

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ENERJİ İLETİM HATLARINDA IEC 60826 - EN50341-1 VE EKAT
YÖNETMELİĞİNE GÖRE RÜZGAR VE BUZ YÜKÜ HESAPLAMALARI İLE
MARMARA BÖLGESİNDEKİ VAKA ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa Yuşa SALTOĞLU

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Programı

HAZİRAN 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ENERJİ İLETİM HATLARINDA IEC 60826 - EN50341-1 VE EKAT
YÖNETMELİĞİNE GÖRE RÜZGAR VE BUZ YÜKÜ HESAPLAMALARI İLE
MARMARA BÖLGESİNDEKİ VAKA ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mustafa Yuşa SALTOĞLU
511151012**

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ahmet Duran ŞAHİN

HAZİRAN 2019

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 511151012 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Mustafa Yuşa SALTOĞLU, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ENERJİ İLETİM HATLARINDA IEC 60826 - EN50341-1 VE EKAT YÖNETMELİĞİNE GÖRE RÜZGAR VE BUZ YÜKÜ HESAPLAMALARI İLE MARMARA BÖLGESİNDEKİ VAKA ANALİZİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Ahmet Duran ŞAHİN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Ahmet ÖZTOPAL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Ercan İZGİ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi **: 3 Mayıs 2019**
Savunma Tarihi **: 19 Haziran 2019**





Anneme, Babama ve Abim Fatih'e,



ÖNSÖZ

Yüksek lisans serüvenim boyunca bana değerli zamanını ayıran, engin tecrübelerinden faydalanmamı sağlayan, destek ve motivasyonunu üzerimden eksik etmeyen, yol gösterip sabreden, her daim fikir ve görüşlerine ihtiyaç duyduğum ve duyacağım, çok kıymetli hocam ve tez danışmanım Prof. Dr. Ahmet Duran ŞAHİN' e;

Tez çalışmamız boyunca elektrik konusundaki derin teknik bilgilerini ve deneyimlerini benden esirgemeyen, süreç boyunca her adımda destek olan Yıldız Teknik Üniversitesi öğretim üyesi Doç. Dr. Ercan İZGİ' ye

Meslek hayatımın en başından beri bana her konuda yardımcı olan, yüksek lisans öğrenimimi destekleyen, karşılaştığım problemleri aşmamı sağlayan ve beni en iyi şekilde yönlendiren başta Hakan ÖZ ve Mehmet Safa SABANCI olmak üzere tüm Erdem Holding Enerji Grubu ailesine;

Ve en önemlisi hayatımın her anında, attığım doğru yanlış tüm adımlarda yanımda olan, kelimeler cümleler ile anlatılamayacak önem ve değere sahip çok sevgili ANNEME, BABAMA ve canım ağabeyim eşsiz insan M. FATİH ERDEM' e sonsuz teşekkürlerimi ve minnetlerimi sunarım.

Haziran 2019

Mustafa Yuşa Saltoğlu
Çevre Mühendisi



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xi
SEMBOLLER.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY.....	xxi
1.GİRİŞ.....	1
1.1.Enerji İletim Hatları.....	2
1.1.1.Enerji iletim hatları direkleri.....	2
1.1.2.Enerji iletim hattı elemanları.....	4
1.2.Rüzgar Tanımları.....	8
1.2.1.Dinamik Rüzgar Basıncı.....	8
1.2.2.Türbülans.....	9
1.2.3.Rüzgar Yüğü.....	11
1.3.Literatür Özeti.....	11
1.4.Marmara Bölgesindeki Vaka.....	12
1.4.1.İSKİ Projesi Verileri.....	13
1.4.2.NEWA Projesi Sonuçları.....	15
2.ENERJİ İLETİM HATLARINDA RÜZGAR YÜKLERİ.....	17
2.1.IEC 60826 – Overhead Transmission Lines – Design Criteria”.....	17
2.1.1.Referans rüzgar hızı.....	18
2.1.2.Rüzgar hızının herhangi bir hat elemanı üzerindeki birim etkisi.....	18
2.1.3.Hat elemanlarına göre rüzgar yüklerinin değerlendirilmesi.....	19
2.2.EN 50341-1 Overhead Electrical Lines Exceeding AC 45 kV – Part 1 : General Requirements.....	24
2.2.1.Rüzgar yüğü.....	24
2.2.2.Enerji nakil hattı elemanlarında rüzgar yüğü hesaplamaları.....	27
2.3.Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliğı.....	34
2.3.1. Faz ve toprak iletkenlerinde rüzgar kuvveti.....	35
2.3.2. Kare ya da dikdörtgen kesitli kafes direklerde rüzgar kuvveti.....	36
3.RÜZGAR YÜKÜ HESAPAMALARI.....	37
3.1.IEC 60826 Standardına Göre Hesaplamalar.....	37
3.2.EN 50341-1 Standardına Göre Hesaplamalar.....	42
3.3.EKAT Yönetmeliğıne Göre Hesaplamalar.....	46
4.SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	49
EKLER.....	53



KISALTMALAR

AAC	:Tam Alüminyum İletken
AG	:Alçak Gerilim
ASCR	:Çelik Özlü Alüminyum İletken
EKAT	:Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği
EN	:European Norm
IEC	:International Electrotechnical Commission
kV	:Kilovolt
MCM	:Mega Circular Miles
N:	:Newton
NEWA	: New European Wind Atlas
OG	:Orta Gerilim
TEİAŞ	:Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
YG	:Yüksek Gerilim



SEMBOLLER

a	: Rüzgar Hızının Birim Etkisi
A, A_t, A_{tc}	: Rüzgar Yüğü
C_x, C_{xc}, C_{xi}	: Sürüklenme Katsayısı
d_t	: Silindir Çapı
D	: İletken Çapı
G, G_e, G_t	: Birleşik Rüzgar Faktörü
G_L	: Açıklık Faktörü
l_e	: Elemanın Uzunluğu
L	: Rüzgar Açıklığı
R_e	: Reynolds Sayısı
S_i, S_{t2}	: Yüzey Alanı
v	: Kinetik Hava Viskozitesi
q₀	: Dinamik Referans Rüzgar Basıncı
μ	: Hacim Başına Olan Hava Kütlesi
τ	: Hava Yoğunluğu Düzeltme Faktörü
Ω	: İletkenler ile Rüzgar Yönü Arasındaki Açık
θ	: Rüzgar Yönünün Geliş Açısı



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1: Türbülans yoğunluğu sınıflandırması.	10
Çizelge 2.1: Arazi kategorisi ve engebelik karakteristikleri.	18
Çizelge 2.2: Sıcaklık- yükseklik hava yoğunluğu değişimi.	19
Çizelge 2.3: Arazi kategorisi, pürüzlülük katsayısı z_0 ve arazi faktörü k_r	25
Çizelge 2.4: Farklı yükseklik seviyelerinde ve sıcaklıklardaki hava yoğunluğu değerleri.	26
Çizelge 2.5: Dinamik rüzgar basıncı değerleri.	35
Çizelge 2.6: Dinamik rüzgar basıncı katsayısı, c	36
Çizelge 3.1: Arazi sınıfı C olan direk izolatörlerine gelen rüzgar yükleri. (N)	38
Çizelge 3.2: Arazi sınıfı III olan direk izolatörlerine gelen rüzgar yükleri. (N)	44
Çizelge 3.3: EKAT yönetmeliğine göre farklı rüzgar açıklıklarında ve farklı direk boylarındaki rüzgar yükleri. (kN)	44
Çizelge B.1: Arazi kategorisi 0 için G_c değerleri.	58
Çizelge B.2: Arazi kategorisi 1 için G_c değerleri.	58
Çizelge B.3: Arazi kategorisi 2 için G_c değerleri.	599
Çizelge B.4: Arazi kategorisi 3 için G_c değerleri.	599
Çizelge B.5: Arazi kategorisi 4 için G_c değerleri.	60
Çizelge C.1 : IEC 60826- arazi sınıfı C, rüzgar açıklığı 200 m olan direk iletkenlerine gelen rüzgar yükleri. (N)	61
Çizelge C.2: IEC 60826- arazi sınıfı C, rüzgar açıklığı 300 m olan direk iletkenlerine gelen rüzgar yükleri. (N)	62
Çizelge C.3: IEC 60826- arazi sınıfı C, rüzgar açıklığı 400 m olan direk iletkenlerine gelen rüzgar yükleri. (N)	63
Çizelge C.4: IEC 60826- arazi sınıfı C, rüzgar açıklığı 500 m olan direk iletkenlerine gelen rüzgar yükleri. (N)	64
Çizelge C.5: IEC 60826- arazi sınıfı C, 154 kV ağır tip taşıyıcı direğe etki eden rüzgar yükleri (kN).	65
Çizelge C.6: Arazi sınıfı C, IEC 60826- rüzgar açıklığı 200 m olan 154 kv ağır tip taşıyıcı direğe etki eden toplam rüzgar yükleri (kN)	66
Çizelge C.7: Arazi sınıfı C, IEC 60826- rüzgar açıklığı 300 m olan 154 kv ağır tip taşıyıcı direğe etki eden toplam rüzgar yükleri (kN)	67
Çizelge C.8: Arazi sınıfı C, IEC 60826- rüzgar açıklığı 400 m olan 154 kv ağır tip taşıyıcı direğe etki eden toplam rüzgar yükleri (kN)	68
Çizelge C.9: Arazi sınıfı C, IEC 60826- rüzgar açıklığı 500 m olan 154 kv ağır tip taşıyıcı direğe etki eden toplam rüzgar yükleri (kN)	69
Çizelge D.1: Arazi sınıfı III EN50341-1 rüzgar açıklığı 200 m olan 154 kv ağır tip taşıyıcı direk iletkenlerine gelen rüzgar yükleri. (N)	70
Çizelge D.2: Arazi sınıfı III EN50341-1 rüzgar açıklığı 300 m olan 154 kv ağır tip taşıyıcı direk iletkenlerine gelen rüzgar yükleri. (N)	71

Çizelge D.3: Arazi sınıfı III EN50341-1 rüzgar açıklığı 400 m olan 154 kv ağır tip taşıyıcı direk iletkenlerine gelen rüzgar yükleri. (N).....	72
Çizelge D.4: Arazi sınıfı III EN50341-1 rüzgar açıklığı 500 m olan 154 kv ağır tip taşıyıcı direk iletkenlerine gelen rüzgar yükleri. (N).....	733
Çizelge D.5: Arazi sınıfı III EN50341-1 154 kV ağır tip taşıyıcı direklere gelen rüzgar yükleri. (N)	744
Çizelge D.6: Arazi sınıfı III EN 50341-1 rüzgar açıklığı 200 m olan 154 kv ağır tip taşıyıcı direğe etki eden toplam rüzgar yükleri. (kN)	755
Çizelge D.7: Arazi sınıfı III EN 50341-1 rüzgar açıklığı 300 m olan 154 kv ağır tip taşıyıcı direğe etki eden toplam rüzgar yükleri. (kN)	766
Çizelge D.8: Arazi sınıfı III EN 50341-1 rüzgar açıklığı 400 m olan 154 kv ağır tip taşıyıcı direğe etki eden toplam rüzgar yükleri. (kN)	777
Çizelge D.9: Arazi sınıfı III EN 50341-1 rüzgar açıklığı 500 m olan 154 kv ağır tip taşıyıcı direğe etki eden toplam rüzgar yükleri. (kN)	788
Çizelge E.1: Rüzgar açıklığı 200 m olan 154 kv ağır tip taşıyıcı direğe etki eden toplam rüzgar yükleri (kN).....	799
Çizelge E.2: Rüzgar açıklığı 300 m olan 154 kv ağır tip taşıyıcı direğe etki eden toplam rüzgar yükleri (kN).....	80
Çizelge E.3: Rüzgar açıklığı 400 m olan 154 kv ağır tip taşıyıcı direğe etki eden toplam rüzgar yükleri (kN).....	81
Çizelge E.4: Rüzgar açıklığı 500 m olan 154 kv ağır tip taşıyıcı direğe etki eden toplam rüzgar yükleri (kN).....	82

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Türkiye yıllara göre kurulu güç artışları	1
Şekil 1.2 : Türkiye Enerji İletim Hattı Uzunlukları Yıllara Göre Değişimi.	2
Şekil 1.3: Farklı gerilim seviyelerine göre enerji iletim hattı direkleri.	3
Şekil 1.4: Yuvarlak boru - A direk - kafes direk - pylon direk - çatal direk.	4
Şekil 1.5: Alüminyum iletken ile bakır iletken.	5
Şekil 1.6: Çelik özlü alüminyum iletkenler.	5
Şekil 1.7: Çubuk ve zincir izolatörler	6
Şekil 1.8: Beton ve demir direklerdeki traversler.....	6
Şekil 1.9: Enerji iletim hattı elemanları.	7
Şekil 1.10 : Maruz kalma katsayısı.....	9
Şekil 1.11: Türbülans güç spektrumu yoğunluk fonksiyonunun normalize edilmiş frekansla değişim grafiği	11
Şekil 2.1: Gc birleşik rüzgar faktörü grafiği	20
Şekil 2.2 : G _L açıklık faktörü.....	20
Şekil 2.3: Birleşik rüzgar faktörü grafiği	21
Şekil 2.4: Rüzgarın geliş açısının tarifi.	22
Şekil 2.5: Silindirik elemanlı direkler için sürüklenme katsayısı C _{xt}	23
Şekil 2.6: Büyük çapa sahip silindirik elemanlar için sürüklenme katsayısı C _{xtc}	23
Şekil 2.7: İletkenler üzerindeki rüzgar yükü.	28
Şekil 2.8: İletkenlerdeki rüzgar yükü - hat eksenine açıortay oluşturacak şekilde gelen rüzgar yönleri için.	29
Şekil 2.9: Direk çapraz kol, yüz-1 ve yüz-2 tanımları.	32
Şekil 2.10: Katılık oranı ve sürüklenme katsayıları, C _t grafiği.....	33
Şekil 3.1: 154 kv 1272 MCM ağır tip taşıyıcı enerji nakil hattı kesitleri.	39
Şekil 3.2: 154 kV 1272 MCM ağır tip taşıyıcı direk bölme 1 kesitleri.	40
Şekil 3.3: 154 kV 1272 MCM ağır tip taşıyıcı direk bölme 2 kesitleri	40
Şekil 3.4: 154 kV 1272 MCM ağır tip taşıyıcı direk bölme 3 kesitleri	40



ENERJİ İLETİM HATLARINDA IEC 60826 - EN50341-1 VE EKAT YÖNETMELİĞİNE GÖRE RÜZGAR VE BUZ YÜKÜ HESAPLAMALARI İLE MARMARA BÖLGESİNDEKİ VAKA ANALİZİ

ÖZET

21. yüzyılda teknolojinin hızlı bir ivme ile gelişimi insanoğlunun hayatına birçok konuda yenilik getirmekle birlikte refah düzeyinde bir yükseliş sağlamıştır. Bilimden haberleşmeye, ulaşımdan sanayi ve tarıma kadar çok geniş bir alanda ilerleme kaydetmemizi sağlayan teknolojinin hammaddesi olarak nitelendirebileceğimiz tek bir kavram vardır; elektrik enerjisi.

Elektrik, icadından bu yana giderek gündelik yaşantımıza girerek temel ihtiyaçlardan birisi haline gelmiştir. Önceleri, üretilen elektrik enerjisi taşınamaması sebebi ile kaynağında tüketilmesi durumunda kalınırken, nüfus artışı, şehirleşme, sanayileşme gibi etkenlerden dolayı kaynağında üretilen elektrik enerjisi ihtiyacı olan bölgelere kısacası şehirlere, kentlere taşınması zorunluluk haline gelmiştir. Örnek olarak, ülkemizde enerji ihtiyacının çok büyük bir bölümünü karşılamakta olan başlıca kaynaklardan olan kömüre dayalı termik santraller ile suya dayalı hidroelektrik santralleri kurulu güç bakımından önemli bir kısmı Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgesinde bulunmaktadır. Nüfus yoğunluğu, sanayileşme v.b. gibi elektrik tüketiminin fazla olduğu yerlere bakıldığında ise bu bölgelerin genellikle Marmara ve Ege bölgesinde yer aldığı görülmektedir. Bu sebeple, üretilen enerjinin yüzlerce kilometre uzaklıktaki ihtiyaç bölgelerine taşınması bir zorunluluk haline gelmiştir.

Bu tez çalışmasındaki amaç; hayatımızda önemli bir yer eden elektrik enerjisinin bizlere yani tüketiciye ulaştırılmasında başrolü oynayan enerji iletim hatlarındaki rüzgar ve buz yüklerini incelemektir. Güvenli ve kesintisiz olarak elektrik iletimini sağlaması gereken enerji iletim hatlarının tasarımlarını yaparken bu ihtiyacı karşılamak için dikkat edilmesi gereken en önemli parametrelerden biri olan rüzgar ve buz yüklerinin hesaplarında uluslararası alanda kullanılan iki önemli standart yer almaktadır; IEC 60826 ve EN 50341-1. Bunun yanında, ülkemizde enerji iletim hatlarındaki rüzgar ve buz yükleri hesaplamalarında Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri

yönetmeliğindeki hesaplama metotları kullanılmaktadır. Bununla birlikte, bu çalışmada 2016 yılı Aralık ayında Marmara bölgesindeki 154 kV gerilimdeki ağır tip taşıyıcı direklerde meydana gelen tahribat ve yıkımlardaki rüzgar ve buz yükü etkilerini araştırmak amacıyla bu zaman aralığındaki rüzgar yükü hesaplamaları iki uluslararası standart ile EKAT yönetmeliğinin hesaplama yönetmelerine göre yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Sonuçlara bakıldığında, ülkemizde enerji iletim hatları tasarımında dikkate alınan EKAT yönetmeliğindeki yöntemlere göre yapılan hesap sonuçları 40m/s üzeri rüzgarlarda meydana gelen yüklere dayanıklılık gösterebilecek iletim hatlarının tasarlandığı belirlenmiştir. Bunun yanında, 154 kV iletim hatlarında buz yüklerinin hesaba katılmadığı belirlenmiştir. Marmara bölgesinde 2016 yılı Aralık ayında meydana gelen hasar ve yıkımların ise 40 m/s ve üzeri rüzgarlar ölçülmediğinden dolayı yıkım meydana gelmemesi gerekirken hesaplamaya katılmayan buz yüklerinden dolayı yıkımların meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu sebeple, 154 kV iletim hatlarının tasarlanırken rüzgar yüklerinin yanında rüzgar ve buz yüklerinin kombine etkilerinin de hesaplanıp tasarımların bu yüklere göre yapılması gerektiği önerilmiştir.

WIND AND ICE LOAD CALCULATIONS ACCORDING TO IEC 60826 – EN 50341-1 AND EKAT REGULATIONS IN ENERGY TRANSMISSION LINES AND CASE ANALYSIS IN MARMARA REGION

SUMMARY

The development of technology with a rapid acceleration in the 21st century has brought a new level of prosperity to the life of human beings. There is a single concept that we can describe as the raw material of technology that enables us to make progress in a wide range from science to communication, from transportation to industry and agriculture; electrical energy.

Electricity has become one of the basic needs by going to our daily life ever since its invention. Previously, due to the fact that it was consumed in its source due to the fact that the electricity energy produced could not be transmitted, it has become a necessity to move to villages, cities, etc. that need electricity due to the factors such as population growth, urbanization and industrialization. For example, coal-based thermal power plants and water-based hydroelectric power plants, which are among the main sources of energy demand in Turkey, are located in Eastern and Southeastern Anatolia. When look at the places where electricity consumption is high due to population density and industrialization, it is seen that these regions are generally located in Marmara and Aegean regions. For this reason, it has become a necessity to transmit the produced energy to the needy regions which are hundreds of kilometers away.

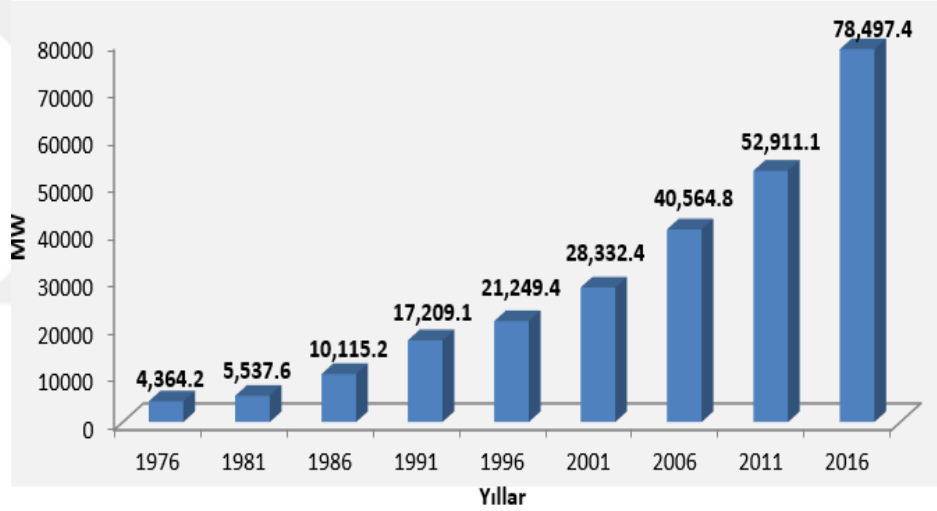
The purpose of this thesis is; to examine the wind and ice loads in the energy transmission lines that play an important role in the transmission of electricity energy to consumers. Two major standards for the calculation of wind and ice loads, which is one of the most important parameter that must be taken into consideration in order to meet this needings, used in the design of the power transmission lines that should provide safe and uninterrupted electricity transmission; IEC 60826 and EN 50341-1. Moreover, in our country, the calculation method in EKAT regulation, used in the calculation of wind loads in power transmission lines are used.

In this study, in order to investigate the wind and ice load effects of heavy type of 154 kV loadbearing poles that are located in Marmara region in December 2016, the wind loads are calculated according to the calculation rules of two international standards and EKAT regulation, and the results were compared with each other.

When the results are examined, it is determined that the transmission lines designed to withstand the loads occurring in winds of more than 40 m/sec are calculated according to the methods in the EKAT regulation taken into consideration in the design of energy transmission lines in our country. In addition, it was determined that ice loads were not taken into account in 154 kV transmission lines. As the damage and destruction in the Marmara region in December 2016 was not measured because winds of 40 m / s and above should not occur, it was determined that the destruction occurred due to ice loads not included in the calculation. Therefore, when designing 154 kV transmission lines, it is proposed that the combined effects of wind and ice loads as well as wind loads should be calculated and designs should be made according to these loads.

1. GİRİŞ

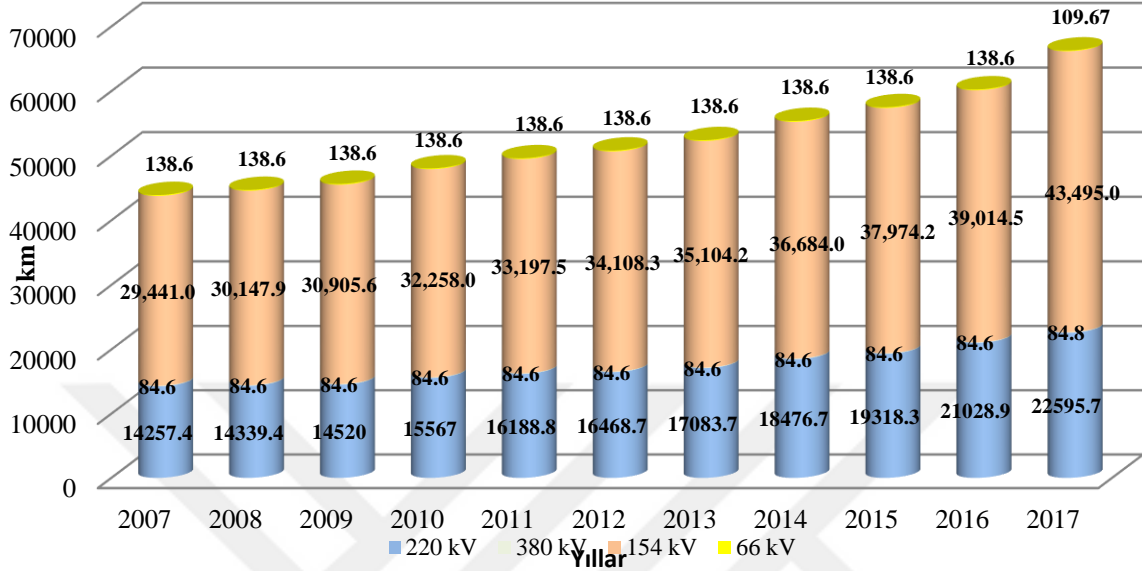
1800'lü yılların sonlarına doğru aydınlatma ile başlayan elektrik enerjisi kullanımı, 20. yüzyılda elektrik enerjisine olan ihtiyacın artması ve temel ihtiyaçlardan biri haline gelmesi ile birlikte üst boyutlara ulaşmıştır. Bu nedenle, bir çok çeşitli kaynaktan (kömür, hidro, rüzgar, güneş vs.) elektrik üretimi hızla artmıştır. 1976 yılında 4,364.2 MW olan Türkiye elektrik kurulu gücü otuz yıl içerisinde yaklaşık 10 kat büyüyerek 40,564,8 MW ' a kadar ulaşmış olup, son on yıl içerisinde de yenilenebilir enerji kaynaklarının artışı ile beraber iki kat büyüyerek 88.000 MW' a kadar çıkmıştır. [1]



Şekil 1.1: Türkiye yıllara göre kurulu güç artışları [1].

Yerinde ve kaynağında üretilen elektrik enerjisinin, ihtiyacı olan yerlere iletilmesi ise 1887 yılında Nikola Tesla'nın alternatif akım generatörünü bulması ile başlamış ve elektrik enerjisi üretildiği noktadan çok daha uzun mesafelere enerji iletim hatları yardımı ile ulaştırılması sağlanmıştır. Ülkemizden örnek vermek gerekirse, kurulu gücümüzün yaklaşık yüzde 75' ini oluşturan termik santraller ile hidroelektrik santrallerin çoğunlukla Anadolu bölgesinde bulunması ve elektrik tüketiminin yaklaşık yüzde 50'sinin Marmara bölgesi ve çevresinde gerçekleşmesi enerjinin üretim kaynağından dağıtım hatlarına kadar iletimini önemli kılmıştır. Türkiye 2017 yılı sonu itibariyle çeşitli gerilim seviyelerinde toplam 66.285,2 kilometre enerji iletim

hattı uzunluğuna sahiptir. 2007' den bu yana enerji iletim hatlarının uzunluklarının yıllara göre değişimi Şekil 1.2' de verilmiştir.



Şekil 1.2 : Türkiye enerji iletim hattı uzunlukları yıllara göre değişimi.

Elektrik enerjisinin günümüzdeki önemini ve üretim aşamasının yüksek maliyetlerle planlı, kontrollü, can ve mal güvenliğini gözeterek yapıldığını dikkate alırsak, enerji iletiminin de üretilen bu enerjinin son tüketici kaynağına kadar minimum kayıpla ve kesintisiz şekilde ulaştırılması da bir o kadar önem arz etmektedir. Bu yüzden, enerji iletim hatları tasarlanırken; hat güzergahı ve gerilim seviyesi, arazinin coğrafi ve topografik yapısı, iklim şartları, hattın güvenlik konumu gibi bir çok parametre dikkate alınmaktadır. Rüzgar yükü ise iklim şartları altında incelenmesi gereken önemli konulardan biridir.

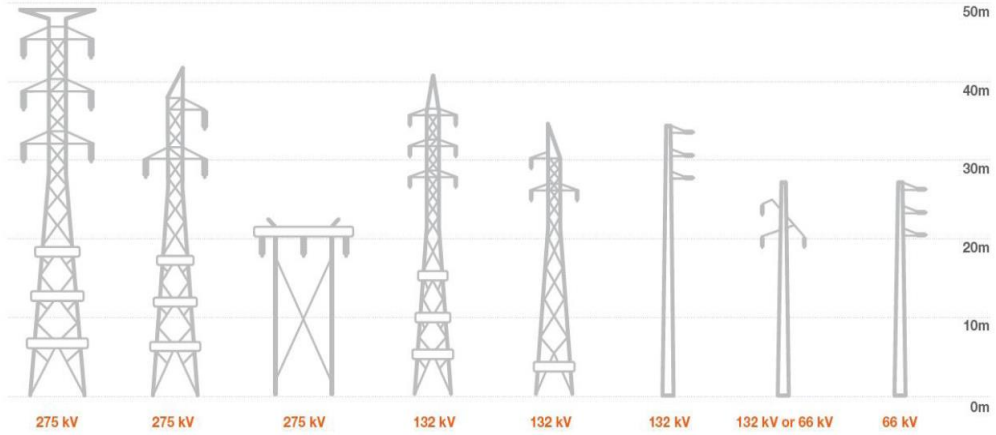
1.1. Enerji İletim Hatları

1.1.1. Enerji iletim hatları direkleri

Enerji iletim hattı direkleri; gerilim seviyesine, kullanım yerlerine ve yapıldıkları malzemeye göre üç farklı kategoriye ayrılmaktadır. [2]

Gerilim seviyelerine göre direkler: Alçak, orta ve yüksek ve çok yüksek gerilimlerde kullanılan direkler olmak üzere dörde ayrılmaktadır. 1.000 Volta kadar olan gerilimler için alçak gerilim, 1 kV ile 34,5 kV arası gerilimler için orta gerilim, 34,5 kV ile 154

kV arası gerilimler için yüksek gerilim ve 154 kV üzeri gerilimler için çok yüksek gerilim direkleri olarak adlandırılır.[2]

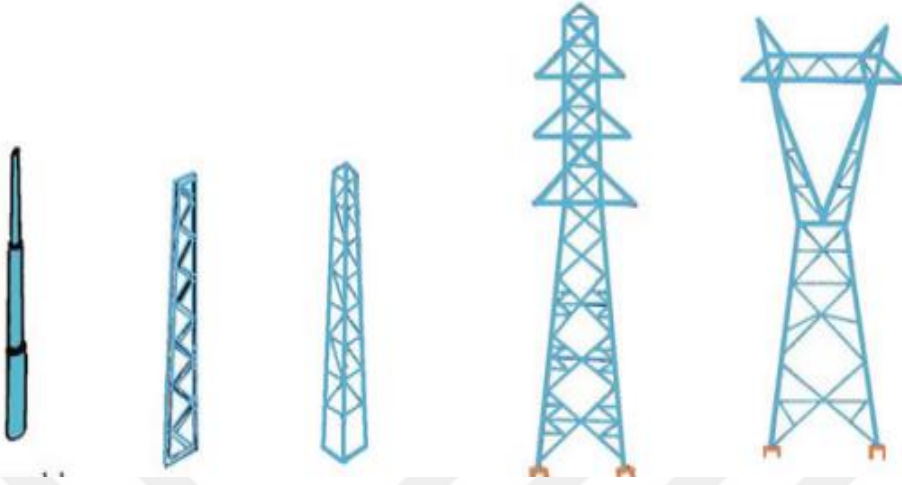


Şekil 1.3: Farklı gerilim seviyelerine göre enerji iletim hattı direkleri.

Kullanım yerlerine göre direkler: Taşıyıcı, köşede taşıyıcı, durdurucu, köşede durdurucu, nihayet, branşman, tevzi, geçit direkleri kullanım yerine göre olan direk çeşitleridir. Taşıyıcı direklerin görevi, iletim hattı güzergahının eksenini doğrultusunda olan ve iletkenlerin taşınması amacıyla kullanılan direklerdir. Köşede taşıyıcı direkler ise hat güzergahının yön değiştirdiği noktadaki ve iletkenleri taşıma amaçlı direkler olup, yön değişimi açısı maksimum 20 derecedir. Durdurucu direkler, hattı o noktada sabitlemek için kullanılır, genellikle yedi direkte bir durdurucu direk kullanılır ve bu direkler iletkenlerin belirli bir gerginlikte kalmasını sağlar. Köşede durdurucu direkler ise hattın yön değiştirdiği noktadaki durdurucu direklerdir ve taşıyıcı direklerin aksine yön değiştirme açıları 20 dereceden büyüktür. Nihayet direkleri, hattın ilk ve son direklerini temsil etmektedir. Branşman direkleri, iletim hattından ayrı bir kol çıkıyorsa bu ayrılan noktadaki direği temsil etmektedir. Tevzi direkleri, hattın iki kol ayrılıp dağıtım yapılan direkleri tanımlamaktadır. Geçit direkleri, hat boyunca hattın geçmesi gereken akarsu, yol, vb. noktalarında özel üretilmiş direklerdir. [2,3]

Yapıldıkları malzemeye göre direkler: Genellikle bu kategoride ağaç, beton ve demir direkler yer almaktadır. Ağaç direkleri, alçak ve orta gerilimdeki hatlarda kullanılmakta olup ülkemizde küçük yerleşim yerlerinde kullanılmaktadır. Beton direkleri, ağaç direklere göre daha yüksek mukavemete sahip olup çok yüksek gerilimler hariç tüm gerilim seviyelerinde kullanılabilir. Demir direkleri, alçak gerilimden çok yüksek gerilime kadar olan tüm gerilim seviyelerinde kullanılmakta

olup diğer direk çeşitlerine göre ömürleri daha uzundur. Kafes, boru ve putrel tipi direkler demir direk kategorisinde yer almaktadır.[2]



Şekil 1.4: Yuvarlak boru - A direk - kafes direk - pylon direk - çatal direk.

