
ACAR	32,0735	**-0,363**
ACCR	58,2114	**80,834**
ACSS	57,0718	**77,294**

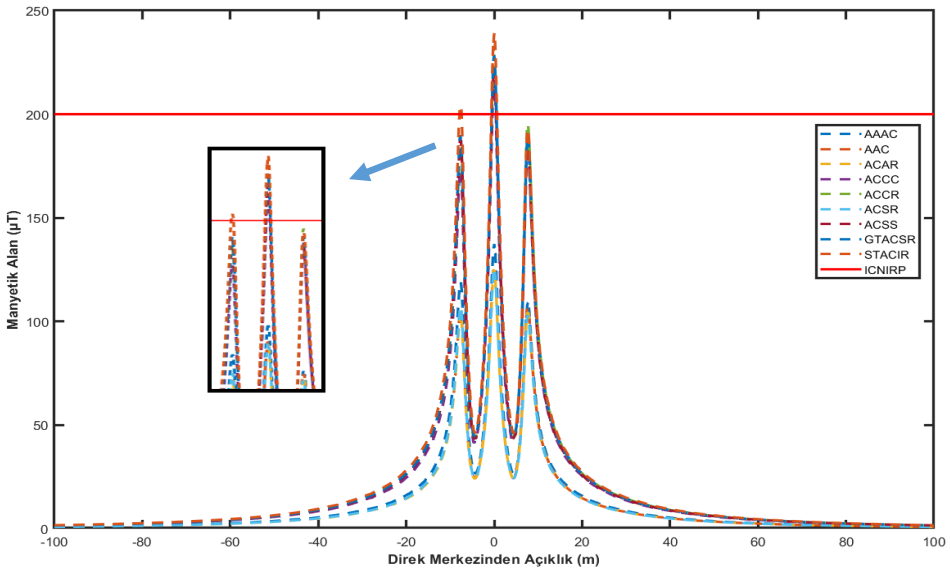
Tablodan da görüldüğü gibi iletkenlerin geometrilerine ve maksimum çalışma akımlarına bağlı olarak manyetik alan büyüklüklerinde farklılıklar görülmektedir. Maksimum çalışma akımları uygulandığında, ACCC iletkeni akım taşıma kapasitesi GTACSR, STACIR, ACSS iletkenlerinden daha fazla olmasına rağmen, zeminden Hy=1 m yüksekte, GTACSR'den yaklaşık %6, STACIR'dan yaklaşık %10 ve ACSS'den yaklaşık %4 daha düşük manyetik alan meydana getirerek daha iyi performans göstermiştir. ACAR iletkeni akım taşıma kapasitesi ACSR'den daha yüksek olmasına rağmen, zeminden Hy=1 m yüksekte manyetik alan değeri daha düşük olduğu görülmüştür. AAAC iletkeni akım taşıma kapasitesi AAC ve ACAR iletkenlerinden daha düşük olmasına rağmen, zeminden Hy=1 m yüksekte, AAC'den yaklaşık %8, ACAR'dan yaklaşık %9 daha yüksek manyetik alan meydana getirdiği görülmüş olup daha kötü performans göstermiştir.

9 tip iletkene maksimum çalışma akımları uygulanarak, Şekil 7.89'da verilen konfigürasyona göre iletkenlerin Ha=1 m altında ve -100 m ve +100 m direk açıklığında manyetik alan analizleri yapılmıştır.



Şekil 7.89 Maksimum akımlar uygulandığında iletkenlerin Ha=1 m altında analiz konfigürasyonu

Bu konfigürasyona göre yapılan analiz sonucunda, iletkenin Ha=1 m altında manyetik alan dağılımı Şekil 7.90'da verilmiştir.



Şekil 7.90 Maksimum akımlar uygulandığında iletkenlerin Ha=1 m altında 9 tip iletken için manyetik alan dağılımı

Şekilde görüldüğü üzere, maksimum çalışma akımları uygulandığında, iletkenlerin Ha=1 m altında ACCC, STACIR, GTACSR, ACCR ve ACSS iletkenlerinin manyetik alan büyüklükleri ICNIRP tarafından belirlenen halk için 200 μT sınır değerini aşarken, mesleki maruziyet için 1000 μT sınır değerini aşmamaktadır. Diğer iletkenler her iki sınır değeri de aşmamaktadır. İletkenlere yaklaştıkça manyetik alanın arttığı görülmektedir. Grafiğin maksimum noktasında iletkenlerin manyetik alan değerleri ve ACSR iletkeni baz alınarak yüzde farkları Tablo 7.86'da verilmiştir.

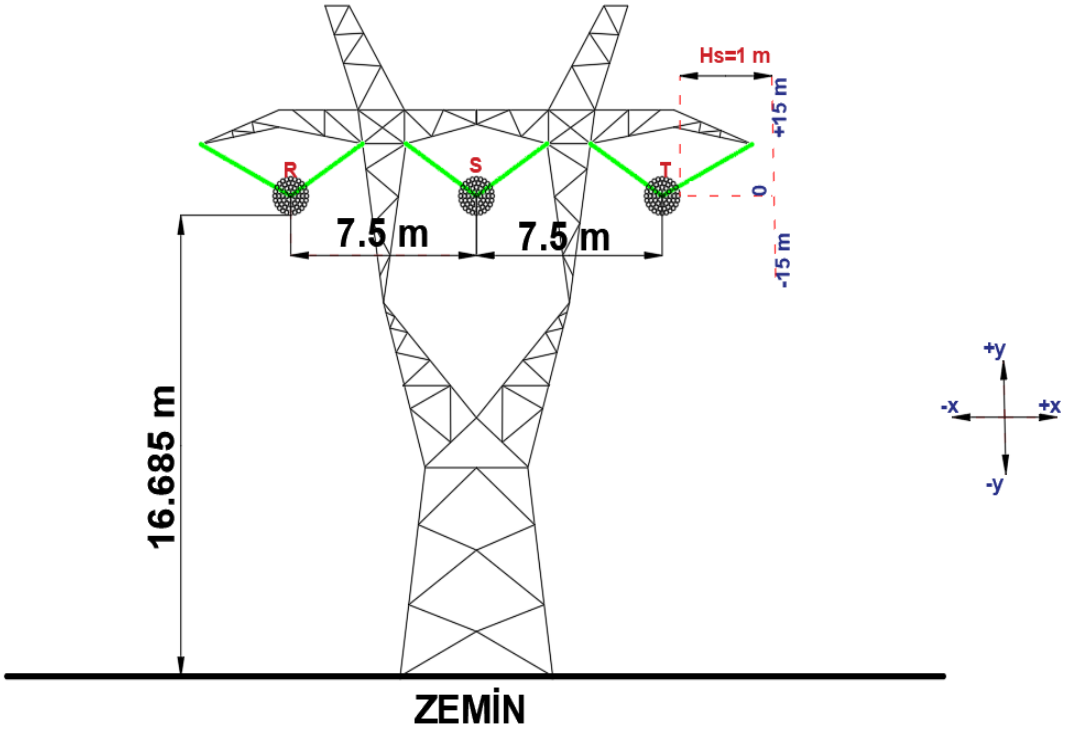
Tablo 7.86 Maksimum akımlar uygulandığında iletkenlerin Ha=1 m altında grafiğin maksimum noktasında iletkenlerin manyetik alan büyüklükleri ve yüzde farkları

İletken	B(μT)	Fark(%)
ACSR	125,2566	**--**
ACCC	215,7527	**72,249**
STACIR	238,7953	**90,645**
GTACSR	228,2897	**82,258**
AAAC	136,6711	**9,113**
AAC	126,3226	**0,851**
ACAR	124,9328	**-0,259**
ACCR	228,2652	**82,238**
ACSS	222,401	**77,556**

Tablodan da görüldüğü gibi iletkenlerin geometrilerine ve maksimum çalışma akımlarına bağlı olarak manyetik alan büyüklüklerinde farklılıklar görülmektedir. Maksimum

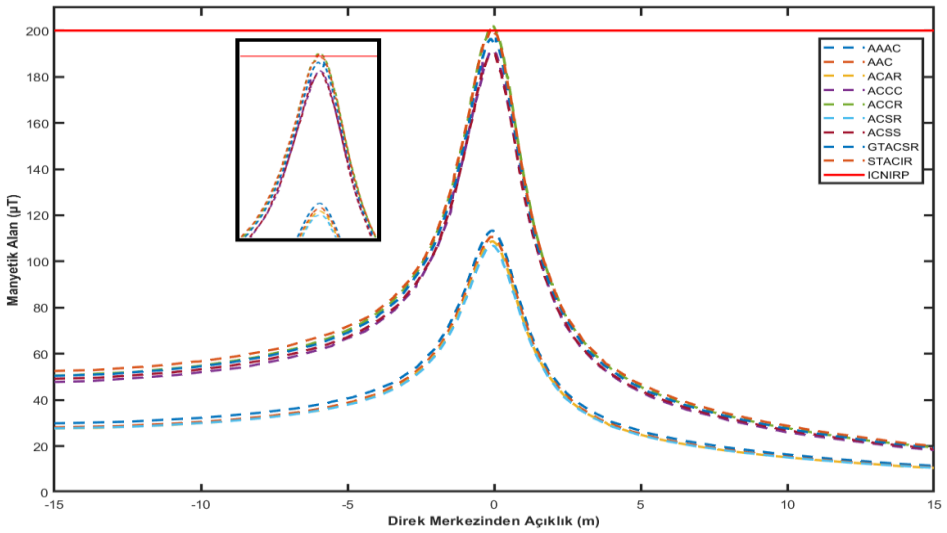
çalışma akımları uygulandığında, iletkenlerin Ha=1m altında, ACCC iletkeni akım taşıma kapasitesi GTACSR, STACIR, ACSS iletkenlerinden daha fazla olmasına rağmen, GTACSR'den yaklaşık %5, STACIR'dan yaklaşık %9 ve ACSS'den yaklaşık %5 daha düşük manyetik alan meydana getirerek daha iyi performans göstermiştir. ACAR iletkeni akım taşıma kapasitesi ACSR'den daha yüksek olmasına rağmen iletkenlerin Ha=1 m altında manyetik alan değeri daha düşük olduğu görülmüştür. AAAC iletkeni akım taşıma kapasitesi AAC ve ACAR iletkenlerinden daha düşük olmasına rağmen, iletkenlerin Ha=1 m altında, AAC'den yaklaşık %8 ve ACAR'dan yaklaşık %9 daha yüksek manyetik alan meydana getirdiği görülmüş olup daha kötü performans göstermiştir.

9 tip iletkene maksimum çalışma akımları uygulanarak, Şekil 7.91'de verilen konfigürasyona göre T fazının +x yönünde Hs=1 m mesafede ve -15 m ve +15 m direk açıklığında manyetik alan analizleri yapılmıştır.



Şekil 7.91 Maksimum akımlar uygulandığında T fazının +x yönünde Hs=1 m mesafade analiz konfigürasyonu

Bu konfigürasyona göre yapılan analiz sonucunda T fazının +x yönünde Hs=1 m mesafede manyetik alan dağılımı Şekil 7.92'de verilmiştir.



Şekil 7.92 Maksimum akımlar uygulandığında T fazının +x yönünde Hs=1 m mesafade 9 tip iletken için manyetik alan dağılımı

Şekilde görüldüğü üzere T fazının +x yönünde Hs=1 m ACCR iletkeni manyetik alan büyüklüğü ICNIRP tarafından belirlenen halk için 200 µT sınır değerini aşarken, mesleki maruziyet için 1000 µT sınır değerini aşmamaktadır. Diğer iletkenler her iki sınır değeri de aşmamaktadır. Grafiğin maksimum noktasında iletkenlerin manyetik alan değerleri ve ACSR iletkeni baz alınarak yüzde farkları Tablo 7.87'de verilmiştir.

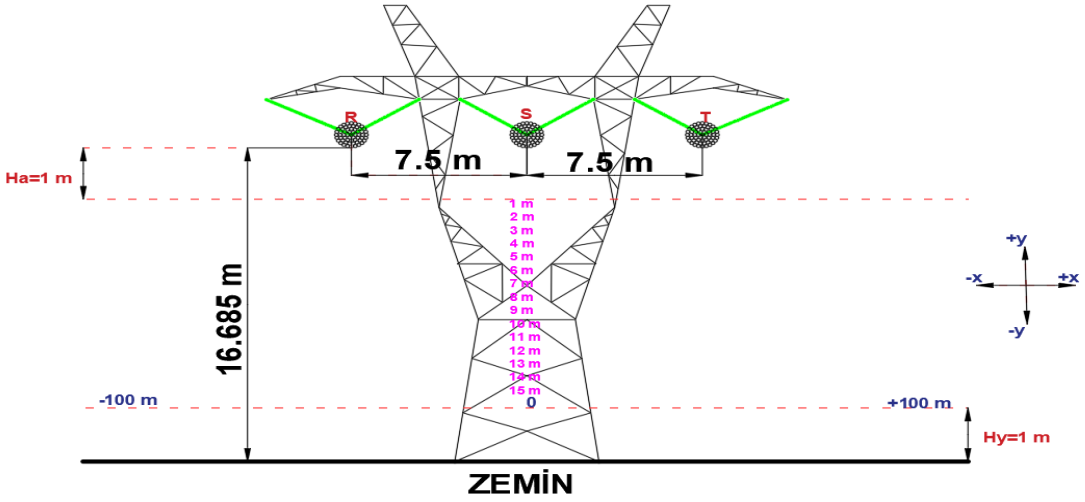
Tablo 7.87 Maksimum akımlar uygulandığında T fazının +x yönünde Hs=1 m mesafede grafiğin maksimum noktasında iletkenlerin manyetik alan büyüklükleri ve yüzde farkları

İletken	B(µT)	Fark(%)
ACSR	106,5308	**--**
ACCC	190,7891	**79,093**
STACIR	198,994	**86,795**
GTACSR	196,48	**84,435**
AAAC	112,97	**6,044**
AAC	110,5823	**3,803**
ACAR	108,2107	**1,577**
ACCR	201,318	**88,976**
ACSS	188,7343	**77,164**

Tablodan da görüldüğü gibi iletkenlerin geometrilerine ve maksimum çalışma akımlarına bağlı olarak manyetik alan büyüklüklerinde farklılıklar görülmektedir. ACCC iletkeni akım taşıma kapasitesi GTACSR ve STACIR iletkenlerinden daha fazla olmasına rağmen T fazının +x yönünde Hs=1 m mesafede, GTACSR'den yaklaşık %3, ve STACIR'dan

yaklaşık %4 daha düşük manyetik alan meydana getirerek daha iyi performans göstermiştir. AAAC iletkeni akım taşıma kapasitesi AAC ve ACAR iletkenlerinden daha düşük olmasına rağmen, T fazının +x yönünde Hs=1 m mesafede, AAC'den yaklaşık %2 ve ACAR'dan yaklaşık %4 daha yüksek manyetik alan meydana getirdiği görülmüş olup daha kötü performans göstermiştir.

ACCC iletkenine maksimum akım taşıma kapasitesi olan 1946 A akım uygulandığında, Şekil 7.93'e göre, S fazının -y yönünde 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında manyetik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.88'de verilmiştir.



