



**ÜÇGENSEL VE ARDI SIRA KONUMLANMIŞ
ÇOK KATLI BİNALARDA RÜZGÂR
ETKİLERİNİN DİJİTAL RÜZGÂR TÜNELİ
YAKLAŞIMI KULLANILARAK
İRDELENMESİ**

OSMAN ACAR

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisi Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Sinan ŞAHİN

İkinci Danışman: Doç. Dr. Zekeriya AYDIN

2022

T.C.
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ÜÇGENSEL VE ARDI SIRA KONUMLANMIŞ ÇOK KATLI BİNALARDA RÜZGÂR
ETKİLERİNİN DİJİTAL RÜZGÂR TÜNELİ YAKLAŞIMI KULLANILARAK
İRDELENMESİ

OSMAN ACAR

ORCID: 0000-0002-0413-5813

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Danışman: Prof. Dr. Sinan ŞAHİN
İkinci Danışman: Doç. Dr. Zekeriya AYDIN

TEKİRDAĞ-2022

Her hakkı saklıdır

ÖZET

ÜÇGENSEL VE ARDI SIRA KONUMLANMIŞ ÇOK KATLI BİNALARDA RÜZGÂR ETKİLERİNİN DİJİTAL RÜZGÂR TÜNELİ YAKLAŞIMI KULLANILARAK İRDELENMESİ

Osman ACAR

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışma: Prof. Dr. Sinan ŞAHİN

İkinci Danışman: Doç. Dr. Zekeriya AYDIN

Birçok ülkenin kendine ait rüzgâr standartları vardır. Bu standartlar yapı tasarımında etkin bir rol oynamaktadır. Standartlarla ilgili birçok teorik araştırmalar, deneyler yapılmıştır ve yapılarda kullanılmak üzere standart hale getirilmiştir. Ancak çoklu binaların bir arada bulunması durumunda, birbiriyle etkileşim halinde olması nedeniyle oluşabilecek rüzgâr yükleri ile ilgili hesaplar standartlarda hala yeterli olarak bulunmamaktadır. Bu çalışmada birbirine yakın olarak konumlandırılmış çok katlı binalarda konumlandırma şeklinin rüzgâr yükleri ve bina tasarımı üzerindeki etkisi araştırılmaktadır. Çalışmada iki farklı konumlandırma şekli olarak, üçgen ve ardı sıra dizilmiş binalar incelenmektedir. Bu kapsamda ilk olarak, ele alınan bir çelik bina üç farklı yükseklik (44 m, 72 m ve 100 m) için tekil olarak boyutlandırılmıştır. Tekil binanın rüzgâr yüklerinin hesabında TS 498, EN 1991-1-4 ve dijital rüzgâr tüneli kullanılmak suretiyle üç farklı tasarım yapılmıştır. Dijital rüzgâr tüneli hesaplamaları için RWIND programı kullanılmıştır. Ardından aynı bina üçgen ve ardı sıra konumlandırılmış çoklu binaların arka bölümünde yer alanı olarak yeniden tasarlanmıştır. Bu çoklu tasarımda, binalar arasındaki etkileşimi görebilmek için, rüzgâr yükleri dijital rüzgâr tüneli hesaplaması ile belirlenmiştir. Bu aşamada ayrıca gerek üçgen konumlandırma gerekse ardı sıra konumlandırma durumları için rüzgâr etkilerini maksimize edecek en elverişsiz bina ara mesafeleri de araştırılmıştır. Çoklu olarak konumlandırma neticesinde hesaplanan rüzgâr yükleri ve bina yapısal tasarım sonuçları tekil olarak boyutlandırılmış bina sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda ise hem üçgen hem de ardı sıra konumlanmış binalarda, arkada bulunan binada tekil binaya oranla rüzgâr yüklerinde ve bina tasarım sonuçlarında dikkate alınması gereken artışlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dijital rüzgâr tüneli, TS 498, EN 1991-1-4, Çok katlı bina, Rüzgâr yükü

ABSTRACT

EXAMINATION OF THE WIND EFFECTS ON THE MULTISTORY BUILDINGS POSITIONED TRIANGULARLY OR CONSECUTIVELY USING DIJITAL WIND TUNNEL APPROACH

Osman ACAR

Department of Civil Engineering

Msc. Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Sinan ŞAHİN

Second Supervisor: Associate Prof. Dr. Zekeriya AYDIN

Many countries have their own wind standards. These standards have an active role in building design. Many scientific researches and experiments about standards have been made and the results have been standardized for use in buildings. However, in case of multiple buildings being together, the calculations regarding the wind loads that may occur due to their interaction with each other are still not adequately covered in the standards. In this study, the effect of positioning on wind loads and building design in multi-storey buildings located close to each other is investigated. In the study, triangular and sequential buildings are examined as two different positioning styles. In this context, first of all, a considered steel building is dimensioned individually for three different heights (44 m, 72 m and 100 m). Three different designs were made by using TS 498, EN 1991-1-4 and digital wind tunnel to calculate the wind loads of the single building. RWIND program was used for digital wind tunnel calculations. Subsequently, the same building was redesigned as a rear one of triangular and sequential located multiple buildings. In this multiplex design, wind loads were determined by digital wind tunnel calculation in order to see the interaction between the buildings. At this stage, the most unfavorable building spacings to maximize wind effects for both triangular positioning and sequential positioning were also investigated. Wind loads and building structural design results calculated as a result of multiple positioning were compared with the results of individually designed buildings. As a result of this comparison, significant increases in wind loads and building design were obtained in rear one of both triangular and sequential positioned buildings compared to the single building.

Keywords: Digital wind tunnel, TS 498, EN 1991-1-4, Multi-storey building, Wind load

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
SİMGELER DİZİNİ.....	xi
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
TEŞEKKÜR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Standartların İrdelenmesi.....	1
1.2. Binaların Ardı Sıra Bulunması Durumunda Rüzgar Etkileri İncelenmesi.....	2
1.3. literatür Özeti.....	4
1.4. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	10
2. METODOLOJİ.....	11
2.1. Giriş.....	11
2.2. TS 498 Standardına Göre Rüzgar Yük Hesabı.....	11
2.3. Eurocode 1- EN 1991-1-4 Standardına Göre Rüzgâr Yüklerinin Hesabı.....	13
2.3.1. Esas Rüzgâr Hızı.....	13
2.3.2. Ortalama Rüzgâr Hızı.....	13
2.3.3. Rüzgâr Türbülansı.....	15
2.3.4. Tepe Hız Kaynaklı Rüzgâr Basıncı.....	16
2.3.5. Rüzgar Etkileri.....	17
2.3.6. Binalarda Basınç Kat Sayısı.....	18
2.3.7. Dikdörtgen Planlı Binaların Düşey Duvarlarda Basınç Dağılımı.....	19
2.4. RWIND ile Rüzgar Yüklerinin Hesabı.....	22
2.4.1. <i>k- epsilon</i> Türbülans Modeli.....	23
2.4.2. Reynolds Ortalama Alınmış Navier- Stokes (RANS) Deklemleri.....	25
2.4.3. Open FOAM Yazılımı.....	27
2.4.4. SIMPLE Algoritması Çözümü.....	28
2.5. ANSI/AISC 360-16 Yönetmenliğine Göre Çelik Yapı Elemanlarının Boyutlandırılması.....	30
2.5.1. LRFD (Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım).....	30

2.5.2. <i>Yük Kombinasyonları (LRFD Bölüm 2.3)</i>	30
2.5.3. <i>Eksenel Çekme Kuvvet Etkisi</i>	31
2.5.4. <i>Eksenel Basınç Kuvvet Etkisi</i>	32
2.5.5. <i>Eğilme Moment Etkisi</i>	33
2.5.6. <i>Kesme Kuvvet Etkisi</i>	35
2.5.7. <i>Eğilme Moment ve Eksenel Kuvvet Etkisindeki Çift ve Tek Simetri Eksenli Elemanların</i>	36
3. UYGULAMA	38
3.1. Tekli Binaların Rüzgâr Yükleri Altında Analizi ve Boyutlandırılması.....	41
3.1.1. <i>TS498 Rüzgâr Yükleri Analizi ve Tekli Bina Tasarımı</i>	41
3.1.2. <i>Eurocode 1 (EN1991-1-4) Rüzgar Yükleri kullanılarak Binaların Tekil Olarak Tasarımı</i>	44
3.1.3. <i>RWIND ile Hesaplanmış Rüzgâr Yükleri Kullanılarak Binaların Tekil Tasarımı</i>	49
3.1.4. <i>Tekli Binaların Sonuçların Karşılaştırılması</i>	54
3.2. Üçgenel Dizilmiş Bina Kombinasyon Durumu İncelenmesi.....	59
3.2.1. <i>En Olumsuz Koşulun Üçgenel Dizilmiş Bina İçin Belirlenmesi</i>	63
3.2.2. <i>Üçgenel Dizilmiş Bina Kombinasyonları ile Tekli Bina Sonuçlarının Karşılaştırılması</i>	75
3.3. Ardı Sıra Yerleştirilmiş Binaların İncelenmesi.....	83
3.3.1. <i>Ardı Sıra Binaların İçin En Olumsuz Koşulun Belirlenmesi</i>	85
3.3.2. <i>Ardı Sıra Bina Sonuçları ile Tekli Bina Sonuçların Karşılaştırılması</i>	95
4. SONUÇ	104
KAYNAKLAR	106
EK-1	109
EK-2	111
EK-3	114
EK-4	116
EK-5	117
EK-6	119
ÖZGEÇMİŞ	120

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Yükseklik bağılı olarak rüzgâr hızı ve rüzgar hız basıncı.....	12
Çizelge 2.2. Arazi kategorileri ve arazi parametreleri.....	15
Çizelge 2.3. Dikdörtgen planlı binaların düşey duvarların için tavsiye edilen dış basınç katsayısı değerleri.....	21
Çizelge 3.1. TS498 standardına göre tekli bina tabanında oluşan toplam kesme kuvvetleri ve moment değerleri.....	44
Çizelge 3.2. Bina yüksekliği 100m için EN1991-1-4 standardına göre bina yüzeylerine gelen rüzgar yük değerleri.....	46
Çizelge 3.3. Bina yüksekliği 72m için EN1991-1-4 standardına göre bina yüzeylerine gelen rüzgar yük değerleri.....	46
Çizelge 3.4. Bina yüksekliği 44m için EN1991-1-4 standardına göre bina yüzeylerine gelen rüzgar yük değerleri.....	47
Çizelge 3.5. EN1991-1-4 standardına göre tekli bina tabanında oluşan toplam kesme kuvvetleri ve toplam moment değerleri.....	49
Çizelge 3.6. RWIND programına göre tekli bina tabanında oluşan toplam kesme kuvvetleri ve toplam moment değerleri.....	54
Çizelge 3.7. Standartlara göre ve RWIND programına göre yapılan analiz sonucunda binalarda belirlenen bina ağırlıkları.....	57
Çizelge 3.8. Üçgensel dizilmiş bina tabanında oluşan toplam kesme kuvvetleri ve toplam moment değerleri.....	65
Çizelge 3.9. Üçgensel dizilmiş bina tabanında oluşan toplam kesme kuvvetleri ve toplam moment değerleri.....	66
Çizelge 3.10. Üçgensel dizilmiş bina tabanında oluşan toplam kesme kuvvetleri ve toplam moment değerleri.....	67
Çizelge 3.11. Üçgensel dizilmiş binalar ve tekli bina tabanında oluşan kesme kuvvet değerleri.....	82
Çizelge 3.12. Üçgensel dizilmiş binalar ve tekli binaların RWIND programında alınan rüzgar yük değerlere göre boyutlandırılmış toplam bina ağırlık değerleri.....	82
Çizelge 3.13. Ardı sıra binaların tabanında oluşan toplam kesme kuvvetleri ve toplam moment değerleri.....	87
Çizelge 3.14. Ardı sıra binaların tabanında oluşan toplam kesme kuvvetleri ve toplam moment değerleri.....	88

Çizelge 3.15. Ardı sıra binaların tabanında oluşan toplam kesme kuvvetleri ve toplam moment değerleri.....	89
Çizelge 3.16. Ardı sıra binalar ve tekli bina tabanında oluşan kesme kuvvet değerleri.....	102
Çizelge 3.17. Ardı sıra binalar ve tekli binaların RWIND programında alınan rüzgâr yük değerlere göre boyutlandırılmış toplam bina ağırlık değerleri.....	102



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Mevcut binalar arasında yapılan yeni binanın görüntüsü.....	3
Şekil 2.1. Planda kare kesitli ve eğik çatılı kapalı yapılarda rüzgar yükünün ana taşıyıcı sistemine doğrultusunda dağıtımı.....	12
Şekil 2.2. Maruz kalma katsayısı $C_e(z)$ 'nin $C_o=1,0$ ve $k_1=1.0$ grafik gösterimi.....	17
Şekil 2.3. Yüzeylerdeki basınç yönleri.....	18
Şekil 2.4. Değeri 1 m ² ile 10 m ² arasında yüklenmiş alanı bulunan binalarda dış basınç katsayısı C_{pe} 'nin belirlenmesi için tavsiye edilen işlem.....	19
Şekil 2.5. h ve b değerlerine bağlı Z_e referans yüksekliği ve buna karşılık gelen hız kaynaklı rüzgar basınç profili.....	20
Şekil 2.6. Düşey duvarlar için açıklama.....	21
Şekil 2.7. RWIND simülasyon programında türbülans model sekmesi.....	24
Şekil 2.8. Sonlu akım bileşen modeli.....	24
Şekil 2.9. Deneysel hız ölçüm çıktısı.....	26
Şekil 3.1. RFEM programında tasarlanan tekli bina model görünümleri.....	38
Şekil 3.2. Bina modelin izometrik kat görünümü.....	39
Şekil 3.3. RFEM programında çelik standartlar ve malzeme sekmesi.....	39
Şekil 3.4. 100m bina kesitinde TS498 standardına göre rüzgâr yük görünümü.....	42
Şekil 3.5. Bina yüksekliği 100m için RFEM programında TS498 standardına göre bina üzerinde rüzgar yük görünümü.....	43
Şekil 3.6 LDRF göre yük kombinasyonlar.....	44
Şekil 3.7. Bina yüksekliği 100m için EN1991-1-4 standardına göre bina kesitine rüzgar yük görünümü.....	47
Şekil 3.8. Bina yüksekliği 100m için RFEM programında EN1991-1-4 standartta göre bina yüzeyinde rüzgâr yükü.....	48
Şekil 3.9. RFEM programda rüzgâr yükü tanımlanması için kullanılan ara yüz.....	50
Şekil 3.10. Yüksekliğe bağlı rüzgar hız grafiği.....	51
Şekil 3.11. Bina yüksekliği 100m için RWIND programında analiz sonucunda bina üzerinde oluşan basınç dağılımı.....	52
Şekil.3.12. Bina yüksekliği 100m için RWIND programına göre bina kesitine rüzgâr yükü.....	53

Şekil 3.13. Bina yüksekliği 44m için standartlara ve RWIND programına göre bina tabanında oluşan kesme kuvvet (F_x) dağılımı.....	55
Şekil 3.14. Bina yüksekliği 44m için standartlara ve RWIND programına göre bina tabanında oluşan moment (M_y) dağılımı	55
Şekil 3.15. Bina yüksekliği 72m için standartlara ve RWIND programına göre bina tabanında oluşan kesme kuvvet (F_x) dağılımı	56
Şekil 3.16. Bina yüksekliği 72m için standartlara ve RWIND programına göre bina tabanında oluşan moment (M_y) dağılımı	56
Şekil 3.17. Bina yüksekliği 100m için standartlara ve RWIND programına göre bina tabanında oluşan kesme kuvvet (F_x) dağılımı	57
Şekil 3.18. Bina yüksekliği 100m için standartlara ve RWIND programına göre bina tabanında oluşan moment (M_y) dağılımı	57
Şekil 3.19. RWIND programında yapılan analiz de tekli binada meydana gelen rüzgar hız vektörlerinin üstten görünüşü.....	60
Şekil 3.20. RWIND programında yapılan analiz de iki binada meydana gelen rüzgar hız vektörünü üstten görünüşü.....	61
Şekil 3.21. RWIND programında yapılan analiz de üçgensel dizilmiş binada meydana gelen rüzgâr hız vektörünü üstten görünüşü.....	62
Şekil 3.22. FREM programında tasarlanan üçgensel dizilmiş bina modelleri planı.....	63
Şekil 3.23. RWIND programında üçgensel dizilmiş binalar analiz sonucunda binaların ön yüzeyinde oluşan basınç dağılımı.....	64
Şekil 3.24. Bina yüksekliği 44m için üçgensel dizilmiş binalar ve tekli binada bina tabanına gelen kesme kuvvet dağılımı.....	68
Şekil 3.25. Bina yüksekliği 44m için üçgensel dizilmiş binalar ve tekli binada bina tabanına gelen toplam moment dağılımı	68
Şekil 3.26. Bina yüksekliği 72m için üçgensel dizilmiş binalar ve tekli binada bina tabanına gelen kesme kuvvet dağılımı	69
Şekil 3.27. Bina yüksekliği 72m için üçgensel dizilmiş binalar ve tekli binada bina tabanına gelen toplam moment dağılımı	69
Şekil 3.28. Bina yüksekliği 100m için üçgensel dizilmiş binalar ve tekli binada bina tabanına gelen kesme kuvvet dağılımı	70
Şekil 3.29. Bina yüksekliği 100m için üçgensel dizilmiş binalar ve tekli binada bina tabanına gelen toplam moment dağılımı	70

Şekil 3.30. Bina yüksekliği 100m için tekli bina tabanına gelen kesme kuvvet değerleri.....	71
Şekil 3.31. Üçgensel dizilmiş bina $S1=25m$ ve $H=100m$ için bina tabanında gelen kesme kuvvet değerleri.....	72
Şekil 3.32. 100m'lik bina için (a) alt kısım, b) orta kısım ve c) üst kısımda bina ve çevresini etkileyen rüzgâr hızın vektörel dağılımı	74
Şekil 3.33. Bina yüksekliği 100m için üçgensel dizilmiş binaların ön yüzeyindeki basınç dağılımı.....	75
Şekil 3.34. Bina yüksekliği 100m için üçgensel dizilmiş bina modelleri.....	76
Şekil 3.35. Üçgensel dizilmiş binalarda 44m bina yüksekliği için bina (a) ön yüzey (b) yan yüzey ve (c) arka yüzey basınç dağılımı	77
Şekil 3.36. Bina yüksekliği 72m için bina ön yüzeyinde basınç dağılımı (a) bina yan yüzeyinde emme dağılımı (b) ve bina arka yüzeyinde emme dağılımı (c).....	79
Şekil 3.37. Bina yüksekliği 100m için bina ön yüzeyinde basınç dağılımı (a) bina yan yüzeyinde emme dağılımı (b) ve bina arka yüzeyinde emme dağılımı (c).....	81
Şekil 3.38. RWIND programında analiz sonucunda ardı sıra binalarda meydana gelen rüzgâr hız vektörünü üstten görünüşü.....	84
Şekil 3.39. Ardı sıra binaların plan üzerinde görünümü.....	85
Şekil 3.40. RWIND programında ardı sıra binaların analiz sonucunda bina ön yüzeyinde oluşan basınç dağılımı.....	86
Şekil 3.41. Bina yüksekliği 44m için ardı sıra binalar ve tekli bina tabanında oluşan toplam kesme kuvveti (F_x) $S1$ 'e göre değişimi.....	90
Şekil 3.42. Bina yüksekliği 44m için ardı sıra binalar ve tekli bina tabanında oluşan toplam moment (M_y) değerlerinin $S1$ 'e göre değişimi	90
Şekil 3.43. Bina yüksekliği 72m için ardı sıra binalar ve tekli bina tabanında oluşan toplam kesme kuvveti (F_x) $S1$ 'e göre değişimi	91
Şekil 3.44. Bina yüksekliği 72m için ardı sıra binalar ve tekli bina tabanında oluşan toplam moment (M_y) değerlerinin $S1$ 'e göre değişimi	91
Şekil 3.45. Bina yüksekliği 100m için ardı sıra binalar ve tekli bina tabanında oluşan toplam kesme kuvveti (F_x) $S1$ 'e göre değişimi	92
Şekil 3.46. Bina yüksekliği 100m için ardı sıra binalar ve tekli bina tabanında oluşan toplam moment (M_y) değerlerinin $S1$ 'e göre değişimi	92
Şekil 3.47. Bina yüksekliği 100m için tekli bina tabanına gelen kesme kuvvet değerleri.....	93

Şekil 3.48. Ardı sıra binalarda $H=100$ için bina tabanına gelen kesme kuvvet değerleri.....	94
Şekil 3.49. Bina yüksekliği 100m için ardı sıra dizilmiş bina modelleri.....	95
Şekil 3.50. Ardı sıra binalarda 44m bina yüksekliği için a) ön Yüzey b) yan Yüzey c) arka yüzey basınç dağılımı	97
Şekil 3.51 Ardı sıra binalarda 72m bina yüksekliği için a) ön Yüzey b) yan Yüzey c) arka yüzey basınç dağılımı	99
Şekil 3.52. Ardı sıra binalarda 100m bina yüksekliği için a) ön Yüzey b) yan Yüzey c) arka yüzey basınç dağılımı	101



SİMGELER DİZİNİ

b	Rüzgarın Dik Çarptığı Bina Ön Yüzey Genişliği
C_b	Moment Düzeltme Katsayısı
C_e	Maruz Kalma Katsayısı
C_f	Aerodinamik Yük Katsayısı
F_{cr}	Kritik Gerilme
F_x	x Yönünde Kuvvet Değeri
F_y	y Yönünde Kuvvet Değeri
F_z	z Yönünde Kuvvet Değeri
h	Bina Yüksekliği
I_v	Türbülans Şiddeti
k	Türbülans Kinetik Enerjisi
k_r	Arazi Katsayısı
M_x	x Yönünde Oluşan Toplam Moment Değeri
M_y	y Yönünde Oluşan Toplam Moment Değeri
M_z	z Yönünde Oluşan Toplam Moment Değeri
P_n	Karakteristik Basınç Kuvvet Dayanımı
ρ	Birim Hacim Ağırlığı
T_n	Karakteristik Çekme Dayanımı
u	Hız Değeri
u'	Hız Düzeltme Sayısı
V_b	Esas Rüzgâr Hızı
V_m	Ortalama Rüzgâr Hızı
V_n	Karakteristik Kesme Kuvvet Dayanımı
Z_e	Referans Yükseklik
W	Rüzgâr Basıncı
W_e	Bir Yapının Dış Yüzeyine Etki Ettiği Basınç Değeri
W_i	Bir Yapının İç Yüzeyine Etkiyen Rüzgâr Basıncı
σ_v	Türbülans Standart Sapması
q_p	Tepe Rüzgâr Basıncı
ε	Türbülans Enerji Yitimi
v	Basınç Değeri
v'	Basınç Düzeltme sayısı

KISALTMALAR DİZİNİ

CDISI	Kullanıcı Ayarlar Boyutsuz Parametreler 1
CDIS2	Kullanıcı Ayarlar Boyutsuz Parametreler 2
CDIS3	Kullanıcı Ayarlar Boyutsuz Parametreler 3
CFD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
CNU	0.09 Düzeyde Bir Parametre
Diffe	Türbülans Dağılımının Yayılması
LRFD	Taşıma Gücü Yöntemine Göre Tasarımı
PDE	İki Taşımali Denklem
RANS	Reynolds-Ortalama Navier-Stokes Denklemler
TLEN	Maksimum Türbülans Uzunluğu Oranı
SIMPLE	Basınç Bağlantılı Denklemler İçin Yarı Kapalı Yöntemi
YDKT	Yük ve Dayanım Katsayılar Tasarımı

1. GİRİŞ

Son zamanlarda dünya genelinde nüfus artışı yaşanmaktadır. Artan bu nüfus yoğunluğundan dolayı yeni kent alanlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Yapılan yeni kentsel alanlarda daha çok yüksek yapılar ön plana çıkmaktadır. Kentsel alanlarda yüksek binaların bu denli artışı, deprem yükü kadar rüzgâr yükünün de öneminin artmasına neden olmuştur. Özellikle kentsel alanlarda yüksek binaların ardı sıra dizilmesi veya yan yana yapılması rüzgâr etkilerini daha önemli hale getirmiştir. Bu tür aerodinamik etkiler yüksek binalarda daha fazla görülmektedir. Bu sebeple yüksek katlı binalarda, kullanılacak standartların yeterli olup olmadığının irdelenmesi gerekmektedir.

1.1. Standartların irdelenmesi

Yüksek yapıların tasarımında rüzgâr yükleri göz önüne alınması gereken önemli bir faktördür. Çok yüksek ve narin yapılarda rüzgârın statik etkilerinin yanı sıra dinamik etkilerinin de hesaplara katılması gerekir. Binaya etkileyen rüzgâr yükleri statik ve dinamik yüklerin toplamı olarak ifade edilebilir (Şafak, 2012). Dinamik etkiler, arazi kategorileri, binanın iç ve dış basınç katsayıları vb. durumlarının standartlarda göz önüne alınması gerekmektedir.

Standartlar irdelendiğinde TS 498 standardına göre yüksek binalarda rüzgâr türbülansının rüzgâr hızı üzerindeki etkisi olmadığı, arazi kategorisi, arazi topografyası ve binanın yan basınç farkının göz ardı edildiği görülmüştür. TS 498 de hesaplanan rüzgâr yük değerleri başka yönetmenliklere göre yetersiz kalmaktadır (Polat, 2010). Bu sebeple TS 498 standardına göre yüksek yapılarda kullanılan rüzgâr yük değerlerinin EN 1991-1-4 standardı ile iyi bir uyum içinde olmadığı görülmüştür (Türkeli, 2019).

Yüksek binalarda, türbülanslardan dolayı rüzgâr kaynaklı dinamik etkiler daha yoğun şekilde görülmektedir. Bu tür dinamik etkileri daha iyi görmek için rüzgâr tünel deneylerinin yapılması gerekmektedir (Şafak, 2012).

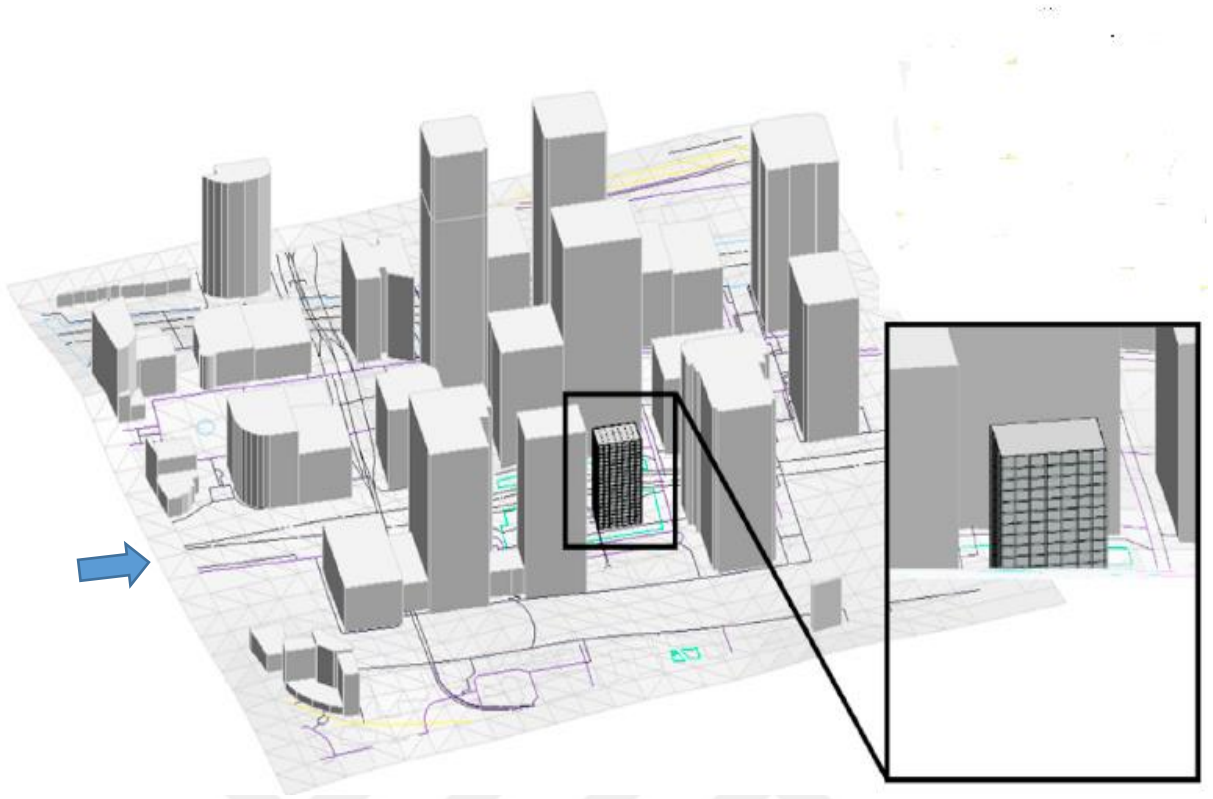
Son zamanlarda rüzgâr tünel deneyinden daha çok dijital rüzgâr tünel deneyi kullanılmaktadır. Bina üzerinde yapılan analiz sonuçlarına bakıldığında hem rüzgâr tünel deneyi hem de dijital rüzgâr tünel deney sonuçlarının birbirine yakın olduğu görülmektedir (Nair ve Thowsif, 2020). Ancak dijital rüzgâr tüneli deneyinde türbülans etkileri daha açık bir şekilde ortaya konulmuştur (Nair ve Thowsif, 2020).

Bu çalışmada, TS 498 ve EN 1991-1-4 standartlarına göre belirlenen değerler ile dijital rüzgâr tüneli hesaplamalarıyla belirlenen değerler olmak üzere üç farklı rüzgâr yükü kullanılmaktadır.

1.2. Binaların Bir Arada Bulunması Durumunda Rüzgâr Etkilerin İncelenmesi

Yüksek binalar projelendirilirken bulunduğu bölgenin standardına göre rüzgâr yükleri dikkate alınmaktadır. Bu rüzgâr yükleri genellikle statik yük olarak alınır. Ancak çevresinde bulunan başka binalarla etkileşiminden dolayı oluşabilecek ekstradan rüzgâr etkileri dikkate alınmamaktadır.

Rüzgârın esiş yönüne dik yer alan öndeki yüksek binadan yâda binalardan dolayı arka kısmında yer alan binaların üzerinde türbülans etkileri oluşabilir (Quan, Chen ve Gu, 2019). Bunun yanısıra, öndeki binalardan dolayı arkadaki binaların üzerine oluşan basınç değerleri azalabilir ve rüzgâr etkileri daha az görülebilir (Quan, Chen ve Gu, 2019). Bu sebeple yeni yapılacak binalar, mevcut olan binalardan (Şekil 1.1), dolayı daha az rüzgâr etkilerine maruz kalmıştır (Avini, Kumar ve Hughes, 2019). Yeni yapılacak binaların çevresinde herhangi engelleyici etken bulunmaması halinde daha fazla rüzgâr etkilerine maruz kalabilir (Avini, Kumar ve Hughes, 2019). Böyle karmaşık binaların bir arada bulunması ve standart olmayan yüksek yapıların rüzgâr davranışının ortaya çıkarılabilmesi için genelde rüzgâr tüneli deneyleri yapılması gerekir (Şafak, 2012).



Şekil 1.1. Mevcut binalar arasında yapılan yeni binanın görüntüsü (Avini, Kumar ve Hughes, 2019).

Bu sebeple bu çalışmada öndeki binalardan dolayı arkada yer alan binaların üzerinde rüzgâr etkilerini görmek için dijital rüzgâr tünel deneyinde üçgensel dizilmiş bina modelleri ve ardı sıra dizilmiş bina modelleri analiz edilmektedir. Ayrıca, yapılan analizlerde üçgensel dizilmiş binalar ve ardı sıra dizilmiş binaların birbiriyle olan etkileşimleri ve türbülans etkileri incelenmektedir. Etkileşimden dolayı binaların yüzeylerinde oluşan basınç değerleri farkları da araştırılmıştır.

Üçgensel ve ardı sıra dizilmiş binaların yapılan analiz sonucunda arka kısımda yer alan binanın rüzgâr etkilerini daha iyi anlamak ve incelemek için etrafında herhangi bir bina olmadan, tekli bina modeli üzerinde dijital rüzgâr tünel deneyleri yapılmıştır. Analiz sonunda tekli bina, üçgensel dizilmiş bina ve ardı sıra dizilmiş bina yüzeyinde oluşan basınç değerleri ve bina tabanında oluşan kesme kuvvet ve taban momenti değerleri karşılaştırılmıştır.

1.3. Literatür Özeti

Dijital rüzgâr tünel deneylerinin, mevcut ve yeni yapılacak yapılara gelen rüzgâr yüklerinin belirlenmesinde daha etkili olduğu, son zamanlarda literatürde bilim insanları tarafından yapılan çalışmalarda gösterilmiştir. Yapılar üzerindeki rüzgâr etkilerinin daha ayrıntılı incelemesi inşaat mühendislerinin araştırma konusu olmuştur. Gelişen kentsel alanlardan dolayı yüksek katlı yapıların sayısı gittikçe artmaktadır. Bu kent alanları içinde birbiri ardında yüksek yapıların yapılması rüzgâr etkilerinin öneminin artmasına neden olmaktadır. Kent içinde yüksek bir binadan dolayı yanındaki binaların rüzgâr etkilerine maruz kalması başlı başına bir araştırma konusudur. Bu nedenle rüzgâr etkileri, türbülans, rezonans, aerodinamik yüklerin etkileri bilim insanları tarafından araştırılmaktadır.

Yapılan literatür çalışmalarında yüksek binalarda türbülans, aerodinamik yükler ve fırtınadan dolayı aniden çıkan rüzgâr etkilerinin bina üzerinde ne çeşit hasarlar meydana getireceği görülmüştür. Özellikle yüksek binalarda deneysel rüzgâr tüneli ile bina yüzey üzerinde pozitif, negatif basınç dağılımı incelenmiş ve etkileri üzerinde çalışılmıştır. Diğer çalışmalarda, farklı ülkelerin rüzgâr yükleri standartlarının karşılaştırılması ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Yapılan literatür çalışmasında dijital rüzgâr tünel deneyi ile üçgen dizilmiş bina modelleri ve ardı sıra bina modellerin üzerinde, rüzgâr yükü etkileri ve birbiriyle olan etkileşimine ağırlık verilmediği sonucuna varılmıştır. Ayrıca RWIND simülasyon programı, TS 498 ve EN 1991-1-4 standartlarına göre rüzgâr yük durumları karşılaştırılmasının yapılmadığı görülmüştür.

Aygün ve Başkaya (2003), yapmış olduğu çalışmada modellediği bir binayı, rüzgâr tünel deneyi testine tabi tutmuştur. Ele aldığı yapı modeli üzerinde 0^0 ve 45^0 açılarla rüzgâr tünel deneyi odasında rüzgâr hava akışına maruz bırakmıştır. Yapı modelin üst kısmının dört yüzeyine basınç ölçmek için sensörler yerleştirmiştir. Bu sensörlerden elde edilen değerlere göre 45^0 açı ile gelen rüzgâr hava akışı basınç değerleri 0^0 açığa göre daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur.

Cho vd. (2004), iki bina modeli üzerinde belirli ölçeklerle rüzgâr tünel testi yapmıştır. Birbirine yakın olan binalar, öndeki bina arkadaki binayı izole edilmiş şekilde yerleştirilmiş ve rüzgâr tünel testi gerçekleştirmiştir. Öndeki binadan dolayı arkadaki bina izole edilmiş, bundan dolayı arkadaki binanın rüzgâr yükünün %30 artığını ortaya koymuştur.

Kiviluoma (2005), yaptığı çalışmada mevcut binalar içerisinde yeni yapılacak yüksek binalardan dolayı, mevcut olan yapıların üzerinde rüzgâr hızı ve yükü arttığı için konfor açısından etkilendiğini göstermiştir. Yeni yapılacak yüksek binaların türbülans etkisi yaptığını ve bundan dolayı türbülans yoğunluğunun arttığını ve rüzgâr kuyruk etkisi yaptığını vurgulamıştır

Irwin (2007), farklı ülkelerde ele aldığı yüksek binaları rüzgâr tünel deneyi odasında testte tutmuştur ve bu yüksek binalardan dolayı meydana gelen çevrinti, türbülanslar nedeniyle çevre yapıların üzerinde olumsuz etkiler yarattığını söylemiştir. Ayrıca, yüksek katlı binaların geometrisine bağlı olarak taban eğilme momenti ve tepe basınç katsayılarını incelemiştir. Yüksek yapılarda, bina köşelerinde açık balkonların olması durumunda taban eğilme momentini %25 ve yerel tepe basınçlarını %50 azalttığını ortaya koymuştur.

Huang ve Chen (2007), 20 kat ve 50 kat yüksekliğinde iki bina modeli üzerinde, rüzgâr yük etkileri, eşdeğer statik rüzgâr yükleri, farklı bina yükseklerinde kesme kuvveti ve eğilme momenti gibi bina tepkilerini yük mod sayısına göre incelemiştir.

Kurç vd. (2012), yaptığı çalışmada rüzgâr tünel deneyi ile bina üzerinde rüzgâr etkileri ve bina yüzeyindeki pürüzlerin yarattığı etkileri; türbülans, periyodik çevrinti, rüzgâr geliş açıları açısından imceleyerek deney sonucunda elde edilen taban momentlerini çeşitli yönetmeliklerle karşılaştırmıştır. Dikdörtgen bina üzerinde rüzgârın binaya dik yönde gelmesi ve rüzgârın dik geldiği yüzey alanı artması, bina arkasında fazla çevrinti oluşmasına ve bu yüzden ortalama taban momentlerinin arttığı sonucuna ulaşmışlardır. Dikdörtgen bina üzerinde test sonucunda elde edilen taban momentleri ASCE7-05, IYBRY ve Eurocode I yönetmelikleri ile karşılaştırılmıştır. Buna göre rüzgâr tünel deneyinde elde edilen taban moment değerleri, ASCE 7-05 yönetmeliği ile hemen hemen aynı değere ulaştığını, Eurocode I ve IYBRT yönetmeliğine göre %20 daha az olduğunu ortaya koymuştur.

Karaca ve Türkeli (2010), yaptığı çalışmada yüksekliği 75 m ile 120 m arasında olan 10 adet sanayi bacası için ACI307/98, CICIND2001, DIN1056, Eurocode1 ve TS498 yönetmeliklerine göre rüzgâr yükünü hesaplayıp, standartlara göre hesaplanan yükler karşılaştırmıştır. Standartlara göre yapılan rüzgâr yükü hesaplamaları sonucunda Eurocode1 rüzgâr yükü değerlerinin, CICIND2001, ACI307/98 standardına göre yaklaşık 2 kat, TS498 ve DIN1056 standartlarına göre 3-4 kat daha fazla rüzgâr yüküne sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Şafak (2012), yaptığı çalışmada düzensiz yapılar, geometrisi düzgün olmayan ve çevresindeki yapılardan dolayı rüzgâr kuyruğu etkileri, vorteks titreşimleri ve ilave türbülans etkilerinden bahsetmiştir. Arka arkaya yerleştirilmiş olan yüksek binalarda, öndeki binadan dolayı arkada yer alan binaya rüzgâr etkileri nedeniyle ilave türbülans etki ettiğini söylemiştir. Bu tür rüzgâr kuyruğu etkileri, binayı modellerken, statik yükler, dinamik yükler ve bunun yanında rüzgâr etkilerinden dolayı, ilaveten türbülans etkilerinin dikkate alınmasını ve eş değer statik yükü gibi yüklerin de eklenmesini açıklamıştır. Ayrıca rüzgâr kuyruk etkilerinin hangi şartlarda ihmal edileceğinden bahsetmiştir.

Bronkhorst vd. (2014), bir bina modeli üzerinde bina yan yana ve arka arkaya olmak üzere rüzgâr tüneli deneyi yapmıştır. Binaların biriyle olan etkileşiminden ötürü tepe basınç kat sayıları üzerinde durmuşlardır. Yan yana olan binaların birbiriyle olan mesafeye göre referans aldıkları bina üzerinde, basınç kat sayıları değerleri hesaplamışlar. Binaların yan yana olması nedeniyle iki bina arasında rüzgâr tüneli oluşmuş, bu sebepten dolayı referans binanın yan iç yüzeyinde basınç kat sayılarında %50 artış olduğu sonucuna varmışlardır. Arka arkaya yerleştirilmiş olan binalar, öndeki binanın yarısı yüksekliğinde, arkadaki bina ile aynı yüksekliktedir. Yarım yüksekliğe sahip binadan dolayı, tam yüksekliğe sahip bina üzerinde oluşan rüzgâr etkileri ve basınç katsayıları incelemesini yapmışlardır. Öndeki yarım yükseklikteki binadan dolayı türbülans dalgalanmaların oluştuğunu ve arkadaki tam yükseklikteki referans aldıkları binanın yan yüzeyinde basınç katsayıların %30 artmasına sebebiyet verdiğini ortaya koymuştur.

Elsharawy vd. (2014), yaptığı çalışmada orta katlı ve düşük katlı dört farklı plan boyutu ve yüksekliğine sahip (6m,12m, 25m, 50m) bina modelleri üzerinde rüzgâr tüneli testi yapmıştır. Test sonucunda binalarda elde edilen burulma ve kesme katsayısı, Avrupa, Amerika ve Kanada standartlarıyla karşılaştırılmıştır. Düşük yükseklikteki binalarda yapılan rüzgâr tünel deneyi sonucunda bina burulma kat sayısı ASCE standardına göre nispeten iyi uyum sağladığını, NBCC standardına göre daha yüksek çıktığını, EN 1991-1-4 standardıyla iyi uyum sağladığını göstermiştir. Orta yükseklikteki binalarda rüzgâr tüneline yapılan analiz sonucunda elde edilen kesme ve burulma kuvvetleri ASCE7 ve NBCC standartlarına göre daha düşük, EN1991-1-4 standardına göre kesme kuvveti fazla, burulma ise iyi uyum içinde olduğunu söylemiştir. Orta ve düşük yüksekliğe sahip binalarda rüzgâr yükünün etkisine göre, maksimum kesme kuvvetinin nasıl oluşacağını açıklamıştır. Ayrıca, binada en boy oranı 1.4-2 arasında olursa rüzgâr yükünün %75 'i binaya etki edeceğinden dolayı maksimum kesme kuvveti meydana gelebileceğini ortaya koymuştur.

Kar ve Dalui (2016), yaptığı çalışmada, biri sekizgen diğer üç tanesi kareden oluşmuş, her biri 150 m yüksekliğe sahip binaların ANSYS CFD paket programı ile test etmiştir. Model binanın sayısal simülasyonu için k- ϵ türbülans modeli kullanılmış ve giriş hızı 10 m/s olarak belirlenmiştir. Sekizgen binanın referans bina (ana bina) olarak alındığını, diğer üç binanın ise engelleyici yani izole eden binalar olduğunu, ana binanın ön kısmına iki tane, sağ tarafına bir tane kare bina yerleştirmiştir. Ana bina, rüzgâr esiş yönü 0^0 derece, rüzgâr hızı ise 10 m/s alınarak ANSYS CFD programıyla analiz edilmiştir. Daha sonra aynı rüzgâr geliş açısı ile hız engelleyici binalar, ana binanın ön ve sağ tarafına yerleştirilerek, engelleyici kare binaların arasındaki mesafeleri değiştirerek analiz etmiştir. Daha sonra sonuçların karşılaştırmıştır. Sadece ana bina olduğu durumda, analiz sonucundaki basınç değerleri, ana bina ve engelleyici binaların olduğu durumda, ana binaya etki eden basınç değerlerine göre daha az olduğunu açıklamıştır. Bunun nedeni olarak öndeki binaların tünel etkisi yarattığını, bundan dolayı hızın arttığını ortaya koymuştur.

Fertelli ve Balta (2017), yaptığı çalışmada tekli bina ve birbirine paralel iki binayı ANSYS FLUENT paket programı ile k- ϵ türbülans modeli kullanarak, binanın etrafındaki rüzgâr akışlarını incelemek için simülasyonlar yapmıştır. Binaların ön yüzeyinde pozitif basınç, yan ve arka yüzeyinde ise negatif basınçlar oluştuğunu, paralel bina arasındaki tünel boşluğunda hızın maksimuma ulaştığını söylemiştir. Maksimum emme değerinin binanın ön yüzeyinin üst kısmında ve paralel iki binada meydana geldiğini açıklamıştır.

Nizamani vd. (2017) yaptığı çalışmada, 45m yüksekliğine sahip bir binayı modelleyip bu binayı EN 1991-1-4 ve MS1553:2002 (Malezya) yönetmeliğine göre karşılaştırmıştır. Temel rüzgâr hızları sırasıyla 30,1 m/s, 33,1 m/s ve 38 m/s alınarak NS simülasyon programı ile EN 1991-1-4 ve MS1553:2002 yönetmeliğine göre, taban kesme kuvvet ve taban eğilme momentlerini karşılaştırmışlardır. Analiz sonuçlarına göre, EN 1991-1-4 yönetmeliğinin MS1553:2002 maddesine göre taban kesme kuvveti %29, taban eğilme momentin %31 daha fazla olduğunu ortaya koymuştur.

Kumar ve Hughes (2019), yaptığı çalışmada ele aldığı bir bina modelini hem Londra hem de New York'taki şehir merkezine Autodesk Flow Design programıyla modelleyip yerleştirmiştir. Bu binayı mevcut binaların rüzgâr etkileri nedeniyle tüm yüzeylerde oluşan basınç değerlerini görmek için rüzgâr tünel simülatörü (CWT) kullanmıştır. Londra ve New York şehir merkezlerine yerleştirildiği binayı, CWT deneyinde yapılan çalışma sonucunda çıkan basınç değerleri ile EN 1991-1-4 (2005) ve ASCE7-10 yönetmeliğine göre basınç

değerleri karşılaştırmıştır. Bunun sonucunda EN1991-1-4 ve ASCE7-10 yönetmeliğine göre elde edilen basınç değerlerinin daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur. New York ve Londra şehir merkezine yerleştirdiği binayı mevcut yapılarla birlikte yaptığı analiz sonucunda çıkan basınç değerleri ile mevcut yapılar olmadan yapılan analiz sonucunda çıkan basınç değerlerinden daha az olduğunu göstermiştir. Bunun nedenini mevcut yapılardan dolayı rüzgâr hızının azalması ve buna bağlı olarak bina yüzeyinde oluşan basınç değerlerinin düşmesi olarak açıklamıştır.

Liu ve Chen (2019), yaptığı çalışmada dikdörtgen şeklinde bir bina modeli üzerinde rüzgâr tünel testi yaparak bu yüksek binanın eninin (B) ve derinliğine (D) oranına göre basınç dağılımının nasıl değiştiğini incelemiş ve bu basınçları ASCE7-16 yönetmeliği ile karşılaştırmıştır. Yüksek binanın plan oranı (B/D) en elverişsiz plan aralığının 0.5, 1 olduğunu ve emme basıncının en fazla olduğu plan oranının 0.5 olduğunu belirlemiş, yan duvarlarda ise (D uzunluğu) en uygun olmayan plan oranı 0.67, 1, 5 olarak hesaplamıştır. Binanın ön, yan ve arka kısmında aynı plan oranında ASCE7-16 yönetmeliğine göre ortalama basınç dağılımının daha büyük olduğunu bu değerlerin 0.33-1.5 arasında olduğunu ortaya koymuştur.

Türkeli (2019), yaptığı çalışmada yeni yapılan birçok minarenin rüzgâr tesirinden dolayı yıkıldığını açıklamıştır. Ele aldığı bir betonarme minareyi Sap2000 programıyla modellemiş, TS 498 ve EN 1991-1-4 standartlarına göre minareye etki eden rüzgâr yükünü karşılaştırmıştır. Bu minarelerin altında bulunan temelle nasıl etkileşime girdiğini açıklamıştır. Minare için standartlara göre rüzgâr yükü hesaplamalarında EN 1991-1-4 rüzgâr yükünün TS 498 rüzgâr yüküne göre %200-300 daha fazla olduğunu ortaya koymuştur. Bunun nedeni olarak TS 498 standardının yapının dinamik davranışı gibi parametreleri içermemesi olduğunu açıklamıştır.

Chen ve Gu (2019), yaptığı çalışmada, şehir merkezinde mevcut yapıların içinde yeni yapılacak yüksek yapılardan dolayı, mevcut yapıların üzerinde oluşacak rüzgâr etkilerinden bahsetmiştir. Ele aldığı hedef bina plan edatları 38 m × 23 m ve yüksekliği 150 m olup, hedef binaya paralel 23 m uzaklıkta ve hedef bina ile aynı kesit ve yüksekliğe sahip bir bina (komşu bina) modellemiştir. Hedef binanın ön tarafında (+y doğrultusunda) 17 m uzaklıkta, yüksekliği 400 m olan bir başka süper yüksek bina (etkileşimde olan bina) daha modellediğini söylemiştir. Bu modelin, sağına, soluna, arkasına ve önüne başka mevcut bina modelleri koymuştur. Rüzgâr tüneli deneyinde binaları dört farklı yönde (+x, +y, -x, -y) rüzgâra maruz bırakmıştır. Rüzgâr tünel deneyinde 5 farklı durum için; 1. durum sadece hedef bina, 2. durum hedef bina ile komşu bina, 3. durum hedef bina, komşu bina ve süper yüksek bina, 4. durum hedef bina komşu bina

ve mevcut binalar, 5. durum bütün binalar için inceleme yaptığını açıklamıştır. Deney sonucunda +y, -y yönünde rüzgâr etkileri hedef bina ile komşu bina arasında (2. durum) tünel etkisi yarattığı için, binanın iç yüzeyinde sadece hedef bina (1. durum) olduğu duruma göre, daha yüksek negatif basınç oluştuğunu açıklamıştır. Öndeki süper yüksek binadan dolayı arkadaki hedef bina ve komşu bina (3. durum) basınç katsayısı, süper yüksek bina olmadığı (2. durum) duruma göre basınç katsayısının daha fazla olduğunu söylemiştir. 3. ve 5. durumlarda (süper yüksek bina olduğu durum) ile 2. ve 4. durumlara (süper yüksek bina olmadığı durum) göre maksimum basınç katsayıları %22-%14 arasında daha fazla olduğunu ortaya koymuştur. Öndeki süper yüksek binadan dolayı arkadaki iki bina (2. durum) üst köşe noktasında, süper yüksek bina olmadığı duruma göre pozitif basınç değeri 1.8 kat daha fazla olduğunu açıklamıştır. Öndeki yüksek binalardan dolayı arkadaki ve yanındaki binalar üzerinde türbülans etkisi yarattığını ve bu türbülansın dolayı basınç dalgalanmalarının bina üzerinde zaman zaman fazla basınç yarattığını açıklamıştır.

Nair ve Thowsif (2020), yaptığı çalışmada ele aldığı dört adet bina modelinin hem rüzgâr tünel testi hem hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CDF) programı ile rüzgâr yüklerini incelemiştir. Bu iki yöntem analiz sonuçlarına göre çıkan basınç değerlerini karşılaştırmıştır. ANSYS Design programıyla yapılan bina modelleri türbülans hesaplamaları için viskoz laminar K-w SST modeli kullanıldığını belirtmiş ve rüzgâr deneyi testini ise sirkülasyonlu su kanalında gerçekleştirmiştir. Yapılan nümerik analiz ve deney testinde çıkan basınç değerleri birbirine yakın olduğunu ortaya koymuştur. Ancak CFD ile yapılan analizlerin daha avantajlı olduğunu, türbülans gibi değerleri daha açık bir şekilde ortaya çıkardığını söylemiştir.

Thordol vd. (2020), yaptığı çalışmada kesiti 30 m × 45 m ve yüksekliği 180 m olan CAARC binası ve bu binanın etrafındaki çeşitli yapıları modelleyerek hem dijital rüzgâr tünel deneyi (DWT) hem de deneysel rüzgâr tüneli (EWT) ile hesaplanan bina üzerinde rüzgâr etkileri birbiriyle karşılaştırmıştır. Bu iki farklı yöntem ile 0°, 30°, 45°, 60°, 90° açı ile rüzgâra maruz bırakmıştır. İki farklı yöntemle yapılan analiz sonucunda kesme kuvveti, taban momentleri ve basınç katsayıları karşılaştırmıştır. Dijital rüzgâr tünel deneyi ve deneysel rüzgâr tünel deneyinde yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen basınç katsayılarının birbirine yakın olduğunu ve uyum sağladığını açıklamıştır. Dijital rüzgâr tünel deneyi ve deneysel rüzgâr tünel deneyinde analiz ve test sonucunda taban momentleri arasındaki değerlerin birbirine yakın olduğunu açıklamıştır. Bu moment farklarının M_x %10.5, M_y %13, M_z %12.8 olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, dijital rüzgâr tünel deneyi ve deneysel rüzgâr tünel deneyinde kat bazında yük durumu karşılaştırılmıştır. 80 m yüksekliğinden sonra DWT rüzgâr yük değerlerinin EWT

rüzgâr yük değerinden daha az olduğunu ve bunun nedeninin 80 m sonra DWT rüzgâr etkilerinin azalması olduğunu açıklamıştır.

Chen vd. (2021), yaptığı çalışmada birbirine paralel ve yan yana olan kare şeklindeki iki yüksek binaya (rüzgârın dar açılı ile 1 nolu binaya yaklaştığı yön) belirli bir açı (40^0) ile PIV ve MPMS rüzgâr tünel testi gerçekleştirmiştir. Bina arası mesafe S ve bina derinliği B olmak üzere, bina arası kısa mesafe $S/B=0.33$ ve binalar arası uzun mesafe $S/B=1.5$ oranları ile rüzgâra maruz bırakıldığını ve binaların üst kısmında birbirine bir bağlantı kurarak yanal yer değiştirme gözlemlediği açıklamıştır. Analiz sonucunda binalar arasında kısa mesafe $S/B=0.33$ olduğunda 1 numaralı bina yüzeyinde emme kuvvetinin arttığını, binalar arasındaki mesafe uzun $S/B=1.5$ olduğunda emme kuvvetinin azaldığını açıklamıştır. Binalar arasında kısa mesafe $S/B=0.33$ olduğunda 1 numaralı binadaki yanal yer değiştirmenin 93 mm olduğunu, binalar arasında uzun $S/B=1.5$ mesafede olduğu durumda yanal yer değiştirmenin 87 mm olduğunu ortaya koymuştur. Binalar arasında bir bağlantı olduğunda 1 numaralı binada yanal yer değiştirmenin azaldığını, iki binada ise yanal yer değiştirmenin birbirine yakın olduğunu açıklamıştır.

1.4. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Yüksek binaların tasarımı yapılırken birçok yük dikkate alınmaktadır. Bu yükler statik yükler ve dinamik yükler başlığı altında toplanabilir. Dinamik yük olarak en önemli yük deprem yükleri iken, son zamanlarda binaların yüksekliğinin artışıyla artık deprem yüklerinin yanında rüzgâr yükleri de önemli hale gelmiştir. Türkiye’de ise yüksek yapıların tasarımında rüzgâr yükleri, TS 498 yönetmeliğine göre hesaplanmaktadır. Ancak bu yükler teorik olarak belirli kabullere göre taşıyıcı sistemlere aktarılmaktadır. Bu sebeple, TS 498 ile hesaplanan rüzgâr yüklerinin yeterli olup olmadığını incelemek için ele alınan bir bina üç farklı yükseklik için, EN 1991-1-4 standardına ve dijital rüzgâr tünel deneyi ile belirlenen rüzgâr yükleri ile karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Ayrıca, üçgenel dizilmiş binalar ve ardı sıra şeklinde dizilmiş binalar dijital rüzgâr tünel deneyi ile analiz edilip, birbiriyle olan etkileşimleri incelenerek, tekli bina sonuçlarıyla karşılaştırılması yapılmıştır. Literatür araştırmalarından anlaşıldığı üzere bu tür karşılaştırmalar henüz yapılmamıştır.

