



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**ENERJİ İLETİM SİSTEMLERİNİN CANLI
BAKIM UYGULAMALARI, STANDARTLARI VE
TÜRKİYE İÇİN İNCELENMESİ**

MEHMET AKİF KILINÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği(Türkçe) Anabilim Dalı

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Seçil VARBAK NEŞE

EŞ-DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Yelda KARATEPE MUMCU

İSTANBUL, 2019



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**ENERJİ İLETİM SİSTEMLERİNİN CANLI
BAKIM UYGULAMALARI, STANDARTLARI VE
TÜRKİYE İÇİN İNCELENMESİ**

MEHMET AKİF KILIÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği(Türkçe) Anabilim Dalı

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Seçil VARBAK NEŞE

EŞ-DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Yelda KARATEPE MUMCU

İSTANBUL, 2019

MARMARA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Öğrencisi **Mehmet Akif KILINÇ**'ın “**Enerji İletim Sistemlerinin Canlı Bakım Uygulamaları, Standartları ve Türkiye için İncelenmesi**” başlıklı tez çalışması, 02.09.2019 tarihinde savunulmuş ve jüri üyeleri tarafından başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri

Dr.Öğr.Üyesi Seçil VARBAK NEŞE
Marmara Üniversitesi

(Danışman)


Prof.Dr. Ahmet Fevzi BABA
Marmara Üniversitesi

(Üye)


Dr. Öğr. Üyesi Haydar BAYAR
Yıldız Teknik Üniversitesi

(Üye)


ONAY

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve ^{04.09-2019} 2019/18-08 sayılı kararı ile Mehmet Akif KILINÇ'ın Elektrik-Elektronik Mühendisliği (Türkçe) Anabilim Dalı Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.


Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Prof. Dr. Bülent EKİCİ


TEŐEKKÖR

Bu tez çalışmasında beni yönlendiren, çalışmayı gerçekleőtirmeme imkan tanıyan ve her konuda yardımcı olup bilgilerini, tecrübelerini ve desteklerini benden esirgemeyen kıymetli hocalarım, tez danışmanım sayın Dr. Seçil VARBAK NEŞE'ye, tez eş danışmanım sayın Dr. Yelda KARATEPE MUMCU'ya ve sayın Prof. Dr. Bülent ORAL'a teőekkürü bir borç bilirim. Ayrıca teknik bilgi edinmemde bana yardımcı olan TEİAŞ canlı bakım çalıőanlarına çok teşekkür ederim. Ve Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini esirgemeyen bugünlere gelmemi sağlayan ve hakkını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim anneme ve babama, büyüklerime ve arkadaşlarıma őükranlarımı sunarım.

Ağustos, 2019

Mehmet Akif KILINÇ

İÇİNDEKİLER

	SAYFA
TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii-iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
KISALTMALAR.....	vi-viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ.....	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	2
1.2. Literatür özeti.....	2
2. CANLI BAKIM TEKNOLOJİSİ.....	4
2.1. Canlı Bakım Teknolojisinin Gelişimi.....	4
2.1.1. Ülkemizde canlı bakım teknolojisinin mevcut durumu.....	8
2.1.2. Canlı bakım teknolojisinin üstünlükleri.....	9
2.2. Literatür Araştırması.....	11
3. MATERYAL VE YÖNTEM	19
3.1. IEC 61472-2013 Standardı.....	19
3.1.1. IEC 61472-2013 standardının minimum yaklaşma mesafesinde çalışma tipleri.....	19
3.1.2. IEC 61472-2013 standardı minimum yaklaşma mesafesi hesaplama prosedürü.....	21
3.2. IEEE Std 516-2009 standardı.....	31
3.2.1. IEEE Std. 516-2009 standardı minimum yaklaşma mesafesi hesaplama prosedürü.....	32
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	36
4.1. TEAİŞ'in 380 kV'luk Enerji İletim Hatlarında Kullanılan Direk Tipleri ile Bilgiler.....	36
4.1.1. TEİAŞ'in 380 kV'luk enerji iletim hatlarında kullanılan direklerin askı-gergi takım tertipi.....	37
4.2. 380 kV'luk Enerji İletim Hatlarında Kullanılan Direklerin Konsol-Toprak Arası Uzaklıkları, Direk Ana Ölçüleri ve Minimum Yaklaşma Mesafesi Hesabı.....	40
4.2.1. 2B 954 MCM – 2A, 2B, 2C, D, E, F direkleri ve minimum yaklaşma mesafesi hesabı.....	40
4.2.2. 2B 954 MCM – 3A1, 3B1, 3C1, 3D, 3E, 3F direkleri ve minimum yaklaşma mesafesi hesabı.....	47
4.2.3. 1272-Pheasant – 3PA, 3PB, 3PC, 3PD, 3PE, 3PF direkleri ve minimum yaklaşma mesafesi hesabı.....	52
4.2.4. 2027 mm ² özel iletken - Tek özel bölge - PAH, PCH, PDH, PEH direkleri ve minimum yaklaşma mesafesi hesabı.....	62
4.2.5. 3B Çift Devre 954 MCM – S1, S2, S3, T1, T2, T3 direkleri ve minimum yaklaşma mesafesi hesabı.....	65
4.2.6. 3B 954 MCM - müşterek çift devre – M1, M2, M3 direkleri ve minimum yaklaşma mesafesi hesabı.....	68

4.2.7. 2B 1272 MCM dört devre – DS1, DS2, DT1, DT2 direkleri ve minimum yaklaşma mesafesi hesabı.....	71
4.2.8. 3B 1272 MCM çift devre – 2PA, 2PB, 2PD, 2PE, 2PF direkleri ve minimum yaklaşma mesafesi hesabı.....	74
5. SONUÇ.....	78
KAYNAKLAR.....	79-85
EKLER	86-111
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

ENERJİ İLETİM SİSTEMLERİNİN CANLI BAKIM UYGULAMALARI, STANDARTLARI VE TÜRKİYE İÇİN İNCELENMESİ

Günümüzde elektrik üretiminin ve tüketiminin artması elektrik kayıplarında artırmaktadır. Elektrik kayıplarının azaltılması için bazı teknolojiler kullanılmaktadır. Bunlardan biride canlı bakım teknolojisidir. Bu teknolojinin kullanılmasıyla elektrik kesintisinde azalma, enerji iletim hatlarının ömrünün uzaması, teknoloji öğrenimi, ekonomik kazanç vb. kazanımlar elde edilmektedir.

Enerji iletim sisteminde hedef iletim sistemindeki kayıpları önlemek ve elektrik enerjisini güvenli ve sürekli taşımaktır. Bu nedenle canlı bakım teknolojisi geliştirilmiştir. Üretilen elektriğin enerji iletim hatları vasıtasıyla kesintisiz aktarılabilmesini sağlamak için canlı bakım teknolojisinden yararlanılmaktadır. TEİAŞ bu teknolojiyi IEC (İnternational Electrotechnical Commission) 61472-2013 standardını kullanarak gerçekleştirmektedir. IEC 61472-2013 standardı 154-380 kV enerji iletim hatlarında enerji kesintisi olmadan bakım ve onarım yapılmasını sağlamaktadır.

Bu tez çalışmasında, canlı hat bakım teknolojisi incelenmiştir. Canlı bakım teknolojisinde referans alınan IEC 61472-2013 standardı açıklanmıştır. IEC 61472-2013 standardına göre TEİAŞ'ın 380 kV'luk enerji iletim hattı direklerinde canlı çalışma mesafesi hesaplamaları yapılmış ve canlı bakım-onarım çalışmaları yapılabileceği belirtilmiştir. IEC 61472-2013 standardına göre ülkemiz için hesaplamalar yapılarak, ilgili direkler üzerinde canlı bakım ve onarım işlemi gerçekleştirilebilir.

Anahtar Kelimeler: Canlı Bakım Teknolojisi, IEC 61472-2013, Minimum Yaklaşma Mesafesi, TEİAŞ

AĞUSTOS 2019

Mehmet Akif KILINÇ

ABSTRACT

LIVE-LINE MAINTENANCE APPLICATIONS AND STANDARDS FOR ELECTRICAL POWER TRANSMISSION SYSTEMS, AND AN ANALYSIS THEREOF FOR TURKEY

Increase in power generation and consumption increases power loss. There are some technologies developed to reduce power loss. Live line maintenance technology is one of them. This technology reduces power outage, and prolongs the service life of power transmission lines, and helps in technology learning, and provides economic benefits.

The aim of an electrical energy transmission system is to reduce power loss, and transmit electrical power safely and uninterruptedly. Live maintenance technology is developed to serve this aim. Live-line working technology provides uninterrupted transmission of generated electrical power over power transmission lines. TEIAS uses this technology in compliance with IEC 61472-2013, the standard published by International Electrotechnical Commission. The IEC 61472-2013 describes a method for live-line working on power transmission lines at voltages between 154 kV and 380 kV without causing power outage.

In this thesis study, live-line working technology is analyzed. The IEC 61472-2013 standard addressing live-line working technology is explained. The minimum approach distance for TEIAS's 380-kV aerial power lines are calculated in accordance with the IEC 61472-2013, and it is reported that live-line working can be performed on these lines. The method of calculation described in IEC 61472-2013 for live-line working can be used in our country to carry out live line maintenance and repair works.

Keywords : Live-Line Working Technology, IEC 61472-2013, Minimum Approach Distance, TEIAS

AUGUST 2019

Mehmet Akif KILINÇ

KISALTMALAR

- A_d** : İzolatör zincirinde hasar görmüş izolatör sayısı
- A_o** : İzolatör zincirindeki izolatörlerin sayısı
- ANSI** : American National Standards Institute - Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü
- CIGRÉ 72** : the International Council on Large Électric Systems 72 – Büyük Elektrik Sistemleri Uluslararası Konseyi 72
- D_A** : Minimum yaklaşma mesafesi
- D_E** : Ergonomik mesafe (yanlış hareket ve çalışma esnasında mesafelerin değerlendirilmesinde hatalar dikkate alınarak havadaki mesafe – IEC 60050-651: 651-21-13)
- D_U** : Elektriksel mesafe (canlı hat çalışma esnasında enerjili parçalar arasında veya enerjili parçalar ile topraklanmış parçalar arasında bozucu bir deşarjı önlemek için gereken havadaki uzaklık – IEC 60050-651: 651-21-21)
- F** : Hava boşluğu eksenini yönündeki yüzen iletken nesnelerin (metre cinsinde) tüm uzaklıkların toplamı
- F-F** : Faz-faz gerilimi
- F-T** : Faz-toprak gerilimi
- IEC** : International Electrotechnical Commission - Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
- IEEE** : Institute of Electrical and Electronical Engineers - Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
- K_s** : İstatiksel güvenlik faktörü
- K_t** : Hava boşluğunun dayanımını etkileyen çeşitli faktörlerin kombinasyonu
- k_a** : Atmosfer faktörü
- k_d** : Hasar gören izolatörlerin ortalama durumunu karakterize eden katsayı
- k_f** : Yüzen nesne faktörü

k_g	: Boşluk faktörü
k_i	: Hasar görmüş izolatör faktörü
k_s	: Standart istatistiksel sapma faktörü
p.u.	: Birim başına değeri (bir aşırı gerilimin (veya gerilimin) genlik birim başına değerinin ifade edilmesi)
s_e	: Yüzdeler olarak ifade edilen U ₅₀ standart sapmasının standartlaştırılmış değeri
U	: Nominal sistem gerilimi
U₂	: %2 istatistiksel aşırı gerilimi (%2 istatistiksel olasılığa sahip olan geçici aşırı gerilim tepe değeri)
u₂	: %2 istatistiksel aşırı gerilim birim değeri (per unit - p.u.)
U₅₀	: %50 bozulabilir deşarj gerilimi (dielektrik testinin her gerçekleştiğinde bozucu bir deşarj başlatma ihtimali %50 olan bir ani hareket test geriliminin tepe değeri - IEC 60050-604:1987, 604-03-43)
U₉₀	: Canlı hat çalışması için gerekli istatistiksel dayanım gerilimi (Yalıtımın, belirtilen koşullar altında %90 dayanma olasılığına sahip olduğu bir ani hareket test geriliminin tepe değeri - IEC 60050-604:1987, 604-03-42)
U_{e2}	: Faz-toprak arasındaki %2 istatistiksel aşırı gerilimi
U_{e90}	: Faz-toprak arasındaki %90 istatistiksel ani hareket dayanım gerilimi
U_{p2}	: Faz-faz arasındaki %2 istatistiksel aşırı gerilimi
U_{p90}	: Faz-faz arasındaki %90 istatistiksel ani hareket dayanım gerilimi
u_{e2}	: Faz-toprak arasındaki %2 istatistiksel aşırı gerilim birim değeri (per unit - p.u.)
u_{p2}	: Faz-faz arasındaki %2 istatistiksel aşırı gerilim birim değeri (per unit - p.u.)
U_s	: En yüksek sistem gerilimi (normal çalışma koşullarında herhangi bir zamanda ve sistemdeki herhangi bir noktada (faz-toprak veya faz-faz gerilimi) meydana gelen çalışma geriliminin en yüksek değeri)

U_{es} : En yüksek faz-toprak sistem gerilimi

U_{ps} : En yüksek faz-faz sistem gerilimi

ŞEKİL LİSTESİ

SAYFA

Şekil 1.1. 2000-2017 seneleri arasında literatür araştırmasında kullanılan kaynakların sayısı (IEC 624/13).....	2
Şekil 1.2. Kaynakların türlerine göre dağılımı	3
Şekil 2.1. Enerji iletim hatlarında kullanılan helikopter	5
Şekil 2.2. 1935 yılında Polanya’da yapılan bir canlı çalışma	5
Şekil 2.3. Enerji iletim hatlarında potansiyelde çalışma yöntemi	6
Şekil 2.4. Canlı çalışmada kullanılan aletlerin kamyon üzerinde gösterimi	7
Şekil 3.1. Tipik canlı hat çalışma şekilleri (IEC 624/13)	20
Şekil 3.2. FRP ıstankanın ucuna takılan F iletken parça ile canlı çalışma	21
Şekil 3.3. IEC 61472-2013 standardı minimum yaklaşma mesafesinin hesaplama prosedürünü gösteren akış şeması.....	22
Şekil 3.4. Canlı hat aletleri ve ıstanka boşlukları için tipik anahtarlama dalgaları dayanım gerilimi	34

TABLO LİSTESİ

SAYFA

Tablo 3.1. IEC 61472-2013 standardına dayanılarak TEİAŞ U_s gerilimleri ve u_2 per unit değerleri	23
Tablo 3.2. IEC 61472-2013 standardına dayanılarak TEİAŞ 154 kV ve 380 kV minimum yaklaşma mesafeleri	23-24
Tablo 3.3. IEC 61472-2013 standardına göre faz-toprak konfigürasyonları için boşluk faktörü k_g	26-27
Tablo 3.4. IEC 61472-2013 standardına göre Ortalama k_a değerleri	29
Tablo 3.5. IEC 61472-2013 standardına göre farklı U_{90} değerlerinde ve rakımlarında k_a faktörü.....	29
Tablo 3.6. IEC 61472-2013 standardına göre bu çalışmada TEİAŞ canlı çalışması için kullanılan k_a değerleri	29-30
Tablo 3.7. TEİAŞ 154 kV ve 380 kV iletim hatlarındaki izolatör zincirindeki izolatör sayıları ve hatalı izolatör sayıları.....	31
Tablo 3.8. Canlı çalışma için T'nin endüstri tarafından kabul edilen değerleri.....	34
Tablo 3.9. IEEE Std. 516-2009 standardı rakım düzeltme faktörü.....	35
Tablo 4.1. 380 kV'luk enerji iletim hatlarında kullanılan direk tipleri ile ilgili bilgiler.....	36-37
Tablo 4.2. 380 kV'luk 2B ve 3B, 954 ve 1272 MCM İletkenli Tip Direklerin Askı-Gergi Takım Tertibi.....	37-39
Tablo 4.3. 2A, 2B, 2C, D, E, F direklerin gövdelerinin konsol-toprak arası uzaklıkları ve direk ana ölçüleri.....	40-41
Tablo 4.4. 3A1, 3B1, 3C1, 3D, 3E, 3F direklerin gövdelerinin konsol-toprak arası uzaklıkları ve direk ana ölçüleri.....	48-49
Tablo 4.5. 3PA, 3PB, 3PC, 3PD, 3PE, 3PF direklerin gövdelerinin konsol-toprak arası uzaklıkları ve direk ana ölçüleri.....	52-53
Tablo 4.6. PAH, PCH, PDH, PEH direklerin gövdelerinin konsol-toprak arası uzaklıkları ve direk ana ölçüleri.....	63-64
Tablo 4.7. S1, S2, S3, T1, T2, T3 direklerin gövdelerinin konsol-toprak arası uzaklıkları ve direk ana ölçüleri.....	66-67
Tablo 4.8. M1, M2 ve M3 direklerin gövdelerinin konsol-toprak arası uzaklıkları ve direk ana ölçüleri.....	69
Tablo 4.9. DS1, DS2, DT1 ve DT2 direklerin gövdelerinin konsol-toprak arası uzaklıkları ve direk ana ölçüleri.....	71-72
Tablo 4.10. 2PA, 2PB, 2PD, 2PE ve 2PF direklerin gövdelerinin konsol-toprak arası uzaklıkları ve direk ana ölçüleri.....	74-75

1. GİRİŞ

Günümüzde elektrik enerjisi kullanımı, teknolojinin gelişimine paralel olarak her geçen gün artmaktadır. Elektrik enerjisinin üretim ve tüketim noktaları arasındaki mesafeden dolayı taşınması gerekmektedir. Bu uzak mesafelere taşınmasında kayıpları azaltmak için Yüksek Gerilim (YG) , Çok Yüksek Gerilim (ÇYG) ve Aşırı Yüksek Gerilim (AYG) hatları kullanılmaktadır. Zamanla hatlara ait ekipmanlar yaşlanmakta ve bozulmaktadır. Bu da elektrik kayıplarını artırmaktadır. Elektrik kayıplarının ve enerji kesintilerinin neden olacağı maliyetlerin en aza indirilmesi için elektrik şebekelerinde (dağıtım hatlarında, iletim hatlarında ve trafo merkezlerinde) canlı bakım gerçekleştirilmektedir. Böylece elektrik şebekelerinin elektrik kesintisinde azalma ve buna bağlı olarak hat ömrünün uzaması, satılmayan elektriğin azalmasıyla ekonomik kazanç, canlı bakım teknolojisi tecrübesi, çevresel bozulmaların azalması, planlı kesintilerin azalması vb. kazançlar elde edilmektedir [1].

Canlı bakım teknolojisi YG, ÇYG ve AYG hatlarında ve trafo merkezlerinde mesafeli ve potansiyelde çalışma yöntemi ile yapılmaktadır. Mesafeli çalışma yöntemi belirlenen faz-toprak ve faz-faz mesafelerine bağlı kalınarak yapılmakta böylece çalışanlar enerji altında kalmamaktadır. Potansiyelde çalışma yönteminde de faz-toprak ve faz-faz mesafelerine bağlı kalınmakta ve çalışanlar iletken kıyafetler giyerek üzerinde çalıştığı ekipman ile aynı gerilim seviyesinde olmaktadır. Potansiyelde çalışma yöntemi birçok farklı teknik ile yapılmaktadır. Bunlar konumlama sandalyesi, merdiven, helikopter, vinç, robot vb. tekniklerdir. Bu sayede potansiyelde çalışma yöntemi, mesafeli çalışma yönteminden daha yaygın şekilde kullanılmaktadır ve mesafeli çalışma yöntemi ile yapılamayan birçok işin yapılmasına olanak sağlamaktadır. Örneğin damper, spacer, iletken sarımı gibi pek çok işin yapılması sağlanmaktadır. Ayrıca potansiyelde çalışma yöntemi çalışanlara daha rahat hareket kabiliyeti sağlamaktadır [2, 3].

Canlı bakım teknolojisi birçok birleşenden oluşmaktadır. En yüksek sistem gerilimi, birim başına aşırı gerilim, hava boşluğunun dayanma gerilimi, hava boşluğunun dayanımını etkileyen çeşitli faktörler (standart istatistiksel sapma faktörü, boşluk faktörü, atmosfer faktörü, yüzen iletken nesne faktörü, hasarlı izolatör faktörü), ergonomik mesafe yalnızca bu birleşenlerin birkaç tanesidir. Bu birleşenlerin uygulanabilmesi için 10 km

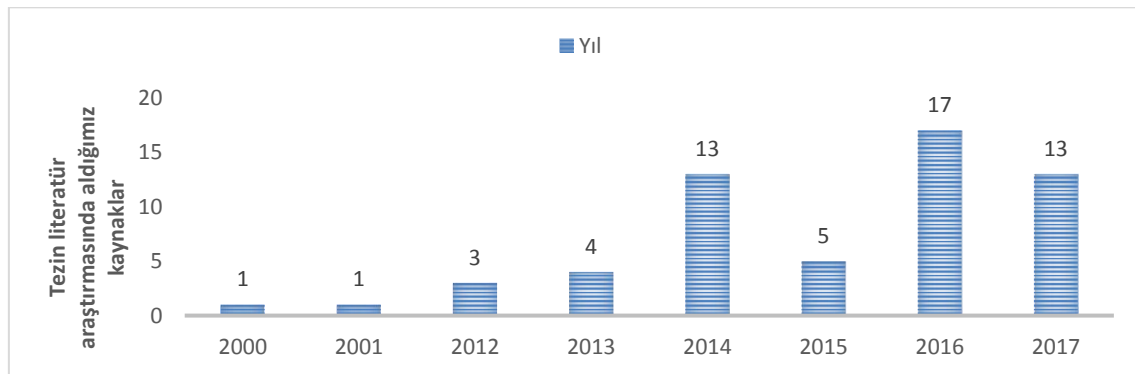
yakınında yıldırım görülmemesi ve duyulmaması, beklenen aşırı gerilim gerekli minimum yaklaşma mesafesinin belirlenmesi için seçilen değeri aşmaması ve aletlerin yüzeyinde ölçülebilir bir kirlenme veya nem tabakası olmaması gereklidir. Canlı bakım teknolojisinin uygulanmasındaki amaç güvenli bir şekilde elektrik kesintisini ortadan kaldırmaktır. Bu nedenle canlı bakım teknolojisi uygulanırken bu hususların bilinmesi gerekir. Aynı zamanda bu teknolojinin elektrik şebekesine uygulanırken bütün bileşenler koordineli olmalıdır. Böylece canlı çalışma esnasında uyum sağlanmış olmakta ve güvenli bir çalışma yapılabilmektedir [3].

1.1. Tezin Amacı

Bu tezde enerji iletim hatları ve trafolarda canlı bakım teknolojisindeki yenilikler ve uygulandığı incelenmiştir. Ayrıca canlı bakım teknolojisinde kullanılan IEC 61472-2013 ve IEEE Std 516-2009 standartları ayrıntılı olarak araştırılmıştır. Ülkemizde IEC 61472-2013 standardına göre TEİAŞ'ın 380 kV'luk iletim hattı direklerinde faz-toprak ve faz-faz minimum yaklaşma mesafesi hesaplamaları gerçekleştirilmektedir. Ayrıca literatürde ülkemiz özelinde yeteri kadar kaynak olmayan canlı bakım teknolojisi hakkında araştırmacılara kaynak oluşturmaktır.

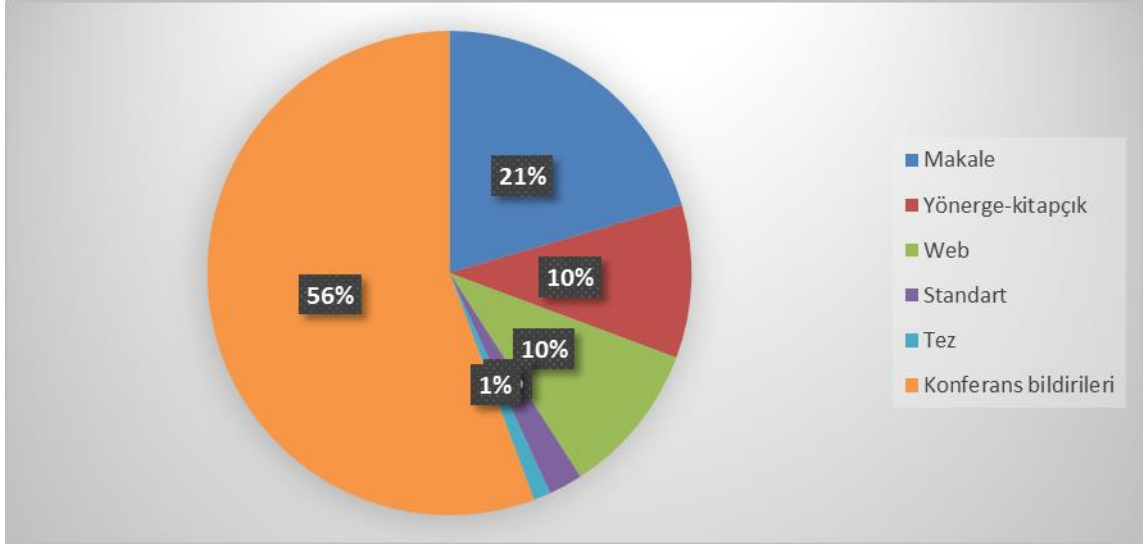
1.2. Literatür özeti

Canlı bakım teknolojisinin elektrik şebekelerindeki durumu incelendiğinde her geçen gün öneminin arttığı görülmektedir. Bu durum akademik çalışmalara da yansımaktadır. Şekil 1.1'de görüleceği üzere 2000-2017 seneleri arasında tezin literatür araştırmasında kullanılan kaynakların dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 1.1 2000-2017 seneleri arasında literatür araştırmasında kullanılan kaynakların sayısı

Bu tez çalışmasında sunulan bilgilerin güncel olması amacıyla özellikle son yıllardaki araştırmalar incelenmiştir. Dolayısıyla kaynakların 95,45%'i, 2012 yılı ve sonrasına aittir. 200'nin üzerinde kaynak okunmuş ve 88 tanesi tezin konusu ile ilgili bulunarak kaynaklara eklenmiştir. Kaynakların türlerine göre dağılımı ise Şekil 1.2'de gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Kaynakların türlerine göre dağılımı

2. CANLI BAKIM TEKNOLOJİSİ

Bu bölümde; canlı bakım teknolojisinin gelişimine, ülkemizde canlı bakım teknolojisinin mevcut durumuna, canlı bakım teknolojisinin üstünlüklerine ve literatür araştırmasına değinilmiştir.

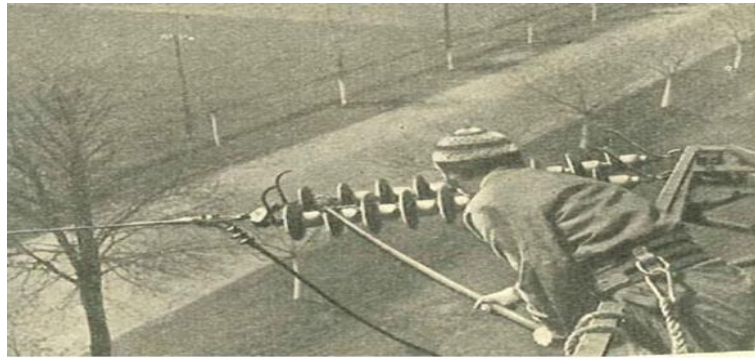
2.1. Canlı Bakım Teknolojisinin Gelişimi

Canlı bakım teknolojisi icat edilmeden önce enerji iletim hatlarında bakım ve onarım çalışmaları elektrik kesilerek yapılmaktaydı. Böylece elektrik iletiminde büyük kayıplar oluşmaktaydı. Enerji iletim hatlarında bakım yöntemleri plan ve plansız bakım olarak iki gruba ayrılmaktaydı. Plansız bakım yöntemi ile enerji iletim hatlarında arıza çıktıkça bakım ve onarım yapılırdı ve enerji iletiminde elektrik kayıpları çok fazla olmaktaydı. Ayrıca bu yöntem uygulanırken enerji iletim hatlarının parçalarında çok fazla zarar vermekteydi. Plansız bakım sahip olduğu dezavantajlar sebebiyle planlı bakım yöntemlerinin kullanımını zorunlu hale getirmiştir. Günümüzde plansız bakım yöntemi kullanılmamaktadır. Planlı bakım yöntemleri üç gruba ayrılmaktadır. Bunlar periyodik bakım, kestirici bakım, proaktif bakımdır. Bu bakım gruplarından en iyi şekilde yararlanılan bakım grubu periyodik bakımdır. Periyodik bakım ile önceden belirlenen bir zaman periyodunda enerji iletim hatları bakım ve onarımları yapılmaktadır. Düzenli olarak enerji iletim hatlarının bütün parçaları gözden geçirilmekte ve tespit edilen arızalar giderilmektedir [4]. Bu gözden geçirme ve arıza tespitleri araba ile gidilip çıplak gözle yapılmaktadır. Buna ek olarak helikopter (gözle, IR (Infra Red) kamera, UV (Ultraviolet) kamera, HD (High Definition) kamera, fotoğraf makinesi ile) ve LİDAR (Laser İmaging Detection And Ranging) kontrol sistemi kullanılarak da gerçekleştirilmektedir [5, 6, 7]. Helikopter ve LİDAR sistemiyle kontrolde enerji iletim hatları kontrolü daha fazla yapılmaktadır ve daha güvenli olmaktadır [5, 7]. Ayrıca bu bakım grubunda arızanın çıkması beklenmez. Enerji iletim hatlarında daha önceden periyodik olarak yapılan bakım neticesinde olası arızaların önüne geçilir [4]. Günümüzde bu bakım grubu kullanılmaktadır ve bu bakım grubu canlı bakım teknolojisi ile koordineli olarak çalışarak enerji iletim hatlarında bakım ve onarım çalışmalarını gerçekleştirmektedir [8]. Şekil 2.1'de enerji iletim hatlarında kullanılan helikopter gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Enerji iletim hatlarında kullanılan helikopter [8]

Canlı bakım teknolojisi gelişimi dünyada yüzyılı aşkın bir geleneğe sahiptir. Canlı bakım teknolojisi ilk defa Kuzey Amerika’da ortaya çıkmıştır [9]. 1913 yılına kadar ilk canlı çalışma ABD (Amerika Birleşik Devletleri)’de, Avrupa’da 1933 yılında Polanya’da, 1950 yılında Çin’de ve 1963 yılında Fransada belgelenmiştir [10, 11, 12]. Türkiye’de ilk canlı bakım teknolojisi başlangıcı 1959-1960 yılları arasında olmuştur. Fakat bilinmeyen sebepten dolayı devam etmemiştir [13]. Canlı bakım teknolojisinin asıl gelişimi yüksek gerilim ve çok yüksek gerilim çalışmaları başlamasıyla olmuştur. Çok sayıda enstitüden ekipman ve aletler için malzeme ve koruyucu ekipman geliştirilmiştir ve günümüzde de geliştirilmektedir. Böylece canlı bakım teknolojisi daha fazla gelişmiştir ve günümüzde de gelişmektedir [11]. Şekil 2.2’de 1935 yılında Polanya’da yapılan bir canlı çalışma gösterilmiştir.



Şekil 2.2. 1935 yılında Polanya’da yapılan bir canlı çalışma [11]

Canlı bakım teknolojisi enerji iletim hatlarında iki farklı canlı hat bakım yöntemi ile uygulanmaktadır. Bunlar mesafeli çalışma ve potansiyelde çalışmadır. Mesafeli çalışma

canlı bakım teknolojisinde kullanılan ilk yöntemdir. Bu yöntemde çalışanlar belirli mesafeden yalıtımlı sopa kullanarak canlı hat çalışmasını gerçekleştirmektedir [14]. Bu yöntemde ilk kullanılan sopalar yalıtımlı tahta sopalardır ve günümüzde gelişen teknoloji ile FRP ıstankalar kullanılmaktadır [14, 15]. Bu ıstankaların ucuna çatal pimi gibi çeşitli aletler takılabilir. Bir kulenin tepesinde ıstanka ucundaki pimi değiştirmek zorlayıcı olmaktadır. Bununla birlikte deneyimli bir ıstanka ekibi bu işi rahat bir şekilde yapabilmektedir. Günümüzde de bu yöntem enerji iletim hatlarında kullanılmaktadır [14]. Potansiyelde çalışma 1960'lı yıllarda gelişen bir canlı bakım teknolojisi yöntemidir [2]. Bu yöntemde çalışanlar üzerinde çalıştığı ekipman ile aynı potansiyele sahip bir canlı hat çalışması gerçekleştirmektedir. Çalışanlar bu yöntemi uygularken elleride dahil olmak üzere tüm vücudu iletken giysi ile kaplanmaktadır ve yalnızca yüzü örtülmemektedir. İletken giysi çalışanların vücudunu karşı potansiyele eşitleyerek indüklenen akım akışını rahatsız edici bir karıncalanma hissinden kurtarmaktadır. Ayrıca bu yöntemde iletken giysi üzerinde akan elektrik akımı canlı çalışma yapan çalışanların elektrik çarpmasınida engellemektedir. Bu şekilde çalışanlar çalışmasını rahat bir şekilde gerçekleştirmektedir [14]. Bu yöntem ile diğer yöntem karşılaştırıldığında bu yöntemin daha kullanışlı ve daha fazla hareket kabiliyeti sağlamaktadır. Bu yöntem günümüzde yüksek gerilim ve çok yüksek gerilim hatlarında en çok kullanılan yöntem olma özelliği taşımaktadır [14,16]. Şekil 2.3'de enerji iletim hatlarında potansiyelde çalışma yöntemi gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Enerji iletim hatlarında potansiyelde çalışma yöntemi [17]

Canlı bakım teknolojisinde kullanılan araç ve gereçlerde uzun yıllar standartlaştırılma yapılmadı. Buda canlı bakım teknolojisi kullanan ülkelerde zorluklar oluşturdu ve standartlaştırılma gerektirdiğini ortaya çıkardı [18]. 1906 yılında kurulan IEC bünyesinde

1975 yılında IEC TC (Technical Committee) 78 kuruldu. IEC TC 78 canlı bakım teknolojisi için canlı çalışma araçları geliştirdi ve günümüzde de geliştirmeye devam etmektedir. IEC TC 78'in oluşmasına Fransa, Birleşik Krallık ve İskandinavya ülkeleri öncülük etmiştir. Bu komitenin ilk başkanı Fransız P. Feintuch olmuştur. Ayrıca bu komite kurulduktan sonra canlı çalışma araçlarının geliştirilmesi için CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization), IEEE (Institute of Electrical and Electronical Engineers), ANSI (American National Standards Institute), ASTM (American Society for Testing and Materials) vb. gibi önemli standartlaştırma organizasyonları ile koordineli çalışılmıştır ve günümüzde de çalışılmaktadır. Bu kuruluşlar canlı çalışma aletleri geliştirilmesine katkıda bulunmuştur ve günümüzde de katkıda bulunmaya devam etmektedir. Bu şekilde canlı çalışanların güvenliği artmıştır ve günümüzde de artırmaya devam etmektedir [18, 19]. Canlı bakım teknolojisi kullanan ülkeler bu standartlaştırma organizasyonlarının standartlaştırdığı canlı çalışma araçlarını kullanmaktadır. Bu şekilde bu ülkelerde belli bir standartta canlı çalışma aletleri kullanılmaktadır ve geçmişte yaşanan standartlaşma sorununa çözüm olmuştur [18, 19, 20]. Ayrıca bu komite faz-toprak ve faz-faz yaklaşımları için her gerilim kademesinde minimum yaklaşma mesafeleri belirlemiştir [2, 25, 19, 20]. Canlı bakım teknolojisi kullanan ülkeler ya bu komitenin ya da kendi ülkelerinde kurulan kuruluşların belirlediği minimum yaklaşma mesafelerini kullanmaktadır [2, 18, 19]. Bu kullanılan minimum yaklaşma mesafeleri gelişen teknoloji ve tecrübeyle güncellenmektedir. Bu şekilde canlı çalışanların ve canlı bakım çalışmalarının güvenliği artmaktadır [15,20]. Ayrıca günümüzde pek çok ülke IEC'nin minimum yaklaşma mesafelerini kullanmaktadır [2, 18, 19, 21]. Şekil 2.4'de canlı çalışmada kullanılan aletlerin kamyon üzerinde gösterimi gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Canlı çalışmada kullanılan aletlerin kamyon üzerinde gösterimi [18]

2.1.1. Ülkemizde canlı bakım teknolojisi

Ülkemizde ilk canlı bakım teknolojisine giriş 1959-1960 yıllarında olmuştur. TEİAŞ deposunda 1960'lı yılların başında alınmış canlı bakım aletleri bulunmuştur. Fakat bilinmeyen sebepten dolayı canlı bakım teknolojisi uygulamasına geçiş yapılamamıştır [13]. İkinci giriş ETBK bünyesinde 2006 yılı Türkiye-AB katılım öncesi mali işbirliği kapsamında AB kredisi ile gerçekleştirilen eşleştirme projesi ile canlı bakım faaliyetleri proje kapsamında alınmıştır. TEİAŞ'ın kurumsal yapısının ve kapasitesinin güçlendirilmesi kapsamında eşleştirme ortağı olarak seçilen Fransız iletim şirketi RTE ile canlı bakım projesinin fizibilite çalışmaları 2008-2009 yıllarında sürdürülmüştür. Bu fizibilite sonuç raporuna göre TEİAŞ şebekesinde canlı bakım yapılabileceği belirtilmiştir. Böylece TEİAŞ 2012 Aralık ayında canlı bakım sisteminin kurulması ve uygulanması aktivitesi kapsamında RTE ile eğitim sözleşmesini imzalamıştır ve faaliyetlerine başlamıştır [13, 22]. Ayrıca TEİAŞ bu imzaladığı anlaşma ile canlı bakım teknolojisini uygulayan 50 ülkeden biri olma özelliğine kavuşmuştur [13, 23].

TEİAŞ 2013 Mayıs ayında gönüllülük esasına göre hat ve trafo ekibi kurmuştur. Bu kurulan ilk ekipler 10'ar kişilik kadrodan oluşmuştur. Bu ekipler eğitimlerine 2014 Nisan ayında başlayıp Kasım ayında tamamlamışlardır. Böylece 2014 yılında TEİAŞ enerji iletim hatlarında canlı bakım çalışmaları uygulanmıştır [13, 22]. İlk uygulanan canlı bakım çalışması canlı hat ekibinin potansiyelde çalışma yöntemi ile yaptığı iletkene dokunma çalışmasıdır. İkinci yaptığı çalışma ise yine canlı hat bakım ekibinin mesafeli çalışma yöntemi ile yaptığı izolator değiştirme çalışmasıdır. Böylece TEİAŞ enerji iletim hatlarında iki farklı yöntemde ilk canlı çalışmalarını gerçekleştirmiştir [24].

TEİAŞ 2015-2019 stratejik planında 12 ekip kurmayı planlamıştır ve daha sonra 2 ekip daha eklemiştir. Böylece TEİAŞ 2019 yılı sonuna kadar toplamda 14 ekibe sahip olacaktır. Bunların 7'si hat bakım ve 7'si trafo bakım ekibi olacaktır. Günümüzde TEİAŞ'ta aktif olarak çalışan 2 hat ekibi ve 2 trafo ekibi bulunmaktadır. Bu ekipler 1 hat bakım ve 1 trafo bakım ekibi olarak aynı bölgede bulunmaktadır. Böylece günümüzde 2 bölgede bulunan ekipler vardır ve bu ekipler Ankara ve İstanbul/Avrupa bölgelerinde bulunmaktadır. Ayrıca diğer 10 ekip İstanbul/Anadolu, İzmir, Bursa, Samsun ve Erzurum bölgelerinde kurulacaktır. Bu 10 ekibin eğitim faaliyetleri devam etmektedir ve eğitim

faaliyetleri bittikçe bu bölgelerde çalışmalarına başlayacaktır [25, 26, 27, 28]. Her bir ekip yılda en az 25 canlı çalışma gerçekleştirmek zorundadır. Böylece bu ekiplerin hepsi faaliyete geçtiği zaman yılda en az 350 çalışma gerçekleştirilecektir. Bu çalışmaların 175'ini canlı hat bakım ekibi tarafından diğer yarısını ise trafo bakım ekibi tarafından gerçekleştirilecektir [13, 29].

2.1.2. Canlı bakım teknolojisinin üstünlükleri

Canlı bakım teknolojisinin amacı:

- Elektrik iletim sistemi arz güvenilirliği ve kalitesinin artırılması,
- Kullanıcılara kesintisiz ve kaliteli elektrik enerjisinin sağlanması
- Kesintilerin en aza indirilmesi ile enerji ve üretim kayıplarının azaltılması
- Yeni çalışma yöntemlerinin kazanılması ile iş disiplini ve iş güvenliği açısından yüksek kazanımların sağlanmasıdır.

Canlı bakım teknolojisinin faydaları şu şekildedir:

- 1- Arz güvenilirliği ve kalitesi artar,
 - 2- Kesintisiz elektrik enerjisi artar,
 - 3- Enerji kayıpları azalır,
- İş disiplini ve iş güvenliği artar [25].

