

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK BİNALARIN DEPREM VE RÜZGÂR
ETKİLERİ ALTINDA STATİK VE DİNAMİK
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**



Gökhan ERASLAN

Eylül, 2019
İZMİR

YÜKSEK BİNALARIN DEPREM VE RÜZGÂR ETKİLERİ ALTINDA STATİK VE DİNAMİK DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

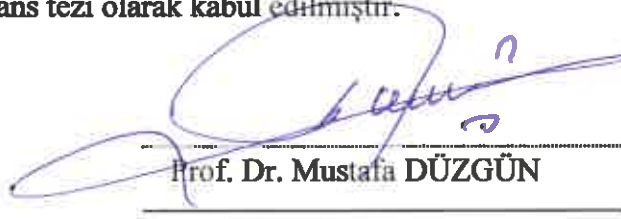
**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Programı**

Gökhan ERASLAN

**Eylül, 2019
İZMİR**

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

GÖKHAN ERASLAN, tarafından **PROF. DR. MUSTAFA DÜZGÜN** yönetiminde hazırlanan “**YÜKSEK BİNALARIN DEPREM VE RÜZGÂR ETKİLERİ ALTINDA STATİK VE DİNAMİK DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



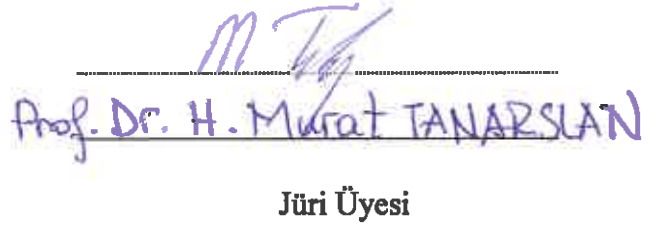
Prof. Dr. Mustafa DÜZGÜN

Yönetici



Prof. Dr. Özgür EĞİLMEZ

Jüri Üyesi



Prof. Dr. H. Murat TANARSLAN

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Kadriye ERTEKİN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Mesleğimi sevdiren, lisans yıllarımdan bu yana gerek mesleki bilgilerinden gerekse hayat tecrübelerinden faydalandığım, tez çalışmam süresince desteğini esirgemeyen çok değerli hocam, tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Mustafa DÜZGÜN'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

İnşaat mühendisi olarak mezun olduğum günden bu yana bana çok emeği geçen, her zaman yanımda olan, beni destekleyen, yetiştiren, kendisiyle her türlü sıkıntıyı paylaşabildiğim, mesleki bilgisine ve düşüncelerine hayran olduğum çok değerli hocam Sayın Prof. Dr. Gürkan ÖZDEN'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Lisans yıllarımdan itibaren birlikte çalışma fırsatı bulduğum, yol gösterici fikir ve yorumlarıyla bana her konuda yardımcı olan, tez çalışmamın şekillenmesinde büyük emeği geçen, çalışmalarımızın her aşamasında zamanından fedakârlık ederek büyük bir özveri ile yardımlarda bulunan, kendisinden çok şey öğrendiğim çok değerli hocam Sayın Dr. Özgür BOZDAĞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez sürecimin her döneminde bana sabırla destek veren, her daim yanımda bulunan, yaptığım çalışmalarda zora düştüğümde beni cesaretlendiren, sevgili eşim Ceren ERASLAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Maddi manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen beni bu günlere getiren sevgili annem Tülay ERASLAN ve babam Osman Zinnur ERASLAN'a ayrıca sevgili kardeşim Gürkan ERASLAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Gökhan ERASLAN

YÜKSEK BİNALARIN DEPREM VE RÜZGÂR ETKİLERİ ALTINDA STATİK VE DİNAMİK DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

ÖZ

Son yıllarda özellikle yapılaşmanın yoğun olduğu kentsel alanlarda, insanların ihtiyaç duyduğu konut ve ofis ihtiyacını karşılamak üzere yüksek bina yapımı hızla artmıştır. Bu yüksek yapıların tasarımı özel tasarım ve yaklaşım analizlerini gerektirmektedir. Ülkemize bakıldığında bu tür yapıların güvenle tasarımı için düşey etkilerin yanında rüzgâr ve deprem etkileri de ön plana çıkmaktadır. Özellikle bina yüksekliği arttıkça rüzgâr yüklerinin etkisi daha önemli bir hale gelmektedir. Rüzgârın sürekli meydana geldiği meteorolojik bir olay olması sebebiyle tekerrür aralığının düşük olduğu göz önüne alındığında, yüksek binaların konforu açısından rüzgâr etkisi altında tasarım diğer etkilere göre daha önemli hale gelmektedir.

Bu tez çalışmasında, olasılık yöntemi olan Spektral Temsil Yöntemi (SRM) kullanılarak binaya etki edecek dinamik rüzgâr kuvvetinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu yöntemle ile dinamik rüzgâr kuvvetleri, zamana bağlı olarak hesaplanan sentetik rüzgâr kayıtlarından üretilmiştir. SRM ile elde edilen dinamik rüzgâr yükleri TS EN 1991 1-4 (2007) standardında tanımlanan eşdeğer statik rüzgâr yükleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, uygulama açısından İzmir’de yapılması planlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) ve TS 500 (2000)’de yer alan tasarım ilkelerine göre tasarlanmış betonarme yüksek bir binanın deprem ve rüzgâr yükü altında davranışı incelenmiştir. Uygulamada deprem ve rüzgâr yüklerinin statik ve dinamik olma durumları ayrı ayrı dikkate alınmıştır. Seçilen bina için eşdeğer statik rüzgâr yüklemesi olarak TS EN 1991 1-4’e göre ve dinamik rüzgâr yüklemesi olarak SRM’ye göre analizler yapılmıştır. Rüzgâr ve deprem etkileri için yapılan analizler sonucu betonarme yüksek binadan elde edilen; kat yatay yerdeğiştirmeleri, kat kesme kuvvetleri ve kat momentleri karşılaştırılarak, betonarme yüksek bir binanın rüzgâr ve deprem etkileri altında davranışı irdelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Rüzgâr yüküne göre bina tasarımı, depreme dayanıklı bina tasarımı, yüksek binalar, TS EN 1991 1-4, Spektral Temsil Yöntemi

INVESTIGATION OF STATIC AND DYNAMIC BEHAVIOUR OF TALL BUILDINGS UNDER EARTHQUAKE AND WIND EFFECTS

ABSTRACT

In recent years, especially in urban areas where construction is intense, high building construction has increased rapidly to meet the housing and office needs of people. The design of these tall buildings requires special design and approach analysis. In our country, wind and earthquake effects come into importance as well as vertical effects for the safe design of such structures. The effect of wind loads becomes more important, especially as the building height increases. Considering that the recurrence interval is low due to the fact that wind is a continuous meteorological event, the design under the influence of wind becomes more important than other effects in terms of comfort of high buildings.

Within the scope of this thesis, it is aimed to determine the dynamic wind force that will affect the building by using the probability method Spectral Representation Method (SRM). With this method, dynamic wind forces are generated from synthetic wind records calculated over time. The dynamic wind loads obtained with SRM are compared with the equivalent static wind loads defined in TS EN 1991 1-4 (2007). In addition, the construction intended in Izmir and Turkey Building Earthquake Code (2018) and TS 500 (2000) behavior under seismic and wind loads of a high reinforced concrete buildings designed according to the principles of design located was examined. Static and dynamic states of earthquake and wind loads are considered separately. Analysis was carried out according to TS EN 1991 1-4 as equivalent static wind loading and SRM as dynamic wind loading for the selected building. As a result of the analyzes carried out with TS EN 1991 1-4 and SRM, the results such as floor horizontal displacements, floor shear forces and floor moments obtained from high reinforced concrete building were compared and the behavior of a reinforced concrete high building under the effects of wind and earthquake was investigated.

Keywords: Building design according to wind load, earthquake resistant building design, tall building, TS EN 1991 1-4, Spectral Representation Method

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xvi
BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....	1
1.1 Rüzgâr Oluşumu.....	2
1.1.1 Atmosfer Termodinamiği.....	2
1.1.1.1 Atmosfer Radyasyonu.....	4
1.1.1.2 Sıkışma ve Genleşme	4
1.1.1.3 Suyun Yoğunlaşması ve Buharlaşması	5
1.1.2 Atmosfer Hidrodinamiği	5
1.1.2.1 Rüzgâr Doğrultusunun Sapmasına Neden Olan Kuvvet.....	7
1.1.2.2 Sürtünmesiz Durumda Rüzgâr Dengesi	8
1.1.2.3 Sürtünme Etkisi Durumunda Rüzgâr Dengesi	11
1.1.3 Atmosferde Oluşan Hareketler.....	14
1.1.3.1 Rüzgâr Genel Dönüşümü (Sirkülasyonu).....	15
1.1.3.2 Termal Doğrudan İkinci Dönüşümler (Sirkülasyonlar): Muson ve Kasırğa.....	16
1.2 Çalışmanın Amacı	16
1.3 Çalışmanın Yöntemi.....	17
1.4 Çalışmanın Kapsamı	18
1.5 Literatürde Konu İle İlgili Yapılmış Çalışmalar	20

BÖLÜM İKİ - TS EN 1991-1-4 STANDARDINA GÖRE EŞDEĞER STATİK RÜZGÂR VE SPEKTRAL TEMSİL YÖNTEMİ (SRM) İLE DİNAMİK RÜZGÂR YÜKLERİNİN BELİRLENMESİ 27

2.1 Giriş.....	27
2.2 TS EN 1991-1-4 Standardına Göre Eşdeğer Statik Rüzgâr Etkilerinin Belirlenmesi	28
2.2.1 Esas Rüzgâr Hızı	28
2.2.2 Ortalama Rüzgâr Hızı.....	29
2.2.3 Arazi Engebeliliği	30
2.2.4 Arazi Orografisi.....	32
2.2.5 Rüzgâr Türbülansı	32
2.2.6 Hız Kaynaklı Rüzgâr Basıncı.....	33
2.2.7 Yüzeylerdeki Rüzgâr Basıncı.....	34
2.2.8 Rüzgâr Kuvvetleri	35
2.2.9 Yapısal Katsayı Cs-Cd	37
2.2.10 Binalar İçin Basınç Katsayıları	40
2.2.10.1 Dış Basınç	40
2.2.10.2 İç Basınç	45
2.3 Spektral Temsil Yöntemi (SRM) ile Dinamik Rüzgâr Etkileri.....	48
2.3.1 Rüzgâr Akıntısı	49
2.3.2 Ortalama Rüzgâr Hızı.....	49
2.3.3 Rüzgâr Dalgalanma Hızı	51
2.3.4 Rüzgâr Hızı – Rüzgâr Basıncı İlişkisi	56

BÖLÜM ÜÇ - YÜKSEK YAPILARDA DEPREM ETKİLERİ 58

3.1 Giriş.....	58
3.2 Türkiye Bina Deprem Yönetmeli (2018)’e Göre Deprem Yer Hareketi	59
3.2.1 Deprem Yer Hareket Düzeyleri.....	59
3.2.2 Standart Deprem Yer Hareket Spektrumları	60
3.2.2.1 Harita Spektral ve Tasarım İvme Katsayıları.....	60

3.2.2.2 Yatay Elastik Tasarım Spektrumu	62
3.2.2.3 Düşey Elastik Tasarım Spektrumu.....	64
3.2.3 Zaman Tanım Alanında Analiz Yöntemi	65
3.2.3.1 Deprem Kayıtlarının Belirlenmesi	65
3.2.3.2 Deprem Kayıtlarının Ölçeklendirilmesi ve Spektral Dönüşümü	66
3.3 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)'e Göre Yüksek Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı	67
3.3.1 Yüksek Bina Performans Düzeyleri.....	68
3.3.1.1 Kesintisiz Kullanım (KK) Performans Düzeyi	68
3.3.1.2 Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi.....	68
3.3.1.3 Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi	68
3.3.1.4 Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi	69
3.3.2 Yüksek Bina Performans Hedefleri ve Tasarım Aşamaları	69
3.3.2.1 Tasarım Aşaması I: DD-2 Deprem Yer Hareketi Altında Ön Tasarım Boyutlandırma.....	69
3.3.2.2 Tasarım Aşaması II: DD-4 veya DD-3 Deprem Yer Hareketi Altında Kesintisiz Kullanım veya Sınırlı Hasar Performans Hedefi İçin Değerlendirme – İyileştirme	70
3.3.2.3 Tasarım Aşaması III: DD-1 Deprem Yer Hareketi Altında Göçmenin Önlenmesi veya Kontrollü Hasar Performans Hedefi İçin Değerlendirme – İyileştirme – Son Tasarım.....	73

BÖLÜM DÖRT - STATİK VE DİNAMİK RÜZGÂR ETKİLERİNİN HESAPLANMASI

4.1 TS EN 1991 1-4 (2007) ve Spektral Temsil Yöntemi (SRM)'ye göre Hesaplanan Rüzgâr Yüklerinin Karşılaştırılması için İncelenen Yüksek Bina'nın Özellikleri.....	76
4.2 TS EN 1991 1-4 (2007)'e Göre Eşdeğer Statik Rüzgâr Kuvvetlerinin Hesaplanması	78
4.3 Spektral Temsil Yöntemi'ne Göre Dinamik Rüzgâr Kuvvetlerinin Hesaplanması	87

4.4 TS EN 1991 1-4 (2007) ve Spektral Temsil Yöntemi ile Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması	99
---	----

BÖLÜM BEŞ - STATİK VE DİNAMİK RÜZGÂR ETKİLERİ İLE DEPREM ETKİLERİNİN YÜKSEK BİR BİNANIN DAVRANIŞINA OLAN ETKİSİNİN İNCELENMESİ İÇİN SAYISAL UYGULAMA..... 101

5.1 Giriş.....	101
5.2 İncelenen Yüksek Binanın Genel Özellikleri.....	102
5.3 İncelenen Yüksek Bina Tasarımında Kullanılan Düşey Yük ve Yük Birleşimleri.....	105
5.4 İncelenen Yüksek Binaya Etkiyen Rüzgâr Yüklerinin Hesaplanması	105
5.4.1 TS EN 1991 1-4'e Göre Eşdeğer Statik Rüzgâr Yüklerinin Hesaplanması	107
5.4.2 Spektral Temsil Yöntemi'ne Göre Dinamik Rüzgâr Yüklerinin Hesaplanması	108
5.5 Servis Deprem Düzeyi (DD-4) İçin Yapılan Analizlerde Kullanılan Ölçeklenmiş Gerçek Yer İvme Kayıtlarının Belirlenmesi	119
5.6 İncelenen Yüksek Binanın Rüzgâr ve Deprem Etkileri Altındaki Analizlerde Kullanılan Yapısal Modelin Oluşturulması.....	130
5.7 İncelenen Yüksek Binanın Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması ve Değerlendirilmesi.....	131
5.7.1 Rüzgâr Yükleri Altında Analiz Sonuçları	131
5.7.1.1 İncelenen Yüksek Binada Rüzgâr Yükleri Altında Oluşan Kat Yerdeğiştirme Sonuçları.....	132
5.7.1.2 İncelenen Yüksek Binada Rüzgâr Yükleri Altında Oluşan Kat Kesme Kuvveti Sonuçları.....	133
5.7.1.3 İncelenen Yüksek Binada Rüzgâr Yükleri Altında Oluşan Kat Momenti Sonuçları.....	134
5.7.2 Deprem Yüğü Altında Analiz Sonuçları	135
5.7.2.1 İncelenen Yüksek Bina İçin Elde Edilen Dinamik Analiz Sonuçları	135

5.7.2.2 İncelenen Yüksek Binada Deprem Yükleri Altında Oluşan Kat Yerdeğiştirme Sonuçları.....	137
5.7.2.3 İncelenen Yüksek Binada Deprem Yükleri Altında Oluşan Kat Kesme Kuvveti Sonuçları.....	138
5.7.2.4 İncelenen Yüksek Binada Deprem Yükleri Altında Oluşan Kat Momenti Sonuçları.....	139
5.7.3 Rüzgâr Ve Deprem Yüğü Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması	140
5.7.3.1 İncelenen Yüksek Binada Rüzgâr ve Deprem Yükleri Altında Oluşan Kat Yerdeğiştirme Sonuçlarının Karşılaştırılması	140
5.7.3.2 İncelenen Yüksek Binada Rüzgâr ve Deprem Yükleri Altında Oluşan Kat Kesme Kuvveti Sonuçlarının Karşılaştırılması	141
5.7.3.3 İncelenen Yüksek Binada Rüzgâr ve Deprem Yükleri Altında Oluşan Kat Momenti Sonuçlarının Karşılaştırılması	142
5.7.3.4 İncelenen Yüksek Binada Rüzgâr ve Deprem Yükleri Altında Oluşan Tepe Yerdeğiştirme Sonuçlarının Karşılaştırılması	143
5.7.3.5 İncelenen Yüksek Binada Rüzgâr ve Deprem Yükleri Altında Oluşan Taban Kesme Kuvveti Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	144
5.7.3.6 İncelenen Yüksek Binada Rüzgâr ve Deprem Yükleri Altında Oluşan Taban Momenti Sonuçlarının Karşılaştırılması	145
BÖLÜM ALTI - SONUÇLAR VE ÖNERİLER	147
6.1 Sonuçlar.....	147
6.2 Öneriler.....	153
KAYNAKLAR	154
EKLER.....	160
EK 1 : Yüksek Binaya Etkiyen Rüzgâr Yükleri Altında Analiz Sonuçları.....	160
EK 2 : Yüksek Binaya Etkiyen Deprem Yükleri Altında Analiz Sonuçları	173

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Farklı sıcaklıklardaki su kaplı tank	3
Şekil 1.2 Katı elemandaki basınç farkı gösterimi	6
Şekil 1.3 Basınç Bileşeni Yönü.....	6
Şekil 1.4 Dünya dönmesinden dolayı parçacık hareketi	8
Şekil 1.5 Jeostrofik akışın oluşmasında rüzgâr dengesi -1	9
Şekil 1.6 Jeostrofik akışın oluşmasında rüzgâr dengesi -2	9
Şekil 1.7 Jeostrofik akışın oluşmasında rüzgâr dengesi -3	10
Şekil 1.8 Alçak basınç noktaları etrafındaki akışta sürtünmesiz rüzgâr dengesi	11
Şekil 1.9 Yüksek basınç noktaları etrafındaki akışta sürtünmesiz rüzgâr dengesi	11
Şekil 1.10 Atmosferdeki sınır tabakası	12
Şekil 1.11 Yere yakın seviyede kuvvetlerin dengesi	12
Şekil 1.12 Gradyan seviyede kuvvetlerin dengesi	13
Şekil 1.13 Atmosferik sınır tabakası içerisinde spiral rüzgâr hızı	13
Şekil 1.14 Meridyenler aralığında oluşan hareketler	15
Şekil 2.1 Arazi engebeliliğinin değerlendirilmesi (TS EN 1991 1-4).....	31
Şekil 2.2 Maruz kalma katsayısı $c_e(z)$ 'nin $c_o=1,0$ ve $k_1=1,0$ için grafik gösterimi (TS EN 1991 1-4).	34
Şekil 2.3 Yüzeylerdeki basınç (TS EN 1991 1-4, 2007).....	35
Şekil 2.4 Binalar tipi düşey yapılar	38
Şekil 2.5 Paralel salınım yapan elemanlar	38
Şekil 2.6 Direkli işaret levhaları tipi noktasal yapılar.....	38
Şekil 2.7 Değeri 1 m ² ile 10 m ² arasında yüklenmiş alanı bulunan binalarda dış basınç katsayısı, c_{pe} 'nin belirlenmesi için tavsiye edilen işlem (TS EN 1991 1-4)41	41
Şekil 2.8 Çıkıntı yapan çatılar için ilgili basınçların gösterimi (TS EN 1991 1-4, 2007)	41
Şekil 2.9 $h \leq b$ durumuna bağlı z_e referans yüksekliği ve buna karşılık gelen hız kaynaklı rüzgâr basıncı profili, (TS EN 1991 1-4, 2007).....	42
Şekil 2.10 $h = b$ ve $h \geq b$ durumlarına bağlı z_e referans yüksekliği ve buna karşılık gelen hız kaynaklı rüzgâr basıncı profili, (TS EN 1991 1-4, 2007).....	43

Şekil 2.11 Düşey duvarlar için açıklamalar - 1, (TS EN 1991 1-4, 2007).....	43
Şekil 2.12 Düşey duvarlar için açıklamalar - 2, (TS EN 1991 1-4, 2007).....	44
Şekil 2.13 Düzgün dağılım gösteren açıklıklar için iç basınç katsayıları (TS EN 1991 1-4, 2007)	47
Şekil 3.1 Yatay elastik tasarım spektrumu.....	63
Şekil 3.2 Yatay elastik tasarım yerdeğiştirme spektrumu.....	64
Şekil 3.3 Düşey elastik tasarım spektrumu	65
Şekil 4.1 Yüksek binaya seçilen rüzgâr akıntısının geliş yönü ve eksenleri.....	77
Şekil 4.2 Yüksek bina üzerindeki seçilen noktaların gösterimi	77
Şekil 4.3 TS EN 1991 1-4'e göre yükseklik-rüzgâr hızı profili.....	81
Şekil 4.4 TS EN 1991 1-4'e göre yükseklik-rüzgâr basıncı profili	86
Şekil 4.5 TS EN 1991 1-4'e göre yükseklik-rüzgâr kuvveti profili	86
Şekil 4.6 Yüksek bina üzerinde seçilen 1. noktanın rüzgâr dalgalanma hızı bileşeni kaydı	93
Şekil 4.7 Yüksek bina üzerinde seçilen 2. noktanın rüzgâr dalgalanma hızı bileşeni kaydı	93
Şekil 4.8 Yüksek bina üzerinde seçilen 3. noktanın rüzgâr dalgalanma hızı bileşeni kaydı	93
Şekil 4.9 SRM'ye göre yükseklik-rüzgâr hızı profili	94
Şekil 4.10 SRM'ye göre yükseklik-rüzgâr basıncı profili	98
Şekil 4.11 SRM'ye göre yükseklik-rüzgâr kuvveti profili	98
Şekil 4.12 TS EN 1991 1-4 ve SRM'ye göre yükseklik-rüzgâr hızı profili.....	99
Şekil 4.13 TS EN 1991 1-4 ve SRM'ye göre yükseklik-rüzgâr basıncı profili	99
Şekil 4.14 TS EN 1991 1-4 ve SRM'ye göre yükseklik-rüzgâr kuvveti profili	100
Şekil 5.1 Seçilen yüksek binanın 1. ve 6. kat arası kat kalıp planı	102
Şekil 5.2 Seçilen yüksek binanın 7. ve 52. katlar arası kat kalıp planı	103
Şekil 5.3 Seçilen yüksek binanın boykesiti.....	104
Şekil 5.4 TS EN 1991 1-4 rüzgâr hızı profili	108
Şekil 5.5 TS EN 1991 1-4 rüzgâr kuvveti grafiği	108
Şekil 5.6 Dinamik rüzgâr hızı için oluşturulan 1. set rüzgâr profili.....	109
Şekil 5.7 Dinamik rüzgâr kuvveti için oluşturulan 1. set rüzgâr kuvvetleri	110
Şekil 5.8 Dinamik rüzgâr hızı için oluşturulan 1. set rüzgâr hızı-zaman grafikleri.	110

Şekil 5.9 Dinamik rüzgâr hızı için oluşturulan 2. set rüzgâr profili.....	110
Şekil 5.10 Dinamik rüzgâr kuvveti için oluşturulan 2. set rüzgâr kuvvetleri	111
Şekil 5.11 Dinamik rüzgâr hızı için oluşturulan 2. set rüzgâr hızı-zaman grafikleri.....	111
Şekil 5.12 Dinamik rüzgâr hızı için oluşturulan 3. set rüzgâr profili.....	111
Şekil 5.13 Dinamik rüzgâr kuvveti için oluşturulan 3. set rüzgâr kuvvetleri	112
Şekil 5.14 Dinamik rüzgâr hızı için oluşturulan 3. set rüzgâr hızı-zaman grafikleri.....	112
Şekil 5.15 Dinamik rüzgâr hızı için oluşturulan 4. set rüzgâr profili.....	112
Şekil 5.16 Dinamik rüzgâr kuvveti için oluşturulan 4. set rüzgâr kuvvetleri	113
Şekil 5.17 Dinamik rüzgâr hızı için oluşturulan 4. set rüzgâr hızı-zaman grafikleri.....	113
Şekil 5.18 Dinamik rüzgâr hızı için oluşturulan 5. set rüzgâr profili.....	113
Şekil 5.19 Dinamik rüzgâr kuvveti için oluşturulan 5. set rüzgâr kuvvetleri	114
Şekil 5.20 Dinamik rüzgâr hızı için oluşturulan 5. set rüzgâr hızı-zaman grafikleri.....	114
Şekil 5.21 Dinamik rüzgâr hızı için oluşturulan 6. set rüzgâr profili.....	114
Şekil 5.22 Dinamik rüzgâr kuvveti için oluşturulan 6. set rüzgâr kuvvetleri	115
Şekil 5.23 Dinamik rüzgâr hızı için oluşturulan 6. set rüzgâr hızı-zaman grafikleri.....	115
Şekil 5.24 Dinamik rüzgâr hızı için oluşturulan 7. set rüzgâr profili.....	115
Şekil 5.25 Dinamik rüzgâr kuvveti için oluşturulan 7. set rüzgâr kuvvetleri	116
Şekil 5.26 Dinamik rüzgâr hızı için oluşturulan 7. set rüzgâr hızı-zaman grafikleri.....	116
Şekil 5.27 Dinamik rüzgâr hızı için oluşturulan 8. set rüzgâr profili.....	116
Şekil 5.28 Dinamik rüzgâr kuvveti için oluşturulan 8. set rüzgâr kuvvetleri	117
Şekil 5.29 Dinamik rüzgâr hızı için oluşturulan 8. set rüzgâr hızı-zaman grafikleri.....	117
Şekil 5.30 Dinamik rüzgâr hızı için oluşturulan 9. set rüzgâr profili.....	117
Şekil 5.31 Dinamik rüzgâr kuvveti için oluşturulan 9. set rüzgâr kuvvetleri	118
Şekil 5.32 Dinamik rüzgâr hızı için oluşturulan 9. set rüzgâr hızı-zaman grafikleri.....	118
Şekil 5.33 Dinamik rüzgâr hızı için oluşturulan 10. set rüzgâr profili.....	118
Şekil 5.34 Dinamik rüzgâr kuvveti için oluşturulan 10. set rüzgâr kuvvetleri	119
Şekil 5.35 Dinamik rüzgâr hızı için oluşturulan 10. set rüzgâr hızı-zaman grafikleri	119
Şekil 5.36 TBDY 2018’de ZD türü zemin için tanımlanan yatay elastik tasarım ivme spektrumu	120
Şekil 5.37 TBDY 2018’de ZD türü zemin için tanımlanan düşey elastik tasarım ivme spektrumu.....	121

Şekil 5.38 Analizlerde kullanılan 1966 Parkfield depreminin Faya Paralel bileşenine ait ivme kaydı	122
Şekil 5.39 Analizlerde kullanılan 1966 Parkfield depreminin Faya Dikey bileşenine ait ivme kaydı	122
Şekil 5.40 Analizlerde kullanılan 1979 Imperial Valley depreminin Faya Paralel bileşenine ait ivme kaydı.....	123
Şekil 5.41 Analizlerde kullanılan 1979 Imperial Valley depreminin Faya Dik bileşenine ait ivme kaydı	123
Şekil 5.42 Analizlerde kullanılan 1980 Livermore depreminin Faya Paralel bileşenine ait ivme kaydı.....	123
Şekil 5.43 Analizlerde kullanılan 1980 Livermore depreminin Faya Dik bileşenine ait ivme kaydı.....	124
Şekil 5.44 Analizlerde kullanılan 1980 Irpinia Italy-1 depreminin Faya Paralel bileşenine ait ivme kaydı.....	124
Şekil 5.45 Analizlerde kullanılan 1980 Irpinia Italy-1 depreminin Faya Dik bileşenine ait ivme kaydı.....	124
Şekil 5.46 Analizlerde kullanılan 1980 Irpinia Italy-2 depreminin Faya Paralel bileşenine ait ivme kaydı.....	125
Şekil 5.47 Analizlerde kullanılan 1980 Irpinia Italy-2 depreminin Faya Dik bileşenine ait ivme kaydı.....	125
Şekil 5.48 Analizlerde kullanılan 1984 Morgan Hill depreminin Faya Paralel bileşenine ait ivme kaydı	125
Şekil 5.49 Analizlerde kullanılan 1984 Morgan Hill depreminin Faya Dik bileşenine ait ivme kaydı	126
Şekil 5.50 Analizlerde kullanılan 1986 Chalfant Valley depreminin Faya Paralel bileşenine ait ivme kaydı	126
Şekil 5.51 Analizlerde kullanılan 1986 Chalfant Valley depreminin Faya Dik bileşenine ait ivme kaydı	126
Şekil 5.52 Analizlerde kullanılan 1992 Big Bear depreminin Faya Paralel bileşenine ait ivme kaydı	127
Şekil 5.53 Analizlerde kullanılan 1992 Big Bear depreminin Faya Dik bileşenine ait ivme kaydı	127

Şekil 5.54 Analizlerde kullanılan 1995 Kobe Japonya depreminin Faya Paralel bileşenine ait ivme kaydı.....	127
Şekil 5.55 Analizlerde kullanılan 1995 Kobe Japonya depreminin Faya Dik bileşenine ait ivme kaydı.....	128
Şekil 5.56 Analizlerde kullanılan 1995 Kozani Yunanistan depreminin Faya Paralel bileşenine ait ivme kaydı.....	128
Şekil 5.57 Analizlerde kullanılan 1995 Kozani Yunanistan depreminin Faya Dik bileşenine ait ivme kaydı.....	128
Şekil 5.58 Analizlerde kullanılan 1995 Dinar Türkiye depreminin Faya Paralel bileşenine ait ivme kaydı.....	129
Şekil 5.59 Analizlerde kullanılan 1995 Dinar Türkiye depreminin Faya Dik bileşenine ait ivme kaydı.....	129
Şekil 5.60 DD-4 Deprem düzeyi için yapılan zaman tanım alanı analizlerde kullanılan depremlerin spektrumları	130
Şekil 5.61 Analiz modelinin üç boyutlu görünüşü.....	131
Şekil 5.62 Rüzgâr etkileri sonucu yüksek yapı kat-yerdeğiştirme grafiği	132
Şekil 5.63 Rüzgâr etkileri sonucu yüksek yapı kat-kesme kuvveti grafiği	133
Şekil 5.64 Rüzgâr etkileri sonucu yüksek yapı kat-moment grafiği	134
Şekil 5.65 Deprem etkileri sonucu yüksek yapı kat-yerdeğiştirme grafiği.....	137
Şekil 5.66 Deprem etkileri sonucu yüksek yapı kat-kesme kuvveti grafiği.....	138
Şekil 5.67 Deprem etkileri sonucu yüksek yapı kat-momenti grafiği.....	139
Şekil 5.68 Rüzgâr ve deprem etkileri altında yüksek yapı kat-yerdeğiştirme grafiği	140
Şekil 5.69 Rüzgâr ve deprem etkileri altında yüksek yapı kat-kesme kuvveti grafiği	141
Şekil 5.70 Rüzgâr ve deprem etkileri altında yüksek yapı kat-moment grafiği.....	142
Şekil 5.71 Rüzgâr ve deprem etkileri altında yüksek yapı tepe yerdeğiştirme grafiği	143
Şekil 5.72 Rüzgâr ve deprem etkileri altında yüksek yapı taban kesme kuvveti grafiği	144
Şekil 5.73 Rüzgâr ve deprem etkileri altında yüksek yapı taban momenti grafiği ..	145

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1 Arazi kategorileri ve arazi parametreleri (TS EN 1991 1-4)	31
Tablo 2.2 Dikdörtgen planlı binaların düşey duvarları için tavsiye edilen dış basınç katsayısı değerleri.....	44
Tablo 3.1 Deprem yer hareket düzeyleri	60
Tablo 3.2 Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayıları, F_s	61
Tablo 3.3 1,0 saniye periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayıları, F_1	62
Tablo 3.4 Beklenen (Ortalama) Malzeme Dayanımları	72
Tablo 3.5 Beton ve donatı çeliği izin verilen toplam birim şekildeğiştirme değerleri	73
Tablo 4.1 İncelenen binanın düşey duvarları için belirlenen dış basınç katsayısı değerleri	83
Tablo 5.1 Bina genel özellikleri	103
Tablo 5.2 Analizlerde kullanılan bina malzeme sınıfları	103
Tablo 5.3 Analizlerde kullanılan düşey yükler	105
Tablo 5.4 Analizlerde kullanılan yük birleşimleri	105
Tablo 5.5 Eşdeğer statik ve dinamik rüzgâr analizlerinde kullanılan parametreler .	106
Tablo 5.6 Deprem analizlerinde kullanılan parametreler.....	120
Tablo 5.7 Analizlerde kullanılacak deprem kayıtlarının özellikleri.....	122
Tablo 5.8 Seçilen yüksek binanın dinamik analiz sonucu periyot ve kütle katılım değerleri.....	135

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Rüzgâr tehlikesi büyük bir yıkıcı güce sahip doğal afet türüdür. Son yıllarda küresel ısınma nedeniyle rüzgâr tehlikesi daha ciddi bir sorun haline gelmiştir. Özellikle geçtiğimiz yıllarda büyük fırtınaların ülke ekonomilerine milyarlarca dolarlık kayıplar meydana getirdiği bilinmektedir.

İnşaat teknolojisinin gelişmesine paralel olarak özellikle yüksek bina ve büyük açıklıklı köprü yapıları son yıllarda önemli ölçüde artmıştır. Mühendislik açısından özel yapı sınıfına giren bu tür yapıların tasarımında her türlü yük etkisinin gerçeğe en yakın olacak şekilde dikkate alınması ve sayısal analiz modellerine yansıtılması önemli bir konudur. Bu amaçla, bina tasarımında deprem etkilerinin tanımlanmasına ilave olarak rüzgâr etkilerinin de detaylı ve gerçekçi bir şekilde tanımlanması önem taşımaktadır.

Rüzgâr etkilerini inceleyen Rüzgâr Mühendisliği, atmosferik sınır katmanı ile yeryüzü arasındaki kısımda yer alan rüzgâr tabakalarının davranışını; meteoroloji akışkanlar mekaniği, katı cisim mekaniği, fizyoloji ve benzeri disiplinlerin bilgilerini kullanarak sayısal olarak inceleyen mühendislik dalı olarak tanımlanır. Şiddetli rüzgârlar, yapılar üzerinde büyük basınç ve emme (çekme) kuvvetleri oluşturmaktadır. Bu etkiler nedeni ile yapı taşıyıcı sisteminde büyük yer değiştirmeler dolayısıyla büyük iç kuvvetler meydana gelebilmektedir. Ayrıca, rüzgârın türbülanslı esmesi durumunda yapıda yaratacağı burulma etkisi de dikkate alınması gereken önemli bir etki olarak değerlendirilmektedir. Akışkanlar ve katı cisim mekaniği, rüzgâr akıntısı ile mühendislik yapıları arasındaki etkileşimin detaylarını anlamak için gerekli temel teorik altyapıyı oluşturmaktadır.

Rüzgâr rejiminin kararsızlığı, özellikle yapılaşmanın yoğun olduğu kentsel alanlarda binaların rüzgâr akış rejimini değiştirerek etkilemesinin yarattığı ilave kararsızlıkla birlikte, rüzgâr özelliklerine ve binaların büyüklük ve konumlarına bağlı olarak oldukça değişken basınç dağılımlarına sebep olmaktadır. Rüzgâr akımının

neden olduğu bu değişken basınç rejiminin doğru bir şekilde belirlenerek modellenmesi oldukça zor ve karmaşıktır. Bu nedenle, rüzgâr akımının, özellikle önemli yapılar üzerindeki etkilerinin belirlenmesi için analitik yöntemler yanında deneysel bir yöntem olan rüzgâr tüneli testleri uygulamada sıkça kullanılmaktadır.

Rüzgâr akımından dolayı yapılarda oluşacak etkilerin belirlenmesinde, olasılık teorisini kullanan dinamik yapısal analiz yöntemlerinin zaman alıcı, zor ve karmaşık olmasından dolayı, dinamik analiz yöntemlerine göre yaklaşıklığı daha yetersiz olduğu bilinen eşdeğer statik analiz yöntemleri, daha yaygın olarak tercih edilmektedir. Ancak, özel mühendislik yapılarının tasarımında daha gerçekçi sonuçlara ulaşmak için çoğu zaman olasılık teorisini kullanan dinamik yapısal analiz yöntemleri kullanılmaktadır.

Bu bölümde, rüzgâr termodinamiği, rüzgâr hidrodinamiği ve atmosferik hareketler ile ilgili genel bilgiler verilerek rüzgâr akımının oluşmasına ait teorik açıklamalar yapılmıştır. Ayrıca, bu tez çalışmasının amacı, yöntemi ve kapsamı ile ilgili bilgi verilerek daha önce konu hakkında yapılan çalışmalar ile ilgili literatür çalışması verilmiştir.

1.1 Rüzgâr Oluşumu

Rüzgâr, temel olarak, güneşten yayılan ısıdan dolayı atmosferin değişken şekilde ısınmasından kaynaklanır. Atmosferde oluşan sıcaklık farklarından dolayı termodinamik yasalar ve akışkanlar dinamiği prensipleri gereğince atmosferde eşit yükseklikteki noktalar arasında basınç farkları oluşmaktadır. Atmosferde oluşan basınç farklarının oluşumu aşağıdaki kısımlarda detaylı olarak açıklanmıştır.

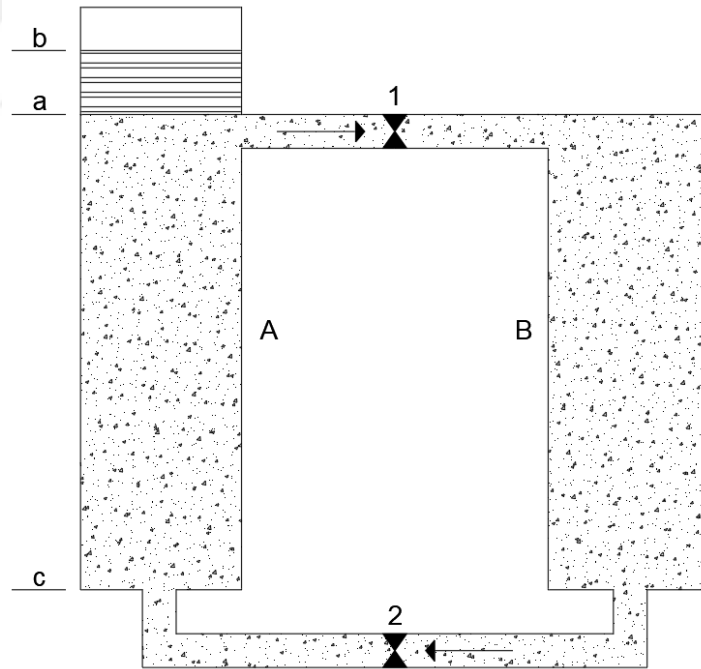
1.1.1 Atmosfer Termodinamiği

Atmosferdeki sıcaklığın dağılımı, rüzgârın oluşumunda önemli bir rol oynamaktadır. Rüzgâr, dünyanın şeklinden dolayı oluşan sıcaklık farklarına, havanın nem oranına ve dünyanın dönüşüne bağlıdır.

Atmosferde oluşan sıcaklık farklılıklarının nedenleri aşağıdaki maddelerde verilmektedir.

- Atmosfer sıcaklığı
- Atmosferdeki radyasyon
- Havanın genleşmesi ve sıkışması
- Suyun yoğunlaşması ve buharlaşması.

Dünyanın dönme eksenini, güneş etrafındaki yörünge düzleminde yaklaşık olarak $66^{\circ}33'$ dır. Bu nedenle ekvatorial bölgelerde yıllık ortalama güneş radyasyonu, karasal radyasyon yoğunluğu ve atmosfer sıcaklığı, kutup bölgelerine göre daha yüksektir. Hava akıntıları oluşumu esas olarak sıcaklık farklılıklarından ortaya çıkmaktadır. Bu sıcaklık farkından dolayı akışkanlarda oluşan hareket Şekil 1.1’de verilen sistem üzerinden açıklanabilir (Humphreys, 1940).



Şekil 1.1 Farklı sıcaklıklardaki su kaplı tank

Şekil 1.1’de verilen, birbirine tüpler ile bağlı sistemdeki, “A” ve “B” tanklarında “a” seviyesine kadar aynı sıcaklıkta olan su gibi bir akışkanla dolduralım. 1. ve 2. Tüplerdeki vanalar kapalı durumdadır. Eğer “A” tankındaki akışkanın sıcaklığı artarsa

ve “B” tankındaki akışkanın sıcaklığı sabit tutulursa, “A” tankındaki akışkan yükselerek “b” seviyesine ulaşır. Yükselmeden dolayı “A” tankı içerisindeki akışkanının toplam ağırlığında değişim meydana gelmeyecektir. Eğer sadece 2 no’lu vana açılırsa “c” seviyesinde basınç değişim oluşmadığı için “A” ve “B” tankları arasında akışkan geçişi oluşmaz. Sadece 1 no’lu vana açıldığında ise “B” tankının sıcaklığı “A” tankının sıcaklığından daha düşük olduğundan dolayı “A”dan “B” tankına akış oluşur. Sonuç olarak “A” tankının “c” seviyesinde basınç azalması oluşurken “B” tankının “c” seviyesinde basınç artışı meydana gelmektedir (Humphreys, 1940).

“A” ve “B” tankı arasındaki sıcaklık farkı olduğu sürece akışkanda bu sirkülasyon sürekli olarak oluşur. Eğer “A” ve “B” tanklarındaki akışkan, sırasıyla kutuplar ve ekvator bölgelerindeki havayla doldurulduğu düşünülürse, sıcaklık farkından dolayı benzer şekilde hava akımının oluşacağı ve sonuç olarak rüzgârların oluştuğu söylenebilecektir.

1.1.1.1 Atmosfer Radyasyonu

Güneşten yeryüzüne ulaşan ısının bir kısmı yeryüzü tabakasında soğurulurken bir kısmı ise tekrar atmosfere yansır ve yeryüzünün hemen üzerindeki ilk atmosfer tabakasına iletilir. Bu atmosfer tabakasına iletilen ısının bir kısmı bir üst atmosfer tabakasına iletilirken bir kısmı ise tekrar geriye yansır. Bu durum atmosferin her tabakasında tekrarlı olarak gerçekleşir. Bu ısı yansımalarından dolayı atmosfer tabakalarındaki ısı sürekli olarak değişir. Atmosfer radyasyonu olarak adlandırılan bu olay; atmosferdeki ısı farklılıklarının en önemli sebeplerinden birini oluşturur.