2. METODOLOJİ

2.1. Giriş

Son zamanlarda artan dikey yapılaşmadan dolayı rüzgâr etkileri daha etkin hale gelmiştir. Kentsel alanlarda yapılan yüksek binaların birbiriyle etkileşimi bina yüzey alanlarına gelen rüzgâr etkilerinin artmasına neden olmaktadır. Bu sebeple, binalar arasındaki etkileşim rüzgâr hızlarının ani değişmesine neden olmaktadır. Ani değişen rüzgâr hızlarından kaynaklanan türbülans etkileri, birçok standartta dikkate alınmamaktadır.

Standartlar, deney sonucunda yapılan veri analizleri ile teorik veriler dikkate alınarak, geçmişteki deneyimler, yapılan çalışma ve araştırmalar sonucunda kullanıma sunulmuştur.

Tezin bu bölümünde Avrupa ve Dünyada yaygın olarak kullanılan Eurocode 1 (EN 1991-1-4) standardına göre, Türkiye’de kullanılan TS 498 standardına göre ve RWIND (CFD) simülasyon programına göre rüzgâr yükü hesaplama yöntemleri verilmiştir.

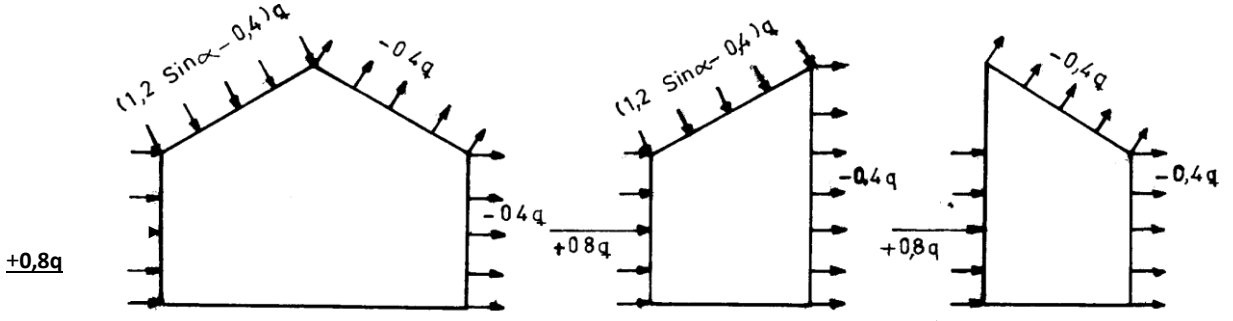
2.2. TS 498 Standardına Göre Rüzgâr Yükü Hesabı

Rüzgâr yükü hesabı, yapının geometrisine bağlı olup, basınç, emme ve sürtünme etkileri birleştirilerek hesaba katılır. Bir yapının yüzeyine etki eden rüzgâr basıncı aşağıdaki denklem 2.1 ile hesaplanmaktadır.

$$W = C_p \cdot q \quad (2.1)$$

Burada, C_p emme veya basınç katsayısını, q ise rüzgâr hız basıncını ifade etmektedir.

TS 498 standardına göre rüzgâr yükü hesabında aerodinamik yük katsayısı rüzgârın esiş yönüne göre değişmektedir. Rüzgârın duvara dik geldiği yön için (basınç) 0.8 katsayısı alınmaktadır. Rüzgârın duvarı terk ettiği yön için (emme) 0.4 değeri alınmaktadır. Bu değerler Şekil 2.1 de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Planda kare kesitli ve eğik çatılı kapalı yapılarda rüzgâr yükünün ana taşıyıcı sistem doğrultusunda dağıtımını (TS 498/Kasım 1997).

Rüzgâr hız basıncı (q) Denklem 2.2 'de verilen,

$$q = \frac{\gamma v^2}{2g} \left(\frac{kN}{m^2} \right) \quad (2.2)$$

olarak hesaplanmaktadır. Burada; $\gamma = \rho g$

Yaklaşık olarak hava birim hacim kütlesi $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$ alınarak hız (v) da m/s cinsinden yerine konursa, Denklem 2.3 'deki gibi hesaplanır.

$$q = \frac{v^2}{1600} \left(\frac{kN}{m^2} \right) \quad (2.3)$$

olarak bulunur. Bu bağıntı ile hesaplanan rüzgâr hız basıncı değerleri Çizelge 2.1 de verilmektedir.

Çizelge 2.1. Yüksekliğe bağlı olarak rüzgâr hızı ve rüzgâr hız basıncı (TS 498/Kasım1997)

Zeminden Yükseklik (m)	Rüzgâr Hızı, v (m/s)	Rüzgâr Hız Basıncı, q (kN/m ²)
0- 8	28	0,5
9- 20	36	0,8
21- 100	42	1,1
> 100	46	1,3

2.3. Eurocode 1-EN1991-1-4 Standardına Göre Rüzgâr Yüklerinin Hesabı

2.3.1. Esas Rüzgâr Hızı

Esas rüzgâr hızı dikkate alınan rüzgârın yönünü ve mevsimleri (gerekliyse), hesaba katmak için değiştirilmiş temel esas rüzgâr hızıdır. Esas rüzgâr hızı Denklem 2.4' kullanılarak hesaplanır.

$$V_b = C_{dir} C_{season} V_{b,0} \quad (2.4)$$

Burada;

$V_{b,0}$: Esas rüzgâr hızının temel değeri olup, yılın herhangi bir bölümünden ve rüzgâr yönünden bağımsız olarak, çayır gibi az bir bitki örtüsüne ve aralarında en az engel, yüksekliğinin 20 katı kadar mesafe bulunan engellere sahip açık kırsal alanda yer seviyesinden 10 metre yukarıdaki karakteristik, 10 dakikalık ortalama rüzgâr hızıdır.

C_{dir} : doğrultu katsayısı.

C_{season} : mevsim katsayısıdır.

Farklı rüzgâr yönleri için doğrultu katsayısı C_{dir} ve mevsim katsayısı C_{season} için tavsiye edilen değer 1,0'dır.

2.3.2. Ortalama Rüzgâr Hızı

Ortalama rüzgâr hızı, arazi engebелiliği ve orografik tesirleri hesaba katmak için değiştirilmiş esas rüzgâr hızıdır. Bir arazide yer seviyesinden Z metre yükseklikteki ortalama rüzgâr hızı $V_m(z)$, o arazinin engebелiliğine, orografik özelliklerine ve esas rüzgâr hızı V_b 'ye bağlı olarak Denklem 2.5 ile hesaplanır.

$$V_m(z) = C_r(z) \cdot C_o \cdot V_b \quad (2.5)$$

Burada;

$C_r(z)$: engebелik katsayısı

$C_o(z)$: otografi katsayısı (genelde 1 alınır)

Engebelilik katsayısı $C_r(z)$ ile yapının bulunduğu mahalde aşağıda belirtilen durumlara bağlı olarak ortalama rüzgâr hızı değişkenliği hesaba katılır:

- Yer seviyesinden olan yükseklik
- Rüzgârın doğrultusu dikkate alındığında, yapının rüzgârın yaklaştığı yöndeki arazi parçasının engebeliliği.

z metre yükseklikteki engebelilik katsayısının hesaplanması için tavsiye edilen işlem Denklem 2.6’da verilmiştir. Bu eşitlik logaritmik hız profiline dayanmaktadır.

$$\begin{aligned} C_r(z) &= k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) & Z_{min} \leq z \leq Z_{max} \\ C_r(z) &= C_r(z_{en\ küçük}) & z \leq z_{min} \end{aligned} \quad (2.6)$$

Burada;

Z_0 : Engebelilik uzunluğu

k_r : Denklem 2.7 kullanılarak hesaplanan, engebelilik uzunluğu Z_0 ’a bağlı arazi katsayısıdır.

$$k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,u}}\right)^{0,07} \quad (2.7)$$

Burada;

$Z_{0,u}$: 0.05 (arazi kategorisi II, Çizelge 2.2)

$Z_{en\ küçük}$: Çizelge 2.2 ‘de tanımlanan en düşük yükseklik

$Z_{en\ büyük}$: 200m alınmalıdır.

Z_0 ve $Z_{enküçük}$ arazi kategorisine bağlıdır. Tavsiye edilen değerler Çizelge 2.2’de beş temsili arazi kategorisi için verilmiştir.

Rüzgârın geldiği kısımdaki engebeliliği düzgün dağılımlı olanın, arazinin profil yeterliliğini kararlı şekilde sağlamaya yeterli uzunlukta olması durumunda, Denklem 2.6 geçerlidir.

Çizelge 2.2. Arazi kategorileri ve arazi parametreleri (EN1991-1-4/Araklık2007)

Arazi kategorisi	Z ₀ (m)	Z _{en} küçük
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, yöre kent, ormanlık alan gibi)	0.3	5
IV Yüzeyinin en az % 15'i, yükseklik ortalaması 15 m'yi aşan binalarla kaplı alan	1	10

Arazi orografisinin (tepeler, yamaçlar vb.) rüzgâr hızını %5'ten daha fazla arttırdığı yerlerde, bunların tesirleri orografi katsayısı C_o, kullanılarak dikkate alınmalıdır. Rüzgârın yaklaştığı yöndeki ortalama arazi eğiminin 3 dereceden az olduğu durumlarda orografi tesirleri ihmal edilebilir. Rüzgârın yaklaştığı yöndeki arazi boyu olarak orografik unsurun yüksekliğinin 10 katı mesafe kabul edilebilir.

2.3.3. Rüzgâr Türbülansı

Rüzgâr hızındaki ani değişime bağlı olarak (hızlanması veya yavaşlanması) rüzgâr türbülansı oluşmaktadır. Z metre yükseklikteki türbülans şiddeti I_v(z), türbülansın standart sapmasının, ortalama rüzgâr hızına oranı olarak tanımlanmıştır. Rüzgâr hızının türbülans bileşeninin ortalama değeri 0, standart sapması σ_v dır. Türbülansın standart sapması σ_v Denklem 2.8 kullanılarak hesaplanabilir.

$$\sigma_v = k_r \cdot V_b \cdot k_t \quad (2.8)$$

I_v(z)'nin hesaplanması için tavsiye edilen işlem Denklem 2.9 'da verilmiştir.

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{V_m(z)} = \frac{k_t}{C_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad Z_{min} \leq Z \leq Z_{max} \quad (2.9)$$

$$I_v(z) = I_v(z_{min}) \quad Z \leq Z_{min}$$

Burada;

k_1 : Türbülans katsayısı için tavsiye edilen değer 1,0'dır,

C_o : Orografi katsayısı

Z_0 : Çizelge 2.2'de verilen engebelilik katsayısıdır.

2.3.4. Tepe Hız kaynaklı Rüzgâr basıncı

Özellikle yüksek yapıların tepe noktalarında, ani rüzgâr değişimi rüzgâr hızını etkilemektedir. Bu nedenle türbülans etkisi yaratmaktadır. Tepe hız kaynaklı rüzgâr basıncı değerleri hesaplanırken, türbülans etkileri dikkate alınmaktadır. Aşağıda verilen Denklem 2.8'de türbülans değerleri eklenmiştir.

Z metre yükseklikteki, ortalama ve kısa süreli hız değişikliklerini içeren tepe rüzgâr basıncı q_p olarak ifade edilmektedir. q_p için tavsiye edilen değer Denklem 2.10'da verilmektedir.

$$q_p = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b \quad (2.10)$$

Burada;

ρ : Fırtınalar esnasında bölgede olması beklenen sıcaklığa, barometrik basınçlara ve rakıma bağlı olan hava yoğunluğu olup, tavsiye edilen değer 1.25 kg/m^3 dür.

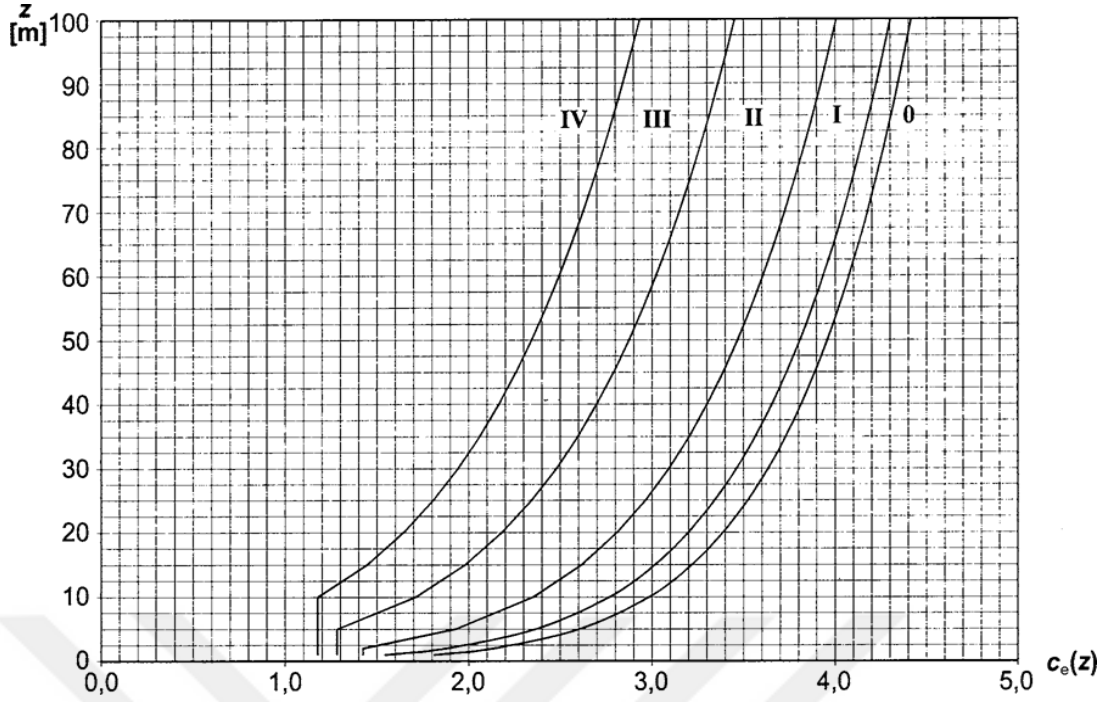
C_e : Denklem 2.11'de verilen maruz kalma katsayısıdır

$$C_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b} \quad (2.11)$$

q_b : Denklem 2.12'de verilen esas hız kaynaklı rüzgâr basıncıdır.

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad (2.12)$$

$C_o(z) = 1.0$ olan düz araziler için maruz kalma katsayısı C_e , Şekil 2.2'de yer seviyesinden yüksekliğin ve Çizelge 2.2'de tanımlanan arazi kategorilerinin bir fonksiyonu olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Maruz kalma katsayısı $C_e(z)$ 'nin $C_0=1,0$ ve $k_1=1,0$ için grafik gösterimi (EN1991-1-4/Araklık2007).

2.3.5. Rüzgâr Etkileri

Bir duvara, çatıya veya yapı elemanına etkiyen net basınç, elemanların zıt yüzeylerde oluşan basınçların yönleri (işaretleri) de dikkate alınarak hesaplanan farkına eşittir. Yüzeye doğru yönelen basınç pozitif ve yüzeyden uzaklaşan yöndeki basınçlar ise negatif olarak alınır. Örnekleri Şekil 2.3 'de gösterilmiştir.

Dış yüzeye etki eden basınç değeri W_e Denklem 2.13 kullanarak elde edilir.

$$W_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \quad (2.13)$$

Burada;

$q_p(z_e)$: Tepe rüzgâr basıncı

Z_e : Dış basınç için referans yükseklik

C_{pe} : Dış basınç için verilen basınç katsayısı

İç yüzeylere etkiyen rüzgâr basıncı (w_i) Denklem 2.14 kullanılarak elde edilir.

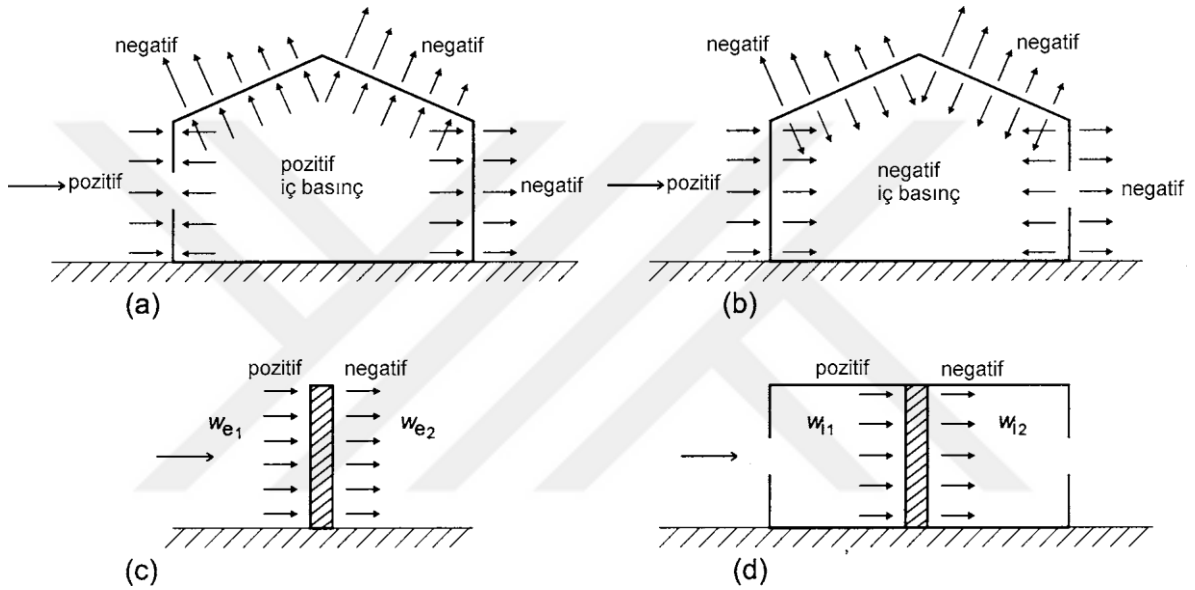
$$W_i = q_p(z_i) \cdot C_{pi} \quad (2.14)$$

Burada;

$q_p(z_i)$: Tepe hız kaynaklı rüzgâr basıncı

Z_i : İç basınç için referans yükseklik

C_{pi} : İç basınç için verilen basınç katsayısı



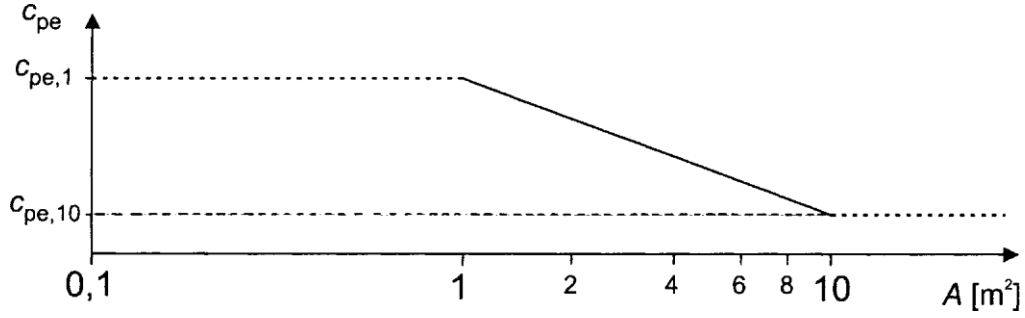
Şekil 2.3. Yüzeylerdeki basınç yönleri (EN1991-1-4/Araklık2007).

2.3.6. Binalarda Basınç Kat Sayısı

Binalar ve bina bölümleri için dış basınç katsayıları C_{pe} , hesaplama yapılacak kesitteki rüzgâr etkisini oluşturan yüklenmiş yapı alanı A' 'nin boyutuna bağlıdır. Dış basınç katsayıları, uygun bina şekilleri için çizelgelerde, değeri 1 m^2 olan yüklenmiş alan A için kısmi katsayı $C_{pe,1}$ olarak, değeri 10 m^2 olan yüklenmiş alan A için ise genel katsayı $C_{pe,10}$ olarak verilmiştir.

$C_{pe,1}$ değerleri cephe ve çatı kaplama elemanları gibi alanı 1 m^2 veya daha az olan küçük elemanlar ve sabitleme elemanlarının tasarımında kullanılmak üzere dikkate alınır. $C_{pe,10}$ değerleri binanın yük taşıyıcı kısmının tamamını tasarımında kullanılabilir.

Dış basınç katsayıları $C_{pe,1}$ ve $C_{pe,10}$ esas alınarak 1 m^2 'nin üzerindeki yüklenmiş alanlara etkiyen dış basınç katsayılarını hesaplamak için kullanılacak bir işlem verilebilir. Değeri en fazla 10 m^2 'ye kadar olan yüklenmiş alanlar için tavsiye edilen işlem Şekil 2.4'de verilmiştir.



Şekil 2.4. Değeri 1 m² ile 10 m² arasında yüklenmiş alanı bulunan binalarda dış basınç katsayısı, C_{pe}'nin belirlenmesi için tavsiye edilen işlem (EN1991-1-4/Araklık2007)

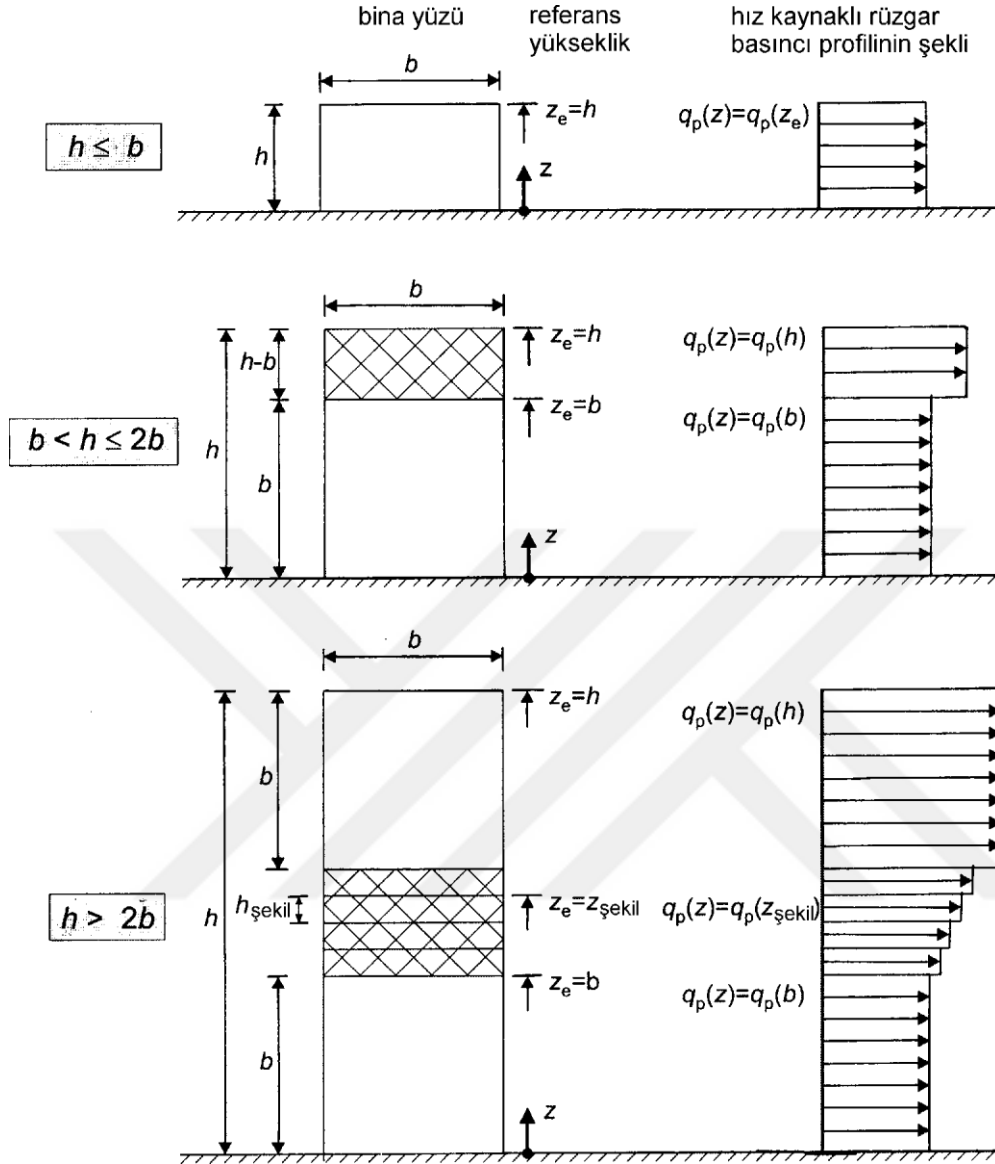
Bu şekil; $1 \text{ m}^2 < A < 10 \text{ m}^2$ için $c_{pe} = c_{pe,1} - (c_{pe,1} - c_{pe,10}) \log_{10} A$ kabulüne dayanır.

2.3.7. Dikdörtgen Planlı Binaların Düşey Duvarlarında Basınç Dağılımı

Dikdörtgen planlı binaların rüzgârın yaklaştığı yöndeki duvarları için (D Bölgesi, Şekil 2.6) Z_e referans yükseklikleri, h/b görünüm oranına bağlıdır ve her zaman duvarların değişik kısımlarındaki en büyük yüksekliklere eşittir. Bu yükseklikler aşağıdaki üç durum için Şekil 2.5.'te verilmiştir:

- h yüksekliği b'den daha az olan bir bina tek parça olarak değerlendirilmelidir.
- h yüksekliği b'den büyük ancak 2b'den daha az olan bir bina, yer seviyesinden b yüksekliğine kadar olan alt bölümü bir parça ve geri kalan üst bölümü diğer parça olan iki parçalı bina olarak değerlendirilebilir.
- h yüksekliği 2b'den büyük olan bir bina, yer seviyesinden b yüksekliğine kadar olan alt bölümü; binanın en üstünden aşağıya doğru b yüksekliği kadar uzanan üst bölümü ve üst ve alt bölümlerin arasında Şekil 2.5'te gösterildiği gibi h yüksekliğinde yatay şeritlere bölünebilen orta bölümü içeren çok parçalı bina olarak değerlendirilebilir.

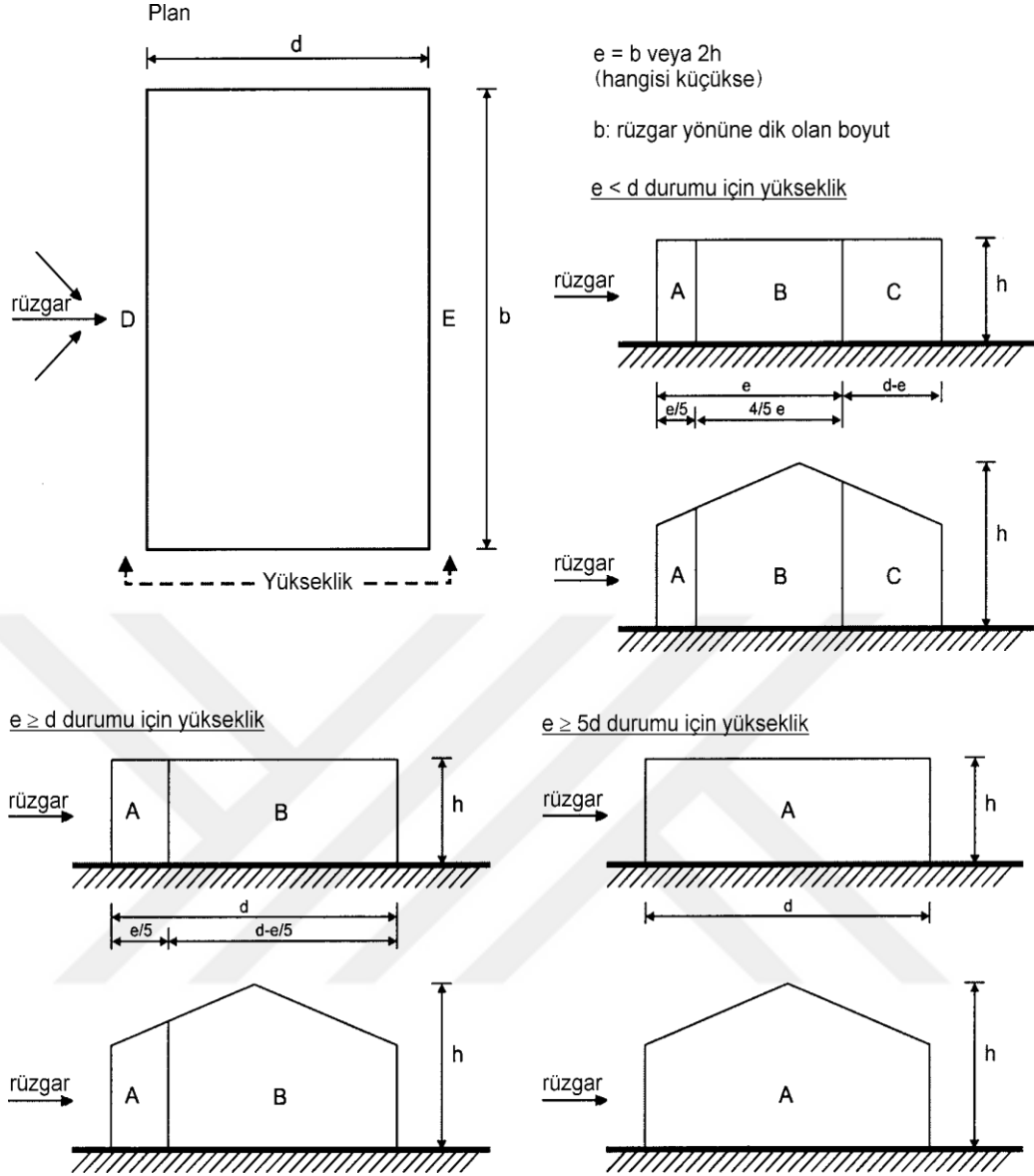
Rüzgârın uzaklaştığı yöndeki duvarlar ve yan duvarlar için (A, B, C ve E Bölgeleri, Şekil 2.6) hız kaynaklı rüzgâr basıncı dağılımı kuralları verilebilir veya özel projeler için tanımlanabilir. Tavsiye edilen işlem, referans yüksekliğini bina yüksekliği olarak almaktır.



Şekil 2.5. h ve b değerlerine bağlı z_e referans yüksekliği ve buna karşılık gelen hız kaynaklı rüzgâr basıncı profili (EN1991-1-4/Araklık2007)

Dikkate alınan her yatay şerit için hız kaynaklı rüzgâr basıncının düzgün yayılı olarak etki ettiği kabul edilmelidir.

A, B, C, D ve E Bölgeleri için dış basınç katsayıları $C_{pe,10}$ ve $C_{pe,1}$ Şekil 2.6'da tanımlanmıştır.



Şekil 2.6. Düşey duvarlar için açıklama (EN1991-1-4/Araklık2007)

$C_{pe,10}$ ve $C_{pe,1}$ için tavsiye edilen değerler h/d oranına bağlı olarak Çizelge 2.3'de verilmiştir. h/d oranının ara değerleri için doğrusal interpolasyon uygulanabilir. Çift eğimli ve tek eğimli gibi yatay olmayan çatısı bulunan binaların duvarları için Çizelge 2.3'deki değerler de uygulanabilir.

Çizelge 2.3. Dikdörtgen planlı binaların düşey duvarları için tavsiye edilen dış basınç katsayısı değerleri (EN1991-1-4/Araklık2007)

Bölge	A		B		C		D		E	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
0,25 <	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

Yapı üzerindeki rüzgâr kuvvetlerinin, yapının rüzgârın yaklaştığı yönündeki ve rüzgârın uzaklaştığı yöndeki yüzlerine (D ve E Bölgeleri) C_{pe} basınç katsayıları eşzamanlı uygulanarak belirlendiği durumlarda yapının rüzgâr yönündeki ve rüzgârın uzaklaştığı yöndeki yüzleri arasındaki rüzgâr basınçları korelasyonunun eksikliği dikkate alınmalıdır.

Yapının rüzgârın yaklaştığı yöndeki ve rüzgârın uzaklaştığı yöndeki yüzleri arasındaki düşük rüzgâr basıncı korelasyonu aşağıdaki şekilde dikkate alınabilir. $h/d \geq 5$ olan binalar için bileşke kuvvet 1 ile çarpılır. $h/d \leq 1$ olan binalar için bileşke kuvvet 0,85 ile çarpılır. h/d 'nin ara değerleri için doğrusal interpolasyon uygulanabilir.

2.4. RWIND ile Rüzgâr Yüklerinin Hesabı

RWIND simülasyon programı, yapılar üzerinde rüzgâr kaynaklı yükleri hesaplamaktadır. Binalar üzerine ve çevresindeki rüzgâr akış hesaplamaları için tasarlanmış bir bilgisayar programıdır. Bu program, rüzgâr tünelineki nesnelere etrafındaki hava akışını hesaplamaktadır. Hava akımını simüle etmek için sayısal bir Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) modelini kullanmaktadır.

Simülasyon için, sonlu hacimlerden oluşan üç boyutlu bir ağ kullanılır. RWIND simülasyon programı otomatik bir “mesh”leme gerçekleştirirken, genel “mesh” yoğunluğu ve modelin yakınındaki yerel “mesh” iyileştirmesi yalnızca birkaç parametre kullanılarak kolayca ayarlanabilir. Model üzerinde hava akışı ve yüzey basıncının hesaplanması için, sıkıştırılmaz türbülanslı akış için sonlu hacimli bir sayısal çözümleyici uygulanmıştır. Sonuçlar daha sonra model üzerinde tahmin edilmektedir.

Sayısal çözücüye "RWINDSimulation Solver" denir ve SIMPLE çözücü ailesi ile ilgilidir. SIMPLE (Basınç Bağlantılı Denklemler için Yarı Kapalı Yöntem) algoritmasını kullanan sıkıştırılmaz, türbülanslı akış için kararlı hal çözücüdür.

RWIND Simülasyon, hız veya basınç gibi akış değişkenlerinin ortalama bileşenlere ve dalgalanan bileşenlere ayrıştırıldığı farklı bir teknik kullanır. Başka bir deyişle, küçük ölçekleri ortadan kaldırmak için akışkan hareketinin ana denklemlerinin ortalaması alınır. Bu da çözmesi hesaplama açısından daha az zahmetli olan değiştirilmiş bir denklem seti ile sonuçlanır. Bu denklemler “Reynolds-ortalama Navier-Stokes denklemleri” (RANS) olarak kullanılmaktadır.

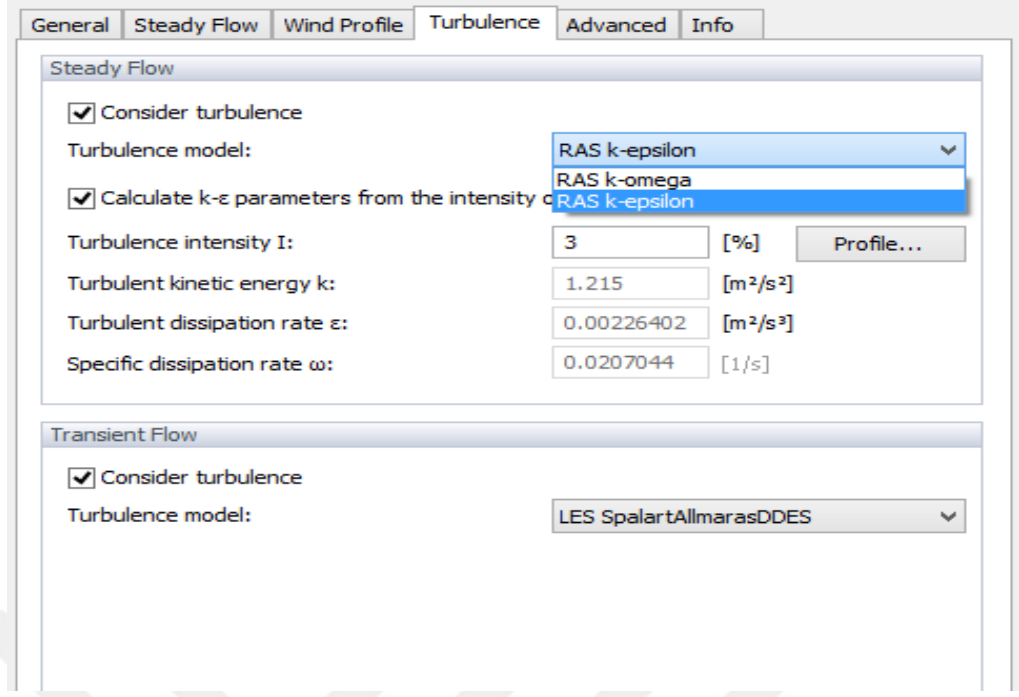
2.4.1. k – epsilon Türbülans Modeli

Yapılan literatür araştırması sonucunda, birçok çalışmada tek bir türbülans modeli üzerinde durulmuştur. Ancak RWIND simülasyon programı bize iki farklı türbülans (Şekil 2.7) modeli sunmaktadır. Birinci türbülans modeli k-epsilon modeli, ikinci türbülans modeli ise k-omega modelidir.

K-epsilon modeli, endüstriyel uygulamaların birçoğunda rastlanılan akış türlerinden, her bir durum için ayrı ayarlama gerektirmeden iyi sonuçlar veren bir türbülans modelidir. Özellikle Reynolds kayma kuvvetlerinin önemli olduğu kapalı akış türlerinde güvenilir sonuçlar verdiği görülmüştür (Karaman 2018). Bu yüzden bu tez çalışmasında kullanacak türbülans modeli k- epsilon olarak seçilmiştir.

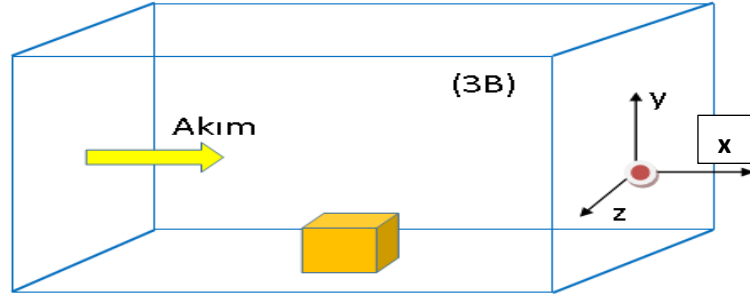
K-epsilon ($k-\epsilon$) türbülans modeli, türbülanslı akış koşulları için ortalama akış özelliklerini simüle etmek üzere hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde (CFD) kullanılan en yaygın modeldir. İki taşıma denklemi (PDE) aracılığıyla türbülansın genel bir tanımını veren iki denklemlilik bir modeldir. K-epsilon modeli için, uzun modelleri iyileştirmenin yanı sıra, orta ila yüksek karmaşık akışlarda, türbülanslı uzunluk ölçeklerini cebirsel olarak sunmaktadır.

K-epsilon iki denklemlilik bir türbülans modelidir. Yani; akış türbülans özelliklerini temsil edebilmek için Navier-Stokes denklemlerine ek olarak iki adet taşınım denklemi içermektedir. Birinci taşınan değişken türbülansın enerjisini belirler “Türbülans Kinetik Enerjisi” olarak adlandırılır ve “k” ile gösterilir. İkinci taşınan değişken türbülanslı akışın kinetik enerjisindeki yitim oranını belirler ve “Türbülans Enerji Yitimi” olarak adlandırılır ve “ ϵ ” ile gösterilir (Kıray 2014).



Şekil 2.7. RWIND simülasyon programında türbülans model sekmesi

Türbülans'dan dolayı akışkan tanecik boyutları farklı yönlerde hareket etmektedir (Şekil 2.8). Bu hareketten dolayı x, y, z bileşeninde u' , v' , w' akım hızları meydana gelmektedir. Bu akımlarda türbülans dalgalanmaları ile kinetik enerji transferi meydana gelmektedir. Bu kinetik enerji transferi Denklem 2.15'de gösterilmektedir.



Şekil 2.8. Sonlu akım birleşen modeli

$$k_T = \frac{1}{2} (u'^2 + v'^2 + w'^2) \quad (2.15)$$

Türbülans kinetik enerjisi dağılım oranı ϵ_T Denklem 2.16 'da verilmiştir.

$$\epsilon_T = CNU^3 \frac{k_T^{\frac{2}{3}}}{TLEN} \quad (2.16)$$

Burada:

CNU: 0.09 düzeyde bir parametre

k_T : Türbülans kinetik enerjisi

TLEN: Türbülans uzunluğu oranı

k-epsilon türbülans modellerinin bir çok akım için makul değerler sağladığı görülmüştür. Bu modelde türbülans dağılımı bir transfer denklemi (Denklem 2.17) ile çözülmüştür (Ayna 2019).

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ u A_x \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial x} + v A_y R \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial y} + w A_x \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial z} \right\} \\ = \frac{CDIS1 \cdot \varepsilon_T}{k_T} (P_T + CDIS3 \cdot G_T) + Diff_\varepsilon - CDIS2 \frac{\varepsilon_T^2}{k_T} \end{aligned} \quad (2.17)$$

Burada; CDIS1, CDIS2 ve CDIS3 kullanıcı tarafından ayarlanan boyutsuz parametrelerdir. k-epsilon türbülans modelinde ön ayarlı olarak sırayla; 1.44 – 1.92 ve 0.2 değerleri tanımlanmıştır. Akım alanının çoğunda Denklem 2.16, Denklem 2.17 ile değiştirilerek etki alanı genelinde bir TLEN (maksimum türbülans uzunluğu oranı) değerine duyulan ihtiyaç azaltılır (Ayna 2019).

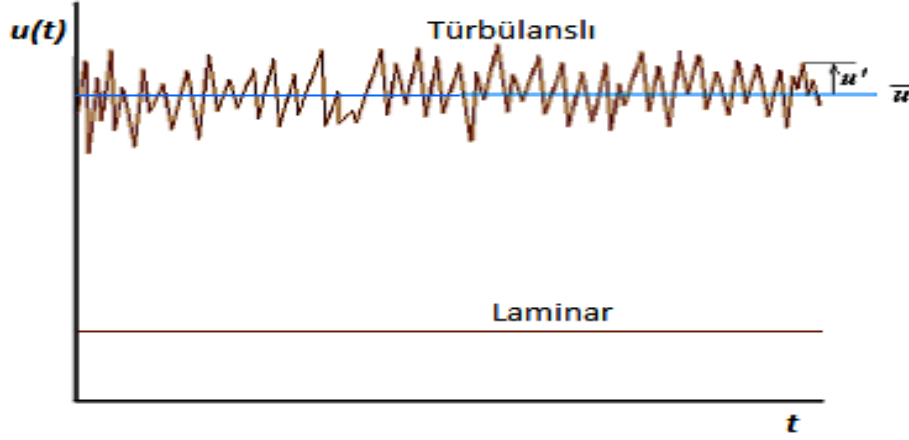
Türbülans dağılımının yayılması, $Diff_\varepsilon$:

$$Diff_\varepsilon = \frac{1}{V_F} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(v_\varepsilon A_x \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial x} \right) + R \frac{\partial}{\partial y} \left(v_\varepsilon A_y R \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_\varepsilon A_z \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial z} \right) + \zeta \frac{v_\varepsilon A_x \varepsilon_T}{X} \right\} \quad (2.18)$$

2.4.2. Reynolds Ortalaması Alınmış Navier-Stokes Denklemleri (RANS) Denklemleri

Özellikle baca, boru veya sınır tabakası belli olan kutular içerisinde gerçekleşen birçok akış türbülanslı akış sınıfına girmektedir. Türbülanslı akışlarda karakteristik olarak belirli bir yönde olan ana akımın üzerine küçük ölçekli ve yüksek frekanslı rasgele salınımlar eklenmektedir. Türbülanslı dolaylı bir dizi ortalama ve dalga birleşenlerin, hızın zamandan bağımsız ortalaması (\bar{u}), zamana bağlı salınım birleşeni (u') şeklinde ifade eder (Şekil 2.9). Türbülanslı hız alanını hızın zamandan bağımsız ortalaması ile zamana bağlı salınım değerinin toplamı şeklinde (Denklem 2.19) olur. Normal olarak bu dalgalanmaların büyüklüğü, ana akımın büyüklüğünün %5-%10'u kadardır (Kıray 2014).

$$u(x, t) = \bar{u}(x) + u'(x, t) \quad (2.19)$$



Şekil 2.9. Deneysel hız ölçüm çıktısı (Kıray 2014).

Denklem 2.17 'de gösterildiği şekilde aynı işlem hızın diğer bileşenlerine de uygulanabilir. Navier-Stokes denklemlerindeki değişkenlerin yukarıdaki Şekil 2.9 'daki gibi ayrıştırılmasıyla elde edilen denklem formuna RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) adı verilmektedir (Kıray 2014).

Denklem 2.17'de ele alınan ortalama süreklilik denklemleri hacimsel olarak üç boyutlu hareket ettiği düşünülerek, \bar{a} , \bar{u} , \bar{v} hızdan bağımsız alan bileşenleri ile a' , u' , v' zamana bağlı salınım bileşenleri aşağıdaki Denklem 2.20 'de kullanılmaktadır.

$$\frac{\partial \bar{a}}{\partial x} + \frac{\partial a'}{\partial x} + \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial u'}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} + \frac{\partial v'}{\partial z} = 0 \quad (2.20)$$

Süreklilik denklemi, daha sade bir şekilde yazılırsa aşağıdaki Denklem 2.21 elde edilir.

$$\frac{\partial \bar{a}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} = 0 \quad (2.21)$$

x, y, z yönlerinde hız bileşeni Navier-Stokes denkleminde x, y, z yönlerindeki bileşeni ile uygulandığında aşağıdaki Denklem 2.22'de verilen şekilde elde edilir.

$$\begin{aligned}
\rho \left(\frac{\partial \bar{a}}{\partial t} + \bar{a} \frac{\partial \bar{a}}{\partial x} + \bar{u} \frac{\partial \bar{a}}{\partial y} + \bar{v} \frac{\partial \bar{a}}{\partial z} \right) &= F_x - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + \mu \nabla^2 \bar{u} - \rho \left(\frac{\partial \overline{a'a'}}{\partial x} + \frac{\partial \overline{a'u'}}{\partial y} + \frac{\partial \overline{a'v'}}{\partial z} \right) \\
\rho \left(\frac{\partial u'}{\partial t} + \bar{a} \frac{\partial u'}{\partial x} + \bar{u} \frac{\partial a'}{\partial y} + \bar{v} \frac{\partial u'}{\partial z} \right) &= F_y - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + \mu \nabla^2 \bar{u} - \rho \left(\frac{\partial \overline{a'u'}}{\partial x} + \frac{\partial \overline{u'u'}}{\partial y} + \frac{\partial \overline{u'v'}}{\partial z} \right) \\
\rho \left(\frac{\partial v'}{\partial t} + \bar{a} \frac{\partial v'}{\partial x} + \bar{u} \frac{\partial v'}{\partial y} + \bar{v} \frac{\partial v'}{\partial z} \right) &= F_z - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + \mu \nabla^2 \bar{u} - \rho \left(\frac{\partial \overline{a'v'}}{\partial x} + \frac{\partial \overline{u'v'}}{\partial y} + \frac{\partial \overline{v'v'}}{\partial z} \right)
\end{aligned} \tag{2.22}$$

Burada;

(\bar{a} , \bar{u} , \bar{v}) : hızın zamandan bağımsız ortalaması

(a' u' v') : zamana bağlı salınım bileşeni

F_x , F_y , F_z : kuvvet bileşenleri

ρ : akışkan yoğunluğu

2.4.3. OpenFOAM Yazılımı

OpenFOAM, 2004'ten beri öncelikle OpenCFD Ltd tarafından geliştirilmiş, açık kaynaklı CFD yazılımıdır. Hem ticari hem de akademik kuruluşlardan mühendislik ve bilimin birçok alanında geniş bir kullanıcı tarafında kullanılmaktadır. OpenFOAM, kimyasal reaksiyonlar, türbülans ve ısı transferini içeren karmaşık sıvı akışlarından, akustik, katı mekaniği ve elektromanyetiklere kadar her şeyi çözmek için geliştirilmiş yazılımdır.

RWIND simülasyon yazılımı openFOAM olan CFD (serbest akışkanlar dinamiği) hesaplama yöntemi kullanmaktadır. OpenFOAM yazılımı bünyesinde farklı hesaplama özelliklere sahip bir dizi çözücü kullanılmaktadır. Bunlar; RCF (Rho Central Foam), PCF (Piso Central Foam), SF (Sonic Foam), RPF (Rhopimple Foam), v.b. çözücülerdir.

RWIND simülasyon programı için, CFD yazılımı, openFOAM tarafından geliştirilen RPF (Rhopimple Foam) algoritması ailesinden olan SIMPLE (Basınç Bağlantılı Denklemler için Yarı Kapalı Yöntem) yöntemi kullanılmaktadır.

SIMPLE algoritması çok ünlü Navier-Stokes denklemlerini çözmek için Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğinde yaygın olarak kullanılan sayısal bir prosedürdür. SIMPLE basınç düzeltme denklemlerini kapalı yöntemlerle elde ederken, hız düzeltme denklemlerini açık yöntemle elde eder (Canyurt 2016).

2.4.4. SIMPLE Algoritması çözümü

SIMPLE algoritması, hız ve basınç değerlerini, türbülans model taşınım denklemleri ve süreklilik denklemleri yöntemi ile çözer. Bu denklemlerle hız ve basınç değerleri belirli düzeltme yaparak devam etmektedir.

Sürekli denklemlerinde ve taşıma denklemlerinde akışkan taneciğın, herhangi bir noktada hız ve basınç değerleri sırasıyla u ve v olarak alınırsa, hız düzeltme ve basınç düzeltme ise sırasıyla u' , v' ve p' olarak alırsak, bunlara dayanarak herhangi bir nokta hız ve basınç Denklemleri 2.23, Denklemleri 2.24 ve Denklemleri 2.25 'de yazılabilir.

$$u = \bar{u} + u' \quad (2.23)$$

$$v = \bar{v} + v' \quad (2.24)$$

$$p = \bar{p} + p' \quad (2.25)$$

Herhangi bir noktada hız düzeltme değerleri, Denklem 2.26 ve Denklem 2.27'deki gibi yazılabilir.

$$u' = -\frac{1}{A_m} \frac{\partial p'}{\partial x} \Delta\Omega \quad (2.26)$$

$$v' = -\frac{1}{A_m} \frac{\partial p'}{\partial y} \Delta\Omega \quad (2.27)$$

SIMPLE algoritmasında basınç düzeltme değerleri için süreklilik denklemi kullanılmaktadır. Süreklilik denklemi integral formunda yazılırsa:

$$\int \rho (un_x + vn_y) ds = 0 \quad (2.28)$$

Denklem 2.23'de hız ile ilgili ifadeleri, Denklem 2.28'de süreklilik denkleminde yerine yazılırsa Denklem 2.29 elde edilir.

$$\int \rho (\bar{u}n_x + \bar{u}n_y) ds + \int \rho (u'n_x + v'n_y) ds = 0 \quad (2.29)$$

Düzeltilme denklemini elde etmek için Denklem 2.26 ve Denklem 2.27'deki ifadeler Denklem 2.29'da yerine yazılırsa Denklem 2.30 elde edilir.

$$\int \rho (\bar{u}n_x + \bar{u}n_y) ds = \int \rho \left(-\frac{1}{A\eta} \frac{\partial p'}{\partial x} \Delta\Omega n_x + \frac{1}{A\eta} \frac{\partial p'}{\partial y} \Delta\Omega n_y \right) ds \quad (2.30)$$

Tekrar genel bir düzeltme yapılarak Denklem 2.31 elde edilir.

$$\int \rho (\bar{u}n_x + \bar{u}n_y) ds = \int \frac{\rho \Delta\Omega}{A\eta} \frac{\partial p'}{\partial n} ds \quad (2.31)$$

Kısaca SIMPLE algoritması yukardaki formülleri kullanarak iterasyona başlar, eğer yakınsama yoksa tekrar başa alınır ve bu şekilde devam edilir.

RWIND simülasyon programı yukarda belirtilen bir dizi denklemler ve algoritma kullanarak sonuçları hesaplamaktadır. Bu denklemler ve algoritmalar, hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde sıklıkla kullanılmaktadır.

2.5. ANSI/AISC 360-16 Yönetmeliğine Göre Çelik Yapı Elemanlarının Boyutlandırılması

2.5.1. LRFD (Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım)

Bu bölümde yapı tasarımı için Amerikan Ulusal Standardı (ANSI) ekinde yer alan, yük ve dayanım katsayıları ile tasarım (LRFD) kullanılacaktır. Bu standarda göre çelik tasarım ilkeleri ve boyutlandırma esasları, temel ilkeleri ile açıklanacaktır.

Yük ve dayanım katsayısı tasarımı bütün eleman için, tasarım dayanımı ϕR_n değerinin yük ve dayanım katsayısı tasarımı için yük kombinasyonu altında belirlenen gerekli dayanım R_u 'ya eşit ya da büyük olması gerekir (Denklem 2.32).

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2.32)$$

Burada;

R_u : LRFD yük birleşimi altında hesaplanan gerekli dayanım

R_n : Karakteristik dayanım

ϕ : Dayanım katsayısı

ϕR_n : Tasarım dayanımı.

2.5.2. Yük Kombinasyonları

Gerekli dayanım ve karakteristik yüklere uygulanacak yük birleşimi, tasarım yöntemine bağlı olarak LRFD yaklaşımı ile belirlenmektedir.

Yük Kombinasyonları Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım için aşağıda verildiği şekilde alınmıştır.

- 1.4G
- 1.2G + 1.6Q
- 1.2G + 1.6Q + 0.8W
- 1.2G + Q + 1.6W
- 0.9G + 1.6W

Burada;

G: Sabit yük

Q: Hareketli yük

W: Rüzgâr yükü

2.5.3. Eksenel Çekme Kuvveti Etkisi

Çekme kuvvet etkisindeki elemanın stabilitesinin korunması için narinlik oranı $L/i \leq 300$ olmalıdır.

Burada

i: Çubuk elemanın en kesit atalet yarı çapı.

L: Çubuk elemanın boyudur.

Çekme Kuvveti Dayanımı: Eksenel çekme kuvvet etkisindeki elemanların, akma sınır durumu, kırılma sınır durumu ve blok sınır durumlara göre tasarımı, çekme kuvvet dayanımı, $\phi_t T_n$ (YDKT) dikkate alınarak hesaplanacak ve en küçük değer dikkate alınmaktadır.

Akma sınır durumunda çelik elemanları için karakteristik çekme dayanımı, T_n kayıpsız en kesit alanı (A_g) kullanarak Denklem 2.33'deki gibi hesaplanır.

$$T_n = F_y A_g \quad (2.33)$$

Burada F_y malzemenin akma dayanımıdır. Tasarım çekme kuvveti dayanımı ise $\phi_t=0.90$ alınarak hesaplanmaktadır.

Kırılma sınır durumu: Çekme elemanlarında kırılma sınır durumu için, karakteristik çekme kuvveti dayanımı (T_n), etkin net enkesit alanı kullanılarak Denklem 2.34 'de ile hesaplanmaktadır.

$$T_n = F_u A_e \quad (2.34)$$

Tasarım çekme kuvvet dayanımı (YDKT), $\phi_t = 0.75(YDKT)$ değerleri alınarak belirlenir.

Burada;

A_e : Etkin net en kesit alanı

A_g : Kayıpsız en kesit alanı

F_y : Yapısal çelik karakteristik akma gerilmesi

F_u : Yapısal çelik karakteristik çekme gerilmesi.

2.5.4. Eksenel Basınç Kuvvet Etkisi

Basınç etkisi altında narinlik oranı $L_c/i \leq 200$ olmalıdır. Burada L_c çubuk elemanın burkulma boyunu ifade etmektedir.

Karakteristik eksenel basınç kuvveti dayanımı (P_n), eksenel basınç etkisinde elemanın enkesit asal eksenlerinden herhangi biri etrafında eğilme burkulma, burulmalı burkulma veya eğilmeli burulmalı burkulma sınır durumuna göre hesaplanır, en küçük değer dikkate alınır.

Tasarım basınç kuvveti dayanımı $\phi_c P_n$ tüm basınç elemanlarında; $\phi_c = 0.90$ alınarak hesaplanır.