Göcsei vd. enerji iletim hatlarında canlı bakım ve onarım çalışmalarının yapılması teknik fayda sağlayacağını ve bu teknik faydanın toplumsal ve çevresel faydaya sebep olacağını açıklamışlardır. Çünkü canlı çalışmanın enerji hatlarında kesintinin oluşmasını engellediğinden ve satılmayan enerjinin oluşmamasını sağladığından dolayı daha hızlı bakım ve onarım yapılabileceğini ve bu sebeple toplumsal ve çevresel fayda elde edileceğini belirtmişlerdir [30]. Pagnano vd. enerji iletim hatlarında robotların kullanılmasıyla gece gündüz bakım yapılarak zaman tasarrufu sağlanacağını, elektrik güç kaynağının verimliliğini arttıracığını ve böylece ekonomik kazanç elde edileceğini ve sosyal refahı yükselteceğini belirtmişlerdir [31]. Gonçalves ve Carvalho canlı bakım ile kontrol ve onarım yapılmasının işçilik maliyetlerini düşüreceğini, bakım verimliliğini artıracığını ve canlı bakım çalışanlarının yaralanma riskini azaltarak teknik, çevresel ve toplumsal kazanç elde edileceğini belirtmişlerdir [32]. Bertalan vd. enerji iletim hattında canlı bakım ile cansız bakımın maliyet analizini dokuz başlıkta (maaş, iletken kıyafet ve

iletken kıyafetin ekipmanı, eğitim, konaklama, ulaşım aracı, canlı bakım aletleri, malzeme maliyeti (damper), elektrik kaybı ve zarar gören tarımsal arazi) karşılaştırarak yaptıklarını belirtmişlerdir. Yaptıkları analiz sonucunda % 100'den daha fazla mali kazanç elde ettiklerini ve canlı bakım ekibinin artmasıyla kazançlarının daha da artacağını belirtmişler ve cansız bakım ekibinin sayısı artsa bile canlı bakım ile yapılan maliyet kazancına ulaşamayacağını belirtmişlerdir. Ayrıca çevresel ve sosyal faydaları olduğunu açıklamışlar ve bu faydaları sebebiyle canlı bakım teknolojilerinin geliştirilmesine katkı sağlayacağını belirtmişlerdir [1]. Bertalan vd. Slovakya ve Macaristan arasında enerji iletimi yapıldığını ve 2013 yazında bu hattın bakımı yapılmasından dolayı kapatıldığını bahsetmişler ve bu durumun canlı hat bakımı ile yapılması durumunda tüketicilerin elektriği daha ucuza alacaklarını belirtmişlerdir. Çünkü bu durumun elektrik talebinin artmasına ve elektrik fiyatlarının yükselmesine sebep olduğunu açıklamışlar ve bu yüzden elektriğe yüksek fiyatlar ödediklerini ve yaptıkları analiz sonucu tüketicilerin 1.5 milyom avro daha az ödeme yapacaklarını belirtmişlerdir. Ayrıca bu durumun sosyal refaha katkısı olacağını açıklamışlardır [33]. Portillo enerji tedarikçilerinin tüketiciye elektriği kesintiye uğratmadan nasıl vereceğine değinmiştir. Ayrıca elektrik kesintisi olduğunda enerji şirketlerinin yüksek maddi cezalar ödeyebileceğini bahsetmiştir. Bu sebeple canlı bakım yönteminin uygulanmasının enerji şirketlerine teknik, ekonomik ve toplumsal fayda sağlayacağını açıklamıştır [34]. Göcsei vd. cansız bakım ile yapılan elektrik kesintisi işlerinden meydana gelen ekonomik kayıpların ve canlı bakım ile yapılan elektrik kesintisi olmadan yapılan işlerden meydana gelmeyen ekonomik kayıpların, aktarılmayan enerjinin maliyetine ve o zaman diliminde iletim olmamasından ödenen cezaların toplamı olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca cezaların genellikle öngörülebilir ve tahmin edilmeyen durumlardan (örneğin; yağmur fırtınası, buzlanma, kar vb.) olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca enerjisi kesilmiş bölümlerin uzunluğunun kısa tutulmasının öngörülebilir maliyeti azaltacağını ve sosyal refahı artıracığını belirtmişlerdir [35]. Malveiro ve Cordeiro insansız hava araçlarının enerji iletim hatlarında kullanılmasının bakım ve onarım yapılmasında daha hızlı müdahale yapılmasını ve elektrik kesintisinin oluşmamasını sağlayacağını belirtmişlerdir. Böylece satılmayan elektriğin ortaya çıkmayacağını açıklamışlar ve bu durumun toplumsal ve çevresel fayda oluşturacağını belirtmişlerdir [36, 80]. Ying vd. enerji iletim hatlarında kullanılan insansız hava araçlarının arıza tespitini kolaylaştıracağını ve daha hızlı bakım ve onarım yapılmasına

imkan sağlayacağını belirtmişlerdir. Ve bu durumun teknik faydasının sosyal refaha ve çevreye faydaları olacağını belirtmişlerdir [37].

2.2. Literatür Araştırması

Literatürde minimum yaklaşma mesafelerinin hesaplanması, elektrik ve manyetik alan, robot teknolojisi, toplumsal ve çevresel faydalar konularında çalışmalar bulunmaktadır. Gela vd. minimum yaklaşma mesafesinin hesaplanmasında Uluslararası Elektroteknik Komisyonunun (International Electrotechnical Commission - IEC) belirlediği canlı çalışma standardının geçmişine ve teorik temellerine değinmişlerdir. Ayrıca Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (Institute of Electrical and Electronical Engineers - IEEE) 516-1995 canlı çalışma standardında tanımlanan yöntem ile karşılaştırmasını yapmışlardır. 72,5 kV ve üzerindeki gerilim seviyelerde faz-toprak mesafelerine değinmişlerdir [38]. Gillies vd. IEC ve IEEE standartlarıyla hesaplanan minimum yaklaşma mesafelerini karşılaştırmışlardır. Her iki hesaplama sonucunda da Amerika Birleşik Devletlerinde kullanılabilir minimum yaklaşma mesafeleri olduğunu açıklamışlardır [39]. Barros ve Silva canlı çalışmada elektrik çarpmasını önlemek için minimum yaklaşma mesafesinin önemine değinmişler ve minimum yaklaşma mesafelerinin hesaplanarak çeşitli çalışmaların gerçekleştirileceğini belirtmişlerdir [40]. Barbieri vd. yalıtımlı hava araçlarının canlı hat bakım çalışmasını kolaylaştıracağını ve güvenlik için minimum yaklaşma mesafelerinin önemine değinmişlerdir. Ayrıca minimum yaklaşma mesafesinin hesaplanmasında yüzen nesne faktörü olarak IEC standardında hesaplandığını belirtmişlerdir [41]. Xiao vd. 1000 kV aşırı gerilim hattında 1000 m rakım ve daha düşük rakım seviyeleri için faz-toprak ve faz-faz minimum yaklaşma mesafelerinin hesaplanmasını açıklamışlardır. Ayrıca üç fazlı iletkenli canlı hat çalışması ile kule çapraz kolu arasındaki boşluk mesafesinin %50 anahtarlama ani darbe deşarj boşalma geriliminin diğer canlı çalışma konumlarındaki boşalma geriliminden daha düşük olduklarını açıklamışlardır [42]. Ghassemi ve Farzaneh 500 kV'da canlı çalışmada kullanılan aletler için IEC ve IEEE standartları kullanılarak minimum yaklaşma mesafesinin hesaplanması araştırmışlar ve bunun sonucunda soğuk (donma) iklim bölgelerinde minimum yaklaşma mesafesinin hesaplanması için önerilerde bulunmuşlardır [20]. Peng vd. potansiyelde çalışma yönteminde kullanılan helikopter tekniğinde 1000 kV iletim hattında ve 1000 m rakımda minimum yaklaşma mesafelerini

hesaplamışlar ve hat üzerinde nasıl çalışılacağını açıklamışlardır [43]. Gela canlı çalışma yapılabilmesi için IEC TC 78 (Technical Committee 78)'de yayınlanan minimum yaklaşma mesafesi hesaplama standardına ve diğer gerekli canlı çalışma standartlarına değinmiştir. Ayrıca bu standartların uluslararası standartlar olduğunu ve sürekli olarak güncellendiğini belirtmiştir [19]. Atlani ve Peigne canlı çalışma uygulamasında kullanılan minimum yaklaşma mesafesi hesaplama standardına, canlı çalışmada kullanılan diğer standartlara değinmişler ve uluslararası şirketlerin bu standartlara dayanarak canlı çalışmalarını nasıl yaptıklarını açıklamışlardır [44]. Göcsei vd. IEC ve IEEE standartlarının aynı gerilim seviyesinde farklı minimum yaklaşma mesafeleri ortaya çıktığını belirtmişlerdir. Ayrıca canlı bakım için yeterli minimum yaklaşma mesafesinin bulunmadığı yapılar için mesafenin azaltılması gerektiğini açıklamışlar ve çözüm önermişlerdir [45]. Martini minimum yaklaşma mesafelerinin IEC ve IEEE hesaplama yöntemlerini açıklamış ve aşırı gerilim simülasyonlarından (farklı anahtarlama aşırı gerilim değerlerinden ve farklı hat uzunluklarından) elde ettiği farklı sonuçları IEC 61472'de belirtilen minimum yaklaşma mesafesi hesaplama yönteminde kullanarak canlı çalışma uygulamasında önerilerde bulunmuştur [2].

EI-Bidweihy ve Anis Mısır'da kullanılan 66 kV, 220 kV ve 500 kV iletim hatlarında manyetik alanların canlı çalışanlara etkilerini incelemişlerdir. Ayrıca canlı çalışmada çalışanların giydiği iletken kıyafetlerin faraday kafesi görevi görmesinden dolayı elektrik alandan koruduğu fakat iletken giysilerin ferromanyetik özelliklere sahip olmadığı için canlı çalışanları manyetik alanların etkisinden korumadığını belirtmişlerdir [46]. Göcsei vd. elektrik ve manyetik alanın canlı çalışan üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. İletken kıyafetin elektrik alandan nispeten koruyabileceği fakat manyetik alandan koruyamayacağını belirtmişlerdir. Ayrıca manyetik alanın canlı çalışan üzerinde sağlık etkilerinin henüz bilinmediğini belirtmişlerdir [47]. Göcsei vd. canlı bakımda yaygın olarak kullanılan potansiyelde çalışma yönteminde iletken kıyafetin elektrik ve manyetik alanlarının etkilerini incelemek için COMSOL Multiphysics 4.3a programını kullandıklarını ve bu program üzerinde manyetik alanların etkilerini incelemişlerdir [30]. Göcsei ve Nemeth iletken kıyafetin yüz maskesi yokken, farklı yüz maskeleri varken elektrik ve manyetik alanlara maruz kalındığında nasıl bir etki oluşturduğunu incelemişlerdir. Bu incelemelerde sonlu elemanlar metodu kullanmışlar ve COMSOL

Multiphysics 4.3a’da simülasyonlarını gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca Uluslararası İyonize Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonunun (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection - ICNIRP) belirlediği elektrik ve manyetik alan sınırlarına değinmişlerdir [48]. Göcsei vd. potansiyelde çalışma yönteminde kullanılan iletken kıyafetin yüz maskesi yokken, farklı yüz maskeleri varken elektrik ve manyetik alan etkilerini araştırmışlardır. Ayrıca Dr. Bela Csikos’un tasarladığı yüz maskesinin etkinliğini ve iletken kıyafetin üzerine ek metal bantların eklenmesiyle iletken kıyafetin elektrik ve manyetik alan etkisini araştırmışlardır. Bu araştırmalar sonucunda Dr. Bela Csikos’un tasarladığı yüz maskesinin ve iletken giysinin canlı bakım çalışanlarının güvenliğini arttırdığını belirtmişlerdir [16]. Malgesini vd. iletken giysilere takılan farklı yüz maskelerinin elektrik alandan korumasını araştırmışlardır. Bu araştırmayı IEC 60895 standardında belirlenen kurallar dâhilinde yapmışlardır [49]. Göcsei vd. elektrik ve manyetik alanların canlı çalışanlar üzerinde kısa ve uzun dönemde sağlık etkilerinden bahsetmişlerdir. Bu alanların kısa dönemde etkilerinin saptanabileceğini ancak uzun dönemde etkilerinin genellikle saptanamayacağını belirtmişlerdir. Bu alanlar üzerinde araştırmaların devam ettiğini belirtmişlerdir [50]. Göcsei vd. yüksek gerilim hatlarında kullanılan iletken kıyafetlerin elektrik ve manyetik alandan korunma etkisini ve canlı çalışanlar üzerinde sağlık etkilerini incelemişlerdir [35]. Halasz vd. yüksek gerilim sistemlerinde canlı bakım uygulamasında oluşan arkın iletken kıyafet üzerindeki etkisini araştırmışlardır. İletken kıyafetin elektrik alanın birincil etkilerinden koruduğunu fakat sistemde ark oluştuğunda iletken kıyafetin korumadığını açıklamışlardır. Ayrıca arkın tehlikesinin elektrik kesintisinden, alevlenme (flasover) tehlikesinden daha tehlikeli olduğunu ve son 15 yılda ark oluşumundan kaynaklanan iki kaza olduğunu belirtmişlerdir [51]. Göcsei ve Nemeth Budapeşte Teknoloji ve Ekonomi Üniversitesi Yüksek Gerilim Laboratuvarında canlı bakım çalışmasında yaygın olarak kullanılan iletken kıyafetin elektrik alandan korumasını, uluslararası standartların eksiklerini ve iletken kıyafetlerin incelenmesinin nasıl yapılacağını açıklamışlardır. İletken kıyafetlerin incelenmesinde IEC 62233 standardında olan 3D CAD modelinde sonlu elemanlar metodu kullandıklarını belirtmişlerdir [52]. Glassemi ve Farzaneh Karbon, Cam ya da Aramid Lifleriyle Güçlendirilmiş Plastik (Fiberglass Reinforced Plastic - FRP)’ten yapılmış istanka ile canlı hat çalışması sırasında saha olaylarının geometrisini incelemek için üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi önermişlerdir. Ayrıca Manitoaba’da 500 kV iletim hattının elektrik

alan hesaplamasının nasıl yapılacağını açıklamışlardır [53]. G6csei ve Nemeth canlı çalışanların güvenliğini artırmak için ark olaylarının ve elektrik-manyetik alanların etkilerini azaltmak için eddy akımları, süper iletkenler, ferromanyetik malzemeler ve paralel akım dalları üzerine çalışmaları incelemişlerdir [54]. Oltean vd. farklı iletken giysilerin Romanya 400 kV iletim şebekesinde farklı çalışma pozisyonlardaki elektrik ve manyetik alanlara karşı koruma durumunu incelenmişlerdir. Sonuç olarak elektrik alandan korunabileceğini fakat manyetik alandan korunamayacağını belirtmişlerdir [55]. G6csei ve Nemeth potansiyelde çalışma y6nteminde kullanılan iletken kıyafetlerin verimliliklerini tespit etmek için verimlilik testi ve yüz maskelerinin deliklerinin boyutları ile ilgili çalışmalar yapmışlar ve IEC 60895 standardının güncellenmesi için 6nerilerde bulunmuşlardır [56]. Yang vd. 220 kV ve 500 kV iletim hatlarının birlikte olduğu kulede iletken kıyafetin hat üzerinde farklı pozisyonlarda olduğu durumlarda elektrik alan etkisini incelemişlerdir. Bu inceleme sonucunda farklı pozisyonlardaki elektrik alan etkisinin farklı olduğunu ve iletken kıyafetin elektrik alanın etkisinden koruyacağını belirtmişlerdir [57]. G6csei ve Nemeth ICNIRP'nin belirlediği manyetik alanların sınırlarına değinmiştir. Ayrıca paralel akım dalları y6nteminin kullanılmasının manyetik alan üzerindeki etkilerini incelemişlerdir [58]. G6csei ve Nemeth iletken kıyafetin üzerinde yüz maskesi yokken ve varken elektrik alan etkisini incelemişlerdir. İnceleme sonucunda yüz maskesi olmayan iletken kıyafetin ICNIRP'nin belirlediği sınırları aştığını belirtmişlerdir. Ayrıca iletken kıyafetin verimliliğinin incelenmesi için yeni bir metot geliştirdiklerini belirtmişler ve bu yeni metodun IEC 60895 standardında yer almasını 6nermişlerdir [59]. Barbieri vd. iletken kıyafetlerde kullanılan metalik 6rgl, şeffaf iletken film vb. maskelerin kapsamlı bir analizini yapmışlardır. Ayrıca bu yüz maskelerinin insan vücudunun hassas olan b6lgesi olan yüz kısmını elektrik alandan koruyacağını ve maruz kalınan elektrik alanı azaltacağını belirtmişlerdir. Ayrıca iletken kıyafetler için IEC 60895 standardını ve Avrupa y6nergesini kıyaslamışlardır. Bu kıyaslama sonucunda IEC 60895 standardından geçen iletken kıyafetlerin Avrupa y6nergesinden geçemediğini belirtmişlerdir [60]. Oltean vd. altı farklı kuruluşun elektrik ve manyetik alan maruz kalma sınırlarını, kısa ve uzun süre maruz kalındığında elektrik alan miktarlarını karşılaştırmışlardır [61]. G6csei vd. canlı bakım çalışanlarının güvenli olarak çalışmaları için elektrik ve manyetik alanlar ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Canlı bakım çalışanlarının manyetik alandan korunması için eddy akımlarına, ferromanyetik

malzemelere ve aktif koruyucu yöntemine değinmişler fakat bu yöntemlerin etkili ve pratik olarak kullanılmayacağını belirtmişlerdir. Ayrıca paralel akım dalları yöntemi üzerine de araştırmalar yapmışlardır. Bu yöntemin uygulanabilmesi için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulduğunu belirtmişlerdir [62]. Beiu vd. canlı hat çalışanlarının manyetik alandan korunması için ferromanyetik malzemelere değinmişlerdir [63].

Pagnano vd. hat üzerinde hareket edebilen robotları incelemişlerdir. Bu robotların hat üzerindeki arızaları ve anormal durumları otomatik olarak tespit etmek için görüntü ve sinyal işleme sistemi içerdiğini belirtmişlerdir. Bu robotların yüksek değerli uygulamalar yaptığını ve akıllı şebekelerin geliştirilmesinde anahtar bileşen olarak kabul edilebileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca iletim hatlarında kullanılan insansız hava araçlarına da değinmişlerdir [31]. Maddahi vd. çalışanların canlı bakım yapmalarını sağlayan teleoperatif (uzaktan çalışma) platformunun performans değerlendirmesini incelemişler ve C++ ile yazılmış programda çalıştıklarını belirtmişlerdir. Ayrıca bu teleoperatif ile yapılan çalışmalarda çatal pimi çıkarmak veya yerleştirmek, somonun gevşetilmesi veya sıkılması ve bilye soketinin eklemine bağlamak veya çıkarmak işlemlerinin gerçekleştirildiğini belirtmişlerdir [64]. Gonçalves ve Carvalho enerji iletim hatlarında hareket ederek kontrol ve onarım yapabilen otonom robotlar geliştirmek için teorik ve deneysel çalışmaları incelemişlerdir. Bu robotların verimliliği artıracığını, işçilik maliyetlerini düşüreceğini ve canlı çalışanların yaralanma riskini azaltacağını belirtmişlerdir. Ayrıca bu robotların yetenek ve otonom ile ilgili problemlerin olduğunu belirtmişlerdir. Gelecekte hat üzerindeki engelleri geçebilen robotlar tasarlanmasını önermişlerdir [32]. Oltean vd. canlı bakım çalışmasında son teknoloji olarak kullanılan robot teknolojisini incelemişlerdir. Robotların zor iklim şartlarında, uzun iletim hatlarında ve nehir geçişlerinde hat bakımı ve onarımı yaparak önemli katkıları olduklarını belirtmişlerdir. Romanya'da, Kanada'da Kinetris firması tarafından üretilen LineVue robotu kullandıklarını belirtmişlerdir [65]. Scaff vd. sürekli elektrik tedariki için enerji şirketlerinin sıklıkla çok tehlikeli olan canlı hat bakımı yaptıklarını belirtmişlerdir. Canlı hat bakımında robotların zorluklarını araştırmışlardır. Robotlar için iletken olmayan aktüatör önermişler ve bunun için protipler oluşturup test etmişlerdir. Test sonuçları aktüatörün iyi bir dinamik davranış sergilediğini göstermiştir [66]. Maddahi vd. dokunsal cihaz kullanılarak hidrolik kol vasıtasıyla canlı hat çalışmalarının nasıl yapıldığı

açıklanmışlardır. Arttırılmış sanal fikstür (dış ortamın gerçek görüntüsü arttırılarak dış ortam ile uyumlu bir şekilde kendini otomatik olarak güncelleyerek durumsal farkındalığı artırma) kullanılarak hidrolik daha az pozisyon hatası gösterdiğini ve daha iyi görev kalitesi olduğunu belirtmişlerdir. Fakat standart sanal fikstür ile karşılaştırıldığında daha uzun görev tamamlama süresi göstermiştir. Fakat arttırılmış sanal fikstür kullanarak pozisyon hatası en az %71 oranında azaltılmıştır [67]. Banthia vd. bir Stewart platformunun üzerine monte edilmiş kablosuz kontrol edilen bir hidrolik manipülatörün performansını incelemişlerdir. Yaptıkları incelemeler sonucu PHANTON Desktop cihazının dokunsal kuvveti eklenmesinin kullanıcıların daha etkin bir şekilde çalışmasına yardımcı olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca bu sistemin uygulanmasıyla canlı çalışanların olası tehlikelerden korunduğunu ve güvenliğini artırdığını belirtmişlerdir [68]. Bechlioulis vd. robotik manipülatörler için bağımsız kontrol cihazı geliştirmişlerdir. Deneysel çalışmalar sonucunda başarılı bir kontrol cihazı oluşturmuşlardır [69]. Song vd. havai hat koruma teli üzerinde hareket edebilen robotların kırılmış bir telin belirlenmesi için yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntemin deneysel analizlerini yaparak etkinliğini ispatlamışlardır [70]. Pouliot vd. yüksek gerilim hatlarının güvenilir ve öngörülebilir şekilde çalışması gereken stratejik altyapılar olduğunu belirtmişlerdir. Bunun için Hydro-Quebec tarafından geliştirilen hat üzerinden engelleri aşabilen LineScout technology adlı teleoperatif robotik platform kullanmışlardır. Ayrıca bu robot üzerine LİDAR (Light Detection and Ranging) kontrol sisteminin monte edilmesiyle hat kontrolünü daha da geliştirmişleridir [71]. Li vd. Çin'deki elektrik enerjisi endüstrisinin robot teknolojisini kullandıkları alanlara değinmişlerdir. Robotları hidrolik nükleer santrallerde, dağıtım ve iletim hatlarında ve trafo merkezlerinde kullanıldığını ifade etmişlerdir. Ayrıca robotların yüksek risk ile çalışanların canlı çalışma güvenliğini artırdığını belirtmişlerdir [72]. Xiao vd. enerji iletim hatları üzerinde hareket ederek engelleri aşabilen damper değiştirme çalışmasında kullanılabilen bir robot geliştirmişlerdir. Ayrıca robot kinematikleri için D-H yöntemini kullanmışlardır [73]. Zhong vd. enerji iletim sisteminde kullanılan robotları incelemişlerdir. Robotların hat üzerinde şarjlarının 1-2 saat içinde bittiğinden şarjın azalmasıyla hat üzerinde engelleri aşamadığından bahsetmişlerdir. Bu sebeple hat üzerinde bakım ve onarım görevi gören robotlar için solar şarj sistemi geliştirmişlerdir [74]. Lijin vd. enerji iletim hatlarındaki izolatörlerinin önemine değinmişlerdir. İzolatörlerin kontrolü ve temizliği için askı

izolatörlere tırmanan yeni bir robot geliştirmişlerdir. Ayrıca bu yeni robotun hareket kabiliyetini ve güvenilirliğini diğer robot türleriyle karşılaştırmışlardır. Analiz sonuçları robotun diğer robot türlerinden daha hafif, daha etkili ve daha istikrarlı olduğunu göstermiştir [75]. Wang ve Wang enerji iletim hatlarında izolatör zincirini kontrol eden robotları incelemişlerdir. Sonuç olarak gelecekteki robotların otonomunun geliştirilmesinin, iletişim sisteminin ve sensör füzyonunun geliştirilmesini önermişlerdir [76]. Wang vd. enerji iletim hatlarında hareket edebilen robot tasarımlarını araştırmışlardır. Robotların hayvanların fizyolojik yapılarından ve hareket özelliklerinden tasarlandığını belirtmişlerdir. Kendileri de fizyolojik tasarıma dayalı bir robot geliştirmişler ve ADAMS yazılımını kullanmışlardır [77]. Hung vd. 220 kV ve altı trafo merkezlerinde çalışan bir robot geliştirmişlerdir. Robotun izolatör, temizliği, arızalı izolatör tespiti vb. canlı çalışmalar yaptığını belirtmişlerdir [78]. Li vd. 220 kV açık tip trafo merkezinde kullanılan aktif iletim hattında çalışan yeni tip bir temizleme robotu tasarlamışlardır. Bu robotun kullanılmasıyla enerji kesilmesinin azalacağını, personelin güvenliğinin artacağını ve trafo merkezlerinde temizleme işlerinin yapılmasına yeni bir bakış açısı getirdiğini belirtmişlerdir [79]. Han vd. trafo merkezlerinde canlı çalışan robotlar için uzaktan bir merkezden kontrol edilen bir sistem tasarlamışlar ve bu sistemin uzaktan kolaylıkla hem deneyimli hem deneyimsiz çalışanlar için kontrol edilebileceğini ve güvenilir olduğunu açıklamışlardır [36]. Malveiro ve Cordeiro insansız hava araçlarının canlı hat çalışmasında nasıl kullanıldığından bahsetmişlerdir. Ayrıca önemli maliyet avantajları getirdiğini ve canlı çalışanların güvenliğini artırdığını açıklamışlardır [80]. Zhang vd. trafo merkezlerinde çalışan mobil bir robot geliştirmişlerdir. Bu robot için bulanık kavramsal harita ve bulanık kontrol algoritmasına dayalı davranış planlaması ve yol planlaması yapmışlar ve yeni bir hiyerarşik kontrol sistemi önermişlerdir. Önerilen sistemin geçerliliğini ve uygulanabilirliğini simülasyonlar ile test ederek doğrulamışlardır [37]. Yi vd. bakım maliyetlerini azaltacağından enerji iletim hatlarında insansız hava araçlarının kullanılmasını araştırmışlardır. Ayrıca tipik uygulama senaryoları için uygulama ve uçuş modunu araştırmışlardır [81]. Zhang vd. 110 kV – 220 kV açık tip trafo merkezlerinde kullanmak için elektrifikasyonlu (electrification) bakım robotu tasarlamışlardır. Robot kontrol sistemini, katmanlı tasarım kavramından oluşturmuşlardır [82]. Wu vd. trafo merkezinde canlı bakım için kullandıkları robot teknolojisinden bahsetmişlerdir. Robot işletim sisteminin robot kontrol ve iletişim ana yapısı olduğunu

açıklamışlardır. Ayrıca Beckhoff ve ADlink kontrollerini ana yardımcı kontrol cihazı olarak, robotun yalıtım performansını sağlamak için çoklu kontrol kutusu ve çoklu algılayıcı füzyon güvenliği koruma sistemi kullanmışlardır [83].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde; Literatür araştırması, canlı bakım teknolojisinde kullanılan IEC 61472-2013 ve IEEE Std 516-2009 standardı anlatılmıştır. IEC 61472-2013’de minimum yaklaşma mesafesinde çalışma tipleri ve minimum yaklaşma mesafesi hesaplama prosedürü, IEEE Std 516-2009’da ise minimum yaklaşma mesafesi hesaplama prosedürü açıklanmıştır.

3.1. IEC 61472-2013 Standardı

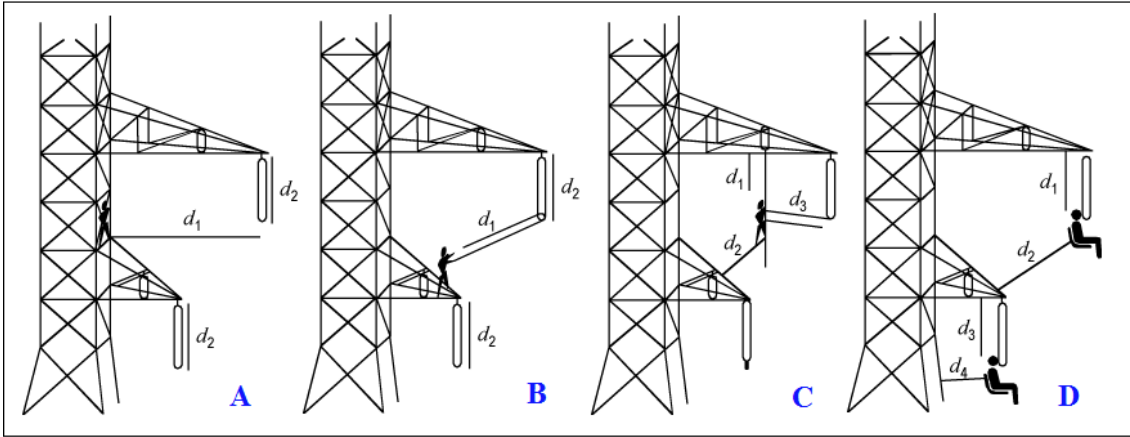
1975 yılında canlı çalışma koşulları alanında Kuzey Amerika ve Avrupa ülkelerinin (İskandinavya ülkelerinin) standartlaşma ihtiyaçlarını karşılamak için canlı çalışma standartları geliştirilmiştir [2, 4]. TC 78 standart komitesi canlı çalışma için kullanılan araçlar ve ekipmanlar ile ilgilenmiştir. IEC tüm elektrik, elektronik ve ilgili teknolojiler için uluslararası standartlar belirleyen, hazırlayan ve yayınlayan kuruluştur. Uzun yılların ve taslakların ardından IEC 61472 standardı yayınlanmıştır ve minimum yaklaşma mesafesinin hesaplanma yöntemi belirlenmiştir. O zamandan beri IEC 61472 tarafından getirilen yöntem iletim şirketleri tarafından kullanılmıştır. IEC 61472-2013, 72,5 kV ile 800 kV arasındaki sistem gerilimlerinin canlı çalışma için minimum yaklaşma mesafesinin hesaplama metodunu tanımlamaktadır [2, 4, 19].

3.1.1. IEC 61472-2013 standardının minimum yaklaşma mesafesinde çalışma tipleri

Bir canlı hat çalışanı bir kuleye tırmandığında veya kulenin herhangi bir yerinden asmak için bir merdiven kullandığında minimum faz-toprak veya faz-faz güvenlik mesafesini kesintiye uğratmaktadır. Canlı hat çalışanın vücudu faz-toprak veya faz-faz arasında bir iletken kestirme yol oluşturmaktadır. Sonuç olarak, canlı hat çalışanın vücudu yakın fazdan diğer faza veya kulenin vücuduna/toprağa yakın olası bir alevlenme (flashover) gerçekleştirmektedir. Bu nedenle canlı hat çalışanlarının varlığından dolayı alevlenmeyi önlemek için minimum yaklaşma mesafesine atfedilerek güvenli bir mesafe tanımlanmaktadır [2, 20, 54]. IEC 61472 Ed. 3.0’a göre minimum yaklaşma mesafesi canlı hat çalışanın herhangi bir kısmı arasında doğrudan ele alınan herhangi bir nesne (canlı çalışma için kullanılan aletler hariç) ve farklı elektrik potansiyellerdeki herhangi bir parça arasında tutulması gereken havadaki minimum mesafedir [2].

Bu nedenle canlı hat çalışmasını işleme tabi tutmak için gerekli bir dayanım gerilimi (U_{e90} veya U_{p90}) ve minimum yaklaşma mesafesi hesaplanmalıdır. IEC 61472-2013’e göre faz-

toprak veya faz-faz arasındaki minimum yaklaşma mesafesinin hesaplanması, iletim hattına asılan sepetin varlığını veya iletim hattı üzerindeki canlı hat çalışanın vücudu ciddi yaralanmalara veya ölümcül sonuçlara sebep olan alevlenme riskini mümkün olduğunca düşürebilmektedir [2, 3, 54]. Şekil 3.1’de A, B, C ve D canlı çalışma görevlerini ve minimum yaklaşma mesafelerinin konumunu sunmaktadır. Şekil 3.1’deki her bir bireysel senaryo farklı elektrik potansiyellerindeki yalıtımlı parça ile canlı hat çalışanı arasındaki mesafe (d_1, d_2, d_3, d_4) yani A’daki d_1 , B’deki d_1 ve d_2 , C’deki d_1+d_3 ve d_3 ve D’deki d_1, d_2, d_3, d_4 ’tür. Bu görevler aynı zamanda minimum yaklaşma mesafesinin fazlar ya da faz-toprak arasındaki yüzen iletken bir nesnenin varlığı nedeniyle kesintiye uğramakta ve bir helikopterden veya vinçten asılı bir sepet varlığı ile de kesintiye uğramaktadır [2, 3].

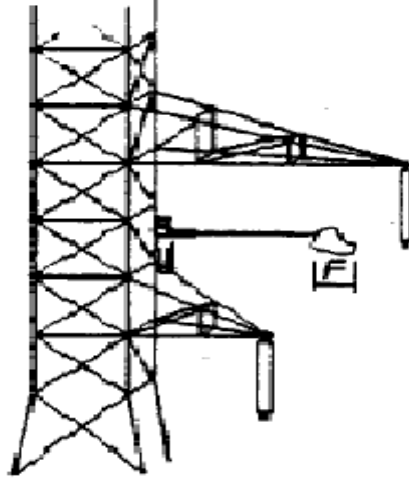


Şekil 3.1. Tipik canlı hat çalışma şekilleri (IEC 624/13) [2, 3]

Şekil 3.1’de minimum yaklaşma mesafesi, kule üzerindeki canlı hat çalışanına göre değişmektedir. A ve B kulesinde minimum yaklaşma mesafesi (D_A) d_1 ’den büyük olmalıdır. C kulesinde minimum yaklaşma mesafesi d_1+d_3 ve d_2+d_3 ’den daha büyük olmakla birlikte, D kulesinde minimum yaklaşma mesafesi d_1, d_2, d_3 ve d_4 ’ten daha büyük olmalıdır. ‘ D_A ’ canlı hat çalışanı ve canlı yapı veya kule yapısı arasındaki minimum yaklaşma mesafesidir [2, 3, 20].

Aynı zamanda şekil 3.2’de ise FRP (Fiberglass Reinforced Plastic) ıstankanın ucuna takılan iletken parça (F) ile yapılan canlı hat çalışması gösterilmektedir. Şekil 3.2’de gösterildiği gibi minimum elektriksel mesafeye (D_U) F eklenerek yapılmaktadır. F, FRP ıstankanın ucuna takılan iletken parçanın boyu olmakla birlikte F çeşitli boylarda olabilmektedir. F metre cinsinden hesaplanarak minimum elektriksel mesafeye

eklenmektedir. Böylece canlı hat çalışması yapılırken 'D_U' minimum elektriksel mesafesi, 'F' iletken parça ve 'D_E' ergonomik mesafe eklenerek D_A minimum yaklaşma mesafesi oluşturularak canlı hat çalışması yapılmaktadır [2, 3].



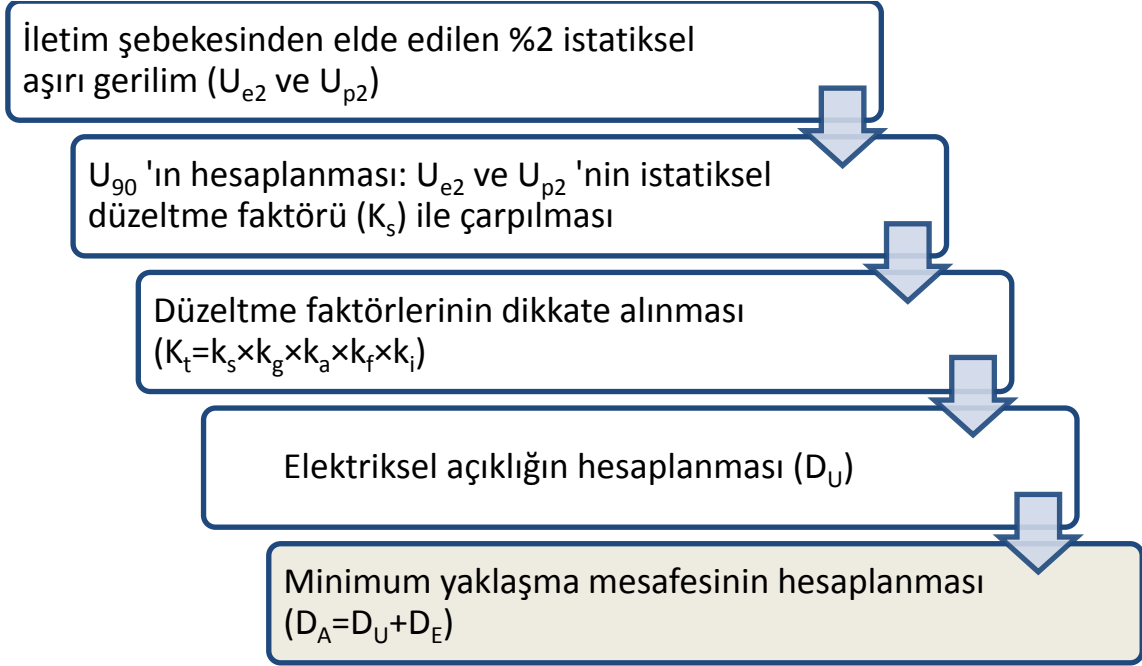
Şekil 3.2. FRP ıstankanın ucuna takılan F iletken parça ile canlı çalışma [20]

3.1.2. IEC 61472-2013 standardı minimum yaklaşma mesafesi hesaplama prosedürü

IEC 61472-2013, canlı hat çalışması için 72,5 kV ile 800 kV arasındaki sistem gerilimlerinin minimum yaklaşma mesafelerinin hesaplanması için bir metot açıklamaktadır. Gerekli dayanım gerilimi ve IEC standardında tanımlanan minimum yaklaşma mesafeleri aşağıdakileri de dikkate alarak değerlendirmektedir:

- Canlı hat çalışanları canlı çalışma bölgesinde çalışmak için eğitilmişlerdir,
- Beklenen aşırı gerilim gerekli minimum yaklaşma mesafesinin belirlenmesi için seçilen değeri aşmamalıdır,
- Alet yalıtımı yüzeyde var olan ölçülebilir kirlenme veya nemli tabaka içermemektedir,
- Çalışma alanının 10 km'sinde yıldırım görülmemekte ve duyulmamaktadır,
- İzin verme (tolerans) aletlerin bileşenlerinin iletme etkisi için özel olarak yapılmıştır,
- Rakımın etkisi, izolatörün aralıktaki (hava boşluğundaki) etkisi, vb. etkiler dikkate alınmaktadır [2, 3, 20, 84].

Şekil 3.3'deki akış şeması, IEC 61472-2013'ye dayanan minimum yaklaşma mesafesini hesaplamak için kullanılan tüm metodolojiyi göstermektedir.



Şekil 3.3. IEC 61472-2013 standardı minimum yaklaşma mesafesinin hesaplama prosedürünü gösteren akış şeması [2, 3, 20, 84]

İstatistiksel analiz, anahtarlama aşırı gerilimlerinin belirli bir olasılık yasasına yani normal dağılıma göre dağıldığını varsaymaktadır. IEC 61472-2013 metodunda minimum yaklaşma mesafesinin hesaplanması için U_2 (%2 istatistiksel olasılığa sahip olan geçici aşırı gerilim tepe değeri) gerilimi kullanılmaktadır [2, 3, 20, 84]. Bu değer Monte Carlo presüdüğü ile elde edilmekte ve genellikle bir bilgisayar kullanılarak gerçekleştirilmektedir [2].

Canlı hat çalışması için gerekli istatistiksel dayanım gerilimi U_{90} 'a eşit olarak alınmıştır. Çünkü %90 istatistiksel dayanım $K_s \times U_2$ 'nin pik değerine sahip bir anahtarlama işlemi uygulandığında bozulma olasılığının %10 olduğu anlamına gelmektedir. U_2 'nin çalışma alanında aslında meydana gelen aşırı gerilimlerin sadece %2'sinin U_2 'ye eşit pik değerini aştığı anlamına gelmektedir. Bu nedenle, sonuç olarak gerilim atlaması küçüktür, ancak bu olasılık sıfır değildir. Bu yüzden canlı hat çalışmalarında canlı hat çalışmasının güvenliği için aşırı gerilimlerin %2'sini aştığı kabul edilmektedir. K_s değeri istatistiksel güvenlik faktörü olarak görülmektedir ve IEC 61472-2013'e göre 1,1 olarak kabul edilmektedir [2, 3, 84].

U_{e2} ve U_{p2} gerilimleri (faz-toprak ve faz-faz için U_2 gerilimi kV'da ifade edilmektedir), U_{es} ve U_{ps} (faz-toprak ve faz-faz için U_s gerilimi kV'da ifade edilmektedir) gerilimden ve u_{e2} ve u_{p2} (faz-toprak ve faz-faz için u_2 per unit'de ifade edilmektedir) per unit değerinden çıkartılmaktadır [2, 3]. Tablo 3.1'de U_s gerilimleri ve u_2 per unit değerleri gösterilmektedir. Bu U_s değerleri IEC 61472-2013 standardına göre TEİAŞ (Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi) 154 kV ve 380 kV'luk enerji iletim hatlarında bu değerler üzerinden TEİAŞ minimum yaklaşma mesafesini hesaplayarak canlı hat çalışmasını gerçekleştirebilmektedir. Ayrıca IEC 61472-2013 standardına dayanılarak TEİAŞ 154 kV ve 380 kV'luk enerji iletim hatları için faz-toprak (F-T) ve faz-faz (F-F) per unit u_2 değerleri için sırasıyla 2,3 p.u. ve 3,5 p.u. değerlerini kullanmaktadır [2, 29]. Faz-faz değeri denklem (3.5)'ten çıkartılmıştır [2, 3].

Tablo 3.1 IEC 61472-2013 standardına dayanılarak TEİAŞ U_s gerilimleri ve u_2 per unit değerleri [29]

En yüksek sistem gerilimi (kV)	154 kV (nominal gerilim 'U')		380 kV (nominal gerilim 'U')	
	2,3 p.u.	3,5 p.u.	2,3 p.u.	3,5 p.u.
	F-T	F-F	F-T	F-F
U_s	170 kV		420 kV	

TEİAŞ'ta 154 kV ve 380 kV nominal gerilimlerde faz-toprak, faz-faz, faz-toprak arası gerilim mesafesi iletken bir parça ile bölündüğünde geriye kalan toplam net hava aralığı mesafesi ve faz-faz arası gerilim mesafesi iletken bir parça ile bölündüğünde geriye kalan net hava aralığı mesafesi, 1000 m rakıma kadar, 1001 m ile 1500 m arası rakım için değerler 0,5 m ergonomik mesafe (D_E) eklenerek canlı çalışma mesafeleri (minimum yaklaşma mesafeleri ' D_A ') Tablo 3.2'de verilmiştir [29].

Tablo 3.2 IEC 61472-2013 standardına dayanılarak TEİAŞ 154 kV ve 380 kV minimum yaklaşma mesafeleri [29]

Nominal gerilim 'U' (kV)	1000 m rakıma kadar		1001 m ile 1500 m arası rakım için	
	154 kV	380kV	154 kV	380 kV
Faz-toprak	1,35 m	2,95 m	1,35 m	3,05 m
Faz-toprak + iletken parça (F)	1,50 m	3,60 m	1,55 m	3,70 m
Faz-faz	1,65 m	4,10 m	1,70 m	4,20 m

Faz-faz + iletken parça (F)	1,85	5,15 m	1,95 m	5,30 m
-----------------------------	------	--------	--------	--------

Ayrıca canlı hat çalışma sırasında çalışma yerindeki elektriksel gerilim, çalışma konumunda verilecek istatistiksel aşırı gerilim (U_2) olarak tanımlanmaktadır. Üç fazlı alternatif akım güç sistemi istatistiksel aşırı gerilim U_{e2} , U_{p2} , u_{e2} ve u_{p2} denklemler (3.1), (3.2), (3.3) ve (3.4) IEC 61472-2013'ten çıkartılmaktadır [2, 3, 20, 84].

$$U_{e2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times U_{es} \times u_{e2} \quad (\text{kV}) \quad (3.1)$$

$$U_{p2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times U_{ps} \times u_{p2} \quad (\text{kV}) \quad (3.2)$$

$$U_{e90} = K_s \times U_{e2} \quad (\text{kV}) \quad (3.3)$$

$$U_{p90} = K_s \times U_{p2} \quad (\text{kV}) \quad (3.4)$$

U_{p2} verisi mevcut değilse, denklem (3.5) ile u_{e2} 'den yaklaşık bir değer üretilmektedir [2, 3].

$$u_{p2} = 1,35 \times u_{e2} + 0,45 \quad (\text{p.u.}) \quad (3.5)$$

Bu hesaplanan yaklaşık değer bazı araştırmalarda %5'ten daha az bir sapma göstermektedir ve gerektiğinde de kullanılmaktadır. Sonuç olarak U_{90} ve minimum elektriksel uzaklık (D_U) denklemler (3.6) ve (3.7) ile hesaplanmaktadır [2, 3]. IEC 61472-2013 standardına göre istatistiksel güvenlik faktörü (K_s) olarak önerilen değer 1,1'dir ve bu çalışmada TEİAŞ'ın 154 kV ve 380 kV'luk enerji iletim hatları için bu değer kullanılmıştır [2, 3].

$$U_{90} = K_s \times U_2 \quad (\text{kV}) \quad (3.6)$$

$$D_U = 2,17 \times \left(e^{\frac{U_{90}}{(1080 \times K_t)}} - 1 \right) + F \quad (\text{m}) \quad (3.7)$$

Daha sonra açıklanacağı üzere boşluğun dayanımı denklem (3.8)'i üretmek için bir düzeltme faktörü (K_t) ile birleştiren farklı faktörlerden etkilenmektedir. Denklem (3.8), hava boşluğunun dayanımını etkileyen çeşitli faktörlerin kombinasyonu olan K_t 'yi sunmaktadır [2, 3, 20, 84].

$$K_t = k_s \times k_g \times k_a \times k_f \times k_i \quad (3.8)$$

Ayrıca denklem (3.7)'de F faktörü hava boşluğu eksenini yönündeki yüzen iletken nesnelere (metre cinsinde) tüm uzaklıkların toplamıdır [2, 3, 20]. Ayrıca minimum yaklaşma mesafesi (D_A), elektriksel mesafe (D_U) ve ergonomik mesafe (D_E) eklenerek hesaplanmaktadır. Bu mesafeler IEC 61472-2013'de daha ayrıntılı tanımlanmıştır:

D_U , canlı hat çalışması esnasında enerjili parçalar arasında veya enerjili parçalar ile topraklanmış parçalar arasında bozucu bir deşarjı önlemek için gereken havadaki uzaklıktır.

