

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KAFES TİPİ ÇELİK KULE YAPILARININ RÜZGAR ETKİSİNDEKİ
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Furkan TARAKÇI

**HAZİRAN 2019
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
Furkan TARAKÇI Tarafından Hazırlanan**

**KAFES TİPİ ÇELİK KULE YAPILARININ RÜZGAR ETKİSİNDEKİ
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 28 / 05 / 2019 gün ve 1806 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Metin HÜSEM

Üye : Prof. Dr. Korhan ÖZGAN

Üye : Prof. Dr. Şükrü YETGİN



Prof. Dr. Asim KADIOĞLU

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne bağlı İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda, yüksek lisans tezi olarak gerçekleştirilmiştir.

Yüksek lisans öğrenimim süresince benden tecrübelerini, bilgilerini ve hoşgörülülüğünü esirgemeyen ve bu çalışma sürecinde bütün aşamalarda destek olup, anlayış ve sabır gösteren tez danışmanım Prof. Dr. Metin HÜSEM'e teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım. Değerli jüri üyesi hocalarım Prof. Dr. Korhan ÖZGAN ve Prof. Dr. Şükrü YETGİN'e katkılarından dolayı teşekkür ederim. Ayrıca bu çalışmada, destekleri ve yardımlarından dolayı Arş. Gör. Dr. Serhat DEMİR'e teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım boyunca üzerimde emeği olan tüm hocalarımı saygıyla anar ve kendilerine teşekkürlerimi borç bilirim.

Tez çalışması süresince bana destek olan arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Hayatım boyunca her daim yanımda olan, her koşulda beni destekleyen ve bu çalışmada da maddi ve manevi desteğini esirgemeyen aileme en içten teşekkürlerimi ve minnettarlığımı sunarım.

Furkan TARAKÇI

Trabzon 2019

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “KAFES TİPİ ÇELİK KULE YAPILARININ RÜZGÂR ETKİSİNDEKİ DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Metin HÜSEM’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri ve örnekleri kendim topladığımı, analizleri ilgili programlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 20/06/2019



Furkan TARAKÇI

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIV
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Rüzgâr Tanımı	1
1.2.1. Rüzgâr Oluşumu	2
1.3. Rüzgâr Çeşitleri ve Sınıflandırılması.....	2
1.3.1. Küresel Rüzgâr Sistemleri	3
1.3.1.1. Alize Rüzgârları	3
1.3.1.2. Batı Rüzgârları	4
1.3.1.3. Kutup Rüzgârları.....	4
1.3.2. Mevsimsel (Devirli) Rüzgârlar	5
1.3.3. Günlük Rüzgârlar	5
1.3.4. Yerel Rüzgârlar	5
1.4. Rüzgârın Temel Özellikleri.....	6
1.4.1. Rüzgâr Hızı	6
1.4.2. Rüzgâr Frekansı	6
1.4.3. Rüzgâr Şiddeti.....	7
1.4.4. Rüzgâr Hızına Etki Eden Bazı Faktörler	7
1.4.5. Rüzgâr Yönüne Etki Eden Bazı Faktörler	9
1.5. Rüzgârın Yapılara Etkisi ve Bina Aerodinamiği	9
1.5.1. Rüzgârın Yüksek Yapılar Üzerindeki Etkisi.....	12
1.5.2. Rüzgârın Yüksekliği Az Olan Yapılar Üzerindeki Etkisi.....	14
1.5.3. Tekil Yapılar Üzerindeki Rüzgâr Etkisi.....	15

1.5.4.	Yapı Grubu Üzerindeki Rüzgâr Etkisi	15
1.5.5.	Yapı Şekline Bağlı Rüzgâr Etkisi	17
1.5.6.	Rüzgârın Yapılardaki Dinamik Etkileri	19
1.5.6.1.	Vorteks Etkileri (Girdap Kopmaları)	19
1.5.6.2.	Galloping (Dörtnala) Etkisi.....	20
1.5.6.3.	Rüzgâr Kuyruğu Etkileri	21
1.5.7.	Rüzgâr Tüneli Deneyi	21
1.5.8.	Rüzgâr Etkisiyle Oluşan Hasar Örnekleri.....	22
1.6.	Rüzgâr Etkisi ile İlgili Yönetmelikler	26
1.6.1.	TS498'e Göre Rüzgâr Etkisi	26
1.6.2.	EUROCODE 1-4 Yönetmeliğine Göre Rüzgâr Etkisi.....	29
1.6.2.1.	Kullanılan Kavramlar.....	29
1.6.2.1.1.	Temel Rüzgâr Hızı (V_b)	29
1.6.2.1.2.	Ortalama Rüzgâr Hızı ($V_{m(z)}$).....	29
1.6.2.1.3.	Rüzgâr Türbülansı ($I_{v(z)}$)	31
1.6.2.1.4.	Tepe Hız Kaynaklı Rüzgâr Basıncı.....	32
1.6.2.2.	Rüzgâr Etkileri	33
1.6.2.2.1.	Yüzeylerdeki Rüzgâr Basıncı	33
1.6.2.2.2.	Rüzgâr Kuvvetleri	34
1.6.3.	ASCE 7-16 Yönetmeliğine Göre Rüzgâr Etkisi	36
1.6.3.1.	Kavramlar	36
1.6.3.2.	Rüzgâr Yüku Hesaplamasında Kullanılan Parametreler ve Bağlılılar	37
1.6.3.2.1.	Hız Basıncı (q_z)	37
1.6.3.2.2.	Temel Rüzgâr Hızı (V)	37
1.6.3.2.3.	Yüzey Pürüzlülüğü ve Maruz Kalma Kategorisi (B, C, D)	37
1.6.3.2.4.	Hız Basıncı Maruz Kalma Katsayısı (K_z)	39
1.6.3.2.5.	Topoğrafya Katsayısı (K_{zt}).....	40
1.6.3.2.6.	Rüzgâr Doğrultu Katsayısı (K_d).....	41
1.6.3.2.7.	Zemin Yükseklik Faktörü (K_e).....	41
1.6.3.2.8.	Fırtına Etki Faktörü	42
1.7.	Kuleler ve Çeşitleri	43
1.8.	Kafes Türü Çelik Kuleler	44
1.8.1.	ANSI/TIA-222-G Yönetmeliği	46

1.9.	Konu ile İlgili Yapılan Çalışmalar	47
1.10.	Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	49
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	51
2.1.	Kafes Tipi Çelik Kulenin Temel Özellikleri.....	51
2.2.	Kule Modelinin Oluşturulması	53
2.3.	Kulenin Rüzgâr Yükü Etkisinde Yapısal Çözümlenmeleri	53
2.3.1.	TS498'e Göre Kuleye Etkiyen Rüzgâr Yükü Analizi.....	54
2.3.2.	ASCE 7-16'ya Göre Kuleye Etkiyen Rüzgâr Yükü Analizi.....	56
3.	BULGULAR VE İRDELEMELER.....	61
3.1.	Yapılan Kule Analizinde TS498 ve ASCE 7-16 Yönetmelik Karşılaştırılması .	61
3.2.	Farklı Yükseklik Seviyelerinden Çapraz Elemanların Çıkarılması Durumu.....	61
3.3.	Farklı Doluluk Oranları Dikkate Alınarak Yapılan Yapısal Çözümleme.....	66
3.4.	Kule Yapısının Tepe Noktası Yer Değiştirmeleri.....	76
4.	SONUÇLAR	78
5.	KAYNAKLAR	79
6.	EKLER.....	83
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

KAFES TİPİ ÇELİK KULE YAPILARININ RÜZGÂR ETKİSİNDEKİ DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Furkan TARAKÇI

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Metin HÜSEM
2019, 82 Sayfa, 30 Ek Sayfalar

Tüm mühendislik yapıları, üzerlerine etkiyecek yükleri taşıyabilecek şekilde tasarlanıp boyutlandırılması gerekmektedir. Rüzgâr yükü de bu yüklerden birini oluşturmaktadır ve bazen hesaplarda dikkate alınmamaktadır. Bunun sonucunda ise rüzgâr etkisi ile oluşan yapı hasarları artmaktadır.

Bu tez kapsamında, rüzgâr yüklerinin çelik kafes tipi kulelerde etkisi incelenecektir. Kulelere etkiyecek olan rüzgâr yükü, Amerika’da kullanılmakta olan ASCE 7-16 ve ülkemizde kullanılan TS498 yönetmeliklerine göre hesaplanmıştır. Kule elemanlarında, herhangi bir nedenden dolayı oluşabilecek hasarlar dikkate alınıp bu hasarlar sonucunda kuledeki taşıyıcı elemanların dayanım seviyesi irdelenmiştir. Birinci bölümde, rüzgâr ve özellikleri hakkında genel bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde, kule modeli oluşturularak rüzgâr yükü etkisinde, TS498 ve ASCE 7-16 yönetmeliklerine göre analiz sonuçları verilmiştir. Üçüncü bölümde, çalışmada elde edilen bulgular verilmiş ve kendi aralarında karşılaştırılarak irdelenmiştir. Bu bölümü, sonuçlar bölümü ile kaynaklar takip etmektedir. Çalışma sonunda çelik kuleler için TS498’in yetersiz olduğu, Türkiye için etkili bir rüzgâr haritasının yapılması gerektiği, tekrarlı rüzgâr yükü etkisinde kule çubuklarının birleşiminde oluşan gevşemeler nedeniyle taşıma gücünü kaybedebildiği ve bu nedenle de bakımlarının zamanında yapılması gerektiği ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kafes tipi çelik kuleler, Rüzgâr yükü, Çapraz elemanlar, Taşıma gücü, Yanal stabilite

Master Thesis

SUMMARY

**INVESTIGATION OF BEHAVIORS OF STEEL LATTICE TOWERS
UNDER WIND EFFECT**

Furkan TARAKÇI

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Metin HÜSEM
2019, 82 Pages, 30 Appendix Pages

All engineering structures must be designed and sized to carry loads that will affect them. Wind load is one of these loads, and sometimes, it is not taken into account in calculations. As a result, the damage caused by the wind effect on the structure increases.

In this thesis, the effect of wind loads on steel lattice towers will be investigated. The wind load that will affect the towers was calculated according to the ASCE 7-16 regulations of the USA and the TS498 regulations of our country. Attention was paid to the damages that may occur in the tower elements due to any reason and the strength level of the bearing elements in the tower was examined. In the first section, general information is given about wind and its properties. In the second section, a tower model was formed, and analysis results were presented under the wind load effect according to the regulations of TS498 and ASCE 7-16. In the third section, the findings of the study were stated and analyzed in comparison with each other. This section is followed by the sections of conclusion and references. At the end of the study, it was revealed that TS498 was not sufficient for steel towers, an effective wind map needed to be drawn for Turkey, bearing capacity could be lost because of relaxation in the joint of tower bars under the permanent wind load effect, and therefore, maintenance must be conducted in time.

Key Words: Steel-truss towers, Wind load, Bracing system, Bearing strength, Lateral stability

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Küresel rüzgârların esiş yönleri.....	3
Şekil 2. Rüzgâr gülü diyagramı	6
Şekil 3. Yeryüzünde oluşan hava akımları	9
Şekil 4. Bir yapıya etkiyen rüzgârdan oluşan basınç alanları.....	10
Şekil 5. Yüksekliğe bağlı rüzgâr hızı değişimi.....	11
Şekil 6. Yapının mimarisine bağlı rüzgâr etkisi	11
Şekil 7. Yüksek bir yapı etrafında oluşan hava akımları.....	13
Şekil 8. Rüzgârın yüksek bir yapıda etkisi	13
Şekil 9. Rüzgârın yüksekliği az olan yapılar üzerindeki etkisi.....	14
Şekil 10. Yüksekliği az olan yapılarda oluşan basınç ve emme etkisi	15
Şekil 11. (a) aşığı akım etkisi, (b) köşe etkisi, (c) girdap etkisi.....	16
Şekil 12. Yapı grubu üzerindeki rüzgar etkisi, (a) kümülatif etki, (b) çapraz yapı etkisi, (c) alçak ve yüksek yapı etkisi, (d) basamak etkisi, (e) kanal etkisi, (f) avlu etkisi.	17
Şekil 13. Yapı şekline bağlı rüzgâr etkisi	18
Şekil 14. Çok kenarlı yapılar üzerindeki rüzgâr etkisi	18
Şekil 15. Podyum kule yapıları üzerindeki rüzgâr etkisi.....	19
Şekil 16. Vorteks etkisi.....	20
Şekil 17. Örnek bir rüzgâr tüneli deney düzeneği	22
Şekil 18. Katrina Kasırgası'nın verdiği hasarlar ile ilgili bir görüntü.....	23
Şekil 19. Andrew Kasırgası'nın verdiği hasarlar ile ilgili bir görüntü.....	23
Şekil 20. Tacoma Narrows Köprüsü'nün rüzgâr etkisi altında aldığı hasardan bir görüntü	24
Şekil 21. Rüzgâr ve kar etkisi nedeniyle yıkılan kafes tipi çelik kule.....	25
Şekil 22. Rüzgâr etkisiyle yıkılan çelik kule	25
Şekil 23. Bakım sırasında yıkılan televizyon kulesi.....	26
Şekil 24. Rüzgâr hızının yüksekliğe bağlı teorik olarak değişimi ve TS498'de yer alan model	28
Şekil 25. TS498'de yapı yüzeyine göre değişen C_p katsayısı.....	28
Şekil 26. Maruz kalma katsayısı $c_e(z)$ 'nin, $c_0(z) = 1.0$ ve $k_1 = 1.0$ için grafik gösterimi	33
Şekil 27. Yapı elemanlarının yüzeylerinde oluşan basınç örnekleri	34

Şekil 28. Yapı referans yüksekliğinin yapı şekline göre hesaplanması.....	35
Şekil 29. ASCE 7-16 yönetmeliğinde verilen temel rüzgâr hızı haritası (Risk Kategorisi II).....	38
Şekil 30. İki Kule ve Pisa Kulesi.....	43
Şekil 31. Farklı amaçlara göre yapılmış kuleler	44
Şekil 32. Eiffel Kulesi	45
Şekil 33. Enerji iletim kulelerindeki çapraz eleman sistemleri	45
Şekil 34. Telekomünikasyon kulelerindeki çapraz eleman sistemleri.....	46
Şekil 35. Kafes elemanlarının örgü tipi	51
Şekil 36. SAP2000 programında hazırlanmış kule modeli	53
Şekil 37. TS498'e göre rüzgâr hızının kule yüksekliğine göre değişimi	54
Şekil 38. Sap2000 programında, TS498'e göre kuleye rüzgâr yükü etki ettirme	55
Şekil 39. ASCE 7-16'ya göre kuleye etkiyen yükler, yerdeğiştirme ve dayanım seviyeleri	57
Şekil 40. 0-25m yükseklik aralığında elemanların çıkarılmasıyla oluşan P_r/P_c oranları.....	61
Şekil 41. 0-25m yükseklik aralığında elemanların çıkarılmasıyla oluşan P_r/P_c oranı değişimi	62
Şekil 42. 25-38m yükseklik aralığında elemanların çıkarılmasıyla oluşan P_r/P_c oranları...	63
Şekil 43. 25-38m yükseklik aralığında elemanların çıkarılmasıyla oluşan P_r/P_c oranı değişimi	64
Şekil 44. 38-50m yükseklik aralığında 1 elemanın çıkarılmasıyla oluşan P_r/P_c oranları	65
Şekil 45. 38-50m yükseklik aralığında 1 elemanın çıkarılmasıyla oluşan P_r/P_c oranı değişimi	65
Şekil 46. 0-25m yükseklik aralığında elemanların çıkarılmasıyla oluşan P_r/P_c oranları (%20 dolu).....	66
Şekil 47. 0-25m yükseklik aralığında elemanların çıkarılmasıyla oluşan P_r/P_c oranı değişimi (%20 dolu)	67
Şekil 48. 25-38m yükseklik aralığında elemanların çıkarılmasıyla oluşan P_r/P_c oranları (%20 dolu).....	68
Şekil 49. 25-38m yükseklik aralığında elemanların çıkarılmasıyla oluşan P_r/P_c oranı değişimi (%20 dolu)	68
Şekil 50. 38-50m yükseklik aralığında elemanların çıkarılmasıyla oluşan P_r/P_c oranları (%20 dolu).....	69
Şekil 51. 38-50m yükseklik aralığında elemanların çıkarılmasıyla oluşan P_r/P_c oranı değişimi (%20 dolu)	70
Şekil 52. 0-25m yükseklik aralığında elemanların çıkarılmasıyla oluşan P_r/P_c oranları (%50 dolu).....	71

Şekil 53. 0-25m yükseklik aralığında elemanların çıkarılmasıyla oluşan P_r/P_c oranı değişimi (%50 dolu)	71
Şekil 54. 25-38m yükseklik aralığında elemanların çıkarılmasıyla oluşan P_r/P_c oranları (%50 dolu)	72
Şekil 55. 25-38m yükseklik aralığında elemanların çıkarılmasıyla oluşan P_r/P_c oranı değişimi (%50 dolu)	73
Şekil 56. 38-50m yükseklik aralığında elemanların çıkarılmasıyla oluşan P_r/P_c oranları (%50 dolu)	74
Şekil 57. 38-50m yükseklik aralığında elemanların çıkarılmasıyla oluşan P_r/P_c oranı değişimi (%50 dolu)	74
Şekil 58. 38-50m yükseklik aralığında %0, %20, %50 dolu kesit olduğu varsayılarak oluşan P_r/P_c oranları.....	75
Şekil 59. 38-50m yükseklik aralığında %0, %20, %50 dolu kesit olduğu varsayılarak oluşan P_r/P_c oranı değişimi	76
Şekil 60. 0-25m, 25-38m, 38-50m yükseklik aralığında 1,2 ve 3 eleman çıkarıldığında oluşan tepe noktası yer değiştirmesi.....	77

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Rüzgâr türleri.....	2
Tablo 2. Beaufort (Bofor) rüzgâr şiddet çizelgesi	8
Tablo 3. TS498'de yüksekliğe bağlı olarak değişen rüzgâr hızı ve rüzgâr basıncı.....	27
Tablo 4. EUROCODE 1-4'e göre arazi kategorileri ve buna bağlı parametreler	31
Tablo 5. Hız basıncı maruz kalma katsayısı (K_z)	39
Tablo 6. Topoğrafik katsayı (K_1) değerleri	40
Tablo 7. Rüzgâr doğrultu katsayısı (K_d).....	41
Tablo 8. Zemin yükseklik faktörü (K_e).....	42
Tablo 9. Kule elemanlarının boyutları.....	52
Tablo 10. TS498'e göre kule tipi yapılarda kullanılan aerodinamik yük katsayıları C_f	55
Tablo 11. TS498'e göre en çok zorlanan elemanlar	56
Tablo 12. ASCE 7-16'ya göre rüzgâr yükü hesabında alınan parametreler	57
Tablo 13. ASCE 7-16'ya göre en fazla zorlanan elemanlar.....	58
Tablo 14. ASCE 7-16'ya göre 35 m/sn rüzgâr hızına göre yeniden boyutlandırma	59
Tablo 15. ASCE 7-16'ya göre yeniden boyutlandırılmış kuleye etki ettirilen rüzgâr yükü analizi	60

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Etkili rüzgâr alanı (ASCE 7-16)
A	: Etkiyen yüzey alanı (TS498)
A_g	: Pozitif dış basınca maruz duvarların tüm alanının toplamı (ASCE 7-16)
A_{gi}	: Tüm örtü alanı (ASCE 7-16)
A_o	: Pozitif dış basınca maruz duvarlardaki boşluk alanlarının toplamı (ASCE 7-16)
A_{oi}	: Yapı örtüsünde bulunan boşluk alanlarının toplamı (ASCE 7-16)
A_{ref}	: Yapının veya yapısal elemanın referans alanı (EUROCODE 1-4)
B	: Geri plan katsayısı (EUROCODE 1-4)
c	: Türbülans yoğunluk faktörü (ASCE 7-16)
$c_{0(z)}$: Orografi katsayısı (EUROCODE 1-4)
c_{dir}	: Yön katsayısı (EUROCODE 1-4)
$c_e(z)$: Maruz kalma katsayısı (EUROCODE 1-4)
C_f	: Aerodinamik yük katsayısı (TS498)
c_f	: Yapı veya yapısal eleman için kuvvet katsayısı (EUROCODE 1-4)
C_p	: Emme katsayısı (TS498)
c_{pe}	: Dış basınç katsayısı (EUROCODE 1-4)
c_{pi}	: İç basınç katsayısı (EUROCODE 1-4)
$c_{r(z)}$: Engebelilik katsayısı (EUROCODE 1-4)
$c_s c_d$: Yapısal katsayı (EUROCODE 1-4)
c_{season}	: Mevsim katsayısı (EUROCODE 1-4)
F	: Tasarım kuvveti (ASCE 7-16)
F_w	: Yapının bir bileşenine etkiyen rüzgâr kuvveti (EUROCODE 1-4)
G	: Fırtına etki faktörü (ASCE 7-16)
g_Q	: Zemin tepkisi için tepe faktörü (ASCE 7-16)
g_R	: Rezonans tepkisi için tepe faktörü (ASCE 7-16)
g_v	: Rüzgâr tepkisi için tepe faktörü (ASCE 7-16)
$h(m)$: Zeminden yükseklik (TS498)
$I_v(z)$: Rüzgar türbülans şiddeti (EUROCODE 1-4)
$I_{\bar{z}}$: \bar{z} metre yüksekliğindeki türbülans yoğunluğu (ASCE 7-16)

$K_{1,2,3}$: Topoğrafik çarpanlar (ASCE 7-16)
K_d	: Rüzgâr doğrultu katsayısı (ASCE 7-16)
K_e	: Zemin yükseltme katsayısı (ASCE 7-16)
k_I	: Türbülans faktörü (EUROCODE 1-4)
k_p	: Tepe katsayısı (EUROCODE 1-4)
k_r	: Arazi katsayısı (EUROCODE 1-4)
K_z	: Hız basıncına maruz kalma katsayısı (ASCE 7-16)
K_{zt}	: Topoğrafya katsayısı (ASCE 7-16)
p	: Tasarım basıncı (ASCE 7-16)
P_c	: Tasarım eksenel kuvvet dayanımı
P_r	: Gerekli eksenel kuvvet dayanımı
q	: Emme (hız basıncı) (TS498)
Q	: Zemin tepe faktörü (ASCE 7-16)
q_b	: Esas hız kaynaklı rüzgâr basıncı (EUROCODE 1-4)
$q_i(z_i)$: Tepe rüzgâr basıncı (EUROCODE 1-4)
$q_p(z)$: Tepe rüzgâr basıncı (EUROCODE 1-4)
q_z	: Hız basıncı (ASCE 7-16)
R	: Rezonansa izin veren tepki katsayısı (EUROCODE 1-4)
v	: Rüzgâr hızı (TS498)
V	: Temel rüzgâr hızı (ASCE 7-16)
V_b	: Temel rüzgâr hızı (EUROCODE 1-4)
$V_{b,0}$: Esas rüzgâr hızının temel değeri (EUROCODE 1-4)
$V_{m(z)}$: Ortalama rüzgâr hızı (EUROCODE 1-4)
W	: Rüzgâr yükü bileşkesi (TS498)
w	: Yapı yüzeyine etki eden rüzgâr basıncı (TS498)
W_e	: Dış yüzeylere etkiyen rüzgâr basıncı (EUROCODE 1-4)
W_i	: İç yüzeylere etkiyen rüzgâr basıncı (EUROCODE 1-4)
$z(m)$: Zeminden yükseklik (EUROCODE 1-4)
z_0	: Arazi kategorisi parametresi (EUROCODE 1-4)
z_0	: Enbelilik uzunluğu (EUROCODE 1-4)
$z_{0,II}$: Arazi kategorisi parametresi (EUROCODE 1-4)
z_e	: Dış basınç referans yüksekliği (EUROCODE 1-4)
$z_{en\ büyük}$: Arazi kategorisi parametresi (EUROCODE 1-4)

Z_{en} küçük	: Arazi kategorisi parametresi (EUROCODE 1-4)
Z_i	: İç basınç referans yüksekliği (EUROCODE 1-4)
Z_s	: Yapısal katsayayı belirlemek için referans yükseklik (EUROCODE 1-4)
ρ	: Hava yoğunluğu (TS498, EUROCODE 1-4)
σ_v	: Türbülans standart sapması (EUROCODE 1-4)
TS498	: Türk Standardı 498/Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Hesap Değerleri
ASCE 7-16	: American Society of Civil Engineers/Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures
ANSI/TIA-222-G	: American National Standards Institute/Telecommunications Industry Association/Structural Standard for Antenna. Supporting Structures and Antennas
SAP2000	: Structural Analysis Program

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Yapılar, doğal ve beşeri faktörlerden etkilenir. Yapılara etki eden doğal faktörlerden biri de rüzgârdır. Rüzgâr, yapı tasarımında hesaba katılması gereken bir parametredir. Güneş'in yeryüzünü farklı derecelerde ısıtması ve buna bağlı yeryüzünde oluşan farklı hava basınçları, rüzgârın sürekli ortaya çıkmasını sağlayacaktır. Yüksek hız düzeylerine ulaşabilen rüzgâr, çevresindeki yapıları etkileyecek artan bir rüzgâr yükü oluşturur. Ortaya çıkan bu yük, etrafımızda yer alan tüm mühendislik yapılarına hasar verme ve bu yapıları kullanılmaz duruma getirme potansiyeli taşır. Bu durumda insanoğlu, bir doğal faktör olan rüzgârı ve rüzgâr yükünü dikkate almalı, yapılacak mühendislik yapılarında mutlaka göz önünde bulundurmalıdır.

1.2. Rüzgâr Tanımı

Akışkan olan havanın, atmosfer koşulları sonucu aynı veya farklı yerlerdeki hava kütleleri arasındaki yatay yöndeki hareketine rüzgâr denir. Yeryüzünde oluşan bu hava hareketi üç boyutludur. Ancak hava akımının yatay bileşeni, diğer bileşenlerine göre çok daha büyük olması nedeniyle, yatay yönde hareket eden hava akımı olarak tanımlanmaktadır. Hava hareketi oluşmasının temel nedeni, atmosferde meydana gelen basınç farklılıklarıdır. Bu basınç farklılıkları, yüksek ve alçak basınç alanlarını oluşturmaktadır. Rüzgâr, yüksek basınç ve alçak basınç alanları arasında basınç eşitleninceye kadar, daima yüksek basınç alanından alçak basınç alanına doğru hareket etmektedir. İki bölge arasındaki basınç farkı eşitlenince rüzgâr durur, ancak basınç alanları arasındaki fark arttıkça rüzgâr hızı da artmaktadır. Rüzgâr sahip olduğu hıza bağlı olarak esinti, fırtına gibi isimler almaktadır (Gürses, 2012).

1.2.1. Rüzgâr Oluşumu

Rüzgâr, güneş enerjisinin dönüşmüş bir biçimidir. Rüzgârın oluşması temel olarak, Güneş'in yeryüzüne yaymış olduğu değişken ısı ve bunun sonucunda oluşan basınç farklılıklarından kaynaklanmaktadır. Rüzgâr, Güneş'in atmosfere ve dolayısıyla yeryüzüne yaymış olduğu eşit olmayan ısı, yeryüzünün homojen olmayan coğrafi yapısı, dünyanın şekli, dönme ekseninin eğikliği sonucu meydana gelmektedir. Karalar, denizler ve havaküre birbirinden farklı özgül ısılarına ve bunun sonucunda birbirinden farklı sıcaklıklara sahip olur. Yerkürede meydana gelen bu sıcaklık farklılığı, yüksek, alçak basınç alanlarının oluşmasına neden olmaktadır. Soğuk bölgelerde, yüksek basınç alanları oluşurken sıcak bölgelerde, alçak basınç alanları oluşmaktadır. İki bölge arasında oluşan bu basınç farklılığı sonucunda yüksek basınç alanındaki hava kütlesi alçak basınç alanına doğru hareket ederek hava akımını oluşturmaktadır. Hava kütesinin bu hareketi, rüzgâr olarak tanımlanmaktadır (Elibüyük ve Üçgül, 2014).

1.3. Rüzgâr Çeşitleri ve Sınıflandırılması

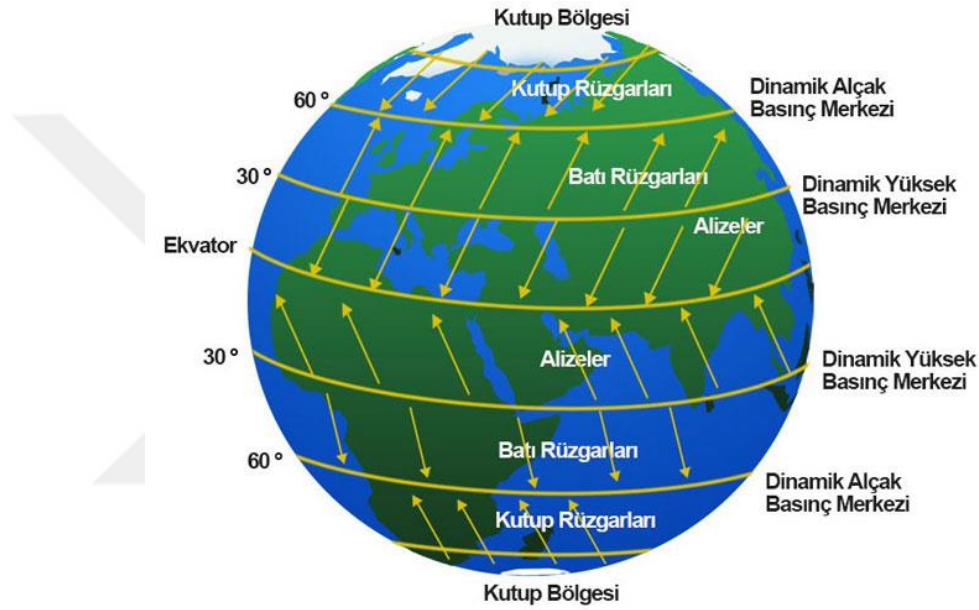
Rüzgâr, oluştuğu bölgeye, zaman aralığına ve etkisine bağlı olarak dört ana gruba ayrılmaktadır (Tablo 1) (Özlek, 2015).

Tablo 1. Rüzgâr türleri

Küresel Rüzgâr Sistemleri	Mevsimsel Rüzgârlar	Günlük Rüzgârlar	Yerel Rüzgâr Sistemleri
Alize Rüzgârları	Yaz Musonu	Meltemler	Samyeli
Batı Rüzgârları	Kış Musonu		Fön
Kutup Rüzgârları			Bora
			Poyraz

1.3.1. Küresel Rüzgâr Sistemleri

Sürekli basınç merkezleri arasındaki farktan kaynaklanan, yıl boyunca kesilmeden, aynı yönde esen rüzgârlardır. Bu hava akımı, her iki yarımkürede de dinamik yüksek basınç merkezlerinden, dinamik alçak basınç merkezlerine doğru hareket etmesiyle oluşmaktadır (Şekil 1). Bu rüzgârlar; alize rüzgârları, batı rüzgârları, kutup rüzgârları olarak kendi içinde sınıflandırılmaktadır (Hayli, 2001).



Şekil 1. Küresel rüzgârların esiş yönleri. (URL-1, 2019)

1.3.1.1. Alize Rüzgârları

Alizeler ekvator bölgesinde, tropikal kuşakta görülür. Dünyanın şekli ve günlük hareketi sonucu hava kütlelerinin belli bölgelere yığılması ve bunun sonucunda basınç farklılıkları oluşmasıyla yüksek ve alçak basınç alanları meydana gelmektedir. Hava akımının yüksek basınç alanından alçak basınç alanına hareket etmesiyle 30° kuzey ve 30° güney enlemleri çevresindeki dinamik yüksek basınç alanlarından, ekvator çevresindeki termik alçak basınç alanlarına doğru yıl boyunca esen rüzgârlardır.

Kuzeyden veya güneyden ekvatora doğru tamamen dik esmesi gereken hava akımı, dünyanın kendi eksenini etrafındaki hareketi sonucu ortaya çıkan koryolis (coriolis)

kuvvet sebebiyle yön değiştirerek eser (Büyükçolpan, 2015). Bu yön değişimi sonucunda hava akımı, Kuzey Yarım Küre'de kuzeydoğudan güneybatıya; Güney Yarım Küre'de ise güneydoğudan kuzeybatıya doğru olacak şekilde gerçekteşmektedir.

Alize Rüzgârları, sürekli ve yönlerinin belirli olması nedeniyle geçmişte denizciler tarafından sıkça yararlanılan rüzgârlardır. Denizciler yelkenlerini doldurmak ve seyahat etmek için alize rüzgârlarından yararlanmışır. Bu nedenle alize rüzgârları 'ticaret rüzgârları' olarak da bilinir (Özlek, 2015). Türkiye tropikal kuşak dışında bulunduğundan alize rüzgârlarından etkilenmemektedir.

1.3.1.2. Batı Rüzgârları

Batı rüzgârları, orta kuşakta, her iki yarımkürede de 30° ve 60° enlemleri arasında görölmektedir. 30° kuzey ve 30° enlemlerinde bulunan dinamik yüksek basınç alanlarından, 60° kuzey ve 60° güney enlemlerindeki dinamik alçak basınç alanlarına doğru esen rüzgârlardır (Büyükçolpan, 2015).

Bu rüzgârlar, Kuzey Yarım Küre'de güneyden Güney Yarım Küre'de kuzeyden esmeleri gerekirken, koryolis (coriolis) kuvvet sebebiyle yön değiştirirler. Her iki yarım kürede de genellikle batıdan esmektedirler.

Türkiye orta kuşakta yer aldığından batı rüzgârlarının etkisi Türkiye'de görölr.

1.3.1.3. Kutup Rüzgârları

Kutup rüzgârları, kutup bölgesinde, her iki yarımkürede de 60° ile 90° enlemleri arasında görölr. Kutuplarda bulunan yüksek basınç alanlarından, 60° enlemlerindeki alçak basınç alanlarına doğru hareket eden hava akımlarıdır. Koryolis (Coriolis) kuvvet sebebiyle yön değiştirerek Kuzey Yarım Küre'de kuzeydoğudan, Güney Yarım Küre'de güneydoğudan esmektedirler (Büyükçolpan, 2015).

1.3.2. Mevsimsel (Devirli) Rüzgârlar

Muson rüzgârları olarak da bilinen devirli rüzgârlar, birbirine komşu kara parçaları ve okyanusların farklı derecede ısınıp, soğumasına bağlı olarak ortaya çıkan basınç farklılığından oluşmaktadırlar. Bu rüzgârlar, kış ve yaz musonu olarak sınıflandırılmaktadır.

Kış mevsiminde karalar, denize oranla daha çabuk soğuduğundan yüksek basınç, denizler ise karalara göre daha geç soğuduğu için alçak basınç alanları oluşmaktadır. Bu basınç farkı nedeniyle kışın karadan denize doğru esen rüzgârlar oluşmaktadır. Bu rüzgârlara ‘kış musonu’ denir. Yaz mevsiminde ise, karalar denizlere oranla daha çabuk ısındığı için karalarda alçak basınç, denizlerde ise yüksek basınç alanı oluşmaktadır. Bu durumda hava akımı denizden karaya doğru hareket etmektedir. Bu rüzgârlara ise ‘yaz musonu’ adı verilmektedir (Özlek, 2015).

1.3.3. Günlük Rüzgârlar

Günlük rüzgârlar, kısa süreli ve etki alanı dar olan rüzgârlar olarak bilinmektedir. Kara, deniz ve içinde bulunan topoğrafik yapıların, gün içerisinde farklı derecede ısınıp-soğumasıyla farklı basınç alanları oluşturması, bu rüzgârları meydana getirmektedir. Kara ile deniz arasında meydana gelen bu basınç farklılıkları, kara ve deniz meltemini oluştururken, dağ ile vadi arasın arasında meydana gelen basınç farklılıkları ise, dağ ve vadi meltemini oluşturmaktadır (Büyükçolpan, 2015).

1.3.4. Yerel Rüzgârlar

Yerel rüzgârlar, genel hava dolaşımına bağlı olarak yerel ısınma ve soğuma farklılıklarından kaynaklı, kısa süreli, dar alanlarda meydana gelmektedir. Bu rüzgârlar, genelde aynı yönde ve zamanda esmekte olup, bölgenin topoğrafik yapısına ve şartlarına göre şekillenerek sıcak veya soğuk bir karakter gösterebilmektedir (Büyükçolpan, 2015).

1.4. Rüzgârın Temel Özellikleri

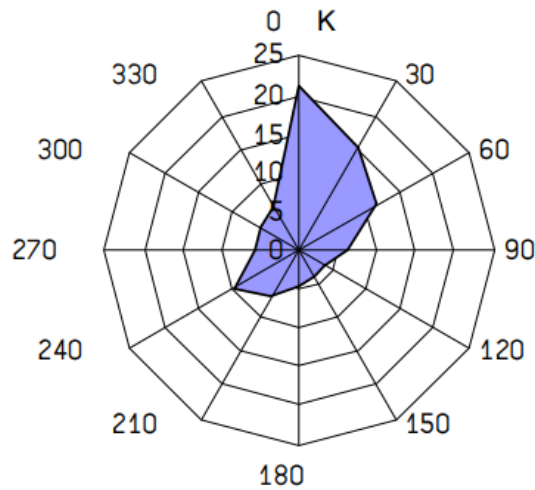
1.4.1. Rüzgâr Hızı

Rüzgâr hızı, atmosferdeki hava kütesinin hareket hızıdır. Yüksek basınç alanından alçak basınç alanına doğru hareket eden hava kütesinin belli parametrelere göre artan ya da azalan bir hızı olmaktadır. Bu hız genel olarak, knot, metre/saniye ve kilometre/saat olarak açıklanmaktadır.