Karakteristik basınç kuvveti dayanımı; eksenel kuvvet altında çelik elemanın en kesit ağırlık merkezine etkiyen eksenel basınç kuvvetidir.

Narin olmayan en kesitli elemanların eksenel kuvvet altında elemanların, karakteristik basınç kuvvet dayanımı P_n , denklem 3.35 gösterilmektedir.

$$P_n = F_{cr} A_g \quad (2.35)$$

Kritik burkulma gerilmesi F_{cr} Denklem 2.36 ve Denklem 2.37 ile elde edilir.

$$\frac{L_c}{i} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{veya} \quad \frac{F_y}{F_e} \leq 2.25. \quad \text{ise} \quad F_{cr} = [0.658 \frac{F_y}{F_e}] F_y \quad (2.36)$$

$$\frac{L_c}{i} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{veya} \quad \frac{F_y}{F_e} \geq 2.25 \quad \text{ise} \quad F_{cr} = 0.877 F_e \quad (2.37)$$

Burada;

A_g : Kayıpsız enkesit alanı

F_e : Elastik burkulma gerilmesi

F_{cr} : Kritik burkulma gerilmesi

E : Yapısal çelik elastisite modülü (200000 MPa)

Eğilme burkulma sınır durumu en kesit özelliklerinde bağımsız olarak, tüm basınç elemanlarında dikkate alınacaktır. Eğilmeli burkulma sınır durumunda karakteristik basınç kuvvet dayanımı denklem 3.38 de ile hesaplanacaktır.

$$P_n = F_{cr}A_g \quad (2.38)$$

Elastik burkulma gerilmesi (F_e), Denklem 2.39 'da verilmektedir.

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_c}{i}\right)^2} \quad (2.39)$$

Burulmalı ve eğilmeli-burulmalı burkulma sınırı durumlarında karakteristik basınç kuvveti dayanımı Denklem 2.38'de verilmiş.

2.5.5. Eğilme Momenti Etkisi

Eğilme etkisindeki elemanların karakteristik eğilme momenti dayanımı (M_n) yük etkisinde olası her bir göçme durumunda en küçük dayanım değerleri dikkate alınır.

Tüm eğilme elemanlarında dayanım katsayısı $\Phi_b = 0.90$ olarak alınır. Bu değerler ile eğilme elemanının tasarımı için eğilme momenti dayanımı, $\phi_b M_n$ (LRFD) aşağıdaki koşullar göz önünde tutularak belirlenir

- Elemanın asal eksenlerine paralel düzlemlerinin birinde yük etkisinde olması ve boyuna eksenleri etrafında burulmasının mesnetlerde ve yük etkime noktalarında önlendiği varsayımına dayanmaktadır.

- Eleman en kesit koşullarına göre kompakt, kompakt olmayan veya narin olarak sınıflandırmaktadır.

- Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda, yanal stabilite bağlantısı ile desteklenen noktalar arasındaki uzunluk boyunca eğilme momenti yayılışının olumlu katkısı Denklem 2.40 'da tanımlanan moment düzeltme katsayısı C_b ile hesabı katılabilir.

$$C_b = \frac{12.5 M_{maks}}{2.5 M_{maks} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \quad (2.40)$$

Tüm yükleme durumları için güvenli tarafta kalan bir yaklaşımla, $C_b = 1$ alınabilir. Yukarıdaki bağıntıda:

M_{maks} : Yanal stabilite bağlantısı desteklenen yani sabit iki mesnet arasındaki kiriş uzunluğunda meydana gelen en büyük eğilme momenti mutlak değeri.

M_A : Yanal stabilite bağlantısı desteklenen yani sabit iki mesnet arasındaki kiriş uzunluğunun 1/4'ünden meydana gelen en büyük eğilme momenti mutlak değeri.

M_B : Yanal stabilite bağlantısı desteklenen yani sabit iki mesnet arasındaki kiriş uzunluğunun 1/2'sinden meydana gelen en büyük eğilme momenti mutlak değeri.

M_C : Yanal stabilite bağlantısı desteklenen yani sabit iki mesnet arasındaki kiriş uzunluğunun 3/4'ünden meydana gelen en büyük eğilme momenti mutlak değeri.

Akma sınır durumu için karakteristik eğilme moment dayanımı, M_n , Denklem 2.41'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$M_n = M_p = F_y W_{px} \quad (2.41)$$

Burada;

M_n : Karakteristik eğilme moment dayanımı.

M_p : Plastik eğilme momenti.

W_{Fx} : x-ekseni etrafında plastik mukavemet momenti.

Yanal burulmalı burkulma sınır durumu için aşağıdaki maddelerde tanımlanan göçme sınır durumu karakteristik eğilme moment dayanımına (M_n) bağlı olarak tanımlanmaktadır.

• $L_b \leq L_p$ ise bu sınır durumun göz önüne alınmasına gerek yoktur. Bu durumda kiriş basınç başlığı yanal olarak desteklenmiştir.

• $L_p < L_b \leq L_r$ olmasının durumunda karakteristik eğilme moment dayanımı, M_n , Denklem 2.41'deki gibi hesaplanacaktır.

• $L_b > L_r$ olması durumunda karakteristik eğilme moment dayanımı M_n , Denklem 2.42'deki gibi belirlenecektir.

$$M_n = C_p \left\{ M_p - (M_p - 0.7 F_y W_{ex}) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right\} \leq M_p \quad (2.42)$$

$$M_n = F_{cr} W_{ex} \leq M_p \quad (2.42)$$

Kritik gerilme F_{cr} , Denklem 2.43 deki gibi hesaplanır.

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{i_{ts}}\right)^2} \sqrt{1 + 0.078 \left(\frac{L_b}{i_{ts}}\right)^2 \frac{Jc}{W_{ex} h_0}} \quad (2.43)$$

Denklem 2.44'de kök içindeki ifadelerin güvenli tarafta kalması için yaklaşık 1 alınabilir. Çift simetri eksenli I enkesitlerde c katsayısı 1 alınır. U enkesitlerde ise Denklem 2.45 kullanılır.

$$c = \frac{h_0}{2} \sqrt{\frac{I_y}{C_w}} \quad (2.44)$$

Etkin atalet yarıçapı i_{ts} ise Denklem 2.45'deki gibi hesaplanır.

$$i_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{W_{ex}} \quad (2.45)$$

Burada:

W_{ex} : x eksenini etrafında elastik mukavemet momenti.

C_b : Tanımlanan moment düzeltme katsayısı.

L_b : Basınç başlığında yanal yer değiştirmenin ve en kesit burulmasının önlendiği noktalar arasındaki eleman uzunluğu.

L_p : Akma sınır durumu için yanal olarak desteklenmeyen sınır uzunluk.

L_r : Elastik olmayan yanal burulmalı burkulma için sınır uzunluk.

i_{ts} : Etkin atalet yarıçapı

J : Burulma sabiti.

C_w : Çarpılma sabiti.

h_0 : En kesit başlıklarının ağırlık merkezleri arasında uzaklık.

2.5.6. Kesme Kuvveti Etkisi

Karakteristik kesme kuvveti dayanımı V_n , Denklem 2.46'deki esaslara göre hesaplanır. Kesme kuvveti etkisinde elemanın, tasarım kesme kuvveti dayanımı, ϕV_n $\phi = 0.90$ alınarak hesaplanır.

$$V_n = 0.6F_y A_w C_{v1} \quad (2.46)$$

I enkesitli hadde profillerin gövdelerinde Denklem 2.47'deki durumunda, $\phi_v = 1.0$ ve $C_{v1} = 1$ alınır.

$$\frac{h}{t_w} \leq 2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (2.46)$$

Diğer tüm I ve U en kesitli elemanlarda, C_{v1} katsayısı Denklem 2.48 ve Denklem 2.49'daki gibi belirlenmektedir.

$$\frac{h}{t_w} \leq 1.10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \quad \text{için} \quad C_{v1} = 1 \quad (2.48)$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1.10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \quad \text{için} \quad C_{v1} = \frac{1.10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}}{\frac{h}{t_w}} \quad (2.49)$$

Burada;

k_v : Burkulma katsayısı.

V_n : Karakteristik kesme kuvveti dayanımı.

A_w : Gövde alanı ($d \cdot t_w$).

d : En kesit yüksekliği.

h : Profillerin iç başlıkların arasındaki net yükseklik

t_w : Gövde kalınlığı.

C_{v1} : Gövde kesme kuvveti dayanım katsayısı.

2.5.7. Eğilme Momenti ve Eksenel Kuvvet Etkisindeki Çift Simetri Eksenli Elamanlar

Geometrik eksenler (x ve/veya y) etrafında eğilme etkisindeki çift ve tek simetri eksenli elemanlarda eğilme momenti ve eksenel basınç kuvveti aşağıdaki Denklem 2.50, Denklem 2.51 ile sınırlandırılır.

$$\frac{P_r}{P_c} \geq 0.2 \quad \text{için} \quad \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \quad (2.50)$$

$$\frac{P_r}{P_c} < 0.2 \text{ için } \frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \quad (2.51)$$

Burada;

Pr: Gerekli aksenal kuvvet dayanımı.

Pc: Mevcut aksenal basınç kuvvet dayanımı.

Mr: Gerekli eğilme momenti dayanımı.

Mc: Mevcut eğilme momenti dayanımı.

x: Kuvvetli ekseni gösteren alt indis.

y: Zayıf ekseni gösteren alt indis.

φc: Basınç kuvveti etkisi için dayanım katsayısı. (LRFD) (0.90)

φb: Eğilme kuvveti etkisi için dayanım katsayısı. (LRFD) (0.90).

Çift simetri eksenli elemanlar için, eğilme momentinin aksenal çekme kuvveti ile birlikte etkimesi durumunda moment düzeltme katsayısı Cb değeri Denklem 2.52 'deki değerle çarpılması ile elde edilir.

$$\sqrt{1 + \frac{aP_r}{P_{ey}}} \quad (2.52)$$

Buradaki P_{ey} değeri Denklem 2.53'de verilmiştir.

$$P_{ey} = \frac{\pi^2 EI_y}{L_b^2} \quad (2.53)$$

Burada;

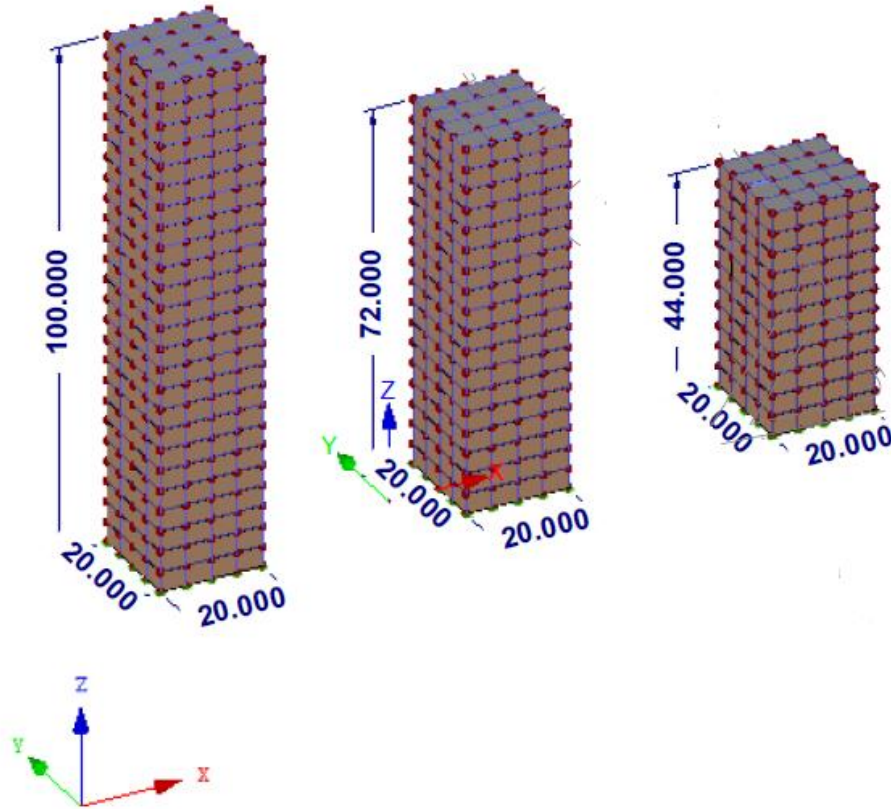
P_{ey}: Zayıf eksen etrafındaki burkulmada elastik kritik burkulma yükü.

I_y: y ekseni etrafında atalet momenti.

ā : 1.0

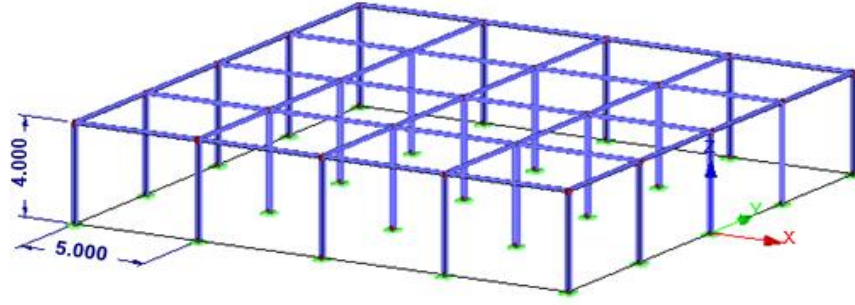
3. UYGULAMA

Bu tezde üç bina modeli RFEM programı ile tasarlanmıştır. Bina modelleri kat yüksekliği 4m, iki aks arası açıklık 5m olarak ve plan ebatları 20x20m olarak tasarlanmıştır. Ancak tasarlanan üç bina modelinin yükseklikleri birbirinden farklıdır. Bina yüksekliklerinin gösterildiği Şekil 3.1’de z eksenini düşey eksen, x ve y eksenleri ise yatay eksenlerdir. Tüm durumlar için rüzgârın esiş yönü +x yönündedir. Şekil 3.1’de gösterildiği üzere bina yükseklikleri 44m, 72m ve 100m olarak seçilmiştir. Çünkü, 100 metreden sonra rüzgâr hız değeri çok fazla değişkenlik göstermemektedir. Bu nedenle türbülans etkisini daha iyi görmek için rüzgâr hızının daha fazla değişkenlik gösterdiği 44m-100m arası bina yüksekliklerine odaklanılmıştır.



Şekil 3.1. RFEM programında tasarlanan tekli bina model görünümüleri.

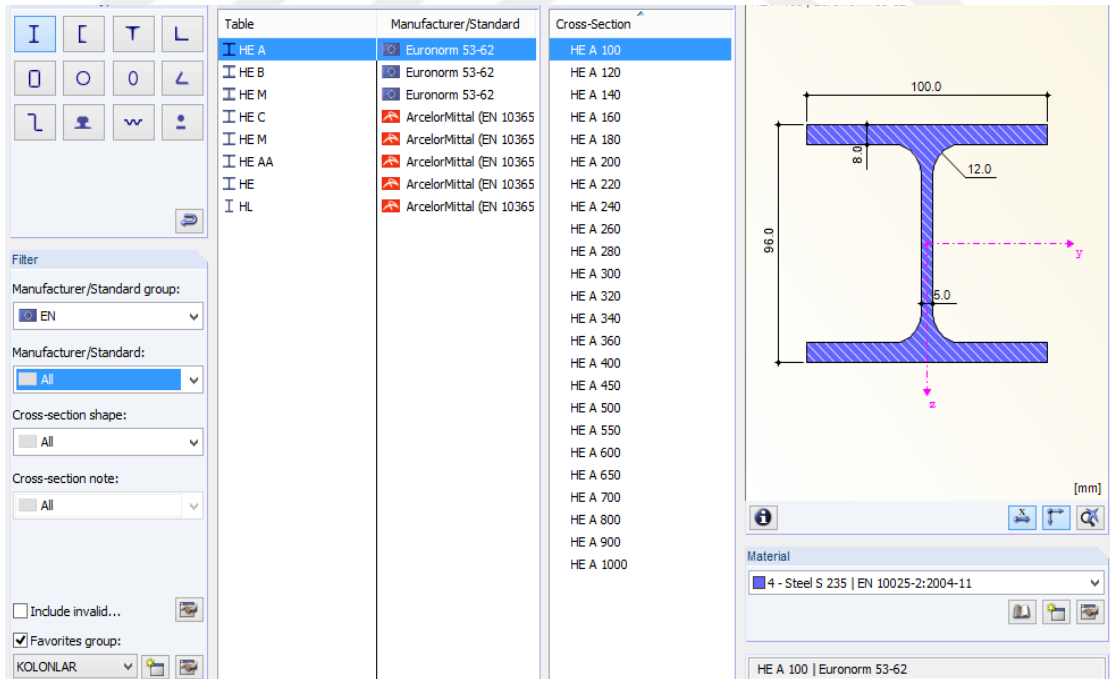
Bu binaların tasarımı için, bina taşıyıcı elemanları olarak (kolon ve kiriş) çelik profilleri kullanılmıştır. Her katta bulunan 20 adet kolon ve 40 adet kiriş Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Bina modelinin izometrik kat görünümü.

Kolon ve kirişlerde kullanılan çelik profilleri EN Euronorm19-57, Euronorm53-62, Arcelormittal (EN 10365:2017), çelik malzemesi ise S235 (EN 10025-2: 2004-11) olarak belirlenmiştir. Kolonlarda HEA, HEB, HEM, HEC, HEAA, HE, HL ve H çelik profili seçilmiş, kirişlerde ise IPE, IPEO, IPEAA, IPEA, IPEV, IPN gibi I profilleri seçilmiştir. Şekil 3.3’de RFEM programına ait profil seçim bölümü gösterilmiştir.

Döşeme tipi düz plak olarak seçilmiş ve malzeme olarak beton kullanılmıştır. Bölme duvar malzemesi ise briket grup 1 M10-M20, standardına göre belirlenmiştir.



Şekil 3.3. RFEM programında çelik standartlar ve malzeme sekmesi.

Tüm tekil binalar, üçgensel dizilmiş binalar ve ardı sıra binalarda yapısal analiz için ANSI/AISC360 standardında yer alan LRFD 'ye göre yük kombinasyonları oluşturulmuştur.

Oluşturulan bu kombinasyonlara göre yapılan analizler sonucunda toplam bina ağırlığı hesaplanmıştır.

Yük kombinasyonlarında dikkate alınan yükleme değerleri;

G: Öz yük + 0.4 kN/m² (kaplama vb. yükler)

Q: Hareketli yük değeri 2 kN/m² olarak alınmıştır.

W: Rüzgâr yük değerleri standartlara göre ya da RWIND programı analiz sonuçlarına göre alınacaktır.

RFEM yapısal analiz programında tasarlanan bina modellerinde, TS498 ve Eurocode-1 (EN1991-1-4) standardına göre rüzgâr yükü tanımları yapılmıştır. Daha sonra, RWIND rüzgâr simülasyon programında yapılan analiz sonucunda elde edilen rüzgâr yüküne göre yük tanımları yapılmıştır. Bina modellerinin üzerine tanımlanan diğer yükler ölü yükler ve hareketli yüklerdir. Bu yüklerle, ANSI/AISC 360 standardına göre Bölüm 3.5.2'deki yük kombinasyonları oluşturulmuştur. Oluşturulan yük kombinasyonları altında, her üç bina yüksekliği (44m, 72m, 100m) için ve farklı dizilişe (üçgensel dizilmiş binalar, ardı sıra binalar ve tekli binalar olarak) tasarımlar gerçekleştirilmiştir.

Üçgensel dizilmiş binalar ve ardı sıra binaların tasarımında en olumsuz koşulda (rüzgâr yükü en fazla olduğu bina) olan binalar, Şekil 3.1'de tasarlanan tekli bina modelleri gibi tasarlanacaktır. Bu binalar ile ilgili hesaplar, Bölüm 3.2.2 'de ve Bölüm 3.3.2 'de detaylı olarak açıklanmıştır.

Öncelikle tekli bina modelleri TS498, EN1991-1-4 standartlarına göre ve RWIND simülasyon programından aktarılan rüzgâr yüklerine göre RFEM programında analiz edilmiştir. Analizler her üç bina yüksekliği (44m, 72m, 100m) için yapılmıştır. Analiz sonucunda x, y, z yönlerinde bina mesnetlerine gelen toplam taban kesme kuvvetleri ve toplam taban momenti değerleri hesaplanıp sonuçları karşılaştırılmıştır. Binalar minimum profil kesitleri kullanılarak boyutlandırılmış ve bu boyutlandırma sonucunda toplam bina ağırlıkları hesaplanmıştır.

Tekli bina modeller için yapılan işlemler, üçgensel dizilmiş bina modelleri ve ardı sıra dizilmiş bina modelleri için de yapılmış ve her üç bina yüksekliği (44m, 72m ve 100m) için ayrı ayrı uygulanmıştır.

3.1. Tekli Binaların Rüzgâr Yükleri Altında Analizi ve Boyutlandırılması

Bu başlıkta tekli bina modelleri üzerinde durulacaktır. Her bir yükseklik (44m, 72m, 100m) için TS498, EN1991-1-4 ve RWIND simülasyon programına göre hesaplanan rüzgâr yükleri tekli bina modelleri üzerine tanımlanmıştır. Tanımlanan bu yükler altında binalar RFEM programı ile statik olarak analiz edilmiştir. Analiz sonucunda x, y, z yönlerinde toplam taban kesme kuvveti, toplam taban momenti değerleri bulunmuştur. Minimum kesitler kullanılarak bina tasarımı yapılmış ve toplam bina ağırlığı hesaplanmıştır.

3.1.1. TS498 ile Rüzgâr Yükü Analizi ve Tekil Bina Tasarımı

Rüzgârın yapıya çarptığı yüzeyde basınç, yan ve arka yüzey yani yapıyı terk ettiği yüzeyde emme oluşur. TS498 standardına göre temel rüzgâr hızı 28m/s ile başlar ve 100 metreden sonra sabit kalır. Dolayısı ile, rüzgâr kuvveti 100 metreye kadar artarak devam ederken 100 metreden sonra sabit bir değerle devam etmektedir.

Basınç ve emme kuvveti rüzgârın hızına ve geometrisine bağlıdır. w ile gösterilen rüzgâr kuvveti birimi kN/m^2 dir. Rüzgâr yükü hesabı Bölüm 2.2’de anlatılmıştır. Hesaplamalar Çizelge 2.1’de verilen yüksekliğe bağlı hız basınç değerleri dikkate alınarak yapılacaktır.

Öncelikle 0-8m arası yükseklik için $W_{(b)}$ basınç, $W_{(e)}$ emme değerleri hesaplanmıştır.

$$W_{(b)} = 0.8 \times 0.5 = 0.4 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{(e)} = 0.4 \times 0.5 = 0.2 \text{ kN/m}^2$$

9-20m yükseklik için rüzgâr yükü hesabı, $W_{(b)}$ basınç, $W_{(e)}$ emme değerleri aşağıda verilmiştir.

$$W_{(b)} = 0.8 \times 0.8 = 0.64 \text{ kN/m}^2$$

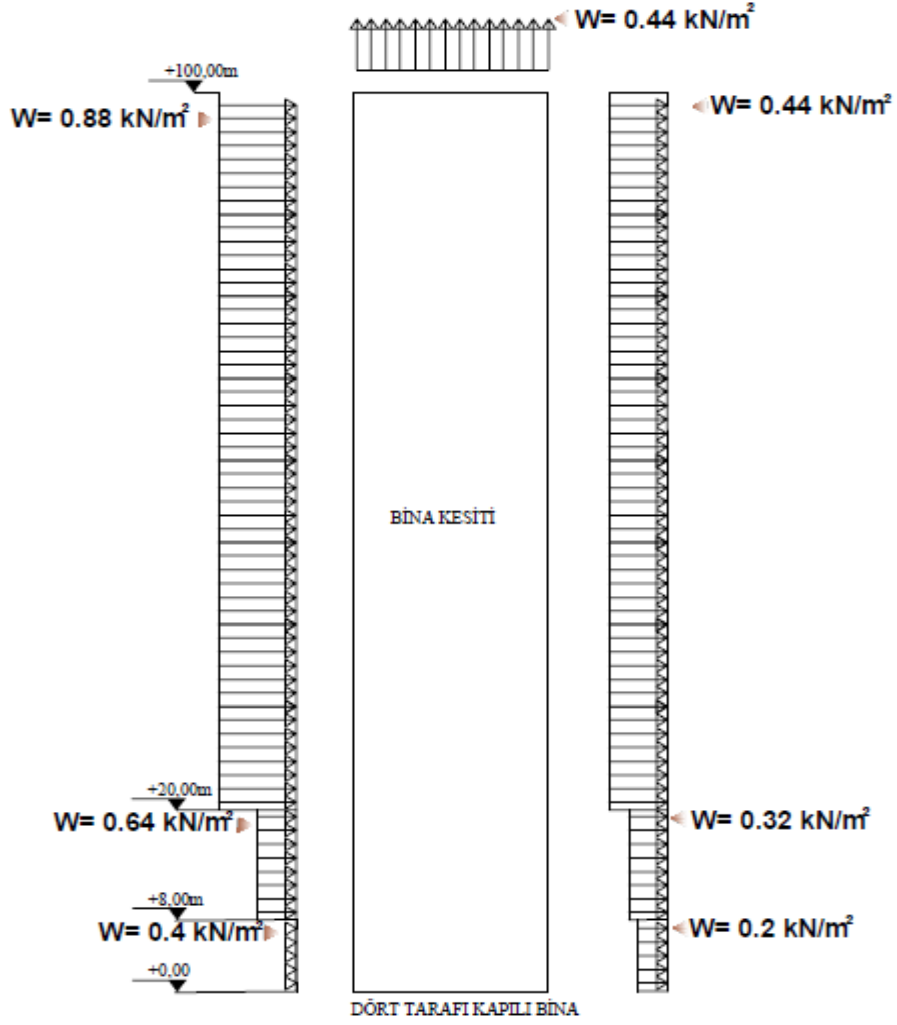
$$W_{(e)} = 0.4 \times 0.8 = 0.32 \text{ kN/m}^2$$

21-100m yükseklik için rüzgâr yükü hesabı, $W_{(b)}$ basınç, $W_{(e)}$ emme değerleri aşağıda verilmiştir.

$$W_{(b)} = 0.8 \times 1.1 = 0.88 \text{ kN/m}^2$$

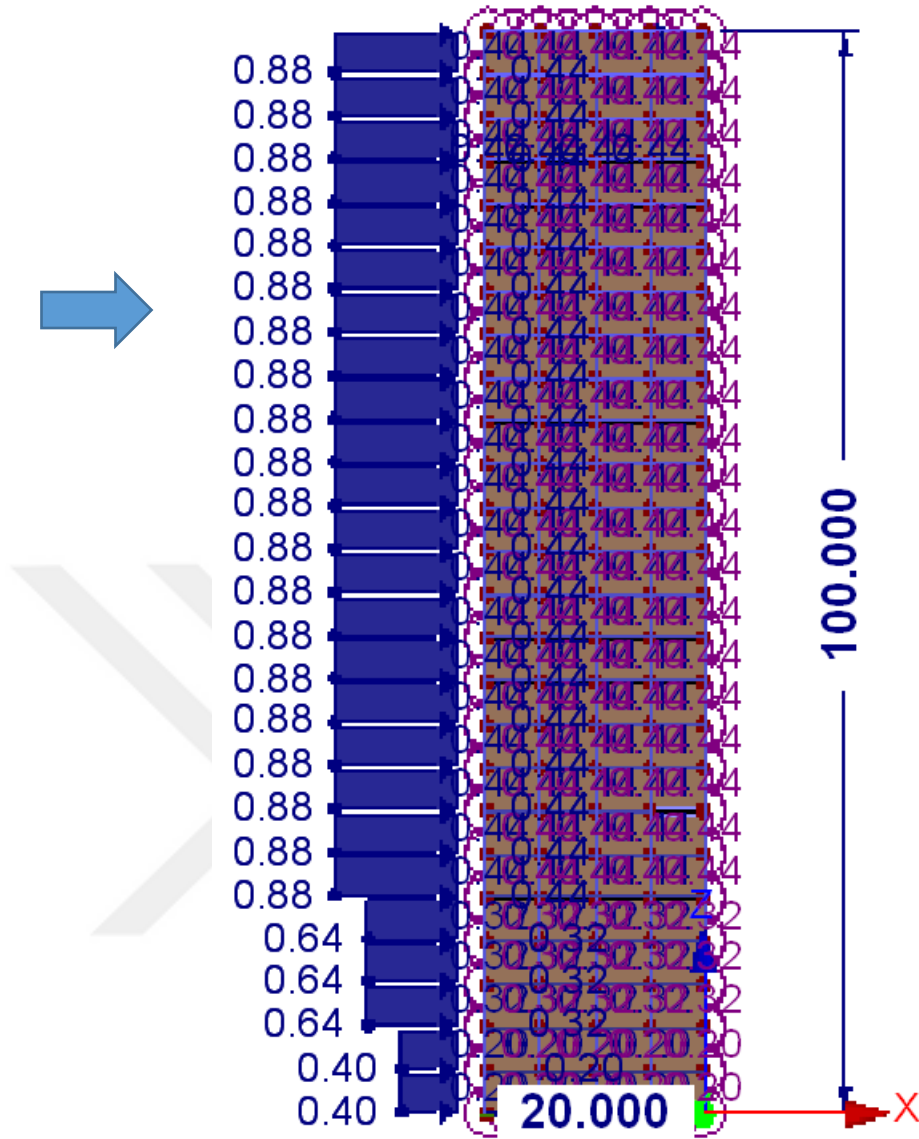
$$W_{(e)} = 0.4 \times 1.1 = 0.44 \text{ kN/m}^2$$

Hesaplanan rüzgâr yükleri, bina kesit üzerinde, Şekil 3.4’de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. 100m bina kesitinde TS498 standardına göre rüzgâr yük görünümü.

Hesaplanan rüzgâr yükleri RFEM yapısal analiz programında tasarlanan ve Şekil 3.5’de gösterilen 100m yüksekliğe sahip bina modeline aktarmıştır. Ayrıca, aynı işlemler 72m ve 44m bina yüksekliği için de yapılmıştır.



Şekil 3.5. Bina yüksekliği 100m için RFEM programında TS498 standardına göre bina üzerinde rüzgâr yük görünümü.

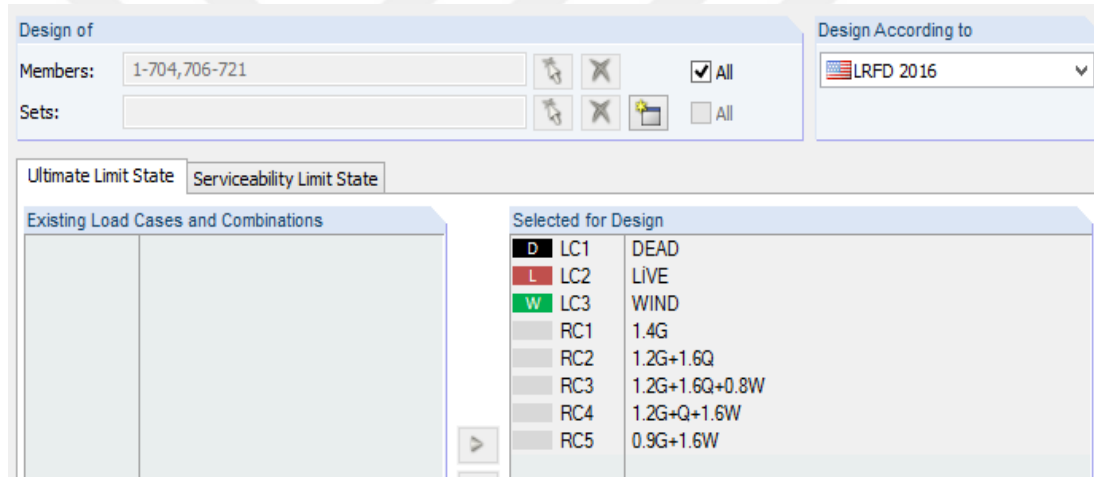
RFEM programında rüzgâr esiş yönü +x yönünde olması nedeniyle, TS498 standardına göre yük aktarımı bu yönde yapılmıştır.

TS498 standardına göre bina yüksekliği 44m, 72m ve 100m için yapılan analiz sonucunda taban kesme kuvvet ve taban momenti değerleri hesaplanmış, Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. TS498 standardına göre tekli bina tabanında oluşan toplam kesme kuvvetleri ve toplam moment değerleri

Bina Yüksekliği	F _x (kN)	F _y (kN)	F _z (kN)	M _x (kNm)	M _y (kNm)	M _z (kNm)
H=44m	938,78	0	176	-4,17	23314,813	21,96
H=72m	1660,97	0	176	-4,72	65181,596	44,6
H=100m	2383,56	0	176	-2,06	127289,876	27,9

Yapısal tasarım için gerekli kombinasyonlar oluşturulmuş ve Şekil 3.6'da görüldüğü üzere RFEM programına aktarılmıştır.



Şekil 3.6. LDRF'ye göre yük kombinasyonlar.

Oluşturulan yük kombinasyonlarıyla üç bina yüksekliği (44m, 72m, 100m) için analiz yapılmıştır. Analiz sonucunda binalar minimum kesitlerle boyutlandırılarak, bina ağırlığı hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre bina ağırlıkları bina yüksekliği 44m için 107.5 ton, 72m için 298.9 ton ve 100m için 490.7 ton olarak hesaplanmıştır.

3.1.2. Eurocode 1 (EN1991-1-4) ile Rüzgâr Yükleri Hesaplanarak Binaların Tekil Olarak Tasarımı

Esas rüzgar hızının temel değeri, $V_{b,o} = 25\text{m/s}$ olarak alınmıştır. Doğrultu katsayısı, $C_{dir} = 1$ ve mevsim katsayısı, $C_{season} = 1$ olarak alınarak esas rüzgâr hızı (V_b) değeri aşağıda verilen şekilde hesaplanmıştır.

$$V_b = 1 \times 1 \times 25 = 25\text{m/s}$$

Burada; $Z_{0,II}=0.05$ ve engebelik uzunluğu ise Çizelge 2.2'deki arazi kategorisi verilerinden alınmıştır. Arazi kategorisi III için $Z_0= 0.3$ değerine denk gelmektedir.

Z yüksekliğine bağlı olarak $h=20m$, $h=80m$ ve $h= 100m$ için arazi katsayısı (C_r) ayrı ayrı hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler aşağıda verilmiştir.

$$C_r(20) = 0.2154 \ln\left(\frac{20}{0.3}\right) = 0.90 \quad C_r(80) = 1.20 \quad \text{ve} \quad C_r(100) = 1.25$$

Orografi katsayısı $C_o=1$ olarak alınmıştır. Her bir yükseklik için ayrı ayrı ortalama rüzgâr hızı (V_m) hesaplanmıştır. Hesaplanan V_m değerler aşağıda verilmiştir.

$$V_m(20) = 0.90 \times 1 \times 25 = 22,5 \frac{m}{s} \quad V_m(80) = 30 \frac{m}{s} \quad \text{ve} \quad V_r(100) = 31,25 m/s$$

Hesaplanması gereken bir diğer parametre ise rüzgâr türbülansıdır. Rüzgâr türbülans şiddeti (I_v) türbülans standart sapması ve ortalama rüzgâr hızın oranı ile ifade edilmektedir. Rüzgâr türbülans şiddeti, aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$I_v = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_I}{c_o(z) \cdot \ln \frac{z}{z_0}} \quad \text{ise}$$

$$I_v(20) = \frac{1}{1 \times \ln \frac{20}{0,3}} = 0.238 \quad I_v(80) = 0.179 \quad \text{ve} \quad I_v(100) = 0.172$$

Hesaplanan türbülans değerleri bina yükseklikleri; $h= 20m$, $h=80m$ ve $h= 100m$ için ayrı ayrı yerine koyarak tepe hız kaynaklı rüzgâr basıncı (q_p) değerleri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$q_p(20) = (1 + 7 \times 0.238) \frac{1}{2} \times 1.25 \times 22,5^2 = \frac{0.844 kN}{m^2}$$

$$q_p(80) = \frac{1.27 kN}{m^2} \quad \text{ve} \quad q_p(100m) = 1,35 kN/m^2$$

EN1991-1-4 standardında rüzgârın esiş yönüne göre boy/en (h/d) oranına göre katsayılar Çizelge 2.3'de verilmiştir. Bu katsayılarla bağlı olarak rüzgâr yük hesabı (W_e) rüzgâr basınç değerleri (q_p) ile Çizelge 2.3'den alınan değerlerle çarpılmış ve aşağıda verilen şekilde hesaplanmıştır (Denklemler 2.1).

$$W_e(20) = 0.844 \times 0.8 = \frac{0.68 \text{ kN}}{\text{m}^2} \quad W_e(80) = 1.27 \times 0.8 = \frac{1.02 \text{ kN}}{\text{m}^2} \quad W_e(100) = 1.35 \times 0.8 = 1.08 \text{ kN/m}^2$$

Yukarıdaki rüzgâr yükü hesabı binanın ön yüzü (D yüzeyi) için yapılmıştır. Diğer yüzeyler için de rüzgâr yük hesabı yapılmıştır ve sonuçları Çizelge 3.2’de verilmiştir. Ayrıca bina yüksekliği 72m ve 44m için bina yüzeyine gelen rüzgâr yük hesabı sonuçları da sırasıyla Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4’de verilmiştir. Örnek olarak bina yüksekliği 100m için basınç ve emme değerleri bina kesiti üzerinde Şekil 3.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Bina yüksekliği 100m için EN1991-1-4 standardına göre bina yüzeylerine gelen rüzgâr yük değerleri.

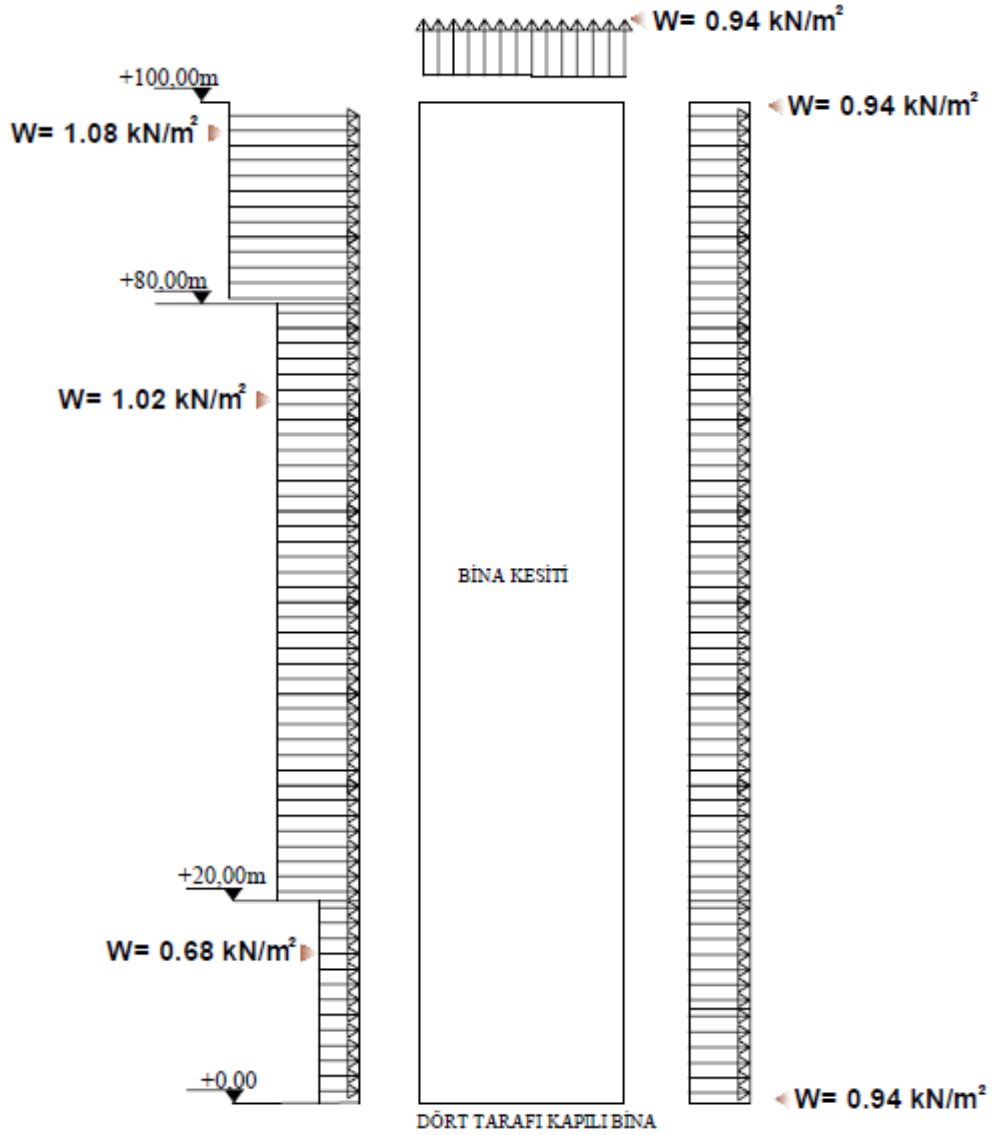
h/d=5		We = qp(z_e).C_{ep} (kN/m²)			
Yükseklik (m)	A yüzey alanı	B yüzey alanı	D yüzey alanı	E yüzey alanı	
0-20m	-1.62	-1.08	0.68	-0.94	
20-80m	-1.62	-1.08	1.02	-0.94	
80-100m	-1.62	-1.08	1.08	-0.94	

Çizelge 3.3. Bina yüksekliği 72m için EN1991-1-4 standardına göre bina yüzeylerine gelen rüzgâr yük değerleri.

h/d=3.6		We = qp(z_e).C_{ep} (kN/m²)			
Yükseklik (m)	A yüzey alanı	B yüzey alanı	D yüzey alanı	E yüzey alanı	
0-20m	-1.49	-0.99	0.65	-0.74	
20-52m	-1.49	-0.99	0.86	-0.74	
52-72m	-1.49	-0.99	0.96	-0.74	

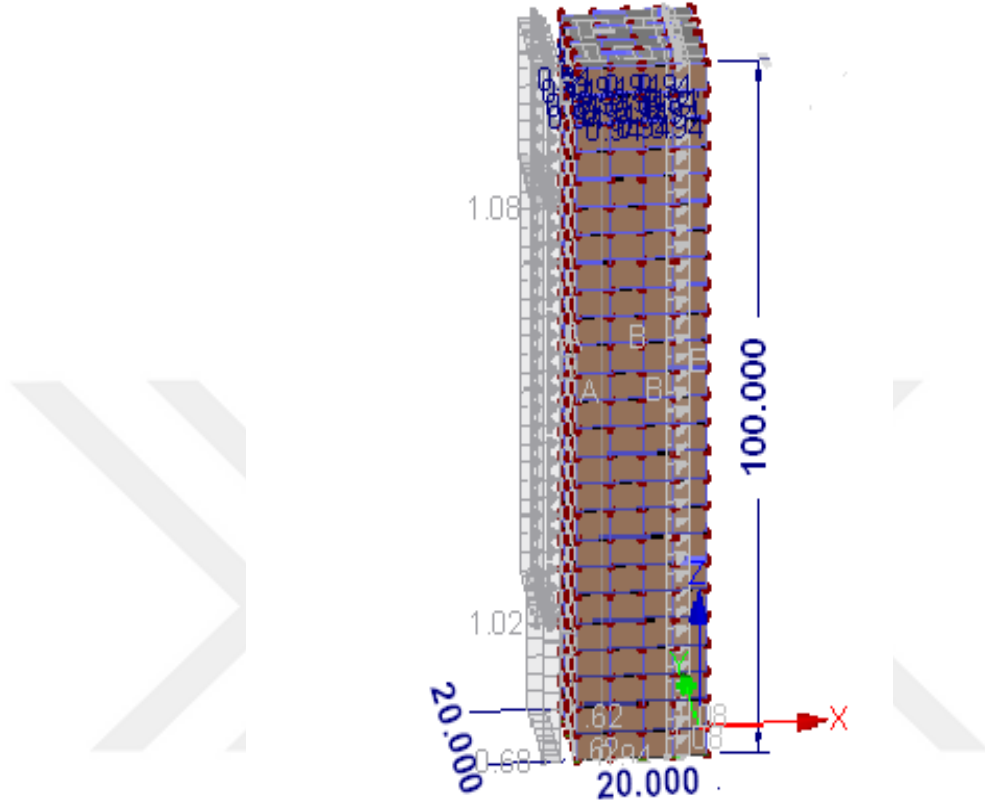
Çizelge 3.4. Bina yüksekliği 44m için EN1991-1-4 standardına göre bina yüzeylerine gelen rüzgâr yük değerleri.

$h/d=2.2$		$W_e = q_p(z_e) \cdot C_{ep} \text{ (kN/m}^2\text{)}$		
Yükseklik (m)	A yüzey alanı	B yüzey alanı	D yüzey alanı	E yüzey alanı
0-20m	-1.30	-0.87	0.61	-0.54
20-24m	-1.30	-0.87	0.65	-0.54
24-44m	-1.30	-0.87	0.78	-0.54



Şekil 3.7. Bina yüksekliği 100m için EN1991-1-4 standardına göre bina kesitine rüzgâr yükü

EN1991-1-4 standardına göre hesaplanan rüzgâr yükleri Şekil 3.7’de verilmiştir. Hesaplanan rüzgâr yükü RFEM programında bina üzerinde Şekil 3.8 ‘de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Bina yüksekliği 100m için RFEM programında EN1991-1-4 standartta göre bina yüzeyine rüzgâr yükü.

RFEM yapı analiz programında +x yönü Şekil 3.8’de görüldüğü gibi rüzgâr esiş yönünü göstermektedir. Yük aktarımı EN1991-1-4 standardına göre yapılmış ve yüksekliği 44m, 72m ve 100m olan bina modelleri için ayrı ayrı analiz edilmiştir.

Yapılan hesaplama sonucunda bina tabanında oluşan toplam kesme kuvvet ve toplam moment değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Çizelge 3.5’de verilmiştir.

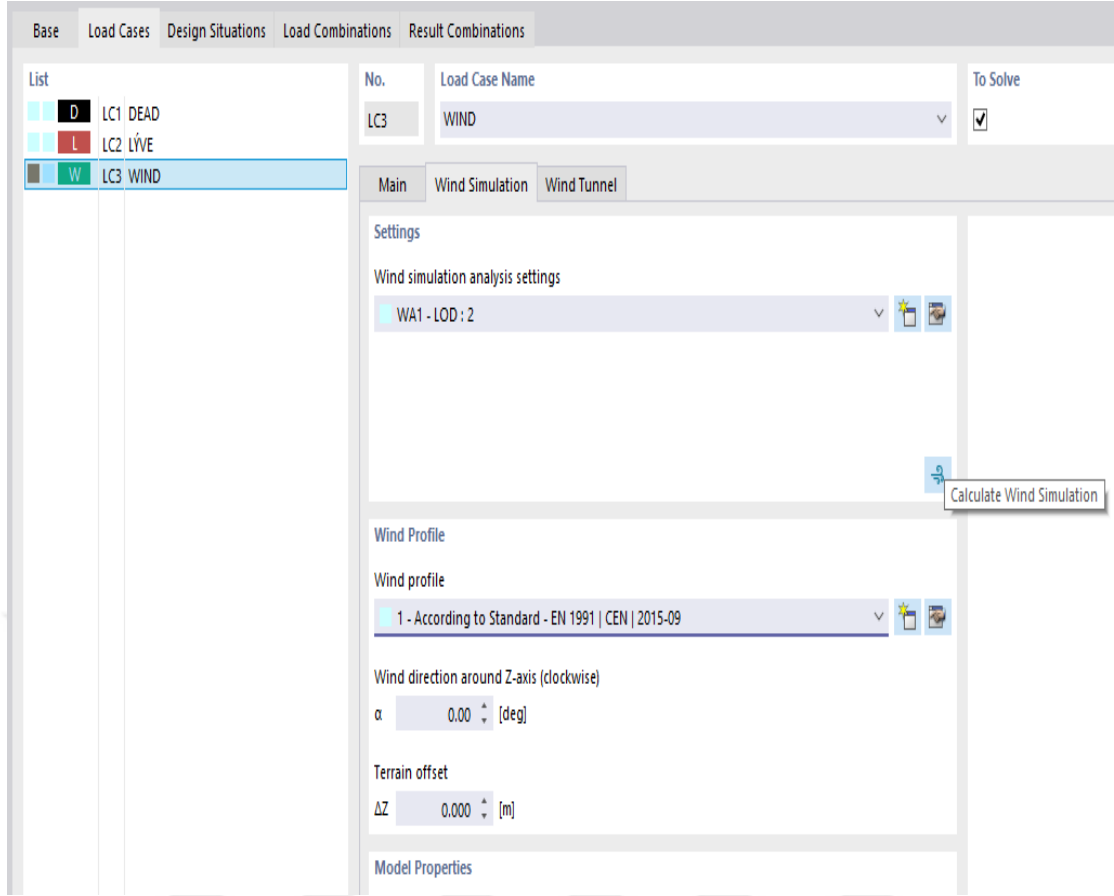
Çizelge 3.5. EN1991-1-4 standardına göre tekli bina tabanında oluşan toplam kesme kuvvetleri ve toplam momentleri değerleri.

Bina Yüksekliği	F_x (kN)	F_y (kN)	F_z (kN)	M_x (kNm)	M_y (kNm)	M_z (kNm)
H=44m	1060,24	0	216	-4,46	24055,64	21,96
H=72m	2200,50	0	296	-3,32	82086,45	24,73
H=100m	3729,29	0	376	-1,37	192509,37	13,75

EN1991-1-4 standardına göre hesaplanan rüzgâr yük (w) değeri ile yük kombinasyonları oluşturulmuş ve üç bina yüksekliği (44m, 72m, 100m) için analiz edilmiştir. Analiz sonucunda yapı ağırlıkları bina yüksekliği 44m için 124.6 ton, 72m için 330.8 ton ve 100m için 555.4 ton olarak hesaplanmıştır.

3.1.3. RWIND ile Hesaplanmış Rüzgâr Yükleri Kullanılarak Tekli Binaların Tasarımı

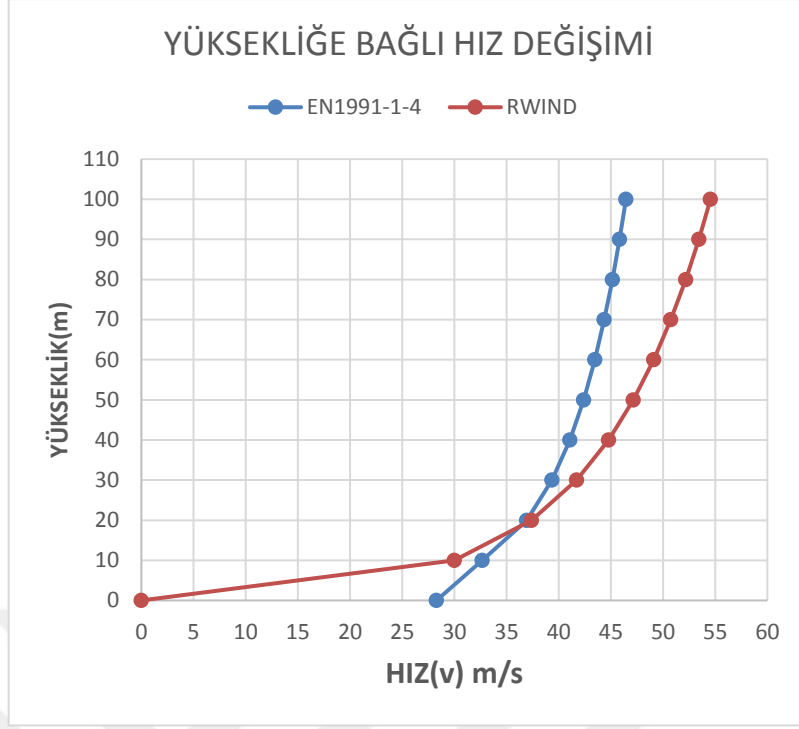
RWIND rüzgâr simülasyon programı Bölüm 2.4’de anlatıldığı gibi bir dizi denklem ve algoritma kullanarak hesap yapmaktadır. RFEM ve RWIND programları birbiri ile entegre olarak çalışmaktadır. RFEM ile tasarlanan bina modeli RWIND programına aktarılarak, standartlara göre ya da kullanıcının kendisinin belirlediği parametreler ile rüzgâr yükleri hesaplanmakta ve bu yükler tekrar RFEM programına aktarılmaktadır. Şekil 3.9’da RFEM’deki bina modelinin RWIND’e aktarılması için kullanılan program arayüzü gösterilmiştir.



Şekil 3.9. RFEM programda rüzgâr yükü tanımlanması için kullanılan ara yüz.

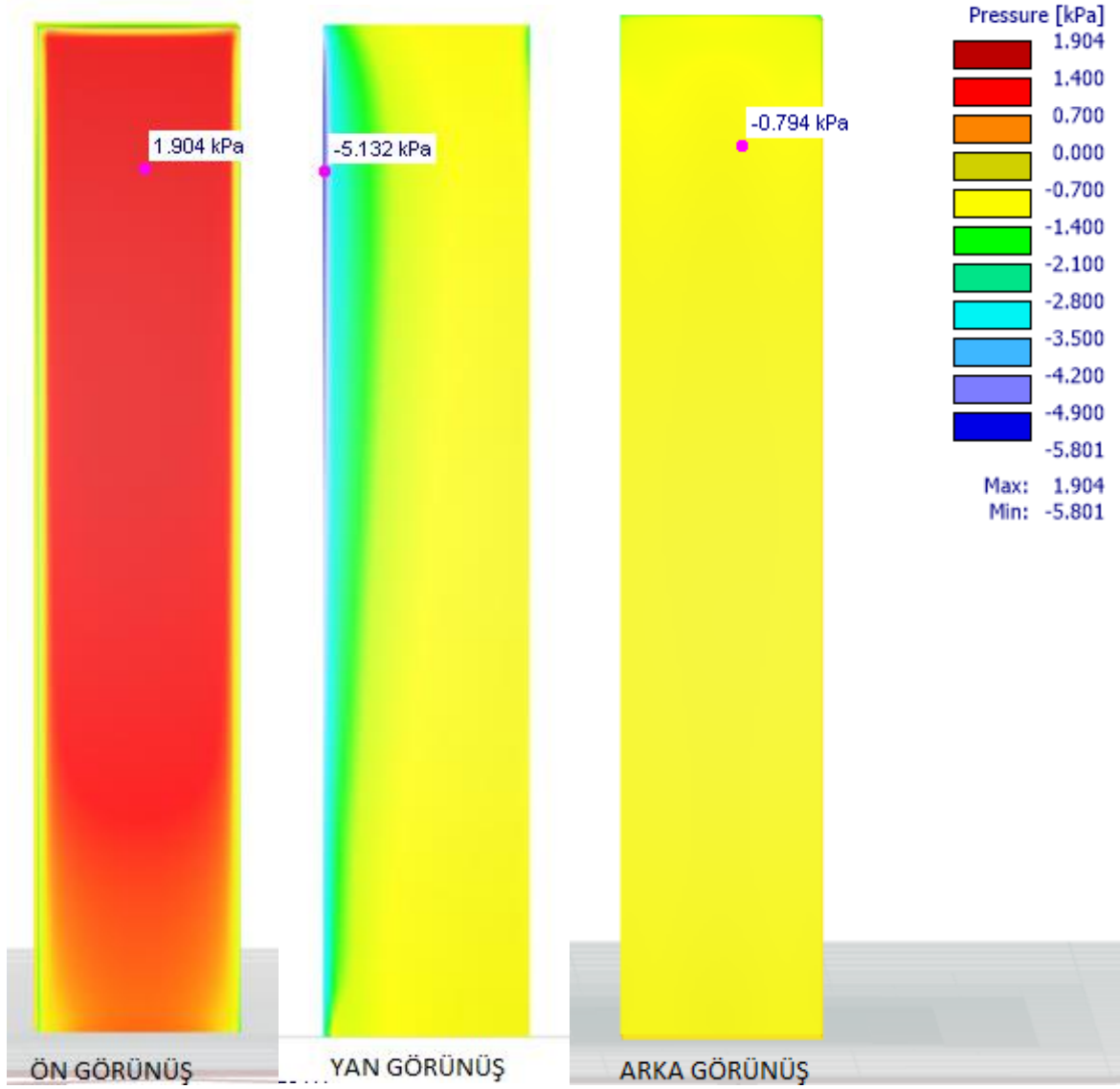
RFEM programında tasarlanan bina modellerinin RWIND programında analiz edilmesi için rüzgâr hız ve parametre değerleri manuel olarak girilmiştir.