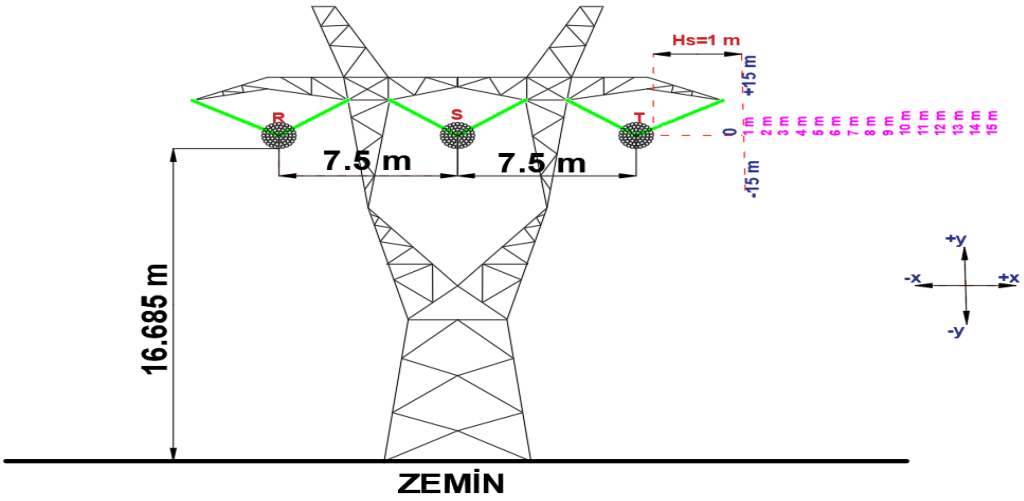
Şekil 7.93 1946 A akım uygulandığında ACCC iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.88 1946 A akım uygulandığında ACCC iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde manyetik alan değerleri

Mesafe(m)	B(μT)
1	215,7527
2	123,0061
3	95,8527
4	83,1079
5	75,9163
6	70,7454
7	67,2757
8	64,4705
9	62,1865
10	60,1390
11	58,5791
12	57,4213
13	56,4934
14	55,6930
15	55,1812

İletkenlerden uzaklaştıkça manyetik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta manyetik alan değeri 215,7527 µT iken, 15 m mesafede 55,1812 µT değerine düşmektedir. İletkenden 1 m uzakta, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 200 µT sınır değer aşılırken, diğer bütün mesafelerde halk için belirlenen 200 µT ve mesleki maruziyet için 1000 µT sınır değer aşılmamaktadır.

ACCC iletkenine maksimum akım taşıma kapasitesi olan 1946 A akım uygulandığında, Şekil 7.94'e göre, T fazının +x yönünde, 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında manyetik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.89'da verilmiştir.



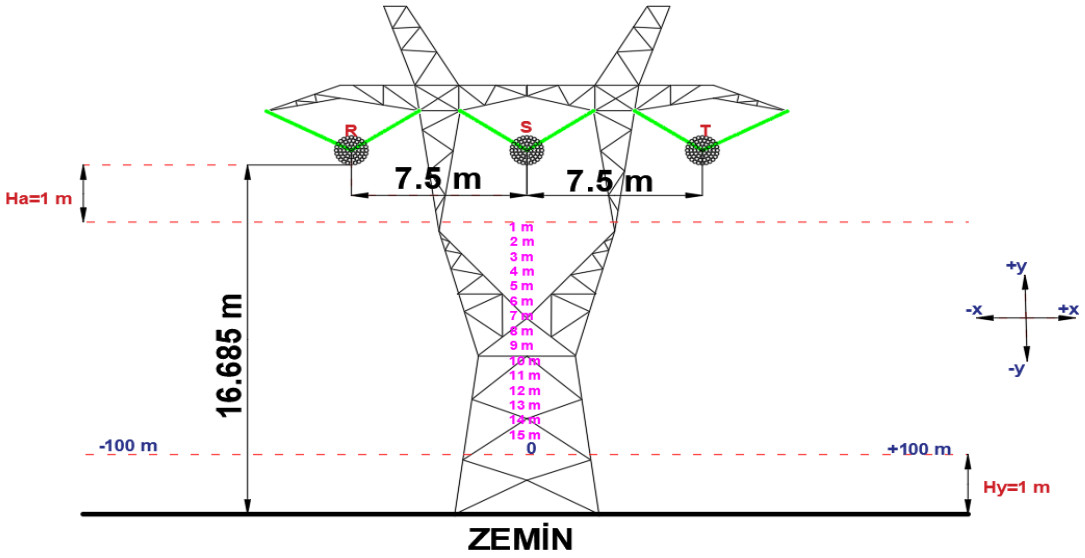
Şekil 7.94 1946 A akım uygulandığında ACCC iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.89 1946 A akım uygulandığında ACCC iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde manyetik alan değerleri

Mesafe(m)	B(µT)
1	190,7891
2	108,2201
3	78,5076
4	62,8218
5	52,9491
6	45,7536
7	40,5349
8	36,2343
9	32,8249
10	30,1244
11	27,4877
12	25,5676
13	23,7660
14	22,2351
15	20,8235

İletkenlerden uzaklaştıkça manyetik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta manyetik alan değeri 190,7891 μT iken, 15 m mesafede 20,8235 μT değerine düşmektedir. Bütün mesafelerde manyetik alan değerleri, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 200 μT ve mesleki maruziyet için 1000 μT sınır değerini aşmamaktadır.

STACIR iletkenine maksimum akım taşıma kapasitesi olan 1846 A akım uygulandığında, Şekil 7.95'e göre, S fazının -y yönünde 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında manyetik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.90'da verilmiştir.



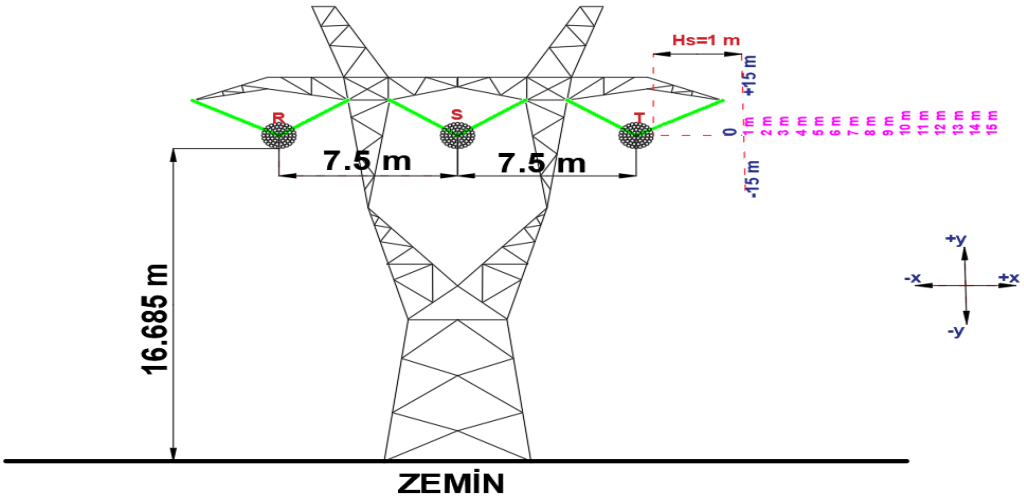
Şekil 7.95 1846 A akım uygulandığında STACIR iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.90 1846 A akım uygulandığında STACIR iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde manyetik alan değerleri

Mesafe(m)	B(μT)
1	238,7953
2	137,9254
3	106,6812
4	92,4237
5	84,3392
6	78,9790
7	74,8758
8	71,7868
9	69,2297
10	67,0626
11	65,2932
12	63,9814
13	62,7766
14	61,9068
15	61,4461

İletkenlerden uzaklaştıkça manyetik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta manyetik alan değeri 238,7953 μT iken, 15 m mesafede 61,4461 μT değerine düşmektedir. İletkenden 1 m uzakta, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 200 μT sınır değer aşılırken, diğer bütün mesafelerde halk için belirlenen 200 μT ve mesleki maruziyet için 1000 μT sınır değer aşılmamaktadır.

STACIR iletkenine maksimum akım taşıma kapasitesi olan 1846 A akım uygulandığında, Şekil 7.96'ya göre, T fazının +x yönünde, 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında manyetik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.91'de verilmiştir.



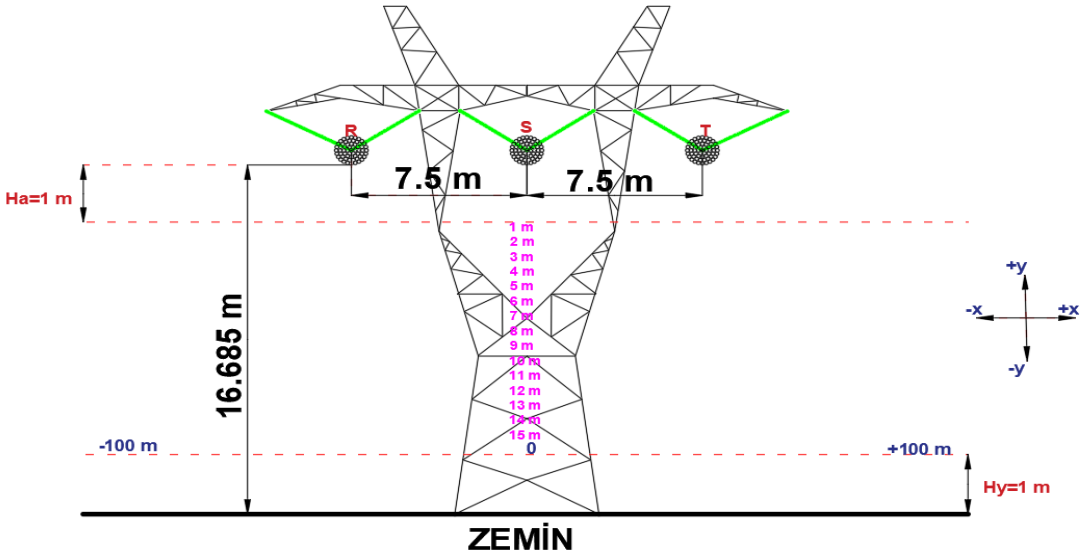
Şekil 7.96 1846 A akım uygulandığında STACIR iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.91 1846 A akım uygulandığında STACIR iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde manyetik alan değerleri

Mesafe(m)	B(μT)
1	198,9940
2	113,9090
3	83,7646
4	67,0735
5	56,9076
6	49,4258
7	43,8937
8	39,2713
9	35,7110
10	32,8230
11	30,0525
12	27,8017
13	25,9351
14	24,2222
15	22,6560

İletkenlerden uzaklaştıkça manyetik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta manyetik alan değeri 198,9940 μT iken, 15 m mesafede 22,6560 μT değerine düşmektedir. Bütün mesafelerde manyetik alan değerleri, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 200 μT ve mesleki maruziyet için 1000 μT sınır değerini aşmamaktadır.

GTACSR iletkenine maksimum akım taşıma kapasitesi olan 1877 A akım uygulandığında, Şekil 7.97'ye göre, S fazının -y yönünde 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında manyetik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.92'de verilmiştir.



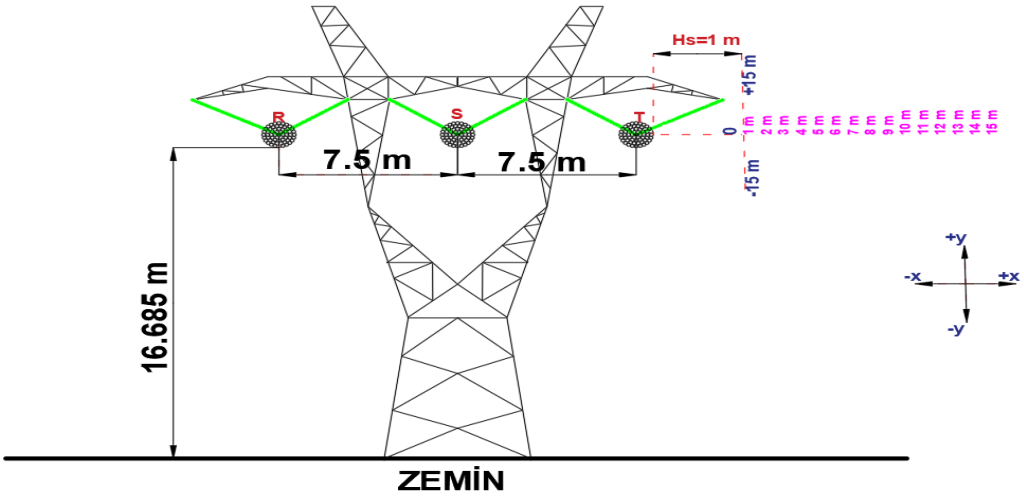
Şekil 7.97 1877 A akım uygulandığında GTACSR iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.92 1877 A akım uygulandığında GTACSR iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde manyetik alan değerleri

Mesafe(m)	B(μT)
1	228,2897
2	131,6244
3	101,8038
4	88,0664
5	80,4082
6	75,2051
7	71,5016
8	68,4638
9	65,9756
10	64,0469
11	62,2674
12	61,0089
13	59,8630
14	59,0384
15	58,5905

İletkenlerden uzaklaştıkça manyetik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta manyetik alan değeri 228,2897 μT iken, 15 m mesafede 58,5905 μT değerine düşmektedir. İletkenden 1 m uzakta, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 200 μT sınır değer aşılırken, diğer bütün mesafelerde halk için belirlenen 200 μT ve mesleki maruziyet için 1000 μT sınır değer aşılmamaktadır.

GTACSR iletkenine maksimum akım taşıma kapasitesi olan 1877 A akım uygulandığında, Şekil 7.98'e göre, T fazının +x yönünde, 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında manyetik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.93'de verilmiştir.