Rüzgârın sahip olduğu hız arttıkça kasırga veya fırtınaya dönüşebilmektedir. Bu durumda, rüzgârın akışını engelleyen herhangi bir engel karşısına çıktığında, bu engel daha büyük bir kuvvetle karşı karşıya kalacaktır. Rüzgâr hızı, özellikle yüksek yapılarda olmak üzere, tüm yapılarda önemli bir parametredir.

1.4.2. Rüzgâr Frekansı

Rüzgârın belirli bir yönden esme sıklığına rüzgâr frekansı adı verilmektedir. Esmeye sıklığı rüzgâr gülü diyagramları ile gösterilmektedir (Şekil 2). Bir bölgede belli bir sürede rüzgârın sık estiği yöne hâkim rüzgâr yönü denir. Hâkim rüzgâr yönü, coğrafi konuma, yer şekillerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Köse vd., 2005).



Şekil 2. Rüzgâr gülü diyagramı. (Köse ve Özgören, 2005)

1.4.3. Rüzgâr Şiddeti

Rüzgâr hızı ve şiddeti farklı kavramlardır. Rüzgâr şiddeti ‘‘Beaufort Rüzgâr Şiddeti Çizelgesi’’ kullanılarak belirlenir (Tablo 2). Beaufort rüzgâr şiddet çizelgesi, rüzgâr şiddetini, sakinden (0 kuvvetinden), kasırgaya (12 kuvvetine) kadar gösteren standart bir çizelgedir (Deniz, 2008). Her bir değer ile gösterilen; rüzgârın kuvvet aralığı ve rüzgârın hızının, yüzeyin özelliklerine göre olan etkisinin sınıflandırılmasıdır. Esas itibariyle, bu sistem hiçbir ölçüm cihazı kullanmadan, rüzgâr hızını tahmin edebilmesi için geliştirilmiştir.

1.4.4. Rüzgâr Hızına Etki Eden Bazı Faktörler

Basınç farkı; bir bölgedeki hava kütesinin yoğunluğu yüksek ve alçak basınç alanlarının oluşmasına neden olmaktadır. Aynı veya farklı yerlerdeki hava kütleleri arasındaki bu basınç farkı arttıkça, hava akımı daha hızlı hareket edip oluşan basınç farklılığını eşitlemeye çalışacaktır. Dolayısıyla rüzgâr hızı ile basınç farkının doğru orantılı bir ilişkisi vardır. Basınç alanları arasındaki basınç farkı arttıkça rüzgâr hızı artmakta iken basınç farkı azaldıkça, rüzgâr hızı azalmaktadır. Basınç farkı eşitlendiği takdirde ise rüzgâr hızı sifıra inmekte ve hava akımı durmaktadır.

Basınç merkezlerinin konumu; rüzgâr hızı, basınç alanları arasındaki mesafe ile ters orantılıdır. Aynı veya farklı yerlerdeki iki farklı basınç alanı arasındaki mesafe azaldıkça rüzgâr hızı artmaktayken, mesafe arttıkça, rüzgâr hızı azalmaktadır.

Yer şekilleri ve bitki örtüsü; hava akımı doğrultusunda sürtünmeyi artıracığından rüzgâr hızı ile ters orantılıdır. Rüzgârın karşısına çıkacak olan her engel, hava akımının geçişine engel olup, hızını azaltıcı yönde etki sağlayacaktır. Yeryüzünde, yer şekillerinin dağlık ve engebeli olması durumunda, rüzgâr hızı azalacaktır. Aynı şekilde bir bölgede bulunan bitki örtüsü çeşidi de sürtünme miktarına etki edeceğinden rüzgâr hızına etki eden faktörlerden biri olarak tanımlanmaktadır.

Dünya'nın günlük hareketi; yerkürenin yüzeyi üstünde hareket eden hava, Dünya'nın kendi eksenini etrafında dönmesi sonucu sapmalara uğramaktadır. Bu saptırma gücüne koriyolis (coriolis) kuvveti denir. Koriyolis (coriolis) kuvveti etkisinde rüzgârlar, Kuzey Yarımküre'de sağa, Güney Yarımküre'de sola sapmaktadır. Koriyolis (coriolis) kuvvet etkisi enleme bağı olarak değişmektedir. Ekvatorda olmayan bu kuvvet kutuplara gidildikçe artmaktadır.

Tablo 2. Beaufort (Bofor) rüzgâr şiddet çizelgesi. (Deniz, 2008)

BOFOR	Rüzgârın Tanımı	Açık ve Düz Alanda 10 m. Yükseklikteki Tanımlanmış Rüzgâr Hız Sınırları		Rüzgârın Yaptığı Etki
		Knot	m/sn	Karada
0	Sakin	1	0-0.2	Duman dikine yükselir.
1	Esinti	1-3	0.3-1.5	Rüzgârın yönü, dumanın sürüklenmesinden belli olur.
2	Hafif Rüzgâr	4-6	1.6-3.3	Rüzgâr, insan teninde hissedilir, yapraklar titreşir, rüzgârgülü harekete geçer.
3	Tatlı Rüzgâr	7-10	3.4-5.4	Rüzgâr, yaprakları ve ince dalları devamlı hareket ettirir. Bayrakları hafif dalgalandırır.
4	Orta Rüzgâr	11-16	5.5-7.9	Rüzgâr, toz ve kâğıt parçacıklarını uçurur, küçük dalları hareket ettirir.
5	Sert Rüzgâr	17-21	8.0-10.7	Yapraklı küçük ağaçlar sallanmaya başlar, iç sularda tepeli dalgacıklar oluşur.
6	Kuvvetli Rüzgâr	22-27	10.8-13.8	Büyük dallar sallanır, telgraf tellerinde ıslık sesi işitilir, şemsiye taşımak güçleşir.
7	Fırtınamsı Rüzgâr	28-33	13.9-17.1	Bütün ağaçlar sallanır. Rüzgâra karşı yürümek güçleşir.
8	Fırtına	34-40	17.2-20.7	Rüzgâr filizleri kırar ve rüzgâra karşı yürümek genellikle çok zordur.
9	Kuvvetli Fırtına	41-47	20.8-24.4	Zayıf yapıli binalarda hasar meydana gelir. Bacalar yıkılır, kiremitler uçar.
10	Tam Fırtına	48-55	24.5-28.4	Karada nadir olup, ağaçları kökünden söker, binalarda önemli zararlar yapabilir.
11	Çok Şiddetli Fırtına	56-63	28.5-32.6	Ender rastlanır ve geniş çapta hasarlara neden olur.
12	Harikeyn (Orkan)	64 ve daha fazla	32.7 ve daha fazla	-

1.4.5. Rüzgâr Yönüne Etki Eden Bazı Faktörler

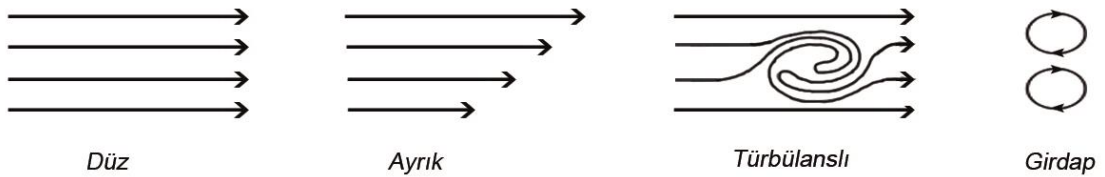
Dünyanın günlük hareketi; dünyanın kendi eksenini etrafındaki bu hareketi sonucu oluşan koriolis (coriolis) kuvvetleri etkisinde, rüzgârlar saparak yön değiştirmektedir. Hava akımı, Kuzey Yarım Küre’de sağa, Güney Yarım Küre’de sola saparak yön değiştirmektedir.

Basınç merkezlerinin konumu; rüzgârların oluşma nedeni olan basınç farkı, rüzgâr yönüne etki eden en temel faktördür. Rüzgâr her zaman yüksek basınç alanından alçak basınç alanına doğru esmektedir.

Yer şekilleri; rüzgârın esme yönünü etkilemektedir. Dağların uzanış biçimlerinin, vadiler, ovalar gibi yer şekillerinin rüzgârı yönlendirici etkisi vardır. Rüzgârlar genellikle, yer şekillerinin uzanış yönünde esmektedirler.

1.5. Rüzgârın Yapılara Etkisi ve Bina Aerodinamiği

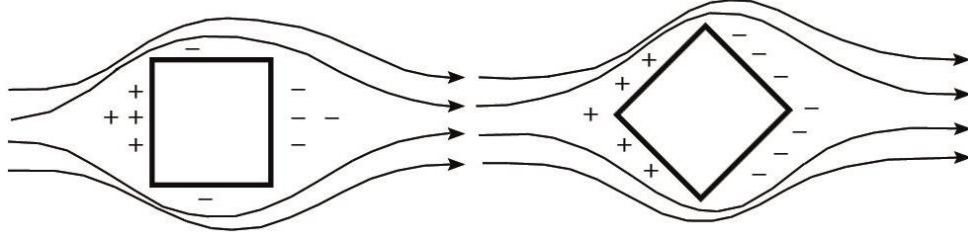
Hava akımı, karşısına çıkan engelle etkileşim içerisine girer. Rüzgârın karşısına çıkan herhangi bir yapı, rüzgâr-yapı etkileşimini doğurur. Ancak bir yapı üzerindeki rüzgâr etkisi, belli faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Yapının bulunduğu konum, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, rüzgâr çeşidi gibi faktörler, rüzgâr-yapı ilişkisinde oldukça önemlidir. Bununla birlikte yapının genel özelliklerinin, mimarisinin ve çevresindeki yapıların özelliklerinin de bu ilişkide etkisi vardır. Hava akımı yeryüzünde, düzgün, ayırık, türbülanslı ve girdap şeklinde görülebilmektedir (Şekil 3) (Yücel, 2010).



Şekil 3. Yeryüzünde oluşan hava akımları. (Tuncer, 2015)

Yüksek basınç alanından alçak basınç alanına doğru hareket eden rüzgârın karşısına çıkan bir engel -yapı gibi-, düzgün akan hava akımını, rüzgârın çeşidine ve yapısına da bağlı olarak çeşitli akımlara dönüştürebilmektedir.

Rüzgâr, yapının rüzgârı karşısına alan cephesinde pozitif basınç (itme) alanı oluştururken, yapının rüzgâra göre arkasında kalan cephesinde negatif basınç alanı (çekme) oluşturmaktadır. (Şekil 4) (Tuncer, 2015).

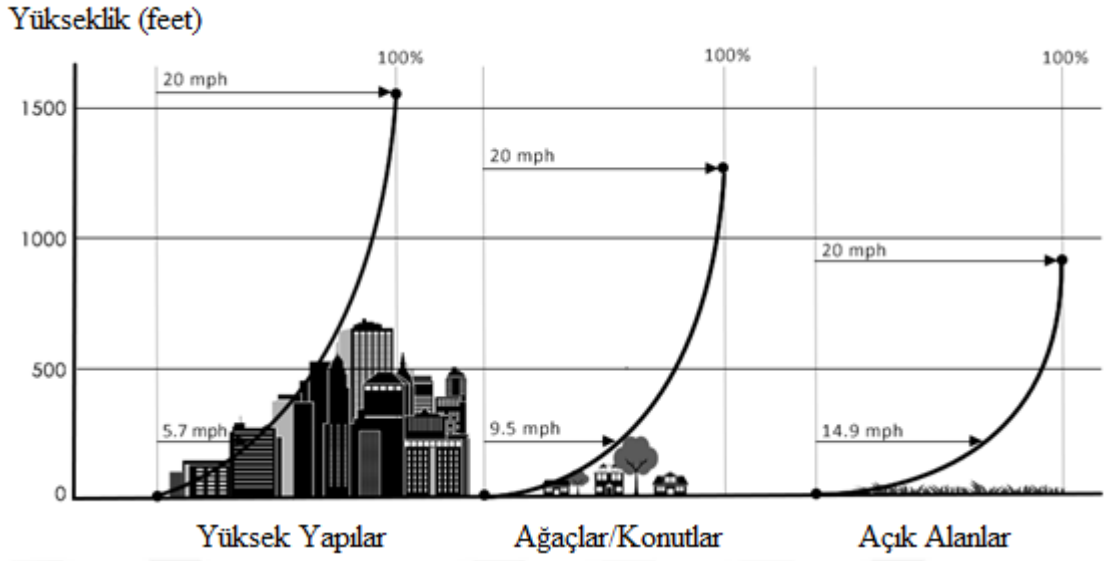


Şekil 4. Bir yapıya etkiyen rüzgârdan oluşan basınç alanları. (Tuncer, 2015)

Rüzgârın yapılar üzerinde statik ve dinamik olarak etkisi vardır. Statik yükler, bina üzerinde elastik bükülme ve burulma oluştururken, dinamik yükler, hareketlere, salınımlara neden olup, yapının her yerinde dalgalanan kuvvetler oluşturmaktadır. Daha uzun, ince yapılar, dinamik rüzgâr yükü tarafından daha belirgin şekilde etkilenmektedir. Dolayısıyla rüzgâr, yüksek yapıların tasarımında önemli bir parametredir. Az katlı yapılarda genelde rüzgâr yükü statik olarak dikkate alınırken, çok katlı yüksek yapılarda dinamik olarak ele alınmaktadır (Tozan, 2013).

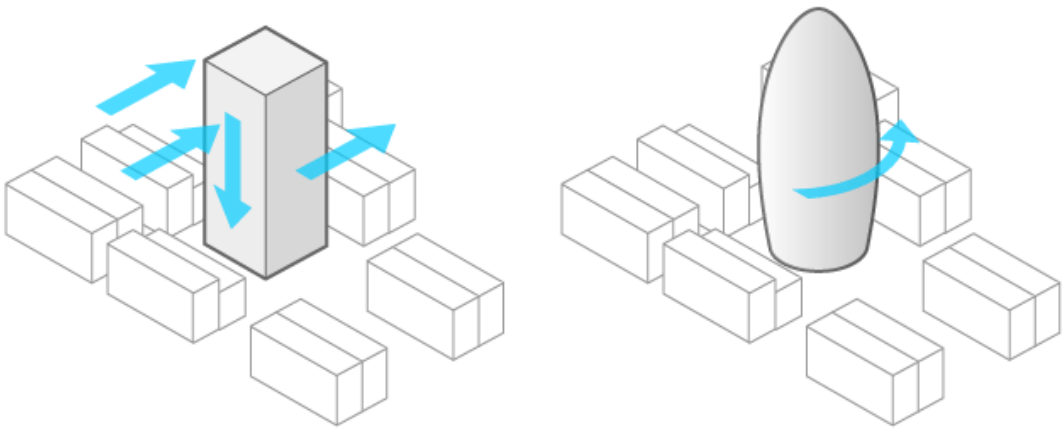
Yapının yüksekliği; genel olarak rüzgâr hızı, yüzeyden troposfer katmanının üstlerine doğru yükseldikçe artmaktadır. Bu eğilimi açıklayan çeşitli nedenler vardır. İlk olarak, özellikle orta enlemlerde basınç eğrisi yükseklik arttıkça artmaktadır (Şekil 5). İkinci olarak yüzey sürtünmesine bağlı olarak rüzgâr hızı değişmekte ve yükseklik artınca sürtünme azaldığından rüzgâr hızı artmaktadır. Üçüncü neden ise yükseklik artınca hava yoğunluğunun azalmasıdır. Hava yoğunluğu azaldığında, havayı hareket ettirmek için gereken kuvvet miktarı da azalmaktadır. Yoğun hava, onu daha az yoğun havayla aynı hızda taşımak için daha büyük bir kuvvet gerektirmektedir. Bunların sonucu olarak yapı yüksekliği ile birlikte artan rüzgâr hızı, yapı için önemli rüzgâr yükü etkisi oluşturabilmektedir.

Yapının konumu; rüzgârın etkimesinde önemli parametrelerden biridir. Yapının bulunduğu arazi şartları, yükseklik, çevresinde bulunan diğer yapılar ve yerleşim planı yapıya etkileyecek rüzgârın hızını, yönünü ve şiddetini etkileyecektir.



Şekil 5. Yüksekliğe bağlı rüzgâr hızı değişimi. (URL-2, 2019)

Yapının mimarisi; rüzgârın direkt olarak etkiyeceği yüzeyi oluşturduğundan önemli bir parametre olarak bilinmektedir. Yapıda bulunan boşluklar, kemer, balkon, gölgelik, podyum gibi mimari detaylar rüzgârın etkimesini ve rüzgârın engele çarptıktan sonraki yönünü etkilemektedir (Şekil 6). Yapının konumu, bölgede oluşan hava akımı, yapı etrafında oluşan hava akım şekilleri ve bu hava akımlarının sonucunda yapıya etki edecek olan rüzgâr yükleri, yapı tasarımında önemli faktörler olarak bilinmektedir.



Şekil 6. Yapının mimarisine bağlı rüzgâr etkisi. (URL-3, 2019)

1.5.1. Rüzgârın Yüksek Yapılar Üzerindeki Etkisi

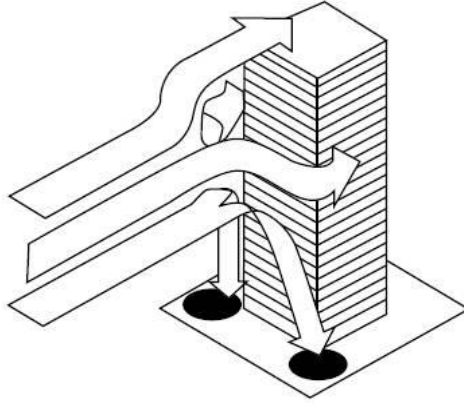
Tarih boyunca, yüksek yapılar çeşitli amaçlarla, farklı malzemelerle ve şekillerde yapılmıştır. Mısırlılar Piramit, Mezopotomyalılar Ziggurat ve Çinliler çeşitli tapınak yapılarıyla yüksek yapıların ilk örneklerini vermişlerdir. İlk yüksek yapılar daha çok simgesel yapılar olarak bilinmektedir. Modern çağın ilk yüksek yapı örneği, Avrupa'da inşa edilen Eiffel Kulesi olmuştur. 19.yy ortalarında meydana gelen teknolojik gelişmeler sonucu ilk gökdelen örnekleri Chicago ve New York'ta inşa edilmiştir. Nüfusun gittikçe artması, kent merkezlerinde boş alanların daralması ve insanoğlunun gittikçe artan yüksek yapı merakı ile yüksek yapılar gittikçe yaygınlaşmaya başlamıştır. ABD'de başlayan bu etki gittikçe tüm dünyaya yayılmıştır (Tuncer, 2015).

İlk yapılan yüksek yapıların az katlı olması ve kullanılan malzeme gereği düşük yükünün fazla olması, yatay olarak etkiyen rüzgâr etkisini önemsizleştirmiştir. Ancak teknolojik gelişmelerle, zamanla gelişen malzemeler, taşıyıcı sistem gelişmeleri, daha hafif ve daha yüksek yapıların ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bununla birlikte yüksek ve hafif yapılar oluşturmak başka sorunları da beraberinde getirmiştir. Yükseklikle birlikte artan rüzgâr hızı ve dolayısıyla etkisi, yüksek yapılar için önem teşkil etmiştir. Yapıya dinamik yük olarak etkiyen deprem yükünün yanı sıra yüksek yapılarda, yatay olarak etkiyen rüzgâr yükünün de önemi ortaya çıkmıştır.

Yüksek yapıların yaygınlaşması, bu yapılara etkiyen aerodinamik etkilerin incelenmesinin önemini arttırmaktadır. Yüksek yapıların belirli bölgede yoğunlaşmasıyla, rüzgâr bu yapı topluluğunda her bir yapıyı farklı şekilde etkileyebilmektedir. Farklı yönde ve farklı hızlarda gerçekleşen bu etki sonucunda, yapılar birbirleri üzerinde, rüzgâr etkisinden kaynaklı yük oluşturabilmektedir. Bunun yanı sıra, yüksekliği az olan yapıların, yüksek yapılardan ne derece etkilendiği de bir önem arz etmektedir. Yüksekliği az binalarda ve çevresinde bulunan insanların, yüksek yapıların çevresindeki düzensizliklerden dolayı olumsuz etkiler altında kalması, insanların sağlık durumunu etkileyeceğinden, yüksek yapılar üzerindeki yük analizleri, sadece bu yapılar için değil, aynı zamanda kendi çevresi ve çevresindeki yapılar için de önemlidir. Bütün bu etkiler göz önüne alındığında, yüksek yapılar üzerine etkiyen aerodinamik etkilerin incelenmesinin önemi, birden fazla alanda insanları ilgilendirmektedir (Kanbur vd., 2015).

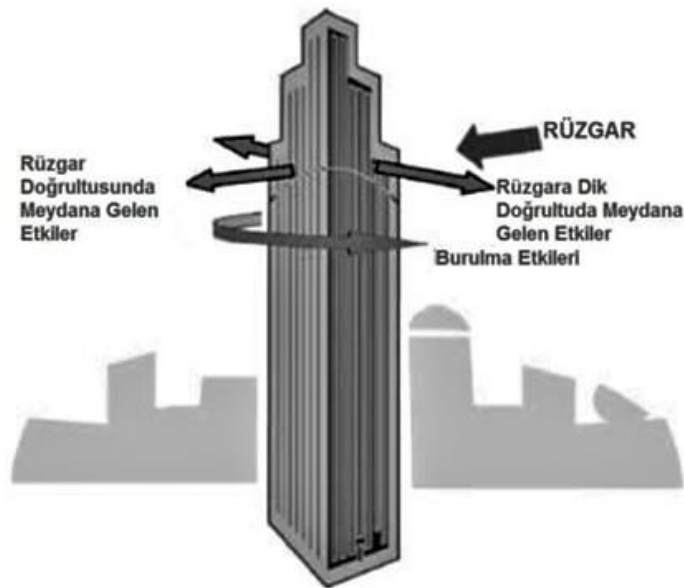
Hava akımının karşısına çıkan bir yapı ya da yapı grubu birbirleriyle belli bir etki-tepki etkileşimi doğurur. Yapı, rüzgârı karşısına alan cephesiyle rüzgârı karşılar. Rüzgâr, cephe

büyükülüğüyle doğru orantılı olarak etki gösterir. Yapı cephesine çarpan rüzgâr, engeli aşırp doğrultusunda devam etmek için yapının diğer cephelerine dağılır. Bu esnada rüzgârın yapısına, yapının mimarisine ve çevre koşullarına bağlı olarak farklı şekillerde hava akımları oluşmaktadır (Şekil 7).

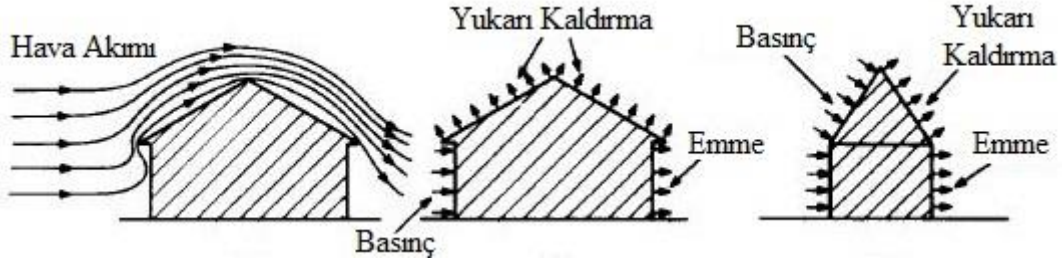


Şekil 7. Yüksek bir yapı etrafında oluşan hava akımları.
(Katayoon ve Seyedinnoor, 2013)

Rüzgâr, yüksek bir yapıya temel olarak üç farklı şekilde etki edebilir (Şekil 8). Bu etkiler, rüzgâr yönünde meydana gelen etki, rüzgâr yönüne dik doğrultuda meydana gelen etki ve burulma etkisi olarak bilinmektedir (Özlek, 2015).



Şekil 8. Rüzgârın yüksek bir yapıda etkisi. (Özlek, 2015)



Şekil 10. Yüksekliği az olan yapılarda oluşan basınç ve emme etkisi. (URL-4, 2019)

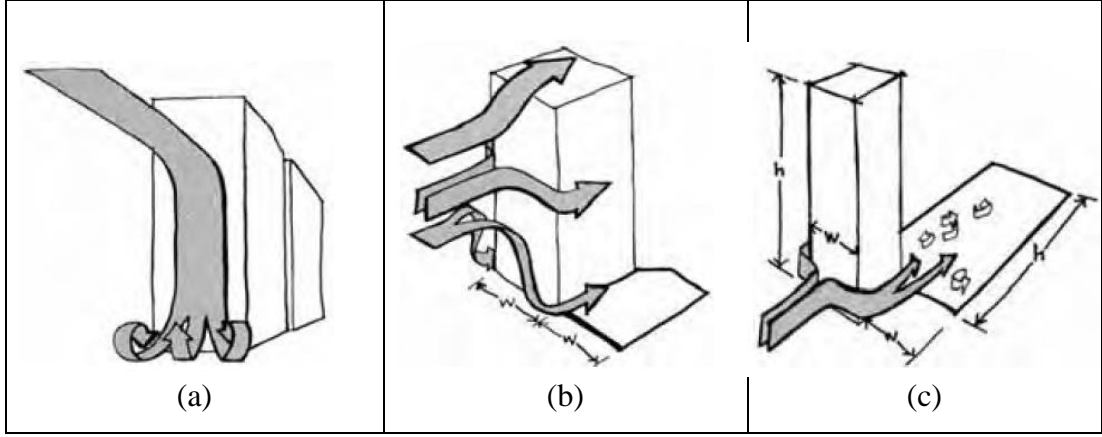
1.5.3. Tekil Yapılar Üzerindeki Rüzgâr Etkisi

Tekil yapılar üzerindeki rüzgâr etkileri aşağıda verilmektedir (Şekil 11) (Gürses, 2012) (URL-5, 2019).

- **Aşağı Akım Etkisi:** Yükseklik ile birlikte hızı artan rüzgâr, yüksek bir yapı engeline, yapının rüzgârı karşılayan yüksek kısımlarında, yapının tabanına göre daha yüksek basınç oluşturmaktadır. Bu durumda, yukarıdaki hava kütleleri tabandaki hava kütlelerine basınç uygulayıp aşağıya doğru hareket etmektedir (Şekil 11-a). Bu hareket sonucu, zemin seviyesinde yayalar da etki görebilmektedir. Yüksek yapı tasarlarken, rüzgârı karşılayan yüzeyin olabildiğince küçük alanlı olması önerilmektedir. Yüzey alanı büyüdükçe aşağı akım etkisi de artmaktadır.
- **Köşe Etkisi:** Yapı köşelerinde beklenmedik rüzgâr hızı artışı görülebilmektedir. Hızı yüksek düzeylere ulaşan rüzgârın oluşturduğu basınç ile hava kütlelerinin yapının köşelerine hareket etmesiyle oluşmaktadır (Şekil 11-b).
- **Girdap Etkisi:** Girdap etkisi genellikle aşağı akım ve köşe etkisi sonucu oluşmaktadır. Binaların köşelerinde meydana gelen rüzgâr hızı artışı girdap etkisi oluşturabilmektedir (Şekil 11-c).
- **Alçak Sıra-Yapı Etkisi:** Alçak ancak geniş yüzeyi olan yapılarda görülmektedir.

1.5.4. Yapı Grubu Üzerindeki Rüzgâr Etkisi

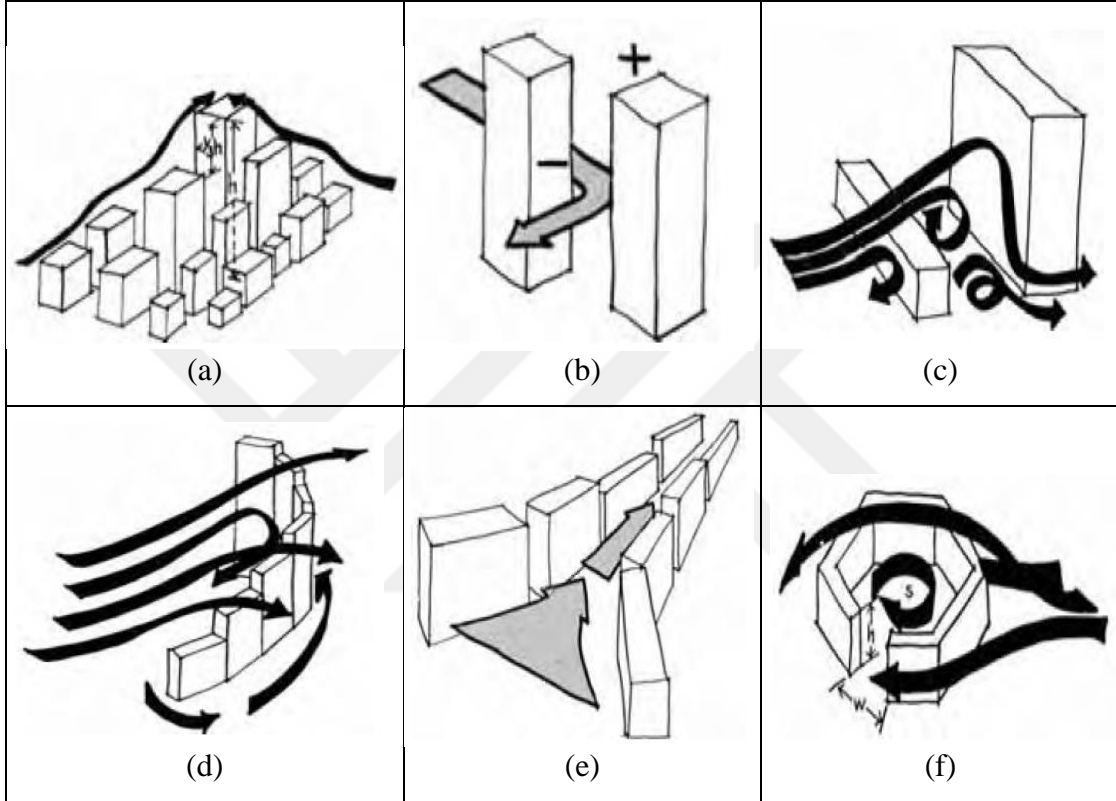
Bir yerleşim yerinde yapılar gruplar halinde yer alabilmektedir. Dolayısıyla da yapı grubu üzerindeki rüzgâr etkisi farklı olmaktadır. Bu etkiler aşağıda verilmektedir (Şekil 12) (URL-5, 2019).



Şekil 11. (a) aşağı akım etkisi, (b) köşe etkisi, (c) girdap etkisi. (URL-5, 2019)

- **Kümülatif Etki:** Bir yapı grubunda, yapıların üstünden geçen rüzgârın birleşerek hızlarını artırmasıyla oluşan etkidir. Genelde bu etki, merkezde bulunan yapının, çevredeki yapılardan üç kat daha yüksek olduğu durumlarda gözlenmektedir (Şekil 12-a).
- **Çapraz Yapı Etkisi:** Sıra yapılarda gözlemlenen bu etki, rüzgâr yönü ve yapı boyutuna bağlı olarak oluşmaktadır. Çapraz yapı etkisi, yapılar arasında koruyucu etki oluşturabilirken, olumsuz çevre koşulları da oluşturabilmektedir. Yapı cephesine doğru hareket eden rüzgâr, cephede oluşan basıncı artırmakta ve basıncı az olan bölgeye doğru hareket etmektedir (Şekil 12-b).
- **Alçak ve Yüksek Yapı Etkisi:** Sıralı şekilde alçak ve yüksek yapıların bulunduğu yerlerde görülmektedir. Aşağı akım ve alçak sıra-yapı etkisinin birleşmesi sonucuyla oluşmaktadır. Bu etki, rahatsız edecek seviyede çevresel etki oluşturabilmektedir (Şekil 12-c).
- **Basamak Etkisi:** Sırasıyla yükselen sıra yapılarda oluşan etkidir. Farklı yükseklikteki yapılara çarpan rüzgâr, rüzgârın geldiği cephenin karşı cephesinde farklı düşük basınçlar oluşturarak hareketine devam eder. Aşağı akım etkisiyle komşu binalara paralel bir şekilde de hareket edebilmektedir (Şekil 12-d).
- **Kanal Etkisi:** İki veya daha çok yapının birbirine göre keskin şekilde konumlandırılmasından dolayı kaynaklanmaktadır. Bu konumlandırma bir huniye benzetilecek olursa, rüzgâr geniş alandan dar alana doğru hareket etmektedir. Dar alanda basıncın artmasıyla, rüzgâr rahatsız edici seviyede etkisini gösterebilmektedir (Şekil 12-e).

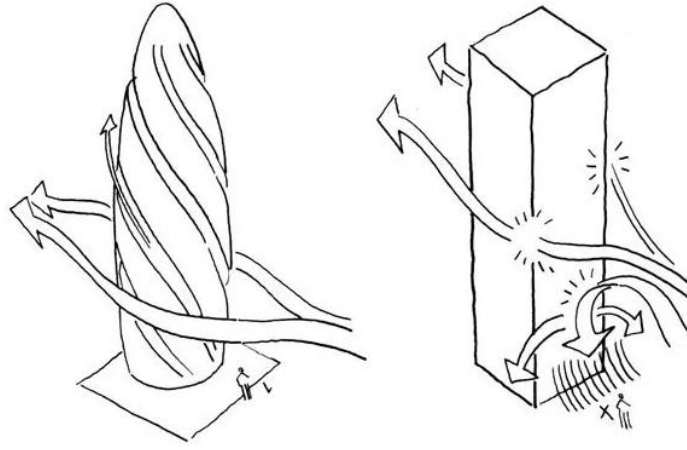
- Avlu Etkisi: Bu etki, yapıların kümelenmesiyle ya da ortasında geniş avlu olan yapı topluluklarında görülür. Rüzgâr, avlu boşluğunu aşıp yukarıdan devam edebilmekte veya avlu içine girerek etki gösterebilmektedir. Bu etki, yapı konumuna, mimarisine, rüzgâr şekli ve yönüne bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Şekil 12-f).



Şekil 12. Yapı grubu üzerindeki rüzgar etkisi, (a) kümülatif etki, (b) çapraz yapı etkisi, (c) alçak ve yüksek yapı etkisi, (d) basamak etkisi, (e) kanal etkisi, (f) avlu etkisi. (URL-5, 2019)

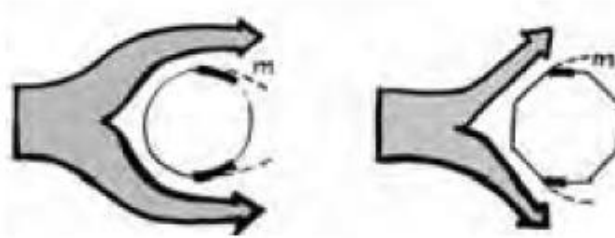
1.5.5. Yapı Şekline Bağlı Rüzgâr Etkisi

Yapının şekline, mimari detaylarına göre hava akımının hareketi ve etkisi de farklılık gösterir. Öncelik olarak yüksek yapılarda olmak üzere yapıların mimarisinde, rüzgârın etkisini göz önüne almak gerekmektedir (Şekil 13).



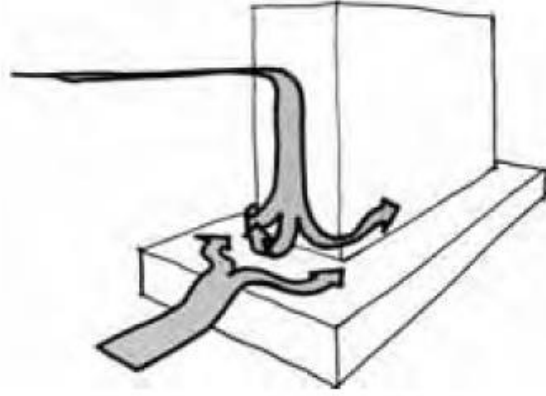
Şekil 13. Yapı şekline bağlı rüzgâr etkisi. (URL-6, 2019)

- Dikdörtgen Yapılar: Çevremiz de en çok karşılaşılan ve tercih edilen dikdörtgen mimarili yapılar, rüzgârın birden çok etkisine maruz kalmaktadır. Sıkça tercih edilen bir mimari olduğundan rüzgârın yapabileceği etki (aşağı akım etkisi, köşe etkisi, girdap etkisi) ve buna karşın alınabilecek önlemler için araştırmalar mevcuttur (URL-5, 2019).
- Çok Kenarlı Yapılar: Dairesel ya da çok kenarlı yapılar, rüzgârın yapı etrafından rahatlıkla geçmesine olanak vermektedir. Rüzgârın karşısına çıkan keskin hatları olan dikdörtgen bir yapı, rüzgârdan daha fazla etkilenmektedir. Ancak dairesel bir yapıda rüzgâr yapının etrafına yayılır ve yapıyı arkasında bırakarak devam etmektedir, dolayısıyla da etkisi daha az olmaktadır (Şekil 14) (URL-5, 2019).