1.1.1.2 Sıkışma ve Genleşme

Atmosferde bulunan hava parçacıkları, üst üste durmakta ve yerçekimi ivmesinden dolayı oluşan ağırlık kuvvetlerini birbirlerine iletmektedirler. Bu kuvvetlerin etkisiyle hava parçacıklarında oluşan sıkışma veya genleşme durumları, atmosferde sıcaklık ve basınç farklılıklarına neden olmaktadır.

1.1.1.3 Suyun Yoğunlaşması ve Buharlaşması

Dalton kanununa göre nemli havanın basıncı, kuru hava basıncının “e” ve su buhar basıncının “p” toplamına eşittir. Su buhar basıncı, doyma buhar basıncını “E” aşarsa buharlaşma oluşur ve doyma basıncı “E” ivmeli bir şekilde artarken, nemli havanın sıcaklığı hızlı bir şekilde düşer.

Yükselen doymamış nemli havanın parçacık kütlesi, sıcaklık düşüşü yaşayacaktır. Bu durum kuru havanın sapma oranına eşittir “e/E < 1”. Hava parçacığının yükselmesi ile sıcaklığı ve doyma buhar basıncı düşmektedir. Hava parçacığı “e/E” oranı “1” olduğu seviyeye ulaşırsa, genellikle yoğunlaşma başlar. Bu seviye üzerinde, hava içerisinde bulunan suyun yoğunlaşması başlar. Bu işlemde suyun sıvı halden gaz hale geçmesi için gerekli olan buharlaşma ısısı ortaya çıkar.

Mekanik İş’e katkıda bulunan yoğunlaşma ısısı, başlangıç enerjisini harcamadan yükselen hava parçacığının genleşmesine de katkıda bulunur. Yükselen hava parçacığının doymuş sıcaklığındaki düşme miktarı, kuru veya nemli doymamış hava parçacığından daha azdır. Yoğunlaşma ısısı, atmosferin yüksek seviyelerindeki havanın iletimine yardım etmektedir. Bu faktörler rüzgâr türlerinin oluşumunda çok önemlidir.

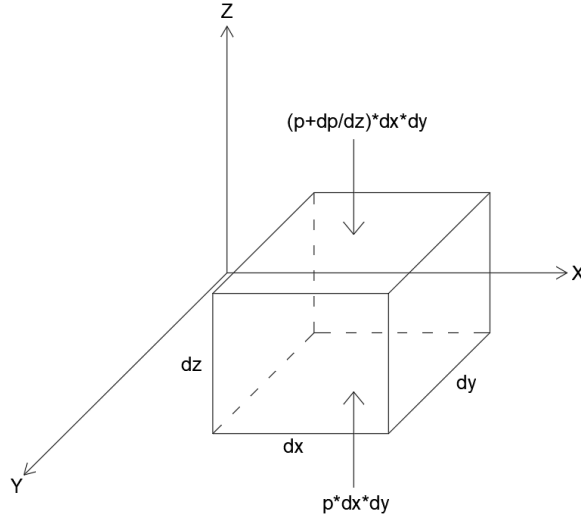
1.1.2 Atmosfer Hidrodinamiği

Newton’un ikinci yasasına göre hava kütlesinin hareketine neden olan kuvvet aşağıdaki Denklem 1.1 ile belirlenebilir.

$$F = m * a \quad (1.1)$$

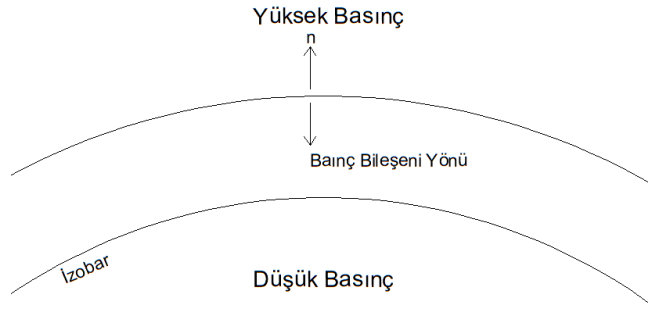
Burada; “m” hava kütlesi, “a” ivme ve “F” hava kütlesine etki eden toplam kuvvettir.

Şimdi, yüksek ve alçak basınç nedeni ile oluşan hava hareketini atmosfer hidrodinamiği prensipleri ile açıklayalım. Bunun için; ayrıtları “dx”, “dy” ve “dz” olan Şekil 1.2’de gösterilen sonsuz küçüklükteki iç hava hacmini inceleyelim.



Şekil 1.2 Katı elemandaki basınç farkı gösterimi

Hacmin alt ve üst yüzlerine sırasıyla “p” ve “p+(dp/dz)” basıncı etkimektedir. Düşey yöndeki kuvvetlerin toplamı olarak birim hacme etkiyen net yük miktarı “-(dp/dz)dx dy”dir. Düşey kuvvetlerin toplamı olarak “-dp/dz” elde edilmektedir. Benzer hesaplarla, “x” ve “y” yönünde de birim hacme etkiyen net kuvvet “-dp/dx” ve “-dp/dy” olmaktadır. Yatay basınç bileşeni “-dp/dn” olarak gösterilir. Burada “n” yatay basınç hattına dik doğrudur.



Şekil 1.3 Basınç bileşeni yönü

Yatay basınç bileşeni “ $1/\rho$ ”, “ dp/dn ” tarafından uygulanan birim kütle başına net kuvvet, basınç gradyan kuvveti olarak adlandırılır. ”p”, hava yoğunluğudur. Sadece basınç gradyan kuvvetlerinin etkisine maruz kalan hava, yüksek basınçlı bölgelerden düşük basınçlı bölgelere doğru hareket etmektedir. Şekil 1.3’de izobar hizasında basınç bileşeni kuvvetinin yönü gösterilmiştir.

1.1.2.1 Rüzgâr Doğrultusunun Sapmasına Neden Olan Kuvvet

Genel fizik kanunlarına göre dış kuvvet etkisine maruz kalmayan parçacık hareketi düz çizgi doğrultusunu takip etmektedir. Ancak, dünya üzerinde bulunan parçacıkların, yerçekimi ve dünyanın kendi eksenini etrafında dönmesi nedeni ile gerçekte eğrisel bir yol izlemekte olduğu görülmektedir. Hareket halinde olan bir parçacığın, seçilecek referans bir çizgiye göre yatayda yapacağı sapmanın dünyanın kendi eksenini etrafında dönmesinden dolayı oluşan Coriolis kuvvetinden kaynaklandığı kabul edilmektedir (Simiu ve Scanlan, 1986).

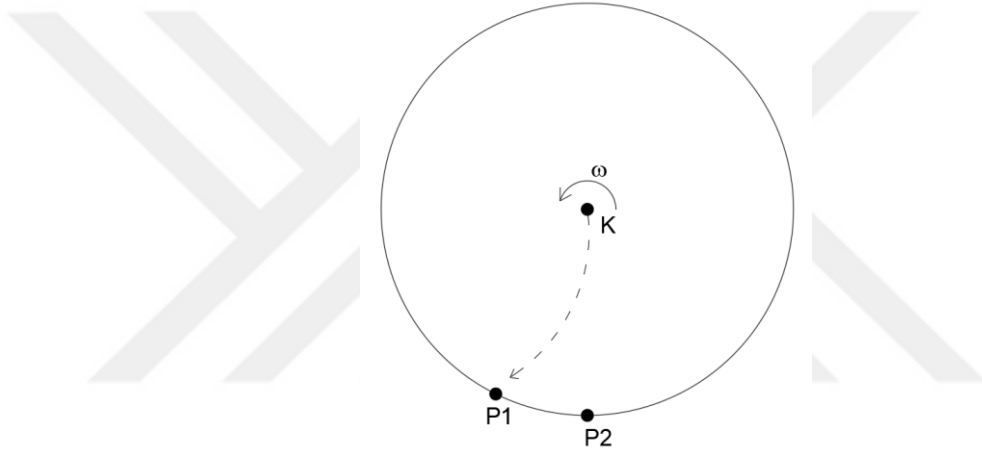
Coriolis kuvvetinin vektörel ifadesi Denklem 1.2’de gösterilmektedir.

$$F_c = 2m(v \times \omega) \quad (1.2)$$

Burada; “m” parçacık kütlesi, “ ω ” dünyanın vektörel açısal hızı ve “v” dünya üzerinde bulunduğu yere göre koordinat sistemine bağlı olarak parçacığın vektörel hızını göstermektedir. Coriolis kuvvetinin yönü, sağ el kuralına göre yön alır ve parçacığın vektörel hızı ve dünyanın vektörel açısal hızına dik olmaktadır.

Örnek olarak, Şekil 1.4’de gösterilen “K” kuzey kutbunda, “P1” ve “P2” ekvator üzerinde noktalar olsun. “K” noktasından “P2” noktasına doğru atılan bir top normalde “K-P2” doğrultusunu izleyerek “P2” noktasına gideceği düşünülmektedir. Ama gerçekte top “P1” noktasına düşmektedir. Bunun nedeni Coriolis kuvvetinden kaynaklanmaktadır. Dünya batıdan doğuya doğru dönmektedir. Dünyanın 1 tam tur 360 derece dönmesi durumunda, dünyanın şeklinden kaynaklanan, kuzey kutbunun alacağı mesafe, ekvator çizgisinin alacağı mesafeden çok daha azdır ve bu durum

kuzey kutbu hızının, ekvator şeridi hızından çok daha az olduğunu göstermektedir. Bu bilgiler ışığında “K” noktasından atılan top “P1” noktasına düşmektedir. Bu durum hava için düşünüldüğünde, hava yüksek basınç noktası olan kuzey kutbundan, alçak basınç noktası olan ekvatora doğru hareket eder. Hava yüksek basınç noktasından Coriolis kuvveti etkisiyle saat takribi yönünde dönerek hareket etmektedir. Güney kutbunda ise havanın dönüş yönü tam tersidir. Hava yüksek basınç noktası olan güney kutbundan, alçak basınç noktası olan ekvatora doğru hareket eder. Hava yüksek basınç noktasından Coriolis kuvveti etkisiyle saat takribinin tersi yönünde dönerek hareket etmektedir.

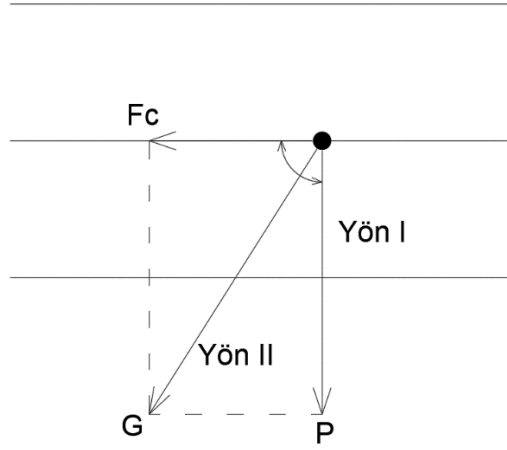


Şekil 1.4 Dünya dönmesinden dolayı parçacık hareketi

1.1.2.2 Sürtünmesiz Durumda Rüzgâr Dengesi

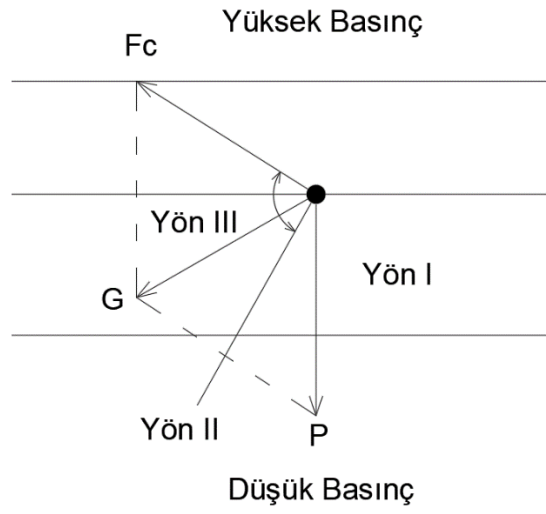
Atmosfer sınır tabakası, hava sürtünmesinin oluşmadığı bölümün başlangıcıdır. Bu bölüme, atmosfer sınır tabakası üzerindeki katmana serbest atmosfer denir. Burada rüzgâr dengesi ve izobarlar üzerindeki rüzgâr hızı gradyanı hesaplanmaktadır.

Coriolis kuvveti (F_c) ve basınç gradyan kuvveti (P) arasındaki denge, dünyanın yer yüzeyine bağlı havanın yatay hareketi ile belirlenmektedir. Hava kütlesine etkileyen kuvvetler Şekil 1.5, 1.6 ve 1.7’de gösterilmektedir. Kütle, kuzey yarımkürede varsayılmıştır. Parçacık basınç gradyan kuvveti yönünde harekete başladığında Coriolis kuvveti basınç kuvvetine dik olarak Şekil 1.5’de gösterildiği gibi etkiyerek ikinci yöne doğru taşınır.



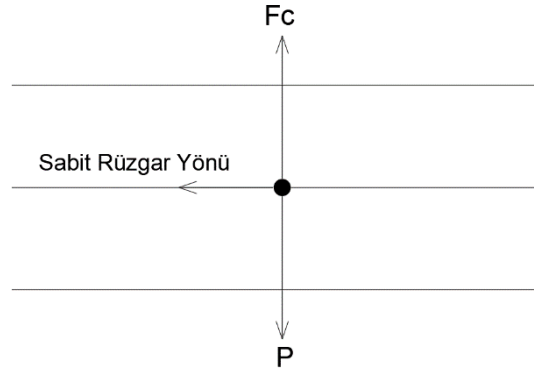
Şekil 1.5 Jeostrofik akışın oluşmasında rüzgâr dengesi -1

Şekil 1.6'da Coriolis kuvveti, her daim hareket eden havanın yönüne dik olarak havanın dengede olmasını sağlar (Simiu ve Scanlan, 1986).



Şekil 1.6 Jeostrofik akışın oluşmasında rüzgâr dengesi -2

Hava parçacığı Coriolis kuvveti ile Şekil 1.7'de gösterildiği gibi dengeye gelmektedir. Bu iki kuvvetin bileşkesi jeostrofik rüzgâr (G) olarak adlandırılır. Şekil 1.7'de merkezkaç kuvvetinin olmadığını göstermek için izobarlar düz bir şekilde gösterilmektedir.



Şekil 1.7 Jeostrofik akışın oluşmasında rüzgâr dengesi -3

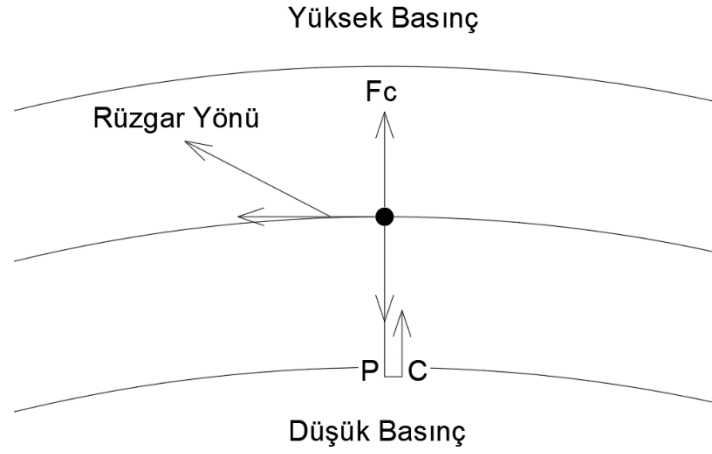
Jeostrofik rüzgâr “G”, sürtünmenin olmadığı, akışın eğimsiz ve doğrusal olduğu ortamda birbirlerine zıt yönde olan basınç kuvveti ve Coriolis kuvvetine (F_c) dik olarak, sadece yerçekimi kuvveti etkisi altında, izobarlara paralel olarak, doğrusal yönde gerçekleşen hava hareketidir. Denklem 1.3 ve 1.4’te jeostrofik rüzgâr hızı ile ilgili denklemler verilmektedir (Simiu ve Scanlan, 1986).

$$2\omega G \sin \phi = P = \frac{dp/dn}{\rho} \quad (1.3)$$

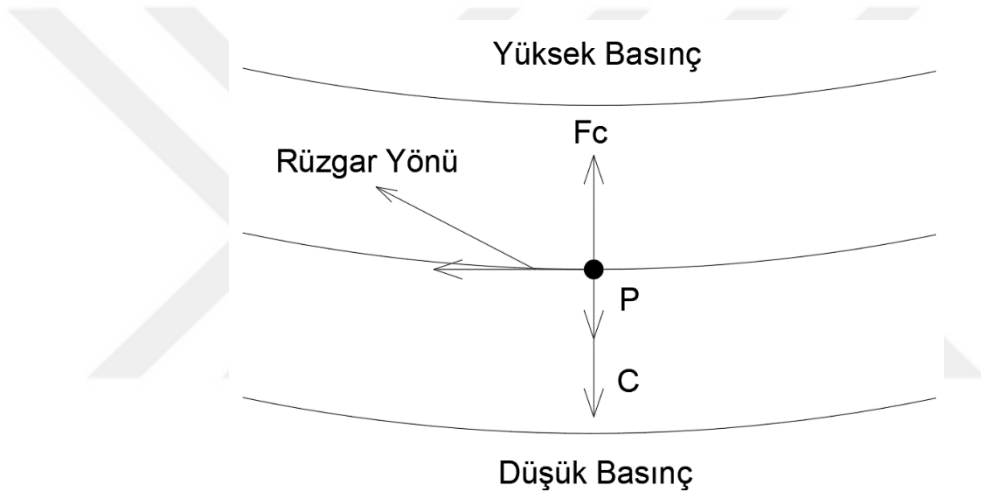
$$G = \frac{dp/dn}{\rho f} \quad (1.4)$$

Burada, “P” vektör büyüklüğünü, “f” Coriolis parametresini ve “p” hava yoğunluğunu gösterir.

Yukarıda anlatılan durumlara merkezkaç kuvveti eklendiğinde Şekil 1.8 ve 1.9’da ki gibi izobarlar ovalleşmektedir. İzobarlara dik olarak hava kütleline hem merkezkaç kuvveti “C”, hem de basınç gradyan kuvveti “P” etki eder. Sonuç olarak kararlı veya sabit rüzgâr yeniden izobarın paralel doğrultu akışına geri dönerek kuvvetlerin bileşkesi sonucu gradyan rüzgâr oluşmaktadır.



Şekil 1.8 Alçak basınç noktaları etrafındaki akışta sürtünmesiz rüzgâr dengesi

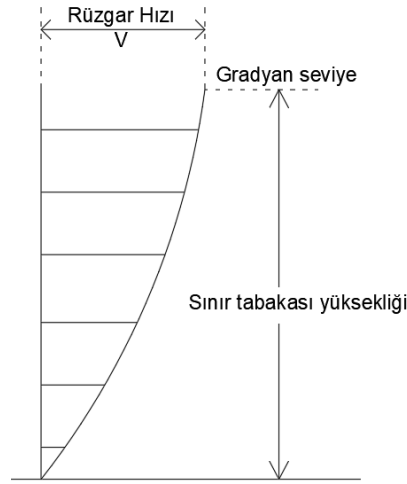


Şekil 1.9 Yüksek basınç noktaları etrafındaki akışta sürtünmesiz rüzgâr dengesi

1.1.2.3 Sürtünme Etkisi Durumunda Rüzgâr Dengesi

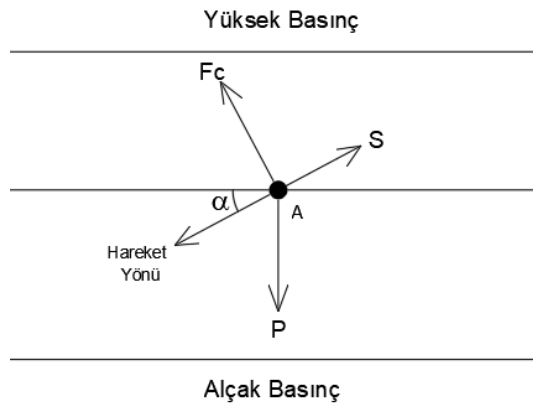
Atmosfer sınır tabakası içerisinde hareket eden hava parçacığına dünya yüzeyinde yatay sürtünme kuvveti uygulanır. Bu etki havanın akışına direnç uygulayarak hızını azaltır. Ayrıca, yükseklik arttıkça azalan pürüzlülük ve engellerden dolayı hava akışında yatay sürtünme kuvveti azalmaktadır.

Şekil 1.10'da atmosfer sınır tabakası içerisindeki rüzgâr rejimi gösterilmektedir. Sınır tabakası yüksekliği, rüzgâr hızının yükseklikle değişimi ve sınır tabakası içerisindeki rüzgâr türbülansı detaylı olarak Bölüm 2 de açıklanmıştır.

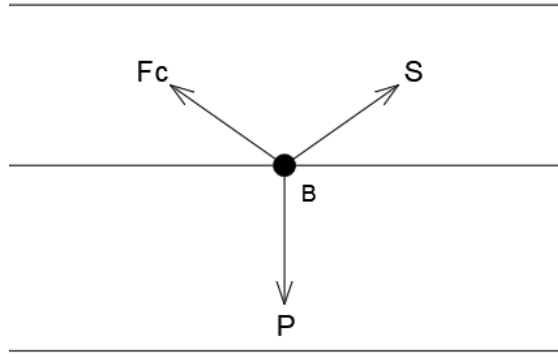


Şekil 1.10 Atmosferdeki sınır tabakası

Sınır tabakası içerisinde rüzgâr hızının kararlı durumuna Jeostrofik akış denir. Jeostrofik akış yani izobarlara paralel olan akış, sınır tabakası içerisinde yatay olarak hareket eden “A” ve “B” parçalarına etkiyen kuvvetlerin dengesidir (Şekil 1.11 ve Şekil 1.12). Eğer “A” noktası “B” noktasından yüksek seviyede ise A noktasındaki Coriolis kuvveti, “B” noktasındaki Coriolis kuvvetinden daha fazla olacaktır. İzobarlar ile rüzgâr yönü arasındaki sapma açısı, daha yüksekte hızlı olan parçacık için daha küçük olmaktadır. “ α ” açısı gradyan seviyede 0 ve yere yakın seviyede ise maksimum değerine ulaşacaktır.

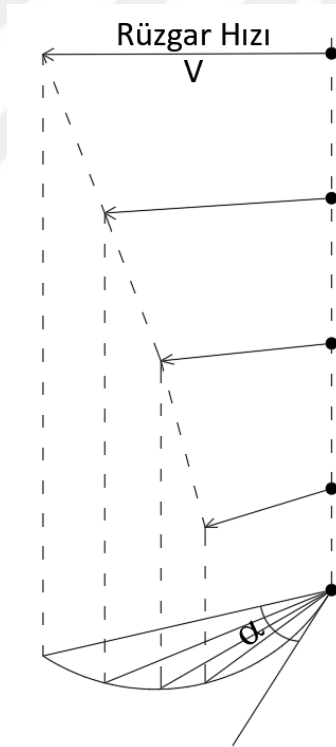


Şekil 1.11 Yere yakın seviyede kuvvetlerin dengesi



Şekil 1.12 Gradyan seviyede kuvvetlerin dengesi

Kuzey yarımkürede varsayılan, sınır tabakası içerisinde oluşan rüzgâr akıntısı Şekil 1.13’de gösterildiği gibi spiral şeklinde saat takribi yönünde yükselmektedir. Bu durum güney yarımkürede varsayıldığında saat takribinin tersi yönünde oluşmaktadır.



Şekil 1.13 Atmosferik sınır tabakası içerisinde spiral rüzgâr hızı

Siklonik fırtına, düşük basınç merkezi etrafında oluşan akışa denir. Bu akış yere yakın olur ve rüzgâr merkeze karşı izobarları keser. Hava yavaşça yükselerek yakınsar. Eğer düşük basınçta yakınsamayı yüksek seviyede ıraksamayı aşarsa, fırtınanın

merkezindeki havanın kütle ve ağırlığı kademeli olarak artar ve içe-doğru basınç gradyanı azalır. Düşük basınç merkezinde dağılma ve doldurma oluşur.

Antisiklonik fırtına, yüksek basınç merkezi etrafında oluşan akışa denir. Bu akışta yere yakın seviyede oluşan rüzgâr, yüksek basınç merkezine uzak olan izobarlar ile kesişir. Düşük seviyedeki ayrıklaşma yüksek seviyedeki yakınsamayı aşarsa, atmosferde yayılma ve çukurlaşma eğilimi olur. Merkezinde dağılma oluşur.

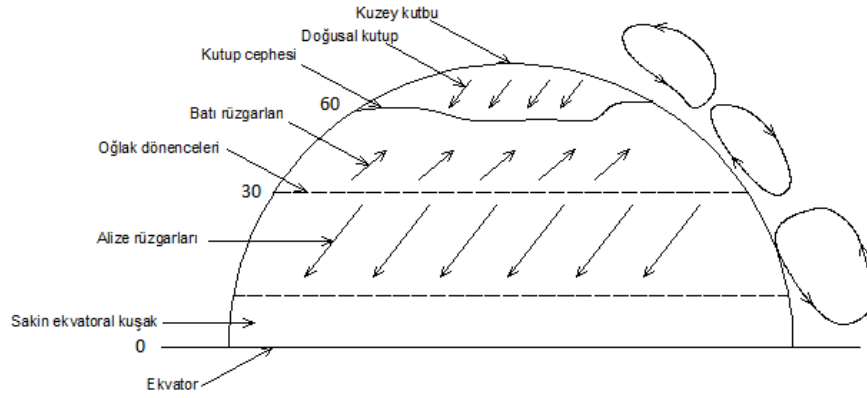
1.1.3 Atmosferde Oluşan Hareketler

Atmosferde oluşan hareketler, kısaca yukarıdaki bölümlerde anlatılan basınç sıcaklık ve yoğunluk gibi parametreler şeklinde tanımlanabilir.

Atmosferik hareketler, birbirine bağlı bileşen akışların 1000 km'de 1 mm ölçekli karakterize edilerek analiz edilir. Örnek olarak hareketlerin analizi, yatay ölçeklere göre onları ayırmak uygun olmaktadır. Meteorolojide atmosferik ölçekler üç ana gruptan oluşmaktadır; mikroölçek, mezoölçek ve sinoptikölçek.

Sınıflandırmaya göre mikroölçek, karakteristik boyutları 20 km'yi aşmayan veya 1 saatten daha az ölçeği olan hareketleri içerir. Sinoptik ölçek, karakteristik boyutları 500 km'yi aşan veya 2 gün veya daha fazla zaman alanı için hareketleri içermektedir. Mezoölçek ise mikroölçek ve sinoptikölçeğin karakteristik değerleri arasında kalan boyutları ve periyotları ile tanımlanır.

Şekil 1.14'te meridyenler aralığında atmosferde oluşan hareketler tanımlanmıştır. Burada, dinamik basınç olarak alçak basınç ve yüksek basınç noktaları gösterilmektedir. Kuzey kutbu, düşük sıcaklıktan dolayı yüksek basınç ve ekvator bölgesi yüksek sıcaklıktan dolayı düşük basınç noktaları oluşmaktadır. 30° enleminde çöllerin varlığı kuraklığın oluşmasından dolayı yüksek basınç noktalarını oluşmaktadır. 60° enleminde ise 30° enleminden ve kuzey kutbundan gelen soğuk havanın karşılaşması sonucu oluşan alçak basınç noktaları oluşmaktadır.



Şekil 1.14 Meridyenler aralığında oluşan hareketler

Bu yüksek basınç noktaları ve alçak basınç noktaları arasında rüzgârlar oluşmaktadır. Kuzey kutbundan 60° enlemdeki kutup cephesine doğru doğusal kutup rüzgârları, 30° enlemindeki oğlak dönencesinden 60° enlemi kutup cephesine doğru batı rüzgârları ve 30° enlemindeki oğlak dönencesinden ekvator bölgesine doğru alize rüzgârları oluşmaktadır.

1.1.3.1 Rüzgâr Genel Dönüşümü (Sirkülasyonu)

Rüzgâr sirkülasyonu mevsimsel ve coğrafi etkiler nedeniyle oluşmaktadır. Mevsimsel etkiler, basınç çizgilerinin konumlarındaki ve yoğunluğundaki farklılıklardan ve ekvator şeridinin kuzeyindeki ve güneyindeki güneşin yıllık hareketlerinden oluşmaktadır.

Coğrafi etkiler ise, yeryüzü şekillerinin farklılığından, su ve toprağın dünya üzerinde farklı dağılımından dolayı oluşmaktadır. Yaz aylarında, okyanus yüzeyi karadan daha yavaş ısınmasından dolayı hava okyanusun üzerinde karadan daha soğuktur. Şekil 1.1'deki modelde açıklandığı gibi, “1” tüpünün “2” tüpünden daha soğuk olmasından dolayı “1” tüpündeki akışkanın “2” tüpüne akması istemesi durumu, yaz aylarındaki yüzeye yakın havanın okyanustan karaya doğru akışına benzemektedir. Öte yandan, kışın hava karada daha soğuktur ve okyanuslar ısı kaynağı haline gelir. Böylece akım karadan denizlere doğru oluşur.

1.1.3.2 Termal Doğrudan İkinci Dönüşümler (Sirkülasyonlar): Muson ve Kasırğa

İkinci sirkülasyonların atmosferin düşük yüksekliklerinde ısınmış veya soğumuş haldeki formlarında düşük veya yüksek basınçlı merkezlerin etrafında termal türden olduğu düşünülür.

Muson: Musonlar mevsimsel rüzgârlardır. Bu rüzgârlar Asya kıtasında yazın ılık denizlerin üzerindeki yüksek basınç merkezlerinden, sıcak kara parçaları üzerinde bulunan alçak basınç merkezlerine doğru esen rüzgârlardır. Hava kütleleri okyanus üzerinden geçerken büyük nem kazanarak karalara aşırı derecede yağış bırakmaktadır. Kışın ise, karadan denize doğru esen rüzgârlardır.

Kasırğa: Tropikal siklonlar olarak tanımlanmaktadır. Tüm enerjilerini su buharının yoğunlaşmasıyla açığa çıkan gizli ısıdan elde eden ve genellikle 5. ila 20. enlem daireleri arasında çıkan fırtınalardır. Çapları genellikle birkaç yüz kilometre civarındadır. İlgili atmosferin derinliği on kilometredir. Kasırgalar normal olarak 5 ila 50 km/sa hıza sahip olmaktadır.

Kasırgalar Uzak Doğu'daki tayfunlar ve Avustralya ve Hint Okyanusu bölgesindeki siklonlar olarak bilinir en sık yaz sonunda ve Kuzey Hindistan okyanusu dışındaki sonbahar aylarının başında görülmektedir.

1.2 Çalışmanın Amacı

Bu tez çalışması kapsamında, olasılık yöntemi ile binalara etki edecek dinamik rüzgâr kuvvetinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, rüzgâr kuvvetlerinin belirlenmesi için Spektral Temsil Yöntemi (SRM) kullanılmıştır. Söz konusu yöntem ile rüzgâr kuvvetlerinin zamana bağlı olarak üretilmesi için MATLAB yazılımı ile bir bilgisayar yazılımı da geliştirilmiştir. SRM ile yapılan dinamik rüzgâr analizleri ile TS EN 1991 1-4 (2007) standardında tanımlanan eşdeğer statik rüzgâr yükleri karşılaştırılmıştır.

Ayrıca, İzmir’de yapılması planlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) ve TS 500 (2000)’de yer alan tasarım ilkelerine göre tasarımı yapılmış betonarme yüksek bir binanın deprem ve rüzgâr yükü altında davranışı incelenmiştir. Deprem ve rüzgâr yüklerinin statik ve dinamik olma durumları ayrı ayrı dikkate alınmıştır. Analizler için ilk 6 katı podyum ve sonraki 46 katı normal kattan oluşan 52 katlı ve toplam yüksekliği 193,7 metre olan betonarme yüksek bir bina seçilmiştir. Yüksek binanın rüzgâr analizlerinde; eşdeğer statik rüzgâr yüklemesi olarak TS EN 1991 1-4 (2007) standardı ve dinamik rüzgâr yüklemesi olarak Spektral Temsil Yöntemi (SRM) dikkate alınmıştır. Deprem analizlerinde ise; mod birleştirme yöntemi ve zaman tanım alanı analizi göz önüne alınmıştır.

SRM kullanılarak yapılan dinamik rüzgâr analizlerinden elde edilen sonuçlar ile TS EN 1991 1-4 (2007) standardına göre belirlenen eşdeğer statik rüzgâr yükleri kullanılarak yapılan rüzgâr analiz sonuçları karşılaştırılarak, analiz yöntemlerinin yapı davranışına olan etkisi ile ilgili irdelemeler yapılmıştır. Yapılan rüzgâr ve deprem analizleri sonucunda betonarme yüksek binadan elde edilen kat yer değiştirmeleri, kat kesme kuvvetleri ve kat momentleri gibi sonuçlar karşılaştırılarak, örnek betonarme yüksek bir binanın rüzgâr ve deprem etkileri altında davranışı irdelenmiştir.

1.3 Çalışmanın Yöntemi

Çalışma kapsamında betonarme yüksek binaların rüzgâr ve deprem yükleri altında davranışının belirlenmesinde statik ve dinamik durumlarını incelemek üzere, daha önce Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) ve TS500 (2000)’e uygun olarak tasarlanmış toplam 52 katlı örnek bir betonarme yapı sisteminin verileri ele alınmıştır. Bu veriler kullanılarak, rüzgâr ve deprem yüklerinin eşdeğer statik ve dinamik durum analizlerinin gerçekleştirilmesinde SAP2000 V19.1.1 yazılımı kullanılmıştır.

Yapılan analizlerde binanın kolon ve kiriş elemanları çubuk eleman, döşeme ve perde elemanları kabuk eleman olarak modellenmiştir. Rüzgâr yükleri bina üzerine tek doğrultudan etkidiği kabul edilmiştir. Eşdeğer statik rüzgâr yükleri, kolon-kiriş birleşimlerinde tanımlanmıştır. Dinamik rüzgâr yükleri için elde edilen rüzgâr-zaman

serileri, rüzgâr akıntısının binaya etkidiği alandaki her kolon-kiriş düğüm noktası için tek tek tanımlanmıştır.

Rüzgâr yüklemesi, bina rijitliğinin zayıf olduğu eksen doğrultusunda tanımlanmıştır. Rüzgâr yükleri statik ve dinamik durumlar için incelenerek statik durum için TS EN 1991 1-4 (2007) standardına göre ve dinamik durum için Spektral Temsil Yöntem (SRM)'e göre hesaplanmıştır.

Deprem yüklemesi ise, bina rijitliğinin zayıf olduğu eksen doğrultusunda tanımlanmıştır. Deprem yükleri yine statik ve dinamik durumlar için incelenerek statik durum için Mod Birleştirme Yöntemi kullanılmıştır. Çalışma kapsamında deprem ve rüzgâr etkilerinin karşılaştırılmasından dolayı konfor durumu dikkate alınarak deprem için elastik yatay ve düşey ivme spektrumu servis deprem düzeyi olarak adlandırılan DD-4 deprem yer hareket düzeyi için seçilmiştir.

Zaman tanım alanında yapılan dinamik deprem analizlerinde; toplam 11 adet depreme ait ölçeklenmiş gerçek zemin ivme kaydı kullanılarak toplamda 22 adet analiz gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında deprem ve rüzgâr etkilerinin karşılaştırılmasından dolayı konfor durumu dikkate alınarak deprem için elastik ve gerçek ivme kayıtları DD-4 deprem yer hareket düzeyi için seçilmiştir.

Ele alınan betonarme yüksek binanın rüzgâr ve deprem yüklerinin statik ve dinamik durum analizleri sonucunda elde edilen kat yatay yerdeğiştirmesi, kat kesme kuvveti ve kat momenti sonuçları karşılaştırılarak betonarme yüksek binanın yükleme davranış ilişkisi irdelenmiştir.

1.4 Çalışmanın Kapsamı

Tez beş ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde rüzgâr konusuna ait genel bilgiler verilmiş, tezin amacı, yöntemi ve kapsamı açıklanmış ve konu ile ilgili daha önce hazırlanmış literatür çalışmaları özetlenmiştir.

İkinci bölümde, eşdeğer statik rüzgâr yüklerinin hesaplanmasında kullanılan ülkemizde yayınlanmış olan TS EN 1991 1-4 (2007) standardına ait teknik bilgiler ve hesap adımları verilmiştir. Ayrıca bu bölümde, betonarme yüksek yapıların dinamik rüzgâr yüklerinin hesaplanmasında kullanılan Spektral Temsil Yöntemi (SRM)'ne ait teknik bilgiler ve hesap adımları verilmiştir.

Üçüncü bölümde, deprem yüklerinin betonarme yüksek yapıların statik analizinde kullanılmak üzere ülkemizde yayınlanmış olan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) yönetmeliğine ait elastik ivme yer spektrumu hesap adımları verilmiştir. Betonarme yüksek yapıların dinamik deprem analizinde kullanılan zaman tanım alanı yöntemi için seçilen ölçeklenmiş gerçek deprem yer ivme kayıtlarına ait yapılan kabuller ve hesap adımları anlatılmıştır. Ayrıca, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)'ne göre Yüksek Yapıların tasarım aşamaları konusu incelenmiştir.

Dördüncü bölümde, ele alınan betonarme yüksek bir binanın çeşitli noktaları için TS EN 1991 1-4 (2007) standardına göre eşdeğer statik rüzgâr yükü, Spektral Temsil Yöntemi (SRM)'ne göre dinamik rüzgâr yükü hesapları yapılmıştır. Hesaplamalar sonucu iki yönetime göre elde edilen değerler grafikler halinde sunulmuştur.

Beşinci bölümde, ele alınan betonarme yüksek bir binada eşdeğer statik rüzgâr yükü için TS EN 1991 1-4 (2007) standardına göre, dinamik rüzgâr yükü için Spektral Temsil Yöntemi (SRM)'ne göre elde edilen yüklerle statik ve dinamik rüzgâr analizleri yapılmıştır. Deprem analizleri ise Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanı'nda dinamik analiz yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Rüzgâr ve deprem analizlerinden elde edilen sonuçlar grafik ve tablolar halinde sunulmuştur.

Altıncı ve son bölümde ise tez kapsamında analizleri yapılan betonarme yüksek bina için rüzgâr ve deprem yüklemelerinden elde edilen sonuçların karşılaştırılması ve irdelemesi yapılarak betonarme yüksek binalarda rüzgâr etkileri ve deprem etkileri ile ilgili değerlendirmeler ve öneriler yapılmıştır.

1.5 Literatürde Konu İle İlgili Yapılmış Çalışmalar

Günümüzde yüksek yapıların sayısındaki artış nedeniyle ilginç tasarımların ortaya çıkması ve günden güne narinleşen yapılarda bina-konfor durumu, rüzgâr yüküne göre tasarım konusunu daha önemli hale getirmiştir. Bu nedenle dinamik rüzgâr yükü hesap yöntemleri geliştirilmiş ve çeşitli araştırmacılar tarafından konu ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır.

El-Heweity, Abdelnaby ve Eshra (2019) tarafından yapılan çalışmada kat planı dikdörtgen şeklindeki betonarme yapıya etkiyen rüzgâr kuvvetlerini, zaman alanında Spektral Temsil Yöntemi (SRM) ile simüle etmiştir. Stokastik rüzgâr dalgalanma bileşenlerini zaman serisi olarak üretmiş ve yükseklik boyunca değişen ortalama rüzgâr hızı ile toplayarak yükseklik ile değişen rüzgâr-zaman serileri elde etmiştir. Önerilen simülasyon tekniğini uygulamak için bir MATLAB kodu yazılmış ve istatistiki olarak simülasyon test edilmiştir.

Liu Z. ve Liu Z. (2018) tarafından yapılan çalışmada durağan stokastik vektör işlemlerini simüle etmek için spektral gösterim ve rastgele fonksiyonların hibrid bir yaklaşımını önermiştir. Önerilen yaklaşımda, Orijinal Spektral Temsil (OSR) yönteminde yer alan yüksek boyutlu rastgele değişkenler, rastgele kısıtlamalar olarak görev yapan rastgele işlevler uygulanarak, yalnızca iki temel rastgele değişkene indirgenmektedir. Buna dayanarak, temel rastgele değişkenlerden oluşan küçük bir temsili nokta kümesi seçilerek gerçek kayıtlara yakın bir simülasyon doğruluğu elde edilmiştir. Yöntemi daha iyi açıklayabilmek için bir perde duvar yapısına etki eden stokastik rüzgâr dalgalanma hızı alanını, üç adet rastgele fonksiyon türünden simüle ederek sonuçları irdelemiştir.

Venanzi, Lavan, Lerimonti ve Fabrizi (2018) tarafından yapılan makalede rüzgâr ve deprem gibi dinamik etkilere maruz yüksek binalar için, tasarım kararlarının sadece ilk maliyet ve yapı-performansına ait olmadığını ayrıca rüzgâr ve deprem gibi etkiler sonucunda yapısal olmayan elemanlarda oluşan hasar-maliyet durumlarını da kapsadığını ifade etmiştir.

Pekgözü ve Taş (2017) tarafından yapılan çalışmada ele alınan betonarme yüksek minare ile aynı minarenin Ayarlı Kütle Sönümleyici (AKS) tanımlanmış durumunu deprem ve rüzgâr yükleri altında incelenmiştir. Zaman tanım alanı analizlerinde harmonik yer hareketi ve ölçeklenmiş gerçek yer ivme deprem hareketlerini kullanılmıştır. Rüzgâr yükleri olarak Rita kasırgasından elde edilen rüzgâr kuvvetlerini kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucu AKS tanımlanmış minarenin kasırğa etkisi altında sönüm değerinin normal minareye göre iki katından daha büyük olduğu elde edilmiştir.

Togbenou, Li, Chen ve Liao (2016) tarafından yapılan çalışmada Spektral Temsil Yöntemi (SRM)'nin hesaplama süresinin uzun olmasından dolayı Davenport fonksiyonun değiştirilmiş bir modeli önerilmiş ve Cholesky ayrıştırma metodunun etkinliğini daha çok arttırmak için hedef rüzgâr spektrumunun parça şeklinde yeniden düzenlendiği bir yakınsama tekniği kullanılmıştır. Önerilen simülasyon yönteminde doğrudan Cholesky ayrıştırması veya Eigen vektör ayrıştırması gerektirmediğinden yapılan iki yüz adet rüzgâr hızı simülasyonu sayısal araştırmalarının hesaplama süresini %60'tan daha fazla düşürebileceği gösterilmiştir.