D_E , yanlış hareket ve çalışma esnasında mesafelerin değerlendirilmesinde hatalar dikkate alınarak havadaki mesafedir [2, 3, 20, 84]. TEİAŞ'da Kaynak [63]'e göre ergonomik mesafe 0,5 m olarak tanımlanmıştır.

Dolayısıyla minimum yaklaşma mesafesi denklem (3.9) verilmektedir [2, 3, 20, 84].

$$D_A = D_U + D_E \quad (\text{m}) \quad (3.9)$$

Düzeltilme faktörleri

Düzeltilme faktörleri elektriksel mesafenin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Düzeltilme faktörleri 5 farklı faktörden oluşmaktadır. Ayrıca bu 5 farklı faktör boşluğun dayanımını etkileyen faktörlerdir [2, 3, 20, 84]. Bu faktörler;

- 1- Standart istatistiksel sapma faktörü (k_s),
- 2- Boşluk faktörü (k_g),
- 3- Atmosfer faktörü (k_a),
- 4- Yüzen nesne faktörü (k_f),
- 5- Hasar görmüş izolatör faktörü (k_i)'dir.

Şimdi bu faktörleri sırasıyla inceleyelim.

- 1- Standart istatistiksel sapma faktörü (k_s):

k_s faktörü bozulma geriliminin istatistiksel niteliğidir ve değeri istatistiksel dayanım gerilimi U_{90} ve %50 bozulabilir deşarj gerilimi U_{50} arasındaki ilişkiye dayanarak IEC 61472-2013 tarafından hesaplanmaktadır. Denklem (3.10)'da ifade edilmektedir [2, 3, 20, 84].

$$U_{90} = U_{50} - 0,0128 \times s_e \times U_{50} \quad (\text{kV}) \quad (3.10)$$

Burada s_e yüzdelerik olarak ifade edilen U_{50} standart sapmasının standartlaştırılmış değeridir. Denklem (3.11)'da ifade edilmiştir [2, 3, 20].

$$k_s = 1 - 0,0128 \times s_e \quad (3.11)$$

s_e değeri aralık (boşluk) konfigürasyonları ve ilgili mesafeyi temsil eden testlerden bilinmiyorsa $s_e=5\%$ değeri varsayılmaktadır. IEC 61472-2013 standartına göre k_s değeri 0,936 olduğu belirtilmektedir [2, 3, 20]. Bu çalışmada bu k_s değeri kullanılmıştır. Denklem (3.12)'de gösterilmektedir.

$$k_s = 0,936 \quad (3.12)$$

2- Boşluk faktörü (k_g):

k_g faktörü değişen şekil boşluklarında değişen elektrik alan dağılımını açıklamaktadır. k_g faktörü aralık konfigürasyonuna bağlıdır ve bir boşluğun dayanımını ayarlamak için kullanılmaktadır. Çubuk düzlem boşluğu için temel boşluk faktörü hesaplanırken, boşluk faktörü ve diğer parametrelerin standart konfigürasyonları CIGRÉ 72'den üretilmekte ve IEC 60071-2 ile sunulmaktadır. Bu boşluk faktörü değerleri Tablo 3.3'te gösterilmektedir. Tablo 3.3.'teki boşluk faktörü k_g , k olarak gösterilmekte ve farklı aralık konfigürasyonları için hesaplamaya izin vermemektedir [2, 3, 20]. Ayrıca faz-faz konfigürasyonları için IEC 61472-2013 tarafından k_g değeri 1,4 ile 1,6 arası (1,4 ve 1,6 dahil) önerilmiş ve bu çalışmada TEİAŞ 380 kV'luk iletim hatları direkleri için $k_g= 1,6$ kullanılarak minimum yaklaşma mesafesi hesapları yapılmıştır.

Tablo 3.3 IEC 61472-2013 standardına göre faz-toprak konfigürasyonları için boşluk faktörü k_g [2, 3, 20]

Konfigürasyon	Formül	Değer
İletken - çapraz kol	$k = 1,45 + 0,015 \times \left(\frac{H}{d_1} - 6 \right) + 0,35$ $\times \left(e^{\frac{-8s}{d_1}} - 0,2 \right)$ $+ 0,135 \times \left(\frac{d_1}{d_2} - 1,5 \right)$	$k=1,45$

	<p>Aralığında uygulanabilir:</p> <p>$d_1 = 2\text{ m ile } 10\text{ m arası}$</p> <p>$d_2/d_1 = 1 \text{ ile } 2 \text{ arası}$</p> <p>$S/d_1 = 0,1 \text{ ile } 1 \text{ arası}$</p> <p>$H/d_1 = 2 \text{ ile } 10 \text{ arası}$</p>	
<p>İletken-pencere</p>	$k = 1,25 + 0,005 \times \left(\frac{H}{d} - 6 \right) + 0,25 \times \left(e^{\frac{-8S}{d}} - 0,2 \right)$ <p>Aralığında uygulanabilir:</p> <p>$d = 2\text{ m ile } 10\text{ m arası}$</p> <p>$S/d = 0,1 \text{ ile } 1 \text{ arası}$</p> <p>$H/d = 2 \text{ ile } 10 \text{ arası}$</p>	<p>$k=1,25$</p>

Tablo 3.3'te verilen denklem (3.13) ve (3.14) TEİAŞ kuleleri için k_g 'yi hesaplamak için kullanılmıştır. Denklem (3.13) TEİAŞ'ın pilon tipi demir direkleri için ve denklem (3.14) ise TEİAŞ'ın çatal tipi demir direkleri için hesaplanmaktadır [85, 86].

$$k_g = 1,45 + 0,015 \times \left(\frac{H}{d_1} - 6 \right) + 0,35 \times \left(e^{\frac{-8S}{d_1}} - 0,2 \right) + 0,135 \times \left(\frac{d_1}{d_2} - 1,5 \right) \quad (3.13)$$

Burada;

H= Yer ile iletken hat arasındaki yükseklik (m)

d_1 = İletken hat ile çapraz kol arasındaki dikey mesafe (m)

d_2 = iletken hat ile kule yapısı arasındaki yatay mesafe (m)

S= d_2 mesafesindeki kule kalınlığı (m)

Denklem (3.13) yalnızca aşağıdaki koşullar için geçerli olduğuna dikkat edilmelidir.

- $2 \text{ m} \leq d_1 \leq 10 \text{ m}$

- $1 \leq d_2/d_1 \leq 2$
- $0,1 \leq S/d_1 \leq 1$
- $2 \leq H/d_1 \leq 1$

$$k_g = 1,25 + 0,005 \times \left(\frac{H}{d} - 6 \right) + 0,25 \times \left(e^{-\frac{8s}{d}} - 0,2 \right) \quad (3.14)$$

Burada;

H= Yer ile iletken hat arasındaki yükseklik (m)

d= Pencere içindeki $d_a+d_b+d_c$ 'nin toplanıp üçe bölünmesiyle bulunmakta (m)

S= Pencerenin üst köşesindeki kulenin uzunluğu (m)

Denklem (3.14) yalnızca aşağıdaki koşullar için geçerli olduğuna dikkat edilmektedir [2, 3, 20, 84].

- $2 \text{ m} \leq d \leq 10 \text{ m}$
- $0,1 \leq S/d \leq 1$
- $2 \leq H/d \leq 10$

3- Atmosfer faktörü (k_a):

k_a faktörü hesaplanırken boşluğun %50 gerilim bozulması sıcaklık, nem ve rakım tarafından etkilenen hava yoğunluğunu hesaba katılmaktadır. Sıcaklık ve nemin etkileri rakımın etkisi ile karşılaştırıldığında daha az olmaktadır. Buna ek olarak k_a faktörünün hesaplanmasında sıcaklık, basınç ve nem sırasıyla 20 °C, 101,1 kPA ve 11 g/m³ olarak alınmaktadır. Dolayısıyla k_a faktörü hesaplanırken bu durumlar dikkate alınmakta ve bu durumlar için daha detaylı ayrıntı IEC 60060, IEC 60060-1 ve IEC 61472-2013'te açıklanmaktadır [2]. Tablo 3.4'te IEC 61472-2013 standardına göre ortalama k_a değerleri gösterilmektedir. Tablo 3.5'te ise IEC 61472-2013 standardına göre farklı U_{90} değerlerinde ve rakımlarında k_a faktörü gösterilmektedir [2, 3, 20, 84]. Bu çalışmada TEİAŞ için canlı çalışma yapmak için Tablo 3.4'teki IEC 61472-2013 standardına göre ortalama atmosfer faktörleri dikkate alınarak minimum yaklaşma mesafesi hesaplaması yapılmış ve Tablo 3.6'da IEC 61472-2013 standardına göre bu çalışmada TEİAŞ canlı çalışma için kullanılan k_a değerleri gösterilmiştir.

Tablo 3.4 IEC 61472-2013 standardına göre Ortalama k_a değerleri [2, 3, 20, 84]

Rakım (m)	Ortalama k_a
0	1,000
100	0,995
300	0,983
500	0,972
1000	0,941
1500	0,909
2000	0,875
2500	0,841
3000	0,805

Tablo 3.5 IEC 61472-2013 standardına göre farklı U_{90} değerlerinde ve rakımlarında k_a faktörü [2, 3, 20, 84]

Rakım (m)	U_{90} aralığı (kV)						
	<199	200-399	400-599	600-799	800-999	1000-1199	>1200
0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
100	0,990	0,992	0,993	0,995	0,996	0,998	0,999
300	0,970	0,975	0,980	0,984	0,988	0,992	0,995
500	0,950	0,958	0,966	0,973	0,980	0,985	0,991
1000	0,901	0,916	0,931	0,944	0,955	0,966	0,976
1500	0,853	0,875	0,894	0,912	0,928	0,943	0,956
2000	0,807	0,833	0,857	0,879	0,899	0,917	0,933
2500	0,763	0,792	0,820	0,845	0,868	0,888	0,908
3000	0,720	0,752	0,782	0,810	0,835	0,858	0,880

Tablo 3.6 IEC 61472-2013 standardına göre bu çalışmada TEİAŞ canlı çalışması için kullanılan k_a değerleri

Rakım (m)	154 kV (U)		380 kV (U)	
	F-T	F-F	F-T	F-F
0-1000	0,972	0,972	0,972	0,972

1001-1500	0,941	0,941	0,941	0,941
-----------	-------	-------	-------	-------

4- Yüzen nesne faktörü (k_f):

k_f faktörü, boşluk içinde yüzen nesnelerin varlığını hesaba katmaktadır. Hava boşluğunda yüzen bir nesne yokluğunda k_f değeri 1'e eşittir. Ancak hava boşluğunda yüzen bir nesne (iletken parça 'F') varlığında ise 0,85'e eşittir. Bu değerler IEC 61472-2013'e dayanarak alınmaktadır [2, 3, 20, 84]. Bu çalışmada TEİAŞ için k_f değeri 1 olarak alınmıştır ve bu değer ile elektriksel mesafe (D_U) hesaplanmaktadır.

5- Hasar görmüş izolatör (k_i):

Hasarlı bir izolatör canlı hat çalışma yerinde hava boşluğunun dayanma gerilimi üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilmektedir. Bu nedenle hasar gören birimlerin (yalıtımlı zincirin izolatör sayısı), yeri ve hasar derecesi boşluğun gücü üzerinde ve dolayısıyla canlı hat çalışma esnasında minimum yaklaşma mesafesinde önemli bir etkiye sahip olabilmektedir. Hava boşluğunun dayanıklılığı cam izolatörlerde porselen izolatörlerden çok daha fazladır. Bunun nedeni sertleştirilmiş cam izolatörlerin her zaman tamamen paramparça olması, çıplak bir göbek bırakmasıdır. Porselen izolatörler ise farklı şekillerde kırılabilmekte ve böylelikle hava boşluğu dayanıklılığı porselenlerin etek kısmına bağlıdır. Ayrıca porselen izolatörler fiziksel ve kimyasal dış etkilere daha fazla dayaklıdır. Kısacası cam ve porselen izolatörlerin birbirlerine karşı çeşitli avantaj ve dezavantajları vardır [2, 3]. Enerji iletim hatlarında genellikle cam ve porselen izolatörler kullanılmaktadır ve TEİAŞ iletim hatları da buna dahildir. [86, 87]. Canlı çalışma yapılırken elektriksel mesafe hesaplaması bu izolatörler üzerinden yapılmaktadır.

IEC 61472-2013 standardına göre kompozit silikon izolatörlerde canlı çalışma yapıldığı belirtilmektedir. Fakat kompozit silikon izolatörlerin hasarının bulunmasının oldukça komplike olduğu belirtilmektedir. Canlı bakım yapan RTE firmasına göre de kompozit silikon izolatörlerin bazı avantajlarının yanında birçok dezavantajı olduğunu ve kazanç/risk oranı çok fazla olmadığını belirtmişlerdir. Ayrıca kompozit silikon izolatörlerin arızasının bulunmasının oldukça komplike ve bunun için hattın enerjili olması gerektiğini belirtmişlerdir. Ayrıca bu izolatörlerde yapılacak canlı bakım hazırlığı

da oldukça komplike olduğunu ve TEİAŞ iletim hatlarında kompozit silikon izolatörler de canlı bakım çalışmasının yapılmadığını belirtmişlerdir [3, 29, 86].

Hasar görmüş izolatör k_i IEC 61472-2013'ye dayanarak denklem (3.15)'e göre hesaplanmaktadır [2, 3, 20, 29].

$$k_i = 1 - 0,8 \times k_d \times \left(\frac{A_d}{A_o}\right) \quad (3.15)$$

Burada;

A_d = İzolatör zincirinde hasar görmüş izolatör sayısı

A_o = İzolatör zincirindeki izolatörlerin sayısı

k_d = Cam izolatör için 1 değeri, porselen izolatör için 0,75 değeri ve kompozit silikon izolatörlerde 1,25 olarak alınmaktadır.

Ayrıca Tablo 3.7'de TEİAŞ 154 kV ve 380 kV iletim hatlarında canlı bakım yapılabilmesi için izolatör zincirindeki izolatör sayıları ve hatalı izolatör sayıları gösterilmektedir. Bu gösterilen hatalı izolatör sayıları aşıldığında TEİAŞ iletim hatlarında canlı bakım çalışması yapılmamakta ve bu durumun IEC 61472-2013 standardına dayanılarak canlı çalışma güvenliği için sınırlayıcı bir durum olduğu açıklanmaktadır [2, 3, 29].

Tablo 3.7 TEİAŞ 154 kV ve 380 kV iletim hatlarındaki izolatör zincirindeki izolatör sayıları ve hatalı izolatör sayıları [3, 29]

Yalıtımlı zincirin izolatör sayısı (A_o)	9 ile 11 (U=154 kV)	19 ile 22 (U=380 kV)
Durum 1 'A _d ' (Kuru)	3	6
Durum 2 'A _d ' (Nemli)	1	2

Özetle bu çalışmada TEİAŞ için izolatörlerde bir hasar olmadığı dikkate alınmıştır ve böylece elektriksel mesafe hesabı (D_U) için k_i değeri 1 olarak kabul edilip hesaplanmıştır.

3.2. IEEE Std 516-2009 standardı

1970'lerin başında, IEEE İletim ve Dağıtım Komitesi, canlı hat bakımı ile ilgili bilgileri birleştirmek için ve bir kılavuz hazırlamak için bir grup kurulmuştur. Bu grup daha sonra Güvenlik, Bakım ve Hatların İşletilmesi (ESMOL - Engineering in Safety, Maintenance,

and Operation of Lines) Alt Komitesi olarak mühendislik yapmıştır. Bu rehber 1970'lerin sonunda başlatılmış ve 1986'da deneme amaçlı yayınlanmıştır. 1987 yılında, kılavuz tam kullanımlı bir ANSI (American National Standards Institute-Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü)/IEEE rehberi olarak yayınlanmıştır. Rehberin asıl yayınından bu yana, ESMOL Alt Komitesi, mevcut teknolojiyi ortaya koymakta ve son yıllarda yayınlanan diğer uluslararası standartlara uymak için rehberde yapılacak revizyonlar üzerinde çalışmaktadır. ESMOL Alt Komitesi, bu bölümdeki diğer ESMOL sponsor (mali destek veren) rehberlerinden, sektörün ihtiyaçlarının daha fazlasını kapsayacak şekilde kılavuzun kapsamını genişletmek için bölümler eklemiştir. 2003 kılavuzunda, tablolar bir adım hesaplama yönteminde (a step calculation method) kılavuzdaki formüller kullanılarak hesaplanmaktadır [2, 20, 88].

Rehberin IEEE Std. 516-2009 baskısında, tablolar rehberdeki formüller kullanılarak hesaplanmıştır. Beklenen maksimum birim başına geçici aşırı gerilim (TOV- Transient Overvoltage) T'nin belirlenmesi ve minimum hava izolasyon mesafesi (MAID- Minimum Air İnsulation Distance) ve minimum yaklaşma mesafesinin (MAD-Minimum Approach Distance) kullanımı hakkında ek metin eklenmiştir. Bununla birlikte, 1986'da yayınlanmasından bu yana, birkaç devlet düzenleme kurumu bu kuralı kurallarında kullanmıştır. Sonuç olarak Rehberin IEEE Std. 516-2009 baskısı, kamu düzenlemelerinde kullanılmasını daha uyumlu hale getiren revizyonları içerdiğini belirtilmiştir [20, 88].

3.2.1. IEEE Std. 516-2009 standardı minimum yaklaşma mesafesi hesaplama prosedürü

IEEE Std. 516-2009 standardı 72,5 kV'un üzerindeki faz-faz ve faz-toprak gerilimleri için hesaplama yapmaktadır. IEEE Std. 516-2009 standardına dayanarak minimum yaklaşım mesafesini (iletken aletler dahil) hesaplamak için kullanılan denklem (3.16)'da gösterilmektedir [20, 88].

$$D_{MADforTools} = (C_1 \times C_2 + a) \times V_{F-T} \times T \times A + M \quad (3.16)$$

Burada;

C₁: 0.01 feet/kVrms (100 kVrms/feet nin 60 Hz'lik ıstanka boşluk dayanımına göre),

C₂: 1,1 (Hava boşluğundaki yalıtkan aletler için %6 ve ek olarak soyut varlıklar (intangibles) için %4 eklenmekte ve böylece 1,1 (veya %110) olmaktadır.),

a: Hava doygunluk faktörü,

V_{F-T} : Faz-toprak rms gerilimi,

T: Hava boşluğunda meydana gelebilecek beklenen maksimum p.u. geçiciaşırı gerilimi),

A: Rakım düzeltme faktörü,

M: 72,5 kV – 800 Kv için 0,30m (10 feet) olan istem dışı hareket faktörü,

Denklem (3.16) Şekil 2.4'te gösterilen dünya çapında 13 yüksek gerilim laboratuvarındaki çeşitli test ve verilerin sonuçlarını özetleyen IEEE kominite raporuna dayanmaktadır [2, 20, 88].

1000 kV'a kadar tepe gerilimleri (crest voltages) için 60 Hz'lik ıstanka boşluk (rod gap) alevlenmeleri yaklaşık 120 kVrms/feet'dir. %17'lik bir azalma ile 100 kVrms/feet dayanma seviyesi olarak kabul edilmektedir [20, 88].

Denklem (3.16)'da C_1 : 0,01 feet/kVrms'ye yol açmaktadır. Temiz canlı hat aletleri için alevlenme ve dayanma gerilimleri, elektrotlar (iletkenler) arasında aynı boşluğa sahip olan ıstanka boşlukları için %6 civarında daha düşüktür. Ayrıca ıstankaların ucunda iletken parçalar yok iken ek olarak %4 daha da düşüktür. Denklem (3.16)'da C_2 : 1,1 (veya %110) anlamına gelmekte ve böylece $C_1 \times C_2 = 0,011$ olmaktadır. Denklem (3.16)'da a faktörünü belirlemek için önce denklem (3.17)'de verilen V_{peak} değeri hesaplanmalıdır [2, 20, 88]. V_{peak} değeri uygun olan denkelem (3.18), (3.19), (3.20) veya (3.21) deki yerine koyularak hesaplanıp a faktörü bulunmaktadır [20, 88].

$$V_{peak} = \sqrt{2} \times V_{F-T} \times T \text{ (kV)} \quad (3.17)$$

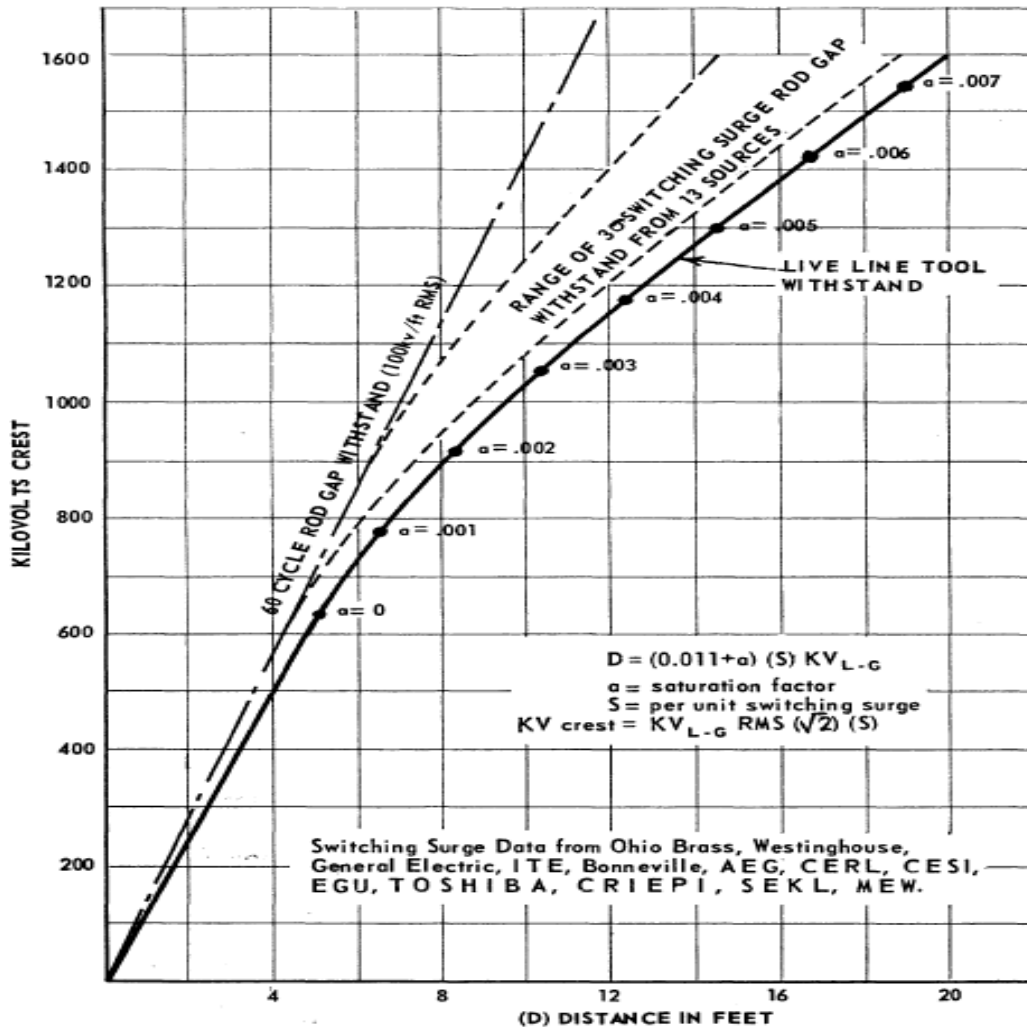
Bunu takiben;

$$a = 0 \quad \text{için} \quad V_{peak} < 635 \text{ kV} \quad (3.18)$$

$$a = \frac{V_{peak}-635}{140000} \quad \text{için} \quad 635.1 < V_{peak} < 915 \text{ kV} \quad (3.19)$$

$$a = \frac{V_{peak}-675}{125000} \quad \text{için} \quad 1050.1 < V_{peak} < 1600 \text{ kV} \quad (3.20)$$

$$a = \frac{V_{peak}-645}{135000} \quad \text{için} \quad 915,1 < V_{peak} < 1050 \text{ kV} \quad (3.21)$$



Şekil 3.4. Canlı hat aletleri ve ıstanka boşlukları için tipik anahtarlama dalgaları dayanım gerilimi [20, 88]

Tablo 3.8 IEEE Std. 516-2009 standardına dayanarak Kuzey Amerika’da kullanılan canlı çalışma için T’nin sektörde kabul görmüş tipik değerlerini göstermektedir [20, 88].

Tablo 3.8. Canlı çalışma için T’nin endüstri tarafından kabul edilen değerleri [20, 88]

AC faz-faz gerilimi	Canlı çalışma için ‘T’
362 kV’da ve aşağısında	3.0 p.u.
363 kV’dan 550 kV’a kadar	2.4 p.u.
551 kV’dan 800 kV’a kadar	2.0 p.u.

IEEE Std. 516-2009 standardına göre 72,5 kV’un üzerindeki gerilimler için rakım düzeltme faktörü (A) Tablo 3.9’da verilmektedir [20, 88].

Tablo 3.9. IEEE Std. 516-2009 standardı rakım düzeltme faktörü [20, 88]

Metreler	Feet	A
0-900	0-3000	1.00
901-1200	3001-4000	1.02
1201-1500	4001-5000	1.05
1501-1800	5001-6000	1.08
1801-2100	6001-7000	1.11
2101-2400	7001-8000	1.14
2401-2700	8001-9000	1.17
2701-3000	9001-10000	1.20
3001-3600	10001-12000	1.25
3601-4200	12001-14000	1.30
4201-4800	14001-16000	1.35
4801-5400	16001-18000	1.39
5401-6000	18001-20000	1.44

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde; TEİAŞ'ın 380 kV'luk enerji iletim hatlarında kullanılan direk tipleri ile ilgili bilgiler verilmektedir. Direk tiplerinin canlı çalışma için uygun olup olmadığı üzerinde hesaplamalar yapılmıştır.

4.1. TEİAŞ'ın 380 kV'luk enerji iletim hatlarında kullanılan direk tipleri ile bilgiler

Burada TEİAŞ'ın 380 kV'luk enerji iletim hatlarında kullanılan iletken cinsleri, devre sayısı ve direk tipi hakkında bilgi verilmiştir. Dört çeşit iletken cinsi, yedi çeşit devre sayısı ve kırk çeşit direk tipi Tablo 4.1'te gösterilmiştir [86].

Tablo 4.1. 380 kV'luk enerji iletim hatlarında kullanılan direk tipleri ile ilgili bilgiler [86]



İletken cinsi (MCM)	Devre sayısı	Direk tipi	Tarihi gelişimi
954- Cardinal	Tek 2B	D, E, F 2A, 2B, 2C	A,B,C,D,E,F serisi direkler TEMEL ENERJİ-DEMAŞ-MİTAŞ İşbirliği tarafından, Cardinal iletkenli hatlar için H.80 A-B-C Sözleşmeleri kapsamında yapılmıştır. Taşıyıcı A,B,C direkleri dikdörtgen gövdelidir. 2A,2B,2C serisi direkler, dikdörtgen gövdeli taşıyıcı direklere alternatif direkler olarak, SIEMENS-STFA ENERKOM - MADE Konsorsiyu-munca H.100 A Sözleşmesi kapsamında, gövdeleri baklava örgülü kare direkler olarak yapılmıştır.
	Tek 3B	3D, 3E, 3F 3A1, 3B1, 3C1	3A,3B,3C,3D,3E,3F serisi direkler TEMEL ENERJİ (STFA Enerkom)-DEMAŞ Ortaklığı ve BBC tarafından H.83 Sözleşmesi kapsamında Elbistan-Ankara Hattı için yapılmıştır. 3A1,3B1,3C1 serisi direkler SAE firması tarafından H.100D Sözleşmesi kapsamında, 3A,3B,3C direklerinin yerine (bu tip kartal kanadı direkler olarak anılmaktadır) yapılmıştır
	Çift 3B	S1, S2, S3, T1, T2, T3	Bu direkler Temel Enerji firması tarafından H.82 B Sözleşmesi kapsamında 380 kV 1. Boğazatlama Hattının bağlantı hatları için yapılmıştır. Firma isim değiştirerek STFA ENERKOM adını almıştır
1272- Pheasant	Tek 3B	3PA, 3PB, 3PC, 3PD, 3PE, 3PF	Bu direkler ABB-SIEMENS-STFA Enerkom Konsorsiyumu tarafından, H.122A Sözleşmesi kapsamında 380 kV Sincan-Temelli-Tepeören Hattı için yapılmıştır.
	Dört Devre 2B	DS1, DS2, DT1, DT2	Bu direkler STFA Enerkom firması tarafından H.140 Sözleşmesi kapsamında 380 kV 2. Boğazatlama Hattı için yapılmıştır
2027 mm ² özel iletken	Tek özel bölge	PAH, PCH, PDH, PEH	Bu direkler yerli ve yabancı 7 firmanın yer aldığı FIT (Fransız-İtalyan-Türk) Konsorsiyumu içindeki İtalyan





			SAE-SADELMİ firması tarafından H.122 B Sözleşmesi kapsamında, 380 kV 3B Pheasant iletkenli Göksun-Temelli Hattının Gezbel Geçidi civarındaki özel (buz yükü) bölgesi için, 3 iletken yerine ($\text{Ø}=58.65$ mm) tek iletken kullanılacak şekilde yapılmıştır. Bu direkler de diğer özel bölge direkleri gibi Kedi Tipi (Fransız tipi) direklerdir. Anılan hat haricinde 3B Pheasant iletkenli bazı hatların, yüksek menzile gereken bölümlerinde normal direklerin arasında kullanılmıştır
954 MCM	380/154 müşterek	M1, M2, M3	Bu direkler MİTAŞ-AKPE firmaları tarafından H.169.I Sözleşmesi kapsamında, Alibeyköy-Yıldıztepe Hattı için, 380 kV tek devre 3B 954 MCM ve 154 kV çift devre 2B 954 MCM iletken tertibinin aynı direk üzerinde taşınması amacıyla yapılmıştır.
1272-Pheasant	Çift 3B	2PA, 2PB, 2PD, 2PE, 2PF	Bu direklerin statik hesapları H.PRJ.2010/I Sözleşmesi ile ODTÜ İnşaat Müh. Bölümüne yaptırılmış, imalat resimleri H.250.I Sözleşmesi kapsamında ŞA-RA A.Ş. tarafından hazırlanmıştır. TEAİŞ'ca bir üniversiteye hazırlatılan ilk direk serisidir.


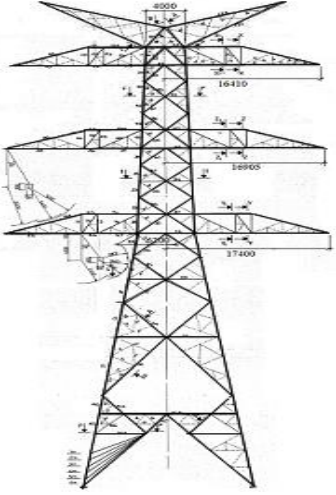
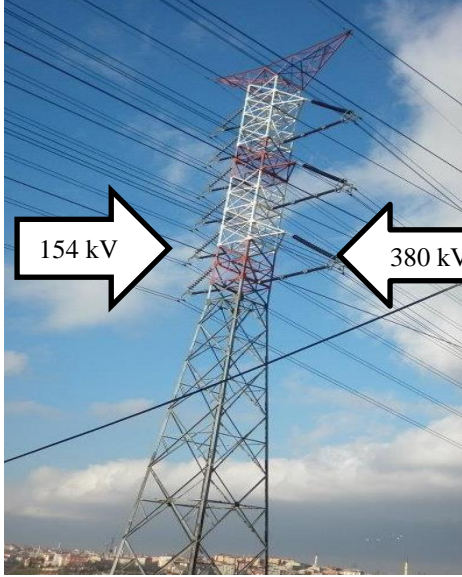
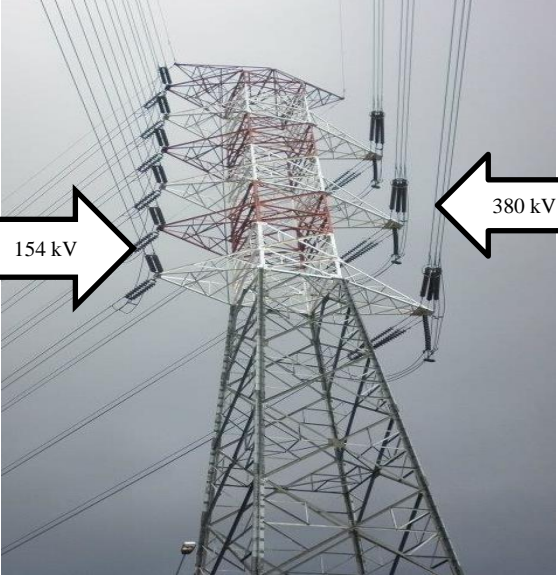
4.1.1. TEİAŞ'ın 380 kV'luk enerji iletim hatlarında kullanılan direklerin askı-gergi takım tertipi

Burada TEİAŞ'ın 380 kV'luk enerji iletim hatlarında kullanılan direk tiplerinin askı-gergi takım tertipi fotoğrafları ve hangi direğin taşıyıcı ve durdurucu olduğu hakkında Tablo 4.2'de gösterilmiştir [86].

Tablo 4.2. 380 kV'luk 2B ve 3B, 954 ve 1272 MCM İletkenli Tip Direklerin Askı-Gergi Takım Tertibi [86]

2B Tek Devre Taşıyıcı Direk Tipleri	3B Tek Devre Taşıyıcı Direk Tipleri
 <p>2B TD Taşıyıcı (I V I)</p>	 <p>3B TD Taşıyıcı (V V V)</p>

<p>954 MCM A, B, C (eski tipler-artık kullanılmıyor) 2A, 2B, 2C (yeni tipler)</p> <p>2B ve 3B Tek Devre Durdurucu Direk Tipleri</p>	<p>954 MCM 3A, 3B, 3C (eski tipler-artık kullanılmıyor) 3A1, 3B1, 3C1 (yeni tipler) 1272 MCM 3PA, 3PB, 3PC</p> <p>Özel Bölge ve 3B Tek Devre Taşıyıcı ve Durdurucu Kedi Direk Tipleri</p>
 <p>2B ve 3B TD Durdurucu (I I I)</p> <p>2B 954 MCM D, E, F 3B 954 MCM 3D, 3E, 3F 1272 MCM 3PD, 3PE, 3PF</p>	 <p>Özel Bölge ve 3B TD Kedi taşıyıcı ve Durdurucu (I I I)</p> <p>Cardinal Özel Bölge Taşıyıcı 3AH, 3CH Pheasant Özel Bölge Taşıyıcı PAH, PCH Cardinal Özel Bölge Durdurucu 3EH Pheasant Özel Bölge Durdurucu PDH, PEH</p>
<p>2B ve 3B Çift Devre Taşıyıcı Direk Tipleri</p>	<p>2B ve 3B Çift Devre Durdurucu Direk Tipleri</p>
 <p>2B ve 3B ÇD Taşıyıcı 2x(V V V)</p>	 <p>2B ve 3B ÇD Durdurucu 2x(I I I)</p>

<p>954 MCM S1, S2, S3 1272 MCM 2PA, 2PB, 2PC yeni proje</p>	<p>954 MCM T1, T2, T3 1272 MCM 2PD, 2PE, 2PF yeni proje</p>
<p>2B Dört Devre Taşıyıcı Direk Tipleri</p>	<p>2B Dört Devre Durdurucu Direk Tipleri</p>
 <p>Kenar Fazlar (I) İç Fazlar (V)</p> <p>2B 4x1272 MCM DS1, DS2</p>	 <p>Tüm Fazlar (I)</p> <p>2B 4x1272 MCM DT1, DT2</p>
<p>380-154 kV Müşterek Taşıyıcı Direk Tipleri</p>	<p>380-154 kV Müşterek Durdurucu Direk Tipleri</p>
 <p>Tüm Fazlar Silikon İzolatör Konsollu Askı Takımı</p> <p>380 kV 3B 954 MCM ve 154 kV 2B 2x954 MCM M1</p>	 <p>Tüm Fazlar (I)</p> <p>380 kV 3B 954 MCM ve 154 kV 2B 2x954 MCM M2, M3</p>

4.2. 380 kV'luk enerji iletim hatlarında kullanılan direklerin konsol-toprak arası uzaklıkları, direk ana ölçüleri ve minimum yaklaşma mesafesi hesabı

380 kV'luk enerji iletim hattının 2A, 2B, 2C, D, E, F, 3D, 3E, 3F, 3A1, 3B1, 3C1, S1, S2, S3, T1, T2, T3, 3PA, 3PB, 3PC, 3PD, 3PE, 3PF, DS1, DS2, DT1, DT2, PAH, PCH, PDH, PEH, M1, M2, M3, 2PA, 2PB, 2PD, 2PE ve 2PF direkleri için TEİAŞ'ın belirlediği 420 kV'luk en yüksek sistem gerilimi (U_s), 2,3 p.u. faz-toprak değeri (u_{e2}), denklem (3.5)'ten hesaplanan 3,5 p.u. faz-faz değeri sırasıyla denklem (3.1) ve (3.2)'ye koyulmaktadır. Buradan istatikselsel aşırı gerilim U_{e2} ve U_{p2} elde edilmekte ve denklem (3.6)'da istatikselsel güvenlik faktörü (K_s) ile çarpılmaktadır. U_{90} gerilimi elde edilmekte ve elde edilen U_{90} (U_{e90} ve U_{p90}) gerilimi denklem (3.7)'ye koyulmaktadır. Denklem (3.7)'de verilen düzeltme faktörü (K_t) denklem (3.12), (3.13), (3.14), (3.15) ve Tablo 2.6'dan hesaplanarak denklem (3.7)'ye koyulmaktadır. Denklem (3.7)'den elektriksel mesafe hesabı (D_U) elde edilmektedir. Elde edilen elektriksel mesafeye, ergonomik mesafe (D_E) eklenerek minimum yaklaşma mesafesi (D_A) elde edilmektedir. Son olarak elde edilen minimum yaklaşma mesafesi Tablo 3.2'deki bilgilerle karşılaştırılıp canlı çalışma için minimum yaklaşma mesafesinin uygun olup olmadığı belirtilmektedir.

4.2.1. 2B 954 MCM – 2A, 2B, 2C, D, E, F direkleri ve minimum yaklaşma mesafesi hesabı

Burada 2A, 2B, 2C, D, E, F direklerinin gövdelerinin konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüleri Tablo 4.3'te gösterilmektedir. Bu veriler ile bölüm 3.1.2'de verilen denklemler ve tablolar kullanılarak minimum yaklaşma mesafesi hesaplanmış ve canlı bakım yapılmasına uygun olup olmadığı belirlenmiştir. Ek A'de 380 kV 2B (ikili demet), 3B (üçlü demet) tek devre direklerinin ana ölçülerinin gösterimi verilmektedir [3, 20, 29, 86].

Tablo 4.3. 2A, 2B, 2C, D, E, F direklerin gövdelerinin konsol-toprak arası uzaklıkları ve direk ana ölçüleri [86]

2A direği gövdelerinin konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüler		
Gövde	Konsol ile (1) ayak arası uzaklık h_5 (m)	Konsol ile (9) ayak arası uzaklık h_6 ($h_2+h_3+h_4$) (m)
+0	20,25	28,25
+6	26,25	34,25
+12	32,25	40,25

H (h ₁ +h ₂ +h ₃)=43,92 m h ₁ =3,92 m h ₂ =11,1 m h ₃ =28,9 m a ₁ =9,0 m a ₂ =6,01 m a ₃ =3,0 m a ₄ =7,62 m			
2B direği gövdelerinin konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüler			
Gövde	Konsol ile (1) ayak arası uzaklık h ₅ (m)	Konsol ile (9) ayak arası uzaklık h ₆ (h ₂ +h ₃ +h ₄) (m)	
+0	20,25	28,25	
+6	26,25	34,25	
+12	32,25	40,25	
H (h ₁ +h ₂ +h ₃)=44,5 m h ₁ =4,5 m h ₂ =11,1 m h ₃ =28,9 m a ₁ =9,4 m a ₂ =6,17 m a ₃ =3,0 m a ₄ =7,62 m Ana gövde ve ayak ölçüleri 2A direği ile aynıdır.			
2C direği gövdelerinin konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüler			
Gövde	Konsol ile (1) ayak arası uzaklık h ₅ (m)	Konsol ile (9) ayak arası uzaklık h ₆ (h ₂ +h ₃ +h ₄) (m)	
+0	20,25	28,25	
+6	26,25	34,25	
+12	32,25	40,25	
H (h ₁ +h ₂ +h ₃)=46,37 m h ₁ =6,37 m h ₂ =11,1 m h ₃ =28,9 m a ₁ =10,7 m a ₂ =6,58 m a ₃ =3,0 m a ₄ =7,62 m Ana gövde ve ayak ölçüleri 2A ve 2B direği ile aynıdır.			
D direği gövdelerinin konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüler			
Gövde	Konsol ile (1) ayak arası uzaklık h ₅ (m)	Konsol ile (9) ayak arası uzaklık h ₆ (h ₂ +h ₃ +h ₄) (m)	
+0	17,75	25,75	
+6	23,75	31,75	
+12	29,75	37,75	
H (h ₁ +h ₂ +h ₃)=47,5 m h ₁ =10,0 m h ₂ =11,0 m h ₃ =26,5 m a ₁ =10,0 m a ₂ =7,29 m a ₃ =5,5 m a ₄ =14,89 m			
E direği gövdelerinin konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüler			
Gövde	Konsol ile (1) ayak arası uzaklık h ₅ (m)	Konsol ile (9) ayak arası uzaklık h ₆ (h ₂ +h ₃ +h ₄) (m)	
+0	17,75	25,75	
+6	23,75	31,75	
+12	29,75	37,75	
H (h ₁ +h ₂ +h ₃)=44,5 m h ₁ =4,5 m h ₂ =11,1 m h ₃ =28,9 m a ₁ =11,3 m a ₂ =8,29 m a ₃ =6,0 m a ₄ =15,63 m Ana gövde düşey ve ayak düşey ölçüleri D direği ile aynıdır.			
F direği gövdelerinin konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüler			
Gövde	Konsol ile (1) ayak arası uzaklık h ₅ (m)	Konsol ile (9) ayak arası uzaklık h ₆ (h ₂ +h ₃ +h ₄) (m)	
+0	17,75	25,75	
+6	23,75	31,75	
+12	29,75	37,75	
H (h ₁ +h ₂ +h ₃)=44,5 m h ₁ =4,5 m h ₂ =11,1 m h ₃ =28,9 m a ₁ =12,0 m a ₂ =9,29 m a ₃ =6,0 m a ₄ =15,63 m Ana gövde düşey ve ayak düşey ölçüleri D ve E direği ile aynıdır.			