Şekil 14. Çok kenarlı yapılar üzerindeki rüzgâr etkisi. (URL-5, 2019)

- Podyum Kule Yapılar: Yapı etrafında yeterli alan varsa ve tasarım şartlarına uygunluk sağlanıyorsa podyum yapılması tercih edilebilmektedir. Podyum, aşağı akım etkisini azaltmaktadır (Şekil 15) (URL-5, 2019).



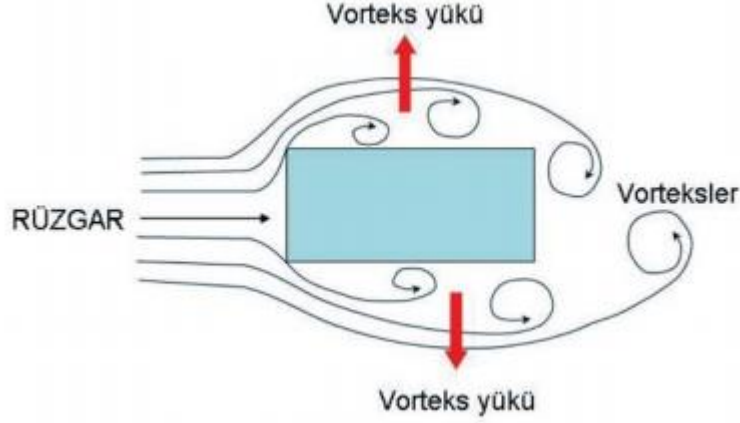
Şekil 15. Podyum kule yapıları üzerindeki rüzgâr etkisi.
(URL-5, 2019)

1.5.6. Rüzgârın Yapılardaki Dinamik Etkileri

1.5.6.1. Vorteks Etkileri (Girdap Kopmaları)

Akışkanlar dinamiğinde, vorteks etkileri, hava veya su gibi bir akışkanın, cisim gövdesinin boyutuna ve şekline bağlı olarak belirli hızlarda, akışkanın, cisim yüzeyini takip etmeden, cismin aerodinamiği aksine hareket ederek gerçekleşen akış ile oluşmaktadır. Genellikle bu etki, yüksek yapılarda meydana gelmektedir. Yükseklik ile artan rüzgâr hızı, rüzgârı karşısına alan yapı engeline çarptığında yan cephelere ayrılmaktadır. Yan cephelerden geçen hava akımı, rüzgâr yönünde vorteks etkileri oluşturmaktadır (Şekil 16). Vorteks etkilerinden oluşan yükler, çok belirgin ve dar bir frekans bandında etki ettiği için sinüzoidal şeklindedir. Düşük rüzgâr hızlarında, yapının yan cephelerinde, periyodik ve simetrik olarak varlığını göstermektedir. Bu durumda, yükler simetrik etki edeceğinden birbirini etkisiz hale getirir ve bu etki göz ardı edilebilir. Ancak vorteks etkisinde oluşan yük, yüksek rüzgâr hızlarında, yapının yan cephelerinde farklı zamanlarda farklı etki bırakmaktadır. Dolayısıyla simetrik olmayan yükler oluşmakta ve birbirlerini etkisiz hale getirememektedir. Bu durumda binanın yan cephelerinde dönüşümlü düşük basınç alanları

oluşmakta ve dalgalı bir enine yük meydana gelmektedir. Bu etki, binanın düşük basınç alanına doğru hareket etmesine neden olmaktadır. Vorteks etkisinin oluşup oluşmayacağı rüzgâr tüneli deneyleriyle anlaşılabilir (İYBRY, 2009).



Şekil 16. Vorteks etkisi. (İYBRY, 2009)

Vorteks etkisi altında oluşan yükün frekansı, binanın rüzgâra dik doğrultudaki doğal frekansına yaklaştıkça büyük genlikli titreşimler oluşturabilmektedir. Yapı yüksekliği arttıkça yapının doğal frekansı düşmekte ve girdap kopmalarının frekansına yaklaşmaktadır. Bunun sonucu olarak, yapıda rezonans hareketi artmakta ve yapının buna olan deplasman cevabı giderek artmaktadır (Gürses, 2012).

1.5.6.2. Galloping (Dörtnala) Etkisi

Bu etki, yapının hareketi ile aerodinamik kuvvetler nedeniyle, esnek yapılarda kendiliğinden oluşan çapraz rüzgâr titreşimleridir. Düşük frekanslı, rüzgâr kaynaklı bir salınımdır. Genellikle kablolarda görülen bir durumdur. Kablo üzerinde buz olması durumunda, kablonun aerodinamik dengesi değişeceğinden bu etki tetiklenebilmektedir. Kablolarda bu etki nedeniyle 1 metreyi aşan genlikler oluşabilmektedir.

1.5.6.3. Rüzgâr Kuyruğu Etkileri

Yüksek yapılarda görülen bu etki, yüksek bir yapının arkasında bulunan yapılarda meydana gelmektedir. Yüksek yapılar, önlerinde bulunan yapının veya yapıların, hava akımına yaptığı etkiler sebebiyle ek olarak türbülans etkilerine maruz kalabilmektedir. Bu etkiler ‘Rüzgâr Kuyruğu Etkileri’ olarak adlandırılmaktadır. Yapıların konumları ve çevre planlaması bu etki için önemler faktörlerdir. Rüzgâr kuyruğu etkileri, iki yapı arasında bulunan mesafeye göre dikkate alınmaktadır. Bu etki rüzgâr tüneli deneyleri ile anlaşılabilir (İYBRY, 2009).

1.5.7. Rüzgâr Tüneli Deneyi

Rüzgâr tüneli, hava akımının katı cisimler üzerindeki etkisini araştırmak için kullanılan bir deney düzeneğidir (Şekil 17). Deney düzeneği içerisine yerleştirilen gerçek boyutlu veya küçültülmüş cisimlere, fan desteğiyle hava akımı uygulanmaktadır. Hava hızı ve havanın uyguladığı basınç, rüzgâr tünellerinde çeşitli şekillerde ölçülebilmektedir. Hava hızı, bernoulli ilkesi ile belirlenmektedir. Deney düzeneğine yerleştirilen cisim üzerindeki sensörler ve hava akışı boyunca küçük deliklere yerleştirilen manometre tüpleri sayesinde, aerodinamik kuvvetler, basınç dağılımı ve diğer hava akımı özellikleri belirlenmektedir (Chanetz, 2017).

Rüzgâr tünelleri ilk olarak 19. yüzyıl sonlarında, hava taşıtlarının aerodinamik biçimlerinin belirlenmesi ve denetiminde kullanılmıştır. Havacılık sektörünün gelişmesiyle, rüzgâr tünelleri daha da gelişmiştir. Bu gelişmeler sonucunda, günümüzde birçok sektörde kullanılan ve araştırmalar yapılan deney düzeneği haline gelmiştir (Chanetz, 2017).

Rüzgâr tüneli deneyi sonucunda, gerçeğe yakın değerler almak için deney düzeneğinin iyi planlanmış olması gerekmektedir. Olabildiğince gerçek durum ile benzer koşullar sağlanmalıdır. Benzerlik parametrelerinin seçimi, testin amacına bağlıdır. Ancak en önemli parametreler aşağıda verilmektedir.

Geometrik benzerlik: Nesnenin tüm boyutları orantılı olarak ölçeklendirilmelidir.

Mach Sayısı: Hareket hızı ile ses hızı arasındaki oran, ölçekli model ve gerçek nesne için aynı olmalıdır.

Reynold Sayısı: Atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranı.



Şekil 17. Örnek bir rüzgâr tüneli deney düzeneği. (URL-7, 2019)

1.5.8. Rüzgâr Etkisiyle Oluşan Hasar Örnekleri

Katrina Kasırgası, Amerika’da meydana gelmiş en yıkıcı kasırgalarından biridir (Şekil 18). Kasırğa, 23 Ağustos 2005 ile 31 Ağustos 2005 tarihleri arasında etkisini göstermiştir. Başta New Orleans olmak üzere, birçok bölgede büyük hasarlara sebep olmuştur. Kasırganın merkezindeki hız, yaklaşık olarak 166 km/saat ölçülmüştür. Katrina Kasırgası, yüksek rüzgâr hızının, sadece yüksek yapılar için değil yüksekliği az olan yapılar için de hatta tüm çevre için olumsuzluklar yaratabileceği görülen bir afet olmuştur. Kasırganın maddi zararının yaklaşık olarak, 108 milyar dolar olduğu belirtilmektedir.

Andrew Kasırgası, Amerika’nın Louisiana eyaletinde, başta Florida olmak üzere geniş bir bölgede hasara neden olmuştur (Şekil 19). 16 Ağustos 1992’de başlayan kasırğa 28 Ağustos 1992 tarihinde etkisini yitirmiştir. Kasırğa hızı, 270 km/saat olarak ölçülmüştür. Kasırğa, yaklaşık olarak, 180 bin insanın evsiz kalmasına ve 101 binden fazla konutta büyük hasarlara neden olmuştur. Bunun yanı sıra Andrew Kasırgası, 65 kişinin yaşamına mal olmuştur. Bu anlamda şiddetine göre can kaybı oldukça az olmuştur. Kasırganın maddi zararının yaklaşık olarak, 27 milyar dolar olduğu belirtilmektedir (Peacock vd., 2012).



Şekil 18. Katrina Kasırgası'nın verdiği hasarlar ile ilgili bir görüntü. (URL-8, 2019)



Şekil 19. Andrew Kasırgası'nın verdiği hasarlar ile ilgili bir görüntü. (URL-9, 2019)

Tacoma Narrows Köprüsü, 1940 yılında, Washington'daki Puget Haliç'inin üzerine inşa edilen bir asma köprüdür. Köprü ayakları arası açıklık 853 metre olmasına rağmen köprü genişliği 11.9 metredir. Köprünün düşük hızlı rüzgârlarda bile (6-7 km/saat) salınım yapması nedeniyle, halk tarafından köprüye "Galloping Gertie" ismi verilmiştir (Şekil 20). Tacoma Narrows Köprüsü, 140 km/saat gibi bir rüzgâra dayanabilecek şekilde tasarlanmıştır. Ancak 7 Kasım'da çok kuvvetli olmayan (yaklaşık 67 km/saat) bir rüzgârdaki rezonansa girmiş ve kaza meydana gelmiştir. 0.6 Hz frekansla 0.5 metre aşağı-yukarı salınım yapmaya başlayan köprü, ardından burulma hareketi yapmaya başlamıştır. Köprü kablolarında galloping etkisi görülmeye başlanmıştır. Rüzgârın şiddetinin artmasıyla giderek artan salınımların frekansı, köprünün öz frekansı ile eşitlenmiş ve köprü parçalanmıştır. Tacoma Narrows Köprüsü, mühendislik açısından bir dönüm noktası olmuştur. Bu olaydan sonra rüzgâr kuvvetlerinin etkisinin önemi görülmüştür. 1950 yılında tekrar inşa edilen bu köprüde önceden yapılan hatalar giderilmiş, boşluklu kirişler kullanılarak rüzgâr akışı sağlanmıştır (URL-10, 2019).



Şekil 20. Tacoma Narrows Köprüsü'nün rüzgâr etkisi altında aldığı hasardan bir görüntü. (URL-11, 2019)

Trabzon Araklı ilçesinde, çelik kafes kule olan baz istasyonu rüzgar ve kar etkisi nedeniyle yıkılmıştır (Şekil 21).



Şekil 21. Rüzgâr ve kar etkisi nedeniyle yıkılan kafes tipi çelik kule

Amerika'nın Texas eyaletinde yaklaşık 24 m/sn rüzgar hızında yıkılan çelik kule Şekil 22'de verilmiştir.



Şekil 22. Rüzgâr etkisiyle yıkılan çelik kule. (URL-12, 2019)

Amerika'nın Missouri eyaletinde, yaklaşık 600 metre yüksekliğindeki televizyon kulesi, çapraz elemanların bakımı sırasında yıkılmıştır (Şekil 23).



Şekil 23. Bakım sırasında yıkılan televizyon kulesi. (URL-13, 2019)

1.6. Rüzgâr Etkisi ile İlgili Yönetmelikler

1.6.1. TS498'e Göre Rüzgâr Etkisi

Türk Standartları Enstitüsü tarafından İnşaat Hazırlık Grubu'nca hazırlanmış, 1987 yılında yayınlanmış 'Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesabı' adlı standart, bina, hastane, okul, spor tesisleri gibi çoğu yapıları kapsayan, yapılardaki taşıyıcı elemanların boyutlandırılmasında esas alınacak yüklerin hesap değerlerini ve yöntemlerini içermektedir (TS498, 1997).

Rüzgâr ve rüzgâr yükü ile ilgili maddeler TS498'in 11. maddesinde yer almaktadır. Rüzgâr yükü hesaplaması bütün yapılar için geçerlidir, ancak ayrı standartları olan yapılar (Yüksek bacalar, radyo ve yayın kuleleri vs.) için geçerli değildir.

TS 498'e göre rüzgâr yükü, yatay olarak kabul edilip, statik olarak her yöndeki en büyük değeri olarak alınmaktadır. Rüzgâr yükü hesabı yapının geometrisine bağlı olup, basınç, emme ve sürtünme etkileri birleştirilerek hesaplanmaktadır. Bir yapının rüzgâr yükü

bileşkesi çeşitli parametrelere bağlı olarak hesaplanmaktadır. Bu parametreler; aerodinamik yük katsayısı (C_f), emme (hız basıncı, q), etkiyen yüzey alanı (A) şeklindedir.

Rüzgâr yükü bileşkesi,

$$W=C_f.q.A \text{ (kN)} \quad (1)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Bu bağıntıda, aerodinamik yük katsayısı (C_f), rüzgâr tüneli deneyi ile belirlenmektedir. Emme (hız basıncı, q), rüzgâr hızına (m/sn) bağlı olarak aşağıda verildiği gibi hesaplanır.

$$q = \frac{\rho v^2}{2g} \quad (2)$$

Bu bağılantıda, hava yoğunluğu $\rho = 1,25 \text{ m}^3$ alınır, bağılantı(2),

$$q = \frac{v^2}{1600} \quad (3)$$

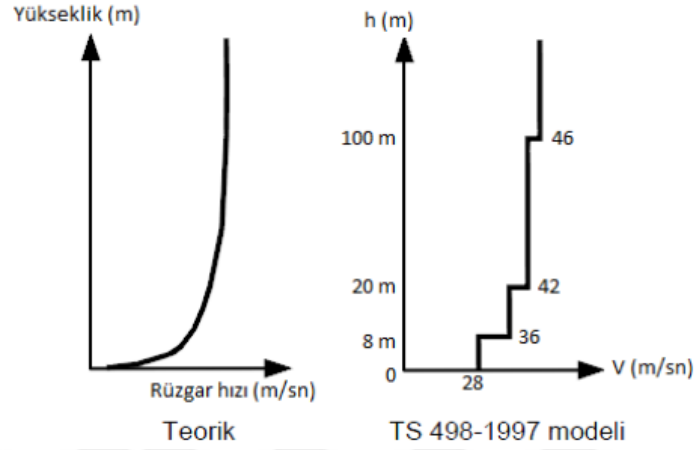
şekline gelmektedir.

TS498'de yükseklik aralıkları ile birlikte rüzgâr hızı ve bunlara bağlı olarak rüzgâr basıncı Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. TS498'de yüksekliğe bağlı olarak değişen rüzgâr hızı ve rüzgâr basıncı

Zeminden yükseklik, h (m)	Rüzgâr hızı (m/sn)	Rüzgâr basıncı (kN/m ²)
0-8	28	0.5
9-20	36	0.8
21-100	42	1.1
>100	46	1.3

TS498'de yükseklik aralıklarına bağlı olarak rüzgâr hızı ve emme (hız basıncı) sabitleştirilmiştir. Teorik olarak rüzgâr hızı yükseklik ile doğru orantılı parabolik olarak artarken, TS498'de belli yükseklik aralıkları sabit değerler ile karşılanır (Şekil 24).

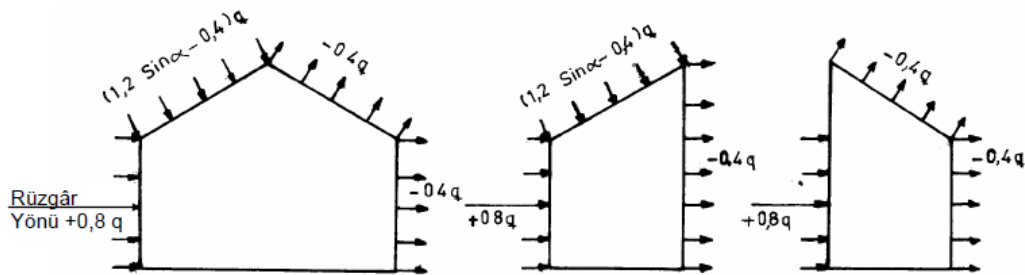


Şekil 24. Rüzgâr hızının yüksekliğe bağlı teorik olarak değişimi ve TS498'de yer alan model. (Gürses, 2012)

Yapı üst yüzeyine etki eden rüzgâr basıncı (w), belli parametrelere göre belirlenir. Bu parametreler; rüzgâr basıncı (q , kN/m^2), emme katsayısı (C_p) olmak üzere rüzgâr basıncı (w):

$$w = C_p \cdot q \quad (\text{kN/m}^2) \quad (4)$$

bağlantısı ile hesaplanır. Burada C_p , dikkate alınan yüzey için çeşitli esiş yönüne bağlı olarak belirlenmektedir (Şekil 25). Rüzgâr basıncı, yapı yüzeyine dik olarak etki etmektedir.



Şekil 25. TS498'de yapı yüzeyine göre değişen C_p katsayısı

1.6.2. EUROCODE 1-4 Yönetmeliğine Göre Rüzgâr Etkisi

Avrupa Birliği ülkelerinde, yapısal tasarımın nasıl yürütüleceğini gösteren ve ortak bir yaklaşım sağlayan bir Avrupa standartıdır. Binalarda ve diğer inşaat mühendisliği yapılarında rüzgâr etkileri bu standardın 1-4 bölümünde incelenmektedir. Yüksekliği en fazla 200 m olan binalar ve inşaat mühendisliği yapıları, dinamik tepki kriterini sağlaması şartıyla 200 m'den daha az açıklıklı köprülerde geçerlidir. Bina veya herhangi bir inşaat mühendisliği yapısındaki rüzgâr etkilerini incelemek için yapının konumu, meteorolojik veriler ve bu verilerin doğruluğu, arazi yapısı gibi bilgilerin bilinmesi gerekmektedir (Eurocode 1-4, 2005).

1.6.2.1. Kullanılan Kavramlar

1.6.2.1.1. Temel Rüzgâr Hızı (V_b)

Yılın herhangi bir zamanından ve rüzgârın yönünden bağımsız olarak, en az engel yüksekliğinin 20 katı kadar mesafe bulunan engellere sahip açık arazide, 10 metre yukarıdaki karakteristik 10 dakikalık ortalama rüzgâr hızıdır. Temel rüzgâr hızı belli parametrelere bağlı olarak hesaplanır. Bu parametreler; yön katsayısı (c_{dir}), mevsim katsayısı (c_{season}) ve esas rüzgâr hızının temel değeri ($V_{b,0}$) olmak üzere temel rüzgâr hızı (V_b),

$$V_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot V_{b,0} \quad (5)$$

bağıntısı ile belirlenir. Bu katsayılar ile ilgili bilgiler yönetmelikte eklerde belirtilmiştir. c_{dir} ve c_{season} katsayısı için önerilen değer ise 1.0'dır.

1.6.2.1.2. Ortalama Rüzgâr Hızı ($V_{m(z)}$)

Arazi engebелiliğine, orografik özelliklerine ve esas rüzgâr hızına bağlı olarak bir arazide $z(m)$ yükseklikteki ortalama rüzgâr hızı ($V_{m(z)}$),

$$V_{m(z)} = c_{r(z)} \cdot c_{0(z)} \cdot V_b \quad (6)$$

bağıntısı ile belirlenir. Bu bağıntıda, $c_{r(z)}$, engebелilik katsayısını, $c_{0(z)}$, orografi katsayısını ve V_b , esas temel rüzgârı göstermektedir. Orografi katsayısı ($c_{0(z)}$) için tavsiye edilen değer ise 1.0'dır. Engebелilik katsayısı ($c_{r(z)}$), yapının bulunduğu konumdaki yerden yüksekliği, yapının rüzgârı karşısına aldığı yönde yani rüzgârın estiği yöndeki arazi engebелiliğine bağlı olarak ortalama rüzgâr hesabında kullanılan değişkendir. Engebелilik katsayısını belirlerken, $z(m)$ yüksekliği için logaritmik hız profili kullanılmakta ve aşağıda verilen bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$c_{r(z)} = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right), \quad z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \quad (7)$$

Rüzgârın geldiği yöndeki engebелiliği düzgün dağılımlı olanın profil yeterliliği kararlı şekilde sağlamaya yeterli uzunlukta olması durumunda aşağıdaki eşitlik geçerlidir.

$$c_{r(z)} = k_r \cdot (z_{\text{en küçük}}) \quad (8)$$

Burada z_0 , engebелilik uzunluğu, k_r ise engebелilik uzunluğuna bağlı arazi katsayısını göstermektedir. Arazi katsayısı (k_r), aşağıdaki eşitlik yardımıyla aşağıda verildiği gibi hesaplanır.

$$k_r = 0.19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0.07} \quad (9)$$

Burada $z_{0,II}$, aşağıda verilen Tablo 4'de arazi kategorisi II'ye göre 0.05 olarak alınmaktadır. $z_{\text{en küçük}}$, Tablo 4'deki gösterilen en küçük değerdir, $z_{\text{en büyük}}$ ise 200 m olarak alınmalıdır. z_0 ve $z_{\text{en küçük}}$ arazi kategorisine bağlı parametreler olup Tablo 4'de tavsiye edilen değerleri verilmiştir.

Tablo 4. EUROCODE 1-4'e göre arazi kategorileri ve buna bağlı parametreler

Arazi kategorisi	z_0 m	z_{en} küçük m
0 Açık deniz etkisine maruz deniz veya kıyı alanı	0.003	1
I Göller veya ihmal edilebilecek seviyede bitki örtüsü olan ve engebeli olmayan düz ve yatay alan	0.01	1
II Çayır gibi az seviyede bitki örtüsü olan ve aralarında en az engel yüksekliğinin 20 katı kadar mesafe bulunan engellere (ağaçlar, binalar) sahip alan	0.05	2
III Düzgün yayılı şekilde bir bitki örtüsüne veya binalara veya aralarında en az engel yüksekliğinin 20 katı kadar mesafe bulunan engellere sahip alan (kasabalar, yörekent, ormanlık alan gibi)	0.3	5
IV Yüzeyinin en az %15'i, yükseklik ortalaması 15 m'yi aşan binalarla kaplı alan	1.0	10

Arazi orografisinin (tepeler, yamaçlar, vadiler vb.) rüzgâr hızına etkisi sonucu %5'ten daha fazla arttırdığı durumlarda bu etki eşitlikte orografi katsayısı $c_{0(z)}$ kullanılarak dikkate alınmalıdır.

1.6.2.1.3. Rüzgâr Türbülansı ($I_v(z)$)

z metre yüksekliğindeki rüzgâr türbülans şiddeti $I_v(z)$, türbülans standart sapmasının σ_v , ortalama rüzgâr hızına V_m bölümü ile hesaplanmaktadır. Türbülansın standart sapması arazi katsayısı k_r , temel rüzgâr hızı V_b , türbülans faktörü k_I parametrelerine bağlı olarak aşağıdaki bağıntılar ile hesaplanır.

$$\sigma_v = k_r \cdot V_b \cdot k_I \quad (10)$$

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{V_m(z)} = \frac{k_I}{c_{0(z)} \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}, \quad z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad (11)$$

$$I_v(z)=I_v(z_{\min}), z \leq z_{\min} \quad (12)$$

Burada, türbülans faktörü k_1 için tavsiye edilen değer 1.0'dır.

1.6.2.1.4. Tepe Hız Kaynaklı Rüzgâr Basıncı

z metre yükseklikteki, ortalama ve kısa süreli hız değişikliklerini içeren tepe rüzgar basıncı $q_p(z)$ aşağıdaki bağıntı ile belirlenir.

$$q_p(z)=[1+7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_m^2(z)=c_e(z) \cdot q_b \quad (13)$$

Burada; ρ fırtınalar esnasında bölgede olması beklenen sıcaklık ve barometrik basınçlara ve rakıma bağlı olan hava yoğunluğunu tanımlar ve 1.25 kg/m^3 olarak alınması tavsiye edilir. Bu bağıntıda $c_e(z)$ maruz kalma katsayısı,

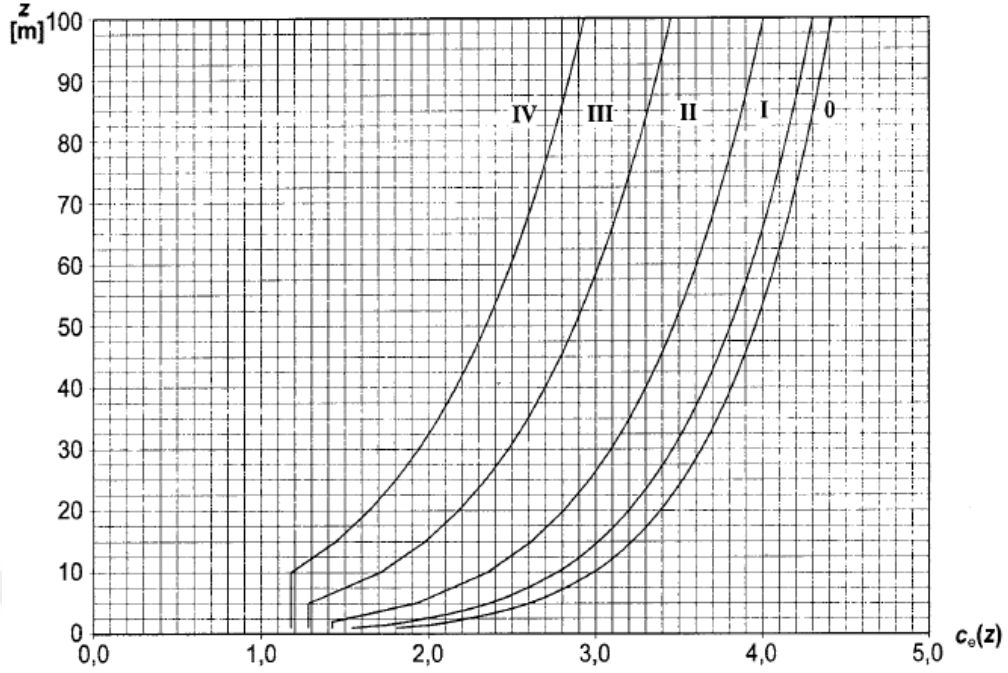
$$c_e(z)=\frac{q_p(z)}{q_b} \quad (14)$$

şeklindedir. esas hız kaynaklı rüzgar basıncı (q_b) ise,

$$q_b=\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_b^2 \quad (15)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

$c_0(z)= 1.0$ olan düz araziler için maruz kalma katsayısı $c_e(z)$, yer seviyesinden yüksekliğin ve arazi kategorilerinin fonksiyonu olarak aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 26).



Şekil 26. Maruz kalma katsayısı $c_e(z)$ 'nin, $c_0(z) = 1.0$ ve $k_1 = 1.0$ için grafik gösterimi

1.6.2.2. Rüzgâr Etkileri

1.6.2.2.1. Yüzeylerdeki Rüzgâr Basıncı

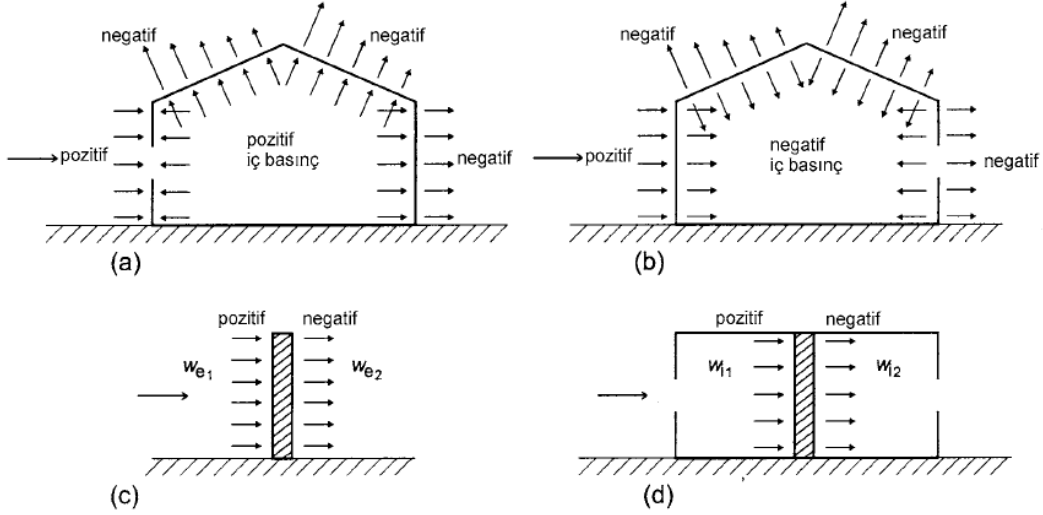
Dış yüzeylere etkiyen rüzgâr basıncı W_e , tepe rüzgâr basıncı $q_p(z_e)$, dış basınç katsayısı c_{pe} , parametrelerine bağlı olarak, z_e dış basınç referans yüksekliğine göre aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$W_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \quad (16)$$

İç yüzeylere etkiyen rüzgâr basıncı W_i , tepe rüzgâr basıncı $q_i(z_i)$, iç basınç katsayısı c_{pi} , parametrelerine bağlı olarak z_i iç basınç referans yüksekliğine göre aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$W_i = q_i(z_i) \cdot c_{pi} \quad (17)$$

Yapının bir duvarına, çatısına veya herhangi bir yapı elemanına etkiyen net basınç, elemanların zıt yüzeylerde oluşan basınçların yönleri(işaretleri) de dikkate alınarak hesaplanmaktadır (Şekil 27).



Şekil 27. Yapı elemanlarının yüzeylerinde oluşan basınç örnekleri

1.6.2.2.2. Rüzgâr Kuvvetleri

Yapının tümü veya yapısal bir bileşeni için rüzgâr kuvvetleri iki farklı şekilde hesaplanabilmektedir. Söz konusu iki yöntem; kuvvet katsayıları kullanarak hesaplama ya da yüzey basınçları yardımıyla hesaplamadır. Bir yapıya veya yapının bir bileşenine etkiyen rüzgâr kuvveti (F_w), belli parametrelere bağlı olarak aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilmektedir.

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (18)$$

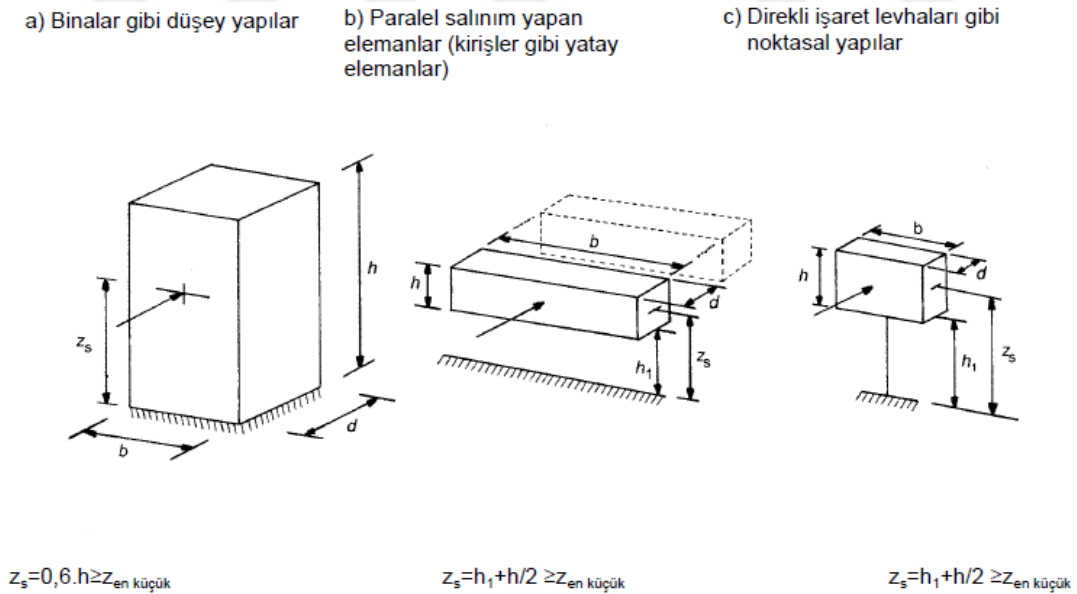
Burada; $c_s c_d$ yapısal katsayı, c_f yapı veya yapısal eleman için kuvvet katsayısını, $q_p(z_e)$ referans yüksekliğindeki tepe rüzgâr basıncını, A_{ref} yapının veya yapısal elemanın referans alanını göstermektedir. Yapısal katsayı $c_s c_d$,

$$c_s c_d = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_y(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_y(z_s)} \quad (19)$$

şeklinde belirlenmektedir. Burada, z_s yapısal katsayıyı belirlemek için referans yüksekliğini, k_p yapının tepkisinin değişim gösteren bölümündeki en yüksek değerinin standard sapmasına oranı olarak tanımlanan tepe katsayısını, I_y türbülans şiddetini, B yapı yüzeyindeki basıncın tam korelasyonunun eksikliğine izin veren geri plan katsayısını, R türbülansın titreşim moduyla rezonansına izin veren tepki katsayısını göstermektedir.

Yüksekliği 15 m'den az olan binalarda, doğal frekansı 5 Hz'den yüksek olan cephe ve çatı elemanlarında, taşıyıcı duvarları olan yüksekliği 100 metreden az ve bu yüksekliğin rüzgâr doğrultusundaki yapı derinliğinin 4 katından daha az olduğu çerçeve sistemli binalarda, yüksekliği 60 metreden ve bu yüksekliği çapının 6.5 katından daha az olan dairesel kesitli bacalarda yapısal katsayı $c_s c_d$ değeri 1.0 olarak alınabilmektedir.

Yapı referans yüksekliği geleneksel yapı şekillerine Şekil 28'de verilmiştir. Eğer yapı mimarisi bunlardan birine uymuyorsa yapı yüksekliği h 'ye eşit alınabilmektedir.



Şekil 28. Yapı referans yüksekliğinin yapı şekline göre hesaplanması

1.6.3. ASCE 7-16 Yönetmeliğine Göre Rüzgâr Etkisi

Amerikan İnşaat Mühendisleri Topluluğu tarafından hazırlanan ASCE 7-16 yönetmeliği, bina veya herhangi bir inşaat mühendisliği yapıları için minimum tasarım yüklerini belirlemek ve bu yükleri hesaplama üzerine uygulanacak yöntemleri yayınlayan bir yönetmeliktir.

ASCE 7-16 Yönetmeliği hesap yöntemleri açısından birden fazla yöntem sunmaktadır. Bu yöntemler yapı sınıfına, bina yüksekliğine ve kapalılık durumlarına göre ayrılmaktadır. Genel olarak rüzgâr yükü dayanım sistemi ile kaplama ve bileşenleri başlığı altında iki yöntemden olmaktadır (ASCE 7-16, 2017).

1.6.3.1. Kavramlar

Temel Rüzgâr Hızı: Yer seviyesinden 10 metre yükseklikteki arazi kategorisi C sınıfı bölgesinde oluşan 3 saniyelik rüzgâr hızı olarak tanımlanmaktadır.

Kapalı Yapılar: Tamamen açık olmayan veya kısmen kapalı olan yapılar. Pozitif dış basınca maruz duvarlarda olan boşluk alanlarının toplamının (A_o), pozitif dış basınca maruz duvarlarının tüm alanının toplamının (A_g) %10'unu geçmeyen yapılar, kapalı yapılar sınıfına girmektedir.

Kısmen Kapalı Yapılar: Pozitif dış basınca maruz kalan duvardaki boşluk alanlarının toplamının (A_o), bina örtüsünde bulunan boşluk alanlarının toplamının (A_{oi}) %10'undan fazla olması ve pozitif dış basınca maruz kalan duvarda bulunan boşluk alanlarının toplamının (A_o) 0.37 m^2 veya duvar alanının (A_g) %1'inden fazla olması durumu ve bina genelindeki açıklıkların A_{oi} tüm örtü alanına oranı (A_{gi}) %20'yi geçmeyen yapılar, kısmen kapalı yapılar olarak tanımlanmaktadır.

Açık Binalar: Pozitif dış basınca maruz kalan duvardaki boşluk alanlarının toplamının (A_o), bina duvar alanının (A_g) %80'ine eşit veya daha fazla olması şartını sağlayan yapılardır.

Kısmen Açık Yapılar: Açık, kapalı ve kısmen kapalı yapıların şartlarına uymayan yapılardır.

Diyafram Yapılar: Rüzgâr yüklerinin, hem çatı hem de düşey doğrultudaki duvarlar tarafından, sürekli döşeme ve çatı diyaframları ile dayanım sistemine aktarıldığı yapılardır.