1.1.2. Enerji iletim hattı elemanları

Enerji iletim hatlarının temel elemanları arasında; iletkenler, izolatörler, traversler ve koruma malzemeleri yer almaktadır.

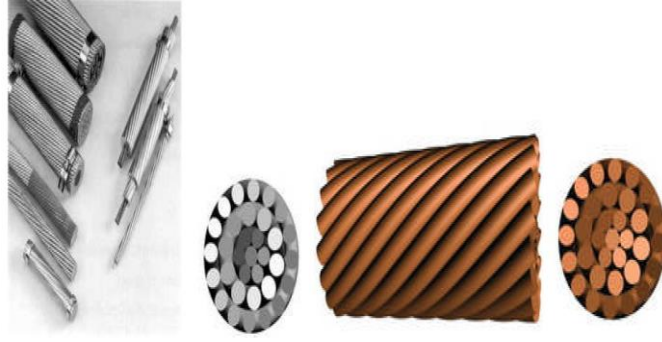
İletkenler: İletkenler üretilen elektrik enerjisinin taşınması ve dağıtılması görevini görmektedir. Genel olarak iletkenlerde bakır, tam alüminyum (AAC) ve çelik özlü alüminyum (ASCR) kullanılmaktadır. Dayanım ve geçirgenlik özelliklerine bakıldığında bakır iletkenler ön planda olmasına rağmen havai hatlarda genellikle alüminyum iletkenler seçilmektedir. Bunun nedeni, bakırın alüminyumlara göre daha maliyetli ve ağırlık olarak daha fazla olmasıdır. Alüminyum, bakırın üçte biri ağırlığında olduğundan dolayı direk tipi seçimi yapılırken de iletken ağırlığının az olması ağır direk tipleri seçimini gerektirmemektedir. Bunun yanında, iletkenlerin özelliklerini belirtmek amacıyla çeşitli isimlendirmeler kullanılmaktadır; 2 x 1272 MCM iletkenli, 477 MCM iletkenli, vb. Burada;

$$1 \text{ mil} = 0,001 \text{ inç} = 0,0254 \text{ mm}$$

$$1 \text{ CM} = 1 \text{ mil kare} = 0,0005067 \text{ mm}^2$$

$$1 \text{ MCM} = 1000 \text{ mil kare} = 0,5067 \text{ mm}^2$$

MCM = Mega Circular Miles (1000000 dairesel mil) 'i ifade etmektedir. [4]



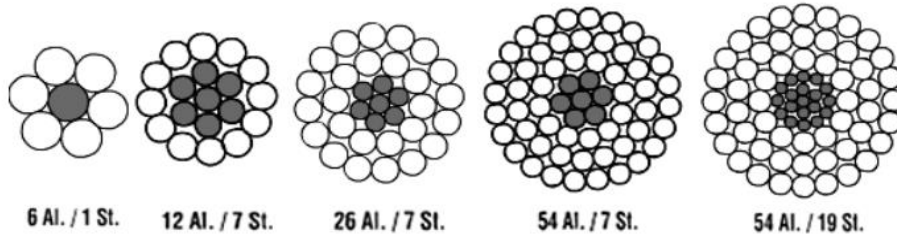
Şekil 1.5: Alüminyum ileten ile bakır ileten.

Türkiye’ de yüksek gerilim hatlarında genellikle 477 MCM ve 1272 MCM St- Al iletenler kullanılmaktadır. Bu iletenlerin ileten yüzey alanı şu şekilde hesaplanmaktadır;

$$\text{İletken kesiti: } 477 \text{ MCM} \times 0,5067 \text{ mm}^2 = 242 \text{ mm}^2$$

$$\text{İletken kesiti: } 1272 \text{ MCM} \times 0,5067 \text{ mm}^2 = 644 \text{ mm}^2$$

Şekil 1-6 ‘ da ifade edilen 6 Al. / 7 St. Gibi ileten özelliklerini gösteren değerler ise 6 adet alüminyum tel örgü ile 1 adet çelik telin birleşiminden oluşan ileteni ifade etmektedir. [4]



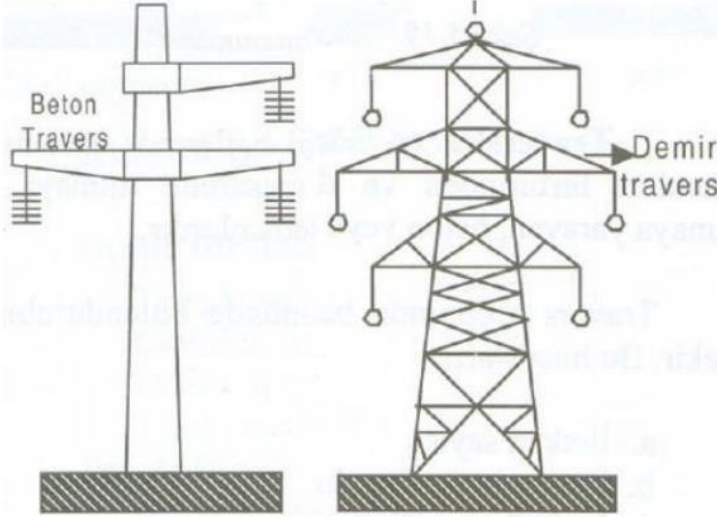
Şekil 1.6: Çelik özlü alüminyum iletenler [4].

İzolatörler: Enerji iletim hattı iletenlerini direklerde taşımaya ve faz iletenlerini toprak ile diğer iletenlerden yalıtıma yarayan iletim hattının önemli elemanlarından birisidir. İzolatörlerin hammaddesi cam ve porselen olup, iklim şartlarına ve elektrik akımına dayanıklı olması gerekmektedir. İzolatörler kullandıkları hattın gerilim seviyelerine göre çeşitlendirilmekte olup; mesnet, zincir, çubuk, duvar geçit ve transformatör geçit izolatörleri diye beşe ayrılır. Yüksek gerilim seviyesindeki enerji iletim hatlarında genellikle çubuk ve zincir izolatörler kullanılmaktadır. [3]



Şekil 1.7: Çubuk ve zincir izolatörler

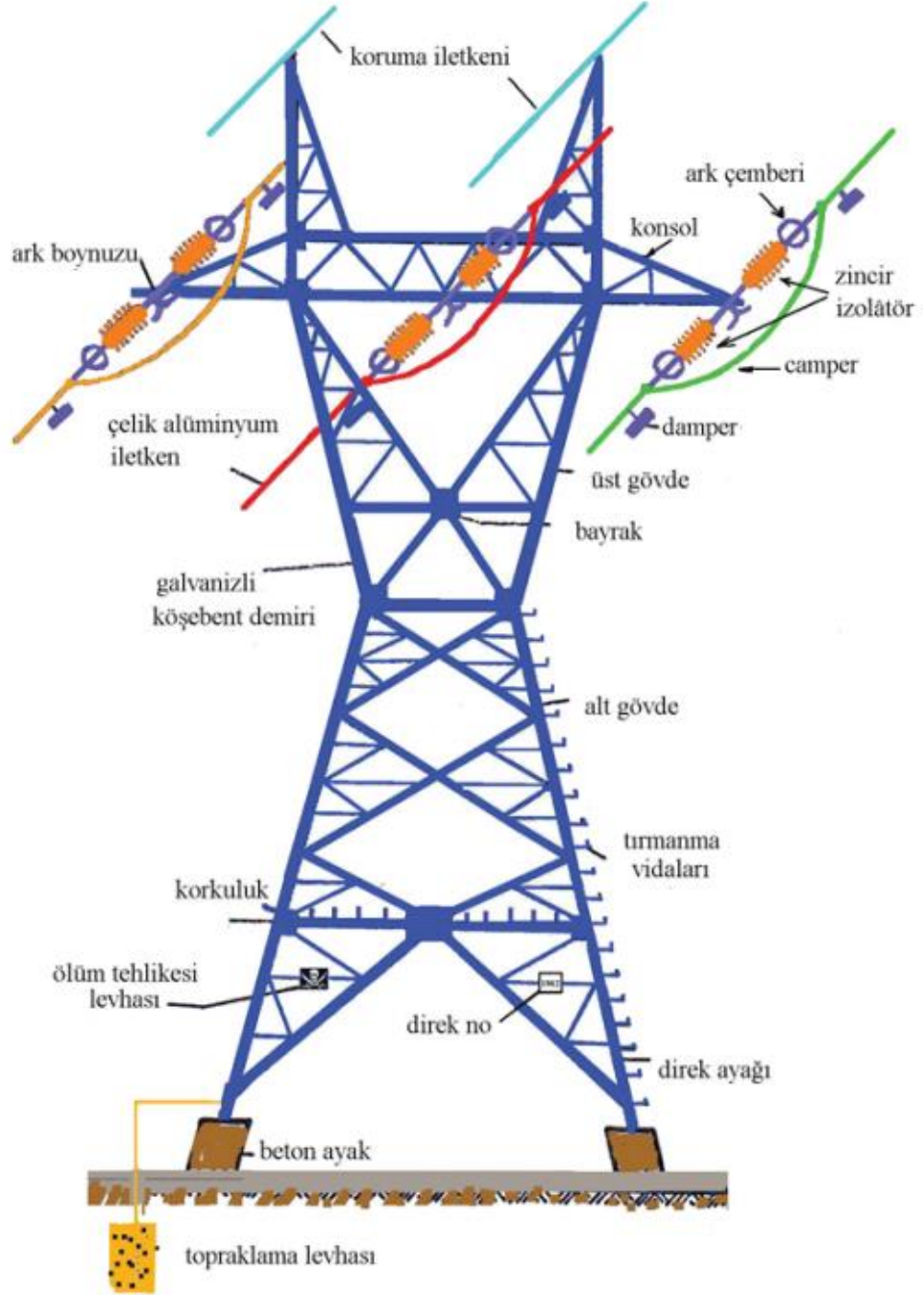
Traversler: İletim hatlarındaki iletkenlerin direkler üzerindeki taşınmasını ve geçişini sağlamaktadır. Traversler genellikle çift taraflı olup iletkenin cinsine ve sayısına, gerilim seviyesine, ağırlığa, izolatörlere ve direk tipine göre farklılık göstermektedir.



Şekil 1.8: Beton ve demir direklerdeki traversler.

Koruma malzemeleri: İletim hatlarında hem direklerin hem de can ve mal güvenliği için bir takım elemanlar yer almaktadır. Başlıca koruma malzemeleri; koruma iletkeni, ark boynuzları, ark koruma halkası, kuşkonmazlar, spacer, damper, camper ve ikaz toplarıdır. OG ve YG direklerinin en üst bölümünde olan koruma iletkeni hattın topraklanması görevi görmekte olup trafo merkezleri arasında iletişimi sağlamaktadır. Ark boynuzları; iletim hattında meydana gelen ark atlamalarının hattın elemanlarına olumsuz etki etmeden topraklanmasını sağlar. Bunun yanında, ark koruma halkaları ile beraber kullanılmakta olup izolatörlerin arklardan korunmasını sağlarlar. Hattın güvenliği açısından kuşların hat üzerine konmaması ve yuva yapmalarını engellemek amacı ile kuşkonmazlar kullanılmaktadır. Spacer, damper ve camper üçlüsü ise hattın

iletkenlerinin birbirlerine temasını engellemek, meydana gelen titreşimleri minimize etmek ve durdurucu tipi direklerde iletkenleri bir araya getirmek amacı ile kullanılmaktadır. Uçak, helikopter gibi hava yolu kullanan araçların direği fark etmesi açısından ise ikaz topları kullanılmaktadır.[4]



Şekil 1.9: Enerji iletim hattı elemanları.

1.2.Rüzgar Tanımları

Yatay ekseninde ilerleyen hava hareketleri rüzgar olarak tanımlanmakta olup, oluşumuna farklı sıcaklıklar ve basınç seviyeleri neden olmaktadır. Bu hava hareketi kara ile havanın farklı sıcaklık değerlerinde olmasından kaynaklanmakta olup, yüksek basınç alanlarından alçak basınç alanlarına doğru hareket etmektedir. Bu iki alan arasındaki fark ne kadar fazla olursa hava hareketinin hızı yani rüzgar hızı o kadar artmaktadır. Buna ek olarak rüzgar hızını etkileyen diğer faktörler; Dünya' nın günlük hareketi, yer yüzeyinin topoğrafyası, rüzgar yönü, basınç merkezlerinin konumu ve yakınlığıdır.

Günümüzde, özellikle de yüksek yapıların tasarımlarında hava hareketlerinin yapılara nasıl bir yük uygulayacağı göz önünde bulundurularak yapılmaktadır. Rüzgarın, çeşitli yapılara hangi kuvvette bir yük uygulayabileceğini hesaplamak için dinamik rüzgar basıncı, türbülans ve rüzgar yükü ifadelerini bilmek gerekmektedir.

1.2.1. Dinamik Rüzgar Basıncı

Rüzgar basıncı, herhangi bir cisme veya yapıya etki eden rüzgar hızı ile ilişkilendirilir. Hava akımı bu cisme veya yapıya hareket halinde etki ettiğinden dolayı basınç kinetik enerji ile bağlantılı olup denklem (1.1) ile tanımlanmaktadır. [12764 nolu tez]

$$q_h(h) = \frac{1}{2} \rho V^2 \quad (1.1)$$

Burada;

q_h = Dinamik rüzgar basıncı

ρ = Hava yoğunluğu (15 °C 'de ve 1013 hPa ' da 1.25 kg/m³'dür)

V= Rüzgar hızı

Herhangi bir yükseklikte, maksimum rüzgar basıncını bulmak için ortalama ve kısa süreli hız değişiklikleri tespit edilip ve denklem (1.2) yardımı ile hesaplanmalıdır. [5]

$$q_p(z) = [1 + 7I_v(z)] \frac{1}{2} \rho V_m^2(z) = c_e(z) q_b \quad (1.2)$$

Burada;

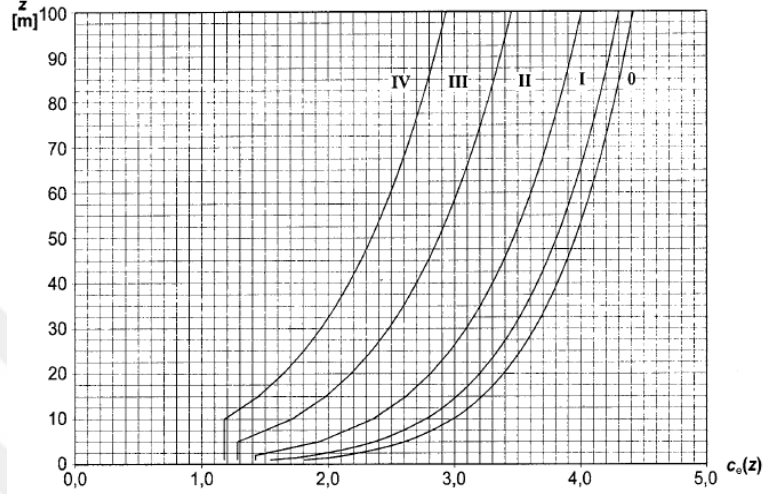
ρ = Aşırı rüzgar sırasında bölgedeki hava sıcaklığına, basınca ve rakıma bağlı olarak değişen hava yoğunluğu

$I_v(z)$ = Türbülans yoğunluğu

$c_e(z)$ = Maruz kalma katsayısı

$c_e(z)$ = $q_p(z)/ q_b$ ile bulunur.

q_b = Esas hızdaki rüzgar basıncı



Şekil 1.10 : Maruz kalma katsayısı.

Enerji nakil hatlarındaki maksimum dinamik rüzgar basıncı ise türbülans yoğunluğu kullanılarak denklem (1.3) ile bulunmaktadır; [6]

$$q_p(h) = [1 + 7I_u(h)] q_h(h) \quad (1.3)$$

Burada;

$q_p(h)$ = Maksimum dinamik rüzgar basıncı

$I_u(h)$ = Türbülans yoğunluğu

1.2.2. Türbülans

Dinamik rüzgar hızı olarak da adlandırılan türbülans; rüzgarın düzensiz olan akışını ifade eder. Türbülansı sebep olan en önemli unsurlar arazinin engebellek durumu, pürüzlülük, büyük dikey yapılar, ormanlık alanlardır. Türbülans hesaplamasının temelini ortalama rüzgar hızı değerlerinden olan sapmaları tespit etmekle birlikte olup matematiksel ifadesi denklem (1.4)' deki gibidir [7];

$$I = \frac{\sigma}{V_{ort}} = \frac{1}{c_0 \ln\left(\frac{h}{h_0}\right)} \quad (1.4)$$

Burada;

I = Türbülans yoğunluğu

V = Ortalama rüzgar hızı (m/s)

σ = Standart sapma

Hesaplanan türbülans yoğunluğu değerlerinin sınıflandırması ise üç ayrı başlık altında incelenir. Türbülans yoğunluğu değerleri ve yoğunluk sınıfı Çizelge 1.1' de verilmiştir;

Çizelge 1.1: Türbülans yoğunluğu sınıflandırması.

Türbülans Yoğunluğu	Yoğunluk Sınıfı
$0 < I < 0,10$	Düşük
$0,10 < I < 0,25$	Orta
$I > 0,25$	Yüksek

Diğer yandan, rüzgarın yapılaraya etki ettiği dinamik yüklerin hesabı açısından türbülans uzunluğu ve türbülans güç spektrumu yoğunluk fonksiyonlarının bilinmesi gerekmektedir. Türbülans uzunluğu; türbülans etkisi yaratan rüzgarların ortalama dalga boylarını göstermektedir. [7]. Türbülansın frekans ile değişimi ise türbülans güç spektrumu yoğunluk fonksiyonlarını ifade etmektedir.

Türbülans uzunluğu denklem (1.5) ile hesaplanabilmektedir;

$$L(z) = 300 \left(\frac{z}{200} \right)^\alpha \quad (1.5)$$

Burada;

L= Türbülans uzunluğu

Z= Yer seviyesinden yükseklik (m)

$$\alpha = 0,67 + 0,05 \ln(z_0)$$

Türbülans güç spektrumu ise denklem (1.6) yardımı ile hesaplanmaktadır;

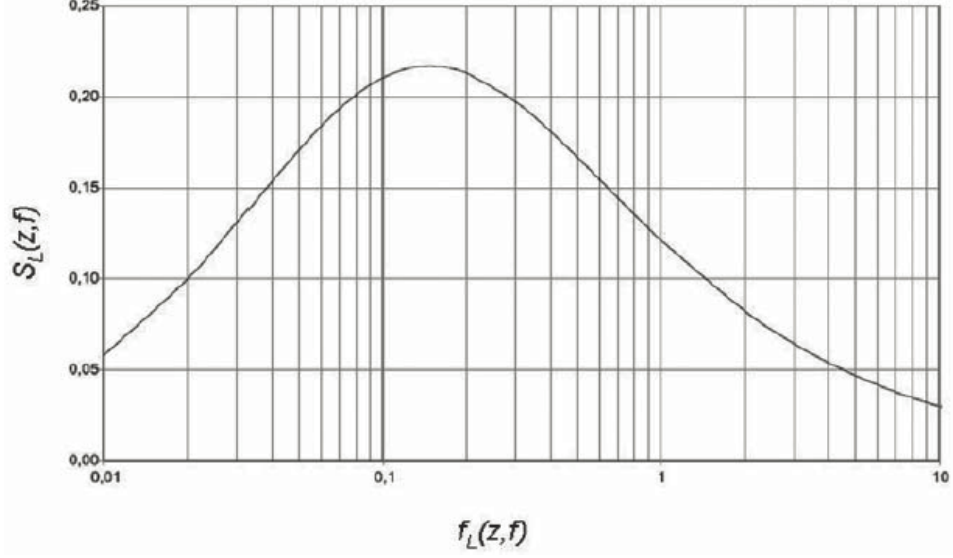
$$S_L(z, f) = \frac{6,8 f_L(z, f)}{[1 + 10,2 f_L(z, f)]^{5/3}} \quad (1.6)$$

Burada;

$S_L(z, f)$ = Türbülans güç spektrum

f= frekans (Hz)

$f_L(z, f) = \frac{f L(z)}{V_m(z)}$ ile bulunmaktadır. Bu değerler Şekil 1.11' de ki grafik yardımı ile hesaplanabilmektedir. [7]



Şekil 1.11: Türbülans güç spektrumu yoğunluk fonksiyonunun normalize edilmiş frekansla değişim grafiği. [7]

1.2.3. Rüzgar Yüğü

Belirli bir yükseklikte, belirli bir yüzey alanına dik bir biçimde gelen rüzgarın bu yüzey alanına etki ettiği maksimum yükü bulmak için denklem (1.7) ' den yararlanır.

$$Q(z) = q_p(z) C_p A \quad (1.7)$$

Burada;

$Q(z)$ = Maksimum rüzgar yükü

$q_p(z)$ = Maksimum rüzgar basıncı

C_p = Yüzey basınç katsayısı

A = Rüzgarın dik yönde etki ettiği yüzeyin alanı

1.3. Literatür Özeti

Jiang ve Deng (2011) çalışmalarında enerji nakil hatlarına etki eden rüzgar kuvvetinin hesaplamalarını Çin ülkesinin standartlarına göre ve diğer uluslararası standartlara göre yapmışlardır. 50 yıla kadar olan geri dönüş periyodunda, 500 kV gerilimindeki enerji iletim hattına gelen rüzgar yükleri iletkenler, izolatörler ve direğin kendisine etki eden rüzgar yükleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Hesaplamalarda, direk yüksekliği arttıkça rüzgar yükü kuvvetinin değişimi incelenmiş olup tüm bu sonuçlar IEC 60826 ve ASCE standardı ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlarda, Çin standardına göre rüzgar

yükü değerlerinin en çok IEC 60826 standardına göre yapılan rüzgar yükü hesaplarına yakın olduğu tespit edilmiştir.[8]

Ilenin ve Varga (2017) çalışmalarında rüzgarın enerji nakil hatları iletkenleri ve direkleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Esen rüzgarın yükü arttırmakla birlikte iletkenlerdeki mekanik stresin artacağını belirtmişlerdir. 22 kV gerilimindeki bir enerji nakil hattı direği için rüzgar yükünü iletkenlerde ve direklerde ayrı ayrı olarak STN 33 3300 ve STN EN 50341-1 standartlarına göre hesaplamış ve karşılaştırmışlardır. Sonuçlara göre, STN EN 50341-1 standardına göre yapılan hesaplamaların diğer standarda göre daha yüksek çıktığı tespit edilmiştir. Enerji nakil hattı tasarımının güvenli olması açısından bu standardın kullanılması gerektiği belirtilmiştir.[9]

Ducloux ve Figueroa (2016) çalışmalarında EN 50341-1 standardı hakkında temel bilgileri verilmiş olup enerji nakil hattı üzerindeki beklenen güvenilebilirliği ele alınmıştır. EN 50341-1 standardına göre yapılan hesaplamaların detayları anlatılmış olup deneysel sonuçlar ile standarda göre bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu sonuçların birbiri ile örtüştüğü tespit edilmiş olup, havai iletim hattı tasarımı yapacak olan mühendislerin bu standarda göre hesaplama yapmaları umut edilmiştir.[10]

Stengel ve Thiele (2017) çalışmalarında aşağı yönlü esen rüzgarların Kuzey Almanya'daki enerji iletim hatları üzerinde oluşturduğu rüzgar yükünün ölçülmesini ele almışlardır. Bunun için, belirlenen bir iletim hattı direğine anemometre ve yük ölçebilen alet takmışlardır. Sonuçlarında, aşağı yönlü esen bu rüzgarların nakil hatlarında ekstra bir yük oluşturduğu, yerel rüzgarların direk yapılarına vereceği zararı arttırabileceğini ve tasarımda bu yüklerden dikkate alınması gerektiğini belirtmişlerdir. [11]

1.4.Marmara Bölgesindeki Vaka

2016 yılı Aralık ayında Marmara bölgesinde şiddetli rüzgar ve aşırı buz yüküne maruz kalan 154 kV enerji iletim hatlarında direk kule yıkımları, iletken kopmaları ve çok sayıda arıza meydana gelmiştir. Direk tahribat ve yıkımlarının 29 Aralık 2016 tarihinde farklı saat aralıklarında meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu yıkımların ana sebebi olarak Kocaeli ilinde yaklaşık 40 kilometrelik bir alanda çok şiddetli rüzgar ve kar yağışı olarak belirtilmiştir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından alınan verilere göre 60 – 90 km/saat hızında rüzgar, lokal ve hamleli olarak da 100 – 120

km/saat hızında fırtına ve tam fırtına olarak estiği bilgisi alınmıştır. Koruma telleri başta olmak üzere iletkenlerde yaklaşık 30 cm' e kadar buz olduğu görülmüştür.



Şekil 1.12: Yıkılmış olan 154 kV enerji iletim hattı



Şekil 1.13: Buzla kaplı 154 kV enerji iletim hattı iletkenleri

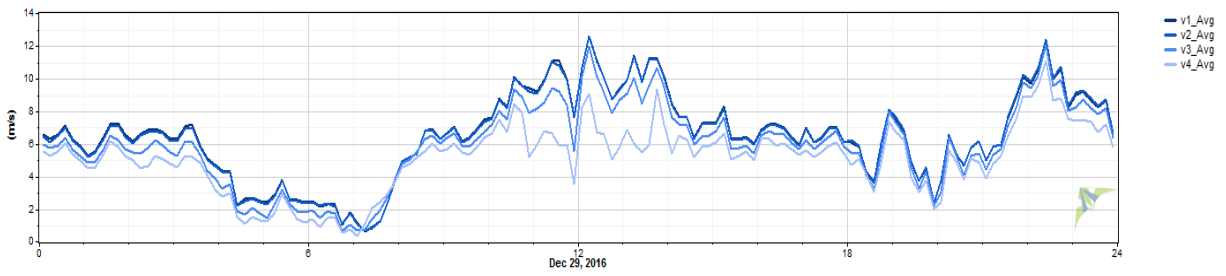
1.4.1. İSKİ Projesi Verileri

Bu tez çalışmasında 2016 yılı Aralık ayında Marmara bölgesindeki iletim hatlarında meydana gelen yıkım ve tahribatlardaki rüzgar ve buz yüklerinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, İSKİ projesi için elde edilmiş olan Marmara bölgesindeki 4 farklı noktada 81, 80, 60 ve 40 metre yüksekliklerindeki rüzgar hız ve yön dataları ile TEİAŞ Genel Müdürlüğü tarafından alınan yıkım ve tahribatlara ait raporlardan faydalanılmıştır.

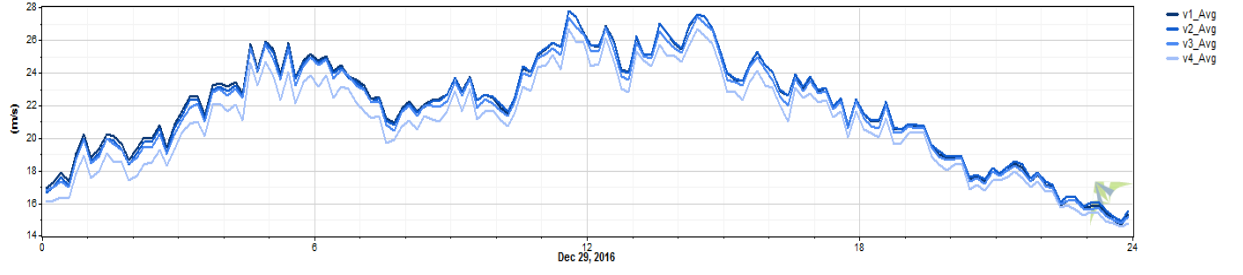
İlk olarak, İSKİ projesi kapsamında kurulmuş olan Melen, Melen Yolu, Ömerli ve Şuayıpli isimli ölçüm direklerinden alınan 2016 yılı Aralık ve 2017 yılı Ocak ayı için rüzgar hızı, maksimum rüzgar hızı, basınç, nem ve sıcaklık değerlerinin analizleri yapılmıştır.

Melen isimli ölçüm direği verilerine bakıldığında iki aylık zaman aralığında maksimum rüzgarlar da 5 kere 15 m/s üzeri rüzgar hızı ve 2 kere 20 m/s üzeri rüzgar hızı görüldüğü tespit edilmiştir. Bu zaman dilimlerinde sıcaklık, basınç ve nemin de azaldığı belirlenmiştir. Melen Yolu isimli ölçüm direği veri analizine bakıldığında, Melen isimli ölçüm direği verileri ile aynı zaman diliminde ve 20 m/s üzeri rüzgar hızlarının görüldüğü tespit edilmiştir. Yine bu zamanlarda sıcaklık, basınç ve nem değerlerinde azalma gözlemlenmiştir. Ömerli ve Şuayıpli isimli ölçüm direği verilerine bakıldığında da aynı zaman aralıklarında 25 m/s üzeri rüzgar hızları gözlemlendiği tespit edilmiştir.

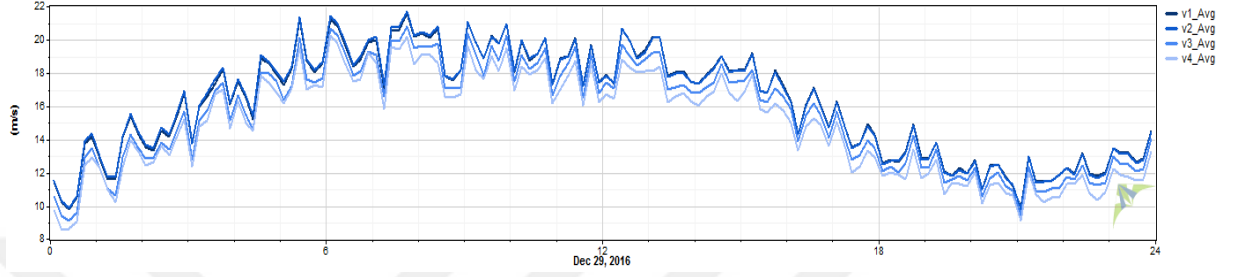
TEİAŞ Genel Müdürlüğü tarafından yıkım ve tahribat raporlarında 154 kV enerji iletim hatlarındaki kazaların 29.12.2016 tarihinde 08:40, 12:53 ve 15:25 saatlerinde arıza ve yıkımların meydana geldiği belirtilmiştir. Belirtilen bu tarihteki NEWA projesi ölçüm direklerinde ölçülen rüzgar hız ve yön, sıcaklık, nem ve basınç değerlerine bakıldığında, bu saatlerde maksimum rüzgar hızında bir artış gözlemlenmektedir. Özellikle Melen Yolu isimli ölçüm direği verilerine göre 12:00-13:00 arası 30 m/s'ye varan ani rüzgarlar gözlemlenmiştir.