2A, 2B, 2C, D, E, F direklerinin konsol ölçüleri farklı, direk ana gövdesinin düşey ve yatay ölçüleri aynıdır. Payanda civatası-toprak ara mesafesi h₄= 250 mm'dir. 2A, 2B, 2C direkleri A, B, C direklerinin 1986 yılında revize edilmesiyle bu direklerin yerine kullanılmaktadır [86].

2A,2B ve 2C direkleri için minimum yaklaşma mesafesi (D_A) hesabı;

1- U_{90} 'nin hesaplanması

$$u_{e2} = 2,3 \text{ p.u.}, u_{p2} = 3,5 \text{ p.u.}, U_s = 420 \text{ kV}, K_s = 1,1$$

$$U_{e2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times U_{es} \times u_{e2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times 420 \times 2,3 = 788,7356 \text{ kV}$$

$$U_{p2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times U_{ps} \times u_{p2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times 420 \times 3,5 = 1200,2499 \text{ kV}$$

$$U_{e90} = K_s \times U_{e2} = 1,1 \times 788,7356 = 867,6092 \text{ kV}$$

$$U_{p90} = K_s \times U_{p2} = 1,1 \times 1200,2499 = 1320,2748 \text{ kV}$$

2- K_t 'nin hesaplanması

$k_s = 0,936$, $k_a = 0,972$ (0-1000 rakımda), $k_f = 1$ (iletken parka yok iken), $k_i = 1$ (izolatör dizisinde arıza yoksa denklem (3.15)'ten hem cam izolatör hem de porselen izolatör için 1 değeri elde edilmektedir.), $k_g = 1,6$ (faz-faz için)

$$k_g = 1,25 + 0,005 \times \left(\frac{H}{d} - 6\right) + 0,25 \times \left(e^{\frac{-8s}{d}} - 0,2\right) = 1,25 + 0,005 \times \left(\frac{24,85}{3,4} - 6\right) + 0,25 \times \left(e^{\frac{-8 \times 1}{3,4}} - 0,2\right) = 1,2303 \text{ (2A direği + 0 gövde faz - toprak için)}$$

$$k_g = 1,25 + 0,005 \times \left(\frac{H}{d} - 6\right) + 0,25 \times \left(e^{\frac{-8s}{d}} - 0,2\right) = 1,25 + 0,005 \times \left(\frac{30,85}{3,4} - 6\right) + 0,25 \times \left(e^{\frac{-8 \times 1}{3,4}} - 0,2\right) = 1,2391 \text{ (2A direği + 6 gövde faz - toprak için)}$$

$$k_g = 1,25 + 0,005 \times \left(\frac{H}{d} - 6\right) + 0,25 \times \left(e^{\frac{-8s}{d}} - 0,2\right) = 1,25 + 0,005 \times \left(\frac{36,85}{3,4} - 6\right) + 0,25 \times \left(e^{\frac{-8 \times 1}{3,4}} - 0,2\right) = 1,2479 \text{ (2A direği + 12 gövde faz - toprak için)}$$

$d = (d_1 + d_2 + d_3) / 3 = 3,4 \text{ m}$ (2A direği +0, +6, +12 gövde için iletkenin iletken-penceredeki uzaklığı)

$S = 1 \text{ m}$ (2A direği +0, +6, +12 gövde için iletkenin iletken-penceredeki genişliği)

H= 2A direği +0 gövde için 28,25 m direk uzunluğu alınır ve 3,4 m iletken-pencerenin iletkene uzunluğu çıkartılarak iletkenin yerden yüksekliği 24,85 m bulunur.

H= 2A direği +6 gövde için 34,25 m direk uzunluğu alınır ve 3,4 m iletken-pencerenin iletkene uzunluğu çıkartılarak iletkenin yerden yüksekliği 30,85 m bulunur.

H= 2A direği +12 gövde için 40,25 m direk uzunluğu alınır ve 3,4 m iletken-pencerenin iletkene uzunluğu çıkartılarak iletkenin yerden yüksekliği 36,85 m bulunur.

2B ve 2C direği +0, +6 ve +12 gövde k_g faz-toprak değerleri iletken-pencere için Tablo 2.3'ten seçilmiştir ve $k_g=1,25$ olarak alınmıştır. Çünkü 2B ve 2C tek devre direklerinin ana ölçülerinin iletken-pencere uzaklığı verilmemiştir.

2A direği +0 gövde için $K_t = k_s \times k_g \times k_a \times k_f \times k_i = 0,936 \times 1,2303 \times 0,972 \times 1 \times 1 = 1,1193$ (faz – toprak için)

2A direği +6 gövde için $K_t = k_s \times k_g \times k_a \times k_f \times k_i = 0,936 \times 1,2391 \times 0,972 \times 1 \times 1 = 1,1273$ (faz – toprak için)

2A direği +12 gövde için $K_t = k_s \times k_g \times k_a \times k_f \times k_i = 0,936 \times 1,2479 \times 0,972 \times 1 \times 1 = 1,1353$ (faz – toprak için)

2B ve 2C direkleri +0 gövde, +6 gövde ve +12 gövde için $K_t = k_s \times k_g \times k_a \times k_f \times k_i = 0,936 \times 1,25 \times 0,972 \times 1 \times 1 = 1,1372$ (faz – toprak için)

2A, 2B ve 2C direkleri +0, +6 ve +12 gövde için $K_t = k_s \times k_g \times k_a \times k_f \times k_i = 0,936 \times 1,6 \times 0,972 \times 1 \times 1 = 1,4556$ (faz – faz için)

3- D_U 'nun hesaplanması

$F=0$ (iletken üzerinde herhangi bir iletken parça olmadığı için), $D_E=0,5$ m

$$D_U = 2,17 \times \left(e^{\frac{U_{e90}}{(1080 \times K_t)}} - 1 \right) + F = 2,17 \times \left(e^{\frac{867,6092}{(1080 \times 1,1193)}} - 1 \right) + 0 = 2,2779 \text{ m}$$

$$D_U = 2,17 \times \left(e^{\frac{U_{e90}}{(1080 \times K_t)}} - 1 \right) + F = 2,17 \times \left(e^{\frac{867,6092}{(1080 \times 1,1273)}} - 1 \right) + 0 = 2,2553 \text{ m}$$

$$D_U = 2,17 \times \left(e^{\frac{U_{e90}}{(1080 \times K_T)}} - 1 \right) + F = 2,17 \times \left(e^{\frac{867,6092}{(1080 \times 1,1353)}} - 1 \right) + 0 = 2,2331 \text{ m}$$

2A direği + 0 gövde için $D_A = D_U + D_E = 2,2779 + 0,5 = 2,7779 \text{ m}$ (faz – toprak için)

2A direği + 6 gövde için $D_A = D_U + D_E = 2,2553 + 0,5 = 2,7553 \text{ m}$ (faz – toprak için)

2A direği + 12 gövde için $D_A = D_U + D_E = 2,2458 + 0,5 = 2,7331 \text{ m}$ (faz – toprak için)

$$D_U = 2,17 \times \left(e^{\frac{U_{90}}{(1080 \times K_T)}} - 1 \right) + F = 2,17 \times \left(e^{\frac{867,6092}{(1080 \times 1,1372)}} - 1 \right) + 0 = 2,2279 \text{ m}$$

2B ve 2C direkleri +0, +6 ve +12 gövde için $D_A = D_U + D_A = 2,2279 + 0,5 = 2,7279 \text{ m}$ (faz – toprak için)

$$D_U = 2,17 \times \left(e^{\frac{U_{e90}}{(1080 \times K_T)}} - 1 \right) + F = 2,17 \times \left(e^{\frac{1320,2748}{(1080 \times 1,4556)}} - 1 \right) + 0 = 2,8557 \text{ m}$$

2A, 2B ve 2C direkleri +0, +6 ve +12 gövde için $D_A = D_U + D_E = 2,8557 + 0,5 = 3,3557 \text{ m}$ (faz – faz için)

380 kV'luk enerji iletim hattının 2A, 2B ve 2C (+0, +6 ve +12 gövde) direklerinin faz-toprak ve faz-faz hesaplama sonucu elektriksel mesafe (D_U) elde edilerek ve ergonomic mesafe (D_E) eklenerek minimum yaklaşma mesafesi (D_A) bulunmuştur. Böylece Tablo 3.2'deki minimum yaklaşma mesafesi ile karşılaştırılmış ve sonuç olarak canlı çalışma yapılması için gerekli uygun mesafeyi sağlamaktadırlar.

D, E ve F direkleri için minimum yaklaşma mesafesi (D_A) hesabı;

1- U_{90} 'nın hesaplanması

$$u_{e2} = 2,3 \text{ p.u.}, u_{p2} = 3,5 \text{ p.u.}, U_s = 420 \text{ kV}, K_s = 1,1$$

$$U_{e2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times U_{es} \times u_{e2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times 420 \times 2,3 = 788,7356 \text{ kV}$$

$$U_{p2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times U_{ps} \times u_{p2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times 420 \times 3,5 = 1200,2499 \text{ kV}$$

$$U_{e90} = K_s \times U_{e2} = 1,1 \times 788,7356 = 867,6092 \text{ kV}$$

$$U_{p90} = K_s \times U_{p2} = 1,1 \times 1200,2499 = 1320,2748 \text{ kV}$$

2- Kt'nin hesaplanması

$k_s = 0,936$, $k_a = 0,972$ (0-1000 rakımda), $k_f = 1$ (iletken parka yok iken), $k_i = 1$ (izolatör dizesinde arıza yoksa denklem (3.15)'ten hem cam izolator hem de porselen izolator için 1 değeri elde edilmektedir.), $k_g = 1,6$ (faz-faz için)

$$k_g = 1,25 + 0,005 \times \left(\frac{H}{d} - 6\right) + 0,25 \times \left(e^{\frac{-8s}{d}} - 0,2\right) = 1,25 + 0,005 \times \left(\frac{22,35}{3,4} - 6\right) + 0,25 \times \left(e^{\frac{-8 \times 1,6}{3,4}} - 0,2\right) = 1,2086 \text{ (D direği + 0 gövde faz - toprak için)}$$

$$k_g = 1,25 + 0,005 \times \left(\frac{H}{d} - 6\right) + 0,25 \times \left(e^{\frac{-8s}{d}} - 0,2\right) = 1,25 + 0,005 \times \left(\frac{28,35}{3,4} - 6\right) + 0,25 \times \left(e^{\frac{-8 \times 1,6}{3,4}} - 0,2\right) = 1,2174 \text{ (D direği + 6 gövde faz - toprak için)}$$

$$k_g = 1,25 + 0,005 \times \left(\frac{H}{d} - 6\right) + 0,25 \times \left(e^{\frac{-8s}{d}} - 0,2\right) = 1,25 + 0,005 \times \left(\frac{34,35}{3,4} - 6\right) + 0,25 \times \left(e^{\frac{-8 \times 1,6}{3,4}} - 0,2\right) = 1,2263 \text{ (D direği + 12 gövde faz - toprak için)}$$

$d = (d_1 + d_2 + d_3) / 3 = 3,4 \text{ m}$ (D direği +0, +6 ve +12 gövde için iletkenin iletken-pencere'deki uzaklığı)

$S = 1,6 \text{ m}$ (D direği +0, +6 ve +12 gövde için iletkenin iletken-pencere'deki genişliği)

$H = D$ direği +0 gövde için 25,75 m direk uzunluğu alınır ve 3,4 m iletken-pencerenin iletkene uzunluğu çıkartılarak iletkenin yerden yüksekliği 22,35 m bulunur.

$H = D$ direği +6 gövde için 31,75 m direk uzunluğu alınır ve 3,4 m iletken-pencerenin iletkene uzunluğu çıkartılarak iletkenin yerden yüksekliği 28,35 m bulunur.

H= D direği +12 gövde için 37,75 m direk uzunluğu alınır ve 3,4 m iletken-pencerenin iletkene uzunluğu çıkartılarak iletkenin yerden yüksekliği 34,35 m bulunur.

E ve F direkleri +0, +6 ve +12 gövde k_g faz-toprak değerleri iletken-pencere için Tablo 2.3'ten seçilmiş ve $k_g=1,25$ olarak alınmıştır. Çünkü E ve F tek devre direklerinin ana ölçülerinin iletken-pencere uzaklığı ve S kesiti verilmemiştir.

$$D \text{ direği } +0 \text{ gövde için } K_t = k_s \times k_g \times k_a \times k_f \times k_i = 0,936 \times 1,2086 \times 0,972 \times 1 \times 1 = 1,0995 \text{ (faz - toprak için)}$$

$$D \text{ direği } +6 \text{ gövde için } K_t = k_s \times k_g \times k_a \times k_f \times k_i = 0,936 \times 1,2174 \times 0,972 \times 1 \times 1 = 1,1075 \text{ (faz - toprak için)}$$

$$D \text{ direği } +12 \text{ gövde için } K_t = k_s \times k_g \times k_a \times k_f \times k_i = 0,936 \times 1,2263 \times 0,972 \times 1 \times 1 = 1,1156 \text{ (faz - toprak için)}$$

$$E \text{ ve } F \text{ direkleri } +0, +6 \text{ ve } +12 \text{ gövde için } K_t = k_s \times k_g \times k_a \times k_f \times k_i = 0,936 \times 1,25 \times 0,972 \times 1 \times 1 = 1,1372 \text{ (faz - toprak için)}$$

$$D, E \text{ ve } F \text{ direkleri } +0, +6 \text{ ve } +12 \text{ gövde için } K_t = k_s \times k_g \times k_a \times k_f \times k_i = 0,936 \times 1,6 \times 0,972 \times 1 \times 1 = 1,4556 \text{ (faz - faz için)}$$

3- D_U 'nun hesaplanması

$F=0$ (iletken üzerinde herhangi bir iletken parça olmadığı için), $D_E=0,5$ m

$$D_U = 2,17 \times \left(e^{\frac{U_{e90}}{(1080 \times K_t)}} - 1 \right) + F = 2,17 \times \left(e^{\frac{867,6092}{(1080 \times 1,0995)}} - 1 \right) + 0 = 2,3358 \text{ m}$$

$$D_U = 2,17 \times \left(e^{\frac{U_{e90}}{(1080 \times K_t)}} - 1 \right) + F = 2,17 \times \left(e^{\frac{867,6092}{(1080 \times 1,1075)}} - 1 \right) + 0 = 2,3121 \text{ m}$$

$$D_U = 2,17 \times \left(e^{\frac{U_{e90}}{(1080 \times K_t)}} - 1 \right) + F = 2,17 \times \left(e^{\frac{867,6092}{(1080 \times 1,1156)}} - 1 \right) + 0 = 2,2885 \text{ m}$$

D direği + 0 gövde için $D_A = D_U + D_E = 2,3358 + 0,5 = 2,8358 \text{ m (faz - toprak için)}$

D direği + 6 gövde için $D_A = D_U + D_E = 2,3121 + 0,5 = 2,8121$ m(*faz – toprak için*)

D direği + 12 gövde için $D_A = D_U + D_E = 2,2885 + 0,5 = 2,7885$ m(*faz – toprak için*)

$$D_U = 2,17 \times \left(e^{\frac{U_{e90}}{(1080 \times K_T)}} - 1 \right) + F = 2,17 \times \left(e^{\frac{867,6092}{(1080 \times 1,1372)}} - 1 \right) + 0 = 2,2279$$
 m

E ve F direkleri +0, +6 ve +12 gövde için $D_A = D_U + D_E = 2,2279 + 0,5 = 2,7279$ m(*faz – toprak için*)

$$D_U = 2,17 \times \left(e^{\frac{U_{e90}}{(1080 \times K_T)}} - 1 \right) + F = 2,17 \times \left(e^{\frac{1320,2748}{(1080 \times 1,4556)}} - 1 \right) + 0 = 2,8557$$
 m

D, E ve F direkleri +0, +6 ve +12 gövde için $D_A = D_U + D_E = 2,8557 + 0,5 = 3,3557$ m(*faz – faz için*)

380 kV'luk enerji iletim hattının D, E ve F (+0, +6 ve +12 gövde) direklerinin faz-toprak ve faz-faz hesaplama sonucu elektriksel mesafe (D_U) elde edilerek ve ergonomic mesafe eklenerek (D_E) minimum yaklaşma mesafesi (D_A) bulunmuştur. Böylece Tablo 3.2'deki minimum yaklaşma mesafesi ile karşılaştırılmış ve sonuç olarak canlı çalışma yapılması için gerekli uygun mesafeyi sağlamaktadırlar.

4.2.2. 2B 954 MCM – 3A1, 3B1, 3C1, 3D, 3E, 3F direkleri ve minimum yaklaşma mesafesi hesabı

Burada 3A1, 3B1, 3C1, 3D, 3E ve 3F direklerinin gövdelerinin konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüleri Tablo 4.4'de gösterilmiştir. Ve Tablo 4.4'deki veriler ile bölüm 3.1.2'de verilen denklemler ve Tablolar kullanılarak minimum yaklaşma mesafesi hesaplanmış ve canlı bakım yapılmasına uygun olup olmadığı belirlenmiştir. Ek A'de 380 kV 2B (ikili demet), 3B (üçlü demet) tek devre direklerinin ana ölçülerinin gösterimi verilmiştir [3, 20, 29, 86].

Tablo 4.4. 3A1, 3B1, 3C1, 3D, 3E, 3F direklerin gövdelerinin konsol-toprak arası uzaklıkları ve direk ana ölçüleri [86]

3A1 direği gövdelerinin konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüler		
Gövde	Konsol ile (1) ayak arası uzaklık h_5 m (m)	Konsol ile (6) ayak arası uzaklık h_6 ($h_2+h_3+h_4$) (m)
+0	20,30	25,30
+3	23,30	28,30
+6	26,30	31,30
+9	29,30	34,30
+12	32,30	37,30
+15	35,30	40,30
H ($h_1+h_2+h_3$)=44,5 m $h_1=4,98$ m $h_2=12,52$ m $h_3= 27,0$ $a_1= 10,47$ m $a_2= 4,47$ m $a_3= 3,9$ m $a_4= 11,2$		
3B1 direği gövdelerinin konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüler		
Gövde	Konsol ile (1) ayak arası uzaklık h_5 m (m)	Konsol ile (6) ayak arası uzaklık h_6 ($h_2+h_3+h_4$) (m)
+0	20,30	25,30
+3	23,30	28,30
+6	26,30	31,30
+9	29,30	34,30
+12	32,30	37,30
+15	35,30	40,30
H ($h_1+h_2+h_3$)=44,5 m $h_1=4,98$ m $h_2=12,52$ m $h_3= 27,0$ $a_1= 10,47$ m $a_2= 4,47$ m $a_3= 3,9$ m $a_4= 11,2$ m Konsol, gövde ve ayak düşey-yatay ölçüleri 3A1 direği ile aynıdır.		
3C1 direği gövdelerinin konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüler		
Gövde	Konsol ile (1) ayak arası uzaklık h_5 m (m)	Konsol ile (6) ayak arası uzaklık h_6 ($h_2+h_3+h_4$) (m)
+0	20,30	25,30
+3	23,30	28,30
+6	26,30	31,30
+9	29,30	34,30
+12	32,30	37,30
+15	35,30	40,30
H ($h_1+h_2+h_3$)= 44,5 m $h_1= 5,54$ m $h_2= 11,96$ m $h_3= 27,0$ $a_1= 11,94$ m $a_2= 5,47$ m $a_3= 3,9$ m $a_4= 11,2$ m Konsol ölçüleri farklı, ana gövde ve ayak düşey-yatay ölçüleri 3A1 ve 3B1 direği ile aynıdır.		
3D direği gövdelerinin konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüler		
Gövde	Konsol ile (1) ayak arası uzaklık h_5 m (m)	Konsol ile (6) ayak arası uzaklık h_6 ($h_2+h_3+h_4$) (m)
+0	16,25	21,25
+3	19,25	24,25
+6	22,25	27,25
+9	25,25	30,25
+12	28,25	33,25
+15	31,25	36,25
H ($h_1+h_2+h_3$) = 44,0 m $h_1= 8,0$ m $h_2= 12,0$ m $h_3= 24,0$ $a_1= 12,0$ m $a_2= 7,31$ m $a_3= 6,4$ m $a_4= 15,2$ m		
3E direği gövdelerinin konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüler		
Gövde	Konsol ile (1) ayak arası uzaklık h_5 m (m)	Konsol ile (6) ayak arası uzaklık h_6 ($h_2+h_3+h_4$) (m)
+0	16,25	21,25
+3	19,25	24,25

+6	22,25	27,25
+9	25,25	30,25
+12	28,25	33,25
+15	31,25	36,25
H (h1+h2+h3) = 44,0 m h ₁ = 8,0 m h ₂ = 12,0 m h ₃ = 24,0 a ₁ = 12,0 m a ₂ = 7,31 m a ₃ = 6,4 m a ₄ = 15,2 m Konsol, gövde ve ayak düşey-yatay ölçüleri 3D direği ile aynıdır.		
3F direği gövdelerinin konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüler		
Gövde	Konsol ile (1) ayak arası uzaklık h ₅ m (m)	Konsol ile (6) ayak arası uzaklık h ₆ (h2+h3+h4) (m)
+0	16,25	21,25
+3	19,25	24,25
+6	22,25	27,25
+9	25,25	30,25
+12	28,25	33,25
+15	31,25	36,25
H (h1+h2+h3) = 44,0 m h ₁ = 8,0 m h ₂ = 12,0 m h ₃ = 24,0 a ₁ = 12,0 m a ₂ = 7,31 m a ₃ = 6,4 m a ₄ = 15,2 m Konsol, gövde ve ayak düşey-yatay ölçüleri 3D ve 3E direği ile aynıdır		

3A1, 3B1, 3C1 direklerinin payanda civatası-toprak ara mesafesi h₄= 300 mm'dir. 3D, 3E, 3F direklerinin payanda civatası-toprak ara mesafesi h₄= 250 mm'dir [86].

3A1, 3B1 ve 3C1 direkleri için minimum yaklaşma mesafesi (D_A) hesabı:

1- U₉₀'nın hesaplanması

$$u_{e2} = 2,3 \text{ p.u.}, u_{p2} = 3,5 \text{ p.u.}, U_s = 420 \text{ kV}, K_s = 1,1$$

$$U_{e2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times U_{es} \times u_{e2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times 420 \times 2,3 = 788,7356 \text{ kV}$$

$$U_{p2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times U_{ps} \times u_{p2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times 420 \times 3,5 = 1200,2499 \text{ kV}$$

$$U_{e90} = K_s \times U_{e2} = 1,1 \times 788,7356 = 867,6092 \text{ kV}$$

$$U_{p90} = K_s \times U_{p2} = 1,1 \times 1200,2499 = 1320,2748 \text{ kV}$$

2- K_T'nin hesaplanması

k_s= 0,936, k_a= 0,972 (0-1000 rakımda), k_f= 1 (iletken parça yok iken), k_i= 1 (izolatör dizesinde arıza yoksa denklem (3.15)'ten hem cam izolator hem de porselen izolator için 1 değeri elde edilmektedir.), k_g=1,6 (faz-faz için)

3A1, 3B1 ve 3C1 direkleri +0, +3, +6, +9, +12 ve +15 gövde k_g faz-toprak değerleri iletken-pencere için Tablo 3.3'ten seçilmiştir ve $k_g=1,25$ olarak alınmıştır. Çünkü 3A1, 3B1 ve 3C1 tek devre direkleri ana ölçülerinin S kesiti verilmemiştir.

3A1, 3B1 ve 3C1 direkleri +0, +3, +6, +9, +12 ve +15 gövde için $K_t = k_s \times k_g \times k_a \times k_f \times k_i = 0,936 \times 1,25 \times 0,972 \times 1 \times 1 = 1,1372$ (faz – toprak için)

3A1, 3B1 ve 3C1 direkleri +0, +3, +6, +9, +12 ve +15 gövde için $K_t = k_s \times k_g \times k_a \times k_f \times k_i = 0,936 \times 1,6 \times 0,972 \times 1 \times 1 = 1,4556$ (faz – faz için)

3- D_U 'nun hesaplanması

$F=0$ (iletken üzerinde herhangi bir iletken parça olmadığı için), $D_E=0,5$ m

$$D_U = 2,17 \times \left(e^{\frac{U_{e90}}{(1080 \times K_t)}} - 1 \right) + F = 2,17 \times \left(e^{\frac{867,6092}{(1080 \times 1,1372)}} - 1 \right) + 0 = 2,2279 \text{ m}$$

3A1, 3B1 ve 3C1 direkleri +0, +3, +6, +9, +12 ve +15 gövde için $D_A = D_U + D_E = 2,2279 + 0,5 = 2,7279$ m (faz – toprak için)

$$D_U = 2,17 \times \left(e^{\frac{U_{e90}}{(1080 \times K_t)}} - 1 \right) + F = 2,17 \times \left(e^{\frac{1320,2748}{(1080 \times 1,1456)}} - 1 \right) + 0 = 2,8557 \text{ m}$$

3A1, 3B1 ve 3C1 direkleri +0, +3, +6, +9, +12 ve +15 gövde için $D_A = D_U + D_E = 2,8557 + 0,5 = 3,3557$ m (faz – faz için)

380 kV'luk enerji iletim hattının 3A1, 3B1 ve 3C1 (+0, +3, +6, +9, +12 ve +15 gövde) direklerinin faz-toprak ve faz-faz hesaplama sonucu elektriksel mesafe (D_U) elde edilerek ve ergonomik mesafe (D_E) eklenerek minimum yaklaşma mesafesi (D_A) bulunmuştur. Böylece Tablo 3.2'deki minimum yaklaşma mesafesi ile karşılaştırılmış ve sonuç olarak canlı çalışma yapılması için gerekli uygun mesafeyi sağlamaktadırlar.

3D, 3E ve 3F direkleri için minimum yaklaşma mesafesi (D_A) hesabı:

1- U_{90} 'nın hesaplanması

$$u_{e2} = 2,3 \text{ p.u.}, u_{p2} = 3,5 \text{ p.u.}, U_s = 420 \text{ kV}, K_s = 1,1$$

$$U_{e2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times U_{es} \times u_{e2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times 420 \times 2,3 = 788,7356 \text{ kV}$$

$$U_{p2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times U_{ps} \times u_{p2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times 420 \times 3,5 = 1200,2499 \text{ kV}$$

$$U_{e90} = K_s \times U_{e2} = 1,1 \times 788,7356 = 867,6092 \text{ kV}$$

$$U_{p90} = K_s \times U_{p2} = 1,1 \times 1200,2499 = 1320,2748 \text{ kV}$$

2- K_i 'nin hesaplanması

$k_s = 0,936$, $k_a = 0,972$ (0-1000 rakımda), $k_f = 1$ (iletken parka yok iken), $k_i = 1$ (izolatör dizesinde arıza yoksa denklem (3.15)'ten hem cam izolatör hem de porselen izolatör için 1 değeri elde edilmektedir.), $k_g = 1,6$ (faz-faz için)

3D, 3E ve 3F direkleri +0, +3, +6, +9, +12 ve +15 gövde kg faz-toprak değerleri iletken-pencere için Tablo 3.3'ten seçilmiştir ve $k_g = 1,25$ olarak alınmıştır. Çünkü 3D, 3E ve 3F tek devre direkleri ana ölçülerinin S kesiti verilmemiştir.

$$3D, 3E \text{ ve } 3F \text{ direkleri } +0, +3, +6, +9, +12 \text{ ve } +15 \text{ gövde için } K_t = k_s \times k_g \times k_a \times k_f \times k_i = 0,936 \times 1,25 \times 0,972 \times 1 \times 1 = 1,1372 \text{ (faz - toprak için)}$$

$$3D, 3E \text{ ve } 3F \text{ direkleri } +0, +3, +6, +9, +12 \text{ ve } +15 \text{ gövde için } K_t = k_s \times k_g \times k_a \times k_f \times k_i = 0,936 \times 1,6 \times 0,972 \times 1 \times 1 = 1,4556 \text{ (faz - faz için)}$$

3- D_U 'nun hesaplanması

$F = 0$ (iletken üzerinde herhangi bir iletken parça olmadığı için), $D_E = 0,5$ metre

$$D_U = 2,17 \times \left(e^{\frac{U_{e90}}{(1080 \times K_t)}} - 1 \right) + F = 2,17 \times \left(e^{\frac{867,6092}{(1080 \times 1,1372)}} - 1 \right) + 0 = 2,2279 \text{ m}$$

$$D_U = 2,17 \times \left(e^{\frac{U_{e90}}{(1080 \times K_t)}} - 1 \right) + F = 2,17 \times \left(e^{\frac{867,6092}{(1080 \times 1,4556)}} - 1 \right) + 0 = 2,8557 \text{ m}$$

3D, 3E ve 3F direkleri +0, +3, +6, +9, +12 ve +15 gövde için $D_A = D_U + D_E = 2,2279 + 0,5 = 2,7279 \text{ m}$ (faz - toprak için)

3D, 3E ve 3F direkleri +0, +3, +6, +9, +12 ve +15 gövde için $D_A = D_U + D_E = 2,8557 + 0,5 = 3,3557$ m(faz – faz için)

380 kV'luk enerji iletim hattının 3D, 3E ve 3F (+0, +3, +6, +9, +12 ve +15 gövde) direklerinin faz-toprak ve faz-faz hesaplama sonucu elektriksel mesafe (D_U) elde edilerek ve ergonomic mesafe (D_E) eklenerek minimum yaklaşma mesafesi (D_A) bulunmuştur. Böylece Tablo 3.2'deki minimum yaklaşma mesafesi ile karşılaştırılmış ve sonuç olarak canlı çalışma yapılması için gerekli uygun mesafeyi sağlamaktadırlar.

4.2.3. 1272-Pheasant – 3PA, 3PB, 3PC, 3PD, 3PE, 3PF direkleri ve minimum yaklaşma mesafesi hesabı

Burada 3PA, 3PB, 3PC, 3PD, 3PE, 3PF direklerinin gövdelerinin konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüleri Tablo 4.5'te gösterilmiştir. Tablo 4.5'teki veriler ile bölüm 3.1.2'de verilen denklemler ve tablolar kullanılarak minimum yaklaşma mesafesi hesaplanmış ve canlı bakım yapılmasına uygun olup olmadığı belirlenmiştir. Ek A'de 380 kV 2B (ikili demet), 3B (üçlü demet) tek devre direklerinin ana ölçülerinin gösterimi verilmiştir [3, 20, 29, 86].

Tablo 4.5. 3PA, 3PB, 3PC, 3PD, 3PE, 3PF direklerin gövdelerinin konsol-toprak arası uzaklıkları ve direk ana ölçüleri [86]

3PA direği gövdelerinin konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüler		
Gövde	Konsol ile (1) ayak arası uzaklık h_5 (m)	Konsol ile (6) ayak arası uzaklık h_6 ($h_2+h_3+h_4$) (m)
+0	20,3	25,3
+3	23,3	28,3
+6	26,3	31,3
+9	29,3	34,3
+12	32,3	37,3
+15	35,3	40,3
H ($h_1+h_2+h_3$)=44,5 m $h_1=4,91$ m $h_2=12,59$ m $h_3=27,0$ m $a_1=10,64$ m $a_2=5,30$ m $a_3=3,9$ m $a_4=11,5$ m		
3PB direği gövdelerinin konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüler		
Gövde	Konsol ile (1) ayak arası uzaklık h_5 (m)	Konsol ile (6) ayak arası uzaklık h_6 ($h_2+h_3+h_4$) (m)
+0	20,3	25,3
+3	23,3	28,3
+6	26,3	31,3
+9	29,3	34,3
+12	32,3	37,3
+15	35,3	40,3
+25	45,3	50,3

<p>$H (h_1+h_2+h_3)=44,5$ m $h_1=4,91$ m $h_2=12,59$ m $h_3=27,0$ m $a_1=10,64$ m $a_2=5,30$ m $a_3=3,9$ m $a_4=11,5$ m Konsol, gövde ve ayak düşey-yatay ölçüleri 3PA direği ile aynıdır.</p>		
<p>3PC direği gövdelerinin konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüler</p>		
Gövde	Konsol ile (1) ayak arası uzaklık h_5 (m)	Konsol ile (6) ayak arası uzaklık $h_6 (h_2+h_3+h_4)$ (m)
+0	20,3	25,3
+3	23,3	28,3
+6	26,3	31,3
+9	29,3	34,3
+12	32,3	37,3
+15	35,3	40,3
<p>$H (h_1+h_2+h_3)=44,59$ m $h_1=5,15$ m $h_2=12,44$ m $h_3=27,0$ m $a_1=11,75$ m $a_2=6,03$ m $a_3=3,9$ m $a_4=11,5$ m Konsol ölçüleri farklı, ana gövde ve ayak düşey-yatay ölçüleri 3PA ve 3PB direği ile aynıdır.</p>		
<p>3PD direği gövdelerinin konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüler</p>		
Gövde	Konsol ile (1) ayak arası uzaklık h_5 (m)	Konsol ile (6) ayak arası uzaklık $h_6 (h_2+h_3+h_4)$ (m)
+0	16,3	21,3
+3	19,3	24,3
+6	22,3	27,3
+9	25,3	30,3
+12	28,3	33,3
+15	31,3	36,3
<p>$H (h_1+h_2+h_3)=46,0$ m $h_1=10,0$ m $h_2=12,0$ m $h_3=24,0$ m $a_1=12,5$ m $a_2=8,5$ m $a_3=5,7$ m $a_4=13,2$ m</p>		
<p>3PE direği gövdelerinin konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüler</p>		
Gövde	Konsol ile (1) ayak arası uzaklık h_5 (m)	Konsol ile (6) ayak arası uzaklık $h_6 (h_2+h_3+h_4)$ (m)
+0	16,3	21,3
+3	19,3	24,3
+6	22,3	27,3
+9	25,3	30,3
+12	28,3	33,3
+15	31,3	36,3
<p>$H (h_1+h_2+h_3)=46,0$ m $h_1=10,0$ m $h_2=12,0$ m $h_3=24,0$ m $a_1=12,5$ m $a_2=8,5$ m $a_3=5,7$ m $a_4=13,2$ m Konsol, gövde ve ayak düşey-yatay ölçüleri 3PD direği ile aynıdır</p>		
<p>3PF direği gövdelerinin konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüler</p>		
Gövde	Konsol ile (1) ayak arası uzaklık h_5 (m)	Konsol ile (6) ayak arası uzaklık $h_6 (h_2+h_3+h_4)$ (m)
+0	16,3	21,3
+3	19,3	24,3
+6	22,3	27,3
+9	25,3	30,3
+12	28,3	33,3
+15	31,3	36,3
<p>$H (h_1+h_2+h_3)=44,0$ m $h_1=8,0$ m $h_2=12,0$ m $h_3=24,0$ m $a_1=10,6$ m $a_2=6,6$ m $a_3=5,7$ m $a_4=13,2$ m Konsol ölçüleri farklı, ana gövde ve ayak düşey-yatay ölçüleri 3PD ve 3PE direği ile aynıdır.</p>		

3PA, 3PB, 3PC direklerinde h_1 ve h_2 yükseklikleri kartal kanadı konsolun uç noktasından itibaren olan değerlerdir. 3PA, 3PB, 3PC, 3PD, 3PE, 3PF direklerinin payanda civatası-toprak ara mesafesi $h_4= 300$ mm'dir [86].

3PA, 3PB ve 3PC direkleri için minimum yaklaşma mesafesi (DA) hesabı;

1- U_{90} 'nın hesaplanması

$$u_{e2} = 2,3 \text{ p.u.}, u_{p2} = 3,5 \text{ p.u.}, U_s = 420 \text{ kV}, K_s = 1,1$$

$$U_{e2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times U_{es} \times u_{e2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times 420 \times 2,3 = 788,7356 \text{ kV}$$

$$U_{p2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times U_{ps} \times u_{p2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times 420 \times 3,5 = 1200,2499 \text{ kV}$$

$$U_{e90} = K_s \times U_{e2} = 1,1 \times 788,7356 = 867,6092 \text{ kV}$$

$$U_{p90} = K_s \times U_{p2} = 1,1 \times 1200,2499 = 1320,2748 \text{ kV}$$

2- K_i 'nin hesaplanması

$k_s = 0,936$, $k_a = 0,972$ (0-1000 rakımda), $k_f = 1$ (iletken parka yok iken), $k_i = 1$ (izolatör dizesinde arıza yoksa denklem (3.15)'ten hem cam izolatör hem de porselen izolatör için 1 değeri elde edilmektedir.), $k_g = 1,6$ (faz-faz için)

$$k_g = 1,25 + 0,005 \times \left(\frac{H}{d} - 6 \right) + 0,25 \times \left(e^{\frac{-8s}{d}} - 0,2 \right) = 1,25 + 0,005 \times \left(\frac{22,3}{3} - 6 \right) + 0,25 \times \left(e^{\frac{-8 \times 1,4}{3}} - 0,2 \right) = 1,2131 \text{ (3PA, 3PB direkleri + 0 gövde, faz - toprak için)}$$

$$k_g = 1,25 + 0,005 \times \left(\frac{H}{d} - 6 \right) + 0,25 \times \left(e^{\frac{-8s}{d}} - 0,2 \right) = 1,25 + 0,005 \times \left(\frac{25,3}{3} - 6 \right) + 0,25 \times \left(e^{\frac{-8 \times 1,4}{3}} - 0,2 \right) = 1,2181 \text{ (3PA, 3PB direkleri + 3 gövde, faz - toprak için)}$$

$$k_g = 1,25 + 0,005 \times \left(\frac{H}{d} - 6 \right) + 0,25 \times \left(e^{\frac{-8s}{d}} - 0,2 \right) = 1,25 + 0,005 \times \left(\frac{28,3}{3} - 6 \right) + 0,25 \times \left(e^{\frac{-8 \times 1,4}{3}} - 0,2 \right) = 1,2231 \text{ (3PA, 3PB direkleri + 6 gövde, faz - toprak için)}$$

$$k_g = 1,25 + 0,005 \times \left(\frac{H}{d} - 6 \right) + 0,25 \times \left(e^{\frac{-8s}{d}} - 0,2 \right) = 1,25 + 0,005 \times \left(\frac{31,3}{3} - 6 \right) + 0,25 \times \left(e^{\frac{-8 \times 1,4}{3}} - 0,2 \right) = 1,2281 \text{ (3PA, 3PB direkleri + 9 gövde, faz - toprak için)}$$

$$k_g = 1,25 + 0,005 \times \left(\frac{H}{d} - 6\right) + 0,25 \times \left(e^{\frac{-8s}{d}} - 0,2\right) = 1,25 + 0,005 \times \left(\frac{34,3}{3} - 6\right) + 0,25 \times \left(e^{\frac{-8 \times 1,4}{3}} - 0,2\right) = 1,2331 \text{ (3PA, 3PB direkleri + 12 gövde, faz - toprak için)}$$

$$k_g = 1,25 + 0,005 \times \left(\frac{H}{d} - 6\right) + 0,25 \times \left(e^{\frac{-8s}{d}} - 0,2\right) = 1,25 + 0,005 \times \left(\frac{37,3}{3} - 6\right) + 0,25 \times \left(e^{\frac{-8 \times 1,4}{3}} - 0,2\right) = 1,2381 \text{ (3PA, 3PB direkleri + 15 gövde, faz - toprak için)}$$

$$k_g = 1,25 + 0,005 \times \left(\frac{H}{d} - 6\right) + 0,25 \times \left(e^{\frac{-8s}{d}} - 0,2\right) = 1,25 + 0,005 \times \left(\frac{47,3}{3} - 6\right) + 0,25 \times \left(e^{\frac{-8 \times 1,4}{3}} - 0,2\right) = 1,2548 \text{ (3PB direği + 25 gövde, faz - toprak için)}$$

$d = (d_1 + d_2 + d_3) / 3 = 3$ metre (3PA direği +0, +3, +6, +9, +12, +15 gövde ve 3PB +0, +3, +6, +9, +12, +15, +25 gövde için iletkenin iletken-pencere'deki uzaklığı)

$S = 1,4$ metre (3PA direği +0, +3, +6, +9, +12, +15 gövde ve 3PB +0, +3, +6, +9, +12, +15, +25 gövde için iletkenin iletken-pencere'deki genişliği)

$H = 3PA$ ve $3PB$ direkleri +0 gövde için 25,3 m direk uzunluğu alınır ve 3 m iletken-pencerenin iletkene uzunluğu çıkartılarak iletkenin yerden yüksekliği 22,3 m bulunur.

$H = 3PA$ ve $3PB$ direkleri +3 gövde için 28,3 m direk uzunluğu alınır ve 3 m iletken-pencerenin iletkene uzunluğu çıkartılarak iletkenin yerden yüksekliği 25,3 m bulunur.

$H = 3PA$ ve $3PB$ direkleri +6 gövde için 31,3 m direk uzunluğu alınır ve 3 m iletken-pencerenin iletkene uzunluğu çıkartılarak iletkenin yerden yüksekliği 28,3 m bulunur.

$H = 3PA$ ve $3PB$ direkleri +9 gövde için 34,3 m direk uzunluğu alınır ve 3 m iletken-pencerenin iletkene uzunluğu çıkartılarak iletkenin yerden yüksekliği 31,3 m bulunur.

$H = 3PA$ ve $3PB$ direkleri +12 gövde için 37,3 m direk uzunluğu alınır ve 3 m iletken-pencerenin iletkene uzunluğu çıkartılarak iletkenin yerden yüksekliği 34,3 m bulunur.

$H = 3PA$ ve $3PB$ direkleri +15 gövde için 40,3 m direk uzunluğu alınır ve 3 m iletken-pencerenin iletkene uzunluğu çıkartılarak iletkenin yerden yüksekliği 37,3 m bulunur.

H= 3PB direği +25 gövde için 50,3 m direk uzunluğu alınır ve 3 m iletken-pencerenin iletkene uzunluğu çıkartılarak iletkenin yerden yüksekliği 47,3 m bulunur.

3PC +0, +3, +6, +9, +12, +15 gövde k_g faz-toprak değerleri iletken-pencere için Tablo 3.3'ten seçilmiştir ve $k_g=1,25$ olarak alınmıştır. Çünkü 3PC tek devre direklerinin ana ölçülerinin iletken-pencere uzaklığı ve S kesiti verilmemiştir.