1.6.3.2. Rüzgâr Yükü Hesaplamasında Kullanılan Parametreler ve Bağlılar

1.6.3.2.1. Hız Basıncı (q_z)

Yerden z metre yüksekliğinde meydana gelen hız basıncı belli parametrelere bağlı olarak aşağıdaki bağlantı ile hesaplanmaktadır.

$$q_z = 0.613 \cdot K_z \cdot K_{zt} \cdot K_d \cdot K_e \cdot V^2 \left(\frac{N}{m^2} \right) \quad (20)$$

Burada; K_z hız basıncına maruz kalma katsayısını, K_{zt} topoğrafya katsayısını, K_d rüzgâr doğrultu katsayısını, K_e zemin yükseltme katsayısını, V temel rüzgâr hızını göstermektedir.

1.6.3.2.2. Temel Rüzgâr Hızı (V)

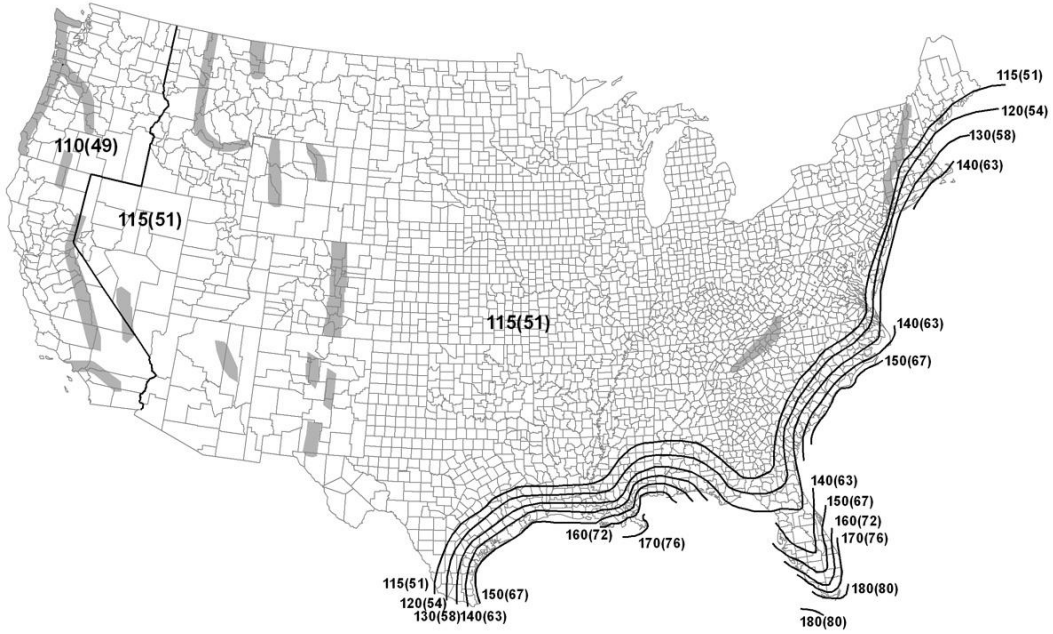
ASCE 7-16 yönetmeliğinde, Amerika için bina ve diğer yapılara etki edilecek rüzgâr yüklerinin hesabında kullanılacak temel rüzgâr hızı, yönetmelikte verilen risk bölgelerine göre ayrılmış olan haritalardan elde edilmektedir (Şekil 29). Bununla birlikte temel rüzgâr hızı, bölgesel iklim koşullarından elde edildiğinde ortalama yineleme aralığına karşılık gelmeli ve tahmin, C arazi kategorisinde, yerden 10 metre yükseklikte 3 sn'lik bir rüzgâr hızına eşdeğer olacak şekilde seçilmesi istenmektedir.

1.6.3.2.3. Yüzey Pürüzlülüğü ve Maruz Kalma Kategorisi (B, C, D)

Yer şekilleri, bitki örtüsü, yapının bulunduğu konum, yapının diğer yapılara göre olan konumu ve zemin yüzeyinin pürüzlülüğüne göre yüzey pürüzlülüğü ve maruz kalma kategorisi belirlenmektedir. Bu kategoriler B, C, D olarak sınıflandırılmaktadır.

- Yüzey Pürüzlülüğü B: Kent alanları, ormanlık alanlar, çok sayıda birbirine yakın konutlardan oluşan arazi bölgeleri için kullanılmaktadır.
- Yüzey Pürüzlülüğü C: Genellikle yükseklikleri 9.1 metreden daha az sık engelli açık arazilerden, düz açıklıklardan oluşan arazi bölgeleri için. B ve D kategorisine girmeyen arazi bölgeleri, C kategorisi olarak ele alınmaktadır.

- Yüzey Pürüzlülüğü D: Düz engelsiz araziler ve su yüzeyleri. Yumuşak, çamurlu yüzeyler, kırılmamış buzlu yüzeyler bu kategori altında değerlendirilmektedir.
- Maruz Kalma Kategorisi B: Yüksekliği 9.1 m'ye eşit veya daha az olan yapılar için kullanılmaktadır. Maruz kalma kategorisi B sadece, yüzey pürüzlülüğü B kategorisinin, rüzgar doğrultusunda 457 m'den daha fazla mesafede hakim olduğu yerler için kullanılmaktadır. Ortalama çatı yüksekliği 9.1 m'den fazla olan binalar için, rüzgar doğrultusundan 792 m veya yapı yüksekliğinin 20 katı fazla mesafede B kategorisi yüzey pürüzlülüğünün hakim olması durumunda bu kategori kullanılabilir.
- Maruz Kalma Kategorisi C: B ve D maruz kalma kategorisine uymayan durumlar için kullanılmaktadır.
- Maruz Kalma Kategorisi D: D sınıfı yüzey pürüzlülüğünün, rüzgar doğrultusunda 1524 m veya yapı yüksekliğinin 20 katı mesafede hakim olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Ayrıca alanın hemen arkasında yüzey pürüzlülüğü B veya C olduğu alanın, rüzgar doğrultusunda 183 m veya 20 katı mesafede hakim olduğu durumda da kullanılmaktadır.



Şekil 29. ASCE 7-16 yönetmeliğinde verilen temel rüzgâr hızı haritası (Risk Kategorisi II)

1.6.3.2.4. Hız Basıncı Maruz Kalma Katsayısı (K_z)

Hız basıncına maruz kalma katsayısı, yapının zemin seviyesinden yüksekliğine ve bulunduğu maruz kalma kategorisine göre aşağıdaki Tablo 5’de verildiği gibi elde edilir.

Tablo 5. Hız basıncı maruz kalma katsayısı (K_z)

Zemin seviyesinden yükseklik, z		Maruz Kalma Kategorisi		
ft	m	B	C	D
0-15	0-4.6	0.57	0.85	1.03
20	6.1	0.62	0.9	1.08
25	7.6	0.66	0.94	1.12
30	9.1	0.7	0.98	1.16
40	12.2	0.76	1.04	1.22
50	15.2	0.81	1.09	1.27
60	18	0.85	1.13	1.31
70	21.3	0.89	1.17	1.34
80	24.4	0.93	1.21	1.38
90	27.4	0.96	1.24	1.4
100	30.5	0.99	1.26	1.43
120	36.6	1.04	1.31	1.48
140	42.7	1.09	1.36	1.52
160	48.8	1.13	1.39	1.55
180	54.9	1.17	1.43	1.58
200	61	1.2	1.46	1.61
250	76.2	1.28	1.53	1.68
300	91.4	1.35	1.59	1.73
350	106.7	1.41	1.64	1.78
400	121.9	1.47	1.69	1.82
450	137.2	1.52	1.73	1.86
500	152.4	1.56	1.77	1.89

1.6.3.2.5. Topoğrafya Katsayısı (K_{zt})

Topoğrafya katsayısı (K_{zt}), herhangi bir maruziyet kategorisinde yer alan, yönetmelikte belirtildiği gibi topoğrafyanın ani değişikliklerinde dikkate alınmakta ve aşağıda verilen bağlantı ile hesaplanmaktadır. Aksi durumda bu katsayı 1 olarak alınır.

$$K_{zt}=(1+K_1.K_2.K_3)^2 \quad (21)$$

Burada, $K_{1,2,3}$ topoğrafyaya bağlı katsayılardır.

H ; tepenin veya yamacın yüksekliğini, L_h ; tepenin veya yamacın yüksekliğinin yarısından tepe noktasına olan mesafeyi, γ ve μ ise düşey ve yatay faktörleri belirtmek üzere K_1 katsayısı Tablo 6'ya göre belirlenir.

Tablo 6. Topoğrafik katsayı (K_1) değerleri

Tepe Şekli	$K_1(H/L_h)$			γ	μ	
	Maruziyet Bölgesi				Rüzgâr karşısındaki tepe	Rüzgâr yönündeki tepe
	B	C	D			
İki boyutlu sırtlar	1.30	1.45	1.55	3	1.5	1.5
İki boyutlu yamaçlar	0.75	0.85	0.95	2.5	1.5	4
Üç boyutlu aksenal simetrik tepeler	0.95	1.05	1.15	4	1.5	1.5

K_2 ve K_3 katsayıları ise aşağıda verilen bağıntılar yardımı ile hesaplanır.

$$K_2=(1-|x|/\mu L_h) \quad (22)$$

$$K_3=e^{-yz/L_h} \quad (23)$$

1.6.3.2.6. Rüzgâr Doğrultu Katsayısı (K_d)

Rüzgâr Doğrultu Katsayısı (K_d), yapı tipine göre aşağıdaki Tablo 7’de verildiği gibi belirlenir.

Tablo 7. Rüzgâr doğrultu katsayısı (K_d)

Yapı Tipi	Rüzgâr Doğrultu Katsayısı
Binalar:	
Rüzgâr Dayanım Sistemi	0.85
Kaplama ve Bileşenleri	0.85
Kemer Çatılar	0.85
Dairesel Kubbeler	0.95
Baca, Tank vb. Yapılar;	
Kare	0.90
Altıgen	0.95
Sekizgen	0.95
Daire	0.95
Serbest Duvar, Serbest ve Bağlı	
Levhalar	0.85
Açık Levhalar ve Kafes	0.85
Çerçeveler	0.85
Kafes Çerçeve Kuleler:	
Üçgen, Kare ve Dikdörtgen	0.85
Diğer Kesit Tipleri	0.95

1.6.3.2.7. Zemin Yükseklik Faktörü (K_e)

Yapının deniz seviyesine göre yüksekliği dikkate alınarak hesaba katılan katsayıdır (Tablo 8). Bu katsayının bütün yapılar için 1 olarak alınmasına izin verilmektedir.

Tablo 8. Zemin yükseklik faktörü (K_e)

Deniz Seviyesinden Yükseklik		Zemin Yükseklik Faktörü K_e
ft	m	
0	0	1.00
1000	305	0.96
2000	610	0.93
3000	914	0.90
4000	1.219	0.86
5000	1.524	0.83
6000	1.829	0.80

1.6.3.2.8. Fırtına Etki Faktörü

Rijit ve diğer yapılarda fırtına etki faktörü 0.85 alınmakta veya aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$G=0,925 \cdot \frac{1+1,7g_Q I_z Q}{1+1,7g_V I_z} \quad (24)$$

$$I_z = c \left(\frac{10}{\bar{z}} \right)^{1/6} \quad (25)$$

Burada; g_Q zemin tepkisi için tepe faktörünü, I_z \bar{z} metre yüksekliğindeki türbülans yoğunluğunu, Q zemin tepki faktörünü, g_V rüzgar tepkisi için tepe faktörünü ve c türbülans yoğunluk faktörünü göstermektedir.

Esnek ve diğer yapılarda fırtına etki faktörü ise aşağıdaki bağlantı ile belirlenmektedir.

$$G=0,925 \cdot \frac{1+1,7 \sqrt{g_Q \cdot Q^2 + g_R \cdot R^2}}{1+1,7g_V I_z} \quad (26)$$

Bu bağlantıda, G rezonans tepki faktörünü, g_R rezonans tepkisi için tepe faktörünü göstermektedir.

1.7. Kuleler ve Çeşitleri

Boyu enine oranla en az 2 kat büyük olan, herhangi bir yapı malzemesinden yapılan yapılara kule adı verilmektedir. Kuleler tarih öncesi çağlardan bu yana yeryüzünde varlığını gösteren yapılardır. Bilinen en eski kule MÖ 8000'e ait Neolitik Jericho duvarlarında yer alan dairesel taş kule olduğu düşünülmektedir. Bunun dışında bilinen en eski kuleler MÖ 4000 yılında Sümer mimarisi ile yapılan Zigguratlar olarak bilinmektedir. Tarih öncesinden gelen İskoçya'daki konik kule evleri, Fenike ve Roma kültürünün sunduğu gözlem evleri gibi birçok örnek vermek mümkündür. Diğer tanınmış kulelere, 1173'den 1372'ye kadar inşa edilen Pisa Kulesi, 1109'dan 1119'a kadar inşa edilen Bologna'daki İki Kule, 14.yy-15.yy arasında inşa edilmiş Tibet'te bulunan Himalaya Kuleleri örnek verilebilir (Şekil 30).



Şekil 30. İki Kule ve Pisa Kulesi. (URL 14 ve 15, 2019)

Kule yapılarında, enine göre yüksekliğinin fazla olması ve rüzgâr etkisinin yükseklik ile doğru orantılı olarak artması, burkulma etkisinin görülme ihtimalini artırmaktadır. Bunun önüne geçilmesi için kulenin yeterli rijitlik derecesine sahip olması gerekir. Bir diğer unsur dinamik koşullardan etkilenmesidir. Rüzgârın değişken hızı ile etkisi, oluşturabileceği vorteks etkisi yine kulelerin tasarımında göz önünde bulundurulması gereken unsurlardandır.

Kuleler amacına göre; stratejik avantajlar, enerji, iletişim, ulaşım vb. gibi sınıflandırılabilirler (Şekil 31). Kule çeşitlerine örnek olarak; enerji iletim kuleleri, radyo ve televizyon kuleleri, köprü destek kuleleri vb. gibi örnekler verilebilir. Kulelerin bu çeşitliliği ve farklı amaçlar doğrultusunda yapılması, kulelerin yapısı, tasarımı ve kullanılan malzeme özellikleri de değiştirecektir.



Şekil 31. Farklı amaçlara göre yapılmış kuleler. (URL 16 17 ve 18, 2019)

1.8. Kafes Türü Çelik Kuleler

Çelik Kafes Kuleler, zemine bağlı olarak ayakta duran genellikle boşluk çerçevesi veya hiperboloid bir yapı olarak tasarlanmışlardır. Kuleler, kimi zaman fazlasıyla uzun olabildikleri için, hem taşıdığı ağırlıkların yüküne, hem de rüzgâr yüküne dayanacak şekilde tasarlanması gereken yapılardır. Bu kuleler, kullanım amaçlarına göre, enerji iletim kuleleri, radyo kuleleri, gözlem kuleleri olarak sınıflandırılabilir. Eiffel kulesi bir çelik kafes kuledir (Şekil 32).

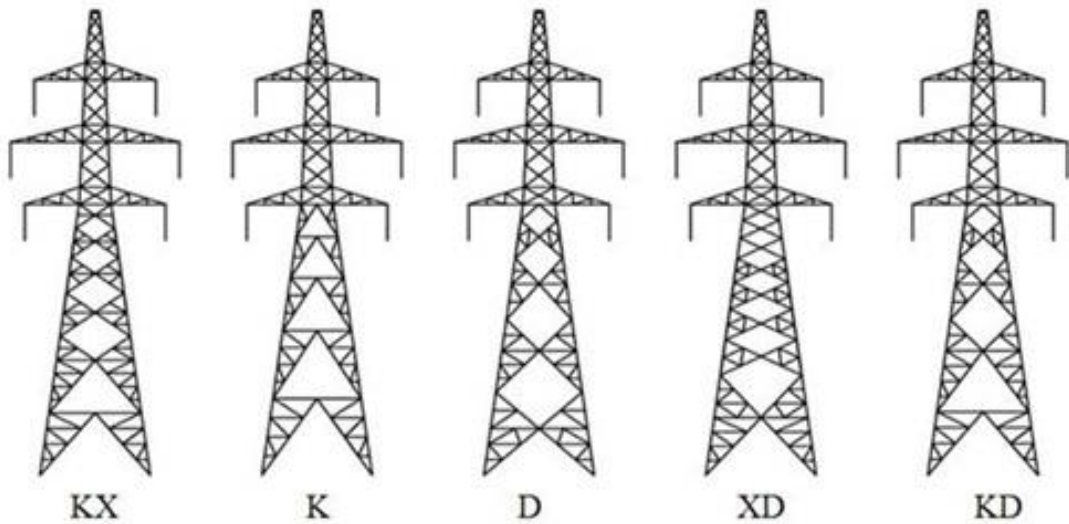
Radyo kuleleri, enerji iletim kuleleri ve bu çalışmada konu alınacak olan GSM kuleleri farklı şekillerde tasarlanabilir. Tasarımı etkileyen parametreler temel olarak; yükseklik, yapının bulunduğu konum ve yapıya etki edecek yükler olarak dikkate alınmaktadır.



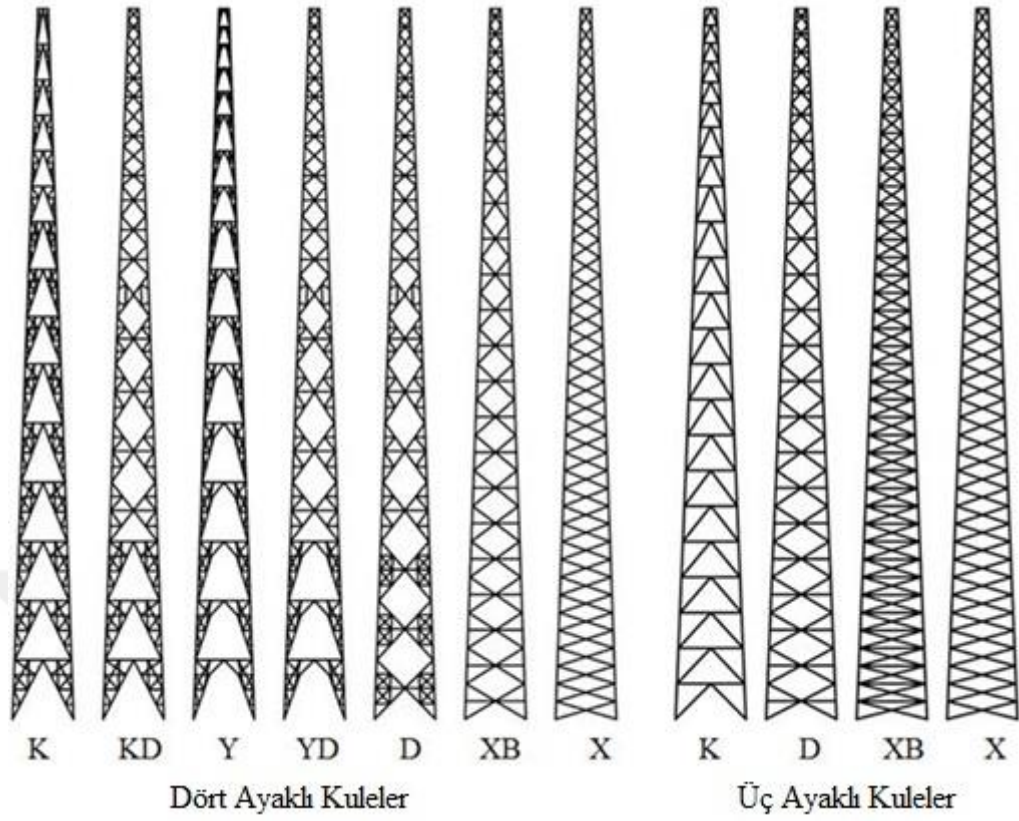
Şekil 32. Eiffel Kulesi. (URL-19, 2019)

Telekomunikasyon kuleleri, radyo kuleleri, GSM kuleleri farklı tasarımlarda yapılabilmektedir. Bunlar, 4 ayaklı ve 3 ayaklı kuleler için farklılık göstermektedir. 4 ayaklı kuleler için genellikle, K, KD, Y, YD, D, XB, X, K sistemleri kullanılırken 3 ayaklı kuleler için ise K, D, XB, X sistemleri kullanılmaktadır (Şekil 33 ve Şekil 34).

Bu yapıların tasarımı ve analizinde yaygın olarak ASCE yönetmeliği kullanılır. Aynı zamanda tasarım ve analiz için 3 ve 4 ayaklı kulelerde çapraz eleman sistemi, yüklemeler, yük kombinasyonları ANSI/TIA-222-G yönetmeliğinde de belirtilmiştir.



Şekil 33. Enerji iletim kulelerindeki çapraz eleman sistemleri



Şekil 34. Telekomünikasyon kulelerindeki çapraz eleman sistemleri

Tah vd. (2017), yaptığı çalışmalarında en iyi performans sergileyen ve en hafif olan kulenin, D tipi çapraz elemanlı kuleler olduğu belirlemişlerdir. Telekomünikasyon kuleleri için ise 4 ayaklı kulelerde en hafif kuleler, KD ve YD tipi iken 3 ayaklı kulelerde X ve XB tipi kulelerdir. 4 ayaklı dikdörtgen geometrili kuleler için en iyi performans X ve XB tipi kulelerde olduğu belirtilmiştir.

1.8.1. ANSI/TIA-222-G Yönetmeliği

Bu standardın amacı anten destekleyici yapılar ve antenler için tanınmış bir literatür sağlamaktır. Bu Standartta yer alan bilgiler mevcut kaynaklardan elde edilmiştir ve alt komitenin kararında, anten destekleyici yapıların ve antenlerin tasarımı için kabul edilen endüstri asgari yapısal standartlarını temsil eder. Bu standart; ASCE, AISC, ACI gibi yönetmeliklerle bağlantılıdır. Bu standart, yeni yapıların yapısal tasarımı ve üretimi ile mevcut yapısal antenlerin, anten destekli yapıların, bağlantı elemanlarının, yapı elemanlarının, kule tertibatlarının, izolatörlerin ve temellerin modifikasyonunu

sağlamaktadır. Esas olarak çelik yapılara uygulanabilir, ancak aynı zamanda, eşdeğer bir güvenilirlik düzeyi sağlayacak şekilde, gerektiğinde başka malzemelere de uygulanabilir. İlk olarak antenleri destekleyen kuleler için kullanılsa da su kuleleri, elektrik iletim hattı yapıları, işaret destek yapıları, binalar, köprüler vb. gibi diğer uygulamalar için tasarlanmış yapılar için uygun standartlar referans alınarak kullanılabilir. (ANSI/TIA-222-G, 2005)

1.9. Konu ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Oliveira vd. (2007), çalışmalarında genelde kullanılan analiz yöntemi dışında alternatif bir analiz yöntemine başvurmuşlardır. Analiz için 50 m, 70 m ve 90 m yüksekliklerinde kuleler modellenmiş ve sonlu elemanlar yöntemiyle değiştirilen analiz yöntemine göre maksimum gerilme değerleri önemli ölçüde değişirken yanal yer değiştirmeler de önemli bir değişiklik görülmediği belirtilmiştir.

Pathrikar vd. (2017), 9 m, 18 m ve 27 m yüksekliğinde olmak üzere üç farklı telekomünikasyon kulesi üzerinde analiz yapmışlardır. Kuledeki çapraz eleman sistemleri değiştirilerek farklılıklar karşılaştırılmıştır. Çapraz elemanların 'K' ve 'X' şeklinde bağlı olması durumları incelenmiştir. Analiz sonucu 'X' şeklinde bağlı çapraz elemanlı kulelerin 55 metre yüksekliğe kadar ekonomik sonuç getireceğini ancak daha yüksek kulelerde 'K' şeklinde bağlı çaprazların, 'X' şeklinde bağlı çapraz elemanlara göre ekonomik olduğu vurgulanmıştır.

Majeed vd. (2017), yaptıkları çalışmada, 36 m yüksekliğindeki bir telekomünikasyon kulesi için hangi sistemin daha uygun olacağını araştırmışlardır. Bu amaçla 3 farklı kule (Lattice, Monopol, Guyed) analiz edilmiştir. Analiz sonucu kablo destekli kulelerin 50 m'den daha yüksek kulelerde ekonomik olduğu ve iyi sonuç verdiği ancak 36 m için uygun olmadığı ifade edilmiştir. Araştırma sonucunda 36 m yükseklik için en uygun kafes kule tasarımı olduğunu belirtilmiştir. Kafes kulelerin 3 bacaklı olması durumunda, çaprazların 'K' şeklinde bağlanarak en düşük salınım direnci ortaya koyduğu görüşmüştür.

Bhatt vd. (2013), yaptıkları çalışmada rüzgâr yükü etkisinde 18 m ve 40 m yüksekliğindeki iki kafes tipi çelik kuleyi analiz ederek karşılaştırmışlardır.

Tah vd. (2017), çalışmalarında farklı çapraz sistemlerin tasarımı ve bu sistemlerin analiz sonucu karşılaştırılmasını, lineer ve nonlineer olarak yapmışlardır. Analiz sonucunda 50 m'den daha düşük yükseklikteki kule analizlerinde lineer ve lineer olmayan analizlerin

arasındaki fark ihmal edilecek seviyede olduğu görülmüştür. Enerji iletim kulelerinde en performanslı ve en hafif kule tasarımının D tipi sistemli kuleler olduğu belirtilirken, telekomünikasyon kulelerinde en hafif sistemler; KD, YD (Dikdörtgen geometrili 4 ayaklı kulelerde) ve X, XB(Üçgen geometrili 3 ayaklı kulelerde) olduğu analiz sonucu ortaya çıkmıştır. En iyi performansın ise X, XB tipi kulelerde görüldüğü belirtilmiştir.

Sharma vd. (2015), çalışmalarında, farklı yükseklikte ve farklı çapraz sistemli kulelerin Hindistan ülkesine göre değişik rüzgâr bölgeleri ve deprem bölgelerindeki analiz sonucu karşılaştırılması yapılmıştır. Kullanılan sistemler K, XBX, V, W, XX olarak belirtilmiştir. Rüzgâr hızı 6 farklı bölgede dikkate alınmıştır. Belirtilen bölgelere göre rüzgâr hızı; 33 m/sn, 39 m/sn, 44 m/sn, 47 m/sn, 50 m/sn ve 55 m/sn olduğu belirtilmiştir. Analizler sonucu en büyük yer değiştirme görülen sistemin W tipi kuleler olduğu belirtilirken en az yer değiştirmenin görüldüğü sistemin ise K tipi kuleler olduğu belirtilmiştir. Ayrıca bütün rüzgâr bölgelerinde 25 m-35 m aralığında çapraz eleman sistemlerinin pek farklı sonuçlar göstermediği görülmüştür. Elemanlar üzerinde oluşan gerilmenin rüzgâr hızı ile doğru orantılı olarak arttığı gözlemlenirken, ayak elemanlarında en fazla gerilmenin K tipi kulelerde ve en az gerilmenin ise XX tipi kulelerde ölçüldüğü belirtilmiştir. Bu analizler sonucu önerilen çapraz sistemler, deprem ve rüzgâr etkileri dikkate alınarak tablolandırılmıştır.

Ravishankar vd. (2018), yaptıkları çalışmada 4 ayaklı telekomünikasyon kulelerinde kullanılan 6 farklı (K, XX, XB, Y, W) sistemin analizi yapılmış ve karşılaştırılmıştır. Analizler çeşitli kombinasyonlara göre anten yükü de dikkate alınarak yapılmıştır. Rüzgâr hızı 33 m/sn ve 55 m/sn olarak iki farklı şekilde etki ettirilmiştir. Tepe noktası yer değiştirmesinin rüzgâr hızı, yükseklik ile doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür. Aynı zamanda çapraz etki ettirilen rüzgârın, tek eksenli olarak etki ettirilen rüzgâra göre daha fazla yer değiştirme sonucunu ortaya çıkardığı belirtilmiştir. En fazla yer değiştirmenin XB-XX sisteminde olduğu ve en az yer değiştirmenin K-XX sisteminde olduğu belirtilmiştir.

Stamatopoulos (2013), yaptığı çalışmada 42 m yüksekliğindeki kafes tipi çelik kulenin sonlu elemanlar modelini oluşturmuş. Kar, rüzgâr ve deprem yükleri altında yapısal analizini yapmıştır.

Jesumi vd (2013), yaptıkları çalışmada, rüzgâr yükü altında 40 m ve 50 m yüksekliğindeki kafes tipi çelik kuleleri farklı çapraz eleman sistemleri ile yapısal analizini

yapmışlardır. Bu çalışma sonucunda ise Y tipi kafes çelik kulelerin 50 m yüksekliğe kadar ekonomik olduğu belirtilmiştir.

Siddesha (2013), yaptığı çalışmada, çelik kafes kulelerini rüzgâr yükü etkisi altında, statik ve Gust Factor yöntemiyle analiz etmiştir. Analizde farklı çapraz eleman sistemleri kullanılıp karşılaştırmaları yapılmıştır.

Zhou vd (2019), yaptıkları çalışmada, enerji iletim kulelerinin çapraz elemanlarının eğimleri ve esneme açıları üzerine analizler yapılmıştır. Rüzgâr tüneli deney düzeneğinden yararlanılıp farklı modeller oluşturulmuş, 10 m/sn, 15 m/sn ve 20 m/sn hızlarda rüzgâr etki ettirilmiştir.

Szafran vd. (2019), yaptıkları çalışmada, kafes tipi çelik kulelerin birleşim bölgelerinde oluşan gerilmeler üzerinde durmuşlardır. Bu amaçla, 40 m yüksekliğinde bir kulenin sonlu elemanlar modeli oluşturulmuş ve farklı rüzgâr hızları altında yapısal analizleri yapılmıştır. Birleşim bölgelerinde meydana gelen gerilme yoğunluklarının haritası çıkarılmış ve görsel olarak belirtilmiştir.

An vd. (2019), yaptıkları çalışmada, kafes tipi çelik kuledeki birleşim elemanları üzerinde durulmuştur. 10 farklı cıvata düzeneği ile 30 farklı gerilme testi uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Birleşim bölgelerinde oluşan gerilme yoğunlukları irdelenmiş, cıvatalarda meydana gelecek kesilme durumları araştırılmıştır. Çalışma sonunda, farklı gerilmeler uygulanmış farklı cıvata düzenekleri karşılaştırılmıştır.

Calotescu ve Solari (2016), yaptıkları çalışmada, rüzgâr etkisi altındaki çelik tipi kafes kulelerin bacaklarında oluşan aksenal kuvvet, yerdeğiştirme, kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri üzerinde durmuşlardır. 50 m, 70 m ve 90 m yüksekliğinde ve farklı çapraz eleman sistemli kuleler analiz edilmiştir.

1.10. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

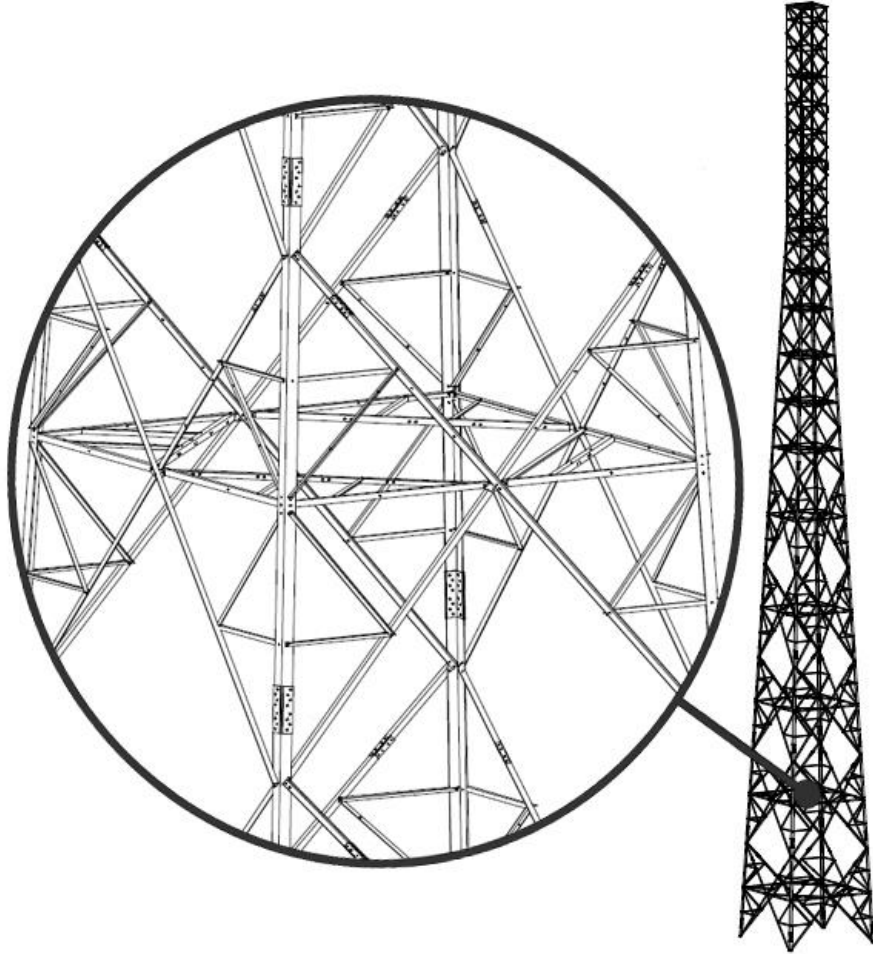
Çelik kuleler, gerek enerji iletim hatlarında, gerekse haberleşmede yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kuleler, genelde kırsal kesimlerde ve yüksek yerlerde inşa edilmektedir. Bu nedenle de kar, rüzgâr ve buzlanma gibi atmosferik olaylardan oldukça fazla etkilenmektedir. Özellikle de rüzgâr etkisi ile kuleler tekrarlı yatay yüklere maruz kalmaktadır. Bu etkiler altında, kule elemanlarının birleşimleri gevşemekte, bazen de birleşim cıvatası görevini yapamaz hale gelmektedir. Kule bakımlarının zamanında yapılmaması nedeniyle görevini yapamaz hale gelen kule çubukları, yüklerini diğer

çubuklara vererek tüm kulenin yük taşıma kapasitesine ve aşırı yerdeğiştirmeye ulaşmasını sağlamakta ve kule stabilitesini kaybetmektedir. Bu nedenle bu çalışmada, 50 m yüksekliğe sahip bir verici kulesinin farklı yükseklik seviyelerindeki çubuklarının görevini yapamaması durumları için yapısal çözümlene yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılarak incelenmiştir. Bu amaçla; öncelikle, günümüzde uygulanan bir kule sistemi, ilk olarak TS498’de verilen rüzgâr yükü değerleri kullanılarak çözülmüştür. Daha sonra ASCE 7-16’ya göre, rüzgâr yükü etkisinde yeniden analizi yapılmış ve kule çubukları tekrar boyutlandırılmıştır. Yapılan çalışmalarda, kulenin rüzgâr yükü etkisi altında, kule yüksekliğinin 0-25 m, 25-38 m ve 38-50 m arasında, çubuk elemanların herhangi bir nedenden dolayı taşıma gücünü kaybettiği varsayılmış, bunun neticesinde bu yükseklik aralıklarında, sırasıyla bir, iki ve üç çubuk elemanın çıkartılarak diğer çubuklardaki yük dağılımı incelenmiştir. Aynı şekilde bu işlemler, kulenin 38-50 m yükseklik aralığının, tepe noktasından itibaren %20’si ve %50’sinin kar, buzlanma veya verici kulesine montajı yapılmış antenler nedeniyle dolu olduğu kabul edilerek tekrarlanmıştır. Bu analizler ile kule çubuk elemanlarında veya elemanların birleşim bölgelerinde meydana gelebilecek hasarlar neticesinde, farklı yükseklik aralıklarına bağlı olarak, bazı elemanların görevini yapamaz hale gelmesi durumu ve bu durumun diğer çubuk elemanlar üzerindeki ve genel olarak kuledeki etkisi incelenmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Kafes Tipi Çelik Kulenin Temel Özellikleri

Bu çalışmada kullanılacak olan kule, yüksekliği 50 metre olan DX tipi çelik kafes GSM kulesidir. Kule 4 ayaklı, kare geometrili bir yapıdır. Taban genişliği 5.054 m olup 38 m'ye kadar %4.67 eğiminde yükselmektedir. Bu yükseklikten sonra 50 m'ye kadar, 1.5 m açıklıkta, düz bir şekilde devam etmektedir. Kulede kullanılan çelik malzemesi, S355 ve S235'dir. Bacalarda S355 iken diğer elemanlarda S235 kullanılmıştır. Kule çubuklarının örgü tipi (kafes tipi) ise Şekil 35'de görülmektedir. Kulede kullanılan çelik profil boyutları yükseklik ile değişmektedir (Tablo 9).