Benowitz ve Deodatis (2015) tarafından yapılan çalışmada sonsuz sayıda noktadaki uzun açıklıklı yapılar için rüzgâr hızlarının verimli ve doğru modellenmesi için yeni bir yöntem, frekans-dalgasayısı spektrumu sunulmuştur. Rüzgâr hızı alanı hesaplarında Çapraz Spektral Yoğunluk Matrisi ile Frekans-Dalga Adımı spektrumu (FVN) kullanılmıştır. Yöntemlerin spektral ve tutarlılık durumlarını bir sayısal örnek ile desteklenmiştir.

Rajmani ve Guha (2015) tarafından yapılan çalışmada yüksek binaların rüzgâr ve deprem yüklerine karşı performansını artırmak için farklı plan kesitlerine sahip yapıların rüzgâr ve deprem yükleri altında etkileri araştırılmıştır. Analizler sonucu ele alınan dikdörtgen, kare, üçgen ve dairesel plan kesitli binaların, bina plan kesiti ile rüzgâr ve deprem analiz sonuçları arasındaki ilişkisi incelenmiştir.

Abrous, Wamkeue ve Berkouk (2015) tarafından yapılan çalışmada türbin kanatlarına uygulanan yatay bir rüzgâr profili modellemenin tekniklerini ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Rüzgâr hızını; ortalama rüzgâr hızı, ani rüzgâr hızı, rampa rüzgâr hızı ve son olarak türbülans olmak üzere dört bileşenden oluştuğu ele alınmıştır. Rüzgâr hızı hesaplarında zor olan türbülans hesaplarını Spektral Temsil Yöntemi (SRM)'ni kullanarak hesaplanmıştır. İki farklı Kaimal ve Von Karman spektrumu uygulayarak dalgalanma bileşenleri üretilmiştir. Çalışmada, sentetik olarak üretilen rüzgâr hızı verileri ile deneysel veriler karşılaştırılarak SRM'nin uygulanabilirliği irdelenmiştir.

Chen, Li ve Xiang (2014) tarafından yapılan çalışmada Fourier-Stieltjes integraline göre çok değişkenli stokastik süreçlerin örneklerini üretmek için yeni bir algoritma sunulmuştur. Algoritma, ters hızlı Fourier dönüşümü yönteminden türetilmiştir ve birçok simülasyon noktasına sahip kısa süreli rüzgâr hızı alanının simülasyonunda uygulanabilirliği olmuştur. Ayrıca, algoritmanın ergodik özelliği araştırılmış ve hesaplama yetkinliği mevcut yöntem ile karşılaştırılmıştır.

Berahaman (2013) tarafından yapılan çalışmada Dubai'de yer alan ve mimari yapısıyla öne çıkan 160 m yüksekliğindeki otel olarak kullanılan binanın zaman tanım alanında lineer olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir. Seçilen farklı deprem yer ivme kayıtlarına göre yapılan zaman tanım alanı analizleri sonucunda elde edilen veriler yorumlanmıştır.

Mortezaei ve Ronagh (2013) tarafından yapılan çalışmada depremler sonucu binaların taşıyıcı sisteminde oluşması beklenen plastik mafsalların yerlerini tahmin edebilmek için yeni yaklaşımlar geliştirilmiştir. Yapılan zaman tanım alanı analizlerinde çeşitli üretilmiş deprem verileri kullanılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen değerler yorumlanmıştır.

Türkeli (2014) tarafından yapılan çalışmada betonarme cami minarelerinin rüzgâr ve deprem analizlerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Cami minaresinde oluşabilecek zayıf kesitler ortaya çıkarılmıştır.

Heiza ve Tayel (2012) tarafından yapılan çalışmada betonarme yüksek yapılarda rüzgâr ve deprem yük etkileri araştırılmıştır. Etkili yüklerin hesabında 1993 ve 2003 tarihli Mısır yönetmeliği kullanılmıştır. Rüzgâr ve deprem yükleri birbirleri ile karşılaştırılarak bu konu hakkında bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

Steenbergen, Vrouwenvelder ve Geurts (2012) tarafından yapılan çalışmada sünek yüksek yapılarda Eurocode EN 1991 1-4 standardında var olan prosedür 1 ve 2 olarak iki farklı rüzgâr dalgalanma hızı durumları incelenmiştir. Analizler sonucu prosedür 1 ve 2, yüksek binaların yapısal tasarımındaki yapısal faktör CsCd ve insan konforu durumları için birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

Tian, Yang Q., Yang N., Liv ve Chen (2011) tarafından yapılan çalışmada Pekin Meteoroloji Kulesi'ne ait rüzgâr hızı spektrumunu, Hilbert-Huang dönüşümü (HHT) ve hızlı Fourier dönüşümü (FFT) kullanarak iki farklı yöntem ile hesaplanmıştır. Model parametreleri en küçük kareler yöntemi ile elde edilmiştir. HHT spektrum değerlerini, FFT spektrum değerleri ile karşılaştırılarak iki yöntemin sonuçları irdelenmiştir.

Jadhav, Kulkarni ve Galatage (2016) tarafından yapılan çalışmada yüksek yapıların çekirdek kısmında kullanılan çoğunlukla rijitliği ile yatay kuvvetlerin birçok kısmını kendi üzerine alan perde elemanlarının, statik duruma ait rüzgâr ve deprem analizleri yapılmıştır. Analizler sonucu perde elemanlarda oluşan eksenel kuvvet kesme kuvveti, eğilme momenti ve yerdeğiştirme değerleri karşılaştırılmıştır.

Xu, Wang ve Wu (2011) tarafından yapılan çalışmada stokastik rüzgâr hızı alanı için Spektral Temsil Yöntemi (SRM) ve Geliştirilmiş Fourier Spektrum Yöntemi (MFSM) ile simülasyonlar yapılmıştır. Örnek olarak ele alınan uzun açıklıklı bir köprü yapısı için iki yöntem ile zamana bağlı olarak rüzgar hızı kayıtları üretilmiş ve iki yöntemin sonuçları karşılaştırılmıştır.

Ding, Zhu ve Xiang (2010) tarafından yapılan çalışmada spektral gösterimin Fourier-Stieltjes integrali kullanarak sentetik rüzgâr hızı kayıtları üretilmiştir. Önerilen algoritmanın, örnek uzunluğu bir periyoda eşit olduğu korelasyonda ve ortalama değerde ergodik örnek fonksiyonlar ürettiği kanıtlanmıştır. Hızlı Fourier dönüşümü tekniğinden faydalanılmasından dolayı hesap süresi kısalmıştır. Sentetik kayıtların hedef ve korelasyon fonksiyonları kıyaslanmıştır.

Adnan ve Suradi (2008) tarafından yapılan çalışmada, betonarme binaların performanslarını ele alarak Malezya'daki mevcut binalar için deprem ve rüzgâr yüklerinin etkisi karşılaştırılarak, tasarım kapasitesinin yeterliliği kontrol edilmiştir. Batı ve Doğu Malezya'daki toplamda 7 adet orta ve yüksek katlı betonarme bina incelenmiştir. Yanal yüklerin hesaplanmasında UBC-97, CP3: 1972 ve MS1553:2002 yönetmelikleri kullanılmıştır. Çerçeveler için kapasite tasarım hesaplarında BS8110'dan faydalanılmıştır. Kapasite Tasarım yeterliliği analizleri olarak serbest titreşim analizi, eşdeğer statik deprem analizi, statik rüzgâr analizi ve dinamik deprem tepki spektrumu analizleri yapılmıştır. Analizler sonucu oluşan değerler birbirleri ile karşılaştırılmış ve öneriler sunulmuştur.

Baker, Korista ve Novak (2007) tarafından yapılan çalışmada Burj Dubai binasının yapısal özellikleri, tasarımında ele alınan deprem ve rüzgâr analizleri ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Dünya üzerinde en yüksek bina olma özelliğine sahip olan Burj Dubai binasının tasarımı esnasında oluşabilecek sorunlar incelenmiştir.

Han ve Luo (2006) tarafından yapılan çalışmada stokastik dalgalanan rüzgâr alanı olasılıksal yöntem olan Dalga Süperpozisyonu yöntemi ile simüle edilmiştir. Periyodik şekilde akmayan rüzgâr hızı serisinin üretimi hakkında bir sayısal örnek çözülmüştür ve simülasyonun etkili ve hassas olduğunu gösterilmiştir.

Chen ve Kareem (2005) tarafından yapılan çalışmada kovaryans ve XPSD matrislerinin ayrışmasına dayanan Uygun Ortogonal Ayrıştırma Tabanlı Modelleme (POD) tekniğinin teorik anlatımı sunulmuştur. Rüzgâr yükleri altında ve POD çerçevesinde yapıların rezonans tepkisi arasında fiziksel olarak bağıntı kurulmuştur.

Bu yapıların değişken dinamik yüklere nasıl tepki verdiğini daha iyi anlaşılmamasına yardımcı olmak için POD tabanlı model gösterimi kullanılarak, rastgele rüzgâr hızı alanların simülasyonu ve durum uzayı modellemesi için şemalar sunulmuştur. Son olarak rüzgâr yüklerini temsil eden azalan düzen modellemenin (ROM) doğruluğu ve etkinliği, rüzgâr yükü altında ki bir bina üzerinde incelenmiştir.

Li, Liao ve Qiang (2004) tarafından yapılan çalışmada asma köprülerdeki stokastik rüzgâr hızı alanı hesaplarını basitleştirmek için bir yöntem sunulmuştur. Spektral Temsil Yöntemi (SRM), Çapraz Spektral Yoğunluk matrisi ve Cholesky metodu kullanılarak stokastik rüzgâr hızı alanı verileri elde edilmiştir. Hesaplama verimliliğini arttırmak için Hızlı Fourier Dönüşüm (FFT) yöntemi kullanılmıştır. Simüle edilen rüzgâr analizi verileri ile hedef verileri arasında yeterince yakın değerler elde edilmiştir.

Cao, Xiang ve Zhou (2000) tarafından yapılan çalışmada uzun açıklı köprülerde stokastik rüzgâr hızı alanı simülasyonu için bir algoritma sunulmuştur. Algoritma içerisinde Spektral Temsil Yöntemi, Cholesky Çapraz Spektral yoğunluk matrisi ve hızlı Fourier dönüşüm yöntemleri kullanılmıştır. Simüle edilen rüzgâr analizinde algoritma vasıtasıyla bulunan veriler ile hedef verileri arasında yeterince küçük farklılıklar elde edilmiştir.

Solari ve Tubino (2007) tarafından hazırlanmış çalışmada binalar, kuleler ve bacalar gibi dikey yapıların dinamik rüzgâr yüklemesine ait genel denklemleri incelenmiştir. Yapısal tasarımda önemli ifadeler olan maksimum rüzgâr hızı, eşdeğer statik kuvveti ve ani rüzgâr faktörü tanımlanmaktadır.

Solari (1993) tarafından yapılan çalışmada en yüksek rüzgâr hızı hesabında ani rüzgâr hızı, rijit yapılarda eşdeğer basınçta, sünek yapılarda ise dinamik tepki olarak problem oluşturmasından dolayı ani rüzgâr hızı için genelleştirilmiş bir formülasyon ve ani rüzgâr katsayısı önerilmektedir. İki problemi de çözen kapalı denklemler sunulmaktadır.

Solari (1987) tarafından yapılan çalışmada yüzey atmosferik sınır katmanındaki türbülans yapısının tanımlanması için en çok kullanılan analitik modelleri sunulmaktadır. Bu modellerde yer alan belirsizlik derecesine azami önem verilmektedir, dağılımının ayrıntılı bir tahmini çoğu zaman yanıltıcı göstermekte olduğunu söylenilmektedir.

Solari (1988) tarafından yapılan çalışmada EWST adlı eşdeğer rüzgâr spektrum tekniği geliştirilmiştir. Rüzgâr dalgalanmalarının gerçek türbülans serilerine çok benzer veriler üretebilen teknik geliştirilmiş olmakla birlikte teorinin adımları sunulmaktadır.

Solari (1985) tarafından yapılan çalışmada dikdörtgen geometrilili binaların dış yüzeyine etkiyen 3 boyutlu rüzgâr yükünü tahmin etmek için matematiksel bir formül geliştirilmiştir. Önerilen tekniğin güvenilirliği, tahmin edilen sonuçların literatürdeki deneysel verilerle karşılaştırarak doğrulanmıştır. Teorik ve deneysel sonuçlar arasındaki farkın az olmasına rağmen daha doğru aerodinamik parametrelerin bilgisini geliştirmek için kapsamlı rüzgâr tüneli ve tam ölçekli deneyler yapılması gerekliliği vurgulanmıştır.

Solari (1983) tarafından hazırlanmış olan çalışmada yapıların rüzgâr dalgalanma kuvvetlerine karşı dinamik tepkisi ele alınmıştır. Rijit yapılarda sadece rüzgârın statik analizi, esnek yapılarda ise rüzgârın dinamik analiz edilmesi gerekliliği ortaya konulmuştur.

Shinozuka ve Jan (1972) tarafından yapılan çalışmada eşit aralıklı frekanslara ve rastgele faz açılara sahip bir dizi kosinüs işlevi için etkili yöntemler sunulmuştur. Ayrıca yaklaşım, evrimsel nitelikte bir güç yoğunluk spektrumu ile karakterize edilen homojen olmayan genel bir salınım sürecinin simülasyonu elde edilmiştir. Güç spektral yoğunluk fonksiyonu ve çapraz spektral yoğunluk matrisi kullanılarak çok değişkenli bir işlem olarak rüzgâr dalgalanmalarını elde eden denklem geliştirilmiştir.

BÖLÜM İKİ

TS EN 1991-1-4 STANDARDINA GÖRE EŞDEĞER STATİK RÜZGÂR VE SPEKTRAL TEMSİL YÖNTEMİ (SRM) İLE DİNAMİK RÜZGÂR YÜKLERİNİN BELİRLENMESİ

2.1 Giriş

Günümüzde, gelişen teknolojiye bağlı olarak yüksek binaların yapımının hızla artması narin ve estetik yapıların ortaya çıkmasını sağlamıştır. İnsanların günlük hayatta bu tarz yapılarda rahat ve huzurlu bir şekilde kullanması için, tasarımcılar yüksek bina tasarımında statik düşey yüklerin yanında dinamik yatay yüklerin de dikkate alındığı analiz yöntemlerini de detaylı olarak dikkate almaktadır. Yüksek yapılarda konfor durumunu etkileyen en önemli durumlardan biri dünya üzerindeki hava kütlelerinin yer değiştirmesinden ortaya çıkan rüzgâr akıntılarıdır. Tasarım aşamasında, yüksek yapılara etkiyen statik veya dinamik rüzgâr etkilerinin analizlere dâhil edilebilmesi için rüzgâr konuları üzerine çalışan araştırmacılar tarafından hazırlanan çeşitli standartlar, araştırmalar ve yönetmelikler kullanılmaktadır.

Bina tasarımına esas eşdeğer statik rüzgâr yükünün belirlenmesi için ülkemizde yürürlükte olan TS EN 1991 1-4 (2007) standardı kullanılmaktadır. Bu standartta yer alan yöntem ile çeşitli yapıların yükseklik ile değişen statik rüzgâr hızları, basınçları ve yükleri hesaplanabilmektedir. Standartta yer alan hesap yöntemi, çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan olasılık teorileri, rüzgâr spektrumları, basınç teorileri gibi çalışmalara dayanmaktadır. Standartta verilen eşdeğer statik rüzgâr yükleri olasılık yöntemi ile elde edilen dinamik rüzgâr yüklerinin en büyük değerlerini elde etmektedir.

Dinamik rüzgâr yükünün hesaplanması için literatürde pek çok farklı yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler arasında esas olarak kullanılan ve birçok farklı yöntemin doğmasını sağlayan yöntem Spektral Temsil Yöntemi (SRM)'dir. SRM, bir yapı üzerinde istenen noktalardaki hedef rüzgâr spektrumunu kullanarak bulunan rüzgâr veri değerlerini, birbirleri ile korelasyon sağlayarak rastgele faz açıları kullanarak

sentetik rüzgâr hızı spektrumu üretmeyi sağlayan istatistik ve olasılık teorilerini esas alan bir yöntemdir.

SRM yöntemi ile rüzgâr basınçlarının zamana göre değişiminin belirlenmesinde, Davenport (1961), Harris (1968) ve Simiu (1974) gibi çeşitli araştırmacıların ortaya koymuş olduğu hedef rüzgâr spektrumları kullanılır. Söz konusu hedef rüzgâr spektrumları ile ilgili detaylı bilgi ilerleyen bölümlerde açıklanmıştır.

Bu bölümde, eşdeğer statik rüzgâr yüklerinin hesaplarında kullanılan ve ülkemizde yayınlanmış olan TS EN 1991 1-4 (2007) standardında yer alan hesap yöntemi açıklanmış ve hesap adımları verilmiştir. Ayrıca, dinamik rüzgâr yükü hesaplarında kullanılan Spektral Temsil Method (SRM) yöntemine ait teorik açıklama yapılarak analiz adımları açıklanmıştır.

2.2 TS EN 1991 1-4 Standardına Göre Eşdeğer Statik Rüzgâr Etkilerinin Belirlenmesi

Ülkemizde, yapılara etki edecek eşdeğer statik rüzgâr etkilerinin belirlenmesi için aynı zamanda Eurocode 1 standardının bir bölümü olan TS EN 1991-1-4 standardı kullanılmaktadır. Bu standartta verilen hesap yöntemi ile yüksekliği 200 m’yi aşmayan binalar ve inşaat mühendisliği işleri ve dinamik tepki kısıtlarını sağlaması şartıyla açıklığı 200 m’den daha az köprülerin tasarımında kullanılacak eşdeğer statik rüzgâr yükleri hesaplanabilmektedir. Bu bölümde, TS EN 1991-1-4’e göre yapılan rüzgâr yükleri hesabında kullanılan ölçütler ve parametreler açıklanmıştır.

2.2.1 Esas Rüzgâr Hızı

Eşdeğer statik rüzgâr yükleri, esas rüzgâr hızına bağlı olarak hesaplanmaktadır. Esas rüzgâr hızı, temel rüzgâr hızı, doğrultu katsayısı ve sezon katsayısının çarpımı ile hesaplanan bir büyüklüktür.

Esas rüzgâr hızının temel değeri “ $v_{b,0}$ ”, yılın herhangi bir aralığında ve rüzgâr doğrultusundan bağımsız olarak, çayır gibi az bir bitki örtüsüne ve aralarında minimum engel yüksekliğinin 20 katı kadar mesafe bulunan doğal engellere sahip, açık kırsal alanda yer seviye hizasından 10 metre yukarıdaki karakteristik 10 dakika süre için ortalama rüzgâr hızı olarak ifade edilmiştir.

Esas rüzgâr hızı, Denklem 2.1 ile ifade edilmektedir.

$$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0} \quad (2.1)$$

Burada; “ v_b ”, arazi kategorisi II’de yeryüzü seviyesinden 10 metre yükseklikte yılın herhangi bir aralığının ve rüzgârın esdiği yönünün bir fonksiyonu olarak tanımlanan esas rüzgâr hızı olarak ifade edilmiştir. “ $v_{b,0}$ ” rüzgârın esme yönünü ve mevsimleri hesaba katmak için yeni ifade edilmiş temel esas rüzgâr hızının temel değeridir. “ c_{dir} ”, doğrultu katsayısıdır ve TS EN 1991-1-4’de önerilen değeri 1,0’dır. “ c_{season} ”, mevsim katsayısıdır ve TS EN 1991-1-4’de önerilen değeri 1,0’dır.

2.2.2 Ortalama Rüzgâr Hızı

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 bir büyüklüktür ve Denklem 2.2 ile hesaplanmaktadır.

$$V_{m(z)} = c_{r(z)} * c_{o(z)} * v_b \quad (2.2)$$

Denklemden “ $c_{r(z)}$ ” engebелilik katsayısı, “ $c_{o(z)}$ ” ise orografi katsayısı olarak tanımlanır. TS EN 1991 1-4’e göre esas rüzgâr hızı hesabında orografi katsayısı standart gereği tavsiye edilen değeri 1,0’dır.

2.2.3 Arazi Engebелiliđi

Engebelilik katsayısı “ $c_{r(z)}$ ” ile yapının mevcut olduğu yerde, yer seviyesinden bina tepe yüksekliğine ve rüzgârın geldiği doğrultu dikkate alındığında, rüzgârın yapıya yaklaştığı yöndeki arazinin engebелiliđine bağlı olarak tanımlanır. Engebelilik katsayısı olarak ifade edilen “ $c_{r(z)}$ ” Denklem 2.3 ve 2.4 ile hesaplanmaktadır.

$$c_{r(z)} = k_r * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad (2.3)$$

$$c_{r(z)} = c_r(z_{en\ küçük}) \quad z \leq z_{min} \quad (2.4)$$

Bu denklemde, “ z_0 ” engebелilik uzunluğu olup “ k_r ” ise engebелilik uzunluğu ve yüksekliğe bağlı arazi katsayısıdır. “ z ” metre yükseklikteki arazi katsayısı Denklem 2.5 ile hesaplanmaktadır. Bu denklem Tennekes (1973) tarafından tanımlanan logaritmik hız profiline dayanmaktadır.

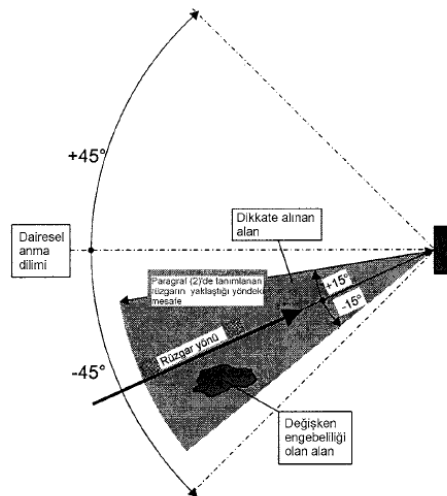
$$k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} \quad (2.5)$$

Denklemde “ $z_{0,II}$ ” Tablo 2.1’de tanımlanan arazi kategorisi II’yi tanımlar ve yüzey pürüzlülüğu yükseklik değeri 0,05’tir. “ $z_{en\ küçük}$ ”, Tablo 2.1’de tanımlanan en düşük yüksekliktir. “ z_0 ” ve “ $z_{en\ küçük}$ ” arazi kategorisine göre değeri alır. Standart gereği arazi kategorisine göre önerilen değeri ve değeri karşılık arazi koşulları Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1 Arazi kategorileri ve arazi parametreleri (TS EN 1991 1-4)

No	Arazi Kategorisi	z_0 (m)	Zen küçük (m)
0	Açık deniz etkisine maruz deniz veya kıyı alanı	0,003	1
I	Göller veya ihmal edilebilecek seviyede bitki örtüsü olan ve engebeli olmayan düz ve yatay alan	0,01	1
II	Çayır gibi az seviyede bitki örtüsü olan ve aralarında en az engel yüksekliğinin 20 katı kadar mesafe bulunan engellere (ağaçlar, binalar) sahip alan	0,05	2
III	Düzgün yayılı şekilde bir bitki örtüsüne veya binalara veya aralarında en az engel yüksekliğinin 20 katı kadar mesafe bulunan engellere sahip alan (kasabalar, yörekent, ormanlık alan gibi)	0,3	5
IV	Yüzeyinin en az %15'i, yükseklik ortalaması 15 m'yi aşan binalarla kaplı alan	1,0	10

Hesabı yapılacak rüzgâr doğrultusu için hesaplanacak arazi engebeliliği, rüzgâr doğrultusu etrafındaki dairesel dilim alan içerisinde bulunan düzgün yayılı engebeliliğe sahip arazi bölümünün uzunluğuna ve yüzey pürüzlülüğüne bağlıdır. Çeşitli seviyelerde engebelilik gösteren küçük alanlar (dikkate alınan arazinin % 10'undan az) ihmal edilebilir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Arazi engebeliliğinin değerlendirilmesi (TS EN 1991 1-4)

Standart gereğince önerilen dairesel dilimin merkez açısı 300° veya rüzgâr doğrultusunun her iki tarafında 150° olarak alınabilir.

Dairesel anma dilimi için basınç veya kuvvet katsayısının tanımlandığı durumlarda herhangi 30° derecelik dairesel dilimdeki en düşük engebililik uzunluğu kullanılmalıdır.

Rüzgâr yükü hesaplarında yapının bulunduğu alanda birden çok arazi özelliklerine bağlı engebililik etkisi var ise daha yüksek rüzgâr hızı elde edebilmek için en düşük engebililik uzunluğu olan arazi kullanılmalıdır.

2.2.4 Arazi Orografisi

Tepeler yamaçlar gibi doğal yeryüzü şekilleri, orografinin rüzgâr hızını % 5'ten daha fazla arttırdığı yerlerde, hesaplarda bu durumun etkilerini orografi katsayısı “ c_o ” kullanarak dikkate alınmalıdır.

Rüzgâr akıntısının olduğu yöndeki ortalama arazi eğiminin 3 dereceden az olduğu durumlarda orografi etkileri ihmal edilebilir. Ayrıca, rüzgârın olduğu yöndeki arazi boyu olarak orografik unsurun yüksekliğinin 10 katı mesafe alınabilir.

2.2.5 Rüzgâr Türbülansı

“ 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 ”dir. Türbülansın standart sapması “ σ_v ”, Denklem 2.6 ile ifade edilmektedir.

$$\sigma_v = k_r * v_b * k_l \quad (2.6)$$

Arazi katsayısı “ k_r ”, Denklem 2.5'e, esas rüzgâr hızı “ v_b ” Denklem 2.1'e göre hesaplanır. “ $I_{v(z)}$ ”nin hesaplanması için Denklem 2.7 ve 2.8 ile ifade edilmiştir.

$$I_{v(z)} = \frac{\sigma_v}{V_{m(z)}} = \frac{k_l}{c_{o(z)} * \ln(z/z_0)} \quad (2.7)$$

$$I_{v(z)} = I_{v(z,min)} \quad (2.8)$$

Denklemlerde; “ k_l ” türbülans katsayısı, “ c_o ” orografi katsayısı ve “ z_0 ” engebelilik uzunluğudur.

2.2.6 Hız Kaynaklı Rüzgâr Basıncı

“ z ” metre yükseklikteki, ortalama ve kısa süreli hız değişmelerini içeren tepe rüzgâr basıncı “ $q_p(z)$ ” Denklem 2.9’da ifade edilmektedir.

$$q_p(z) = [1 + 7I_v(z)] * \frac{1}{2} * \rho * v_m^2(z) = c_e(z) * q_b \quad (2.9)$$

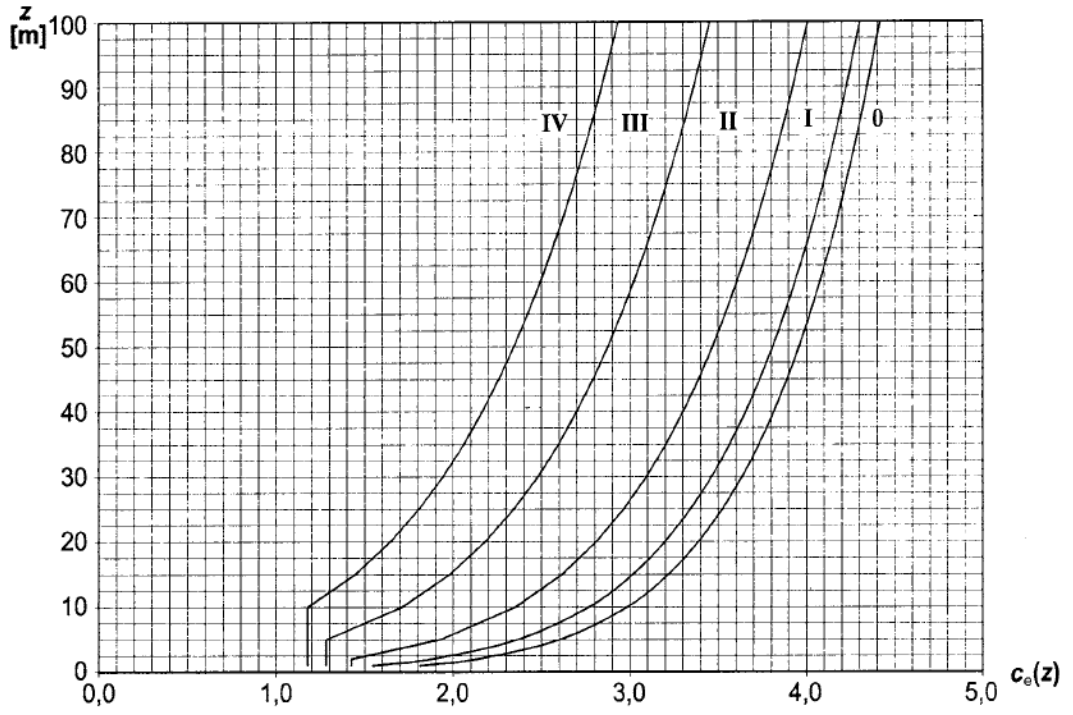
“ ρ ”, fırtınaların bölgede olması ile beklenen sıcaklık ve barometrik basınçlara ve deniz seviyesinden yüksekliğe bağlı olan hava yoğunluğudur. Önerilen değer 1,25 kg/m³’tür. “ $c_e(z)$ ” maruz kalma katsayısıdır ve Denklem 2.10’da ifade edilmektedir.

$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b} \quad (2.10)$$

Burada; “ q_b ” yüksekliğe bağlı olarak esas kaynaklı rüzgâr basıncı olarak tanımlanmaktadır ve Denklem 2.11’de ifade edilmektedir.

$$q_b = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2 \quad (2.11)$$

$c_o(z) = 1,0$ olan düz araziler için maruz kalma katsayısı “ $c_e(z)$ ”, Şekil 2.2’de yeryüzü seviyesinden yüksekliğin ve Tablo 2.1’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 (TS EN 1991 1-4)

2.2.7 Yapı Yüzeylerindeki Rüzgâr Basıncı

Yapıların dış yüzeylerine etkiyen rüzgâr basıncı, birim alana etkiyen kuvvet “ w_e ” Denklem 2.12’de ifade edilmektedir.

$$w_e = q_p(z) * c_{pe} \quad (2.12)$$

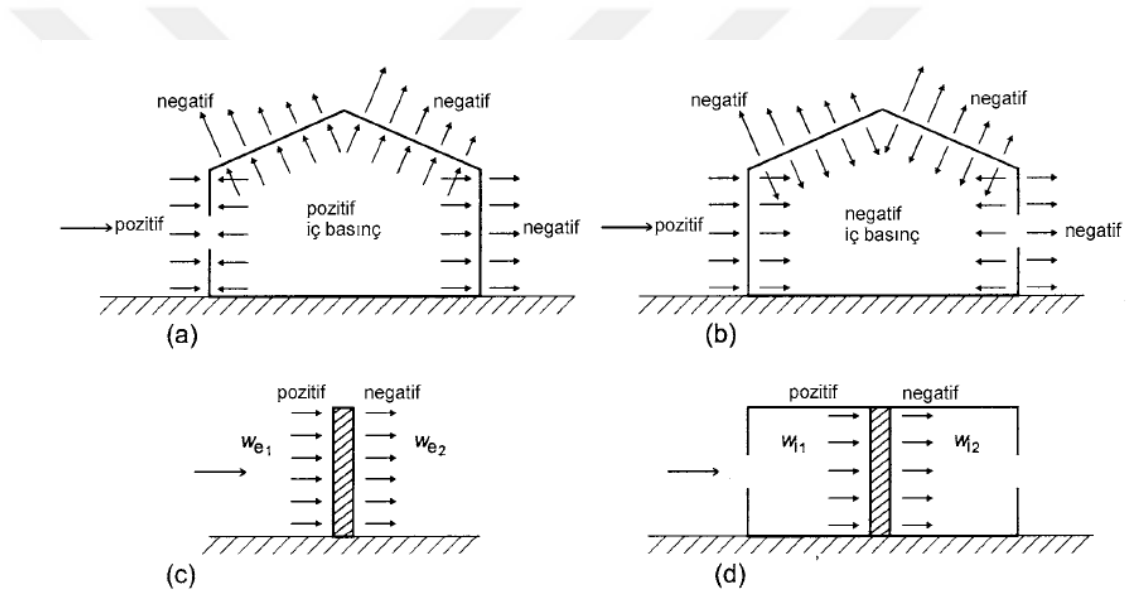
“ $q_p(z)$ ”, yükseklikle değişen tepe rüzgâr basıncıdır. “ z_e ”, bina dış basınç için referans yüksekliğidir. “ c_{pe} ”, bina iç basınç için verilen basınç katsayısıdır.

Bir yapının iç mekan yüzeylerine etkiyen rüzgâr basıncı “ w_i ”, Denklem 2.13’te ifade edilmektedir.

$$w_i = q_p(z_i) * c_{p,i} \quad (2.13)$$

“ $q_p(z_i)$ ” yükseklik ile değişen hız kaynaklı rüzgâr basıncı, “ z_i “, bölüm 2.2.10.2’de verilen iç basınç için referans yüksekliği ve “ c_{pi} ” iç basınç için verilen basınç katsayısıdır.

Bir duvara, çatıya veya yapı elemanına etkiyen net basınç, elemanların ön ve arka yüzeylerinde oluşan basınçların yönleri de dikkate alınarak hesaplanan basınç farkına eşittir. Yüzeye doğru çarpan rüzgâr akıntısının basıncı pozitif ve yüzeyden uzaklaşan rüzgâr akıntısının basınçları ise negatif olarak alınır. Rüzgârın ilk yüzeye çarpması ile basınç kuvvetleri oluşturur ve rüzgâr akıntısı yapıdan uzaklaşmaya başladığı alanda ise çekme kuvvetleri oluşturur. Örnekleri Şekil 2.3’de verilmiştir.



Şekil 2.3 Yüzeylerdeki basınç (TS EN 1991 1-4, 2007)

2.2.8 Rüzgâr Kuvvetleri

Yapının tümü veya bir yapısal bileşeni için rüzgâr kuvvetleri, kuvvetlerin kuvvet katsayıları kullanarak hesaplanması ile veya kuvvetlerin, yüzey basınçlarının kuvvete dönüştürülmesi ile belirlenmelidir.

Bir yapıya veya yapının bir elemanına etkiyen rüzgâr kuvveti “ F_w “, Denklem 2.14 veya 2.15 ile belirlenmektedir.

$$F_w = c_s * c_d * c_f * q_p(z_e) * A_{ref} \quad (2.14)$$

Denklem 2.15 ile yapılan hesaplamalarda her bir yapısal eleman için etkiyecek rüzgâr kuvveti vektörel toplama ile yapılmaktadır.

$$F_w = c_s * c_d * \Sigma_{elemanlar} * c_f * q_p(z_e) * A_{ref} \quad (2.15)$$

Denklemde “ $c_s * c_d$ ” yapısal katsayı, “ c_f ” yapı veya yapısal eleman için kuvvet katsayısı, “ $q_p(z_e)$ ” “ z_e ” referans yüksekliğindeki tepe rüzgâr basıncı ve “ A_{ref} ” ise rüzgâr basıncının etkidiği referans alanı olarak ifade edilmektedir.

Bir yapıya veya yapının bir bileşenine etkiyen rüzgâr kuvveti “ F_w ”, Denklem 2.16 ve 2.17 kullanılarak dış ve iç basınçlardan hesaplanan “ $F_{w,e}$ ”, “ $F_{w,i}$ ” ve “ F_{fr} ” kuvvetleri ile Denklem 2.18 kullanılarak hesaplanan dış yüzeylere paralel rüzgâr sürtünmelerinden kaynaklanan sürtünme kuvvetlerinin vektörel olarak toplanmasıyla elde edilir.

Dış kuvvetler Denklem 2.16 ile ifade edilmektedir.

$$F_w = c_s * c_d * \Sigma_{alanlar} w_e * A_{ref} \quad (2.16)$$

Burada; “ $c_s c_d$ ” yapısal katsayıdır. Yapısal katsayı “ $c_s c_d$ ”nin, türbülansa bağlı yapı titreşimi “ c_d ”, birlikte yüzeylerde oluşan en maksimum rüzgâr basıncının “ c_s ”, aynı zamanlarda oluşmaması nedeniyle rüzgâr etkileri üzerindeki tesirlerini hesaplanmasıdır.

“ w_e ” ise “ z_e ” yüksekliğindeki bina yüzeylerinde oluşan dış basınçtır. “ A_{ref} ” her bir yüzeyin referans alanıdır. Yapı iç mekanında oluşan kuvvetler Denklem 2.17’de ifade edilmektedir.

$$F_{w,i} = \Sigma_{alanlar} w_i * A_{ref} \quad (2.17)$$

Burada; “ w_i ”, “ z_i ” yüksekliğindeki her bir yüzeydeki iç basınçtır ve “ A_{ref} ” her bir yüzeyin referans alanıdır. Sürtünme kuvvetleri Denklem 2.18’de ifade edilmektedir.

$$F_{fr} = c_{fr} * q_p(z_e) * A_{fr} \quad (2.18)$$

Burada; “ c_{fr} ” sürtünme katsayısı ve “ A_{fr} ” rüzgârın geldiği yöndeki paralel dış yüzeylerin alanıdır. Sürtünme kuvvetleri “ F_{fr} ”, rüzgârın yapı dış yüzeylerine paralel bileşenleri doğrultusunda etkimektedir.

2.2.9 Yapısal Katsayı C_s-C_d

Yapısal faktör “ $C_s C_d$ ”, boyut katsayısı “ C_s ” ve dinamik katsayı “ C_d ” olarak ikiye ayrılır. Yer seviyesinden bina tepe noktası arası farkı 15 m’den az olan binalarda “ $C_s C_d$ ” değeri 1,0 olarak alınabilir. Doğal frekansı 5 Hz’den yüksek olan cephe ve çatı elemanları için “ $C_s C_d$ ” değeri 1,0 olarak alınabilir. Taşıyıcı duvar elemanları olan bina yüksekliği 100 metreden az ve bu yüksekliğin rüzgâr doğrultusuna paralel yöndeki yapı genişliğinin 4 katından daha az olduğu binalar için “ $C_s C_d$ ” değeri 1,0 olarak alınabilir.

Yapı yüksekliği 60 metreden ve bu yüksekliği çapının 6,5 katından daha az olan dairesel kesitli bacalar için “ $C_s C_d$ ” değeri 1,0 olarak alınabilir. Yukarıda açıklanan durumlara ek olarak “ $C_s C_d$ ” değeri Denklem 2.19’dan da elde edilebilir. Köprü yapıları haricinde inşaat mühendisliği alanına giren bütün yapılar, baca ve binalar için “ $C_s C_d$ ” değeri Denklem 2.19 ile elde edilmektedir.

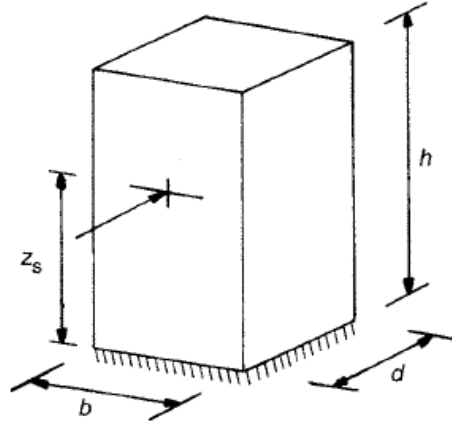
$$C_s C_d = \frac{1 + 2 * k_p * I_v(z_s) * \sqrt{B^2 * R^2}}{1 + 7 * I_v(z_s)} \quad (2.19)$$

Burada; “ z_s ” yapısal faktörü belirlemek için referans yüksekliktir.

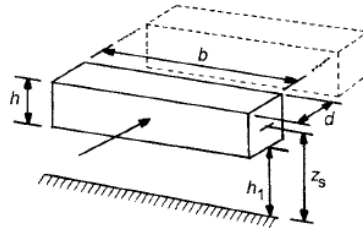
“ k_p ” yapının tepki değişimini gösteren bölümdeki en yüksek değerinin standart sapmasına oranı olarak tanımlanan tepe katsayısıdır.

“ I_v ”, türbülans şiddeti, “ B^2 ” yapı yüzeyindeki basıncın tam korelasyonunun eksikliğine izin veren geri plan katsayısı ve “ R^2 ” türbülansın titreşim moduyla rezonansına izin veren rezonans tepki katsayısıdır.

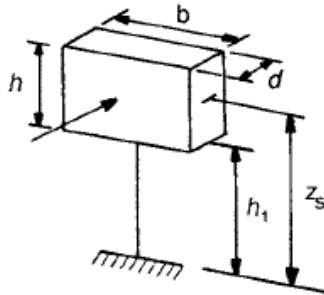
Tasarım işlemi kapsamında olan genel yapı şekilleri sınıflandırması, kullanılan yapı boyutları ve referans yükseklikleri Şekil 2.4, 2.5 ve 2.6’da gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Binalar tipi düşey yapılar



Şekil 2.5 Paralel salınım yapan elemanlar



Şekil 2.6 Direkli işaret levhaları tipi noktasal yapılar

Boyut katsayısı “ c_s ” ile bina yüzeyi üzerindeki tepe rüzgâr basıncının eşzamanlı meydana gelmemesine bağlı olarak rüzgâr etkilerindeki azalma durumları hesaba dahil edilir ve bu katsayı, Denklem 2.20 ile elde edilmektedir.

$$c_s = \frac{1 + 7 * I_v(z_s) * \sqrt{B^2}}{1 + 7 * I_v(z_s)} \quad (2.20)$$

Dinamik katsayı “ c_d ”, yapıyla rezonansa giren rüzgâr hızı türbülansın neden olduğu titreşimlerin arttırıcı tesirini hesaba dahil edilir. “ c_d ”, Denklem 2.21 ile elde edilmektedir.

$$c_d = \frac{1 + 2 * k_p * I_v(z_s) * \sqrt{B^2 * R^2}}{1 + 7 * I_v(z_s) * \sqrt{B^2}} \quad (2.21)$$

Burada; “ k_p ”, tepkisinin dalgalı bölümünün en büyük değerinin standart sapmasına oranı olarak Denklem 2.22’de verilmiştir.

$$k_p = \sqrt{2 \ln(v * T)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \ln(v * T)}} \quad (2.22)$$

“ T ” ortalama rüzgâr hızı için ortalama süredir. “ v ” üst geçiş frekansıdır.

“ B^2 ”, yapı yüzeyi üzerindeki rüzgâr basıncının tam korelasyon eksikliği dikkate almak için kullanılan geri plan tepki katsayısı olarak Denklem 2.23’de ifade edilmiştir.

$$B^2 = \frac{1}{1 + 0,9 * \left(\frac{b + h}{L(z_s)} \right)^{0,63}} \quad (2.23)$$

“ b ” yapının genişliği, “ h ” yapının yüksekliğidir. “ $L(z_s)$ ” referans yükseklikteki türbülans uzunluk ölçeğidir.

“ R^2 ”, yapının titreşim modunu dikkate alan rezonanstaki türbülanslı hesaba katan rezonans tepki katsayısı olarak Denklem 2.24’de verilmiştir.