3PA ve 3PB direkleri +0 gövde için $K_t = k_s \times k_g \times k_a \times k_f \times k_i = 0,936 \times 1,2131 \times 0,972 \times 1 \times 1 = 1,1036$ (faz – toprak için)

3PA ve 3PB direkleri +3 gövde için $K_t = k_s \times k_g \times k_a \times k_f \times k_i = 0,936 \times 1,2181 \times 0,972 \times 1 \times 1 = 1,1082$ (faz – toprak için)

3PA ve 3PB direkleri +6 gövde için $K_t = k_s \times k_g \times k_a \times k_f \times k_i = 0,936 \times 1,2231 \times 0,972 \times 1 \times 1 = 1,1127$ (faz – toprak için)

3PA ve 3PB direkleri +9 gövde için $K_t = k_s \times k_g \times k_a \times k_f \times k_i = 0,936 \times 1,2381 \times 0,972 \times 1 \times 1 = 1,1173$ (faz – toprak için)

3PA ve 3PB direkleri +12 gövde için $K_t = k_s \times k_g \times k_a \times k_f \times k_i = 0,936 \times 1,2331 \times 0,972 \times 1 \times 1 = 1,1218$ (faz – toprak için)

3PA ve 3PB direkleri +15 gövde için $K_t = k_s \times k_g \times k_a \times k_f \times k_i = 0,936 \times 1,2381 \times 0,972 \times 1 \times 1 = 1,1264$ (faz – toprak için)

3PB direği +25 gövde için $K_t = k_s \times k_g \times k_a \times k_f \times k_i = 0,936 \times 1,2548 \times 0,972 \times 1 \times 1 = 1,1416$ (faz – toprak için)

3PC direği +0, +3, +6, +9, +12, +15 gövde için $K_t = k_s \times k_g \times k_a \times k_f \times k_i = 0,936 \times 1,25 \times 0,972 \times 1 \times 1 = 1,1372$ (faz – toprak için)

3PA direği +0, +3, +6, +9, +12, +15 gövde, 3PB direği +0, +3, +6, +9, +12, +15, +25 gövde ve 3PC direği +0, +3, +6, +9, +12, +15 gövde için $K_t = k_s \times k_g \times k_a \times k_f \times k_i = 0,936 \times 1,6 \times 0,972 \times 1 \times 1 = 1,4556$ (faz – faz için)

3- D_U 'nun hesaplanması

$F=0$ (iletken üzerinde herhangi bir iletken parça olmadığı için), $D_E=0,5$ m

$$D_U = 2,17 \times \left(e^{\frac{U_{e90}}{(1080 \times K_T)}} - 1 \right) + F = 2,17 \times \left(e^{\frac{867,6092}{(1080 \times 1,1036)}} - 1 \right) + 0 = 2,3236 \text{ m}$$

$$D_U = 2,17 \times \left(e^{\frac{U_{e90}}{(1080 \times K_T)}} - 1 \right) + F = 2,17 \times \left(e^{\frac{867,6092}{(1080 \times 1,1082)}} - 1 \right) + 0 = 2,3100 \text{ m}$$

$$D_U = 2,17 \times \left(e^{\frac{U_{e90}}{(1080 \times K_T)}} - 1 \right) + F = 2,17 \times \left(e^{\frac{867,6092}{(1080 \times 1,1127)}} - 1 \right) + 0 = 2,2969 \text{ m}$$

$$D_U = 2,17 \times \left(e^{\frac{U_{e90}}{(1080 \times K_T)}} - 1 \right) + F = 2,17 \times \left(e^{\frac{867,6092}{(1080 \times 1,1173)}} - 1 \right) + 0 = 2,2836 \text{ m}$$

$$D_U = 2,17 \times \left(e^{\frac{U_{e90}}{(1080 \times K_T)}} - 1 \right) + F = 2,17 \times \left(e^{\frac{867,6092}{(1080 \times 1,1218)}} - 1 \right) + 0 = 2,2708 \text{ m}$$

$$D_U = 2,17 \times \left(e^{\frac{U_{e90}}{(1080 \times K_T)}} - 1 \right) + F = 2,17 \times \left(e^{\frac{867,6092}{(1080 \times 1,1264)}} - 1 \right) + 0 = 2,2578 \text{ m}$$

$$D_U = 2,17 \times \left(e^{\frac{U_{e90}}{(1080 \times K_T)}} - 1 \right) + F = 2,17 \times \left(e^{\frac{867,6092}{(1080 \times 1,1416)}} - 1 \right) + 0 = 2,2160 \text{ m}$$

3PA ve 3PB direkleri +0 gövde için $D_A = D_U + D_E = 2,3236 + 0,5 = 2,8236 \text{ m}$ (faz – toprak için)

3PA ve 3PB direkleri +3 gövde için $D_A = D_U + D_E = 2,3100 + 0,5 = 2,8100 \text{ m}$ (faz – toprak için)

3PA ve 3PB direkleri +6 gövde için $D_A = D_U + D_E = 2,2969 + 0,5 = 2,7969 \text{ m}$ (faz – toprak için)

3PA ve 3PB direkleri +9 gövde için $D_A = D_U + D_E = 2,2836 + 0,5 = 2,7836 \text{ m}$ (faz – toprak için)

3PA ve 3PB direkleri +12 gövde için $D_A = D_U + D_E = 2,2708 + 0,5 = 2,7708 \text{ m}$ (faz – toprak için)

3PA ve 3PB direkleri +15 gövde için $D_A = D_U + D_E = 2,2578 + 0,5 = 2,7578 \text{ m}$ (faz – toprak için)

3PB direği +25 gövde için $D_A = D_U + D_E = 2,2160 + 0,5 = 2,7160 m$ (faz – toprak için)

$$D_U = 2,17 \times \left(e^{\frac{U_{e90}}{(1080 \times K_T)}} - 1 \right) + F = 2,17 \times \left(e^{\frac{867,6092}{(1080 \times 1,1372)}} - 1 \right) + 0 = 2,2279 m$$

3PC direği +0, +3, +6, +9, +12, +15 gövde için $D_A = D_U + D_E = 2,2279 + 0,5 = 2,7279 m$ (faz – toprak için)

$$D_U = 2,17 \times \left(e^{\frac{U_{e90}}{(1080 \times K_T)}} - 1 \right) + F = 2,17 \times \left(e^{\frac{1320,2748}{(1080 \times 1,4556)}} - 1 \right) + 0 = 3,3557 m$$

3PA direği +0, +3, +6, +9, +12, +15 gövde, 3PB direği +0, +3, +6, +9, +12, +15, +25 gövde ve 3PC direği +0, +3, +6, +9, +12, +15 gövde için $D_A = D_U + D_E = 2,8557 + 0,5 = 3,3557 m$ (faz – faz için)

380 kV'luk enerji iletim hattının 3PA ve 3PC (+0, +3, +6, +9, +12 ve +15 gövde) ve 3PB (+0, +3, +6, +9, +12, +15, +25 gövde) direklerinin faz-toprak ve faz-faz hesaplama sonucu elektriksel mesafe (D_U) elde edilerek ve ergonomic mesafe eklenerek (D_E) minimum yaklaşma mesafesi (D_A) bulunmuştur. Böylece Tablo 3.2'deki minimum yaklaşma mesafesi ile karşılaştırılmış ve sonuç olarak canlı çalışma yapılması için gerekli uygun mesafeyi sağlamaktadırlar.

3PD, 3PE ve 3PF direkleri için minimum yaklaşma mesafesi (D_A) hesabı:

1- U_{90} 'nın hesaplanması

$$u_{e2} = 2,3 \text{ p.u.}, u_{p2} = 3,5 \text{ p.u.}, U_s = 420 \text{ kV}, K_s = 1,1$$

$$U_{e2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times U_{es} \times u_{e2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times 420 \times 2,3 = 788,7356 \text{ kV}$$

$$U_{p2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times U_{ps} \times u_{p2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times 420 \times 3,5 = 1200,2499 \text{ kV}$$

$$U_{e90} = K_s \times U_{e2} = 1,1 \times 788,7356 = 867,6092 \text{ kV}$$

$$U_{p90} = K_s \times U_{p2} = 1,1 \times 1200,2499 = 1320,2748 \text{ kV}$$

2- K_t 'nin hesaplanması

$k_s= 0,936$, $k_a= 0,972$ (0-1000 rakımda), $k_f= 1$ (iletken parka yok iken), $k_i= 1$ (izolatör dizesinde arıza yoksa denklem (3.15)'den hem cam izolatör hem de porselen izolatör için 1 değeri elde edilmektedir.), $k_g=1,6$ (faz-faz için)

3PD ve 3PE direkleri +0, +3, +6, +9, +12 ve +15 gövde k_g faz-toprak değerleri iletken-pencere için Tablo 3.3'den seçilmiştir ve $k_g=1,25$ olarak alınmıştır. Çünkü 3PD tek devre direklerinin ana ölçülerinin iletken-pencere uzaklığı verilmemiştir. Fakat S kesiti verilmiştir. Ayrıca 3PE tek devre direklerinin ana ölçülerinin iletken-pencere uzaklığı ve S kesiti verilmemiştir.

3PD ve 3PE direkleri +0, +3, +6, +9, +12 ve +15 gövde için $K_t = k_s \times k_g \times k_a \times k_f \times k_i = 0,936 \times 1,25 \times 0,972 \times 1 \times 1 = 1,1372$ (faz – toprak için)

3PD ve 3PE direkleri +0, +3, +6, +9, +12 ve +15 gövde için $K_t = k_s \times k_g \times k_a \times k_f \times k_i = 0,936 \times 1,6 \times 0,972 \times 1 \times 1 = 1,4556$ (faz – toprak için)

$$k_g = 1,25 + 0,005 \times \left(\frac{H}{d} - 6\right) + 0,25 \times \left(e^{\frac{-8s}{d}} - 0,2\right) = 1,25 + 0,005 \times \left(\frac{18,3}{3} - 6\right) + 0,25 \times \left(e^{\frac{-8 \times 1,8}{3}} - 0,2\right) = 1,2025 \text{ (3PF direği + 0 gövde, faz – toprak için)}$$

$$k_g = 1,25 + 0,005 \times \left(\frac{H}{d} - 6\right) + 0,25 \times \left(e^{\frac{-8s}{d}} - 0,2\right) = 1,25 + 0,005 \times \left(\frac{21,3}{3} - 6\right) + 0,25 \times \left(e^{\frac{-8 \times 1,8}{3}} - 0,2\right) = 1,2075 \text{ (3PF direği + 3 gövde, faz – toprak için)}$$

$$k_g = 1,25 + 0,005 \times \left(\frac{H}{d} - 6\right) + 0,25 \times \left(e^{\frac{-8s}{d}} - 0,2\right) = 1,25 + 0,005 \times \left(\frac{24,3}{3} - 6\right) + 0,25 \times \left(e^{\frac{-8 \times 1,8}{3}} - 0,2\right) = 1,2125 \text{ (3PF direği + 6 gövde, faz – toprak için)}$$

$$k_g = 1,25 + 0,005 \times \left(\frac{H}{d} - 6\right) + 0,25 \times \left(e^{\frac{-8s}{d}} - 0,2\right) = 1,25 + 0,005 \times \left(\frac{27,3}{3} - 6\right) + 0,25 \times \left(e^{\frac{-8 \times 1,8}{3}} - 0,2\right) = 1,2175 \text{ (3PF direği + 9 gövde, faz – toprak için)}$$

$$k_g = 1,25 + 0,005 \times \left(\frac{H}{d} - 6\right) + 0,25 \times \left(e^{\frac{-8s}{d}} - 0,2\right) = 1,25 + 0,005 \times \left(\frac{30,3}{3} - 6\right) + 0,25 \times \left(e^{\frac{-8 \times 1,8}{3}} - 0,2\right) = 1,2225 \text{ (3PF direği + 12 gövde, faz – toprak için)}$$

$$k_g = 1,25 + 0,005 \times \left(\frac{H}{d} - 6\right) + 0,25 \times \left(e^{\frac{-8s}{d}} - 0,2\right) = 1,25 + 0,005 \times \left(\frac{33,3}{3} - 6\right) + 0,25 \times \left(e^{\frac{-8 \times 1,8}{3}} - 0,2\right) = 1,2275 \text{ (3PF direği + 15 gövde, faz – toprak için)}$$

$d = (d_1 + d_2 + d_3) / 3 = 3 \text{ m}$ (3PF direği +0, +3, +6, +9, +12 ve +15 gövde için iletkenin iletken-pencere'deki uzaklığı)

$S = 1,8 \text{ m}$ (3PF direği +0, +3, +6, +9, +12 ve +15 gövde için iletkenin iletken-pencere'deki genişliği)

$H = 3\text{PF}$ direği +0 gövde için 21,3 m direk uzunluğu alınır ve 3 m iletken-pencerenin iletkene uzunluğu çıkartılarak iletkenin yerden yüksekliği 18,3 m bulunur.

$H = 3\text{PF}$ direği +3 gövde için 24,3 m direk uzunluğu alınır ve 3 m iletken-pencerenin iletkene uzunluğu çıkartılarak iletkenin yerden yüksekliği 21,3 m bulunur.

$H = 3\text{PF}$ direği +6 gövde için 27,3 m direk uzunluğu alınır ve 3 m iletken-pencerenin iletkene uzunluğu çıkartılarak iletkenin yerden yüksekliği 24,3 m bulunur.

$H = 3\text{PF}$ direği +9 gövde için 30,3 m direk uzunluğu alınır ve 3 m iletken-pencerenin iletkene uzunluğu çıkartılarak iletkenin yerden yüksekliği 27,3 m bulunur.

$H = 3\text{PF}$ direği +12 gövde için 33,3 m direk uzunluğu alınır ve 3 m iletken-pencerenin iletkene uzunluğu çıkartılarak iletkenin yerden yüksekliği 30,3 m bulunur.

$H = 3\text{PF}$ direği +15 gövde için 36,3 m direk uzunluğu alınır ve 3 m iletken-pencerenin iletkene uzunluğu çıkartılarak iletkenin yerden yüksekliği 33,3 m bulunur.

$$3\text{PF} \text{ direkleri } +0, +3, +6, +9, +12 \text{ ve } +15 \text{ gövde için } K_t = k_s \times k_g \times k_a \times k_f \times k_i = 0,936 \times 1,2025 \times 0,972 \times 1 \times 1 = 1,0940 \text{ (faz – toprak için)}$$

$$3\text{PF} \text{ direkleri } +0, +3, +6, +9, +12 \text{ ve } +15 \text{ gövde için } K_t = k_s \times k_g \times k_a \times k_f \times k_i = 0,936 \times 1,2075 \times 0,972 \times 1 \times 1 = 1,0985 \text{ (faz – toprak için)}$$

$$3PF \text{ direkleri } +0, +3, +6, +9, +12 \text{ ve } +15 \text{ gövde için } K_t = k_s \times k_g \times k_a \times k_f \times k_i = 0,936 \times 1,2125 \times 0,972 \times 1 \times 1 = 1,1031 \text{ (faz - toprak için)}$$

$$3PF \text{ direkleri } +0, +3, +6, +9, +12 \text{ ve } +15 \text{ gövde için } K_t = k_s \times k_g \times k_a \times k_f \times k_i = 0,936 \times 1,2175 \times 0,972 \times 1 \times 1 = 1,1076 \text{ (faz - toprak için)}$$

$$3PF \text{ direkleri } +0, +3, +6, +9, +12 \text{ ve } +15 \text{ gövde için } K_t = k_s \times k_g \times k_a \times k_f \times k_i = 0,936 \times 1,2225 \times 0,972 \times 1 \times 1 = 1,1122 \text{ (faz - toprak için)}$$

$$3PF \text{ direkleri } +0, +3, +6, +9, +12 \text{ ve } +15 \text{ gövde için } K_t = k_s \times k_g \times k_a \times k_f \times k_i = 0,936 \times 1,2275 \times 0,972 \times 1 \times 1 = 1,1167 \text{ (faz - toprak için)}$$

$$3PD, 3PE \text{ ve } 3PF \text{ direkleri } +0, +3, +6, +9, +12 \text{ ve } +15 \text{ gövde için } K_t = k_s \times k_g \times k_a \times k_f \times k_i = 0,936 \times 1,6 \times 0,972 \times 1 \times 1 = 1,4556 \text{ (faz - faz için)}$$

3- D_U 'nun hesaplanması

$F=0$ (iletken üzerinde herhangi bir iletken parça olmadığı için), $D_E=0,5$ m

$$D_U = 2,17 \times \left(e^{\frac{U_{e90}}{(1080 \times K_t)}} - 1 \right) + F = 2,17 \times \left(e^{\frac{867,6092}{(1080 \times 1,1372)}} - 1 \right) + 0 = 2,2279 \text{ m}$$

$$3PD \text{ ve } 3PE \text{ direkleri } +0, +3, +6, +9, +12 \text{ ve } +15 \text{ gövde için } D_A = D_U + D_E = 2,2279 + 0,5 = 2,7279 \text{ m (faz - toprak için)}$$

$$D_U = 2,17 \times \left(e^{\frac{U_{e90}}{(1080 \times K_t)}} - 1 \right) + F = 2,17 \times \left(e^{\frac{867,6092}{(1080 \times 1,0940)}} - 1 \right) + 0 = 2,3524 \text{ m}$$

$$D_U = 2,17 \times \left(e^{\frac{U_{e90}}{(1080 \times K_t)}} - 1 \right) + F = 2,17 \times \left(e^{\frac{867,6092}{(1080 \times 1,0985)}} - 1 \right) + 0 = 2,3391 \text{ m}$$

$$D_U = 2,17 \times \left(e^{\frac{U_{e90}}{(1080 \times K_t)}} - 1 \right) + F = 2,17 \times \left(e^{\frac{867,6092}{(1080 \times 1,1031)}} - 1 \right) + 0 = 2,3250 \text{ m}$$

$$D_U = 2,17 \times \left(e^{\frac{U_{e90}}{(1080 \times K_t)}} - 1 \right) + F = 2,17 \times \left(e^{\frac{867,6092}{(1080 \times 1,1076)}} - 1 \right) + 0 = 2,3118 \text{ m}$$

$$D_U = 2,17 \times \left(e^{\frac{U_{e90}}{(1080 \times K_t)}} - 1 \right) + F = 2,17 \times \left(e^{\frac{867,6092}{(1080 \times 1,1122)}} - 1 \right) + 0 = 2,2983 \text{ m}$$

$$D_U = 2,17 \times \left(e^{\frac{U_{e90}}{(1080 \times K_T)}} - 1 \right) + F = 2,17 \times \left(e^{\frac{867,6092}{(1080 \times 1,1167)}} - 1 \right) + 0 = 2,2853 \text{ m}$$

3PF direği +0 gövde için $D_A = D_U + D_E = 2,3524 + 0,5 = 2,8524 \text{ m}$ (faz – toprak için)

3PF direği +3 gövde için $D_A = D_U + D_E = 2,3391 + 0,5 = 2,8391 \text{ m}$ (faz – toprak için)

3PF direği +6 gövde için $D_A = D_U + D_E = 2,3250 + 0,5 = 2,8250 \text{ m}$ (faz – toprak için)

3PF direği +9 gövde için $D_A = D_U + D_E = 2,3118 + 0,5 = 2,8118 \text{ m}$ (faz – toprak için)

3PF direği +12 gövde için $D_A = D_U + D_E = 2,2983 + 0,5 = 2,7983 \text{ m}$ (faz – toprak için)

3PF direği +15 gövde için $D_A = D_U + D_E = 2,2853 + 0,5 = 2,7853 \text{ m}$ (faz – toprak için)

$$D_U = 2,17 \times \left(e^{\frac{U_{e90}}{(1080 \times K_T)}} - 1 \right) + F = 2,17 \times \left(e^{\frac{1320,2748}{(1080 \times 1,4556)}} - 1 \right) + 0 = 2,8557 \text{ m}$$

3PD, 3PE ve 3PF direkleri +0, +3, +6, +9, +12 ve +15 gövde için $D_A = D_U + D_E = 2,2279 + 0,5 = 3,3557 \text{ m}$ (faz – faz için)

380 kV'luk enerji iletim hattının 3PD, 3PE ve 3PF (+0, +3, +6, +9, +12 ve +15 gövde) direklerinin faz-toprak ve faz-faz hesaplama sonucu elektriksel mesafe (D_U) elde edilerek ve ergonomic mesafe eklenerek (D_E) minimum yaklaşma mesafesi (D_A) bulunmuştur. Böylece Tablo 3.2'deki minimum yaklaşma mesafesi ile karşılaştırılmıştır ve sonuç olarak canlı çalışma yapılması için gerekli uygun mesafeyi sağlamaktadırlar.

4.2.4. 2027 mm² özel iletken - Tek özel bölge - PAH, PCH, PDH, PEH direkleri ve minimum yaklaşma mesafesi hesabı

Burada PAH, PCH, PDH ve PEH direklerinin gövdelerinin konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüleri Tablo 4.6’te gösterilmiştir. Tablo 4.6’teki veriler ile bölüm 3.1.2’de verilen denklemler ve tablolar kullanılarak minimum yaklaşma mesafesi hesaplanmış ve canlı bakım yapılmasına uygun olup olmadığı belirlenmiştir. Ek B’de 380 kV kedi tipi tek devre özel bölge direklerinin ana ölçülerinin gösterimi verilmiştir [3, 20, 29, 86].

Tablo 4.6. PAH, PCH, PDH, PEH direklerin gövdelerinin konsol-toprak arası uzaklıkları ve direk ana ölçüleri [86]

PAH direği gövdelerinin konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüler			
Gövde	Konsol ile (1) ayak arası uzaklık h_5 m (m)	Konsol ile (8) ayak arası uzaklık h_6 (m)	
+0	16,3	23,3	
+4	20,3	27,3	
+8	24,3	31,3	
+12	28,3	35,3	
+16	32,3	39,3	
+20	36,3	43,3	
H =52,38 m $a_1= 10,1$ m	$h_1=9,38$ m $a_2=6,2$ m	$h_2=9,4$ m $a_3= 4$ m	$h_3= 33,6$ m $a_4= 13$ m
PCH direği gövdelerinin konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüler			
Gövde	Konsol ile (1) ayak arası uzaklık h_5 m (m)	Konsol ile (8) ayak arası uzaklık h_6 (m)	
+0	16,3	23,3	
+4	20,3	27,3	
+8	24,3	31,3	
+12	28,3	35,3	
+16	32,3	39,3	
+20	36,3	43,3	
H =52,38 m $a_1= 11$ m	$h_1=9,38$ m $a_2=7,1$ m	$h_2=9,4$ m $a_3= 4$ m	$h_3= 33,6$ m $a_4= 13$ m
Konsol ve toprak kulesi yatay ölçüleri farklı, ana gövde ve ayak düşey-yatay ölçüleri PAH direği ile aynıdır.			
PDH direği gövdelerinin konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüler			
Gövde	Konsol ile (1) ayak arası uzaklık h_5 m (m)	Konsol ile (8) ayak arası uzaklık h_6 (m)	
+0	16,3	23,3	
+4	20,3	27,3	
+8	24,3	31,3	
+12	28,3	35,3	
+16	32,3	39,3	
+20	36,3	43,3	
H =53 m $a_1= 9$ m	$h_1=10$ m $a_2=4,35$ m	$h_2=10$ m $a_3= 5,4$ m	$h_3= 33$ m $a_4= 17,3$ m
PEH direği gövdelerinin konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüler			
Gövde	Konsol ile (1) ayak arası uzaklık h_5 m (m)	Konsol ile (8) ayak arası uzaklık h_6 (m)	
+0	16,3	23,3	
+4	20,3	27,3	

+8	24,3	31,3	
+12	28,3	35,3	
+16	32,3	39,3	
+20	36,3	43,3	
H =53 m	h ₁ =10 m	h ₂ =10 m	h ₃ = 33 m
a ₁ = 9 m	a ₂ =4,35 m	a ₃ = 5,4 m	a ₄ = 17,3 m
Konsol ve toprak kulesi yatay ölçüleri farklı, ana gövde ve ayak düşey-yatay ölçüleri PDH direği ile aynıdır.			

PAH, PCH, PDH, PEH direklerinin payanda civatası-toprak ara mesafesi h₄=300 mm'dir [86].

PAH, PCH, PDH ve PEH direkleri için minimum yaklaşma mesafesi (D_A) hesabı;

1- U₉₀'nın hesaplanması

$$u_{e2} = 2,3 \text{ p.u.}, u_{p2} = 3,5 \text{ p.u.}, U_s = 420 \text{ kV}, K_s = 1,1$$

$$U_{e2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times U_{es} \times u_{e2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times 420 \times 2,3 = 788,7356 \text{ kV}$$

$$U_{p2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times U_{ps} \times u_{p2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times 420 \times 3,5 = 1200,2499 \text{ kV}$$

$$U_{e90} = K_s \times U_{e2} = 1,1 \times 788,7356 = 867,6092 \text{ kV}$$

$$U_{p90} = K_s \times U_{p2} = 1,1 \times 1200,2499 = 1320,2748 \text{ kV}$$

2- K_i'nin hesaplanması

k_s = 0,936, k_a = 0,972 (0-1000 rakımda), k_f = 1 (iletken parça yok iken), k_i = 1 (izolatör dizesinde arıza yoksa denklem (3.15)'ten hem cam izolatör hem de porselen izolatör için 1 değeri elde edilmektedir.), k_g = 1,6 (faz-faz için)

PAH, PCH, PDH ve PEH direkleri +0, +4, +8, +12, +16 ve +20 gövde k_g faz-toprak değerleri iletken-pencere için Tablo 3.3'ten seçilmiş ve k_g = 1,25 olarak alınmıştır. Çünkü PAH, PCH, PDH ve PEH 380 kV kedi tipi tek devre özel bölge direklerinin ana ölçülerinin iletken-pencere'deki uzaklığı 'd' verilmemiştir.

$$K_t = k_s \times k_g \times k_a \times k_f \times k_i = 0,936 \times 1,25 \times 0,972 \times 1 \times 1 = 1,1372 \text{ (faz - toprak için)}$$

PAH, PCH, PDH ve PEH direkleri +0, +4, +8, +12. +16 ve +20 gövde için $K_t = k_s \times k_g \times k_a \times k_f \times k_i = 0,936 \times 1,6 \times 0,972 \times 1 \times 1 = 1,4556$ (faz – faz için)

3- D_U 'nun hesaplanması

$F=0$ (iletken üzerinde herhangi bir iletken parça olmadığı için), $D_E=0,5$ m

$$D_U = 2,17 \times \left(e^{\frac{U_{e90}}{(1080 \times K_t)}} - 1 \right) + F = 2,17 \times \left(e^{\frac{867,6092}{(1080 \times 1,1372)}} - 1 \right) + 0 = 2,2279 \text{ m}$$

PAH, PCH, PDH ve PEH direkleri +0, +4, +8, +12. +16 ve +20 gövde için $D_A = D_U + D_E = 2,2279 + 0,5 = 2,7279 \text{ m}$ (faz – toprak için)

$$D_U = 2,17 \times \left(e^{\frac{U_{e90}}{(1080 \times K_t)}} - 1 \right) + F = 2,17 \times \left(e^{\frac{1320,2748}{(1080 \times 1,4556)}} - 1 \right) + 0 = 2,8557 \text{ m}$$

PAH, PCH, PDH ve PEH direkleri +0, +4, +8, +12. +16 ve +20 gövde için $D_A = D_U + D_E = 2,8557 + 0,5 = 3,3557 \text{ m}$ (faz – faz için)

380 kV'luk enerji iletim hattının PAH, PCH, PDH ve PEH (+0, +4, +8, +12. +16 ve +20 gövde) direklerinin faz-toprak ve faz-faz hesaplama sonucu elektriksel mesafe (D_U) elde edilerek ve ergonomic mesafe (D_E) eklenerek minimum yaklaşma mesafesi (D_A) bulunmuştur. Böylece Tablo 3.2'deki minimum yaklaşma mesafesi ile karşılaştırılmış ve sonuç olarak canlı çalışma yapılması için gerekli uygun mesafeyi sağlamaktadırlar.

4.2.5. 3B Çift Devre 954 MCM – S1, S2, S3, T1, T2, T3 direkleri ve minimum yaklaşma mesafesi hesabı

Burada S1, S2, S3, T1, T2, T3 direklerinin gövdelerinin konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüleri Tablo 4.7'te gösterilmiştir. Tablo 4.7'teki veriler ile bölüm 3.1.2'de verilen denklemler ve tablolar kullanılarak minimum yaklaşma mesafesi hesaplanmış ve canlı bakım yapılmasına uygun olup olmadığı belirlenmiştir. Ek C'de 380 kV 3B 954 MCM çift devre direklerinin, 954 MCM 380/154 müşterek direklerinin, 1272 MCM dört devre direklerinin ve 1272 MCM çift devre direklerinin ana ölçülerinin gösterimi verilmiştir [86].

Tablo 4.7. S1, S2, S3, T1, T2, T3 direklerin gövdelerinin konsol-toprak arası uzaklıkları ve direk ana ölçüleri [86]

S1 direği gövdelerinin konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüler		
Gövde	Konsol ile (1) ayak arası uzaklık h_6 (m)	Konsol ile (6) ayak arası uzaklık h_7 (m)
+0	20,25	25,25
+3	23,25	28,25
+6	26,25	31,25
+9	29,25	34,25
+12	32,25	27,25
+15	35,25	40,25
H=61,83 m $h_1=4,63$ m $h_2=9,05$ m $h_3=8,15$ m $h_4=40,0$ m $a_1=7,05$ m $a_2=1,6$ m $a_3=7,43$ m $a_4=9,73$ m $a_5=8,23$ m $a_6=3,6$ (*) m $a_7=12,6$ m (*) Ana gövde içinde eğimin değiştiği noktadaki genişliktir.		
S2 direği gövdelerinin konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüler		
Gövde	Konsol ile (1) ayak arası uzaklık h_6 (m)	Konsol ile (6) ayak arası uzaklık h_7 (m)
+0	20,25	25,25
+3	23,25	28,25
+6	26,25	31,25
+9	29,25	34,25
+12	32,25	27,25
+15	35,25	40,25
H=61,83 m $h_1=4,63$ m $h_2=9,05$ m $h_3=8,15$ m $h_4=40,0$ m $a_1=7,05$ m $a_2=1,6$ m $a_3=7,43$ m $a_4=9,73$ m $a_5=8,23$ m $a_6=3,6$ (*) m $a_7=12,6$ m (*) Ana gövde içinde eğimin değiştiği noktadaki genişliktir. Konsol gövde ve ayak düşey-yatay ölçüleri S1 direği ile aynıdır.		
S3 direği gövdelerinin konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüler		
Gövde	Konsol ile (1) ayak arası uzaklık h_6 (m)	Konsol ile (6) ayak arası uzaklık h_7 (m)
+0	20,25	25,25
+3	23,25	28,25
+6	26,25	31,25
+9	29,25	34,25
+12	32,25	27,25
+15	35,25	40,25
H=62,53 m $h_1=4,63$ m $h_2=9,4$ m $h_3=8,5$ m $h_4=40,0$ m $a_1=7,5$ m $a_2=2$ m $a_3=7,43$ m $a_4=10,34$ m $a_5=8,84$ m $a_6=3,6$ (*) m $a_7=12,6$ m (*) Ana gövde içinde eğimin değiştiği noktadaki genişliktir. Konsol gövde ve ayak düşey-yatay ölçüleri S1 ve S2 direği ile aynıdır.		
T1 direği gövdelerinin konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüler		
Gövde	Konsol ile (1) ayak arası uzaklık h_6 (m)	Konsol ile (6) ayak arası uzaklık h_7 (m)
+0	16,25	21,25
+3	19,25	24,25
+6	22,25	27,25
+9	25,25	30,25
+12	28,25	33,25
+15	31,25	36,25
H=61 m $h_1=8$ m $h_2=9,05$ m $h_3=7,95$ m $h_4=36$ m $A_1=9,5$ m $a_2=3$ m $a_3=7,5$ m $a_4=10$ m $a_5=8,5$ m $a_6=4$ m $a_7=17,6$ m		
T2 direği gövdelerinin konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüler		
Gövde	Konsol ile (1) ayak arası uzaklık h_6 (m)	Konsol ile (6) ayak arası uzaklık h_7 (m)

+0	16,25	21,25
+3	19,25	24,25
+6	22,25	27,25
+9	25,25	30,25
+12	28,25	33,25
+15	31,25	36,25
H=61 m h ₁ =8 m h ₂ =9,05 m h ₃ =7,95 m h ₄ =36 m a ₁ =9,5 m a ₂ =3 m a ₃ =7,5 m a ₄ =10 m a ₅ =8,5 m a ₆ = 4 m a ₇ =17,6 m Konsol gövde ve ayak düşey-yatay ölçüleri T1 direği ile aynıdır.		
T3 direği gövdelerinin konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüler		
Gövde	Konsol ile (1) ayak arası uzaklık h ₆ (m)	Konsol ile (6) ayak arası uzaklık h ₇ (m)
+0	16,25	21,25
+3	19,25	24,25
+6	22,25	27,25
+9	25,25	30,25
+12	28,25	33,25
+15	31,25	36,25
H=61 m h ₁ =8 m h ₂ =9,05 m h ₃ =7,95 m h ₄ =36 m a ₁ =9,5 m a ₂ =3 m a ₃ =7,5 m a ₄ =10 m a ₅ =8,5 m a ₆ = 4 m a ₇ =17,6 m Konsol gövde ve ayak düşey-yatay ölçüleri T1 ve T2 direği ile aynıdır.		

S1, S2, S3, T1, T2, T3 direklerinin payanda civatası-toprak ara mesafesi h₅=250 mm'dir [86].

S1, S2, S3, T1, T2 ve T3 direkleri için minimum yaklaşma mesafesi (D_A) hesabı;

1- U₉₀'nın hesaplanması

$$u_{e2} = 2,3 \text{ p.u.}, u_{p2} = 3,5 \text{ p.u.}, U_s = 420 \text{ kV}, K_s = 1,1$$

$$U_{e2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times U_{es} \times u_{e2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times 420 \times 2,3 = 788,7356 \text{ kV}$$

$$U_{p2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times U_{ps} \times u_{p2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times 420 \times 3,5 = 1200,2499 \text{ kV}$$

$$U_{e90} = K_s \times U_{e2} = 1,1 \times 788,7356 = 867,6092 \text{ kV}$$

$$U_{p90} = K_s \times U_{p2} = 1,1 \times 1200,2499 = 1320,2748 \text{ kV}$$

2- K_i'nin hesaplanması

k_s= 0,936, k_a= 0,972 (0-1000 rakımda), k_r= 1 (iletken parça yok iken), k_i= 1 (izolatör dizisinde arıza yoksa denklem (3.15)'den hem cam izolatör hem de porselen izolatör için 1 değeri elde edilmektedir.), k_g=1,6 (faz-faz için)

S1, S2, S3, T1, T2 ve T3 direkleri +0, +3, +6, +9, +12 ve +15 gövde kg faz-toprak değerleri iletken-pencere için Tablo 2.3'ten seçilmiştir ve $k_g=1,25$ olarak alınmıştır. Çünkü S1, S2, S3, T1, T2 ve T3 380 kV 3B 954 MCM çift devre direklerinin S kesiti verilmemiştir.

S1, S2, S3, T1, T2 ve T3 direkleri +0, +3, +6, +9, +12 ve +15 gövde için $K_t = k_s \times k_g \times k_a \times k_f \times k_i = 0,936 \times 1,45 \times 0,972 \times 1 \times 1 = 1,13191$ (faz – toprak için)

S1, S2, S3, T1, T2 ve T3 direkleri +0, +3, +6, +9, +12 ve +15 gövde için $K_t = k_s \times k_g \times k_a \times k_f \times k_i = 0,936 \times 1,6 \times 0,972 \times 1 \times 1 = 1,4556$ (faz – faz için)

3- D_U 'nun hesaplanması

$F=0$ (iletken üzerinde herhangi bir iletken parça olmadığı için), $D_E=0,5$ m

$$D_U = 2,17 \times \left(e^{\frac{U_{e90}}{(1080 \times K_t)}} - 1 \right) + F = 2,17 \times \left(e^{\frac{867,6092}{(1080 \times 1,3191)}} - 1 \right) + 0 = 1,8197 \text{ metre}$$

S1, S2, S3, T1, T2 ve T3 direkleri +0, +3, +6, +9, +12 ve +15 gövde için $D_A = D_U + D_E = 1,8197 + 0,5 = 2,3197$ m (faz – toprak için)

$$D_U = 2,17 \times \left(e^{\frac{U_{e90}}{(1080 \times K_t)}} - 1 \right) + F = 2,17 \times \left(e^{\frac{1320,2748}{(1080 \times 1,4556)}} - 1 \right) + 0 = 2,8557 \text{ m}$$

S1, S2, S3, T1, T2 ve T3 direkleri +0, +3, +6, +9, +12 ve +15 gövde için $D_A = D_U + D_E = 2,8557 + 0,5 = 3,3557$ m (faz – faz için)

380 kV'luk enerji iletim hattının S1, S2, S3, T1, T2 ve T3 (+0, +3, +6, +9, +12 ve +15 gövde) direklerinin faz-toprak ve faz-faz hesaplama sonucu elektriksel mesafe (D_U) elde edilerek ve ergonomik mesafe (D_E) eklenerek minimum yaklaşma mesafesi (D_A) bulunmuştur. Böylece Tablo 3.2'deki minimum yaklaşma mesafesi ile karşılaştırılmış ve sonuç olarak canlı çalışma yapılması için gerekli uygun mesafeyi sağlamaktadırlar.

4.2.6. 3B 954 MCM - müşterek çift devre – M1, M2, M3 direkleri ve minimum yaklaşma mesafesi hesabı

Burada M1, M2 ve M3 direklerinin gövdelerinin konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüleri Tablo 4.8’de gösterilmiştir. Ve Tablo 4.8’deki veriler ile bölüm 3.1.2’de verilen denklemler ve Tablolar kullanılarak minimum yaklaşma mesafesi hesaplanmış ve canlı bakım yapılmasına uygun olup olmadığı belirlenmiştir. Ek C’de 380 kV 3B 954 MCM çift devre direklerinin, 954 MCM 380/154 kV müşterek direklerinin, 1272 MCM dört devre direklerinin ve 1272 MCM çift devre direklerinin ana ölçülerinin gösterimi verilmiştir [86].

Tablo 4.8. M1, M2 ve M3 direklerin gövdelerinin konsol-toprak arası uzaklıkları ve direk ana ölçüleri [86]

M1 direği gövdelerinin 380 kV alt konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüleri		
Gövde	Konsol ile (0) ayak arası uzaklık h_6 (m)	Konsol ile (2) ayak arası uzaklık h_7 (m)
+0	28,3	30,3
+3	31,3	33,3
+6	34,3	36,3
+9	37,3	39,3
+12	40,3	42,3
+15	43,3	45,3
$H=63,4$ m $h_1=6,4$ m $h_2=6$ m $h_3=6$ m $h_4=45$ m $a_1=5,15$ m $a_2=2$ m $a_3=KK$ $a_4=KK$ $a_5=KK$ $a_6= 2$ (*) m $a_7=7,67$ m (*) Ana gövde içinde eğimin değiştiği noktadaki genişliktir. KK: Kısa çelik konsol, bu direkte izolatör konsol kullanılmıştır.		
M2 direği gövdelerinin 380 kV alt konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüleri		
Gövde	Konsol ile (0) ayak arası uzaklık h_6 (m)	Konsol ile (2) ayak arası uzaklık h_7 (m)
+0	25,3	27,3
+3	28,3	30,3
+6	31,3	33,3
+9	34,3	36,3
+12	37,3	39,3
+15	40,3	42,3
$H=70$ m $h_1=9,2$ m $h_2=9,4$ m $h_3=9,4$ m $h_4=42$ m $a_1=5,7$ m $a_2=3$ m $a_3=7,3$ m $a_4=7,3$ m $a_5=7,5$ m $a_6= 3$ m $a_7=10,35$ m		
M3 direği gövdelerinin 380 kV alt konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüleri		
Gövde	Konsol ile (0) ayak arası uzaklık h_6 (m)	Konsol ile (2) ayak arası uzaklık h_7 (m)
+0	25,3	27,3
+3	28,3	30,3
+6	31,3	33,3
+9	34,3	36,3
+12	37,3	39,3
+15	40,3	42,3
$H=70$ m $h_1=9,2$ m $h_2=9,4$ m $h_3=9,4$ m $h_4=42$ m $a_1=6,2$ m $a_2=4$ m $a_3=7,8$ m $a_4=7,8$ m $a_5=8,1$ m $a_6= 4$ m $a_7=10,3$ m Konsol, gövde ve ayak düşey ölçüleri M2 direği ile aynıdır.		

M1, M2, M3 direklerinin payanda civatası-toprak ara mesafesi $h_5=300$ mm’dir [86].

M1, M2 ve M3 direkleri için minimum yaklaşma mesafesi (D_A) hesabı;

1- U₉₀'nın hesaplanması

$$u_{e2} = 2,3 \text{ p.u.}, u_{p2} = 3,5 \text{ p.u.}, U_s = 420 \text{ kV}, K_s = 1,1$$

$$U_{e2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times U_{es} \times u_{e2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times 420 \times 2,3 = 788,7356 \text{ kV}$$

$$U_{p2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times U_{ps} \times u_{p2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times 420 \times 3,5 = 1200,2499 \text{ kV}$$

$$U_{e90} = K_s \times U_{e2} = 1,1 \times 788,7356 = 867,6092 \text{ kV}$$

$$U_{p90} = K_s \times U_{p2} = 1,1 \times 1200,2499 = 1320,2748 \text{ kV}$$

2- K_t'nin hesaplanması

k_s = 0,936, k_a = 0,972 (0-1000 rakımda), k_f = 1 (iletken parça yok iken), k_i = 1 (izolatör dizisinde arıza yoksa denklem (3.15)'ten hem cam izolatör hem de porselen izolatör için 1 değeri elde edilmektedir.), k_g = 1,6 (faz-faz için)

M1, M2 ve M3 direkleri +0, +3, +6, +9, +12 ve +15 gövde k_g faz-toprak değerleri iletken-çapraz kol için Tablo 2.3'ten seçilmiştir ve k_g = 1,45 olarak alınmıştır. Çünkü M1, M2 ve M3 380 kV müşterek çift devre direklerinin ana ölçülerinin iletken-pencere uzaklığı ve S kesiti verilmemiştir.

$$\text{M1, M2 ve M3 direkleri +0, +3, +6, +9, +12 ve +15 gövde için } K_t = k_s \times k_g \times k_a \times k_f \times k_i = 0,936 \times 1,45 \times 0,972 \times 1 \times 1 = 1,3191 \text{ (faz - toprak için)}$$

$$\text{M1, M2 ve M3 direkleri +0, +3, +6, +9, +12 ve +15 gövde için } K_t = k_s \times k_g \times k_a \times k_f \times k_i = 0,936 \times 1,6 \times 0,972 \times 1 \times 1 = 1,4556 \text{ (faz - faz için)}$$

3- D_U'nun hesaplanması

$$F = 0 \text{ (iletken üzerinde herhangi bir iletken parça olmadığı için)}, DE = 0,5 \text{ m}$$

$$D_U = 2,17 \times \left(e^{\frac{U_{e90}}{(1080 \times K_t)}} - 1 \right) + F = 2,17 \times \left(e^{\frac{867,6092}{(1080 \times 1,3191)}} - 1 \right) + 0 = 1,8197 \text{ m}$$

$$D_U = 2,17 \times \left(e^{\frac{U_{e90}}{(1080 \times K_t)}} - 1 \right) + F = 2,17 \times \left(e^{\frac{1320,2748}{(1080 \times 1,4556)}} - 1 \right) + 0 = 2,8557 \text{ m}$$

M1, M2 ve M3 direkleri +0, +3, +6, +9, +12 ve +15 gövde için $D_A = D_U + D_E = 1,8197 + 0,5 = 2,3197 \text{ m}$ (faz – toprak için)

M1, M2 ve M3 direkleri +0, +3, +6, +9, +12 ve +15 gövde için $D_A = D_U + D_E = 2,2279 + 0,5 = 3,8557 \text{ m}$ (faz – faz için)

380 kV'luk enerji iletim hattının M1, M2 ve M3 (+0, +3, +6, +9, +12 ve +15 gövde) direklerinin faz-toprak ve faz-faz hesaplama sonucu elektriksel mesafe (D_U) elde edilmiş ve ergonomik mesafe eklenerek (D_E) minimum yaklaşma mesafesi (D_A) bulunmuştur. Böylece Tablo 3.2'deki minimum yaklaşma mesafesi ile karşılaştırılmıştır ve sonuç olarak canlı çalışma yapılması için gerekli uygun mesafeyi sağlamaktadırlar.