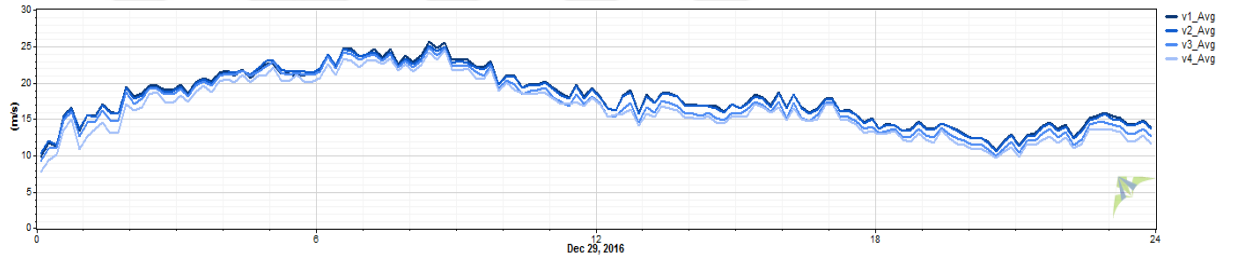
Şekil 1.14: İSKİ Melen ölçüm direği rüzgar hızları - 29.12.2016



Şekil 1.15 İSKİ Melen Yolu ölçüm direği rüzgar hızları - 29.12.2016



Şekil 1.16: İSKİ Ömerli ölçüm direği rüzgar hızları - 29.12.2016



Şekil 1.17: İSKİ Şuayipli ölçüm direği rüzgar hızları - 29.12.2016

1.4.2. NEWA Projesi Sonuçları

Bu tez kapsamında ayrıca Tubitak projesi olan “New European Wind Atlas” (NEWA) ‘ın sonuçlarından yararlanılmıştır. Marmara bölgesinde enerji iletim hatlarının olduğu alanda NEWA’ da kullanılan modeller çalıştırılıp bölgedeki bir çok noktaya ait 50m, 75m ve 100 metredeki rüzgar hızı ve sıcaklık değerleri incelenmiştir. Noktalar seçilirken hatta en yakın ve pürüzlülüğü en az olacak noktalardaki sonuçlar kullanılmıştır. Bu sonuçlar ayrıca İSKİ projesi kapsamındaki direklerin verileri ile incelenmiş olup bölgedeki 29 Aralık 2016 tarihindeki rüzgar hızları yorumlanmıştır. Seçilen 4 noktaya ait sonuçlar EK A’ da verilmiştir.



2. ENERJİ İLETİM HATLARINDA RÜZGAR YÜKLERİ

Rüzgar yükü; enerji iletim hatları projelendirilirken dikkate alınması gereken önemli ek yük parametrelerinden biridir. Fırtına, tayfun, kasırga gibi şiddetli rüzgarlarda enerji iletim hattına gelen yüksek rüzgar yükleri sebebiyle izolatörlerde sağa veya sola vurmalar, iletkenlerde salınım hatta direklerde devrilme veya kırılmalara sebep olabilir. Bu sebeple, olası enerji kesintileri ve direk hasarlarının önüne geçebilmek için enerji iletim hatlarındaki rüzgar yükü detaylı bir şekilde hesaplanmalıdır.

Uluslararası alanda, enerji iletim hattı rüzgar yükü hesaplamalarında genellikle “*IEC 60826 – Overhead Transmission Lines – Design Criteria*”, “*EN 50341-1 Overhead Electrical Lines Exceeding AC 1kV – Part 1: General Requirements- Common Specifications*” ile “*EN 50341-3 Overhead Electrical Lines Exceeding AC 45 kV – Part 3 : Set of National Normative Aspects*” standartları kullanılmaktadır. Türkiye’de ise “Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği”’den yararlanılmaktadır. Yönetmeliğin 48. maddesinin b fıkrasında yatay kuvvetler başlığı altında; faz ve toprak iletkenlerine, kare veya dikdörtgen kesitli kafes direklere gelen rüzgar yükü hesaplama detayları verilmiştir.

Bu standartlara göre yapılan hesaplama yöntemleri benzerlik taşımakta olup bazı parametrelerde farklı kabuller yapılmaktadır.

2.1. IEC 60826 – Overhead Transmission Lines – Design Criteria”

IEC 60826 numaralı Uluslararası Elektroteknik Komisyonu Enerji Nakil Hatları Dizayn Kriterleri standardının 6.2 numaralı maddesinde nakil hattı üzerindeki iletken, izolatörler ve direklerdeki oluşabilecek rüzgar yüklerini ve hesaplamaları anlatılmaktadır. Bu maddede belirtilen hesaplama ve kriterler tüm enerji nakil hatlarında uygulanabiliyor olmasına rağmen aşağıdaki şartları sağlayan durumlar için daha doğru olarak kabul edilmektedir [12];

- Rüzgar açıklığı 200 metre ile 800 metre arasında olan hatlar
- 60 metreden küçük direk uzunluklarına sahip hatlar

- Topoğrafik durumun ortalama seviyesinin üzerinde 1300 metreyi geçmeyen alanlar
- Rüzgar profilini büyük derece etkileyebilecek topoğrafik özellikleri olmayan alanlar

2.1.1. Referans rüzgar hızı

Rüzgar yükü hesaplamalarında kullanılacak olan referans rüzgar hızının, mevcut arazinin engebelik durumuna göre değişebileceği belirtilmiş ve bu değişimin arazi kategorisine göre belirlenmiş olan engebelik faktörü ile referans rüzgar hızının çarpılarak düzeltilmiş referans rüzgar hızı hesaplanabilmektedir.[12]

Çizelge 2.1: Arazi kategorisi ve engebelik karakteristikleri.

Arazi Kategorisi	Engebelik karakteristikleri	K_R
A	Rüzgârın geldiği doğrultudaki büyük su uzantıları, düz sahil alanlar	1,08
B	Çok az engelli açık bölge, örnek olarak hava alanları veya çok az sayıda ağaçların veya binaların bulunduğu ekili alanlar	1,00
C	Çok sayıda kısa boylu engeller (çalılar, ağaçlar ve binalar)	0,85
D	Banliyö bölgeleri veya çok sayıda uzun ağaçların bulunduğu araziler	0,67

2.1.2. Rüzgar hızının herhangi bir hat elemanı üzerindeki birim etkisi

İletken, izolatör zincirleri, nakil hattı direğın bir kısmı ya da tamamı için dik yönde gelen rüzgarın basınç birimi cinsinden etkisini bulmak için denklem (2.1)' den yararlanılmıştır [12];

$$a = q_0 C_x G \quad (2.1)$$

Burada;

q_0 ; dinamik referans rüzgar basıncı olup Pa veya N/m^2 cinsinden ifade edilmektedir

$$q_0 = \frac{1}{2} \tau \mu (K_R V_{RB})^2 \quad (2.2)$$

μ = Hacim başına olan hava kütesini ifade etmekte olup 15°C sıcaklıkta ve deniz seviyesinde 101,3 kPa olan bir atmosfer basıncında 1,225 kg/m³ eşittir

τ = Hava yoğunluğu düzeltme faktörü

Çizelge 2.2: Sıcaklık- yükseklik hava yoğunluğu değişimi.

Sıcaklık °C	Yükseklik (mm)			
	0	1000	2000	3000
30	0,95	0,84	0,75	0,66
15	1,00	0,89	0,79	0,69
0	1,04	0,94	0,83	0,73
-15	1,12	0,99	0,88	0,77
-30	1,19	1,05	0,93	0,82

Not – Referans değer 0 m yüksekliğe ve 15 0C sıcaklığa karşılık gelir.

C_x = Rüzgar yüküne maruz kalan hat elemanının şekline ve yüzey özelliklerine bağlı sürüklenme katsayısı

G = Birleşik rüzgar faktörü

2.1.3. Hat elemanlarına göre rüzgar yüklerinin değerlendirilmesi

2.1.3.1. İletkenlerdeki rüzgar yükü

Rüzgar basıncından dolayı nakil hattı üzerindeki iletken tellerde bir yük meydana gelir. Rüzgar yönü ile iletkenler arasındaki açı ile gelen (Ω açısı) rüzgar ve L mesafesinde rüzgar açıklığı bulunan nakil hattı direğın iletkeninin üzerindeki rüzgar basıncından dolayı Newton cinsinden gelen yük (A_c) denklem (2.3) ile hesaplanmıştır.[12]

$$A_c = q_0 C_{XC} G_C G_L d L \sin^2 \Omega \quad (2.3)$$

Burada;

q_0 = Dinamik referans rüzgar basıncı olup Pa veya N/m² cinsinden ifade edilmektedir

C_{XC} = İletkenin sürüklenme katsayısıdır. Genel olarak iletkenler için bu değer 1 olarak alınır.

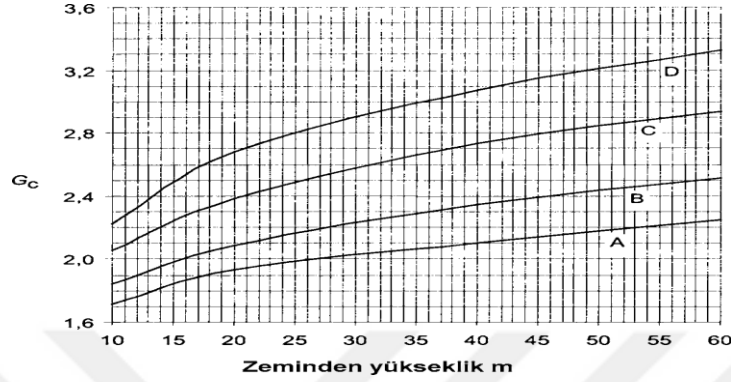
G_c = Birleşik rüzgar faktörüdür. Çeşitli arazi kategorilerine ve iletkenin yerden yüksekliğine bağlı olarak değişir

G_L = Açıklık faktörü

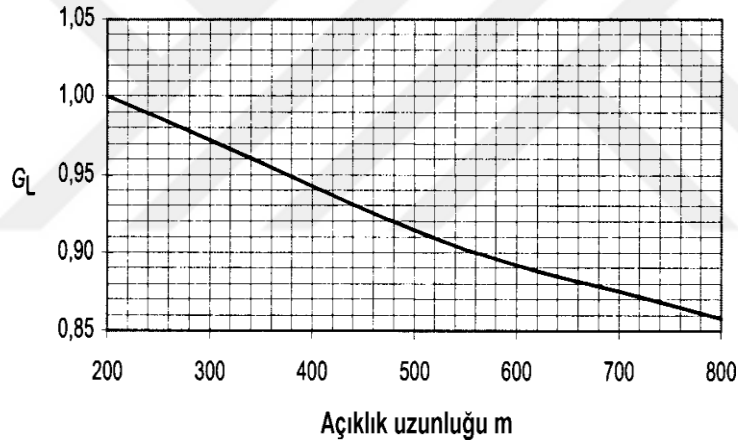
D = İletkenin çapı (m)

L = Rüzgar açıklığı (m) Bir direğin, önceki ve sonraki direklere olan mesafesinin aritmetik ortalamasıdır

Ω = İletkenler ile rüzgar yönü arasındaki açıdır



Şekil 2.1: Gc birleşik rüzgar faktörü grafiği



Şekil 2.2 : GL açıklık faktörü

2.1.3.2. İzolatör zincirlerindeki rüzgar yükleri

İzolatör zincirleri üzerindeki yükler hesaplanırken, izolatör zincirleri üzerindeki rüzgar basıncı sebebiyle doğrudan oluşan rüzgar yükünün yanında, iletkenlere etki eden rüzgar yükü de (A_c) hesaba katılmaktadır. İzolatör zincirlerindeki doğrudan oluşan yük aşağıdaki denklem (2.4) ile hesaplanır [12];

$$A_i = q_0 C_{xi} G_t S_i \quad (2.4)$$

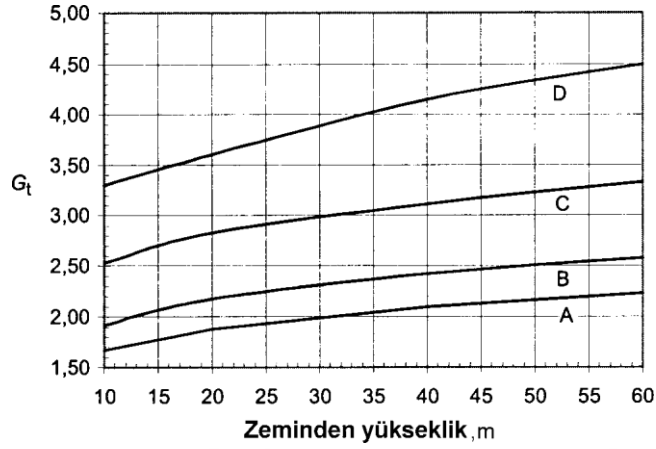
Burada;

q_0 = Dinamik referans rüzgar basıncı (N/m^2)

C_{xi} = Sürüklenme katsayısı, izolatörler için 1,20 olarak kabul edilir

G_t = Birleşik rüzgar faktörü

S_i = İzolatör zincirin alanı



Şekil 2.3: Birleşik rüzgar faktörü grafiği

2.1.3.3. Enerji Nakil Hattı Direklerindeki Rüzgar Yükleri

Enerji nakil hattı direkleri, direğin kendi üzerine gelen rüzgar yüklerinin yanında iletkenlere ve izolatlara gelen rüzgar yükünden de etkilenmektedir. Bu standartta sadece iki tip direğin üzerine gelen rüzgar yükünün hesabı verilmiştir; dikdörtgen kesitli kafes direkler ve büyük çaplı silindirik elemanlı direkler.

Dikdörtgen kesitli kafes direkler: Dikdörtgen kafesli direklere gelen rüzgar yükünü hesaplamak için direk panolara bölünür. Pano yükseklikleri ise ayaklar ve köşegenler arasındaki kesişme noktası olarak alınır. Bu dikdörtgen veya kare kesitli direk için rüzgar yönünde, panonun ağırlık merkezine uygulanan rüzgar yükü denklem (2.5) ile hesaplanır [12];

$$A_t = q_0(1 + 0,2\sin^2 2\theta)(S_{t1}C_{xt1}\cos^2\theta + S_{t2}C_{xt2}\sin^2\theta)G_t \quad (2.5)$$

Burada;

q_0 = Referans rüzgar basıncı (N/m^2)

θ = Yatay bir düzlemdeki panonun yüz 1' ine dik olan rüzgâr yönünün geliş açısıdır

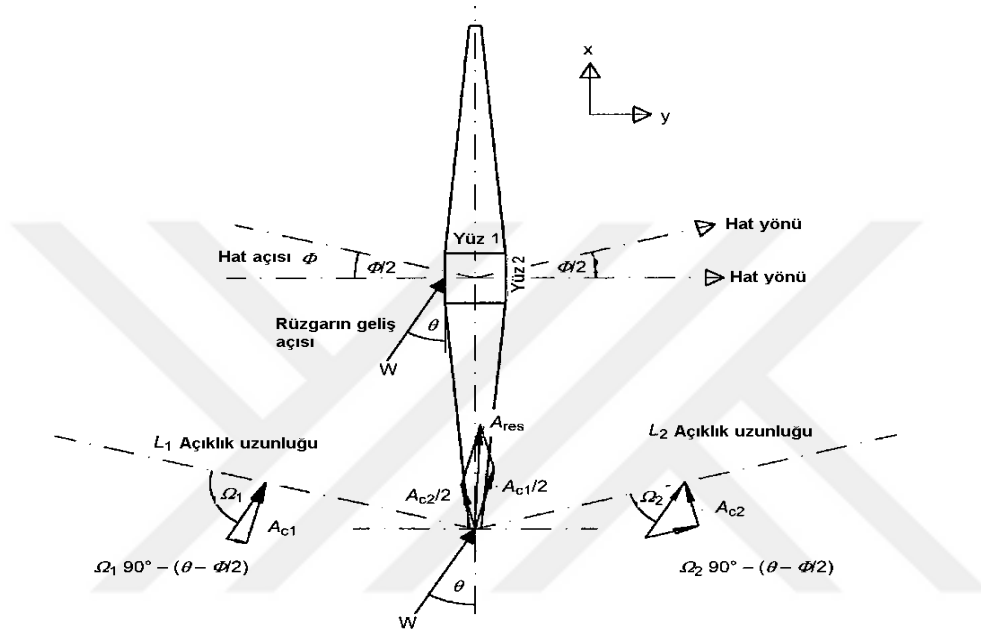
S_{t1} : Panonun yüz 1' i üzerinde normal olarak projelendirilmiş toplam yüzey alanıdır (m^2).

S_{t2} : Aynı panonun yüz 2' sindeki direk elemanlarının normal olarak projelendirilmiş toplam yüzey alanıdır (m^2). Bitişik yüzlerin köşegen elemanlarının ve diyafram

köşegen elemanlarının izdüşümleri bir yüzün projelendirilmiş yüzey alanının belirlenmesinde ihmal edilebilir.

C_{xt1} , C_{xt2} : Her bir yüzeye dik olan bir rüzgâr için yüz 1 ve yüz 2' ye ait olan sürüklenme katsayılarıdır.

G_t : Direkler için birleşik rüzgâr faktörüdür. Zemin üzerindeki yükseklik panonun ağırlık merkezindeki ölçülerdir.



Şekil 2.4: Rüzgârın geliş açısının tanımı.

Büyük çapa sahip silindirik elemanlı direkler ($d_t > 0,2$ m) : Büyük çapa sahip silindirik elemanlı enerji nakil hattı direkleri için l_e uzunluğundaki her bir eleman üzerindeki bu elemanların ağırlık merkezine uygulanan rüzgâr yönündeki rüzgâr yükü etkisi (A_{tc}) denklem (2.6) ile hesaplanmaktadır [12];

$$A_{tc} = q_0 C_{xt} G_t d_t l_e \sin^3 \theta \quad (2.6)$$

Burada;

θ' = Rüzgâr yönü ile silindir eksenindeki açı

d_t = Silindir çapı (m)

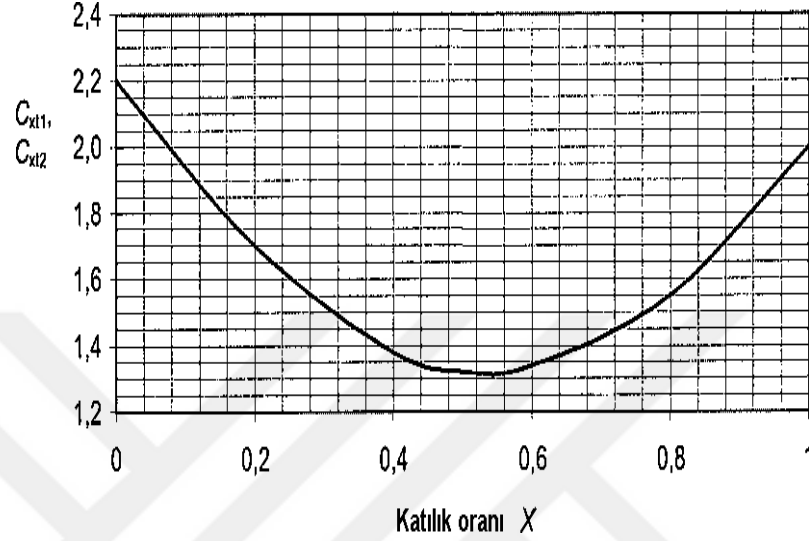
l_e = Elemanın uzunluğu (m)

G_t = Birleşik rüzgâr faktörü

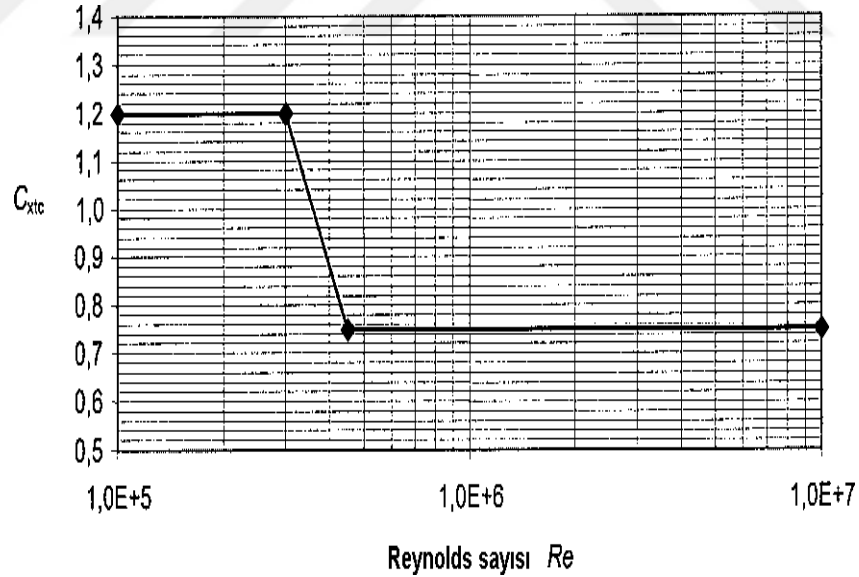
C_{xt} = Sürüklenme katsayısı (Silindir eksenine dik rüzgarlar için) Silindirin pürüzlülüğüne ve rüzgar hızına karşılık gelen Reynolds Sayısına bağlıdır;

$$\text{Reynolds Sayısı} : Re = d_t \times V_R / \nu$$

ν , kinetik hava viskozitesidir ($\nu = 1,45 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, $15 \text{ }^\circ\text{C}$ ' de)



Şekil 2.5: Silindirik elemanlı direkler için sürüklenme katsayısı C_{xt} .



Şekil 2.6: Büyük çapa sahip silindirik elemanlar için sürüklenme katsayısı C_{xtc} .

2.1.4. Buz Yükleri

Bu standart kapsamında rüzgar ve buz yükleri kombine olarak sadece iletkenlere gelen rüzgar yükleri için hesaplanmış olup, hesaplamalar yapılırken iletkenlere etki eden

rüzgar yükü formülasyonundaki iletken çapı, buz kapışı iletken çapı olarak değiştirilip hesaplanmıştır.

2.2. EN 50341-1 Overhead Electrical Lines Exceeding AC 45 kV – Part 1 : General Requirements

EN 50341-1 numaralı Avrupa Standardı, 45 kV Alternatif Akımı Geçen Havai Hatların Genel Kuralları – Ortak Özellikler standardında 4.3 ve 4.4 numaralı maddelerinde nakil hattı üzerindeki iletken, izolatörler ve direklerdeki oluşabilecek rüzgar yüklerini ve hesaplamaları anlatılmaktadır. 4.3 maddesinde ortalama rüzgar hızı, pürüzlülük katsayısı, orografi faktörü, rüzgar basıncı, türbülans, rüzgar yükü ve rüzgar yükünün herhangi bir hat elemanına olan etkisi anlatılmakta olup, 4.4 maddesinde ise iletkenlerde, izolatörlerde ve kafes direklerde olan rüzgar yükünün hesaplamaları anlatılmaktadır.[13]

2.2.1. Rüzgar yükü

Rüzgar yükü hesaplamaları yapılırken aşağıdaki etkenler dikkate alınmıştır;

- ➔ Esas Rüzgar Hızı ($v_{b,0}$)
- ➔ Ortalama Rüzgar Hızı (V_h)
- ➔ Ortalama Rüzgar Basıncı (q_h)
- ➔ Türbülans Yoğunluğu ve Maksimum Rüzgar Basıncı (I_v & q_p)
- ➔ Havai Hattın Herhangi Bir Elemanına Etki Eden Rüzgar Yükü (Q_{wx})

2.2.1.1. Esas rüzgar hızı

Esas rüzgar hızı, rüzgarın yönünden ve yılın herhangi bir periyodundan bağımsız olarak, pürüzlülük açısından çimen, çayır gibi kısa bitki örtülerinin hakim olduğu, engel yükseklikleri bakımından engel yüksekliğinin en az 20 katı uzaklıkta bulunan engellere sahip alanlarda yer seviyesinden 10 metre yükseklikteki 10 dakikalık ortalama rüzgar hızı olarak tanımlanmıştır. Ayrıca, EN 1991-1-4 standardı Ulusal Ek' in de; herhangi bir yönden gelen yer seviyesinden 10 metre yükseklikte, 10 dakikalık ortalama rüzgar hızlarından 50 yıl içerisinde en az 1 kere aşılma olasılığına tekabül eden rüzgar hızı olarak tanımlanmıştır. [5]

2.2.1.2. Ortalama rüzgar hızı

Ortalama rüzgar hızı; esas rüzgar hızı ($V_{b,0}$), rüzgar yön faktörü (c_{dir}), referans yükseklik (h), orografi faktörüne (c_0) ve pürüzlülük katsayısı (z_0) bağlı olan bir

parametre olduğu belirtilmiştir. EN 1991-1-4 Ulusak Ek' ine göre; rüzgar yön faktörü değeri 1 olarak kabul edilmektedir. Referans yüksekliği ise rüzgar yükü hesaplanması istenilen nakil hattı elemanın yer seviyesinden kaç metre yükseklikte olduğunu temsil etmektedir. Orografi faktörü, rüzgarlı arazinin eğimi küçük olduğunda (maksimum eğim %5) ihmal edilebilir olup, bu değer 1 olarak alınmaktadır. Pürüzlülük değeri ve arazi faktörü ise Çizelge 2.3' den seçilebilmektedir.[5]

Çizelge 2.3: Arazi kategorisi, pürüzlülük katsayısı z_0 ve arazi faktörü k_r .

Arazi Kategorisi	z_0 [m]	k_r
0 Açık deniz etkisindeki deniz veya kıyı alanı	0,003	0,155
I Göl veya ihmal edilebilecek seviyede olan bitki örtüsü ve düz&yatay alan	0,01	0,169
II Bitki örtüsü az seviyede olan (çayır vs.) en az engel yüksekliğinin 20 katı kadar mesafede bulunan engellere (ağaç,bina vs) sahip alanlar	0,05	0,189
III Düzgün yayıllı bitki örtüsüne veya binalara veya en az engel yüksekliğinin 20 katı mesafede bulunan engellere sahip alan (kasaba, kent, ormanlık)	0,3	0,214
IV Yüzeyinin en az %15'i, yükseklik ortalaması 15 metreyi aşan binalarla kaplı alan	1	0,233

Burada, arazi faktörü olan k_r , aşağıdaki denklem (2.7) hesaplanmıştır;

$$k_r = 0,189 \left(\frac{z_0}{0,05} \right)^{0,07} \quad (2.7)$$

Ortalama rüzgar hızı, $V_h(h)$ denklem (2.8) ile belirlenmiştir;

$$V_h(h) = V_{b,0} c_{dir} c_0 k_r \ln \left(\frac{h}{z_0} \right) \quad (2.8)$$

2.2.1.3.Ortalama rüzgar basıncı

Referans h yüksekliğindeki ortalama rüzgar basıncı $q_h(h)$ aşağıdaki denklem (2.9) ile hesaplanmaktadır;

$$q_h(h) = \frac{1}{2} \rho V^2(h) \quad (2.9)$$

Burada;

ρ = Hava yoğunluğu (kg/m^3), 15°C ' de ve 1013 hPa ' da $1,225 \text{ kg/m}^3$ ' dür

Farklı yükseklik seviyelerinde ve sıcaklıklarda hava yoğunluğu değerleri için Çizelge 2.4 kullanılmaktadır;

Çizelge 2.4: Farklı yükseklik seviyelerinde ve sıcaklıklardaki hava yoğunluğu değerleri.

Sıcaklık T	Yükseklik H			
	0 m	600 m	1 200 m	1 800 m
$^\circ\text{C}$				
- 30	1,18	1,10	1,02	0,95
- 20	1,13	1,05	0,97	0,91
- 5	1,08	1,00	0,93	0,87
5	1,04	0,96	0,90	0,84
15	1,00	0,93	0,86	0,80
30	0,96	0,89	0,83	0,77

2.2.1.4. Türbülans yoğunluğu ve maksimum rüzgar basıncı

Referans h yüksekliğindeki türbülans yoğunluğu $I_v(h)$, rüzgar hızının standart sapmasının ortalama rüzgar hızına bölünmesi ile bulunur. $I_v(h)$ ' nin belirlenmesinde denklem (2.10) kullanılır;

$$I_v(h) = \frac{1}{c_0 \ln\left(\frac{h}{z_0}\right)} \quad (2.10)$$

Terimlerin açıklaması Madde 2.2.1.2. ' de belirtilmiştir.

Türbülans yoğunluğu hesaplandıktan sonra denklem (2.11) ile maksimum rüzgar basıncı hesaplanmaktadır;

$$q_p(h) = [1 + 7I_v(h)] q_h(h) \quad (2.11)$$

2.2.1.5. Havai hattın herhangi bir elemanına etki eden rüzgar yükü

Referans h yüksekliğinde, yatayda esen rüzgar nedeniyle oluşan rüzgar yükü değeri, Q_{wx} hattın herhangi bir elemanına dik olması ile denklem (2.12) ile hesaplanır;

$$Q_{wx} = q_p(h) G_x C_x A_x \quad (2.12)$$

Burada;

$q_p(h)$ = Maksimum rüzgar basıncı

G_x = Rüzgar yükü hesaplanan hattın elemanına ait yapı faktörü

C_x = Sürüklenme katsayısı

A_x = Rüzgar yükü hesaplanan hat elemanı dik yönde gelen rüzgar etki ettiği yüzey alanı

2.2.2. Enerji nakil hattı elemanlarında rüzgar yükü hesaplamaları

Enerji nakil hattı elemanlarında rüzgar yükü, IEC 60826 standardında olduğu gibi bu standartta da iletkenler, izolatörler ve direklerde olmak üzere 3 ana başlık altında incelenmiştir.

2.2.2.1. İletkenlerdeki rüzgar yükü

Genel hesaplamalar: İletkenler üzerine etki eden rüzgar basıncı hatlardaki enine kuvvetlere sebep olmakla birlikte iletkenlerde gerilimin artmasına sebep olmaktadır. Hesaplama yapılırken, faz iletkenlerinin oluşturduğu demet üzerindeki toplam rüzgar yükü tek tek iletkenler üzerindeki kuvvetlerin toplamına eşittir ve bu demeti oluşturan her fazın birbirine olan etkileşimleri ihmal edilmektedir.

İletkenlere gelen rüzgar yükü aşağıdaki denklem (2.13) ve (2.14) yardımı ile hesaplanmaktadır;

Çapraz kol yönünde;

$$Q_{Wc_V} = q_p(h) G_C C_C d \left[\pm \frac{L_1}{2} \cos^2 \left(\phi + \frac{\theta_1}{2} \right) \cos \left(\frac{\theta_1}{2} \right) + \frac{L_2}{2} \cos^2 \left(\phi - \frac{\theta_2}{2} \right) \cos \left(\frac{\theta_2}{2} \right) \right] \quad (2.13)$$

Çapraz kola dik yönde;

$$Q_{Wc_U} = q_p(h) G_C C_C d \left[\pm \frac{L_1}{2} \cos^2 \left(\phi + \frac{\theta_1}{2} \right) \sin \left(\frac{\theta_1}{2} \right) - \frac{L_2}{2} \cos^2 \left(\phi - \frac{\theta_2}{2} \right) \sin \left(\frac{\theta_2}{2} \right) \right] \quad (2.14)$$

Burada;

$q_p(h)$ = Maksimum rüzgar basıncı

h = İletkenlerin yer seviyesinden yüksekliği

G_c = Yapısal faktör

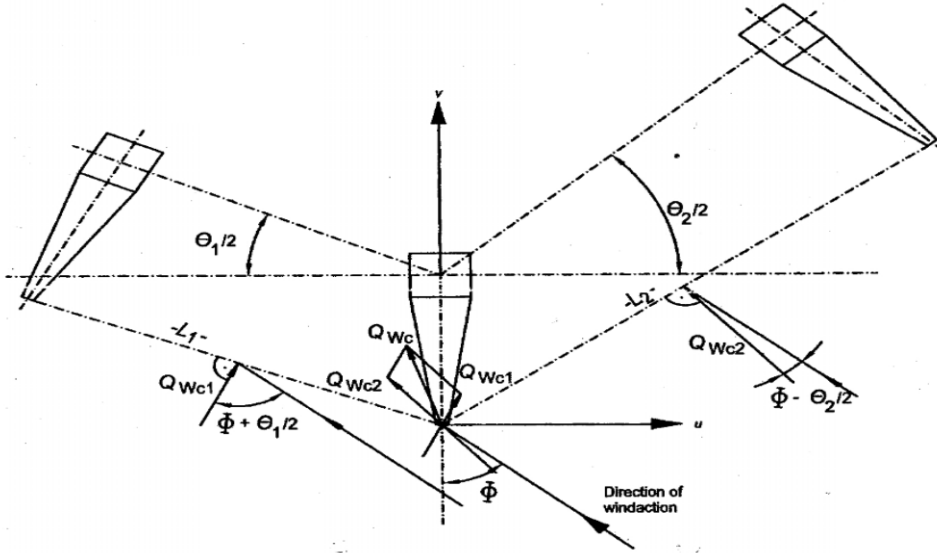
C_c = Sürüklenme katsayısı

d = İletkenin çapı

L_1, L_2 = Ardışık iki direk arası mesafeler

ϕ = Rüzgar yönü ile çapraz kolun uzunlamasına eksenine ile arasındaki açı

$\Theta_1, \Theta_2 = (\Theta_1 + \Theta_2)/2 = \Theta$, Direk eksenlerinin çizgi yönü değişim açısı



Şekil 2.7: İletkenler üzerindeki rüzgar yükü.