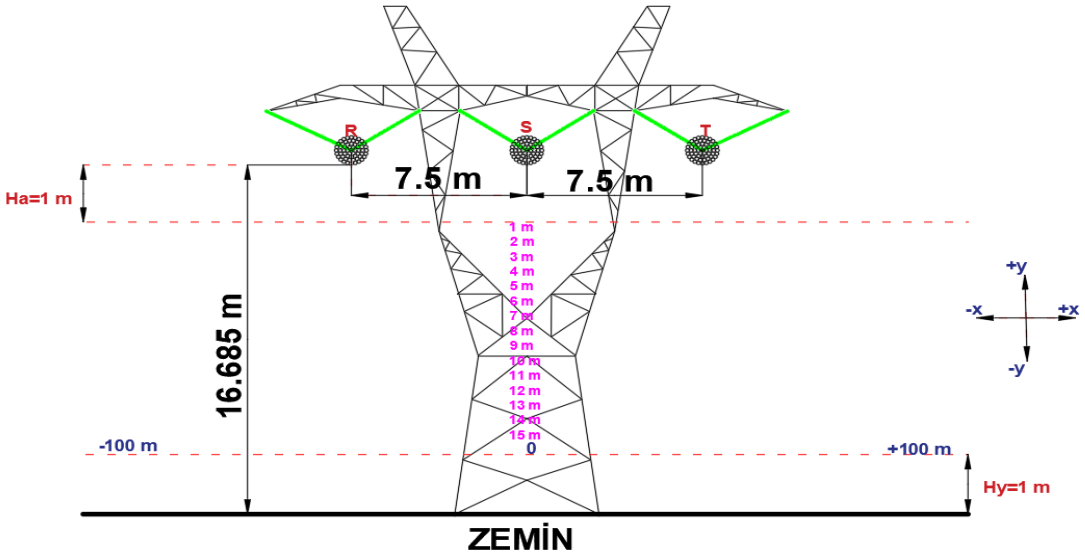
Şekil 7.98 1877 A akım uygulandığında GTACSR iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.93 1877 A akım uygulandığında GTACSR iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde manyetik alan değerleri

Mesafe(m)	B(μT)
1	196,4820
2	111,5862
3	81,3332
4	65,3032
5	55,0572
6	47,8526
7	42,4189
8	37,9146
9	34,4342
10	31,4339
11	29,0493
12	26,8200
13	24,8931
14	23,1418
15	21,7564

İletkenlerden uzaklaştıkça manyetik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta manyetik alan değeri 196,4820 µT iken, 15 m mesafede 21,7564 µT değerine düşmektedir. Bütün mesafelerde manyetik alan değerleri, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 200 µT ve mesleki maruziyet için 1000 µT sınır değerini aşmamaktadır.

AAAC iletkenine maksimum akım taşıma kapasitesi olan 1018 A akım uygulandığında, Şekil 7.99'a göre, S fazının -y yönünde 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında manyetik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.94'de verilmiştir.



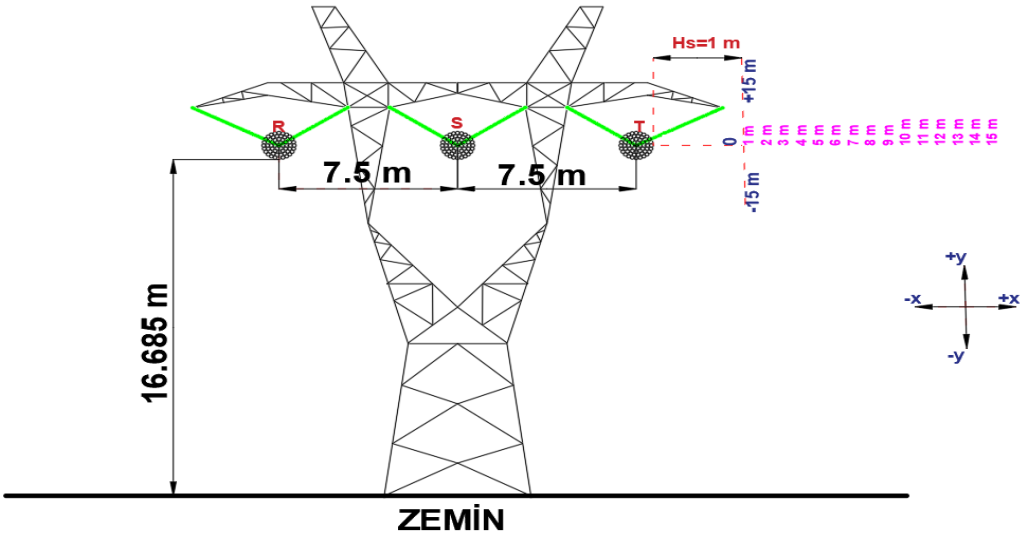
Şekil 7.99 1018 A akım uygulandığında AAAC iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.94 1018 A akım uygulandığında AAAC iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde manyetik alan değerleri

Mesafe(m)	B(µT)
1	136,6711
2	78,7390
3	60,9897
4	52,7627
5	48,0203
6	45,0822
7	42,8067
8	41,0405
9	39,4633
10	38,3260
11	37,3108
12	36,4839
13	35,8554
14	35,3966
15	35,0383

İletkenlerden uzaklaştıkça manyetik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta manyetik alan değeri 136,6711 µT iken, 15 m mesafede 35,0383 µT değerine düşmektedir. Bütün mesafelerde manyetik alan değerleri, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 200 µT ve mesleki maruziyet için 1000 µT sınır değerini aşmamaktadır.

AAAC iletkenine maksimum akım taşıma kapasitesi olan 1018 A akım uygulandığında, Şekil 7.100'e göre, T fazının +x yönünde, 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında manyetik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.95'de verilmiştir.



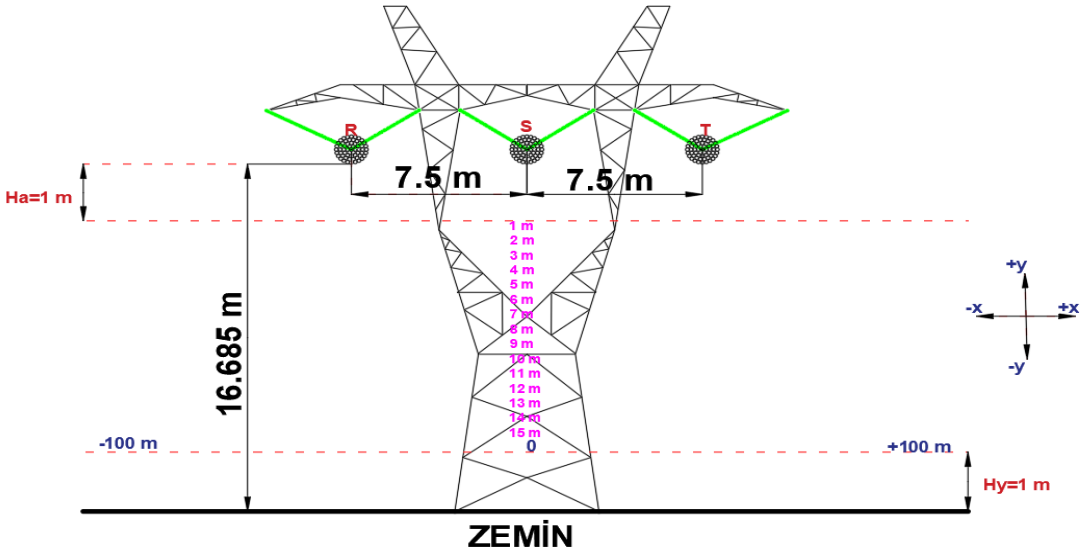
Şekil 7.100 1018 A akım uygulandığında AAAC iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.95 1018 A akım uygulandığında AAAC iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde manyetik alan değerleri

Mesafe(m)	B(µT)
1	112,9717
2	64,5589
3	47,5303
4	38,1643
5	32,2480
6	28,1243
7	24,8629
8	22,3620
9	20,2442
10	18,5735
11	17,0938
12	15,7795
13	14,6882
14	13,6982
15	12,8518

İletkenlerden uzaklaştıkça manyetik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta manyetik alan değeri 112,9717 µT iken, 15 m mesafede 12,8518 µT değerine düşmektedir. Bütün mesafelerde manyetik alan değerleri, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 200 µT ve mesleki maruziyet için 1000 µT sınır değerini aşmamaktadır.

AAC iletkenine maksimum akım taşıma kapasitesi olan 1079 A akım uygulandığında, Şekil 7.101'e göre, S fazının -y yönünde 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında manyetik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.96'da verilmiştir.



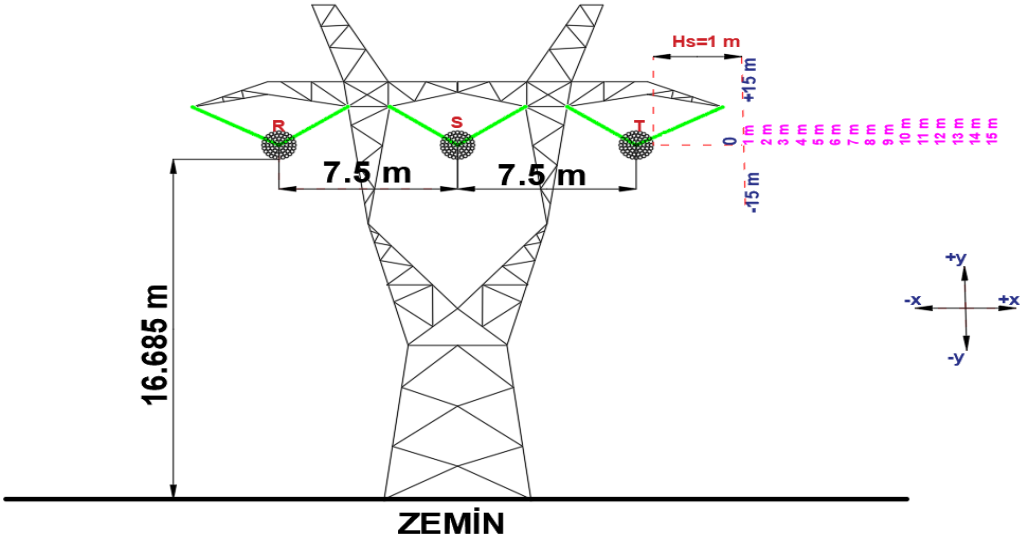
Şekil 7.101 1079 A akım uygulandığında AAC iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.96 1079 A akım uygulandığında AAC iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde manyetik alan değerleri

Mesafe(m)	B(µT)
1	126,3226
2	73,2496
3	56,6945
4	49,1096
5	44,8171
6	41,9107
7	39,7845
8	38,1132
9	36,7477
10	35,5737
11	34,6525
12	33,9138
13	33,3230
14	32,8429
15	32,6118

İletkenlerden uzaklaştıkça manyetik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta manyetik alan değeri 126,3226 µT iken, 15 m mesafede 32,6118 µT değerine düşmektedir. Bütün mesafelerde manyetik alan değerleri, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 200 µT ve mesleki maruziyet için 1000 µT sınır değerini aşmamaktadır.

AAC iletkenine maksimum akım taşıma kapasitesi olan 1079 A akım uygulandığında, Şekil 7.102'ye göre, T fazının +x yönünde, 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında manyetik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.97'de verilmiştir.



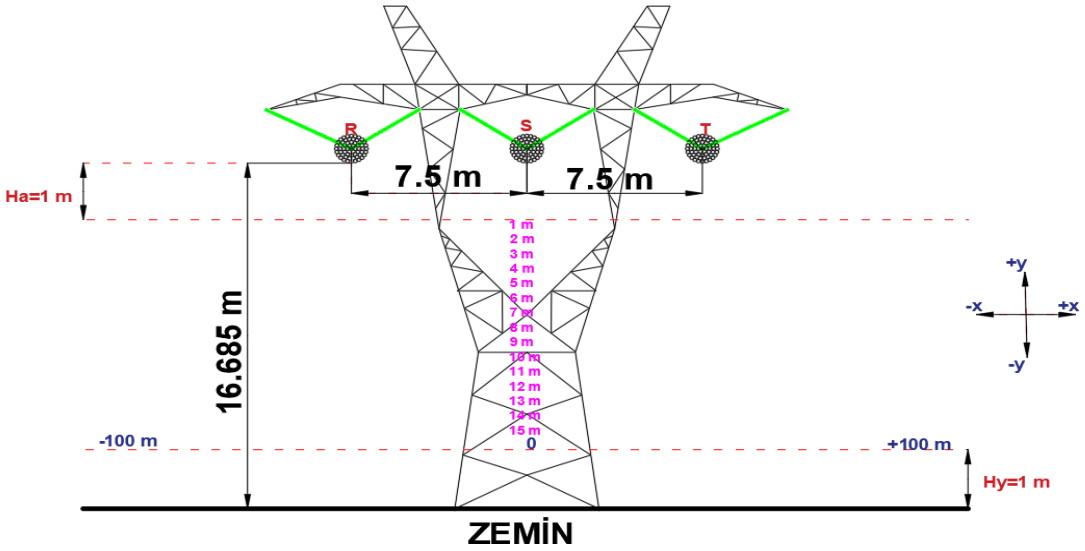
Şekil 7.102 1079 A akım uygulandığında AAC iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.97 1079 A akım uygulandığında AAC iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde manyetik alan değerleri

Mesafe(m)	B(µT)
1	110,5823
2	62,6316
3	45,7045
4	36,4676
5	30,9473
6	26,8054
7	23,6773
8	21,2580
9	19,2792
10	17,6290
11	16,1627
12	15,0143
13	13,9247
14	12,9574
15	12,1617

İletkenlerden uzaklaştıkça manyetik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta manyetik alan değeri 110,5823 µT iken, 15 m mesafede 12,1617 µT değerine düşmektedir. Bütün mesafelerde manyetik alan değerleri, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 200 µT ve mesleki maruziyet için 1000 µT sınır değerini aşmamaktadır.

ACAR iletkenine maksimum akım taşıma kapasitesi olan 1050 A akım uygulandığında, Şekil 7.103'e göre, S fazının -y yönünde 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında manyetik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.98'de verilmiştir.



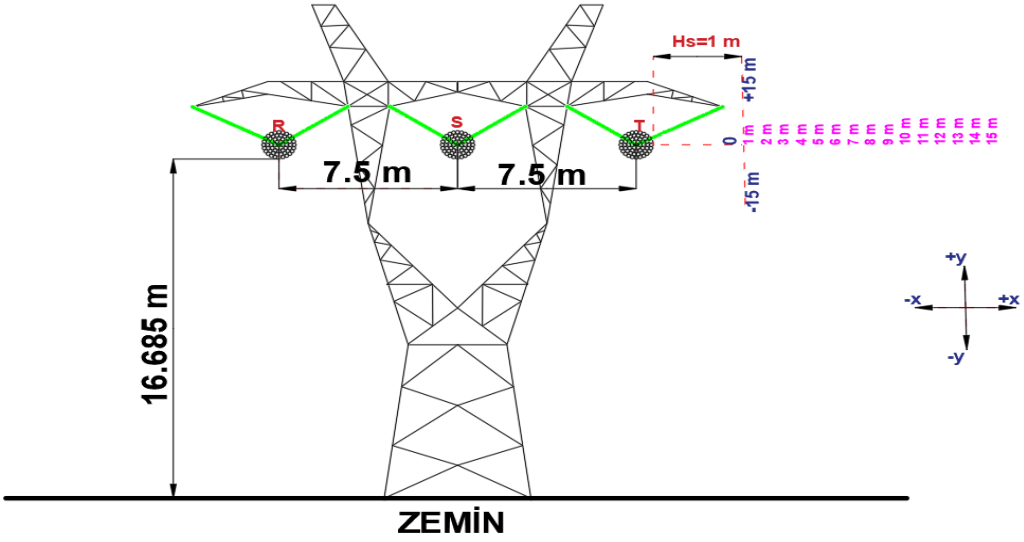
Şekil 7.103 1050 A akım uygulandığında ACAR iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.98 1050 A akım uygulandığında ACAR iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde manyetik alan değerleri

Mesafe(m)	B(µT)
1	124,9328
2	72,0239
3	55,5316
4	48,3498
5	44,0220
6	41,2400
7	39,1523
8	37,4780
9	36,0765
10	35,0198
11	34,0981
12	33,3309
13	32,7913
14	32,2842
15	32,0735

İletkenlerden uzaklaştıkça manyetik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta manyetik alan değeri 124,9328 µT iken, 15 m mesafede 32,0735 µT değerine düşmektedir. Bütün mesafelerde manyetik alan değerleri, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 200 µT ve mesleki maruziyet için 1000 µT sınır değerini aşmamaktadır.