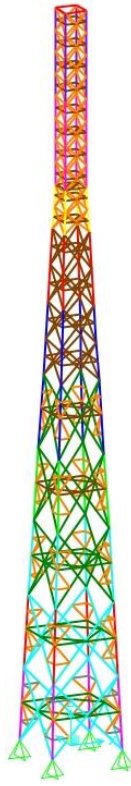
Şekil 35. Kafes elemanlarının örgü tipi

Tablo 9. Kule elemanlarının boyutları

Yükseklik, m	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-38	38-44	44-50
Legs	L120x12	L120x11	L120x10	L110x10	L100x10	L100x10	L100x8	L90x7	L80x6	L70x5
Diagonal	L60x5	L60x5	L60x4	L60x4	L60x4	L60x4	L50x4	L50x4	L40x4	L40x4
Horizontals	L60x4	L60x4	L60x4	L50x4	L50x4	L50x4	L50x4	L50x4	L50x4	L50x4
	L45x4	L40x4	L40x4	L40x4	L40x4	L40x4	-	-	-	-
	L40x4	L40x4	L40x4	L40x4	L40x4	L40x4	-	-	-	-

2.2. Kule Modelinin Oluşturulması

Bu çalışmada, kulenin modellenmesi ve ardından rüzgâr yükü etkisindeki yapısal özmlemesi için sonlu elemanlar yöntemine dayanan SAP2000 Yapısal Analiz Programı kullanılmıştır. SAP2000; her türlü yapıların ve yapı sistemlerinin tasarım ve analizi için kullanılan ve sonlu elemanlar yöntemine dayanan bir paket programdır. Statik, dinamik ve lineer, lineer olmayan analizler yapılabilmektedir. elik kulenin modeli Şekil 36'da verilmiştir.



Şekil 36. SAP2000 programında hazırlanmış kule modeli

2.3. Kulenin Rüzgâr Yükü Etkisinde Yapısal özmleneleri

Bu başlık altında, günümüzde uygulanmış, mevcut 50 m yüksekliğinde kafes tipi elik kule, öncelikle TS498 yönetmeliğine göre elde edilen rüzgâr yükü etkisinde analiz edilmiştir. Sonrasında ASCE 7-16 yönetmeliğine göre elde edilen rüzgâr yükü etkisinde analiz edilmiştir.

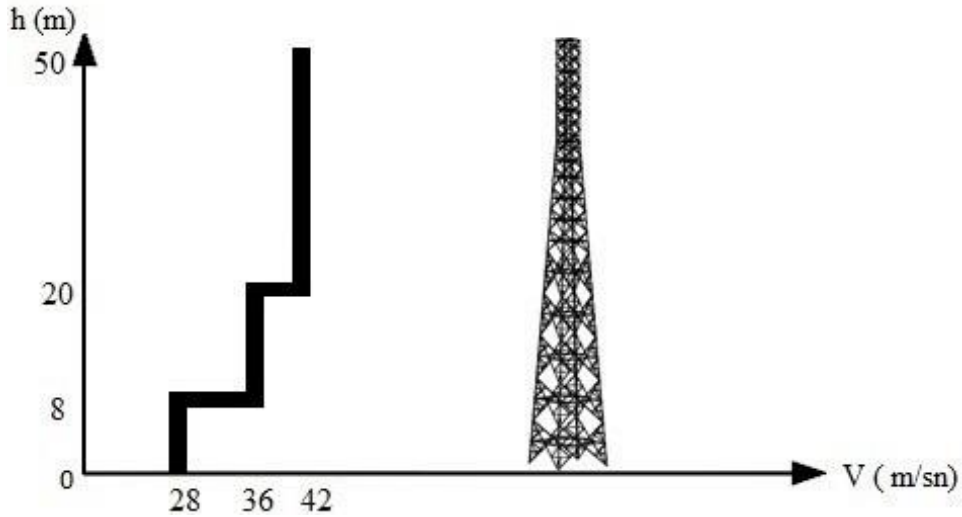
2.3.1. TS498'e Göre Kuleye Etkiyen Rüzgâr Yüğü Analizi

Ülkemizde yaygın olarak kullanılan bir yönetmelik olan TS498'e göre, rüzgâr yüğü, yapı geometrisine bağılı olarak basınç, emme ve sürtünme kuvvetleri dikkate alınarak hesaplanır. Yapının bütününe etkiyen rüzgâr yüğü,

$$W=C_f \cdot q \cdot A \text{ (kN)} \quad (27)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada, C_f ; aerodinamik yük katsayısı, q ; emme (hız basıncı, kN/m^2), A ; etkilenen yüzey alanını (m^2) temsil eder.

TS498 yönetmeliğine göre kule yüksekliğı boyunca değışen rüzgâr hızı Şekil 37'de verilmiştir.



Şekil 37. TS498'e göre rüzgâr hızının kule yüksekliğine göre değışimi

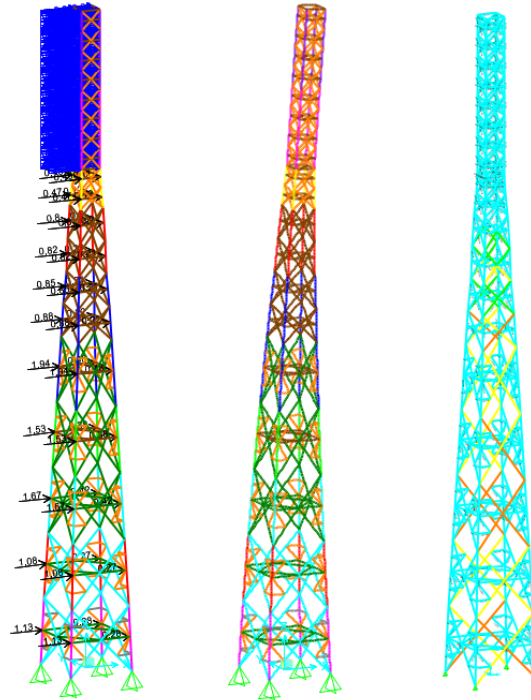
Aerodinamik yük katsayısı (C_f), TS498'de yapı geometrisine bağılı olarak tablo halinde verilmiştir. Bu tablodan kulelere için alınan katsayılar Tablo 10'da gösterilmiştir.

Tablo 10. TS498'e göre kule tipi yapılarda kullanılan aerodinamik yük katsayıları C_f

Yapı Cinsi	Katsayı C_f	Rüzgâr Yükü $W=c.q$			
		$q = 0,5$ kN/m ²	$q = 0,8$ kN/m ²	$q = 1,10$ kN/m ²	$q = 1,30$ kN/m ²
Rüzgâr yönüne dikey yüzeylerde • Kule tipi yapılarda	1.6	0.80	1.28	1.76	2.08
Rüzgâr yönüne α açısı yapan eğimli yüzeylerde • Kule tipi yapılarda	$1.6 \sin\alpha$	$0.80\sin\alpha$	$1.26\sin\alpha$	$1.32\sin\alpha$	$1.56\sin\alpha$

Bu çalışmada, C_f katsayısı 1.6 olarak dikkate alınmıştır. Kuleye etki eden rüzgâr hızı 50 m yüksekliğe kadar TS498'de belirtildiği gibi, 28-42 m/sn aralığında yüksekliğe bağlı olarak etki ettirilmiştir.

TS498'e göre belirlenen rüzgâr yükü, kule elemanlarına çizgisel yük ve düğüm noktalarına noktasal yük olarak etkililmiş ve SAP2000 yapısal analiz programının ile analizleri yapılmıştır (Şekil 38).



Şekil 38. Sap2000 programında, TS498'e göre kuleye rüzgâr yükü etki ettirme

Rüzgâr yükü analizi sonucunda P_r/P_c oranları ile elemanlar üzerindeki eksenel kuvvetler Tablo 11’de verilmiştir. Tabloda, P_r ; gerekli eksenel kuvvet dayanımını ve P_c ; tasarım eksenel kuvvet dayanımını göstermektedir.

Tablo 11. TS498'e göre en çok zorlanan elemanlar

Yüksekl ik (m)	Çapraz Elemanlar			Dikey Elemanlar		
	P_r / P_c (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)	P_r / P_c (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)
0-25	90.6	L60x5	8.426	18.7	L120x12	88.456
	84.9	L60x5	8.430	18.8	L120x12	78.388
	99.2	L60x4	8.581	17.1	L120x11	65.909
	90.2	L60x4	8.351	17.3	L120x10	56.666
	82.9	L60x4	8.230	16.1	L100x10	43.736
25-38	91.3	L50x4	3.981	13.0	L100x10	39.846
	65.2	L50x4	3.129	11.3	L100x10	33.652
	71.2	L50x4	3.756	12.7	L100x8	29.540
	53.3	L50x4	3.168	11.3	L100x8	24.413
	38.1	L40x4	2.083	10.5	L90x7	20.613
	37.3	L40x4	2.238	8.3	L90x7	17.615
38-50	49.1	L40x4	3.032	0.7	L80x6	14.293
	30.4	L40x4	1.830	3.8	L80x6	5.525
	6.5	L40x4	0.336	9.2	L70x5	0.182

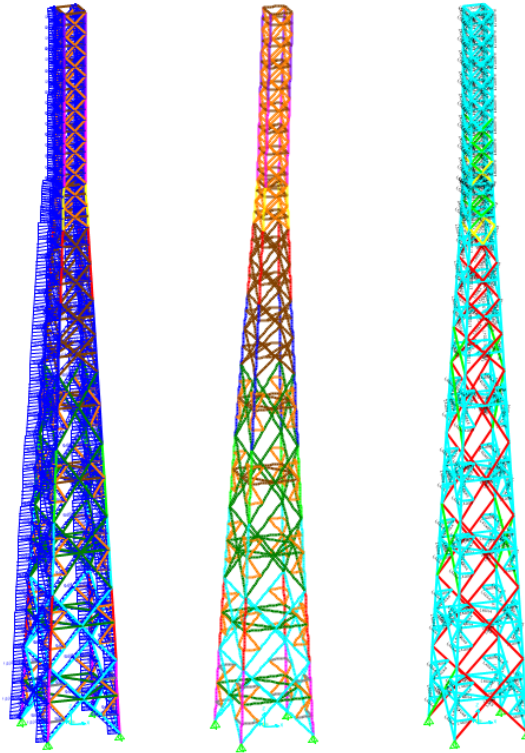
2.3.2. ASCE 7-16'ya Göre Kuleye Etkiyen Rüzgâr Yükü Analizi

ASCE 7-16'ya göre yapılan rüzgâr yükü analizi için, temel rüzgâr hızı (V), maruz kalma kategorisi (B, C, D), maruz kalma katsayısı (K_z), topoğrafik faktör (K_{zt}), fırtına etki faktörü (G) ve rüzgâr doğrultusu faktörü (K_d) gibi parametreler dikkate alınmaktadır. Bu parametreler Tablo 12’de verilmiştir.

Tablo 12. ASCE 7-16'ya göre rüzgâr yükü hesabında alınan parametreler

Rüzgâr Yükü Parametreleri	
Temel Rüzgâr Hızı	130 km/s
Maruz Kalma Kategorisi	C
Topoğrafik Faktör	1
Fırtına Etki Faktörü	0.85
Rüzgâr Doğrultu Katsayısı	0.85

ASCE 7-16 yönetmeliği kullanılarak yapılan rüzgâr yükü analizinde, SAP2000 programı üzerinden otomatik rüzgâr yükü yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem ile girilen parametrelere bağlı olarak yükseklikle değişkenlik gösteren yükler, elemanlar üzerine aktarılarak yapısal analizler gerçekleştirilmiştir. Kule üzerine etkiyen yükler ile bu yükler altında kule elemanlarının P_r/P_c oranları Şekil 39'da verilmiştir.



Şekil 39. ASCE 7-16'ya göre kuleye etkiyen yükler, yerdeğiştirme ve dayanım seviyeleri

ASCE 7-16'ya göre yapılan rüzgâr yükü analizi sonucunda, yüksekliğe bağlı olarak en fazla etkilenen elemanlar Tablo 13'de gösterilmiştir.

Tablo 13. ASCE 7-16'ya göre en fazla zorlanan elemanlar

Yüksekl ik (m)	Çapraz Elemanlar			Dikey Elemanlar		
	P_r / P_c (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)	P_r / P_c (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)
0-25	200.6	L60x5	18.564	35.4	L120x12	168.237
	180.4	L60x5	17.836	35.1	L120x12	145.267
	197.9	L60x4	16.935	31.2	L120x11	120.895
	175.2	L60x4	16.089	31.1	L120x10	102.345
	152.6	L60x4	14.901	28.5	L100x10	78.303
25-38	177.5	L50x4	7.213	20.8	L100x10	70.488
	131	L50x4	5.751	18	L100x10	59.023
	139	L50x4	6.748	20	L100x8	51.322
	108.9	L50x4	5.583	17.4	L100x8	41.869
	72	L40x4	3.897	16.3	L90x7	35.173
	64.1	L40x4	3.822	14.1	L90x7	29.942
38-50	83.8	L40x4	5.219	15.4	L80x6	24.057
	51.1	L40x4	3.159	6.2	L80x6	9.095
	10.9	L40x4	0.618	0.6	L70x5	0.223

TS498'de belirtilen, “Kendi şartnameleri ve standartları olan, mesela köprü, vinçler, yüksek bacalar (fabrika bacası vs. gibi), radyo vs. yayın kuleleri ve yüksek gerilim hatları gibi yapılar için geçerli değildir.” ifadesi, rüzgâr yükünün ASCE 7-16 ile daha detaylı uygulanabilmesi, TIA/ANSI 222-G yönetmeliğinin ASCE yönetmeliği ile bağdaşması ve SAP2000 programının ASCE 7-16 yönetmeliğindeki rüzgâr yükünü daha doğru uyguladığı görülmüş ve bu nedenle bu çalışmanın kalan kısmında, çözümlerinin ASCE ile devam edilmesine karar verilmiştir.

Çalışmanın devamında ASCE 7-16 kullanılacağından, rüzgâr yüküne göre güvenlik sınırı aşıl原因 elemanlar tekrar boyutlandırılıp kule yapısı güvenli hale getirilmiştir. Buna göre, günümüzde uygulanan kule, ASCE 7-16'ya göre güvensiz tarafta kalmaktadır. Kulenin belli bir güvenliğe sahip olabilmesi için, taşıma gücü aşıl原因 çubuklar tekrar boyutlandırılarak Tablo 14'de verilmiştir. emniyetsiz kesitler tekrar boyutlandırılmış ve analiz edilmiştir.

Tablo 14. ASCE 7-16'ya göre 35 m/sn rüzgâr hızına göre yeniden boyutlandırma

Yükseklik (m)	Projede Olan Kesit	Değiştiği Kesit
0-5	L60*5	L80*6
5-10	L60*5	L80*6
10-15	L60*4	L75*5
15-20	L60*4	L70*5
20-25	L60*4	L70*5
25-27.5	L50*4	L60*4
27.5-30	L50*4	L60*4
30-32.5	L50*4	L50*4

Tekrar boyutlandırması yapılmış kulenin rüzgâr yükü altındaki elemanların dayanımı ve elemanlara etkiyen aksenal kuvvet Tablo 15'de verilmiştir.

Kuleye etki eden rüzgâr yükü ile birlikte, bazı elemanların ve eleman birleşim bölgelerinin rüzgârın tekrarlı yükleme yapması sonucu zamanla hasar görebileceği düşünülmüştür. Bu hasarlara, birleşim bölgesindeki cıvataların rüzgâr etkisiyle gevşemesi, elemanların yırtılması ve taşıma gücünü kaybetmeleri örnek verilebilir. Bu hasarların meydana gelebileceği düşünülerek, taşıma kapasitesine en fazla ulaşmış elemanlardan başlayarak, bazı kule elemanları çıkartılarak analizler tekrarlanmıştır.

Kulenin, 0-25 m, 25-38 m ve 38-50 m yükseklikleri arasındaki çapraz çubuklarda önce, P_r/P_c oranı en fazla olan çubuk çıkartılarak analiz yapılmıştır. Bu analiz sonucunda aynı yükseklik seviyesinde P_r/P_c oranı en fazla olan ikinci çubuk, üçüncü çubuk çıkartılmıştır.

Kulenin tepe bölgesine monte edilen antenler, vericiler vb. cihazların, tepe bölgesindeki boşluk oranını azalttığı ve bu cihazların etrafında mevsim ve soğukluğa bağlı olarak buzların oluşması durumunda boşluk oranını daha da azaldığı varsayılarak kulenin tepe bölgesi (38-50 m aralığı) önce %20 dolu kabul edilerek analiz edilmiş, sonrasında ise doluluk oranı %50'ye çıkartılıp tekrar analiz edilmiştir. 0-25 m, 25-38 m ve 38-50 m yükseklik aralıklarında çapraz elemanların çıkartılmasıyla yapılan analizler, tepe noktası doluluk oranı değişkenliğine göre tekrarlanmıştır. Yapılan analizlerden elde edilen bulgular, ek bölümünde tablolar halinde verilmiştir.

Tablo 15. ASCE 7-16'ya göre yeniden boyutlandırılmış kuleye etki ettirilen rüzgâr yükü analizi

Yükseklik (m)	Çapraz Elemanlar			Dikey Elemanlar		
	P_r / P_c (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)	P_r / P_c (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)
0-25	84.2	L80x6	-22.358	28.8	L120x12	98.384
	71.2	L80x6	-18.760	25.1	L120x12	75.571
	86.8	L75x5	-16.051	26.9	L120x11	53.101
	94.5	L70x5	-14.869	24.5	L120x10	37.040
	86.5	L70x5	-13.341	20	L100x10	23.122
25-38	81.9	L60x4	5.454	34.4	L100x10	-18.657
	59.3	L60x4	4.094	33.3	L100x10	-12.155
	94.9	L50x4	-4.030	34.1	L100x8	-6.808
	79.9	L50x4	3.902	33.2	L100x8	-2.795
	30.9	L40x4	1.440	40.4	L90x7	-2.237
	42.2	L40x4	-2.260	25.2	L90x7	-10.150
38-50	27.1	L40x4	-1.399	52.6	L80x6	-9.415
	11.3	L40x4	0.418	45.5	L80x6	-5.309
	22.3	L40x4	-1.104	33.2	L70x5	-1.036

3. BULGULAR VE İRDELEMELER

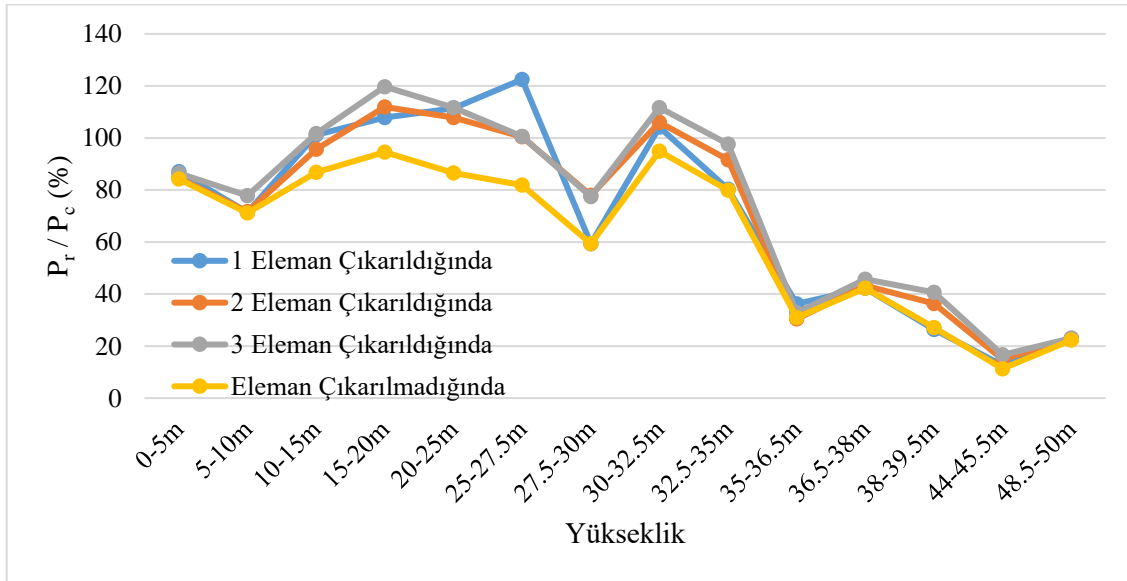
3.1. Yapılan Kule Analizinde TS498 ve ASCE 7-16 Yönetmelik Karşılaştırılması

Yapılan bu çalışmada, rüzgâr yükü, ilk olarak TS498 yönetmeliğine sonrasında ise ASCE 7-16 yönetmeliğine göre hesaplanıp kuleye etki ettirilmiştir. TS498 ve ASCE 7-16 yönetmelikleri karşılaştırıldığında, ASCE 7-16 yönetmeliğinin rüzgâr hesabı için daha detaylı olduğu ve daha kapsamlı parametre içerdiği görülmektedir.

3.2. Farklı Yükseklik Seviyelerinden Çapraz Elemanların Çıkarılması Durumu

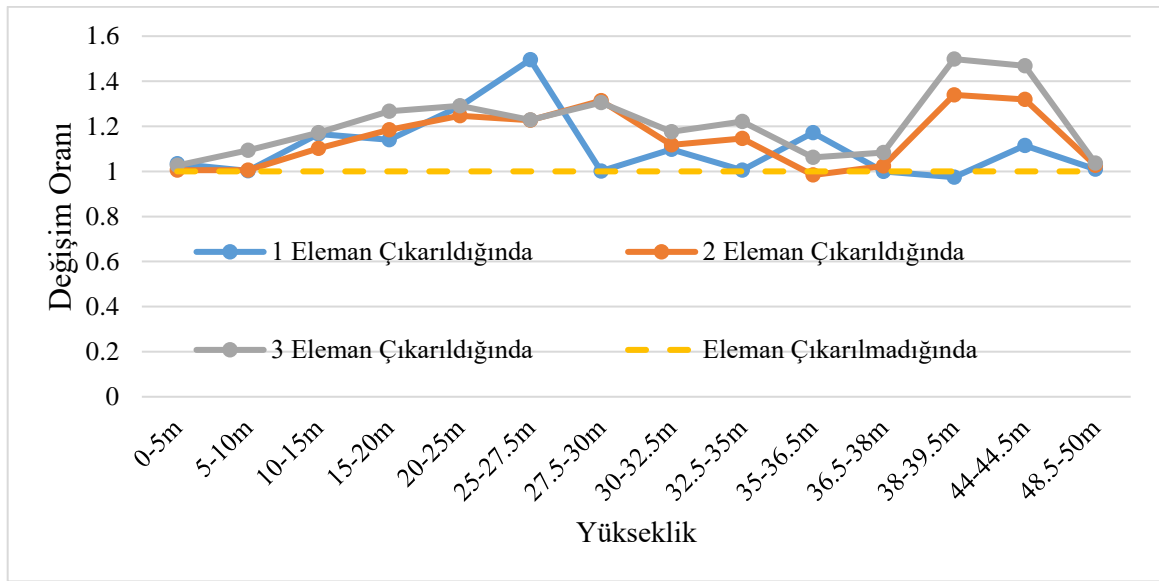
Kule elemanlarının bazılarının farklı nedenlerden dolayı hasar görüp taşıma gücünü kaybettiği varsayılarak kulenin üç farklı yükseklik seviyesinden en çok zorlanan çapraz elemanlar sırayla çıkarılıp analizler tekrarlanmıştır.

- Kulenin 0-25m yükseklik aralığında, sırasıyla 1, 2 ve 3 eleman çıkarılmasıyla yüksekliğe bağlı olarak diğer elemanlardaki P_r/P_c oranları Şekil 40'da, P_r/P_c oranındaki değişim miktarları ise Şekil 41'de verilmiştir.



Şekil 40. 0-25m yükseklik aralığında elemanların çıkarılmasıyla oluşan P_r/P_c oranları

Şekil 40'dan görüldüğü gibi, 0-25 m yükseklik aralığında 1 çapraz eleman çıkarılması durumunda, 10-27.5 m, 30-32.5m yükseklik aralığındaki çapraz elemanlar taşıma kapasitesini aşmıştır. 0-25m yükseklik aralığında 2 çapraz eleman çıkarılması durumunda, 10-27.5m, 30-32.5m yükseklik aralığındaki çapraz elemanlar taşıma kapasitesini aşmıştır. 0-25 yükseklik aralığında 3 çapraz eleman çıkarılması durumunda da 10-27.5m, 30-32.5m yükseklik aralığındaki çapraz elemanlar taşıma kapasitesini aşmıştır.

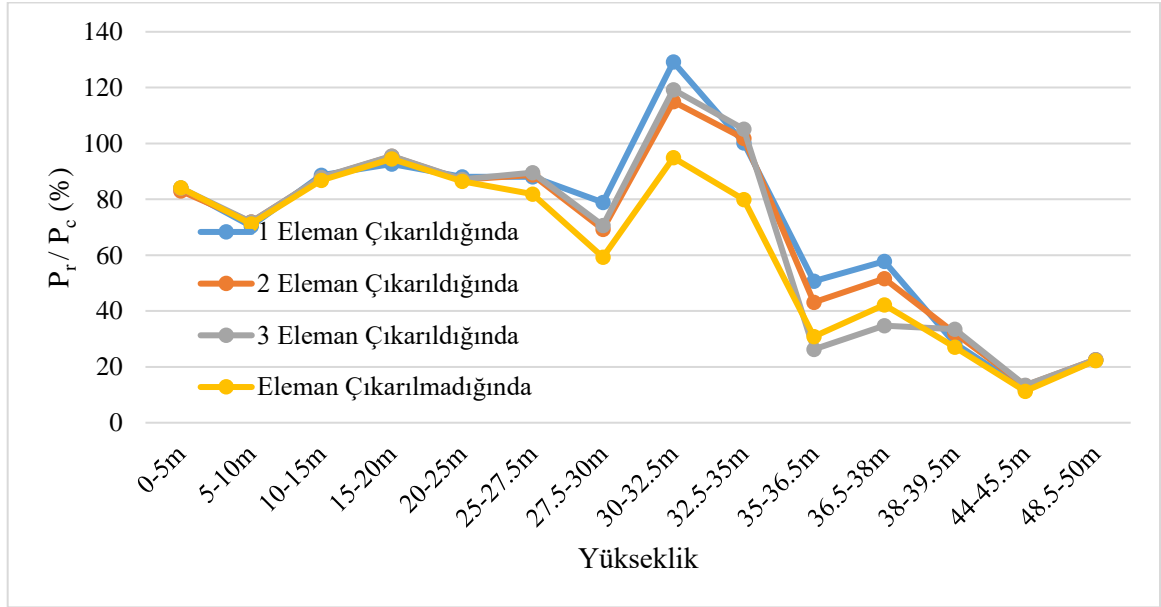


Şekil 41. 0-25m yükseklik aralığında elemanların çıkarılmasıyla oluşan P_r/P_c oranı değişimi

Bu şekilden görüldüğü gibi, kule yüksekliğinin 0-25m arasında çapraz elemanların 1 tanesinin taşıma gücünü kaybetmesi durumunda, en fazla P_r/P_c oranı artışı 10-27.5m yükseklik arasındaki çapraz elemanlarda görülmüştür. Aynı şekilde 2 çapraz elemanın taşıma gücünü kaybetmesi durumunda, en fazla P_r/P_c oranı artışı 10-30m, 38-39.5, 44-45.5m yükseklik arasındaki çapraz elemanlarda görülmüştür. 3 çapraz elemanın taşıma gücünü kaybetmesi durumunda ise en fazla P_r/P_c oranı artışı 10-35m, 38-39.5, 44-45.5m yükseklik arasındaki çubuklarda görülmüştür.

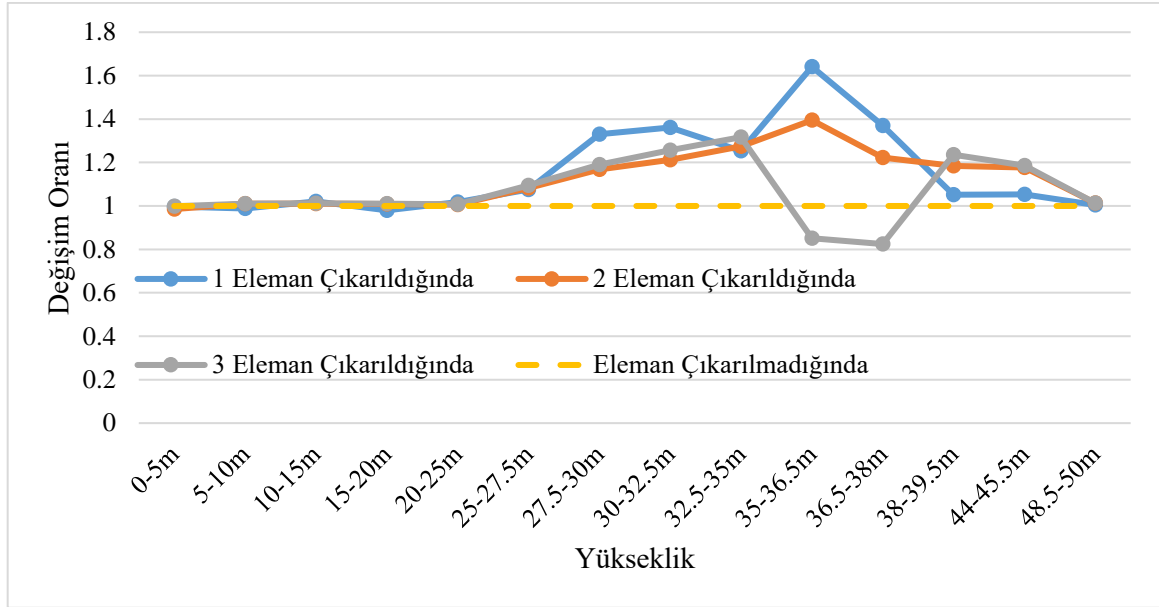
Kulenin 0-25m yükseklik aralığındaki çapraz elemanlardan 1 tanesinin çıkarılması sonucunda diğer elemanlardaki P_r/P_c oranı artışı kısıtlı bir bölge ile sınırlı kalırken, 2 tane elemanın çıkması ile P_r/P_c oranı artışı kule yüksekliği boyunca daha geniş alana yayılmış ve 3 tane elemanın çıkmasıyla P_r/P_c oranı artışı hemen hemen kule boyunca etkin hale gelmiştir.

- Kulenin 25-38m yükseklik aralığında, sırasıyla 1, 2 ve 3 eleman çıkarılmasıyla yüksekliğe bağlı olarak diğer elemanlardaki P_r/P_c oranları Şekil 41'de, P_r/P_c oranındaki değişim miktarları ise Şekil 42'de verilmiştir.



Şekil 42. 25-38m yükseklik aralığında elemanların çıkarılmasıyla oluşan P_r/P_c oranları

Bu şekilden görüldüğü gibi, 25-38 m yükseklik aralığında 1, 2 ve 3 çapraz eleman çıkarılması durumunda, 30-35m yükseklik aralığındaki çapraz elemanlar taşıma kapasitesini aşmıştır. Bu da bu yükseklikte, 1 çapraz elemanın bile taşıma gücünü kaybetmesi durumunda kulenin yıkılma ihtimalinin arttığını göstermektedir.

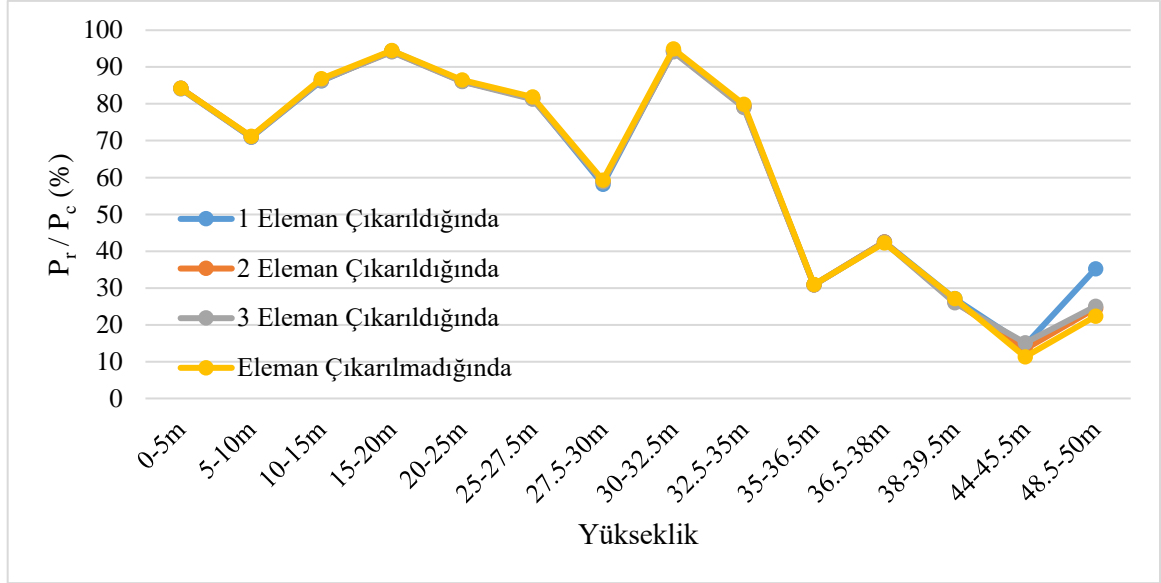


Şekil 43. 25-38m yükseklik aralığında elemanların çıkarılmasıyla oluşan dayanım seviyeleri değişimi

Bu şekilden görüldüğü gibi, kule yüksekliğinin 25-38m arasında çapraz elemanların 1 tanesinin taşıma gücünü kaybetmesi durumunda, en fazla P_r/P_c oranı artışı 27.5-38m yükseklik arasındaki çapraz elemanlarda görülmüştür. Aynı şekilde 2 çapraz elemanın taşıma gücünü kaybetmesi durumunda, en fazla P_r/P_c oranı artışı 27.5-39.5, 44-45.5m yükseklik arasındaki çapraz elemanlarda görülmüştür. 3 çapraz elemanın taşıma gücünü kaybetmesi durumunda ise en fazla P_r/P_c oranı artışı 27.5-35m, 38-39.5, 44-45.5m yükseklik arasındaki çubuklarda görülmüştür.

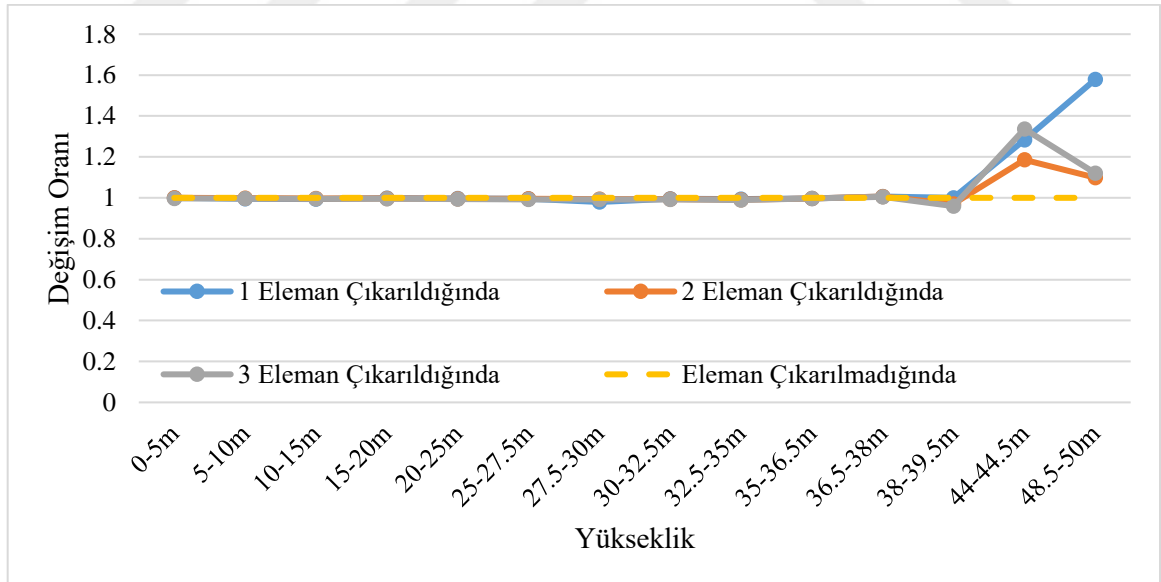
Kulenin 0-25m yükseklik aralığındaki çapraz elemanlardan 1 tanesinin çıkarılması sonucunda diğer elemanlardaki P_r/P_c oranı artışı kısıtlı bir bölge ile sınırlı kalırken, 2 elemanın çıkması ile P_r/P_c oranı artışı kule yüksekliği boyunca daha geniş alana çıkmış ancak ortalama P_r/P_c oranı seviye artışı ilk analize göre daha az olmuştur. 3 elemanın çıkmasıyla ise, 27.5-35m, 38.5-39.5, 44-45.5m aralığındaki elemanlarda P_r/P_c oranı artışı görülmüş ancak bazı elemanlarda dayanım seviyesi azalmıştır.

- Kulenin 38-50m yükseklik aralığında, sırasıyla 1, 2 ve 3 eleman çıkarılmasıyla yüksekliğe bağlı olarak diğer elemanlardaki P_r/P_c oranları Şekil 44'de, P_r/P_c oranındaki değişim miktarları ise Şekil 45'de verilmiştir.



Şekil 44. 38-50m yükseklik aralığında 1 elemanın çıkarılmasıyla oluşan P_r/P_c oranları

Bu şekilden görüldüğü gibi, 38-50 m yükseklik aralığında sırasıyla 1, 2 ve 3 çapraz eleman çıkarılması durumunda, kule boyunca taşıma kapasitesini aşan eleman olmamıştır.