Direklerin aynı ekseninde olduğu durumlarda, bir diğer söylemle $\Theta = \Theta_1 = \Theta_2$ açısının sıfır olduğu durumlarda denklem (2.15)' de ki gibi olmaktadır;

$$Q_{Wc_V} = q_p(h) G_C C_C d \cos^2 \phi \left(\frac{L_1 + L_2}{2} \right) \quad (2.15)$$

Burada çapraz kola gelen kuvvet sıfır olmaktadır;

$$Q_{Wc_U} = 0$$

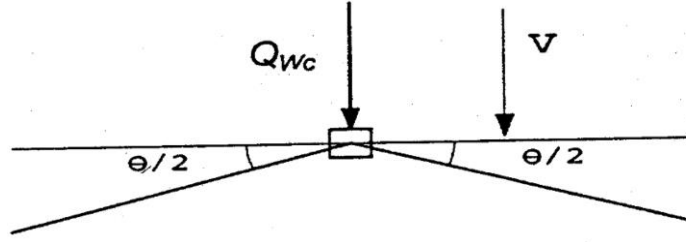
Şekil 2.8' de görüldüğü gibi, rüzgar yönü hat eksenine çizgisinde açıortay oluşturacak şekilde gelirse rüzgar kuvveti denklem (2.16) ve (2.17)' de ki gibi olmaktadır;

$$Q_{Wc_V} = q_p(h) G_C C_C d \cos^3 \left(\frac{\Theta}{2} \right) \left(\frac{L_1 + L_2}{2} \right) \quad (2.16)$$

$$Q_{Wc_U} = q_p(h) G_C C_C d \sin \frac{\Theta}{2} \cos^2 \left(\frac{\Theta}{2} \right) \left(\frac{L_1 - L_2}{2} \right) \quad (2.17)$$

Eğer $L_1 = L_2$ olursa,

$$Q_{Wc_U} = 0$$



Şekil 2.8: İletkenlerdeki rüzgar yükü - hat eksenine açıortay oluşturacak şekilde gelen rüzgar yönleri için.

Yapısal faktör hesaplama yöntemi: Yapısal faktör olan G_c , denklem (2.18) ile hesaplanmaktadır;

$$G_c = \frac{1+2k_p I_v(h) \sqrt{B^2+R^2}}{1+7I_v(h)} \quad (2.18)$$

Burada;

k_0 = Pik faktör (Genellikle 3 olarak alınmaktadır)

$I_v(h)$ = Türbülans yoğunluğu

B^2 = Arka plan faktörü, Açıklıktaki basıncın tam korelasyonunu sağlamak için kullanılır

R^2 = Rezonans tepki faktörü (Genellikle 0 alınmaktadır, çünkü iletkenler üzerinde rüzgar yönündeki rezonans ihmal edilebilecek kadar küçüktür)

Arka plan faktörü olan B^2 ise aşağıdaki denklem (2.19) ile hesaplanmaktadır;

$$B^2 = \frac{1}{1+\frac{3L_m}{2L(h)}} \quad (2.19)$$

L_m = Nakil hattı direğinin bir önceki ve bir sonraki direklere olan mesafesinin aritmetik ortalamasıdır

$L(h)$ = Referans yükseklikteki türbülans uzunluğu skalası;

$$L(h) = 300 (h/200)^{0.67+0.05 \ln(z_0)}$$

Z_0 = Pürüzlülük katsayısı

Ek-A' da yer alan tablolarda, farklı referans yüksekliklerinde ve rüzgar açıklıklarında arazi tipine göre olan G_c değerleri verilmektedir.

Sürüklenme katsayısı hesaplaması: Sürüklenme katsayısı olan C_c , 3 farklı yöntem ile hesaplanmaktadır;

Yöntem-1 : Sürüklenme katsayısı örgülü iletkenler için 1 olarak alınır

Yöntem-2 : Sürüklenme katsayısı rüzgar tüneli testi ile belirlenir

Yöntem-3 : Sürüklenme katsayısı EN 1993-3-1 ' de yer alan metot ile belirlenir;

Reynolds Sayısı; $Re \leq 6.10^4 \rightarrow C_c = 1,2$

Reynolds Sayısı; $Re \geq 10^5 \rightarrow C_c = 0,9$

Denklem (2.20) ve (2.21)' de Reynolds sayısı hesaplama denklemleri verilmiştir;

$$Re = \frac{V(h) d}{\nu} \quad (2.20)$$

$$V(h) = \sqrt{\frac{2q_p(h)}{\rho}} \quad (2.21)$$

Burada;

d = İletkenin çapı

ν = Kinematik viskozite (Önerilen değer, $\nu = 15.10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$)

ρ = Hava yoğunluğu

q_p = Maksimum rüzgar basıncı

2.2.2.2. İzolatörlerdeki rüzgar yükü

İzolatörlerdeki rüzgar yükü hem iletkenlerdeki rüzgar yükünden hem de izolatörlerin kendisine etki eden rüzgar basıncından etkilenmektedir. İzolatörlerde, kendilerine etki eden rüzgar basıncından kaynaklı yükler ihmal edilebilmektedir. Ancak, Ulusal Norm' lar da bu yükün dikkate alındığı belirtilmektedir ve aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanmaktadır;

$$Q_{Wins} = q_p(h) G_{ins} C_{ins} A_{ins} \quad (2.22)$$

Burada;

$q_p(h)$ = Maksimum rüzgar basıncı

h = Referans yer seviyesinden yükseklik

G_{ins} = İzolatörlerin yapısal faktörü (Önerilen değer =1)

C_{ins} = İzolatörlerin sürüklenme katsayısı (Önerilen değer = 1,2)

A_{ins} = İzolatörlerin yüzey alanı

2.2.2.3. Kafes Direklerdeki Rüzgar Yüğü

Kafes direklerdeki rüzgar yüğü; iletkenlere ve yalıtkanlara etki eden rüzgar yükünün yanında direklerin kendisine rüzgar basıncının etkisiyle etki eden yüklerde hesaba katılarak bulunmaktadır. Hesaplama için iki farklı yöntem belirtilmiştir;

Yöntem-1: Direk kendi içinde farklı bölümlere ayrılmıştır. Sürüklenme katsayısı bölünmüş direk parçalarının yapısına bağlı olup, rüzgar alan kısmın rüzgar almayan kısma etkileri dikkate alınarak belirlenmektedir.

Yöntem-2: Direğin her bir elemanı ayrı olarak değerlendirilmektedir. Sürüklenme katsayısı direğin elemanlarına bağlı iken herhangi bir etki dikkate alınmamaktadır. Bu yöntem genellikle yapısı düzensiz olan direklerde kullanılmaktadır, özellikle de çapraz kollarda.

Bunun yanında kullanılacak bir yöntemde, enerji nakil hattı direklerini dikey bir yapı olarak kabul edip, her direk için referans yükseklikler belirlenerek her direğe ve direk bölümlerine gelen rüzgar yüğü hesaplanabilir. Dikey yapı kavramı için tanımlama EN 1991-1-4 standardında belirlenmiştir.

Yöntem-1: Kafes nakil hattı direklerinin dikdörtgen kesitleri için; rüzgar yükünün her bir bölümün ağırlık merkezine etki ettiği kabul edilir. Gelen rüzgar yönündeki rüzgar yüğü kuvveti, Q_{wt} aşağıdaki denklem (2.23) ile belirlenmiştir ve rüzgar yönüne ters kuvvetler ihmal edilmiştir;

$$Q_{wt} = q_p(h) G_t (1 + 0,2 \sin^2 2\phi) (C_{t1} A_{t1} \cos^2 \phi + C_{t2} A_{t2} \sin^2 \phi) \quad (2.23)$$

Burada;

$q_p(h)$ = Maksimum rüzgar basıncı

h = Hesaplama yapılan direk bölümünün referans yerden yüksekliği

G_t = Kafes direklerin yapısal faktörü. Önerilen değer 1' dir.

C_{t1}, C_{t2} = Kafes direklerin Yüz-1 ve Yüz-2 için olan sürüklenme katsayıları (Rüzgarın yüzlere dik geldiği varsayılır)

A_{t1}, A_{t2} = Kafes direklerin Yüz-1 ve Yüz-2 için efektif yüzey alanları

ϕ = Rüzgar yönü ile kafes direk çapraz kollarının boyuna ekseni ile yaptığı açı

Kafes direklerin çapraz kolları için; rüzgar yükü denklem (2.24) ile hesaplanmaktadır;

$$Q_{Wtc} = q_p(h) G_{tc} A_{tc} (\sin\phi + 0,4\cos\phi) \quad (2.24)$$

Burada;

$q_p(h)$ = Maksimum rüzgar basıncı

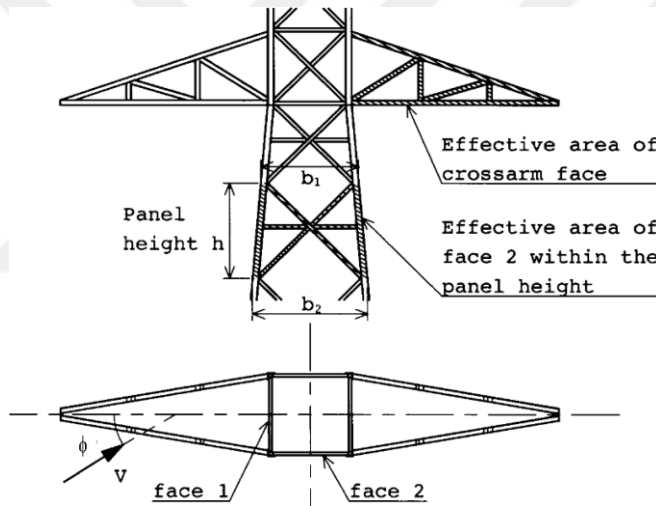
h = Hesaplama yapılan direk çapraz kolunun referans yerden yüksekliği

G_{tc} = Kafes direk çapraz kollarının yapısal faktörü. Önerilen değer 1' dir.

C_{tc} = Kafes direklerin çapraz kollarının sürüklenme katsayıları (Rüzgarın çapraz kolun boyuna eksenine dik geldiği varsayılır)

A_{tc} = Rüzgar yüküne maruz kalan kafes direğin çapraz kolunun efektif alanı

ϕ = Rüzgar yönü ile kafes direk çapraz kollarının boyuna eksenine ile yaptığı açı



Şekil 2.9: Direk çapraz kol, yüz-1 ve yüz-2 tanımları.

Bunun yanında, sürüklenme katsayıları olan C_{t1} , C_{t2} ve C_{tc} , katılık oranı olan χ ile bulunmaktadır ve hesaplanma yöntemi aşağıdaki denklem (2.25) ile verilmiştir;

$$\chi = At \frac{2}{h(b_1+b_2)} \quad (2.25)$$

Burada;

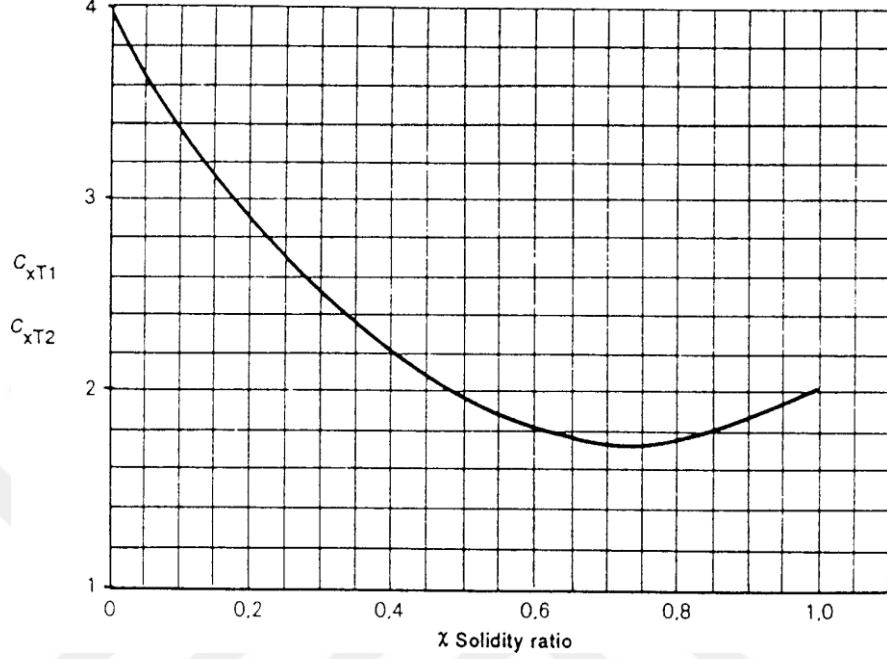
A_t = Rüzgar yüküne maruz kalan kafes direğin çapraz kolunun efektif alanı

h = Kafes direk bölümünün yüksekliği

b_1, b_2 = Direk bölümünün üst ve alt kısmının uzunlukları

Buradan χ yardımı ile sürüklenme katsayıları C_{t1} , C_{t2} ve C_{tc} denklem (2.26) ile hesaplanmaktadır;

$$C_{t1} (C_{t2}, C_{tc}) = 3,96 (1 - 1,5 \chi + \chi^2) \quad (2.26)$$



Şekil 2.10: Katılık oranı ve sürüklenme katsayıları, C_t grafiği.

Yöntem-2: Kafes direğin her bir bölümü için, rüzgar kuvveti bu bölümün eksenine ve bu eksen ile rüzgar yönünün oluşturduğu düzleme diktir ve denklem (2.27) hesaplanmaktadır[13];

$$Q_{Wm} = q_p(h) G_m C_m A_m \cos^2 \phi_m \quad (2.27)$$

Burada;

$q_p(h)$ = Maksimum rüzgar basıncı

h = Hesaplama yapılan direk bölümünün referans yerden yüksekliği

G_m = Kafes direk bölümlerinin yapısal faktörü. Önerilen değer 1'dir

C_m = Kafes direklerin sürüklenme katsayısı (Önerilen değer :1,6)

A_m = Kafes direk bölümlerinin efektif alanı

ϕ_m = Rüzgar yönü ile direk bölümünün normal ekseninin yaptığı açı

2.2.2.4. Diğer direklerdeki rüzgar yükü

Çelik, beton veya ağaç gibi direklerde de rüzgar yükleri iletkenler, yalıtkanlar ve direğin kendisinden dolayı oluşan yüklerin toplamıdır.

Rüzgar yükü hesaplamalarında dikkate alınacak referans yükseklik iki yöntemle hesaplanabilmektedir[13];

Yöntem-1 :Direk bölmelere ayrılır ve her bir bölmenin referans yüksekliği, bölmenin geometrik merkezinin yer seviyesinden yüksekliği olarak alınır

Yöntem-2 :Direk, dikey bir yapı olarak kabul edilip referans yüksekliği direk yüksekliğinin bir yüzdesi olarak hesaplamalara alınır. Bu değer genellikle direk yüksekliğinin %60' ı kadar olmaktadır.

Rüzgar yönüne dik olan direğe etki eden rüzgar yükü denklem (2.28) ile hesaplanmaktadır;

$$Q_{Wpol} = q_p(h) G_{pol} C_{pol} A_{pol} \quad (2.28)$$

$q_p(h)$ = Maksimum rüzgar basıncı

h = Direğin yer seviyesinden referans yüksekliği

G_{pol} = Direğin yapısal faktörü. Önerilen değer 1'dir

C_{pol} = Direğin sürüklenme katsayısı

A_{pol} = Direğin rüzgar yönüne dik kısmının yüzey alanı

2.3.Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği

30.11.2000 tarihinde 24246 sayılı Resmi Gazete' de yayımlanan "Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği" 'nde elektrik kuvvetli akım tesislerinin kurulmasının, işletilmesinin, bakımının can ve mal emniyeti bakımından güvenlikle yapılmasına dair hükümleri kapsamaktadır. Bu kapsam altında, enerji nakil hatlarının kurulmasını, işletilmesini ve bakımını can ve mal güvenliğini gözeterek yapmak amacıyla tasarımda dikkat edilmesi gereken parametrelere yer verilmiştir. Yönetmeliğin 48. Maddesinin b fıkrasında yatay kuvvetler başlığı altında rüzgar yükü hesaplamalarına yer verilmiştir. Rüzgar yükü başlığı altında; faz ve toprak iletkenlerine etki eden rüzgar kuvveti ve kare ya da dikdörtgen kesitli kafes direklerde rüzgar kuvveti hesaplamaları belirtilmiştir.[14]

2.3.1. Faz ve toprak iletkenlerinde rüzgar kuvveti

Faz ve toprak iletkenlerindeki rüzgar kuvveti hesaplamalarında; 200 metreye kadar rüzgar açıklığı bulunan direkler ile 200 metreden büyük rüzgar açıklıkları olan direkler diye iki farklı kategori yapılmıştır.

200 metreye kadar rüzgar açıklığı olan direklerde denklem (2.29)

$$W_i = c_d \cdot Q \cdot d \cdot a_w \quad (\text{kg}) \quad (2.29)$$

200 metreden fazla rüzgar açıklığı olan direklerde ise denklem (2.30)

$$W_i = c_d \cdot Q \cdot d \cdot (80 + 0,6a_w) \quad (\text{kg}) \quad (2.30)$$

kullanılmaktadır.

Burada;

c_d = Dinamik rüzgar basınç katsayısı olup rüzgar yüküne maruz kalan direk elemanının büyüklüğüne ve niteliğine göre değişmektedir.

Q = Dinamik rüzgar basıncı (kg/m^2)

d = İletkenin çapı (m)

a_w = Rüzgar açıklığı (m)

Dinamik rüzgar basıncı olan Q , arazi yükseklikleri ve hat elemanlarına göre değerleri aşağıdaki Çizelge 2.5 ' de verilmiştir.

Çizelge 2.5: Dinamik rüzgar basıncı değerleri.

Dinamik Rüzgar Basıncı Q (kg/m^2)		
Arazi Üzerindeki Yükseklik (m)	Direk, Travers, İzolatör	İletkenler
0-15	55	44
15-40	70	53
40-100	90	68
100-150	115	86
150-200	125	95

Dinamik rüzgar basıncı katsayısı c değerleri ise Çizelge 2.6' da verilmiştir;

Çizelge 2.6: Dinamik rüzgar basıncı katsayısı, c.

Dinamik Rüzgar Basıncı Katsayıları (c)		
No	Rüzgar Etkisi Altındaki Hat Elemanı	c katsayısı
1	Profil demirinden yapılmış tek yüzlü kafesler	1,6
2	Profil demirden yapılmış kare/dikdörtgen kesitli kafes direkleri	2,8
3	Borulardan yapılmış tek yüzlü kafesler	1,2
4	Borudan demirden yapılmış kare/dikdörtgen kesitli kafes direkleri	2,1
5	Daire kesitli ağaç/çelik boru/betondan yapılmış direkleri	0,7
6	Altıgen/sekizgen kesitli çelik boru ve beton direkleri	1,0
7	Çapı 12.5 mm'ye kadar olan iletkenler	1,2
8	Çapı 12,5 <d< 15,8 mm olan iletkenler	1,1
9	Çapı 15.8 mm'den büyük olan iletkenler	1,0

2.3.2. Kare ya da dikdörtgen kesitli kafes direklerde rüzgar kuvveti

Yerden yüksekliği 60 metre veya daha yüksek kare veya dikdörtgen direklerde rüzgar yönünün direk hat doğrultusuna 45 derecelik bir açıyla geldiği varsayılarak hesaplamalar yapılmaktadır. Direk boyu hesaplanırken en üstteki traversin üst yüzünün yer seviyesinden yüksekliğine bakılır. Hesaplamalarda, dinamik rüzgar basıncı için Tablo 10' dan yararlanılmaktadır. Bunun yanında, yönetmelikte rüzgar yükünde belirli azalmalar öngörülmüştür. Rüzgar yükü hesaplandıktan sonra bu oranlarda çarpılması gerekmektedir. Örnek olarak; %42 rüzgar yükü diye belirtildiğinde hesaplanan rüzgar yükü 0.42 ile çarpılacaktır.

Nakil hattı direğinin tüm yüzey noktalarına etki eden rüzgar kuvvetinin direğin en üst noktasında oluşturacağı momente karşılık gelen kuvvet hesaplanıp, iletkenlere etki eden rüzgar kuvveti ile birlikte bileşke kuvvet hesaplanır. Aşağıdaki formül yardımı ile direğe etki eden rüzgar kuvveti denklem (2.31) ile hesaplanmaktadır;

$$F_d = Q c S_d \quad (2.31)$$

Burada;

F_d = Direk yüzeyine etki eden rüzgar kuvveti

Q = Dinamik rüzgar basıncı

c = Dinamik rüzgar basıncı katsayısı

S_d = Rüzgara maruz kalan dik kesitin alanı

3. RÜZGAR YÜKÜ HESAPAMALARI

Enerji iletim hatlarındaki rüzgar yükü hesaplamaları IEC 60826 ve EN 50341-1 standartları ile EKAT yönetmeliğine göre her bir direk tipi için ayrı ayrı yapılmış olup sonuçlar karşılaştırılmıştır.

3.1. IEC 60826 Standardına Göre Hesaplamalar

Standartta da belirtildiği gibi hesaplamalar farklı tipteki direkler için iletkenlere, izolatörlere ve direklerin kendisine gelen yükler olarak ayrı ayrı hesaplanıp direğe etki eden toplam rüzgar yükü hesaplanmıştır.

Hesaplamalara örnek olarak; bölgedeki 154 kV gerilimindeki 1272 MCM iletkenli 40 metre yüksekliğindeki kafes tipi direk seçilmiştir. Bu direğe etki eden dinamik rüzgar basıncı hesabı için hava yoğunluğu MELEN isimli meteorolojik ölçüm istasyonu verilerinden yola çıkılarak $1,225 \text{ kg/m}^3$ alınmıştır. Farklı rüzgar hızlarında karşılaştırmak amacıyla 12 m/s ve üzeri rüzgar hızları için hesaplamalar yapılmıştır.

$$q_0 = \frac{1}{2} \tau \mu (K_R V_{RB})^2$$

$$q_0 = \frac{1}{2} \times 1,225 \times 12^2$$

$$q_0 = 88,2 \text{ N/m}^2$$

Bu direk için iletkenlere, izolatörlere ve direğin kendisine gelen rüzgar yükleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

İletkenlere gelen rüzgar yükü;

$$A_C = q_0 C_{XC} G_C G_L d L \sin^2 \Omega$$

$$A_C = 88,2 \times 1 \times 2,75 \times 0,94 \times 0,0351 \times 400 \times \sin^2 45$$

$$A_C = 1600,5 \text{ N}$$

İletkenlere gelen rüzgar yükü dinamik rüzgar basıncına, sürüklenme katsayısına, rüzgar faktörüne, rüzgar açıklığına ve rüzgar açıklık faktörüne, iletken çapına ve iletken ile rüzgar yönü arasındaki açığa bağlıdır. Burada, sürüklenme katsayısını, iletken cinsini

ve direk tipini sabit olarak kabul edip, farklı yükseklikteki direk boyları, rüzgar hızları, rüzgar yönleri ve rüzgar açıklıklarında birleşik rüzgar faktörü ve açıklık faktörü değişerek iletkene gelecek olan rüzgar yükleri EK B' de verilmiştir.

Burada, örgülü iletkenler için C_{xc} değeri 1, 40 metre boyunda C arazi sınıfındaki direk için G_c değeri 2,75, rüzgar açıklığı 400 metre ve bu açıklık değerine karşılık gelen G_L değeri de 0,94 alınmıştır. 1272 MCM iletkenlerin iletken çapı ise 35,10 mm' dir. Rüzgarın ise direğe 45 derecelik bir açı ile geldiği kabul edilmiştir.

İzolatlara gelen rüzgar yükü;

$$A_i = q_0 C_{xi} G_t S_i$$

$$A_i = 88,2 \times 1,20 \times 3,10 \times 0,1$$

$$A_i = 32,81 \text{ N}$$

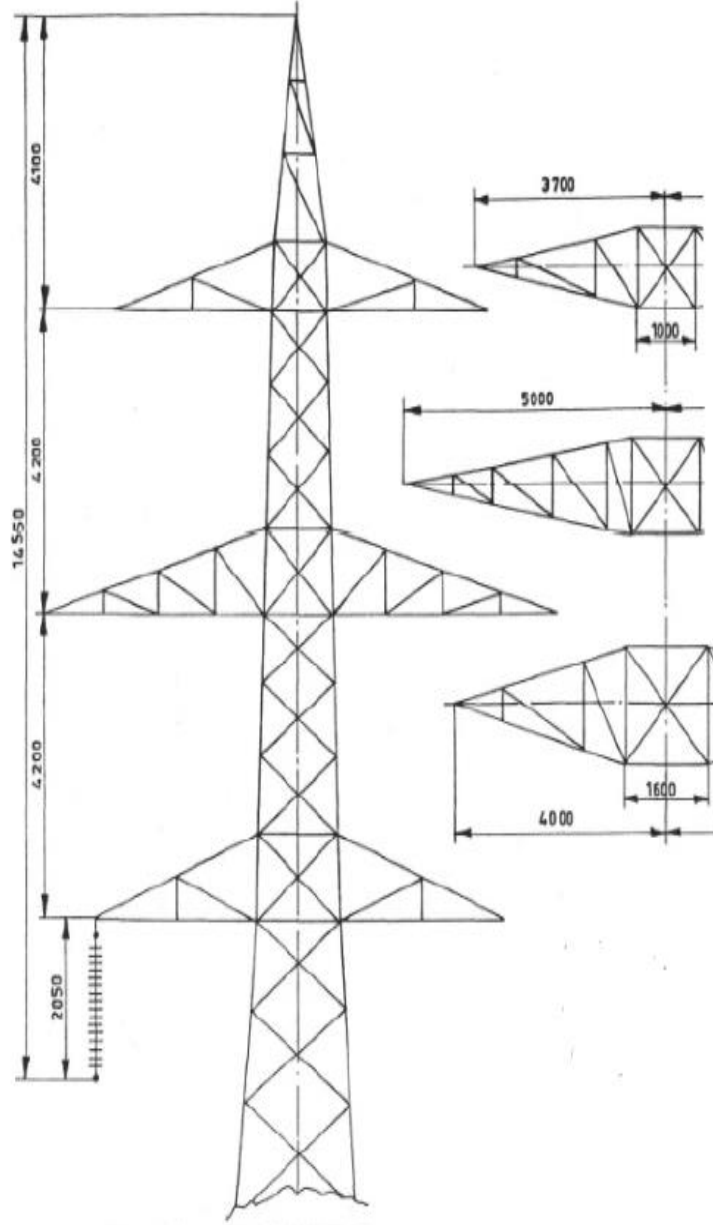
Burada, izolatörlerin sürüklenme katsayısı olan C_{xi} 1,20, rüzgar faktörü 3,1 ve izolatör alanı ise 0,1 m² olarak alınmıştır.

İzolatlara gelen rüzgar yükü dinamik rüzgar basıncına, sürüklenme katsayısına, birleşik rüzgar faktörüne ve izolatör zincirinin yataydaki yüzey alanına bağlıdır. Farklı rüzgar hızlarında dolayısı ile farklı dinamik rüzgar basınçlarında ve farklı direk boylarındaki izolatörler için yapılan rüzgar yükü hesapları Çizelge 3.1' de verilmiştir.

Çizelge 3.1: Arazi sınıfı C olan direk izolatörlerine gelen rüzgar yükleri. (N)

Direk Boyu (m) / Hız(m/s)	20	30	40	50	60
20	82.3	88.2	94.1	97.0	100.0
21	90.8	97.2	103.7	107.0	110.2
22	99.6	106.7	113.8	117.4	121.0
23	108.9	116.6	124.4	128.3	132.2
24	118.5	127.0	135.5	139.7	143.9
25	128.6	137.8	147.0	151.6	156.2
26	139.1	149.1	159.0	164.0	168.9
27	150.0	160.7	171.5	176.8	182.2
28	161.3	172.9	184.4	190.2	195.9
29	173.1	185.4	197.8	204.0	210.2
30	185.2	198.5	211.7	218.3	224.9

Taşıyıcı direklere gelen rüzgar yüklerini hesaplamak için standartta da belirtildiği üzere direk bölmelere ayrılması gerekmektedir. Aşağıdaki resimde ağır taşıyıcı direğin kesitleri verilmiştir [15]

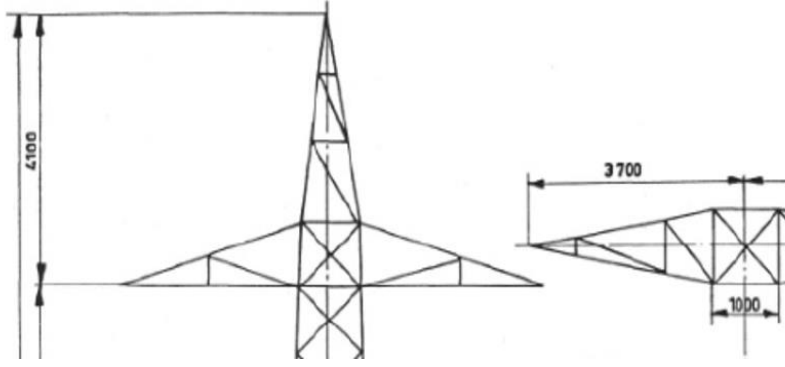


Şekil 3.1: 154 kv 1272 MCM ağır tip taşıyıcı enerji nakil hattı kesitleri.

Bu kesitlerden yararlanarak direk dört bölme ayrılmıştır. Traversler ve altındaki 4.2 metre uzunluğundaki gövde ayrı birer bölme olarak alınmıştır. Üçüncü traversin altındaki yer seviyesine kadar olan gövde ise ayrı bir bölme olarak direk toplamda dört bölme ayrılmıştır. Bu bölme alanları, ilk bölme alan hesabı için;

$$\text{Yüz 1 Alanı} = 3,1 \text{ m} \times 1 \text{ m} / 2 + 1 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 2,55 \text{ m}^2$$

$$\text{Yüz 2 Alanı} = 3,7 \text{ m} \times 1 \text{ m} + 1 \text{ m} \times 4,1 \text{ m} / 2 = 5,75 \text{ m}^2$$

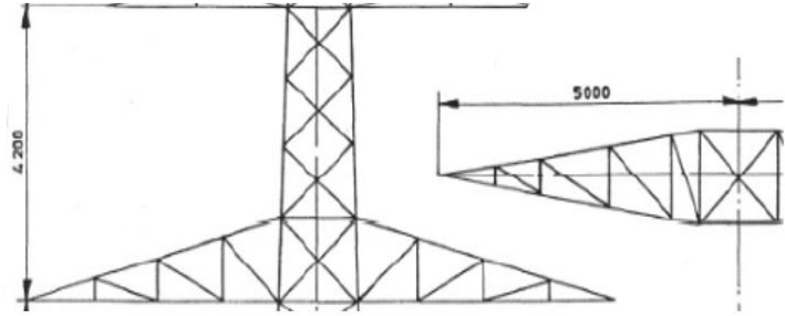


Şekil 3.2: 154 kV 1272 MCM ağır tip taşıyıcı direk bölme 1 kesitleri.