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2\delta} S_L(z_s, n_{1,x}) R_h(\eta_h) R_b(\eta_b) \quad (2.24)$$

“ δ ” sönümlemenin toplam logaritmik azalımıdır. “ S_L ”, boyutsuz spektral güç yoğunluk fonksiyonudur. R_h ve R_b aerodinamik kabul fonksiyonlarıdır.

2.2.10 Binalar İçin Basınç Katsayıları

2.2.10.1 Dış Basınç

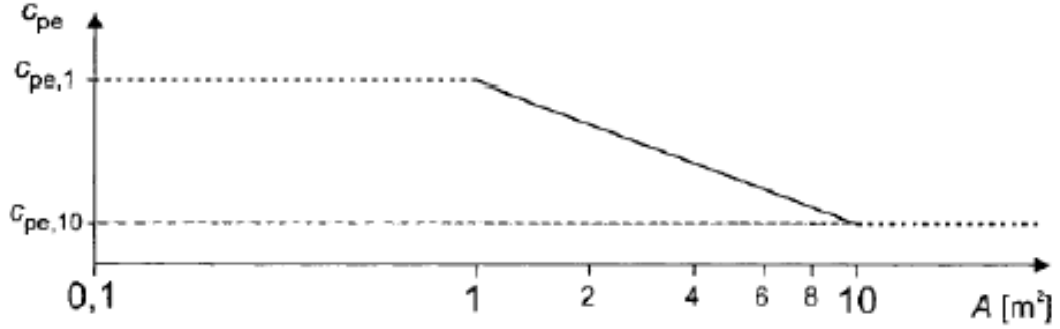
Dış basınç katsayıları, yapının dış yüzeylerine etki eden rüzgâr tesirini verir. Dış basınç katsayıları; genel katsayılar ve kısmi katsayılar olarak ikiye ayrılır. Kısmi katsayılar, rüzgâr yükü etkisindeki alanın 1 m^2 veya daha az olduğu durumlara ait küçük elemanlar ve sabitleme elemanının tasarımında esas alınan basınç katsayısıdır. Genel katsayılar, rüzgâr yükü etkisindeki alanın 10 m^2 ’den daha fazla olan durumlara ait basınç katsayısıdır.

Net basınç katsayıları bir yapının, yapısal bileşenin veya elemanın veya bileşenin alansal etki eden bileşke rüzgâr tesirini verir.

Binalar ve bina bölümleri için dış basınç katsayıları “ c_{pe} ”, hesaplama yapılacak kesitteki rüzgâr etkisini oluşturan etkilenmiş yapı yüzey alanı A ’nın boyutlarına bağlıdır. Dış basınç katsayıları, standartta uygun bina şekilleri için, alan değeri 1 m^2 olan etkilenmiş alan A için “ $c_{pe,1}$ ”, alan değeri 10 m^2 olan etkilenmiş alan A için ise “ $c_{pe,10}$ ” katsayısı verilmiştir.

“ $c_{pe,1}$ ” değerleri cephe ve çatı kaplama elemanları gibi yüzeyi 1 m^2 veya daha az olan küçük elemanlar ve sabitleme elemanlarının hesaplarında alınmaktadır. “ $c_{pe,10}$ ” değerleri bina rüzgâr yükü hesabında kullanılmaktadır.

Dış basınç katsayıları “ $c_{pe,1}$ ” ve “ $c_{pe,10}$ ”, 1 m²’nin üzerindeki rüzgâr yükü ile etkili alanların, dış basınç katsayılarını hesaplamak için hazırlanmıştır. Alan yüzeyi en fazla 10 m²’ye kadar olan etkili alanlar için Şekil 2.7’de grafik olarak verilmiştir.

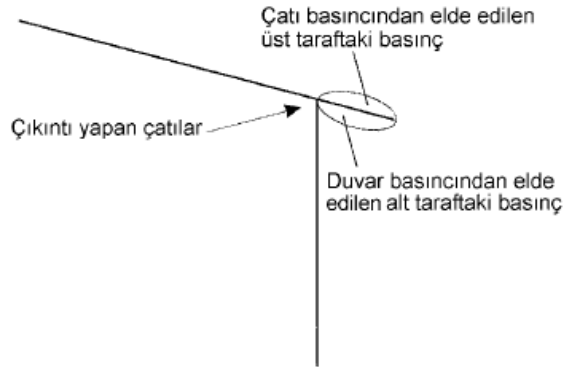


Şekil 2.7 Değeri 1 m² ile 10 m² arasında yüklenmiş alanı bulunan binalarda dış basınç katsayısı, c_{pe} ’nin belirlenmesi için tavsiye edilen işlem (TS EN 1991 1-4)

Şekil 2.7’de verilen grafiğin denklem hali Denklem 2.25’de ifade edilmiştir.

$$c_{pe} = c_{pe,1} - (c_{pe,1} - c_{pe,10}) \log_{10} A \quad (2.25)$$

Çatıların çıkıntı olan kısımları için çatı konsolunun alt kenar bölümündeki basınç doğrudan çıkıntı yapan çatıya bağlanan düşey duvarların dikkate alınan bölgesindeki basıncına eşittir. Çatı konsolunun üst kısmındaki basınç ise çatının tamamı dikkate alınarak tanımlanan basıncı eşittir (Şekil 2.8).

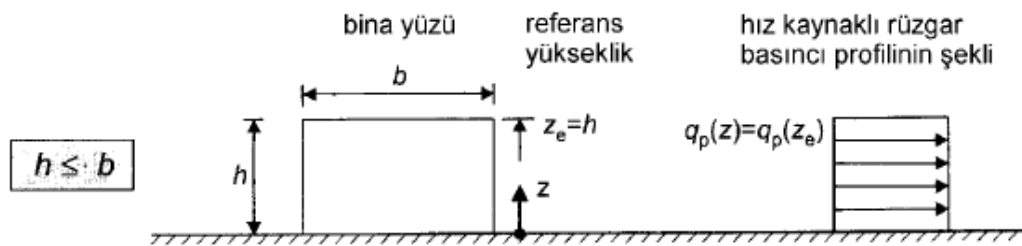


Şekil 2.8 Çıkıntı yapan çatılar için ilgili basınçların gösterimi (TS EN 1991 1-4, 2007)

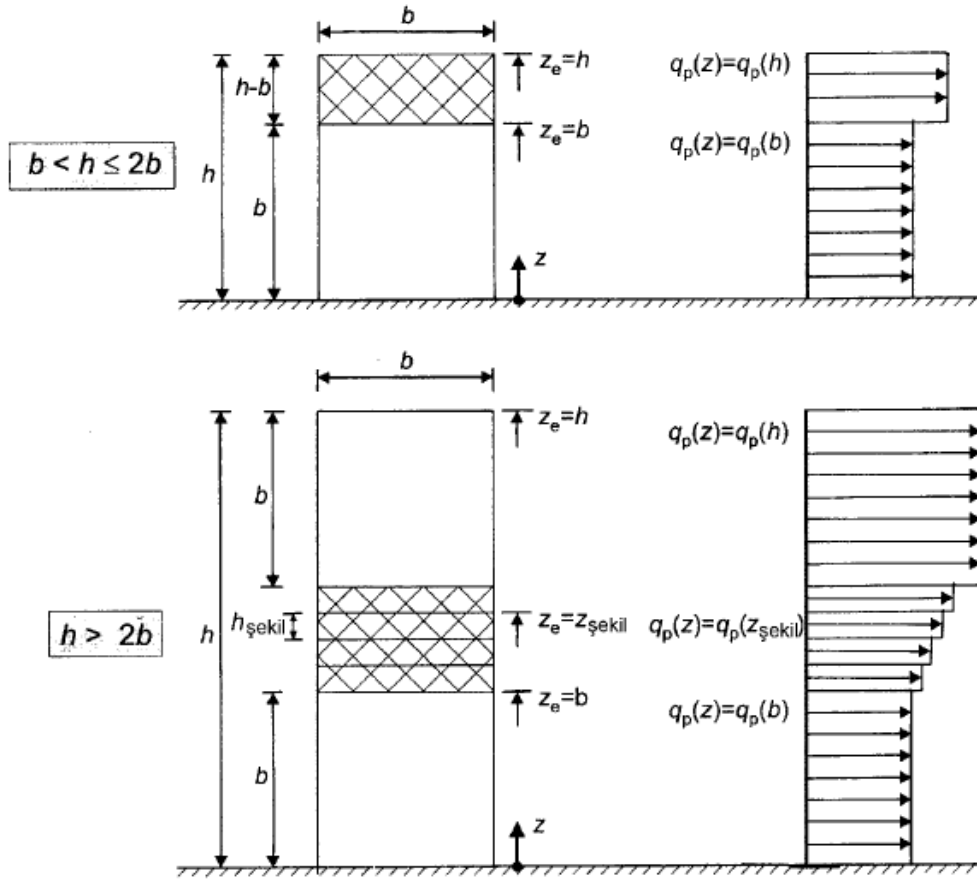
Dikdörtgen kat planına sahip yapılar için dış basınç katsayıları aşağıda verilen durumlara göre hesaplanmalıdır.

Dikdörtgen kat planına sahip yapıların rüzgâr akıntısının, Şekil 2.11 ve Şekil 2.12’de gösterilen bina yüzeyine ilk çarptığı yüzeydeki “D” bölgesi için z_e referans yükseklikleri, h/b görünüm oranına bağlıdır ve her zaman duvar bölümlerinin en büyük yüksekliklerine eşittir. Bu yükseklikler aşağıdaki üç durum için Şekil 2.9’da verilmiştir:

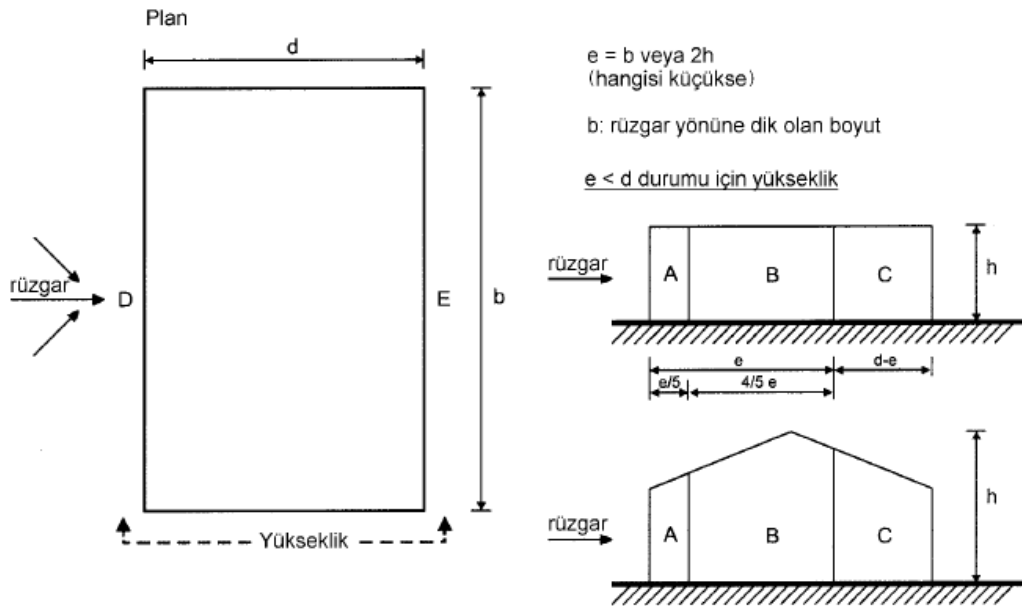
- “h” yüksekliği “b”den daha az olan bir bina tek parça olarak değerlendirilmektedir.
- “h” yüksekliği “b”den büyük ancak $2b$ ’den daha az olan bir bina, yer seviyesinden “b” yüksekliğine kadar olan alt bölümü bir parça ve geri kalan üst bölümü diğer parça olan iki parçalı bina olarak değerlendirilmektedir.
- “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 2.9 ve 2.10 ’da gösterildiği gibi “ h_{strip} ” yüksekliğinde yatay şeritlere bölünebilen orta bölümü içeren çok parçalı bina olarak ifade edilmektedir.



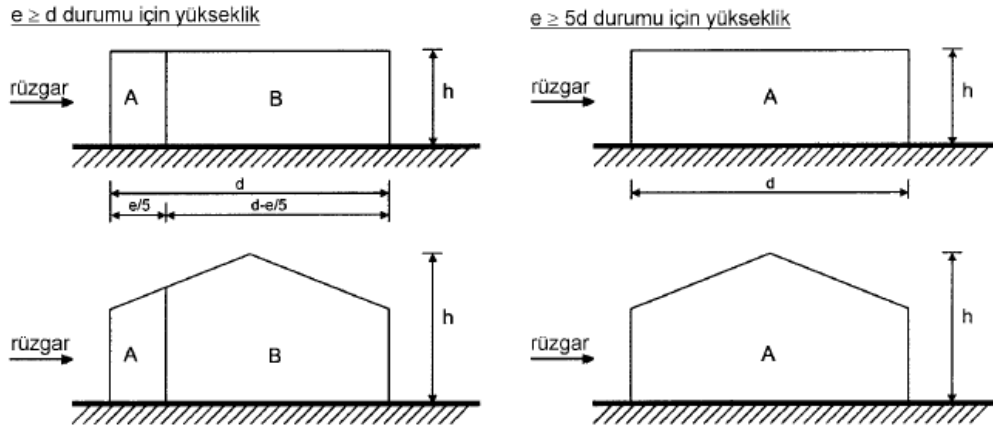
Şekil 2.9 $h \leq b$ durumuna bağlı z_e referans yüksekliği ve buna karşılık gelen hız kaynaklı rüzgâr basıncı profili, (TS EN 1991 1-4, 2007)



Şekil 2.10 $h = b$ ve $h \geq b$ durumlarına bağlı z_e referans yüksekliği ve buna karşılık gelen hız kaynaklı rüzgâr basıncı profili, (TS EN 1991 1-4, 2007)



Şekil 2.11 Düşey duvarlar için açıklamalar – 1, (TS EN 1991 1-4, 2007)



Şekil 2.12 Düşey duvarlar için açıklamalar - 2, (TS EN 1991 1-4, 2007)

“ $c_{pe,10}$ ” ve “ $c_{pe,1}$ ” değerleri için h/d oranına bağlı olarak önerilen değerler Tablo 2.2’de verilmiştir. h/d oranının ara değerleri için doğrusal interpolasyon uygulanabilir. Çift eğimli ve tek eğimli gibi yatay olmayan çatısı bulunan binaların duvarları için Tablo 2.2’teki değerler de uygulanmaktadır.

Tablo 2.2 Dikdörtgen planlı binaların düşey duvarları için tavsiye edilen dış basınç katsayısı değerleri

Bölge	A		B		C		D		E	
h/d	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5,0	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		0,8	1,0	0,7	
1,0	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		0,8	1,0	0,7	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		0,8	1,0	0,7	

Yapı üzerine etki eden rüzgâr kuvvetlerinin, rüzgâr akıntısının yapıya yaklaştığı yöndeki yüzüne “D” bölgesi ve rüzgârın uzaklaştığı yöndeki yüzlerine “E” bölgesi “ c_{pe} ” basınç katsayıları aynı anda uygulanarak belirlendiği durumlarda yapının rüzgâr akıntısı yönündeki ve rüzgâr akıntısının uzaklaştığı yöndeki yüzleri arasındaki rüzgâr basınçları korelasyonun eksikliği dikkate alınmaktadır. Basınç korelasyon eksikliği için TS EN 1991 1-4 standardı belirli durumlar için bir katsayı ile çarpılmasını önermektedir. Yüksekliğin genişliğe oranı “5”ten büyük olan binalar için bileşke kuvvet “1” ile çarpılır. Yüksekliğin genişliğe oranı “1”den küçük olan binalar için bileşke kuvvet 0,85 ile çarpılır. Yüksekliğin genişliğe oranı “1” ile “5” değeri arasında ise interpolasyon yapılmaktadır.

2.2.10.2 İç Basınç

İç basınç katsayıları, yapının iç mekanlarına etki eden rüzgâr tesirini vermektedir. Dış basınçlar ile yapıya eşzamanlı etkiyecek şekilde hesaplanmalıdır. Yapıda oluşması muhtemel boşluklarda ki rüzgâr akıntısının olduğu her bir kombinasyonu için en kötü hali oluşturan iç ve dış basınç kombinasyonları hesaplanmalıdır.

İç basınç katsayısı “ C_{pi} ”, rüzgâr akıntısının olduğu bina cephesindeki açıklıkların genişliklerine ve dağılımına bağlıdır. Binanın bir cephesindeki (cephe ve çatı) toplam boşluk alanının, o cephenin toplam yüzey alanının % 30’undan fazla olması durumu için yapıya tesir eden rüzgâr etkileri bu bölümde belirtilen kurallara göre hesaplanamamaktadır.

Bir binadaki boşluklar; açık pencereler, havalandırma bölümleri, merdiven boşlukları, bacalar vb. ile beraber kapılar, pencereler, tesisat civarındaki ve binanın dış alanı etrafındaki hava sızıntılarının olduğu geçirgen alan gibi küçük boşlukları kapsamaktadır. Geçirgen alanın değeri yüzey alanının % 0,01’i ile % 0,1’i arasındadır.

Tasarım yapılırken betonarme hesaplarda kapalı kabul edildikleri halde kuvvetli rüzgârlar sırasında kapı ve pencere gibi dış açıklıkların açık olması durumunun, yapının davranışı üzerinde etkili olabileceğinden, kapı ve pencerelerin açık olması durumunda hesaplara katılmalıdır.

Binanın dış yüzey alanındaki boşluklar nedeniyle tüm dış rüzgâr tesirlerini taşıyan iç duvarlar için kazai tasarım durumunda incelenmesi gereklidir.

Ele alınan bir binanın bir cephesindeki açıklıkların toplam alanının geri kalan yüzlerdeki toplam açıklık ve sızıntı alanlarının en az iki katı olduğu durumlarda o yüz, baskın yüz olarak dikkate alınmalıdır. Bu durum, aynı zamanda binadaki iç hacimlere de uygulanmaktadır.

Rüzgâr akıntısının çarptığı alandaki boşlukların toplam alanı, geriye kalan alanlardaki boşlukların toplamının iki katı olduğu durumlarda iç basınç katsayısı Denklem 2.26 yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$c_{pi} = 0,75 * c_{pe} \quad (2.26)$$

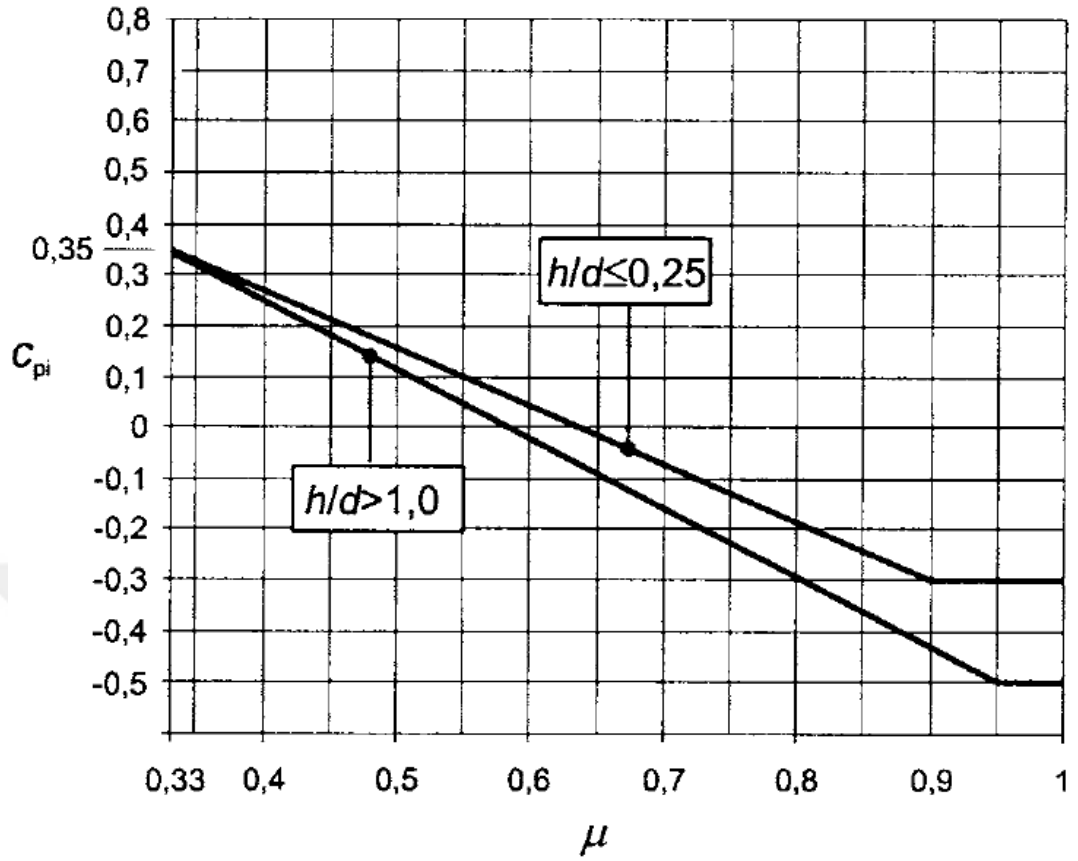
Rüzgâr akıntısının çarptığı alandaki boşlukların toplam alanı, geriye kalan yüzlerdeki boşlukların toplamının en az üç katı olduğu durumlarda iç basınç katsayısı Denklem 2.27 yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$c_{pi} = 0,90 * c_{pe} \quad (2.27)$$

Burada; “ c_{pe} ” baskın yüzde bulunan açıklıklardaki dış basınç katsayısı değeridir. Bu açıklıkların farklı “ c_{pe} ” katsayısına sahip bölgelerde bulunduğu hallerde yüzey alanlarına göre belirlenen ortalama bir değer alınmaktadır.

Rüzgâr akıntısının bina üzerinde olduğu alandaki açıklık alanları toplamının, geri kalan yüzlerdeki açıklık alanları toplamının iki ile üç katı olduğu hallerde “ c_{pi} ”yi elde etmek için doğrusal interpolasyon yöntemi kullanılmalıdır.

Rüzgâr akıntısının doğrudan çarpmadığı binalar için iç basınç katsayısı “ c_{pi} ” Şekil 2.13 ile elde edilmelidir. Bu şekil ile elde edilen iç basınç katsayısı, bina yüksekliğinin rüzgâr doğrultusundaki bina genişliğine oranı “ h/d ” ile Denklem 2.27 kullanılarak belirlenmesi gereken her bir rüzgâr doğrultusu θ için dikkate alınan açıklık oranı Denklem 2.28’de verilen “ μ ”nın bir fonksiyonu olarak Şekil 2.13’gösterilmiştir.



Şekil 2.13 Düzgün dağılım gösteren açıklıklar için iç basınç katsayıları (TS EN 1991 1-4, 2007)

Bina yüksekliğinin rüzgâr doğrultusundaki bina genişliğine oranı 0,25 ile bina yüksekliğinin rüzgâr doğrultusundaki bina genişliğine oranı 1,0 değerleri arasında doğrusal interpolasyon yöntemi kullanılabilir.

$$\mu = \frac{\sum c_{pe} \text{ değerinin negatif veya } -0,0 \text{ olduğu açıklık alanı}}{\sum \text{ açıklık alanı}} \quad (2.28)$$

Denklem 2.28, özel bir durum için “ μ ” değeri doğrulanmamış kabul edildiğinde veya bu değerin tahmin edilememesi halinde “ c_{pi} ” değeri +0,2 ve -0,3 değerlerinden güvenli tarafta bırakabilecek değer alınmalıdır.

Duvarlardaki boşluklar nedeniyle iç basınç oluşumuna katkıda bulunan yapı yüzeylerinde, iç basınçlar için referans yükseklik “ z_i ” dış basınçlar için referans yükseklik “ z_e ”ye eşit olmalıdır. Birçok açıklık varsa “ z_i ”yi belirlemek için “ z_e ”nin en büyük değeri alınmalıdır.

2.3 Spektral Temsil Yöntemi (SRM) İle Dinamik Rüzgâr Etkilerinin Belirlenmesi

Spektral Temsil Yöntemi (SRM), güç spektral yoğunluk fonksiyonu ile güç spektral yoğunluk matrisi kullanılarak çok değişkenli bir işlemi verimli bir şekilde simüle eden istatistiksel bir yöntemdir.

SRM yöntemi ile olasılık teorilerini kullanarak dinamik rüzgâr dalgalanma hızı bileşenleri elde edilmektedir. Bu dalgalanma hız bileşeni ile ortalama rüzgâr hızı bileşeni toplanarak rüzgâr hızının zamanla değişiminin ifade eden simüle edilmiş sentetik rüzgâr zaman kayıtları oluşturulmaktadır.

SRM yöntemi ile rüzgâr zaman serilerinin hesaplanma adımları aşağıdaki gibidir;

- Rüzgâr akıntısı, ortalama rüzgâr hızı ile rüzgâr dalgalanma hızı bileşenlerinin toplamı olarak kabul edilir.
- Ortalama rüzgâr hızı bileşeni, yüksekliğe bağlı olarak hesaplanır.
- Rüzgâr dalgalanma hızı bileşeni aşağıdaki adımlar ile hesaplanır.
 - Hedef rüzgâr güç spektrumları kullanılarak tek yönlü güç yoğunluk fonksiyonları elde edilir.
 - Tek yönlü güç spektral yoğunluk fonksiyonları ile koherens fonksiyonu çarpılarak çapraz güç yoğunluk fonksiyonları elde edilir.
 - Elde edilen güç spektral yoğunluk fonksiyonları, güç spektral yoğunluk matrisinde yerlerine yazılır.
 - Choelsky metodu ile güç spektral yoğunluk matrisi $H_{ij}(\omega)$ ve $H_{ij}^T(\omega)$ olmak üzere iki matrise ayrıştırılır.
 - $H_{ij}(\omega)$ matrisinin karmaşık açısı $\theta_{ij}(\omega_i)$, $H_{ij}(\omega)$ fonksiyonunun imajiner kısmı olan $\text{Im}H_{ij}(\omega)$ ifadesinin, $H_{ij}(\omega)$ fonksiyonunun gerçek kısmı olan $\text{Re}H_{ij}(\omega)$ ifadesine bölümünün, tanjant fonksiyonun tersi alınması ile elde edilir.

- $[0 \ 2\pi]$ arasında rastgele faz açıları ϕ_{il} , üretilir.
- Shinozuka ve Jan (1972)'de elde edilen dalgalanma bileşeni denkleminde, yukarıda elde edilen ifadeler yerlerine yazılarak zaman tanım alanında rüzgâr dalgalanma hızı bileşenleri üretilir.
- Ortalama rüzgâr hızı bileşeni ile rüzgâr dalgalanma hızı bileşeni toplanarak zaman tanım alanında rüzgâr hızı-zaman serileri elde edilir.
- Rüzgâr hızı-zaman serileri yarı statik (Quasi-Static) yöntem ile rüzgâr basıncı-zaman serilerine dönüştürülür.

Bu işlemlerde kullanılan büyüklükler ve parametreler aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır.

2.3.1 Rüzgâr Akıntısı

SRM yöntemi ile elde edilen rüzgâr akıntısı rastgele akış alanında olduğu varsayılan ortalama rüzgâr hızı bileşeni “ $\bar{V}_{(z)}$ ” ve ortalaması sıfır olan dalgalanma bileşeninden (türbülans) “ $v_{(z,t)}$ ”, oluşur. Ortalama rüzgâr hızı bileşeni yükseklikle, dalgalanma bileşeni ise yükseklik ve zamana bağlıdır. Denklem 2.29’da rüzgâr akıntısı bileşenleri gösterilmektedir.

$$V_{(z,t)} = \bar{V}_{(z)} + v_{(z,t)} \quad (2.29)$$

2.3.2 Ortalama Rüzgâr Hızı

Ortalama rüzgâr bileşeni “ $\bar{V}_{(z)}$ ” rüzgâr hızı profili olarak tanımlanır. Bu fonksiyon ortalama rüzgâr hızını, çeşitli yüksekliklerde tanımlar. Genellikle rüzgâr hızı profili fonksiyonlarında Tennekes (1973) tarafından bulunan logaritmik fonksiyon kullanılır. Bu logaritmik fonksiyon Denklem 2.30’da gösterilmektedir.

$$\bar{V}_{(z)} = \frac{1}{k} u_* \ln(z/z_0) \quad (2.30)$$

“k”, Von Karman sabitidir, tavsiye edilen değer 0,4’tür (Simiu ve Scanlan, 1986). “z₀”, m cinsinden yer pürüzlülüğü uzunluğudur ve “u_{*}” rüzgârın kayma hızıdır. Rüzgâr kayma hızı Denklem 2.31’de gösterilmiştir.

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} \quad (2.31)$$

Burada; “τ₀” kayma gerilmesi ve “ρ” havanın özgül ağırlığıdır. Özgül ağırlık için önerilen değer 1,25 kg/m³ olarak alınabilir.

Rüzgâr hızı hesaplarında kayma hızı, deneyler ile kayma gerilmesi hesaplandıktan sonra Denklem 2.31 kullanılarak belirlenebilir.

Rüzgâr deneylerinin zaman alıcı ve maliyetli olması nedeniyle rüzgâr kayma hızı Denklem 2.31 yerine alternatif olarak teorik ifadelerle de hesaplanabilir. Denklem 2.30’da rüzgâr kayma hızı yalnız bırakılıp “z” yerine referans yükseklik “z_{ref}” ve “ $\bar{V}_{(z)}$ ” ortalama rüzgâr hızı yerine “z_{ref}” referans yükseklikteki ortalama rüzgâr hızı “ $\bar{V}_{(zref)}$ ” yazılırsa Denklem 2.32 elde edilir. Referans yükseklikte kabul edilen rüzgâr hızı bölgelere göre değişkenlik gösterebilmektedir.

$$u_* = \frac{k \bar{V}_{(zref)}}{\ln(z_{ref}/z_0)} \quad (2.32)$$

Burada; “z_{ref}” referans yüksekliktir ve genellikle 10m kabul edilir. “ $\bar{V}_{(zref)}$ ” belirli standartlarda daha önceden yapılmış deneyler ve ölçümler sonucunda seçilen bölgeye, şehre, ülkeye göre referans yükseklikte 10 dakika süre için esen rüzgâr hızı olarak tanımlanır.

Herhangi bir yükseklikteki ortalama rüzgâr hızı “ $\bar{V}_{(z)}$ ” Denklem 2.33 ile hesaplanır.

$$\bar{V}_{(z)} = V_{(z_{ref})} * \frac{\ln(z/z_0)}{\ln(10/z_0)} \quad (2.33)$$

Denklem 2.33’de ki verilen teorik ifadeye alternatif olarak TS EN 1991-1-4 standardına göre aşağıda Denklem 2.34 ile verilmiştir.

$$\bar{V}_{(z)} = c_{r(z)} * c_{0(z)} * V_{(z_{ref})} \quad (2.34)$$

Burada; “ $c_r(z)$ ” engebelilik katsayısı, “ $c_0(z)$ ” ise orografi katsayısı olarak tanımlanır. Orografi katsayısı için tavsiye edilen değer 1,0’dır. Daha önce 2. Bölümde anlatılan Denklemler 2.34’de yerine konulduğunda, Denklem 2.35 ile yükseklik boyunca değişen ortalama rüzgâr hızı elde edilir.

$$\bar{V}_{(z)} = 0,19 * \left(\frac{z_0}{z_{0,u}} \right)^{0,07} * \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) * V_{(z_{ref})} \quad (2.35)$$

“ $z_{0,u}$ ”, Bölüm 2.2.3’de açıklanan yer pürüzlülüğü konusunda arazi kategorisinde II. Bölgeye ait yer pürüzlülüğü uzunluğudur.

2.3.3 Rüzgâr Dalgalanma Hızı

Rüzgâr dalgalanma hızı, bir rüzgâr akıntısının zamana bağlı olarak değişen bileşenidir. Tek yönlü güç spektral yoğunluk fonksiyonu “ $S(z, n)$ ” ile gösterilir. Güç spektral yoğunluk fonksiyonun belirlenmesi için hedef rüzgâr güç spektrumu kullanılır. Hedef rüzgâr güç spektrumu için literatürde Davenport, Simiu, ve Harris gibi çeşitli araştırmacıların önerdiği spektrumlar bulunmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında incelenen; Davenport spektrumu ve bileşenleri (Davenport, 1961b) Denklem 2.36 ve 2.37’de, Simiu spektrumu ve bileşenleri (Simiu, 1974) Denklem 2.38 ve 2.39’da, Harris spektrumu ve bileşenleri (Harris, 1968) Denklem 2.40 ve 2.41’de ve TS EN 1991-1-4 (2007) standardında tanımlanan hedef spektrumu ve bileşenleri Denklem 2.42 ve 2.43’de gösterilmiştir.

Davenport (1961b) spektrumu aşağıdaki denklemde verilmiştir:

$$\frac{nS_u(z, n)}{u_*^2} = \frac{4,0x^2}{(1 + x^2)^{4/3}} \quad (2.36)$$

Burada “x”:

$$x = \frac{1200n}{V_{zref}} \quad (2.37)$$

“n”, frekans ve “ V_{zref} ” referans yükseklikteki ortalama rüzgâr hızıdır.

Simiu (1974) spektrumu aşağıdaki denklemde verilmiştir:

$$\frac{nS_u(z, n)}{u_*^2} = \frac{200f}{(1 + 50f)^{5/3}} \quad (2.38)$$

Burada “f”:

$$f_{(z)} = \frac{nz}{V_{(z)}} \quad (2.39)$$

“n”, frekans ve “ V_{zref} ” referans yükseklikteki ortalama rüzgâr hızıdır.

Harris (1968) spektrumu aşağıdaki denklemde verilmiştir:

$$\frac{nS_u(z, n)}{u_*^2} = \frac{4,0x^2}{(2 + x^2)^{5/6}} \quad (2.40)$$

Burada “x”:

$$x = \frac{1800n}{V_{zref}} \quad (2.41)$$

“n”, frekans ve “ V_{zref} ” referans yükseklikteki ortalama rüzgâr hızıdır.

TS EN 1991 1-4 (2007) spektrumu aşağıdaki denklemde verilmiştir:

$$\frac{nS_u(z, n)}{u_*^2} = \frac{6,8f}{(1 + 10,2f)^{5/3}} \quad (2.42)$$

Burada “f”:

$$f_{(z)} = \frac{nz}{V_{(z)}} \quad (2.43)$$

“n”, frekans ve “ V_{zref} ” referans yükseklikteki ortalama rüzgâr hızıdır.

Tek boyutlu çok değişkenli olasılıksal işlem, güç spektral yoğunluk matrisi ile kurulur. Güç spektral yoğunluk matrisi, birden çok güç spektral yoğunluk denklemleri ile oluşturulur. (Denklem 2.44).

$$S(\omega) = \begin{bmatrix} S_{11}(n) & S_{12}(n) & S_{1j}(n) \\ S_{21}(n) & S_{22}(n) & S_{2j}(n) \\ S_{i1}(n) & S_{i2}(n) & S_{ij}(n) \end{bmatrix} \quad (2.44)$$

Güç spektral yoğunluk matrisinin diyagonalindeki fonksiyonların belirlenmesi için TS EN 1991 1-4 için verilen spektrum kullanılmıştır. Denklem 2.42’de ifade edilen “ $S(z,n)$ ” ifadesi yalnız bırakılırsa aşağıdaki Denklem 2.45 elde edilir:

$$S_{ii}(z, n) = S_{jj}(z, n) = \frac{6,8f * u_*^2}{n * (1 + 10,2f)^{5/3}} \quad (2.45)$$

Güç spektral yoğunluk matrisinde diyagonalin dışındaki ifadeler için Denklem 2.46 tanımlanmış olup Gauss rastgele işlemi niteler.

$$S_{ij}(z, n) = \sqrt{S_{ii} * S_{jj} * coh_{ij}} \quad (2.46)$$

“ S_{ij} ” güç spektral yoğunluk fonksiyonunu ve “ coh_{ij} ” rüzgâr akıntısının geldiği doğrultuya dik yöndeki yüksek bina yüzey alanı üzerinde seçilmiş i ile j noktaları arasında koherens fonksiyonunu tanımlar. Koherens fonksiyonu Denklem 2.47’de gösterilmektedir;

$$coh_{ij} = \exp \left(- \frac{2n * \sqrt{Cx^2 * (x_j - x_i)^2 + Cz^2 * (z_j - z_i)^2}}{\bar{V}_j + \bar{V}_i} \right) \quad (2.47)$$

“ Cx ”, “ Cz ” ifadeleri boyutsuz terimler olup üstel azalma parametreleridir. “ Cx ” ve “ Cz ” için Solari (1987), 11,5 değerini tavsiye etmiştir. “ n ” frekanstır.

“ i ” ve “ j ” istenilen noktaların numaralandırma değeridir. “ x ”, dalgalanma hızı bulunacak noktaların -x- doğrultusundaki koordinatları ve “ z ”, dalgalanma hızı bulunacak noktaların -z- doğrultusundaki koordinatlarıdır.

Denklem 2.47, Denklem 2.46’da yerine konulduğunda Denklem 2.48 elde edilir.

$$S_{ij}(z, n) = \sqrt{S_{ii} * S_{jj}} * \exp \left(- \frac{2n * \sqrt{Cx^2 * (x_j - x_i)^2 + Cz^2 * (z_j - z_i)^2}}{\bar{V}_j + \bar{V}_i} \right) \quad (2.48)$$

Denklem 2.45 ve 2.48, Denklem 2.44’de yerine konulduğunda elde edilen güç spektral yoğunluk matrisinin doğrusal denklem sistemlerine göre çözüm yapabilmek için Choelsky ayrıştırma metodu ile Denklem 2.49’da gösterilen alt üçgen matris ve bu matrisin devriğinin çarpımı olacak şekilde birbirinden ayrıştırılır.

$$S(\omega) = H(\omega)H(\omega)^T \quad (2.49)$$

Elde edilen “ $H(\omega)$ ” Hermite polinomlarından oluşan alt üçgen matrisidir. “ $H(\omega)^T$ ” Hermite polinomlarından oluşan alt üçgen matrisinin devriğidir.

“ $H(\omega)$ ” matrisinin diyagonal elemanları gerçekte ve negatif olmayan sayılardır. Diyagonal üzerindeki elemanlar Denklem 2.50’de gösterilen özelliktedir.

$$H_{jj}(\omega) = H_{jj}(-\omega), \quad j = 1, 2, 3, \dots, m \quad (2.50)$$

Diyagonal üzerinde olmayan elemanlar Denklem 2.51’de gösterilmektedir.

$$H_{ij}(\omega) = |H_{ij}(\omega)| e^{i\theta_{ij}(\omega)} \quad (2.51)$$

Burada $\theta_{ij}(\omega)$, $H_{ij}(\omega)$ ’nin karmaşık açısıdır, Denklem 2.52 ve 2.53’de gösterilmektedir.

$$\theta_{ij}(\omega_i) = \tan^{-1} \left(\frac{\text{Im}H_{ij}(\omega_i)}{\text{Re}H_{ij}(\omega_i)} \right) \quad (2.52)$$

“ $\text{Re}H_{ij}(\omega_i)$ ”, “ $H_{ij}(\omega_i)$ ” karmaşık fonksiyonun gerçekte kısmıdır, “ $\text{Im}H_{ij}(\omega_i)$ ”, “ $H_{ij}(\omega_i)$ ” karmaşık fonksiyonun imajiner kısmıdır.

$$\theta_{ji}(\omega) = -\theta_{ij}(-\omega) \quad (2.53)$$

Shinozuka ve Jan (1972)’e göre zaman serisi olarak dalgalanma rüzgâr hızı Denklem 2.54 ile elde edilmiştir.

$$v_i(z, t) = \sum_{i=1}^j \sum_{l=1}^N |H_{ji}(\omega)| \sqrt{2\Delta\omega} \cos[\omega_i - \theta_{ji}(\omega_i) + \phi_{il}] \quad (2.54)$$

Burada; “ ω ” açısal hız, “ $\Delta\omega$ ” açısal hız aralığı, “ $H_{ij}(\omega)$ ” güç spektral yoğunluk fonksiyonu, “ θ_{ij} ” karmaşık açı ve “ ϕ_{il} ” $[0 \ 2\pi]$ arasında rastgele seçilmiş açı değeridir.

Denklemleri 2.54 ile ifade edilen dalgalanma rüzgâr hızı ve Denklemi 2.34 ile ifade edilen ortalama rüzgâr hızı toplanarak hesap yapılan noktalardaki zaman ve yüksekliğe bağlı olarak dinamik rüzgâr hızları serisi elde edilir.

2.3.4 Rüzgâr Hızı – Rüzgâr Basıncı İlişkisi

Seçilen noktalar için Denklem 2.54 ile elde edilen zaman serisine bağlı rüzgâr hızları, yarı statik (Quasi-Static) yöntem (Davenport, 1961a) Denklem 2.55’te ifade edilen denklem ile rüzgâr basıncına çevrilir.

$$q_{p(z)} = [1 + 2I_{(z)}] * \frac{1}{2} * \rho * \bar{V}_z^2 \quad (2.55)$$

Burada; “ q_p ”, yüksekliğe bağlı değişen birim alana gelen rüzgâr kuvveti, rüzgâr basıncıdır. “ ρ ” havanın özgül ağırlığı $1,25 \text{ kg/m}^3$, “ $\bar{V}_z$ ” yüksekliğe bağlı değişen ortalama rüzgâr hızıdır. “ $I_{(z)}$ ” türbülans şiddetidir ve Denklem 2.56’da gösterilmiştir.

$$I_{(z)} = \frac{\sigma_{(z)}}{\bar{V}_{(z)}} \quad (2.56)$$

Türbülans şiddeti, rüzgâr hızının standart sapmasının ortalama hıza bölünmesiyle bulunan bir büyüklüktür. Rüzgâr hızının standart sapması rüzgâr dalgalanma bileşeni kullanılarak hesaplanır.