Rüzgâr hız profili, rüzgârın gerçekten yerin (zemin) sıfır noktasın estiği biliyoruz. Bu nedenle yerin sıfır noktasında başlayarak esen rüzgâr etkileri daha açık bir şekilde görmek için yerin sıfır noktasında hız değerleri girilmiştir. Bu şekilde artan hız değerleri EN1991-1-4 standardındaki arazi kategorisi III'e denk gelecek biçimde logaritmik hız profiline uyacak şekilde girilmiştir. RWIND programına aktarılan rüzgâr hız değerleri ile EN1991-1-4 standardına göre rüzgâr hız değerlerinin karşılaştırılması Şekil 3.10'da verilmiştir. RWIND programında, üçgensel dizilmiş binalar ve ardı sıra binalar için yapılacak analizlerde Şekil 3.10'da verilen hız profili kullanılacaktır.



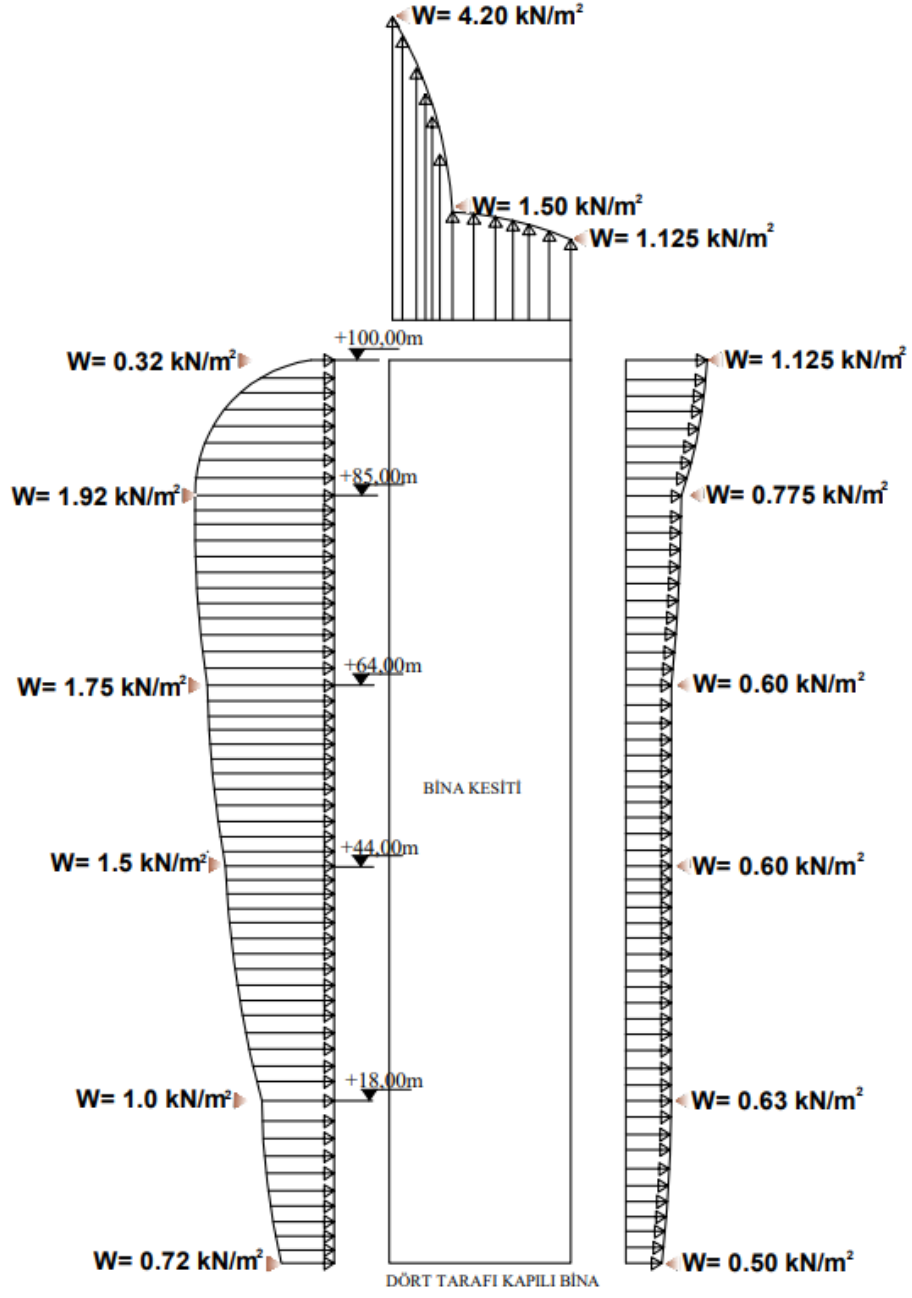
Şekil 3.10. Yüksekliğe bağlı rüzgâr hız grafiği.

Tasarlanan bina modeli gerekli parametrelerin ve rüzgâr hız profilinin tanımlanmasından sonra RFEM ara yüzü (Şekil 3.9) ile RWIND programına aktarılmıştır. RWIND programına aktarılan bina modeli, belirtilen rüzgâr hız profili ve parametrelere göre analiz edilmiştir. Analiz sonucunda bina üzerinde oluşan basınç değerleri Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Bina yüksekliği 100m için RWIND programı ile analiz sonucunda bina üzerinde oluşan basınç dağılımı.

RWIND programında tekli bina modeli (Şekil 3.11) analiz edilmiştir. Analiz sonucunda bina yüzeyine gelen rüzgâr basınç değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan rüzgâr yükleri RFEM programına aktarılmıştır. Örnek olarak 100m bina yüksekliği için rüzgâr yük(w) değerleri bina kesit üzerinde dağılımı Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



Şekil.3.12. Bina yüksekliği 100m İçin RWIND programına göre bina kesitine rüzgâr yükü

Bina üzerine gelen rüzgâr yükleri statik olarak analiz edilmiş, analiz sonucunda bina tabanında oluşan toplam kesme kuvveti ve toplam moment değerleri üç bina yüksekliği için hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Çizelge 3.6’da verilmiştir.

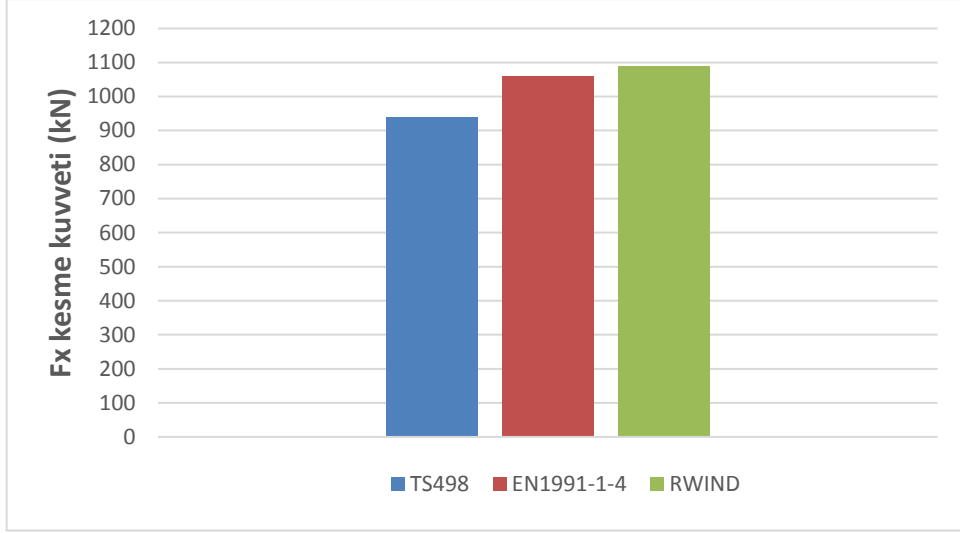
Çizelge 3.6. RWIND programına göre tekli bina tabanında oluşan toplam kesme kuvvetleri ve toplam momentleri değerleri

Bina Yüksekliği	F_x (kN)	F_y (kN)	F_z (kN)	M_x (kNm)	M_y (kNm)	M_z (kNm)
H=44m	1105	0,73	364,67	-15,11	30799,40	-4,41
H=72m	2416	0,55	473,84	-23,14	101166,90	-9,27
H=100m	3756,30	0,16	551,82	6,24	214473,75	0,32

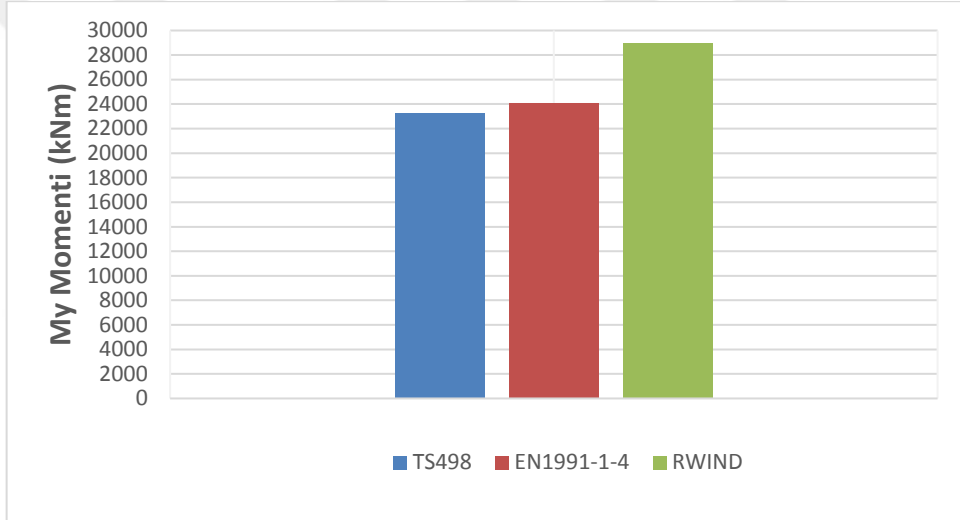
RWIND programında rüzgâr yük (w) değeri hesaplanmış, hesaplanan rüzgâr yük değeri ile yük kombinasyonları oluşturulmuştur. Oluşturulan yük kombinasyonlarıyla üç bina farklı yükseklikler (44m, 72m, 100m) için analiz edilmiştir. Analiz sonucunda yapı ağırlıkları bina yüksekliği 44m için 124.6 ton, 72m için 347.7 ton ve 100m 584.5 ton olarak bulunmuştur.

3.1.4. Tekli Binaların Sonuçların Karşılaştırılması

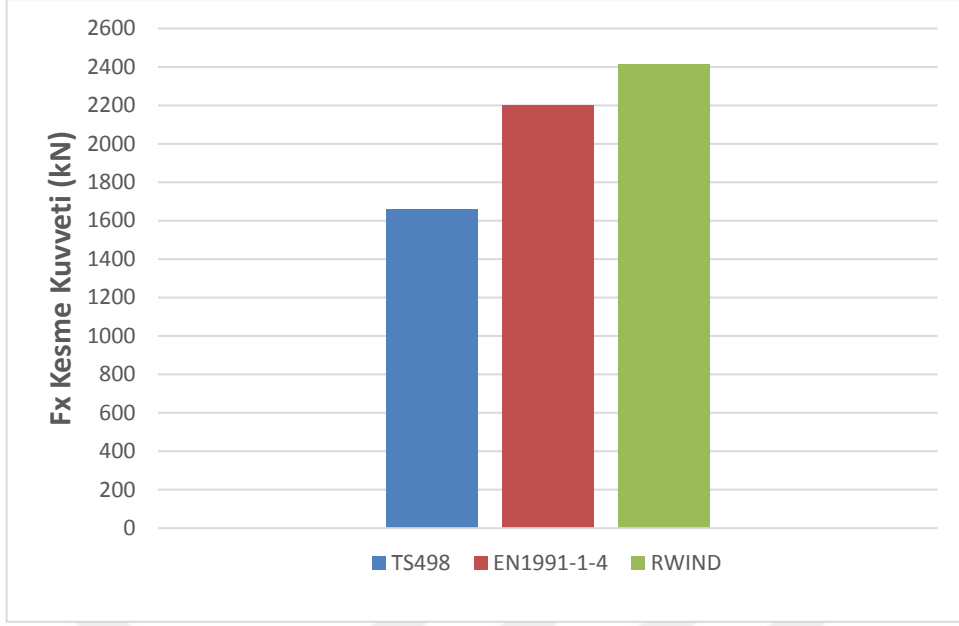
Tekli bina modelleri, TS 498 standardı, EN1991-1-4 standardı ve RWIND programına göre analiz edilmiştir. Analiz sonucunda bina taban kesme kuvveti, moment değerleri ve toplam bina ağırlık değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler grafik üzerinde karşılaştırılmıştır. Bina yüksekliği $h=44m$, $h=72m$ ve $h=100m$ için bina tabanında oluşan toplam kesme kuvvet (F_x) değerleri sırasıyla Şekil 3.13, Şekil 3.15 ve Şekil 3.17’de verilmiştir. Toplam moment değerleri ise Şekil 3.14, Şekil 3.16 ve Şekil 3.18’de verilmiştir. Toplam bina ağırlıkları Çizelge 3.7’de verilmiştir.



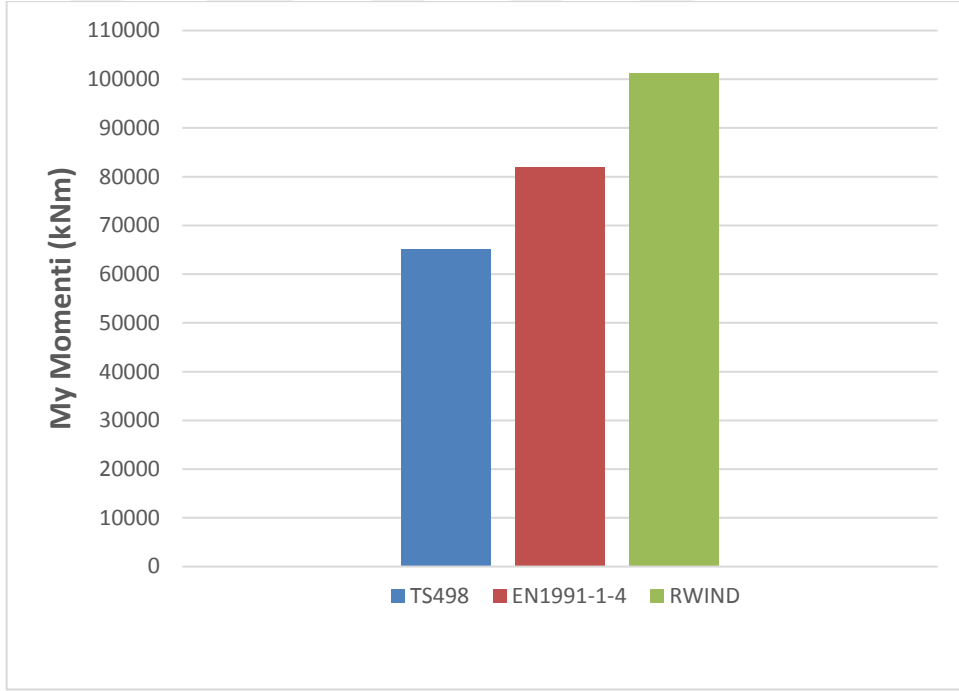
Şekil 3.13. Bina yüksekliği 44m için standartlar ve RWIND programına göre bina tabanında oluşan kesme kuvvet (Fx) dağılımı.



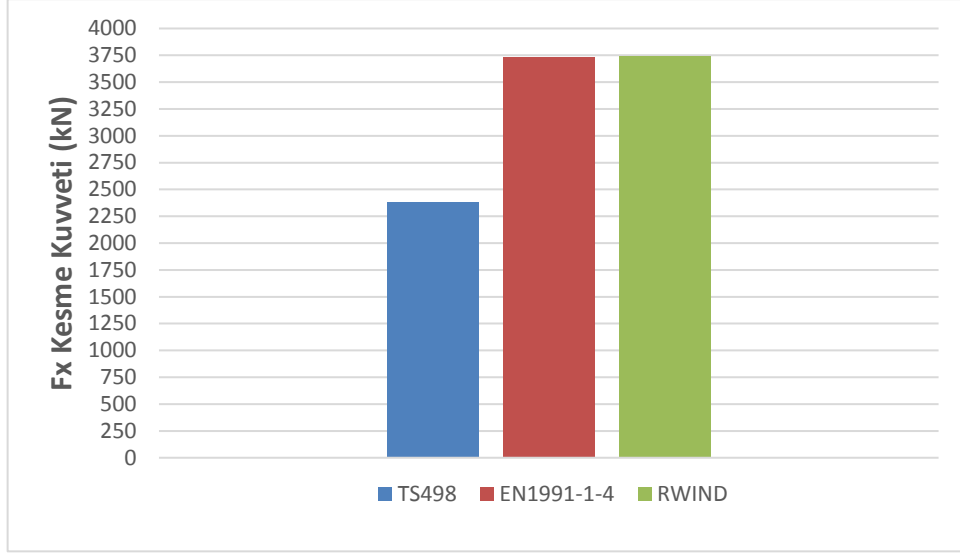
Şekil 3.14. Bina yüksekliği 44m için standartlar ve RWIND programına göre bina tabanında oluşan moment (My) dağılımı.



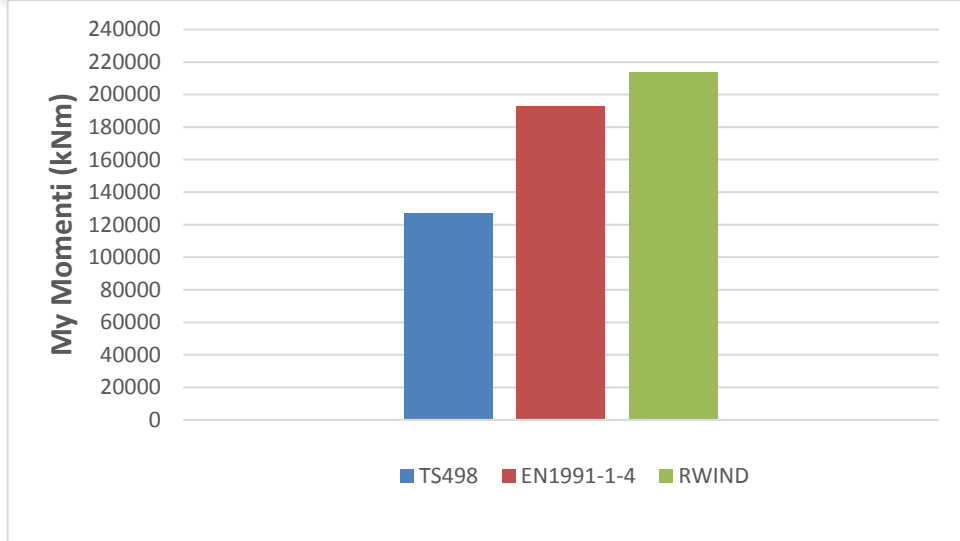
Şekil 3.15. Bina yüksekliği 72m için standartlar ve RWIND programına göre bina tabanında oluşan kesme kuvvet (F_x) dağılımı.



Şekil 3.16. Bina yüksekliği 72m için standartlar ve RWIND programına göre bina tabanında oluşan moment (M_y) dağılımı.



Şekil 3.17. Bina yüksekliği 100m için standartlar ve RWIND programına göre bina tabanında oluşan kesme kuvvet (Fx) dağılımı.



Şekil 3.18. Bina yüksekliği 100m için standartlar ve RWIND programına göre bina tabanında oluşan moment (My) dağılımı.

Çizelge 3.7. Standartlara göre ve RWIND programına göre yapılan analiz sonucunda belirlenen bina ağırlıkları.

Bina ağırlıkları (ton)			
	H=44m	H=72m	H=100m
TS498	107,5	298,9	490,7
EN1991-1-4	123,1	330,8	555,4
RWIND	124,6	347,7	584,5

Rüzgârın esiş yönü x eksenine paralel olduğu için bina mesnetlerine gelen toplam kesme kuvvet değerleri en fazla x eksen yönünde meydana gelmiştir. Binada oluşan moment değerleri ise en fazla y eksen etrafında olduğu görülmüştür. Bu sebeple karşılaştırma yapılırken öncelikle bu değerlerin dikkate alınması uygun olacaktır.

Tüm grafiklere baktığımızda RWIND simülasyon programında elde edilen rüzgâr yük değerleri TS498 ve EN1991-1-4 standartlarına göre biraz daha fazladır. Ayrıca, EN1991-1-4 standardına göre hesaplanan rüzgâr yük değerleri, TS498 standardına göre hesaplanan rüzgâr yük değerlerinden daha fazla olduğu görülmüştür.

Bina yüksekliği 44m için bakıldığında, RWIND simülasyon programı tarafından hesaplanan rüzgâr değerlerine göre bina tabanında oluşan toplam kesme kuvvet değerleri, EN199-1-4 standardına göre %4,25 ve TS498 standardına göre %17,70 daha fazla olduğu görülmüştür. Aynı şekilde bina tabanında oluşan moment değerlerine bakıldığında, RWIND simülasyon programı tarafından hesaplanan rüzgâr değerlerine göre oluşan moment değerleri, EN199-1-4 standardına göre yaklaşık %28,5, TS498 standardına göre ise %32'den fazladır. EN1991-1-4 standardına göre bina tabanında oluşan toplam kesme kuvvet değerleri, TS498 standardına göre %11,4, moment değeri ise yaklaşık %3,2 daha fazladır.

Bina yüksekliği 72m için RWIND simülasyon programı tarafından hesaplanan rüzgâr yük değerlerine göre oluşan kesme kuvvet değerleri, EN1991-1-4 standardına göre %9,8, bina yüksekliği 100m için ise %0,3'den fazla olduğu görülmüştür. Aynı şekilde TS498 standardına göre, bina yüksekliği 72m için %45, bina yüksekliği 100m için ise %57,6 daha fazla olduğu görülmüştür.

Ayrıca, moment değerlerine bakıldığında, RWIND programına göre moment değerleri, EN1991-1-4 standardına göre bina yüksekliği 72m için %23, 100m için %11'den fazla çıkmıştır. TS498 standardına göre ise bina yüksekliği 72m için %55,2, 100m için %68,5 daha fazla çıktığı görülmüştür.

Benzer şekilde, EN1991-1-4 standardına göre rüzgâr yük değerleri, TS498 standardına göre daha fazla olduğu görülmüştür. Bu değerler bina yüksekliği 72m için oluşan kesme kuvvet değerlerinde %32,5, bina yüksekliği 100m için %56,4 daha fazla çıktığı görülmüştür.

Genel olarak baktığımızda RWIND simülasyon programına göre hesaplanan rüzgâr yük değerleri, EN1991-1-4 ve TS498 standartlarına göre daha fazladır.

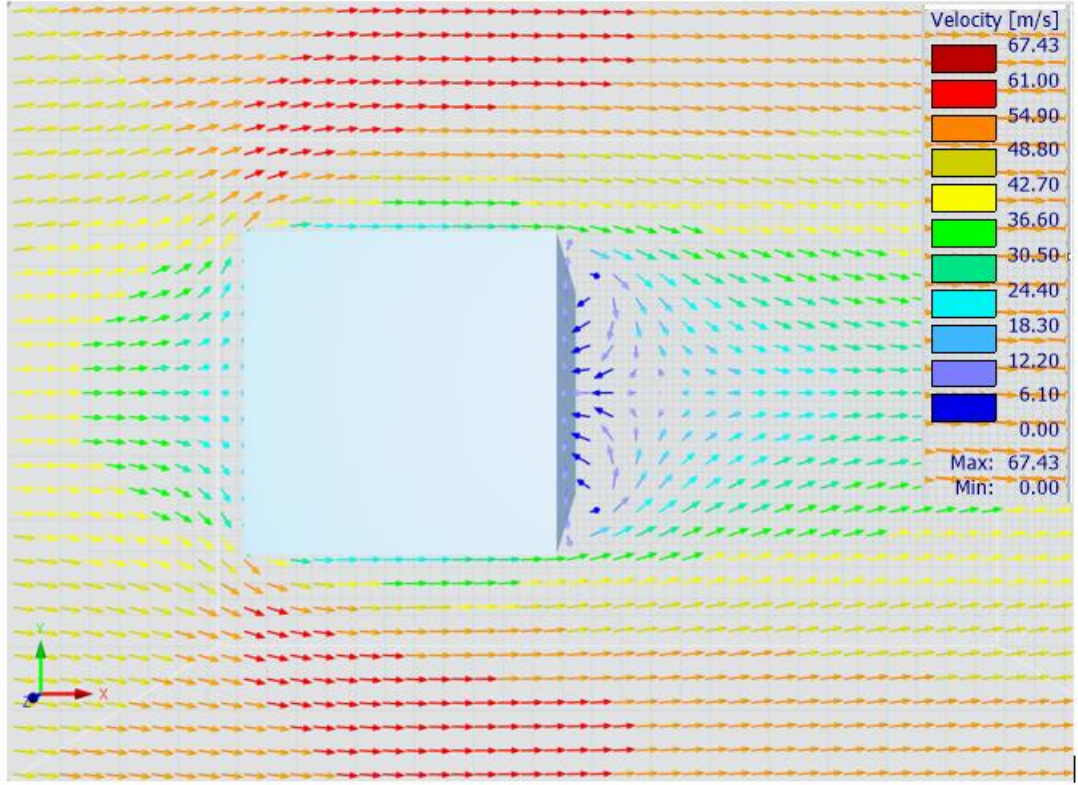
Çizelge 3.7’de bina ağırlık sonuçlarına bakıldığında RWIND simülasyon programı tarafından hesaplanan rüzgâr yüklerine göre yapılan tasarım sonucunda, beklendiği üzere bina ağırlık değerleri daha fazla çıkmıştır. Bu değerler; EN1991-1-4 standardına göre 44m bina yüksekliği için %1,3, 72m için %5,1 ve 100m için %5,3 daha fazla olduğu görülmüştür. Aynı şekilde, TS498 standardına göre 44m bina yüksekliği için %15,9, 72m için %16,32 ve 100m için %19,11 daha fazla çıkmıştır.

3.2. Üçgensel Dizilmiş Bina Kombinasyon Durumunun İncelenmesi

Üçgensel dizilmiş bina modelleri önde engelleyici olan iki bina, arkada ise ana bina olarak tasarlanmıştır ve Şekil 3.22’ de gösterilmiştir. Üçgensel dizilmiş binalar aynı plan ebadında ve aynı yüksekliktedir. Üçgensel dizilmiş binalar için ilk olarak basit bina modelleri (prizmatik katı model) üzerinde analizler yapılmış ve en olumsuz koşullar bu basit binalar üzerinde tespit edilmiştir. Basit binaların seçilme nedeni analizlerin daha kısa sürmesidir.

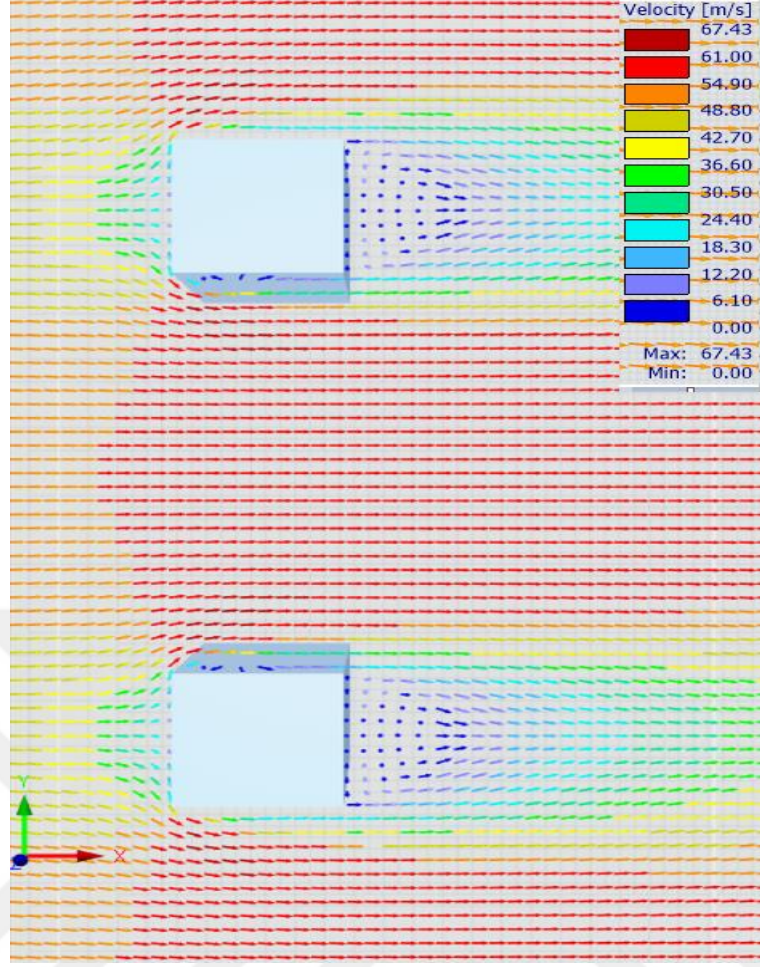
Basit binalar üzerinde yapılan çalışmada, öndeki engelleyici iki bina, y ekseninde (yatay olarak) birbirine yakınlaştırılarak veya uzaklaştırılarak ana bina üzerinde oluşan rüzgâr yükü etkileri incelenmiştir. Ana binada oluşan en olumsuz durum üzerinde durulmuştur. Analiz sonucunda ana binada oluşan en olumsuz durumlara göre x, y, z yönlerinde bina tabanına gelen toplam kesme kuvveti ve toplam moment değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler tekli bina model değerleri ile karşılaştırılmıştır. Analiz sonucunda, ana bina (arkada konumlanmış bina) tabanında oluşan toplam kesme kuvveti ve toplam moment değerlerine göre boyutlandırılmıştır. Boyutlandırma sonucunda toplam bina ağırlığı hesaplanmıştır. Tüm bu analizlerin sonucunda ana binada hesaplanan toplam ağırlık ile tekli binada hesaplanan toplam ağırlık değerleri karşılaştırılmıştır.

RWIND programında tekli binalar için yapılan analiz sonuçlarına bakıldığında, rüzgârın esiş yönüne dik yüzeye gelen rüzgâr hız vektörlerinin, binanın ön yüzeyine temas ettikten sonra binanın yan kısımlarına doğru hız kazandığı görülmüştür. Oluşan durum Şekil 3.19’da gösterilmiştir.



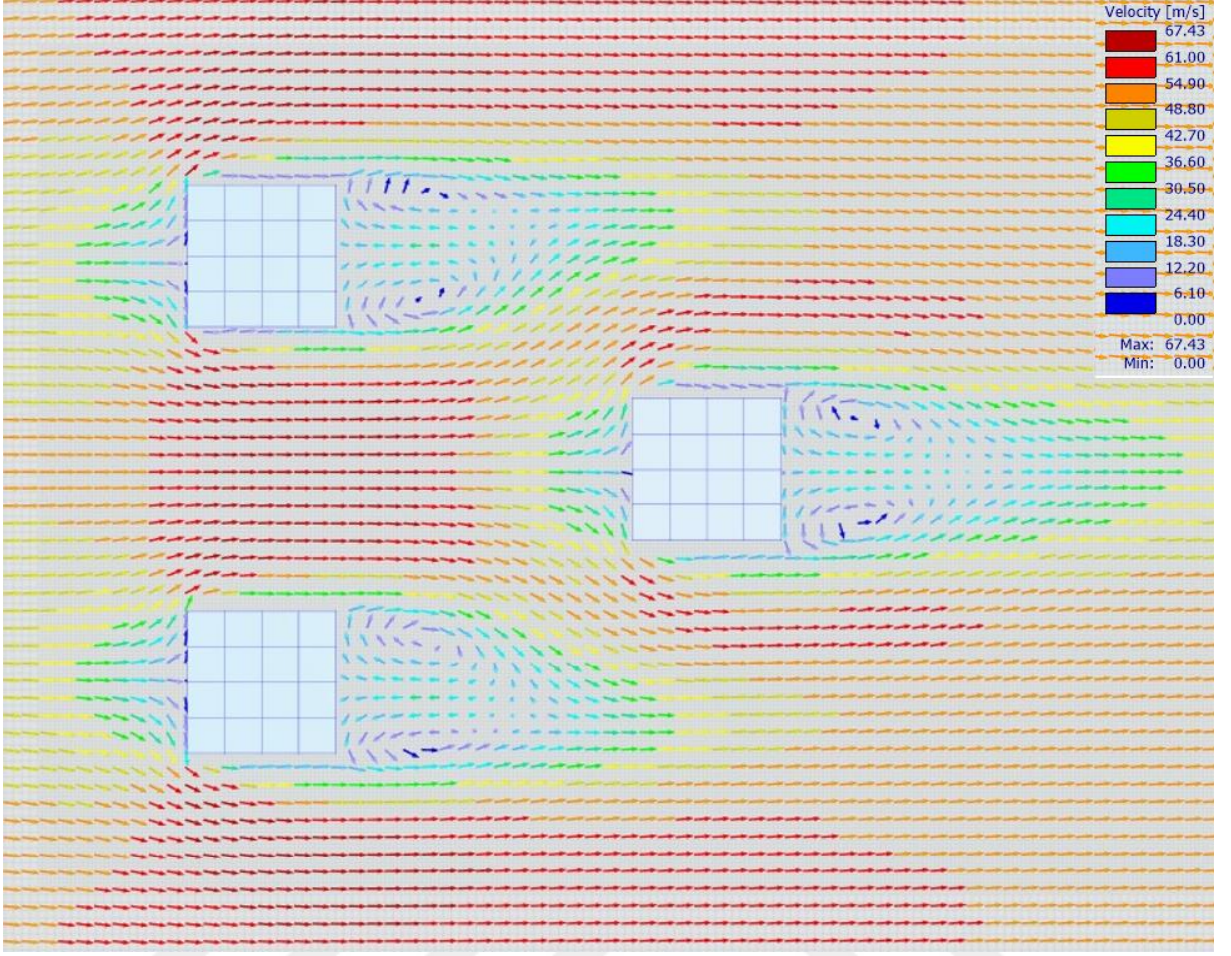
Şekil 3.19. RWIND programında yapılan analiz de tekli binada meydana gelen rüzgâr hız vektörlerinin üstten görünüşü.

Rüzgâr binaya çarptıktan sonra yan kısımlara doğru hız kazanmasından dolayı tekli binanın yanına aynı boyut ve aynı hizada bir tane daha bina konulmuştur ve arka binaya etkiyen rüzgârın daha etkili olacağı düşünülmüştür. Bu sebeple, yan yana dizilmiş iki bina RWIND programında analiz edilmiş ve sonuçlar üzerinde durulmuştur.



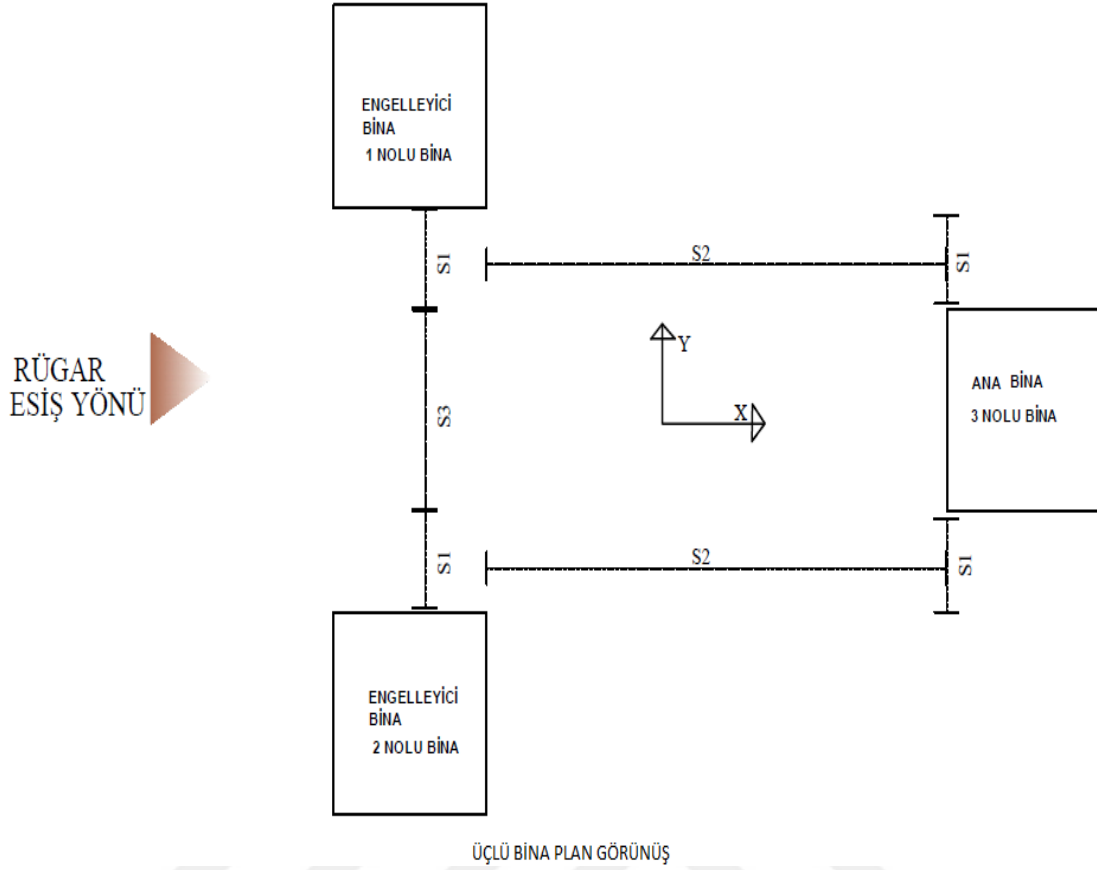
Şekil 3.20. RWIND programında yapılan analiz de iki binada meydana gelen rüzgâr hız vektörünü üstten görünüşü.

Şekil 3.20’de görüldüğü üzere iki binanın arasındaki rüzgâr hızının yoğun bir biçimde arttığı görülmektedir. Bu nedenle, iki binanın arka kısmına bir binanın konulması durumunda rüzgâra daha çok maruz kalacağı düşünülmüştür (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. RWIND programında yapılan analiz ile üçgensel dizilmiş binada meydana gelen rüzgâr hız vektörünü üstten görünüşü.

Bu nedenle üçgensel dizilmiş bina kombinasyonu için arkadaki binada standartlarda öngörülme-yen olumsuz koşulların oluşacağı düşünülmüş ve üzerinde durulmuştur. Ayrıca, öndeki binaların birbirine olan mesafeleri değiştiğinde, arkadaki binanın nasıl etkilendiği üzerinde durulmuştur. Arkadaki binanın hangi ara mesafede en fazla rüzgâr yük değerini aldığı araştırılmıştır. Ayrıca, üçgensel dizilmiş binaların birbiriyle olan rüzgâr etkileşimleri incelenmiştir.



Şekil 3.22. RFEM programda tasarlanan üçgensel dizilmiş bina modelleri planı

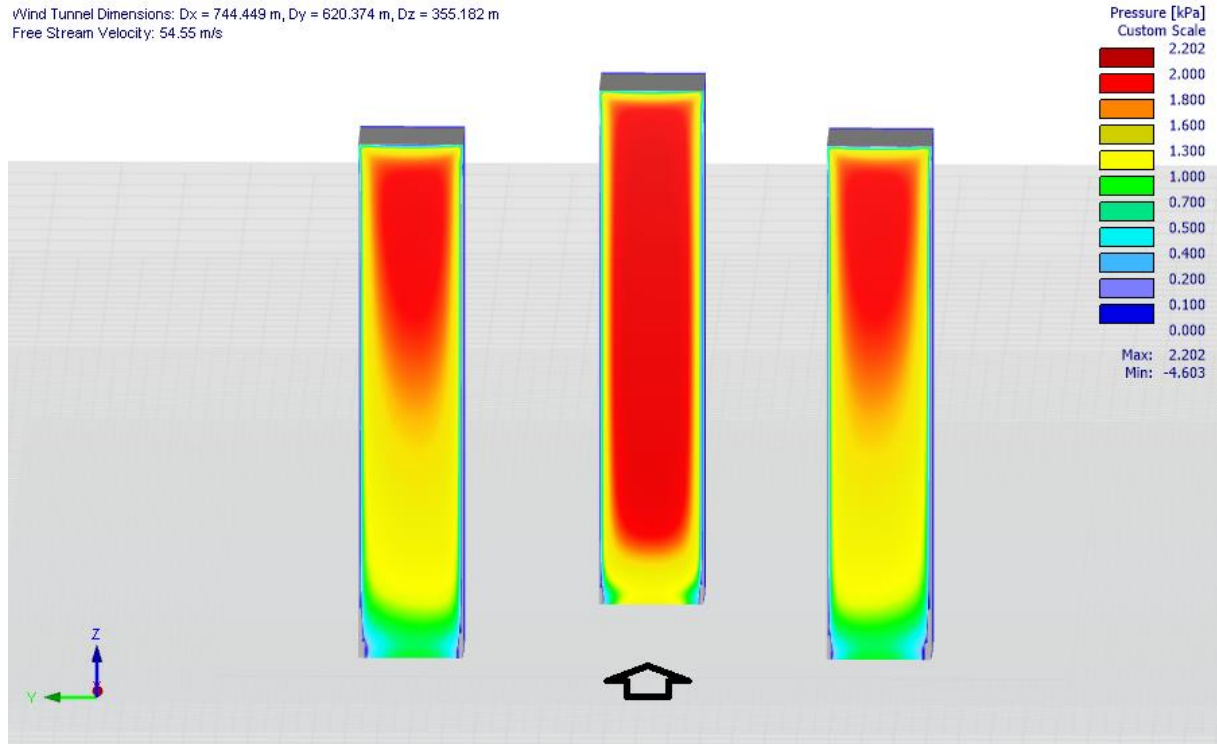
Şekil 3.22’de üçgensel dizilmiş binalar arası mesafeler gösterilmiştir. Burada engelleyici binalar (1 ve 2 numaralı binalar) ile ana bina (3 numaralı bina) arasında x yönündeki mesafe S2 ile gösterilmiştir. Engelleyici binalar (1 ve 2 numaralı binalar) ile ana bina (3 numaralı bina) y yönündeki mesafe S1 ile gösterilmiştir. Engelleyici binalar (1 ve 2 numaralı bina arasında mesafe) arasında mesafe ise $S1+S3+S1$ olarak alınmıştır. Burada; $S2 = 40\text{m}$ ve $S3 = 20\text{m}$ olarak alınmıştır. Yapılacak tüm analizlerde S3 ve S2 mesafeleri sabit bırakılmıştır. S3 ve S2 bu aralıkta sabit tutulma nedeni Şekil 3.21’de verilen rüzgâr hız vektörlerin bu aralıkta yoğun olarak görülmesi ve 3 nolu binaya daha fazla etki edeceğini düşünülmüştür. Bu sebeple S3 ve S2 sabit bırakılmış, S1 mesafesi ise beşer metre aralıklarla arttırılarak analiz yapılmıştır.

3.2.1. En Olumsuz Koşulun Üçgensel Dizilmiş Bina İçin Belirlenmesi

Bu bölümde engelleyici binaların (1 ve 2 nolu bina) arasındaki mesafe değiştirilerek analiz edilmiştir. Buna göre ana binada (3 nolu bina) tespit edilen, en olumsuz koşullar Bölüm 3.2.2’de detaylı olarak incelenmiştir.

Ayrıca, üçgenel dizilmiş binaların arasında etkileşime neden olan durumlar üzerinde durulacaktır. Bu durumlar engelleyici binalar arasında S1 mesafesini değiştirerek incelenecektir.

RFEM programında tasarlanan üçgenel dizilmiş bina modelleri, RFEM ara yüzü ile RWIND programına aktarılmıştır. Burada EN1991-1-4 standardı ile yaklaşık aynı rüzgâr hızı ve parametreler kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz edildikten sonra bina modeli üzerinde oluşan rüzgâr yükleri tekrar RFEM programına aktarılmıştır. Sonuçlara göre binalar üzerinde oluşan en olumsuz koşul Şekil 3.23’de gösterilmiştir.



Şekil 3.23. RWIND Programında üçgenel dizilmiş binalar analiz sonucunda binaların ön yüzeyinde oluşan basınç dağılımı.

Üçgenel dizilmiş bina kombinasyonunda yapılan tüm analizlerde, S2=40m ve S3=20m alınmıştır. S1 mesafesi ise S1=10m, S1=15m, S1=20m, S1=25m, S1=30m ve S1=35m olarak alınmıştır. Bu mesafelere bağlı olarak bina yüksekliği 44m, 72m ve 100m için ayrı ayrı analizler yapılmıştır. Analiz sonucunda bina tabanında oluşan toplam kesme kuvvet ve toplam moment değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler bina yüksekliğine bağlı olarak sırasıyla; Çizelge 3.8, Çizelge 3.9 ve Çizelge 3.10’da verilmiştir.

Çizelge 3.8. Üçgensel dizilmiş bina tabanında oluşan toplam kesme kuvvetleri ve toplam momentleri değerleri.

Üçgensel dizilmiş binalar analiz sonuçları (h=44m S2=40m, S3=20m)							
Uzunluk(m)		F _x (kN)	F _y (kN)	F _z (kN)	M _x (kNm)	M _y (kNm)	M _z (kNm)
S1=10m	1 nolu bina	1126,83	21,99	383,27	-269,51	29520,16	29520,16
	2 nolu bina	1127,18	-21,36	383,08	254,2	29514,25	-63,52
	3 nolu bina	1461,26	-0,08	369,85	-1,08	35671,12	0,38
S1=15m	1 nolu bina	1145,25	33,37	375,18	-533,25	30066,13	63,31
	2 nolu bina	1145,7	-32,35	375,07	511,52	30052,04	-64,6
	3 nolu bina	1471,01	0,45	370,07	-11,1	36168,76	0,33
S1=20m	1 nolu bina	1137,03	21,68	370,44	242,51	29851,56	-77,21
	2 nolu bina	1137,97	-20,19	370,23	-268,87	29872,48	73,07
	3 nolu bina	1454,49	0,1	376,19	-2,89	36187,38	1,96
S1=25m	1 nolu bina	1118,3	54,38	363,88	- 1019,84	28368,01	-30,02
	2 nolu bina	1118,62	-52,85	363,8	988,99	28364,81	27,17
	3 nolu bina	1338	-0,18	357,24	2,82	33844,95	3,41

Çizelge 3.9. Üçgensel dizilmiş bina tabanında oluşan toplam kesme kuvvetleri ve toplam momentleri değerleri.

Üçgensel dizilmiş binalar analiz sonuçları (h=72m S2=40m, S3=20m)							
Uzunluk(m)		F _x (kN)	F _y (kN)	F _z (kN)	M _x (kNm)	M _y (kNm)	M _z (kNm)
S1=10m	1 nolu bina	2668,13	101,23	495,1	3311,77	108385,36	-141,5
	2 nolu bina	2669,5	-100,92	494,89	- 3322,66	108438,57	135,44
	3 nolu bina	3047,53	-0,52	428,37	22,05	116634,8	2,36
S1=15m	1 nolu bina	2596	71,91	489,49	1759,78	106291,79	-190,31
	2 nolu bina	2596,64	-71,48	489,39	- 1774,76	106308,58	189,35
	3 nolu bina	3054,8	-0,02	443,93	-4,08	117038,63	7,23
S1=20m	1 nolu bina	2536,95	107,28	482,85	2937,25	104190,44	180,85
	2 nolu bina	2538,33	-106,09	482,54	-2977,5	104246,23	-184,7
	3 nolu bina	3024,18	0,73	465,05	-29,65	115977,21	-5
S1=25m	1 nolu bina	2533,43	142,83	474,75	4503,37	104345,11	51,86

	2 nolu bina	2534,41	-142,01	474,62	- 4526,66	104381,74	-50,44
	3 nolu bina	3049,19	-0,18	466,25	2,9	118944,57	4,1
S1=30m	1 nolu bina	2504,38	148,75	487,26	4432,04	103579,28	-112,53
	2 nolu bina	2534,63	-147,5	487,14	- 4475,98	103589,66	114,17
	3 nolu bina	2952,38	-0,59	485,74	7,23	115583,51	4,63

Çizelge 3.10. Üçgensel dizilmiş bina tabanında oluşan toplam kesme kuvvetleri ve toplam momentleri değerleri.

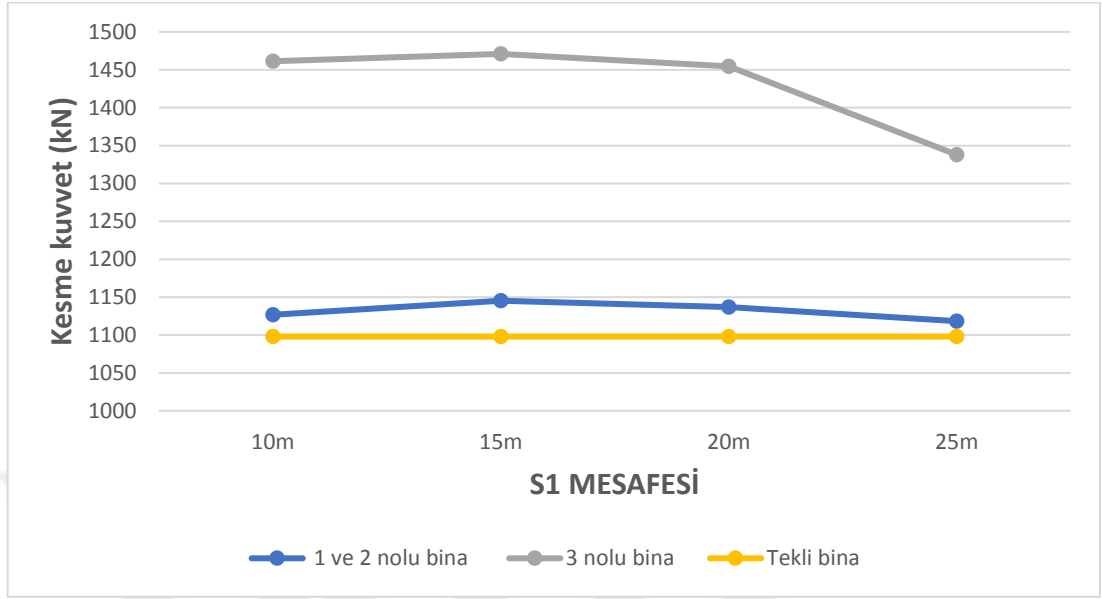
Üçgensel dizilmiş binalar analiz sonuçları (h=100m S2=40m, S3=20m)							
Uzunluk(m)		F_x(kN)	F_y(kN)	F_z(kN)	M_x(kNm)	M_y(kNm)	M_z(kNm)
S1=10m	1 nolu bina	4629,26	383,38	557,31	18198,62	253336,02	116,66
	2 nolu bina	4629,84	-383,65	557,08	-18174,2	253366,06	-123
	3 nolu bina	4634,34	0,96	458,03	-40,63	240766,51	1,03
S1=15m	1 nolu bina	4410,96	323,85	565,95	14684,03	243122,98	78,03
	2 nolu bina	4412,8	-323,65	565,91	-14675,3	243207,8	-77,02

	3 nolu bina	4820,88	0,12	497,01	-0,51	250582,25	2,52
S1=20m	1 nolu bina	4339,33	372,73	560,62	16610,21	240219,13	244,22
	2 nolu bina	4339,83	-371,53	560,5	-16644,4	240261,79	-244,17
	3 nolu bina	4863,29	-0,03	522,71	-4,87	253152,56	2,68
S1=25m	1 nolu bina	4336,66	343,71	556,08	15644,73	240426,67	258,06
	2 nolu bina	4337,87	-343,99	556	-15617,8	240481,56	-261
	3 nolu bina	5010,65	-0,05	533,73	-1,48	262181,28	5,25
S1=30m	1 nolu bina	4333,73	371,86	545,29	17401,75	240517,3	696,47
	2 nolu bina	4334,77	-371,46	545,32	-17403,5	240567,47	-694,85
	3 nolu bina	4986,39	0,16	543,39	-10,87	262379,13	3,95
S1=35m	1 nolu bina	4273,99	229,99	554,93	9733,07	238742,37	-124,46
	2 nolu bina	4274,22	-229,18	554,8	-9754,38	238754,45	119,86
	3 nolu bina	4903,86	1,57	548,5	-70,64	260489,99	0,78

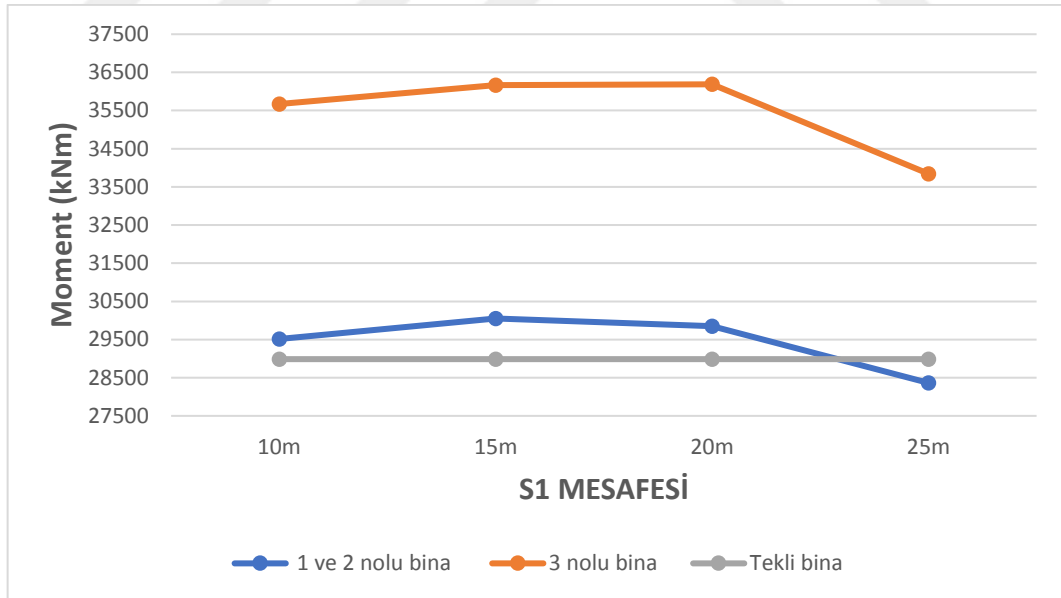
Tablo değerlerine bakıldığında rüzgâr yönüne bağlı olarak kesme kuvvet değerleri en yüksek x yönünde bulunmuştur. Buna bağlı olarak, moment değeri de aynı şekilde en yüksek y eksenini etrafında meydana gelmiştir. Bu nedenle, tüm durumlar için x yönünde kesme kuvvet ve y yönünde moment değerleri dikkate alınmıştır.

Bina yüksekliği 44m olan üçgensel dizilmiş bina modeli için en olumsuz koşullar; binalar arası mesafeler S2=40m, S3=20m ve S1=15m olduğunda gerçekleşmiştir. Bu koşullara göre rüzgâr yükü en fazla arkadaki ana binada (3 nolu bina) gerçekleşmiştir. Tekli bina ve

üçgensel dizilmiş binaların analiz sonucunda bina mesnetlerine gelen toplam kesme kuvvet değerleri Şekil 3.24’de ve toplam moment değerleri Şekil 3.25’de verilmiştir.