İkinci bölme alan hesabı için;

$$\text{Yüz 1 Alanı} = 1,2 \text{ m} \times 1,2 \text{ m} + (1 \text{ m} + 1,2 \text{ m}) \times 3/2 = 4,74 \text{ m}^2$$

$$\text{Yüz 2 Alanı} = 5 \text{ m} \times 1,2 \text{ m} + 1,2 \text{ m} \times 1,2 \text{ m} + (1,2 \text{ m} + 1 \text{ m}) \times 3 \text{ m} / 2 = 10,74 \text{ m}^2$$

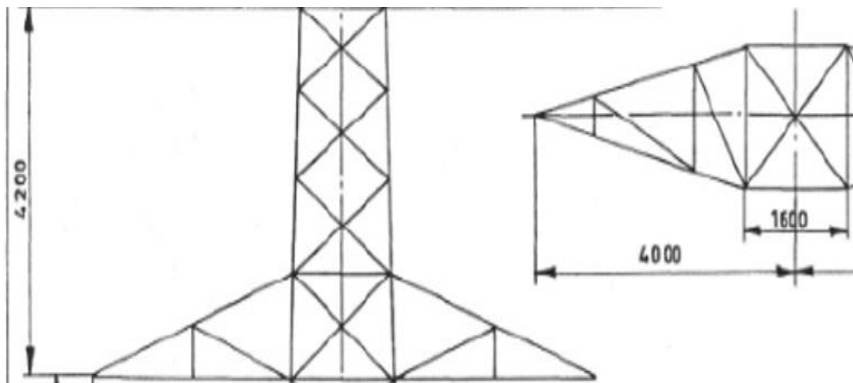


Şekil 3.3: 154 kV 1272 MCM ağır tip taşıyıcı direk bölme 2 kesitleri

Üçüncü bölme alan hesabı için;

$$\text{Yüz 1 Alanı} = 1,6 \text{ m} \times 1,6 \text{ m} + (1,2 \text{ m} + 1,6 \text{ m}) \times 2,6 / 2 = 6,2 \text{ m}^2$$

$$\text{Yüz 2 Alanı} = 4 \text{ m} \times 1,6 \text{ m} + 1,6 \text{ m} \times 1,6 \text{ m} + (1,6 \text{ m} + 1,2 \text{ m}) \times 2,6 \text{ m} / 2 = 12,6 \text{ m}^2$$



Şekil 3.4: 154 kV 1272 MCM ağır tip taşıyıcı direk bölme 3 kesitleri

Direğin en üst noktasından üçüncü traverse kadar olan kısım 14,55 metre olduğundan direğin geri kalan boyu 25,45 metre olmaktadır. Yer seviyesindeki direk ayaklarının genişliğini de 5 metre olarak kabul edilip, direğin geri kalan kısmının alan hesabı;

$$\text{Yüz 1 Alanı} = (1,6 \text{ m} + 5 \text{ m}) \times 25,45 / 2 = 84 \text{ m}^2$$

$$\text{Yüz 2 Alanı} = (1,6 \text{ m} + 5 \text{ m}) \times 25,45 / 2 = 84 \text{ m}^2$$

154 kV taşıyıcı direğin yüz-1 ve yüz-2 katılık oranı sırasıyla %60 ve %50 olarak belirlendiğinde sürüklenme katsayıları Şekil 2.10' dan sırasıyla 1,8 ve 2,0 olarak belirlenmiştir. Yüz-1 ve Yüz-2 alanları ve sürüklenme katsayıları belirlenen direk bölmelerinin yük hesabı EK B' de verilmiştir. Örnek hesaplama olarak, 12 m/s rüzgar hızında ve 40 metrelik taşıyıcı direğe 45 derece açı ile gelen rüzgarın direk bölmelerine etki edeceği rüzgar yükü aşağıda verilmiştir;

$$A_t = q_0 (1 + 0,2 \sin^2 2\theta) (S_{t1} C_{xt1} \cos^2\theta + S_{t2} C_{xt2} \sin^2\theta) G_t$$

Bölme 1 için;

$$A_t = 88,2 \times (1 + 0,2 \sin^2 90) (2,55 \times 1,8 \times \cos^2 45 + 5,75 \times 2 \times \sin^2 45) 2,7$$

$$A_t = 2299 \text{ N}$$

Bölme 2 için;

$$A_t = 88,2 \times (1 + 0,2 \sin^2 90) (4,74 \times 1,8 \times \cos^2 45 + 10,74 \times 2 \times \sin^2 45) 2,7$$

$$A_t = 4288,2 \text{ N}$$

Bölme 3 için;

$$A_t = 88,2 \times (1 + 0,2 \sin^2 90) (6,2 \times 1,8 \times \cos^2 45 + 12,6 \times 2 \times \sin^2 45) 2,7$$

$$A_t = 5195,2 \text{ N}$$

Bölme 4 için;

$$A_t = 88,2 \times (1 + 0,2 \sin^2 90) (84 \times 1,8 \times \cos^2 45 + 84 \times 2 \times \sin^2 45) 2,7$$

$$A_t = 45608,6 \text{ N}$$

Burada, direk için belirlenen birleşik rüzgar faktörü, direğin ağırlık merkezinin yerden yüksekliği belirlenerek 2,8 olarak seçilmiştir. Direk ağırlık merkezi belirlenirken direk yüksekliğinin %60'ı alınmıştır [10]

Toplam olarak direğe etki eden rüzgar yükü ise iletkenlere, izolatörlere ve direğe etki eden yüklerin toplamı ile bulunmaktadır ve bu değer yukarıdaki örnek için 57,4 kN 'dur. 154 kV ağır tip taşıyıcı direkler için farklı rüzgar hızlarında ve yönlerinde, farklı direk yükseklikleri için etki eden toplam rüzgar yükü değerleri EK B'de ki tablolarda verilmiştir.

1272 MCM 154 kV' luk ağır tip taşıyıcı direklerdeki rüzgar yüklerine bakıldığında, direk yüksekliği ve rüzgar hızı arttıkça rüzgar yüklerinin arttığı tespit edilmektedir. Bunun yanında, iletkenlerde rüzgar açıklığı arttıkça rüzgar yükleri artmaktadır. İletkenlere gelen en düşük rüzgar yükleri ise iletkene paralel yönde esen rüzgarların oluşturduğu yüklerdir ve direğe etki eden toplam rüzgar yükünde ihmal edilebilir seviyededir. Bu direklere etki eden toplam rüzgar yükünün en fazla olduğu durum ise direğe 60 derece yönde gelen rüzgarların oluşturduğu yüklerdir. 0 dereceden 60 dereceye kadar olan rüzgar yönlerinde rüzgar yüklerinde artış olup, 60 derece rüzgar yönünden sonra rüzgar yüklerinde azalma olduğu gözlemlenmektedir. Buna ek olarak, 60 derece üzeri rüzgar yönlerindeki rüzgar yükleri 60 dereceye kadar olan rüzgar yönlerindeki rüzgar yüklerinden fazla olduğu tespit edilmiştir.

3.2. EN 50341-1 Standardına Göre Hesaplamalar

EN 50341 -1 standardına göre rüzgar yükü hesaplamaları standarttaki hesaplama yöntem ve kabullerine göre iletkenler, izolatörler, direklerin çapraz kolları ve dikdörtgen kesitlerine göre ayrı ayrı hesaplanıp direklerdeki toplam rüzgar yükü hesaplanmıştır.

Hesaplama detayları olarak, yine aynı bölgedeki 154 kV gerilimindeki 1272 MCM iletkenli 40 metre yüksekliğindeki kafes tipi direk seçilmiştir. Direk açıklıkları 200 ve 300 metre olarak alınıp, bu direğe etki eden dinamik rüzgar basıncı hesabı için hava yoğunluğu MELEN isimli meteorolojik ölçüm istasyonu verilerinden yola çıkılarak 1,225 kg/m³ alınmıştır. Farklı rüzgar hızlarında karşılaştırmak amacıyla 12 m/s ve üzeri rüzgar hızları için hesaplamalar yapılmıştır.

Ortalama rüzgar hızındaki dinamik rüzgar basıncı için;

$$q_h (h) = \frac{1}{2} \rho V^2 (h)$$

$$q_0 = \frac{1}{2} \times 1,225 \times 12^2$$

$$q_h = 88,2 \text{ N/m}^2 \text{ bulunmuştur.}$$

Bu standartta hesaplamalar, IEC 60826 standardındaki ortalama rüzgar basıncı aksine maksimum rüzgar basıncı ile yapılmaktadır. Bu sebeple, maksimum rüzgar basıncı hesaplanmıştır;

$$q_p(h) = [1 + 7 I_v(h)] q_h(h)$$

Buradan;

$$I_v(h) = 1 / [c_0 \ln(h / z_0)]$$

40 metre yükseklikte, bulunduğu arazi sınıfı III olan (pürüzlülük değeri 0.3) direk için türbülans yoğunluğu;

$$I_v(h) = 1 / [1 \times \ln(40/0,3)]$$

$$I_v(h) = 0,204$$

Buradan;

$$q_p(h) = [1 + 7 \times 0,204] \times 88,2$$

$$q_p(h) = 214,4 \text{ N}$$

İletkenlere gelen rüzgar yükü çapraz kol yönünde;

$$Q_{w_{c_v}} = q_p(h) G_C C_C d \left[\pm \frac{L_1}{2} \cos^2 \left(\phi + \frac{\theta_1}{2} \right) \cos \left(\frac{\theta_1}{2} \right) + \frac{L_2}{2} \cos^2 \left(\phi - \frac{\theta_2}{2} \right) \cos \left(\frac{\theta_2}{2} \right) \right]$$

$$Q_{w_{c_v}} = 214,4 \times 0,67 \times 1 \times 0,0351 \times [100 \times \cos^2(30 + 0) \times \cos 0 + 150 \times \cos^2(30-0) \times \cos 0]$$

$$Q_{w_{c_v}} = 945,3 \text{ N}$$

Çapraz kola dik yönde;

$$Q_{w_{c_u}} = q_p(h) G_C C_C d \left[\pm \frac{L_1}{2} \cos^2 \left(\phi + \frac{\theta_1}{2} \right) \sin \left(\frac{\theta_1}{2} \right) - \frac{L_2}{2} \cos^2 \left(\phi - \frac{\theta_2}{2} \right) \sin \left(\frac{\theta_2}{2} \right) \right]$$

$$Q_{w_{c_u}} = 214,4 \times 0,67 \times 1 \times 0,0351 \times [100 \times \cos^2(30 + 0) \times \sin 0 - 150 \times \cos^2(30-0) \times \sin 0]$$

$$Q_{w_{c_u}} = 0$$

Enerji nakil hattı taşıyıcı direklerinin genellikle aynı doğrultuda olduğundan hesaplamalar yapılırken buradaki taşıyıcı direklerinde aynı doğrultuda olduğu varsayılmıştır. [16] Çapraz kola 0 derece rüzgar yönü açısı ile gelen rüzgar şiddeti iletkenlere paralel olduğundan herhangi bir yük olmadığı kabul edilmektedir. İletkenlere ait farklı senaryolardaki yükler EK C'de verilmiştir.

İzolatlara gelen rüzgar yükü;

$$Q_{Wins} = q_p (h) G_{ins} C_{ins} A_{ins}$$

$$Q_{Wins} = 214,4 \times 1 \times 1,2 \times 0,1$$

$$Q_{Wins} = 25,72 \text{ N}$$

Burada; izolatörlerin yapısal faktörü için önerilen değer olan 1, sürüklenme katsayısı için önerilen değer olan 1,2 alınmıştır. İzolatörlerin yataydaki yüzey alanı 0,1 m²' dir. Farklı rüzgar hızlarında ve direk boylarındaki izolatörlere etki eden rüzgar yükü Çizelge 3.2' de verilmiştir.

Çizelge 3.2: Arazi sınıfı III olan direk izolatörlerine gelen rüzgar yükleri. (N)

Direk Boyu (m) Hız(m/s)	20	30	40	50	60
12	28.2	26.7	25.7	25.1	24.6
13	33.1	31.3	30.2	29.4	28.8
14	38.4	36.3	35.0	34.1	33.4
15	44.1	41.7	40.2	39.2	38.4
16	50.2	47.4	45.7	44.6	43.7
17	56.6	53.5	51.6	50.3	49.3
18	63.5	60.0	57.9	56.4	55.3
19	70.8	66.9	64.5	62.8	61.6
20	78.4	74.1	71.5	69.6	68.2
21	86.4	81.7	78.8	76.8	75.2
22	94.9	89.6	86.5	84.2	82.6
23	103.7	98.0	94.5	92.1	90.3
24	112.9	106.7	102.9	100.3	98.3
25	122.5	115.8	111.7	108.8	106.6
26	132.5	125.2	120.8	117.7	115.3
27	142.9	135.0	130.2	126.9	124.4
28	153.7	145.2	140.1	136.5	133.8
29	164.8	155.8	150.2	146.4	143.5
30	176.4	166.7	160.8	156.7	153.5

154 kV ağır tip taşıyıcı direklere gelen rüzgar yüklerini hesaplamak için IEC 60826 standardına benzer olarak bu standartta da direk bölmelere ayrılması gerekmektedir. Direğin bölmelere ayrılmasında herhangi bir kural belirtilmemiştir. Farklı olarak, EN 50341-1 standardında direklere gelen yükler iki farklı metotta hesaplanabilmektedir. Burada yapılan hesaplara standartta belirtilen Metot-1 ile yapılmıştır. Bu metotta, direklere ait dikdörtgen kesitlere ve çapraz kollara gelen rüzgar yükü ayrı ayrı

hesaplanıp direğe etki eden toplam rüzgar yükü bu yüklerin toplamı ile bulunmaktadır.
Örnek hesaplama olarak rüzgar hızı 12 m/s, rüzgar yönü 30 derece alınmıştır.

Dikdörtgen kesitlere gelen rüzgar yükü bölüm-1 için;

$$Q_{wt} = q_p (h) G_t (1 + 0,2 \sin^2 \phi) (C_{t1} A_{t1} \cos^2 \phi + C_{t2} A_{t2} \sin^2 \phi)$$

$$Q_{wt} = 214,4 \times 1 \times (1 + 0,2 \times \sin^2 60) \times (1,82 \times 2,55 \times \cos^2 30 + 1,82 \times 2,55 \times \sin^2 30)$$

$$Q_{wt} = 995,8 \text{ N}$$

Bölüm-2 için;

$$Q_{wt} = 214,4 \times 1 \times (1 + 0,2 \times \sin^2 60) \times (1,82 \times 4,74 \times \cos^2 30 + 1,82 \times 4,74 \times \sin^2 30)$$

$$Q_{wt} = 1851,1 \text{ N}$$

Bölüm-3 için;

$$Q_{wt} = 214,4 \times 1 \times (1 + 0,2 \times \sin^2 60) \times (1,82 \times 6,2 \times \cos^2 30 + 1,82 \times 6,2 \times \sin^2 30)$$

$$Q_{wt} = 2421,2 \text{ N}$$

Bölüm-4 için;

$$Q_{wt} = 214,4 \times 1 \times (1 + 0,2 \times \sin^2 60) \times (1,82 \times 84 \times \cos^2 30 + 1,82 \times 84 \times \sin^2 30)$$

$$Q_{wt} = 32804 \text{ N}$$

Buradan dikdörtgen kesitlere gelen toplam rüzgar yükü 38072 N' dur.

Çapraz kollara gelen rüzgar yükü bölüm-1 için;

$$Q_{wtc} = q_p (h) G_{tc} A_{tc} C_{tc} (\sin \phi + 0,4 \cos \phi)$$

$$Q_{wtc} = 214,4 \times 1 \times 3,7 \times 1,98 \times (\sin 30 + 0,4 \times \cos 30)$$

$$Q_{wtc} = 1329,4 \text{ N}$$

Bölüm-2 için;

$$Q_{wtc} = 214,4 \times 1 \times 6 \times 1,98 \times (\sin 30 + 0,4 \times \cos 30)$$

$$Q_{wtc} = 2155,7 \text{ N}$$

Bölüm-3 için;

$$Q_{wtc} = 214,4 \times 1 \times 6,4 \times 1,98 \times (\sin 30 + 0,4 \times \cos 30)$$

$$Q_{wtc} = 2299,4 \text{ N}$$

Bölüm 4 için çapraz kollar olmadığından hesaplama yapılmamaktadır. Buradan direğin çapraz kollarına gelen toplam rüzgar yükü 3508,1 N' dur.

Farklı yükseklikteki direklerde, farklı rüzgar hızı ve rüzgar yönünde gelen yükler için yapılan hesaplamalar EK C'de ki tabloda verilmiştir.

EN 50341-1 Standardı rüzgar yükü hesaplarına göre hesaplanan 1272 MCM 154 kV' luk ağır tip taşıyıcı direklerdeki rüzgar yüklerine bakıldığında, IEC 60826 standardındaki gibi direk yüksekliği ve rüzgar hızı arttıkça rüzgar yüklerinin arttığı tespit edilmektedir. İletkenlerde rüzgar açıklığı arttıkça rüzgar yükleri artmakta olup maksimum rüzgar yükü iletkene dik açı ile gelen rüzgarların oluşturduğu yükler olduğu belirlenmiştir. IEC Standardının aksine, bu direklere etki eden toplam rüzgar yükünün en fazla olduğu durum ise direğe 45 derece yönde gelen rüzgarların oluşturduğu yüklerdir. 0 dereceden 45 dereceye kadar olan rüzgar yönlerinde rüzgar yüklerinde artış olup, 45 derece rüzgar yönünden sonra rüzgar yüklerinde azalma olduğu tespit edilmiştir. Buna ek olarak, 45 derece üzeri rüzgar yönlerindeki rüzgar yükleri 45 dereceye kadar olan rüzgar yönlerindeki rüzgar yüklerinden fazla olduğu tespit edilmiştir.

3.3. EKAT Yönetmeliğine Göre Hesaplamalar

EKAT yönetmeliğine göre rüzgar yükü hesaplamaları, IEC ve EN standartlarındaki hesaplara göre daha yüzeysel ve belirli kabul durumlarına göre yapılan hesaplama yöntemidir. Farklı direk boy aralıklarına göre iletkenler ve direkler için dinamik rüzgar basıncı belirlenmiştir. Ayrıca, kesit alanına göre herhangi bir hat elemanı için dinamik rüzgar basıncı katsayısı belirlenmiştir. Bu sebeple, hesaplamalar farklı direk boy uzunlukları ve rüzgar açıklıklarına göre yapılmıştır. Örnek hesaplama yöntemi olarak rüzgar açıklığı 300 metre olan bir 154 kV gerilimindeki 1272 MCM iletkenli 40 metre yüksekliğindeki kafes tipi direk seçilmiştir.

İletkenlere gelen rüzgar yükü;

$$W_i = c_d \times Q \times d \times (80 + 0,6a_w)$$

$$W_i = 1 \times 53 \times 0,351 \times (80 + 0,6 \times 300)$$

$$W_i = 4836,8 \text{ kg}$$

Kuvvet cinsinden karşılığını bulmak için yer çekimi ivmesi olan 9,81 ile çarpıldığında;

$$W_i = 4836,8 \times 9,81 = 47448,8 \text{ N 'dur}$$

Direğe gelen rüzgar yükü ise;

$$F_d = Q \cdot c \cdot S_d$$

$$F_d = 70 \times 2,8 \times 120$$

$$F_d = 23520 \text{ kg}$$

Kuvvet cinsinden karşılığını bulmak için yer çekimi ivmesi olan 9,81 ile çarpıldığında;

$$F_d = 23520 \times 9,81 = 230731,2 \text{ N' dur}$$

Bu hesaplama yöntemlerine göre farklı rüzgar açıklıklarında ve farklı direk boylarındaki rüzgar yükü tablosu Çizelge 3.3' de verilmiştir.

Çizelge 3.3: EKAT yönetmeliğine göre farklı rüzgar açıklıklarında ve farklı direk boylarındaki rüzgar yükleri. (kN)

Direk Boyu (m) / Rüzgar Açıklığı (m)				
	30	40	50	60
200	374.7	562.8	644.4	726.0
300	484.2	703.3	784.9	866.4
400	593.7	843.8	925.3	1006.9
500	703.2	984.3	1065.8	1147.4

IEC 60826 ve EN50341-1 standartları ile karşılaştırıldığında 40 m/s ve üzeri değerlere karşılık gelen rüzgar yükü değerleri tespit edilmiştir. Bu sebeple, EKAT yönetmeliğine göre direk seçimi ve tasarımı en zorlu hava şartlarında ve yüksek rüzgarlar değerlerine göre tasarlandığı belirlenmiştir.



4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, 2016 yılı Aralık ayında Marmara Bölgesindeki enerji iletim hatlarında meydana gelen tahribat ve yıkımlardaki rüzgar ve buz yükü etkileri incelenmiştir. Arıza meydana gelen enerji iletim hattının büyük bir çoğunluğunu 154 kV ağır tip taşıyıcı direkler oluşturduğu için hesaplamalar bu tip direkler için yapılmıştır. Rüzgar yükü hesaplamaları yapılırken uluslararası standartlar olan IEC 60826 ve EN 50341-1 'de ki hesaplama metodolojilerinden faydalanılmıştır. Buna ek olarak, Türkiye' de enerji iletim hatlarının tasarımında dikkate alınan Elektrik Kuvvetli Akım Tesisler Yönetmeliği' ndeki hesaplama yöntemleri ile de rüzgar yükü hesaplanmıştır. Tüm hesaplamalar yapılırken bölgedeki İSKİ projesi kapsamında kurulan meteorolojik ölçüm direği verilerinden yararlanılmıştır. Bu meteorolojik ölçüm direğindeki cihazların rüzgar hız ve yön verilerini yanlış ölçme olasılığına karşı farklı rüzgar hız ve yönlerinde farklı boylarda ve rüzgar açıklıklarındaki direklerde oluşabilecek tüm rüzgar yükleri de ayrı ayrı hesaplanmıştır. Ayrıca, NEWA projesi kapsamında elde edilen bölgeye ait 4 farklı noktadaki sonuçlar kullanılarak bölgedeki rüzgar hızları belirlenmeye çalışılmıştır.

Bu bölümde 3 farklı rüzgar yükü hesaplama metodolojileri ve sonuçları karşılaştırılacak, Marmara Bölgesindeki 154 kV ağır tip taşıyıcı direklere etki eden maksimum rüzgar ve buz yükü belirlenecektir.

IEC 60826 Standardına göre hesaplamalarda kullanılacak olan rüzgar hızı arazinin engebelilik ve pürüzlülük karakteristiklerine göre belirlenmektedir. Yüksekliğe göre olan hava değişimi de düzeltme katsayısı ile çarpılarak bölgenin hava yoğunluğu bulunmaktadır. Toplam etki eden rüzgar kuvvetini bulmak için iletkenlere, izolatlara ve direğe etki eden tüm rüzgar kuvvetlerinin toplamı alınmaktadır. İletkenlerde rüzgar yükü hesabı yapılırken referans rüzgar hızına ait dinamik referans rüzgar basıncı hesaplanarak rüzgar yükü bulunmaktadır. İletken çapına ve rüzgar açıklığına göre iletkenlere etki eden rüzgar yükü değişmektedir. İzolatörlerde de rüzgar yükü hesaplanırken referans rüzgar hızına göre yük hesaplanmaktadır. İzolatörün alanına

göre etki eden rüzgar yükü değişmektedir. İletim hattı direklerinde ise direğe etki eden yük hesaplanırken direk bölmelere ayrılır ve her bölmeyle gelen rüzgar yükü ayrı ayrı hesaplanıp toplanmaktadır. Buz yükleri ise buz yüklü iletkenin buzlu yarıçapı dikkate alınarak iletkenlere gelen rüzgar ve buz yükü hesaplanıp toplanmıştır.

EN 50341-1 standardına göre olan hesaplamalarda ise IEC 60826 standardının aksine dinamik rüzgar basıncı hesaplanırken referans rüzgar hızına göre değil de pik rüzgar şiddetine göre dinamik rüzgar basıncı hesaplanıp izolatör, iletken ve direğe gelen rüzgar yükleri hesaplanmaktadır. İletkenlerdeki yük, IEC standardının aksine çapraz kol yönünde ve çapraz kola dik gelen rüzgar yükleri olarak iki ayrı formülasyonda belirlenmektedir. İzolatörlerdeki yüklerde ise tek fark dinamik rüzgar basıncının pik rüzgar değerine göre hesaplanmasıdır. İzolatör alanına göre gelen rüzgarın yükü de değişmektedir. İletim hattı direğinin kendisine gelen rüzgar yüklerinde ise birbirinden farklı iki yöntem mevcut olup IEC standardı ile ortak noktası direklerin bölmelere ayrılarak gelen rüzgarın yükünün hesaplanmasıdır. Buz yükleri ise buz yüklü iletkenin buzlu yarıçapı dikkate alınarak iletkenlere gelen rüzgar ve buz yükü hesaplanıp toplanmıştır

Uluslararası bu iki standardın karşılaştırılmasına bakıldığında en önemli fark dinamik rüzgar basıncının hesabında kullanılan rüzgar hızı değeridir. IEC standardında referans rüzgar hızı kullanılırken, EN standardında pik rüzgar hızı kullanılmaktadır.

EKAT yönetmeliğine bakıldığında hesaplamalar sadece faz ve toprak iletkenleri ile direğin kendisine etki eden rüzgar yükü hesaplamaları ile sınırlıdır. İletkenlere etki eden rüzgar hızı rüzgar açıklığı ile değişirken, farklı direk boyları için iletkenlere etki eden dinamik rüzgar basıncı belirlenmiştir. İletkenin cinsi ve çapına göre değişiklik gösteren dinamik rüzgar basıncı katsayısı ile de dinamik rüzgar basıncı değerinde düzeltme yapılmıştır. Bunun yanında, yönetmelikte direklerle etki eden rüzgar yükünde direğe gelen rüzgar yükü en çok rüzgar yönü ile direk arasındaki açı 45 derece olduğunda meydana geldiği belirlenmiş olup farklı direk boyları içinde dinamik rüzgar basıncı kabulü yapılmıştır. Yine kabulü yapılan dinamik rüzgar basıncı katsayısı ile de düzeltme yapılmıştır.

Marmara Bölgesindeki yıkım ve tahribatın olduğu enerji iletim hattındaki rüzgar yükleri IEC 60826, EN 50341-1 ve EKAT yönetmeliğine göre hesaplanan sonuçlara bakıldığında 60 metrelik bir direkte 500 metre rüzgar açıklığında en yüksek rüzgar

yükü sırasıyla 585,6 kN, 551,4 kN ve 1147,4 kN olarak hesaplanmıştır. Rüzgar ve buz yüklerine bakıldığında ise kombine yükün 1800 kN ' a kadar çıktığı görülmektedir. Sonuçlara bakıldığında, EKAT yönetmeliğine göre direk 1147,4 kN rüzgar yükünü karşılayabilecek şekilde tasarlanmıştır. IEC ve EN standardının sonuçlarına bakıldığında bu bölgedeki iletim hattı direklerine gelen toplam rüzgar yükü değerleri birbirine çok yakın değerler olup direkler 1000 kN üzeri yükleri karşılayabileceğinden bu enerji iletim hattında sadece rüzgar yükünden dolayı bir tahribat veya yıkım olduğunu söyleyemeyiz. Ancak, rüzgar ve buz yüküne kombine olarak baktığımızda 1800 kN yükün direklerin yıkımlarına ve iletkenlerin kopmasına sebebiyet verdiğini rahatlıkla söyleyebiliriz.

Buradan çıkarılabilecek bir diğer sonuç ise, ülkemizde kullanılan EKAT yönetmeliğine göre yapılan hesaplamalardaki değerler 40 m/s rüzgarda meydana gelen rüzgar yüklerini karşılayabilecek şekilde olup iletim hattı direkleri yüksek rüzgarlarda işlevini bozmadan ihtiyaçları karşılayacak şekilde tasarlandığı belirlenmiştir. Ancak, rüzgar ve buz yükü kombine olarak etki ettiğinde yükler tasarım yüklerinin üzerinde kalmıştır. Özetle, EKAT' da 154 kV direklerde dikkate alınmayan buz yükleri dikkate alınması gerekmektedir. Özellikle rüzgar ve buz yükü kombine yükleri pik rüzgarlarda çok yüksek yükler yüklediğinden direklerin yıkılmadan işlevini görebilmesi için buz yükleri kesinlikle 154 kV direklerde dikkate alınmalıdır.



EKLER

EK A: NEWA Projesi Sonuçlar

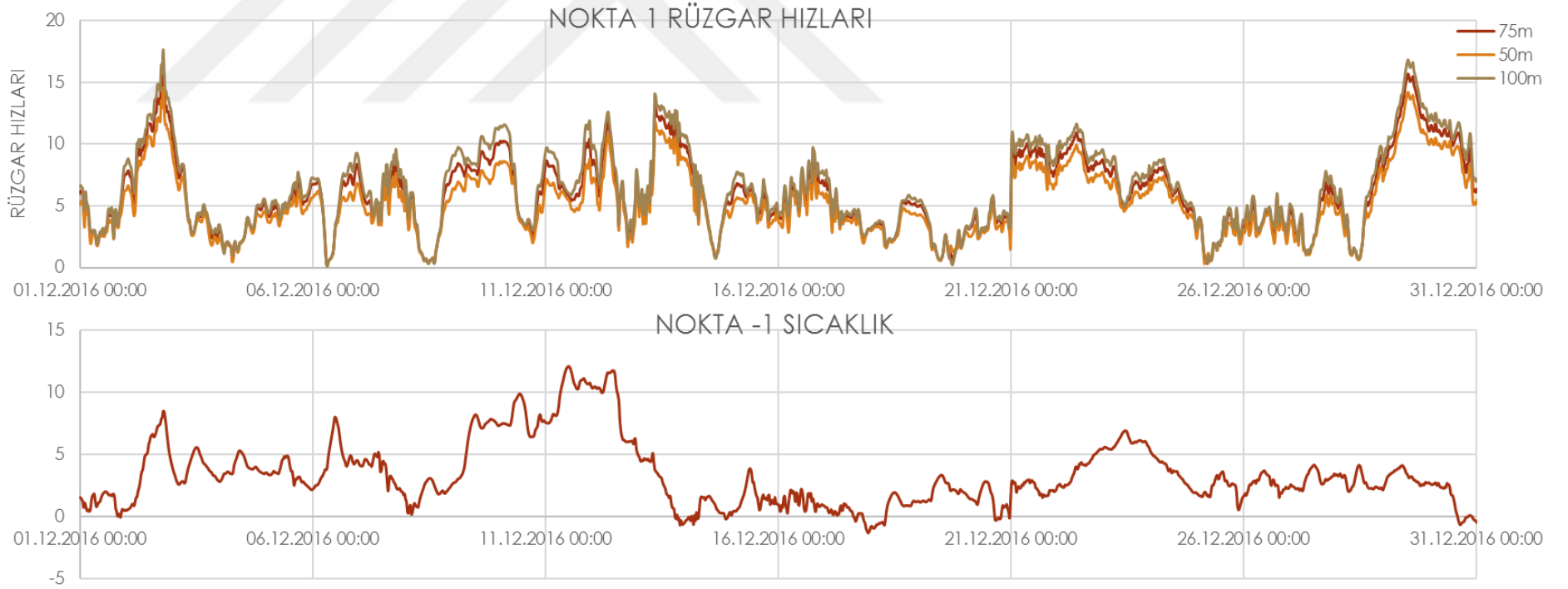
EK B: Arazi Kategorilerine Göre Gc Değerleri