ACAR iletkenine maksimum akım taşıma kapasitesi olan 1050 A akım uygulandığında, Şekil 7.104'e göre, T fazının +x yönünde, 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında manyetik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.99'da verilmiştir.



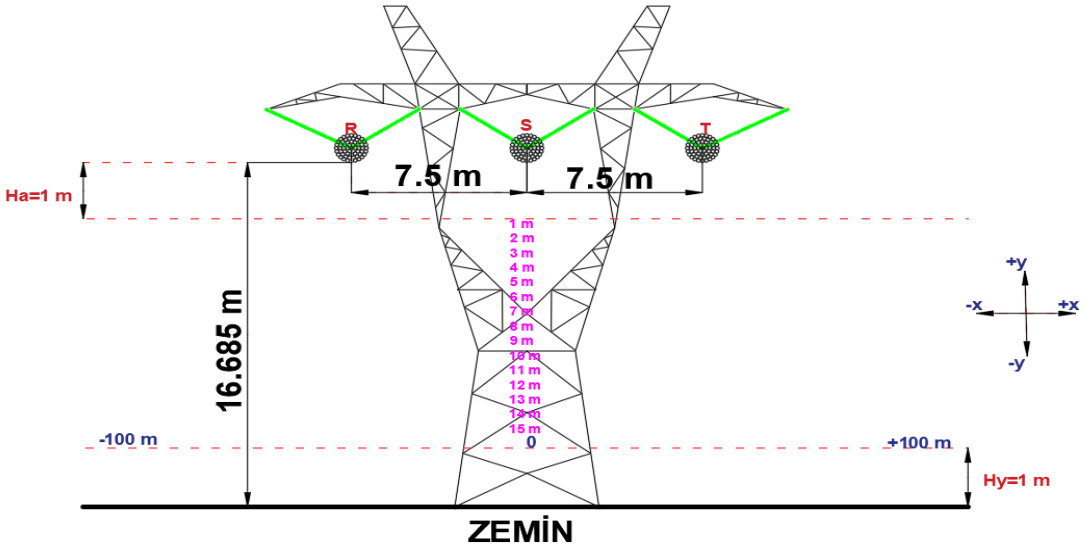
Şekil 7.104 1050 A akım uygulandığında ACAR iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.99 1050 A akım uygulandığında ACAR iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde manyetik alan değerleri

Mesafe(m)	B(µT)
1	108,2107
2	61,5482
3	44,8344
4	35,9027
5	30,2637
6	26,2095
7	23,3963
8	20,9008
9	18,9312
10	17,2394
11	15,9275
12	14,7248
13	13,7549
14	12,7715
15	11,9166

İletkenlerden uzaklaştıkça manyetik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta manyetik alan değeri 108,2107 µT iken, 15 m mesafede 11,9166 µT değerine düşmektedir. Bütün mesafelerde manyetik alan değerleri, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 200 µT ve mesleki maruziyet için 1000 µT sınır değerini aşmamaktadır.

ACCR iletkenine maksimum akım taşıma kapasitesi olan 2031 A akım uygulandığında, Şekil 7.105'e göre, S fazının -y yönünde 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında manyetik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.100'de verilmiştir.



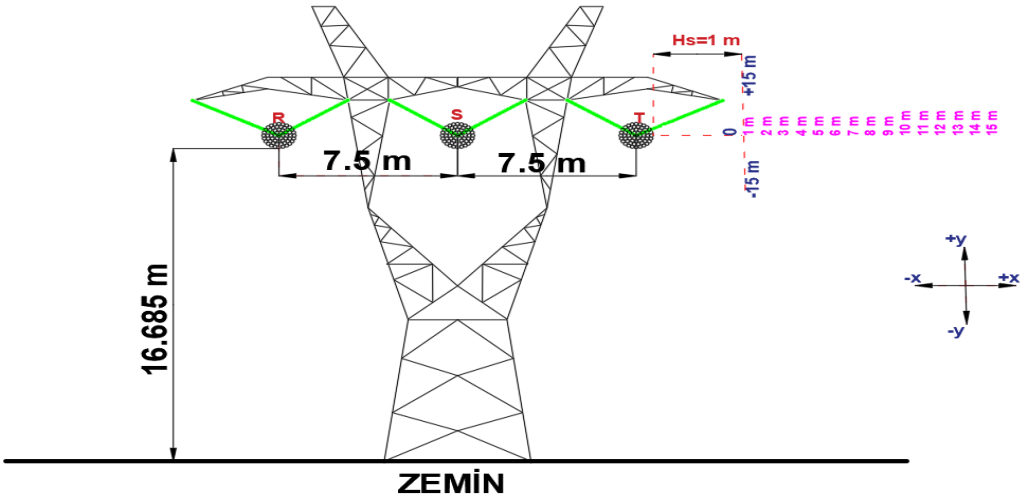
Şekil 7.105 2031 A akım uygulandığında ACCR iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.100 2031 A akım uygulandığında iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde manyetik alan değerleri

Mesafe(m)	B(µT)
1	228,2652
2	131,6497
3	101,5705
4	88,1463
5	80,2781
6	74,9693
7	71,4268
8	68,3692
9	65,9023
10	63,8450
11	62,2348
12	60,7899
13	59,7213
14	59,0139
15	58,4532

İletkenlerden uzaklaştıkça manyetik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta manyetik alan değeri 228,2652 μT iken, 15 m mesafede 58,4532 μT değerine düşmektedir. İletkenden 1 m uzakta, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 200 μT sınır değer aşılırken, diğer bütün mesafelerde halk için belirlenen 200 μT ve mesleki maruziyet için 1000 μT sınır değer aşılmamaktadır.

ACCR iletkenine maksimum akım taşıma kapasitesi olan 2031 A akım uygulandığında, Şekil 7.106'ya göre, T fazının +x yönünde, 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında manyetik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.101'de verilmiştir.



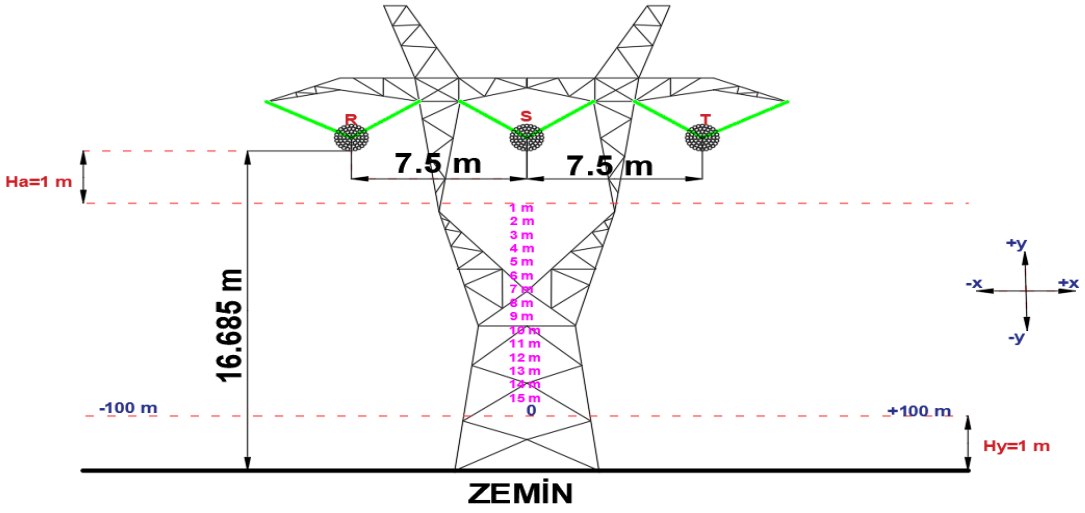
Şekil 7.106 2031 A akım uygulandığında ACCR iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.101 2031 A akım uygulandığında ACCR iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde manyetik alan değerleri

Mesafe(m)	B(μT)
1	201,3180
2	113,4280
3	82,9606
4	66,3150
5	55,8754
6	48,4435
7	42,9607
8	38,4025
9	35,1301
10	31,8531
11	29,1970
12	27,1249
13	25,0529
14	23,4890
15	21,8902

İletkenlerden uzaklaştıkça manyetik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta manyetik alan değeri 201,3180 μT iken, 15 m mesafede 21,8902 μT değerine düşmektedir. İletkenden 1 m uzakta, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 200 μT sınır değer aşılırken, diğer bütün mesafelerde halk için belirlenen 200 μT ve mesleki maruziyet için 1000 μT sınır değer aşılmamaktadır.

ACSS iletkenine maksimum akım taşıma kapasitesi olan 1788 A akım uygulandığında, Şekil 7.107'ye göre, S fazının -y yönünde 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında manyetik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.102'de verilmiştir.



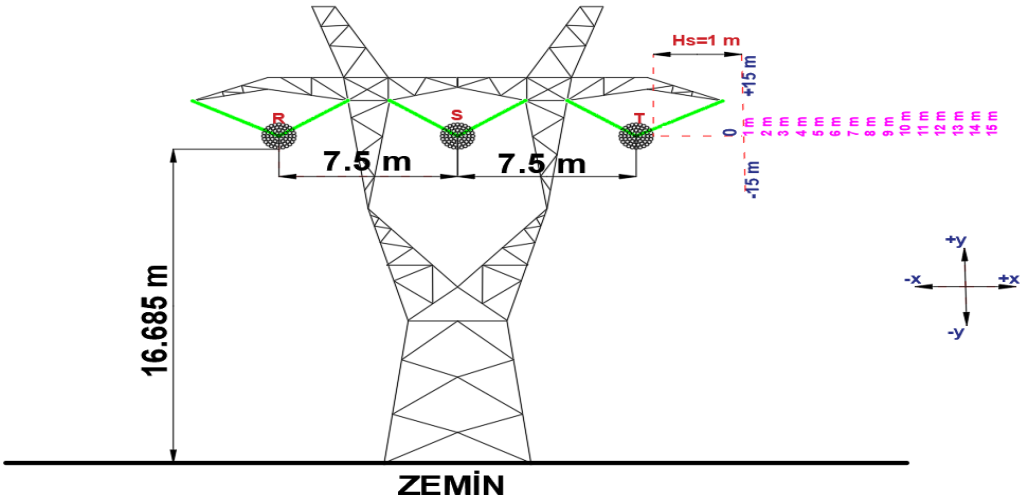
Şekil 7.107 1788 A akım uygulandığında ACSS iletkeni ile S fazının -y yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.102 1788 A akım uygulandığında ACSS iletkeni kullanıldığında S fazının –y yönünde manyetik alan değerleri

Mesafe(m)	B(μT)
1	222,4010
2	127,9566
3	99,6606
4	86,2260
5	78,7871
6	73,5574
7	69,9050
8	66,9547
9	64,5770
10	62,5044
11	60,9287
12	59,4986
13	58,6072
14	57,5872
15	57,3182

İletkenlerden uzaklaştıkça manyetik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta manyetik alan değeri 222,4010 µT iken, 15 m mesafede 57,3182 µT değerine düşmektedir. İletkenden 1 m uzakta, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 200 µT sınır değer aşılırken, diğer bütün mesafelerde halk için belirlenen 200 µT ve mesleki maruziyet için 1000 µT sınır değer aşılmamaktadır.

ACSS iletkenine maksimum akım taşıma kapasitesi olan 1788 A akım uygulandığında, Şekil 7.108'e göre, T fazının +x yönünde, 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15 m uzaklıklarında manyetik alan şiddetine ait değerler Tablo 7.103'de verilmiştir.



Şekil 7.108 1788 A akım uygulandığında ACSS iletkeni ile T fazının +x yönünde farklı mesafelerde analiz konfigürasyonu

Tablo 7.103 1788 A akım uygulandığında ACSS iletkeni kullanıldığında T fazının +x yönünde manyetik alan değerleri

Mesafe(m)	B(µT)
1	188,7343
2	108,0400
3	78,9449
4	63,2930
5	53,5425
6	46,3700
7	41,1781
8	36,9569
9	33,5650
10	30,6753
11	28,2523
12	26,0752
13	24,2772
14	22,6540
15	21,2234

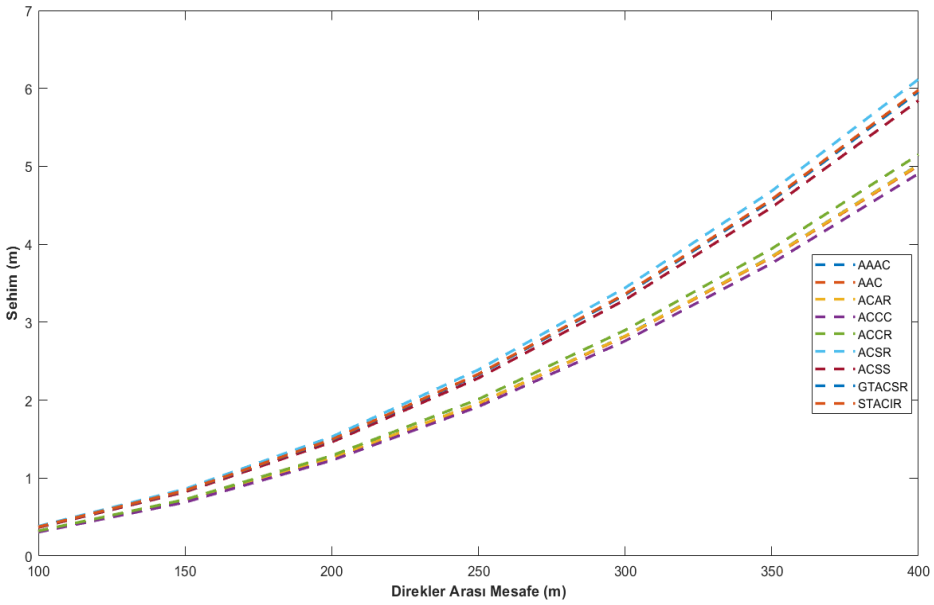
İletkenlerden uzaklaştıkça manyetik alan değeri azalmaktadır. İletkenden 1 m uzaklıkta manyetik alan değeri 188,7343 µT iken, 15 m mesafede 21,2234 µT değerine düşmektedir. Bütün mesafelerde manyetik alan değerleri, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 200 µT ve mesleki maruziyet için 1000 µT sınır değerini aşmamaktadır.

7.3 İletkenlerin Sehim, Gerilim Düşümü ve Güç Kayıpları Hesaplamaları

İletim hatlarında farklı iletkenler kullanıldığında, iletkenlerin direncinden, hat uzunluğundan ve birim uzunluk başına ağırlıklarından dolayı meydana gerilim düşümü, güç kaybı ve sehim değerlerinin karşılaştırması, Matlab yazılımında hesaplanarak belirli mesafelere göre grafikleri çizilmiştir.