4.2.7. 2B 1272 MCM dört devre – DS1, DS2, DT1, DT2 direkleri ve minimum yaklaşma mesafesi hesabı

Burada DS1, DS2, DT1 ve DT2 direklerinin gövdelerinin konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüleri Tablo 4.9'da gösterilmiştir. Tablo 4.9'daki veriler ile bölüm 3.1.2'de verilen denklemler ve tablolar kullanılarak minimum yaklaşma mesafesi hesaplanmış ve canlı bakım yapılmasına uygun olup olmadığı belirlenmiştir. Ek C'de 380 kV 3B 954 MCM çift devre direklerinin, 954 MCM 380/154 kV müşterek direklerinin, 1272 MCM dört devre direklerinin ve 1272 MCM çift devre direklerinin ana ölçüleri gösterilmiştir [86].

Tablo 4.9. DS1, DS2, DT1 ve DT2 direklerin gövdelerinin konsol-toprak arası uzaklıkları ve direk ana ölçüleri [86]

DS1 direği gövdelerinin alt konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüleri		
Gövde	Konsol ile (1) ayak arası uzaklık h_6 (m)	Konsol ile (6) ayak arası uzaklık h_7 (m)
+0	25,3	30,3
+3	28,3	33,3
+6	31,3	36,3
+9	34,3	39,3
+12	37,3	42,3
+15	40,3	45,3
H=80,2 m $h_1=5,8 \text{ m}$ $h_2=14,7 \text{ m}$ $h_3=14,7 \text{ m}$ $h_4=45 \text{ m}$ $a_1=11,2 \text{ m}$ $a_2=1,8 \text{ m}$ $a_3=13,7 \text{ m}$ $a_4=14,1 \text{ m}$ $a_5=14,5 \text{ m}$ $a_6= 4 (*) \text{ m}$ $a_7=13 \text{ m}$		

(*) ana gövde içinde eğimin değiştiği noktadaki genişliktir.		
DS2 direği gövdelerinin alt konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüleri		
Gövde	Konsol ile (1) ayak arası uzaklık h ₆ (m)	Konsol ile (6) ayak arası uzaklık h ₇ (m)
+0	25,3	30,3
+3	28,3	33,3
+6	31,3	36,3
+9	34,3	39,3
+12	37,3	42,3
+15	40,3	45,3
+18	43,3	48,3
H=84,96 m h ₁ =4,96 m h ₂ =15 m h ₃ =15 m h ₄ =50 m a ₁ =11,87 m a ₂ =1,8 m a ₃ =14,2 m a ₄ =14,6 m a ₅ =15 m a ₆ = 4 (*) m a ₇ =14,2 m (*) Ana gövde içinde eğimin değiştiği noktadaki genişliktir. (**) +18 gövde 8 m ayak seviyesindeki genişliktir.		
DT1 direği gövdelerinin alt konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüleri		
Gövde	Konsol ile (1) ayak arası uzaklık h ₆ (m)	Konsol ile (6) ayak arası uzaklık h ₇ (m)
+0	19,3	24,3
+3	22,3	27,3
+6	25,3	30,3
+9	28,3	33,3
+12	31,3	36,3
+15	34,3	39,3
H=75 m h ₁ =10 m h ₂ =13 m h ₃ =13 m h ₄ =39 m a ₁ =13,2 m a ₂ =4 m a ₃ =16,4 m a ₄ =16,9 m a ₅ =17,4 m a ₆ = 6,2 m a ₇ =18,7 m		
DT2 direği gövdelerinin alt konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüleri		
Gövde	Konsol ile (1) ayak arası uzaklık h ₆ (m)	Konsol ile (6) ayak arası uzaklık h ₇ (m)
+0	19,3	24,3
+3	22,3	27,3
+6	25,3	30,3
+9	28,3	33,3
+12	31,3	36,3
+15	34,3	39,3
H=75 m h ₁ =10 m h ₂ =13 m h ₃ =13 m h ₄ =39 m a ₁ =13,2 m a ₂ =4 m a ₃ =16,4 m a ₄ =16,9 m a ₅ =17,4 m a ₆ = 6,2 m a ₇ =18,7 m Konsol, gövde ve ayak düşey yatay ölçüleri DT1 direği ile aynıdır.		

DS1, DS2, DT1, DT2 direklerinin payanda civatası-toprak ara mesafesi h₅=300 mm'dir [86].

DS1, DS2, DT1 ve DT2 direkleri için minimum yaklaşma mesafesi (D_A) hesabı;

1- U₉₀'nın hesaplanması

u_{e2}= 2,3 p.u., u_{p2}=3,5 p.u., U_s= 420 kV, K_s= 1,1

$$U_{e2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times U_{es} \times u_{e2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times 420 \times 2,3 = 788,7356 \text{ kV}$$

$$U_{p2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times U_{ps} \times u_{p2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times 420 \times 3,5 = 1200,2499 \text{ kV}$$

$$U_{e90} = K_s \times U_{e2} = 1,1 \times 788,7356 = 867,6092 \text{ kV}$$

$$U_{p90} = K_s \times U_{p2} = 1,1 \times 1200,2499 = 1320,2748 \text{ kV}$$

2- K_t 'nin hesaplanması

$k_s = 0,936$, $k_a = 0,972$ (0-1000 rakımda), $k_f = 1$ (iletken parça yok iken), $k_i = 1$ (izolatör dizesinde arıza yoksa denklem (3.15)'den hem cam izolatör hem de porselen izolatör için 1 değeri elde edilmektedir.), $k_g = 1,6$ (faz-faz için)

DS1, DT1 ve DT2 direkleri +0, +3, +6, +9, +12 ve +15 gövde ve DS2 direkleri +0, +3, +6, +9, +12, +15 ve +18 gövde k_g faz-toprak değerleri iletken çapraz kol için Tablo 3.3'ten seçilmiştir ve $k_g = 1,45$ olarak alınmıştır. Çünkü DS1 ve DS2 1272 MCM dört devre direklerinin iletken çapraz kol uzaklığı 'd' verilmiştir fakat S kesiti verilmemiştir.

DS1, DT1 ve DT2 direkleri +0, +3, +6, +9, +12 ve +15 gövde ve DS2 direkleri +0, +3, +6, +9, +12, +15 ve +18 gövde için $K_t = k_s \times k_g \times k_a \times k_f \times k_i = 0,936 \times 1,45 \times 0,972 \times 1 \times 1 = 1,3191$ (faz - toprak için)

DS1, DT1 ve DT2 direkleri +0, +3, +6, +9, +12 ve +15 gövde ve DS2 direkleri +0, +3, +6, +9, +12, +15 ve +18 gövde için $K_t = k_s \times k_g \times k_a \times k_f \times k_i = 0,936 \times 1,6 \times 0,972 \times 1 \times 1 = 1,4556$ (faz - faz için)

3- D_U 'nun hesaplanması

$F = 0$ (iletken üzerinde herhangi bir iletken parça olmadığı için), $D_E = 0,5 \text{ m}$

$$D_U = 2,17 \times \left(e^{\frac{U_{e90}}{(1080 \times K_t)}} - 1 \right) + F = 2,17 \times \left(e^{\frac{867,6092}{(1080 \times 1,3191)}} - 1 \right) + 0 = 1,8197 \text{ m}$$

$$D_U = 2,17 \times \left(e^{\frac{U_{e90}}{(1080 \times K_t)}} - 1 \right) + F = 2,17 \times \left(e^{\frac{1320,2748}{(1080 \times 1,4556)}} - 1 \right) + 0 = 2,8557 \text{ m}$$

DS1, DT1 ve DT2 direkleri +0, +3, +6, +9, +12 ve +15 gövde ve DS2 direkleri +0, +3, +6, +9, +12, +15 ve +18 gövde için $D_A = D_U + D_E = 1,8197 + 0,5 = 2,3197 \text{ m}$ (faz – toprak için)

DS1, DT1 ve DT2 direkleri +0, +3, +6, +9, +12 ve +15 gövde ve DS2 direkleri +0, +3, +6, +9, +12, +15 ve +18 gövde için $D_A = D_U + D_E = 2,8557 + 0,5 = 3,3557 \text{ m}$ (faz – faz için)

380 kV'luk enerji iletim hattının DS1, DT1 ve DT2 +0, +3, +6, +9, +12 ve +15 gövde) ve DS2 (+0, +3, +6, +9, +12, +15 ve +18 gövde) direklerinin faz-toprak ve faz-faz hesaplama sonucu elektriksel mesafe (D_U) elde edilmiş ve ergonomik mesafe (D_E) eklenerek minimum yaklaşma mesafesi (D_A) bulunmuştur. Böylece Tablo 3.2'deki minimum yaklaşma mesafesi ile karşılaştırılmış ve sonuç olarak canlı çalışma yapılması için gerekli uygun mesafeyi sağlamaktadırlar.

4.2.8. 3B 1272 MCM çift devre – 2PA, 2PB, 2PD, 2PE, 2PF direkleri ve minimum yaklaşma mesafesi hesabı

Burada 2PA, 2PB, 2PD, 2PE ve 2PF direklerinin gövdelerinin konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüleri Tablo 4.10'da gösterilmiştir. Tablo 4.10'daki veriler ile bölüm 3.1.2'de verilen denklemler ve Tablolar kullanılarak minimum yaklaşma mesafesi hesaplanmış ve canlı bakım yapılmasına uygun olup olmadığı belirlenmiştir. Ek C'de 380 kV 3B 954 MCM çift devre direklerinin, 954 MCM 380/154 kV müşterek direklerinin, 1272 MCM dört devre direklerinin ve 1272 MCM çift devre direklerinin ana ölçüleri gösterilmiştir [86].

Tablo 4.10. 2PA, 2PB, 2PD, 2PE ve 2PF direklerin gövdelerinin konsol-toprak arası uzaklıkları ve direk ana ölçüleri [86]

2PA direği gövdelerinin alt konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüleri				
Gövde	Konsol ile (1) ayak arası uzaklık h_6 (m)	Konsol ile (6) ayak arası uzaklık h_7 (m)		
+0	20,0	25,0		
+3	23,0	28,0		
+6	26,0	31,0		
+9	29,0	34,0		
+12	32,0	37,0		
+15	35,0	40,0		
H =62,11 m	$h_1=5,21 \text{ m}$	$h_2=8,7 \text{ m}$	$h_3=8,7 \text{ m}$	$h_4=39,5$

$a_1=5,01$ m $a_2=2,0$ m $a_3=8,47$ m $a_4=8,77$ m $a_5=9,08$ m $a_6= 3,6$ m (*) $a_7=11,45$ m (*) Ana gövde içinde eğimin değiştiği noktadaki genişliktir.		
2PB direği gövdelerinin alt konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüleri		
Gövde	Konsol ile (1) ayak arası uzaklık h_6 (m)	Konsol ile (6) ayak arası uzaklık h_7 (m)
+0	20,0	25,0
+3	23,0	28,0
+6	26,0	31,0
+9	29,0	34,0
+12	32,0	37,0
+15	35,0	40,0
$H=62,11$ m $h_1=5,21$ m $h_2=8,7$ m $h_3=8,7$ m $h_4=39,5$ $a_1=5,12$ m $a_2=2,21$ m $a_3=8,58$ m $a_4=8,88$ m $a_5=9,19$ m $a_6= 3,81$ m (*) $a_7=11,45$ m (*) Ana gövde içinde eğimin değiştiği noktadaki genişliktir.		
2PD direği gövdelerinin alt konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüleri		
Gövde	Konsol ile (1) ayak arası uzaklık h_6 (m)	Konsol ile (6) ayak arası uzaklık h_7 (m)
+0	16,0	21,0
+3	19,0	24,0
+6	22,0	27,0
+9	25,0	30,0
+12	28,0	33,0
+15	31,0	36,0
$H=60,90$ m $h_1=8,0$ m $h_2=8,7$ m $h_3=8,7$ m $h_4=39,5$ $a_1=7,62$ m $a_2=2,8$ m $a_3=7,4$ m $a_4=7,65$ m $a_5=8,05$ m $a_6= 4,25$ m (*) $a_7=11,98$ m (*) Ana gövde içinde eğimin değiştiği noktadaki genişliktir.		
2PE direği gövdelerinin alt konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüleri		
Gövde	Konsol ile (1) ayak arası uzaklık h_6 (m)	Konsol ile (6) ayak arası uzaklık h_7 (m)
+0	16,0	21,0
+3	19,0	24,0
+6	22,0	27,0
+9	25,0	30,0
+12	28,0	33,0
+15	31,0	36,0
$H=62,30$ m $h_1=8,0$ m $h_2=9,4$ m $h_3=9,4$ m $h_5=35,5$ $a_1=7,62$ m $a_2=2,9$ m $a_3=7,9$ m $a_4=8,15$ m $a_5=8,55$ m $a_6= 4,40$ m (*) $a_7=14,86$ m (*) Ana gövde içinde eğimin değiştiği noktadaki genişliktir.		
2PF direği gövdelerinin alt konsol-ayak (toprak seviyesi) arası uzaklıkları ve ana ölçüleri		
Gövde	Konsol ile (1) ayak arası uzaklık h_6 (m)	Konsol ile (6) ayak arası uzaklık h_7 (m)
+0	16,0	21,0
+3	19,0	24,0
+6	22,0	27,0
+9	25,0	30,0
+12	28,0	33,0
+15	31,0	36,0
$H=62,30$ m $h_1=8,0$ m $h_2=9,4$ m $h_3=9,4$ m $h_4=35,5$ $a_1=7,62$ m $a_2=2,9$ m $a_3=7,4$ m $a_4=7,65$ m $a_5=8,55$ m $a_6= 4,17$ m (*) $a_7=16,59$ m (*) Ana gövde içinde eğimin değiştiği noktadaki genişliktir.		

2PA, 2PB, 2PD, 2PE, 2PF direklerinin payanda civatası-toprak ara mesafesi $h_5=500$ mm'dir [86].

2PA, 2PB, 2PD, 2PE ve 2PF direkleri için minimum yaklaşma mesafesi (D_A) hesabı;

1- U₉₀'nın hesaplanması

$$u_{e2} = 2,3 \text{ p.u.}, u_{p2} = 3,5 \text{ p.u.}, U_s = 420 \text{ kV}, K_s = 1,1$$

$$U_{e2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times U_{es} \times u_{e2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times 420 \times 2,3 = 788,7356 \text{ kV}$$

$$U_{p2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times U_{ps} \times u_{p2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times 420 \times 3,5 = 1200,2499 \text{ kV}$$

$$U_{e90} = K_s \times U_{e2} = 1,1 \times 788,7356 = 867,6092 \text{ kV}$$

$$U_{p90} = K_s \times U_{p2} = 1,1 \times 1200,2499 = 1320,2748 \text{ kV}$$

2- K_t'nin hesaplanması

k_s= 0,936, k_a= 0,972 (0-1000 rakımda), k_f= 1 (iletken parka yok iken), k_i= 1 (izolatör dizisinde arıza yoksa denklem (3.15)'den hem cam izolatör hem de porselen izolatör için 1 değeri elde edilmektedir.), k_g=1,6 (faz-faz için)

2PA, 2PB, 2PD, 2PE ve 2PF direkleri +0, +3, +6, +9, +12 ve +15 gövde k_g faz-toprak değerleri iletken çapraz kol için Tablo 3.3'den seçilmiştir ve k_g=1,45 olarak alınmıştır. Çünkü 2PA, 2PB, 2PD, 2PE ve 2PF 3B 1272 MCM çift devre direklerinin iletken çapraz kol uzaklığı 'd' verilmiştir fakat S kesiti verilmemiştir.

$$2PA, 2PB, 2PD, 2PE \text{ ve } 2PF \text{ direkleri } +0, +3, +6, +9, +12 \text{ ve } +15 \text{ gövde için } K_t = k_s \times k_g \times k_a \times k_f \times k_i = 0,936 \times 1,45 \times 0,972 \times 1 \times 1 = 1,3191 \text{ (faz - toprak için)}$$

$$2PA, 2PB, 2PD, 2PE \text{ ve } 2PF \text{ direkleri } +0, +3, +6, +9, +12 \text{ ve } +15 \text{ gövde için } K_t = k_s \times k_g \times k_a \times k_f \times k_i = 0,936 \times 1,6 \times 0,972 \times 1 \times 1 = 1,4556 \text{ (faz - faz için)}$$

3- D_U'nun hesaplanması

$$F = 0 \text{ (iletken üzerinde herhangi bir iletken parça olmadığı için)}, D_E = 0,5 \text{ m}$$

$$D_U = 2,17 \times \left(e^{\frac{U_{e90}}{(1080 \times K_t)}} - 1 \right) + F = 2,17 \times \left(e^{\frac{867,6092}{(1080 \times 1,3191)}} - 1 \right) + 0 = 1,8197 \text{ m}$$

$$D_U = 2,17 \times \left(e^{\frac{U_{e90}}{(1080 \times K_t)}} - 1 \right) + F = 2,17 \times \left(e^{\frac{1320,2748}{(1080 \times 1,4556)}} - 1 \right) + 0 = 2,8557 \text{ m}$$

2PA, 2PB, 2PD, 2PE ve 2PF direkleri +0, +3, +6, +9, +12 ve +15 gövde için $D_A = D_U + D_E = 1,8197 + 0,5 = 2,3197 \text{ m}$ (faz – toprak için)

2PA, 2PB, 2PD, 2PE ve 2PF direkleri +0, +3, +6, +9, +12 ve +15 gövde için $D_A = D_U + D_E = 2,8557 + 0,5 = 3,3557 \text{ m}$ (faz – faz için)

380 kV'luk enerji iletim hattının 2PA, 2PB, 2PD, 2PE ve 2PF (+0, +3, +6, +9, +12 ve +15 gövde) direklerinin faz-toprak ve faz-faz hesaplama sonucu elektriksel mesafe (D_U) elde edilmiş ve ergonomik mesafe (D_E) eklenerek minimum yaklaşma mesafesi (D_A) bulunmuştur. Böylece Tablo 3.2'deki minimum yaklaşma mesafesi ile karşılaştırılmış ve sonuç olarak canlı çalışma yapılması için gerekli uygun mesafeyi sağlamaktadırlar.

5. SONUÇ

Bu tez çalışmasında birinci bölümde elektrik enerjisinin hangi gerilim seviyelerinde aktarıldığı, iletim hatlarında nasıl enerji kaybı oluştuğu ve canlı bakım ile bu durumları çözerken hangi ekipmanlara canlı çalışma yapıldığı değinilmiştir. İkinci bölümde literatür araştırması, canlı çalışma için kullanılan IEC 61472-2013 ve IEEE Std 516-2009 standardına değinilmiştir. Üçüncü bölümde TEİAŞ'ın 380 kV'luk enerji iletim hatlarında kullanılan direk tipleri ile ilgili bilgiler verilmiş ve TEİAŞ'ta 380 kV'luk enerji iletim hatları direklerinde canlı bakım yapılmasının uygun olup olmadığı üzerine IEC 61472-2013 standardına göre hesaplamalar yapılmıştır.

Ülkemizde yüksek gerilimde ilk canlı çalışma yapılması TEİAŞ öncülüğünde olmuştur. TEİAŞ'ın 380 kV'luk enerji iletim hatlarında IEC 61472-2013 standardına göre canlı bakım çalışmaları gerçekleştirilmiştir. TEİAŞ canlı bakımı iki yöntem ile yapmaktadır. Bunlardan biri potansiyelde çalışma diğeri ise mesafeli çalışmadır. Potansiyelde yapılan çalışmalar ile daha rahat hareket kabiliyeti ve daha çeşitli çalışmalar yapma olanağı sağlamaktadır.

Ülkemizde artan enerji üretimi ve tüketimine bağlı olarak enerji sürekliliğinin ve kalitesinin önemi artmıştır. Bu sebeple enerji iletim hatlarının kesintisizini en aza indirmesini sağlayan canlı çalışma büyük önem taşımaktadır.

Bu tez çalışmasında canlı bakımın birçok birleşeni açıklanmış ve bu açıklanan birleşenlerin canlı çalışma mesafesi hesaplamasındaki rolü belirtilmiştir. Ayrıca canlı çalışma mesafesi hesaplamaları TEİAŞ'ın 380 kV'luk enerji iletim hattı direklerinde IEC 61472-2013 standardına göre canlı çalışma yapılabileceği belirtilmiş ve yapılan çalışma mesafesi hesaplamalarına göre TEİAŞ'ın 380 kV'luk enerji iletim hattı direklerinde canlı çalışma yapılabileceği belirtilmiştir. Canlı çalışmayı enerji iletim hattındaki mevcut direkler belirlemektedir. IEC 61472-2013 standardına göre ülkemiz için hesaplamalar yapılarak, ilgili direkler üzerinde canlı bakım ve onarım işlemi gerçekleştirilebilir.

Literatürde ülkemizde canlı çalışma hakkında yeterli çalışma bulunmamaktadır. Bu sebeple bu tez çalışması TEİAŞ'ın 380 kV'luk enerji iletim hatlarında yapılacak canlı hat çalışmalarına katkı sağlayacaktır. Ayrıca bu çalışmanın canlı bakım ve onarım faaliyetlerinde çalışanlara ve bu konu hakkında tez çalışmasında bulunacak araştırmacılara yardımcı kaynak olması amaçlanmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Bertalan, Zs., Kiss, J., Tamus, Z. A., Technical Economic Feasibility Study on Live Line Maintenance on Hungarian Transmission Network. ICOUM 2014 ·11th International Conference on Live Maintenance· 21-23 May 2014· Budapest, Hungary.
- [2] Martini, P., Live Line Working and Evaluation of Risk on 400 kV Transmission Line. A Thesis Submitted to The University of Manchester for The Degree of Doctor of Philosophy Faculty of Sciences and Engineering. Manchester, England, 2017.
- [3] TS EN 61472 - 2013, Çalışma Canlı - 800 kV Gerilim Aralığı 72,5 kV AC Sistemleri için Minimum Yaklaşım Mesafeleri - Hesaplama Yöntemi.
- [4] Milli Eğitim Bakanlığı (2011) Elektrik Elektronik Teknolojisi, Yüksek Gerilim Tesislerinde İletim Hatları Bakımı 522EE0279.
- [5] http://www.hkmo.org.tr/resimler/ekler/d3225c118340bba_ek.pdf, 27 Haziran 2018
- [6] <https://www.hgk.msb.gov.tr/images/dergi/makaleler/b818123d4596c68.pdf>, 27 Haziran 2018
- [7] <https://tr.linkedin.com/pulse/enerji-iletim-ve-dagitim-hatları-için-insansız-hava-köprülü-ph-d->, 27 Haziran 2018
- [8] <http://haberciniz.biz/enerji-iletim-hatlarında-arizaların-ve-olusacak-kayıpların-onlenmesi-icin-helikopte-2953105h.htm>, 27 Haziran 2018
- [9] Looms, J.S.T., Sc, B., Mem. ve I.E.E.E. (1981) Live Working on High-Voltage Lines, IEE PROC, Vol. 128, Pt. A, No. 2, pp. 89-106.
- [10] Lovrenčić, V., Brezavšček, A., Pantoš, M. ve Gomišček B. (2017) Contribution of Live Working to The Quality, Safety, Effectiveness and Efficiency of The Maintenance Processes, ISSN 1330-3651 (Print), ISSN 1848-6339 (Online) <https://doi.org/10.17559/TV-20160113105637>, Vol. 24, pp. 1619-1626.
- [11] Lubicki, W., Director PSE Inwestycje S.A., Dudek, B. ve Expert, PSE Inwestycje S.A. (2014) Eighty Years of Polish Experiences in Technology of Live-Line Working and Impressions from all 10 ICOLIM Conferences, 11th International Conference on Live Maintenance, 21-23 May 2014, Budapest, Hungary.
- [12] Li, T., Lin, Q. ve Chen, G. (2017) Live-Line Operation and Maintenance of Power Distribution Networks, 2017 China Electric Power Press.
- [13] Civelek, İ., Erman, S., Monestier, J. M. ve Gutierrez, P. (2017) Establishment and Implementation of The Live Working System in Turkey, 2017 12th International Conference on Live Maintenance (ICOLIM).

[14]

https://ir.canterbury.ac.nz/bitstream/handle/10092/1253/thesis_fulltext.pdf;sequence=1, 27 Haziran 2018

[15] Ghassemi, M. ve Farzaneh, M. (2015) FRP hot-stick flashover testing under freezing conditions, Testing and Measurement: Techniques and Applications – Chan (Ed.) © 2015 Taylor & Francis Group, London, ISBN: 978-1-138-02812-8, pp.77-80.

[16] Göcsei, G., Nemeth, B., Tamus, Z. A., Kiss, I., Meixner, J., Shielding Efficiency of Conductive Clothing during Live-Line Maintenance. ICOUM 2014 ·11th International Conference on Live Maintenance· 21-23 May 2014· Budapest, Hungary.

[17] https://simson.net/ref/1988/IEEE_Working_Live.pdf, 27 Haziran 2018

[18] <https://www.comite-tst.com/sites/default/files/livre-50-ans-gb.pdf>, 28 Haziran 2018

[19] Gela, G., IEC TC78 “Live Working”: Historical Overview, New Structure, Programme of Work, and Market Relevance. 2016 IEEE PES 13th International Conference on Transmission & Distribution Construction, Operation & Live-Line Maintenance (ESMO).

[20] Ghassemi, M., Farzaneh M., Calculation of Minimum Approach Distances for Tools for Live-Line Working under Freezing Conditions. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation Vol. 23, No. 2; April 2016.

[21] <https://kms.kaysis.gov.tr/Home/Goster/23266?AspxAutoDetectCookieSupport=1>, 18 Haziran 2018

[22] T. C. Enerji ve Tabii Kaynak Bakanlığı, 2015 Yılı Faaliyet Raporu

[23] http://isg.elder.org.tr/Content/pdf/11ILHAMI_CIVELEK.pdf, 01 Temmuz 2018

[24] Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi, 2015 Yılı Faaliyet Raporu

[25] Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi, 2014 Yılı Faaliyet Raporu

[26] Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi Genel Müdürlüğü, 2016 Yılı Faaliyet Raporu

[27] <https://www.sabah.com.tr/ekonomi/2017/11/23/sinirda-elektrik-ticareti-icin-yeni-hamle>, 01 Temmuz 2018

[28] <https://www.haberler.com/ozel-haber-bunu-yapmak-cesaret-ister-8856528-haberi/>, 1 Temmuz 2018

[29] Türkiye Elektrik İletim A. Ş. İşletme Dairesi Başkanlığı (2015) 154 kV ve Üstü Gerilim Seviyesindeki İletim Tesislerinde Enerji Altında (canlı) Bakım Çalışmaları Uygulama Koşulları Yönergesi.

- [30] Göcsei, G., Nemeth, B., Tarcsa, D., Extra Low Frequency Electric and Magnetic Fields during Live-Line Maintenance. 2013 Electrical Insulation Conference, Ottawa, Ontario, Canada, 2 to 5 June 2013.
- [31] Pagnano, A., Höpfa, M., Tetib, R., A roadmap for automated power line inspection. Maintenance and repair. 8th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering, Procedia CIRP 12 (2013), Pages 234 – 239.
- [32] Gonçalves, R. S., Carvalho, J. C. M., Review and Latest Trends in Mobile Robots Used on Power Transmission Lines. Int. j. adv. robot. syst., 2013, Vol. 10, 408:2013.
- [33] Bertalan, Zs., Csedo, Z., Tamus, Z. A., Social Welfare and Live Line Maintenance. ICOUM 2014 ·11th International Conference on Live Maintenance· 21-23 May 2014· Budapest, Hungary.
- [34] Portillo, M., For a Better Understanding of Live Working. ICOUM 2014 ·11th International Conference on Live Maintenance· 21-23 May 2014· Budapest, Hungary.
- [35] Göcsei, G., Berta, I., Nemeth, B., Safety Considerations Regarding to the Shielding of Electric Fields during High Voltage Live-line Maintenance. Vol. 8, No. 2, pp. 153-164, 2015 DOI: 10.14513/actatechjaur.v8.n2.368 Available online at acta.sze.hu.
- [36] Han, Y., Mu, S., Lu, S., Wang, Z., Li, J., Li, J., Zhao, J., The Remote Control Terminal for Electric Maintenance Robot in Substation. 2016 4th International Conference on Applied Robotics for the Power Industry (CARPI).
- [37] Zhang, Y., Tian, Y., Lu, S., Design of a live maintenance mobile robot system for power substation equipment. 2017 Chinese Automation Congress (CAC).
- [38] Gela, G., Hotte P.W., Charest M., IEC Method of Calculation of Minimum Approach Distances for Live Working. IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 15, NO. 2, APRIL 2000.
- [39] Discussion of "IEC method of calculation of minimum approach distances for live working" , <https://ieeexplore.ieee.org/document/956776>, 24.02.2019.
- [40] Barros, Í. I. C. M., Silva, U. V., Supplying Power to a New Industrial Consumer A New World(Technique in Live-Line Developed to Change the Type of Towers. ICOUM 2014 ·11th International Conference on Live Maintenance· 21-23 May 2014· Budapest, Hungary.
- [41] Barbieri, L., Malgesini, R., Villa, A., De Done, G., Milanello, C.D., Zanotti, A., Insulated Aerial Vehicles and High Voltage Live Working in Italy: Tests and Studies to Assess the Safety Aspects. ICOUM 2014 ·11th International Conference on Live Maintenance· 21-23 May 2014· Budapest, Hungary.
- [42] Xiao, B., Wu, T., Liu, K., Peng, Y., Su, Z., Tang, P., Lei, X., Experimental Investigation on the Minimum Approach Distance for Live Working on 1000kV UHV Compact Transmission Line. 2016 IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application (ICHVE).

- [43] Peng, Y., Liu, T., Su, Z., Liu, K., Xio, B., Wu, T., Tang, P., Experimental Study on Minimum Approach Distances and Complex Gaps for Helicopter Live Line Work on 1000 kV Transmission Line. 12th IET International Conference on AC and DC Power Transmission (ACDC 2016).
- [44] Atlani, C., Peigne, C., Standards, Regulations and legal aspects Live Working and International Standards. 12th International Conference on Live Maintenance (ICOLIM), 2017.
- [45] Göcsei, G., Nemeth, B., Halasz, B.G., Meixner, J., Development of a Live-Line Technology for Insulator Changing. 12th International Conference on Live Maintenance (ICOLIM), 2017.
- [46] ElBidweihy, H., Anis H., Comparative Exposure to Magnetic Fields of Live-Line Workers on Power Lines. PES T&D 2012.
- [47] Göcsei, G., Németh, B., Kiss I., Berta, I., Shielding Efficiency of Conductive Clothing in Magnetic Field. Journal of Electrostatics Volume 71, Issue 3, June 2013, Pages 392-395.
- [48] Göcsei, G., Németh, B., Comparison of Conductive Clothing's Effectiveness. 2013 4th International Youth Conference on Energy (IYCE).
- [49] Malgesini, R., Valagussa, C., Villa, A., Carrara, R., De Done, G., Milanella, C. D., Parizia, A. A., Conductive clothing for live line working. ICOUM 2014 ·11th International Conference on Live Maintenance· 21-23 May 2014· Budapest, Hungary.
- [50] Göcsei, G., Nemeth, B., Kiss, I., Berta, I., Health Effects of Magnetic Fields During Live-Line Maintenance. ICOUM 2014 ·11th International Conference on Live Maintenance· 21-23 May 2014· Budapest, Hungary.
- [51] Halasz, B. G., Göcsei, H., Nemeth, B., Cselko, R., Bokor, T., Arc Protection during Live Line Maintenance on High Voltage Systems. 2015 5th International Youth Conference on Energy (IYCE).
- [52] Göcsei, G., Nemeth, B., New Challenges In Live-Line Maintenance. 2015 Electrical Insulation Conference (EIC), Seattle, Washington, USA, 7 -10 June 2015.
- [53] Ghassemi, M., Farzaneh, M., Effects of Tower, Phase Conductors and Shield Wires on the Electrical Field around a Tower Window during Live-line Work. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation Vol. 22, No. 6; December 2015.
- [54] Göcsei, G., Nemeth, B., Shielding of Magnetic Fields during High Voltage Live-Line Maintenance. 2016 IEEE PES 13th International Conference on Transmission & Distribution Construction, Operation & Live-Line Maintenance (ESMO).
- [55] Oltean, M., Sevastre, I., Rodean, I., Vijju, M., Tibuliac, S., Electromagnetic Field Measurement Inside Live Protective Equipment on High Voltage Overhead Lines. 2016 IEEE PES 13th International Conference on Transmission & Distribution Construction, Operation & Live-Line Maintenance (ESMO).

- [56] Göcsei, G., Nemeth, B., Current Issues Regarding to the Inspection of Conductive Clothing. 2016 IEEE PES 13th International Conference on Transmission & Distribution Construction, Operation & Live-Line Maintenance (ESMO).
- [57] Yang, Q., Zou, D., Tong, C., Xia, Z., Yan, Y., Li, J., The Safety Analysis of Live Working on 500/220kV Four-parallel Lines on the Same Tower. 2016 IEEE International Conference on Power and Renewable Energy (ICPRE).
- [58] Göcsei, G., Nemeth, B., Handling of Magnetic Field-Related Risks during Live-Line Maintenance. 2017 12th International Conference on Live Maintenance (ICOLIM).
- [59] Göcsei, G., Nemeth, B., Revision of the Way of Classification of Conductive Clothing. 2017 12th International Conference on Live Maintenance (ICOLIM).
- [60] Barbieri, L., De Maria, L., Chemelli, C., Gondola, M., Malgesini, R., Villa, A., De Dona, G., A Comprehensive Analysis of Facial Screens : Sensitivity Analysis and Construction Technologies. 2017 12th International Conference on Live Maintenance (ICOLIM).
- [61] Oltean, M. N., Fagarasan, T., Floreaa, G., Munteanu, C., Pop, A., Electromagnetic Field Measurement On High Voltage Overhead Lines. 2017 12th International Conference on Live Maintenance (ICOLIM).
- [62] Göcsei, G., Nemeth, B., Berta I., Advanced Protection of Live Working Personnel. 2017 Electrical Insulation Conference (EIC), Baltimore, MD, USA, 11 - 14 June 2017.
- [63] Beiu, C., Golovanov, N., Toader, C., Buica, G., Low Frequency Electromagnetic Shielding Solutions. 2017 International Conference on Electromechanical and Power Systems (SIELMEN).
- [64] Maddahi, Y., Zareinia, K., Olson, T., Mueller, W., Sepehri, N., Live-Line Maintenance Training Using Robotics Technology, IEEE World Haptics Conference 2013 14-18 April, Daejeon, Korea.
- [65] Oltean, M. N., Fagarasan, T., Brabete, D. L., Complete Solutions For LW Maintenance of High Voltage OHL. ICOUM 2014 · 11th International Conference on Live Maintenance · 21-23 May 2014 · Budapest, Hungary.
- [66] Scaff, W., Hirakawa, A. R., Horikawa, O., Non-conducting Manipulator for Live-Line Maintenance: Use of Pneumatic Artificial Muscles. Proceedings of the 2014 3rd International Conference on Applied Robotics for the Power Industry.
- [67] Maddahi, Y., Zareinia, K., Sepehri, N., An Augmented Virtual Fixture to Improve Task Performance in Robot-Assisted Live-Line Maintenance. Computers and Electrical Engineering 43 (2015) Papers 292–305.
- [68] Banthia, V., Maddahi, Y., Balakrishnan, S., Sepehri, N., Haptic-Enabled Teleoperation of Base-Excited Hydraulic Manipulators Applied to Live-Line Maintenance. 2014 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2014) September 14-18, 2014, Chicago, IL, USA.

- [69] Bechlioulis, C. P., Liarokapis, M. V., Kyriakopoulos, K. J., Robust Model Free Control of Robotic Manipulators with Prescribed Transient and Steady State Performance, 2014 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2014) September 14-18, 2014, Chicago, IL, USA.
- [70] Song, Y., Wang, H., Zhang, J., A Vision-Based Broken Strand Detection Method for a Power-Line Maintenance Robot. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 29, No. 5, October 2014, Papers 2154-2161.
- [71] Pouliot, N., Richard, P. L., Montambault, S., LineScout Technology Opens the Way to Robotic Inspection and Maintenance of High-Voltage Power Lines. IEEE Power and Energy Technology Systems Journal Volume 2, No. 1, March 2015.
- [72] Li, L., li, D., Li, Y., Zhang, B., Zhao, J., Zhang, C., Dai, Z., A State-of-the-Art Survey of the Robotics Applied for the Power Industry in China. 2016 4th International Conference on Applied Robotics for the Power Industry (CARPI).
- [73] Xiao, S., Wang, H., Ling, L., Research on a Novel Maintenance Robot for Power Transmission Lines. 2016 4th International Conference on Applied Robotics for the Power Industry (CARPI).
- [74] Zhong, L., Guo, R., Cheng, Z., Jia, J., Yong, J., Automatic Solar Charging System for Overhead Transmission Line Robot. 2016 4th International Conference on Applied Robotics for the Power Industry (CARPI).
- [75] Fang, L., Xu, X., Guo, X., A New Climbing Robot for Suspension Insulator Strings. 2016 4th International Conference on Applied Robotics for the Power Industry (CARPI).
- [76] Wang, L., Wang, H., A Survey on Insulator Inspection Robots for Power Transmission Lines. 2016 4th International Conference on Applied Robotics for the Power Industry (CARPI).
- [77] Wang, J., Liu, X., Lu, K., Liu, Y., Zhen, J., A New Bionic Structure of Inspection Robot for High Voltage Transmission Line. 2016 4th International Conference on Applied Robotics for the Power Industry (CARPI).
- [78] Huang, R., Zhang, X., Huang, W., Wang, Z., Substation Live Working Robot System. 2016 4th International Conference on Applied Robotics for the Power Industry (CARPI).
- [79] Li, J., Su, J., Fu, M., Lu, S., Dong, X., Research and application of the Water Washing Robot with Hot-line Working Used in 220kV open type Substation. 2016 4th International Conference on Applied Robotics for the Power Industry (CARPI).
- [80] Malveiro, M., Cordeiro, J., Overhead Power line stringing with UAV. 2017 12th International Conference on Live Maintenance (ICOLIM).
- [81] Wu, Y., Chen, L., Kong, L., Zhang, J., Wang, M., Research on Application Mode of Large Fixed-wing UAV System on Overhead Transmission Line. 2017 IEEE International Conference on Unmanned Systems (ICUS).

[82] Zhang, X., Huang, R., Li, X., Ai, J., Dong, X., Li, J., Wang, Z., Robot Control System for Live Maintenance of Substation Equipment. 2017 Second International Conference on Mechanical, Control and Computer Engineering.

[83] Wu, G., Liu, S., Huang, R., Zhang, X., Wang, Z., Zhang, Y., Li, J., Robot Control System for Live Maintenance of Substation Equipment. 2017 Second International Conference on Mechanical, Control and Computer Engineering.

[84] Gela, G., Hotte, P. W. ve Charest M. (1998) IEC Method of Calculation of Minimum Approach Distances for Live Working, Transmission & Distribution Construction, Operation & Live-Line Maintenance Proceedings, 1998 IEEE 8th International Conference on, pp. 154-159.

[85] Milli Eğitim Bakanlığı (2011) Elektrik-Elektronik Teknolojisi, Havai Enerji Hatları 522EE0131.

[86] Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü İşletme Dairesi Başkanlığı (2015) Enerji İletim Hatları Genel Hususlar.

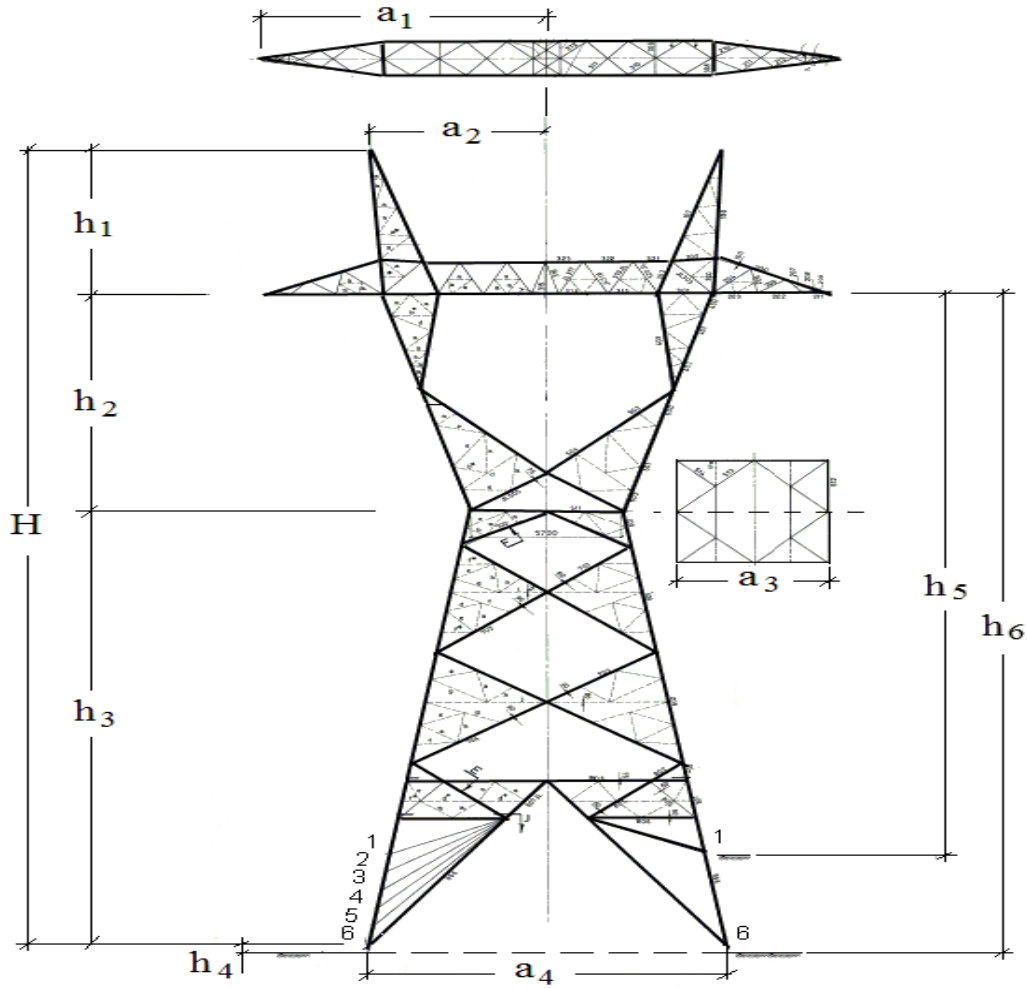
[87] http://www.icolim2017.org/files/docs/SESSION2_0007.pdf, 17 Temmuz 2018

[88] IEEE Std. 516-2009, IEEE Guide for Maintenance Methods on Energized Power Lines, New York, NY 10016-5997, USA 24 June 2009.

EKLER

EK A

380 kV 2B (ikili demet) 2A, 2B, 2C, D, E, F direklerinin ve 380 kV 3B (üçlü demet) 3D, 3E, 3F, 3A1, 3B1, 3C1, 3PA, 3PB, 3PC, 3PD, 3PE, 3PF direklerinin tek devre ana ölçülerinin gösterimi Şekil A.1'de gösterilmiştir.