EK C: IEC 60826' e Göre Etki Eden Rüzgar Yükleri

EK D : EN 50341-1' e Göre Etki Eden Rüzgar Yükleri

EK E : IEC 60826 ve EN50341-1 ' e Göre Etki Eden Rüzgar ve Buz Yükleri

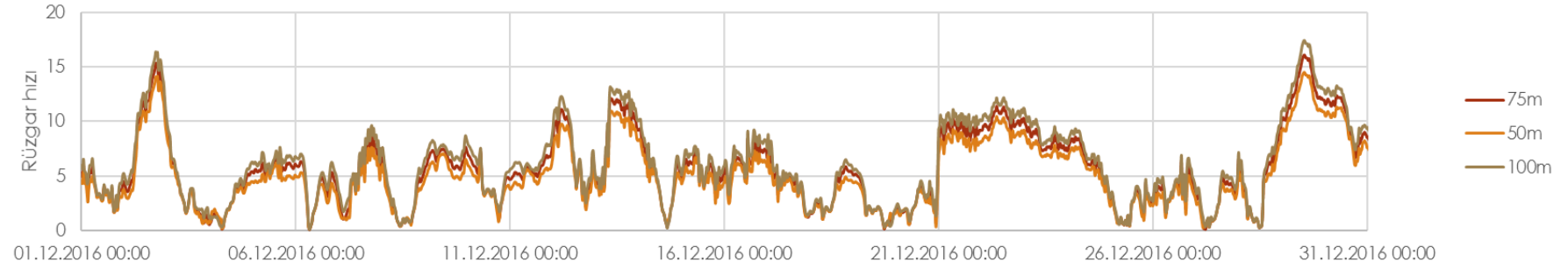
EK A: NEWA Projesi Sonuçlar



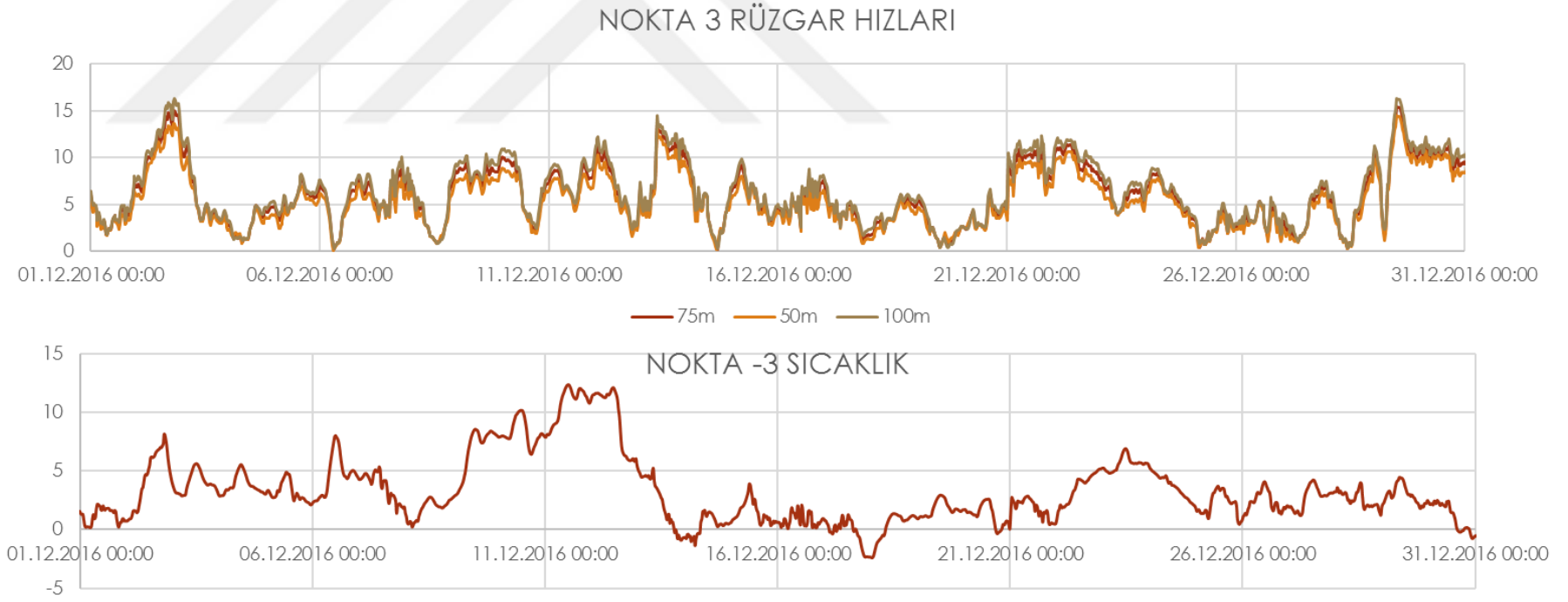
Şekil A. 1: NEWA Projesi Nokta-1 Sonuçları



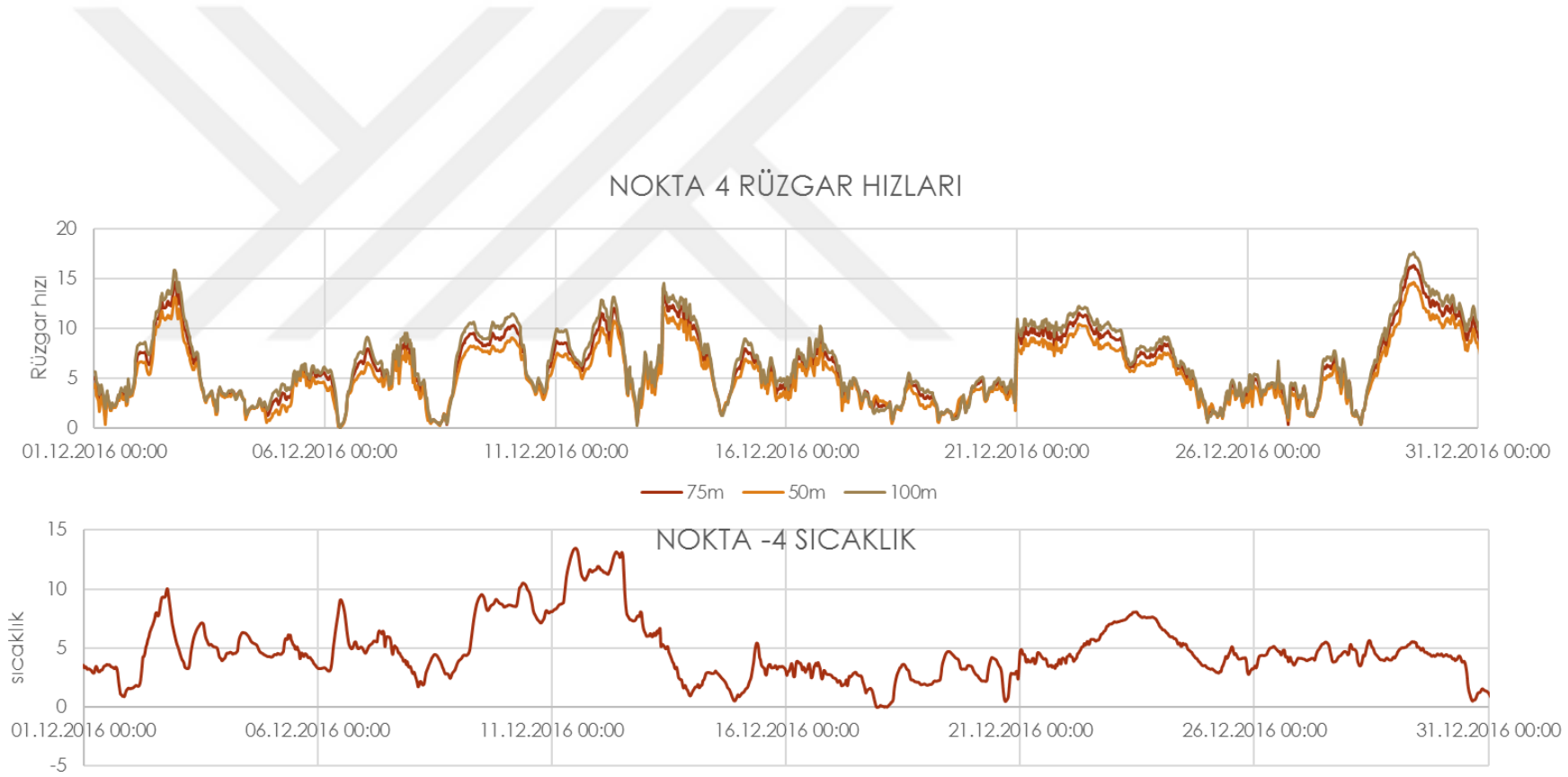
NOKTA 2 RÜZGAR HIZLARI



Şekil A. 2: NEWA Projesi Nokta-2 Sonuçları



Şekil A. 3: NEWA Projesi Nokta-3 Sonuçları



Şekil A. 4: NEWA Projesi Nokta-4 Sonuçları

EK B: Arazi Kategorisi 0 İçin Gc Değerleri

Çizelge B.1: Arazi kategorisi 0 için Gc değerleri.

		İletkenlerin Referans Yksekligi [m]										
z_0 [m]	L_m [m]	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60 ve üzeri
0,003	100	0,78	0,80	0,81	0,82	0,83	0,83	0,84	0,84	0,85	0,85	0,85
	200	0,73	0,75	0,76	0,77	0,78	0,79	0,79	0,80	0,80	0,80	0,81
	300	0,70	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	0,76	0,77	0,77	0,78	0,78
	400	0,68	0,70	0,71	0,72	0,73	0,74	0,74	0,75	0,75	0,76	0,76
	500	0,67	0,69	0,70	0,71	0,72	0,72	0,73	0,73	0,74	0,74	0,75
	600	0,66	0,68	0,69	0,70	0,71	0,71	0,72	0,72	0,73	0,73	0,73
	700	0,65	0,67	0,68	0,69	0,70	0,70	0,71	0,71	0,72	0,72	0,72
	800	0,64	0,66	0,67	0,68	0,69	0,70	0,70	0,71	0,71	0,71	0,72

Çizelge B.2: Arazi kategorisi 1 için Gc değerleri.

		İletkenlerin Referans Yksekligi [m]										
z_0 [m]	L_m [m]	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60 ve üzeri
0,01	100	0,75	0,77	0,79	0,80	0,81	0,81	0,82	0,82	0,83	0,83	0,84
	200	0,69	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	0,77	0,77	0,78	0,78	0,79
	300	0,66	0,69	0,70	0,71	0,72	0,73	0,74	0,74	0,75	0,75	0,76
	400	0,64	0,67	0,68	0,69	0,70	0,71	0,72	0,72	0,73	0,73	0,74
	500	0,63	0,65	0,67	0,68	0,69	0,69	0,70	0,71	0,71	0,72	0,72
	600	0,62	0,64	0,66	0,67	0,68	0,68	0,69	0,70	0,70	0,70	0,71
	700	0,61	0,63	0,65	0,66	0,67	0,67	0,68	0,69	0,69	0,70	0,70
	800	0,60	0,63	0,64	0,65	0,66	0,67	0,67	0,68	0,68	0,69	0,69

Çizelge B.3: Arazi kategorisi 2 için Gc değerleri.

		İletkenlerin Referans Yüksekliği [m]										
z_0 [m]	L_m [m]	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60 ve üzeri
0,05	100	0,70	0,73	0,74	0,76	0,77	0,78	0,79	0,79	0,80	0,80	0,81
	200	0,63	0,66	0,68	0,70	0,71	0,72	0,73	0,74	0,74	0,75	0,75
	300	0,60	0,63	0,65	0,67	0,68	0,69	0,70	0,70	0,71	0,72	0,72
	400	0,58	0,61	0,63	0,64	0,66	0,66	0,67	0,68	0,69	0,69	0,70
	500	0,57	0,59	0,61	0,63	0,64	0,65	0,66	0,66	0,67	0,68	0,68
	600	0,56	0,58	0,60	0,61	0,63	0,64	0,64	0,65	0,66	0,66	0,67
	700	0,55	0,57	0,59	0,61	0,62	0,63	0,63	0,64	0,65	0,65	0,66
	800	0,54	0,57	0,58	0,60	0,61	0,62	0,63	0,63	0,64	0,64	0,65

Çizelge B.4: Arazi kategorisi 3 için Gc değerleri.

		İletkenlerin Referans Yüksekliği [m]										
z_0 [m]	L_m [m]	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60 ve üzeri
0,3	100	0,62	0,66	0,68	0,70	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	0,77	0,77
	200	0,55	0,59	0,61	0,63	0,65	0,66	0,67	0,68	0,69	0,70	0,71
	300	0,51	0,55	0,58	0,60	0,61	0,63	0,64	0,65	0,66	0,66	0,67
	400	0,49	0,53	0,55	0,57	0,59	0,60	0,61	0,62	0,63	0,64	0,65
	500	0,47	0,51	0,54	0,55	0,57	0,58	0,59	0,60	0,61	0,62	0,63
	600	0,46	0,50	0,52	0,54	0,56	0,57	0,58	0,59	0,60	0,61	0,61
	700	0,45	0,49	0,51	0,53	0,55	0,56	0,57	0,58	0,59	0,59	0,60
	800	0,45	0,48	0,50	0,52	0,54	0,55	0,56	0,57	0,58	0,58	0,59

Çizelge B.5: Arazi kategorisi 4 için Gc değerleri.

		İletkenlerin Referans Yüksekliği [m]										
z_0 [m]	L_m [m]	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60 ve üzeri
1,0	100	0,54	0,59	0,63	0,65	0,67	0,69	0,70	0,71	0,72	0,73	0,74
	200	0,47	0,52	0,55	0,58	0,60	0,61	0,63	0,64	0,65	0,66	0,67
	300	0,43	0,48	0,51	0,54	0,56	0,57	0,59	0,60	0,61	0,62	0,63
	400	0,41	0,45	0,49	0,51	0,53	0,55	0,56	0,57	0,58	0,59	0,60
	500	0,39	0,44	0,47	0,49	0,51	0,53	0,54	0,55	0,56	0,57	0,58
	600	0,38	0,42	0,45	0,48	0,50	0,51	0,52	0,54	0,55	0,56	0,56
	700	0,37	0,41	0,44	0,47	0,48	0,50	0,51	0,52	0,53	0,54	0,55
	800	0,36	0,41	0,43	0,46	0,47	0,49	0,50	0,51	0,52	0,53	0,54

EK C : IEC 60826' e Göre Etki Eden Rüzgar Yükleri

Çizelge B.1 : IEC 60826- arazi sınıfı C, rüzgar açıklığı 200 m olan direk iletkenlerine gelen rüzgar yükleri. (N)

Yön ⁰ Direk Boyu (m)	15			30			45			60			75			90		
	Hız (m/s)	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40
12	107.8	114.06	118.21	402.46	425.68	441.15	804.91	851.35	882.31	1207.4	1277	1323.5	1502	1588.6	1646.4	1609.8	1702.7	1764.62
13	126.5	133.86	138.73	472.33	499.58	517.74	944.66	999.15	1035.5	1417	1498.7	1553.2	1762.8	1864.4	1932.2	1889.3	1998.3	2070.97
14	146.7	155.25	160.89	547.79	579.39	600.46	1095.6	1158.8	1200.9	1643.4	1738.2	1801.4	2044.4	2162.3	2240.9	2191.2	2317.6	2401.84
15	168.5	178.22	184.7	628.84	665.12	689.3	1257.7	1330.2	1378.6	1886.5	1995.4	2067.9	2346.9	2482.3	2572.5	2515.4	2660.5	2757.21
16	191.7	202.77	210.15	715.48	756.76	784.27	1431	1513.5	1568.5	2146.4	2270.3	2352.8	2670.2	2824.3	2927	2861.9	3027	3137.1
17	216.4	228.91	237.23	807.71	854.31	885.37	1615.4	1708.6	1770.7	2423.1	2562.9	2656.1	3014.4	3188.3	3304.3	3230.8	3417.2	3541.49
18	242.6	256.63	265.97	905.53	957.77	992.6	1811.1	1915.5	1985.2	2716.6	2873.3	2977.8	3379.5	3574.4	3704.4	3622.1	3831.1	3970.39
19	270.3	285.94	296.34	1008.9	1067.1	1105.9	2017.9	2134.3	2211.9	3026.8	3201.4	3317.8	3765.4	3982.6	4127.5	4035.7	4268.6	4423.8
20	299.5	316.83	328.35	1117.9	1182.4	1225.4	2235.9	2364.9	2450.9	3353.8	3547.3	3676.3	4172.2	4412.9	4573.4	4471.7	4729.7	4901.72
21	330.2	349.31	362.01	1232.5	1303.6	1351	2465	2607.3	2702.1	3697.6	3910.9	4053.1	4599.8	4865.2	5042.1	4930.1	5214.5	5404.14
22	362.4	383.37	397.31	1352.7	1430.7	1482.8	2705.4	2861.5	2965.5	4058.1	4292.2	4448.3	5048.4	5339.6	5533.8	5410.8	5723	5931.08
23	396.1	419.01	434.25	1478.5	1563.8	1620.6	2956.9	3127.5	3241.3	4435.4	4691.3	4861.9	5517.7	5836.1	6048.3	5913.9	6255.1	6482.52
24	431.3	456.24	472.83	1609.8	1702.7	1764.6	3219.7	3405.4	3529.2	4829.5	5108.1	5293.9	6008	6354.6	6585.6	6439.3	6810.8	7058.47
25	468.0	495.05	513.05	1746.8	1847.5	1914.7	3493.5	3695.1	3829.5	5240.3	5542.6	5744.2	6519	6895.1	7145.9	6987.1	7390.2	7658.93
26	506.2	535.45	554.92	1889.3	1998.3	2071	3778.6	3996.6	4141.9	5667.9	5994.9	6212.9	7051	7457.8	7729	7557.2	7993.2	8283.9
27	545.9	577.43	598.42	2037.4	2155	2233.3	4074.9	4310	4466.7	6112.3	6464.9	6700	7603.8	8042.5	8335	8149.7	8619.9	8933.38
28	587.1	620.99	643.57	2191.2	2317.6	2401.8	4382.3	4635.1	4803.7	6573.5	6952.7	7205.5	8177.5	8649.3	8963.8	8764.6	9270.3	9607.36
29	629.8	666.14	690.36	2350.5	2486.1	2576.5	4700.9	4972.1	5152.9	7051.4	7458.2	7729.4	8772	9278.1	9615.5	9401.8	9944.2	10305.9
30	673.9	712.87	738.79	2515.4	2660.5	2757.2	5030.7	5320.9	5514.4	7546.1	7981.4	8271.6	9387.4	9929	10290	10061	10642	11028.9

Çizelge C.2: IEC 60826- arazi sınıfı C, rüzgar açıklığı 300 m olan direk iletkenlerine gelen rüzgar yükleri. (N)

Yön ⁰ / Direk Boyu (m)	15			30			45			60			75			90		
	Hız (m/s)	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40
12	156.9	165.96	171.99	585.57	619.36	641.88	1171.1	1238.7	1283.8	1756.7	1858.1	1925.6	2185.4	2311.5	2395.5	2342.3	2477.4	2567.52
13	184.14	194.77	201.85	687.24	726.88	753.32	1374.5	1453.8	1506.6	2061.7	2180.7	2260	2564.8	2712.8	2811.4	2748.9	2907.5	3013.27
14	213.56	225.89	234.1	797.03	843.01	873.67	1594.1	1686	1747.3	2391.1	2529	2621	2974.6	3146.2	3260.6	3188.1	3372.1	3494.68
15	245.16	259.31	268.74	914.96	967.75	1002.9	1829.9	1935.5	2005.9	2744.9	2903.2	3008.8	3414.7	3611.7	3743	3659.8	3871	4011.75
16	278.94	295.03	305.76	1041	1101.1	1141.1	2082	2202.2	2282.2	3123.1	3303.2	3423.4	3885.1	4109.3	4258.7	4164.1	4404.3	4564.48
17	314.9	333.07	345.18	1175.2	1243	1288.2	2350.4	2486	2576.4	3525.6	3729	3864.6	4386	4639	4807.7	4700.9	4972.1	5152.87
18	353.03	373.4	386.98	1317.5	1393.6	1444.2	2635.1	2787.1	2888.5	3952.6	4180.7	4332.7	4917.1	5200.8	5389.9	5270.2	5574.2	5776.92
19	393.35	416.04	431.17	1468	1552.7	1609.2	2936	3105.4	3218.3	4404	4658.1	4827.5	5478.7	5794.7	6005.5	5872	6210.8	6436.63
20	435.84	460.99	477.75	1626.6	1720.4	1783	3253.2	3440.9	3566	4879.8	5161.3	5349	6070.5	6420.8	6654.2	6506.4	6881.7	7132
21	480.52	508.24	526.72	1793.3	1896.8	1965.8	3586.6	3793.6	3931.5	5380	5690.3	5897.3	6692.8	7078.9	7336.3	7173.3	7587.1	7863.02
22	527.37	557.8	578.08	1968.2	2081.7	2157.4	3936.4	4163.5	4314.9	5904.5	6245.2	6472.3	7345.3	7769.1	8051.6	7872.7	8326.9	8629.71
23	576.4	609.66	631.83	2151.2	2275.3	2358	4302.3	4550.6	4716	6453.5	6825.8	7074	8028.3	8491.5	8800.2	8604.7	9101.1	9432.06
24	627.62	663.83	687.96	2342.3	2477.4	2567.5	4684.6	4954.9	5135	7026.9	7432.3	7702.6	8741.6	9245.9	9582.1	9369.2	9909.7	10270.1
25	681.01	720.3	746.49	2541.6	2688.2	2785.9	5083.1	5376.4	5571.9	7624.7	8064.6	8357.8	9485.2	10032	10397	10166	10753	11143.7
26	736.58	779.07	807.4	2748.9	2907.5	3013.3	5497.9	5815.1	6026.5	8246.8	8722.6	9039.8	10259	10851	11246	10996	11630	12053.1
27	794.33	840.15	870.71	2964.5	3135.5	3249.5	5928.9	6271	6499	8893.4	9406.5	9748.5	11064	11702	12127	11858	12542	12998.1
28	854.26	903.54	936.4	3188.1	3372.1	3494.7	6376.3	6744.1	6989.4	9564.4	10116	10484	11898	12585	13042	12753	13488	13978.7
29	916.36	969.23	1004.5	3419.9	3617.2	3748.8	6839.8	7234.4	7497.5	10260	10852	11246	12763	13500	13991	13680	14469	14995
30	980.65	1037.2	1074.9	3659.8	3871	4011.7	7319.7	7742	8023.5	10980	11613	12035	13659	14447	14972	14639	15484	16047

Çizelge C.3: IEC 60826- arazi sınıfı C, rüzgar açıklığı 400 m olan direk iletkenlerine gelen rüzgar yükleri. (N)

Yön ⁰ / Direk Boyu (m)	15			30			45			60			75			90		
	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50
12	202.74	214.43	222.23	756.62	800.27	829.37	1513.2	1600.5	1658.7	2269.9	2400.8	2488.1	2823.7	2986.6	3095.3	3026.5	3201.1	3317.48
13	237.93	251.66	260.81	887.98	939.21	973.36	1776	1878.4	1946.7	2663.9	2817.6	2920.1	3314	3505.2	3632.6	3551.9	3756.8	3893.43
14	275.95	291.87	302.48	1029.8	1089.3	1128.9	2059.7	2178.5	2257.7	3089.5	3267.8	3386.6	3843.4	4065.2	4213	4119.4	4357	4515.46
15	316.77	335.05	347.23	1182.2	1250.4	1295.9	2364.4	2500.8	2591.8	3546.6	3751.3	3887.7	4412.1	4666.6	4836.3	4728.9	5001.7	5183.56
16	360.42	381.21	395.07	1345.1	1422.7	1474.4	2690.2	2845.4	2948.9	4035.3	4268.1	4423.3	5020	5309.6	5502.7	5380.4	5690.8	5897.74
17	406.88	430.35	446	1518.5	1606.1	1664.5	3037	3212.2	3329	4555.5	4818.3	4993.5	5667.1	5994	6212	6074	6424.4	6658
18	456.15	482.47	500.02	1702.4	1800.6	1866.1	3404.8	3601.2	3732.2	5107.2	5401.8	5598.2	6353.4	6720	6964.3	6809.6	7202.4	7464.33
19	508.25	537.57	557.12	1896.8	2006.2	2079.2	3793.6	4012.5	4158.4	5690.4	6018.7	6237.6	7079	7487.4	7759.6	7587.2	8024.9	8316.74
20	563.15	595.64	617.3	2101.7	2223	2303.8	4203.4	4445.9	4607.6	6305.2	6668.9	6911.4	7843.7	8296.2	8597.9	8406.9	8891.9	9215.22
21	620.88	656.7	680.58	2317.1	2450.8	2539.9	4634.3	4901.7	5079.9	6951.4	7352.5	7619.8	8647.7	9146.6	9479.2	9268.6	9803.3	10159.8
22	681.42	720.73	746.94	2543.1	2689.8	2787.6	5086.2	5379.6	5575.2	7629.2	8069.4	8362.8	9490.9	10038	10403	10172	10759	11150.4
23	744.77	787.74	816.38	2779.5	2939.9	3046.8	5559	5879.8	6093.6	8338.6	8819.6	9140.4	10373	10972	11371	11118	11760	12187.1
24	810.94	857.73	888.92	3026.5	3201.1	3317.5	6052.9	6402.2	6635	9079.4	9603.2	9952.4	11295	11947	12381	12106	12804	13269.9
25	879.93	930.69	964.54	3283.9	3473.4	3599.7	6567.9	6946.8	7199.4	9851.8	10420	10799	12256	12963	13434	13136	13894	14398.8
26	951.73	1006.6	1043.2	3551.9	3756.8	3893.4	7103.8	7513.6	7786.9	10656	11270	11680	13256	14021	14530	14208	15027	15573.7
27	1026.3	1085.6	1125	3830.4	4051.4	4198.7	7660.8	8102.7	8397.4	11491	12154	12596	14295	15120	15670	15322	16205	16794.7
28	1103.8	1167.5	1209.9	4119.4	4357	4515.5	8238.7	8714	9030.9	12358	13071	13546	15374	16261	16852	16477	17428	18061.8
29	1184	1252.3	1297.9	4418.9	4673.8	4843.8	8837.7	9347.6	9687.5	13257	14021	14531	16491	17443	18077	17675	18695	19375
30	1267.1	1340.2	1388.9	4728.9	5001.7	5183.6	9457.7	10003	10367	14187	15005	15551	17648	18667	19345	18915	20007	20734.3

Çizelge C.4: IEC 60826- arazi sınıfı C, rüzgar açıklığı 500 m olan direk iletkenlerine gelen rüzgar yükleri. (N)

Yön ⁰ / Direk Boyu (m)	15			30			45			60			75			90		
	Hız (m/s)	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40
12	245.33	259.48	268.92	915.59	968.41	1003.6	1831.2	1936.8	2007.3	2746.8	2905.2	3010.9	3417	3614.2	3745.6	3662.4	3873.6	4014.5
13	287.92	304.53	315.61	1074.5	1136.5	1177.9	2149.1	2273.1	2355.7	3223.6	3409.6	3533.6	4010.3	4241.6	4395.9	4298.2	4546.2	4711.47
14	333.92	353.19	366.03	1246.2	1318.1	1366	2492.4	2636.2	2732.1	3738.7	3954.3	4098.1	4650.9	4919.3	5098.2	4984.9	5272.5	5464.19
15	383.33	405.45	420.19	1430.6	1513.1	1568.2	2861.2	3026.3	3136.3	4291.8	4539.4	4704.5	5339.1	5647.1	5852.5	5722.4	6052.6	6272.66
16	436.14	461.31	478.08	1627.7	1721.6	1784.2	3255.4	3443.2	3568.4	4883.1	5164.9	5352.7	6074.7	6425.2	6658.8	6510.9	6886.5	7136.9
17	492.37	520.77	539.71	1837.5	1943.5	2014.2	3675.1	3887.1	4028.4	5512.6	5830.6	6042.7	6857.8	7253.4	7517.2	7350.1	7774.2	8056.89
18	552	583.84	605.07	2060.1	2178.9	2258.2	4120.1	4357.9	4516.3	6180.2	6536.8	6774.5	7688.3	8131.9	8427.6	8240.3	8715.7	9032.64
19	615.03	650.51	674.17	2295.3	2427.8	2516	4590.7	4855.5	5032.1	6886	7283.3	7548.1	8566.3	9060.5	9390	9181.3	9711	10064.1
20	681.48	720.79	747	2543.3	2690	2787.9	5086.6	5380.1	5575.7	7629.9	8070.1	8363.6	9491.7	10039	10404	10173	10760	11151.4
21	751.33	794.67	823.57	2804	2965.8	3073.6	5608	5931.5	6147.2	8412	8897.3	9220.8	10465	11068	11471	11216	11863	12294.4
22	824.59	872.16	903.87	3077.4	3254.9	3373.3	6154.8	6509.9	6746.6	9232.2	9764.8	10120	11485	12148	12589	12310	13020	13493.2
23	901.25	953.25	987.91	3363.5	3557.6	3686.9	6727	7115.1	7373.9	10091	10673	11061	12553	13277	13760	13454	14230	14747.7
24	981.33	1037.9	1075.7	3662.4	3873.6	4014.5	7324.7	7747.3	8029	10987	11621	12044	13668	14457	14982	14649	15495	16058
25	1064.8	1126.2	1167.2	3973.9	4203.2	4356	7947.8	8406.3	8712	11922	12610	13068	14831	15686	16257	15896	16813	17424.1
26	1151.7	1218.1	1262.4	4298.2	4546.2	4711.5	8596.4	9092.3	9422.9	12895	13638	14134	16041	16966	17583	17193	18185	18845.9
27	1242	1313.6	1361.4	4635.2	4902.6	5080.9	9270.3	9805.2	10162	13906	14708	15243	17299	18297	18962	18541	19610	20323.4
28	1335.7	1412.8	1464.1	4984.9	5272.5	5464.2	9969.7	10545	10928	14955	15817	16393	18604	19677	20393	19939	21090	21856.7
29	1432.8	1515.5	1570.6	5347.3	5655.8	5861.5	10695	11312	11723	16042	16967	17584	19956	21108	21875	21389	22623	23445.8
30	1533.3	1621.8	1680.8	5722.4	6052.6	6272.7	11445	12105	12545	17167	18158	18818	21356	22588	23410	22890	24210	25090.7

Çizelge C.5: IEC 60826- arazi sınıfı C, 154 kV ağır tip taşıyıcı direğe etki eden rüzgar yükleri (kN)

Yön °/ Direk Boyu (m)	15			30			45			60			75			90		
	Hız (m/s)	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40
12	29.8	44.7	59.7	34.8	51.5	68.2	39.5	57.4	75.3	40.8	58.5	76.1	39.3	55.7	72.1	38.1	53.9	69.6
13	34.9	52.5	70.1	40.9	60.5	80.1	46.3	67.4	88.4	47.9	68.6	89.3	46.1	65.4	84.6	44.8	63.2	81.7
14	40.5	60.9	81.2	47.4	70.1	92.9	53.7	78.1	102.5	55.6	79.6	103.6	53.5	75.8	98.1	51.9	73.3	94.7
15	46.5	69.9	93.3	54.4	80.5	106.6	61.7	89.7	117.7	63.8	91.4	118.9	61.4	87.0	112.7	59.6	84.2	108.7
16	52.9	79.5	106.1	61.9	91.6	121.3	70.2	102.0	133.9	72.6	103.9	135.3	69.9	99.0	128.2	67.8	95.8	123.7
17	59.7	89.8	119.8	69.9	103.4	137.0	79.2	115.2	151.1	82.0	117.3	152.7	78.9	111.8	144.7	76.6	108.1	139.6
18	67.0	100.6	134.3	78.3	115.9	153.6	88.8	129.1	169.4	91.9	131.6	171.2	88.5	125.3	162.2	85.8	121.2	156.6
19	74.6	112.1	149.6	87.3	129.2	171.1	99.0	143.9	188.8	102.4	146.6	190.8	98.6	139.7	180.7	95.6	135.0	174.4
20	82.7	124.2	165.8	96.7	143.1	189.6	109.6	159.4	209.2	113.5	162.4	211.4	109.2	154.7	200.3	106.0	149.6	193.3
21	91.2	137.0	182.8	106.6	157.8	209.0	120.9	175.8	230.6	125.1	179.1	233.0	120.4	170.6	220.8	116.8	165.0	213.1
22	100.0	150.3	200.6	117.0	173.2	229.4	132.7	192.9	253.1	137.3	196.5	255.8	132.1	187.2	242.3	128.2	181.0	233.9
23	109.3	164.3	219.3	127.9	189.3	250.7	145.0	210.8	276.7	150.1	214.8	279.5	144.4	204.6	264.9	140.1	197.9	255.6
24	119.1	178.9	238.8	139.2	206.1	273.0	157.9	229.6	301.2	163.4	233.9	304.4	157.3	222.8	288.4	152.6	215.5	278.3
25	129.2	194.1	259.1	151.1	223.6	296.2	171.3	249.1	326.9	177.3	253.8	330.3	170.6	241.8	312.9	165.6	233.8	302.0
26	139.7	210.0	280.2	163.4	241.9	320.4	185.3	269.4	353.5	191.8	274.5	357.2	184.6	261.5	338.5	179.1	252.9	326.6
27	150.7	226.4	302.2	176.2	260.9	345.5	199.8	290.5	381.3	206.8	296.0	385.2	199.0	282.0	365.0	193.1	272.7	352.2
28	162.1	243.5	325.0	189.5	280.5	371.6	214.9	312.5	410.0	222.4	318.3	414.3	214.0	303.3	392.5	207.7	293.3	378.8
29	173.8	261.2	348.6	203.3	300.9	398.6	230.5	335.2	439.8	238.6	341.5	444.4	229.6	325.3	421.1	222.8	314.6	406.4
30	186.0	279.5	373.1	217.6	322.1	426.5	246.7	358.7	470.7	255.3	365.4	475.6	245.7	348.2	450.6	238.4	336.6	434.9

Çizelge C.6: Arazi sınıfı C, IEC 60826- rüzgar açıklığı 200 m olan 154 kv ağır tip taşıyıcı direğe etki eden toplam rüzgar yükleri (kN)