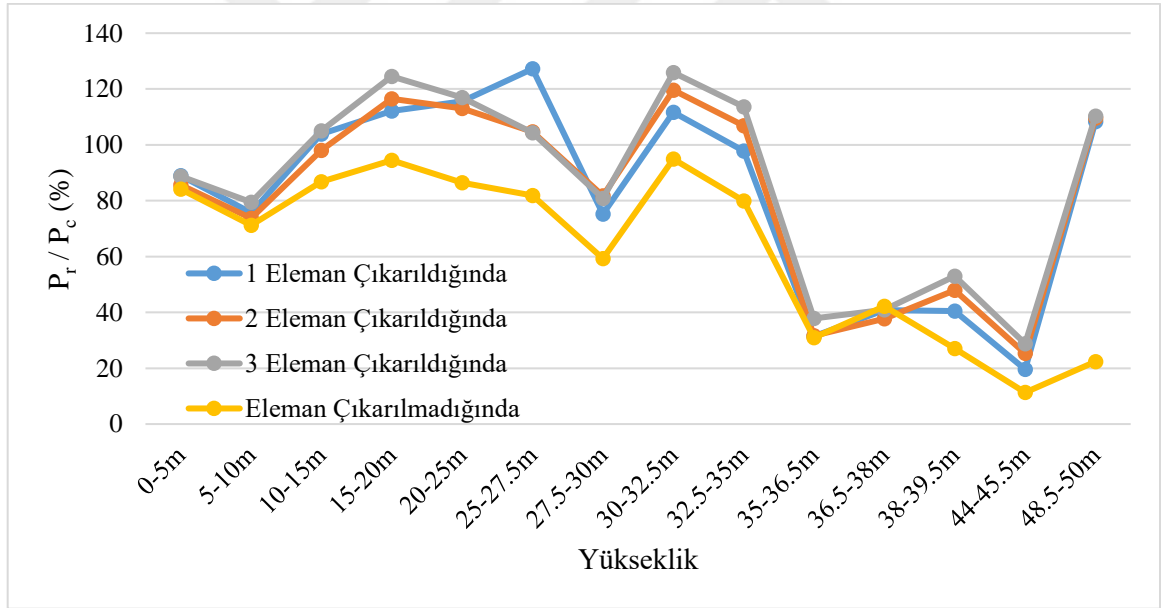
Şekil 45. 38-50m yükseklik aralığında 1 elemanın çıkarılmasıyla oluşan P_r/P_c oranı değişimi

Şekil 45’den görüldüğü gibi, kule yüksekliğinin 38-50m arasında çapraz elemanların sırasıyla 1, 2 ve 3 tanesinin taşıma gücünü kaybetmesi durumunda, en fazla P_r/P_c oranı artışı 44.5-45.5 ve 48.5-50m yükseklik arasındaki çapraz elemanlarda görülmüştür.

Kulenin 38-50m aralığında çapraz elemanların çıkarılmasıyla oluşan P_r/P_c oranı değişiminin 38-50m yükseklik aralığında sınırlı kaldığı görülmüştür.

3.3. Farklı Doluluk Oranları Dikkate Alınarak Yapılan Yapısal Çözümleme

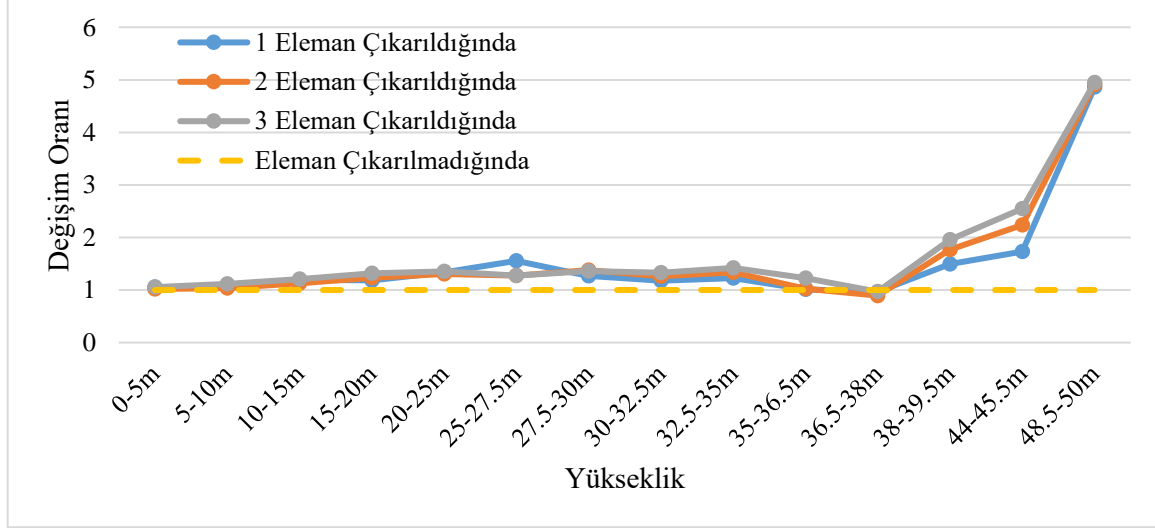
- Kule yüksekliğinin 38-50m yükseklik aralığının %20’sinin dolu olduğu varsayılarak, 0-25m yükseklik aralığında, sırasıyla 1, 2 ve 3 eleman çıkarılmasıyla, yüksekliğe bağlı olarak, diğer elemanlardaki P_r/P_c oranları Şekil 46’da, P_r/P_c oranındaki değişim miktarları ise Şekil 47’de verilmiştir.



Şekil 46. 0-25m yükseklik aralığında elemanların çıkarılmasıyla oluşan P_r/P_c oranları (%20 dolu)

Bu şekilden görüldüğü gibi, 0-25 m yükseklik aralığında 1 çapraz eleman çıkarılması durumunda, 10-27.5 m, 30-32.5m, 48.5-50m yükseklik aralığındaki çapraz elemanlar taşıma kapasitesini aşmıştır. 0-25m yükseklik aralığında 2 çapraz eleman çıkarılması durumunda, 15-27.5m, 30-35m, 48.5-50m yükseklik aralığındaki çapraz elemanlar taşıma kapasitesini

aşmıştır. 0-25 yükseklik aralığında 3 çapraz eleman çıkarılması durumunda, 10-27.5m, 30-35m, 48.5-50m yükseklik aralığındaki çapraz elemanlar taşıma kapasitesini aşmıştır.

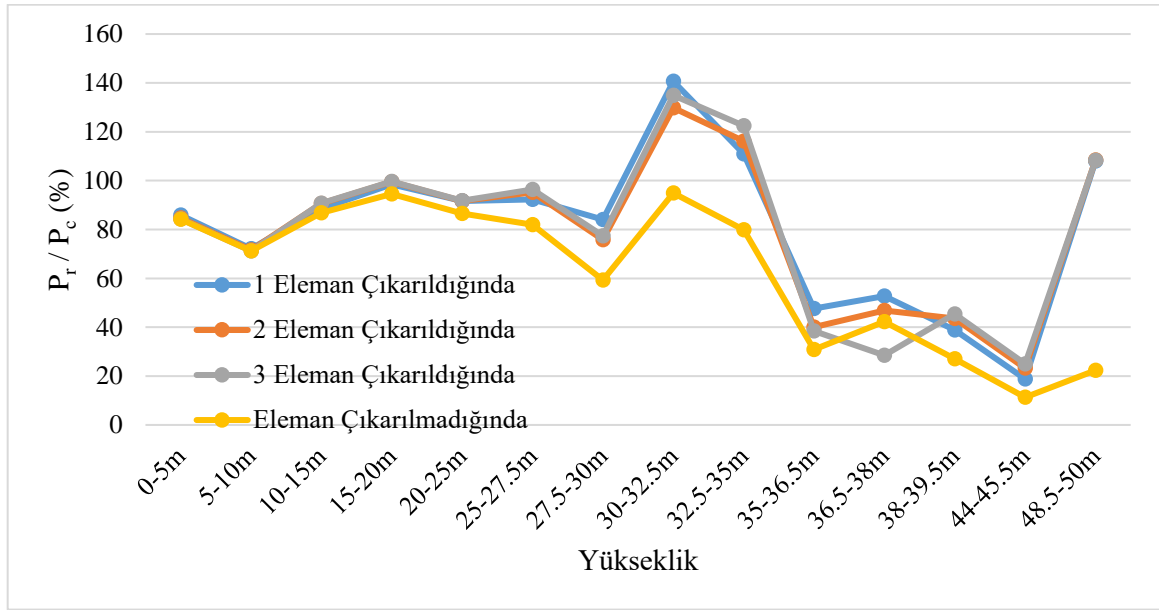


Şekil 47. 0-25m yükseklik aralığında elemanların çıkarılmasıyla oluşan P_r/P_c oranı değişimi (%20 dolu)

Bu şekilden görüldüğü gibi, kule yüksekliğinin 0-25m arasında çapraz elemanların 1 tanesinin taşıma gücünü kaybetmesi durumunda, en fazla P_r/P_c oranı artışı 25-27.5, 38-39.5m, 44-45.5m ve 48.5-50m yükseklik arasındaki çapraz elemanlarda görülmüştür. Aynı şekilde 2 ve 3 çapraz elemanın taşıma gücünü kaybetmesi durumunda, en fazla P_r/P_c oranı artışı 38-39.5m, 44-45.5m ve 48.5-50m yükseklik arasındaki çapraz elemanlarda görülmüştür.

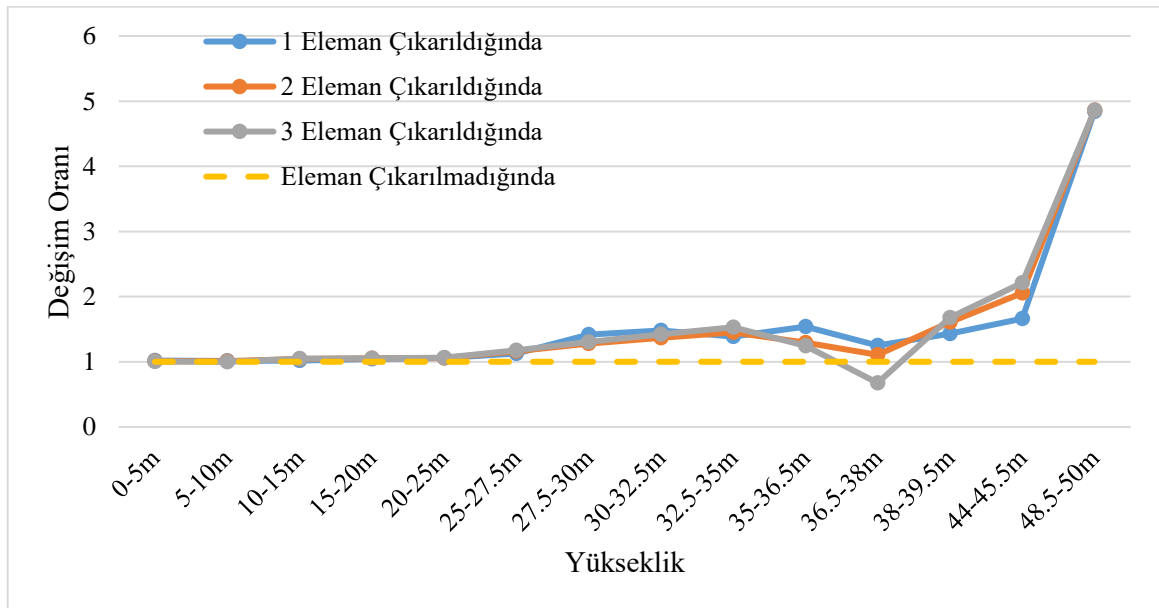
Kulenin 0-25m yükseklik aralığındaki çapraz elemanlardan 1 tanesinin çıkarılması sonucunda en fazla P_r/P_c oranı artışı 38-50m aralığında gözlenirken, 0-38m aralığındaki P_r/P_c oranı artışı daha kısıtlı bölge ile kaldığı gözlemlenmiştir. 0-25m yükseklik aralığında 2 ve 3 tane çapraz elemanın çıkmasıyla P_r/P_c oranının 38-50m yükseklik aralığında gittikçe arttığı gözlenirken, 0-38m aralığındaki artan P_r/P_c oranı yükseklik boyunca giderek daha da genişlemiştir.

- Kule yüksekliğinin 25-38m yükseklik aralığının %20'sinin dolu olduğu varsayılarak, 25-38m yükseklik aralığında, sırasıyla 1, 2 ve 3 eleman çıkarılmasıyla, yüksekliğe bağlı olarak, diğer elemanlardaki P_r/P_c oranları Şekil 48'de, P_r/P_c oranındaki değişim miktarları ise Şekil 49'da verilmiştir.



Şekil 48. 25-38m yükseklik aralığında elemanların çıkarılmasıyla oluşan P_r/P_c oranları (%20 dolu)

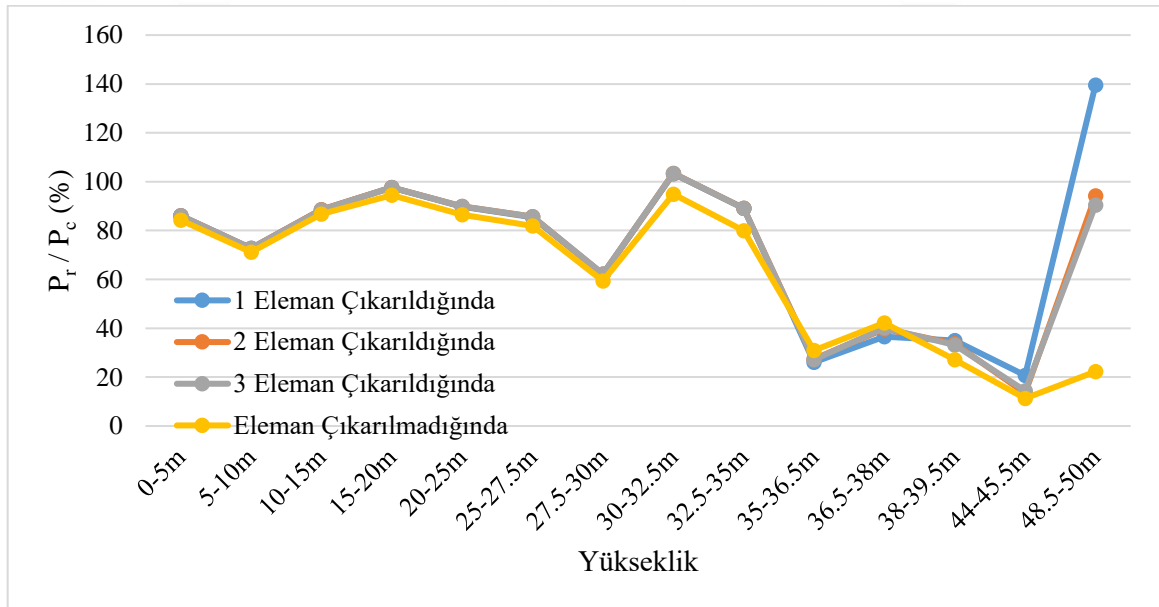
Bu şekilden görüldüğü gibi, 25-38m yükseklik aralığında sırasıyla 1, 2 ve 3 çapraz eleman çıkarılması durumunda, 30-35m, 48.5-50m yükseklik aralığındaki çapraz elemanlar taşıma kapasitesini aşmıştır.



Şekil 49. 25-38m yükseklik aralığında elemanların çıkarılmasıyla oluşan P_r/P_c oranı değişimi (%20 dolu)

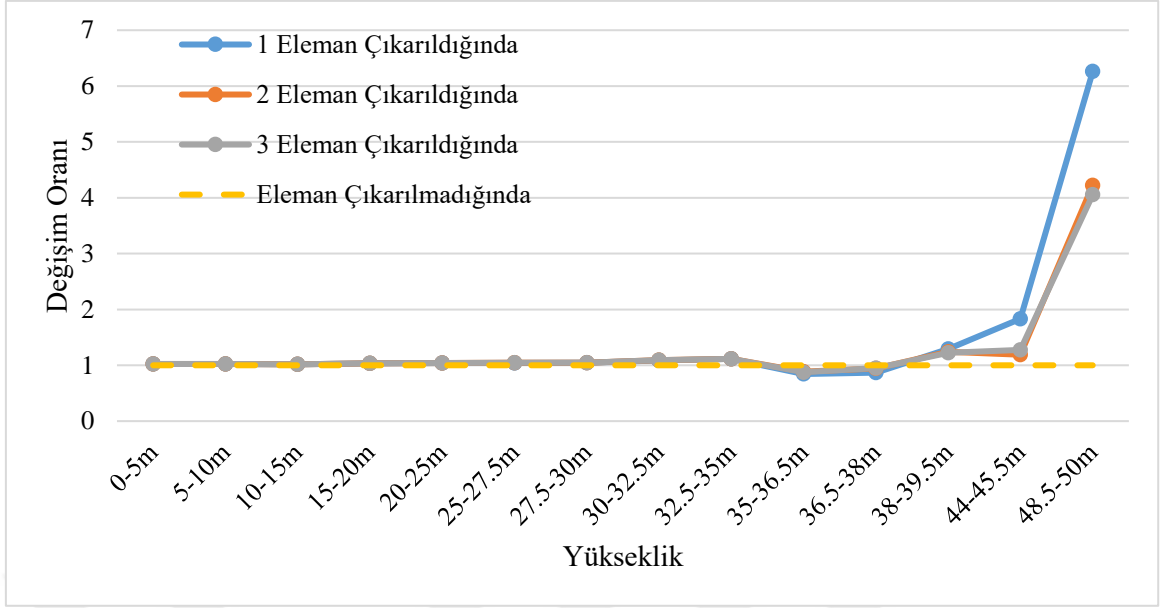
Şekil 49'dan görüldüğü gibi, kule yüksekliğinin 25-38m yükseklik aralığında sırasıyla 1,2 ve 3 çapraz elemanın taşıma gücünü kaybetmesi durumunda, en fazla P_r/P_c oranı artışı 38-39.5m, 44-45.5m ve 48.5-50m aralığında olmuştur. Ancak bu aralıktaki P_r/P_c oranı artışı eleman çıkarıldıkça daha çok artmıştır. Ayrıca 25-38m aralığında P_r/P_c oranı artışı gerçekleşmiştir.

- Kule yüksekliğinin 38-50m yükseklik aralığının %20'sinin dolu olduğu varsayılarak, 25-38m yükseklik aralığında, sırasıyla 1, 2 ve 3 eleman çıkarılmasıyla, yüksekliğe bağlı olarak, diğer elemanlardaki P_r/P_c oranları Şekil 50'de, P_r/P_c oranındaki değişim miktarları ise Şekil 51'de verilmiştir.



Şekil 50. 38-50m yükseklik aralığında elemanların çıkarılmasıyla oluşan P_r/P_c oranları (%20 dolu)

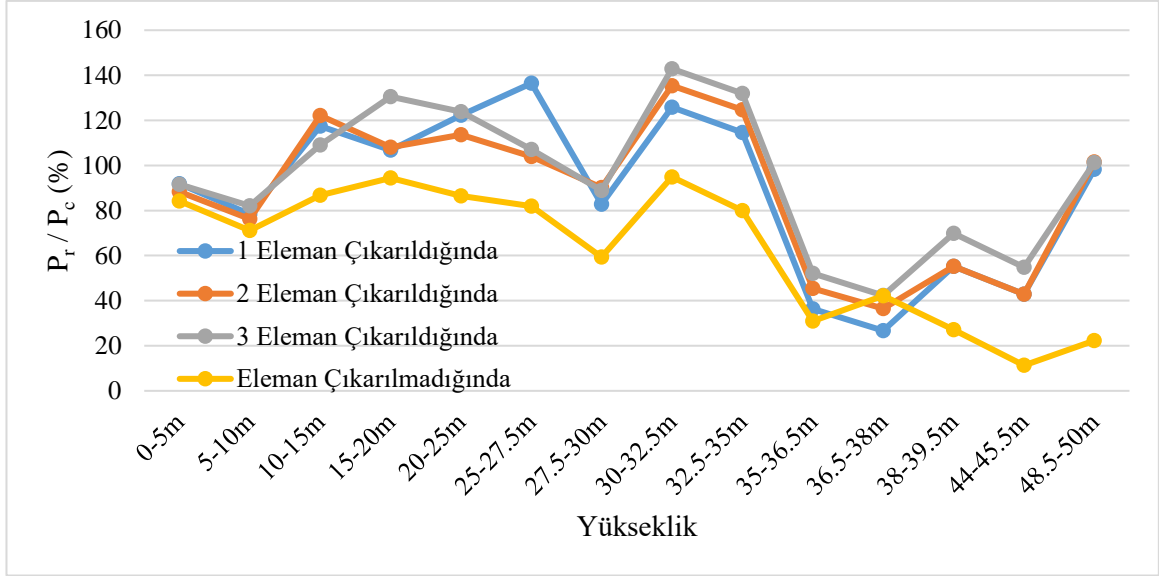
Bu şekilden görüldüğü gibi, 38-50 m yükseklik aralığında 1, 2 ve 3 çapraz eleman çıkarılması durumunda, 30-32.5m, 48.5-50m yükseklik aralığındaki çapraz elemanlar taşıma kapasitesini aşmıştır.



Şekil 51. 38-50m yükseklik aralığında elemanların çıkarılmasıyla oluşan P_r/P_c oranı değişimi (%20 dolu)

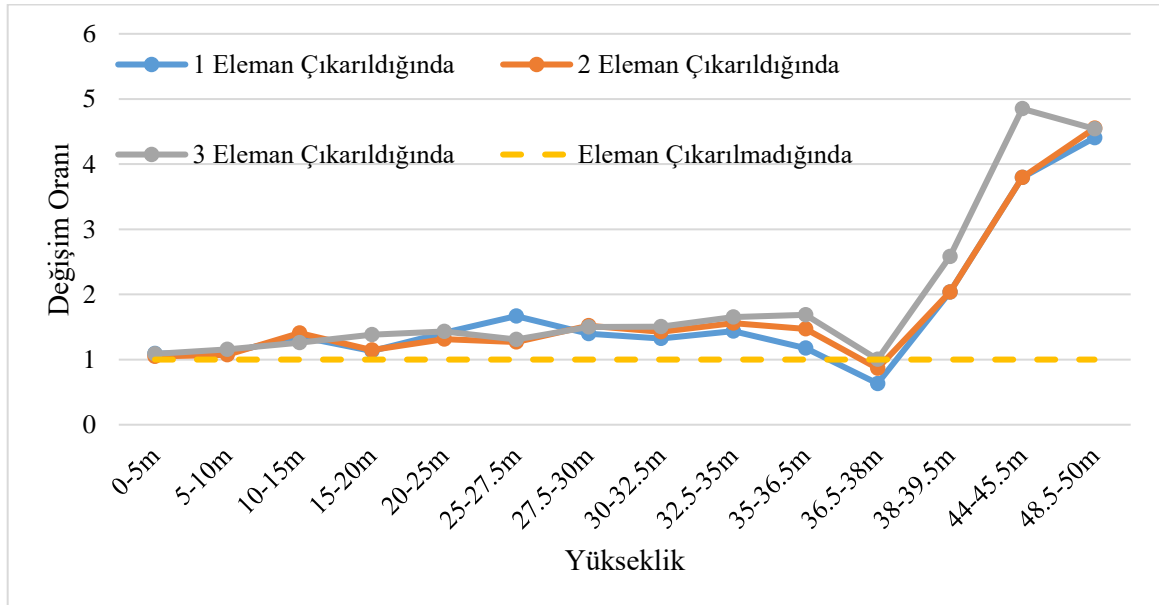
Bu şekilden görüldüğü gibi, kule yüksekliğinin 38-50m yükseklik aralığında sırasıyla 1,2 ve 3 çapraz elemanın taşıma gücünü kaybetmesi durumunda, en fazla P_r/P_c oranı artışı 38-39.5m, 44-45.5m ve 48.5-50m aralığında olmuştur.

- Kule yüksekliğinin 38-50m yükseklik aralığının %50'sinin dolu olduğu varsayılarak, 0-25m yükseklik aralığında, sırasıyla 1, 2 ve 3 eleman çıkarılmasıyla, yüksekliğe bağlı olarak, diğer elemanlardaki P_r/P_c oranları Şekil 52'de, P_r/P_c oranındaki değişim miktarları ise Şekil 53'de verilmiştir.



Şekil 52. 0-25m yükseklik aralığında elemanların çıkarılmasıyla oluşan P_r/P_c oranları (%50 dolu)

Bu şekilden görüldüğü gibi, 0-25 m yükseklik aralığında 1 çapraz eleman çıkarılması durumunda, 10-27.5 m, 30-35m yükseklik aralığındaki çapraz elemanlar taşıma kapasitesini aşmıştır. 0-25m yükseklik aralığında 2 ve 3 çapraz eleman çıkarılması durumunda, 15-27.5m, 30-35m, 48.5-50m yükseklik aralığındaki çapraz elemanlar taşıma kapasitesini aşmıştır.

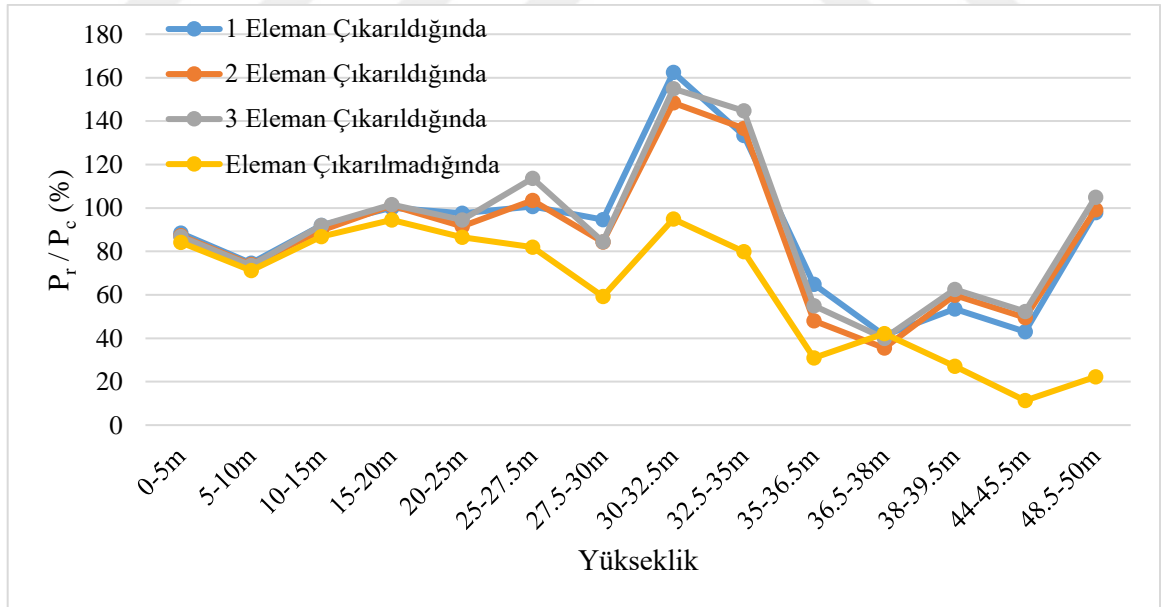


Şekil 53. 0-25m yükseklik aralığında elemanların çıkarılmasıyla oluşan P_r/P_c oranı değişimi (%50 dolu)

Şekil 53'den görüldüğü gibi, kule yüksekliğinin 0-25m arasında çapraz elemanların sırasıyla, birinin, ikisinin ve üçünün taşıma gücünü kaybetmesi durumunda, en fazla P_r/P_c oranı artışı 38-39.5m, 44-45.5m ve 48.5-50m yükseklik arasındaki çapraz elemanlarda görülmüştür.

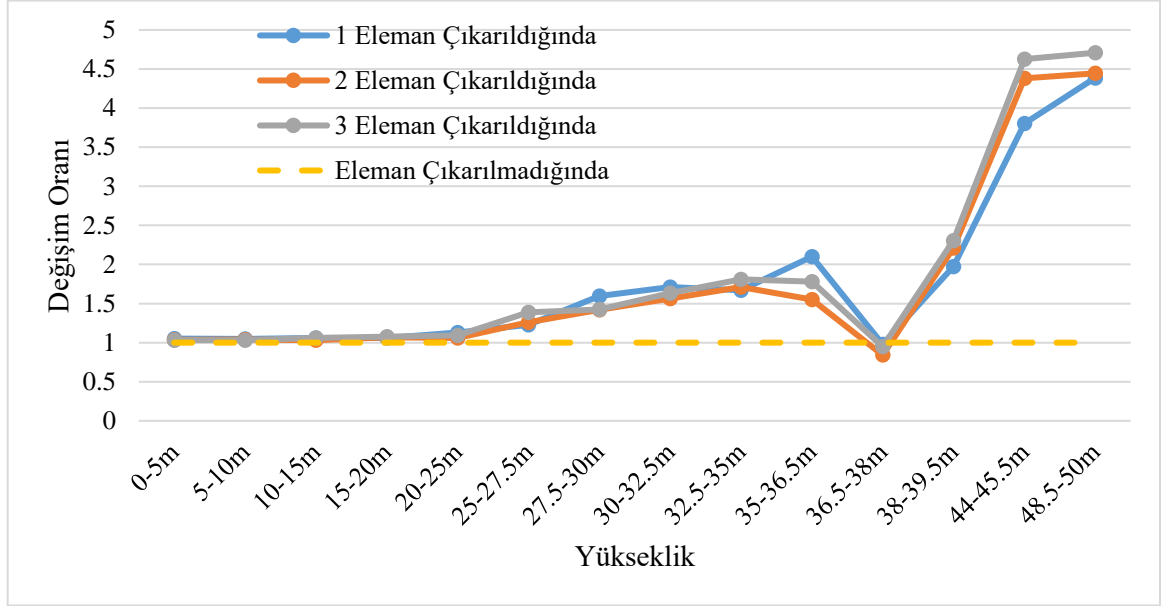
Kulenin 0-25m yükseklik aralığındaki çapraz elemanlardan 1 tanesinin çıkarılması sonucunda en fazla P_r/P_c oranı artışı 38-50m aralığında gözlemlenirken, 0-38m aralığında P_r/P_c oranı artışı daha kısıtlı bölge ile kaldığı gözlemlenmiştir. 0-25m yükseklik aralığında 2 ve 3 tane çapraz elemanın çıkmasıyla 38-50m yükseklik aralığında gittikçe artan P_r/P_c oranları gözlenirken, 0-38m aralığındaki P_r/P_c oranı en fazla artan kısıtlı bölge giderek daha da genişlemiştir. Ayrıca üçüncü eleman çıkmasıyla 38-39.5m, 44-45.5m ve 48.5-50m aralığında P_r/P_c oranı artışı diğer analizlere göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

- Kule yüksekliğinin 38-50m yükseklik aralığının %50'sinin dolu olduğu varsayılarak, 25-38m yükseklik aralığında, sırasıyla 1, 2 ve 3 eleman çıkarılmasıyla, yüksekliğe bağlı olarak, diğer elemanlardaki P_r/P_c oranları Şekil 54'de, P_r/P_c oranındaki değişim miktarları ise Şekil 55'de gösterilmiştir.



Şekil 54. 25-38m yükseklik aralığında elemanların çıkarılmasıyla oluşan P_r/P_c oranları (%50 dolu)

Şekil 54'den görüldüğü gibi, 25-38 m yükseklik aralığında sırasıyla 1 ve 2 çapraz eleman çıkarılması durumunda, 15-20m, 25-27.5m, 30-35m yükseklik aralığındaki çapraz elemanlar taşıma kapasitesini aşmıştır. 25-38m yükseklik aralığında 3 çapraz eleman çıkarılması durumunda, 15-27.5m, 25-27.5, 30-35m ve 48.5-50m yükseklik aralığındaki çapraz elemanlar taşıma kapasitesini aşmıştır.

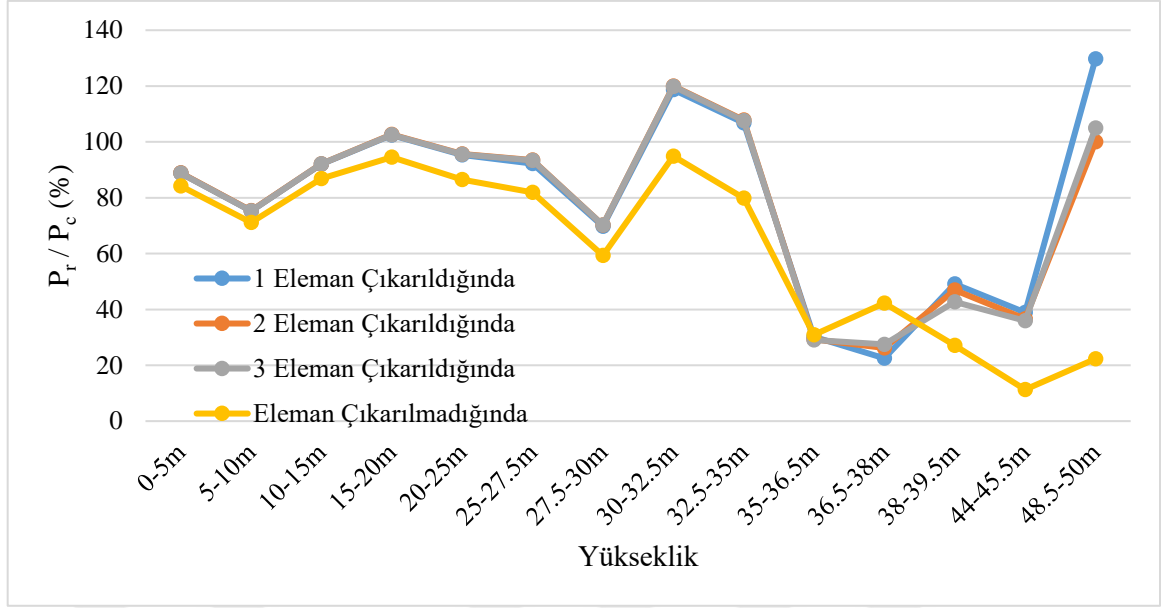


Şekil 55. 25-38m yükseklik aralığında elemanların çıkarılmasıyla oluşan P_r/P_c oranı değişimi (%50 dolu)

Bu şekilden görüldüğü gibi, kulenin 25-38m yükseklik aralığındaki çapraz elemanlardan sırasıyla birinin, ikisinin ve üçünün çıkarılması sonucunda 38-39.5, 44-45.5 ve 48.5-50 aralığında en fazla P_r/P_c oranı artışı gözlemlenmiştir.

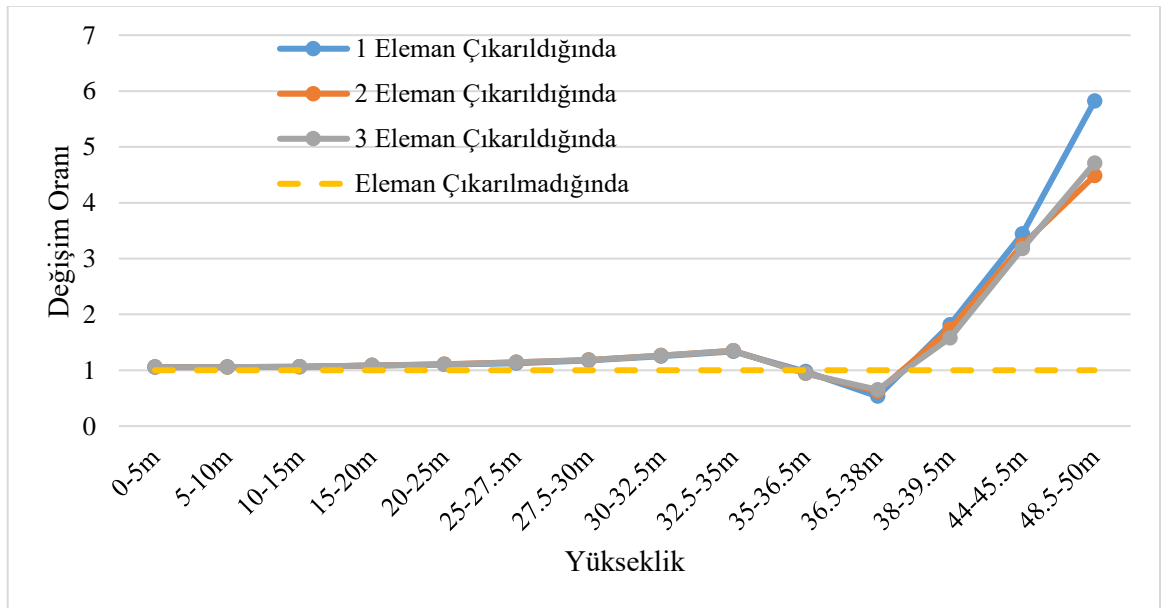
Her bir elemanın çıkmasıyla 38-50m aralığındaki çapraz elemanlarda dayanım seviyesi artışı gitgide artmıştır. Kulenin diğer kısmındaki dayanım seviyesi artışı 25-38m yüksekliğinde görülmüştür.

- Kule yüksekliğinin 38-50m yükseklik aralığının %50'sinin dolu olduğu varsayılarak, 38-50m yükseklik aralığında, sırasıyla 1, 2 ve 3 eleman çıkarılmasıyla, yüksekliğe bağlı olarak, diğer elemanlardaki P_r/P_c oranları Şekil 56'da, P_r/P_c oranındaki değişim miktarları ise Şekil 57'de verilmiştir.