7.3.1 Sehim Profili

AAAC, AAC, ACAR, ACCC, ACCR, ACSR, ACSS, GTACSR ve STACIR iletkenleri kullanılarak, 100-150-200-250-300-350-400 m direk açıklıkları olması durumunda iletkenlerin sehim karşılaştırılması yapılmıştır. Sehim hesabı yapılırken iletkenlerin birim uzunluk başına ağırlıkları Tablo 2.1'de, kesit alanları Tablo 7.1'de verilen değerler kullanılarak yapılmıştır. Gerilme kuvveti 11 kg/mm^2 olarak alınmıştır. Analitik sonuçlara göre çizilen iletkenlerin sehim grafiği Şekil 7.109'da verilmiştir.



Şekil 7.109 Direkler arası mesafeye göre iletkenlerin sehim karşılaştırması

Tüm iletkenler için hesaplanan analitik sehim sonuçları Tablo 7.104'de verilmiştir.

Tablo 7.104 İletkenlerin direkler arası mesafeye göre sehim değerleri

Mesafe (m)	AAAC (m)	AAC (m)	ACAR (m)	ACCC (m)	ACCR (m)	ACSR (m)	ACSS (m)	STACIR (m)	GTACSR (m)
100	0,3138	0,3129	0,3136	0,3066	0,3219	0,3823	0,3652	0,3736	0,3722
150	0,706	0,704	0,7055	0,6899	0,7242	0,8602	0,8217	0,8406	0,8374
200	1,2551	1,2516	1,2543	1,2264	1,2875	1,5293	1,4609	1,4943	1,4888
250	1,9611	1,9556	1,9598	1,9163	2,0118	2,3895	2,2826	2,3349	2,3262
300	2,8239	2,8161	2,8221	2,7594	2,897	3,4409	3,2869	3,3623	3,3498
350	3,8437	3,8331	3,8412	3,7559	3,9431	4,6835	4,4739	4,5764	4,5594
400	5,0204	5,0064	5,0171	4,9056	5,1501	6,1172	5,8434	5,9774	5,9552

Şekilde ve tabloda görüldüğü üzere direkler arası mesafe arttıkça sehim değeri de artmaktadır. En iyi sehim performansını gösteren iletken ACCC iletkeni olurken en kötü performansı ACSR iletkeni göstermiştir. 400 m direk açıklığında, ACSR iletkeni ACCC'den yaklaşık %25 daha fazla sehime sebep olmuştur.

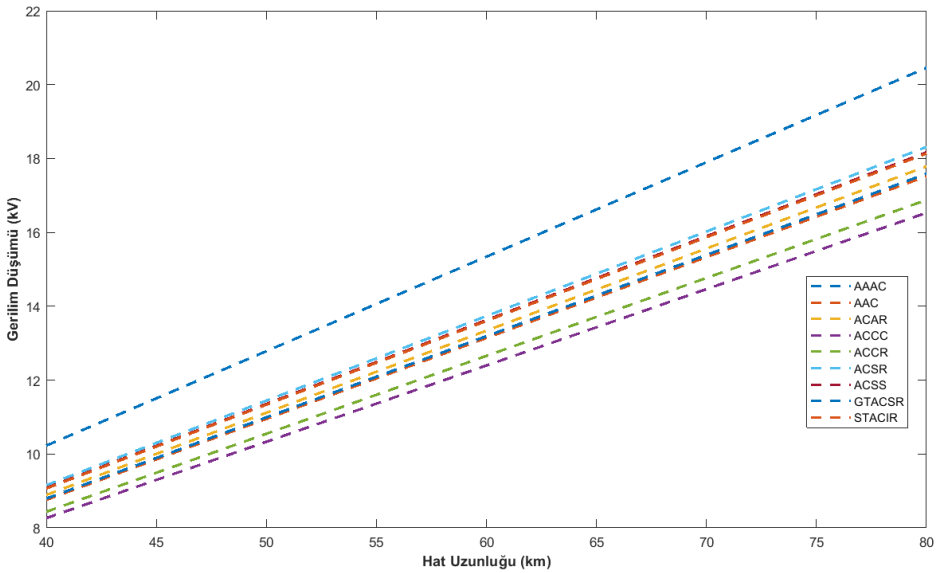
7.3.2 Gerilim Düşümü Sonuçları

AAAC, AAC, ACAR, ACCC, ACCR, ACSR, ACSS, STACIR ve GTACSR iletkenleri kullanılarak, iletkenlerin sebep olduğu gerilim düşümünü görmek amacıyla kısa iletim hatları seçilerek, 400 kV gerilim seviyesinde, 40-50-60-70-80 km hat uzunlukları olması durumunda, iletkenlerin gerilim düşümü Matlab yazılımında hesaplanarak karşılaştırılmıştır. İletkenleri gerilim düşümü hesaplanırken Tablo 7.105'de verilen değerler kullanılmıştır [93]-[95].

Tablo 7.105 Gerilim düşümü hesabı yapılırken kullanılan değerler

İletken	AC Direnç (25 °C)(Ohm/km)	Reaktans (25 °C)(Ohm/km)	Akım (A)	cosφ
AAAC	0,0741506	0,2519808	990	0,95
AAC	0,0541836	0,2441989	990	0,95
ACAR	0,0556127	0,24606	990	0,95
ACCC	0,0473	0,242	990	0,95
ACCR	0,0495	0,2434	990	0,95
ACSR	0,0610808	0,2417134	990	0,95
ACSS	0,0597142	0,2424659	990	0,95
STACIR	0,0591	0,2436	990	0,95
GTACSR	0,0545	0,2448	990	0,95

Yapılan hesaplamalar sonucunda iletkenlerin gerilimi düşümü grafiği Şekil 7.110'da verilmiştir.



Şekil 7.110 Hat uzunluğuna göre iletkenlerin gerilim düşümü karşılaştırması

Verilen iletkenler için Matlab yazılımında hesaplanan analitik sonuçlar Tablo 7.106'da verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi hat uzunluğu arrtıkça gerilim düşümü değeri de artmaktadır.

Tablo 7.106 Hat uzunluğuna göre gerilim düşümü değerleri

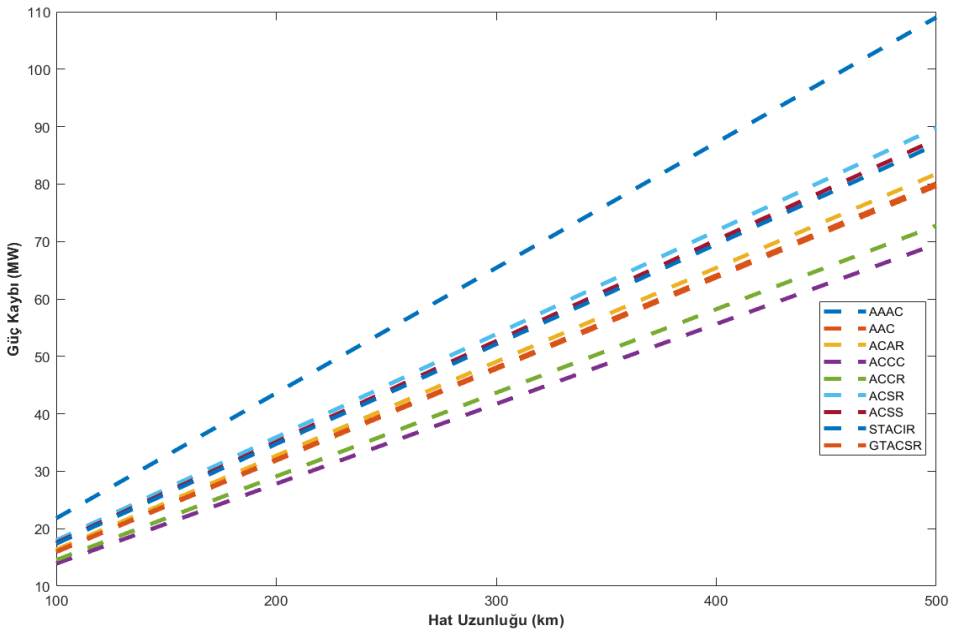
Hat Uzunluğu (km)	AAAC (kV)	AAC (kV)	ACAR (kV)	ACCC (kV)	ACCR (kV)	ACSR (kV)	ACSS (kV)	STACIR (kV)	GTACSR (kV)
40	10,228	8,760	8,893	8,265	8,438	9,156	9,083	9,068	8,794
50	12,785	10,951	11,117	10,331	10,548	11,446	11,355	11,335	10,993
60	15,342	13,141	13,340	12,397	12,657	13,735	13,626	13,602	13,191
70	17,900	15,331	15,564	14,464	14,767	16,024	15,897	15,869	15,390
80	20,457	17,521	17,787	16,530	16,877	18,314	18,168	18,136	17,588

Tabloda görüldüğü üzere hesaplamalar sonucunda en iyi gerilim düşümü performansını ACCC iletkeni gösterirken, en kötü performansı AAAC iletkeni göstermiştir. 80 km hat uzunluğunda, AAAC iletkeni, ACCC'den yaklaşık %24 daha fazla gerilim düşümüne neden olmuştur.

7.3.3 Güç Kaybı Sonuçları

AAAC, AAC, ACAR, ACCC, ACCR, ACSR, ACSS, STACIR ve GTACSR iletkenleri kullanılarak, 100-200-300-400-500 km hat uzunlukları olması durumunda, iletkenlerin

güç kaybı Matlab yazılımında hesaplanarak karşılaştırılmıştır. İletkenleri gerilim düşümü hesaplanırken Tablo 7.105'de verilen AC direnç ve akım değeri kullanılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda verilen iletkenler için güç kaybının hat uzunluğuna bağlı değişimi Şekil 7.111'de verilmiştir.



Şekil 7.111 Hat uzunluğuna göre iletkenlerin güç kaybı karşılaştırması

Şekilde görüldüğü üzere iletkenleri güç kaybı profilleri farklılık göstermekte olup hat uzunluğu arrtıkça güç kaybı da artmaktadır. İletkenlerin güç kaybı analitik sonuçları Tablo 7.107'de verilmiştir.

Tablo 7.107 Hat uzunluğuna göre güç kaybı değerleri

Hat Uzunluğu (km)	AAAC (MW)	AAC (MW)	ACAR (MW)	ACCC (MW)	ACCR (MW)	ACSR (MW)	ACSS (MW)	STACIR (MW)	GTACSR (MW)
100	21,803	15,932	16,352	13,908	14,554	17,960	17,558	17,377	16,024
200	43,605	31,863	32,704	27,816	29,108	35,92	35,116	34,754	32,048
300	65,409	47,796	49,056	41,724	43,662	53,88	52,674	52,131	48,072
400	87,212	63,728	65,408	55,632	58,216	71,84	70,232	69,508	64,096
500	109,015	79,66	81,76	69,54	72,77	89,8	87,79	86,885	80,12

Hesaplamalar sonucunda tabloda verilen değerlere göre en iyi güç kaybı performansını ACCC iletkeni gösterirken, en kötü performansı AAAC iletkeni göstermiştir. 100 km hat uzunluğunda, AAAC iletkeni, ACCC'den yaklaşık %57 daha fazla güç kaybına neden olmuştur.

8
SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Enerji iletim hatları kurulumu, oldukça maliyetli ve uzun prosedürlü bir süreçtir. Özellikle şehirleşmenin artmasıyla, iletim yolları gün geçtikçe azalmaktadır. Bu sebeple, enerji iletim hatları tesis edilirken planlama aşamasında, güç taşıma kapasitesi, hattın sehimi, güç kayıpları, gerilim düşümü, oluşabilecek elektrik ve manyetik alan değerleri, bölgenin rüzgar ve buz özellikleri gibi hattın verimini doğrudan etkileyecek analizler ve hesaplamalar özenle yapılmalıdır. Bundan dolayı, verilen tüm bu kriterler analiz edilirken, iletim hatlarındaki en önemli parametre iletim hattında kullanılan iletkenler olmaktadır. Çünkü, iletkenin maksimum kapasitesine ulaşması, hattın güç taşıma kapasitesini sınırlandırmaktadır. İletkende kullanılan malzeme ve iletkenin kesiti, ısıl özelliklerini belirlemektedir. İletkenin ısıl özellikleri, akım taşıma kapasitesini sınırlandırmaktadır. Aynı zamanda, iletkenin akım taşıma kapasitesi ve kesiti, etrafında oluşan manyetik alanı değiştirmektedir. İletkenin ağırlığı ve kesiti, hattın sehimini etkilemektedir. İletkenin direnç değeri ve kesiti, hattın gerilim düşümü ve güç kaybına doğrudan etki etmektedir.

Bu tez çalışmasında, yüksek gerilim havai enerji iletim hatlarında kullanılan yaklaşık olarak aynı dış çapa sahip havai hat iletkenlerinin ısıl, elektrik ve manyetik alan, sehim, gerilim düşümü ve güç kaybı analizleri yapılmıştır. Analizlerde, AAAC, AAC, ACAR, ACCC, ACCR, ACSR, ACSS, GTACSR ve STACIR iletkenleri dikkate alınmıştır.

Isıl analizler, eşit yüklenme durumunda, tüm iletkenlerin davranışlarını incelemek amacıyla, ACSR iletkeninin maksimum akım taşıma kapasitesi olan 990 A uygulanarak ve iletkenlerin maksimum çalışma koşullarını görmek amacıyla yüklenebilecekleri maksimum akımlar uygulanarak, 5-15-25-35 °C hava sıcaklıklarında, 0,1-0,5-1-3-5-7-9-11-13-15 m/s rüzgar hızlarında, iki boyutlu olarak, zamanla değişmeyen kararlı halde, ısı transfer modülünde, Comsol Multiphysics yazılımında gerçekleştirilmiştir.

Elektrik alan analizleri, ülkemizde yaygın olarak kullanılan 400 kV ve yurt dışında kullanılan 750 kV gerilim seviyesinde, zamana bağlı değişen halde, iki boyutlu olarak, "AC/DC - Electrostatics" modülünde, Comsol Multiphysics yazılımında gerçekleştirilmiştir.

Manyetik alan analizleri, tüm iletkenleri aynı akım altında manyetik alan davranışlarını karşılaştırabilmek amacıyla ACSR iletkenin maksimum akım taşıma kapasitesi olan 990 A akım altında ve her iletkenin yüklenebileceği maksimum akımları uygulanarak, zamana bağlı değişen halde, iki boyutlu olarak, "AC/DC - Magnetic Fields" modülünde, Comsol Multiphysics yazılımında gerçekleştirilmiştir.

İletkenlerin mekanik ve elektriksel özelliklerini incelemek için basit analizlerle, sehim, gerilim düşümü ve güç kayıpları MATLAB yazılımında hesaplanmıştır. İletkenlerin, 100-150-200-250-300-350-400 m direk açıklıkları olması durumunda sehim karşılaştırılması yapılmıştır. Hatta oluşabilecek gerilim düşümlerini görmek amacıyla, kısa iletim hattı olduğu düşünülerek 400 kV gerilim seviyesinde, 40-50-60-70-80 km hat uzunluklarında, meydana gelen gerilim düşümleri karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda, 100-200-300-400-500 km hat uzunlukları olması durumunda iletkenlerin güç kayıpları karşılaştırılmıştır.