Yön ⁰ / Direk Boyu (m)	15			30			45			60			75			90		
	Hız (m/s)	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40
12	30.4	45.4	60.4	37.3	54.1	70.9	44.3	62.5	80.6	48.1	66.2	84.1	48.4	65.3	82.0	47.8	64.1	80.2
13	35.7	53.3	70.9	43.7	63.5	83.2	52.0	73.4	94.6	56.5	77.7	98.7	56.7	76.6	96.2	56.1	75.2	94.1
14	41.4	61.9	82.3	50.7	73.7	96.5	60.3	85.1	109.8	65.5	90.1	114.4	65.8	88.8	111.6	65.1	87.3	109.2
15	47.6	71.0	94.4	58.2	84.6	110.8	69.3	97.7	126.0	75.2	103.4	131.4	75.6	102.0	128.1	74.7	100.2	125.3
16	54.1	80.8	107.4	66.2	96.2	126.1	78.8	111.2	143.3	85.5	117.6	149.5	86.0	116.0	145.8	85.0	114.0	142.6
17	61.1	91.2	121.3	74.8	108.6	142.3	89.0	125.5	161.8	96.6	132.8	168.7	97.0	131.0	164.6	96.0	128.7	161.0
18	68.5	102.2	136.0	83.8	121.8	159.6	99.7	140.7	181.4	108.3	148.9	189.1	108.8	146.9	184.5	107.6	144.2	180.4
19	76.3	113.9	151.5	93.4	135.7	177.8	111.1	156.8	202.1	120.6	165.9	210.7	121.2	163.6	205.6	119.9	160.7	201.1
20	84.6	126.2	167.9	103.5	150.3	197.0	123.1	173.7	224.0	133.7	183.8	233.5	134.3	181.3	227.8	132.9	178.1	222.8
21	93.2	139.2	185.1	114.1	165.7	217.2	135.8	191.5	246.9	147.4	202.6	257.5	148.1	199.9	251.2	146.5	196.3	245.6
22	102.3	152.7	203.1	125.2	181.9	238.4	149.0	210.2	271.0	161.7	222.4	282.6	162.5	219.4	275.6	160.8	215.5	269.6
23	111.8	166.9	222.0	136.9	198.8	260.6	162.9	229.7	296.2	176.8	243.1	308.8	177.6	239.8	301.3	175.7	235.5	294.6
24	121.8	181.8	241.7	149.0	216.5	283.7	177.3	250.1	322.5	192.5	264.7	336.3	193.4	261.1	328.0	191.3	256.4	320.8
25	132.1	197.2	262.3	161.7	234.9	307.8	192.4	271.4	350.0	208.9	287.2	364.9	209.9	283.3	355.9	207.6	278.3	348.1
26	142.9	213.3	283.7	174.9	254.0	333.0	208.1	293.5	378.5	225.9	310.6	394.6	227.0	306.4	385.0	224.5	301.0	376.5
27	154.1	230.1	305.9	188.6	273.9	359.1	224.4	316.6	408.2	243.6	335.0	425.6	244.8	330.4	415.2	242.2	324.6	406.0
28	165.7	247.4	329.0	202.8	294.6	386.2	241.4	340.4	439.0	262.0	360.2	457.7	263.3	355.4	446.5	260.4	349.0	436.6
29	177.8	265.4	352.9	217.6	316.0	414.2	258.9	365.2	470.9	281.0	386.4	491.0	282.4	381.2	479.0	279.4	374.4	468.4
30	190.3	284.0	377.7	232.8	338.2	443.3	277.1	390.8	504.0	300.8	413.5	525.4	302.2	407.9	512.6	299.0	400.7	501.2

Çizelge C.7: Arazi sınıfı C, IEC 60826- rüzgar açıklığı 300 m olan 154 kv ağır tip taşıyıcı direğe etki eden toplam rüzgar yükleri (kN)

Yön ⁰ / Direk Boyu (m)	15			30			45			60			75			90		
	Hız (m/s)	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40
12	30.7	45.8	60.8	38.4	55.3	72.1	46.5	64.9	83.0	51.4	69.6	87.7	52.5	69.6	86.5	52.2	68.8	85.0
13	36.1	53.7	71.3	45.0	64.9	84.7	54.6	76.1	97.5	60.3	81.7	102.9	61.6	81.7	101.5	61.3	80.7	99.8
14	41.8	62.3	82.7	52.2	75.2	98.2	63.3	88.3	113.0	70.0	94.8	119.3	71.4	94.7	117.7	71.1	93.6	115.7
15	48.0	71.5	94.9	59.9	86.4	112.7	72.7	101.3	129.8	80.3	108.8	137.0	82.0	108.8	135.2	81.6	107.4	132.8
16	54.6	81.3	108.0	68.2	98.3	128.2	82.7	115.3	147.6	91.4	123.8	155.9	93.3	123.7	153.8	92.8	122.2	151.1
17	61.7	91.8	121.9	77.0	110.9	144.8	93.4	130.2	166.7	103.2	139.8	176.0	105.3	139.7	173.6	104.8	138.0	170.6
18	69.2	102.9	136.7	86.3	124.4	162.3	104.7	145.9	186.8	115.7	156.7	197.3	118.0	156.6	194.6	117.5	154.7	191.3
19	77.0	114.7	152.3	96.1	138.6	180.8	116.6	162.6	208.2	128.9	174.6	219.8	131.5	174.5	216.9	130.9	172.4	213.1
20	85.4	127.1	168.8	106.5	153.5	200.4	129.2	180.2	230.7	142.8	193.5	243.6	145.7	193.3	240.3	145.1	191.0	236.2
21	94.1	140.1	186.1	117.5	169.3	220.9	142.5	198.6	254.3	157.5	213.3	268.5	160.6	213.2	264.9	159.9	210.6	260.4
22	103.3	153.8	204.2	128.9	185.8	242.4	156.4	218.0	279.1	172.8	234.1	294.7	176.3	234.0	290.7	175.5	231.1	285.8
23	112.9	168.1	223.2	140.9	203.1	265.0	170.9	238.2	305.1	188.9	255.9	322.1	192.7	255.7	317.8	191.9	252.6	312.3
24	122.9	183.0	243.0	153.4	221.1	288.5	186.1	259.4	332.2	205.7	278.6	350.7	209.8	278.4	346.0	208.9	275.0	340.1
25	133.4	198.6	263.7	166.5	239.9	313.1	201.9	281.5	360.4	223.2	302.3	380.6	227.7	302.1	375.5	226.7	298.4	369.0
26	144.3	214.8	285.2	180.0	259.5	338.6	218.4	304.5	389.8	241.4	327.0	411.6	246.2	326.8	406.1	245.2	322.8	399.1
27	155.6	231.6	307.6	194.2	279.8	365.2	235.6	328.3	420.4	260.3	352.6	443.9	265.6	352.4	437.9	264.4	348.1	430.4
28	167.3	249.1	330.8	208.8	300.9	392.7	253.3	353.1	452.1	279.9	379.2	477.4	285.6	379.0	471.0	284.4	374.3	462.9
29	179.5	267.2	354.8	224.0	322.8	421.3	271.7	378.8	485.0	300.3	406.8	512.1	306.4	406.5	505.2	305.0	401.6	496.5
30	192.1	286.0	379.7	239.7	345.5	450.8	290.8	405.3	519.0	321.4	435.3	548.0	327.8	435.0	540.6	326.4	429.7	531.4

Çizelge C.8: Arazi sınıfı C, IEC 60826- rüzgar açıklığı 400 m olan 154 kv ağır tip taşıyıcı direğe etki eden toplam rüzgar yükleri (kN)

Yön ⁰ / Direk Boyu (m)	15			30			45			60			75			90		
	Hız (m/s)	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40
12	31.0	46.0	61.1	39.4	56.4	73.3	48.6	67.0	85.3	54.5	72.9	91.1	56.3	73.7	90.7	56.3	73.1	89.5
13	36.4	54.0	71.7	46.2	66.1	86.0	57.0	78.7	100.1	64.0	85.6	106.9	66.1	86.4	106.4	66.1	85.8	105.1
14	42.2	62.7	83.1	53.6	76.7	99.7	66.1	91.2	116.1	74.2	99.2	123.9	76.6	100.3	123.5	76.7	99.5	121.8
15	48.5	71.9	95.4	61.5	88.1	114.5	75.9	104.7	133.3	85.1	113.9	142.3	87.9	115.1	141.7	88.0	114.2	139.9
16	55.1	81.9	108.5	70.0	100.2	130.2	86.4	119.2	151.6	96.9	129.6	161.9	100.1	130.9	161.2	100.1	130.0	159.1
17	62.2	92.4	122.5	79.0	113.1	147.0	97.5	134.5	171.2	109.4	146.3	182.7	113.0	147.8	182.0	113.1	146.7	179.7
18	69.8	103.6	137.4	88.6	126.8	164.8	109.3	150.8	191.9	122.6	164.0	204.9	126.6	165.7	204.1	126.7	164.5	201.4
19	77.7	115.4	153.1	98.7	141.3	183.6	121.8	168.0	213.8	136.6	182.8	228.3	141.1	184.7	227.4	141.2	183.3	224.4
20	86.1	127.9	169.6	109.4	156.6	203.5	134.9	186.2	236.9	151.4	202.5	252.9	156.3	204.6	252.0	156.5	203.1	248.7
21	95.0	141.0	187.0	120.6	172.6	224.3	148.8	205.3	261.2	166.9	223.3	278.9	172.4	225.6	277.8	172.5	223.9	274.1
22	104.2	154.8	205.2	132.4	189.4	246.2	163.3	225.3	286.7	183.2	245.0	306.0	189.2	247.6	304.9	189.3	245.7	300.9
23	113.9	169.2	224.3	144.7	207.0	269.1	178.5	246.2	313.3	200.2	267.8	334.5	206.8	270.6	333.2	206.9	268.5	328.8
24	124.0	184.2	244.2	157.5	225.4	293.0	194.3	268.1	341.2	218.0	291.6	364.2	225.1	294.6	362.8	225.3	292.4	358.1
25	134.6	199.8	265.0	170.9	244.6	318.0	210.9	290.9	370.2	236.5	316.4	395.2	244.3	319.7	393.7	244.5	317.3	388.5
26	145.6	216.2	286.6	184.9	264.6	343.9	228.1	314.6	400.4	255.8	342.3	427.4	264.2	345.8	425.8	264.5	343.2	420.2
27	157.0	233.1	309.1	199.4	285.3	370.9	245.9	339.3	431.8	275.9	369.1	461.0	284.9	372.9	459.2	285.2	370.1	453.2
28	168.8	250.7	332.4	214.4	306.9	398.8	264.5	364.9	464.4	296.7	396.9	495.7	306.4	401.0	493.8	306.7	398.0	487.4
29	181.1	268.9	356.6	230.0	329.2	427.8	283.7	391.4	498.1	318.3	425.8	531.8	328.7	430.2	529.7	329.0	426.9	522.8
30	193.8	287.8	381.6	246.1	352.3	457.8	303.6	418.9	533.1	340.6	455.7	569.1	351.8	460.4	566.9	352.1	456.9	559.5

Çizelge C.9: Arazi sınıfı C, IEC 60826- rüzgar açıklığı 500 m olan 154 kv ağır tip taşıyıcı direğe etki eden toplam rüzgar yükleri (kN)

Yön ⁰ / Direk Boyu (m)	15			30			45			60			75			90		
	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50
12	31.3	46.3	61.3	40.3	57.4	74.3	50.5	69.0	87.4	57.4	75.9	94.2	59.8	77.4	94.6	60.1	77.1	93.7
13	36.7	54.4	72.0	47.3	67.3	87.2	59.3	81.0	102.6	67.3	89.1	110.5	70.2	90.9	111.0	70.6	90.5	110.0
14	42.6	63.0	83.5	54.9	78.1	101.1	68.7	94.0	118.9	78.1	103.4	128.2	81.5	105.4	128.8	81.9	105.0	127.5
15	48.9	72.4	95.8	63.0	89.6	116.1	78.9	107.9	136.5	89.6	118.6	147.2	93.5	121.0	147.8	94.0	120.5	146.4
16	55.6	82.3	109.0	71.7	102.0	132.1	89.8	122.7	155.3	102.0	135.0	167.5	106.4	137.6	168.2	106.9	137.1	166.6
17	62.7	93.0	123.1	80.9	115.1	149.1	101.3	138.6	175.4	115.1	152.4	189.0	120.1	155.4	189.9	120.7	154.8	188.0
18	70.3	104.2	138.0	90.7	129.1	167.2	113.6	155.3	196.6	129.1	170.8	211.9	134.7	174.2	212.9	135.3	173.6	210.8
19	78.4	116.1	153.8	101.1	143.8	186.3	126.6	173.1	219.1	143.8	190.4	236.1	150.0	194.1	237.2	150.8	193.4	234.9
20	86.8	128.7	170.4	112.0	159.4	206.4	140.2	191.8	242.7	159.3	210.9	261.6	166.2	215.1	262.8	167.1	214.3	260.3
21	95.7	141.8	187.8	123.5	175.7	227.5	154.6	211.4	267.6	175.7	232.5	288.5	183.3	237.1	289.7	184.2	236.2	287.0
22	105.1	155.7	206.2	135.6	192.8	249.7	169.7	232.1	293.7	192.8	255.2	316.6	201.1	260.2	318.0	202.2	259.3	314.9
23	114.9	170.1	225.3	148.2	210.8	273.0	185.5	253.6	321.0	210.7	278.9	346.0	219.8	284.4	347.5	221.0	283.4	344.2
24	125.1	185.3	245.3	161.3	229.5	297.2	202.0	276.2	349.5	229.4	303.7	376.8	239.4	309.7	378.4	240.6	308.5	374.8
25	135.7	201.0	266.2	175.1	249.0	322.5	219.1	299.7	379.3	248.9	329.6	408.8	259.7	336.0	410.6	261.1	334.8	406.7
26	146.8	217.4	287.9	189.3	269.3	348.8	237.0	324.1	410.2	269.3	356.5	442.2	280.9	363.5	444.1	282.4	362.1	439.9
27	158.3	234.5	310.5	204.2	290.4	376.2	255.6	349.5	442.4	290.4	384.4	476.8	303.0	391.9	478.9	304.5	390.5	474.3
28	170.2	252.2	333.9	219.6	312.3	404.5	274.9	375.9	475.8	312.3	413.4	512.8	325.8	421.5	515.1	327.5	420.0	510.1
29	182.6	270.5	358.2	235.5	335.1	433.9	294.9	403.2	510.3	335.0	443.5	550.1	349.5	452.2	552.5	351.3	450.5	547.2
30	195.4	289.5	383.4	252.1	358.6	464.4	315.6	431.5	546.1	358.5	474.6	588.7	374.0	483.9	591.3	375.9	482.1	585.6

EK D : EN 50341-1' e Göre Etki Eden Rüzgar Yükleri

Çizelge D.1: Arazi sınıfı III EN50341-1 rüzgar açıklığı 200 m olan 154 kv ağır tip taşıyıcı direk iletkenlerine gelen rüzgar yükleri. (N)

Yön ⁰ / Direk Boyu (m) Hız (m/s)	15			30			45			60			75			90		
	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50
12	67.9	67.5	67.8	253.6	252.1	252.9	507.1	504.2	505.9	760.7	756.3	758.8	946.3	940.8	944.0	1014.2	1008.3	1011.8
13	79.7	76.9	79.5	297.6	295.8	296.9	595.1	591.7	593.7	892.7	887.5	890.6	1110.5	1104.1	1107.9	1190.3	1183.4	1187.4
14	92.5	89.2	92.3	345.1	343.1	344.3	690.2	686.2	688.6	1035.3	1029.3	1032.9	1288.0	1280.5	1284.9	1380.4	1372.5	1377.1
15	106.2	102.4	105.9	396.2	393.9	395.2	792.3	787.8	790.4	1188.5	1181.6	1185.7	1478.5	1470.0	1475.0	1584.7	1575.5	1580.9
16	120.8	116.5	120.5	450.8	448.1	449.7	901.5	896.3	899.4	1352.3	1344.4	1349.0	1682.2	1672.5	1678.2	1803.0	1792.6	1798.7
17	136.3	131.5	136.0	508.9	505.9	507.6	1017.7	1011.8	1015.3	1526.6	1517.8	1522.9	1899.1	1888.1	1894.6	2035.4	2023.7	2030.6
18	152.9	147.4	152.5	570.5	567.2	569.1	1141.0	1134.4	1138.2	1711.5	1701.6	1707.4	2129.1	2116.8	2124.0	2282.0	2268.8	2276.5
19	170.3	164.3	169.9	635.6	632.0	634.1	1271.3	1263.9	1268.2	1906.9	1895.9	1902.3	2372.2	2358.5	2366.6	2542.6	2527.8	2536.5
20	188.7	182.0	188.3	704.3	700.2	702.6	1408.6	1400.5	1405.2	2112.9	2100.7	2107.9	2628.5	2613.3	2622.2	2817.2	2800.9	2810.5
21	208.1	200.7	207.6	776.5	772.0	774.6	1553.0	1544.0	1549.3	2329.5	2316.0	2323.9	2897.9	2881.2	2891.0	3106.0	3088.0	3098.6
22	228.3	220.3	227.8	852.2	847.3	850.2	1704.4	1694.6	1700.3	2556.6	2541.8	2550.5	3180.5	3162.1	3172.9	3408.8	3389.1	3400.7
23	249.6	240.7	249.0	931.4	926.1	929.2	1862.9	1852.1	1858.4	2794.3	2778.2	2787.6	3476.2	3456.1	3467.9	3725.8	3704.2	3716.9
24	271.8	262.1	271.1	1014.2	1008.3	1011.8	2028.4	2016.7	2023.5	3042.6	3025.0	3035.3	3785.1	3763.2	3776.0	4056.8	4033.3	4047.1
25	294.9	284.4	294.2	1100.5	1094.1	1097.8	2201.0	2188.2	2195.7	3301.4	3282.3	3293.5	4107.0	4083.3	4097.2	4401.9	4376.4	4391.4
26	318.9	307.6	318.2	1190.3	1183.4	1187.4	2380.6	2366.8	2374.9	3570.8	3550.2	3562.3	4442.2	4416.5	4431.5	4761.1	4733.6	4749.7
27	343.9	331.7	343.1	1283.6	1276.2	1280.5	2567.2	2552.3	2561.1	3850.8	3828.5	3841.6	4790.5	4762.7	4779.0	5134.4	5104.7	5122.1
28	369.9	356.8	369.0	1380.4	1372.5	1377.1	2760.9	2744.9	2754.3	4141.3	4117.4	4131.4	5151.9	5122.1	5139.5	5521.8	5489.8	5508.5
29	396.8	382.7	395.8	1480.8	1472.2	1477.3	2961.6	2944.5	2954.5	4442.4	4416.7	4431.8	5526.4	5494.5	5513.2	5923.2	5889.0	5909.0
30	424.6	409.6	423.6	1584.7	1575.5	1580.9	3169.4	3151.0	3161.8	4754.1	4726.6	4742.7	5914.2	5879.9	5900.0	6338.8	6302.1	6323.6

Çizelge D.2: Arazi sınıfı III EN50341-1 rüzgar açıklığı 300 m olan 154 kv ağır tip taşıyıcı direk iletkenlerine gelen rüzgar yükleri. (N)

Yön ⁰ / Direk Boyu (m) Hız (m/s)	15			30			45			60			75			90		
	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50
12	101.9	101.3	101.7	380.3	378.1	379.4	760.7	756.3	758.8	1141.0	1134.4	1138.2	1419.4	1411.2	1416.0	1521.3	1512.5	1517.7
13	119.6	118.9	119.3	446.4	443.8	445.3	892.7	887.5	890.6	1339.1	1331.3	1335.9	1665.8	1656.2	1661.8	1785.4	1775.1	1781.1
14	138.7	137.9	138.4	517.7	514.7	516.4	1035.3	1029.3	1032.9	1553.0	1544.0	1549.3	1932.0	1920.8	1927.3	2070.7	2058.7	2065.7
15	159.2	158.3	158.9	594.3	590.8	592.8	1188.5	1181.6	1185.7	1782.8	1772.5	1778.5	2217.8	2205.0	2212.5	2377.0	2363.3	2371.3
16	181.2	180.1	180.7	676.1	672.2	674.5	1352.3	1344.4	1349.0	2028.4	2016.7	2023.5	2523.4	2508.8	2517.3	2704.5	2688.9	2698.1
17	204.5	203.3	204.0	763.3	758.9	761.5	1526.6	1517.8	1522.9	2289.9	2276.6	2284.4	2848.6	2832.2	2841.8	3053.2	3035.5	3045.9
18	229.3	228.0	228.7	855.7	850.8	853.7	1711.5	1701.6	1707.4	2567.2	2552.3	2561.1	3193.6	3175.2	3186.0	3422.9	3403.1	3414.7
19	255.5	254.0	254.9	953.5	947.9	951.2	1906.9	1895.9	1902.3	2860.4	2843.8	2853.5	3558.3	3537.8	3549.8	3813.8	3791.8	3804.7
20	283.1	281.4	282.4	1056.5	1050.3	1053.9	2112.9	2100.7	2107.9	3169.4	3151.0	3161.8	3942.8	3920.0	3933.3	4225.8	4201.4	4215.7
21	312.1	310.3	311.3	1164.7	1158.0	1162.0	2329.5	2316.0	2323.9	3494.2	3474.0	3485.9	4346.9	4321.7	4336.5	4659.0	4632.0	4647.8
22	342.5	340.5	341.7	1278.3	1270.9	1275.3	2556.6	2541.8	2550.5	3835.0	3812.8	3825.8	4770.7	4743.1	4759.3	5113.3	5083.7	5101.0
23	374.4	372.2	373.5	1397.2	1389.1	1393.8	2794.3	2778.2	2787.6	4191.5	4167.3	4181.5	5214.3	5184.1	5201.8	5588.7	5556.3	5575.3
24	407.6	405.3	406.7	1521.3	1512.5	1517.7	3042.6	3025.0	3035.3	4563.9	4537.5	4553.0	5677.6	5644.7	5664.0	6085.2	6050.0	6070.6
25	442.3	439.7	441.3	1650.7	1641.2	1646.8	3301.4	3282.3	3293.5	4952.2	4923.5	4940.3	6160.6	6124.9	6145.8	6602.9	6564.7	6587.1
26	478.4	475.6	477.3	1785.4	1775.1	1781.1	3570.8	3550.2	3562.3	5356.3	5325.3	5343.4	6663.3	6624.7	6647.3	7141.7	7100.4	7124.6
27	515.9	512.9	514.7	1925.4	1914.3	1920.8	3850.8	3828.5	3841.6	5776.2	5742.8	5762.4	7185.7	7144.1	7168.5	7701.6	7657.0	7683.2
28	554.8	551.6	553.5	2070.7	2058.7	2065.7	4141.3	4117.4	4131.4	6212.0	6176.0	6197.1	7727.8	7683.1	7709.3	8282.7	8234.7	8262.8
29	595.2	591.7	593.7	2221.2	2208.4	2215.9	4442.4	4416.7	4431.8	6663.6	6625.1	6647.7	8289.7	8241.7	8269.8	8884.8	8833.4	8863.6
30	636.9	633.2	635.4	2377.0	2363.3	2371.3	4754.1	4726.6	4742.7	7131.1	7089.8	7114.0	8871.2	8819.9	8850.0	9508.2	9453.1	9485.4

Çizelge D.3: Arazi sınıfı III EN50341-1 rüzgar açıklığı 400 m olan 154 kv ağır tip taşıyıcı direk iletkenlerine gelen rüzgar yükleri. (N)

Yön ⁰ / Direk Boyu (m) Hız (m/s)	15			30			45			60			75			90		
	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50
12	135.9	135.1	135.6	507.1	504.2	505.9	1014.2	1008.3	1011.8	1521.3	1512.5	1517.7	1892.5	1881.6	1888.0	2028.4	2016.7	2023.5
13	159.5	158.5	159.1	595.1	591.7	593.7	1190.3	1183.4	1187.4	1785.4	1775.1	1781.1	2221.1	2208.2	2215.8	2380.6	2366.8	2374.9
14	184.9	183.9	184.5	690.2	686.2	688.6	1380.4	1372.5	1377.1	2070.7	2058.7	2065.7	2575.9	2561.0	2569.8	2760.9	2744.9	2754.3
15	212.3	211.1	211.8	792.3	787.8	790.4	1584.7	1575.5	1580.9	2377.0	2363.3	2371.3	2957.1	2940.0	2950.0	3169.4	3151.0	3161.8
16	241.6	240.2	241.0	901.5	896.3	899.4	1803.0	1792.6	1798.7	2704.5	2688.9	2698.1	3364.5	3345.0	3356.4	3606.1	3585.2	3597.4
17	272.7	271.1	272.0	1017.7	1011.8	1015.3	2035.4	2023.7	2030.6	3053.2	3035.5	3045.9	3798.2	3776.2	3789.1	4070.9	4047.3	4061.2
18	305.7	304.0	305.0	1141.0	1134.4	1138.2	2282.0	2268.8	2276.5	3422.9	3403.1	3414.7	4258.2	4233.5	4248.0	4563.9	4537.5	4553.0
19	340.6	338.7	339.8	1271.3	1263.9	1268.2	2542.6	2527.8	2536.5	3813.8	3791.8	3804.7	4744.5	4717.0	4733.1	5085.1	5055.7	5072.9
20	377.4	375.3	376.5	1408.6	1400.5	1405.2	2817.2	2800.9	2810.5	4225.8	4201.4	4215.7	5257.0	5226.6	5244.4	5634.5	5601.9	5621.0
21	416.1	413.7	415.1	1553.0	1544.0	1549.3	3106.0	3088.0	3098.6	4659.0	4632.0	4647.8	5795.9	5762.3	5782.0	6212.0	6176.0	6197.1
22	456.7	454.1	455.6	1704.4	1694.6	1700.3	3408.8	3389.1	3400.7	5113.3	5083.7	5101.0	6361.0	6324.2	6345.8	6817.7	6778.2	6801.4
23	499.2	496.3	498.0	1862.9	1852.1	1858.4	3725.8	3704.2	3716.9	5588.7	5556.3	5575.3	6952.4	6912.2	6935.8	7451.6	7408.5	7433.7
24	543.5	540.4	542.2	2028.4	2016.7	2023.5	4056.8	4033.3	4047.1	6085.2	6050.0	6070.6	7570.1	7526.3	7552.0	8113.6	8066.7	8094.2
25	589.7	586.3	588.3	2201.0	2188.2	2195.7	4401.9	4376.4	4391.4	6602.9	6564.7	6587.1	8214.1	8166.6	8194.4	8803.8	8752.9	8782.8
26	637.9	634.2	636.3	2380.6	2366.8	2374.9	4761.1	4733.6	4749.7	7141.7	7100.4	7124.6	8884.4	8833.0	8863.1	9522.2	9467.1	9499.4
27	687.9	683.9	686.2	2567.2	2552.3	2561.1	5134.4	5104.7	5122.1	7701.6	7657.0	7683.2	9580.9	9525.5	9558.0	10268.8	10209.4	10244.2
28	739.8	735.5	738.0	2760.9	2744.9	2754.3	5521.8	5489.8	5508.5	8282.7	8234.7	8262.8	10303.8	10244.1	10279.1	11043.5	10979.6	11017.1
29	793.6	789.0	791.7	2961.6	2944.5	2954.5	5923.2	5889.0	5909.0	8884.8	8833.4	8863.6	11052.9	10988.9	11026.4	11846.5	11777.9	11818.1
30	849.2	844.3	847.2	3169.4	3151.0	3161.8	6338.8	6302.1	6323.6	9508.2	9453.1	9485.4	11828.3	11759.9	11800.0	12677.5	12604.2	12647.2

Çizelge D.4: Arazi sınıfı III EN50341-1 rüzgar açıklığı 500 m olan 154 kv ağır tip taşıyıcı direk iletkenlerine gelen rüzgar yükleri. (N)

Yön ⁰ / Direk Boyu (m) Hız (m/s)	15			30			45			60			75			90		
	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50
12	169.8	168.9	169.4	633.9	630.2	632.4	1267.8	1260.4	1264.7	1901.6	1890.6	1897.1	2365.7	2352.0	2360.0	2535.5	2520.8	2529.4
13	199.3	198.2	198.9	743.9	739.6	742.1	1487.8	1479.2	1484.3	1785.4	2218.9	2226.4	2776.4	2760.3	2769.7	2975.7	2958.5	2968.6
14	231.2	229.8	230.6	862.8	857.8	860.7	1725.6	1715.6	1721.4	2070.7	2573.4	2582.1	3219.9	3201.3	3212.2	3451.1	3431.1	3442.8
15	265.4	263.8	264.8	990.4	984.7	988.1	1980.9	1969.4	1976.1	2377.0	2954.1	2964.2	3696.3	3675.0	3687.5	3961.7	3938.8	3952.2
16	301.9	300.2	301.2	1126.9	1120.4	1124.2	2253.8	2240.7	2248.4	2704.5	3361.1	3372.6	4205.6	4181.3	4195.5	4507.6	4481.5	4496.8
17	340.9	338.9	340.1	1272.2	1264.8	1269.1	2544.3	2529.6	2538.2	3053.2	3794.4	3807.3	4747.7	4720.3	4736.4	5088.6	5059.2	5076.4
18	382.2	379.9	381.2	1426.2	1418.0	1422.8	2852.4	2835.9	2845.6	3422.9	4253.9	4268.4	5322.7	5291.9	5310.0	5704.9	5671.9	5691.2
19	425.8	423.3	424.8	1589.1	1579.9	1585.3	3178.2	3159.8	3170.6	3813.8	4739.7	4755.9	5930.6	5896.3	5916.4	6356.4	6319.6	6341.2
20	471.8	469.1	470.7	1760.8	1750.6	1756.6	3521.5	3501.2	3513.1	4225.8	5251.7	5269.7	6571.3	6533.3	6555.5	7043.1	7002.3	7026.2
21	520.2	517.1	518.9	1941.2	1930.0	1936.6	3882.5	3860.0	3873.2	4659.0	5790.0	5809.8	7244.8	7202.9	7227.5	7765.0	7720.1	7746.4
22	570.9	567.6	569.5	2130.5	2118.2	2125.4	4261.1	4236.4	4250.9	5113.3	6354.6	6376.3	7951.2	7905.2	7932.2	8522.1	8472.8	8501.7
23	624.0	620.3	622.5	2328.6	2315.1	2323.0	4657.2	4630.3	4646.1	5588.7	6945.4	6969.1	8690.5	8640.2	8669.7	9314.5	9260.6	9292.2
24	679.4	675.5	677.8	2535.5	2520.8	2529.4	5071.0	5041.7	5058.9	6085.2	7562.5	7588.3	9462.6	9407.9	9440.0	10142.0	10083.3	10117.7
25	737.2	732.9	735.4	2751.2	2735.3	2744.6	5502.4	5470.6	5489.2	6602.9	8205.8	8233.8	10267.6	10208.2	10243.0	11004.8	10941.1	10978.5
26	797.3	792.7	795.4	2975.7	2958.5	2968.6	5951.4	5917.0	5937.1	7141.7	8875.4	8905.7	11105.5	11041.2	11078.9	11902.8	11833.9	11874.3
27	859.8	854.9	857.8	3209.0	3190.4	3201.3	6418.0	6380.9	6402.6	7701.6	9571.3	9604.0	11976.2	11906.9	11947.5	12836.0	12761.7	12805.3
28	924.7	919.4	922.5	3451.1	3431.1	3442.8	6902.2	6862.3	6885.7	8282.7	10293.4	10328.5	12879.7	12805.2	12848.9	13804.4	13724.5	13771.4
29	992.0	986.2	989.6	3702.0	3680.6	3693.2	7404.0	7361.2	7386.3	8884.8	11041.8	11079.5	13816.1	13736.2	13783.0	14808.1	14722.4	14772.6
30	1061.5	1055.4	1059.0	3961.7	3938.8	3952.2	7923.5	7877.6	7904.5	9508.2	11816.4	11856.7	14785.4	14699.8	14750.0	15846.9	15755.2	15809.0

Çizelge D.5: Arazi sınıfı III EN50341-1 154 kV ağır tip taşıyıcı direklere gelen rüzgar yükleri. (N)