Şekil 56. 38-50m yükseklik aralığında elemanların çıkarılmasıyla oluşan P_r/P_c oranları (%50 dolu)

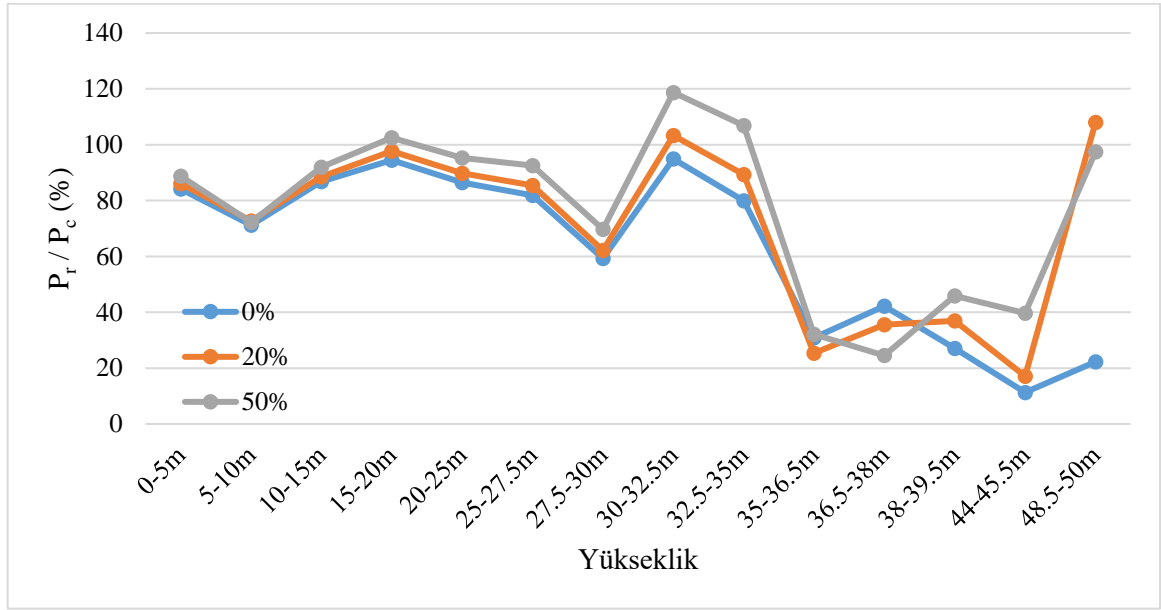
Bu şekilden görüldüğü gibi, 38-50m yükseklik aralığında sırasıyla 1, 2 ve 3 çapraz eleman çıkarılması durumunda, 15-20m, 30-35m ve 48.5-50m yükseklik aralığındaki çapraz elemanlar taşıma kapasitesini aşmıştır.



Şekil 57. 38-50m yükseklik aralığında elemanların çıkarılmasıyla oluşan P_r/P_c oranı değişimi (%50 dolu)

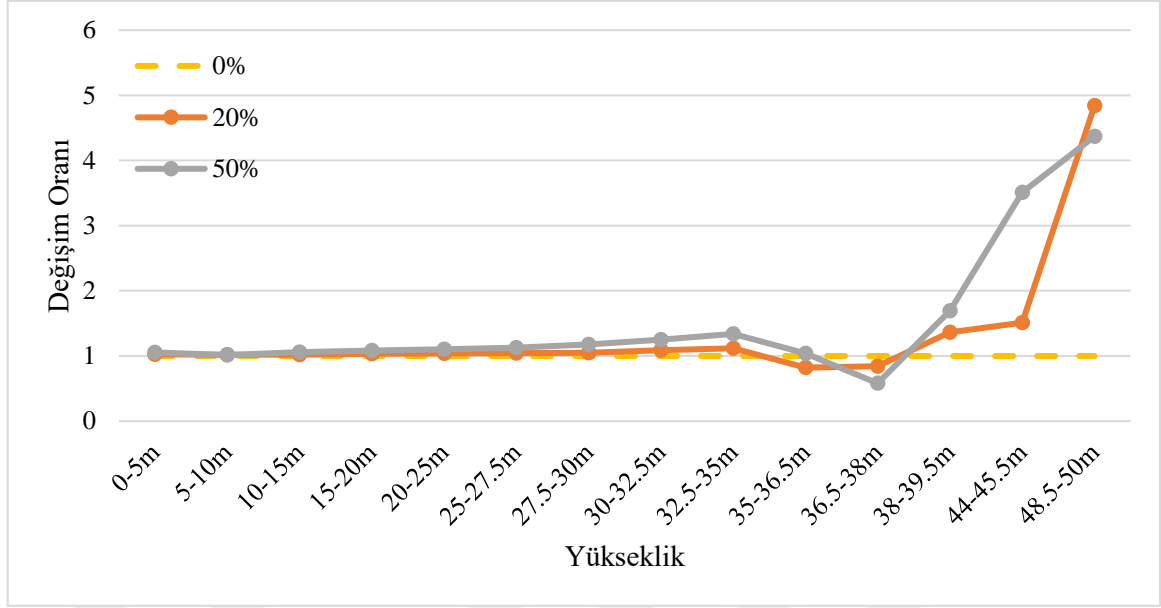
Şekil 57’den görüldüğü gibi, kule yüksekliğinin 38-50m yükseklik aralığında sırasıyla 1,2 ve 3 çapraz elemanın taşıma gücünü kaybetmesi durumunda, en fazla P_r/P_c oranı artışı 38-39.5m, 44-45.5m ve 48.5-50m aralığında olmuştur.

- Kule yüksekliğinin 38-50m yükseklik aralığının %0, %20 ve %50 dolu olduğu varsayılarak yapılan analizlerde, P_r/P_c oranı Şekil 58’de, P_r/P_c oranındaki değişim miktarları ise Şekil 59’da verilmiştir.



Şekil 58. 38-50m yükseklik aralığında %0, %20, %50 dolu kesit olduğu varsayılarak oluşan P_r/P_c oranları

Bu şekilden görüldüğü gibi, %20 doluluk oranında 30-32.5m, 48.5-50m yükseklik aralığında bulunan çapraz elemanlar taşıma kapasitesini aşmıştır. %50 doluluk oranında ise 15-20m, 30-35m yükseklik aralığında bulunan çapraz elemanlar taşıma kapasitesini aşmıştır.

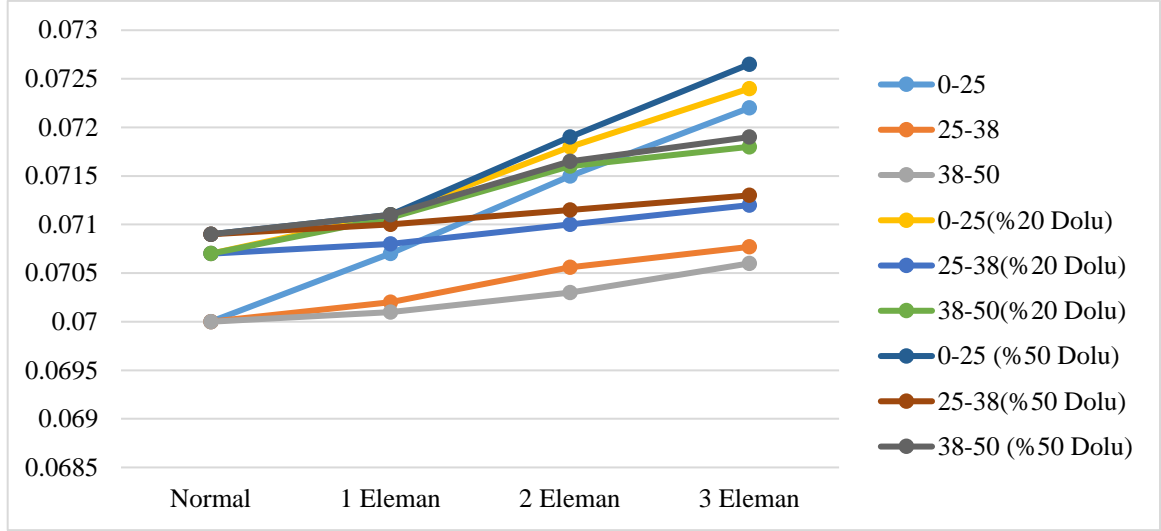


Şekil 59. 38-50m yükseklik aralığında %0, %20, %50 dolu kesit olduğu varsayılarak oluşan P_r/P_c oranı değişimi

Bu şekilden görüldüğü gibi, %20 doluluk oranında en fazla P_r/P_c oranı artışı 38-39.5m, 44-45.5m ve 48.5-50m aralığında olmuştur. %50 doluluk oranında ise 38-39.5, 44-45.5m aralığındaki çapraz elemanların P_r/P_c oranları daha da artarken, 30-35m yükseklik aralığındaki çapraz elemanlarda da artış gözlemlenmiştir.

3.4. Kule Yapısının Tepe Noktası Yer Değiştirmeleri

Kule yapısının 0-25m, 25-38m, 38-50m yükseklik aralığında 1, 2 ve 3 eleman çıkartıldığında oluşan tepe noktası yer değiştirmeleri Şekil 60'da verilmiştir.



Şekil 60. 0-25m, 25-38m, 38-50m yükseklik aralığında 1, 2 ve 3 eleman çıkarıldığında oluşan tepe noktası yer değıştirmesi

Bu şekilden görüldüğü gibi, 0-25m, 25-38m, 38-50m yükseklik aralığında her bir eleman çıkarılmasıyla tepe noktası yer değıştirmesi daha da artmıştır. Tepe noktası yer değışimi lineer bir çizgi şeklinde olduğu görülmüştür. En fazla tepe noktası yer değıştirmesi, 38-50m yükseklik aralığının %50 dolu kabul edildiği, 0-25m yükseklik aralığından 3 elemanın çıkarılması sonucunda ortaya çıkan analiz ile 0.07266m olarak belirlenmiştir.

4. SONUÇLAR

Kafes tipi çelik kule yapılarının rüzgâr etkisindeki davranışlarının incelenmesi amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmadan çıkartılabilecek bazı sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Kule tipi yapılar için, TS498 yönetmeliğine göre hesaplanan rüzgâr yükünün yeterli olmadığı, kule tipi yapılar için rüzgâr yüküne dair ülkemizde kapsamlı bir standardın olmadığı görülmüştür.

TS498'e göre emniyetli durumda olan kule, ASCE 7-16'ya göre hesaplandığında emniyetsiz duruma gelmektedir.

Kulenin rüzgâr yükü etkisi altında, belli yüksekliklerinden diyagonal elemanların taşıma gücünü herhangi bir nedenden dolayı kaybettiği varsayılarak çıkarılması durumunda, bazı çubuk elemanlar taşıma kapasitelerini büyük oranda aşmakta ve kule güvensiz duruma gelmektedir. Kuledeki diyagonal elemanlarının birinin bile görevini yerine getirememesi durumunun kulenin taşıma gücünü önemli derecede etkilediği görülmüştür.

Kule uç kısmına monte edilen vericiler ve antenler nedeniyle kar ve buzlanma etkileri ile doluluk oranı artmakta, bu durumda rüzgâr yükü daha etkili olmaktadır.

Kule tipi yapıların rüzgâr yüküne göre hesabında, genellikle ASCE ve TIA yönetmeliklerinin kullanılması tercih edilmektedir. Ancak bu yönetmeliklerde detaylı rüzgâr haritaları kullanılmaktadır. Ülkemiz için detaylı bir rüzgâr harita çalışması yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada yalnızca diyagonal çubuklarda cıvata gevşemesi veya kesilmesi sonucunda, diyagonal çubuğun etkisiz kalması dikkate alınmıştır. Diğer çubuklar içinde bu çalışma tekrarlanabilir.

Özetle, yerleşim alanları dışında, nispeten yüksek kesimlere inşa edilen çelik kuleler, daha fazla rüzgâr ve kar etkisinde kalmaktadır. Dolayısıyla da rüzgâr etkisi ile sürekli olarak tekrarlanır-tersinir yükleme altındadır. Kule birleşimleri bu yükleme ile zaman zaman gevşemekte veya birleşim cıvatalarında kesilme ya da çelik elemanlarda yırtılma meydana gelmekte bazen de cıvataların montajı yapılmamaktadır. Bu gibi durumlarda, bu çubuklar görevini yapamaz hale gelmektedir. Bu çalışmada, kulenin farklı yüksekliklerinden 1, 2 ve 3 diyagonal elemanın görevini yapamadığı durumlarda, rüzgâr yükü nedeniyle kulenin taşıma gücünü kaybettiği ortaya konmuştur. Kulelerin bakımlarının ihmal edilmeden her iki yılda bir yapılması, bu tür olumsuzlukları gidermeye yardımcı olacaktır.

5. KAYNAKLAR

- An, L., Wu, J., ve Jiang, W., 2019. Experimental and Numerical Study of the Axial Stiffness of Bolted Joints in Steel Lattice Transmission Tower Legs, Engineering Structures, 187, 490-503.
- ANSI/TIA-222-G., 2005. Structural Standard for Antenna Supporting Structures and Antennas, American National Standards Institute, Virginia, U.S.A, 264 s.
- ASCE 7-16., 2017. Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers, Virginia, U.S.A., 889 s.
- Bhatt, R., Pandey, A., ve Prakash, V., 2013. Influence of Modelling in the Response of Steel Lattice Mobile Tower Under Wind Loading, International Journal of Scientific Engineering and Technology, 2, 3, 137-144.
- Büyükçolpan, H. S., 2015. Rüzgar Türbin Kulelerinin Tasarımında Kullanılacak Rüzgar Yüklerinin Belirlenmesine Yönelik Bir Karşılaştırma, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Calotescu, I., ve Solari, G., 2016. Alongwind Load Effects on Free-Standing Lattice Towers, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 155, 182-196.
- Chanetz, B., 2017. A Century of Wind Tunnels since Eiffel, Comptes Rendus Mecanique, 345, 8, 581-594.
- Deniz, A., Beaufort (Bofor) Rüzgar Iskalası, Meteoroloji Genel Müdürlüğü e-Kütüphane, <https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/makale/beaufort.pdf>, 21 Mart 2019
- Elibüyük, U., ve Üçgül, İ., 2014. Rüzgar Türbinleri, Çeşitleri ve Rüzgar Enerjisi Depolama Yöntemleri. SDÜ Yekarum e-Dergi, 2, 3.
- Eurocode-1-4., 2005. Eurocode 1: Actions on Structures - Part 1-4: General Actions - Wind Actions, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 149 s.
- Gürses, P., 2012. Yapılara Etki Eden Rüzgar Yüklerinin Eurocode 1-4 ve ASCE 7-05 Standardları Kullanılarak Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hayli, S., 2001. Rüzgar Enerjisinin Önemi Dünya'da ve Türkiye'deki Durumu, Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 11, 1, 1-26.
- İYBRY., 2009. İstanbul Yüksek Binalar Rüzgar Yönetmeliği, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, İstanbul, 19s.
- Jesumi, A., ve Rajendran, M., 2013. Optimal Bracing System for Steel Towers, International of Engineering Research and Applications, 3, 2, 729-732.
- Kanbur, B. B., Pınarbaşı, A., ve Koca, A. İ., 2015. Aynı Bölgede Bulunan Yüksek ve Alçak Katlı Binalar Üzerindeki Rüzgar Yükleri Etkisinin İncelenmesi, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 146, 30-41.

- Katayoon, T., ve Seyedinnoor, S., 2013. Super-Tall Buildings Forms Based on Structural Concepts and Energy Conservation Principles, Architecture Research, 3, 2, 13-19.
- Köse, F., ve Özgören, M., 2005. Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Ölçümü ve Rüzgar Türbini Seçimi, Mühendis ve Makine, 551, 20-30.
- Majeed, A. J. A. A., ve Hraba, A. S. I J., 2017. Telecommunication Cell Tower Most Common Alternatives Overview, American Journal of Civil Engineering, 5, 5, 268.
- Oliveira, M. I. R. D., Silva, J. G. S. D., Vellasco, P. C. G. D. S., Andrade, S. A. L. D., ve Lima, L. R., 2007. Structural Analysis of Guyed Steel Telecommunication Towers for Radio Antennas. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 29, 2, 185-195.
- Özlek, C., 2015. ASCE 7-10, Eurocode 1-4 ve TS 498 Yönetmelikleri Kullanılarak Yapılara Etki Eden Rüzgar Yüklerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Pathrikar, A., ve Kalurkar, P. L., 2017. Analysis of Telecommunication Tower with Different Bracing System, IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering, 14, 2, 59-64.
- Peacock, W. G., Morrow, B. H., ve Gladwin, H., 2012. Hurricane Andrew Ethnicity Gender and The Sociology of Disasters, Routledge, New York, 57 s.
- Ravishankar, P., Arun, L., ve Sudha, G. C., 2018. Analysis of Four Legged Steel Telecommunication Tower-Equivalent Static Approach, International Research Journal of Engineering and Technology, 5, 8, 1405-1410.
- Sharma, K. K., Duggal, S. K., Singh, D. K., ve Sachan, A. K., 2015. Comparative Analysis of Steel Telecommunication Tower Subjected to Seismic & Wind Loading, Civil Engineering and Urban Planning: An International Journal (CiVEJ), 2, 3, 15-17.
- Siddesha, H., 2010. Wind Analysis of Microwave Antenna Towers, International Journal of Applied Engineering Research, 1, 3, 574.
- Stamatopoulos, G. N., 2013. Assessment of strength and measures to upgrade a telecommunication steel tower, International Journal of Steel Structures, 13, 2, 331-340.
- Szafran, J., Juszczak, K., ve Kaminski, M., 2019. Experiment-based reliability analysis of structural joints in a steel lattice tower, Journal of Constructional Steel Research, 154, 278-292.
- Tah, A. M., Alsilevanai, K. M., ve Özakça, M., 2017. Comparison of Various Bracing System for Self-Supporting Steel Lattice Structure Towers, American Journal of Civil Engineering, 5, 2, 60-68.
- Tozan, S., 2013. Yüksek Binalarda Rüzgar Etkisi ve Konfor Şartlarının Çeşitli Yönetmeliklere Göre İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- TS498., 1997. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesabı. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 24 s.

- Tuncer, H. M., 2015. Yüksek Yapılarda Yapı Rüzgar Etkileşimi, Yüksek Lisans Tezi, - Y.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yücel, M., 2010. Yüksek Binaların Yakın Çevre Bina Yüzeylerindeki Hava Akışına Etkileri - Four Winds Örneği, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- URL-1, <http://www.sanatsalbilgi.com/DOKUMANLAR/19/ruzgar-cesitleri-247.html>, 22 Şubat 2019
- URL-2, <https://sustainabilityworkshop.autodesk.com/sites/default/files/core-page-inserted-images/wind-profile.png>, 15 Mart 2019
- URL-3, <http://www.comproperty.com/news/read?id=4756>, 18 Mart 2019
- URL-4, <http://www.civilengineeringx.com/construction/wind/>, 18 Mart 2019
- URL-5, <https://core.ac.uk/download/pdf/144148765.pdf>, 25 Mart 2019
- URL-6, <https://misfitsarchitecture.com/2015/01/05/dysfunctionalism/foster-partners-30-st-mary-axe-office-building-wind-diagram/>, 25 Mart 2019
- URL-7, <https://mccoymart.com/post/wind-tunnel-testing-for-design-of-building-facades/>, 25 Mart 2019
- URL-8, <https://eu.usatoday.com/story/news/politics/2015/07/28/louisiana-still-finding-katrina-damage/30459513/>, 25 Mart 2019
- URL-9, <https://www.usatoday.com/story/news/2017/08/24/hurricane-andrew-haunts-florida-25-years-later/577624001/>, 12 Nisan 2019
- URL-10, http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu/index_dosyalar/TacomaNarrowsBridge.htm, 12 Nisan 2019
- URL-11, <https://content.lib.washington.edu/farquharsonweb/index.html>, 12 Nisan 2019
- URL-12, <http://wirelessestimator.com/articles/2019/texas-tower-designed-for-90-mph-wind-speed-toppled-in-a-54-mph-gust/>, 12 Nisan 2019
- URL-13, <https://www.usatoday.com/story/news/nation-now/2018/04/19/tv-tower-collapse-missouri-leaves-1-worker-dead-several-injured-officials-say/534752002/>, 12 Nisan 2019
- URL-14, <http://www.towerofpisa.org>, 15 Nisan 2019
- URL-15, <https://italiannotes.com/leaning-towers-of-bologna/>, 15 Nisan 2019
- URL-16, <https://www.igairport.com/tr>, 15 Nisan 2019
- URL-17, <http://www.hydroquebec.com/learning/transport/types-pylones.html>, 15 Nisan 2019
- URL-18, <http://anthrophysis.blogspot.com/2011/09/avian-populations-are-not-impacted-by.html>, 17 Nisan 2019

URL-19, <http://moss-design.com/eiffel-tower/>, 17 Nisan 2019



6. EKLER

Kafes tipi elik kule yapılarının rüzgâr etkisindeki davranışlarının incelenmesi amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada, 50m yüksekliğine sahip bir verici kulesinin farklı yükseklik seviyelerindeki diyagonal çubukların, birleşimden kaynaklanan nedenlerle, görevini yapmaması durumları için yapısal çözümleme yapılmış ve elde edilen sonuçlar tablolarla bu bölümde verilmiştir. Tablolarda, P_r ; gerekli aksenal kuvvet dayanımını ve P_c ; tasarım aksenal kuvvet dayanımını göstermektedir. P_r/P_c oranı, çıkarılan her bir diyagonal eleman sonrası yapılan çözümlemelerle tekrar hesaplanmış ve yüzdesel olarak verilmiştir. Bu oranın, kuleden hiç bir eleman çıkarılmadığı duruma göre değişimi de tabloda yüzdesel olarak belirtilmiştir.

Ek Tablo 16. 0-25m yükseklik arasındaki 1 çapraz elemanın çıkarılması sonucu kule elemanlarındaki dayanım değişimi

Yükseklik (m)	Çapraz Elemanlar				Dikey Elemanlar			
	P_r/P_c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)	P_r/P_c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)
0-5	87	+%3.33	L80x6	23.179	28.9	+0.35	L120x12	97.168
	71.4	+%0.28	L80x6	-18.923	23.2	-7.57	L120x12	71.702
0-25	101.2	+%16.59	L75x5	19.326	26.5	-1.49	L120x11	51.547
	107.8	+%14.07	L70x5	17.054	28.3	+15.51	L120x10	34.303
20-25	111.4	+%28.79	L70x5	17.467	20.8	+4	L100x10	27.957
	122.5	+%49.57	L60x4	8.564	29.2	-15.11	L100x10	-22.485
25-30	59.4	+%0.17	L60x4	4.195	35.6	+6.91	L100x10	-12.719
	104.1	+%9.69	L50x4	4.909	32.6	-4.40	L100x8	-8.408
25-38	80.3	+%0.5	L50x4	3.942	33.6	+1.20	L100x8	-2.957
	36.2	+%17.15	L40x4	1.733	39.6	-1.98	L90x7	-2.664
36.5-38	42.2	%0	L40x4	-2.26	24.1	-4.36	L90x7	-9.915
	26.4	-%2.58	L40x4	-1.337	52.2	-0.76	L80x6	-9.331
38-50	12.6	+%11.5	L40x4	0.496	45.1	-0.88	L80x6	-5.272
	22.5	+%0.9	L40x4	1.117	32.9	-0.90	L70x5	-1.040
Tepe Noktası Yerdeğişimi: 0.0707m (Değişim: +%1)								

Ek Tablo 17. 0-25m yükseklik arasındaki 2 çapraz elemanın çıkarılması sonucu kule elemanlarındaki dayanım değişimi

Yükseklik (m)	Çapraz Elemanlar				Dikey Elemanlar			
	P_r/P_c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)	P_r/P_c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)
0-5	84.6	+%0.48	L80x6	-22.345	28.4	-%1.39	L120x12	95.198
	71.6	+%0.56	L80x6	-18.925	23	-%8.37	L120x12	69.469
0-25	95.7	+%10.25	L75x5	-18.07	23.7	-%11.9	L120x11	46.225
	111.9	+%18.41	L70x5	17.726	32.7	+%33.47	L120x10	31.351
20-25	107.8	+%24.62	L70x5	16.955	25.1	+%22.9	L100x10	24.58
	100.5	+%22.71	L60x4	-6.91	36.6	+%6.4	L100x10	-23.453
25-30	77.9	+%31.37	L60x4	5.774	28.6	-%14.11	L100x10	-18.518
	106	+%11.7	L50x4	5.017	34.6	+%1.47	L100x8	-9.94
25-38	91.6	+%14.64	L50x4	-4.589	31.6	-%4.82	L100x8	-5.458
	30.4	-%1.62	L40x4	1.411	40.1	-%0.74	L90x7	-3.322
35-36.5	43.2	+%2.37	L40x4	-2.31	22.7	-%9.92	L90x7	-8.918
	36.3	+%33.95	L40x4	-2.006	50.3	-%4.37	L80x6	-8.548
38-50	14.9	+%31.86	L40x4	-0.643	44	-%3.3	L80x6	-5.043
	22.9	+%2.69	L40x4	-1.14	32.3	-%2.71	L70x5	-1.04
Tepe Noktası Yerdeğişimi: 0.0715m (Değişim: +%2.14)								

Ek Tablo 18. 0-25m yükseklik arasındaki 3 çapraz elemanın çıkarılması sonucu kule elemanlarındaki dayanım değişimi

Yükseklik (m)	Çapraz Elemanlar				Dikey Elemanlar			
	P_r/P_c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)	P_r/P_c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)
0-5	86.4	+%2.61	L80x6	-19.296	25.9	-%10.07	L120x12	87.549
	77.8	+%9.27	L80x6	-20.892	21.7	-%13.55	L120x12	64.811
0-25	101.7	+%17.17	L75x5	18.936	30.4	+%13.01	L120x11	41.17
	119.7	+%26.67	L70x5	18.893	34.9	+%42.45	L120x10	37.091
20-25	111.7	+%29.13	L70x5	17.479	25.6	+%28	L100x10	28.283
	100.6	+%22.83	L60x4	-6.919	35.9	+%4.36	L100x10	-25.855
25-27.5	77.4	+%30.52	L60x4	5.597	28.3	-%15.02	L100x10	-20.13
	111.6	+%17.6	L50x4	5.314	34.4	+%0.88	L100x8	-10.99
25-38	97.6	+%22.15	L50x4	-4.581	31.3	-%5.72	L100x8	-5.965
	32.8	+%6.15	L40x4	1.546	39.6	-%1.98	L90x7	-3.567
35-36.5	45.7	+%8.29	L40x4	-2.459	21.6	-%14.29	L90x7	-8.58
	40.6	+%49.82	L40x4	2.279	49.5	-%5.89	L80x6	-8.316
38-39.5	16.6	+%46.9	L40x4	-0.748	43.4	-%4.62	L80x6	-4.948
	23.1	+%3.59	L40x4	-1.157	31.9	-%3.92	L70x5	-1.042
38-50	Tepe Noktası Yerdeğişimi: 0.0722m (Değişim: +%3.14)							

Ek Tablo 19. 25-38m yükseklik arasındaki 1 çapraz elemanın çıkarılması sonucu kule elemanlarındaki dayanım değişimi

Yükseklik (m)	Çapraz Elemanlar				Dikey Elemanlar			
	P_r/P_c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)	P_r/P_c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)
0-5	84	-%0.24	L80x6	22.343	28.7	-%0.35	L120x12	98.102
5-10	70.4	-%1.12	L80x6	18.631	25	-%0.40	L120x12	75.533
0-25	88.63	+%2.11	L75x5	16.103	26.9	%0	L120x11	53.392
15-20	92.6	-%2.01	L70x5	14.548	24.2	-%1.22	L120x10	37.156
20-25	88.1	+%1.85	L70x5	13.757	20	%0	L100x10	20.475
25-27.5	88.1	+%7.57	L60x4	5.97	35.2	+%2.33	L100x10	18.384
27.5-30	78.9	+%33.05	L60x4	-5.838	30.8	-%7.51	L100x10	10.123
25-38	129.2	+%36.14	L50x4	6.231	39.7	+%16.42	L100x8	8.965
32.5-35	100.02	+%25.18	L50x4	5.101	35.4	+%6.63	L100x8	1.526
35-36.5	50.7	+%64.08	L40x4	2.526	36.4	-%9.90	L90x7	11.287
36.5-38	57.8	+%36.97	L40x4	-3.192	23.4	-%7.14	L90x7	8.918
38-39.5	28.5	+%5.17	L40x4	1.512	51.8	-%1.52	L80x6	8.874
38-50	11.9	+%5.31	L40x4	0.454	45	-%1.1	L80x6	5.164
48.5-50	22.4	+%0.45	L40x4	1.111	33	-%0.6	L70x5	1.037
Tepe Noktası Yerdeğişimi: 0.0702m (Değişim: +%0.29)								

Ek Tablo 20. 25-38m yükseklik arasındaki 2 çapraz elemanın çıkarılması sonucu kule elemanlarındaki dayanım değişimi

Yükseklik (m)	Çapraz Elemanlar				Dikey Elemanlar			
	P_r/P_c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)	P_r/P_c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)
0-5	83	--%1.43	L80x6	-22.089	28.6	-%0.69	L120x12	97.555
	70.1	-%1.54	L80x6	-18.535	24.9	-%0.80	L120x12	75.059
0-25	87.7	+%1.04	L75x5	-15.71	26.5	-%1.49	L120x11	52.604
	95.4	+%0.95	L70x5	-14.726	24.1	-%1.63	L120x10	36.361
20-25	87	+%0.58	L70x5	-12.805	18.1	-%9.5	L100x10	17.799
	88.7	+%8.3	L60x4	-6.015	32	-%6.98	L100x10	-15.15
27.5-30	69.3	+%16.86	L60x4	5.038	32.9	-%1.20	L100x10	-9.832
	115	+%21.18	L50x4	5.494	48.9	+%43.40	L100x8	-7.051
30-32.5	101.8	+%27.41	L50x4	-5.457	31.1	-%6.33	L100x8	-4.65
	43.1	+%39.48	L40x4	2.109	35.4	-%12.38	L90x7	-5.76
35-36.5	51.6	+%22.27	L40x4	-2.818	22	-%12.70	L90x7	-7.226
	32.1	+%18.45	L40x4	1.744	49.1	-%6.65	L80x6	-7.494
38-39.5	13.3	+%17.7	L40x4	-0.54	43.9	-%3.52	L80x6	-4.833
	22.6	+%1.35	L40x4	-1.127	32.4	-%2.41	L70x5	-1.041
44-45.5								
48.5-50								

Tepe Noktası Yerdeğişimi: 0.07056m (Değişim: +%0.80)

Ek Tablo 21. 25-38m yükseklik arasındaki 3 çapraz elemanın çıkarılması sonucu kule elemanlarındaki dayanım değişimi

Yükseklik (m)	Çapraz Elemanlar				Dikey Elemanlar			
	P _r /P _c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)	P _r /P _c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)
0-5	84.1	-%0.12	L80x6	-21.995	28.5	-%1.04	L120x12	97.202
	71.9	+%0.98	L80x6	-18.436	24.8	-%1.20	L120x12	74.733
0-25	87.8	+%1.15	L75x5	-15.612	26.4	-%1.86	L120x11	52.306
	95.5	+%1.06	L70x5	-14.599	23.9	-%2.45	L120x10	36.009
20-25	87.1	+%0.69	L70x5	-12.696	17.9	-%10.50	L100x10	17.354
	89.6	+%9.4	L60x4	-6.083	31.7	-%7.85	L100x10	-14.473
27.5-30	70.6	+%19.06	L60x4	5.145	32.4	-%2.70	L100x10	-8.961
	119.3	+%25.71	L50x4	5.72	47.2	+%38.42	L100x8	-6.051
32.5-35	105.2	+%31.66	L50x4	-5.366	38.5	+%15.96	L100x8	-6.279
	26.3	-%14.89	L40x4	-1.177	37.1	-%8.17	L90x7	-5.801
36.5-38	34.8	-%17.54	L40x4	-1.804	22.3	-%11.51	L90x7	-6.582
	33.5	+%23.62	L40x4	1.801	47.2	-%10.27	L80x6	-6.548
38-50	13.4	+%18.58	L40x4	-0.547	43.3	-%4.84	L80x6	-4.586
	22.6	+%1.35	L40x4	-1.126	32.1	-%3.31	L70x5	-1.037
Tepe Noktası Yerdeğişimi: 0.07077m (Değişim: +%1.1)								

Ek Tablo 22. 38-50m yükseklik arasındaki 1 çapraz elemanın çıkarılması sonucu kule elemanlarındaki dayanım değişimi

Yükseklik (m)	Çapraz Elemanlar				Dikey Elemanlar			
	P_r/P_c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)	P_r/P_c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)
0-5	84.2	%0	L80x6	22.386	28.8	%0	L120x12	98.271
	70.9	-%0.42	L80x6	18.781	25	-%0.40	L120x12	75.764
0-25	86.2	-%0.69	L75x5	16.078	26.8	-%0.37	L120x11	53.528
	94.4	-%0.11	L70x5	14.884	24.5	%0	L120x10	37.667
20-25	86.2	-%0.35	L70x5	13.358	19.9	-%0.5	L100x10	20.710
	81.5	-%0.49	L60x4	5.473	34.3	-%0.29	L100x10	18.531
25-27.5	58.1	-%2.02	L60x4	4.087	33.2	--%0.30	L100x10	12.040
	94.4	-%0.53	L50x4	4.407	33.9	-%0.57	L100x8	6.698
25-38	79.4	-%0.63	L50x4	3.888	33	-%0.60	L100x8	2.693
	30.8	-%0.32	L40x4	1.433	40.2	-%0.49	L90x7	2.125
35-36.5	42.5	+%0.71	L40x4	-2.267	25.1	-%0.40	L90x7	10.155
	27.1	%0	L40x4	-1.399	52.4	-%0.38	L80x6	9.398
38-39.5	14.5	+%28.32	L40x4	0.617	44.8	-%1.54	L80x6	5.318
	35.2	+%57.85	L40x4	1.923	27.9	-%15.96	L70x5	1.621
38-50	Tepe Noktası Yerdeğişimi: 0.0701m (Değişim: +%0.143)							

Ek Tablo 23. 38-50m yükseklik arasındaki 2 çapraz elemanın çıkarılması sonucu kule elemanlarındaki dayanım değişimi

Yükseklik (m)	Çapraz Elemanlar				Dikey Elemanlar			
	P_r/P_c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)	P_r/P_c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)
0-5	84.2	%0	L80x6	-22.367	28.7	-%0.35	L120x12	98.12
	71.1	-%0.14	L80x6	-18.766	25	-%0.4	L120x12	75.634
0-25	86.5	-%0.35	L75x5	-16.063	26.8	-%0.37	L120x11	53.423
	94.2	-%0.32	L70x5	-14.868	24.4	-%0.41	L120x10	37.583
20-25	86.1	-%0.46	L70x5	-13.34	19.9	-%0.5	L100x10	20.658
	81.5	-%0.49	L60x4	5.466	34.2	-%0.58	L100x10	-18.438
25-38	58.9	-%0.67	L60x4	4.083	33.1	-%0.6	L100x10	-11.96
	94.3	-%0.63	L50x4	-4.399	33.8	-%0.88	L100x8	-6.633
32.5-35	79.2	-%0.88	L50x4	3.879	32.9	-%0.9	L100x8	-2.644
	30.8	-%0.32	L40x4	1.436	40.1	-%0.74	L90x7	-2.09
36.5-38	42.5	+%0.71	L40x4	-2.27	24.9	-%1.19	L90x7	-10.006
	26.3	-%2.95	L40x4	1.374	52.2	-%0.76	L80x6	-9.188
38-50	13.4	+%18.58	L40x4	0.55	45	-%1.1	L80x6	-4.53
	24.5	+%9.87	L40x4	-1.246	13.9	-%58.13	L70x5	-0.248

Tepe Noktası Yerdeğişimi: 0.07121m (Değişim: +%1.06)

Ek Tablo 24. 38-50m yükseklik arasındaki 3 çapraz elemanın çıkarılması sonucu kule elemanlarındaki dayanım değişimi

Yükseklik (m)	Çapraz Elemanlar				Dikey Elemanlar			
	P _r /P _c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)	P _r /P _c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)
0-5	84	-%0.24	L80x6	--22.347	28.7	-%0.35	L120x12	97.955
	71	-%0.28	L80x6	-18.749	25	-%0.4	L120x12	75.487
0-25	86.4	-%0.46	L75x5	-16.047	26.7	-%0.74	L120x11	53.298
	94.1	-%0.42	L70x5	-14.85	24.3	-%0.82	L120x10	37.472
20-25	86	-%0.58	L70x5	-13.319	19.8	-%1	L100x10	19.573
	81.3	-%0.73	L60x4	5.458	34.1	-%0.87	L100x10	-18.321
27.5-30	58.8	-%0.84	L60x4	-4.161	33.6	-%0.90	L100x10	-11.854
	94.1	-%0.84	L50x4	-4.388	33.7	-%1.17	L100x8	-6.355
25-38	79	-%1.13	L50x4	3.867	32.8	-%1.20	L100x8	-2.555
	30.8	-%0.32	L40x4	1.431	40	-%0.99	L90x7	-1.998
36.5-38	42.4	+%0.47	L40x4	-2.263	24.2	-%3.97	L90x7	-9.99
	26	-%4.06	L40x4	1.351	51.9	-%1.33	L80x6	-9.165
38-50	15.1	+%33.63	L40x4	-0.655	45	-%1.10	L80x6	-4.329
	25	+%12.11	L40x4	-1.274	17.9	-%46.08	L70x5	0.275