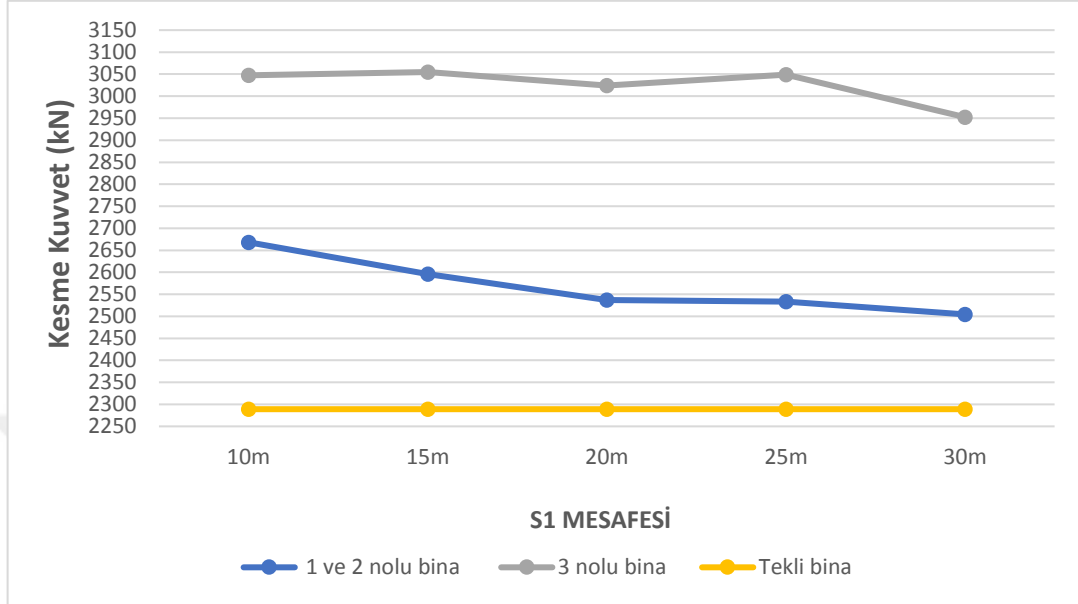
Şekil 3.24. Bina yüksekliği 44m için üçgensel dizilmiş binalar ve tekli binada bina tabanına gelen toplam kesme kuvvet dağılımı.



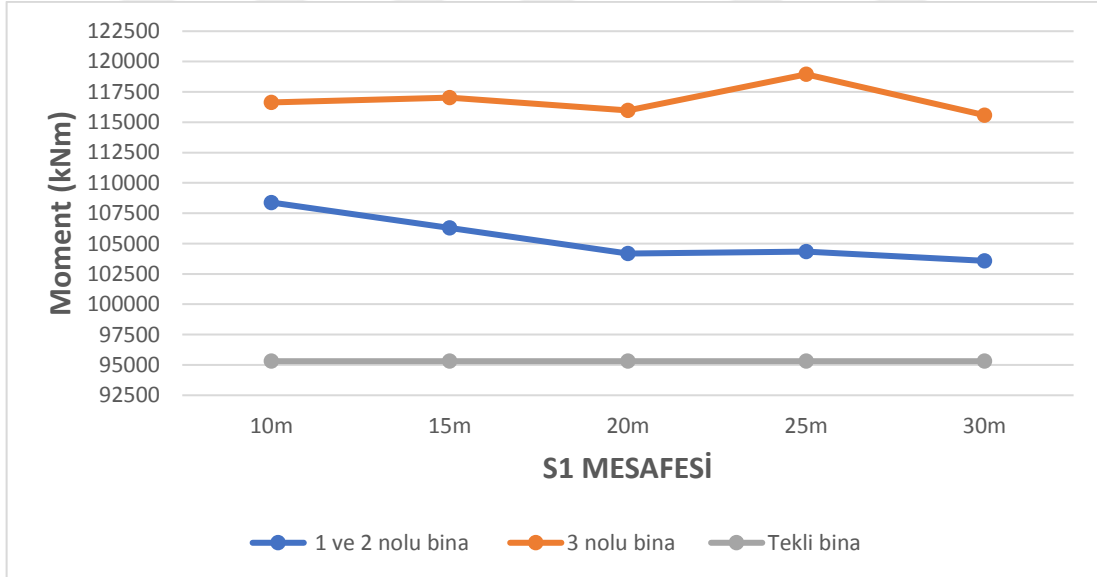
Şekil 3.25. Bina yüksekliği 44m için üçgensel dizilmiş binalar ve tekli binada bina tabanına gelen toplam moment dağılımı.

Bina yüksekliği 72m olan üçgensel dizilmiş bina modeli için, en olumsuz koşullar; binalar arası mesafeler $S_2=40m$, $S_3=20m$ ve $S_1=15m$ olduğunda gerçekleşmiştir. Bu koşullara

göre rüzgâr yükü en fazla arkadaki ana binada (3 numaralı bina) görülmüştür. Tekli bina ve üçgenel dizilmiş bina tabanına gelen toplam kesme kuvvet değerleri grafiksel olarak Şekil 3.26'da, toplam moment değerleri ise Şekil 3.27'de verilmiştir.



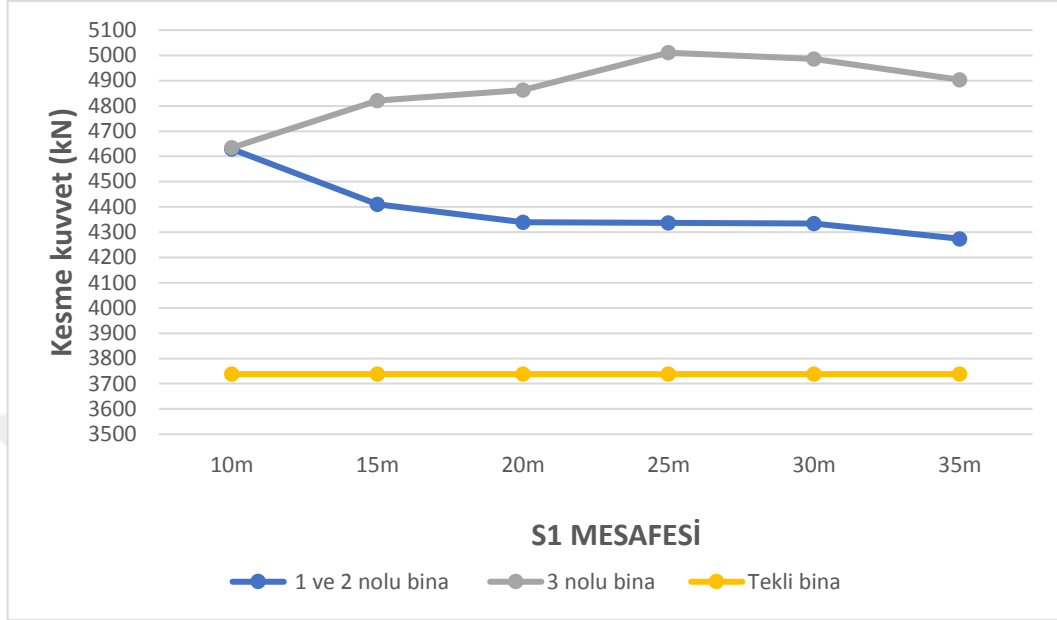
Şekil 3.26. Bina yüksekliği 72m için üçgenel dizilmiş binalar ve tekli binada bina tabanına gelen toplam kesme kuvvet dağılımı.



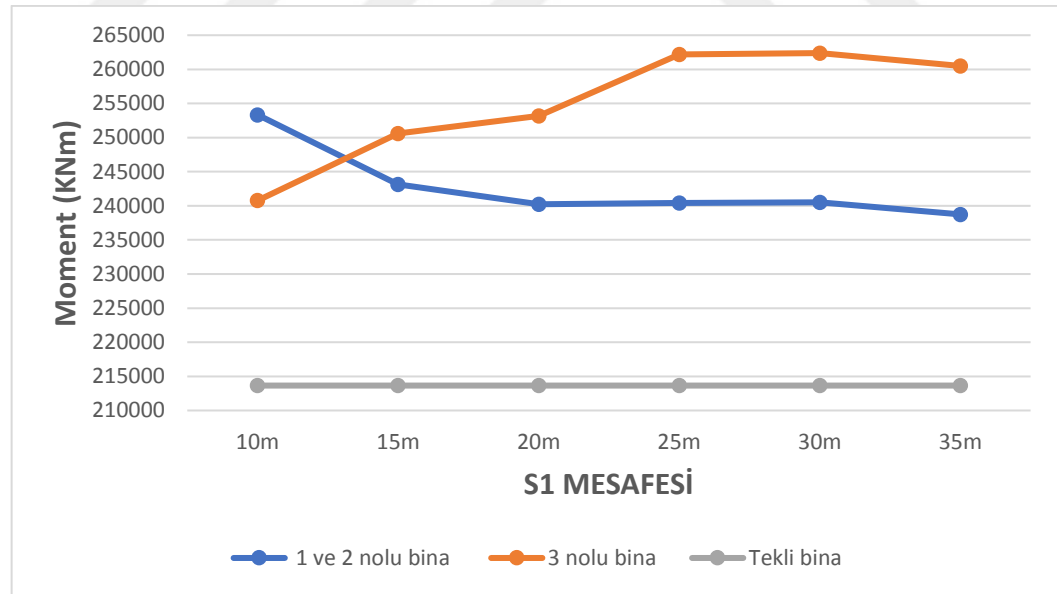
Şekil 3.27. Bina yüksekliği 72m için üçgenel dizilmiş binalar ve tekli binada bina tabanına gelen toplam moment dağılımı.

Analiz sonucunda, bina yüksekliği 100m olan üçgenel dizilmiş bina modeli için en olumsuz koşullar binalar arası mesafeler $S_2=40m$, $S_3=20m$ ve $S_1=25m$ olduğunda gerçekleşmiştir. Bu koşullara göre rüzgâr yükü en fazla arkadaki ana binada (3 nolu bina)

gerçekleşmiştir. Tekli bina ve üçgenel dizilmiş binaların S1 mesafesine bağlı olarak kesme kuvveti grafiksel olarak Şekil 3.28’de gösterilmiştir. Aynı şekilde moment değerleri Şekil 3.29’da verilmiştir.



Şekil 3.28. Bina yüksekliği 100m için üçgenel dizilmiş binalar ve tekli binada bina tabanına gelen toplam kesme kuvvet dağılımı.



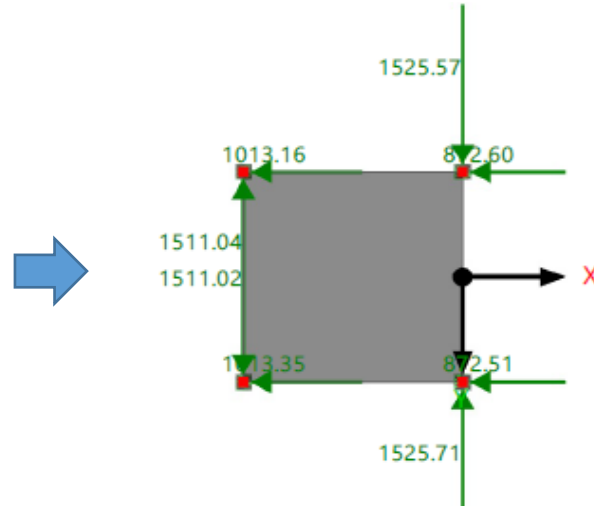
Şekil 3.29. Bina yüksekliği 100m için üçgenel dizilmiş binalar ve tekli binada bina tabanına gelen toplam moment dağılımı.

Genel olarak sonuçlara bakıldığında engelleyici binalar (1 ve 2 numaralı binalar) arasında mesafeye bağlı olarak ana binaya (3 numaralı bina) gelen rüzgâr yük etkileri tekli

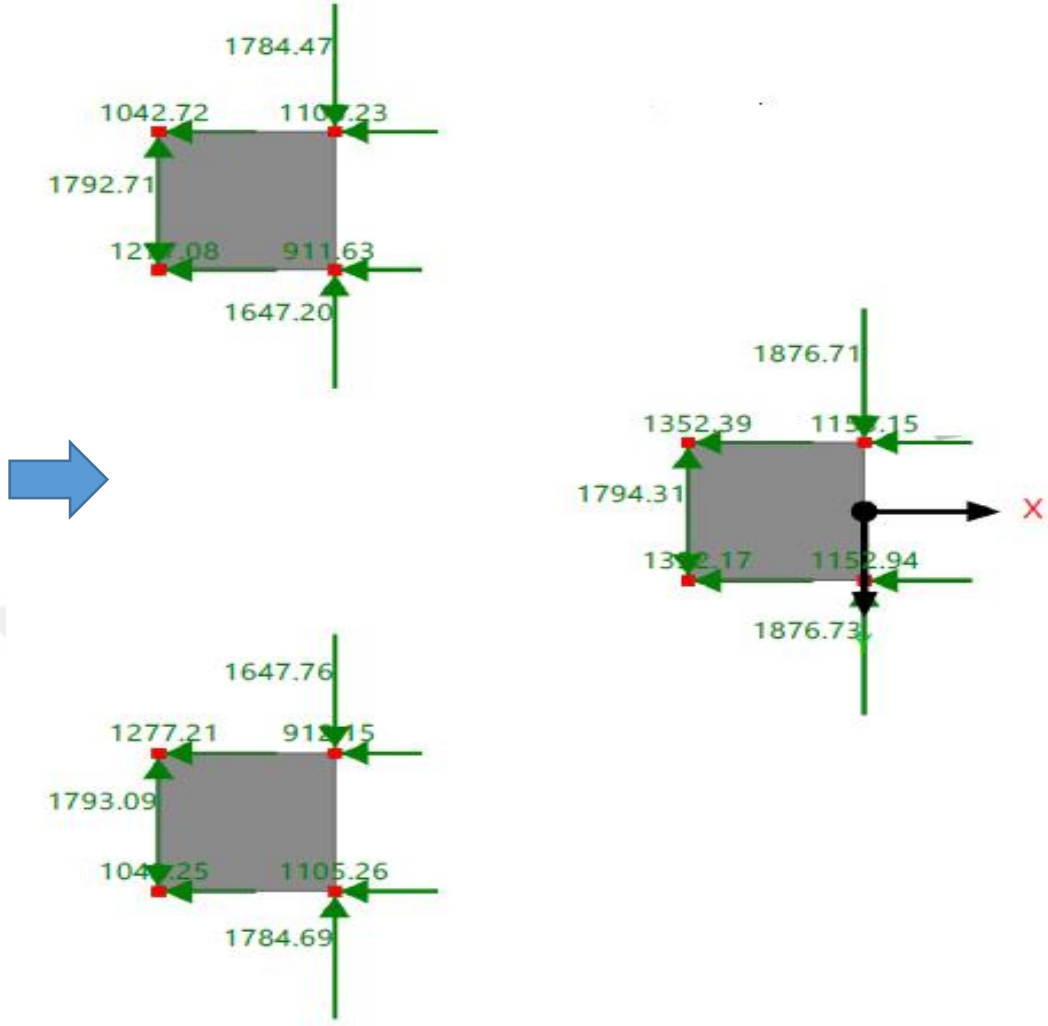
binaya göre artmıştır. Ayrıca, Şekil 3.28'deki grafiğe bakıldığında $S1=10m$ ile $S1=25m$ arasındaki mesafelerde ana binanın (3 numaralı bina) x yönünde bina tabanına gelen toplam kesme kuvveti artmıştır. Bu artışın nedeni, engelleyici binaların (1 ve 2 numaralı binalar) birbirine yaklaşmasının sonucunda ana binanın (3 numaralı bina) üzerinde rüzgâr tüneli etkisi yaratmasıdır (Şekil 3.32). Tünel etkisi rüzgâr hızının artmasına neden olmuştur.

Grafikte verilen değerlere bakıldığında engelleyici binalar arasındaki $S1$ mesafesi arttığında binalar arasında etkileşim azalmış ve dolayısı ile rüzgâr tüneli etkisi azalmıştır. Bu sebeple, üçgenel dizilmiş binaların x yönünde bina tabanına gelen toplam taban kesme kuvveti azalmış ve tekli bina değerlerine gittikçe yaklaşmıştır.

Yapılan analizlerde, $S1$ mesafesi azaldıkça engelleyici binalar (1 ve 2 nolu binalar) arasında etkileşim artmaktadır (Çizelge 3.10). Etkileşimden dolayı engelleyici (1 ve 2 nolu binalar) binaların y eksenı yönünde $-F_y$ ve F_y değerleri birbirinden farklı olduğu görülmüştür. Bu sebeple bu farklı değerleri daha iyi anlamak için üçgenel dizilmiş binalar ve tekli bina mesnet kuvvet değerleri Şekil 3.31'de gösterilerek karşılaştırılmıştır. Bina yüksekliği 100m için en olumsuz koşulda üçgenel dizilmiş bina mesnetlerine gelen kesme kuvvet değerleri hesaplanmıştır ve sonuçları Şekil 3.31'de gösterilmiştir. Aynı şekilde tekli bina içinde hesaplar yapılmış ve sonuçları Şekil 3.30'da gösterilmiştir.



Şekil 3.30. Bina yüksekliği 100m için tekli bina tabanına gelen kesme kuvvet değerleri.

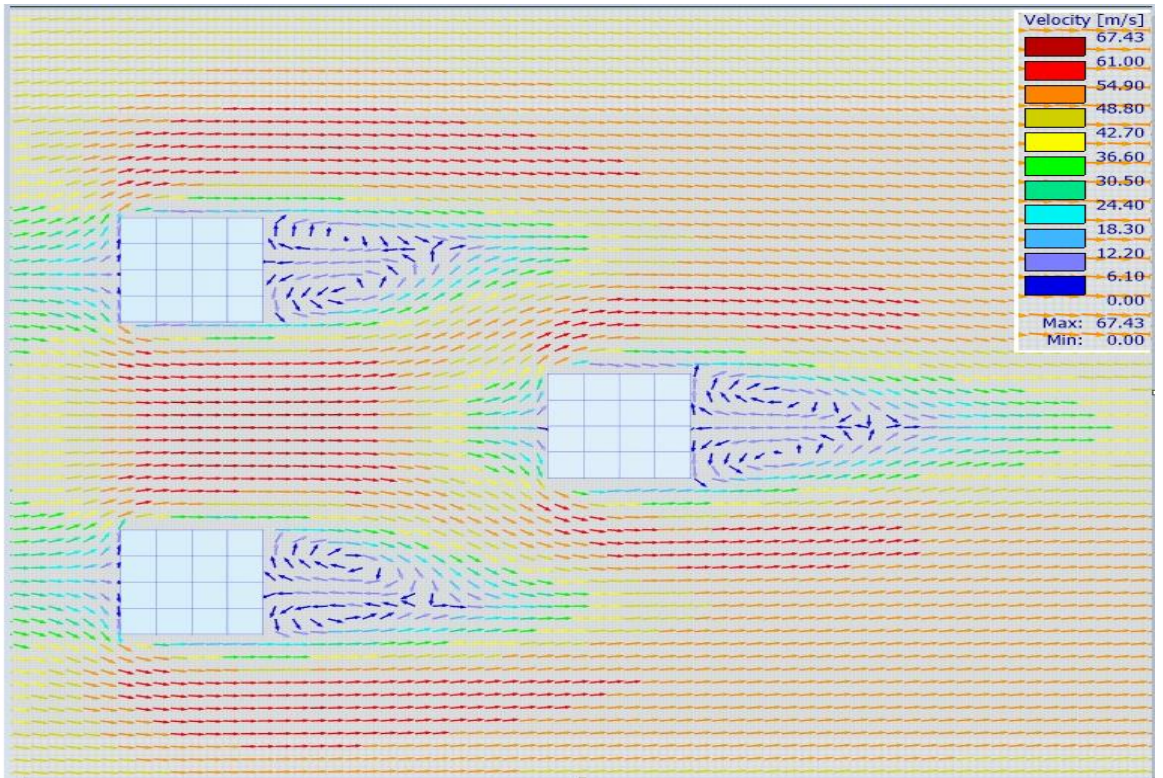


Şekil 3.31. Üçgenel dizilmiş bina $S1 = 25\text{m}$ ve $H = 100\text{m}$ için bina tabanına gelen kesme kuvvet değerleri.

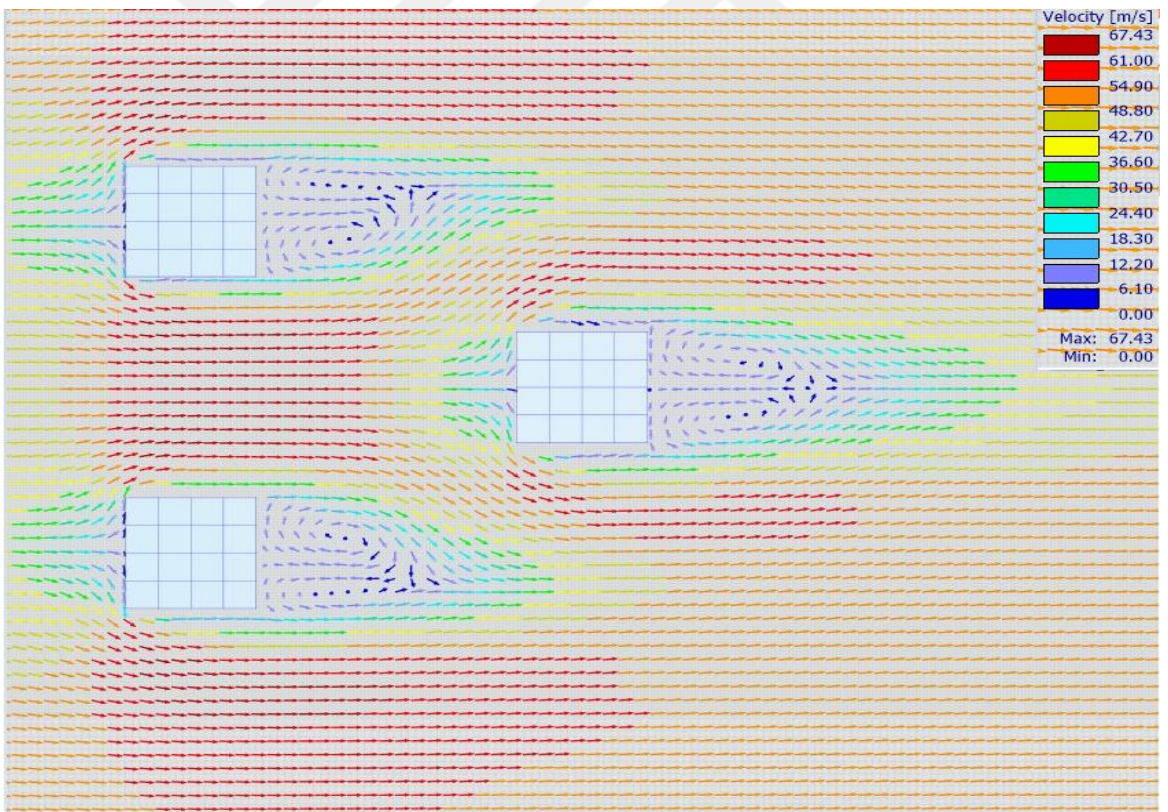
Tekli binanın taban kesme kuvveti değerleri Şekil 3.30'da görüldüğü üzere $F_y = 1525,71\text{kN}$ ve $F_y = 1525,57\text{kN}$ olarak hesaplanmıştır. Binanın etrafında herhangi bir engelleyici veya etkileşime neden olacak bina bulunmadığından kesme kuvveti değerleri simetrik bir dağılım göstermektedir.

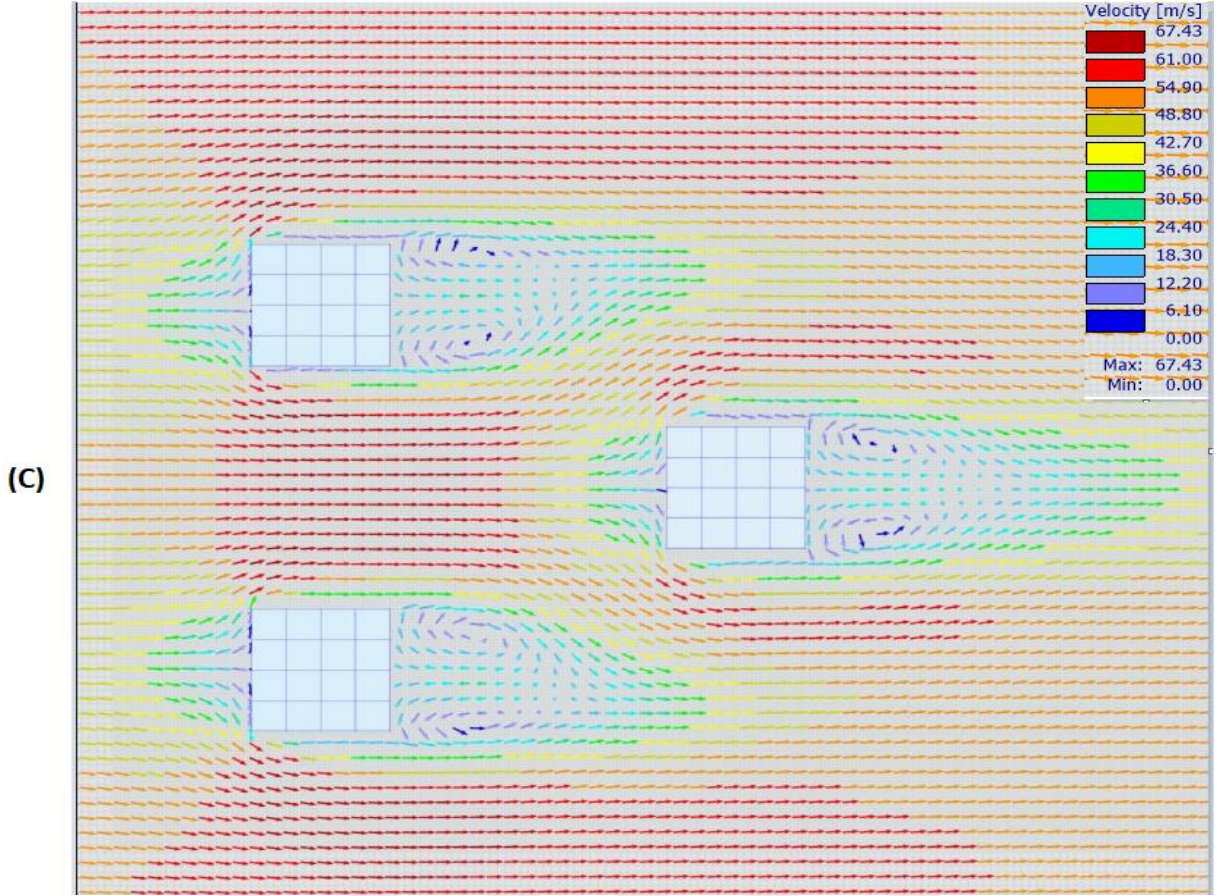
Ancak üçgenel dizilim için binalar arası etkileşimden dolayı aynı durumu söylemek mümkün değildir. İki bina arasından geçen rüzgârın akış alanı azaldığından rüzgâr hızında artış meydana gelmiştir (Şekil 3.32). Artan hızdan dolayı engelleyici binaların (1 ve 2 numaralı binalar) birbirine bakan yüzeyleri arasında etkileşim artmıştır. Bu nedenle, Şekil 3.31'de görüldüğü üzere engelleyici binaların $-F_y$ ve $+F_y$ değerlerinin birbirinde farklı olduğu görülmüştür. Engelleyici binalar arasındaki mesafe ($S1$ mesafesi) artıçça, binalar arası etkileşimde azalmıştır. Azalan etkileşimden dolayı engelleyici binalara gelen rüzgâr yük değeri azalmıştır (Çizelge 3.10).

(a)



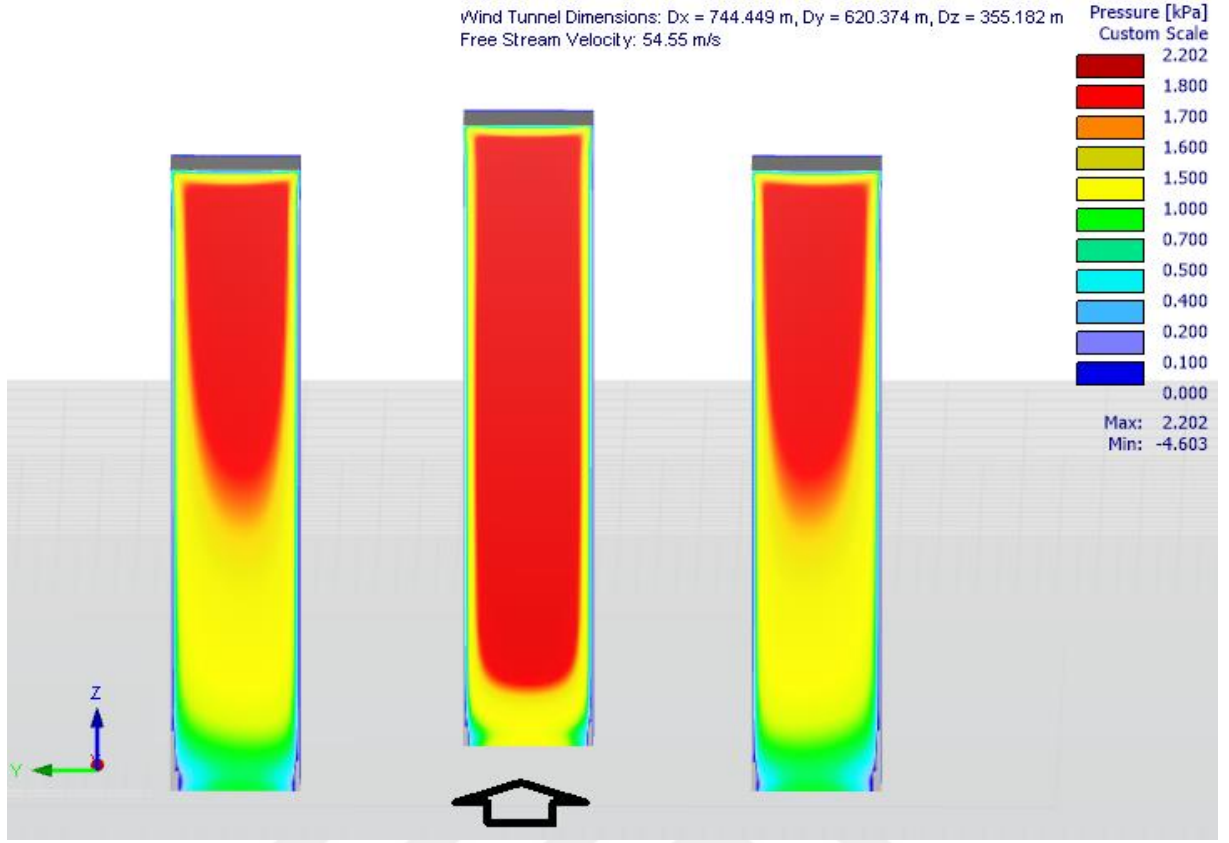
(b)





Şekil 3.32. 100m'lik bina için (a) alt kısım, b) orta kısım ve c) üst kısımda bina ve çevresini etkileyen rüzgâr hız vektörlerin dağılımı.

Diğer bir husus ise ana bina ön yüzeyinde basıncın en fazla etki alanının binanın üst kısmında meydana gelmesidir. Bina yüksekliği 100m için bakıldığında, tünel etkisinde dolayı binanın alt kısmında hız vektörü binanın üst kısmına doğru yüksekliğinde hız değişiminde artış olduğu görülmüştür.



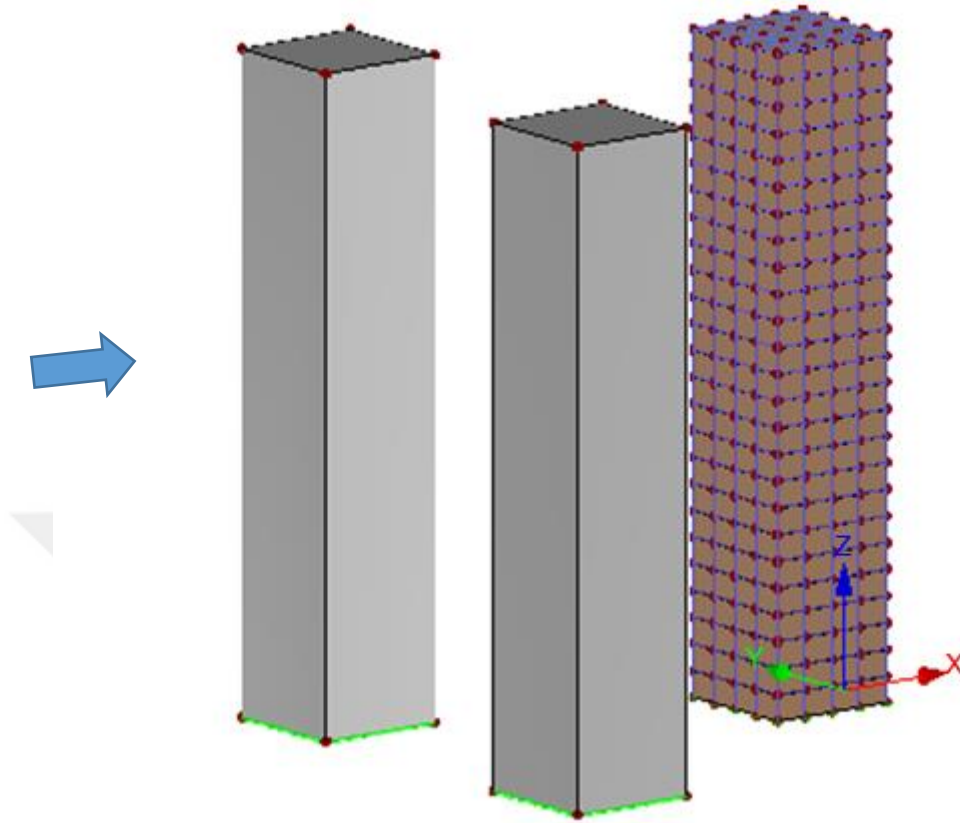
Şekil 3.33. Bina yüksekliği 100m için üçgensel dizilmiş binaların ön yüzündeki basınç dağılımı.

Şekil 3.33’de görüldüğü üzere artan hızdan dolayı binanın üst kısmında basınç etki alanı ve şiddeti artış göstermiştir. Binanın üst kısmında rüzgâr yük etkilerinin daha fazla olması nedeniyle, bina tabanında oluşan moment değerleri de doğal olarak yükseklikle artış gösterir.

3.2.2. Üçgensel dizilmiş bina Kombinasyonları ile Tekli Bina Sonuçlarının Karşılaştırılması

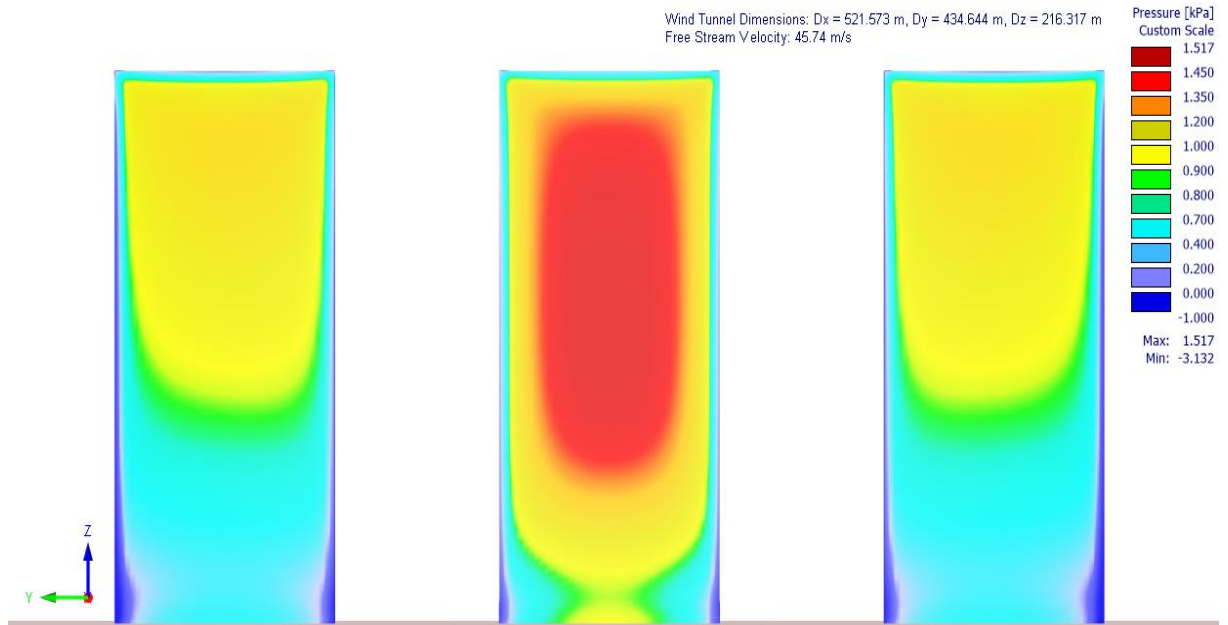
Bölüm 3.2.1’de yapılan analizlerde öndeki engelleyici binadan dolayı ana binada gerçekleşen en olumsuz koşul hesaplanmıştır. En olumsuz koşullar bina yüksekliği 100m için $S1= 25m$, bina yüksekliği 72m ve 44m için $S1= 15m$ de gerçekleşmiştir. Bu $S1$ değerleri için bina yüksekliği 44m, 72m ve 100m için statik analiz yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Ayrıca, en olumsuz koşulda ana bina (3 numaralı bina) ile tekli binanın karşılaştırılması yapılabilmesi için üçgensel dizilimde yer alan 3 numaralı bina ile tekli bina modeli aynı şekilde tasarlanmıştır. Şekil 3.34’de tasarlanan bina modelleri gösterilmiştir.

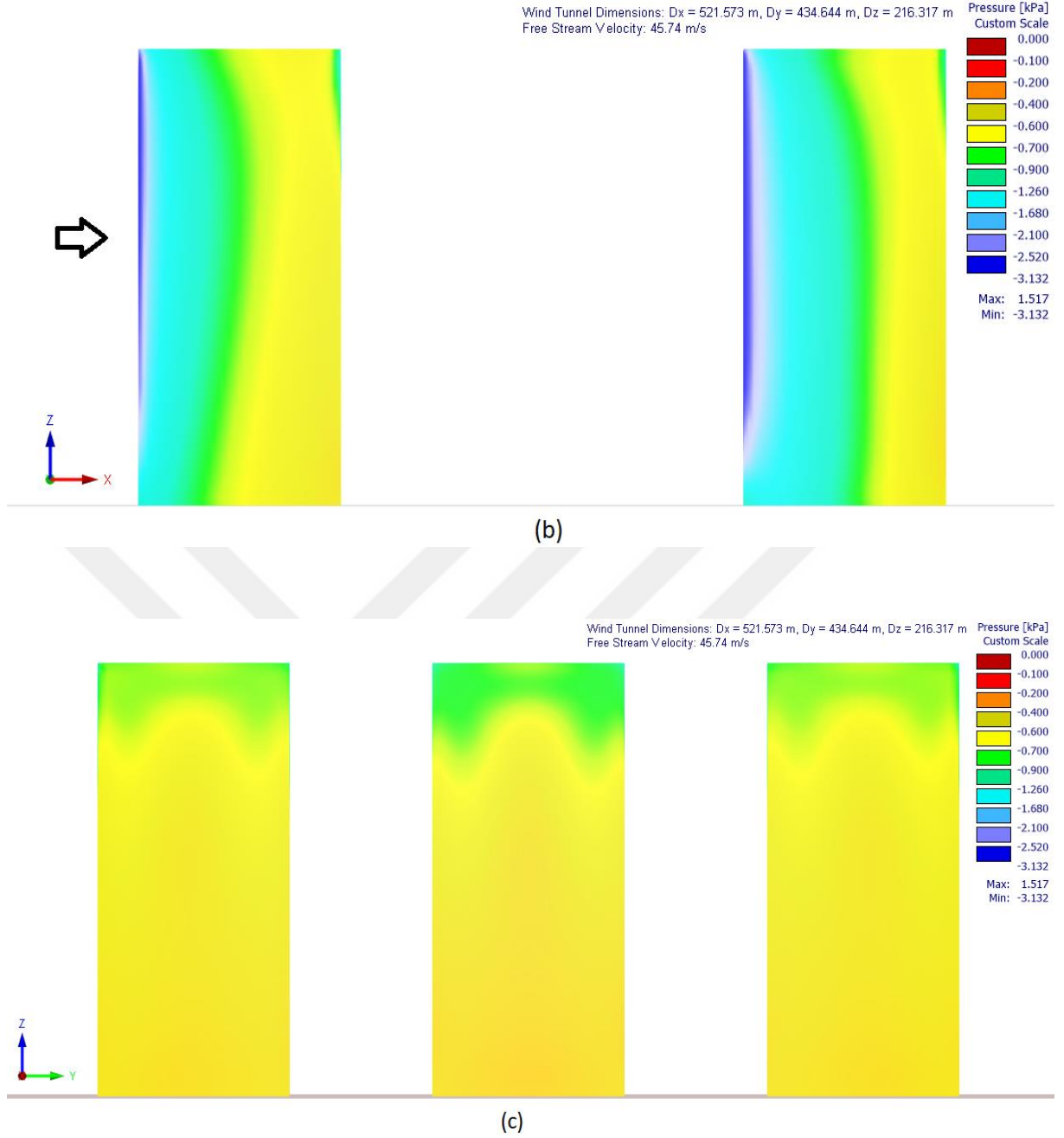


Şekil 3.34. Bina yüksekliği 100m için üçgensel dizilmiş bina modelleri.

Bina yüksekliği 44m için en olumsuz koşulun görüldüğü durum için üçgensel dizilmiş binaların basınç ve emme değerleri Şekil 3.35’de gösterilmiştir.



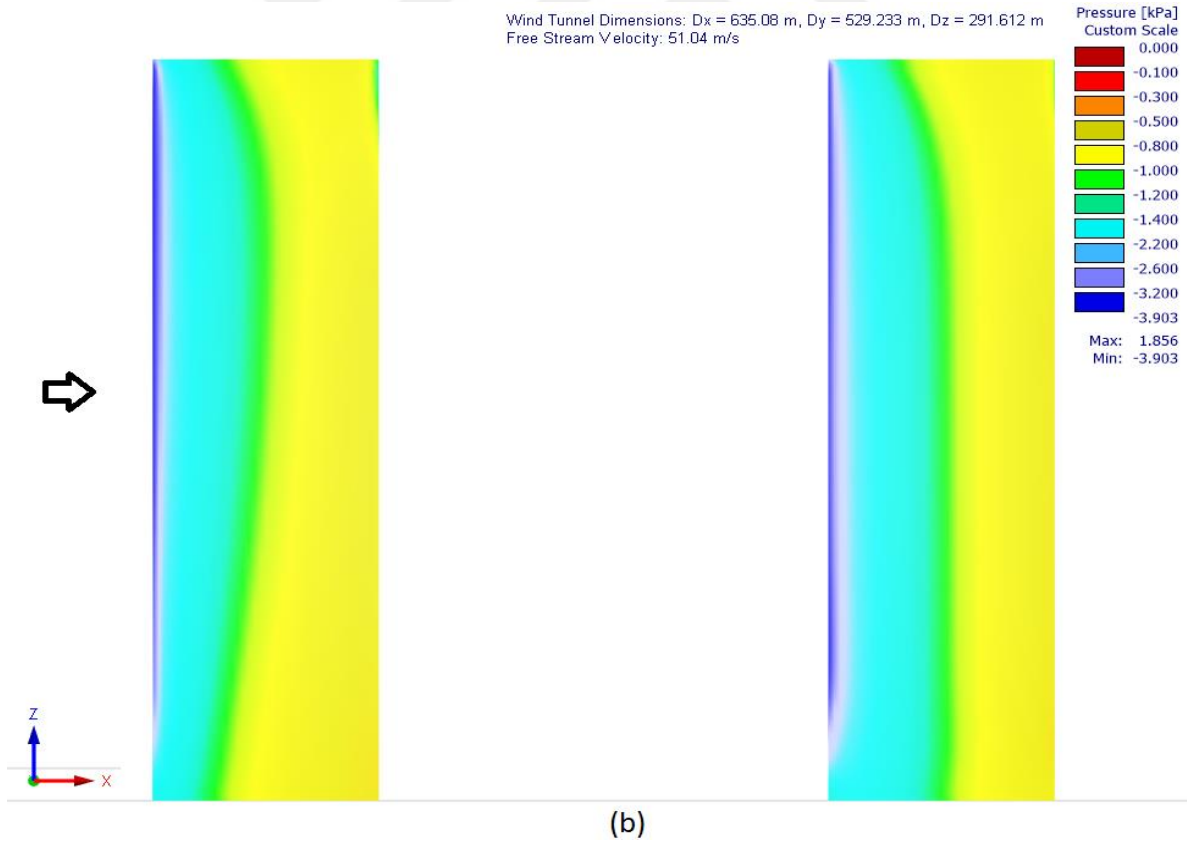
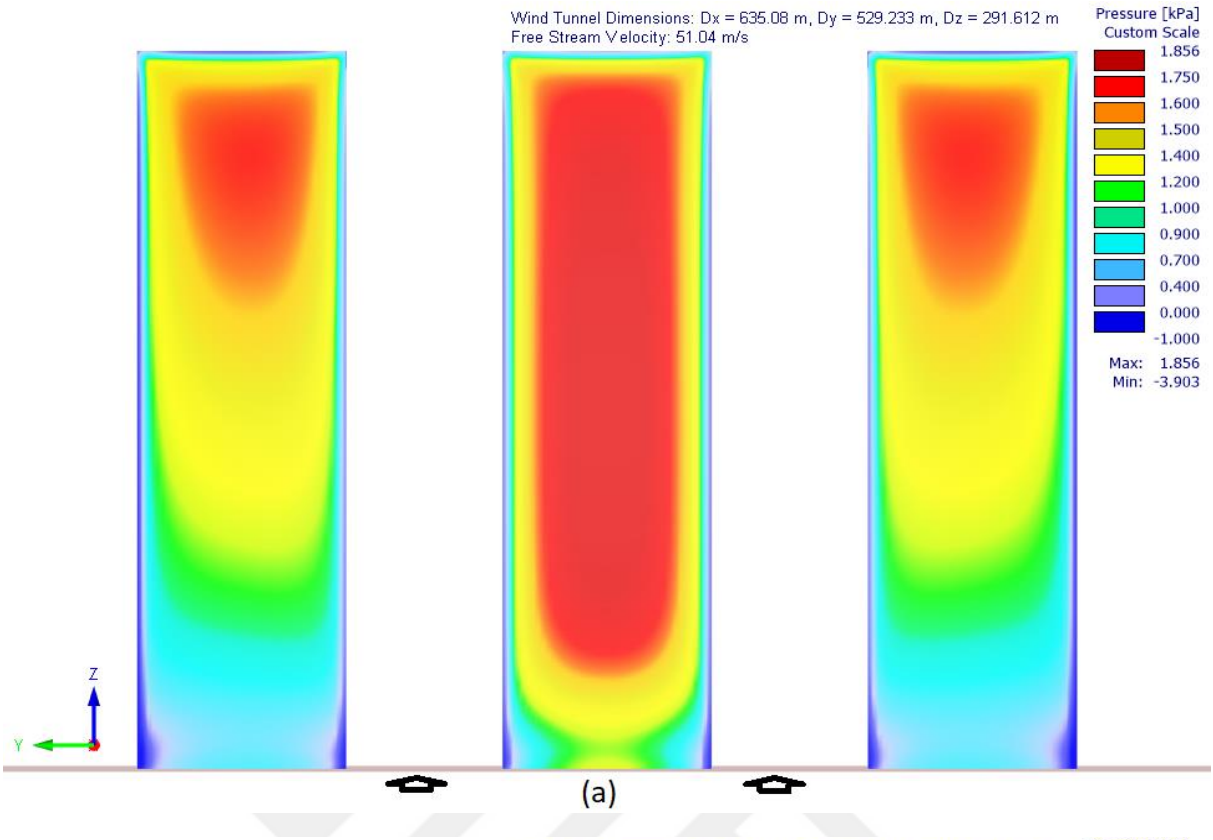
(a)

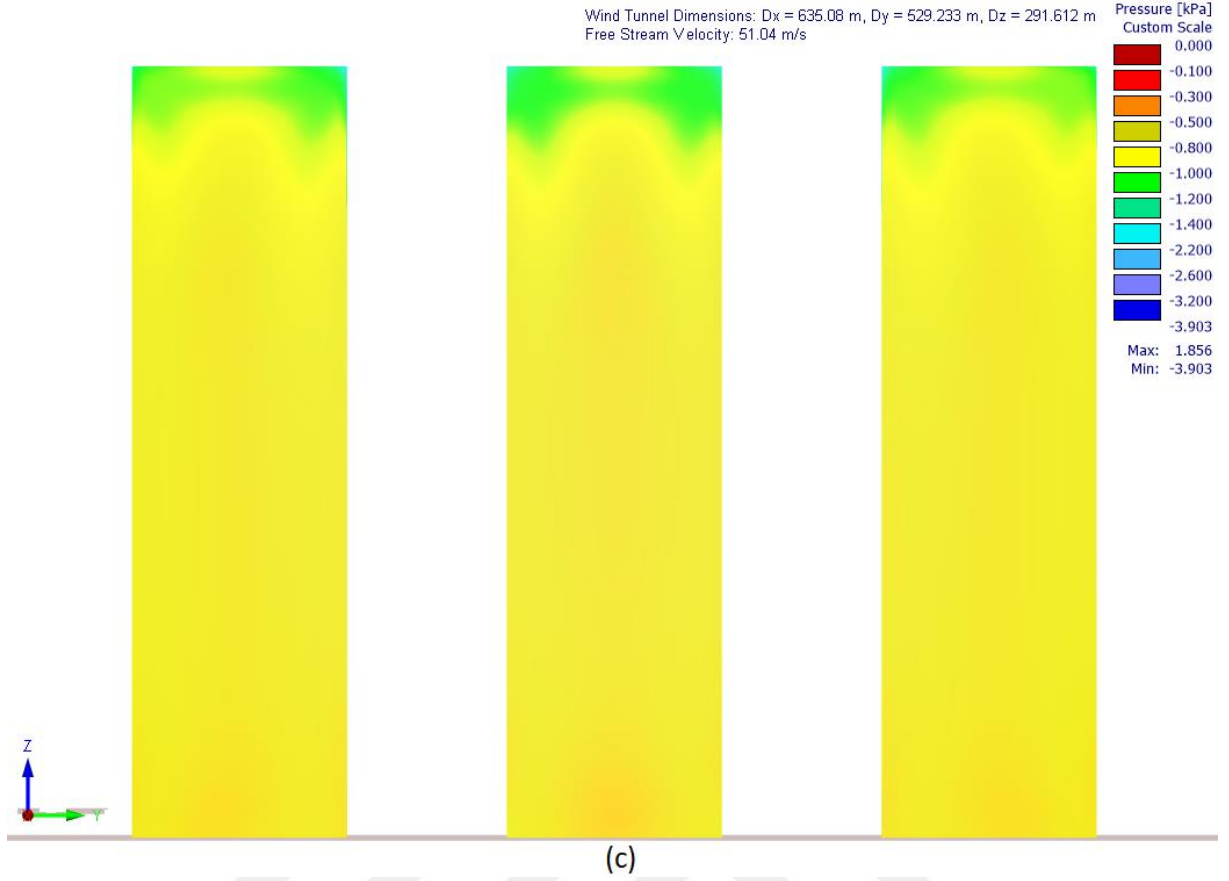


Şekil 3.35. Üçgenel dizilmiş binalarda 44m bina yüksekliği için bina (a) ön yüzey (b) yan yüzey ve (c) arka yüzey basınç dağılımı.

Analiz sonucuna bakıldığında, engelleyici binaların yarattığı tünel etkisi ve türbülans dolaylı en arkadaki binanın tüm yüzeylerinde en olumsuz basınç koşulları oluşmuştur. Özellikle, Şekil 3.35a'de görüldüğü üzere, en arka binanın ön yüzeyindeki basınç dağılımı ön binadaki basınç dağılımına kıyasla daha yüksektir ve daha geniş bir alana yayılmıştır.

Benzer biçimde, yüksekliği 72m olan binada en olumsuz koşulun görüldüğü S1 aralığı için analiz edilmiştir. Analiz sonucunda üçgenel dizilmiş binaların basınç ve emme değerleri Şekil 3.36'de gösterilmiştir.