Denklem 2.55 statik rüzgâr basınç denklemidir. Denklem maksimum dalgalanma bileşenine göre hesaplanmaktadır. Maksimum statik rüzgâr basıncı hesaplarında dalgalanma bileşeni Denklem 2.57’de gösterildiği gibidir.

$$v_{maks} = 3,5 * \sigma \quad (2.57)$$

En büyük rüzgâr hızına karşılık rüzgâr basıncının bulunması için Denklem 2.56’da Denklem 2.57 yerine konulursa en büyük rüzgâr basıncı Denklem 2.58a veya Denklem 2.58b ile elde edilir.

$$q_{p,max(z)} = \left[1 + 2 * \left(\frac{3,5 * \sigma}{\bar{V}_{(z)}} \right) \right] * \frac{1}{2} * \rho * \bar{V}_{(z)}^2 \quad (2.58a)$$

$$q_{p,max(z)} = [1 + 7I_{(z)}] * \frac{1}{2} * \rho * \bar{V}_{(z)}^2 \quad (2.58b)$$

Dinamik rüzgâr basıncını belirlemek için Denklem 2.55, zaman ve yüksekliğe bağlı olarak Denklem 2.59a veya Denklem 2.59b ile ifade edilir (Solari, 1993).

$$q_{p(z,t)} = \left[1 + 2 * \left(\frac{v_{(z,t)}}{\bar{V}_{(z)}} \right) \right] * \frac{1}{2} * \rho * \bar{V}_{(z)}^2 \quad (2.59a)$$

$$q_{p(z,t)} = \frac{1}{2} * \rho * \bar{V}_{(z)}^2 + \rho * v_{(z,t)} * \bar{V}_{(z)} \quad (2.59b)$$

Denklem 2.59a ve 2.59b ile istenilen noktalardaki dinamik rüzgâr basınçları hesaplanır.

Rüzgâr basınç etki durumları Bölüm 2.2.10'da anlatılan TS EN 1991 1-4'te verilen D ve E bölgesi için dış basınç katsayıları “ $c_{p,e}$ ”, değerleri dinamik rüzgâr verilerine uygulanır (Denklem 2.60).

$$w_e(z, t) = q_p(z, t) * c_{pe} \quad (2.60)$$

Elde edilen zaman serisine bağlı dinamik rüzgâr basınçlarını, zaman serisine bağlı olarak tekil kuvvete indirgemek için etkili alan ve yapısal katsayı olan $C_s C_d$ ile çarpılır (Denklem 2.61).

$$F_W(z, t) = w_e(z, t) * A_e * C_s C_d \quad (2.61)$$

BÖLÜM ÜÇ

YÜKSEK YAPILARDA DEPREM ETKİLERİ

3.1 Giriş

Yer kabuğunu oluşturan levhaların birbirine rölatif hareketlerinden dolayı dünyada her yıl yüzlerce deprem meydana gelmektedir. Levha hareketlerinin olduğu bu bölgeler Pasifik deprem kuşağı, Atlantik kuşağı, Alp-Himalaya Deprem Kuşağı gibi tektonik plakaların birleşim yerleridir. Türkiye, Alp-Himalaya Deprem kuşağında olmasından dolayı ülkenin belirli bölgelerinde geçmişten günümüze kadar çeşitli büyüklükte depremler meydana gelmiştir.

Ülkemizde her yıl meydana gelen depremlerden dolayı mevcut yapılarımızda çok sayıda ve farklı derecede hasarlar oluşmaktadır. Deprem etkilerine bağlı hasarları azaltmak için çeşitli araştırmalar yapılmakta ve yapıların deprem etkilerine karşı tasarım kurallarını tanımlayan yönetmelikler oluşturulmaktadır. Mevcut binaların deprem güvenliğini belirlemek ve yeni yapılacak olan yapıların tasarımında deprem etkilerini daha detaylı ve gerçeğe belirlemek için statik ve dinamik deprem analizleri yapılmaktadır.

Yüksek yapıların deprem analizleri Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)'e göre yapılmaktadır. Yönetmeliğe göre yüksek yapıların tasarımı üç tasarım aşamasından oluşmaktadır. İlk aşama, yönetmelik gereği deprem yer hareketi etkileri altında ön tasarım ve boyutlandırma amacı ile yapılan Dayanıma Göre Tasarım olarak ifade edilir. İkinci aşama, ilk aşamada boyutlandırılan yüksek binanın istenen performans seviyeleri için Dayanıma Göre Tasarım ve Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım ile az şiddetli deprem etkileri altında bina kullanılabilirliği değerlendirilmektedir. Üçüncü aşama ise yüksek binanın istenen performans seviyeleri için şiddetli ve az sıklıkta oluşan deprem etkileri altında bina kullanılabilirliği değerlendirilmektedir.

Bu bölümde, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)'e göre deprem yer hareketleri belirlenmesi, elastik tasarım spektrumu elde edilmesi, zaman tanım alanı yöntemi için kullanılması gereken ölçeklenmiş gerçek yer ivme deprem kayıtlarının elde edilmesi ile ilgili teorik bilgiler verilerek hesap adımları açıklanmıştır. Ayrıca, yönetmelikte var olan yüksek bina deprem performans düzeyleri ve yüksek bina tasarım aşamaları konuları hakkında açıklamalar ve hesap adımları verilmiştir.

3.2 Türkiye Bina Deprem Yönetmeli (2018)'e Göre Deprem Yer Hareketi

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)'de yapıların deprem etkileri altında tasarımı yapılabilmesi için çeşitli şiddetlerde deprem yer hareket düzeyleri için tasarım ivme spektrumları tanımlanmıştır. Aynı zamanda düşey ve yatay spektrumların daha kolay hesaplanabilmesi için <https://tdth.afad.gov.tr/> adresinden koordinatlara bağlı olarak deprem yer ivme spektrumları çıkarılmaktadır.

3.2.1 Deprem Yer Hareket Düzeyleri

DD-1 deprem düzeyi tasarlanacak yüksek binaların servis ömürleri boyunca karşılaşılabilecekleri en şiddetli deprem yer hareketini tanımlamaktadır ve parametreleri olarak bu çok seyrek depremin 50 yılda aşılma olasılığı %2, buna karşı gelen dönüş periyodu ise 2475 yıldır.

DD-2 deprem düzeyi tasarlanacak yüksek binaların servis ömürleri boyunca meydana gelebilmesi olasılığı çok fazla olmayan, seyrek ancak şiddetli deprem yer hareketlerini tanımlamaktadır ve parametreleri olarak depremin 50 yılda aşılma olasılığı %10, buna karşı gelen dönüş periyodu ise 475 yıldır.

DD-3 deprem düzeyi tasarlanacak yüksek binaların servis ömürleri boyunca meydana gelebilmesi olasılığı en fazla olan, göreceli olarak sık ancak şiddeti çok yüksek olmayan deprem yer hareketlerini tanımlamaktadır ve parametreleri olarak depremin 50 yılda aşılma olasılığı %50, buna karşı gelen dönüş periyodu ise 72 yıldır.

DD-4 deprem düzeyi tasarlanacak yüksek binaların servis ömürleri boyunca meydana gelebilmesi olasılığı en fazla olan, görel olarak sık ancak şiddeti düşük olan deprem yer hareketlerini tanımlamaktadır ve parametreleri olarak depremin 50 yılda aşılma olasılığı %68, buna karşı gelen dönüş periyodu ise 43 yıldır.

DD-1, DD-2, DD3 ve DD-4 deprem yer hareket düzeylerine ait aşılma olasılıkları ve ortalama dönüş periyodları Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1 Deprem yer hareket düzeyleri

Deprem Düzeyi	50 Yılda Aşılma Olasılığı	Ortalama Dönüş Periyodu
DD-1	%2	2475 Yıl
DD-2	%10	475 Yıl
DD-3	%50	72 Yıl
DD-4	%68	43 Yıl

3.2.2 Standart Deprem Yer Hareket Spektrumları

Deprem yer hareketi spektrumları, belirli bir deprem yer hareketi düzeyi esas alınarak %5 sönüm oranı için harita spektral ivme katsayılarına ve yerel zemin etki katsayılarına bağlı olarak veya sahaya özel deprem teknik analizleri ile özel olarak ifade edilirler.

3.2.2.1 Harita Spektral ve Tasarım İvme Katsayıları

“S_s”, kısa periyot harita spektral ivme katsayısı ve “S₁”, 1,0 saniye periyot için birbirine dik iki yatay doğrultudaki deprem yüklerinin geometrik ortalamasına karşı gelen harita spektral ivme katsayılarıdır.

Belirli bir deprem yer hareketi düzeyi için referans zemin koşulu [(V_s)₃₀ = 760 m/s] esas alınarak %5 sönüm oranı için harita spektral ivmelerinin yerçekimi ivmesine bölünmesi ile boyutsuz katsayılar olarak ifade edilmiştir.

Tanımlanan harita spektral ivme katsayıları “ S_s ” ve “ S_1 ”, yerel etki zemin katsayıları “ F_s ”, kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı ve “ F_1 ” 1,0 saniye periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı ile çarpılarak tasarım spektral ivme katsayıları “ S_{DS} ” ve “ S_{D1} ” e dönüştürülür (Şekil 3.1-3.2).

$$S_{DS} = S_s F_s \quad (3.1)$$

$$S_{D1} = S_1 F_1 \quad (3.2)$$

Deprem spektrumu elde edilecek bölgenin yerel zemin sınıf kalitesi düştükçe yerel zemin etki katsayı değerleri artmaktadır. İyi kalite zeminde düşük tasarım spektral ivme değerleri, kötü kalite zeminde yüksek tasarım spektral ivme değerleri oluşmaktadır. Bu durum deprem etkilerini sırasıyla azaltmakta veya arttırmaktadır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeli (2018)’de tanımlanan Yerel Zemin Etki Katsayıları Tablo 3.2 ve 3.3’te gösterilmiştir. Altı farklı zemin sınıfından oluşan katsayılar için sadece ZF sınıfına düşük kalitedeki zemin durumu ve çok çeşitlilik göstermesi nedeniyle katsayı verilmemiştir. ZF sınıfı zeminlerde sahaya özel zemin analizleri yapılarak teknik bilgiye sahip kişiler tarafından Yerel Etki Zemin Katsayıları belirlenmektedir.

Tablo 3.2 Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayıları, F_s

Yerel Zemin Sınıfı	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,00$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,50$
ZA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
ZB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
ZC	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
ZD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
ZE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
ZF	Sahaya özel zemin analizi yapılacaktır.					

Tablo 3.3 1,0 saniye periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayıları, F_1

Yerel Zemin Sınıfı	$S_1 \leq 0,10$	$S_1 = 0,20$	$S_1 = 0,30$	$S_1 = 0,40$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,60$
ZA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
ZB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
ZC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
ZD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
ZE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
ZF	Sahaya özel zemin analizi yapılacaktır.					

3.2.2.2 Yatay Elastik Tasarım Spektrumu

Ele alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım ivme spektrumunun ordinatları olan yatay elastik tasarım spektral ivmeleri “ $S_{ae}(T)$ ”, doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi “ g ” cinsinden Denklem 3.3-3.4-3.5 ve 3.6’da tanımlanmıştır.

$$S_{ae}(T) = \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_A}\right) S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (3.3)$$

$$S_{ae}(T) = S_{DS} \quad (T_A \leq T \leq T_B) \quad (3.4)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \quad (T_B \leq T \leq T_L) \quad (3.5)$$

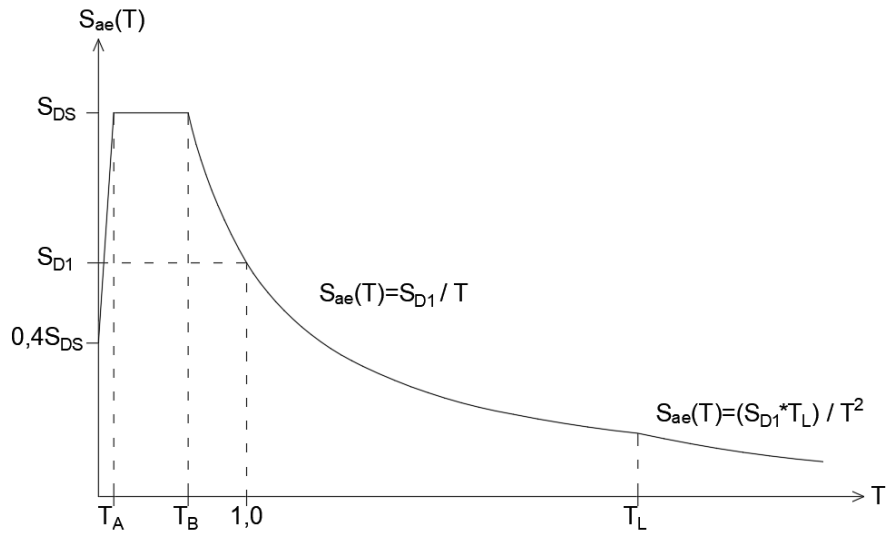
$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (T_L \leq T) \quad (3.6)$$

Burada; “ S_{DS} ” kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı ve “ S_{D1} ” 1,0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısıdır. “ T ” doğal titreşim periyodunu, “ T_A ” ve “ T_B ” Denklem 3.7 ve 3.8’de gösterilen yatay tasarım spektrumu köşe periyotlarını ifade etmektedir.

$$T_A = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.7)$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.8)$$

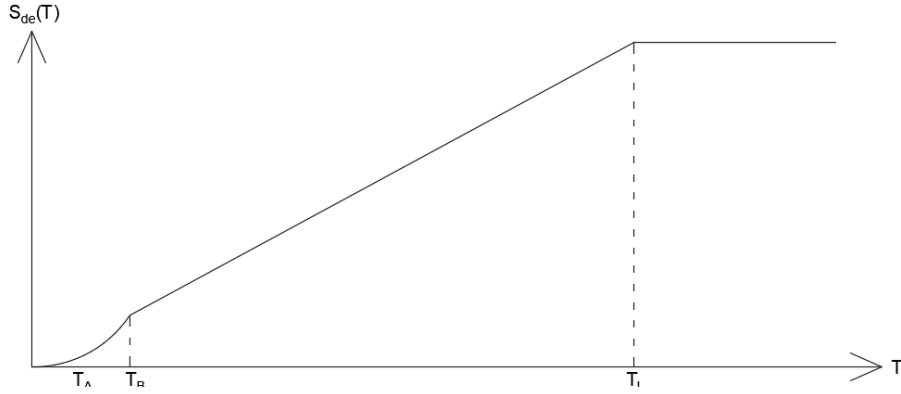
“ T_L ” ise sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu olarak tanımlanır ve 6 s alınır. Yukarıda tanımlanan ifadeler grafik olarak Şekil 3.1’de gösterilmektedir.



Şekil 3.1 Yatay elastik tasarım spektrumu

Ele alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım yerdeğiştirme spektrumunun ordinatları olan yatay elastik tasarım spektral yerdeğiştirmeleri “ $S_{de}(T)$ ”, doğal titreşim periyoduna bağlı olarak metre cinsinden Denklem 3.9 ve grafik olarak Şekil 3.2 ile ifade edilir.

$$S_{de}(T) = \frac{T^2}{4\pi^2} g S_{ae}(T) \quad (3.9)$$



Şekil 3.2 Yatay elastik tasarım yerdeğiştirme spektrumu

3.2.2.3 Düşey Elastik Tasarım Spektrumu

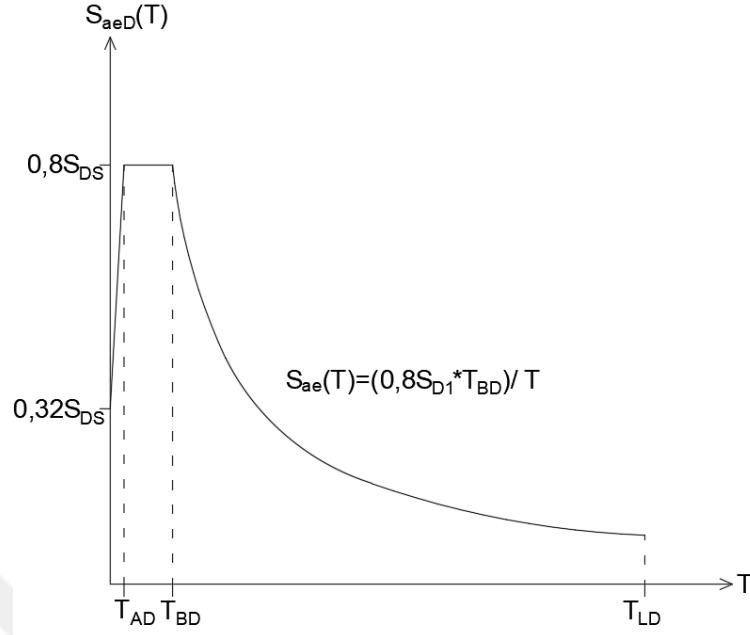
Ele alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için düşey elastik tasarım ivme spektrumunun ordinatları olan düşey elastik tasarım spektral ivmeleri “ $S_{aeD}(T)$ ” yatay deprem yer hareketi için ifade edilen kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısına ve doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi “ g ” cinsinden Denklem 3.10-3.11 ve 3.12 ile ifade edilmektedir.

$$S_{aeD}(T) = \left(0,32 + 0,48 \frac{T}{T_{AD}}\right) S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_{AD}) \quad (3.10)$$

$$S_{aeD}(T) = 0,8 S_{DS} \quad (T_{AD} \leq T \leq T_{BD}) \quad (3.11)$$

$$S_{aeD}(T) = 0,8 S_{DS} \frac{T_{BD}}{T} \quad (T_{BD} \leq T \leq T_{LD}) \quad (3.12)$$

Yukarıdaki denklemlerde yer alan “ T_{AD} ” ve “ T_{BD} ” düşey spektrum köşe periyotlarını, “ T_{LD} ” spektrum son periyodu olarak tanımlanmaktadır. Yukarıda tanımlanan ifadeler grafik olarak Şekil 3.3’de gösterilmektedir.



Şekil 3.3 Düşey elastik tasarım spektrumu

3.2.3 Zaman Tanım Alanında Analiz Yöntemi

Dinamik analiz yöntemi, yapıya etki eden kaydedilmiş, yapay veya benzetilmiş zamana bağlı deprem yükleri altında, yapı taşıyıcı sistem elemanlarının doğrusal veya doğrusal olmayan davranışı için sistem hareket denklemini temsil eden diferansiyel denklem takımının zaman artımları ile adım adım integre edilmesidir.

Zaman tanım analiz yöntemi, diğer yöntemlere göre daha detaylı bir yöntem olmasına rağmen belirli kabullerin fazlalığı, analizlerde kullanılacak deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesindeki zorluklar, deprem kayıtlarındaki zaman adım aralarının çok küçük olması ve kayıt sürelerinin uzun olması, analiz süresinin çok uzun olması ve analiz sonucunda ortaya çıkan çok sayıda verinin değerlendirilmesi ve yorumlanması gibi zorluklardan dolayı bu analiz yöntemi çok fazla tercih edilmemektedir.

3.2.3.1 Deprem Kayıtlarının Belirlenmesi

Zaman tanım alanı analizlerinde deprem yükü hesaplamalarında alınacak yer ivme kayıtları; tasarım ivme spektrumu ile uyumlu sentetik kayıtlar, simüle edilmiş kayıtlar

ve deprem esnasında kaydedilen ivme kayıtları ile elde edilebilir. Ancak gerçek yer ivme kayıtları, diğer kayıt türlerinden daha yakın deprem yükü sonuçları elde edilmesinden dolayı gerçek yer ivme kayıtlarının kullanılması daha çok önem kazanmıştır (Özdemir ve Fahjan, 2007).

Bina taşıyıcı sistemlerinin zaman tanım alanı yöntemi ile deprem hesabında kullanılacak yer ivme deprem kayıtlarının seçimi, tasarıma esas hedef deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu deprem büyüklükleri, fay uzaklıkları ve binanın bulunduğu yerdeki yerel zemin sınıfları dikkate alınarak yapılacaktır. Tasarımı yapılacak binanın bulunduğu bölgede tasarıma esas hedef deprem yer hareket düzeyi ile uyumlu geçmiş deprem kayıtlarının mevcut olması durumunda öncelikle bu kayıtlar alınmalıdır.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)'ne göre zaman tanım alanında yapılacak bir, iki veya üç boyutlu doğrusal veya doğrusal olmayan analizler için seçilecek deprem kaydı takımları olarak en az on bir adet olacaktır. Deprem ivme kayıtları iki adet yatay birbirine dik bileşenden oluşmaktadır ve aynı depremden seçilecek kayıt veya kayıt takımı sayısı üçü geçmeyecektir.

Yeterli sayı veya nitelikte deprem kaydı seçiminin yapılamadığı durumlarda, zaman tanım alanında benzeştirilmiş yer hareketi kayıtları kullanılarak binanın bulunduğu bölgedeki sismik kaynak, dalga yayılım ve yerel zemin özellikleri göz önüne alınacaktır. Benzeştirme için kullanılacak model parametrelerinin, tasarımı yapılacak binanın olduğu bölgede daha önceden meydana gelmiş depremlerde kaydedilmiş gerçek deprem kayıtları ile uyumlu olduğu grafikler ile gösterilecektir.

3.2.3.2 Deprem Kayıtlarının Ölçeklendirilmesi ve Spektral Dönüşümü

Özel durumlardaki zemin davranış analizleri dışında, zaman tanım alanı analizlerinde kullanılacak deprem yer hareketleri, seçilen deprem kayıtlarından basit ölçeklendirme yöntemi ile elde edilmektedir. Bir veya iki boyutlu analiz için seçilen tüm deprem kayıtlarına ait spektrumların ortalamasının " $0,2T_p$ " ve " $1,5T_p$ " periyotları arasındaki genliklerinin, yatay elastik tasarım spektrumundaki aynı periyot

aralığındaki genliklerden daha küçük olmaması kuralına göre, deprem yer hareketlerinin genlikleri ölçeklendirilecektir.

Üç boyutlu analiz için seçilen her bir deprem kaydı takımının iki yatay bileşenine ait spektrumların kareleri toplamının karekökü alınarak bileşke yatay spektrum elde edilecektir. Seçilen tüm kayıtlara ait bileşke spektrumların ortalamasının “ $0,2T_p$ ” ve “ $1,5T_p$ ” periyotları arasındaki genliklerinin, yatay elastik tasarım spektrumundaki aynı periyot aralığındaki genliklerine oranının 1,3’ten daha küçük olmaması kuralına göre deprem yer hareketi genlikleri ölçeklendirilecektir. Deprem ivme kayıtlarının her iki yatay bileşeni ölçeklendirilmesi işlemi aynı ölçek katsayıları ile yapılacaktır.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)’e göre mevcut deprem verileri ile bina özelliklerine uygun olması ve sahaya özel deprem yer hareketi spektrumu belirlenmesi durumunda, binanın belirli sayıda titreşim periyodu ile ilişkilendirilen koşullandırılmış ortalama spektrumlardan yararlanılarak, deprem kayıtlarının analiz sonuçlarında daha az standart sapma sağlayacak şekilde seçilerek ölçeklendirilmesi yoluna gidilebilir.

Doğrusal olmayan zemin modeline veya yapı-zemin etkileşimi için yapılacak zemin davranış analizlerinde veya zaman tanım alanında yapılacak diğer hesaplarda kullanılmak üzere deprem yer hareketleri, seçilen deprem kayıtlarının yatay elastik tasarım ivme spektrumuna göre spektral uyum sağlanacak şekilde dönüştürülmesi ile de elde edilebilir. Dönüştürülen deprem yer hareketlerinin spektrumlarının ortalamaları, tüm periyotlar için tasarım spektrumu ordinatlarından daha küçük olmayacaktır.

3.3 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)’e Göre Yüksek Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı

Yüksek bina kriteri yüksekliği “ H_N ” minimum 70 metre yüksekliğe eşit veya daha fazla yükseklikte olan binaya denir ve $BYS=1$ olarak sınıflandırılır. Bina yüksekliğinin deprem tasarım sınıfı ile ilişkilendirildiğinde;

- $H_N > 70$ m olan binalar için DTS=1, 1a, 2, ve 2a
- $H_N > 91$ m olan binalar için DTS=3 ve 3a
- $H_N > 105$ m olan binalar için DTS=4 ve 4

sınıflarında olmalılardır.

Yüksek bina taşıyıcı sistemleri süneklilik düzeyi yüksek sistem olarak tasarlanmalıdır ve betonarme perdelerin kalınlığı 30 cm'den az olmamalıdır.

3.3.1 Yüksek Bina Performans Düzeyleri

Yönetmeliğe göre yüksek binalarda çeşitli düzeylerdeki deprem etkisi altında taşıyıcı sistemde meydana gelmesi beklenen hasarlara bağlı olarak tanımlanmış sınır durumlarıdır.

3.3.1.1 Kesintisiz Kullanım (KK) Performans Düzeyi

Deprem etkisi altında yüksek bina elemanlarında yapısal ve yapısal olmayan hasarın meydana gelmediği veya hasarın ihmal edilebilir boyutta kaldığı duruma karşılık gelmektedir. Bu düzeyde yüksek bina kesintisiz olarak kullanıma devam eder.

3.3.1.2 Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi

Deprem etkisi altında yüksek bina elemanlarında sınırlı düzeyde yapısal ve yapısal olmayan hasarın meydana geldiği veya doğrusal olmayan davranışın sınırlı boyutta kaldığı hasar düzeyine karşılık gelmektedir. Bu düzeyde ortaya çıkan sorun ve hasarlar birkaç gün içerisinde giderilebilecek düzeyde kalır.

3.3.1.3 Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi

Deprem etkisi altında yüksek bina elemanlarında, can güvenliğini sağlamak üzere yapısal, yapısal olmayan, çok ağır olmayan ve çoğunlukla onarılması mümkün olan

hasar düzeyine karşı gelmektedir. Bu düzeyde birkaç hafta yüksek bina kullanılamama olasılığı mevcuttur.

3.3.1.4 Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi

Deprem etkisi altında yüksek bina elemanların belirli bir bölümü veya tümünün göçmesini önlemek amacıyla yapısal ve yapısal olmayan ileri düzeyde ağır hasarın meydana geldiği göçme öncesi duruma karşı gelmektedir. Bu düzeyde yüksek bina kullanımı uzun süreli aksama olasılığı veya kullanımına son verilmesi olasılığı mevcuttur.

3.3.2 Yüksek Bina Performans Hedefleri ve Tasarım Aşamaları

Bu bölümde yüksek bina tasarımı hazırlanırken, yapılacak aşamalar ve tasarım esnasında yüksek binanın sağlaması gerekli olan performans hedefleri açıklanmıştır.

3.3.2.1 Tasarım Aşaması I: DD-2 Deprem Yer Hareketi Altında Ön Tasarım Boyutlandırma

DD-2 deprem yer hareketinin etkisi altında Kontrollü Hasar (KH) performans hedefini sağlamak üzere yüksek binanın Dayanıma Göre Tasarım (DGT) yöntemi ile ön tasarımı ve boyutlandırılması aşamasıdır. Belirtilen aşamada tasarım hesapları Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) 'e göre yapılır.

I. aşama deprem hesabından önce yapım aşamalarını içeren alan düşey yük ve rüzgâr akıntısı hesabı ile betonarme binalarda sünme hesabı yapılmalıdır. Deprem hesabında ise yüksek bina taşıyıcı sistemi için Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı “R” ve Dayanım Fazlalığı Katsayısı “D” kullanılarak Mod Birleştirme Yöntemi veya Mod Toplama Yöntemi ile üç boyutlu doğrusal yöntem ile hesap yapılmalıdır. Denklem 3.13 ve 3.14’de taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R)’na ve doğal titreşim periyoduna (T) bağlı olarak, elastik deprem yüklerinin azaltılmasında kullanılacak deprem yükü azaltma katsayısı aşağıda tanımlanmıştır:

$$R_a(T) = \frac{R}{I} \quad T > T_B \quad (3.13)$$

$$R_a(T) = D + \left(\frac{R}{I} - D\right) \frac{T}{T_B} \quad T \leq T_B \quad (3.14)$$

Burada “ T_B ”, spektrum köşe periyodunu göstermektedir.

Eşdeğer Taban Kesme Kuvveti’ne göre azaltılmış iç kuvvetlerin büyütülmesi hesabı, yüksek binaların I. Aşama deprem yükü hesabında Denklem 3.15 ile ifade edilen Minimum Taban Kesme Kuvveti esas alınarak yapılır.

$$V_{t,min} = 0,04\alpha_H m_t S_{DS} g \quad (3.15)$$

Burada “ m_t ” podyum ve kulenin yer aldığı üst bölümün toplam kütesini, “ S_{DS} ” DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için tanımlanan kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısını, “ g ” yerçekimi ivmesini, “ α_H ” Denklem 3.16’da gösterilen bina yüksekliği “ H_N ”ye bağlı olarak hesaplanan katsayıdır.

$$\begin{aligned} \alpha_H &= 1,0 & H_N &\leq 105 \text{ m} \\ \alpha_H &= 2,05 - 0,01H_N & 105 \text{ m} < H_N \leq 155 \text{ m} \\ \alpha_H &= 0,5 & 155 \text{ m} < H_N \end{aligned} \quad (3.16)$$

3.3.2.2 Tasarım Aşaması II: DD-4 veya DD-3 Deprem Yer Hareketi Altında Kesintisiz Kullanım veya Sınırlı Hasar Performans Hedefi İçin Değerlendirme İyileştirme

Yüksek bina II. tasarım aşamasında, yukarıda anlatılan yüksek bina I. Tasarım aşaması ile ön boyutlandırma yapılan yüksek binanın, yönetmeliğe göre normal performans ve ileri performans analizleri tanımlanmıştır.

Yüksek binaların normal performans hedefi olarak servis depremi olan DD-4 deprem yer hareketi etkisi altında Kesintisiz Kullanım (KK) performans hedefini sağlamak üzere yüksek binanın Dayanıma Göre Tasarım (DGT) yöntemi ile performans değerlendirilmesi yapılmalıdır.

Yüksek binaların ileri performans hedefi olarak çok sıklıkta oluşan az şiddetli deprem olan DD-3 deprem yer hareketi etkisi altında Sınırlı Hasar (SH) performans hedefini sağlamak üzere yüksek binanın doğrusal olmayan yöntem olan Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım (ŞDGT) yöntemi ile performans değerlendirilmesi yapılacaktır.

II. Aşama Taşıyıcı Sistem Modellemesi'nde yük birleşimlerinin tanımlanması yönetmelik 5. Bölüme göre yapılır. Ayrıca ek dışmerkezlilik etkisi bu tasarım modelinde göz önüne alınmamaktadır.

Yüksek binaların II. aşama deprem hesabında performans hedefi için taşıyıcı sistem iç kuvvetlerin hesabında “ $R / I = 1$ ” ve “ $D = 1$ ” alınır ve I. Aşamadaki Denklem 3.15 ile ifade edilen minimum taban kesme kuvveti hesabı yapılmamaktadır.

Yüksek binalarda II. Aşama servis depremi DD-4 için deprem hesabının normal performans hedefi, TBDY (2018)'e göre doğrusal modal hesap yöntemleri ile yapılması durumunda, bu hesapta elde edilen iç kuvvetler değerlendirmeye esas iç kuvvetler olarak gözönüne alınmalıdır.

Yüksek binalarda II. Aşama deprem hesabının ileri performans hedefi için zaman tanım alanı analizlerinde doğrusal olmayan hesap olarak yapılması durumunda, sünek davranışa sahip taşıyıcı sistem elemanlarında değerlendirmeye esas şekildeğiştirme talepleri, en az $2 \times 11 = 22$ hesap için yapılan zaman tanım analizi sonuçlarının en büyük mutlak değerlerinin ortalaması olarak hesaplanmalıdır. Kritik iç kuvvetler için değerlendirmeye esas talepler, en az $2 \times 11 = 22$ hesap için yapılan zaman tanım analizi sonuçlarının en büyük mutlak değerleri ortalamasının 1,4 katı olarak hesaplanmalıdır. Kritik olmayan iç kuvvetler olarak tanımlanan iç kuvvetler için değerlendirmeye esas

talepler, en az $2 \times 11 = 22$ hesap için yapılan zaman tanım analizi sonuçlarının en büyük mutlak değerlerinin ortalaması olarak hesaplanmalıdır.

Normal performans hedefi için servis depremi DD-4 deprem yer hareketi altında Kesintisiz Kullanım performans hedefinin veya ileri performans hedefi için çok sıklıkta oluşan DD-3 deprem yer hareketi altında Sınırlı Hasar performans hedefinin sağlanması için iç kuvvetlerin veya şekildeğiştirme değerlerinin, iç kuvvet kapasitelerini veya şekildeğiştirme sınırlarının aşılmaması gerekir. Her iki durumda da iç kuvvet kapasitelerinin hesabında karakteristik malzeme dayanımları yerine Tablo 3.4’de verilen ortalama malzeme dayanımı değerleri kullanılır.

Tablo 3.4 Beklenen (Ortalama) Malzeme Dayanımları

Beton	$f_{ce}=1,3f_{ck}$
Donatı çeliği	$f_{ye}=1,2f_{yk}$
Yapı çeliği (235)	$f_{ye}=1,3f_{yk}$
Yapı çeliği (275)	$f_{ye}=1,5f_{yk}$
Yapı çeliği (355)	$f_{ye}=1,1f_{yk}$
Yapı çeliği (460)	$f_{ye}=1,1f_{yk}$

II. Aşama normal performans hedefi için doğrusal modal hesap yöntemleri ile hesaplanması durumunda, sünek davranışa sahip elemanlardaki iç kuvvetler için etki(talep)/kapasite oranı “ $E/K = 1,5$ ” değerini ve sünek davranışa sahip olmayan elemanlarda iç kuvvetler için etki(talep)/kapasite oranı “ $E/K = 0,7$ ” değerini aşmamalıdır.

Yüksek bina tasarımı II. aşamada çok sıklıkta oluşan DD-3 deprem kullanılan ileri performans hedefi için zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap olarak yapılması durumunda, sünek davranışa sahip betonarme elemanlarda şekildeğiştirme talepleri Tablo 3.5’de performans düzeyi için verilen beton, çelik ve dönme şekildeğiştirme sınır değerlerini aşmamalıdır.

Tablo 3.5 Beton ve donatı çeliği izin verilen toplam birim şekildeğiştirme değerleri

$\epsilon_{\text{beton}}^{(SH)}$	0,0025
$\epsilon_{\text{çelik}}^{(SH)}$	0,0075
$\theta_p^{(SH)}$	0

Sünek davranışa sahip olmayan taşıyıcı sistem elemanlarında hesaplanan iç kuvvet taleplerinin ilgili betonarme elemanlar için tanımlanan iç kuvvet kapasitelerinden daha küçük olduğu gösterilmelidir. İç kuvvet kapasitelerinin hesabında karakteristik malzeme dayanımları yerine Tablo 3.5’de verilen ortalama (beklenen) malzeme dayanımları esas alınmalıdır.

Performans analizleri sonucu gerekli görülürse ilk tasarıma geri dönülerek ön tasarım hesapları iyileştirilerek tüm hesaplar yeniden yapılır.

3.3.2.3 Tasarım Aşaması III: DD-1 Deprem Yer Hareketi Altında Göçmenin Önlenmesi veya Kontrollü Hasar Performans Hedefi İçin Değerlendirme – İyileştirme – Son Tasarım

Yüksek bina III. tasarım aşamasında, yüksek binanın şiddetli ve az sıklıkta meydana gelen deprem etkisi altında normal performans ve ileri performans analizleri yapılarak taşıyıcı sistemde oluşan hasarların belirli oranlarda sınırlandırılmak istenmesidir.

Yüksek binaların normal performans hedefi olarak az sıklıkta meydana gelen DD-1 deprem yer hareketi etkisi altında Göçmenin Önlenmesi (GÖ) performans hedefini sağlamak üzere yüksek binanın doğrusal olmayan Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım (ŞDGT) yöntemi ile performans değerlendirilmesi yapılmalıdır.

Yüksek binaların ileri performans hedefi olarak az sıklıkta meydana gelen DD-1 deprem yer hareketi etkisi altında Kontrollü Hasar (KH) performans hedefini sağlamak üzere yüksek binanın doğrusal olmayan Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım (ŞDGT) yöntemi ile performans değerlendirilmesi yapılmalıdır.

Yüksek bina III. aşama taşıyıcı sistem modellemesinde yük birleşimlerinin tanımlanması TBDY 2018 5. Bölüme göre yapılmalıdır ve ek dışmerkezlilik etkisi bu tasarım modelinde göz önüne alınmalıdır.

Bölüm 3.3.2.1’de anlatılan I. Aşama tasarım hesabında binanın herhangi bir i’inci katında tanımlanan A1 türü düzensizliğin bulunması ve burulma düzensizliği katsayısının “ $\eta_{bi} > 1,5$ ” olması durumunda, ek dışmerkezlilik etkisi, III. Aşama deprem hesabında dikkate alınarak her katta ek kat kütle eylemsizlik momenti hesaplanmalıdır.

Sünek davranışa sahip elemanlarda değerlendirmeye esas beton, çelik malzemelerinin şekildeğiştirme talepleri, yapılan hesapların en az $2 \times 11 = 22$ hesap olacak şekilde her birinden elde edilen sonuçların enbüyük mutlak değerlerinin ortalaması olarak hesaplanmalıdır. Kritik iç kuvvetler için değerlendirmeye esas talepler, yapılan hesapların en az $2 \times 11 = 22$ hesaptan elde edilen sonuçların enbüyük mutlak değerleri ortalamasına, standart sapma eklenmesi sonucu, ortalama değerin 1,5 katından fazla ve 1,2 katından az alınmamalıdır.

Kritik olmayan iç kuvvetler olarak tanımlanan kuvvetler için değerlendirmeye esas talepler, zaman tanım alanında en az $2 \times 11 = 22$ deprem kaydı için yapılan analizlerin her birinden elde edilen sonuçların en büyük mutlak değerlerinin ortalaması olarak hesaplanmalıdır.

Az sıklıkta çok şiddetli deprem düzeyi DD-1 deprem yer hareketinin etkisi altında normal performans hedefi olarak Göçmenin Önlenmesi (GÖ), ileri performans hedefi olarak ise Kontrollü Hasar (KH) performans hedefinin sağlanması için şekildeğiştirme sınırlarının ve iç kuvvet sınırlarının aşılmaması gereklidir.

Sünek davranışa sahip betonarme elemanlarda, en az $2 \times 11 = 22$ deprem kaydı için yapılan analizlerin her birinden elde edilen sonuçların en büyük mutlak değerlerinin ortalamasına göre hesaplanan şekildeğiştirme talepleri Kontrollü Hasar performans düzeyi için Denklem 3.17 ve Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için Denklem 3.18 ile hesaplanan sınır değerleri aşmamalıdır.

$$\begin{aligned}
\varepsilon_c^{(KH)} &= 0,75 \varepsilon_c^{(G\ddot{O})} \\
\varepsilon_s^{(KH)} &= 0,75 \varepsilon_s^{(G\ddot{O})} \\
\theta_p^{(KH)} &= 0,75 \theta_p^{(G\ddot{O})}
\end{aligned} \tag{3.17}$$

$$\begin{aligned}
\varepsilon_c^{(G\ddot{O})} &= 0,0035 + 0,04\sqrt{\omega_{we}} \leq 0,018 - (Dikdörtgen Kesit) \\
\varepsilon_c^{(G\ddot{O})} &= 0,0035 + 0,07\sqrt{\omega_{we}} \leq 0,018 - (Dairesel Kesit) \\
\varepsilon_s^{(G\ddot{O})} &= 0,4 \varepsilon_{su} \\
\theta_p^{(SH)} &= 0
\end{aligned} \tag{3.18}$$

Sünek davranışa sahip olmayan elemanlarda kritik ve kritik olmayan olarak hesaplanan iç kuvvet taleplerinin ilgili betonarme elemanlar için tanımlanan iç kuvvet kapasite değerlerinden daha küçük olduğu gösterilmelidir. Betonarme elemanlarının iç kuvvet kapasite hesabında karakteristik malzeme değerleri yerine Tablo 3.4’de verilen ortalama malzeme değerleri alınmalıdır.

Yüksek bina taşıyıcı sistemi için DD-1 deprem yer hareketine göre yapılan doğrusal olmayan analiz sonucunda her bir katta dikkate alınan $2 \times 11 = 22$ deprem ivme kayıtlarından elde edilen ortalama görelî kat ötelemesi oranı 0,03’ü, tek bir deprem ivme kaydından elde edilen en büyük görelî kat ötelemesi oranı ise 0,045’i geçmemelidir.

Bu analiz değerlendirmeleri sonucu gerekli görülürse veya performans hedefleri sağlanmaz ise ilk aşamaya geri dönülerek boyutlar ve donatılar değiştirilerek performans seviyesi belirlenmesi için gerekli tüm hesaplar yeniden yapılır.

BÖLÜM DÖRT

STATİK VE DİNAMİK RÜZGÂR ETKİLERİNİN HESAPLANMASI

Bu bölümde, seçilen örnek bir bina için Bölüm 2’de eşdeğer statik rüzgâr yükü hesabı için verilen TS EN 1991 1-4 (2007) ve dinamik rüzgâr yükü için verilen Spektral Temsil Yöntemi’ne göre rüzgâr yükleri adım adım hesaplanmıştır. Yükseklikle değişen rüzgâr profili ve rüzgâr basınç profilleri grafik olarak gösterilmiş birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

Rüzgâr yükleri, TS EN 1991 1-4 ve SRM yöntemine göre kolon-kiriş birleşim noktaları için elde edilmiştir. Yöntemlerin hesap adımlarının daha iyi ele alınabilmesi ve denklemlerin daha anlaşılır olması için rüzgâr akıntısının meydana geldiği doğrultudaki dik yüksek bina yüzey alanındaki üç noktaya etkimesi durumu için yük hesapları yapılmıştır.

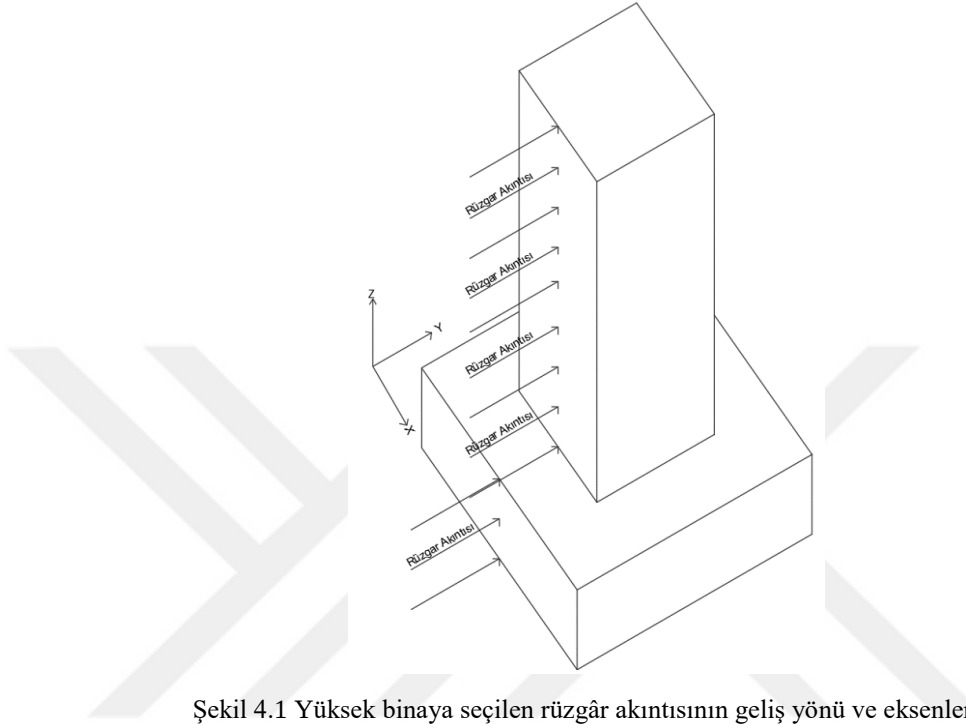
4.1 TS EN 1991 1-4 (2007) ve Spektral Temsil Yöntemi (SRM)’ye göre Hesaplanan Rüzgâr Yüklerinin Karşılaştırılması için İncelenen Yüksek Binanın Özellikleri

Seçilen yüksek bina, İzmir’de yapılması planlanan, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) ve TS500 (2000)’e uygun olarak konut + iş yeri olarak tasarlanmıştır. Bina toplam 52 katlı olup taşıyıcı sistemi süneklilik düzeyi yüksek betonarme perde-çerçeve sistem olarak seçilmiştir.