Yön ⁰ / Direk Boyu (m) Hız (m/s)	15			30			45			60			75			90		
	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50
12	41.5	57.6	73.2	46.7	64.3	81.4	49.7	68.0	85.8	48.7	66.2	83.3	45.3	61.3	76.8	43.0	58.2	73.0
13	48.7	67.6	85.9	54.8	75.4	95.5	58.3	79.8	100.7	57.1	77.7	97.7	53.2	71.9	90.2	50.4	68.3	85.7
14	56.4	78.4	99.7	63.5	87.5	110.8	67.6	92.6	116.8	66.2	90.1	113.3	61.7	83.4	104.6	58.5	79.2	99.4
15	64.8	90.0	114.4	72.9	100.4	127.2	77.6	106.3	134.1	76.0	103.4	130.1	70.8	95.8	120.0	67.2	90.9	114.1
16	73.7	102.3	130.2	83.0	114.3	144.7	88.3	120.9	152.6	86.5	117.7	148.0	80.6	108.9	136.6	76.4	103.5	129.8
17	83.2	115.5	146.9	93.7	129.0	163.3	99.7	136.5	172.3	97.7	132.9	167.1	90.9	123.0	154.2	86.3	116.8	146.5
18	93.3	129.5	164.7	105.0	144.6	183.1	111.8	153.0	193.1	109.5	148.9	187.3	101.9	137.9	172.9	96.7	130.9	164.3
19	103.9	144.3	183.5	117.0	161.1	204.0	124.5	170.5	215.2	122.0	165.9	208.7	113.6	153.6	192.6	107.8	145.9	183.0
20	115.2	159.9	203.4	129.7	178.5	226.1	138.0	188.9	238.4	135.2	183.9	231.3	125.9	170.2	213.4	119.4	161.7	202.8
21	127.0	176.3	224.2	143.0	196.8	249.2	152.1	208.3	262.8	149.1	202.7	255.0	138.8	187.7	235.3	131.6	178.2	223.6
22	139.4	193.5	246.1	156.9	216.0	273.5	167.0	228.6	288.5	163.6	222.5	279.8	152.3	206.0	258.2	144.5	195.6	245.4
23	152.3	211.5	269.0	171.5	236.1	299.0	182.5	249.8	315.3	178.8	243.2	305.8	166.5	225.1	282.3	157.9	213.8	268.2
24	165.9	230.3	292.9	186.7	257.1	325.5	198.7	272.0	343.3	194.7	264.8	333.0	181.2	245.1	307.3	171.9	232.8	292.1
25	180.0	249.9	317.8	202.6	279.0	353.2	215.6	295.1	372.5	211.2	287.3	361.3	196.7	266.0	333.5	186.6	252.6	316.9
26	194.6	270.3	343.7	219.1	301.7	382.0	233.2	319.2	402.9	228.5	310.8	390.8	212.7	287.7	360.7	201.8	273.2	342.8
27	209.9	291.4	370.7	236.3	325.4	412.0	251.5	344.3	434.5	246.4	335.1	421.5	229.4	310.2	389.0	217.6	294.6	369.6
28	225.7	313.4	398.6	254.1	349.9	443.1	270.5	370.2	467.3	265.0	360.4	453.3	246.7	333.6	418.3	234.0	316.9	397.5
29	242.2	336.2	427.6	272.6	375.4	475.3	290.1	397.2	501.3	284.3	386.6	486.2	264.6	357.9	448.7	251.0	339.9	426.4
30	259.1	359.8	457.6	291.7	401.7	508.6	310.5	425.0	536.4	304.2	413.7	520.3	283.2	383.0	480.2	268.7	363.7	456.3

Çizelge D.6: Arazi sınıfı III EN 50341-1 rüzgar açıklığı 200 m olan 154 kv ağır tip taşıyıcı direğe etki eden toplam rüzgar yükleri. (kN)

Yön ⁰ / Direk Boyu (m) Hız (m/s)	15			30			45			60			75			90		
	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50
12	41.9	58.0	73.6	48.2	65.8	82.9	52.7	71.1	88.9	53.3	70.8	87.8	51.0	67.0	82.5	49.1	64.3	79.1
13	49.2	68.1	86.4	56.6	77.2	97.3	61.9	83.4	104.3	62.5	83.0	103.1	59.9	78.6	96.8	57.6	75.4	92.8
14	57.0	78.9	100.2	65.6	89.6	112.9	71.8	96.7	121.0	72.5	96.3	119.5	69.4	91.1	112.3	66.8	87.5	107.7
15	65.5	90.6	115.1	75.4	102.8	129.6	82.4	111.0	138.9	83.2	110.6	137.2	79.7	104.6	128.9	76.7	100.4	123.6
16	74.5	103.1	130.9	85.7	117.0	147.4	93.8	126.3	158.0	94.7	125.8	156.1	90.7	119.0	146.7	87.3	114.3	140.6
17	84.1	116.4	147.8	96.8	132.1	166.4	105.9	142.6	178.4	106.9	142.0	176.3	102.4	134.4	165.6	98.5	129.0	158.8
18	94.3	130.5	165.7	108.5	148.1	186.6	118.7	159.9	200.0	119.8	159.2	197.6	114.8	150.6	185.7	110.5	144.6	178.0
19	105.0	145.4	184.6	120.9	165.0	207.9	132.2	178.1	222.8	133.5	177.4	220.2	127.9	167.8	206.9	123.1	161.1	198.3
20	116.4	161.1	204.6	134.0	182.8	230.3	146.5	197.4	246.9	147.9	196.6	244.0	141.7	186.0	229.2	136.4	178.5	219.8
21	128.3	177.6	225.5	147.7	201.6	254.0	161.5	217.6	272.2	163.1	216.7	269.0	156.2	205.0	252.7	150.4	196.8	242.3
22	140.8	194.9	247.5	162.1	221.2	278.7	177.3	238.8	298.8	179.0	237.8	295.2	171.5	225.0	277.4	165.0	216.0	265.9
23	153.9	213.0	270.6	177.2	241.8	304.6	193.8	261.0	326.5	195.7	259.9	322.7	187.4	246.0	303.2	180.4	236.1	290.6
24	167.6	232.0	294.6	192.9	263.2	331.7	211.0	284.2	355.6	213.0	283.0	351.3	204.1	267.8	330.1	196.4	257.1	316.4
25	181.8	251.7	319.7	209.3	285.6	359.9	228.9	308.4	385.8	231.2	307.1	381.2	221.4	290.6	358.2	213.1	279.0	343.4
26	196.7	272.2	345.7	226.4	309.0	389.3	247.6	333.6	417.3	250.0	332.2	412.3	239.5	314.3	387.4	230.5	301.7	371.4
27	212.1	293.6	372.8	244.2	333.2	419.8	267.0	359.7	450.0	269.6	358.2	444.6	258.3	338.9	417.8	248.6	325.4	400.5
28	228.1	315.7	401.0	262.6	358.3	451.5	287.2	386.8	483.9	290.0	385.2	478.2	277.7	364.5	449.3	267.3	349.9	430.7
29	244.7	338.7	430.1	281.7	384.4	484.3	308.1	415.0	519.1	311.1	413.2	513.0	297.9	391.0	481.9	286.7	375.4	462.0
30	261.9	362.4	460.3	301.4	411.3	518.3	329.7	444.1	555.6	332.9	442.2	548.9	318.8	418.4	515.8	306.9	401.7	494.4

Çizelge D.7: Arazi sınıfı III EN 50341-1 rüzgar açıklığı 300 m olan 154 kv ağır tip taşıyıcı direğe etki eden toplam rüzgar yükleri. (kN)

Yön ° / Direk Boy (m) Hız (m/s)	15			30			45			60			75			90		
	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50
12	42.1	58.2	73.9	49.0	66.6	83.7	54.3	72.6	90.4	56.5	74.8	92.7	53.9	69.8	85.4	52.1	67.3	82.1
13	49.4	68.3	86.7	57.5	78.1	98.2	63.7	85.2	106.1	66.4	87.8	108.8	63.2	81.9	100.2	61.2	79.0	96.4
14	57.3	79.2	100.5	66.7	90.6	113.9	73.9	98.8	123.1	77.0	101.9	126.2	73.3	95.0	116.2	71.0	91.6	111.8
15	65.8	90.9	115.4	76.5	104.0	130.8	84.8	113.4	141.3	88.4	116.9	144.8	84.1	109.0	133.4	81.5	105.2	128.4
16	74.8	103.5	131.3	87.1	118.3	148.8	96.5	129.0	160.7	100.5	133.0	164.8	95.7	124.0	151.7	92.7	119.6	146.0
17	84.5	116.8	148.2	98.3	133.6	167.9	108.9	145.6	181.4	113.5	150.2	186.0	108.1	140.0	171.3	104.6	135.1	164.9
18	94.7	131.0	166.2	110.2	149.8	188.3	122.1	163.3	203.4	127.2	168.4	208.5	121.2	157.0	192.0	117.3	151.4	184.8
19	105.5	145.9	185.1	122.8	166.9	209.8	136.0	181.9	226.6	141.8	187.6	232.4	135.0	174.9	214.0	130.7	168.7	205.9
20	116.9	161.7	205.1	136.1	184.9	232.4	150.7	201.6	251.1	157.1	207.9	257.5	149.6	193.8	237.1	144.8	186.9	228.2
21	128.9	178.2	226.2	150.0	203.9	256.3	166.2	222.2	276.9	173.2	229.2	283.8	164.9	213.7	261.4	159.7	206.1	251.6
22	141.5	195.6	248.2	164.7	223.7	281.3	182.4	243.9	303.9	190.1	251.5	311.5	181.0	234.5	286.9	175.2	226.2	276.1
23	154.7	213.8	271.3	180.0	244.5	307.4	199.4	266.6	332.1	207.7	274.9	340.5	197.8	256.3	313.6	191.5	247.2	301.8
24	168.4	232.8	295.4	196.0	266.3	334.7	217.1	290.3	361.6	226.2	299.3	370.7	215.4	279.1	341.4	208.6	269.2	328.6
25	182.7	252.6	320.5	212.6	288.9	363.2	235.5	315.0	392.4	245.4	324.8	402.3	233.7	302.8	370.5	226.3	292.1	356.5
26	197.6	273.2	346.7	230.0	312.5	392.8	254.8	340.7	424.4	265.5	351.3	435.1	252.8	327.5	400.7	244.8	315.9	385.6
27	213.1	294.6	373.9	248.0	337.0	423.6	274.7	367.4	457.7	286.3	378.8	469.2	272.6	353.2	432.1	264.0	340.7	415.9
28	229.2	316.9	402.1	266.7	362.4	455.6	295.5	395.1	492.2	307.9	407.4	504.6	293.2	379.9	464.7	283.9	366.4	447.2
29	245.9	339.9	431.3	286.1	388.8	488.7	316.9	423.8	528.0	330.3	437.1	541.3	314.5	407.5	498.5	304.5	393.1	479.8
30	263.1	363.8	461.6	306.2	416.1	523.0	339.2	453.5	565.0	353.4	467.7	579.3	336.6	436.1	533.5	325.9	420.6	513.4

Çizelge D.8: Arazi sınıfı III EN 50341-1 rüzgar açıklığı 400 m olan 154 kv ağır tip taşıyıcı direğe etki eden toplam rüzgar yükleri. (kN)

Yön ⁰ / Direk Boyu (m) Hız (m/s)	15			30			45			60			75			90		
	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50
12	42.3	58.4	74.1	49.7	67.3	84.4	55.8	74.1	91.9	57.8	75.3	92.4	56.7	72.6	88.2	55.2	70.3	85.2
13	49.6	68.5	86.9	58.4	79.0	99.1	65.5	86.9	107.9	67.9	88.4	108.4	66.5	85.2	103.5	64.8	82.5	100.0
14	57.6	79.5	100.8	67.7	91.6	114.9	75.9	100.8	125.1	78.7	102.5	125.7	77.2	98.8	120.0	75.1	95.7	115.9
15	66.1	91.3	115.7	77.7	105.2	131.9	87.2	115.7	143.6	90.4	117.7	144.3	88.6	113.4	137.8	86.2	109.9	133.1
16	75.2	103.8	131.7	88.4	119.7	150.1	99.2	131.7	163.4	102.8	133.9	164.2	100.8	129.1	156.8	98.1	125.0	151.4
17	84.9	117.2	148.6	99.8	135.1	169.5	112.0	148.7	184.5	116.1	151.1	185.4	113.8	145.7	177.0	110.7	141.1	171.0
18	95.2	131.4	166.6	111.9	151.5	190.0	125.5	166.7	206.8	130.1	169.4	207.9	127.6	163.3	198.4	124.2	158.2	191.7
19	106.1	146.4	185.7	124.7	168.8	211.7	139.9	185.7	230.4	145.0	188.8	231.6	142.1	182.0	221.1	138.3	176.3	213.5
20	117.5	162.2	205.7	138.2	187.0	234.6	155.0	205.8	255.3	160.6	209.2	256.6	157.5	201.7	245.0	153.3	195.3	236.6
21	129.6	178.9	226.8	152.4	206.2	258.6	170.9	226.9	281.5	177.1	230.6	282.9	173.6	222.3	270.1	169.0	215.4	260.9
22	142.2	196.3	248.9	167.2	226.3	283.8	187.5	249.0	309.0	194.4	253.1	310.5	190.5	244.0	296.4	185.5	236.4	286.3
23	155.4	214.6	272.0	182.8	247.3	310.2	204.9	272.1	337.7	212.4	276.6	339.4	208.3	266.7	324.0	202.7	258.3	312.9
24	169.2	233.6	296.2	199.0	269.3	337.8	223.2	296.3	367.7	231.3	301.2	369.5	226.8	290.4	352.7	220.7	281.3	340.7
25	183.6	253.5	321.4	215.9	292.2	366.5	242.1	321.5	399.0	251.0	326.8	401.0	246.1	315.1	382.7	239.5	305.2	369.7
26	198.6	274.2	347.6	233.5	316.1	396.4	261.9	347.8	431.5	271.5	353.5	433.7	266.1	340.8	414.0	259.0	330.1	399.9
27	214.2	295.7	374.9	251.9	340.8	427.5	282.4	375.0	465.4	292.7	381.2	467.7	287.0	367.5	446.4	279.4	356.0	431.2
28	230.3	318.0	403.2	270.9	366.5	459.7	303.7	403.3	500.5	314.8	409.9	503.0	308.7	395.2	480.1	300.4	382.9	463.8
29	247.1	341.1	432.5	290.5	393.2	493.2	325.8	432.6	536.9	337.7	439.7	539.5	331.1	424.0	515.0	322.3	410.7	497.5
30	264.4	365.0	462.8	310.9	420.8	527.8	348.7	463.0	574.5	361.4	470.6	577.4	354.3	453.7	551.2	344.9	439.5	532.4

Çizelge D.9: Arazi sınıfı III EN 50341-1 rüzgar açıklığı 500 m olan 154 kv ağır tip taşıyıcı direğe etki eden toplam rüzgar yükleri. (kN)

Yön °/ Direk Boyu (m) Hız (m/s)	15			30			45			60			75			90		
	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50
12	42.5	58.6	74.3	50.5	68.1	85.2	57.3	75.6	93.4	60.1	77.6	94.7	59.5	75.4	91.0	58.2	73.4	88.2
13	49.9	68.8	87.1	59.3	79.9	100.0	67.3	88.7	109.7	67.9	91.0	111.1	69.9	88.5	106.8	68.3	86.1	103.5
14	57.9	79.8	101.1	68.7	92.7	116.0	78.0	102.9	127.2	78.7	105.6	128.8	81.0	102.7	123.9	79.3	99.8	120.1
15	66.4	91.6	116.0	78.9	106.4	133.1	89.5	118.1	146.0	90.4	121.2	147.9	93.0	117.8	142.2	91.0	114.6	137.8
16	75.6	104.2	132.0	89.8	121.0	151.5	101.9	134.4	166.1	102.8	137.9	168.3	105.8	134.1	161.8	103.5	130.4	156.8
17	85.3	117.6	149.0	101.4	136.6	171.0	115.0	151.7	187.5	116.1	155.7	190.0	119.5	151.4	182.7	116.9	147.2	177.0
18	95.6	131.9	167.1	113.6	153.2	191.7	128.9	170.1	210.2	130.1	174.5	213.0	133.9	169.7	204.8	131.0	165.0	198.5
19	106.6	146.9	186.2	126.6	170.7	213.6	143.7	189.5	234.3	145.0	194.5	237.3	149.2	189.1	228.2	146.0	183.9	221.2
20	118.1	162.8	206.3	140.3	189.1	236.7	159.2	210.0	259.6	160.6	215.5	262.9	165.4	209.5	252.8	161.7	203.8	245.0
21	130.2	179.5	227.4	154.7	208.5	260.9	175.5	231.5	286.2	177.1	237.5	289.9	182.3	231.0	278.7	178.3	224.6	270.2
22	142.9	197.0	249.6	169.8	228.8	286.4	192.6	254.1	314.1	194.4	260.7	318.2	200.1	253.5	305.9	195.7	246.5	296.5
23	156.2	215.3	272.8	185.6	250.1	313.0	210.5	277.7	343.3	212.4	284.9	347.7	218.7	277.1	334.4	213.9	269.5	324.1
24	170.0	234.4	297.0	202.0	272.3	340.8	229.2	302.4	373.8	231.3	310.3	378.6	238.1	301.7	364.1	232.9	293.4	352.9
25	184.5	254.4	322.3	219.2	295.5	369.8	248.7	328.1	405.6	251.0	336.7	410.8	258.4	327.3	395.0	252.7	318.4	382.9
26	199.6	275.1	348.6	237.1	319.6	400.0	269.0	354.9	438.7	271.5	364.1	444.4	279.5	354.0	427.3	273.3	344.3	414.1
27	215.2	296.7	375.9	255.7	344.7	431.3	290.1	382.7	473.0	292.7	392.7	479.2	301.4	381.8	460.8	294.8	371.3	446.6
28	231.4	319.1	404.3	275.0	370.7	463.9	312.0	411.5	508.7	314.8	422.3	515.4	324.1	410.6	495.5	317.0	399.4	480.3
29	248.3	342.3	433.7	295.0	397.6	497.6	334.7	441.5	545.7	337.7	453.0	552.8	347.7	440.5	531.6	340.0	428.4	515.2
30	265.7	366.3	464.1	315.7	425.5	532.5	358.2	472.4	584.0	361.4	484.8	591.6	372.1	471.4	568.9	363.9	458.4	551.4

EK E : IEC 60826 ve EN50341-1 ' e Göre Etki Eden Rüzgar ve Buz Yükleri

Çizelge E 1: Rüzgar açıklığı 200 m olan 154 kv ağır tip taşıyıcı direğe etki eden toplam rüzgar yükleri (kN)

Yön ° / Direk Boyu (m)	15			30			45			60			75			90			
	Hız (m/s)	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50
Arazi sınıfı C, IEC 60826- rüzgar açıklığı 200 m olan 154 kv ağır tip taşıyıcı direğe etki eden toplam rüzgar yükleri (kN) □																			
25	132.1	197.2	262.3	161.7	234.9	307.8	192.4	271.4	350	208.9	287.2	364.9	209.9	283.3	355.9	207.6	278.3	348.1	
26	142.9	213.3	283.7	174.9	254	333	208.1	293.5	378.5	225.9	310.6	394.6	227	306.4	385	224.5	301	376.5	
27	154.1	230.1	305.9	188.6	273.9	359.1	224.4	316.6	408.2	243.6	335	425.6	244.8	330.4	415.2	242.2	324.6	406	
28	165.7	247.4	329	202.8	294.6	386.2	241.4	340.4	439	262	360.2	457.7	263.3	355.4	446.5	260.4	349	436.6	
29	177.8	265.4	352.9	217.6	316	414.2	258.9	365.2	470.9	281	386.4	491	282.4	381.2	479	279.4	374.4	468.4	
30	190.3	284	377.7	232.8	338.2	443.3	277.1	390.8	504	300.8	413.5	525.4	302.2	407.9	512.6	299	400.7	501.2	
Arazi sınıfı III EN 50341-1 rüzgar açıklığı 200 m olan 154 kv ağır tip taşıyıcı direğe etki eden toplam rüzgar yükleri. (kN)																			
25	181.8	251.7	319.7	209.3	285.6	359.9	228.9	308.4	385.8	231.2	307.1	381.2	221.4	290.6	358.2	213.1	279	343.4	
26	196.7	272.2	345.7	226.4	309	389.3	247.6	333.6	417.3	250	332.2	412.3	239.5	314.3	387.4	230.5	301.7	371.4	
27	212.1	293.6	372.8	244.2	333.2	419.8	267	359.7	450	269.6	358.2	444.6	258.3	338.9	417.8	248.6	325.4	400.5	
28	228.1	315.7	401	262.6	358.3	451.5	287.2	386.8	483.9	290	385.2	478.2	277.7	364.5	449.3	267.3	349.9	430.7	
29	244.7	338.7	430.1	281.7	384.4	484.3	308.1	415	519.1	311.1	413.2	513	297.9	391	481.9	286.7	375.4	462	
30	261.9	362.4	460.3	301.4	411.3	518.3	329.7	444.1	555.6	332.9	442.2	548.9	318.8	418.4	515.8	306.9	401.7	494.4	

Çizelge E 2: Rüzgar açıklığı 300 m olan 154 kv ağır tip taşıyıcı direğe etki eden toplam rüzgar yükleri (kN)

Yön ⁰ / Direk Boyu (m)	15			30			45			60			75			90		
	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50
Arazi sınıfı C, IEC 60826- rüzgar açıklığı 300 m olan 154 kv ağır tip taşıyıcı direğe etki eden toplam rüzgar yükleri (kN) □																		
25	133.4	198.6	263.7	166.5	239.9	313.1	201.9	281.5	360.4	223.2	302.3	380.6	227.7	302.1	375.5	226.7	298.4	369
26	144.3	214.8	285.2	180	259.5	338.6	218.4	304.5	389.8	241.4	327	411.6	246.2	326.8	406.1	245.2	322.8	399.1
27	155.6	231.6	307.6	194.2	279.8	365.2	235.6	328.3	420.4	260.3	352.6	443.9	265.6	352.4	437.9	264.4	348.1	430.4
28	167.3	249.1	330.8	208.8	300.9	392.7	253.3	353.1	452.1	279.9	379.2	477.4	285.6	379	471	284.4	374.3	462.9
29	179.5	267.2	354.8	224	322.8	421.3	271.7	378.8	485	300.3	406.8	512.1	306.4	406.5	505.2	305	401.6	496.5
30	192.1	286	379.7	239.7	345.5	450.8	290.8	405.3	519	321.4	435.3	548	327.8	435	540.6	326.4	429.7	531.4
Arazi sınıfı III EN 50341-1 rüzgar açıklığı 300 m olan 154 kv ağır tip taşıyıcı direğe etki eden toplam rüzgar yükleri. (kN)																		
25	182.7	252.6	320.5	212.6	288.9	363.2	235.5	315	392.4	245.4	324.8	402.3	233.7	302.8	370.5	226.3	292.1	356.5
26	197.6	273.2	346.7	230	312.5	392.8	254.8	340.7	424.4	265.5	351.3	435.1	252.8	327.5	400.7	244.8	315.9	385.6
27	213.1	294.6	373.9	248	337	423.6	274.7	367.4	457.7	286.3	378.8	469.2	272.6	353.2	432.1	264	340.7	415.9
28	229.2	316.9	402.1	266.7	362.4	455.6	295.5	395.1	492.2	307.9	407.4	504.6	293.2	379.9	464.7	283.9	366.4	447.2
29	245.9	339.9	431.3	286.1	388.8	488.7	316.9	423.8	528	330.3	437.1	541.3	314.5	407.5	498.5	304.5	393.1	479.8
30	263.1	363.8	461.6	306.2	416.1	523	339.2	453.5	565	353.4	467.7	579.3	336.6	436.1	533.5	325.9	420.6	513.4

Çizelge E 3: Rüzgar açıklığı 400 m olan 154 kv ağır tip taşıyıcı direğe etki eden toplam rüzgar yükleri (kN)

Yön ° / Direk Boyu (m)	15			30			45			60			75			90		
	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50
Arazi sınıfı C, IEC 60826- rüzgar açıklığı 400 m olan 154 kv ağır tip taşıyıcı direğe etki eden toplam rüzgar yükleri (kN) □																		
25	134.6	199.8	265	170.9	244.6	318	210.9	290.9	370.2	236.5	316.4	395.2	244.3	319.7	393.7	244.5	317.3	388.5
26	145.6	216.2	286.6	184.9	264.6	343.9	228.1	314.6	400.4	255.8	342.3	427.4	264.2	345.8	425.8	264.5	343.2	420.2
27	157	233.1	309.1	199.4	285.3	370.9	245.9	339.3	431.8	275.9	369.1	461	284.9	372.9	459.2	285.2	370.1	453.2
28	168.8	250.7	332.4	214.4	306.9	398.8	264.5	364.9	464.4	296.7	396.9	495.7	306.4	401	493.8	306.7	398	487.4
29	181.1	268.9	356.6	230	329.2	427.8	283.7	391.4	498.1	318.3	425.8	531.8	328.7	430.2	529.7	329	426.9	522.8
30	193.8	287.8	381.6	246.1	352.3	457.8	303.6	418.9	533.1	340.6	455.7	569.1	351.8	460.4	566.9	352.1	456.9	559.5
Arazi sınıfı III EN 50341-1 rüzgar açıklığı 400 m olan 154 kv ağır tip taşıyıcı direğe etki eden toplam rüzgar yükleri. (kN)																		
25	183.6	253.5	321.4	215.9	292.2	366.5	242.1	321.5	399	251	326.8	401	246.1	315.1	382.7	239.5	305.2	369.7
26	198.6	274.2	347.6	233.5	316.1	396.4	261.9	347.8	431.5	271.5	353.5	433.7	266.1	340.8	414	259	330.1	399.9
27	214.2	295.7	374.9	251.9	340.8	427.5	282.4	375	465.4	292.7	381.2	467.7	287	367.5	446.4	279.4	356	431.2
28	230.3	318	403.2	270.9	366.5	459.7	303.7	403.3	500.5	314.8	409.9	503	308.7	395.2	480.1	300.4	382.9	463.8
29	247.1	341.1	432.5	290.5	393.2	493.2	325.8	432.6	536.9	337.7	439.7	539.5	331.1	424	515	322.3	410.7	497.5
30	264.4	365	462.8	310.9	420.8	527.8	348.7	463	574.5	361.4	470.6	577.4	354.3	453.7	551.2	344.9	439.5	532.4

Çizelge E 4: Rüzgar açıklığı 500 m olan 154 kv ağır tip taşıyıcı direğe etki eden toplam rüzgar yükleri (kN)

Yön ° / Direk Boyu (m)	15			30			45			60			75			90			
	Hız (m/s)	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50
Arazi sınıfı C, IEC 60826- rüzgar açıklığı 500 m olan 154 kv ağır tip taşıyıcı direğe etki eden toplam rüzgar yükleri (kN) □																			
25	135.7	201	266.2	175.1	249	322.5	219.1	299.7	379.3	248.9	329.6	408.8	259.7	336	410.6	261.1	334.8	406.7	
26	146.8	217.4	287.9	189.3	269.3	348.8	237	324.1	410.2	269.3	356.5	442.2	280.9	363.5	444.1	282.4	362.1	439.9	
27	158.3	234.5	310.5	204.2	290.4	376.2	255.6	349.5	442.4	290.4	384.4	476.8	303	391.9	478.9	304.5	390.5	474.3	
28	170.2	252.2	333.9	219.6	312.3	404.5	274.9	375.9	475.8	312.3	413.4	512.8	325.8	421.5	515.1	327.5	420	510.1	
29	182.6	270.5	358.2	235.5	335.1	433.9	294.9	403.2	510.3	335	443.5	550.1	349.5	452.2	552.5	351.3	450.5	547.2	
30	195.4	289.5	383.4	252.1	358.6	464.4	315.6	431.5	546.1	358.5	474.6	588.7	374	483.9	591.3	375.9	482.1	585.6	
Arazi sınıfı III EN 50341-1 rüzgar açıklığı 500 m olan 154 kv ağır tip taşıyıcı direğe etki eden toplam rüzgar yükleri. (kN)																			
25	184.5	254.4	322.3	219.2	295.5	369.8	248.7	328.1	405.6	251	336.7	410.8	258.4	327.3	395	252.7	318.4	382.9	
26	199.6	275.1	348.6	237.1	319.6	400	269	354.9	438.7	271.5	364.1	444.4	279.5	354	427.3	273.3	344.3	414.1	
27	215.2	296.7	375.9	255.7	344.7	431.3	290.1	382.7	473	292.7	392.7	479.2	301.4	381.8	460.8	294.8	371.3	446.6	
28	231.4	319.1	404.3	275	370.7	463.9	312	411.5	508.7	314.8	422.3	515.4	324.1	410.6	495.5	317	399.4	480.3	
29	248.3	342.3	433.7	295	397.6	497.6	334.7	441.5	545.7	337.7	453	552.8	347.7	440.5	531.6	340	428.4	515.2	
30	265.7	366.3	464.1	315.7	425.5	532.5	358.2	472.4	584	361.4	484.8	591.6	372.1	471.4	568.9	363.9	458.4	551.4	

KAYNAKLAR

- [1] **TEİAŞ.** (2019) *Yüz Tevzi Daire Başkanlığı Kurulu Güç Raporu*. Retrieved March 23, 2019, from https://www.teias.gov.tr/sites/default/files/2019-04/kurulu_guc_mart_2019.pdf
- [2] **Kuluöztürk, M.F.** (2015). Elektrik İletim Bileşenleri Ders Notları ,Bitlis Eren Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği, Bitlis.
- [3] **Ülker, N.** (2014). Dağıtım şebekeleri proje hazırlama, Elektrik Mühendisleri Odası, Ankara.
- [4] **T.C. Milli Eğitim Bakanlığı.** (2011). Elektrik – *Elektronik Teknolojisi Havai Enerji Hatları* (Rapor no: 522EE0131) Ankara: Milli Eğitim Bakanlığı.
- [5] **EN 1991-1-4** (2005). *Eurocode 1: Actions on Structures, Part 1-4: General Actions- Wind Actions*, European Standard.
- [6] **Brewer,A.** (2017). Dynamic Wind Load Modelling of High Overhead Transmission Line Towers, *Faculty of Civil and Environmental Engineering University of Iceland*.
- [7] **Şafak, E.** (2014). *Yüksek Yapılardaki Rüzgar Yüklerinin Hesabı*, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, İstanbul.
- [8] **Jiang, Q. & Deng, H.** (2011). Comparison on Wind Load Prediction of Transmission Line between Chinese New Code and Other Standards, *The Twelfth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction*.
- [9] **Ilenin, S. & Varga, L.** (2017). Wind Load of Overhead Electrical Lines Exceeding AC 1kV, *The 9th International Scientific Symposium ELEKTROENERGETIKA 2017, 12.-14. 9. 2017 Stara Lesne Slovak Republic*.

- [10] **Ducloux, H. & Figueroa L.** (2016). Background Information About the Wind Action Model of CENELEC EN 50341-1 (2012) and Associated Expected Reliability of Electrical Overheas Lines, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 157 (2016) 104-117.
- [11] **Stengel, D. & Thiele, K.** (2017). Measurements of Downburst Wind Loading Acting on an Overheas Transmission Line in Northern Germany, *X International Conference on Strcutural Dynamics, EUROLYN 2017*.
- [12] **IEC 60826**, (2017). *Design Criteria of Overhead Transmission Lines*, International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland.
- [13] **EN 50341-1** (2012). *Overhead Electrical Lines Exceeding AC 45kV – Part 1: General Requirements*, Brussels.
- [14] **Elektrik Kuvvetli Akımlar Tesisi Yönetmeliği.** (2000). *T.C. Resmi Gazete*, 24246, 30 Kasım 2000.
- [15] **TEİAŞ.** (2016). 154 kV' luk 266,8 MCM Partridge, 477 MCM Hawk, 795 MCM Drake iletkenli tek ve Çift Devre Direklerin Tarihçesi, 1989 Yılında Direklerin Tipleştirilmesi ve İşletmede Dikkat Edilecek Hususlar, Ankara.
- [16] **Ay, S.** (2017). *Enerji İletim Hatları Cilt-1 İletkenlerin Mekanik Hesapları* , İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Mustafa Yuşa Saltoğlu
Dođum Tarihi ve Yeri : 10.12.1991 / İstanbul
E-posta : mustafasaltoglu@hotmail.com

ÖĐRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2014, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakóltesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİMLER:

- 12.2016 ‘ dan beri Erdem Holding Enerji Grubu bünyesinde yenilenebilir enerji projelerinde proje mühendisi olarak çalışmaktadır.
- 07.2014 – 10.2015 yılları arasında Erdem Holding Enerji Grubu bünyesinde İzmir ve Aydın’ da rüzgar enerji santrali şantiyesinde proje mühendisi olarak çalıştı.