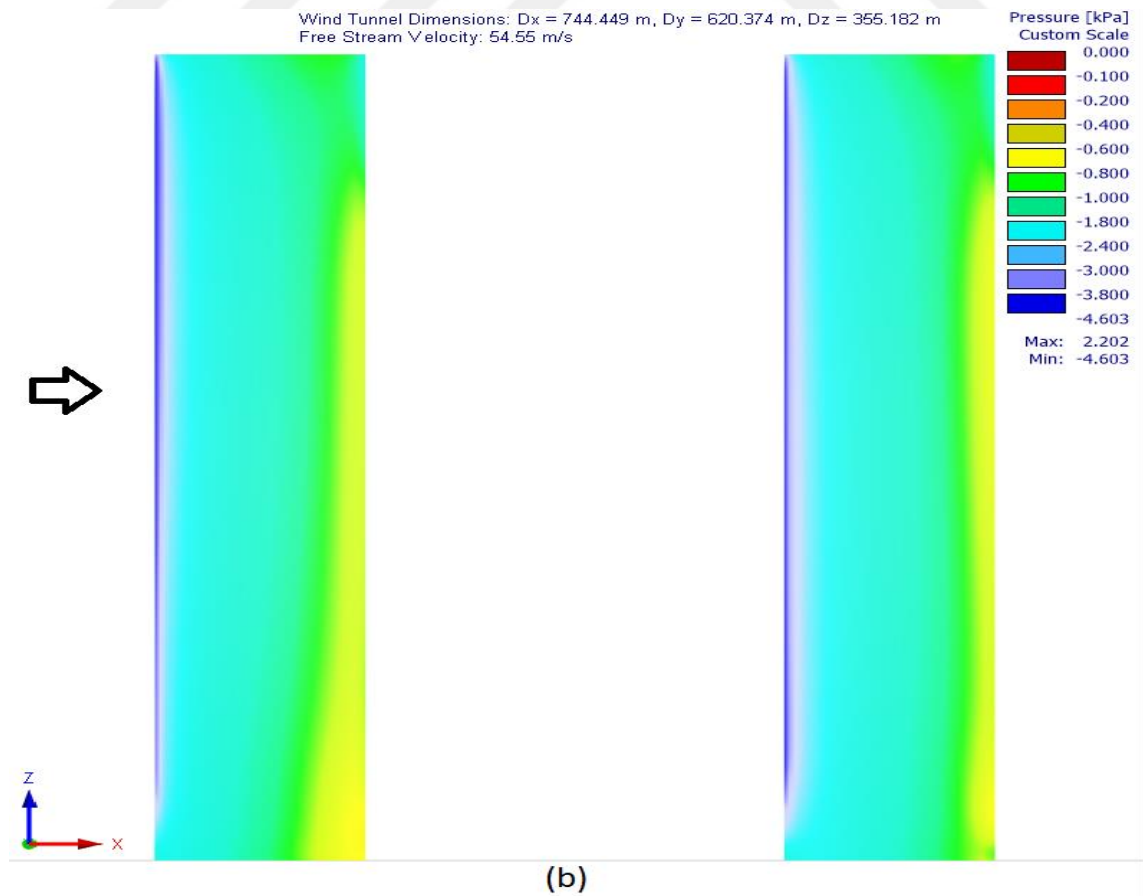
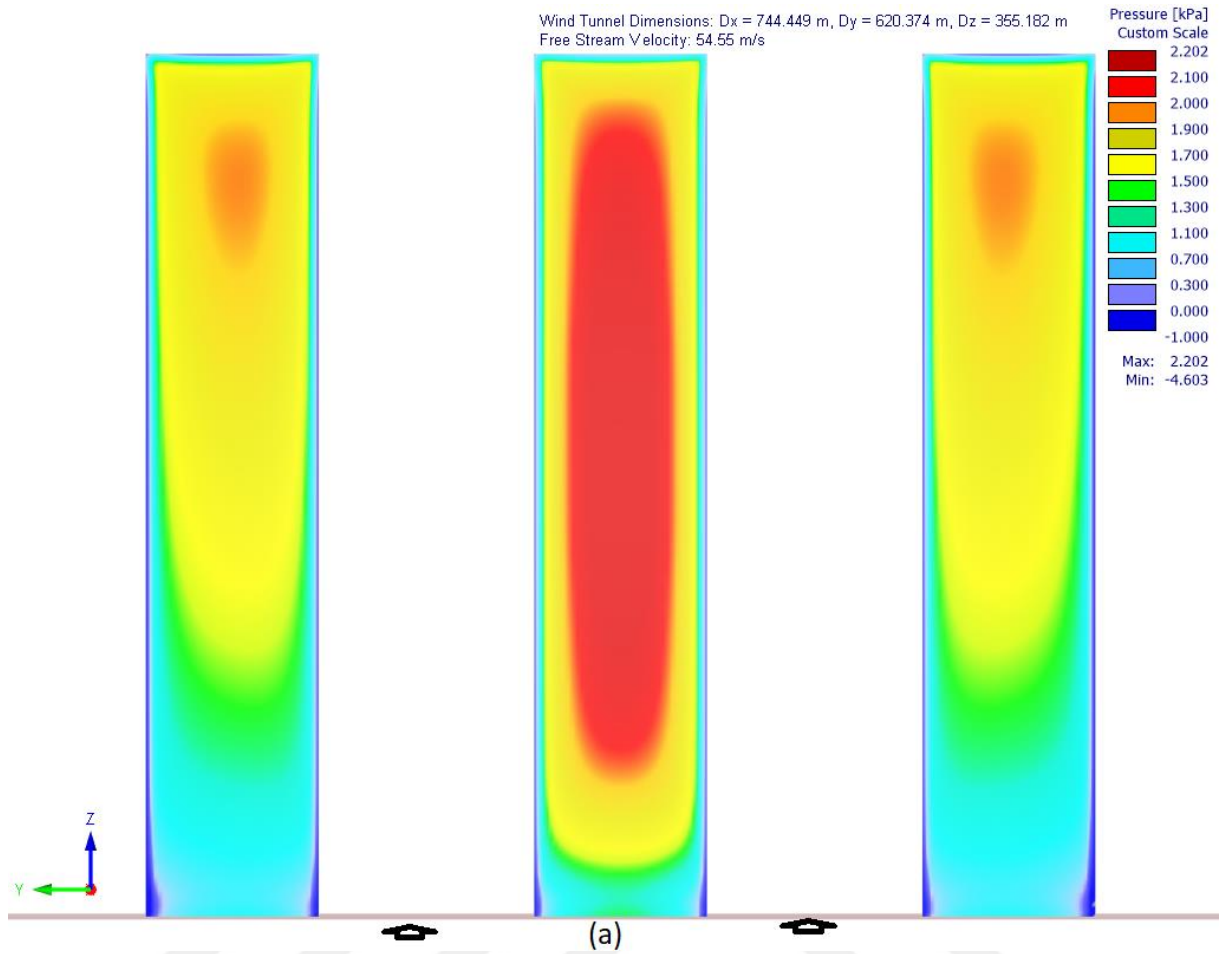


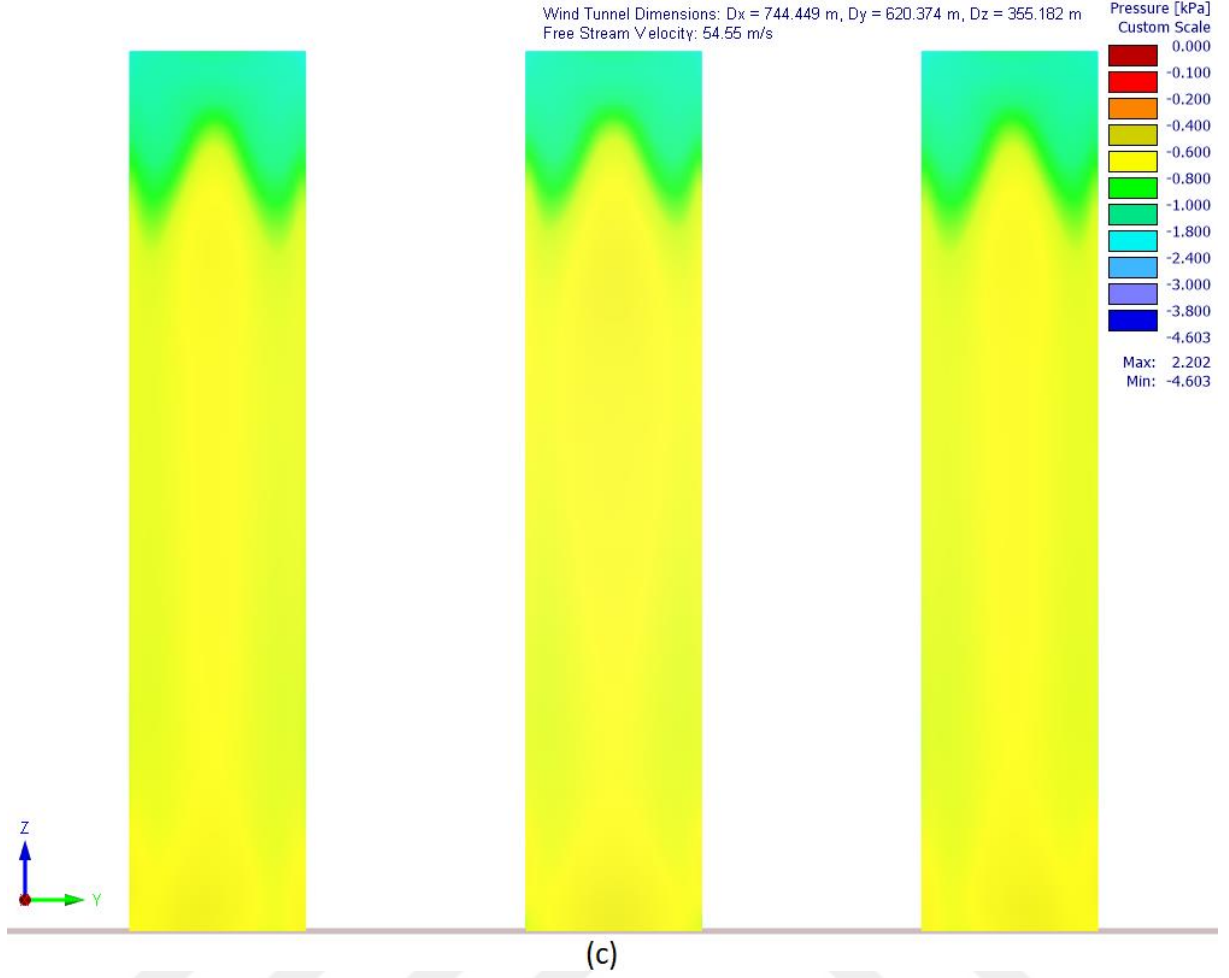


Şekil 3.36. Üçgensel dizilmiş binalarda 72m bina yüksekliği için bina ön yüzey basınç dağılımı (a), bina yan yüzey emme dağılımı (b) ve bina arka yüzey emme dağılımı (c).

Sonuçlara bakıldığında bina yüksekliği 44m ile benzer sonuçlar olduğu görülmüştür. Binaların ön yüzeyde basınç değerleri, ana binada (3 numaralı bina) daha yüksek ve geniş alana yayıldığı görülmüştür (Şekil 3.36a). Yan yüzeylerde emme değerleri ana binada (3 numaralı bina) biraz daha fazla olduğu görülmüştür (Şekil 3.36b). Binaların arka yüzeylerinde ise emme değerlerinde benzer sonuçlar görülmüştür (Şekil 3.36c).

Bina yüksekliği 100m için en olumsuz koşulun görüldüğü durumda analiz edilmiştir. Analiz sonucunda basınç ve emme değerleri Şekil 3.37'de gösterilmiştir.





Şekil 3.37. Üçgensel dizilmiş binalarda 100m bina yüksekliği için bina ön yüzey basınç dağılımı (a), bina yan yüzey emme dağılımı (b) ve bina arka yüzey emme dağılımı (c).

Bina yüksekliği 100m için basınç ve emme dağılımına bakıldığında diğer bina yükseklikleri ile benzer durumlar meydana gelmiştir. Ayrıca, bina yüksekliği arttıkça binanın üst kısmındaki yüksek basınç alanı artmaktadır (Şekil 3.37a). Binaların yan yüzeylerine bakıldığında, emme basınçları az olsa da ana binadan daha fazla gerçekleşmiştir (Şekil 3.37b). Üçgensel dizilmiş binaların arka kısmına bakıldığında, emme değerleri birbirine yakın olduğu görülmüştür (Şekil 3.37c). Sonuç olarak, tüm bina yükseklikleri için en arkadaki binada rüzgâr yükü açısından en olumsuz koşullar meydana gelmiştir.

En olumsuz koşulda bina tabanında oluşan kesme kuvveti ve moment değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler tekli bina değerleri ile karşılaştırılmıştır ve sonuçları Çizelge 3.11'de verilmiştir. Karşılaştırma yapılırken en yüksek değerlerin hesaplandığı x yönünde meydana gelen kesme kuvveti ve y eksenini etrafındaki moment değerleri dikkate alınmıştır.

Çizelge 3.11. Üçgenel dizilmiş binalar ve tekli binanın bina tabanına oluşan kesme kuvvet değerleri.

Üçgenel dizilmiş bina analiz sonuçları (h=44m ve S3=20m, S2=40m, S1=15m)		Tekli bina analiz sonuçları(h=44m)	
3 nolu bina (ana bina)		Tekli bina	
Fx (kN)	My (kNm)	Fx (kN)	My (kNm)
1559,80	38332,97	1105	30799,80
Üçgenel dizilmiş bina analiz sonuçları (h=72m ve S3=20m, S2=40m, S1=15m)		Tekli bina analiz sonuçları(h=72m)	
3 nolu bina (ana bina)		Tekli bina	
Fx (kN)	My (kNm)	Fx (kN)	My (kNm)
3201,75	122503,25	2416	101166,90
Üçgenel dizilmiş bina analiz sonuçları (h=100m ve S3=20m, S2=40m, S1=25m)		Tekli bina analiz sonuçları(h=100m)	
3 nolu bina (ana bina)		Tekli bina	
Fx (kN)	My (kNm)	Fx (kN)	My (kNm)
5285,40	275836,44	3756,3	214473,75

Üçgenel dizilmiş bina kombinasyonunda yer alan ana bina (3 numaralı bina) en olumsuz koşulda analiz edilerek, bina ağırlığı hesaplanmıştır. Hesaplanan ana bina ağırlığı ile tekli bina ağırlık değerleri Çizelge 3.12’de verilmiştir.

Çizelge 3.12. Üçgenel dizilmiş ve tekli binaların RWIND programında alınan rüzgâr yük değerlere göre boyutlandırılmış toplam bina ağırlık değerleri.

Bina yüksekliğe bağlı bina ağırlıkları(ton) değerleri			
	H=44m	H=72m	H=100m
Ana bina (3 nolu bina)	133,5	383,8	659,9
Tekli bina	124,6	347,7	584,5

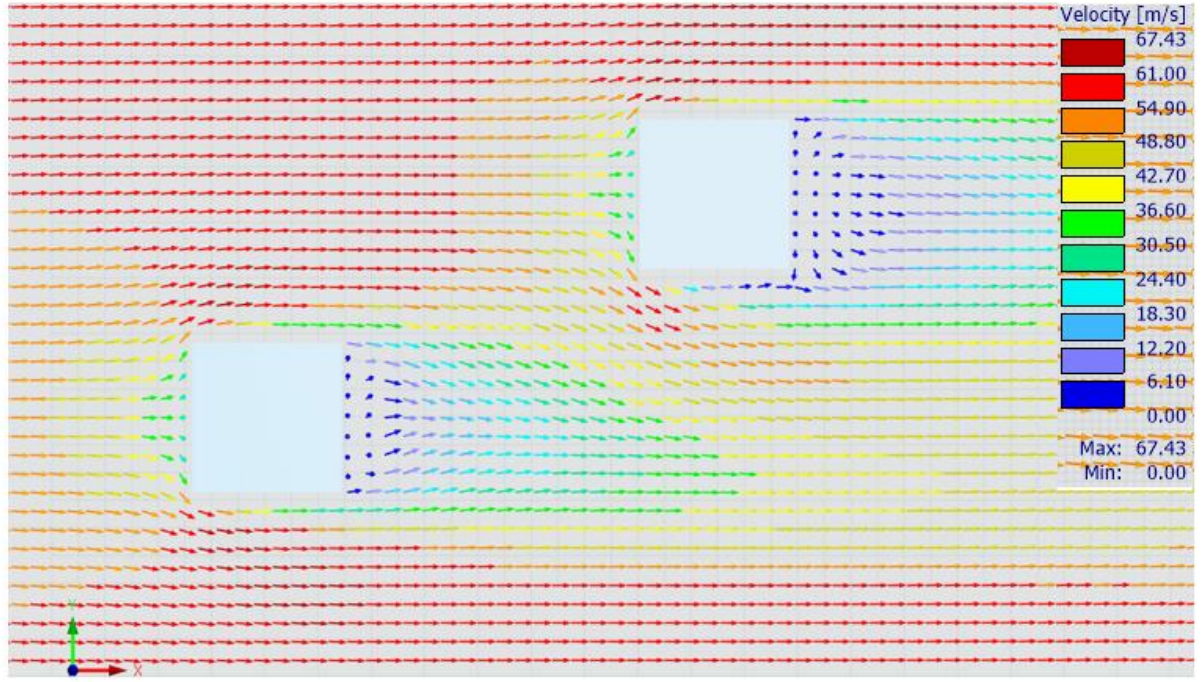
Sonuçlara bakıldığında ana bina da (3 nolu bina) en olumsuz koşulda oluşan Fx değerleri, tekli binaya göre daha fazla olduğu görülmüştür. Bu değerler bina yüksekliği 44m için yaklaşık olarak %41, 72m için %32 ve 100m için %40 olarak bulunmuştur. Taban moment değerlerine bakıldığında bina yüksekliği 44m %24, 72m için %21 ve 100m için %28,6 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3.11 'de verilen yük değerleri ile hem tekli hem de üçgenel dizilmiş binalarda yer alan 3 nolu bina boyutlandırılarak en uygun kolon ve kiriş kesit değerleri bulunmuştur. Öncelikle, tekli binaların kolon ve kirişleri boyutlandırılarak en uygun kesit değerleri ile bina ağırlıkları hesaplanmıştır. Daha sonra tekli binaların konumunu değiştirmeden önüne engelleyici iki bina (1 ve 2 nolu bina) konularak üçgenel dizilmiş bina haline getirilmiş ve aynı kesit değerleri ile tekrar boyutlandırılarak yeni kesitler ve bina ağırlık değerleri bulunmuştur. 3 nolu binada kolon ve kiriş kesit ebatları tekli binadaki kolon ve kiriş kesitlerine nazaran daha büyük değerler çıkmıştır. Bu kesitler bina yüksekliği 44m için %30,3 (EK-1), bina yüksekliği 72m için %35,95 (EK-2) ve 100m için %18,50 (EK-3) olarak artış sağladığı görülmüştür.

3.3. Ardı Sıra Yerleştirilmiş Binaların İncelenmesi

Bu kısımda ardı sıra şeklinde yerleştirilmiş üç bina üzerinde durulmuştur. Binaların ebatları ve yüksekliği aynıdır. Üçgenel dizilmiş bina modelleri gibi ilk önce basit binalar (prizmatik katı model) üzerinde çalışmalar yapılmıştır. RWIND simülasyon programı analiz sonuçlarına göre binaların birbiriyle olan etkileşimi incelenmiştir. Ardı sıra binaların birbiriyle olan mesafelerine göre hangi koşulda rüzgâr yükü en fazla oluşturduğu ve hangi binaya daha fazla etki ettiği gözlemlenmiştir. Ardı sıra binalarda en olumsuz koşulda rüzgâr yükü değerini en fazla alan bina ile tekli binaların rüzgâr yük değerleri ile karşılaştırılması hedeflenmiştir. Ardı sıra binalarda en fazla rüzgâr yüküne maruz kalan bina boyutlandırılarak bina ağırlığı hesaplanması amaçlanmıştır.

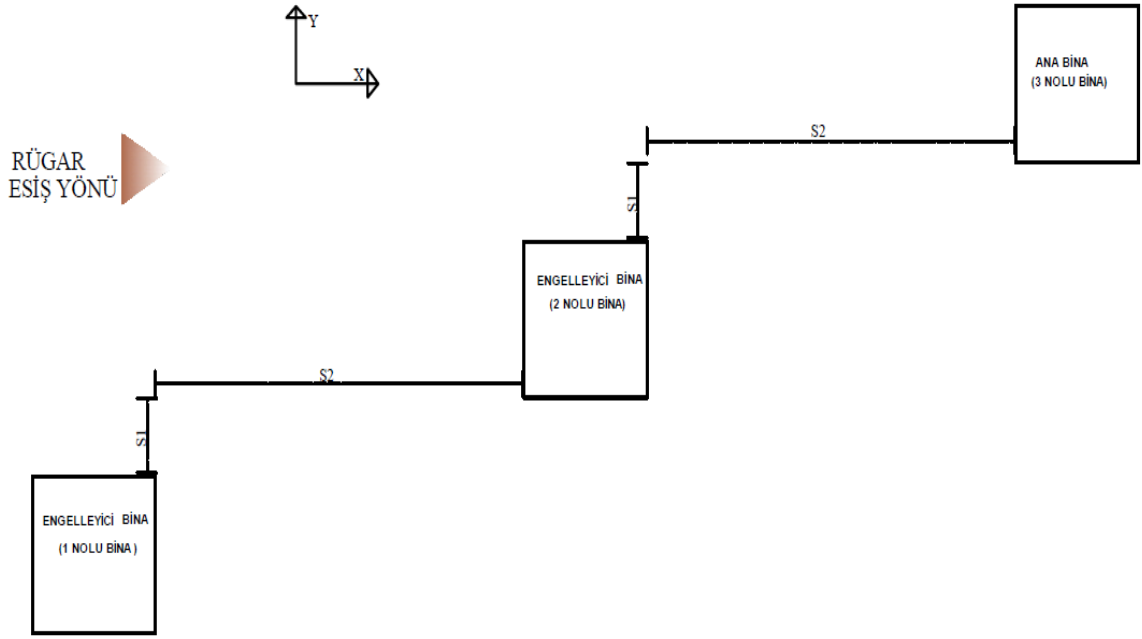
RWIND programında tekli bina analiz sonucuna bakıldığında, rüzgârın esiş yönüne dik yüzeylere çarpan rüzgâr hız vektörleri binanın yan kısımlarına yoğun bir şekilde akmaktadır. Bu sebeple bina yan kısımlarında rüzgâr hızını artması binanın yan arka kısmında bir yâda iki tane daha binanın olması durumunda (Şekil 3.38), bu binaların daha fazla rüzgâr etkilerine maruz kalacağı düşünülmüştür.



Şekil 3.38. RWIND programında analiz sonucunda ardı sıra binalarda meydana gelen rüzgâr hız vektörünü üstten görünüşü.

Bu nedenle ardı sıra üç tane bina olması durumunda, öndeki binalardan dolayı en arkada yer alan binanın daha fazla rüzgâr etkilerine maruz kaldığı görülmüştür. Bu sebeple ardı sıra şeklinde yerleştirilmiş üç bina incelenmiştir.

Ardı sıra dizilmiş binalar, öndeki iki bina engelleyici bina, arkadaki bina ise ana bina olarak isimlendirilmiştir. Öndeki iki bina y ekseninde belirli mesafelerde yer değiştirilerek en olumsuz koşullar araştırılmıştır. Araştırma sonucunda ana bina üzerinde rüzgâr etkileri hesaplanmış ve incelenmiştir. Ardı sıra dizilmiş bina planı Şekil 3.39’da verilmiştir.



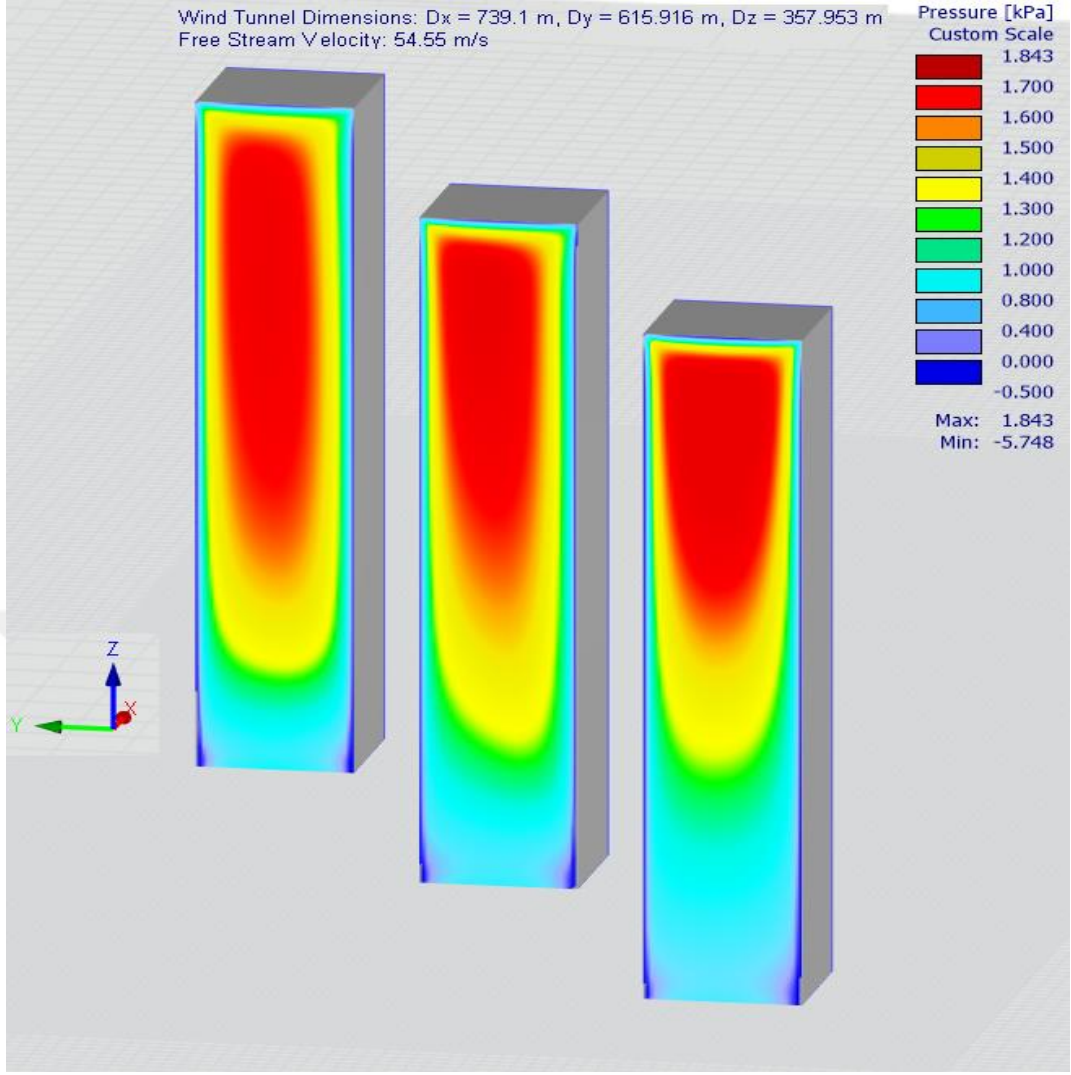
Şekil 3.39. Ardı sıra dizilmiş binaların plan üzerinde görünümü.

Plan üzerinde ardı sıra binaların y eksenini yönünde birbiriyle olan mesafesi S_1 ile gösterilmiştir. x eksenini yönünde binaların birbiriyle olan mesafesi ise S_2 olarak verilmiştir. Yapılacak tüm analizlerde S_2 mesafesi sabittir ve S_1 mesafesi farklı değerler olarak değişkenlik gösterecektir.

3.3.1. Ardı Sıra Binalar İçin En Olumsuz Koşulun Belirlenmesi

Bu kısımda ardı sıra şeklinde yerleştirilen binaların en olumsuz koşulu tespit edilmiştir. En olumsuz koşul, binalar arası y eksenini yönünde S_1 mesafesine farklı değerler verilerek belirlenmiştir. Belirlenen en olumsuz koşullar bölüm 3.3.2’de detaylı olarak analiz edilecektir.

RWIND simülasyon programında analiz edilen ardı sıra binaların basınç dağılımını Şekil 3.40’da gösterilmiştir. Burada hesaplanan rüzgâr yük değerleri RFEM programına aktarılarak statik analiz yapılmıştır.



Şekil 3.40. RWIND programında ardı sıra binaların analiz sonucunda bina ön yüzeyinde oluşan basınç dağılımı.

Ardı sıra binalarda yapılan tüm analizlerde rüzgâr esiş yönü x yönünde alınmıştır. Diğer bir husus ise tüm analizlerde $S_2 = 40$ m değeri almıştır ve bu değer sabit kalmıştır. S_1 mesafesi ise $S_1=10$ m, $S_1=15$ m, $S_1=20$ m, $S_1=25$ m, $S_1=30$ m ve $S_1=35$ m değerleri olarak alınmıştır. Yapılan analiz sonucunda, bina tabanına gelen toplam kesme kuvvet ve moment değeri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler Çizelge 3.13, Çizelge 3.14 ve Çizelge 3.15 de verilmiştir.

Çizelge 3.13. Ardı sıra binaların tabanında oluşan toplam kesme kuvvetleri ve toplam momentleri değerleri.

Ardı sıra binalar analiz sonuçları (h=44m S2=40m, S3=20m)							
Uzunluk(m)		F_x (kN)	F_y (kN)	F_z (kN)	M_x (kNm)	M_y (kNm)	M_z (kNm)
S1=10m	1 nolu bina	993,53	-98,38	332,35	2006,13	26078,61	178,8
	2 nolu bina	1066,88	-200,88	338,17	4218,73	27029,53	172,83
	3 nolu bina	1194,03	-113,31	351,97	2615,56	29983,74	-76,55
S1=15m	1 nolu bina	1001,09	-82,26	320,49	1705,26	26598,08	63,46
	2 nolu bina	980,96	-179,58	337,72	4032,13	5896,12	-15,22
	3 nolu bina	1052,88	-95,02	337,88	2566,95	27164,7	-398,13
S1=20m	1 nolu bina	1010,33	-95,25	324,42	1925,7	26730,32	143,73
	2 nolu bina	1008,41	-192,6	343,94	4283,27	26848,07	102,28
	3 nolu bina	1063,17	-107,88	346,99	2666,45	27356,32	-134,85

Çizelge 3.14. Ardı sıra binaların tabanında oluşan toplam kesme kuvvetleri ve toplam momentleri değerleri.

Ardı sıra binalar analiz sonuçları (h=72m S2=40m, S3=20m)							
Uzunluk(m)		F_x (kN)	F_y (kN)	F_z (kN)	M_x (kNm)	M_y (kNm)	M_z (kNm)
S1=10m	1 nolu bina	2106,07	-237,57	438,74	7710,48	87802,64	557,17
	2 nolu bina	2198,75	-480,81	443,63	16163,7	87877,41	142,14
	3 nolu bina	2374,13	-196,48	444,18	7467,88	93835,74	-565,23
S1=15m	1 nolu bina	2200,22	-276,29	455,7	8817,05	91941,92	303,94
	2 nolu bina	2342,17	-460,1	452,48	15720,43	93901,77	343,02
	3 nolu bina	2485,69	-316,42	453,51	11775,8	98079,67	238,7
S1=20m	1 nolu bina	2196,39	-202,31	447,12	6418,4	92581,86	-143,34
	2 nolu bina	2214,94	-372,15	473,51	8993,64	92002,37	-188,33
	3 nolu bina	2235,24	-221,27	472,36	8993,64	91852,33	-238,9

S1=25m	1 nolu bina	2224,42	-191,26	449,32	5886,05	93854,18	-171,57
	2 nolu bina	2232,89	-378,54	478,22	13402,51	92411,49	222,81
	3 nolu bina	2268,34	-207,9	472,98	8576,37	95068,73	-30,39

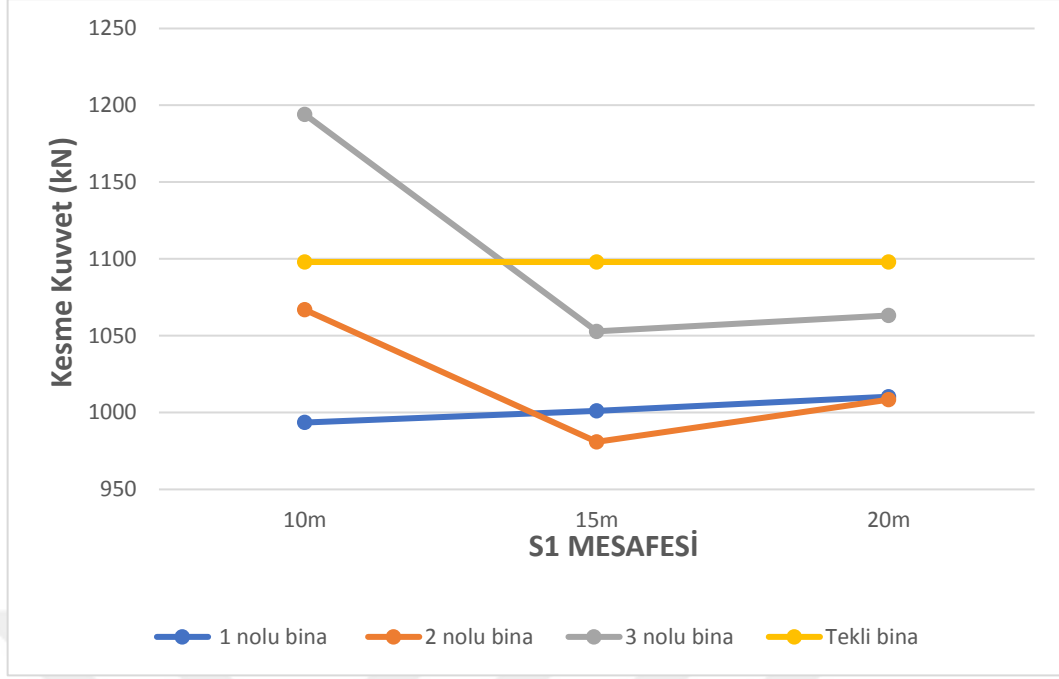
Çizelge 3.15. Ardı sıra binaların tabanında oluşan toplam kesme kuvvetleri ve toplam momentleri değerleri.

Ardı sıra binalar analiz sonuçları (h=100m S2=40m, S3=20m)							
Uzunluk(m)		F_x (kN)	F_y (kN)	F_z (kN)	M_x (kNm)	M_y (kNm)	M_z (kNm)
S1=10m	1 nolu bina	3456,82	-245,46	493,95	10781,93	199032,64	99,92
	2 nolu bina	3357,77	-73,61	531,09	3504,97	190959,89	-3888,8
	3 nolu bina	3521,14	0,29	553,26	2541,26	199942,98	-4835,3
S1=15m	1 nolu bina	3584,48	-409,53	511,51	17640,94	204422,95	342
	2 nolu bina	3774,73	-605,86	529,88	28935,62	206435,2	-613,36

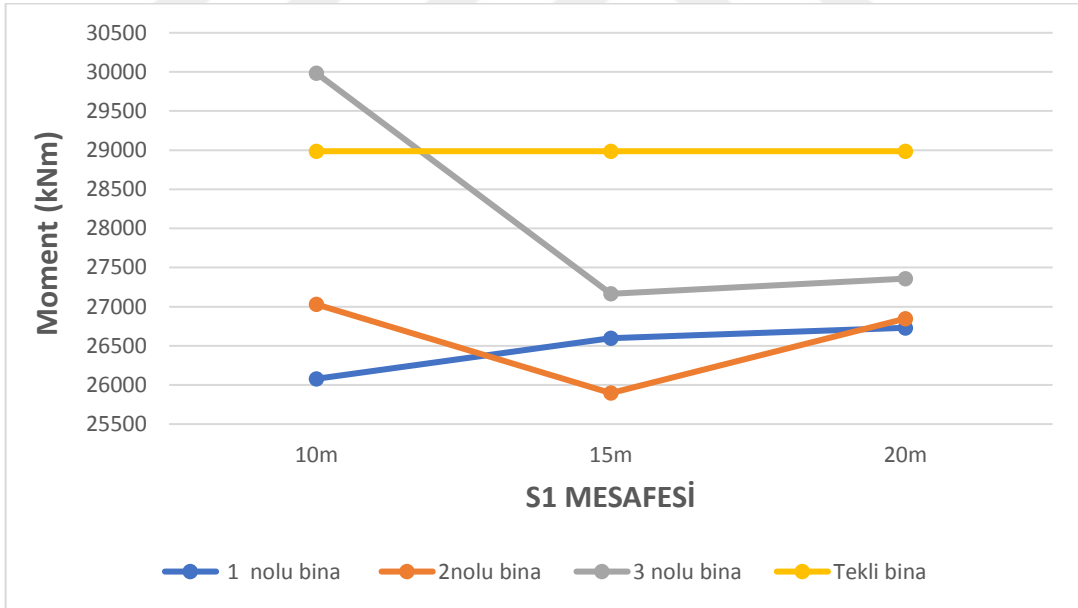
	3 nolu bina	3888,66	-367,53	530,8	20142,12	210076,53	-954,91
	1 nolu bina	3652,05	-425,28	525,71	18515,83	207575,97	848,56
S1=20m	2 nolu bina	3889,79	-667,05	524,97	31463,07	212725,58	341,07
	3 nolu bina	4077,97	-179,66	535,5	11263,31	219519	-461,57
	1 nolu bina	3663,01	-380,37	517,65	16159,6	207797,82	7,2
S1=25m	2 nolu bina	3812,79	-480,96	568,46	22604	213800,59	-25,98
	3 nolu bina	3896,8	-145,33	554,05	9656,29	215167,16	-926,35

Üçgensel dizilmiş binalarda olduğu gibi, ardı sıra binalarda da x yönünde yüksek bir oranla kesme kuvveti (F_x) meydana gelmiştir. Buna bağlı olarak y yönünde aynı şekilde yüksek oranla M_y moment değeri oluşmuştur. Bu sebeple x yönünde kesme kuvvet, y yönünde ise moment değerleri dikkate alınmıştır.

Bina yüksekliği 44m için grafikteki kesme kuvvet değerleri (Şekil 3.41) ve moment değerlerine (Şekil 3.42) bakıldığında, en olumsuz koşul S1=10m'de gerçekleşmiştir. Bu durumda rüzgâr yükleri en fazla 3 nolu binada meydana gelmiştir.

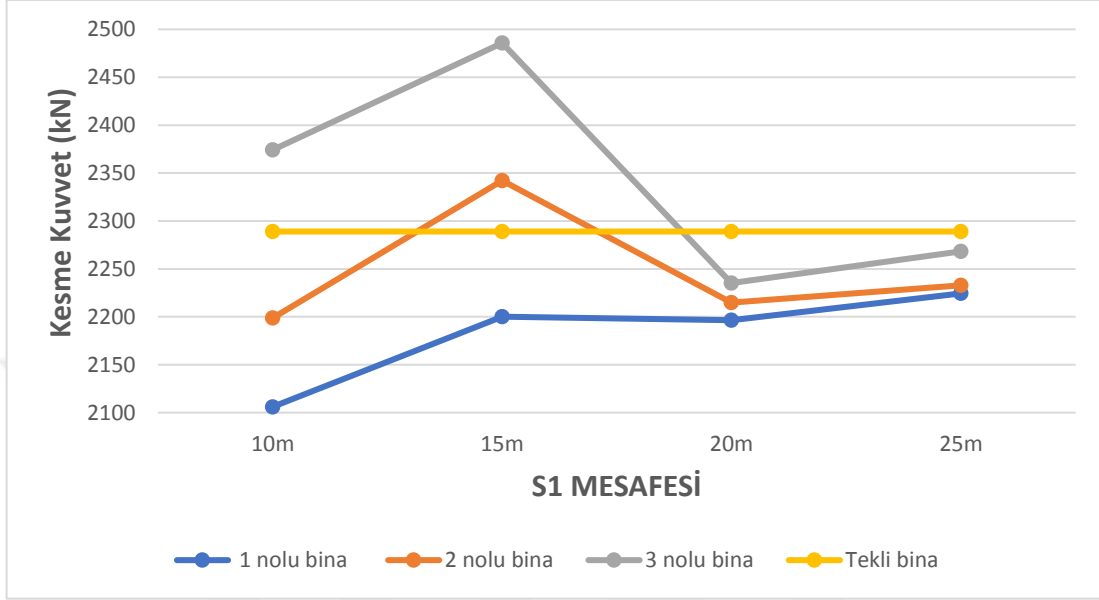


Şekil 3.41. Bina yüksekliği 44m için ardı sıra binalar ve tekli bina tabanında oluşan toplam kesme kuvveti (F_x) S1'e göre değişimi.

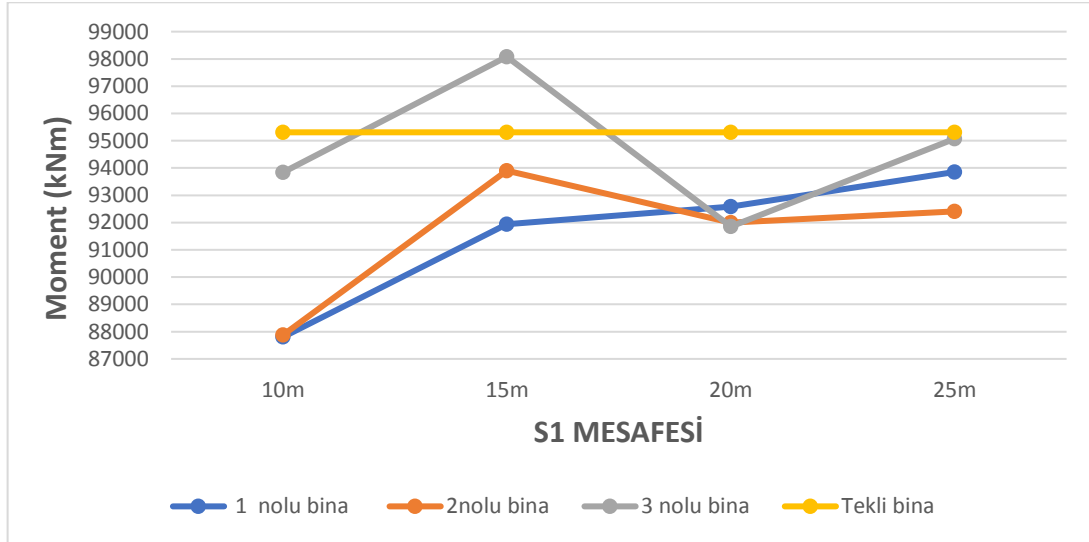


Şekil 3.42. Bina yüksekliği 44m için ardı sıra binalar ve tekli bina tabanında oluşan toplam moment (M_y) değerinin S1'e göre Değişimi.

Şekil 3.43’de S1 mesafesine bağlı olarak hesaplanan kesme kuvvet değerlerine bakıldığında, bina yüksekliği 72m için en olumsuz koşul S1 =15m’de gerçekleşmiştir. Aynı durum moment değerleri içinde gözlenmiştir. Şekil 3.44’de görüldüğü üzere bu koşulda rüzgâr yükü en fazla ana binada (3 numaralı bina) meydana gelmiştir.

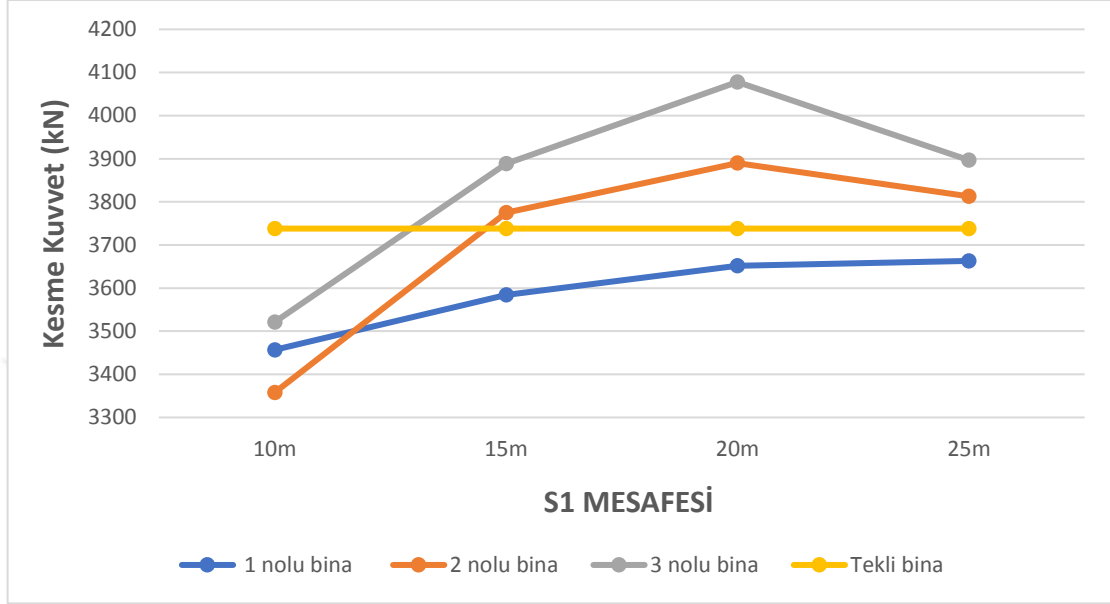


Şekil 3.43. Bina yüksekliği 72m için ardı sıra binalar ve tekli bina tabanında oluşan toplam kesme kuvveti (Fx) S1 mesafesine göre değişimi.

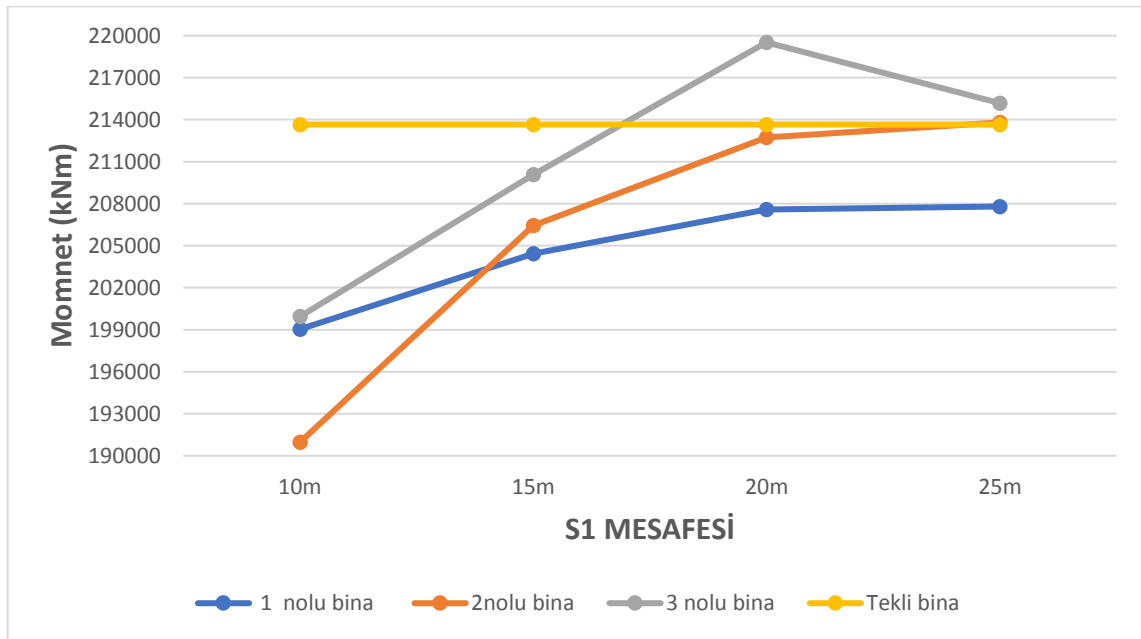


Şekil 3.44. Bina yüksekliği 72m için ardı sıra binalar ve tekli bina tabanında oluşan toplam moment (My) değerinin S1’e göre Değişimi.

Ardı sıra dizilmiş binalarda bina yüksekliği 100m için en olumsuz koşul $S1=20m$ 'de gerçekleşmiştir. Bu koşulda rüzgâr yükü en fazla ana binada (3 numaralı bina) görülmüştür. $S1$ mesafesine bağlı olarak bina tabanında oluşan kesme kuvveti Şekil 3.45'de moment değeri ise Şekil 3.46'da verilmiştir.



Şekil 3.45. Bina yüksekliği 72m için ardı sıra binalar ve tekli bina tabanında oluşan toplam kesme kuvveti (F_x) $S1$ mesafesine göre değişimi.



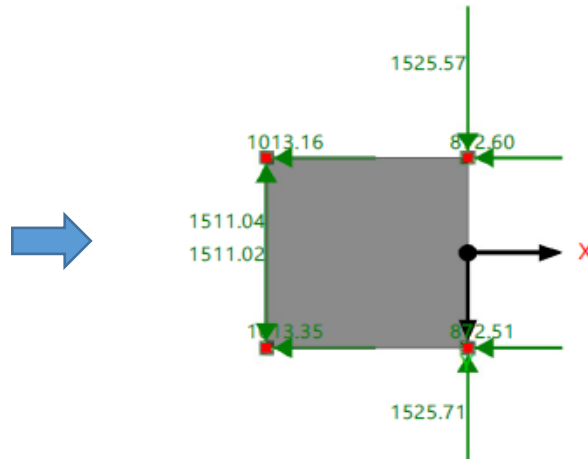
Şekil 3.46. Bina yüksekliği 100m için ardı sıra binalar ve tekli bina tabanında oluşan toplam moment (M_y) değerinin $S1$ 'e göre Değişimi.

Sonuçlara bakıldığında, üç bina yüksekliği için en olumsuz koşullar farklı mesafelerde gerçekleşmiştir. Binalar arası S1 mesafesi belli bir mesafeye kadar arttığında binalar arası etkileşiminin de arttığını görülmüştür. Daha sonra binalar arası S1 mesafesinin artışına bağlı olarak, binalar arasında etkileşimin azaldığı görülmüştür.

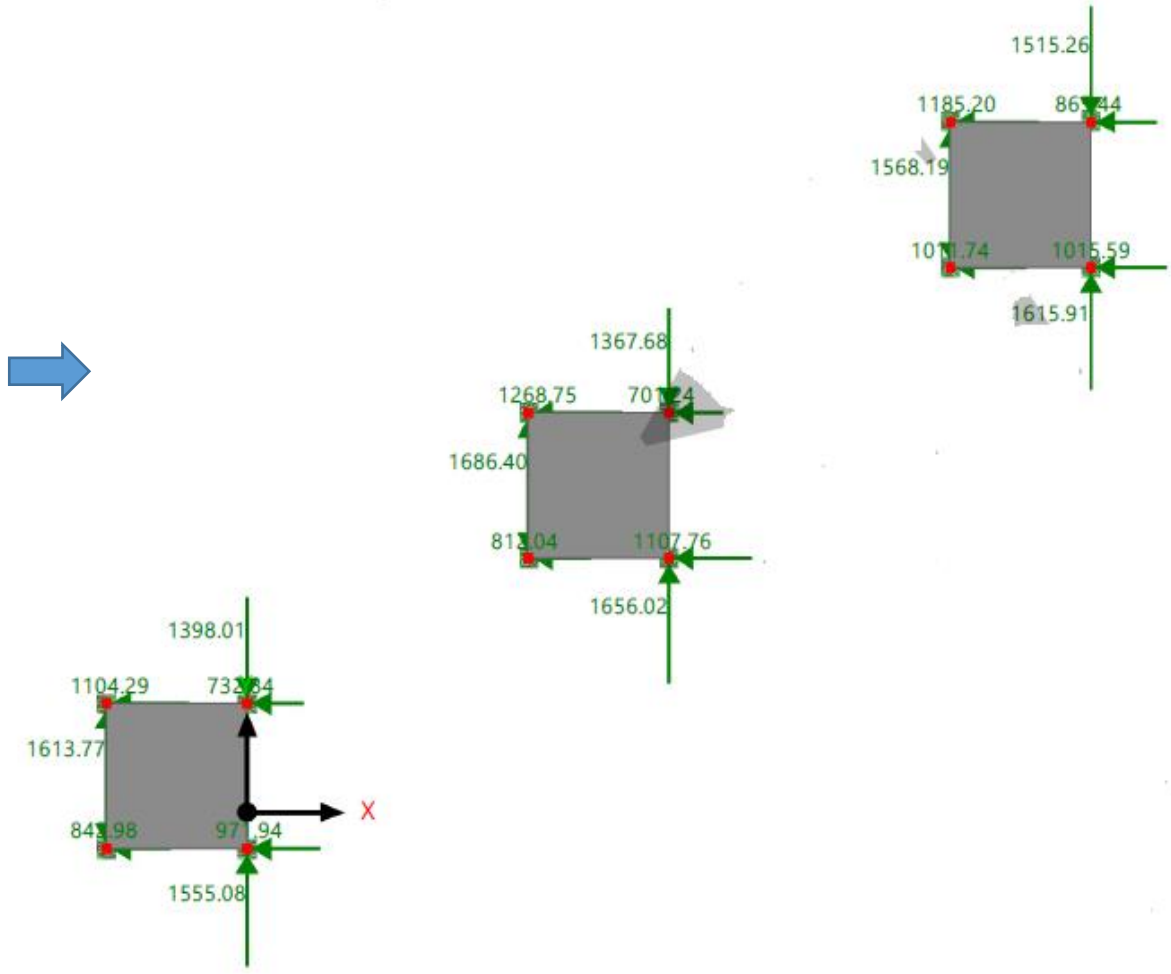
Binaların birbirine olan uzaklık mesafesi arttığında, etkileşime girecek bir yapı bulanmayacağından birbiri ardına dizilmiş binalar tekli bina gibi rüzgâr etkilerine maruz kalmıştır. Bu sebeple, birbiri ardına dizilmiş binaların kesme kuvveti ve moment değerlerine bakıldığında, S1 mesafesi arttığında tekli bina değerlerine yaklaştırdığı görülmüştür.

Etkileşime bağlı olarak, binaların birbirinden farklı rüzgâr yük değerleri aldığı görülmüştür (Şekil 3.48). Ardı sıra binaların $-y$ ve $+y$ eksen yönünde, bina tabanına gelen kesme kuvvet değerleri birbirinden farklı değerler aldığı görülmüştür. Bunun nedeni türbülans dolaylı binanın sağ ve sol tarafında oluşan emme değerlerinin birbirinden farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

Etkileşimi daha açık bir şekilde görmek için, tekli bina ve ardı sıra binaların tabanında oluşan kesme kuvvet değerleri karşılaştırılmıştır. Bina yüksekliği 100m için tekli bina tabanında oluşan kesme kuvveti Şekil 3.47’de ardı sıra bina ise Şekil 3.48’de gösterilmiştir.



Şekil 3.47. Bina yüksekliği 100m için tekli bina tabanına gelen kesme kuvvet değerleri.



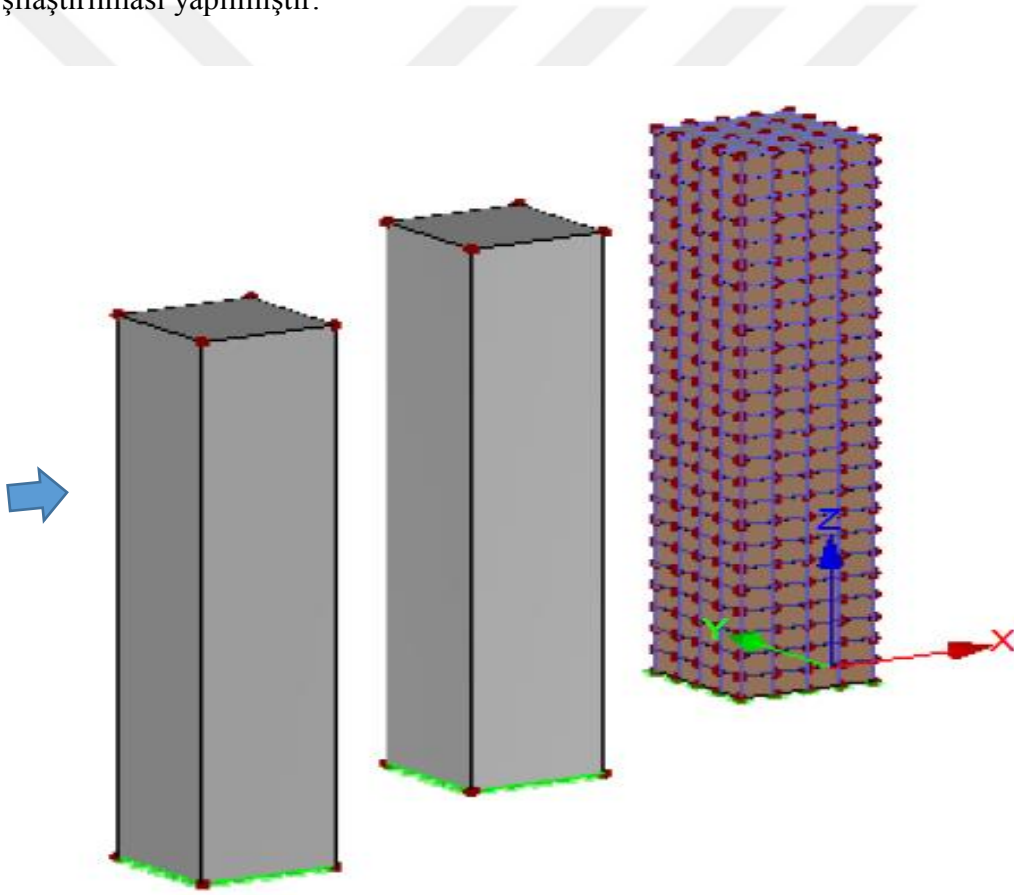
Şekil 3.48. Ardı sıra binalarda H=100m için bina tabanına gelen kesme kuvvet değerleri.

Şekil 3.47'deki tekli binaya y yönünde bakıldığında $-F_y$ ve $+F_y$ kesme kuvvetinin aynı olduğu görülmüştür. Ancak ardı sıra binalarda y yönündeki kesme kuvvetlerinin simetrik dağılımından söz edilemez. Şekil 3.48'deki 3 numaralı bina için $-F_y=1515,26\text{kN}$ çıkarken $F_y=1615,91\text{kN}$ çıkmıştır. Bu duruma binalar arası etkileşimden dolayı bina yüzeylerinde farklı emme değerlerinin meydana gelmesine neden olmuştur.

Genel olarak, binalar belirli mesafede birbirine yaklaştığında arka kısımda yer alan binaların daha fazla rüzgâr etkilerine maruz kalma sebebi, öndeki binaların yan kısımlarından geçen rüzgârın türbülanslı olarak hızının artmasıdır. Artan rüzgâr hızı arkadaki bina üzerine olumsuz etkiler yaratmıştır.