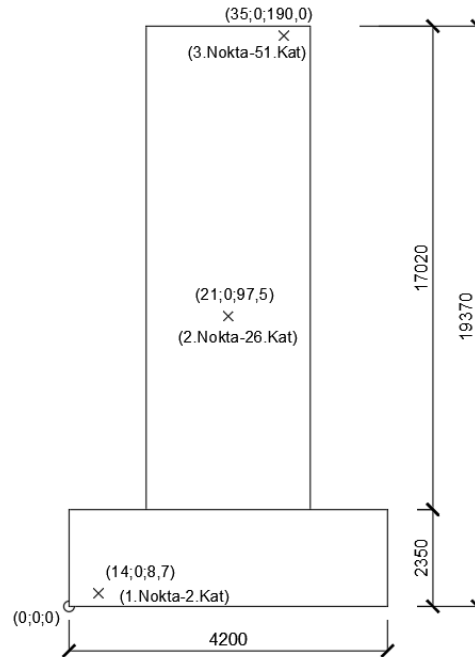
TS EN 1991 1-4 (2007) ve Spektral Temsil Yöntemi (SRM) ile yapılan hesapların karşılaştırılması için rüzgâr akıntısının geldiği doğrultuya dik olan yüksek bina ön yüzey alanı üzerinden alınan üç noktanın koordinatları aşağıda verilmiştir;

- 1. Nokta 2. Kat düzeyi, yatay doğrultuda 14m, düşey doğrultuda 8,7m
- 2. Nokta 26. Kat düzeyi, yatay doğrultuda 21m, düşey doğrultuda 97,5m
- 3. Nokta 51. Kat düzeyi, yatay doğrultuda 35m, düşey doğrultuda 193,7m

Yukarıdaki koordinatlar tanımlanırken bina tabanının sol alt köşesi orijin olarak kabul edilmiştir. Üç boyutlu model Şekil 4.1’de, iki boyutlu model görünüşü Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Yüksek binaya seçilen rüzgâr akıntısının geliş yönü ve eksenleri



Şekil 4.2 Yüksek bina üzerindeki seçilen noktaların gösterimi

TS EN 1991 1-4 ve SRM yöntemine göre hesaplanan rüzgâr hızları ve rüzgâr kuvvetleri ile ilgili karşılaştırmalar aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır.

4.2 TS EN 1991 1-4 (2007)'e Göre Eşdeğer Statik Rüzgâr Kuvvetlerinin Hesaplanması

Bu bölümde, incelenen bina üzerinde yukarıda açıklanan üç nokta için TS EN 1991 1-4 (2007) standardına göre eşdeğer statik rüzgâr yüklerinin belirlenmesi için gerekli sayısal hesaplamalar yapılmış ve açıklanmıştır.

Rüzgâr akıntısının eşdeğer statik yük hesabında TS EN 1991 1-4 (2007) standardına göre alınan hesap parametreleri aşağıda verilmektedir;

- Esas rüzgâr hızının temel değeri “ $v_{b,0}$ ”, 30 m/sn alınmıştır.
- Engebelilik uzunluğu “ z_0 ”, 1m alınmıştır.
- Engebelilik uzunluğunun minimum geçerli olan yüksekliği “ z_{min} ”, 10m alınmıştır.
- Orografi katsayısı “ $c_0(z)$ ”, 1 alınmıştır.
- $z_{0,II}$, 0,05m alınmıştır.
- Doğrultu katsayısı “ c_{dir} ”, 1,0 alınmıştır.
- Mevsim Katsayısı “ c_{season} ”, 1,0 alınmıştır.
- Referans alt yükseklik “ $z_{s,alt}$ ”, 42 m alınmıştır.
- Referans üst yüksekliğin başladığı yükseklik “ $z_{s,üst}$ ”, 165,7 m alınmıştır.

Arazi kategorisi II’de yer seviyesinden 10 metre yükseklikte yılın herhangi bir bölümünün ve rüzgâr yönünün bir fonksiyonu olarak tanımlanan esas rüzgâr hızı, esas rüzgâr hızı temel değeri “ $v_{b,0}$ ”, farklı rüzgâr yönleri için doğrultu katsayısı “ c_{dir} ” ve mevsim katsayısının “ c_{season} ”, çarpılması ile elde edilmiştir.

$$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0} = 1,0 * 1,0 * 30 = 30 \text{ m/sn} \quad (4.1)$$

Hesap yapılan üç nokta için “ z_0 ”a bağlı arazi katsayısı olan engebelilik uzunluğu Denklem 4.2’de hesaplanmıştır.

$$k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \left(\frac{1,0}{0,05} \right)^{0,07} = 0,23 \quad (4.2)$$

Bölüm 2.2.10.1’de açıklandığı şekilde binaların “h > 2b” durumunda yer seviyesinden “b” kadar yüksekliğe kadar, “b” yüksekliğinde meydana gelen rüzgâr basıncı alınmaktadır. Bu nedenle alt bölümlerde “b₁ = 42 m” için bina yer seviyesinden 42m yüksekliğe kadar 42m’de oluşan rüzgâr basıncı değerleri kullanılacaktır. Ayrıca Bina tepe kotundan “b” kadar aşağıdaki yükseklikten bina tepe kotu arası oluşan rüzgâr basıncı değeri kullanılacaktır. Bu durumdan dolayı baza katından sonraki planda daralan normal katın genişliği alınarak “b₂ = 28 m” için bina tepe kotundan 28m aşağı yükseklik 165,7m’ye kadar 193,7m’de oluşan rüzgâr basıncı değerleri kullanılacaktır.

İncelenen yüksek binanın 2. katındaki 1 no’lu noktası için hesaplanan “c_{r(z)}” değeri Denklem 4.3’te verilmiştir.

$$c_{r(z)} = k_r * \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) = 0,23 * \ln \left(\frac{42}{1} \right) = 0,860 \quad (4.3)$$

İncelenen yüksek binanın 26. katındaki 2 no’lu noktası için hesaplanan “c_{r(z)}” değeri Denklem 4.4’te verilmiştir.

$$c_{r(z)} = k_r * \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) = 0,23 * \ln \left(\frac{97,5}{1} \right) = 1,053 \quad (4.4)$$

İncelenen yüksek binanın 51. katındaki 3 no’lu noktası için hesaplanan “c_{r(z)}” değeri Denklem 4.5’te verilmiştir.

$$c_{r(z)} = k_r * \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) = 0,23 * \ln \left(\frac{193,7}{1} \right) = 1,211 \quad (4.5)$$

İncelenen yüksek binanın 2. katındaki 1 no’lu noktası için hesaplanan ortalama rüzgâr hızı “V_{m(z)}” değeri Denklem 4.6’da verilmiştir.

$$V_{m(z)} = c_{r(z)} * c_{0(z)} * v_b = 0,860 * 1,0 * 30 = 25,8 \text{ m/sn} \quad (4.6)$$

İncelenen yüksek binanın 26. katındaki 2 no'lu noktası için hesaplanan ortalama rüzgâr hızı “ $V_{m(z)}$ ” değeri Denklem 4.7’de verilmiştir.

$$V_{m(z)} = c_{r(z)} * c_{0(z)} * v_b = 1,053 * 1,0 * 30 = 31,59 \text{ m/sn} \quad (4.7)$$

İncelenen yüksek binanın 51. katındaki 3 no'lu noktası için hesaplanan ortalama rüzgâr hızı “ $V_{m(z)}$ ” değeri Denklem 4.8’de verilmiştir.

$$V_{m(z)} = c_{r(z)} * c_{0(z)} * v_b = 1,211 * 1,0 * 30 = 36,33 \text{ m/sn} \quad (4.8)$$

TS EN 1991 1-4’te rüzgâr dalgalanma bileşenin standart sapma ifadesi tanımlanmıştır. İncelenen yüksek binada hesap yapılan üç nokta için belirlenen rüzgâr türbülansının standart sapma değeri Denklem 4.9 ile gösterilmiştir. Türbülans katsayısı “ k_l ”, 1,0 alınmıştır.

$$\sigma_v = k_r * v_b * k_l = 0,23 * 30 * 1,0 = 6,9 \text{ m/sn} \quad (4.9)$$

Yukarıda tanımlanan noktalarda oluşacak en büyük rüzgâr hızı değeri, ortalama rüzgâr hızı ve en büyük dalgalanma bileşenin toplanması ile elde edilir. En büyük dalgalanma bileşeni Denklem 4.10 ile hesaplanmıştır.

$$v_{max} = 3,5 * \sigma_v = 3,5 * 6,9 = 24,15 \text{ m/sn} \quad (4.10)$$

İncelenen yüksek binanın 2. katındaki 1 no'lu noktası için hesaplanan rüzgâr hızı Denklem 4.11’de verilmiştir.

$$V_{(z)} = 25,80 + 24,15 = 49,95 \text{ m/sn} \quad (4.11)$$

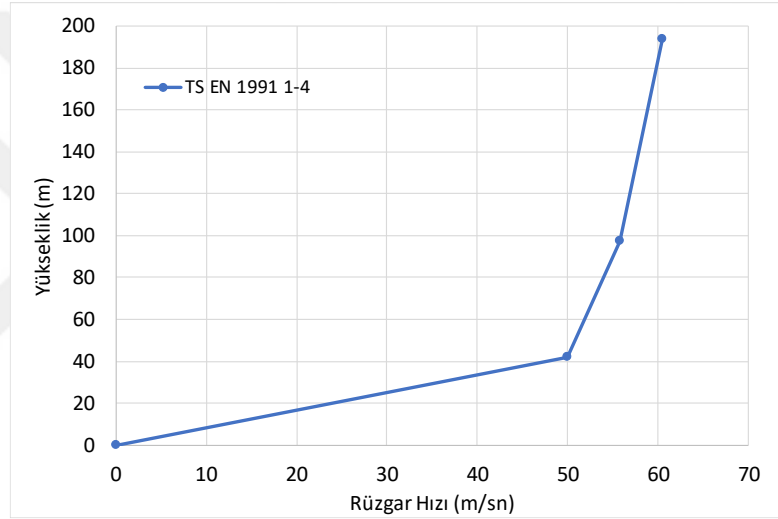
İncelenen yüksek binanın 26. katındaki 2 no'lu noktası için hesaplanan rüzgâr hızı Denklem 4.12’de verilmiştir.

$$V_{(z)} = 31,59 + 24,15 = 55,74 \text{ m/sn} \quad (4.12)$$

İncelenen yüksek binanın 51. katındaki 3 no'lu noktası için hesaplanan rüzgâr hızı Denklem 4.13'de verilmiştir.

$$V_{(z)} = 36,33 + 24,15 = 60,48 \text{ m/sn} \quad (4.13)$$

İncelenen yüksek bina üzerindeki noktaların rüzgâr hızı profili Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3 TS EN 1991 1-4'e göre yükseklik-rüzgâr hızı profili

İncelenen yüksek binanın 2. katındaki 1 no'lu noktası için hesaplanan rüzgâr türbülans şiddeti, Denklem 4.14'de verilmiştir.

$$I_{v(z)} = \frac{\sigma_v}{V_{m(z)}} = \frac{6,9}{25,8} = 0,267 \quad (4.14)$$

İncelenen yüksek binanın 26. katındaki 2 no'lu noktası için hesaplanan türbülans şiddeti değeri Denklem 4.15'de verilmiştir.

$$I_{v(z)} = \frac{\sigma_v}{V_{m(z)}} = \frac{6,9}{31,59} = 0,219 \quad (4.15)$$

İncelenen yüksek binanın 51. katındaki 3 no'lu noktası için hesaplanan türbülans şiddeti değeri Denklem 4.16'da verilmiştir.

$$I_{v(z)} = \frac{\sigma_v}{V_{m(z)}} = \frac{6,9}{36,33} = 0,190 \quad (4.16)$$

İncelenen yüksek binanın 2. katındaki 1 no'lu noktası için hesaplanan rüzgâr basıncı değeri Denklem 4.17'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} q_p(z) &= [1 + 7I_v(z)] * \frac{1}{2} * \rho * v_m^2(z) \\ &= [1 + 7 * 0,267] * \frac{1}{2} * 1,25 * 25,8^2 = 1,194 \text{ kN/m}^2 \end{aligned} \quad (4.17)$$

İncelenen yüksek binanın 26. katındaki 2 no'lu noktası için hesaplanan rüzgâr basıncı değeri Denklem 4.18'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} q_p(z) &= [1 + 7I_v(z)] * \frac{1}{2} * \rho * v_m^2(z) \\ &= [1 + 7 * 0,219] * \frac{1}{2} * 1,25 * 31,59^2 = 1,580 \text{ kN/m}^2 \end{aligned} \quad (4.18)$$

İncelenen yüksek binanın 51. katındaki 3 no'lu noktası için hesaplanan rüzgâr basıncı değeri Denklem 4.19'da verilmiştir.

$$\begin{aligned} q_p(z) &= [1 + 7I_v(z)] * \frac{1}{2} * \rho * v_m^2(z) \\ &= [1 + 7 * 0,190] * \frac{1}{2} * 1,25 * 36,33^2 = 1,922 \text{ kN/m}^2 \end{aligned} \quad (4.19)$$

Dış yüzeylere etkiyen rüzgâr basıncı “w_e”nin hesaplanabilmesi için, Bölüm 2.2.10.1'de açıklandığı şekilde “h/d” oranına bağlı olarak yüksek binanın rüzgâr etki yönlerine göre basınç katsayıları “c_{p,e}” hesaplanmalıdır. “h” bina yüksekliği ve “d”, rüzgâr akıntısının geldiği doğrultuya paralel yöndeki bina kenar uzunluğudur.

İncelenen bina için hesaplanan “h/d” oranı Denklem 4.20’de ve bu değere karşı gelen dış basınç katsayıları Tablo 4.1’de verilmiştir.

$$\frac{h}{d} = \frac{193,7}{42} \cong 5 \quad (4.20)$$

Tablo 4.1 İncelenen binanın düşey duvarları için belirlenen dış basınç katsayısı değerleri

Bölge	A	B	C	D	E
h/d	C _{pe}	C _{pe}	C _{pe}	C _{pe}	C _{pe}
5	-1,2	-0,8	-0,5	+0,8	-0,7

Bu tez kapsamında incelenen binanın ön yüzeyine etki eden basınç bölgesi “D” ve arka yüzeyine etki eden emme bölgesi “E” için hesap yapılmıştır. “h/d” oranı 5’e yakın olmasından dolayı ve en büyük rüzgâr basınç kuvvetini elde edebilmek için basınç bölgesi “D” yüzeyi c_{pe} katsayısı +0,8 ve emme bölgesi “E” c_{pe} katsayısı -0,7 alınmıştır.

Yan yüzeyler olan A-B-C yüzeylerinde oluşacak sürtünme kuvvetleri çok küçük olduğu için ihmal edilmiştir.

İncelenen yüksek binanın 2. katındaki 1 no’lu noktası için hesaplanan D bölgesi rüzgâr basıncı değeri Denklem 4.21’de verilmiştir.

$$w_{e,D} = q_p(z) * c_{p,e,D} = 1,194 * (+0,8) = +0,955 \text{ kN/m}^2 \quad (4.21)$$

İncelenen yüksek binanın 2. katındaki 1 no’lu noktası için hesaplanan D bölgesi rüzgâr basıncı kuvveti değeri Denklem 4.22’de verilmiştir.

$$F_{w,D} = w_{e,D} * A_e = (+0,955) * 30,45 = 29,080 \text{ kN} \quad (4.22)$$

İncelenen yüksek binanın 2. katındaki 1 no’lu noktası için hesaplanan E bölgesi arka yüzeyde oluşan birim alana gelen emme kuvveti değeri Denklem 4.23’de verilmiştir.

$$w_{e,E} = q_p(z) * c_{p,e,E} = 1,194 * (-0,7) = - 0,836 \text{ kN/m}^2 \quad (4.23)$$

İncelenen yüksek binanın 2. Katındaki 1 no'lu noktası için hesaplanan E bölgesi arka yüzeyde oluşan emme kuvveti değeri Denklem 4.24'de verilmiştir.

$$F_{w,E} = w_{e,E} * A_e = (-0,836) * 30,45 = -25,456 \text{ kN} \quad (4.24)$$

İncelenen yüksek binanın 26. Katındaki 2 no'lu noktası için hesaplanan D bölgesi rüzgâr basıncı değeri Denklem 4.25'de verilmiştir.

$$w_{e,D} = q_p(z) * c_{p,e} = 1,580 * (+0,8) = + 1,264 \text{ kN/m}^2 \quad (4.25)$$

İncelenen yüksek binanın 26. Katındaki 2 no'lu noktası için hesaplanan D bölgesi rüzgâr basınç kuvveti Denklem 4.26'da verilmiştir.

$$F_{w,D} = w_{e,D} * A_e = (+1,264) * 25,9 = 32,738 \text{ kN} \quad (4.26)$$

İncelenen yüksek binanın 26. Katındaki 2 no'lu noktası için hesaplanan E bölgesi arka yüzeyde oluşan birim alana gelen emme kuvveti değeri Denklem 4.27'de verilmiştir.

$$w_{e,E} = q_p(z) * c_{p,e} = 1,580 * (-0,7) = - 1,106 \text{ kN/m}^2 \quad (4.27)$$

İncelenen yüksek binanın 26. Katındaki 2 no'lu noktası için hesaplanan E bölgesi arka yüzeyde oluşan emme kuvveti değeri Denklem 4.28'de verilmiştir.

$$F_{w,E} = w_{e,E} * A_e = (-1,106) * 25,9 = -28,645 \text{ kN} \quad (4.28)$$

İncelenen yüksek binanın 51. Katındaki 3 no'lu noktası için hesaplanan D bölgesi rüzgâr basıncı değeri Denklem 4.29'da verilmiştir.

$$w_{e,D} = q_p(z) * c_{p,e} = 1,922 * (+0,8) = + 1,538 \text{ kN/m}^2 \quad (4.29)$$

İncelenen yüksek binanın 51. Katındaki 3 no'lu noktası için hesaplanan D bölgesi rüzgâr basınç kuvveti Denklem 4.30'da verilmiştir.

$$F_{w,D} = w_{e,D} * A_e = (+1,538) * 25,9 = 39,834 \text{ kN} \quad (4.30)$$

İncelenen yüksek binanın 51. Katındaki 3 no'lu noktası için hesaplanan E arka yüzeyde oluşan birim alana gelen emme kuvveti değeri Denklem 4.31'de verilmiştir.

$$w_{e,E} = q_p(z) * c_{p,e} = 1,922 * (-0,7) = - 1,345 \text{ kN/m}^2 \quad (4.31)$$

İncelenen yüksek binanın 51. Katındaki 3 no'lu noktası için hesaplanan E bölgesi arka yüzeyde oluşan emme kuvveti değeri Denklem 4.32'de verilmiştir.

$$F_{w,E} = w_{e,E} * A_e = (-1,345) * 25,9 = -34,836 \text{ kN} \quad (4.32)$$

Toplam rüzgâr kuvvetleri, yapısal katsayı “ $C_s C_d$ ” ile çarpılarak elde edilmiştir.

İncelenen yüksek binanın 2. Katındaki 1 no'lu noktası için hesaplanan rüzgâr doğrultusu yönündeki toplam rüzgâr kuvveti değeri Denklem 4.33'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} F_{w,t} &= (F_{w,D} + F_{w,E}) * C_s C_d = [29,080 - (-25,456)] * 0,838 \\ &= 45,701 \text{ kN} \end{aligned} \quad (4.33)$$

İncelenen yüksek binanın 26. Katındaki 2 no'lu noktası için hesaplanan rüzgâr doğrultusu yönündeki toplam rüzgâr kuvveti değeri Denklem 4.34'de verilmiştir.

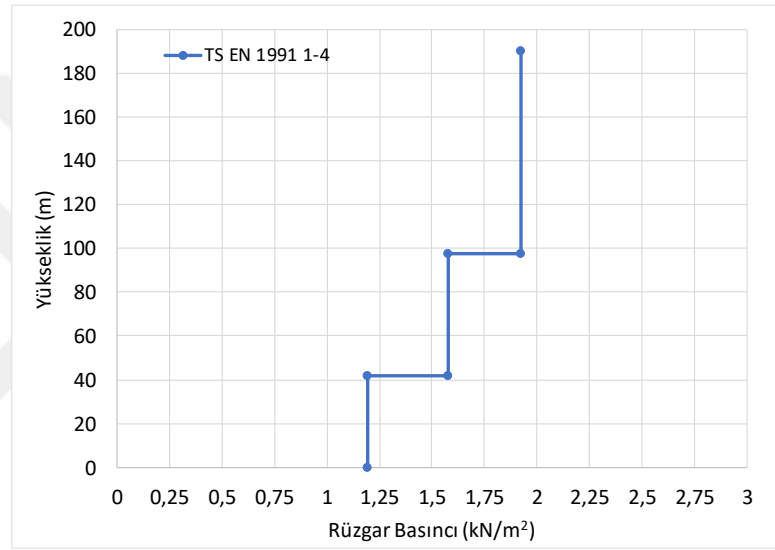
$$\begin{aligned} F_{w,t} &= (F_{w,D} + F_{w,E}) * C_s C_d = [32,738 - (-28,645)] * 0,838 \\ &= 51,439 \text{ kN} \end{aligned} \quad (4.34)$$

İncelenen yüksek binanın 51. Katındaki 3 no'lu noktası için hesaplanan rüzgâr doğrultusu yönündeki toplam rüzgâr kuvveti değeri Denklem 4.35'de verilmiştir.

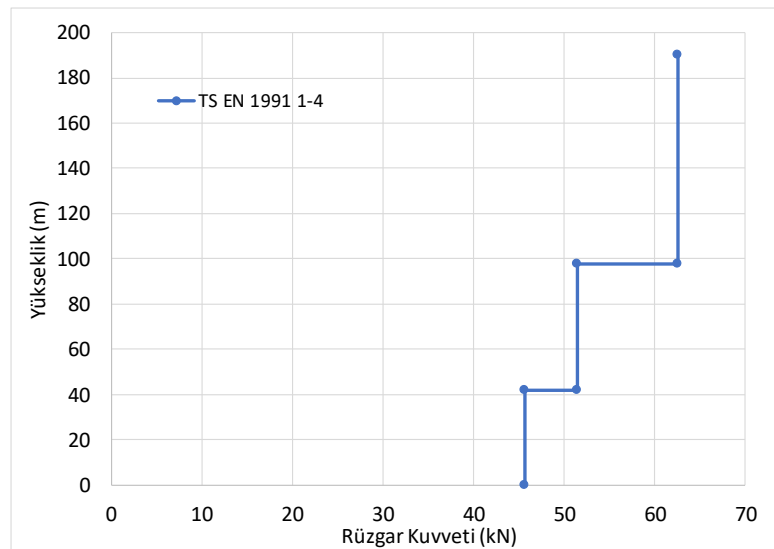
$$F_{w,t} = (F_{w,D} + F_{w,E}) * C_s C_D = [39,834 - (-34,836)] * 0,838$$

$$= 62,573 \text{ kN}$$
(4.35)

Yukarıda yapılan rüzgâr basıncı ve rüzgâr kuvveti hesapları Şekil 4.4 ve 4.5'de grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.4 TS EN 1991 1-4'e göre yükseklik-rüzgâr basıncı profili



Şekil 4.5 TS EN 1991 1-4'e göre yükseklik-rüzgâr kuvveti profili

4.3 Spektral Temsil Yöntemi'ne Göre Dinamik Rüzgâr Kuvvetlerinin Hesaplanması

Bu bölümde, incelenen bina üzerinde yukarıda açıklanan üç nokta için Spektral Temsil Yöntemi (SRM) ile dinamik rüzgâr yüklerinin belirlenmesi için gerekli sayısal hesaplamalar yapılmış ve açıklanmıştır.

Rüzgâr akıntısı, ortalama rüzgâr hızı bileşeni ve rüzgâr dalgalanma bileşeninden oluşmaktadır. SRM yöntemi ile rüzgâr dalgalanma hızının dinamik değerleri elde edilmektedir. Ortalama rüzgâr hızı bileşeni için TS EN 1991 1-4 (2007) standardına göre hesaplanmıştır.

Tez kapsamında, Spektral Temsil Yöntemi (SRM) ile dinamik rüzgâr dalgalanma hızının belirlenmesi için MATLAB programıyla bir yazılım hazırlanmıştır. Yazılan bu kod ile seçilen yüksek bina yüzeyindeki üç nokta için rüzgâr hızı-zaman ve rüzgâr kuvveti-zaman serileri elde edilmiştir. Ayrıca, Spektral Temsil Yöntemi'nin daha iyi anlaşılabilir olması için analitik olarak hesap adımları detaylı bir şekilde gösterilmiştir.

SRM yöntemi ile yapılan ortalama rüzgâr hızı hesaplarında Bölüm 4.2'de verilen hesap parametreleri aynen kullanılmıştır. Ayrıca, Spektral Temsil Yöntemi için kullanılan diğer hesap parametreleri aşağıda verilmiştir;

- Zaman Aralığı " Δt ", 0,5 sn alınmıştır.
- Tüm zaman serisi " T ", 500 sn alınmıştır.
- Olasılık parametresi " C_x " ve " C_z ", 11,5 alınmıştır (Solari, 1987).

Rüzgâr akıntısının, arazi kategorisi II'de yer seviyesinden 10 metre yükseklikte yılın herhangi bir bölümünün ve rüzgâr yönünün bir fonksiyonu olarak tanımlanan esas rüzgâr hızı " v_b ", Denklem 4.36'da verilmiştir.

$$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0} = 1,0 * 1,0 * 30 = 30 \text{ m/sn} \quad (4.36)$$

Rüzgârın kayma hızı değeri Denklem 4.37’de verilmiştir;

$$u_* = \frac{k v(z_{ref})}{\ln(z_{ref}/z_0)} = \frac{0,4 * 30}{\ln(10/1,0)} = 5,212 \quad (4.37)$$

“ z_0 ”a bağlı arazi katsayısı olan engebелilik uzunluğu Denklem 4.38’de hesaplanmıştır.

$$k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \left(\frac{1,0}{0,05} \right)^{0,07} = 0,23 \quad (4.38)$$

Bölüm 2.2.10.1’de açıklandığı şekilde binaların “ $h > 2b$ ” durumunda yer seviyesinden “ b ” kadar yüksekliğe kadar, “ b ” yüksekliğinde meydana gelen rüzgâr basıncı alınmaktadır. Bu durumdan dolayı alt bölümlerde “ $b_1 = 42 \text{ m}$ ” için bina yer seviyesinden 42m yüksekliğe kadar 42m’de oluşan rüzgâr basıncı değerleri kullanılacaktır. Ayrıca Bina tepe kotundan “ b ” kadar aşağıdaki yükseklikten bina tepe kotu arası oluşan rüzgâr basıncı değeri kullanılacaktır. Bu durumdan dolayı baza katından sonraki planda daralan normal katın genişliği alınarak “ $b_2 = 28 \text{ m}$ ” için bina tepe kotundan 28m aşağı yükseklik 165,7m’ye kadar 193,7m’de oluşan rüzgâr basıncı değerleri kullanılacaktır.

İncelenen yüksek binanın 2. katındaki 1 no’lu noktası için hesaplanan “ $c_r(z)$ ” değeri Denklem 4.39’da verilmiştir.

$$c_{r(z)} = k_r * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,23 * \ln\left(\frac{42}{1}\right) = 0,860 \quad (4.39)$$

İncelenen yüksek binanın 26. katındaki 2 no’lu noktası için “ $c_r(z)$ ” değeri Denklem 4.40’da verilmiştir;

$$c_{r(z)} = k_r * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,23 * \ln\left(\frac{97,5}{1}\right) = 1,053 \quad (4.40)$$

İncelenen yüksek binanın 51. katındaki 3 no'lu noktası için “ $c_r(z)$ ” değeri Denklem 4.41’de verilmiştir.

$$c_{r(z)} = k_r * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,23 * \ln\left(\frac{193,7}{1}\right) = 1,211 \quad (4.41)$$

İncelenen yüksek binanın 2. katındaki 1 no'lu noktası için hesaplanan ortalama rüzgâr hızı “ $V_{m(z)}$ ” değeri Denklem 4.42’de verilmiştir.

$$V_{m(z)} = c_{r(z)} * c_{0(z)} * v_b = 0,860 * 1,0 * 30 = 25,8 \text{ m/sn} \quad (4.42)$$

İncelenen yüksek binanın 26. katındaki 2 no'lu noktası için hesaplanan ortalama rüzgâr hızı “ $V_{m(z)}$ ” değeri Denklem 4.43’de verilmiştir.

$$V_{m(z)} = c_{r(z)} * c_{0(z)} * v_b = 1,053 * 1,0 * 30 = 31,59 \text{ m/sn} \quad (4.43)$$

İncelenen yüksek binanın 51. katındaki 3 no'lu noktası için hesaplanan ortalama rüzgâr hızı “ $V_{m(z)}$ ” değeri Denklem 4.44’de verilmiştir.

$$V_{m(z)} = c_{r(z)} * c_{0(z)} * v_b = 1,211 * 1,0 * 30 = 36,33 \text{ m/sn} \quad (4.44)$$

Rüzgâr dalgalanma bileşeni değerlerini elde etmek için ilk adımda frekans ve Monin koordinatı verilerini içeren Denklem 4.45’de gösterilen güç spektral yoğunluk matrisi oluşturulur. “ $S_{ii}(n)$ ”, tek yönlü güç yoğunluk fonksiyonu ve “ $S_{ij}(n)$ ” çapraz güç spektral yoğunluk fonksiyonunu ifade eder.

$$S = \begin{bmatrix} S_{11}(n) & S_{12}(n) & S_{13}(n) \\ S_{21}(n) & S_{22}(n) & S_{23}(n) \\ S_{31}(n) & S_{32}(n) & S_{33}(n) \end{bmatrix} \quad (4.45)$$

“ $S_{ii}(n)$ ” için dinamik rüzgâr dalgalanma bileşeni hesaplarında TS EN 1991 1-4 (2007)’de verilen spektrum modeli kullanılmıştır (Denklem 4.46).

$$\frac{nS_{ii}(z, n)}{u_*^2} = \frac{6,8f}{(1 + 10,2f)^{5/3}} \quad (4.46)$$

“n”, frekans değeridir. Analitik hesaplar “T=50sn” için yapılmıştır.

$$n = \frac{1}{T} = \frac{1}{50} = 0,02 \text{ 1/sn} \quad (4.47)$$

“f”, boyutsuz Monin koordinatıdır. Seçilen yüksek bina yüzeyindeki 1., 2. ve 3. noktalara karşılık gelen sırasıyla 42 m, 97,5 m ve 193,7 m yükseklikleri için Monin koordinatı Denklem 4.48, 4.49 ve 4.50’de hesaplanmıştır.

$$f_{(42)} = \frac{0,02 * 42}{25,8} = 0,0326 \quad (4.48)$$

$$f_{(97,5)} = \frac{0,02 * 97,5}{31,59} = 0,0617 \quad (4.49)$$

$$f_{(193,7)} = \frac{0,02 * 193,7}{36,33} = 0,1066 \quad (4.50)$$

Denklem 4.45’deki “ $S_{ii}(z, n)$ ” tek yönlü güç spektral yoğunluk fonksiyonları yalnız bırakılıp seçilen yüksek bina yüzeyindeki 1. 2. ve 3. noktalar için Denklem 4.51, 4.52 ve 4.53 ile hesaplanmıştır.

$$S_{11}(42; 0,02) = \frac{6,8 * 0,0326 * 0,868^2}{0,02 * (1 + 10,2 * 0,0326)^{5/3}} = 5,1754 \quad (4.51)$$

$$S_{22}(97,5 ; 0,02) = \frac{6,8 * 0,0617 * 0,868^2}{0,02 * (1 + 10,2 * 0,0617)^{5/3}} = 7,0057 \quad (4.52)$$

$$S_{33}(193,7; 0,02) = \frac{6,8 * 0,1066 * 0,868^2}{0,02 * (1 + 10,2 * 0,1066)^{5/3}} = 8,0099 \quad (4.53)$$

“ $S_{ij}(n)$ ”, çapraz güç spektral yoğunluk fonksiyonları, bina yüzey alanında seçilen üç noktanın birbirileri ile korelasyonunu sağlamak için Denklem 4.54’de gösterilen koherens fonksiyonu ile Denklem 4.54, 4.55 ve 4.56 ile hesaplanmıştır.

$$coh_{ij} = \exp \left(- \frac{2n * \sqrt{Cx^2 * (x_j - x_i)^2 + Cz^2 * (z_j - z_i)^2}}{\bar{V}_j + \bar{V}_i} \right) \quad (4.54)$$

$$\begin{aligned} coh_{12} = coh_{21} &= \exp \left(- \frac{2 - 0,02 * \sqrt{11,5^2 * (21 - 14)^2 + 11,5^2 * (93,5 - 8,7)^2}}{31,59 + 25,80} \right) \\ &= 0,5056 \end{aligned} \quad (4.55)$$

$$\begin{aligned} coh_{13} = coh_{31} &= \exp \left(- \frac{2 - 0,02 * \sqrt{11,5^2 * (35 - 14)^2 + 11,5^2 * (193,7 - 8,7)^2}}{36,33 + 25,80} \right) \\ &= 0,2520 \end{aligned} \quad (4.56)$$

$$\begin{aligned} coh_{23} = coh_{32} &= \exp \left(- \frac{2 - 0,02 * \sqrt{11,5^2 * (21 - 14)^2 + 11,5^2 * (193,7 - 93,5)^2}}{36,33 + 31,59} \right) \\ &= 0,5040 \end{aligned} \quad (4.57)$$

Koherens fonksiyonunda “Cx” ve “Cz” olasılık sabitleri için Solari (1987)’den alınan 11,5 değeri kullanılmıştır. Burada, her iki nokta arasında ortalama rüzgâr hızı ve -X,-Z- yönündeki koordinatları arası bağlantı kurularak korelasyon değerleri elde edilmiştir. Çapraz güç spektral yoğunluk fonksiyonu değerleri Denklem 4.58, 4.59 ve 4.60 ile hesaplanmıştır.

$$S_{12} = S_{21} = \sqrt{S_{ii} * S_{jj} * coh_{ij}} = \sqrt{5,2055 * 7,0304 * 0,5056} = 3,0586 \quad (4.58)$$

$$S_{13} = S_{31} = \sqrt{S_{ii} * S_{jj} * coh_{ij}} = \sqrt{5,2055 * 8,0202 * 0,2520} = 1,6280 \quad (4.59)$$

$$S_{23} = S_{32} = \sqrt{S_{ii} * S_{jj} * coh_{ij}} = \sqrt{7,0304 * 8,0202 * 0,5040} = 3,7844 \quad (4.60)$$

Tek yönlü güç spektral yoğunluk fonksiyonları ve çapraz güç spektral yoğunluk fonksiyonları Denklem 4.45’de güç spektral yoğunluk matrisinde yerine yazılarak Denklem 4.61 elde edilmiştir.

$$S(\omega) = \begin{bmatrix} 5,2055 & 3,0586 & 1,6280 \\ 3,0586 & 7,0304 & 3,7844 \\ 1,6280 & 3,7844 & 8,0202 \end{bmatrix} \quad (4.61)$$

Güç spektral yoğunluk matrisini doğrusal denklem takımlarına göre çözümleyebilmek için Choelsky metodu kullanılmış ve Denklem 4.62 ile iki matrise ayrıştırılmıştır. Elde edilen değerler Denklem 4.63 ve 4.64’de verilmiştir.

$$S(\omega) = H(\omega)H(\omega)^T \quad (4.62)$$

$$H(\omega) = \begin{bmatrix} 2,2816 & 0 & 0 \\ 1,3406 & 2,2876 & 0 \\ 0,7135 & 1,2361 & 2,4460 \end{bmatrix} \quad (4.63)$$

$$H(\omega)^T = \begin{bmatrix} 2,2816 & 1,3406 & 0,7135 \\ 0 & 2,2876 & 1,2361 \\ 0 & 0 & 2,4460 \end{bmatrix} \quad (4.64)$$

Ayrıştırılma işlemi sonucunda elde edilen “ $H(\omega)$ ” değerleri, Shinozuka ve Jan (1972) tarafından bulunan Denklem 4.65’de yerine konularak zamana bağlı olarak rüzgâr dalgalanma bileşenleri elde edilmiştir.

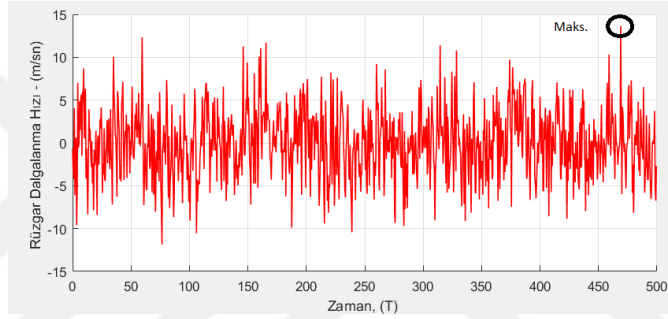
$$v_j(z, t) = \sum_{i=1}^j \sum_{l=1}^N |H_{ji}(\omega)| \sqrt{2\Delta\omega} \cos[\omega_i - \theta_{ji}(\omega_i) + \phi_{il}] \quad (4.65)$$

Burada, “ ϕ_{il} ” $[0 \ 2\pi]$ arasında rastgele seçilmiş açı değerleridir. “ $\theta_{ij}(\omega)$ ”, “ $H_{ij}(\omega)$ ”nin karmaşık açısıdır (Denklem 4.66). “ ω ” Denklem 4.59’da frekans olarak alınır.

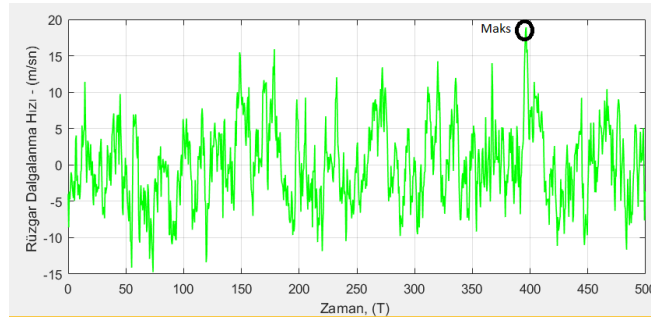
$$\theta_{ji}(\omega_i) = \tan^{-1} \left(\frac{\text{Im}H_{ji}(\omega_i)}{\text{Re}H_{ji}(\omega_i)} \right) \quad (4.66)$$

Seçilen yüksek bina yüzeyindeki 1., 2. ve 3. noktalara ait Denklem 4.65'den elde edilen en büyük rüzgâr dalgalanma bileşeni değerleri Denklem 4.67'de gösterilmiştir. Hesaplarda tüm frekans değerleri için işlem yapılmış ve eklenik bir şekilde toplanıldıktan sonra dalgalanma bileşenleri bulunmuştur. Ayrıca, rüzgâr dalgalanma hızı-zaman serileri Şekil 4.6, 4.7 ve 4.8'de gösterilmiş ve en büyük değerleri işaretlenmiştir.