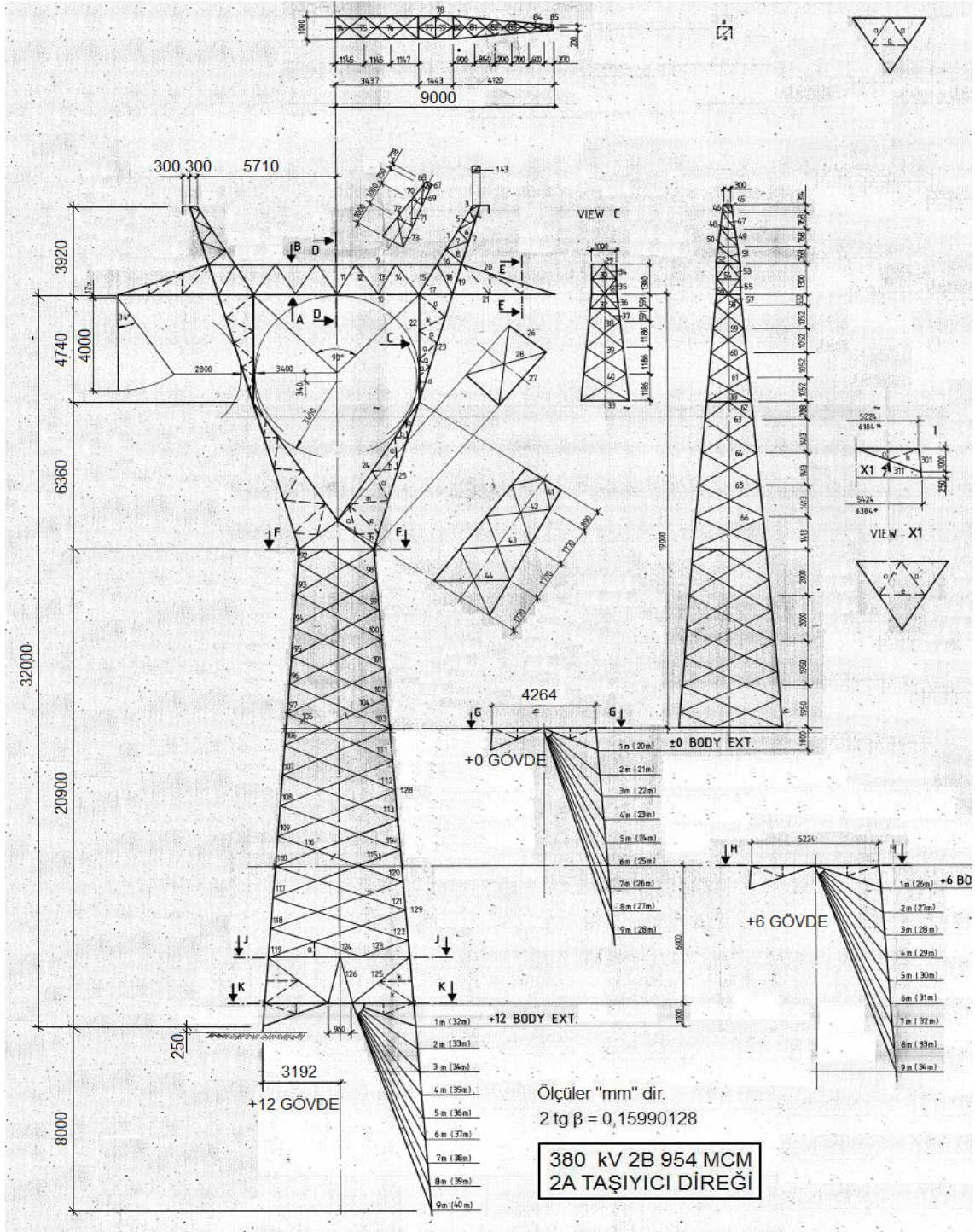
Şekil A.1. 380 kV 2B (ikili demet) ve 380 kV 3B (üçlü demet) tek devre direklerinin ana ölçülerinin gösterimi

H = En büyük gövde ve en büyük ayaklı toplam direk yüksekliği

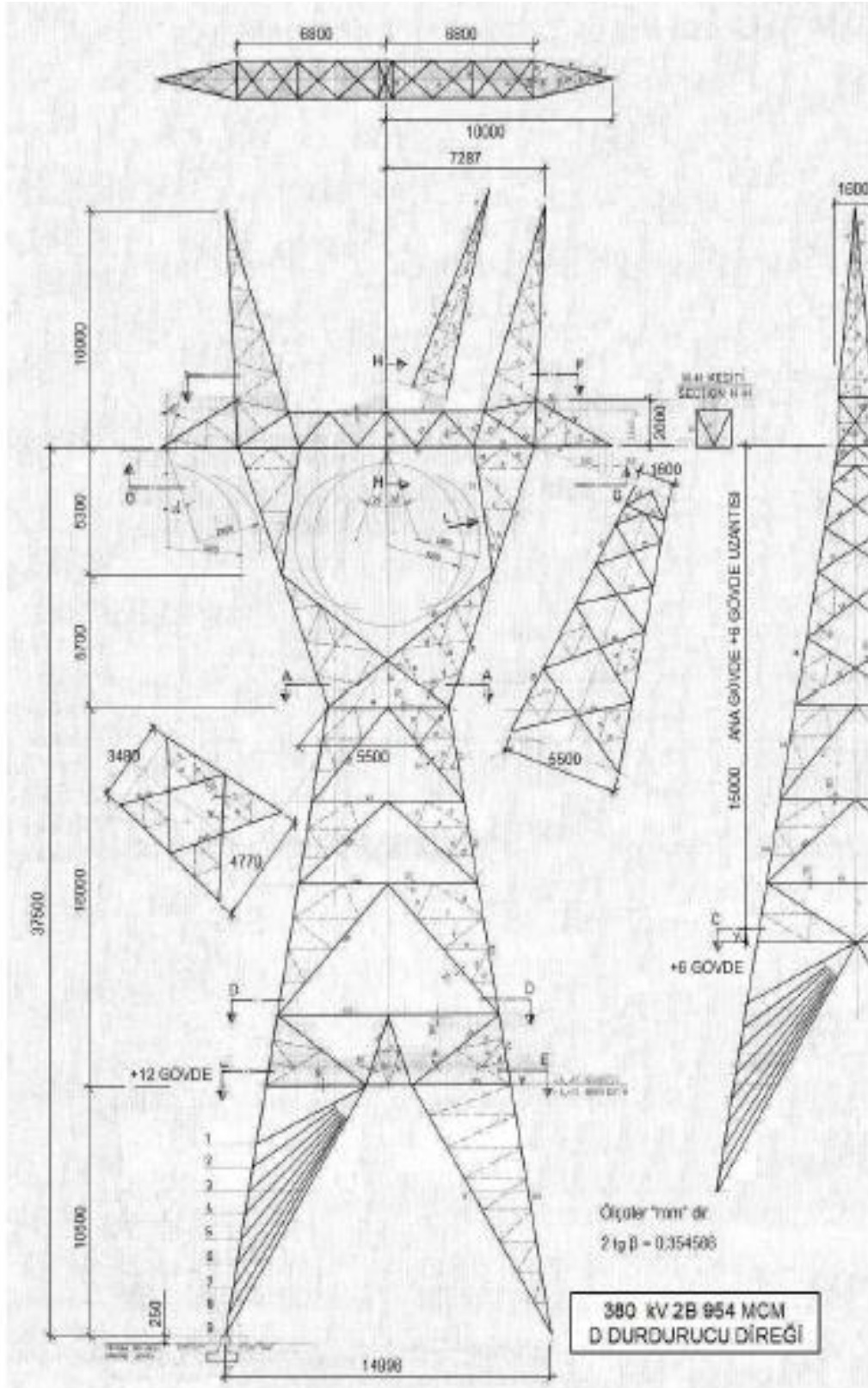
h_4 = Tek devre direklerde payanda civatası-toprak uzaklık, 250 mm veya 300 mm

h_5 = Konsol ile 1 m ayağın toprak seviyesi arasındaki uzaklık

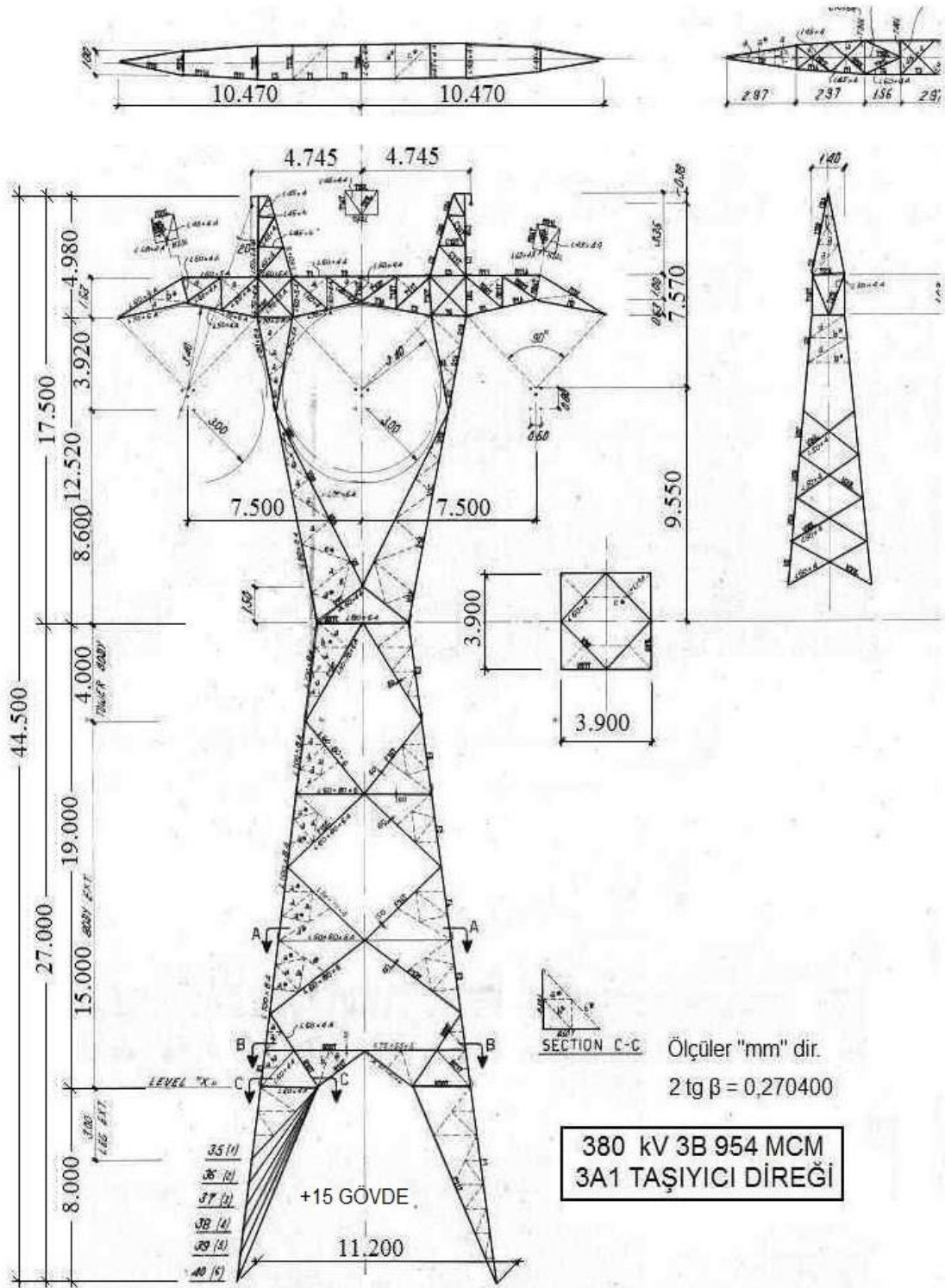
h_6 = Konsol ile en büyük ayağın toprak seviyesi arasındaki uzaklık



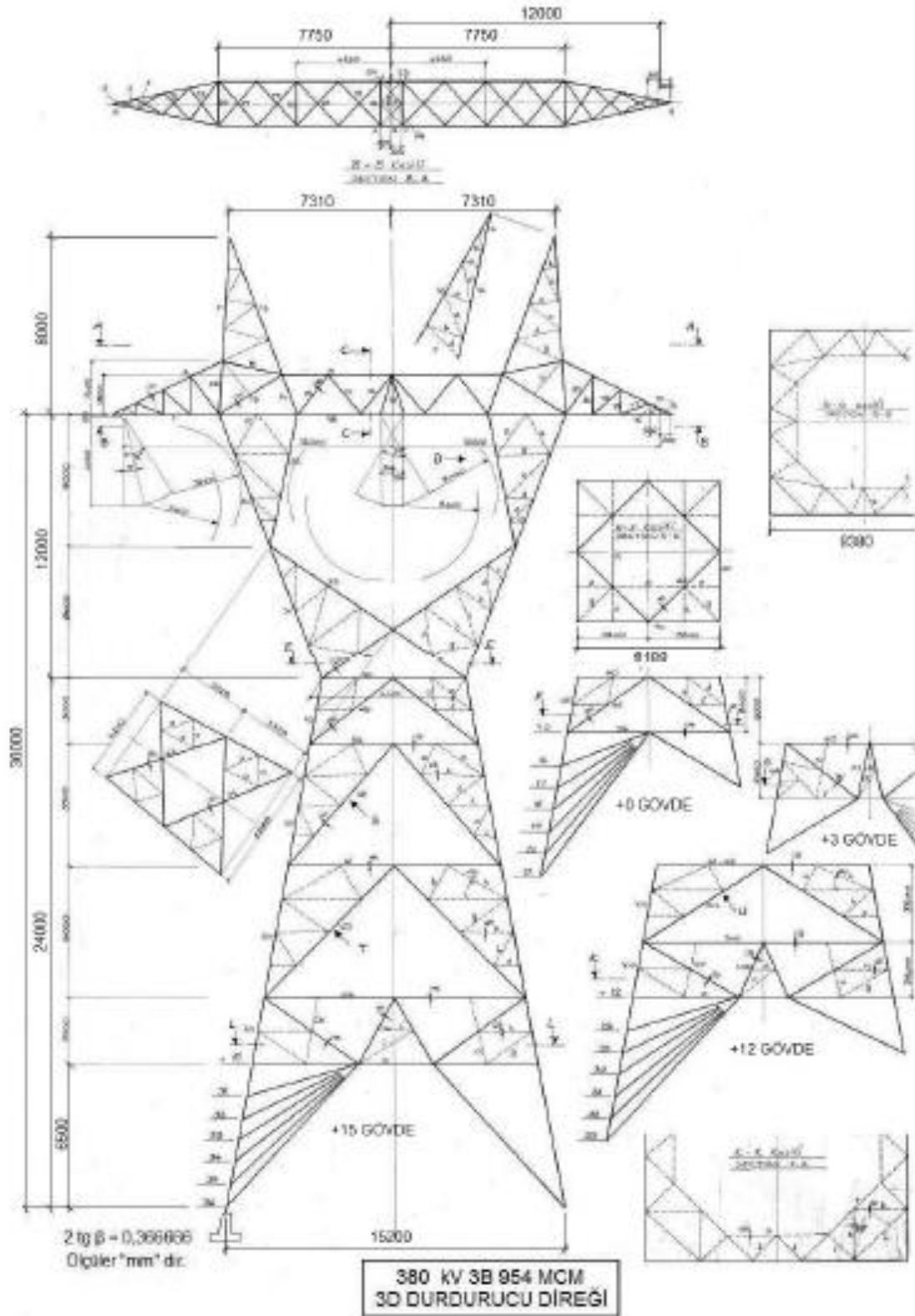
Şekil A.2. 380 kV 2B (ikili demet) 2A tek devre direği



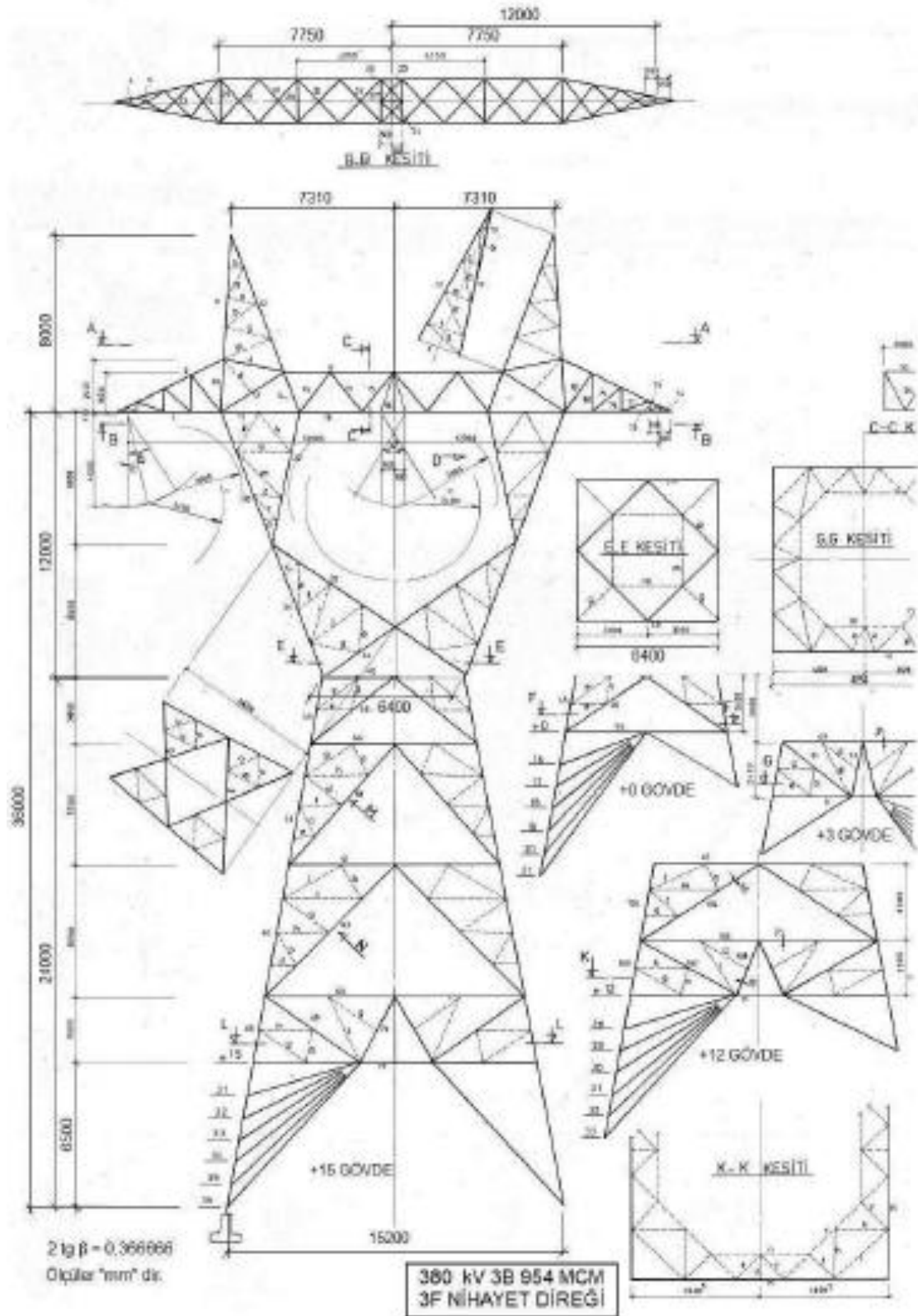
Şekil A.3. 380 kV 2B (ikili demet) D tek devre direği



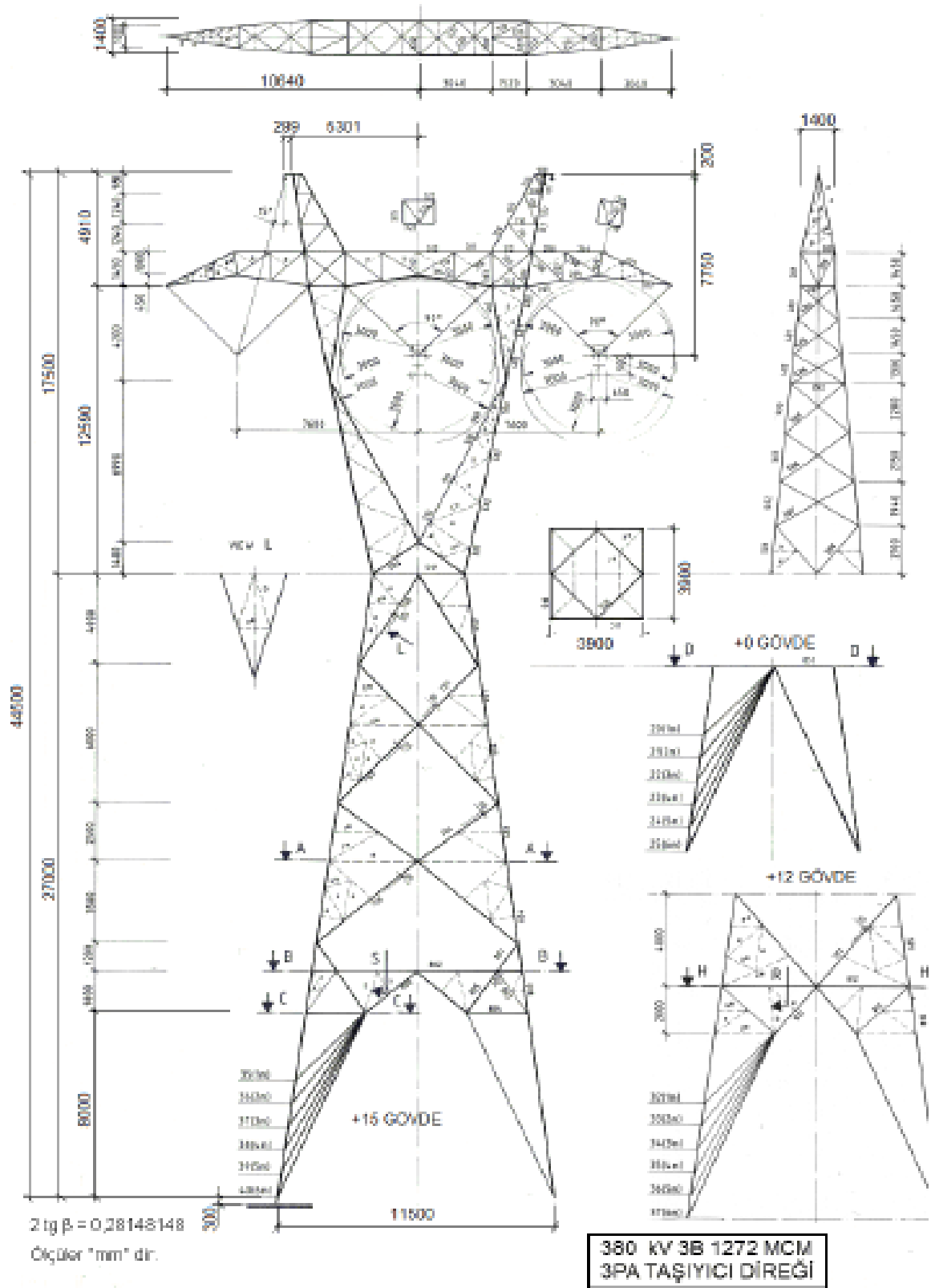
Şekil A.4. 380 kV 3B (üçlü demet) 3A1 tek devre direği



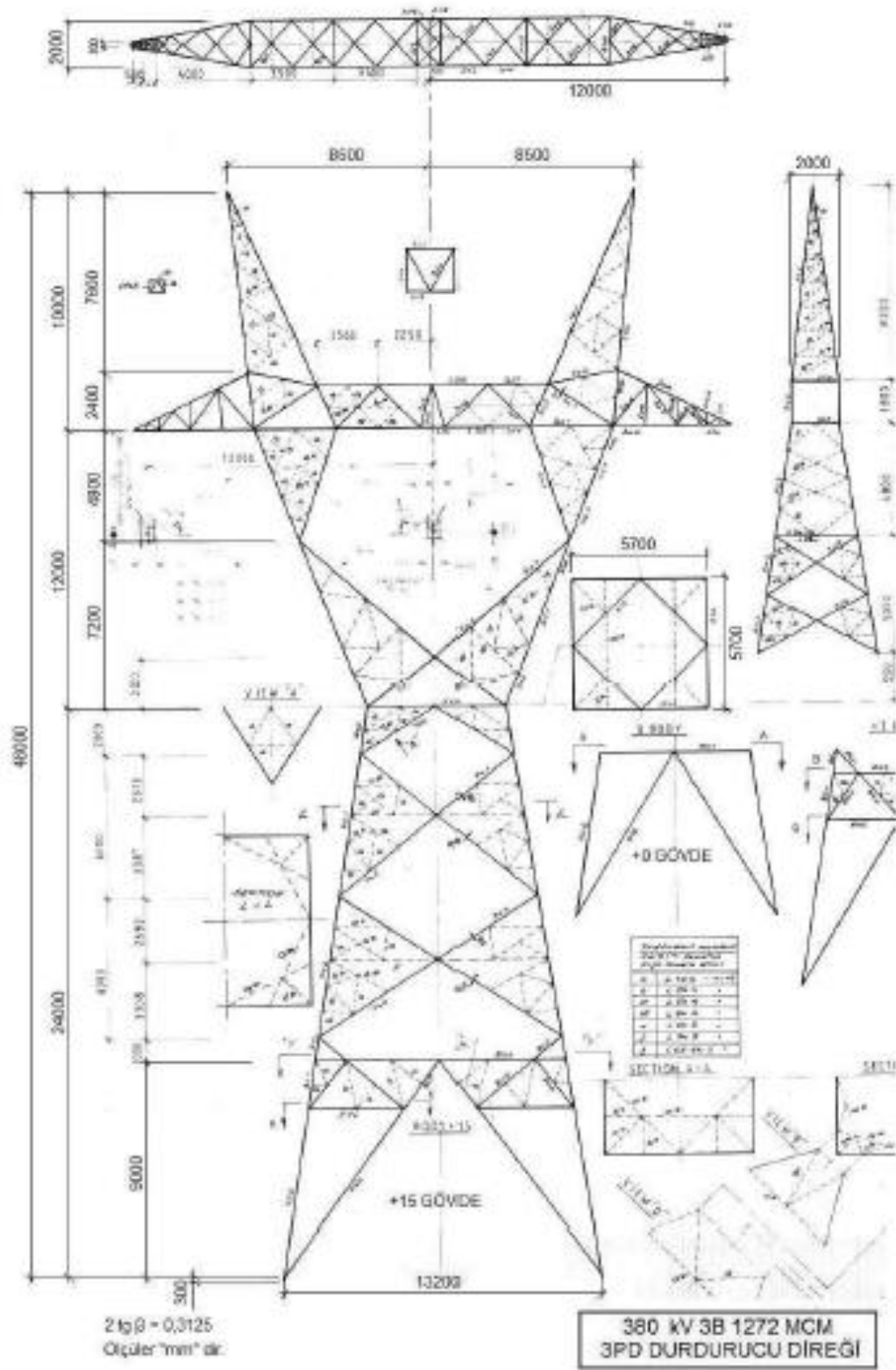
Şekil A.5. 380 kV 3B (üçlü demet) 3D tek devre direği



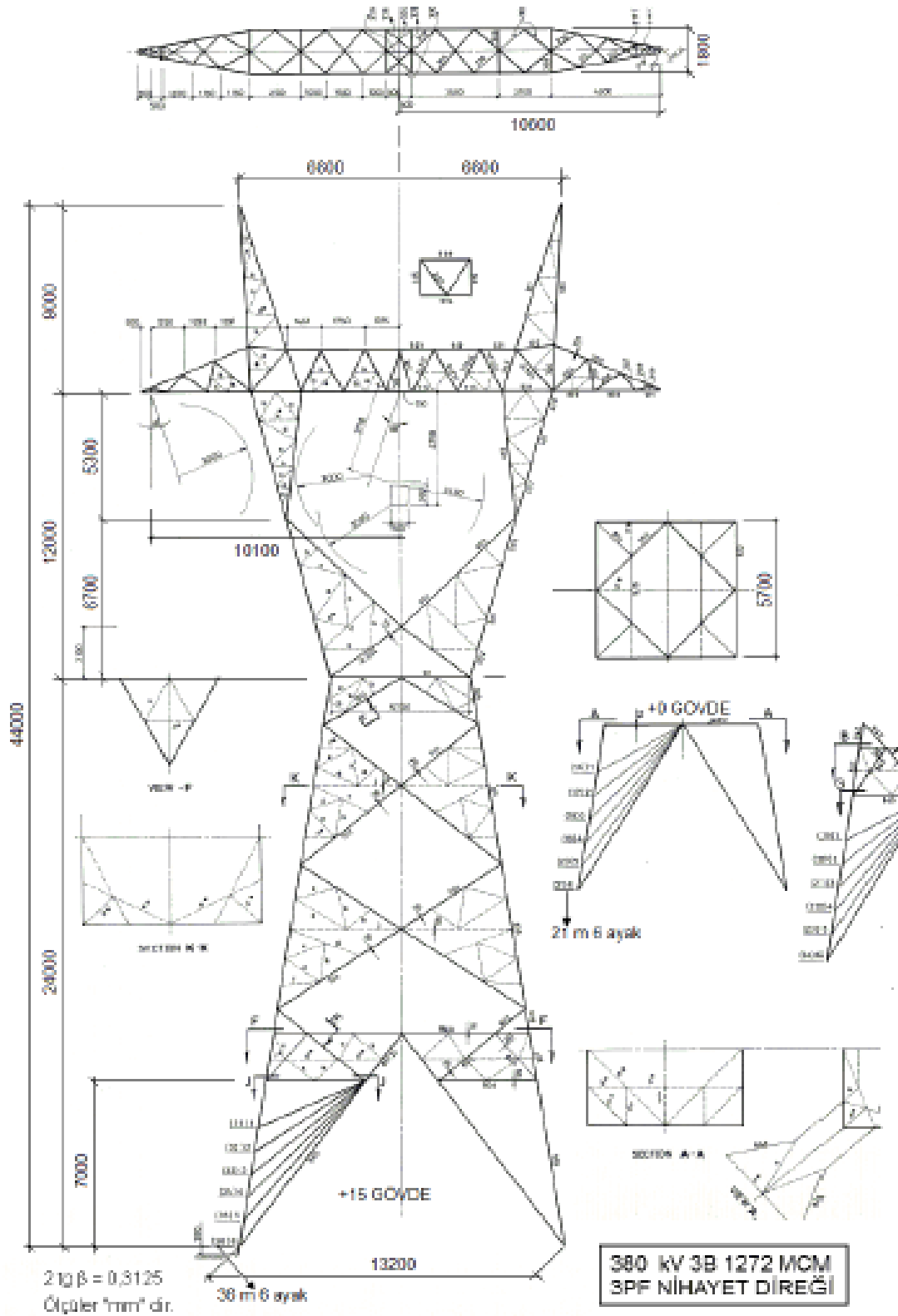
Şekil A.6. 380 kV 3B (üçlü demet) 3F tek devre direği



Şekil A.7. 380 kV 3B (üçlü demet) 3PA tek devre direği



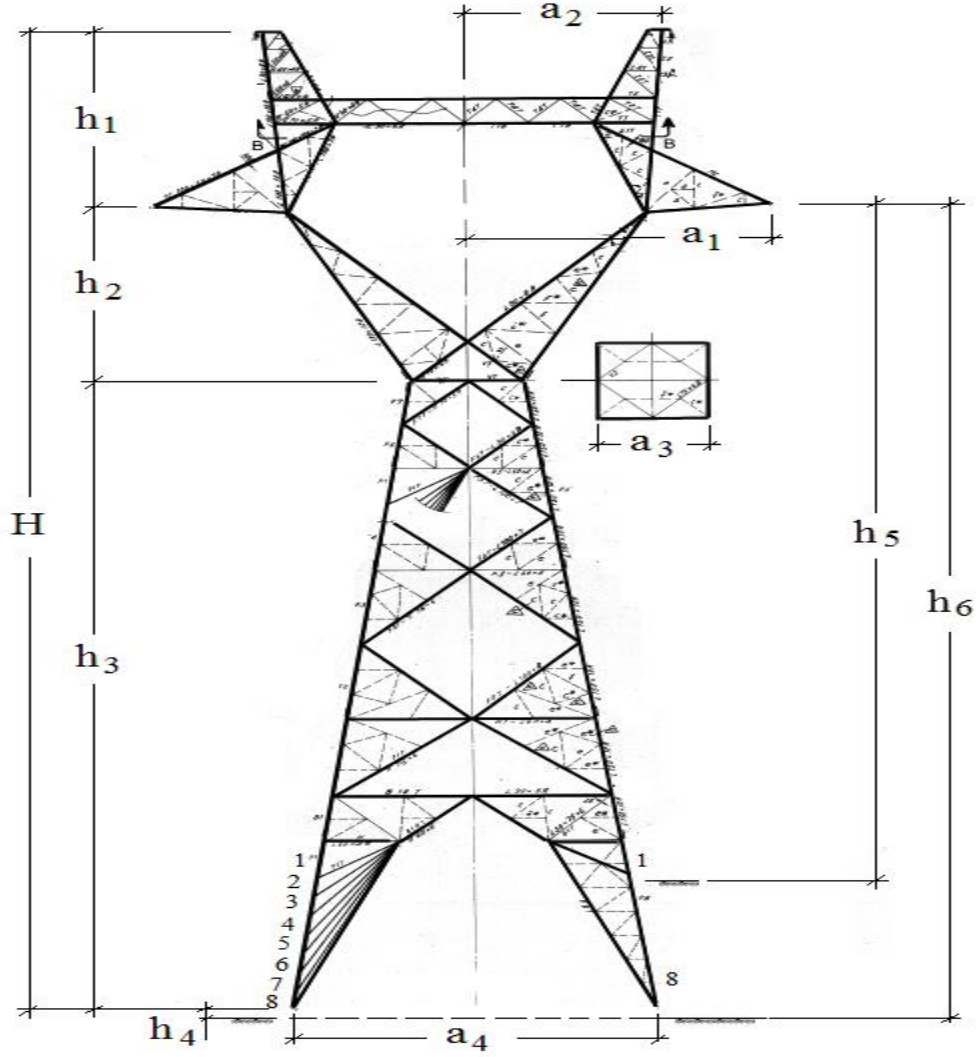
Şekil A.8. 380 kV 3B (üçlü demet) 3PD tek devre direği



Şekil A.9. 380 kV 3B (üçlü demet) 3PF tek devre direği

EK B

380 kV kedi tipi tek devre özel bölge PAH, PCH, PDH, PEH direklerinin ana ölçülerinin gösterimi Şekil B.1’de gösterilmiştir.



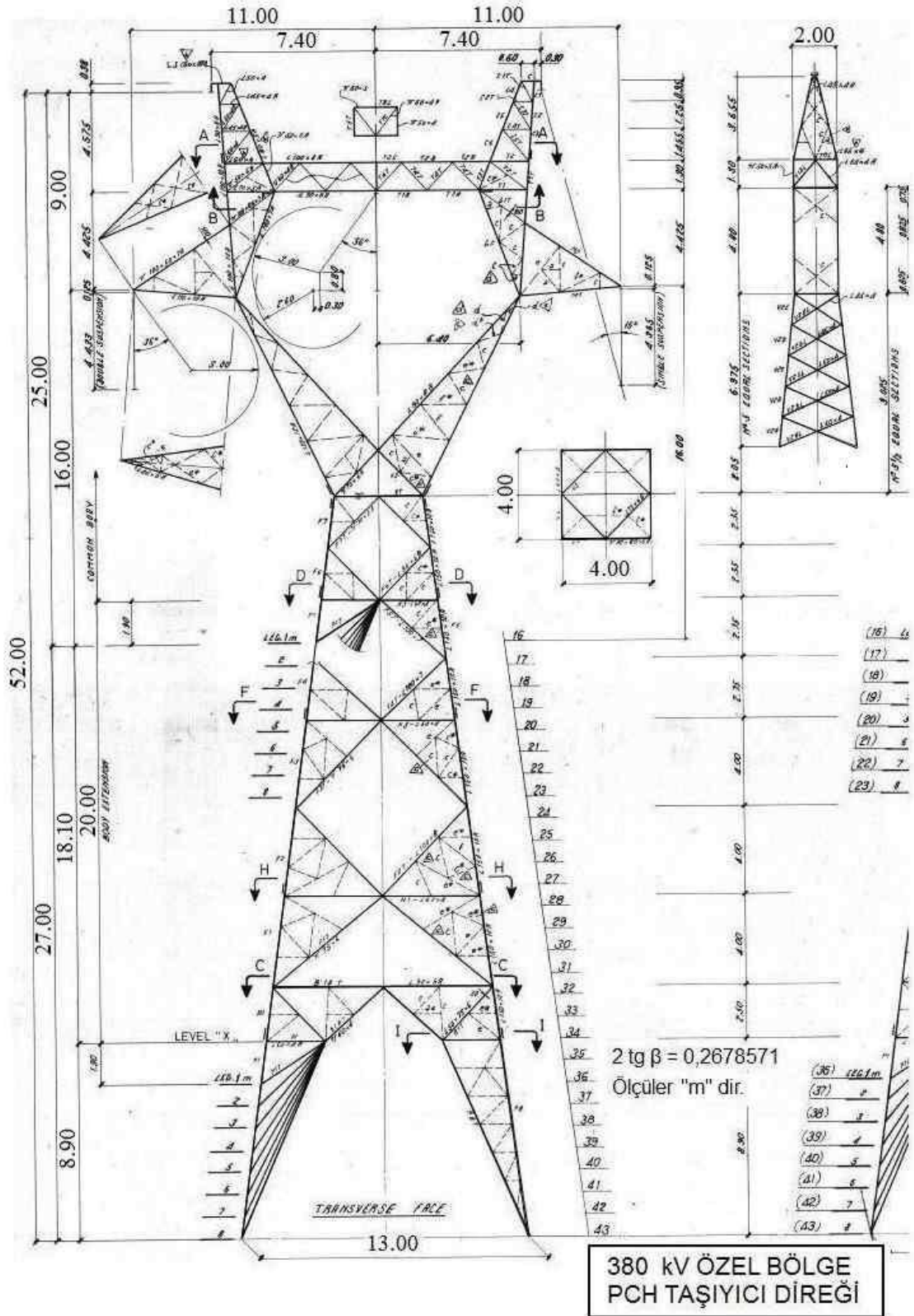
Şekil B.1. 380 kV kedi tipi tek devre özel bölge PAH, PCH, PDH, PEH direklerinin ana ölçülerinin gösterimi

H = En büyük gövde ve en büyük ayaklı toplam direk yüksekliği

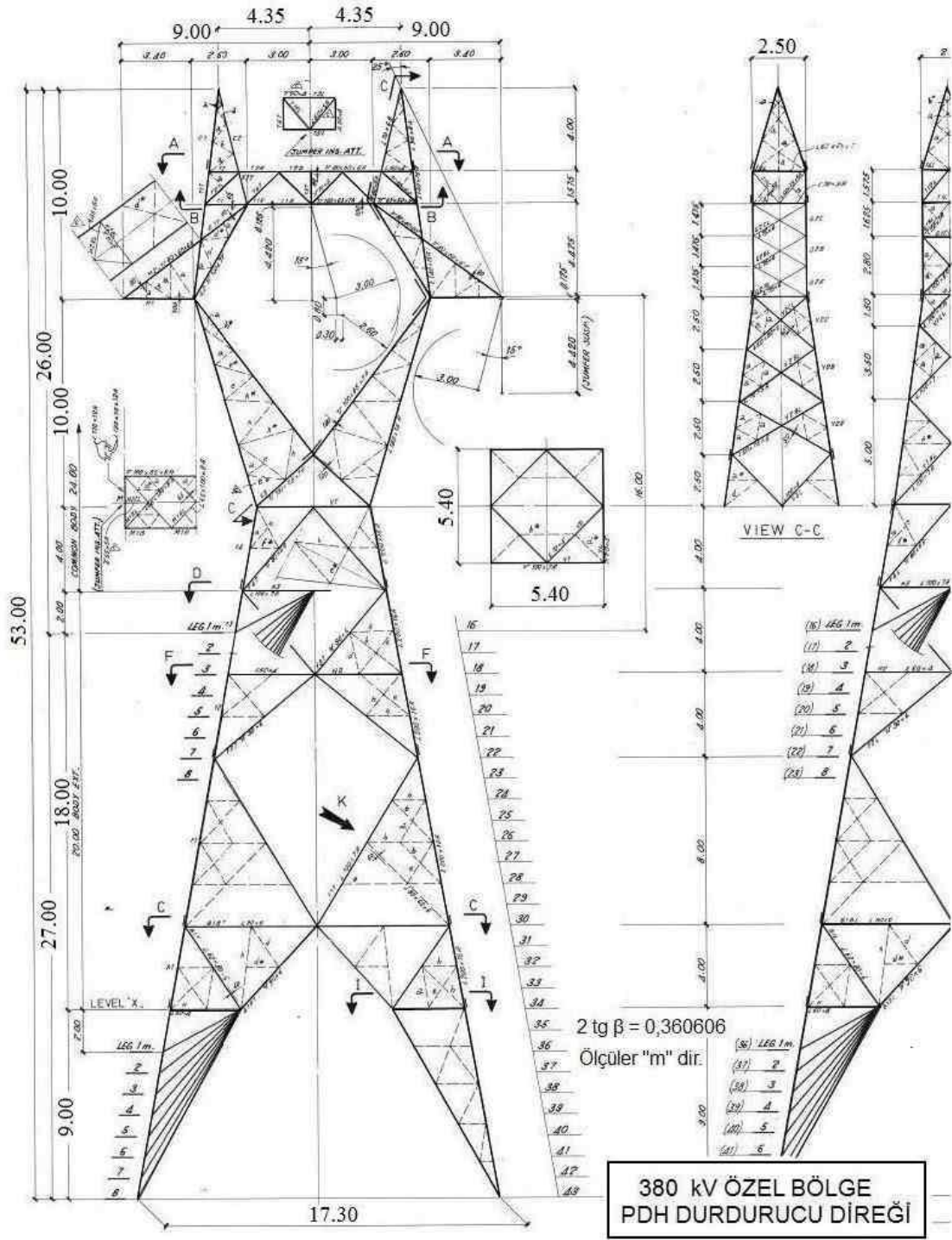
h_4 = Tek devre direklerde payanda civatası-toprak uzaklık, 300 mm

h_5 = Konsol ile 1 m ayağın toprak seviyesi arasındaki uzaklık

h_6 = Konsol ile en büyük ayağın toprak seviyesi arasındaki uzaklık

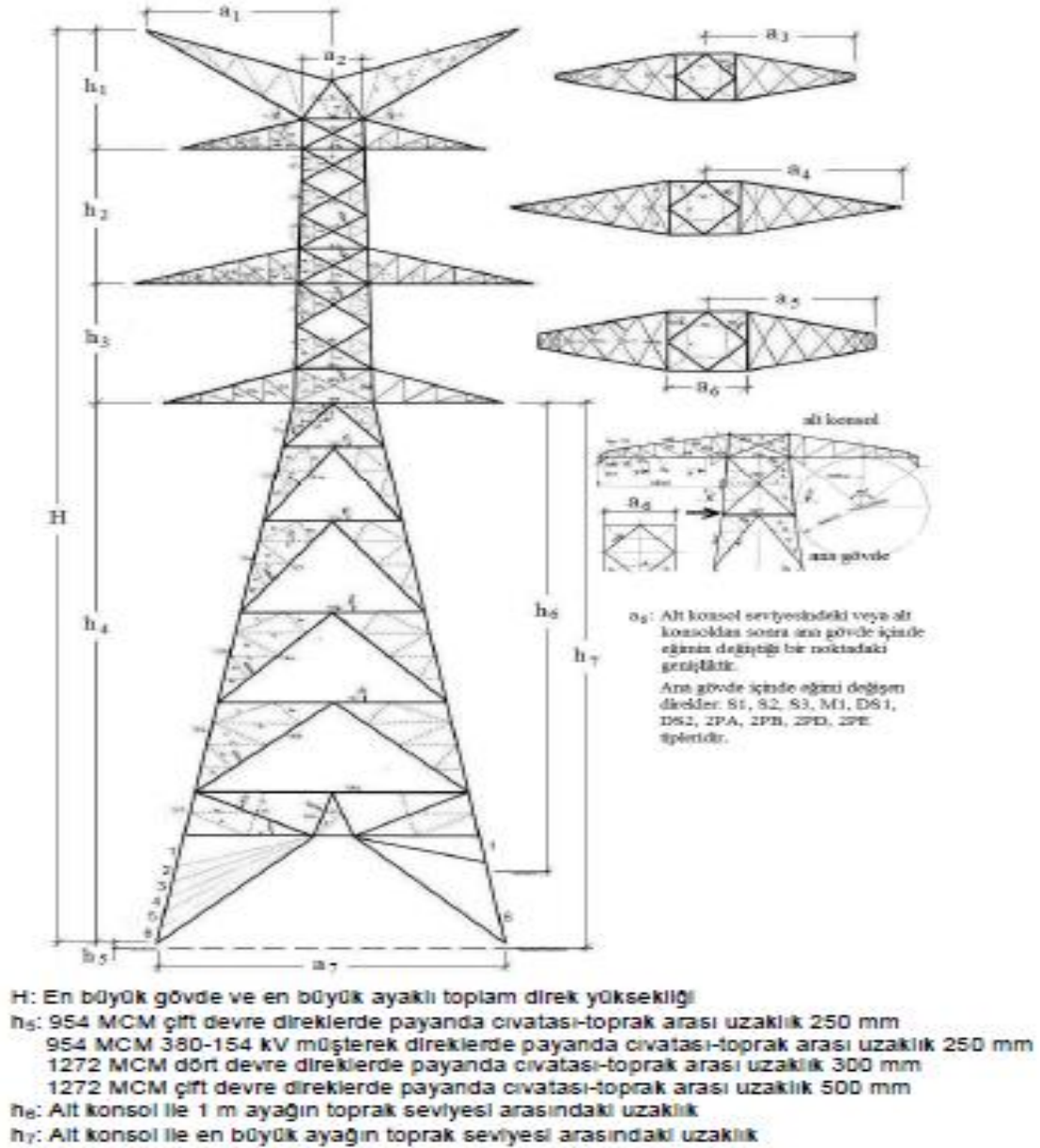


Şekil B.3. 380 kV kedi tipi tek devre özel bölge PCH direğinin ana ölçülerinin gösterimi