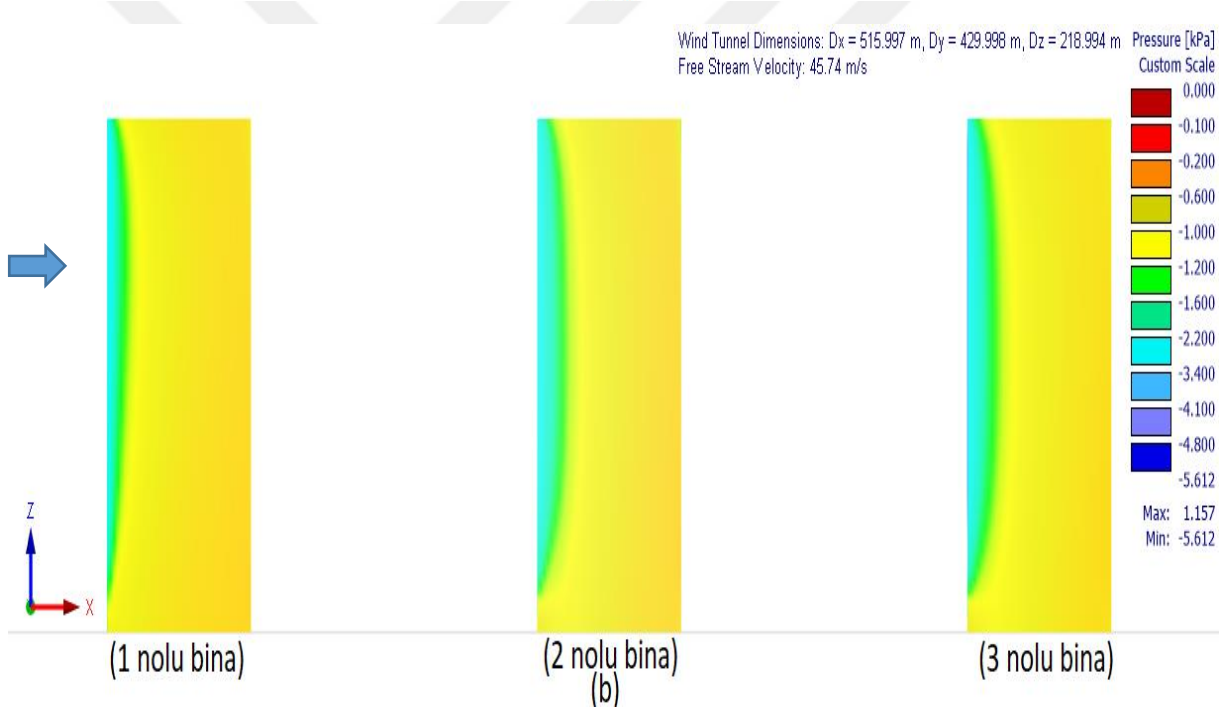
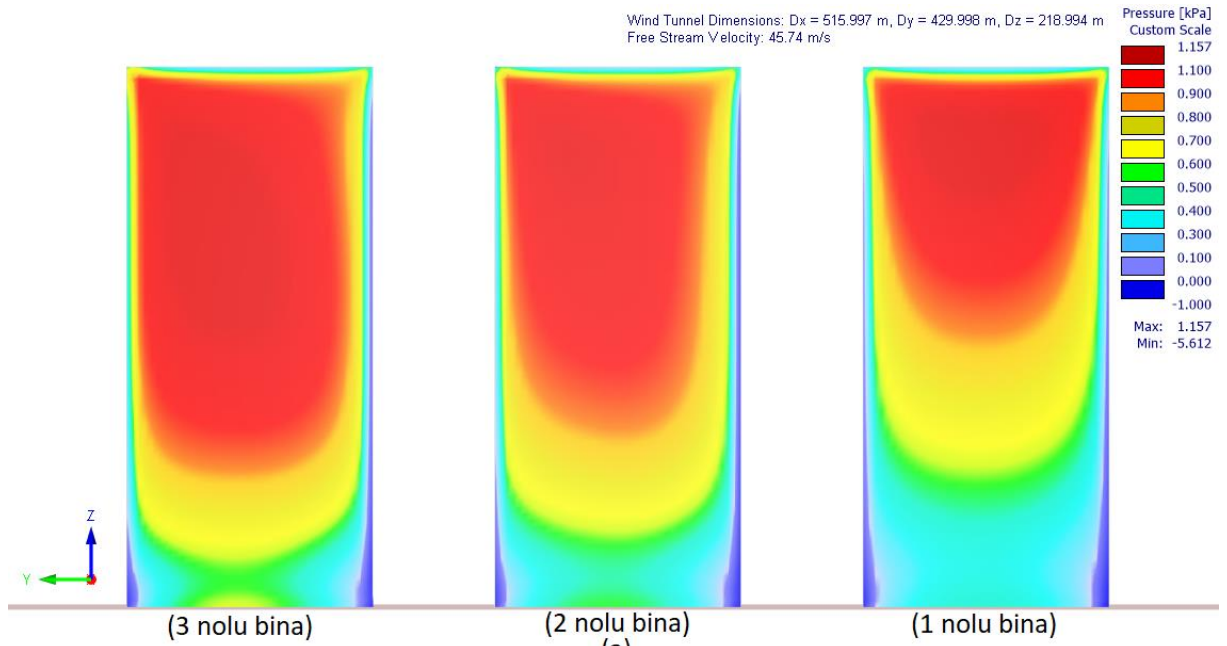
3.3.2. Ardı Sıra Bina Sonuçları ile Tekli Bina Sonuçlarının Karşılaştırılması

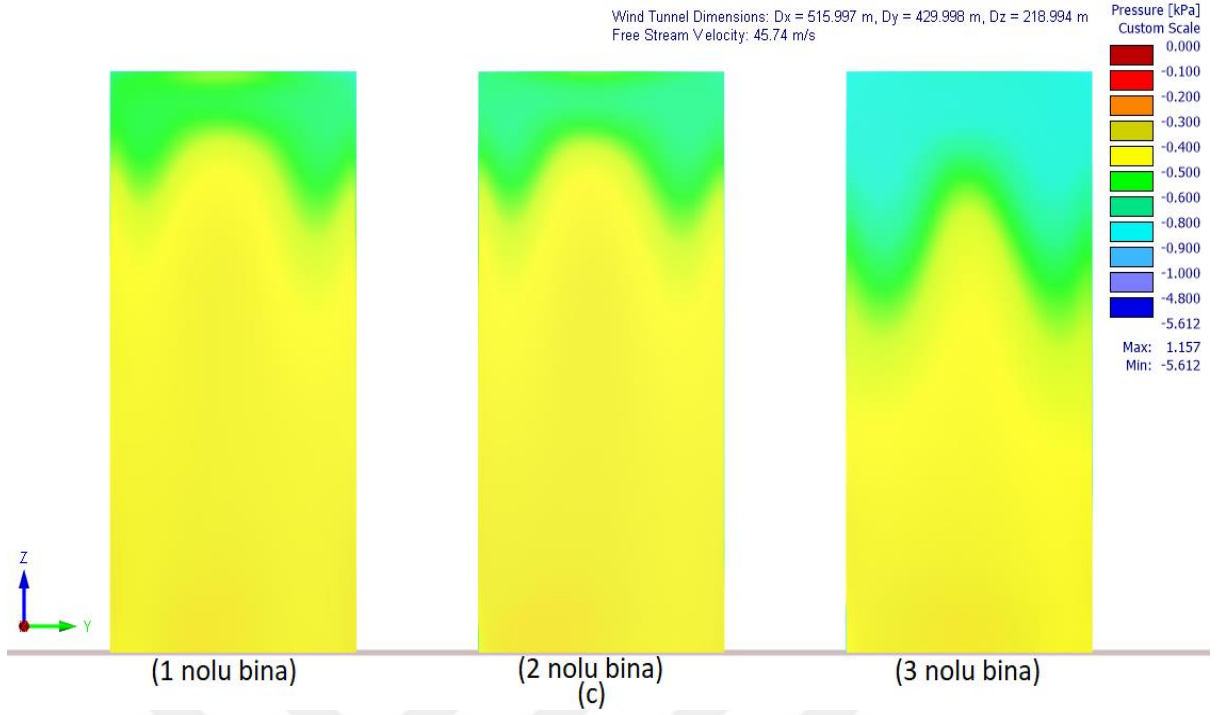
Bölüm 3.3.1’de yapılan analizlerde en olumsuz koşullar belirlenmiştir. Ardı sıra şeklinde dizilen üç tane binada en olumsuz koşul en arkadaki ana binada (3 numaralı bina) meydana gelmiştir. Bu koşullar, bina yüksekliği 100m için binalar arası mesafe $S1=20m$, 72m için $S1=15m$ ve 44m için $S1=10m$ ’de gerçekleşmiştir. Bu durumda rüzgâr yük değerleri en fazla ana binada gerçekleşmesi nedeniyle tekli bina için tasarlanmış bina modelleri aynısı ana bina içinde yapılmıştır (Şekil 3.49). Bu şekilde dizayn edilen ardı sıra binalar en olumsuz koşullar için analiz edilmiş, analiz sonucunda ana binanın (3 numaralı bina) tabanında oluşan kesme kuvveti ve moment değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler tekli bina değerleri ile karşılaştırılmıştır. Aynı şekilde bina ağırlıkları hesaplanmış ve tekli bina değerleri ile karşılaştırılması yapılmıştır.



Şekil 3.49. Bina yüksekliği 100m için ardı sıra dizilmiş bina modelleri.

Şekil 3.49’da görülen bina modellerinin, üç farklı bina yüksekliği için en olumsuz koşullara göre analizi yapılmıştır. RWIND programında analiz yapılarak, binaların üzerinde oluşan basınç ve emme değerleri hesaplanmıştır. 44m bina yüksekliği için basınç ve emme değerleri Şekil 3.50’de gösterilmiştir.

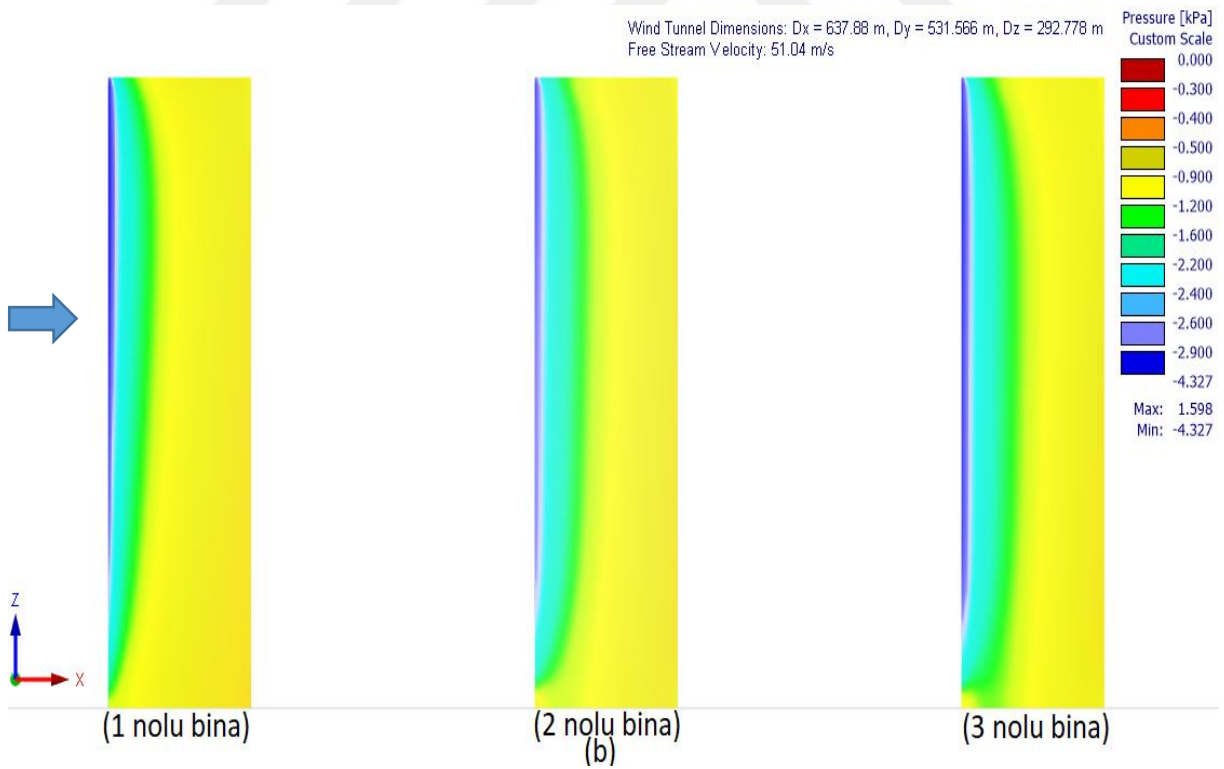
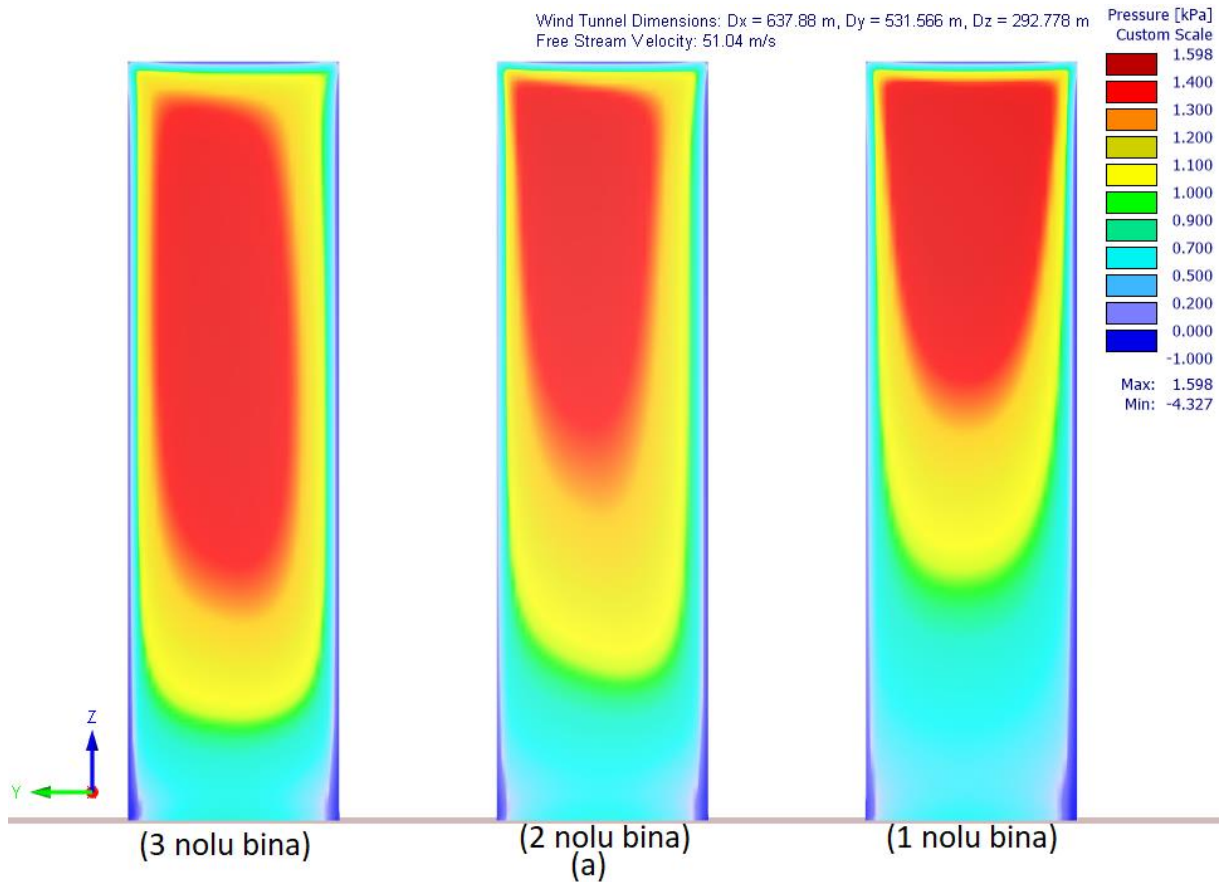


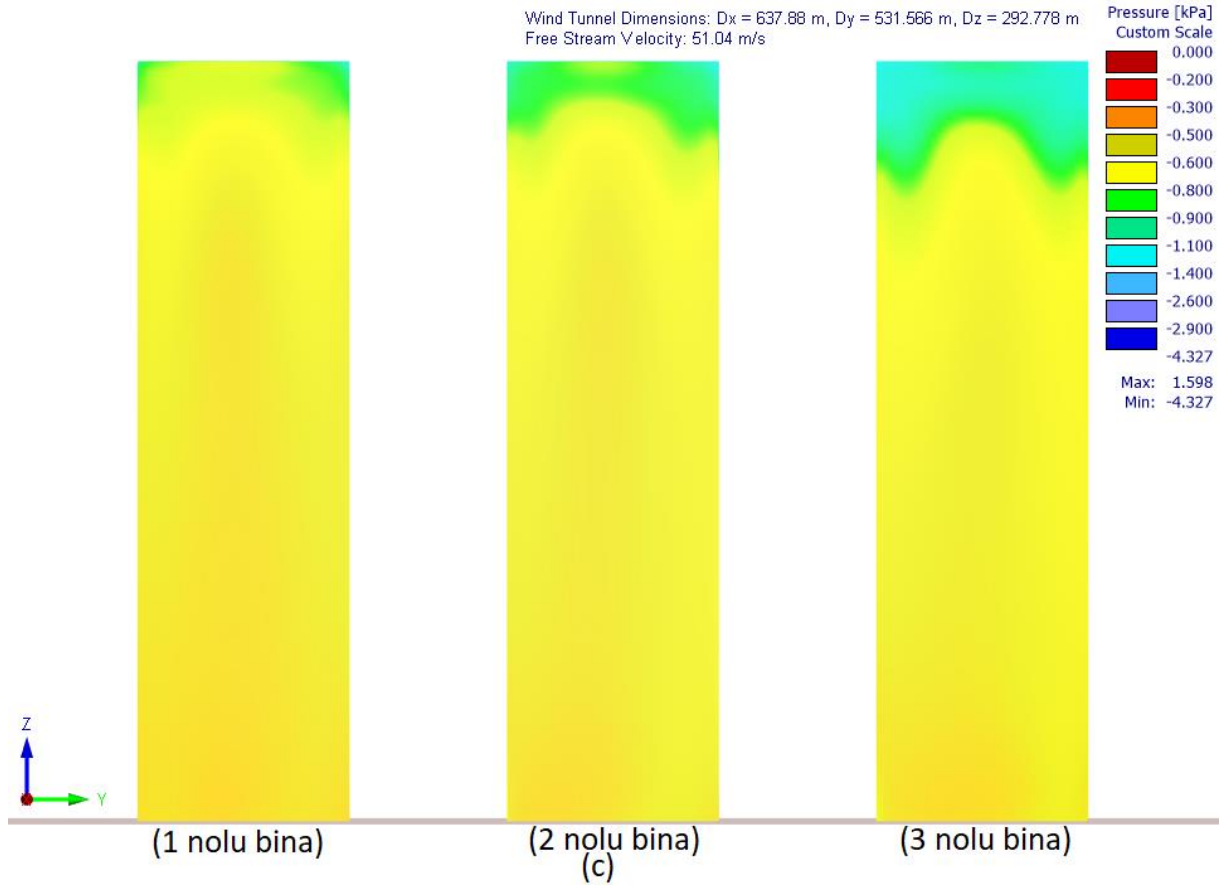


Şekil 3.50. Ardı sıra binalarda 44m bina yüksekliği için (a) ön yüzey (b) yan yüzey (c) arka yüzey basınç dağılımı.

Analiz sonuçlarına bakıldığında, binanın ön yüzeyinde (Şekil 3.50a) basınç değerleri en fazla ana bina da (3 numaralı bina) meydana gelmiştir. Binanın yan yüzeyine (Şekil 3.50b) ve arka yüzeyine (Şekil 3.50c) bakıldığında, emme değerleri birbirine yakındır ancak ana binanın (3 numaralı bina) emme değerleri biraz daha fazla olduğu görülmektedir.

Bina yüksekliği 72m için en olumsuz koşul, S1 mesafesi 15m'de gerçekleşmiştir. Bu koşulda analiz yapılarak basınç ve emme değerleri incelenmiştir ve sonuçları Şekil 3.51'de gösterilmiştir.



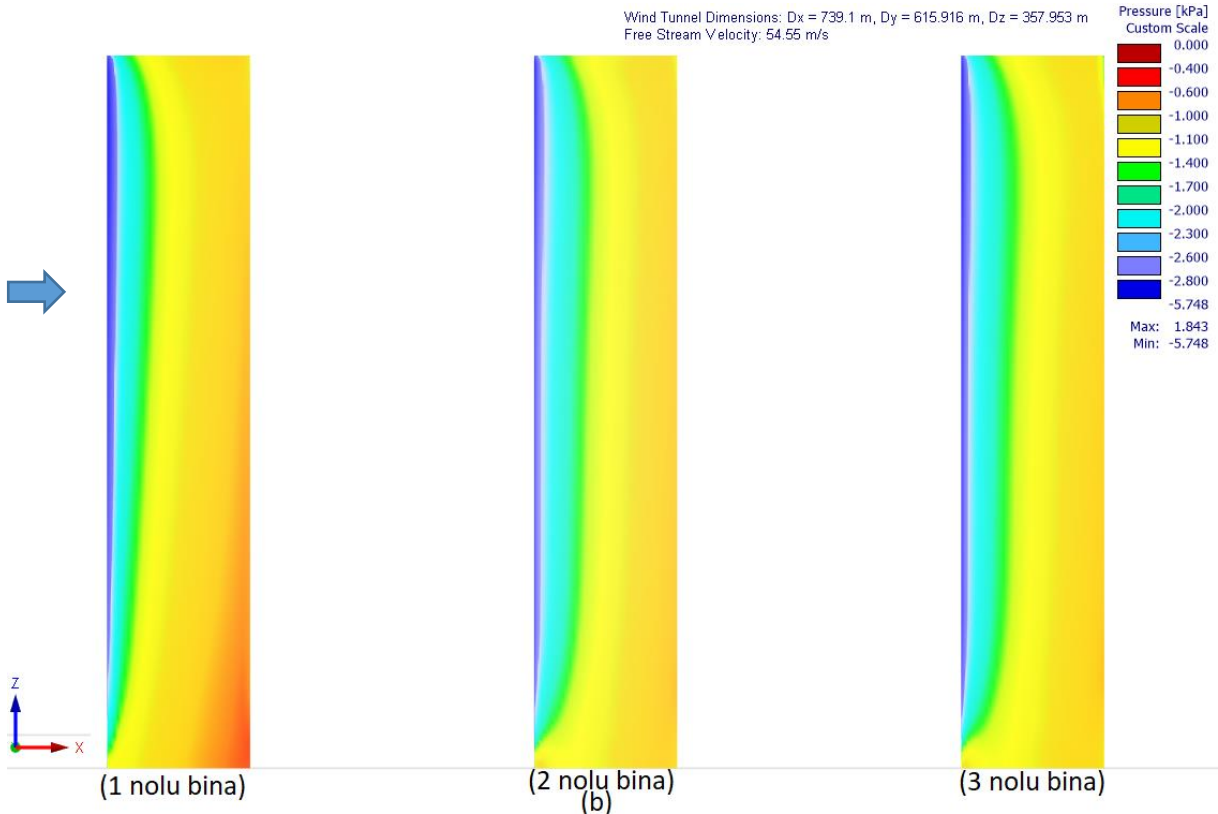
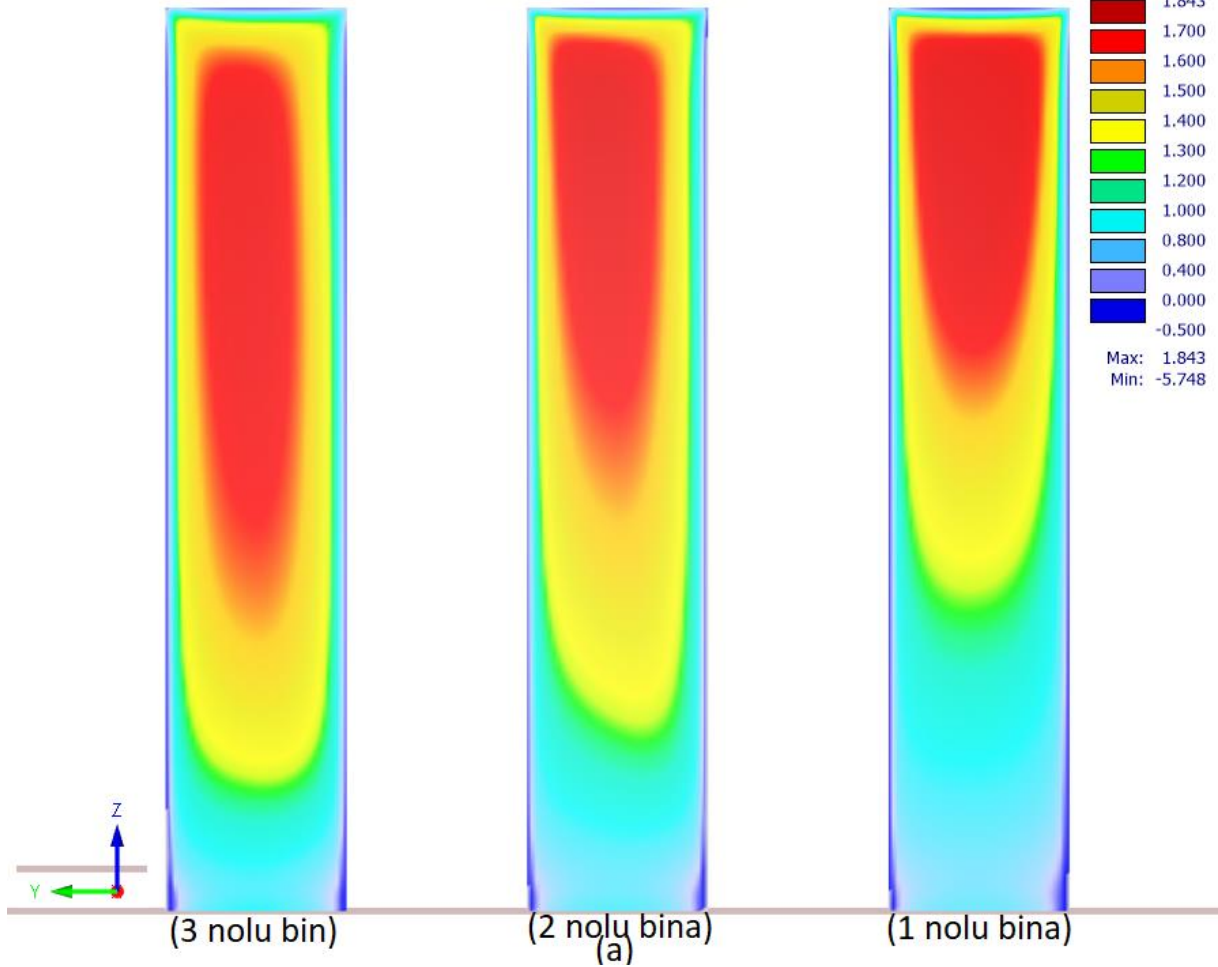


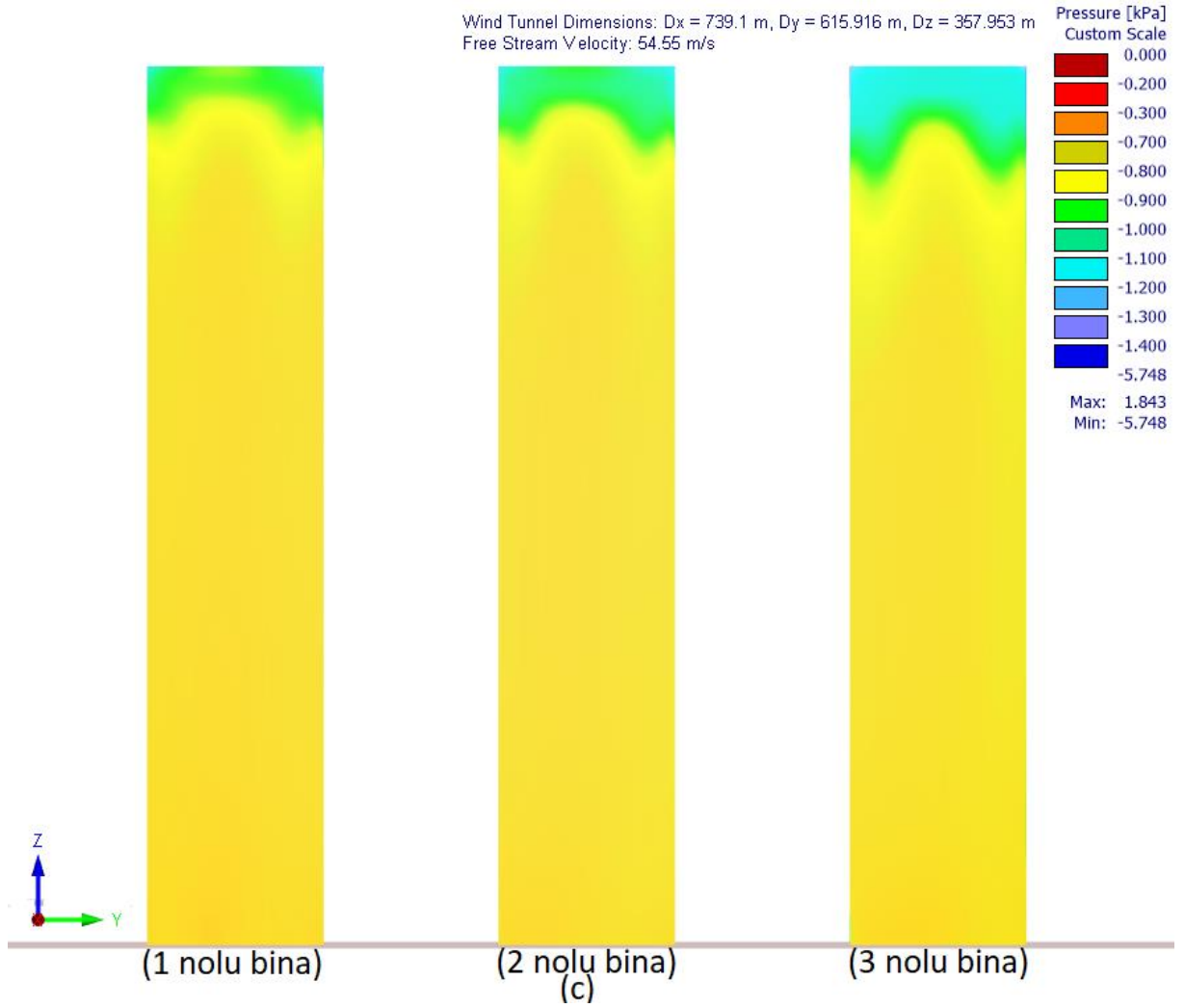
Şekil 3.51. Ardı sıra binalarda 72m bina yüksekliği için (a) ön yüzey (b) yan yüzey (c) arka yüzey basınç dağılımı.

Sonuçlara bakıldığında bina yüksekliği 72m ile 44m benzer durumlar meydana gelmiştir. Binanın ön yüzey basınç değerlerine bakıldığında, ana binada (3 numaralı bina) öndeki iki binaya nazaran basınç etkileri daha fazla görülmüştür. Yan ve arka yüzeylerde ise emme değerleri birbirine yakın görülmektedir. Ancak, ana binada (3 numaralı bina) az da olsa emme etkileri daha fazla meydana gelmiştir.

Bina yüksekliği 100m için analiz sonuçlarına bakıldığında en olumsuz koşulda binalar arası mesafe $S1=20m$ de gerçekleşmiştir. Basınç ve emme dağılımları Şekil 3.52'de gösterilmiştir.

Wind Tunnel Dimensions: $D_x = 739.1$ m, $D_y = 615.916$ m, $D_z = 357.953$ m
 Free Stream Velocity: 54.55 m/s





Şekil 3.52. Ardı sıra binalarda 100m bina yüksekliği için (a) ön yüzey (b) yan yüzey (c) arka yüzey basınç dağılımı.

Bina yüksekliği 100m için diğer bina yükseklikleri ile benzer durumlar meydana gelmiştir. 3 numaralı binanın ön yüzeyinde basınç etkileri, yan ve arka kısımda ise emme değerleri daha fazla olduğu görülmüştür.

Tüm durumlar için bakıldığında, basınç ve emme değerlerinin en fazla ana binada meydana (3 nolu bina) geldiği görülmüştür. Bu nedenle ana binada rüzgâr yük değerlerinin daha fazla olması nedeniyle, tekli bina rüzgâr yük değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bina tabanına gelen kesme kuvveti ve moment değerleri Çizelge 3.16'da verilmiştir.

Çizelge 3.16. Ardı sıra binalar ve tekli binanın bina tabanına oluşan kesme kuvvet değerleri

Ardı sıra dizilmiş bina analiz sonuçları (h=44m ve S3=20m, S2=40m, S1=10m)		Tekli bina analiz sonuçları(h=44m)	
3 nolu bina (ana bina)		Tekli bina	
Fx (kN)	My (kNm)	Fx (kN)	My (kNm)
1191,28	30085,21	1105	30799,40
Ardı sıra dizilmiş bina analiz sonuçları (h=72m ve S3=20m, S2=40m, S1=15m)		Tekli bina analiz sonuçları(h=72m)	
3 nolu bina (ana bina)		Tekli bina	
Fx (kN)	My (kNm)	Fx (kN)	My (kNm)
2528,90	100125,64	2416,5	101166,90
Ardı sıra dizilmiş bina analiz sonuçları (h=100m ve S3=20m, S2=40m, S1=20m)		Tekli bina analiz sonuçları(h=100m)	
3 nolu bina (ana bina)		Tekli bina	
Fx (kN)	My (kNm)	Fx (kN)	My (kNm)
4186,68	232966,89	3738	214473,75

Ana bina en olumsuz koşulda rüzgâr yük değerlerine göre boyutlandırılarak bina ağırlıkları hesaplanmıştır. Hesaplanan bina ağırlıkları üç bina yüksekliği için yapılmış ve sonuçları tekli bina ağırlık değerleri Çizelge 3.17’de verilmiştir.

Çizelge 3.17. Ardı sıra binalar ve tekli binaların RWIND programından alınan rüzgâr yük değerlerine göre boyutlandırılmış toplam bina ağırlık değerleri.

Bina yüksekliğe bağlı bina ağırlıkları(ton) değerleri			
	H=44m	H=72m	H=100m
Ana bina (3 nolu bina)	126	361,9	608,5
Tekli bina	124,6	347,7	584,5

Analiz sonuçlarına bakıldığında ardı sıra binalarda yer alan en arkadaki ana binada oluşan (3 nolu bina) rüzgâr yük değerleri, tekli binalarda oluşan rüzgâr yük değerlerinden daha fazla olduğu görülmüştür. Bina yüksekliği 44m için bakıldığında bu oran %7,78 bina yüksekliği 72m için %4,64 ve 100m için %11,98 daha fazladır. Moment değerlerine bakıldığında bina yüksekliği 44m ve 72m için tekli binalar ile yaklaşık olarak aynı değerler görülmüştür. Bunun nedeni 3 nolu binanın basınç alanı daha çok binanın üst kısmında değil de binanın orta kısmında meydana gelmesidir. Basınç yoğun olduğu alan bina tabanına yaklaştıkça moment değerleri azalmasına neden olmaktadır. Bu sebeple kesme kuvveti artmışsa moment değerleri azalmıştır. Ancak bina yüksekliği 100m için bakıldığında ana binada oluşan moment değeri tekli binaya nazaran %8,6 daha fazla çıktığı görülmüştür.

Çizelge 3.16’da tekli bina için verilen taban kesme kuvveti ve taban momenti değerleri ile tekli binanın kolon ve kiriş kesitleri boyutlandırılarak en uygun kesit bulunmuş ve bina ağırlık değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 3.17). Kolon ve kirişleri boyutlandırılmış, tekli bina konumu ve yerini değiştirmeden önüne engelleyici iki bina (1 ve 2 nolu) konulmuş, ardı sıra dizilimli binalar haline getirilmiştir. Tekrar aynı kesit üzerinde Çizelge 3.16’da 3 nolu bina için verilen kesme kuvveti ve moment değerleri ile boyutlandırılarak, yeni kolon ve kiriş kesitleri bulunmuştur ve 3 nolu binada bazı kesit ebatlarında artış görülmüştür. Bu artışlar bina yüksekliği 44m için %22,61 (EK-4), 72m için %18,72 (EK-5), ve 100m için %13 (EK-6) olarak hesaplanmıştır.

Ana binanın bazı kolon ve kirişlerinde kesit ebatları, tekli binaya nazaran daha yüksek olması bina ağırlık değerlerine yansımıştır (Çizelge 3.17). Bu nedenle, ana binada oluşan toplam bina ağırlık değerleri tekli binada oluşan toplam bina ağırlık değerinden daha yüksek çıkmıştır.

4. SONUÇ

Tüm sonuçlar dikkate alındığında, dijital rüzgâr tüneli deney sonuçları, TS498 ve EN1991-1-4 standartlarına ait sonuçların birbirinde farklı olduğu görülmüştür. Dijital rüzgâr tüneli deneyinde elde edilen rüzgâr yük değerleri, TS498 ve EN1991-1-4 standartlarına göre daha fazla olduğu görülmüştür. Bunun nedenleri olarak, dijital rüzgâr tüneli deneyinde bina çevresinde türbülans oluşması, dolayısı ile türbülans etkilerinin meydana gelmesi ve binanın üst kısmında rüzgâr etkilerinin yüksek olması gibi durumlar sayılabilir. Bu sebeple, bina üzerinde oluşan basınç ve emme etkileri düzgün bir dağılım gösterememiş, özellikle binanın üst kısımlarında basınç ve emme değerleri daha yüksek çıkmıştır. Bu nedenle bina tabanında oluşan moment ve kesme kuvveti değerleri fazla çıkmıştır.

Ayrıca, EN1991-1-4 ve TS498 standardı birbiriyle mukayese edildiğinde, EN1991-1-4 standardında elde edilen rüzgâr yükü değerlerinin daha fazla olduğu görülmüştür. EN1991-1-4 standardında arazi kategorileri ve türbülans etkileri dikkate alınmıştır. TS498 standardı ise arazi kategorisi ve türbülans gibi etkileri dikkate almamaktadır.

Dijital rüzgâr tüneli deneyinde, farklı konuma sahip ardı sıra dizilmiş binalar ve üçgenel dizilmiş binalar için hesaplanan rüzgâr yük değerleri, tekli bina rüzgâr yük değerleri ile uyum sağlamadığı görülmüştür. Üçgenel dizilmiş binaların birbiriyle olan etkileşimden ve mekanik türbülans, vortex ve tüneli etkenleri nedeniyle rüzgâr yük etkileri, tekli binaya nazaran daha fazla meydana gelmiştir. Özellikle üçgenel dizilmiş binalarda arka kısımda yer alan binanın, tüneli etkisinden dolayı tekli binaya göre yüksek bir oranla daha fazla rüzgâr yüküne maruz kaldığı görülmüştür.

Aynı durum ardı sıra binalar için de söz konusudur. Binaların ardı sıra yerleşmesi birbiriyle etkileşime girmesine neden olmuş ayrıca arkadaki binalar türbülans etkilerine maruz kalmıştır. Bu yüzden, en arkada yer alan bina öndeki binaların türbülans etkisinden dolayı daha fazla rüzgâr yük değerleri almıştır. Ayrıca, tekli bina ile en arkada yer alan bina karşılaştırıldığında türbülans ve girdap etkilerinden dolayı en arkada yer alan binanın daha fazla rüzgâr etkilerine maruz kaldığı görülmüştür.

Analiz sonucunda yapılan kesit boyutlandırılmasında, tekli binalar için kullanılan kolon ve kiriş kesit boyutları, üçgenel ve ardı sıra dizilmiş binalarda yer alan ana bina için kullanıldığında, kesitlerin yetersiz kaldığı görülmüştür.

Birçok ÷lkede yüksek binaların tasarımı için belirli programlar kullanılmaktadır. Ancak bu programlarda statik hesaplama yapılırken rüzgâr yükleri eşdeğer statik yük olarak hesaba katılmaktadır. Özellikle, yüksek binaların tasarımı yapılırken, yanında bulunan mevcut binalardan dolayı oluşabilecek etkileşimler, türbülans ve dinamik etkiler statik hesaplamalarda göz ardı edilebilmektedir.

Yüksek binaların yanında başka yüksek yapıların veya yüksek binaların bulunması nedeniyle binanın üzerine oluşacak rüzgâr yükleri homojen bir dağılım göstermeyebilir. Bu sebeple binanın bir kısmında fazla yük oluşması diğer yanında daha az yük oluşması durumda binada burulmaya yol açabilir. Bu tür durumları incelemek için de dijital rüzgâr tüneli incelemelerini yapılması yararlı olacaktır.



5. KAYNAKLAR

- ANSI/AISC 360. (2016). Specification for structural steel buildings. An America National Standard. dated June 22, 2010 and all previous versions Approved by the Committee on Specifications
- Aygün, C. ve Başkaya, Ş. (2003). Çok katlı bir bina etrafındaki rüzgâr akışının oluşturduğu yüzey basınçlarının deneysel olarak incelenmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, cilt 18, no 4 15-31. Ankara.
- Ayna, G. (2019). Askıda bitkinin açık kanal akımlarına olan etkisinin modellenmesi (Yüksek Lisans Tezi), Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Avini, R., Kumar, P. ve Hughes, S.J. (2019). Wind loading on high-rise buildings and the comfort effects on the occupants. Sustainable Cities and Society 45 (2019) 378-394.
- Bronkhorst, A.J., Geurts, C.P.W., Van Bentum, C.A. ve Blocken, B. (2014). Wind interference between two high-rise building models: On the influence of shielding, channelling and buffeting on peak pressures. Building for a Changing World ICBEST 2014. June 09-12, 2014, Aachen German.
- Canyurt, T.G. (2016). Gemi kıçındaki akım ayrılmasının girdap yapıcılar aracılığıyla kontrolü. (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü. İstanbul.
- Chen, Z., Kim, B. ve Lee, D.E. (2021). Aerodynamic characteristics and lateral displacement of a Set of two buildings in a linked tall building system. sensors 2021, 21, 4046. <https://doi.org/10.3390/s21124046>
- Cho, K., Hong, S. ve Hwang, K.S. (2004). Effects of neighboring building on wind loads. CTBUH 2004 Seoul Conference. Korea. <http://ctbuh.org/papers>
- Elsharamwy, M., Gala, K. ve Stathopoulos, T. (2014). Torsional and shear wind loads on flat-roofed buildings. Faculty of Engineering and Computer Science, Concordia University, Montréal, Québec, Canada. Erişim adresi; <http://www.elsevier.com/locate/engstruct>.
- EN1991-1-4. (2005). Eurocode 1- Actions on structures - Part 1- 4: General actions - Wind actions.
- Fertelli, A. ve Balta, M. (2017). Tek ve iki bina etrafındaki rüzgâr etkilerinin sayısal olarak incelenmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32(3), ss. 111-119, Eylül 2017.
- RFEM, yapısal analizler, bina modelleme geliştirilmiş programdır. <https://www.dlubal.com/en/downloads-and-information/documents/online-manuals/rfem-6>.
- RWIND, rüzgâr simüle etmek için geliştirilmiş programdır. <https://www.dlubal.com/en/downloads-and-information/documents/online-manuals/rwind-simulation-1/01/01>.

- Huang, G. ve Chen, X. (2007). Wind load effects and equivalent static Wind loads of tall buildings based on synchronous pressure measurements. *Engineering Structures* 29 (2007) 2641-2653. <http://www.elsevier.com/locate/engstruct>.
- Irwin, P.A. (2008). Bluff body aerodynamics in wind engineering. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 96 (2008) 701-712. <http://www.elsevier.com/locate/iweia>.
- Karaca, Z. ve Türkeli, E. (2010). Determination and comparison of wind loads for industrial reinforced concrete chimneys. Published online 15 December 2010 in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com/journal/tal) . DOI: 10.1002/tal.617.
- Karaman, U. (2018). 1x3 düzenindeki ayıraçlı bir yakıt denetiminde akışın türbülans karakteristiklerinin hesaplamalı akışkanlar dinamiği metoduyla incelenmesi (Yüksek Lisans Tezi), Nükleer Enerji Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara.
- Kar, R. ve Dalui, S. K. (2016). Wind interference effect on an octagonal plan shaped tall building due to square plan shaped tall buildings. *Int J Adv struct England* (2016) 8:73-86.
- Kıray, U. (2014). Gemilerde Baca formunun gaz akışına etkileri (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü. İstanbul
- Kurç, Ö., Kayışoğlu, B., Nima Shojaee, S.M. ve Uzol, O. (2012). Yüksek binalarda rüzgâr etkilerinin rüzgâr tüneli deneyleriyle tespiti. *İnşaat Mühendisler Odası Teknik Dergi*, 2012 6163-6168, yazı 389.
- Liu, Y., Kopp, G.A. ve Chen, S. (2019). Effects of plan dimensions on gust wind loads for high-rise buildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 194 (2019) 103980.
- Nair, S.K. ve Thowsif, M. (2020). Comparative study of experimental and numerical analysis of parameter around tall building. 5th International Conference on Modeling and Simulation Civil Engineering. *Earth and Environmental Science* 491 (2020) 012020.
- Nizamani, Z., Thang, K C., Haider, B. ve Shariff, M. (2018). Wind load effect on high rise buildings in peninsular Malaysia. *IConCEES 2017. Earth and Environmental Science* 140 (2018) 012125.
- Polat, Ö. O. (2010). ASCE 7-05, Eurocode 1-4 ve TS 498 yönetmelikleri kullanılarak yapılara gelen rüzgâr yüklerinin karşılaştırılması (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü. İstanbul.
- Şafak, E. (2012). Yüksek yapılardaki rüzgâr yüklerinin hesabı. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, İstanbul. TMH- 471- 2012/1
- Thordal, M.S., Bennetsen, J.C., Capra, S., Kragh, A.K., Holger, H., Koss, A. (2020). Towards a standard CFD setup for wind load assessment of high-rise buildings: Part 2- blind test of chamfered and rounded corner high-rise buildings. *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics* 205 (2020) 104282.
- Türkeli, E. (2019). The use of TS498 and TS-EN-1991-1-4 in the wind load calculation of reinforced concrete minarets considering soil-structure interaction. *Süleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Sciences* Volume 23, Special Issue, 84-93, 2019.

TS 498. (1997). Yapı elemanlarının boyutlandırmasında alınacak rüzgâr yüklerin hesap Değerleri, Türk Standartlar Enstitüsü, Ankara.

Quan, Y., Chen, J. ve Gu, M. (2019). Aerodynamic interference effects of a proposed taller high-rise building on wind pressures on existing tall buildings. Accepted: 10 December 2019. DOI: 10.1002/tal.1703

EK-1

Bina yüksekliği 44m için tekli binada boyutlandırmada kullanılan kesit edatları üçgenel dizilmiş binalarda yer alan 3 nolu binada kullanıldığında kesit artış durumu

Kesit eleman no	tekli bina	3 nolu bina	Kesit eleman no	tekli bina	3 nolu bina	Kesit eleman no	tekli bina	3 nolu bina
1	HE 200 AA	HE 320 AA	78	HE 400 AA	HE 450 AA	185	IPE A 400	IPE A 450
5	HE 200 AA	HE 340 AA	83	HE 500 AA	HE 550 AA	186	IPE A 450	IPE A 550
6	HE 260 AA	HE 300 AA	84	HE 650 AA	HE 900 AA	187	IPE A 400	IPE A 450
7	HE 450 AA	HE 550 AA	87	HE 200 AA	HE 400 AA	189	IPE A 450	IPE A 600
8	HE 550 AA	HE 900 AA	88	HE 200 AA	HE 360 AA	190	IPE A 500	IPE A 550
9	HE 550 AA	HE 700 AA	89	HE 200 AA	HE 500 AA	196	HE 200 AA	HE 400 AA
11	HE 260 AA	HE 280 AA	91	IPE A 220	IPE A 240	200	HE 200 AA	HE 400 AA
13	HE 400 AA	HE 500 AA	92	IPE A 220	IPE A 240	203	HE 320 AA	HE 340 AA
14	HE 400 AA	HE 450 AA	93	IPE A 220	IPE A 240	208	HE 400 AA	HE 450 AA
15	HE 260 AA	HE 280 AA	94	IPE A 220	IPE A 240	209	HE 450 AA	HE 500 AA
16	HE 260 AA	HE 280 AA	95	IPE A 400	IPE A 450	212	HE 650 AA	HE 900 AA
17	HE 300 A	HE 450 A	96	IPE A 360	IPE A 450	214	HE 550 AA	HE 700 AA
18	HE 550 AA	HE 900 AA	97	IPE A 550	IPE A 600	219	HE 400 AA	HE 450 AA
20	HE 260 AA	HE 280 AA	99	IPE A 360	IPE A 450	226	IPE A 400	IPE A 500
21	HE 220 AA	HE 240 AA	100	IPE A 360	IPE A 450	230	IPE A 400	IPE A 450
22	HE 200 A	HE 400 A	101	IPE A 450	IPE A 600	231	IPE A 400	IPE A 450
23	HE 200 AA	HE 400 AA	103	IPE A 360	IPE A 400	233	IPE A 360	IPE A 400
24	HE 200 AA	HE 400 AA	104	IPE A 450	IPE A 550	234	IPE A 400	IPE A 450
25	HE 220 AA	HE 240 AA	105	IPE A 550	IPE A 600	235	IPE A 500	IPE A 550
45	IPE A 200	IPE A 220	107	IPE A 220	IPE A 240	236	IPE A 450	IPE A 500
46	IPE A 180	IPE A 200	131	HE 200 AA	HE 400 AA	254	IPE A 100	IPE A 80
47	IPE A 180	IPE A 200	135	HE 200 AA	HE 400 AA	255	IPE A 100	IPE A 80
48	IPE A 200	IPE A 220	137	HE 400 AA	HE 500 AA	261	HE 200 AA	HE 450 AA
49	IPE A 330	IPE A 400	138	HE 360 AA	HE 400 AA	265	HE 200 AA	HE 400 AA
50	IPE A 400	IPE A 500	142	HE 550 AA	HE 800 AA	267	HE 400 AA	HE 450 AA
51	IPE A 360	IPE A 500	143	HE 400 AA	HE 550 AA	268	HE 340 AA	HE 360 AA
52	IPE A 550	IPE A 600	144	HE 500 AA	HE 650 AA	269	HE 360 AA	HE 400 AA
53	IPE A 360	IPE A 450	147	HE 200 AA	HE 340 AA	272	HE 550 AA	HE 700 AA
54	IPE A 330	IPE A 400	148	HE 450 AA	HE 600 AA	273	HE 320 AA	HE 340 AA
55	IPE A 360	IPE A 450	149	HE 200 M	HE 240 M	274	HE 500 AA	HE 600 AA
57	IPE A 360	IPE A 400	151	HE 220 AA	HE 240 AA	277	HE 400 AA	HE 450 AA
58	IPE A 330	IPE A 360	152	HE 200 AA	HE 360 AA	278	HE 340 AA	HE 360 AA
59	IPE A 400	IPE A 550	153	HE 320 AA	HE 400 AA	280	HE 240 AA	HE 260 AA
61	IPE A 220	IPE A 240	154	HE 200 AA	HE 340 AA	286	IPE A 240	IPE A 270
62	IPE A 200	IPE A 220	176	IPE A 220	IPE A 240	291	IPE A 550	IPE A 600
64	IPE A 200	IPE A 220	177	IPE A 220	IPE A 240	292	IPE A 400	IPE A 450
65	HE 200 AA	HE 340 AA	178	IPE A 200	IPE A 220	295	IPE A 360	IPE A 400
69	HE 200 AA	HE 340 AA	180	IPE A 360	IPE A 400	296	IPE A 360	IPE A 400
76	HE 450 AA	HE 550 AA	181	IPE A 360	IPE A 400	299	IPE A 500	IPE A 600
77	HE 400 AA	HE 450 AA	184	IPE A 330	IPE A 360	300	IPE A 360	IPE A 400

Bina yüksekliği 44m için tekli binada boyutlandırmada kullanılan kesit edatları üçgenel dizilmiş binalarda yer alan 3 nolu binada kullanıldığında kesit artış durumu(devamı)

Kesit eleman no	tekli bina	3 nolu bina	Kesit eleman no	tekli bina	3 nolu bina	Kesit eleman no	tekli bina	3 nolu bina
307	IPE A 100	IPE A 80	427	IPE A 330	IPE A 400	546	IPE A 100	IPE A 80
308	IPE A 100	IPE A 80	429	IPE A 330	IPE A 360	549	IPE A 100	IPE A 80
326	HE 200 AA	HE 450 AA	430	IPE A 360	IPE A 450	550	IPE A 100	IPE A 80
328	HE 200 AA	HE 450 AA	431	IPE A 300	IPE A 330	553	IPE A 100	IPE A 80
330	HE 400 AA	HE 500 AA	432	IPE A 240	IPE A 270	554	IPE A 120	IPE A 80
331	HE 300 AA	HE 320 AA	458	HE 180 AA	HE 200 AA	557	IPE A 120	IPE A 80
332	HE 340 AA	HE 400 AA	461	HE 260 AA	HE 280 AA	558	IPE A 120	IPE A 80
335	HE 340 AA	HE 400 AA	462	HE 260 AA	HE 300 AA	560	IPE 200	IPE 600
336	HE 300 AA	HE 320 AA	463	HE 200 AA	HE 220 AA	566	IPE A 270	IPE A 300
337	HE 340 AA	HE 400 AA	466	HE 260 AA	HE 280 AA	567	IPE A 270	IPE A 300
338	HE 240 AA	HE 260 AA	467	HE 260 AA	HE 300 AA	568	IPE 200	IPE 600
340	HE 340 AA	HE 360 AA	468	HE 200 AA	HE 220 AA	571	IPE A 270	IPE A 300
341	HE 320 AA	HE 340 AA	470	HE 260 AA	HE 280 AA	573	IPE A 270	IPE A 300
343	HE 240 AA	HE 260 AA	471	HE 260 AA	HE 280 AA	574	IPE A 270	IPE A 300
344	HE 200 AA	HE 220 AA	472	HE 260 AA	HE 280 AA	578	IPE A 270	IPE A 300
353	IPE A 360	IPE A 450	473	HE 200 AA	HE 280 AA	579	IPE A 270	IPE A 300
354	IPE A 400	IPE A 500	474	HE 200 AA	HE 450 AA	584	HE 200 AA	HE 400 AA
355	IPE A 360	IPE A 400	475	HE 180 AA	HE 200 AA	585	HE 200 AA	HE 220 AA
358	IPE A 360	IPE A 400	476	HE 200 AA	HE 900 AA	604	HE 200 AA	HE 400 AA
359	IPE A 360	IPE A 400	485	IPE A 330	IPE A 360	605	HE 200 AA	HE 220 AA
361	IPE A 330	IPE A 360	488	IPE A 300	IPE A 330	609	IPE A 180	IPE A 200
362	IPE A 400	IPE A 450	489	IPE A 300	IPE A 330	644	IPE 200	IPE 600
363	IPE A 330	IPE A 360	490	IPE A 300	IPE A 330	645	IPE 200	IPE 600
370	IPE A 100	IPE A 80	492	IPE A 300	IPE A 330	652	HE 200 AA	HE 400 AA
371	IPE A 100	IPE A 80	493	IPE A 300	IPE A 330	667	HE 140 AA	HE 160 AA
389	HE 200 AA	HE 450 AA	494	IPE A 300	IPE A 330	672	HE 200 AA	HE 400 AA
391	HE 240 AA	HE 260 AA	495	IPE A 220	IPE A 240	691	IPE A 100	IPE A 80
395	HE 300 AA	HE 320 AA	496	IPE A 220	IPE A 240			
396	HE 300 AA	HE 320 AA	497	IPE A 220	IPE A 240			
397	HE 300 AA	HE 320 AA	498	IPE A 200	IPE A 220			
399	HE 240 AA	HE 300 AA	512	IPE A 100	IPE A 80			
400	HE 300 AA	HE 320 AA	517	IPE 200	IPE 600			
401	HE 300 AA	HE 320 AA	518	IPE 200	IPE 600			
405	HE 300 AA	HE 320 AA	523	HE 200 AA	HE 450 AA			
406	HE 340 AA	HE 400 AA	525	HE 240 AA	HE 260 AA			
407	HE 300 AA	HE 320 AA	526	HE 240 AA	HE 260 AA			
409	HE 200 AA	HE 700 AA	527	HE 240 AA	HE 260 AA			
422	IPE A 360	IPE A 400	537	HE 240 AA	HE 260 AA			
425	IPE A 330	IPE A 360	543	HE 200 AA	HE 450 AA			
426	IPE A 330	IPE A 360	545	IPE A 100	IPE A 80			