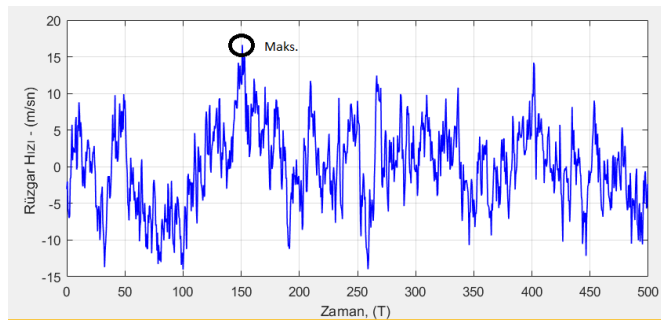
$$v_{maks} = \begin{bmatrix} 13,62 \\ 18,91 \\ 16,61 \end{bmatrix} m/sn \quad (4.67)$$



Şekil 4.6 Yüksek bina üzerinde seçilen 1. noktanın rüzgâr dalgalanma hızı bileşeni kaydı



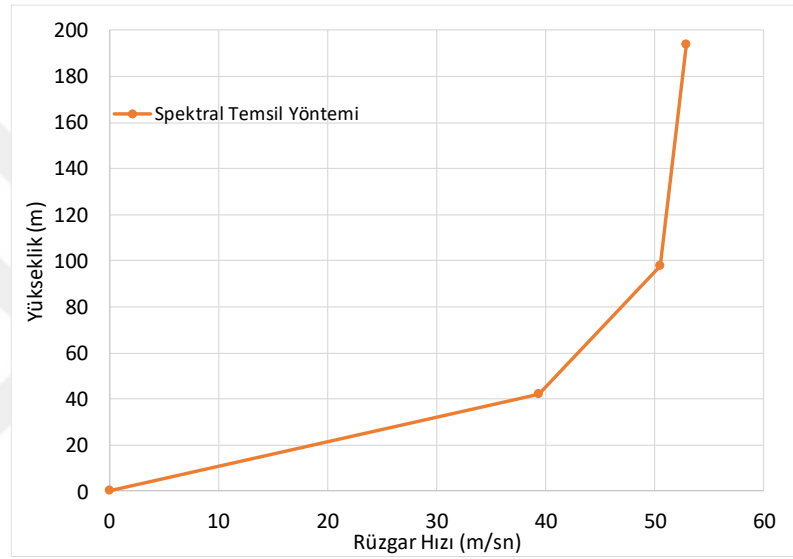
Şekil 4.7 Yüksek bina üzerinde seçilen 2. noktanın rüzgâr dalgalanma hızı bileşeni kaydı



Şekil 4.8 Yüksek bina üzerinde seçilen 3. noktanın rüzgâr dalgalanma hızı bileşeni kaydı

Denklem 4.67’de hesaplanan en büyük rüzgâr dalgalanma bileşenleri, ortalama rüzgâr hızları ile toplanarak Denklem 4.68’de, seçilen yüksek bina üzerindeki noktalar için toplam rüzgâr hızları elde edilmiştir. Hesaplanan toplam rüzgâr hızları Şekil 4.9’da rüzgâr profili olarak gösterilmiştir.

$$V_{maks} = \bar{V}_{m(z)} + v_{maks} = \begin{bmatrix} 25,80 \\ 31,59 \\ 36,33 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 13,62 \\ 18,91 \\ 16,61 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 39,42 \\ 50,50 \\ 52,94 \end{bmatrix} m/sn \quad (4.68)$$



Şekil 4.9 SRM’ye göre yükseklik-rüzgâr hızı profili

Toplam rüzgâr hızı değerleri kullanılarak rüzgâr kuvveti değerleri hesaplanması için gerekli rüzgâr türbülans şiddeti, Denklem 4.69’da verilen rüzgâr dalgalanma bileşenlerinin standart sapması değerlerinin, ortalama rüzgâr hızı değerlerine bölümü ile hesaplanmıştır.

$$I_v = \frac{\sigma_v}{V_{m(z)}} = \begin{bmatrix} 3,95 \\ 5,46 \\ 5,49 \end{bmatrix} ./ \begin{bmatrix} 25,80 \\ 31,59 \\ 36,33 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,153 \\ 0,173 \\ 0,151 \end{bmatrix} \quad (4.69)$$

Spektral Temsil Yöntemi ile elde edilen toplam rüzgâr hızı değerleri, Denklem 4.70’de gösterilen yarı statik (Quasi-Static) yöntem ile rüzgâr basınç değerlerine Denklem 4.71, 4.72 ve 4.73’de dönüştürülmüştür. ρ , $1,25 \text{ kg/m}^3$ alınmıştır. 10^3 ile bölünerek “N” cinsinden “kN” cinsine dönüştürülmüştür.

$$q_p(z) = [1 + 7I_v(z)] * \frac{1}{2} * \rho * v_m^2(z) \quad (4.70)$$

$$q_{p(42)} = [1 + 7 * 0,153] * \frac{1}{2} * 1,25 * 25,80^2 = 0,861 \text{ kN/m}^2 \quad (4.71)$$

$$q_{p(93,5)} = [1 + 7 * 0,173] * \frac{1}{2} * 1,25 * 31,59^2 = 1,379 \text{ kN/m}^2 \quad (4.72)$$

$$q_{p(193,7)} = [1 + 7 * 0,151] * \frac{1}{2} * 1,25 * 36,33^2 = 1,697 \text{ kN/m}^2 \quad (4.73)$$

Bu tez kapsamında incelenen binanın ön yüzeyine etki eden Tablo 4.1’de verilen basınç bölgesi “D” ve arka yüzeyine etki eden emme bölgesi “E” için hesap yapılmıştır. “ h/d ” oranı 5’e yakın olmasından dolayı ve en büyük rüzgâr basınç kuvvetini elde edebilmek için basınç bölgesi “D” yüzeyi c_{pe} katsayısı +0,8 ve emme bölgesi “E” c_{pe} katsayısı -0,7 alınmıştır.

Seçilen yüksek binanın yan yüzeylerinde olan ve Tablo 4.1’de gösterilen A-B-C yüzeylerinde oluşacak sürtünme kuvvetleri çok küçük olduğu için ihmal edilmiştir.

İncelenen yüksek binanın 2. Katındaki 1 no’lu noktası için hesaplanan D bölgesi en büyük rüzgâr basıncı değeri Denklem 4.74’de elde edilmiştir.

$$w_{e,D} = q_p(z) * c_{p,e,D} = 0,861 * (+0,8) = +0,689 \text{ kN/m}^2 \quad (4.74)$$

İncelenen yüksek binanın 2. katındaki 1 no’lu noktası için hesaplanan D bölgesi rüzgâr basıncı kuvveti değeri Denklem 4.75’de verilmiştir.

$$F_{w,D} = w_{e,D} * A_e = (+0,689) * 30,45 = 20,980 \text{ kN} \quad (4.75)$$

İncelenen yüksek binanın 2. katındaki 1 no'lu noktası için hesaplanan E bölgesi arka yüzeyde oluşan birim alana gelen emme kuvveti değeri Denklem 4.76'da verilmiştir.

$$w_{e,E} = q_p(z) * c_{p,e,E} = 0,861 * (-0,7) = - 0,603 \text{ kN/m}^2 \quad (4.76)$$

İncelenen yüksek binanın 2. Katındaki 1 no'lu noktası için hesaplanan E bölgesi arka yüzeyde oluşan emme kuvveti değeri Denklem 4.77'de verilmiştir.

$$F_{w,E} = w_{e,E} * A_e = (-0,603) * 30,45 = -18,361 \text{ kN} \quad (4.77)$$

İncelenen yüksek binanın 26. Katındaki 2 no'lu noktası için hesaplanan D bölgesi rüzgâr basıncı değeri Denklem 4.78'de verilmiştir.

$$w_{e,D} = q_p(z) * c_{p,e} = 1,379 * (+0,8) = + 1,103 \text{ kN/m}^2 \quad (4.78)$$

İncelenen yüksek binanın 26. Katındaki 2 no'lu noktası için hesaplanan D bölgesi rüzgâr basınç kuvveti Denklem 4.79'da verilmiştir.

$$F_{w,D} = w_{e,D} * A_e = (+1,103) * 25,9 = 28,570 \text{ kN} \quad (4.79)$$

İncelenen yüksek binanın 26. Katındaki 2 no'lu noktası için hesaplanan E bölgesi arka yüzeyde oluşan birim alana gelen emme kuvveti değeri Denklem 4.80'de verilmiştir.

$$w_{e,E} = q_p(z) * c_{p,e} = 1,379 * (-0,7) = - 0,965 \text{ kN/m}^2 \quad (4.80)$$

İncelenen yüksek binanın 26. Katındaki 2 no'lu noktası için hesaplanan E bölgesi arka yüzeyde oluşan emme kuvveti değeri Denklem 4.81'de verilmiştir.

$$F_{w,E} = w_{e,E} * A_e = (-0,965) * 25,9 = -25,000 \text{ kN} \quad (4.81)$$

İncelenen yüksek binanın 51. Katındaki 3 no'lu noktası için hesaplanan D bölgesi rüzgâr basıncı değeri Denklem 4.82'de verilmiştir.

$$w_{e,D} = q_p(z) * c_{p,e} = 1,697 * (+0,8) = + 1,358 \text{ kN/m}^2 \quad (4.82)$$

İncelenen yüksek binanın 51. Katındaki 3 no'lu noktası için hesaplanan D bölgesi rüzgâr basınç kuvveti Denklem 4.83'de verilmiştir.

$$F_{w,D} = w_{e,D} * A_e = (+1,358) * 25,9 = 35,172 \text{ kN} \quad (4.83)$$

İncelenen yüksek binanın 51. Katındaki 3 no'lu noktası için hesaplanan E arka yüzeyde oluşan birim alana gelen emme kuvveti değeri Denklem 4.84'de verilmiştir.

$$w_{e,E} = q_p(z) * c_{p,e} = 1,697 * (-0,7) = - 1,118 \text{ kN/m}^2 \quad (4.84)$$

İncelenen yüksek binanın 51. Katındaki 3 no'lu noktası için hesaplanan E bölgesi arka yüzeyde oluşan emme kuvveti değeri Denklem 4.85'de verilmiştir.

$$F_{w,E} = w_{e,E} * A_e = (-1,118) * 25,9 = -28,956 \text{ kN} \quad (4.85)$$

İncelenen yüksek binanın 2. Katındaki 1 no'lu noktası için hesaplanan rüzgâr doğrultusu yönündeki toplam rüzgâr kuvveti değeri Denklem 4.86'da verilmiştir.

$$\begin{aligned} F_{w,t} &= (F_{w,D} + F_{w,E}) * C_s C_D = [20,980 - (-18,361)] * 0,838 \\ &= 32,97 \text{ kN} \end{aligned} \quad (4.86)$$

İncelenen yüksek binanın 26. Katındaki 2 no'lu noktası için hesaplanan rüzgâr doğrultusu yönündeki toplam rüzgâr kuvveti değeri Denklem 4.87'de verilmiştir.

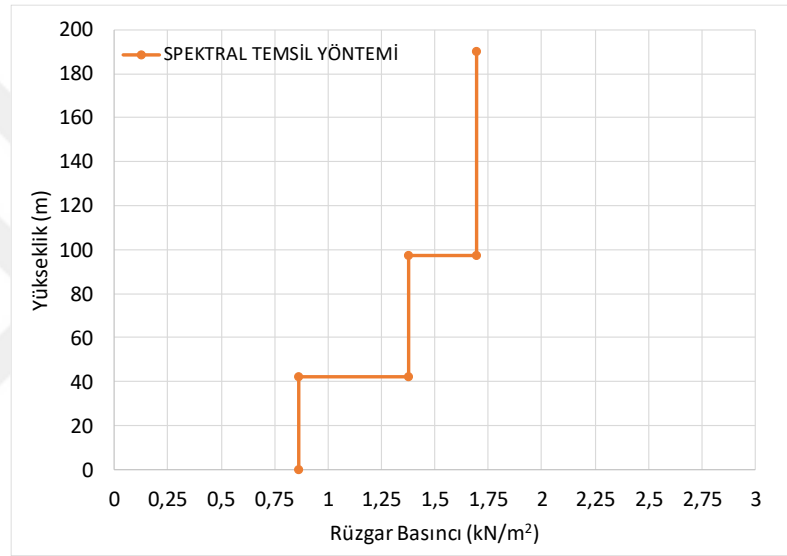
$$\begin{aligned} F_{w,t} &= (F_{w,D} + F_{w,E}) * C_s C_D = [28,57 - (-25,00)] * 0,838 \\ &= 44,892 \text{ kN} \end{aligned} \quad (4.87)$$

İncelenen yüksek binanın 51. Katındaki 3 no'lu noktası için hesaplanan rüzgâr doğrultusu yönündeki toplam rüzgâr kuvveti değeri Denklem 4.88'de verilmiştir.

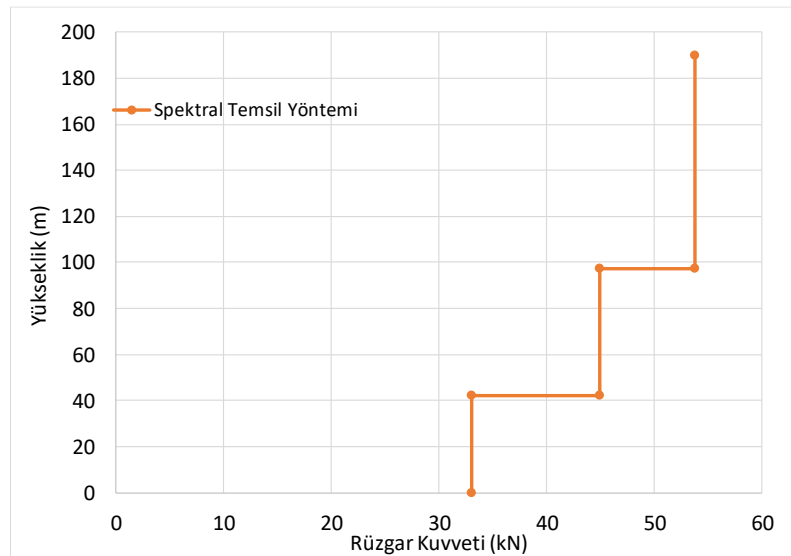
$$F_{w,t} = (F_{w,D} + F_{w,E}) * C_s C_D = [35,172 - (-28,956)] * 0,838$$

$$= 53,739 \text{ kN} \quad (4.88)$$

Yukarıda yapılan rüzgâr basıncı ve rüzgâr kuvveti hesapları Şekil 4.10 ve 4.11'de grafik olarak gösterilmiştir.



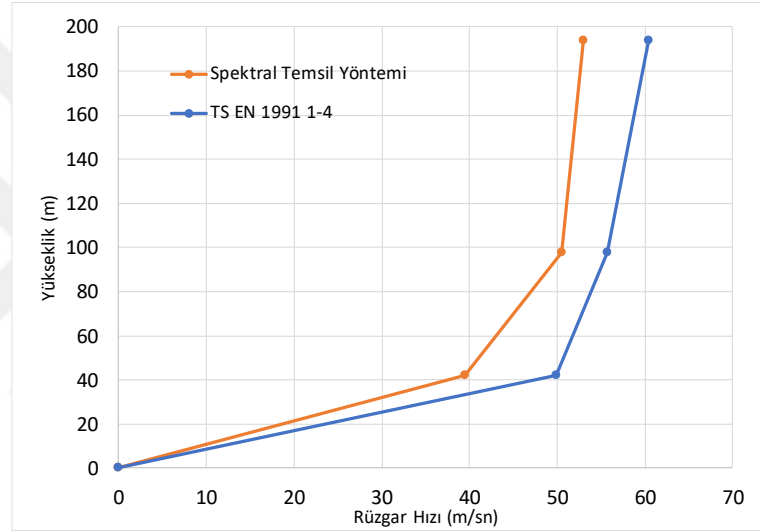
Şekil 4.10 SRM'ye göre yükseklik-rüzgâr basıncı profili



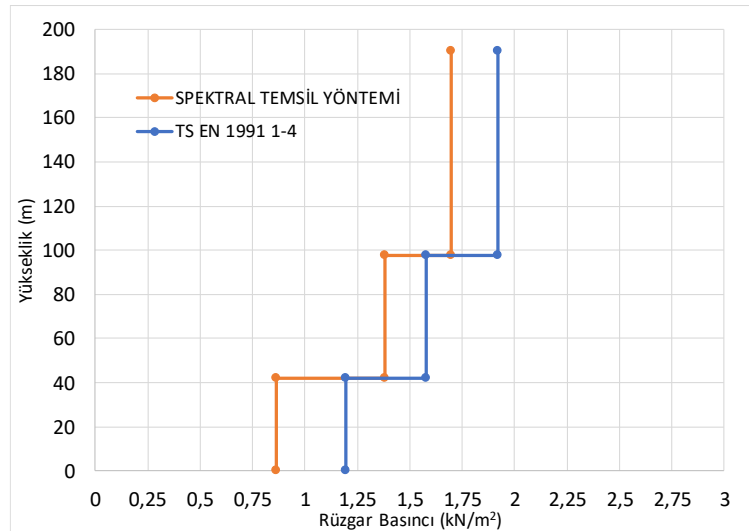
Şekil 4.11 SRM'ye göre yükseklik-rüzgâr kuvveti profili

4.4 TS EN 1991 1-4 (2007) ve Spektral Temsil Yöntemi ile Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması

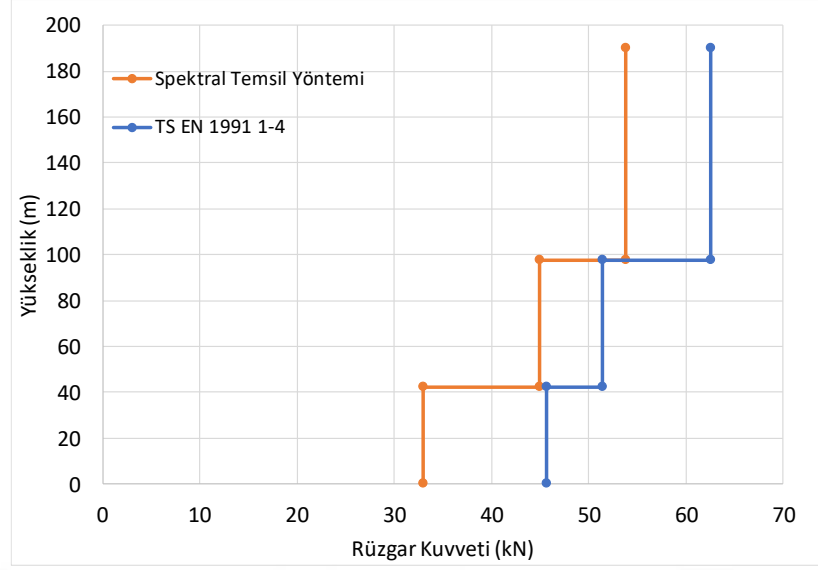
Bu bölümde, TS EN 1991 1-4 (2007)'e göre seçilen yüksek bina yüzeyindeki üç nokta için eşdeğer statik rüzgâr hızları, rüzgâr basınçları ve rüzgâr kuvvetleri ile Spektral Temsil Yöntemi'ne göre seçilen yüksek bina yüzeyindeki üç nokta için dinamik olarak hesaplanan rüzgâr hızı, rüzgâr basıncı ve rüzgâr kuvvetlerinin en büyük değerleri grafik olarak verilerek her iki yöntemden elde edilen değerler karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.12 TS EN 1991 1-4 ve SRM'ye göre yükseklik-rüzgâr hızı profili



Şekil 4.13 TS EN 1991 1-4 ve SRM'ye göre yükseklik-rüzgâr basıncı profili



Şekil 4.14 TS EN 1991 1-4 ve SRM'ye göre yükseklik-rüzgâr kuvveti profili

Seçilen yüksek bina üzerinde alınan üç nokta için yapılan eşdeğer statik rüzgâr yükü ve dinamik rüzgâr yükü hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplar sonucu Şekil 4.12, 4.13 ve 4.14'te toplam rüzgâr hızı profili rüzgâr basıncı ve rüzgâr kuvveti karşılaştırma grafikleri elde edilmiştir. Grafikler sonucunda TS EN 1991 1-4 (2007)'e göre hesaplanan eşdeğer statik rüzgâr yüklerinin ve Spektral Temsil Yöntemi (SRM)'ye göre hesaplanan dinamik rüzgâr yüklerinin maksimum olduğu değerler yakın çıkmıştır.

BÖLÜM BEŞ

STATİK VE DİNAMİK RÜZGÂR ETKİLERİ İLE DEPREM ETKİLERİNİN YÜKSEK BİR BİNANIN DAVRANIŞINA OLAN ETKİSİNİN İNCELENMESİ İÇİN SAYISAL UYGULAMA

5.1 Giriş

Bu bölümde, rüzgâr ve deprem etkileri altında yüksek bir binanın davranışı sayısal olarak incelenmiştir. Rüzgâr etkileri, Bölüm 2’de açıklandığı şekilde eşdeğer statik rüzgâr etkileri için TS EN 1991 1-4 (2007) standardına göre ve dinamik rüzgâr etkileri için Spektral Temsil Yöntemi (SRM)’e göre belirlenmiştir. Ayrıca, rüzgâr etkileri ile deprem etkileri kıyaslanması için servis deprem yer hareketi olarak adlandırılan DD-4 için analizler yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Bu tez kapsamında, İzmir’de yapılması planlanan, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) Bölüm 13’e ve TS500 (2000)’e uygun olarak konut + iş yeri olarak tasarlanmış toplam 52 katlı betonarme yüksek bir binanın, eşdeğer statik ve dinamik rüzgâr yükleri altında davranışı incelenmiştir. Rüzgâr yükü, yüksek bina yüzey alanına eşdeğer statik etki etmesi durumu olarak TS EN 1991 1-4 standardına göre ve dinamik rüzgâr yükü olarak Spektral Temsil Yöntemi (SRM)’ne göre zamana bağlı sentetik rüzgâr hızı kayıtları üretilmiştir.

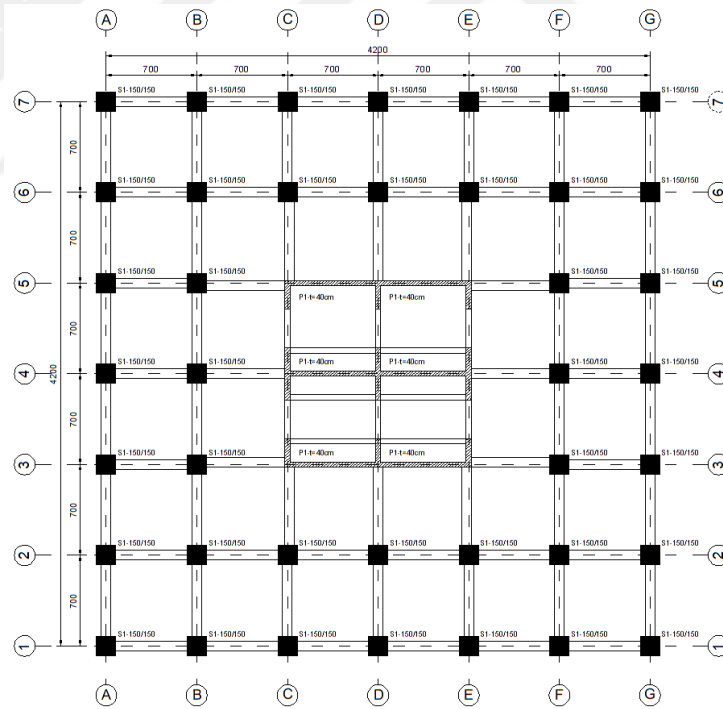
Ayrıca, rüzgâr analizleri bina konfor durumu için yapılması nedeniyle deprem analizlerinde kullanılan elastik yer ivme tasarım spektrumunda ve ölçeklenmiş gerçek ivme kayıtlarında konfor durumunu dikkate almak için deprem düzeyi olarak DD-4 seçilmiştir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)’e göre DD-4 deprem düzeyi için deprem yükleri elde edilmiştir. Rüzgâr ve deprem yükleri altında yüksek binadan elde edilen sonuçlardan, kat yatay yer değiştirmeleri, kat kesme kuvvetleri ve kat momentleri gibi değerler karşılaştırılarak eşdeğer statik ve dinamik rüzgâr ve deprem yüklerinin yüksek binada oluşturduğu etkiler irdelenmiştir.

5.2 İncelenen Yüksek Binanın Genel Özellikleri

İncelenen örnek betonarme yüksek bina İzmir yeni kent merkezi olarak tanımlanan bölgede yer almakta olup binanın ön tasarımı TS 500 (2000) ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) kıstaslarına uygun olarak mod birleştirme yöntemi ile yapılmıştır.

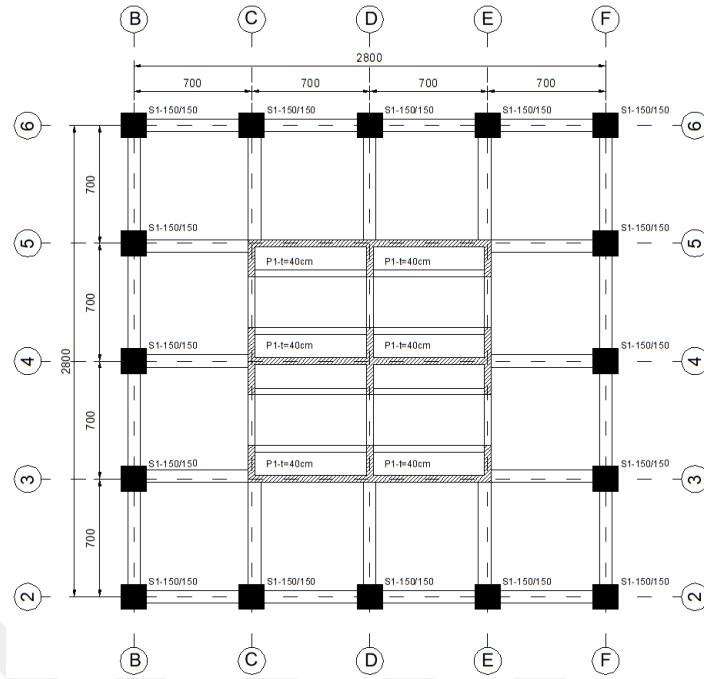
İncelenen örnek betonarme yüksek bina 1 zemin ve 51 normal kat olmak üzere 52 kattan oluşmaktadır. Yüksek yapının ilk 6 katı podyum ve geriye kalan 46 katı normal plandan oluşmaktadır.

Zemin kat yüksekliği 5 metre ve geriye kalan katların yüksekliği 3,7 metre olmak üzere toplam bina yüksekliği 193,7 metredir. Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de, bina tipik kat kalıp planları, Şekil 5.3’de bina boy kesiti verilmiştir.



Şekil 5.1 Seçilen yüksek binanın 1. ve 6. kat arası kat kalıp planı

İncelenen yüksek binaya ait genel özellikler ve malzeme özellikleri Tablo 5.1 ve Tablo 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.2 Seçilen yüksek binanın 7. ve 52. katlar arası kat kalıp planı

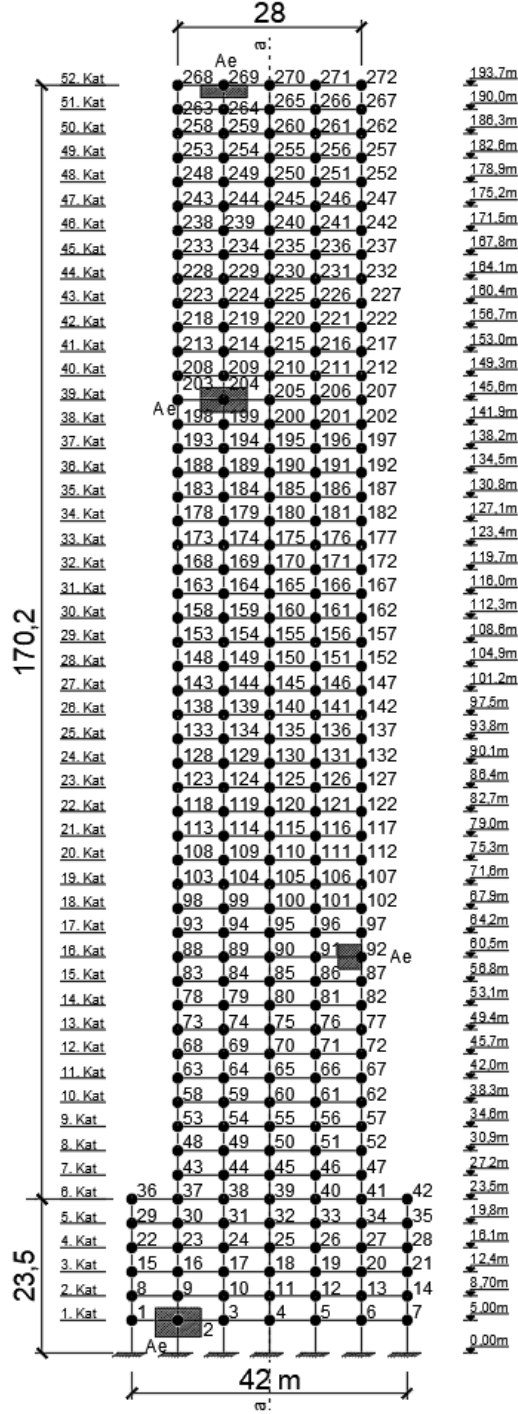
Tablo 5.1 Bina genel özellikleri

Kat Sayısı	1 Zemin + 51 Normal	
Kat Yükseklikleri	Zemin Kat	5,0 m
	1 - 51 Normal Kat	3,70 m
Toplam Bina Yüksekliği	193,7m	
Plan Boyutları	Zemin Kat – 6. Kat	42 m x 42 m
	7. Kat – 51 Kat	28 m x 28 m
Kiriş Boyutu	75 cm x 100 cm	
Kolon Boyutu	150 cm x 150 cm	
Bina Taşıyıcı Sistemi	Betonarme Perde + Çerçeve	
Kullanım Amacı	Konut + İşyeri	
Bina Ağırlığı	735 500 kN	

Tablo 5.2 Analizlerde kullanılan bina malzeme sınıfları

Beton Sınıfı	Kolon-Kiriş C30/37 ($E_c=32000$ MPa; $f_{ck}=30$ MPa) Perde C50/60 ($E_c=37000$ MPa; $f_{ck}=50$ MPa)
Çelik Sınıfı	B420c ($E_s=200000$ MPa; $f_{yk}=420$ MPa)

İzmir ili yeni kent merkezi Bayraklı ilçesinde yer alan kullanım amacı iş yeri ve konut olarak tasarlanan bina, Bina Kullanım Sınıfı olarak (BKS) 3'e ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) Bölüm 3'e göre yüksek binalar Bina Yükseklik Sınıfı (BYS) olarak 1'e girmektedir.



Şekil 5.3 Seçilen yüksek binanın boykesiti

5.3 İncelenen Yüksek Bina Tasarımında Kullanılan Düşey Yük ve Yük Birleşimleri

İncelenen yüksek binanın tasarımı için düşey yükler ile rüzgâr ve deprem durumlarını içeren yatay yükleri dikkate alan yük birleşimleri TBDY 2018 ve TS500 standardına uygun olarak oluşturulmuştur. Tasarımda kullanılan düşey yükler Tablo 5.3'te ve yük birleşimleri Tablo 5.4'te ifade edilmiştir.

Tablo 5.3 Analizlerde kullanılan düşey yükler

Sabit Yükler		
Cam Kaplama Yüğü		0,260 t/m
Döşeme Kaplama Yüğü		0,100 t/m ²
Hareketli Yükler		
Normal Kat Oda Döşemeleri	0,350 t/m ²	0,350 t/m ²
Merdivenler	0,500 t/m ²	0,500 t/m ²

Tablo 5.4 Analizlerde kullanılan yük birleşimleri

Düşey Yüğü	1,4G+1,6Q
Rüzgâr Yüğü	0,9G+1,3W
	G+1,3Q+1,3W
Deprem Yüğü	G+Q ±1,0EX±0,3EY+0,3EZ
	G+Q±0,3EX±1,0EY+0,3EZ
	0,9G±1,0EX±0,3EY-0,3EZ
	0,9G±0,3EX±1,0EY-0,3EZ

5.4 İncelenen Yüksek Binaya Etkiyen Rüzgâr Yüklerinin Hesaplanması

Bu bölümde, incelenen 52 katlı yüksek binaya etki edecek eşdeğer statik rüzgâr yüklerinin ve dinamik rüzgâr yüklerinin belirlenmesine yönelik yapılan hesaplar açıklanmıştır. Ayrıca, eşdeğer statik rüzgâr ve dinamik rüzgâr hesaplarında kullanılan parametreler Tablo 5.5'de ifade edilmiştir.

Tablo 5.5 Eşdeğer statik ve dinamik rüzgâr analizlerinde kullanılan parametreler

Esas Rüzgâr Hızının Temel Değeri $v_{b,0}$	30 m/sn
Doğrultu Katsayısı c_{dir}	1,0
Mevsim Katsayısı c_{season}	1,0
Engobelilik Uzunluğu z_0	1 m
z_{min}	10 m
Referans Yük. Alt $z_{s,alt}$	42 m
Referans Yük. Üst $z_{s,üst}$	165,7 m
Orografi Katsayısı $c_{0(z)}$	1,0
Havanın Özgül Ağırlığı ρ	1,25 kg/m ³
Yapısal Katsayı $C_s C_d$	0,838
Olasılık Parametresi C_x	11,5
Olasılık Parametresi C_z	11,5
Zaman Aralığı Δt	0,5 sn
Tüm Zaman Serisi T	500 sn

İncelenen yüksek bina Bayraklı/İZMİR bölgesinde yapılacak olması, çevresel koşulları olarak şehir merkezinde bulunması ve etrafında çeşitli yükseklikte bina olmasından dolayı rüzgâr analizlerinde engobelilik uzunluğunu belirlenmesi amacıyla, yüzeyinin en az % 15'i, yükseklik ortalaması 15 m'yi aşan binalarla kaplı alan olarak IV. arazi kategorisine girmektedir.

Bölüm 2.2.10.1'de açıklandığı şekilde binaların " $h > 2b$ " durumunda yer seviyesinden " b " kadar yüksekliğe kadar, " b " yüksekliğinde meydana gelen rüzgâr basıncı alınmaktadır. Bu durumdan dolayı alt bölümlerde " $b_1 = 42$ m" için bina yer seviyesinden 42m yüksekliğe kadar 42m'de oluşan rüzgâr basıncı değerleri kullanılacaktır. Ayrıca Bina tepe kotundan " b " kadar aşağıdaki yükseklikten bina tepe kotu arası oluşan rüzgâr basıncı değeri kullanılacaktır. Bu durumdan dolayı baza katından sonraki planda daralan normal katın genişliği alınarak " $b_2 = 28$ m" için bina tepe kotundan 28m aşağı yükseklik 165,7m'ye kadar 193,7m'de oluşan rüzgâr basıncı değerleri kullanılacaktır.

Eşdeğer statik rüzgâr kuvvetleri ve dinamik rüzgâr kuvvetleri rüzgâr akıntısının geldiği doğrultuya dik yüksek bina cephesinde yer alan 272 adet kolon-kiriş bağlantı noktasına etki ettirilmiştir. Bu kolon-kiriş noktaları Şekil 5.3'te gösterilmiştir.

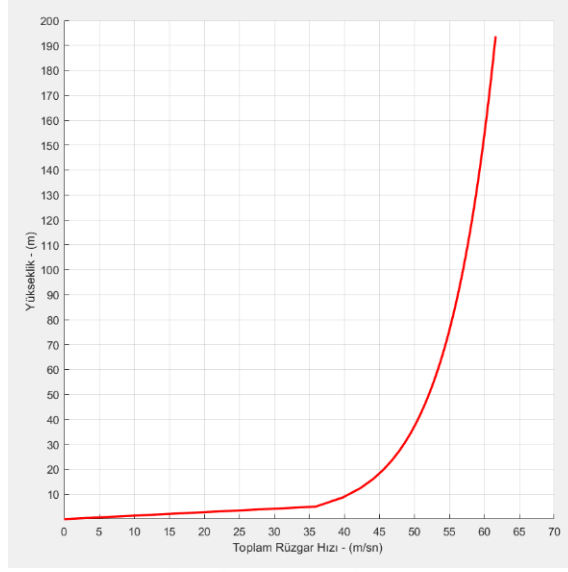
Eşdeğer statik rüzgâr kuvvetleri ve dinamik rüzgâr kuvvetleri hesaplarında basınç cephe katsayısı 0,8 ve emme cephe katsayısı 0,7 alınmıştır. Rüzgâr kuvvetlerini ifade eden aşağıdaki şekillerde basınç cephesi ve emme cephesinde oluşan rüzgâr kuvvetlerinin toplamı olarak verilmiştir.

Bölüm 5.4.1'de elde edilen eşdeğer statik rüzgâr yükü ve Bölüm 5.4.2'de elde edilen dinamik rüzgâr yükü hesaplarında Şekil 5.3'te gösterilen a-a doğrultusu üzerindeki kolon-kiriş bağlantı noktaları için rüzgâr profili ve rüzgâr kuvveti grafikleri çizdirilmiştir.

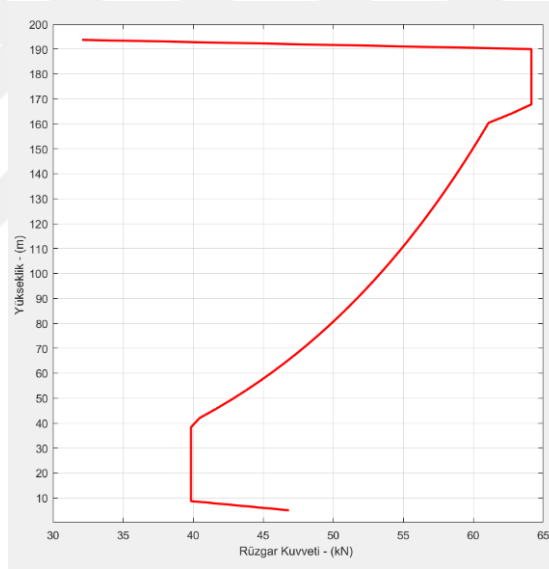
5.4.1 TS EN 1991 1-4'e Göre Eşdeğer Statik Rüzgâr Yüklerinin Hesaplanması

Seçilen yüksek binaya etkiyen eşdeğer statik rüzgâr yükleri Bölüm 2.2'de detayları açıklanan TS EN 1991 1-4 (2007)'e göre hesaplanmıştır. Yüksekliğe bağlı olarak yüksek bina kat düzeylerinde oluşan rüzgâr hızı ve rüzgâr basınçları hesaplanmıştır.

Yapılan hesaplarda arazi koşullarına ve yüksekliğe bağlı olarak ortalama hızlar elde edilmiştir. Rüzgâr akıntısının değişim değerini veren ifade türbülans hızı değeridir. Bu iki bileşenin toplanması ile toplam rüzgâr hızı değerleri elde edilmiştir. Rüzgâr yüklerinin elde edilebilmesi için ifade edilen toplam rüzgâr hızı değerleri Davenport'un (1961) önerdiği yarı statik (Quasi-Static) yöntem ile yük/alan birimi olarak alansal yüke dönüştürülmüştür. Hesaplanan alansal rüzgâr etkisi Şekil 5.3'te gösterilen noktaların etki alanları ile çarpılarak yüksek binaya etkiyen eşdeğer statik rüzgâr kuvvetleri elde edilmiştir. Yüksek binaya etkiyen rüzgâr etkileri; rüzgâr hızı profili ve rüzgâr kuvvetleri olarak aşağıda Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te verilmiştir.



Şekil 5.4 TS EN 1991 1-4 rüzgâr hızı profili



Şekil 5.5 TS EN 1991 1-4 rüzgâr kuvveti grafiği

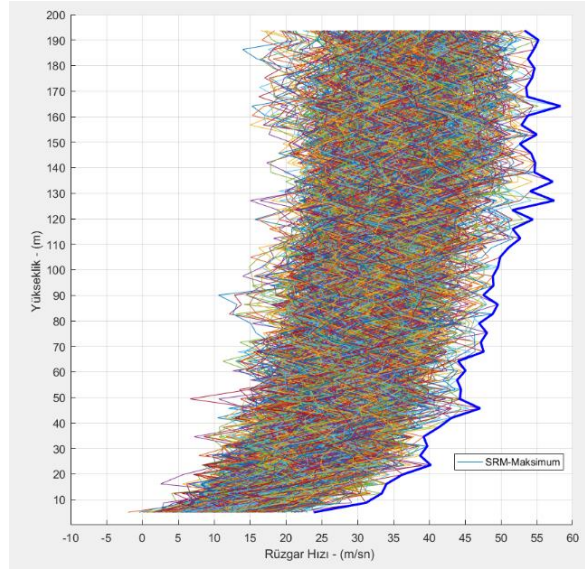
5.4.2 Spektral Temsil Yöntemi'ne Göre Dinamik Rüzgâr Yüklerinin Hesaplanması

Bölüm 2.3'de detayları açıklanan Spektral Temsil Yöntemi (SRM) ile rüzgâr akıntısının zamana bağlı olarak dalgalanma bileşenleri elde edilmiştir. Yöntemde spektral güç yoğunluk fonksiyonları ile güç spektral yoğunluk matrisi oluşturulmuştur. Bu matris Cholesky metodu ile güç yoğunluk matrisi, Hermit polinomlarından oluşan alt üçgen matrisine ayrıştırılmıştır. Shinozuka ve Jan (1972) tarafından geliştirilen

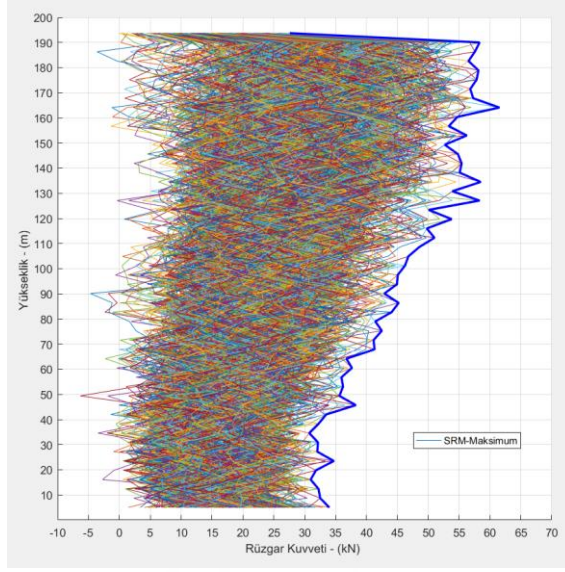
yöntem kullanılarak zamana ve yüksekliğe bağlı olarak dalgalanma bileşenleri elde edilmiştir. Yükseklik ile değişen ortalama rüzgâr hızı bileşeni ve rüzgâr dalgalanma bileşenin toplanması ile sentetik rüzgâr hızı kayıtları elde edilmiştir. Olasılık durumlarını arttırmak ve daha fazla sayıda farklı sentetik rüzgâr hızı kayıtlarının etkisini inceleyebilmek için toplam on adet rastgele sentetik rüzgâr zaman kayıt seti oluşturulmuştur.

Dinamik rüzgâr yüklerinin elde edilebilmesi için dinamik rüzgâr zaman serilerinde ifade edilen dinamik rüzgâr hızı değerleri Davenport'un (1961) önerdiği yarı statik (Quasi-Static) yöntem ile yük/alan birimi olarak alansal yüke dönüştürülmüştür. Hesaplanan dinamik alansal rüzgâr etkisi Şekil 5.3'te gösterilen noktaların etki alanları ile çarpılarak yüksek binaya etkiyen dinamik rüzgâr kuvvetleri elde edilmiştir.

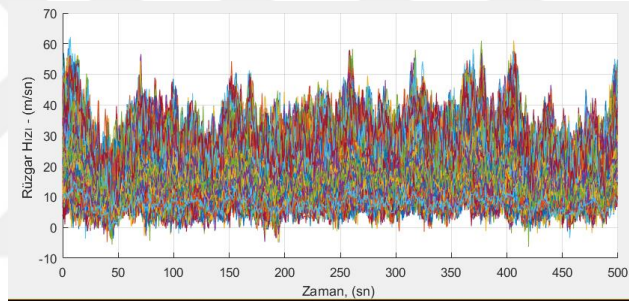
Yüksek binaya etkiyen dinamik rüzgâr etkileri; sentetik rüzgâr kayıtları, dinamik rüzgâr hızı profili ve dinamik rüzgâr kuvvetleri olarak aşağıda Şekil 5.6, 5.7, ... 5.34 ve 5.35'te verilmiştir. Ayrıca, sentetik rüzgâr hızı kayıtları Şekil 5.3'te a-a doğrultusunda gösterilen kolon-kiriş bağlantı noktaları için çizdirilmiştir.