Artan enerji talebini karşılamak için iletim hatlarının yaklaşık olarak aynı dış çapta iletkenlerle değiştirilmesi sonucu hattın, güç taşıma kapasitesinin artırılabileceğinin görülmesi ve yeni iletim hatları inşa edilirken teknik, ekonomik ve verimlilik açısından en uygun seçimlerin yapılabilmesi için referans olması açısından önemli sonuçlar elde edilmiştir.

Isıl analizler sonucunda, eşit yüklenme durumunda, tüm iletkenlerin davranışlarını incelemek amacıyla ACSR iletkeninin maksimum akım taşıma kapasitesi olan 990 A tüm iletkenlere uygulandığında, en iyi ısıl performansı AAC, en kötü ısıl performansı AAAC iletkeni göstermiştir. 25 °C hava sıcaklığında, 0,1 m/s rüzgar hızında, AAAC iletkeni AAC'den yaklaşık %15 daha fazla ısınmıştır.

İletkenlerin öz bölümünün sıcaklık değerleri, beklenildiği gibi alüminyum tellerden daha yüksek sıcaklığa sahiptir. Eşit yüklenme durumunda, tüm iletkenlerin davranışlarını incelemek amacıyla ACSR iletkeninin maksimum akım taşıma kapasitesi olan 990 A tüm iletkenlere uygulandığında, öz sıcaklığı en fazla olan iletken AAAC iletkeni olurken, en düşük öz sıcaklığına sahip iletken ACCC iletkeni olmuştur. 25 °C ortam sıcaklığında, 0,1 m/s rüzgar hızında, AAAC öz sıcaklığı, ACCC iletkenin öz sıcaklığından yaklaşık %16 daha fazladır.

Ortam sıcaklığının iletkenin sıcaklığını önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Eşit yüklenme durumunda, hava sıcaklığındaki 10 °C artış, iletkenlerin sıcaklığını yaklaşık 8 °C arttırmaktadır. Bu nedenle, sıcak havalarda iletkenlerin yüklenme kapasiteleri

düşmektedir. Eşit yüklenme durumunda, sıcaklık değişiminden en çok etkilenen iletkenin AAC, en az etkilenen iletkenin ise AAAC iletkeni olduğu görülmüştür.

Rüzgar hızı arttıkça, iletkenin sıcaklığı önemli oranda azalmaktadır. Bu oran düşük rüzgar hızlarında daha yüksek iken, yüksek rüzgar hızlarında azalmaktadır. Rüzgar hızı arttıkça, iletkenlerin yüklenme kapasiteleri de artmaktadır. Eşit yüklenme durumunda rüzgar hızı değişiminden en çok etkilenen iletken AAAC, en az etkilenen iletken ise AAC iletkeni olduğu görülmüştür. Rüzgar hızı değişiminden en fazla etkilenen öz sıcaklığı AAAC iletkeninde görülürken, en az etkilenenin GTACSR iletkeni olduğu görülmüştür.

İletkenlerin sıcaklık değişiminde rüzgarın, hava sıcaklığından daha etkin olduğu görülmüştür. Ayrıca, hava sıcaklığının yükselmesi, rüzgarın iletkenler üzerindeki etkisini de azaltmaktadır.

Aynı zamanda, iletkenin sıcaklığının, rüzgar hızı ve ortam sıcaklığına bağlı olarak değişimini gösteren simülasyon sonuçları IEEE-738 standartına göre de karşılaştırılmıştır. Düşük rüzgar hızlarında simülasyon sonuçları ve IEEE-738 standartına göre yapılan analitik sonuçlar arasındaki fark yaklaşık 3 °C iken, 9 m/s'den sonra sonuçlar yaklaşık eşit olmaktadır. Sonuçlar arasında küçük farklar olsa da simülasyon sonuçları ve analitik sonuçların tutarlı olduğu görülmüştür.

Her iletkenin maksimum akım taşıma kapasitesi uygulandığında, STACIR iletkeni, ACCC ve GTACSR iletkenlerinden daha kötü ısıl performans göstermiştir. ACCS iletkeni, GTACSR'den daha kötü performans göstermiştir. AAAC iletkeninin direnç değeri yüksek olduğundan, AAC ve ACAR iletkenlerinden kötü performans göstermiştir. Maksimum akımlar uygulandığında, beklenildiği gibi en fazla akım taşıma kapasitesine sahip ACCR iletkeni, en fazla ısınan iletken olmuştur. İletkenlerin ısıl özelliklerinin artmasıyla, akım taşıma kapasitenin arttığı görülmüştür.

Her iletkenin maksimum akım taşıma kapasitesi uygulandığında, yani iletkenlerin çalışma sıcaklıkları arttığında, hava sıcaklığı ve rüzgar hızının da iletkenlerin sıcaklıkları üzerindeki etkisi değişmektedir. İletkenlerin çalışma sıcaklıkları arttıkça, hava sıcaklığının etkisinin azaldığı görülmüştür. Her iletkene maksimum akımları uygulandığında, ACCR iletkeninin sıcaklık değişiminden en az etkilenen iletken olduğu görülürken, ACSR iletkeninin sıcaklık değişiminden en fazla etkilenen iletken olduğu belirlenmiştir. Aynı şekilde sıcaklık değişimiyle, öz sıcaklığı en az artan iletken ACCR olurken, en fazla artan iletken ACSR iletkeni olduğu görülmüştür.

Ayrıca, iletkenlerin çalışma sıcaklığı arttıkça, rüzgar hızının daha etkili olduğu görülmüştür. Her iletkene maksimum akımları uygulandığında, STACIR iletkeni rüzgar hızı değişiminden en fazla etkilenen iletken olurken, ACAR iletkeni en az etkilenen iletken olduğu görülmüştür. Aynı şekilde rüzgar hızı değişimiyle öz sıcaklığı en fazla düşen STACIR olurken, en az düşen iletken ACAR olduğu görülmüştür.

Maksimum akımlar uygulandığında, alüminyum tel sıcaklığı en yüksek ACCR iletkeni olmasına rağmen, öz sıcaklığı en yüksek iletken STACIR olduğu görülmüştür. STACIR iletkeni, ACCC, GTACSR ve ACCR'den daha kötü öz sıcaklığı performansı göstermiştir. AAAC iletkeni, AAC ve ACAR'dan daha kötü öz sıcaklığı performansı göstermiştir.

İletkenin geometrisine ve malzeme cinsine bağlı olarak, yaklaşık olarak aynı dış çapa sahip iletkenlerin akım taşıma kapasitesi değişmektedir. Trapez dizilimli iletkenler, yaklaşık olarak aynı dış çapa sahip yuvarlak dizilimli iletkenlere göre alüminyum iletken kesitini artırdığından daha verimlidir. Malzeme özelliklerinin değişmesiyle iletkenlerin termal dayanımı artmakta ve yüklenme kapasiteleri artmaktadır.

Ortam koşullarının, iletkenlerin ısıl performansına etkisi nedeniyle akım taşıma kapasitesini etkileyeceği açık şekilde görülmektedir. Bu nedenle, enerji iletim hatlarının inşası için iletken seçimi yapılırken ilgili bölgenin ortalama sıcaklık ve rüzgar değerleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Diğer yandan, iletkenin geometrisinin ve malzemesinin akım taşıma kapasitesini önemli oranda değiştirdiği görülmektedir. İletken seçimi yapılırken, aynı dış çapa sahip farklı bir iletkenle daha fazla akım taşınabileceği de değerlendirilmelidir.

Elektrik alan analizleri sonucunda, 400 kV gerilim seviyesinde iletken geometrisine bağlı olarak iletkenin 1 m altında, en fazla elektrik alan ACCR iletkeni kullanıldığında, en düşük elektrik alan ise AAAC iletkeni kullanıldığında meydana gelmiştir. İletkenlerin altında, yerden 1 m yüksekte, 400 kV gerilim seviyesinde en iyi performansı AAAC iletkeni gösterirken, en kötü performansı GTACSR iletkeni göstermiştir. Çalışması yapılan konfigürasyonda, zeminden 1 m yüksekte elektrik alan, tüm iletkenler için ICNIRP tarafından belirlenen 5 kV/m ve çalışanlar için 10 kV/m sınır değerinin üzerinde olduğu görülmüştür. Bu nedenle, 400 kV gerilim seviyesinde, yerden 1 m yüksekte, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m sınır değerini sağlayabilmek için, iletkenlerin yerden yüksekliği yaklaşık 32,985 m olmalıdır. 400 kV gerilim seviyesinde, iletkene yandan yaklaşmada, iletkenin 1 m yakınında en iyi performansı STACIR iletkeni

gösterirken, en kötü performansı GTACSR iletkeni göstermiştir. 400 kV gerilim seviyesinde, iletkene yandan yaklaşmada, yaklaşık 5 m mesafeden sonra, elektrik alan değeri ICNIRP tarafından belirlenen mesleki maruziyet için 10 kV/m sınır değerin altına düşerken, yaklaşık 12 m mesafeden sonra halk için belirlenen 5 kV/m sınır değerinin altına düşmektedir.

750 kV gerilim seviyesinde iletken geometrisine bağlı olarak, iletkenin 1 m altında en fazla elektrik alan ACCR iletkeni kullanıldığında, en düşük elektrik alan ise AAAC iletkeni kullanıldığında meydana gelmiştir. İletkenlerin altında yerden 1 m yüksekte, 750 kV gerilim seviyesinde en iyi performansı AAAC iletkeni gösterirken, en kötü performansı GTACSR iletkeni göstermiştir. Çalışması yapılan konfigürasyonda, zeminden 1 m yüksekte elektrik alan, tüm iletkenler için ICNIRP tarafından belirlenen 5 kV/m ve çalışanlar için 10 kV/m sınır değerinin üzerinde olduğu görülmüştür. Bu nedenle, 750 kV gerilim seviyesinde, yerden 1 m yüksekte, ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m sınır değerini sağlayabilmek için, iletkenlerin yerden yüksekliği yaklaşık 55,485 m olmalıdır. 750 kV gerilim seviyesinde, iletkene yandan yaklaşmada, iletkenin 1 m yakınında, en iyi performansı STACIR iletkeni gösterirken, en kötü performansı GTACSR iletkeni göstermiştir. 750 kV gerilim seviyesinde, iletkenlere yandan yaklaşmada, yaklaşık 11 m mesafeden sonra, elektrik alan değeri ICNIRP tarafından belirlenen mesleki maruziyet için 10 kV/m sınır değerin altına düşerken, 15 m'ye kadar bütün mesafelerde halk için belirlenen 5 kV/m sınır değerinin üzerindedir.

Gerilim seviyesinin artması, elektrik alanın büyüklüğünü artırdığı görülmüştür. İletkenlerin 1 m altında, gerilim seviyesi 400 kV'dan 750 kV'a çıkması, aynı noktada elektrik alanı yaklaşık %87,5 oranında artırmıştır.

Manyetik alan analizleri sonucunda, eşit yüklenme durumunda, tüm iletkenlerin davranışlarını incelemek amacıyla ACSR iletkeninin maksimum akım taşıma kapasitesi olan 990 A tüm iletkenlere uygulandığında, iletken geometrisine bağlı olarak iletkenlerin 1 m altında, iletkenlerin altında yerden 1 m yüksekte ve iletkenlere yandan yaklaşmada iletkenin 1 m yakınında, en iyi performansı ACCC iletkeni, en kötü performansı AAAC iletkeni göstermiştir. Eşit yüklenme durumunda, tüm iletkenler, bütün noktalarda ICNIRP tarafından belirlenen halk için 200 μT ve mesleki maruziyet için 1000 μT sınır değerini aşmamaktadır.

Maksimum çalışma akımları uygulandığında, iletkenlerin 1 m altında ve iletkenlerin altında yerden 1 m yüksekte ACCC iletkeni, GTACSR, STACIR ve ACSS iletkenlerinden daha iyi performans göstermiştir. ACSR iletkeni, ACAR'dan daha kötü performans göstermiştir. AAAC iletkeni AAC ve ACAR'dan daha kötü performans göstermiştir. İletkenlerin 1 m altında ACCC, STACIR, GTACSR, ACCR ve ACSS iletkenleri maksimum taşıma kapasitelerinde yüklendiğinde, halk için belirlenen 200 μT sınır değerini aşarken, çalışanlar için belirlenen 1000 μT sınır değerini aşmamaktadır. Yerden 1 m yüksekte ICNIRP tarafından belirlenen halk için 200 μT ve mesleki maruziyet için 1000 μT sınır değeri aşılmamaktadır. Maksimum çalışma akımları uygulandığında, iletkenlere yandan yaklaşmada iletkenin 1 m yakınında, ACCC iletkeni, GTACSR ve STACIR iletkenlerinden daha iyi performans göstermiştir. AAAC iletkeni, AAC ve ACAR'dan daha kötü performans göstermiştir. İletkenlere yandan yaklaşmada iletkenin 1 m yakınında, iletkenlere maksimum akımlar uygulandığında, ACCR iletkeni halk için belirlenen 200 μT sınır değerini aşarken, çalışanlar için belirlenen 1000 μT sınır değerini aşmamaktadır.

İletkenlerin tipinin, oluşan manyetik ve elektrik alanlar üzerinde etkili olduğu sonuçlardan anlaşılmaktadır. Bu sebeple iletken seçimi yapılırken bu kriterler dikkate alınmalıdır.

Sehim hesaplamaları sonucunda, en iyi sehim performansını ACCC iletkeni gösterirken, en kötü sehim performansını ACSR iletkeni göstermiştir. Direk açıklığı 400 m olduğunda ACCC iletkeni 4,9056 m sehime sahip olurken, ACSR iletkeni 6,1172 m sehime sahip olduğu görülmüştür. ACSR iletkeni, 400 m açıklıkta ACCC iletkeninden yaklaşık %25 daha fazla sarkmaya sebep olmuştur. İletkenin sehimi fazla olması, özellikle sıcak havalarda iletkenin fazla sarkmasına, böylece can ve mal güvenliği açısından tehlike oluşturmasına sebep olmaktadır.

İletken tipine göre sehim özelliklerinin değiştiği açıkça görüldüğünden, iletken seçimi yapılırken sehim özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Gerilim düşümü hesaplamalarına göre 990 A akım uygulandığında, 400 kV gerilim seviyesinde, en iyi performansı ACCC iletkeni gösterirken, en kötü performansı AAAC iletkeni göstermiştir. 80 km hat uzunluğunda, AAAC iletkeninin gerilim düşümü 20,457 kV, ACCC iletkeninin gerilim düşümü 16,530 kV olduğu görülmüştür. 80 km hat uzunluğunda, AAAC gerilim düşümü, ACCC'den yaklaşık %24 daha fazladır. Gerilim

düşümü, güç sistemlerinin uygun olarak işletilmesinde problem oluşturabileceğinden iletim hatlarında istenmeyen bir durumdur.

İletkenlerin, gerilim düşümü profilleri birbirinden farklı olduğu sonuçlardan anlaşılmaktadır. Bu nedenle, iletken seçiminde göz önünden bulundurulması gereken önemli faktörler arasındadır.