EK-2

Bina yüksekliği 72m için tekli binada boyutlandırmada kullanılan kesit edatları üçgenel dizilmiş binalarda yer alan 3 nolu binada kullanıldığında kesit artış durumu

Kesit eleman no	Tekli bina	3 nolu bina	Kesit eleman no	Tekli bina	3 nolu bina	Kesit eleman no	Tekli bina	3 nolu bina
1	HE 140 M	HE 200 M	81	HE 180 M	HE 240 M	150	HE 180 M	HE 220 M
5	HE 180 M	HE 240 M	82	HE 550 M	HE 650 M	151	HE 140 M	HE 180 M
11	HE 180 M	HE 200 M	83	HE 240 M	HE 650 M	153	HE 1000x584	HE 600x337
12	HE 1000x249	HE 1000x393	85	HE 200 M	HE 240 M	154	HE 300 M	HE 450 M
13	HE 1000x249	HE 900x391	86	HE 160 M	HE 200 M	155	HE 140 M	HE 200 M
14	HE 1000x249	HE 900x391	87	HE 1000 M	HE 500 M	156	IPE A 180	IPE A 270
16	HE 1000x249	HE 700x352	88	HE 1000x438	HE 600x337	159	IPE A 200	IPE A 220
17	HE 1000x249	HE 1000x438	90	HE 160 M	HE 200 M	168	IPE A 180	IPE A 200
18	HE 1000x249	HE 1000x393	91	IPE A 200	IPE A 360	175	IPE A 100	IPE A 120
19	HE 1000x249	HE 900x391	92	IPE A 220	IPE A 270	176	IPE A 200	IPE A 240
21	HE 140 M	HE 180 M	94	IPE A 200	IPE A 240	178	IPE A 180	IPE A 240
22	HE 1000 M	HE 300 M	95	IPE V 400	IPE V 550	179	IPE A 180	IPE A 300
23	HE 1000x584	HE 600x337	96	IPE V 400	IPE V 600	180	IPE A 330	IPE A 450
25	HE 140 M	HE 160 M	99	HE 120 M	HE 220 M	181	IPE V 400	IPE V 550
26	IPE A 180	IPE A 200	100	HE 140 M	HE 220 M	182	HE 140 M	HE 180 M
29	IPE A 180	IPE A 220	102	HE 1000x438	HE 700x352	183	HE 240 M	HE 300 M
33	IPE A 160	IPE A 180	103	HE 120 M	HE 220 M	184	HE 120 M	HE 180 M
34	IPE A 180	IPE A 200	104	HE 120 M	HE 200 M	185	HE 140 M	HE 200 M
37	IPE A 160	IPE A 180	105	HE 120 M	HE 140 M	186	HE 120 M	HE 180 M
41	IPE A 100	IPE A 120	107	IPE 120 A	IPE 270 A	188	HE 120 M	HE 200 M
44	IPE A 100	IPE A 120	108	IPE 140 A	IPE 240 A	189	HE 100 M	HE 160 M
45	IPE A 160	IPE A 270	109	IPE 140 A	IPE 270 A	190	HE 100 M	HE 160 M
46	IPE A 120	IPE A 180	110	IPE 140 A	IPE 270 A	191	HE 1000x249	HE 800x373
47	IPE A 330	IPE A 240	111	IPE A 180	IPE A 220	192	IPE A 140	IPE A 300
48	IPE A 140	IPE A 240	114	IPE A 180	IPE A 220	193	IPE A 100	IPE A 270
49	IPE A 270	IPE A 400	115	IPE A 180	IPE A 200	195	IPE A 140	IPE A 270
50	IPE A 330	IPE A 500	122	IPE A 180	IPE A 200	196	HE 200 M	HE 240 M
53	IPE A 270	IPE A 400	123	IPE A 180	IPE A 200	200	HE 200 M	HE 240 M
54	IPE A 330	IPE A 500	124	IPE A 100	IPE A 80	208	HE 220 M	HE 240 M
55	IPE A 300	IPE A 360	125	IPE A 100	IPE A 80	212	HE 300 M	HE 320 M
57	IPE A 300	IPE A 400	126	IPE A 180	IPE A 200	215	HE 180 M	HE 200 M
58	IPE A 300	IPE A 400	128	IPE A 100	IPE A 120	216	HE 140 M	HE 160 M
61	IPE A 140	IPE A 200	131	HE 200 M	HE 240 M	219	HE 240 M	HE 300 M
62	IPE A 270	IPE A 330	132	HE 180 M	HE 200 M	220	HE 140 M	HE 160 M
64	IPE A 140	IPE A 200	134	HE 180 M	HE 240 M	221	IPE A 160	IPE A 180
65	HE 180 M	HE 240 M	135	HE 200 M	HE 240 M	222	IPE A 120	IPE A 140
66	HE 180 M	HE 220 M	136	HE 180 M	HE 240 M	224	IPE A 180	IPE A 200
67	HE 200 M	HE 220 M	137	HE 240 M	HE 280 M	225	IPE A 330	IPE A 360
68	HE 180 M	HE 240 M	138	HE 240 M	HE 280 M	226	IPE V 400	IPE V 450
69	HE 180 M	HE 240 M	139	HE 240 M	HE 360 M	228	HE 1000x249	HE 900x391
70	HE 200 M	HE 240 M	140	HE 180 M	HE 220 M	230	HE 100 M	HE 120 M
71	HE 240 M	HE 300 M	141	HE 180 M	HE 220 M	232	HE 1000x249	HE 800x373
72	HE 240 M	HE 300 M	142	HE 240 M	HE 280 M	235	HE 140 M	HE 160 M
73	HE 240 M	HE 300 M	143	HE 240 M	HE 260 M	236	HE 240 M	HE 280 M
74	HE 200 M	HE 240 M	144	HE 240 M	HE 360 M	237	IPE 160 A	IPE 200 A
75	HE 200 M	HE 240 M	145	HE 180 M	HE 200 M	238	IPE A 140	IPE A 160
76	HE 240 M	HE 300 M	146	HE 180 M	HE 220 M	240	IPE A 160	IPE A 220
77	HE 240 M	HE 300 M	147	HE 260 M	HE 500 M	241	IPE A 100	IPE A 140
78	HE 240 M	HE 360 M	148	HE 1000 M	HE 700 M	242	IPE A 120	IPE A 140
79	HE 200 M	HE 240 M	149	HE 300 M	HE 400 M	244	IPE A 100	IPE A 120

-Bina yüksekliği 72m için tekli binada boyutlandırmada kullanılan kesit edatları üçgenel dizilmiş binalarda yer alan 3 nolu binada kullanıldığında kesit artış durumu (devamı)

Kesit eleman no	Tekli bina	3 nolu bina	Kesit eleman no	Tekli bina	3 nolu bina	Kesit eleman no	Tekli bina	3 nolu bina
245	IPE A 180	IPE A 200	354	IPN 360 A	IPN 380 A	475	HE 160 M	HE 180 M
248	IPE A 180	IPE A 200	356	HE 180 M	HE 200 M	476	HE 280 M	HE 500 M
253	IPE A 200	IPE A 220	360	HE 120 M	HE 140 M	479	IPN 200 A	IPN 240 A
256	IPE A 200	IPE A 220	361	IPN 240 A	IPN 260 A	487	HE 100 M	HE 120 M
260	IPE A 180	IPE A 200	362	IPN 180 A	IPN 220 A	489	HE 140 M	HE 160 M
261	HE 200 M	HE 240 M	363	HL 1000AA	HL 1100A	490	HE 120 M	HE 140 M
265	HE 200 M	HE 240 M	365	IPE A 160	IPE A 180	492	HL 1000AA	HL 1100A
270	HE 180 M	HE 200 M	368	IPN 100 A	IPN 140 A	496	IPN 100 A	IPN 120 A
273	HE 1000x494	HE 1000x584	372	IPE A 240	IPE A 300	497	IPE A 120	IPE A 160
274	HE 220 M	HE 240 M	373	IPE A 180	IPE A 200	498	HE 100 M	HE 140 M
278	HE 800x373	HE 900x391	377	IPE A 180	IPE A 200	502	IPE A 100	IPE A 120
279	HE 300 M	HE 650 M	381	IPE A 180	IPE A 200	503	IPE A 160	IPE A 200
280	HE 180 M	HE 200 M	385	IPE A 100	IPE A 160	506	IPE A 180	IPE A 200
281	HE 140 M	HE 160 M	387	IPE A 140	IPE A 180	510	IPE A 180	IPE A 200
285	HE 140 M	HE 160 M	388	IPE A 100	IPE A 120	511	IPE A 180	IPE A 200
289	IPE 180 A	IPE 200 A	392	HE 160 M	HE 180 M	514	IPE A 180	IPE A 200
290	IPE V 400	IPE V 450	393	HE 140 M	HE 160 M	517	IPE A 400	IPE A 550
291	IPE V 400	IPE V 450	396	HE 1000x249	HE 800x373	518	IPE A 400	IPE A 500
292	HE 180 M	HE 200 M	398	HE 180 M	HE 200 M	519	HE 120 M	HE 140 M
294	HE 120 M	HE 140 M	399	HE 160 M	HE 180 M	544	IPE A 100	IPE A 120
297	HE 240 M	HE 800 M	400	HE 320 M	HE 400 M	547	IPE A 100	IPE A 120
300	HE 100 M	HE 120 M	402	HE 200 M	HE 220 M	552	IPE A 160	IPE A 180
301	HE 1000x249	HE 800x373	406	HE 240 M	HE 260 M	556	IPE A 180	IPE A 200
302	IPE A 140	IPE A 200	407	HE 600x337	HE 800x373	560	IPE A 400	IPE A 500
303	IPE A 100	IPE A 120	408	HE 220 M	HE 240 M	568	IPE A 450	IPE A 550
305	IPE A 140	IPE A 200	409	HE 240 M	HE 280 M	573	HE 100 M	HE 120 M
306	IPE A 200	IPE A 270	411	HE 160 M	HE 180 M	575	HE 100 M	HE 120 M
309	IPE A 180	IPE A 220	412	HE 160 M	HE 180 M	577	HE 1000x494	HE 1000x584
313	IPE A 180	IPE A 200	414	HE A 120	HE A 200	580	IPE A 180	IPE A 200
321	IPE A 180	IPE A 200	416	IPE A 180	IPE A 200	583	IPE A 160	IPE A 180
322	IPE A 100	IPE A 120	417	IPE A 180	IPE A 200	590	HE 1000x393	HE 1000x494
323	IPE A 120	IPE A 140	418	IPE A 180	IPE A 220	596	HE 180 M	HE 200 M
324	IPE A 120	IPE A 140	422	HE 1000x249	HE 900x391	598	HE 160 M	HE 180 M
325	IPE A 100	IPE A 120	424	HE 100 M	HE 120 M	601	HE 1000x494	HE 1000x584
326	HE 220 M	HE 240 M	427	HE 100 M	HE 120 M	602	HE 180 M	HE 200 M
328	HE 220 M	HE 240 M	432	IPE 160 A	IPE 180 A	608	HE 120 M	HE 140 M
329	HE 200 M	HE 220 M	433	IPE 140 A	IPE 160 A	611	HE 100 M	HE 120 M
330	HE 240 M	HE 260 M	435	IPE 140 A	IPE 200 A	612	HE 100 M	HE 120 M
331	HE 240 M	HE 260 M	436	IPE A 100	IPE A 120	613	HE 240 M	HE 260 M
334	HE 180 M	HE 200 M	437	IPE A 100	IPE A 120	614	HE 180 M	HE 200 M
338	HE 160 M	HE 180 M	439	IPE A 100	IPE A 120	623	HE 160 M	HE 180 M
340	HE 1000x249	HE 600x337	440	IPE A 180	IPE A 200	626	IPN 160 A	IPN 180 A
341	HE 1000x438	HE 1000x494	447	IPE A 180	IPE A 200	631	IPE A 100	IPE A 120
342	HE 1000x415	HE 1000x584	452	IPE A 180	IPE A 240	632	IPE A 160	IPE A 180
343	HE 180 M	HE 200 M	454	HE 140 M	HE 180 M	635	IPE A 180	IPE A 200
344	HE 140 M	HE 160 M	459	HE 180 M	HE 220 M	636	IPE A 180	IPE A 200
346	HE 200 M	HE 240 M	463	HE 160 M	HE 180 M	639	IPE A 160	IPE A 180
348	HE 140 M	HE 160 M	467	HE 300 M	HE 320 M	640	IPE A 180	IPE A 200
351	IPE A 220	IPE A 240	468	HE 160 M	HE 180 M	643	IPE A 180	IPE A 200
353	HE 300 M	HE 320 M	471	HE 260 M	HE 280 M	644	IPE A 400	IPE A 500

-Bina yüksekliği 72m için tekli binada boyutlandırmada kullanılan kesit edatları üçgenel dizilmiş binalarda yer alan 3 nolu binada kullanıldığında kesit artış durumu (devamı)

Kesit eleman no	Tekli bina	3 nolu bina	Kesit eleman no	Tekli bina	3 nolu bina	Kesit eleman no	Tekli bina	3 nolu bina
645	IPE A 450	IPE A 550	756	IPE A 100	IPE A 80	937	IPE A 100	IPE A 120
647	IPE A 220	IPE A 240	757	IPE A 100	IPE A 120	938	IPE A 160	IPE A 180
648	HE 140 M	HE 160 M	765	IPE V 450	IPE V 500	942	IPE A 160	IPE A 180
649	HE 160 M	HE 180 M	767	HE 140 M	HE 160 M	946	IPE A 180	IPE A 200
650	HE 180 M	HE 200 M	769	IPN 340 A	IPN 360 A	949	IPE A 180	IPE A 200
655	HE 200 M	HE 220 M	770	IPE V 400	IPE V 450	954	IPE A 220	IPE A 240
657	HE 160 M	HE 180 M	774	IPE A 180	IPE A 200	955	IPE A 270	IPE A 300
662	HE 160 M	HE 180 M	775	IPE A 220	IPE A 240	956	IPE A 240	IPE A 270
663	HE 200 M	HE 220 M	782	HE 120 M	HE 140 M	960	IPE A 330	IPE A 360
664	HE 200 M	HE 220 M	789	HE 160 M	HE 200 M	968	IPE A 400	IPE A 450
665	HE 320 M	HE 450 M	795	HE 220 M	HE 240 M	972	IPE A 270	IPE A 300
666	HE 300 M	HE 320 M	796	HE 180 M	HE 200 M	976	HE 140 M	HE 160 M
667	HE 160 M	HE 180 M	797	HE 260 M	HE 280 M	981	HE 180 M	HE 200 M
669	HE 160 M	HE 200 M	800	HE 240 M	HE 260 M	982	HE 160 M	HE 180 M
673	IPE A 100	IPE A 120	802	HE 220 M	HE 240 M	986	HE 160 M	HE 180 M
676	IPE A 100	IPE A 140	805	IPE A 300	IPE A 330	992	HE 180 M	HE 200 M
677	IPE A 160	IPE A 200	806	IPE A 270	IPE A 300	994	HE 120 M	HE 140 M
680	IPE A 180	IPE A 200	807	IPE A 330	IPE A 360	1024	IPE A 300	IPE A 330
681	IPE A 180	IPE A 200	811	IPN 450 A	IPN 500 A	1025	IPE A 330	IPE A 360
684	IPE A 160	IPE A 180	813	IPE A 160	IPE A 180	1030	IPE A 240	IPE A 270
685	IPE A 180	IPE A 200	815	HE 180 M	HE 200 M	1040	HE 120 M	HE 140 M
688	IPE A 160	IPE A 200	820	IPN 400 A	IPN 450 A	1085	IPE A 180	IPE A 200
689	IPE A 200	IPE A 220	822	IPN 450 A	IPN 500 A	1087	IPE A 200	IPE A 220
692	IPE A 220	IPE A 240	824	IPE A 200	IPE A 240	1096	IPE A 220	IPE A 240
693	IPE A 270	IPE A 330	828	IPE A 180	IPE A 200	1099	IPE A 270	IPE A 300
694	IPN 200 A	IPN 280 A	831	IPE A 180	IPE A 200			
699	HE 120 M	HE 140 M	832	IPE A 180	IPE A 200			
703	HE 140 M	HE 160 M	835	IPE A 160	IPE A 180			
704	IPE V 400	IPE V 450	836	IPE A 180	IPE A 200			
707	IPN 340 A	IPN 380 A	855	HE 240 M	HE 260 M			
708	HE 160 M	HE 180 M	859	HE 140 M	HE 160 M			
710	HE 100 M	HE 120 M	860	HE 220 M	HE 240 M			
711	HE 100 M	HE 140 M	861	HE 220 M	HE 240 M			
713	HE 140 M	HE 160 M	872	IPE A 240	IPE A 270			
716	HE 140 M	HE 160 M	874	IPN 340 A	IPN 360 A			
719	HE 200 M	HE 220 M	876	IPE A 330	IPE A 360			
720	HE 300 M	HE 320 M	890	IPE A 220	IPE A 240			
724	HE 200 M	HE 220 M	894	IPE A 180	IPE A 200			
725	HE 180 M	HE 200 M	897	IPE A 180	IPE A 200			
726	HE 160 M	HE 180 M	898	IPE A 160	IPE A 180			
727	HE 140 M	HE 160 M	901	IPE A 160	IPE A 180			
730	HE 200 M	HE 220 M	902	IPE A 160	IPE A 180			
731	HE 200 M	HE 220 M	905	IPE A 160	IPE A 180			
732	HE 140 M	HE 160 M	906	IPE A 100	IPE A 120			
733	HE 140 M	HE 160 M	915	HE 180 M	HE 200 M			
734	HE 160 M	HE 200 M	917	HE 180 M	HE 200 M			
742	IPE A 160	IPE A 200	920	HE 200 M	HE 220 M			
745	IPE A 180	IPE A 220	921	HE 180 M	HE 200 M			
746	IPE A 180	IPE A 200	923	HE 180 M	HE 200 M			
753	IPE A 160	IPE A 180	929	HE 120 M	HE 140 M			

EK-3

Bina yüksekliği 100m için tekli binada boyutlandırmada kullanılan kesit edatları üçgenel dizilmiş binalarda yer alan 3 nolu binada kullanıldığında kesit artış durumu.

Kesit eleman no	Tekli bina	3 nolu bina	Kesit eleman no	Tekli bina	3 nolu bina	Kesit eleman no	Tekli bina	3 nolu bina
1	HE 200 M	HE 240 M	182	HE 100 M	HE 120 M	358	IPN 450 A	IPN 500 A
5	HE 180 M	HE 240 M	183	HE 1000x415	HE 1000x584	361	IPN 240 A	IPN 260 A
10	HE 200 M	HE 220 M	187	HL 1100A	HL 1100M	363	HL 1100M	HL 1100x548
12	HE 1000x249	HE 800x373	190	HE 100 M	HE 120 M	369	IPE A 240	IPE A 270
13	HE 1000x249	HE 700x352	191	HE 1000x415	HE 1000x584	372	IPE A 220	IPE A 240
14	HE 1000x249	HE 650x343	196	HE 200 M	HE 240 M	389	HE 240 M	HE 260 M
16	HE 200 M	HE 220 M	200	HE 200 M	HE 240 M	396	HE 1000x438	HE 1000x584
19	HE 1000x249	HE 700x352	213	HE 1000x438	HE 1000x584	397	HE 1000x494	HE 1000x584
20	HE 200 M	HE 220 M	218	HL 1000M	HL 1100R	398	HE 260 M	HE 280 M
23	HL 920x1077	HL 920x1377	219	HL 1000M	HL 920x537	403	HE 300 M	HE 400 M
24	HL 920x1077	HL 920x1377	220	HE 160 M	HE 180 M	405	HE 260 M	HE 280 M
26	IPE A 200	IPE A 220	225	IPE A 270	IPE A 300	408	HE 300 M	HE 400 M
29	IPE A 200	IPE A 220	228	HE 1000x415	HE 1000x584	409	HE 240 M	HE 300 M
48	IPE A 140	IPE A 160	231	HE 1000x249	HE 800x373	415	IPE A 240	IPE A 270
49	IPE A 300	IPE A 330	232	HE 1000x249	HE 800x373	416	IPE A 220	IPE A 240
50	IPE A 300	IPE A 330	236	HE 1000x393	HE 1000x584	417	IPE A 200	IPE A 220
51	IPE A 500	IPE A 550	242	IPE A 100	IPE A 120	418	IPE A 180	IPE A 200
52	IPE V 450	IPE V 500	243	IPE A 100	IPE A 120	420	HE 120 M	HE 140 M
53	IPE A 270	IPE A 300	253	IPE A 200	IPE A 220	421	HE 140 M	HE 160 M
54	IPE A 300	IPE A 330	256	IPE A 180	IPE A 200	423	IPE V 450	IPE V 500
55	IPN 550 A	IPN 600 A	261	HE 220 M	HE 240 M	426	HE 1000x438	HE 1000x584
56	IPN 550 A	IPN 600 A	265	HE 220 M	HE 240 M	427	HE 140 M	HE 160 M
57	IPE A 270	IPE A 300	273	HE 1000x249	HE 700x352	435	IPE 140 A	IPE 160 A
58	IPE A 400	IPE A 450	277	HE 1000x494	HE 1000x584	452	IPE A 140	IPE A 180
59	IPE A 300	IPE A 330	278	HE 600x337	HE 700x352	453	IPE A 450	IPE A 550
60	IPE V 550	IPE V 600	282	HL 1100B	HL 1100R	454	HE 160 M	HE 180 M
65	HE 180 M	HE 240 M	284	HL 1000M	HL 1100R	455	HE 280 M	HE 300 M
69	HE 180 M	HE 240 M	286	IPE A 160	IPE A 180	456	HE 300 M	HE 500 M
86	HE 160 M	HE 180 M	287	IPE A 180	IPE A 200	457	HE 300 M	HE 320 M
87	HL 920x725	HL 920x970	290	IPE V 500	IPE V 550	462	HL 1000x539	HL 1100x607
88	HL 1000x642	HL 1000x883	292	HE 140 M	HE 160 M	467	HE 1000x393	HE 1000x494
98	HL 1100M	HL 1100x607	294	HE 120 M	HE 140 M	469	HE 200 M	HE 220 M
101	HE 120 M	HE 140 M	295	HE 160 M	HE 180 M	475	HE 240 M	HE 280 M
102	HL 1100M	HL 1100x607	301	HE 1000x438	HE 1000x584	481	IPE A 330	IPE A 360
106	HL 1100M	HL 1100x607	306	IPE A 200	IPE A 240	482	IPE A 180	IPE A 200
111	IPE A 180	IPE A 200	308	IPE A 180	IPE A 200	483	HE 140 M	HE 160 M
114	IPE A 200	IPE A 220	309	IPE A 200	IPE A 240	484	HE 260 M	HE 280 M
128	IPE A 180	IPE A 200	322	IPE A 180	IPE A 200	486	HE 300 M	HE 400 M
129	IPE A 180	IPE A 200	324	IPE A 180	IPE A 200	492	HL 1100R	HL 1100x607
131	HE 180 M	HE 240 M	325	IPE A 180	IPE A 200	494	IPE A 300	IPE A 330
135	HE 180 M	HE 240 M	326	HE 220 M	HE 240 M	496	IPN 100 A	IPN 120 A
147	HE 1000x494	HE 1000x584	328	HE 220 M	HE 240 M	498	HE 100 M	HE 120 M
148	HE 600x337	HE 650x343	330	HE 260 M	HE 280 M	500	IPE A 100	IPE A 120
149	HE 1000x438	HE 1000x584	340	HE 1000x494	HE 1000x584	501	IPE A 140	IPE A 160
153	HL 1000x483	HL 1100x607	346	HE 550 M	HE 700 M	515	IPE A 240	IPE A 270
154	HL 920x537	HL 920x725	348	HE 160 M	HE 180 M	517	IPE A 450	IPE A 550
156	IPE A 200	IPE A 220	349	IPE A 160	IPE A 180	518	IPE A 400	IPE A 550
159	IPE A 200	IPE A 220	354	IPN 260 A	IPN 280 A	535	HL 920x1077	HL 920x1377
173	IPE A 100	IPE A 120	356	HE 140 M	HE 160 M	560	IPE A 450	IPE A 550
180	IPE A 270	IPE A 300	357	HE 1000x249	HE 800x373	568	IPE A 450	IPE A 550

Bina yüksekliği 100m için tekli binada boyutlandırılmada kullanılan kesit edatları üçgenel dizilmiş binalarda yer alan 3 nolu binada kullanıldığında kesit artış durumu (devamı).

Kesit eleman no	Tekli bina	3 nolu bina	Kesit eleman no	Tekli bina	3 nolu bina	Kesit eleman no	Tekli bina	3 nolu bina
570	IPE A 220	IPE A 240	811	IPN 260 A	IPN 280 A	1202	HE A 600	HE A 800
579	IPE A 450	IPE A 500	813	IPE O 240	IPE O 270	1204	IPN 400 A	IPN 450 A
580	IPE A 200	IPE A 220	818	IPN 200 A	IPN 220 A	1210	IPE A 220	IPE A 240
583	IPE A 180	IPE A 200	821	HE A 450	HE A 500	1214	IPE A 240	IPE A 270
616	HE 300 M	HE 320 M	823	IPE A 360	IPE A 400	1236	HE 260 M	HE 300 M
624	IPE A 160	IPE A 180	827	IPE A 270	IPE A 300	1245	HE 280 M	HE 300 M
625	IPE A 220	IPE A 240	841	IPE A 160	IPE A 180	1247	HE 280 M	HE 300 M
633	IPE A 120	IPE A 140	842	IPE A 140	IPE A 160	1252	HE 260 M	HE 280 M
637	IPE A 120	IPE A 140	844	HE 240 M	HE 260 M	1260	IPE A 220	IPE A 240
644	IPE A 450	IPE A 550	852	HE 650 M	HE 800 M	1270	IPE A 500	IPE A 550
645	IPE A 500	IPE A 550	858	HE 200 M	HE 220 M	1274	IPE A 550	IPE A 600
647	IPE A 220	IPE A 240	860	HE 260 M	HE 280 M	1278	IPE A 270	IPE A 300
654	HE 300 M	HE 320 M	866	HE 260 M	HE 280 M	1279	IPE A 240	IPE A 270
657	HE 300 M	HE 400 M	867	HE 280 M	HE 300 M	1280	IPE A 240	IPE A 270
663	HE 240 M	HE 260 M	868	HE 180 M	HE 200 M	1309	HE 160 M	HE 180 M
666	HE 240 M	HE 260 M	886	IPE A 200	IPE A 220	1311	HE 260 M	HE 280 M
689	IPE A 160	IPE A 180	887	IPE A 300	IPE A 330	1323	HE 140 M	HE 160 M
692	IPE A 300	IPE A 330	890	IPE A 240	IPE A 270	1326	IPE A 200	IPE A 220
696	IPE A 400	IPE A 450	893	IPE A 240	IPE A 270	1329	IPE A 300	IPE A 330
697	IPE V 500	IPE V 550	912	HE 240 M	HE 260 M	1335	IPE A 330	IPE A 360
700	HL 1100x548	HL 920x725	915	HE 240 M	HE 260 M	1338	IPE A 550	IPE A 600
713	HE 140 M	HE 160 M	920	HE 450 M	HE 500 M	1342	IPE A 400	IPE A 450
717	HE 240 M	HE 260 M	922	HE 300 M	HE 320 M	1370	HE 140 M	HE 160 M
718	HE 200 M	HE 220 M	925	HE 800 M	HE 900 M	1374	HE 160 M	HE 180 M
720	HE 1000x249	HE 600x337	927	HE 650 M	HE 800 M	1390	IPE A 400	IPE A 450
721	HE 1000x494	HE 1000x58	932	HE 240 M	HE 260 M	1394	IPE A 330	IPE A 360
736	HE 200 M	HE 220 M	934	IPE A 100	IPE A 120	1395	IPE A 500	IPE A 550
737	HE 240 M	HE 260 M	935	IPE A 120	IPE A 140	1403	IPE A 300	IPE A 330
738	IPE A 200	IPE A 220	940	IPE A 100	IPE A 120	1404	IPE A 450	IPE A 500
741	IPE A 200	IPE A 220	950	IPE A 240	IPE A 270	1407	IPE A 450	IPE A 500
758	IPE A 180	IPE A 200	953	IPE A 240	IPE A 270	1431	HE 240 M	HE 260 M
759	IPE O 180	IPE O 200	968	IPE A 270	IPE A 300	1435	HE 240 M	HE 260 M
760	IPE O 180	IPE O 200	969	IPE A 400	IPE A 450	1436	HE 180 M	HE 200 M
761	IPE A 270	IPE A 300	971	IPE A 220	IPE A 240	1440	HE 160 M	HE 180 M
763	HE 1000x249	HE 700x352	972	IPE A 220	IPE A 240	1445	HE 160 M	HE 180 M
765	IPE V 500	IPE V 550	981	HE 240 M	HE 260 M	1450	HE 160 M	HE 180 M
769	IPN 550 A	IPN 600 A	984	HE 1000x415	HE 1000x494	1476	IPE A 450	IPE A 500
770	IPE V 500	IPE V 550	985	HE 800 M	HE 900 M	1477	IPE A 240	IPE A 270
773	HE A 240	HE A 260	1000	IPE A 160	IPE A 180	1491	IPE A 270	IPE A 300
774	IPE A 400	IPE A 450	1001	IPE A 160	IPE A 180	1492	IPE A 400	IPE A 450
779	HE 240 M	HE 260 M	1015	IPE A 240	IPE A 270	1494	IPE A 330	IPE A 360
780	HE 300 M	HE 400 M	1023	IPE A 330	IPE A 360	1495	IPE A 220	IPE A 240
784	HE 180 M	HE 200 M	1025	IPE A 450	IPE A 500	1510	HE 140 M	HE 160 M
785	HE 200 M	HE 220 M	1026	IPE A 270	IPE A 300	1511	HE A 220	HE A 240
790	HE 300 M	HE 320 M	1027	HE 1000x494	HE 1000x584	1515	HE A 240	HE A 260
795	HE 300 M	HE 340 M	1030	IPE A 270	IPE A 300	1523	IPE A 200	IPE A 220
800	HE 300 M	HE 340 M	1031	IPE A 400	IPE A 450	1524	IPE A 220	IPE A 240
801	HE 600 M	HE 800 M	1046	HE 220 M	HE 240 M	1536	IPE A 220	IPE A 240
806	IPE A 330	IPE A 360	1080	IPE A 240	IPE A 270	1538	IPE A 200	IPE A 220
808	IPE A 450	IPE A 500	1091	IPE A 270	IPE A 300	1539	IPE A 240	IPE A 270
			1098	IPE A 240	IPE A 270	1541	IPE A 240	IPE A 270
			1149	IPE A 220	IPE A 240	1544	IPE A 240	IPE A 270

EK-4

Bina yüksekliği 44m için tekli binada boyutlandırmada kullanılan kesit edatları Ardı sıra dizilmiş binalarda yer alan 3 nolu binada kullanıldığında kesit artış durumu.

Kesit eleman no	Tekli bina	3 nolu bina	Kesit eleman no	Tekli bina	3 nolu bina	Kesit eleman no	Tekli bina	3 nolu bina
2	HE 260 AA	HE 280 AA	99	IPE A 360	IPE A 400	268	HE 340 AA	HE 360 AA
3	HE 260 AA	HE 280 AA	100	IPE A 360	IPE A 400	269	HE 360 AA	HE 400 AA
4	HE 240 AA	HE 260 AA	101	IPE A 450	IPE A 500	272	HE 550 AA	HE 650 AA
5	HE 260 AA	HE 280 AA	103	IPE A 360	IPE A 400	273	HE 320 AA	HE 340 AA
6	HE 260 AA	HE 320 AA	104	IPE A 450	IPE A 500	274	HE 500 AA	HE 550 AA
7	HE 450 AA	HE 650 AA	105	IPE A 550	IPE A 600	277	HE 400 AA	HE 450 AA
8	HE 550 AA	HE 800 AA	115	IPE A 200	IPE A 220	278	HE 340 AA	HE 360 AA
9	HE 550 AA	HE 800 AA	118	IPE A 200	IPE A 220	280	HE 240 AA	HE 260 AA
10	HE 260 AA	HE 280 AA	119	IPE A 180	IPE A 200	285	HE 220 AA	HE 240 AA
11	HE 260 AA	HE 320 AA	122	IPE A 180	IPE A 200	326	HE 300 AA	HE 340 AA
13	HE 400 AA	HE 550 AA	123	IPE A 200	IPE A 220	328	HE 300 AA	HE 340 AA
14	HE 400 AA	HE 550 AA	126	IPE A 180	IPE A 200	330	HE 400 AA	HE 450 AA
15	HE 260 AA	HE 280 AA	127	IPE A 140	IPE A 160	331	HE 300 AA	HE 320 AA
16	HE 260 AA	HE 320 AA	131	HE 260 AA	HE 300 AA	332	HE 340 AA	HE 360 AA
17	HE 300 A A	HE 400 A A	135	HE 260 AA	HE 300 AA	335	HE 340 AA	HE 400 AA
18	HE 550 AA	HE 800 AA	136	HE 260 AA	HE 280 AA	336	HE 300 AA	HE 320 AA
21	HE 220 AA	HE 260 AA	137	HE 400 AA	HE 500 AA	337	HE 340 AA	HE 360 AA
22	HE 1000 A	HE 300 A A	138	HE 360 AA	HE 450 AA	338	HE 240 AA	HE 260 AA
25	HE 220 AA	HE 240 AA	139	HE 400 AA	HE 500 AA	340	HE 340 AA	HE 360 AA
33	IPE A 180	IPE A 200	141	HE 260 AA	HE 280 AA	341	HE 320 AA	HE 340 AA
34	IPE A 180	IPE A 200	142	HE 550 AA	HE 700 AA	343	HE 240 AA	HE 260 AA
37	IPE A 180	IPE A 200	143	HE 400 AA	HE 550 AA	354	IPE A 400	IPE A 450
38	IPE A 180	IPE A 200	144	HE 500 AA	HE 650 AA	370	IPE A 100	IPE A 80 A
48	IPE A 200	IPE A 220	146	HE 260 AA	HE 280 AA	371	IPE A 100	IPE A 80 A
49	IPE A 330	IPE A 360	148	HE 450 AA	HE 550 AA	389	HE 300 AA	HE 340 AA
50	IPE A 400	IPE A 450	151	HE 220 AA	HE 240 AA	391	HE 240 AA	HE 260 AA
51	IPE A 360	IPE A 400	153	HE 320 AA	HE 400 AA	399	HE 240 AA	HE 260 AA
53	IPE A 360	IPE A 400	160	IPE A 180	IPE A 200	405	HE 300 AA	HE 320 AA
54	IPE A 330	IPE A 360	163	IPE A 180	IPE A 200	406	HE 340 AA	HE 360 AA
55	IPE A 360	IPE A 400	164	IPE A 180	IPE A 200	407	HE 300 AA	HE 320 AA
57	IPE A 360	IPE A 400	167	IPE A 180	IPE A 200	409	HE 450 AA	HE 550 AA
58	IPE A 330	IPE A 360	168	IPE A 180	IPE A 200	430	IPE A 360	IPE A 400
59	IPE A 400	IPE A 450	171	IPE A 180	IPE A 200	461	HE 260 AA	HE 280 AA
65	HE 260 AA	HE 280 AA	172	IPE A 140	IPE A 160	462	HE 260 AA	HE 300 AA
69	HE 260 AA	HE 300 AA	178	IPE A 200	IPE A 220	466	HE 260 AA	HE 280 AA
70	HE 280 AA	HE 300 AA	186	IPE A 450	IPE A 500	467	HE 260 AA	HE 280 AA
71	HE 450 AA	HE 500 AA	189	IPE A 450	IPE A 500	472	HE 260 AA	HE 280 AA
72	HE 400 AA	HE 450 AA	196	HE 280 AA	HE 300 AA	474	HE 320 AA	HE 340 AA
73	HE 400 AA	HE 450 AA	200	HE 300 AA	HE 320 AA	476	HE 600 AA	HE 700 AA
75	HE 280 AA	HE 300 AA	202	HE 320 AA	HE 340 AA	493	IPE A 300	IPE A 330
76	HE 450 AA	HE 550 AA	203	HE 320 AA	HE 340 AA	512	IPE A 100	IPE A 80 A
77	HE 400 AA	HE 450 AA	205	HE 260 AA	HE 280 AA	516	IPE A 100	IPE A 80 A
78	HE 400 AA	HE 500 AA	208	HE 400 AA	HE 450 AA	523	HE 320 AA	HE 360 AA
80	IPE A 180	IPE A 200	212	HE 650 AA	HE 800 AA	525	HE 240 AA	HE 260 AA
83	HE 500 AA	HE 550 AA	214	HE 550 AA	HE 600 AA	526	HE 240 AA	HE 260 AA
84	HE 650 AA	HE 900 AA	215	HE 260 AA	HE 280 AA	527	HE 240 AA	HE 260 AA
85	HE 280 AA	HE 300 AA	220	HE 220 AA	HE 240 AA	543	HE 320 AA	HE 340 AA
90	HE 240 AA	HE 260 AA	244	IPE A 140	IPE A 160	549	IPE A 100	IPE A 80 A
91	IPE A 220	IPE A 240	245	IPE A 180	IPE A 200	550	IPE A 100	IPE A 80 A
92	IPE A 220	IPE A 240	248	IPE A 180	IPE A 200	553	IPE A 100	IPE A 80 A
93	IPE A 220	IPE A 240	249	IPE A 180	IPE A 200	584	HE 320 AA	HE 360 AA
94	IPE A 220	IPE A 240	261	HE 300 AA	HE 340 AA	604	HE 320 AA	HE 340 AA
95	IPE A 400	IPE A 450	262	HE 200 AA	HE 220 AA	652	HE 300 AA	HE 320 AA
96	IPE A 360	IPE A 400	265	HE 300 AA	HE 320 AA	672	HE 300 AA	HE 320 AA
97	IPE A 550	IPE A 600	267	HE 400 AA	HE 450 AA	691	IPE A 100	IPE A 80 A
						710	IPE A 100	IPE A 80 A

EK-5

Bina yüksekliği 72m için tekli binada boyutlandırmada kullanılan kesit edatları Ardı sıra dizilmiş binalarda yer alan 3 nolu binada kullanıldığında kesit artış durumu.

Kesit eleman no	Tekli bina	3 nolu bina	Kesit eleman no	Tekli bina	3 nolu bina	Kesit eleman no	Tekli bina	3 nolu bina
5	HE 180 M	HE 200 M	163	IPE A 180	IPE A 220	323	IPE A 120	IPE A 140
6	HE 160 M	HE 180 M	164	IPE A 180	IPE A 220	324	IPE A 120	IPE A 140
11	HE 180 M	HE 200 M	167	IPE A 180	IPE A 220	325	IPE A 100	IPE A 120
12	HE 1000x249	HE 650x343	168	IPE A 180	IPE A 220	326	HE 220 M	HE 240 M
14	HE 1000x249	HE 600x337	171	IPE A 180	IPE A 240	328	HE 220 M	HE 240 M
16	HE 1000x249	HE 650x343	172	IPE A 160	IPE A 180	330	HE 240 M	HE 260 M
17	HE 1000x249	HE 650x343	173	IPE A 180	IPE A 220	333	HE 160 M	HE 180 M
18	HE 1000x249	HE 600x337	174	IPE A 200	IPE A 240	338	HE 160 M	HE 180 M
19	HE 1000x249	HE 650x343	196	HE 200 M	HE 220 M	340	HE 1000x249	HE 600x337
21	HE 140 M	HE 160 M	200	HE 200 M	HE 220 M	341	HE 1000x438	HE 1000x494
24	HE 300 M	HE 550 M	205	HE 180 M	HE 200 M	342	HE 1000x415	HE 1000x438
26	IPE A 180	IPE A 200	210	HE 180 M	HE 200 M	343	HE 180 M	HE 200 M
29	IPE A 180	IPE A 220	215	HE 180 M	HE 200 M	349	IPE A 240	IPE A 270
33	IPE A 160	IPE A 200	217	HE 600 M	HE 650 M	350	IPE A 220	IPE A 240
34	IPE A 180	IPE A 220	219	HE 240 M	HE 260 M	351	IPE A 220	IPE A 240
37	IPE A 160	IPE A 200	220	HE 140 M	HE 160 M	352	IPE 200 A	IPE 220 A
38	IPE A 200	IPE A 240	221	IPE A 160	IPE A 180	369	IPE A 220	IPE A 270
69	HE 180 M	HE 200 M	222	IPE A 120	IPE A 140	372	IPE A 240	IPE A 270
70	HE 200 M	HE 220 M	223	IPE A 140	IPE A 160	373	IPE A 180	IPE A 200
75	HE 200 M	HE 220 M	241	IPE A 100	IPE A 120	376	IPE A 180	IPE A 200
78	HE 240 M	HE 260 M	242	IPE A 120	IPE A 160	377	IPE A 180	IPE A 220
82	HE 550 M	HE 650 M	243	IPE A 120	IPE A 140	380	IPE A 180	IPE A 200
85	HE 200 M	HE 220 M	244	IPE A 100	IPE A 120	381	IPE A 180	IPE A 220
88	HE 1000x438	HE 1000x494	245	IPE A 180	IPE A 240	384	IPE A 180	IPE A 240
93	IPE A 140	IPE A 160	248	IPE A 180	IPE A 220	385	IPE A 100	IPE A 120
102	HE 1000x438	HE 1000x494	249	IPE A 180	IPE A 220	387	IPE A 140	IPE A 160
111	IPE A 180	IPE A 220	252	IPE A 180	IPE A 220	388	IPE A 100	IPE A 120
114	IPE A 180	IPE A 200	253	IPE A 200	IPE A 240	390	HE 160 M	HE 180 M
115	IPE A 180	IPE A 220	256	IPE A 200	IPE A 240	391	HE 160 M	HE 180 M
118	IPE A 180	IPE A 220	257	IPE A 180	IPE A 220	392	HE 160 M	HE 180 M
119	IPE A 180	IPE A 220	260	IPE A 180	IPE A 220	396	HE 1000x249	HE 600x337
122	IPE A 180	IPE A 220	261	HE 200 M	HE 220 M	397	HE 280 M	HE 300 M
123	IPE A 180	IPE A 220	265	HE 200 M	HE 220 M	398	HE 180 M	HE 200 M
124	IPE A 100	IPE A 120	270	HE 180 M	HE 200 M	401	HE 1000x393	HE 1000x415
125	IPE A 100	IPE A 140	273	HE 1000x494	HE 1000x584	402	HE 200 M	HE 220 M
126	IPE A 180	IPE A 220	275	HE 180 M	HE 200 M	406	HE 240 M	HE 260 M
127	IPE A 120	IPE A 140	280	HE 180 M	HE 200 M	407	HE 600x337	HE 650x343
128	IPE A 100	IPE A 120	287	IPE A 220	IPE A 240	408	HE 220 M	HE 240 M
129	IPE A 180	IPE A 220	288	IPE A 160	IPE A 180	418	IPE A 180	IPE A 220
130	IPE A 200	IPE A 240	289	IPE 180 A	IPE 200 A	436	IPE A 100	IPE A 120
136	HE 180 M	HE 200 M	303	IPE A 100	IPE A 80	438	IPE A 100	IPE A 120
141	HE 180 M	HE 200 M	306	IPE A 200	IPE A 240	440	IPE A 180	IPE A 220
146	HE 180 M	HE 200 M	309	IPE A 180	IPE A 200	443	IPE A 180	IPE A 220
147	HE 260 M	HE 280 M	310	IPE A 180	IPE A 220	444	IPE A 180	IPE A 200
149	HE 300 M	HE 320 M	313	IPE A 180	IPE A 200	446	IPE A 100	IPE A 120
151	HE 140 M	HE 160 M	314	IPE A 180	IPE A 220	447	IPE A 180	IPE A 220
152	HE 800 M	HE 900 M	317	IPE A 180	IPE A 220	448	IPE A 180	IPE A 200
156	IPE A 180	IPE A 220	318	IPE A 180	IPE A 240	451	IPE A 180	IPE A 200
159	IPE A 200	IPE A 220	321	IPE A 180	IPE A 220	452	IPE A 180	IPE A 220
160	IPE A 180	IPE A 220	322	IPE A 100	IPE A 120	453	IPE A 360	IPE A 450

Bina yüksekliği 72m için tekli binada boyutlandırmada kullanılan kesit edatları Ardı sıra dizilmiş binalarda yer alan 3 nolu binada kullanıldığında kesit artış durumu (devamı)

Kesit eleman no	Tekli bina	3 nolu bina	Kesit eleman no	Tekli bina	3 nolu bina	Kesit eleman no	Tekli bina	3 nolu bina
459	HE 180 M	HE 200 M	560	IPE A 400	IPE A 450	689	IPE A 200	IPE A 220
464	HE 180 M	HE 200 M	570	IPE A 240	IPE A 270	692	IPE A 220	IPE A 270
467	HE 300 M	HE 320 M	590	HE 1000x393	HE 1000x415	714	HE 160 M	HE 180 M
469	HE 180 M	HE 200 M	596	HE 180 M	HE 200 M	715	HE 140 M	HE 160 M
471	HE 260 M	HE 280 M	598	HE 160 M	HE 180 M	716	HE 140 M	HE 160 M
476	HE 280 M	HE 300 M	606	HE 140 M	HE 160 M	725	HE 180 M	HE 200 M
477	HE 160 M	HE 180 M	608	HE 120 M	HE 140 M	738	IPE A 220	IPE A 240
478	HE 300 M	HE 320 M	632	IPE A 160	IPE A 180	741	IPE A 220	IPE A 240
503	IPE A 160	IPE A 180	635	IPE A 180	IPE A 200	745	IPE A 180	IPE A 200
506	IPE A 180	IPE A 200	636	IPE A 180	IPE A 200	749	IPE A 180	IPE A 200
507	IPE A 180	IPE A 200	639	IPE A 160	IPE A 180	750	IPE A 180	IPE A 200
508	IPE A 100	IPE A 120	640	IPE A 180	IPE A 200	753	IPE A 160	IPE A 180
510	IPE A 180	IPE A 220	644	IPE A 400	IPE A 450	757	IPE A 100	IPE A 120
511	IPE A 180	IPE A 200	647	IPE A 220	IPE A 240	789	HE 160 M	HE 180 M
514	IPE A 180	IPE A 200	651	HE 200 M	HE 220 M	824	IPE A 200	IPE A 220
515	IPE A 240	IPE A 300	657	HE 160 M	HE 180 M	831	IPE A 180	IPE A 200
517	IPE A 400	IPE A 500	662	HE 160 M	HE 180 M	835	IPE A 160	IPE A 180
518	IPE A 400	IPE A 450	669	HE 160 M	HE 180 M	836	IPE A 180	IPE A 200
530	HE 180 M	HE 200 M	677	IPE A 160	IPE A 180	839	IPE A 180	IPE A 200
548	IPE A 180	IPE A 200	680	IPE A 180	IPE A 200	860	HE 220 M	HE 240 M
551	IPE A 180	IPE A 200	681	IPE A 180	IPE A 200	890	IPE A 220	IPE A 240
552	IPE A 160	IPE A 180	684	IPE A 160	IPE A 180	898	IPE A 160	IPE A 180
556	IPE A 180	IPE A 200	685	IPE A 180	IPE A 200	902	IPE A 160	IPE A 180
						1018	IPE A 220	IPE A 240
						1083	IPE A 220	IPE A 240

EK-6

Bina yüksekliği 100m için tekli binada boyutlandırmada kullanılan kesit edatları Ardı sıra dizilmiş binalarda yer alan 3 nolu binada kullanıldığında kesit artış durumu.

Kesit eleman no	Tekli bina	3 nolu bina	Kesit eleman no	Tekli bina	3 nolu bina	Kesit eleman no	Tekli bina	3 nolu bina
5	HE 180 M	HE 200 M	426	HE 1000x438	HE 1000x494	1006	IPE A 160	IPE A 180
10	HE 200 M	HE 220 M	432	IPE 140 A	IPE 160 A	1007	IPE A 160	IPE A 180
16	HE 200 M	HE 220 M	438	IPE A 140	IPE A 160	1011	IPE A 160	IPE A 180
23	HL 920x1077	HL 920x1269	442	IPE A 140	IPE A 160	1019	IPE A 200	IPE A 220
24	HL 920x1077	HL 920x1377	456	HE 300 M	HE 320 M	1020	IPE A 180	IPE A 200
57	IPE A 270	IPE A 300	462	HL 1000x539	HL 1000x591	1021	IPE A 220	IPE A 240
58	IPE A 400	IPE A 450	467	HE 1000x393	HE 1000x494	1023	IPE A 330	IPE A 360
60	IPE V 550	IPE V 600	469	HE 200 M	HE 220 M	1024	IPE A 220	IPE A 240
69	HE 180 M	HE 200 M	478	HE 300 M	HE 700 M	1025	IPE A 450	IPE A 500
88	HL 1000x642	HL 920x725	492	HL 1100R	HL 1100x607	1026	IPE A 270	IPE A 300
98	HL 1100M	HL 1100x548	496	IPN 100 A	IPN 120 A	1027	HE 1000x494	HE 1000x584
102	HL 1100M	HL 1100R	517	IPE A 450	IPE A 500	1045	HE 200 M	HE 220 M
114	IPE A 200	IPE A 220	518	IPE A 400	IPE A 450	1046	HE 220 M	HE 240 M
129	IPE A 180	IPE A 200	548	IPE A 180	IPE A 200	1068	IPE A 180	IPE A 200
130	IPE A 100	IPE A 120	560	IPE A 450	IPE A 500	1072	IPE A 160	IPE A 180
131	HE 180 M	HE 200 M	568	IPE A 450	IPE A 500	1076	IPE A 160	IPE A 180
135	HE 180 M	HE 220 M	632	IPE A 160	IPE A 180	1080	IPE A 240	IPE A 270
141	HE 200 M	HE 220 M	636	IPE A 160	IPE A 180	1084	IPE A 180	IPE A 200
149	HE 1000x438	HE 1000x584	640	IPE A 180	IPE A 200	1085	IPE A 160	IPE A 180
153	HL 1000x483	HL 920x537	644	IPE A 450	IPE A 500	1086	IPE A 200	IPE A 220
159	IPE A 200	IPE A 220	653	HL 1100x607	HL 920x725	1088	IPE A 240	IPE A 270
182	HE 100 M	HE 120 M	657	HE 300 M	HE 400 M	1090	IPE A 300	IPE A 330
183	HE 1000x415	HE 1000x584	673	IPE A 180	IPE A 200	1091	IPE A 270	IPE A 300
200	HE 200 M	HE 220 M	677	IPE A 160	IPE A 180	1093	HL 1100x607	HL 920x725
213	HE 1000x438	HE 1000x494	681	IPE A 180	IPE A 200	1103	IPE A 180	IPE A 200
217	HL 1100R	HL 1100x607	696	IPE A 400	IPE A 450	1115	HE 200 M	HE 220 M
218	HL 1000M	HL 1100M	700	HL 1100x548	HL 920x725	1120	HE 180 M	HE 200 M
219	HL 1000M	HL 1100B	714	HE 160 M	HE 180 M	1121	HE 180 M	HE 200 M
221	IPE A 160	IPE A 180	715	HE 160 M	HE 180 M	1123	HE 140 M	HE 160 M
228	HE 1000x415	HE 1000x584	741	IPE A 200	IPE A 220	1130	IPE A 180	IPE A 200
231	HE 1000x249	HE 700x352	745	IPE A 180	IPE A 200	1131	IPE A 200	IPE A 220
236	HE 1000x393	HE 900x391	753	IPE A 140	IPE A 160	1149	IPE A 220	IPE A 240
243	IPE A 100	IPE A 120	754	IPE A 100	IPE A 120	1157	IPE A 160	IPE A 180
253	IPE A 200	IPE A 220	774	IPE A 400	IPE A 450	1161	IPE A 160	IPE A 180
261	HE 220 M	HE 240 M	784	HE 180 M	HE 200 M	1164	IPE A 160	IPE A 180
277	HE 1000x494	HE 1000x584	789	HE 180 M	HE 200 M	1185	HE 200 M	HE 220 M
284	HL 1000M	HL 1100B	801	HE 600 M	HE 650 M	1195	IPE A 240	IPE A 270
286	IPE A 160	IPE A 180	827	IPE A 270	IPE A 300	1202	HE A 600	HE A 700
287	IPE A 180	IPE A 200	831	IPE A 180	IPE A 200	1214	IPE A 240	IPE A 270
288	IPE A 140	IPE A 160	835	IPE A 180	IPE A 200	1218	IPE A 180	IPE A 200
289	IPE A 180	IPE A 200	842	IPE A 140	IPE A 160	1222	IPE A 160	IPE A 180
290	IPE V 500	IPE V 550	858	HE 200 M	HE 220 M	1229	IPE A 160	IPE A 180
292	HE 140 M	HE 160 M	890	IPE A 240	IPE A 270	1236	HE 260 M	HE 280 M
303	IPE A 100	IPE A 80	893	IPE A 240	IPE A 270	1240	HE 240 M	HE 260 M
308	IPE A 180	IPE A 200	897	IPE A 160	IPE A 180	1243	HE 140 M	HE 160 M
309	IPE A 200	IPE A 220	901	IPE A 160	IPE A 180	1245	HE 280 M	HE 300 M
322	IPE A 180	IPE A 200	915	HE 240 M	HE 260 M	1260	IPE A 220	IPE A 240
323	IPE A 180	IPE A 200	920	HE 450 M	HE 550 M	1285	IPE A 180	IPE A 200
324	IPE A 180	IPE A 200	923	HE 160 M	HE 180 M	1289	IPE A 160	IPE A 180
326	HE 220 M	HE 240 M	925	HE 800 M	HE 900 M	1311	HE 260 M	HE 280 M
340	HE 1000x494	HE 1000x584	934	IPE A 100	IPE A 120	1314	HE 140 M	HE 160 M
341	HL 1100x548	HL 1100x607	936	IPE A 120	IPE A 140	1321	HE 140 M	HE 160 M
342	HL 1100x607	HL 920x588	937	IPE A 100	IPE A 120	1323	HE 140 M	HE 160 M
346	HE 550 M	HE 650 M	938	IPE A 140	IPE A 160	1326	IPE A 200	IPE A 220
349	IPE A 160	IPE A 180	939	IPE A 100	IPE A 120	1329	IPE A 300	IPE A 330
350	IPE A 200	IPE A 220	941	IPE A 140	IPE A 160	1350	IPE A 180	IPE A 200
351	IPE A 160	IPE A 180	942	IPE A 160	IPE A 180	1354	IPE A 160	IPE A 180
352	IPE 180 A	IPE 200 A	946	IPE A 160	IPE A 180	1370	HE 140 M	HE 160 M
353	HE 900 M	HE 900 M	950	IPE A 240	IPE A 270	1390	IPE A 400	IPE A 450
354	IPN 260 A	IPN 280 A	954	IPE A 220	IPE A 240	1394	IPE A 330	IPE A 360
356	HE 140 M	HE 160 M	955	IPN 140 A	IPN 160 A	1404	IPE A 450	IPE A 500
386	IPE A 160	IPE A 180	956	IPE A 220	IPE A 240	1415	IPE A 180	IPE A 200
387	IPE A 120	IPE A 140	979	HE 220 M	HE 240 M	1436	HE 180 M	HE 200 M
388	IPE A 140	IPE A 160	980	HE 200 M	HE 220 M	1445	HE 160 M	HE 180 M
391	HE 180 M	HE 200 M	981	HE 240 M	HE 280 M	1450	HE 160 M	HE 180 M
392	HE 180 M	HE 200 M	984	HE 1000x415	HE 1000x494	1456	IPE A 200	IPE A 220
397	HE 1000x494	HE 1000x584	985	HE 800 M	HE 900 M	1476	IPE A 450	IPE A 500
408	HE 300 M	HE 340 M	1000	IPE A 160	IPE A 200	1477	IPE A 240	IPE A 270
409	HE 240 M	HE 260 M	1001	IPE A 160	IPE A 180	1491	IPE A 270	IPE A 300
426	HE 1000x438	HE 1000x494	1003	IPE A 160	IPE A 180	1515	HE A 240	HE A 260
						1541	IPE A 240	IPE A 270