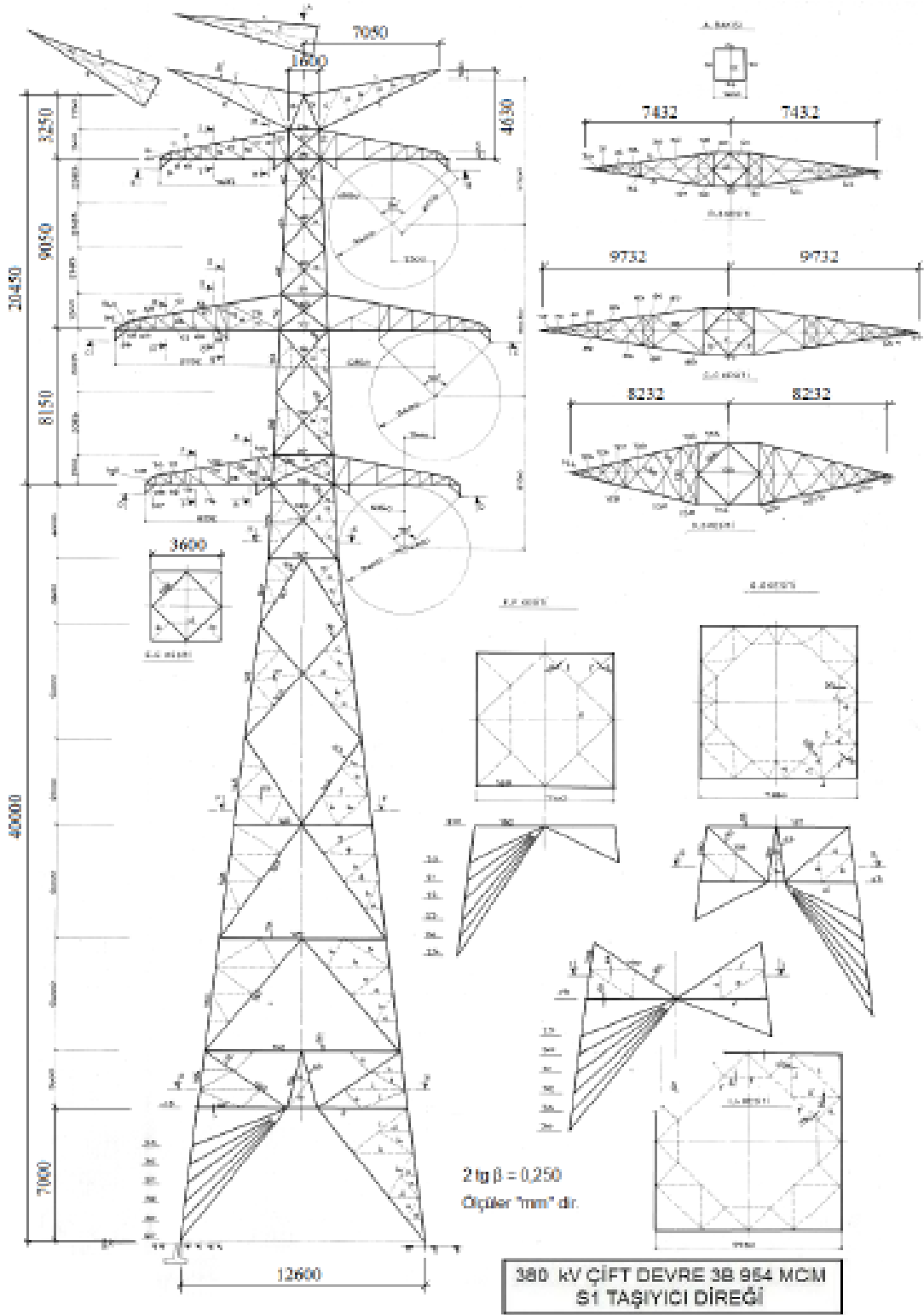


EK C

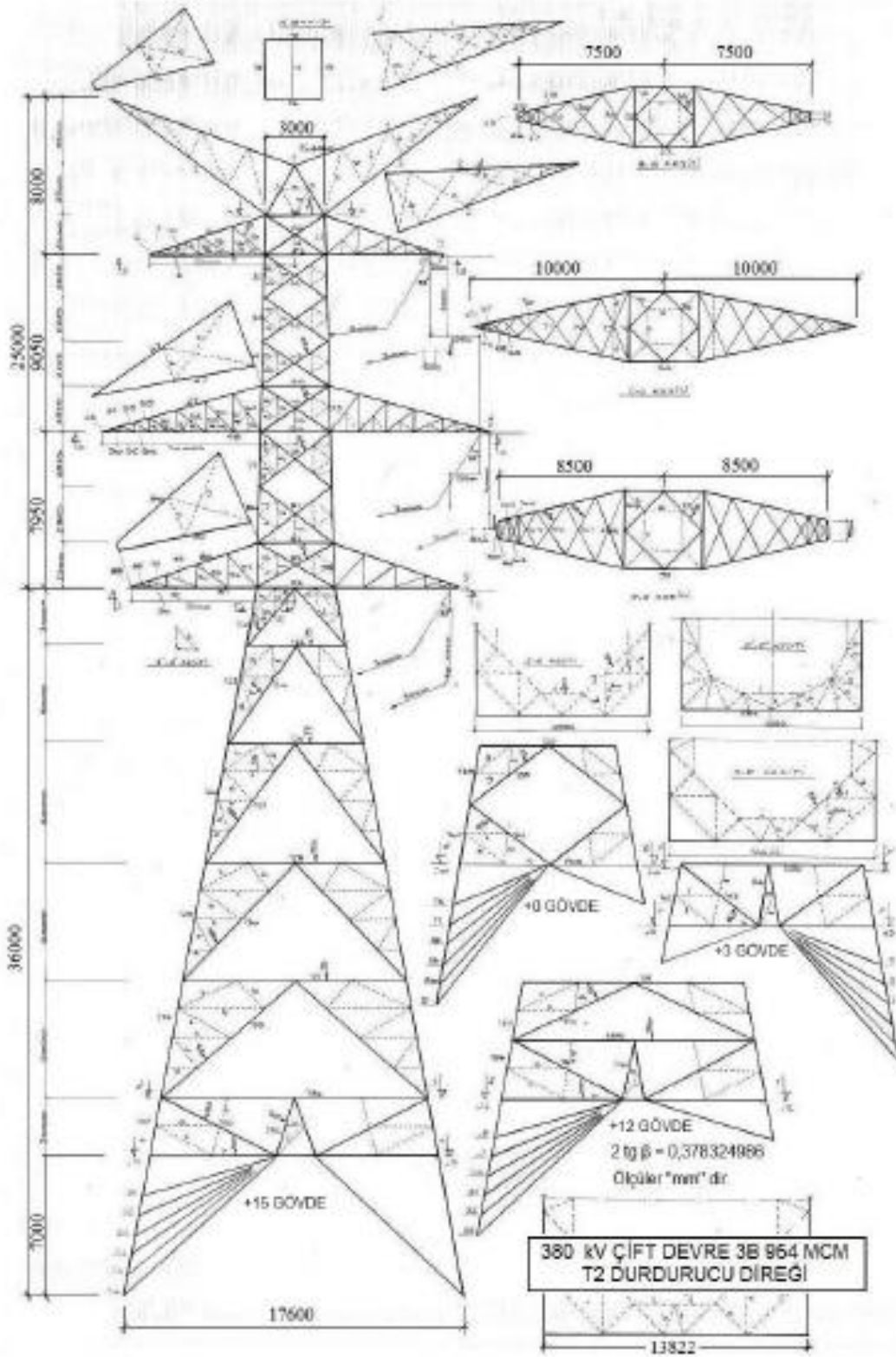
380 kV 3B 954 MCM çift devre S1, S2, S3, T1, T2, T3 direklerinin ana ölçülerinin gösterimi, 954 MCM 380/154 müşterek M1, M2, M3 direklerinin, 1272 MCM dört devre DS1, DS2, DT1, DT2 direklerinin ve 1272 MCM çift devre 2PA, 2PB, 2PD, 2PE, 2PF direklerinin ana ölçülerinin gösterimi Şekil C.1’de gösterilmiştir.



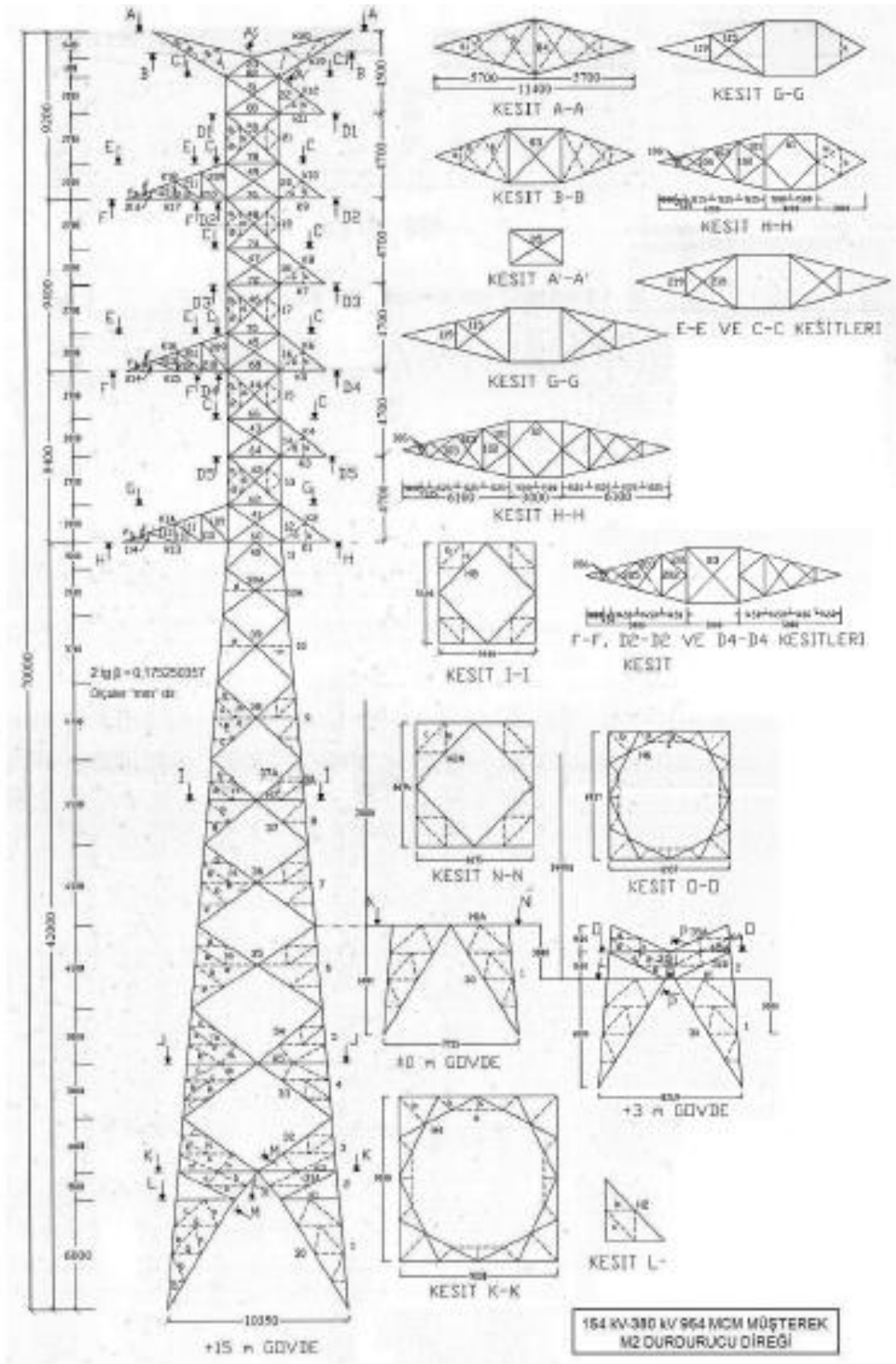
Şekil C.1. 380 kV 3B 954 MCM çift devre S1, S2, S3, T1, T2, T3 direklerinin, 954 MCM 380/154 müşterek M1, M2, M3 direklerinin, 1272 MCM dört devre DS1, DS2, DT1, DT2 direklerinin ve 1272 MCM çift devre 2PA, 2PB, 2PD, 2PE, 2PF direklerinin ana ölçülerinin gösterimi



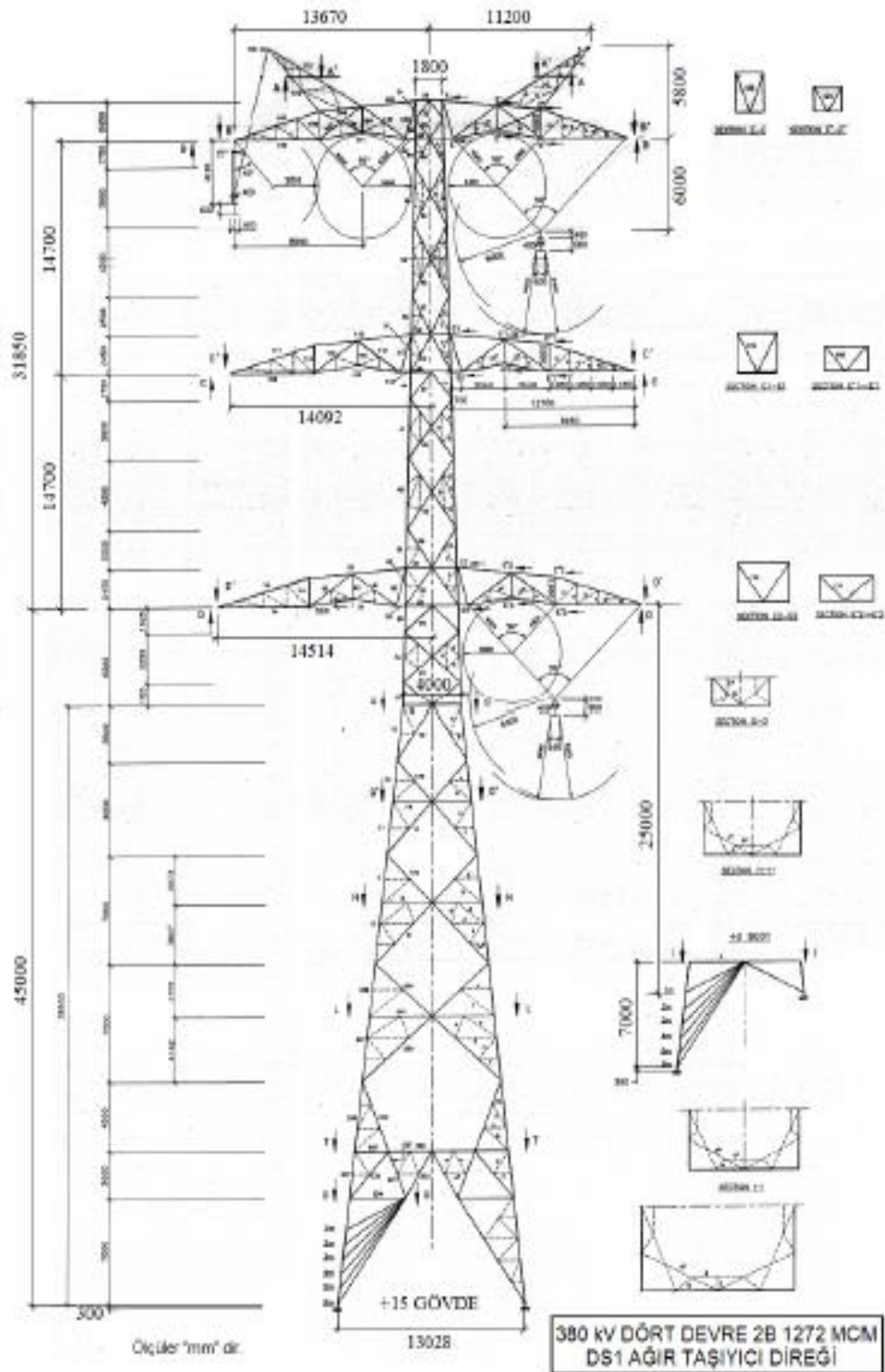
Şekil C.2. 380 kV 3B 954 MCM çift devre S1 direğinin ana ölçülerinin gösterimi



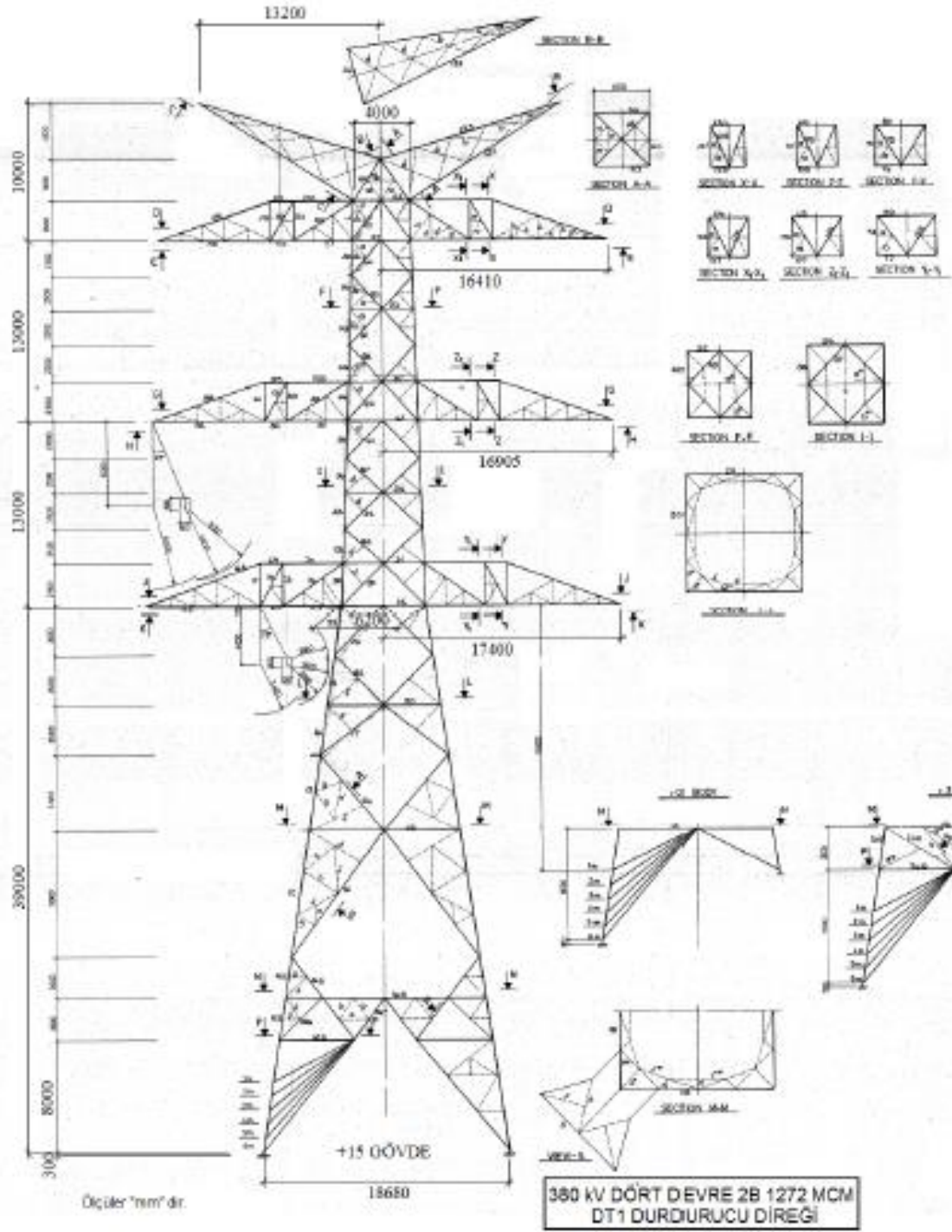
Şekil C.3. 380 kV 3B 954 MCM çift devre T2 direğinin ana ölçülerinin gösterimi



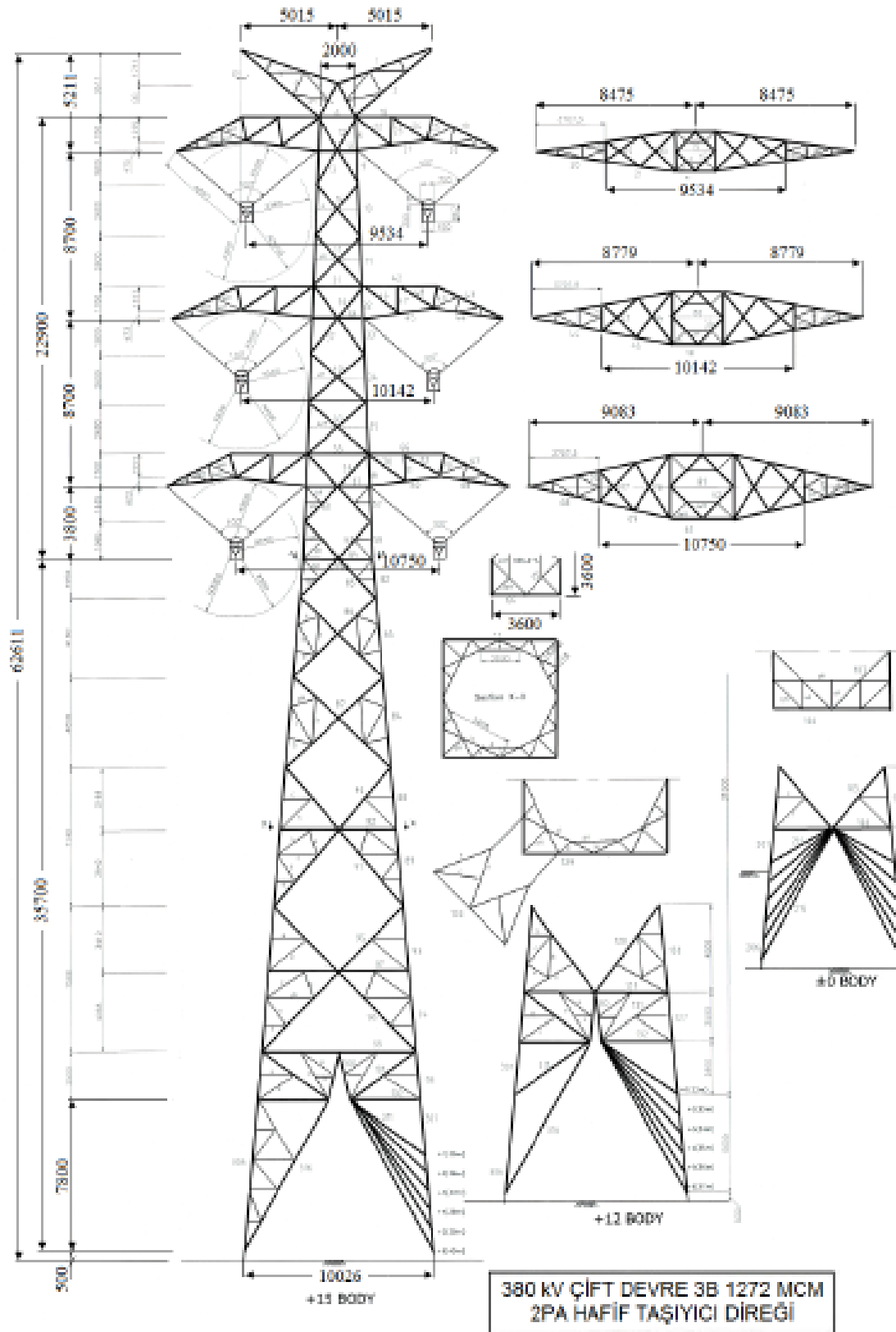
Şekil C.5. 380 kV 954 MCM 380/154 müşterek M2 direğinin ana ölçülerinin gösterimi



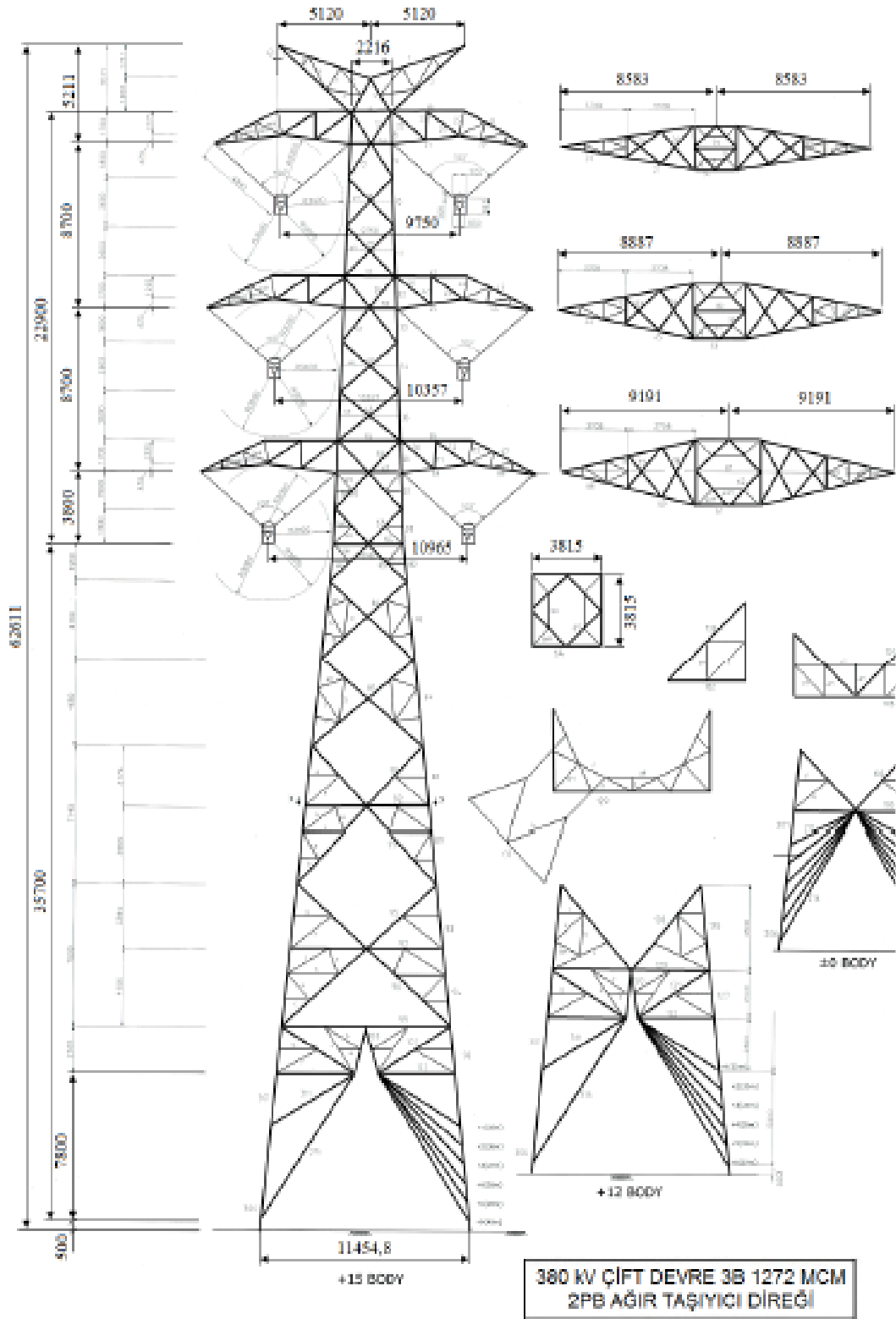
Şekil C.7. 380 kV 1272 MCM dört devre DS1 direğinin ana ölçülerinin gösterimi



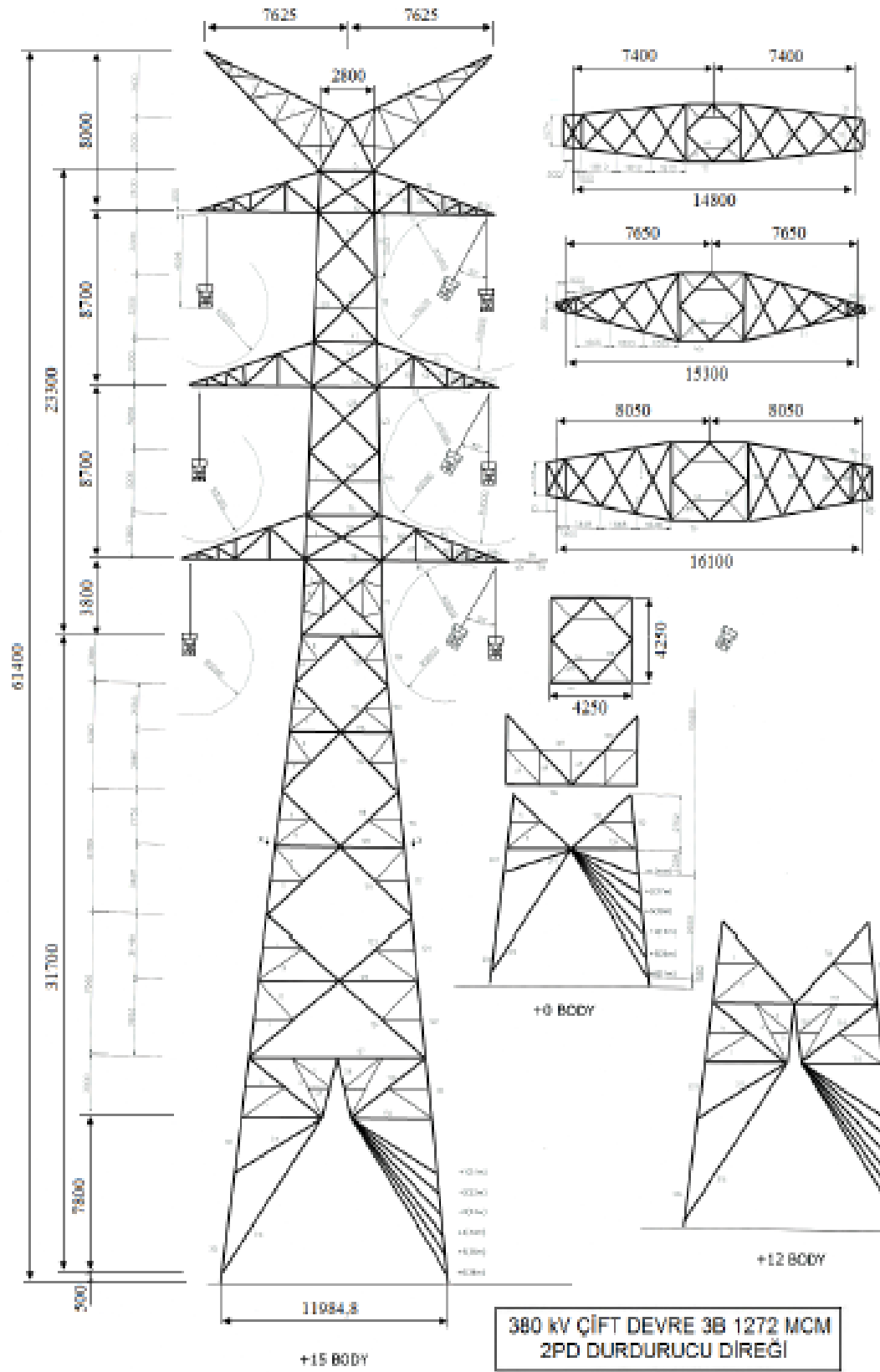
Şekil C.8. 380 kV 1272 MCM dört devre DT1 direğinin ana ölçülerinin gösterimi



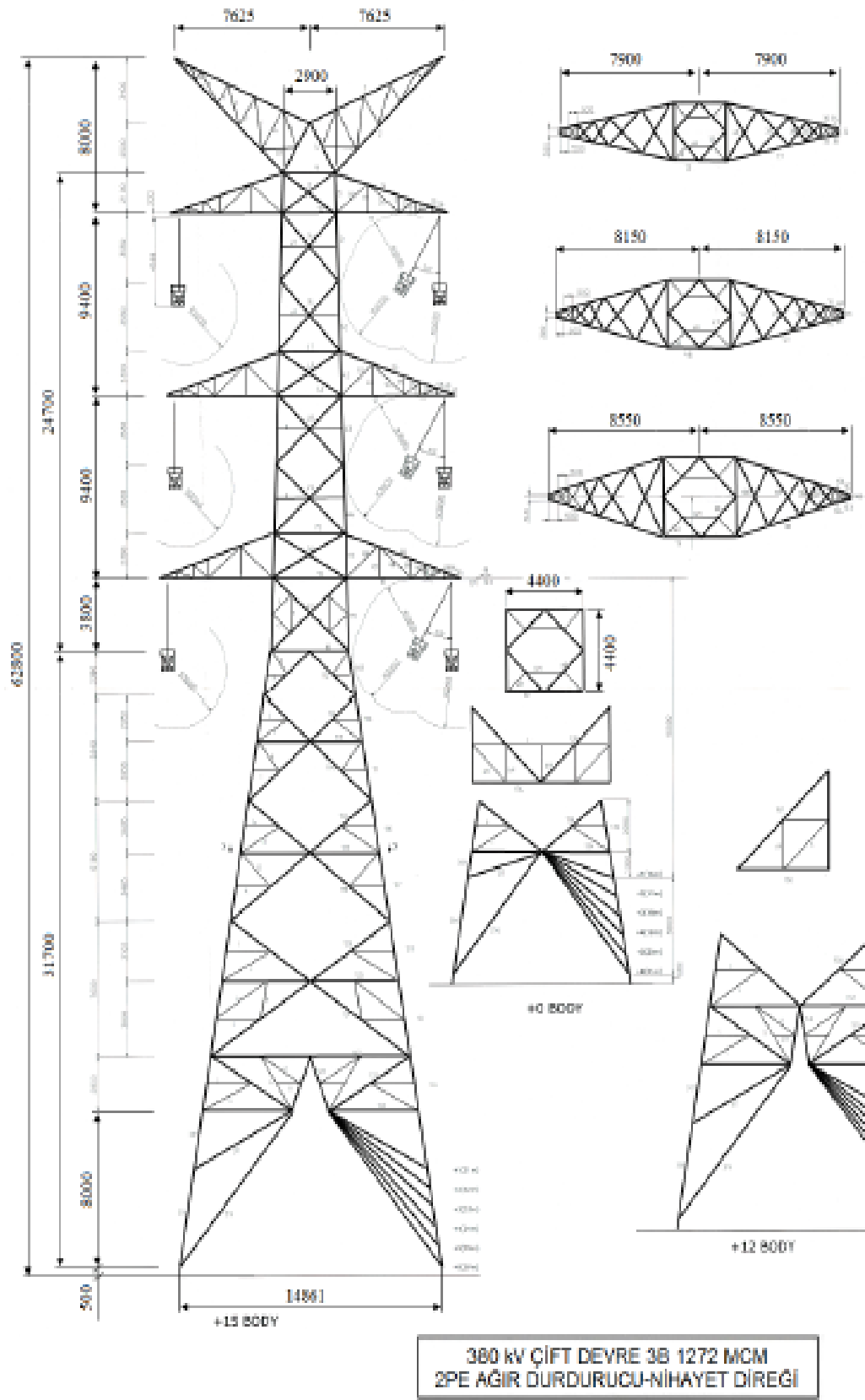
Şekil C.9. 380 kV 1272 MCM çift devre 2PA direğinin ana ölçülerinin gösterimi



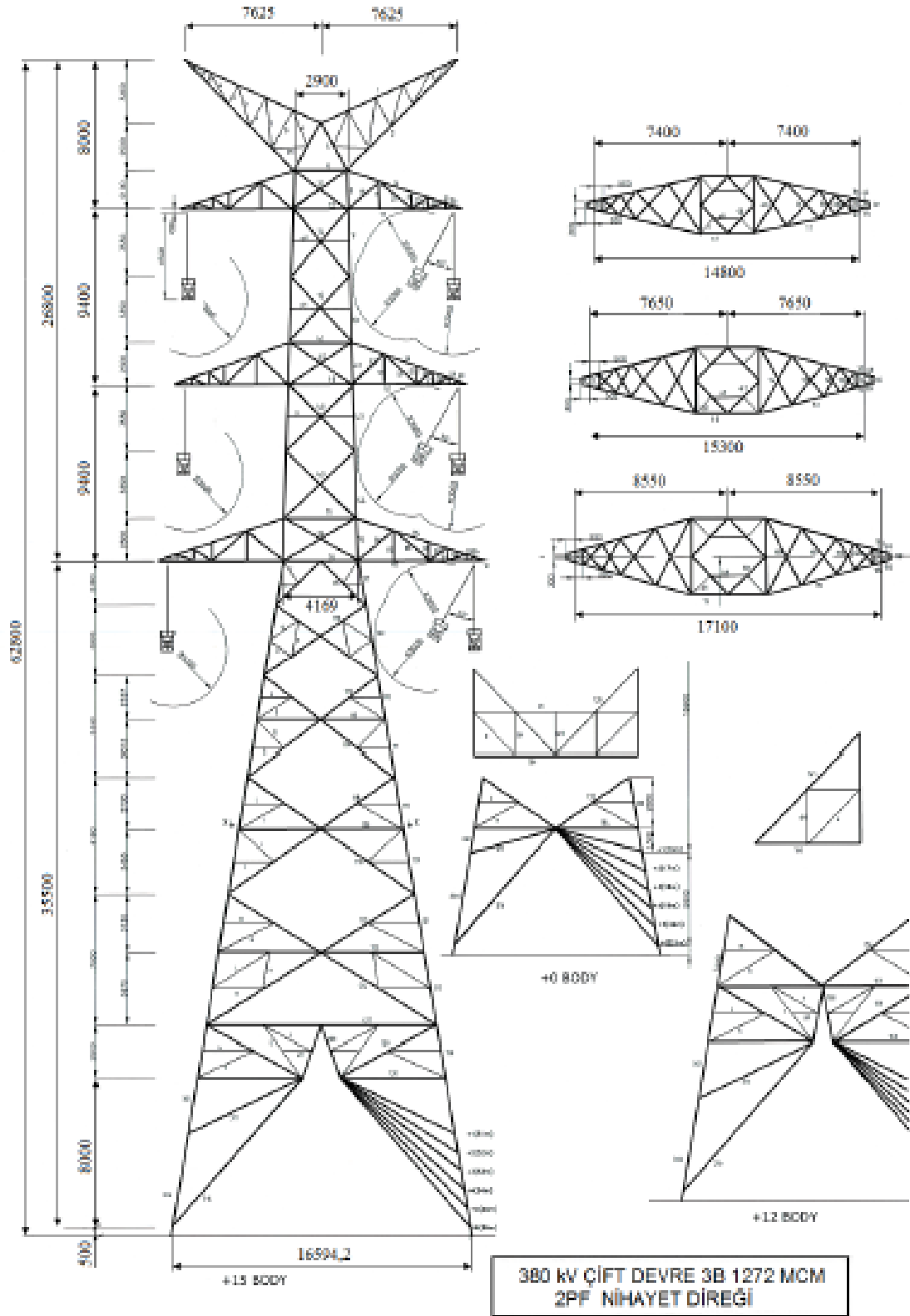
Şekil C.10. 380 kV 1272 MCM çift devre 2PB direğinin ana ölçülerinin gösterimi



Şekil C.11. 380 kV 1272 MCM çift devre 2PD direğinin ana ölçülerinin gösterimi



Şekil C.12. 380 kV 1272 MCM çift devre 2PE direğinin ana ölçülerinin gösterimi



Şekil C.13. 380 kV 1272 MCM çift devre 2PF direğinin ana ölçülerinin gösterimi

ÖZGEÇMİŞ



1989'da Manisa/Merkezde doğdu. Liseyi Almış-Şentürk mesleki ve teknik eğitim merkezinde bitirdi. 2014 yılında Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Öğretmenliği bölümünden mezun oldu. 2018 yılında Dumlupınar Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünü mühendislik tamamlama programı sınavı ile kazandı ve 2019 yılında mezun oldu.

Bilimsel Eserler :

[1] Kılınç, M. A. (2015) Yaşlılar için RFID Sistemli Akıllı Ev. Yüzey İşlemler Dergisi, Sayı 102, syf. 42-54, Mayıs-Haziran 2015.

[2] Kılınç, M. A. (2015) Marmara Üniversitesi Haydarpaşa Kampüsü Dış Cephe LED'li Aydınlatma Sistemi. Yüzey İşlemler Dergisi, Sayı 103, syf. 16-24, Temmuz-Ağustos 2015.