Hesaplanan güç kayıpları sonuçlarına bakıldığında, 100 km hat uzunluğunda, 990 A akım uygulanınca, en fazla güç kaybı 21,803 MW ile AAAC iletkeninde, en az güç kaybı 13,908 MW ile ACCC iletkeninde oluşmaktadır. AAAC iletkeni, ACCC'den yaklaşık %57 daha fazla güç kaybına sebep olmaktadır.

Özellikle uzun vadede, güç kayıpları ekonomik olarak büyük zararlara neden olmaktadır. Bu nedenle, iletken seçimi yapılırken oluşabilecek güç kayıpları da incelenmelidir.

Sonuç olarak, yüksek gerilim enerji iletim hatlarında kullanılan havai hat iletkenlerinin performans analizi sonuçlarına göre, yüksek gerilim enerji iletim hatlarında yapılacak, var olan iletim hatlarının değiştirilmesi gibi uygulamalar için, aynı dış çapa sahip iletkenlerin, farklı tip iletkenlerle değiştirilmesi neticesinde güç taşıma kapasitesinin artırılabileceği görülmüştür. Aynı zamanda, yeni kurulacak iletim hatları için de elektrik ve manyetik alan analizleri, sehim, güç kaybı, gerilim düşümü ve ısıl analizler yapılarak, teknik ve ekonomik açıdan en uygun iletken seçilebilir.

Yukarıda verilen sonuçlara bakıldığında, enerji iletim hatlarında kullanılan havai hat iletkenlerinin, ısıl, elektrik ve manyetik alan, sehim, gerilim düşümü ve güç kaybı performansları hakkında detaylı analizler ve hesaplama verileri sunulmuştur.

Bu tez çalışmasında yapılan analizler ve hesaplamalar ışığında aşağıda verilen çıkarımlar yapılmıştır:

- Isıl analizler sonucunda, eşit yüklenme durumunda, en iyi performansı AAC, en kötü performansı AAAC iletkeni göstermiştir.
- Eşit yüklenme durumunda, öz sıcaklığı en yüksek olan iletken AAAC, en düşük olan iletken ACCC olduğu görülmüştür.
- Hava sıcaklığı arttıkça, iletkenlerin sıcaklığının arttığı tespit edilmiştir.
- Rüzgar hızı arttıkça, iletkenlerin sıcaklığının önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir.

- İletkenin sıcaklık değişiminde, rüzgar hızının, hava sıcaklığından daha etkin olduğu ortaya konulmuştur.
- Simülasyon sonuçları ve analitik sonuçların tutarlı olduğu görülmüştür.
- Maksimum çalışma akımları uygulandığında, beklenildiği gibi en yüksek akım taşıma kapasitesine sahip ACCR iletkeni, en fazla ısınan iletken olduğu ortaya konulmuştur.
- Maksimum çalışma akımları uygulandığında, iletkenlerin çalışma sıcaklıkları artmakta olup hava sıcaklığının, iletken sıcaklığı üzerindeki etkisinin azaldığı tespit edilmiştir.
- Maksimum çalışma akımları uygulandığında, iletkenlerin çalışma sıcaklıkları artmakta olup rüzgar hızının, iletken sıcaklığı üzerindeki etkisinin arttığı belirlenmiştir.
- Ortam koşullarının, iletkenlerin ısıl performansına etkisi nedeniyle akım taşıma kapasitesini etkileyeceği açık şekilde görülmüştür.
- Trapez dizilimli iletkenler, yaklaşık olarak aynı dış çapa sahip yuvarlak dizilimli iletkenlere göre alüminyum iletken kesitini artırdığından daha verimli olduğu görülmüştür.
- İletkenin geometrisinin ve malzemesinin akım taşıma kapasitesini önemli oranda değiştirdiği tespit edilmiştir.
- Yaklaşık olarak aynı dış çapa sahip farklı iletkenlerle, daha fazla akım taşınırken daha az ısınma meydana geldiği ortaya konulmuştur.
- Elektrik alan analizleri sonucunda, 400 kV gerilim seviyesinde, yerden 1 m yüksekte, en iyi elektrik alan performansını AAAC iletkeni gösterirken, en kötü performansı GTACSR iletkeni göstermiştir.
- 400 kV gerilim seviyesinde, iletken geometrisine bağlı olarak iletkenin 1 m altında, en iyi elektrik alan performansını AAAC iletkeni gösterirken, en kötü performansı ACCR iletkeni göstermiştir.
- 400 kV gerilim seviyesinde, yandan yaklaşmada, iletkenin 1 m yakınında en iyi performansı STACIR iletkeni gösterirken, en kötü performansı GTACSR iletkeni göstermiştir.
- 400 kV gerilim seviyesinde, çalışması yapılan konfigürasyonda, yerden 1 m yüksekte tüm iletkenlerin oluşturduğu elektrik alan ICNIRP tarafından belirlenen

halk için 5 kV/m ve mesleki maruziyet için 10 kV/m sınır değerini aştığı belirlenmiştir.

- 400 kV gerilim seviyesinde, yandan yaklaşmada, iletkene yaklaşık 5 m mesafeden sonra, elektrik alan değeri ICNIRP tarafından belirlenen mesleki maruziyet için 10 kV/m sınır değerin altına düşerken, yaklaşık 12 m mesafeden sonra halk için belirlenen 5 kV/m sınır değerinin altına düştüğü tespit edilmiştir.
- 750 kV gerilim seviyesinde, yerden 1 m yüksekte, en iyi elektrik alan performansını AAAC iletkeni gösterirken, en kötü performansı GTACSR iletkeni göstermiştir.
- 750 kV gerilim seviyesinde, iletken geometrisine bağlı olarak, iletkenin 1 m altında en iyi elektrik alan performansını AAAC iletkeni gösterirken, en kötü performansı ACCR iletkeni göstermiştir.
- 750 kV gerilim seviyesinde, yandan yaklaşmada, iletkenin 1 m yakınında, en iyi performansı STACIR iletkeni gösterirken, en kötü performansı GTACSR iletkeni göstermiştir.
- 750 kV gerilim seviyesinde, çalışması yapılan konfigürasyonda, yerden 1 m yüksekte tüm iletkenlerin oluşturduğu elektrik alan ICNIRP tarafından belirlenen halk için 5 kV/m ve mesleki maruziyet için 10 kV/m sınır değerini aştığı görülmüştür.
- 750 kV gerilim seviyesinde, yandan yaklaşmada, iletkene yaklaşık 11 m mesafeden sonra, elektrik alan değeri ICNIRP tarafından belirlenen mesleki maruziyet için 10 kV/m sınır değerin altına düşerken, 15 m'ye kadar bütün mesafelerde halk için belirlenen 5 kV/m sınır değerinin üzerinde olduğu tespit edilmiştir.
- İletkenlerden uzaklaştıkça elektrik alanın azaldığı ortaya konulmuştur.
- Gerilim seviyesi arttıkça, meydana gelen elektrik alanın büyüklüğünün arttığı belirlenmiştir.
- Manyetik alan analizleri sonucunda, eşit yüklenme durumunda, iletken geometrisine bağlı olarak iletkenlerin 1 m altında, yerden 1 m yüksekte ve yandan yaklaşmada iletkenin 1 m yakınında, en iyi performansı ACCC iletkeni, en kötü performansı AAAC iletkeni göstermiştir.

- Eşit yüklenme durumunda, tüm iletkenlerin, dikkate alınan direk yapısı için yerden 1 m yüksekte ICNIRP tarafından belirlenen halk için 200 μT ve mesleki maruziyet için 1000 μT sınır değerini aşmadığı ortaya konulmuştur.
- Maksimum çalışma akımları uygulandığında, incelenen tüm iletken tipleri için yerden 1 m yüksekte ICNIRP tarafından belirlenen halk için 200 μT ve mesleki maruziyet için 1000 μT sınır değerini aşmadığı tespit edilmiştir.
- Maksimum çalışma akımları uygulandığında, iletkenlerin 1 m altında ACCC, STACIR, GTACSR, ACCR ve ACSS iletkenleri, halk için belirlenen 200 μT sınır değerini aşarken, çalışanlar için belirlenen 1000 μT sınır değerini aşmadığı görülmüştür.
- Maksimum çalışma akımları uygulandığında, yandan yaklaşmada iletkenlerin 1 m yakınında, ACCR iletkeni halk için belirlenen 200 μT sınır değerini aşarken, çalışanlar için belirlenen 1000 μT sınır değerini aşmadığı görülmüştür.
- İletkenlerden uzaklaştıkça manyetik alanın azaldığı ortaya konulmuştur.
- İletkenlerin taşıdığı akım arttıkça, manyetik alanın da arttığı tespit edilmiştir.
- İletim hattı etrafında oluşan elektrik ve manyetik alanın, iletkenin tipine ve geometrisine bağlı olarak değiştiği ortaya konulmuştur.
- Sehim hesaplamaları sonucunda, en iyi sehim performansını ACCC iletkeni gösterirken, en kötü sehim performansını ACSR iletkeni göstermiştir.
- Gerilim düşümü hesaplamalarına göre 990 A akım uygulandığında, 400 kV gerilim seviyesinde, en iyi performansı ACCC iletkeni gösterirken, en kötü performansı AAAC iletkeni göstermiştir.
- Hesaplanan güç kayıpları sonuçlarına bakıldığında, en iyi performansı ACCC iletkeni gösterirken, en kötü performansı AAAC iletkeni göstermiştir.

Verilen sonuçlara ve çıkarımlara göre enerji iletim hatları ve enerji iletim hatlarında kullanılan havai hat iletkenleri konusunda çeşitli öneriler getirilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre getirilen bu öneriler aşağıda sunulmuştur:

- Enerji iletim hatlarının güç kapasitesini arttırmak amacıyla, daha maliyetli olan yeni iletim hatları kurmak yerine, var olan iletim hatlarındaki iletkenler, yeni tip akım taşıma kapasitesi daha yüksek olan iletkenlerle değiştirilebilir.

- Yeni iletim hatları inşa edilirken, iletkenlerin ısıl, elektrik ve manyetik alan, sehim gerilim düşümü ve güç kaybı analizleri yapılarak hem daha ekonomik hem daha teknik iletken seçimleri yapılabilir.
- İletken seçimi yapılırken, iletim hattı inşa edilecek bölgenin meterolojik özellikleri göz önünde bulundurularak daha uygun iletken seçimi yapılabilir.
- İletken seçimi yapılırken, iletkenin geometrisi ve iletkende kullanılan malzeme özelliklerine dikkat edilerek daha verimli iletkenler seçilebilir.
- İletken tipine göre iletim hatları etrafında meydana gelen elektrik ve manyetik alan değerleri değiştiğinden, standart ve yönetmeliklerde verilen sınır değerler göz önünde bulundurularak uygun iletken seçimi yapılabilir.
- İletim hatları inşa edilirken, iletim hatlarından dolayı meydana gelecek elektrik ve manyetik alanların, canlı sağlığını olumsuz etkilemeyecek sınırlarda tutulabilmesi için analizler yapılarak, uygun direk yükseklikleri belirlenebilir.
- Var olan iletim hatları etrafında yerleşim yerleri inşa edilecekse, elektrik ve manyetik alan analizleri ile sınır değerlere göre yaklaşma mesafeleri belirlenip bu mesafelerden fazla yaklaşılmasına izin verilmeyebilir.
- İletim hatları etrafında meydana gelen elektrik ve manyetik alan değerleri belirlenerek, canlı bakım elemanlarının sağlığı ve güvenliği için gereken tedbirler alınabilir.
- Var olan iletim hatlarında, gerilim yükseltme modifikasyonu yapılacaksa, elektrik alan analizleri ile yeni inşa edilecek konfigürasyona göre elektrik alan değerleri belirlenip uygun direk yükseklikleri ve yaklaşma mesafeleri belirlenebilir.
- Var olan iletim hatlarındaki iletkenler, akım taşıma kapasitesi daha yüksek iletkenlerle değiştirilirken, iletim hatları etrafında oluşan manyetik alan değeri artacağından manyetik alan analizleri ile uygun yükseklikler ve mesafeler belirlebilir.
- Kullanılacak iletkenin sehim analizleri yapılarak, iletkenlerin çok fazla sarkarak, ağaçlara veya etrafındaki diğer yapılara temas edip hem canlı sağlığını tehdit etmesi hem de faz-toprak kısa devrelerine neden olması engellenebilir.
- Gerilim düşümü analizleri ile, iletken tipine göre meydana gelen gerilim düşümü belirlenerek, gerilim düşümünü azaltacak tedbirler alınabilir veya daha az gerilim düşümüne neden olan iletken seçilebilir. Böylece gerilim düşümünün, olası olumsuz etkileri en aza indirilebilir.

- Güç kayıpları analizleri sonucunda, iletkenlerin tipine göre oluşacak güç kayıpları belirlenip, güç kaybını azaltacak tedbirler alınabilir veya en düşük güç kaybına sebep olan iletken seçimi yapılabilir. Bunun sonucunda, özellikle uzun vadede büyük ekonomik kayıplar engellenebilir.

Ayrıca, enerji iletim hatlarında kullanılan havai hat iletkenleri performans analizleri, farklı rüzgar ve güneş açılarında, farklı rüzgar ve güneş yönlerinde, deniz seviyesinden farklı yüksekliklerde, farklı hava kirlilik derecelerinde, değişken güneş ışıma koşullarında, farklı nem ve basınç değerlerinde, çeşitli meterolojik inşa bölgesi özelliklerinde, farklı direk konfigürasyonlarında ve farklı mesafelerde yapılarak genişletilebilir.

KAYNAKÇA

[1] Üstünel, M., Altın, M. ve Kızılgedik, M., 2011. Endüstriyel Elektrik, MEB Yayınevi, Ankara

[2] M. Kumar ve R. Rahangdale, "Comparative Analysis of ACSR and HTLS Conductor," International Journal on Future Revolution on Computer Science & Communication Engineering, vol. 4, no.5, May 2018.

[3] B. S. Reddy ve D. Chatterjee, "Analysis of High Temperature Low Sag Conductors used for High Voltage Transmission," Energy Procedia, vol. 90, pp. 179-184, Dec. 2016.

[4] M. Atanasovski, B. Arapinoski, M. Kostov, L. Trpezanovski, "Comparison of ACSR, ACCC and AAAC Conductors for Overhead Transmission Lines," İCEST, 2019.

[5] B. S. Reddy ve G. Mitra, "Investigations on High Temperature Low Sag (HTLS) Conductors," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 35, is. 4, pp. 1716- 1724, Aug. 2020.

[6] S. Beryozkina ve A. Sauhats, "Research and Simulation of Overhead Power Line Uprating Using Advanced Conductors," in RTUCON'56, 2015.

[7] I. Makhkamova, P. C. Taylor, J. R. Bumbuy, K. Mahkamov, "CFD Analysis of the Thermal State of an Overhead line Conductor," in 43th International Universities Power Engineering Conference, 2008.

[8] S. A. Rahman ve K. Kopsidas, "Modelling of Convective Cooling on Conductor Thermal Ratings Methods," in IEEE Manchester PowerTech, 2017.

[9] J. C. del-Pino-López, D. Garrido-García, P. Cruz-Romero ve A. Gómez-Expósito, "Novel conductor design to increase the thermal rating of overhead lines," in ICREPQ'16, 2016.