Tepe Noktası Yerdeğişimi: 0.07121m (Değişim: +%1.06)

Ek Tablo 25. Kulenin 38-50m yükseklik aralığındaki bölgenin %20 dolu kesit kabul edilmesi ve analiz sonucu

Yükseklik (m)	Çapraz Elemanlar				Dikey Elemanlar			
	P _r /P _c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)	P _r /P _c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)
0-5	86.10	+%2.26	L80x6	-22.903	30.02	+%4.24	L120x12	102.667
5-10	72.7	+%2.11	L80x6	-19.237	26.32	+%4.86	L120x12	79.7
10-15	88.54	+%2	L75x5	-16.493	28.40	+%5.58	L120x11	56.911
15-20	97.69	+%3.38	L70x5	-15.375	26.22	+%7.02	L120x10	40.711
20-25	89.82	+%3.84	L70x5	-13.856	21.74	+%8.70	L100x10	23.116
25-27.5	85.37	+%4.24	L60x4	5.762	26.33	-%23.46	L100x10	-19.362
27.5-30	62.20	+%4.89	L60x4	4.428	34.91	+%4.83	L100x10	-12.169
30-32.5	103.30	+%8.85	L50x4	-4.876	35.42	+%3.87	L100x8	-5.886
32.5-35	89.35	+%11.83	L50x4	4.46	34.34	+%4.43	L100x8	-0.824
35-36.5	25.39	-%17.83	L40x4	1.138	41.93	+%3.79	L90x7	1.213
36.5-38	35.6	-%15.64	L40x4	-1.852	24.56	-%2.54	L90x7	-10.268
38-39.5	36.9	+%36.16	L40x4	2.046	55.20	+%4.94	L80x6	-9.665
44-45.5	17.1	+%51.33	L40x4	-0.78	44.69	-%1.78	L80x6	-5.233
48.5-50	107.97	+%384.17	L40x4	6.537	23.01	-%30.69	L70x5	3.201
Tepe Noktası Yerdeğişimi: 0.0707m (Değişim: +%1)								

Ek Tablo 26. 0-25m yükseklik arasındaki 1 çapraz elemanın çıkarılması sonucu kule elemanlarındaki dayanım değişimi (%20 Dolu)

Yükseklik (m)	Çapraz Elemanlar				Dikey Elemanlar			
	P _r /P _c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)	P _r /P _c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)
0-5	88.96	+%5.65	L80x6	-23.694	30.10	+%4.51	L120x12	101.376
	75.7	+%6.32	L80x6	20.36	24.43	-%2.67	L120x12	75.378
0-25	103.93	+%19.74	L75x5	-19.813	27.97	+%3.98	L120x11	54.746
	112.1	+%18.62	L70x5	17.718	30.13	+%22.98	L120x10	37.135
20-25	115.53	+%33.56	L70x5	-18.047	22.57	+%12.85	L100x10	30.492
	127.22	+%55.34	L60x4	8.919	30.98	-%9.94	L100x10	-23.304
25-27.5	75.2	+%26.81	L60x4	-5.53	37.27	+%11.92	L100x10	-12.748
	111.69	+%17.69	L50x4	5.308	33.97	-%0.38	L100x8	-7.531
25-38	97.8	+%22.4	L50x4	-4.943	34.82	+%4.88	L100x8	-0.984
	31.36	+%1.49	L40x4	1.466	40.80	+%0.99	L90x7	0.789
30-32.5	40.8	-%3.32	L40x4	-2.165	23.42	-%7.06	L90x7	-10.032
	40.5	+%49.45	L40x4	2.272	54.74	+%4.07	L80x6	-9.597
38-39.5	19.6	+%73.45	L40x4	-0.937	44.19	-%2.88	L80x6	-5.25
	108.38	+%386.01	L40x4	6.563	22.65	-%31.78	L70x5	3.208
Tepe Noktası Yerdeğişimi: 0.0711m (Değişim: +%1.57)								

Ek Tablo 27. 0-25m yükseklik arasındaki 2 çapraz elemanın çıkarılması sonucu kule elemanlarındaki dayanım değişimi (%20 Dolu)

Yükseklik (m)	Çapraz Elemanlar				Dikey Elemanlar			
	P _r /P _c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)	P _r /P _c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)
0-5	85.68	+%1.76	L80x6	-22.82	29.65	+%2.95	L120x12	99.374
	73.7	+%3.51	L80x6	19.592	24.15	-%3.78	L120x12	73.115
0-25	98.05	+%12.96	L75x5	-18.489	25.16	-%6.47	L120x11	49.296
	116.5	+%23.28	L70x5	18.441	34.59	+%41.18	L120x10	34.14
20-25	113	+%30.64	L70x5	17.745	27	+%35	L100x10	27.017
	104.64	+%27.77	L60x4	-7.225	38.64	+%12.33	L100x10	-24.268
25-27.5	81.77	+%37.89	L60x4	6.066	30.08	-%9.67	L100x10	-18.695
	119.6	+%26.03	L50x4	5.738	35.96	+%5.45	L100x8	-9.075
25-38	106.9	+%33.79	L50x4	-5.463	32.71	-%1.48	L100x8	-3.517
	31.6	+%2.27	L40x4	-1.47	40.77	+%0.92	L90x7	0.172
35-36.5	37.7	-%10.66	L40x4	-1.977	21.92	-%13.02	L90x7	-9.008
	47.9	+%76.75	L40x4	2.745	52.8	+%0.38	L80x6	-8.816
38-39.5	25.3	+%123.89	L40x4	-1.301	42.88	-%5.76	L80x6	-5.089
	109.57	+%391.35	L40x4	6.638	21.89	-%34.07	L70x5	3.229
38-50	Tepe Noktası Yerdeğişimi: 0.0718m (Değişim: +%2.57)							

Ek Tablo 28. 0-25m yükseklik arasındaki 3 çapraz elemanın çıkarılması sonucu kule elemanlarındaki dayanım değişimi (%20 Dolu)

Yükseklik (m)	Çapraz Elemanlar				Dikey Elemanlar			
	P _r /P _c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)	P _r /P _c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)
0-5	88,7	+%5.34	L80x6	22.719	27.07	-%6.01	L120x12	91.593
	79.48	+%11.63	L80x6	-21.32	22.85	-%8.96	L120x12	68.381
0-25	105	+%20.97	L75x5	19.54	31.87	+%18.48	L120x11	44.225
	124.5	+%31.75	L70x5	19.634	36.9	+%50.61	L120x10	40.005
20-25	117	+%35.26	L70x5	18.297	27.5	+%37.50	L100x10	30.792
	104.33	+%27.39	L60x4	-7.202	37.88	+%10.12	L100x10	-26.692
25-27.5	80.78	+%36.22	L60x4	5.983	29.78	-%10.57	L100x10	-20.304
	125.9	+%32.67	L50x4	6.071	35.78	+%4.93	L100x8	-10.118
25-38	113.6	+%42.18	L50x4	-5.849	32.40	-%2.41	L100x8	-4
	37.8	+%22.33	L40x4	-1.808	40.19	-%0.52	L90x7	-0.292
35-36.5	40.9	-%3.08	L40x4	-2.169	20.74	-%17.7	L90x7	-8.671
	53	+%95.57	L40x4	3.066	51.95	-%1.24	L80x6	-8.603
38-39.5	28.8	+%154.87	L40x4	-1.526	42.12	-%7.43	L80x6	-5.051
	110.29	+%394.57	L40x4	6.684	21.42	-%35.48	L70x5	3.242
44-45.5								
48.5-50								
Tepe Noktası Yerdeğişimi: 0.0724m (Değişim: +%3.43)								

Ek Tablo 29. 25-38m yükseklik arasındaki 1 çapraz elemanın çıkarılması sonucu kule elemanlarındaki dayanım değişimi (%20 Dolu)

Yükseklik (m)	Çapraz Elemanlar				Dikey Elemanlar			
	P _r /P _c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)	P _r /P _c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)
0-5	85.83	+%1.94	L80x6	-22.832	29.95	+%3.99	L120x12	102.327
	72.10	+%1.26	L80x6	-19.051	26.2	+%4.38	L120x12	79.308
0-25	88.51	+%1.97	L75x5	-16.498	28.37	+%5.46	L120x11	56.642
	98.5	+%4.23	L70x5	15.545	25.84	+%5.47	L120x10	40.041
20-25	91.72	+%6.03	L70x5	-14.263	21.78	+%8.9	L100x10	22.772
	92.36	+%12.77	L60x4	6.29	37.26	+%8.31	L100x10	-19.073
27.5-30	84	+%41.65	L60x4	-6.268	32.16	-%3.42	L100x10	-9.941
	140.65	+%48.21	L50x4	6.836	41.61	+%22.02	L100x8	-8.263
25-38	110.97	+%38.89	L50x4	-5.717	37.22	+%12.11	L100x8	0.77
	47.59	+%54.01	L40x4	2.358	36.70	-%9.16	L90x7	-0.998
30-32.5	52.7	+%24.88	L40x4	-2.835	22.55	-%10.52	L90x7	-8.918
	38.8	+%43.17	L40x4	2.164	54.29	+%3.21	L80x6	-9.085
38-50	18.8	+%66.37	L40x4	-0.888	44.12	-%3.03	L80x6	-5.12
	108	+%384.3	L40x4	6.539	22.72	-%31.57	L70x5	3.197

Tepe Noktası Yerdeğişimi: 0.0708 (Değişim: +%1.14)

Ek Tablo 30. 25-38m yükseklik arasındaki 2 çapraz elemanın çıkarılması sonucu kule elemanlarındaki dayanım değişimi (%20 Dolu)

Yükseklik (m)	Çapraz Elemanlar				Dikey Elemanlar			
	P _r /P _c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)	P _r /P _c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)
0-5	84.75	+%0.65	L80x6	-22.547	29.81	+%3.51	L120x12	101.763
	71.67	+%0.66	L80x6	-18.936	26.13	+%4.10	L120x12	78.821
0-25	90.6	+%4.38	L75x5	16.9328	28.04	+%4.24	L120x11	55.81
	99.5	+%5.29	L70x5	15.749	25.79	+%5.27	L120x10	39.203
20-25	91.6	+%5.9	L70x5	14.283	19.7	-%1.5	L100x10	19.886
	95.2	+%16.24	L60x4	-6.507	33.81	-%1.72	L100x10	-15.579
25-38	75.8	+%27.82	L60x4	5.581	34.53	+%3.69	L100x10	-9.654
	129.8	+%36.78	L50x4	6.275	51.96	+%52.38	L100x8	--6.168
32.5-35	116.1	+%45.31	L50x4	-5.99	32.15	-%3.16	L100x8	-2.844
	40.03	+%29.55	L40x4	1.942	35.63	-%11.81	L90x7	-2.865
36.5-38	46.8	+%10.9	L40x4	-2.526	21.03	-%16.55	L90x7	-7.1
	43.6	+%60.89	L40x4	2.47	51.42	-%2.24	L80x6	-7.622
38-50	23.2	+%105.31	L40x4	-1.17	42.84	-%5.85	L80x6	-4.87
	108.44	+%386.28	L40x4	6.567	22.03	-%33.64	L70x5	3.194
Tepe Noktası Yerdeğişimi: 0.0710m (Değişim: +%1.43)								

Ek Tablo 31. 25-38m yükseklik arasındaki 3 çapraz elemanın çıkarılması sonucu kule elemanlarındaki dayanım değişimi (%20 Dolu)

Yükseklik (m)	Çapraz Elemanlar				Dikey Elemanlar			
	P _r /P _c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)	P _r /P _c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)
0-5	84.36	+%0.19	L80x6	-22.444	29.72	+%3.19	L120x12	101.409
	71.28	+%0.11	L80x6	-18.826	26.03	+%3.71	L120x12	78.493
0-25	90.8	+%4.61	L75x5	16.973	27.94	+%3.87	L120x11	55.509
	99.7	+%5.5	L70x5	15.804	25.64	+%4.65	L120x10	38.841
20-25	91.8	+%6.13	L70x5	14.344	19.48	-%2.6	L100x10	19.42
	96.4	+%17.7	L60x4	-6.594	33.46	-%2.73	L100x10	-14.857
25-27.5	77.4	+%30.52	L60x4	5.713	33.93	+%1.89	L100x10	-8.707
	134.9	+%42.15	L50x4	6.541	49.94	+%46.45	L100x8	-5.066
25-38	122.4	+%53.19	L50x4	-6.352	40.37	+%21.6	L100x8	-4.657
	38.4	+%24.27	L40x4	-1.842	37.57	-%7	L90x7	-2.93
35-36.5	28.5	-%32.46	L40x4	-1.42	21.43	-%14.96	L90x7	-6.398
	45.4	+%67.53	L40x4	2.587	49.31	-%6.25	L80x6	-6.585
38-39.5	25	+%121.24	L40x4	1.177	42.10	-7%47	L80x6	-4.63
	108.36	+%385.92	L40x4	6.561	21.71	-%34.61	L70x5	3.183
38-50	Tepe Noktası Yerdeğişimi: 0.0712m (Değişim: +%1.71)							

Ek Tablo 32. 38-50m yükseklik arasındaki 1 çapraz elemanın çıkarılması sonucu kule elemanlarındaki dayanım değişimi (%20 Dolu)

Yükseklik (m)	Çapraz Elemanlar				Dikey Elemanlar			
	P _r /P _c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)	P _r /P _c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)
0-5	86.07	+%2.22	L80x6	-22.894	29.97	+%4.06	L120x12	102.514
	72.73	+%2.15	L80x6	-19.23	26.28	+%4.7	L120x12	79.567
0-25	88.5	+%1.96	L75x5	-16.49	28.34	+%5.35	L120x11	56.802
	97.64	+%3.32	L70x5	-15.371	26.17	+%6.82	L120x10	40.624
20-25	89.8	+%3.82	L70x5	-13.862	21.67	+%8.35	L100x10	23.057
	85.43	+%4.31	L60x4	5.767	36.34	+%5.64	L100x10	-19.529
25-30	62.15	+%4.81	L60x4	4.424	34.96	+%4.98	L100x10	-12.39
	103.22	+%8.77	L50x4	-4.872	35.54	+%4.22	L100x8	-6.203
25-38	89.14	+%11.56	L50x4	4.448	34.49	+%3.89	L100x8	-1.241
	26.07	-%15.63	L40x4	1.175	41.88	+%3.66	L90x7	0.625
30-32.5	36.6	-%13.27	L40x4	-1.913	24.88	-%1.27	L90x7	-10.124
	35	+%29.15	L40x4	1.883	55.25	+%5.04	L80x6	-9.466
38-50	20.72	+%83.36	L40x4	-1.013	46.97	+%3.23	L80x6	-3.879
	139.6*	+%526.01	L40x4	-8.541	31.57	-%4.91	L70x5	4.404

Tepe Noktası Yerdeğişimi: 0.07107m (Değişim: +%1.53)

Ek Tablo 33. 38-50m yükseklik arasındaki 2 çapraz elemanın çıkarılması sonucu kule elemanlarındaki dayanım değişimi (%20 Dolu)

Yükseklik (m)	Çapraz Elemanlar				Dikey Elemanlar			
	P_r/P_c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)	P_r/P_c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)
0-5	86.09	+%2.24	L80x6	-22.901	29.93		L120x12	102.38
	72.73	+%2.15	L80x6	-19.237	26.23	+%3.92	L120x12	79.458
0-25	88.55	+%2.02	L75x5	-16.506	28.28	+%4.5	L120x11	56.72
	97.67	+%3.35	L70x5	-15.387	26.11	+%5.13	L120x10	40.573
20-25	89.94	+%3.98	L70x5	-13.901	21.6	+%6.57	L100x10	23.039
	85.72	+%4.66	L60x4	5.789	36.48	+%8	L100x10	-20.053
27.5-30	62.16	+%4.82	L60x4	4.424	35.19	+%6.05	L100x10	-13.024
	103.41	+%8.97	L50x4	-4.882	35.96	+%5.68	L100x8	-7.033
25-38	89.05	+%11.45	L50x4	4.443	35.03	+%5.45	L100x8	-2.298
	27.39	-%11.36	L40x4	1.248	42.46	+%5.51	L90x7	-1.071
36.5-38	39.7	-%5.92	L40x4	2.097	25.68	+%5.1	L90x7	-9.798
	33.7	+%34.35	L40x4	1.841	55.69	+%1.9	L80x6	-8.836
38-50	13.46	+%19.12	L40x4	-0.553	47.07	+%5.87	L80x6	-2.032
	94.2	+%322.42	L40x4	5.665	10.45	+%3.45	L70x5	1.323
Tepe Noktası Yerdeğişimi: 0.0716m (Değişim: +%2.28)								

Ek Tablo 34. 38-50m yükseklik arasındaki 3 çapraz elemanın çıkarılması sonucu kule elemanlarındaki dayanım değişimi (%20 Dolu)

Yükseklik (m)	Çapraz Elemanlar				Dikey Elemanlar			
	P _r /P _c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)	P _r /P _c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)
0-5	86.04	+%2.19	L80x6	-22.885	29.88	+%3.75	L120x12	102.21
	72.68	+%2.08	L80x6	-19.25	26.18	+%4.3	L120x12	79.305
0-25	88.5	+%1.96	L75x5	-16.496	28.22	+%4.91	L120x11	56.589
	97.6	+%3.28	L70x5	-15.377	26.04	+%6.29	L120x10	40.453
20-25	89.87	+%3.9	L70x5	-13.894	21.53	+%7.65	L100x10	22.942
	85.74	+%4.69	L60x4	5.79	36.38	+%5.76	L100x10	-19.974
25-30	62.21	+%4.91	L60x4	4.429	35.10	+%5.41	L100x10	-12.964
	103.45	+%9.01	L50x4	-4.884	35.87	+%5.19	L100x8	-6.995
25-38	89.11	+%11.53	L50x4	4.446	34.94	+%5.24	L100x8	-2.288
	27.1	-%12.3	L40x4	1.231	42.35	+%4.83	L90x7	-1.086
35-36.5	40.1	-%4.98	L40x4	2.121	25.65	+%1.79	L90x7	-9.799
	33.2	+%11.44	L40x4	1.811	55.52	+%5.55	L80x6	-8.797
38-50	14.4	+%27.43	L40x4	0.613	46.63	-%85.43	L80x6	-2.028
	90.4	+%305.38	L40x4	5.665	7.8	-%76.51	L70x5	1.155
Tepe Noktası Yerdeğişimi: 0.0718m (Değişim: +%2.57)								

Ek Tablo 35. Kulenin 38-50m yükseklik aralığındaki bölgenin %50 dolu kesit kabul edilmesi ve analiz sonucu

Yükseklik (m)	Çapraz Elemanlar				Dikey Elemanlar			
	P_r/P_c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)	P_r/P_c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)
0-5	88.8	+%5.46	L80x6	-23.62	31.52	+%9.44	L120x12	107.951
5-10	72.28	+%1.52	L80x6	-19.884	27.83	+%10.88	L120x12	84.349
10-15	92	+%5.99	L75x5	-17.116	30.21	+%12.3	L120x11	60.802
15-20	102.51	+%8.48	L70x5	-16.114	28.18	-%13.55	L120x10	44.04
20-25	95.31	+%10.18	L70x5	-14.681	23.6	+%18	L100x10	25.5
25-27.5	92.54	+%16.65	L60x4	6.303	38.72	+%12.56	L100x10	-20.308
27.5-30	69.68	+%17.5	L60x4	5.054	36.99	+%11.08	L100x10	-12.238
30-32.5	118.73	+%25.11	L50x4	-5.69	7.21	-%78.86	L100x8	-4.789
32.5-35	106.81	+%33.68	L50x4	5.461	36.86	+%11.02	L100x8	1.779
35-36.5	32.1	+%3.88	L40x4	-1.498	45.58	+%12.82	L90x7	5.057
36.5-38	24.5	-%41.94	L40x4	1.194	25.05	-%0.6	L90x7	-12.54
38-39.5	45.9	+%69.37	L40x4	2.941	58.66	+%10.38	L80x6	-12.558
44-45.5	39.7	+%251.3	L40x4	2.214	53.2	+%16.92	L80x6	-11.046
48.5-50	97.5	+%337.22	L40x4	5.871	18.88	-%43.13	L70x5	11.911
Tepe Noktası Yerdeğişimi: 0.0709m (Değişim: +%1.28)								

Ek Tablo 36. 0-25m yükseklik arasındaki 1 çapraz elemanın çıkarılması sonucu kule elemanlarındaki dayanım değişimi (%50 Dolu)

Yükseklik (m)	Çapraz Elemanlar				Dikey Elemanlar			
	P _r /P _c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)	P _r /P _c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)
0-5	91.82	+%9.05	L80x6	-24.454	31.61	+%9.76	L120x12	106.625
	78.4	+%10.11	L80x6	21.05	25.85	+%2.99	L120x12	79.834
0-25	117.4	+%35.25	L75x5	18.528	29.79	+%10.74	L120x11	58.546
	106.83	+%13.05	L70x5	16.4	32.33	+%31.96	L120x10	40.231
20-25	122.25	+%41.33	L70x5	-19.067	24.48	+%22.4	L100x10	33.268
	136.47	+%66.63	L60x4	9.617	33.1	-%3.78	L100x10	-24.477
25-30	82.8	+%39.63	L60x4	-6.163	39.48	+%18.56	L100x10	-12.866
	125.8	+%32.56	L50x4	6.062	35.69	+%4.66	L100x8	-6.541
25-38	114.6	+%43.43	L50x4	-5.907	37.28	+%12.29	L100x8	1.59
	36.4	+%17.8	L40x4	-1.735	44.39	+%9.88	L90x7	4.589
35-36.5	26.7	-%36.73	L40x4	1.435	23.89	-%5.2	L90x7	-12.315
	55.2	+%103.69	L40x4	3.207	58.15	+%10.55	L80x6	-12.506
38-50	42.9	+%279.65	L40x4	2.42	50.28	+%10.51	L80x6	-10.972
	98.23	+%340.49	L40x4	5.919	18.52	-%44.22	L70x5	11.905
Tepe Noktası Yerdeğişimi: 0.0711m (Değişim: +%1.57)								

Ek Tablo 37. 0-25m yükseklik arasındaki 2 çapraz elemanın çıkarılması sonucu kule elemanlarındaki dayanım değişimi (%50 Dolu)

Yükseklik (m)	Çapraz Elemanlar				Dikey Elemanlar			
	P _r /P _c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)	P _r /P _c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)
0-5	88.35	+%4.93	L80x6	-23.528	31.15	+%8.16	L120x12	104.539
	76.3	+%7.16	L80x6	20.259	25.56	+%1.83	L120x12	77.476
0-25	122.1	+%40.67	L75x5	19.316	26.82	-%0.3	L120x11	52.81
	108.1	+%14.39	L70x5	-17.155	37.13	+%51.55	L120x10	37.081
20-25	113.6	+%38.27	L70x5	18.767	29.29	+%46.45	L100x10	29.502
	104	+%26.98	L60x4	-7.17	41.24	+%19.88	L100x10	-25.502
25-27.5	90.23	+%52.16	L60x4	6.713	31.82	-%4.44	L100x10	-19.209
	135.4	+%42.68	L50x4	6.568	37.8	+%10.85	L100x8	-8.21
25-38	124.7	+%56.07	L50x4	-6.484	34.1	+%2.71	L100x8	-1.35
	45.5	+%47.25	L40x4	-2.234	44.36	+%9.8	L90x7	3.899
30-32.5	36.5	-%13.51	L40x4	1.918	22.33	-%11.39	L90x7	-11.249
	55.2	+%103.69	L40x4	3.207	56.04	+%6.54	L80x6	-11.676
38-39.5	42.9	+%279.65	L40x4	2.42	46.73	+%2.7	L80x6	-10.509
	101.5	+%355.16	L40x4	6.041	17.91	-%46.05	L70x5	11.901
38-50	Tepe Noktası Yerdeğişimi: 0.0719m (Değişim: +%2.71)							

Ek Tablo 38. 0-25m yükseklik arasındaki 3 çapraz elemanın çıkarılması sonucu kule elemanlarındaki dayanım değişimi (%50 Dolu)

Yükseklik (m)	Çapraz Elemanlar				Dikey Elemanlar			
	P_r/P_c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)	P_r/P_c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)
0-5	91.6	+%8.79	L80x6	24.335	28.48	+%251.7	L120x12	96.49
	82.15	+%15.38	L80x6	-22.02	24.22	+%13.47	L120x12	72.581
0-25	109.1	+%25.69	L75x5	20.258	33.78	-%9.96	L120x11	47.57
	130.5	+%38.1	L70x5	20.559	39.5	+%37.88	L120x10	43.17
20-25	123.9	+%43.24	L70x5	19.363	29.8	+%97.5	L100x10	33.429
	107.1	+%30.77	L60x4	-7.398	40.45	-%13.37	L100x10	-28.024
25-30	88.97	+%50.03	L60x4	6.668	31.54	+%21.47	L100x10	-20.882
	142.9	+%50.58	L50x4	6.925	37.63	-%7.51	L100x8	-9.303
25-38	131.9	+%65.08	L50x4	5.201	33.8	+%13.34	L100x8	-1.86
	52.1	+%68.61	L40x4	-2.596	43.74	-%16.34	L90x7	3.67
35-36.5	42.3	+%0.24	L40x4	2.267	21.15	+%73.57	L90x7	-10.927
	69.9	+%157.93	L40x4	4.138	55.12	-%59.79	L80x6	-1.41
38-50	54.8	+%384.96	L40x4	3.176	42.81	+%21.14	L80x6	-10.306
	101.29	+%354.22	L40x4	6.114	17.54	+%28.95	L70x5	11.902

Tepe Noktası Yerdeğişimi: 0.07266m (Değişim: +%3.8)

Ek Tablo 39. 25-38m yükseklik arasındaki 1 çapraz elemanın çıkarılması sonucu kule elemanlarındaki dayanım değişimi (%50 Dolu)

Yükseklik (m)	Çapraz Elemanlar				Dikey Elemanlar			
	P _r /P _c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)	P _r /P _c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)
0-5	88.5	+%5.11	L80x6	-23.542	31.45	+%9.2	L120x12	107.604
	74.54	+%4.69	L80x6	-19.671	27.69	+%10.32	L120x12	83.936
0-25	92	+%5.99	L75x5	-17.126	30.19	+%12.23	L120x11	60.524
	100.07	+%5.89	L70x5	-15.657	27.75	+%13.27	L120x10	43.288
20-25	97.56	+%12.79	L70x5	-15.157	23.66	+%18.3	L100x10	25.188
	100.72	+%22.98	L60x4	6.92	39.82	+%15.76	L100x10	-19.995
25-30	94.6	+%59.53	L60x4	-7.157	33.81	+%1.53	L100x10	-9.655
	162.41	+%71.14	L50x4	7.984	44.45	+%30.35	L100x8	-7.572
25-38	133.45	+%67.02	L50x4	-7.005	40.69	+%22.56	L100x8	3.392
	64.9	+%110.03	L40x4	3.301	38.84	-%3.86	L90x7	2.76
36.5-38	41.3	-%2.13	L40x4	-2.193	22.74	-%9.76	L90x7	-10.98
	53.5	+%97.42	L40x4	3.079	57.63	+%9.56	L80x6	-11.893
38-50	43	+%280.53	L40x4	-2.424	44.18	-%2.9	L80x6	-10.838
	97.83	+%338.7	L40x4	5.894	15.55	-%53.16	L70x5	11.867

Tepe Noktası Yerdeğişimi: 0.071m (Değişim: +%1.43)

Ek Tablo 40. 25-38m yükseklik arasındaki 2 çapraz elemanın çıkarılması sonucu kule elemanlarındaki dayanım değişimi (%50 Dolu)

Yükseklik (m)	Çapraz Elemanlar				Dikey Elemanlar			
	P_r/P_c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)	P_r/P_c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)
0-5	87.26	+%3.63	L80x6	-23.212	31.31	+%8.72	L120x12	107.001
	74.04	+%3.99	L80x6	-19.536	27.63	+%10.08	L120x12	83.416
0-25	89.55	+%3.17	L75x5	-16.61	29.83	+%10.89	L120x11	59.595
	101.12	+%7.01	L70x5	-15.856	27.72	+%13.14	L120x10	42.349
20-25	91.57	+%5.86	L70x5	-13.908	21.27	+%6.35	L100x10	21.789
	103.4	+%26.25	L60x4	6.456	35.85	+%4.22	L100x10	-15.982
25-30	84.3	+%42.16	L60x4	6.294	36.6	+%9.91	L100x10	-9.366
	148.4	+%56.38	L50x4	7.258	56.81	+%66.6	L100x8	-5.159
25-38	136.7	+%71.09	L50x4	-7.173	33.32	+%0.36	L100x8	-0.842
	48	+%55.34	L40x4	-2.373	36.05	-%10.77	L90x7	0.484
35-36.5	35.5	-%15.88	L40x4	1.856	21.06	-%16.43	L90x7	-8.906
	59.9	+%121.03	L40x4	3.503	54.26	+%3.16	L80x6	-10.21
38-50	49.5	+%338.05	L40x4	-2.839	42.61	-%6.5	L80x6	-10.34
	99.13	+%344.53	L40x4	5.976	17.93	-%45.99	L70x5	11.788

Tepe Noktası Yerdeğişimi: 0.07115m (Değişim: +%1.64)

Ek Tablo 41. 25-38m yükseklik arasındaki 3 çapraz elemanın çıkarılması sonucu kule elemanlarındaki dayanım değişimi (%50 Dolu)

Yükseklik (m)	Çapraz Elemanlar				Dikey Elemanlar			
	P _r /P _c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)	P _r /P _c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)
0-5	86.8	+%3.09	L80x6	-23.092	31.22	+%8.4	L120x12	106.641
	73.58	+%3.34	L80x6	-19.407	27.54	+%9.72	L120x12	83.079
0-25	92	+%5.99	L75x5	17.107	29.73	+%10.52	L120x11	59.281
	101.6	+%7.51	L70x5	15.966	27.55	+%12.45	L120x10	41.951
20-25	94.5	+%9.25	L70x5	14.545	21.02	+%5.1	L100x10	21.249
	113.6	+%38.71	L60x4	5.418	35.45	+%3.05	L100x10	-15.13
25-30	84.4	+%42.33	L60x4	6.467	35.91	+%7.84	L100x10	-8.224
	154.9	+%63.22	L50x4	7.6	54.37	+%59.44	L100x8	-3.813
25-38	144.7	+%81.10	L50x4	-7.633	45.58	+%37.29	L100x8	-3.095
	55	+%77.99	L40x4	-2.757	38.45	-%4.75	L90x7	0.441
35-36.5	40	-%5.21	L40x4	2.127	21.59	-%14.33	L90x7	-8.056
	62.5	+%130.63	L40x4	3.668	51.68	-%1.75	L80x6	-8.935
38-50	52.3	+%362.83	L40x4	-3.017	41.68	-%8.4	L80x6	-9.913
	105	+%370.85	L40x4	6.347	17.63	-%46.9	L70x5	11.71
Tepe Noktası Yerdeğişimi: 0.0713m (Değişim: +%1.86)								

Ek Tablo 42. 38-50m yükseklik arasındaki 1 çapraz elemanın çıkarılması sonucu kule elemanlarındaki dayanım değişimi (%50 Dolu)

Yükseklik (m)	Çapraz Elemanlar				Dikey Elemanlar			
	P_r/P_c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)	P_r/P_c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)
0-5	88.78	+%5.44	L80x6	-23.613	31.47	+%9.27	L120x12	107.802
	75.26	+%5.7	L80x6	-19.88	27.78	+%10.68	L120x12	84.222
0-25	91.98	+%5.97	L75x5	-17.117	30.16	+%12.12	L120x11	60.7
	102.49	+%8.46	L70x5	-16.115	28.13	+%14.82	L120x10	43.96
20-25	95.32	+%10.2	L70x5	-15.691	23.54	+%17.7	L100x10	25.449
	92.19	+%12.56	L60x4	6.315	38.71	+%12.53	L100x10	-20.427
25-27.5	69.76	+%17.64	L60x4	5.06	37.01	+%11.14	L100x10	-12.403
	118.67	+%25.05	L50x4	-5.697	37.29	+%9.35	L100x8	-5.034
25-38	106.85	+%33.73	L50x4	5.463	36.79	+%10.81	L100x8	1.449
	30.2	-%2.27	L40x4	-1.391	45.53	+%12.2	L90x7	4.577
30-32.5	22.5	-%46.68	L40x4	1.071	52.59	+%108.69	L90x7	-12.354
	49.1	+%81.18	L40x4		58.54	+%11.29	L80x6	-12.286
38-50	38.9	+%244.25	L40x4	2.817	50.01	+%9.91	L80x6	-9.444
	129.76	+%481.88	L40x4	-7.918	26.5	-%20.18	L70x5	13.365
Tepe Noktası Yerdeğişimi: 0.0711m (Değişim: +%1.57)								

Ek Tablo 43. 38-50m yükseklik arasındaki 2 çapraz elemanın çıkarılması sonucu kule elemanlarındaki dayanım değişimi (%50 Dolu)

Yükseklik (m)	Çapraz Elemanlar				Dikey Elemanlar			
	P _r /P _c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)	P _r /P _c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)
0-5	88.87	+%5.55	L80x6	-23.635	31.43	+%9.13	L120x12	107.684
	75.34	+%5.81	L80x6	-19.905	27.74	+%10.52	L120x12	84.13
0-25	92.13	+%6.14	L75x5	-17.154	30.1	+%11.9	L120x11	60.639
	102.69	+%8.67	L70x5	-16.159	28.08	+%14.61	L120x10	43.937
20-25	95.67	+%10.6	L70x5	-14.77	23.48	+%17.4	L100x10	25.461
	93.46	+%14.11	L60x4	6.373	38.89	+%13.05	L100x10	-20.972
25-30	70.28	+%18.52	L60x4	5.104	37.26	+%11.89	L100x10	-13.055
	120.02	+%26.47	L50x4	-5.758	37.74	+%10.67	L100x8	-5.837
25-38	107.8	+%34.92	L50x4	5.517	36.73	+%10.63	L100x8	0.366
	29.3	-%5.18	L40x4	1.342	45.57	+%12.8	L90x7	3.093
35-36.5	26.2	-%37.91	L40x4	1.285	26.14	+%3.73	L90x7	-11.883
	46.9	+%73.06	L40x4	2.677	59	+%12.17	L80x6	-11.369
38-50	36.6	+%223.89	L40x4	-2.021	51.35	+%17.25	L80x6	-6.316
	100	+%348.43	L40x4	6.033	40.87	+%23.1	L70x5	7.639

Tepe Noktası Yerdeğişimi: 0.07165m (Değişim: +%2.36)

Ek Tablo 44. 38-50m yükseklik arasındaki 3 çapraz elemanın çıkarılması sonucu kule elemanlarındaki dayanım değişimi (%50 Dolu)

Yükseklik (m)	Çapraz Elemanlar				Dikey Elemanlar			
	P _r /P _c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)	P _r /P _c (%)	Referans Analize Göre Değişim (%)	Profil	Eksenel Kuvvet (kN)
0-5	88.81	+%5.48	L80x6	-23.621	31.39	+%8.99	L120x12	107.526
	75.29	+%5.74	L80x6	-19.893	27.69	+%10.32	L120x12	83.992
0-25	92.07	+%6.07	L75x5	-17.145	30.04	+%11.67	L120x11	60.523
	106.6	+%12.8	L70x5	-16.149	28.02	+%14.37	L120x10	43.838
20-25	95.59	+%10.51	L70x5	-14.763	23.41	+%17.05	L100x10	25.388
	93.44	+%14.09	L60x4	6.371	38.84	+%12.91	L100x10	-21.01
27.5-30	70.23	+%18.43	L60x4	5.099	37.24	+%11.83	L100x10	-13.129
	119.9	+%26.34	L50x4	-5.752	37.74	+%10.67	L100x8	-6.014
25-38	107.62	+%34.69	L50x4	5.507	36.64	+%10.36	L100x8	0.17
	29.1	-%5.83	L40x4	1.331	45.48	+%12.57	L90x7	2.811
38-50	27.5	-%34.83	L40x4	1.361	26.26	+%4.21	L90x7	-11.791
	42.7	+%57.56	L40x4	2.66	58.84	+%11.86	L80x6	-11.139
38-50	35.9	+%217.7	L40x4	-1.972	50.12	+%10.15	L80x6	-5.934
	105	+%370.85	L40x4	6.347	31.09	-%6.36	L70x5	6.765

Tepe Noktası Yerdeğişimi: 0.07191m (Değişim: +%2.71)

ÖZGEÇMİŞ

Furkan TARAKÇI, 11.09.1994 tarihinde Rize’de doğdu. İlk ve ortaokulu Güneysu İMKB İlköğretim Okulu’nda, lise öğrenimini 2008-2012 yılları arasında Güneysu Şehit Kemal Mutlu Anadolu Öğretmen Lisesi’nde tamamladı. 2012 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü’nü kazandı. Lisans eğitimini 2016 yılında tamamladı ve aynı yıl içerisinde Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı. Orta derecede İngilizce bilmektedir.