[10] B. S. Reddy ve D. Chatterjee, " Computation of Current and Temperature Distribution for High Temperature Low Sag Conductors," in 6th IEEE Power India International Conference, 2014.

[11] F. A. Gomez, J. M. G. D. Maria, D. G. Puertas, A. Bairi ve R. G. Arrabe, "Numerical Study of the Thermal Behaviour of Bare Overhead Conductors in Electrical Power Lines," in Proc. AEE'11, 2011, p. 149

[12] G. Liu, Y. Li, K. Qi, J. Yu, ve Y. Cai, "Sag Calculation Difference Caused by Temperature Difference between the Steel Core and Outer Surface of Overhead Transmission Lines," in Australasian Universities Power Engineering Conference, 2016

[13] A. Mujezinović, A. Čarsimamović, S. Čarsimamović, A. Muharemović, I. Turković, "Electric Field Calculation around of Overhead Transmission Lines in Bosnia and Herzegovina," Proc. of the 2014 International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 2014.

[14] M. M. Samy, A. M. Emam, "Computation of Electric Fields Around Parallel HV and EHV Overhead Transmission Lines in Egyptian Power Network," IEEE International

Conference on Environment and Electrical Engineering and IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe), 2017.

[15] M. M. Samy, R. M. Radwan, S. Akef, "Calculation of Electric Fields Underneath and on Conductor Surfaces of Ultra High Voltage Transmission Lines," IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe), 2017.

[16] B. S. Reddy, G. Mitra, "Estimation of Magnetic Fields near to High Temperature Low Sag Conductors," IEEE International Conference on Electronics, Computing and Communication Technologies (CONECCT), 2020.

[17] S. A. Ghani, M. S. A. Khiar, I. S. Chairul, M. Y. Lada and N. H. Rahim, "Study of Magnetic Fields Produced by Transmission Line Tower Using Finite Element Method (FEM)," 2nd International Conference on Technology, Informatics, Management, Engineering & Environment, 2014.

[18] K. A Vyas, J. G Jamnani, "Analysis and Design Optimization of 765 kV Transmission Line Based on Electric and Magnetic Fields for Different Line Configurations," 6th International Conference on Power Systems, 2016.

[19] J. S. S. Samraj, J. Sivadasan, "Investigation of Electromagnetic Interference due to High Voltage Line," International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies, 2013.

[20] Ş. Ç. Yener, F. Andıç, "Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü içerisindeki enerji iletim hatlarının elektromanyetik alan etkileri açısından incelenmesi," Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2017.

[21] T. Wu, S. Liu, J. Lu, B. Li, "Research on Electric Field Distribution and Protection Technology of Live line Workers on ±500kV Flexible DC Transmission Lines," International Conference on Intelligent Green Building and Smart Grid, 2019.

[22] N. Ocak, "Accc Lisbon Alüminyum İletkeninin Teknik Özelliklerini Etkileyen Parametrelerin Araştırılması, Geliştirilmesi Ve Acsr Hawk Konvansiyonel İletkeniyle Karşılaştırılması," Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye, Eylül 2020.

[23] I. Zamora, A. J. Mazon, R. Criado, C. Alonso, J. R. Saenz, "Uprating Using High-Temperature Electrical Conductors," COALPRET project, IBERDROLA S.A.

[24] A. A. Maw, "Performance Analysis of Overhead Transmission Line Design", International Journal of Science and Engineering Applications, vol. 8, iss. 08, p. 307-311, 2019.

[25] M. Z. Abbasi, B. Noor, M. A. Aman, S. Farooqi, F. W. Karam, "An investigation of temperature and wind impact on ACSR Transmission Line Sag and Tension," Engineering, Technology & Applied Science Research, vol. 8, no. 3, p. 3009-3012, 2018.

[26] S.Favuzza, M. G. Ippolito, F. Massaro, G. Paterno, A. Puccio, G. Filippone, "A New Approach to Increase the Integration of RES in a Mediterranean Island by Using HTLS Conductors," 5th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives, 2015.

[27] D. Khan, M. Rafiq, S. F. Rafique, I. Khan and F. Abbas, "Comparison of transmission losses and voltage drops of GIL(Gas Insulated transmission line) and

overhead transmission lines," 16th International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition, 2014.

[28] M. Sheshagiri, B. V. S. Ram, "Enhancement of Power Transfer Capability of Transmission Lines Using HTLS Conductor," IJAREEIE, vol. 5, iss. 12, 2016.

[29] S. Hadzimuratovic, L. Fickert, "Impact of gradually replacing old transmission lines with advanced composite conductors", Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe, 2018.

[30] E. Mateescu, D. Marginean, G. Gheorghita, E. Dragan, St. I. A. Gal, C. Matea, "Uprating a 220 kV Double Circuit Transmission LINE in Romania; Study of the Possible Solutions, Technical and Economic Comparison," Bucharest Power Tech Conference, 2009.

[31] A. Netake, P. K. Katti, "Design Aspect of 765kV Transmission System for Capacity Enhancement," International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies, 2015.

[32] Borsan, "Kablo Kataloğu ," İstanbul, 2021.

[33] Kasas-Lazetic, K., Herceg, D., Djuric, N., Kljajic, D. ve Prsa, M., "Influence of ACSR Steel Core Permeability on Entire Conductor's Load Parameters", 19th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies, 2016.

[34] M. Gürek, M. B. Çetinkaya, " Acss/Tw Havai Hat İletkenlerinin Tasarımı Ve Prototip İmalatı," Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 2021.

[35] Milli Eğitim Bakanlığı, Elektrik-Elektrik Teknolojisi, Havai Enerji Hatları, Ankara, 2011.

[36] APAR Industries Ltd., "Aluminum Conductor Steel Reinforced (ACSR)," Hindistan, 2021.

[37] PJM Interconnection, Guide For Determination Of Bare Overhead Transmission Conductors, 2010.

[38] APAR Industries Ltd., "All Aluminum Conductor (AAC)," Hindistan, 2021.

[39] Power System Engineering & Technology Development Central Electricity Authority, Guidelines for Rationalised Use of High Performance Conductors, Indıa, 2019.

[40] APAR Industries Ltd., "All Aluminum Alloy Conductor (AAAC)," Hindistan, 2021.

[41] Tokyo Rope International Inc., Introduction of Innovative Conductor, Japan, 2018.

[42] APAR Industries Ltd., "Super Thermal Resistant Aluminum Alloy Conductor, Aluminum Clad Invar Reinforced (STACIR)," Hindistan, 2021.

[43] LS Cable & System, "High Temperature Low Sag Conductor & Optical Ground Wire Data Sheet".

[44] APAR Industries Ltd., "Gap Type Thermal-Resistant Aluminum Alloy Conductor, Steel Reinforced (GTACSR)," Hindistan, 2021.

[45] Midal Cables Ltd., "Energy Effienct High Current OH Conductors – Technical Data Sheet".

[46] APAR Industries Ltd., "Aluminum Conductor Composite Core (ACCC)," Hindistan, 2021.

[47] 3M Company, “3M™ Aluminum Conductor Composite Reinforced (ACCR) High-capacity transmission conductor,” USA.

[48] Elsewedy Cables, “Power Cables,” Mısır.

[49] APAR Industries Ltd., “Aluminum Conductor Steel Supported (ACSS),” Hindistan, 2021.

[50] Gupta Power Infrastructure Limited, “Overhead Smart Conductors,” India.

[51] Nexans Group, “Aluminium Conductor Alloy Reinforced – ACAR Data Sheet”,2022.

[52] APAR Industries Ltd., “All Aluminum Conductor Alloy Reinforced (ACAR),” Hindistan, 2021.

[53] Nexans Group, “Aluminium Conductor Steel Reinforced – ACSR Data Sheet”,2022.

[54] Hasçelik Kablo, “Enerji Kabloları Ürün Kataloğu,” Kayseri.

[55] Hes Kablo, “2021 Fiyat Listesi,” Kayseri, 2021.

[56] Midal Cables Ltd., “Energy Effienct High Current OH Conductors – Technical Data Sheet”.

[57] Ntuli, M., Mbuli, N., Motsoeneng, L., Xezile, R. ve Pretorius, J., “Increasing the Capacity of Transmission Lines via Current Uprating: An Updated Review of Benefits, Considerations and Developments”, Australasian Universities Power Engineering Conference, 2016.

[58] S. Karabay, F. K. Önder, “An approach for analysis in refurbishment of existing conventional HV–ACSR transmission lines with AAAC,” Electric Power Systems Research, p. 179-185, 2004.

[59] “IEEE Standard for Calculating the Current-Temperature Relationship of Bare Overhead Conductors,” IEEE Std 738, 2012.

[60] O. C. Usta, “Yüksek Gerilim Enerji İletim Hatlarının Meydana Getirdiği Elektrik ve Manyetik Alanlar,” Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, Şubat, 2010.

[61] İ. Öztürk, “Marmara Üniversitesi Başibüyük Yerleşkesi’ndeki Elektromanyetik Alan Kirliliğinin Farkli Hava Koşullarina Göre Analizi Ve Sonuçlarinin Değerlendirilmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, Kasım, 2019.

[62] G. G. Güçlü, “ 50 Hz Elektromanyetik Alanlar ve Biyolojik Etkileri,” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, Kasım, 2011.

[63] N. Pamuk, “Enerji İletim Hatlarının Meydana Getirdiği Elektromanyetik Alanların Yapay Sinir Ağları ile Tahmini,” Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, pp. 211-217, Kasım, 2011.

[64] M. Z. Çelik, “Yüksek Gerilim Tesislerinde Yapilan Canli Bakim Çalişmalarinda Elektromanyetik Alan Seviyeleri Ve Değerlendirilmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Ensititüsü, Denizli, Türkiye, Nisan, 2019.

[65] İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyonun Olumsuz Etkilerinden Çevre Ve Halkın Sağlığının Korunmasına Yönelik Alınması Gereken Tedbirlere İlişkin Yönetmelik, Çevre ve Orman Bakanlığı, 2010.

[66] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, “Guidelines For Limiting Exposure To Time-Varying Electric And Magnetic Fields (1 Hz - 100 kHz),” Health Physics, vol. 99, no. 6, p. 818-836, 2010.

[67] https://www.comsol.com/products

[68] B. Küçükaydın, “Yüksek Gerilim Yer Alti Kablolarinin Isil Analizi,” Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, Haziran, 2015.

[69] F. Sorgulu, “Polimer Elektrolit Membranlı Yakit Hücresi İçin Model Geliştirilmesi Ve Comsol Programı İle Simülasyonu,” Yüksek Lisans Tezi, Yalova Üniversitesi Fen Bilimleri Ensititüsü, Yalova, Türkiye, Eylül, 2016.

[70] H. A. Ariani, “İki Farklı Dağıtım Transformatörün Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Manyetik Alan ve Termal Analizi,” Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, Şubat, 2021.

[71] A. Yunusoğlu, Orta Gerilim Enerji Nakil Hatları, Cilt-1, Ankara, 1995.

[72] E. Soyberk, Enerji İletim Hatları Mühendisliği, Ankara, 2013

[73] “Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği,” Kasım, 2000.

[74] İ. Kaşıkçı, Analysis and Design of Low-Voltage Power-Systems, WILEY-VCH Verlag GmbH&Co. KGaA, Weinheim, Germany, 2004.

[75] B. Küçükaydın ve O. Arıkan, “Ortam Koşullarının Yeraltı Kablolarının Sıcaklığı ve Akım Taşıma Kapasitesi Üzerindeki Etkisi,” Elektrik-Elektronik, Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu, 2014.

[76] “Thermal-resistant aluminium alloy wire for overhead line conductor,” BS EN 62004, 2009.

[77] N. M. Zainuddin, M. S. Abd. Rahman, M. Z. A. Ab Kadir, N. H. Nik Ali, Z. Ali, M. Osman, M. Mansor, A. Mohd Ariffin, M. Syahmi Abd. Rahman, S. F. M. Nor, N. A. F. Mohamad Nasir, “Review of Thermal Stress and Condition Monitoring Technologies for Overhead Transmission Lines: Issues and Challenges,” IEEE Access, vol. 8, pp. 120053-120081, June 2020.

[78] J.R. Davis, “Aluminum and Aluminum Alloys,” ser. III. Ohio, Amerika Birleşik Devleti: ASM International Handbook Committee, 1993.

[79] “Standard Specification for Aluminum 1350 Round Wire, Annealed and Intermediate Tempers, for Electrical Purposes,” ASTM B609/B609M – 12, 2021.

[80] “Standard Specification for Aluminum 1350–H19 Wire for Electrical Purposes,” ASTM B230/B230M – 07, 2021.

[81] “36% Nickel-Iron Alloy For Low Temperature Service,” The International Nickel Company, INC., New York, Amerika Birleşik Devleti.

[82] The COMSOL Software, Material Library.

[83] X. Liu, Z. Wu ve J. Yan, “Experimental Study of the Electrical Resistivity of Glass-Carbon/Epoxy Hybrid Composites,” Polymers and Polymer Composites, vol. 22, no.3, Ap. 2014.

[84] A. Alawar, E. J. Bosze ve S. R. Nut, “A Composite Core Conductor for Low Sag at High Temperatures,” IEEE Transactions On Power Delivery, vol. 20, is. 3, july 2005.

[85] CTC Global Corp., "ACCC Data Sheet," California, Amerika Birleşik Devleti.

[86] I. M. Alarifı, "Investigation the conductivity of carbon fiber composites focusing on measurement techniques under dynamic and static loads," Journal of Materials Research and Technology, vol. 8, is. 5, pp. 4863-4893, Au. 2019.

[87] J. G. Kaufman, "Fire Resistance of Aluminum and Aluminum Alloys and Measuring the Effects of Fire Exposure on the Properties of Aluminum Alloys," Ohio, Amerika Birleşik Devleti: ASM International, 2016.

[88] Sumitomo Electric Industries Ltd., "High-strength heat-resistant aluminium alloy, conductive wire, overhead wire and method of preparing the aluminium alloy," European Patent Office EP0787811B1, May 3, 2000.

[89] Prysmian Group, "Airborne Bare Overhead Conductors," Avustralya.

[90] "Standard Specification for Aluminum-Alloy 6201-T81 and 6201-T83 Wire for Electrical Purposes[1]," ASTM B398/B398M – 15, 2021.

[91] J.F. Durodola, N. Fellows, P. Winfield, S. Gerguri ve B. Maruyama, "Continuously Reinforced Metal Matrix Composites," Elsevier Inc., 2017.

[92] "Standard Test Method for Resistivity of Electrical Conductor Materials[1]," ASTM B193-20, 2020.

[93] Aluminum Electrical Conductor Handbook, Third Edition, The Aluminum Associaton, Washington, USA, 1989.

[94] "TransPowr ® ACSS Bare Overhead Conductor," General Cable, Kentuky, USA.

[95] CME Wire and Cable Inc., "ACAR Aluminum Conductor Aluminum Reinforced," Georgia, USA.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirisi

Dinç, M., Arıkan, O., ve Akın, F., (2022). "Havai Hat İletkenlerinin Isıl Performans Analizi", 5th International Symposium on Innovative Approaches in Smart Technologies (ISAS 2022), 28-29 Mayıs 2022.