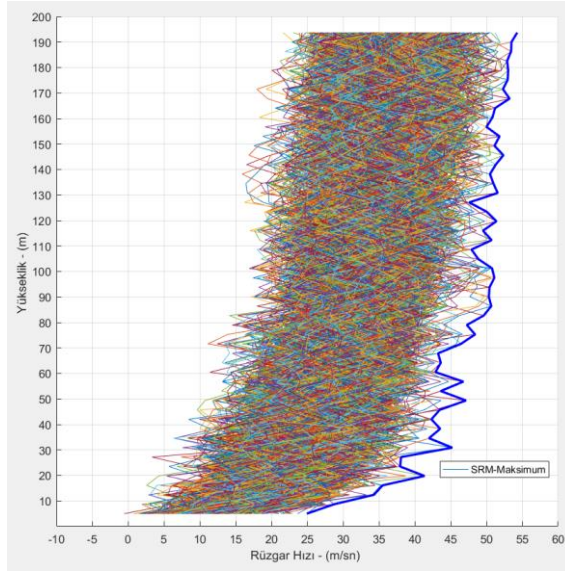
Şekil 5.6 Dinamik rüzgâr hızı için oluşturulan 1. set rüzgâr profili



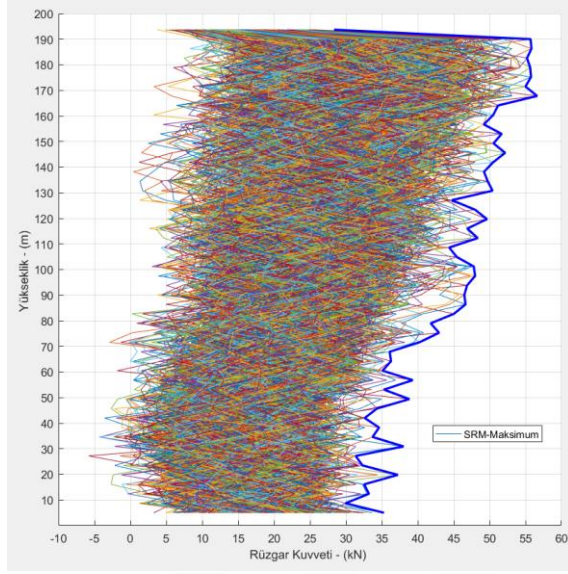
Şekil 5.7 Dinamik rüzgâr kuvveti için oluşturulan 1. set rüzgâr kuvvetleri



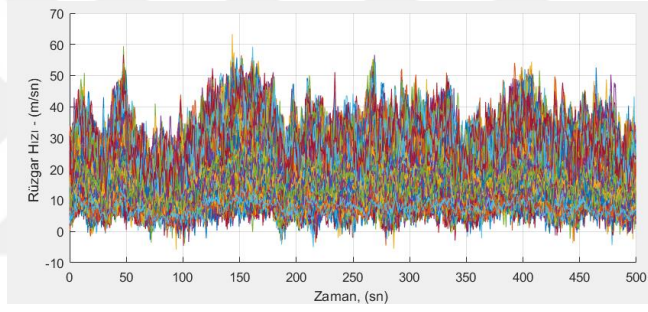
Şekil 5.8 Dinamik rüzgâr hızı için oluşturulan 1. set rüzgâr hızı-zaman grafikleri



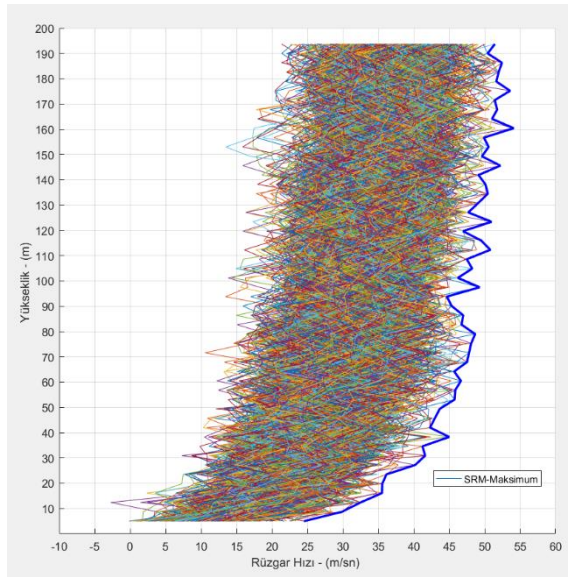
Şekil 5.9 Dinamik rüzgâr hızı için oluşturulan 2. set rüzgâr profili



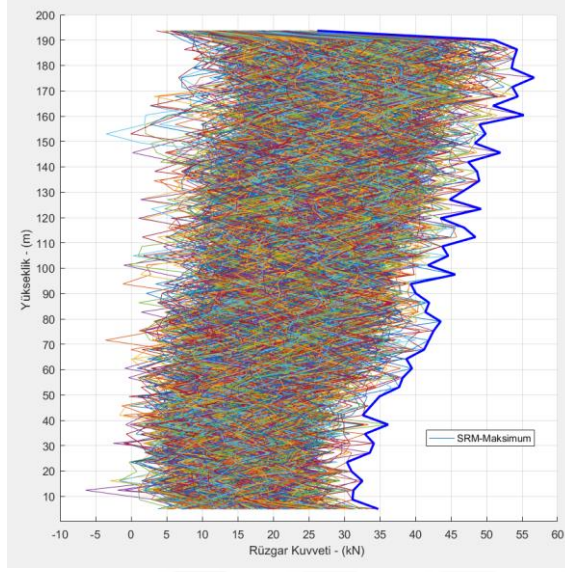
Şekil 5.10 Dinamik rüzgâr kuvveti için oluşturulan 2. set rüzgâr kuvvetleri



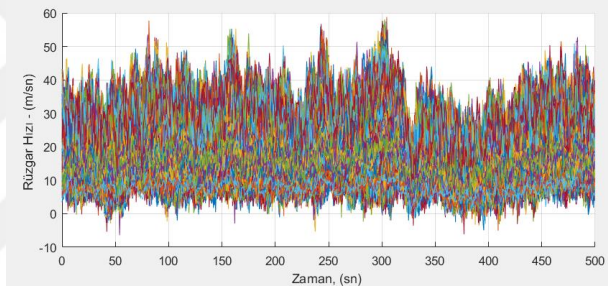
Şekil 5.11 Dinamik rüzgâr hızı için oluşturulan 2. set rüzgâr hızı-zaman grafikleri



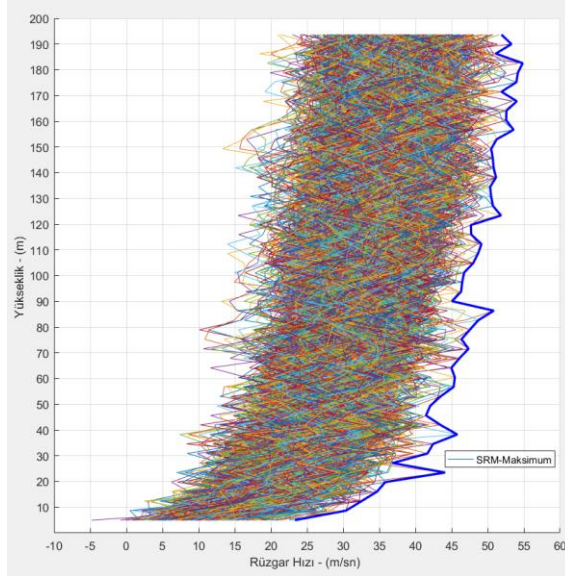
Şekil 5.12 Dinamik rüzgâr hızı için oluşturulan 3. set rüzgâr profili



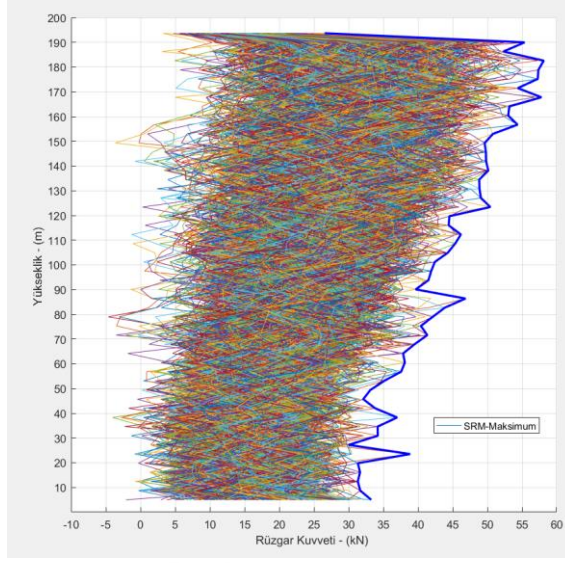
Şekil 5.13 Dinamik rüzgâr kuvveti için oluşturulan 3. set rüzgâr kuvvetleri



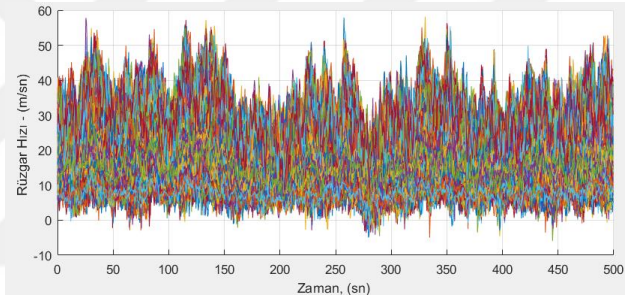
Şekil 5.14 Dinamik rüzgâr hızı için oluşturulan 3. set rüzgâr hızı-zaman grafikleri



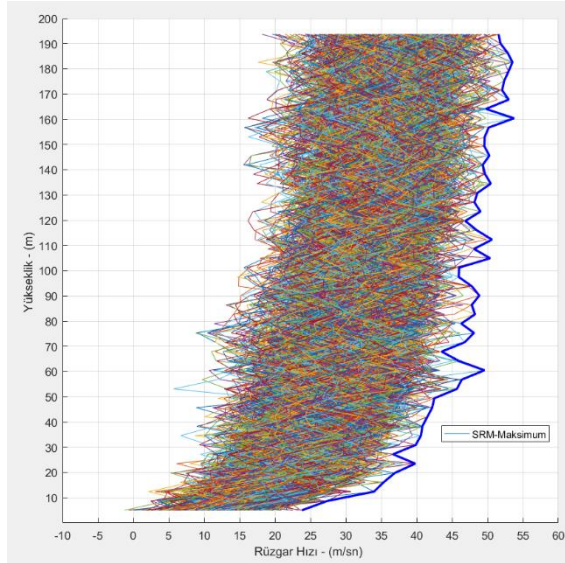
Şekil 5.15 Dinamik rüzgâr hızı için oluşturulan 4. set rüzgâr profili



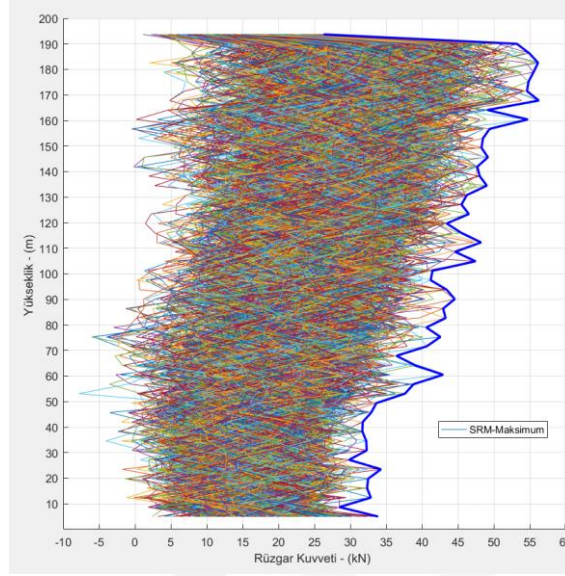
Şekil 5.16 Dinamik rüzgâr kuvveti için oluşturulan 4. set rüzgâr kuvvetleri



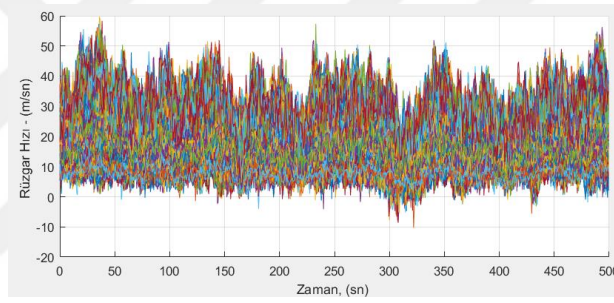
Şekil 5.17 Dinamik rüzgâr hızı için oluşturulan 4. set rüzgâr hızı-zaman grafikleri



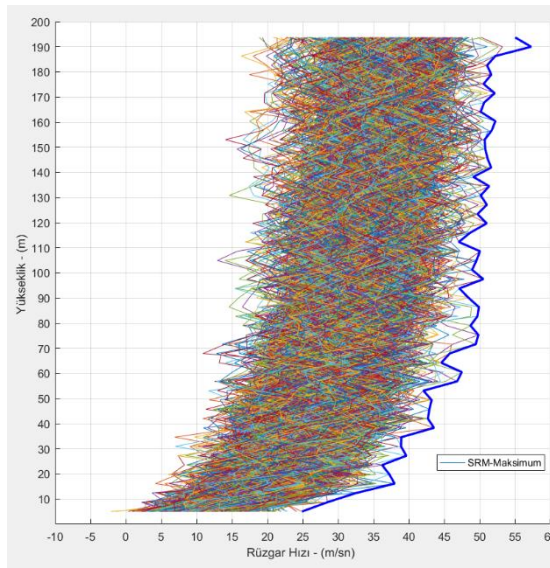
Şekil 5.18 Dinamik rüzgâr hızı için oluşturulan 5. set rüzgâr profili



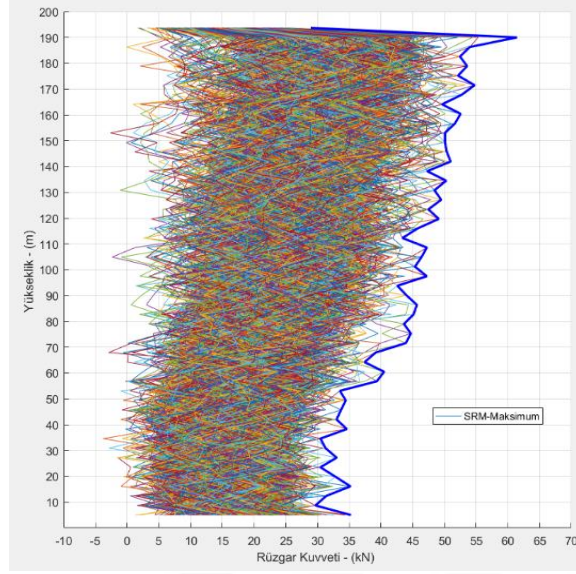
Şekil 5.19 Dinamik rüzgâr kuvveti için oluşturulan 5. set rüzgâr kuvvetleri



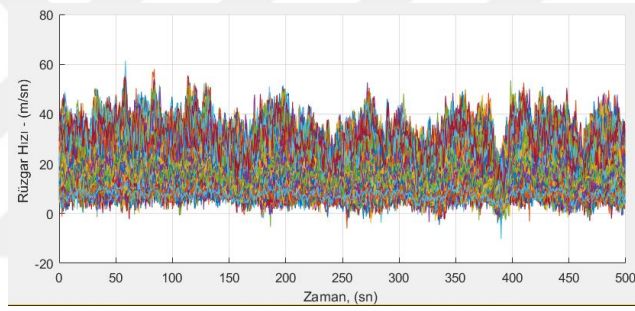
Şekil 5.20 Dinamik rüzgâr hızı için oluşturulan 5. set rüzgâr hızı-zaman grafikleri



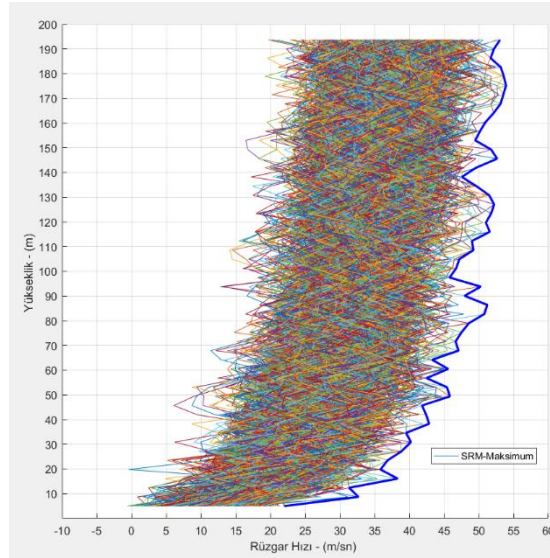
Şekil 5.21 Dinamik rüzgâr hızı için oluşturulan 6. set rüzgâr profili



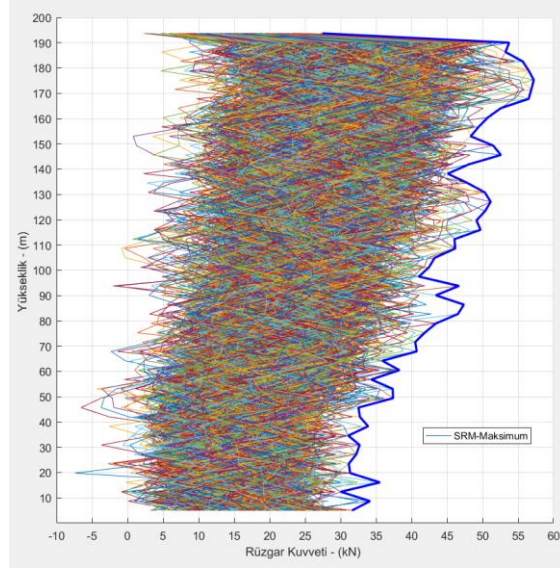
Şekil 5.22 Dinamik rüzgâr kuvveti için oluşturulan 6. set rüzgâr kuvvetleri



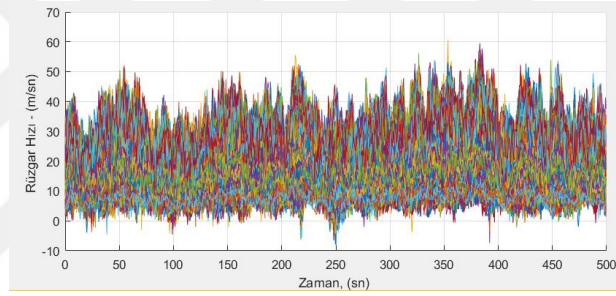
Şekil 5.23 Dinamik rüzgâr hızı için oluşturulan 6. set rüzgâr hızı-zaman grafikleri



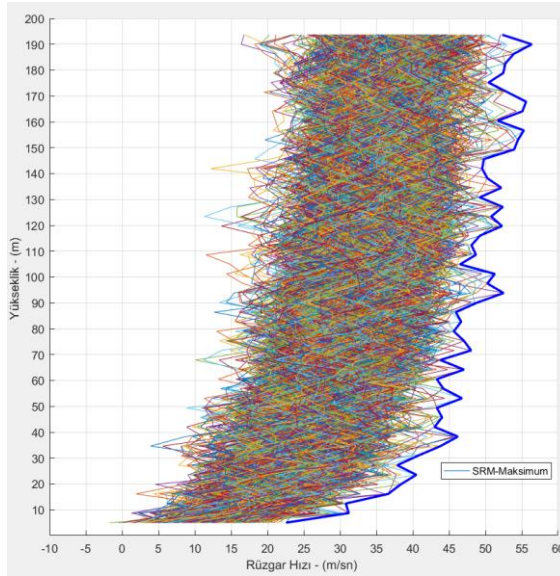
Şekil 5.24 Dinamik rüzgâr hızı için oluşturulan 7. set rüzgâr profili



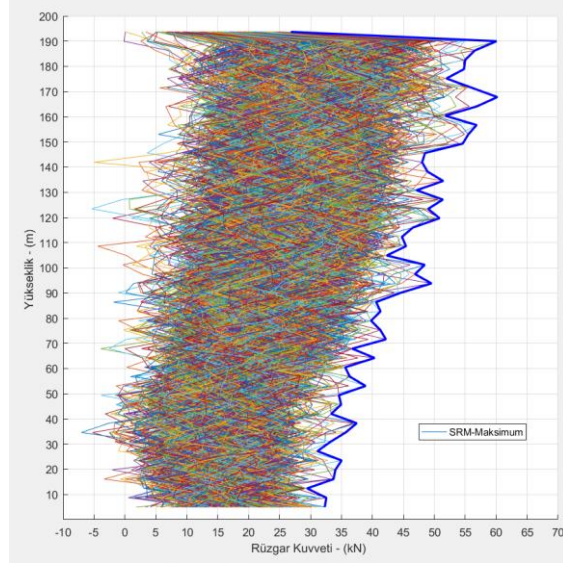
Şekil 5.25 Dinamik rüzgâr kuvveti için oluşturulan 7. set rüzgâr kuvvetleri



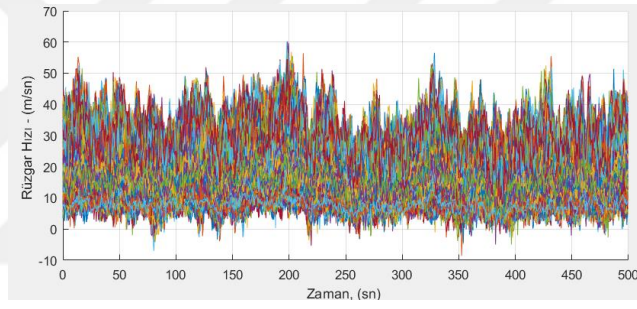
Şekil 5.26 Dinamik rüzgâr hızı için oluşturulan 7. set rüzgâr hızı-zaman grafikleri



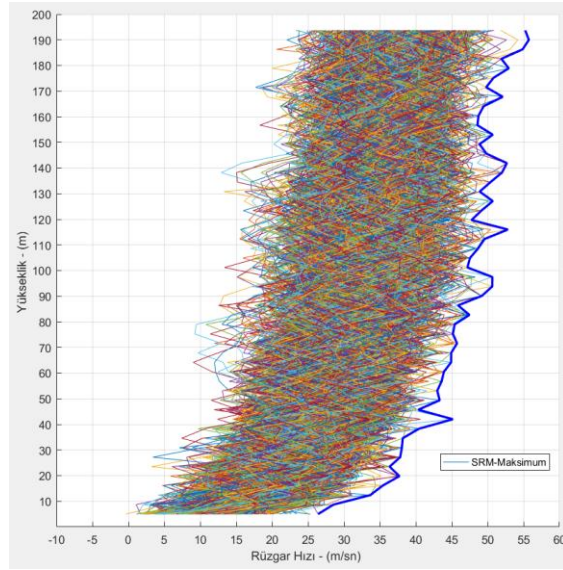
Şekil 5.27 Dinamik rüzgâr hızı için oluşturulan 8. set rüzgâr profili



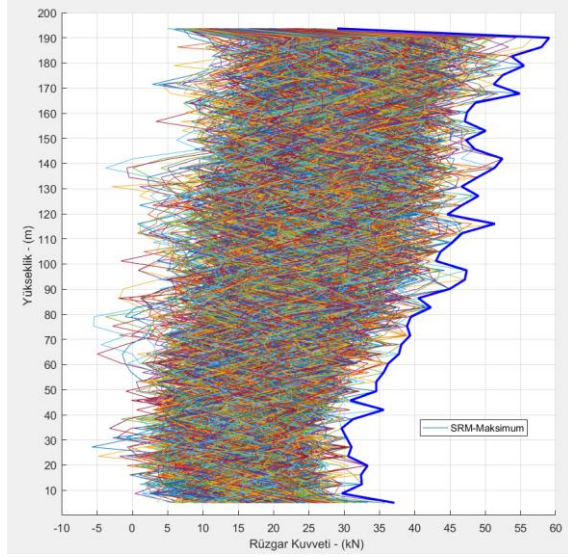
Şekil 5.28 Dinamik rüzgâr kuvveti için oluşturulan 8. set rüzgâr kuvvetleri



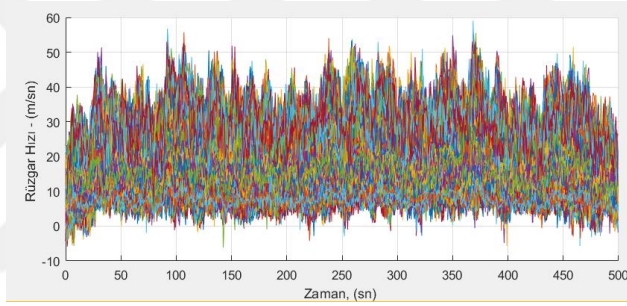
Şekil 5.29 Dinamik rüzgâr hızı için oluşturulan 8. set rüzgâr hızı-zaman grafikleri



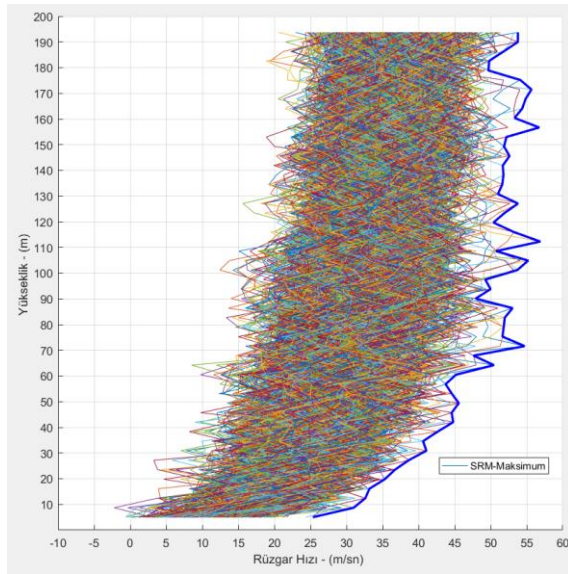
Şekil 5.30 Dinamik rüzgâr hızı için oluşturulan 9. set rüzgâr profili



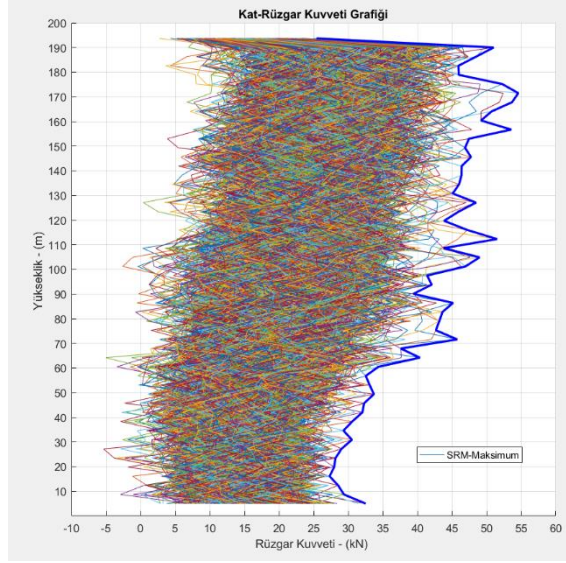
Şekil 5.31 Dinamik rüzgâr kuvveti için oluşturulan 9. set rüzgâr kuvvetleri



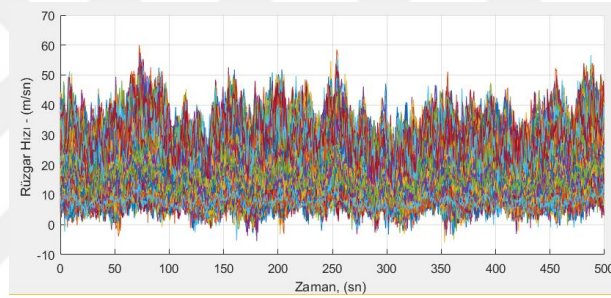
Şekil 5.32 Dinamik rüzgâr hızı için oluşturulan 9. set rüzgâr hızı-zaman grafikleri



Şekil 5.33 Dinamik rüzgâr hızı için oluşturulan 10. set rüzgâr profili



Şekil 5.34 Dinamik rüzgâr kuvveti için oluşturulan 10. set rüzgâr kuvvetleri



Şekil 5.35 Dinamik rüzgâr hızı için oluşturulan 10. set rüzgâr hızı-zaman grafikleri

5.5 Servis Deprem Düzeyi (DD-4) İçin Yapılan Analizlerde Kullanılan Ölçeklenmiş Gerçek Yer İvme Kayıtlarının Belirlenmesi

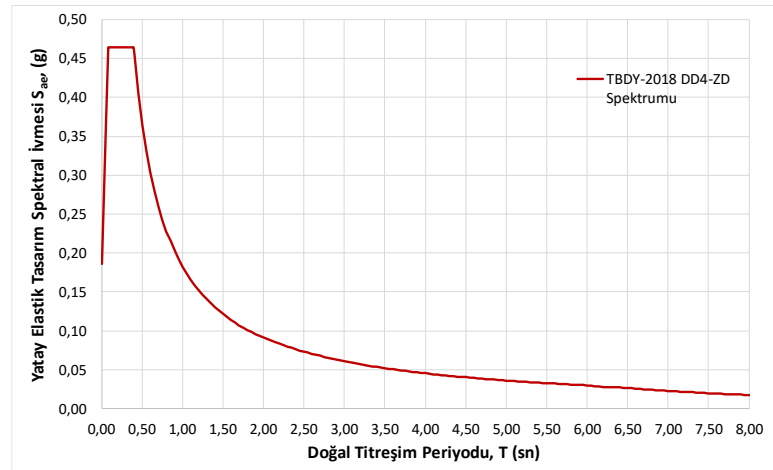
Seçilen yüksek binaya etkiyen dinamik deprem yükleri Bölüm 3'te detayları açıklanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)'e göre hesaplanmış elastik tasarım ivme spektrumunu hedef olarak ölçeklendirilmiş gerçek ivme kayıtları seçilmiştir.

Konfor durumu için rüzgâr ve deprem yükleri altında yüksek binanın davranışı kıyaslanmasından dolayı deprem düzeyi, servis deprem yer hareketi olarak DD-4 alınmıştır.

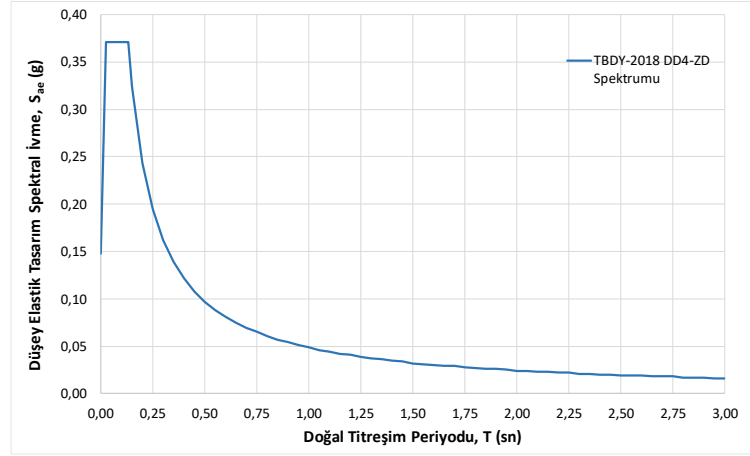
Deprem düzeyi için, 50 yılda aşılma olasılığının %68 (30 yılda aşılma olasılığı %50) ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 43 yıl olduğu çok sık deprem yer hareketini niteleyen Deprem Yer Hareket Düzeyi-4 (DD-4) depremi için Şekil 5.36 ve Şekil 5.37’de gösterilen yatay ve düşey elastik deprem yer tasarım spektrumları “Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması”ndan oluşturulmuştur. Ayrıca, deprem analizlerinde kullanılacak parametreler Tablo 5.6’da verilmiştir.

Tablo 5.6 Deprem analizlerinde kullanılan parametreler

Enlem	38,446547°
Boylam	27,179635°
Deprem Düzeyi	DD-4
Yerel Zemin Sınıfı	ZD
S_s	0,297g
S_1	0,076g
F_s	1,562
F_1	2,4
S_{DS}	0,464g
S_{D1}	0,182g



Şekil 5.36 TBDY 2018’de ZD türü zemin için tanımlanan yatay elastik tasarım ivme spektrumu



Şekil 5.37 TBDY 2018’de ZD türü zemin için tanımlanan düşey elastik tasarım ivme spektrumu

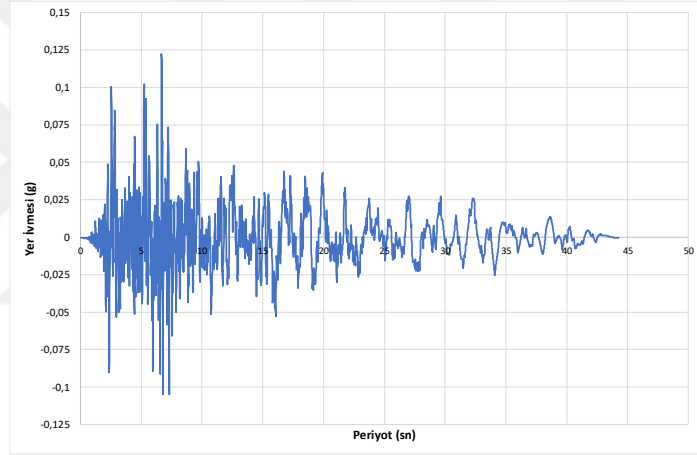
Yapının doğrusal dinamik analizlerinde DD-4 deprem düzeyi için dinamik özellikleri Tablo 5.7’de tanımlanan 11 farklı depremin birbirine dik iki ve düşey bileşenine ait ivme kayıtları kullanılmıştır. Doğrusal dinamik analizlerde kullanılan bu deprem kayıtlarının, elastik ivme spektrumlarının ortalaması “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)’nde tanımlanan ZD grubu zemin sınıfı için DD-4 deprem düzeyine ait elastik ivme spektrumu ile uyumlu olacak şekilde ölçeklendirilmiştir.

Deprem yüklerinin belirlenmesi aşamasında Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)’e göre tasarlanan yüksek binanın -X- ve -Y- yönü için taşıyıcı sistem davranış katsayısının, dayanım azaltma katsayısına (R/D) oranı 1 alınmıştır.

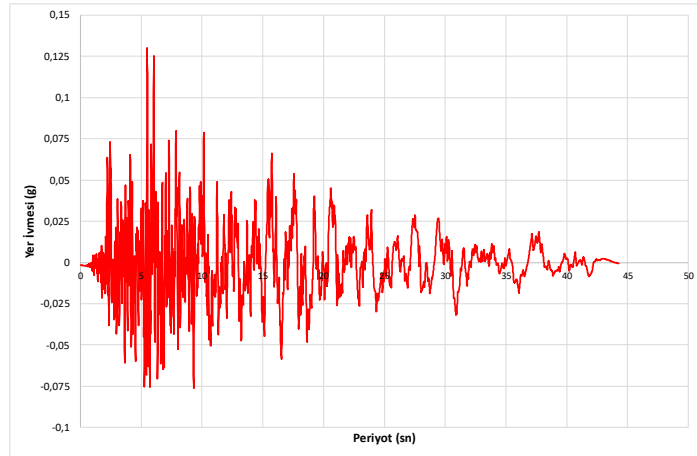
Yüksek bina yüzey alanına etkiyen rüzgâr etkilerinin ve bina kütesine etkiyen deprem etkilerinin karşılaştırmak üzere gerçekleştirilen zaman tanım alanında doğrusal dinamik analizlerinde kullanılan depremlerin moment büyüklüğü 6,0-8,0 arasındadır. İvme kayıtların alındığı istasyonların deprem odağına olan uzaklığı 12,8 km ve üzerindedir. Düzeltilmiş ve filtrelenmiş deprem kayıtları “Pacific Earthquake Engineering Research Center, (PEER, 2019)’a ait internet sitesinden alınmıştır. Analizlerde kullanılmak üzere 1966 Parkfield, 1979 Imperial Valley, 1980 Livermore, 1980 Irpinia-1, 1980 Irpinia-2, 1984 Morgan Hill, 1986 Chalfant Valley, 1992 Big Bear, 1995 Kobe, 1995 Kozani ve 1995 Dinar depremleri seçilmiş ve deprem kayıtlar Şekil 5.38, 5.39, 5.58 ve 5.59’da gösterilmiştir. Ayrıca, bu depremlerle ilgili dinamik özellikler Tablo 5.7’de verilmiştir.

Tablo 5.7 Analizlerde kullanılacak deprem kayıtlarının özellikleri

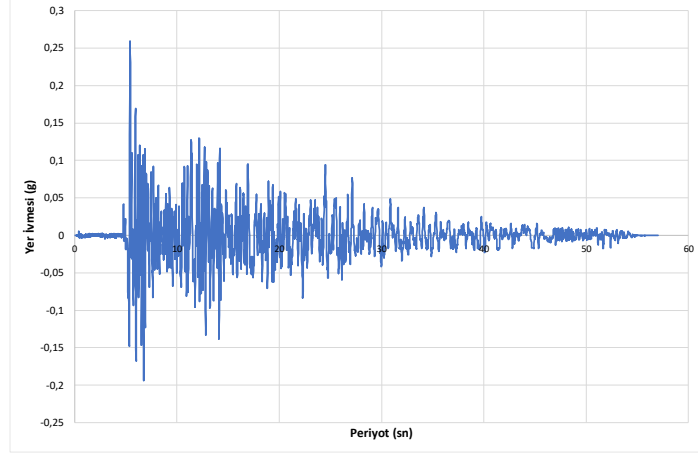
No	Deprem Adı	Yıl	Büyütme Faktörü	İstasyon Adı	Mesafe (R)	Vs30	Büyüklik (M)	Mekanizma
						m/sn		
1	Parkfield	1966	20477	Cholame - Shandon Array	17,64	408,93	6,19	Doğrultu Atımlı
2	Imperial Valley	1979	13872	Compuertas	13,52	259,86	6,53	Doğrultu Atımlı
3	Livermore	1980	21102	Tracy - Sewage Treatm Plant	53,35	650,05	5,8	Doğrultu Atımlı
4	Irpinia-1	1980	1003	Bisaccia	17,51	496,46	6,9	Normal Atımlı
5	Irpinia-2	1980	13803	Rionero In Vulture	22,68	574,88	6,2	Normal Atımlı
6	Morgan Hill	1984	20531	San Justo Dam (R Abut)	31,88	543,63	6,19	Doğrultu Atımlı
7	Chalfant Valley	1986	15996	Bishop - LADWP South St	23,38	303,47	5,77	Doğrultu Atımlı
8	Big Bear	1992	14861	San Bernardino - 2nd & Arrowhead	33,56	325,83	6,46	Doğrultu Atımlı
9	Kobe	1995	0,6285	Tadoka	31,69	312	6,9	Doğrultu Atımlı
10	Kozani	1995	4228	Kardista	79,33	300,56	6,4	Normal Atımlı
11	Dinar	1995	35656	Burdur	35,59	468,44	6,4	Normal Atımlı



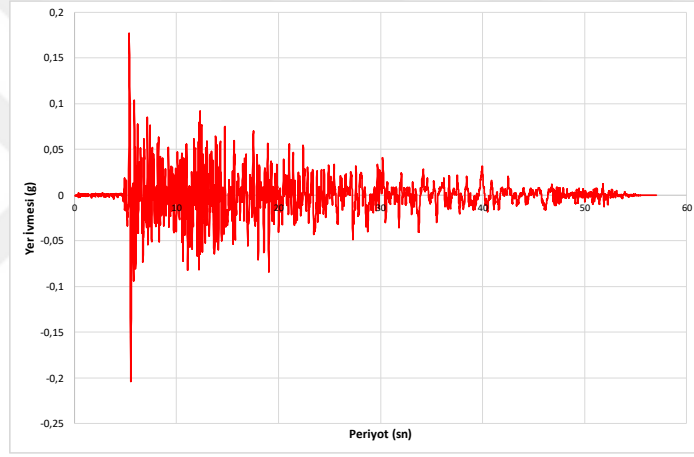
Şekil 5.38 Analizlerde kullanılan 1966 Parkfield depreminin Faya Paralel bileşenine ait ivme kaydı



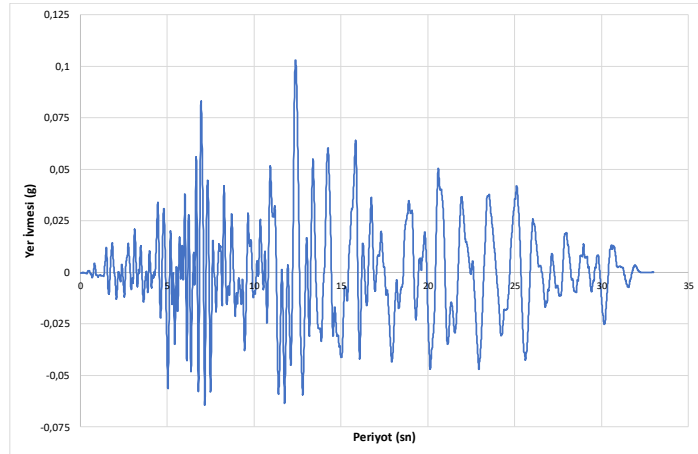
Şekil 5.39 Analizlerde kullanılan 1966 Parkfield depreminin Faya Dikey bileşenine ait ivme kaydı



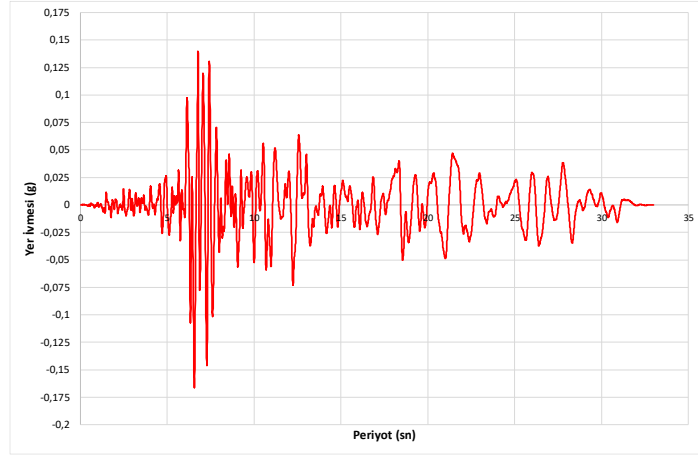
Şekil 5.40 Analizlerde kullanılan 1979 Imperial Valley depreminin Faya Paralel bileşenine ait ivme kaydı



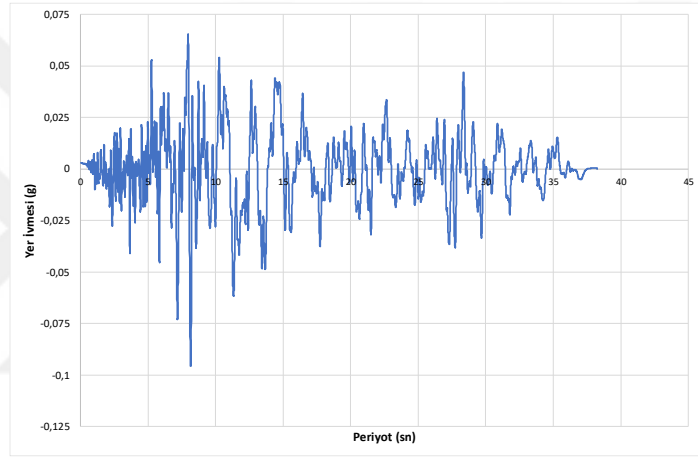
Şekil 5.41 Analizlerde kullanılan 1979 Imperial Valley depreminin Faya Dik bileşenine ait ivme kaydı



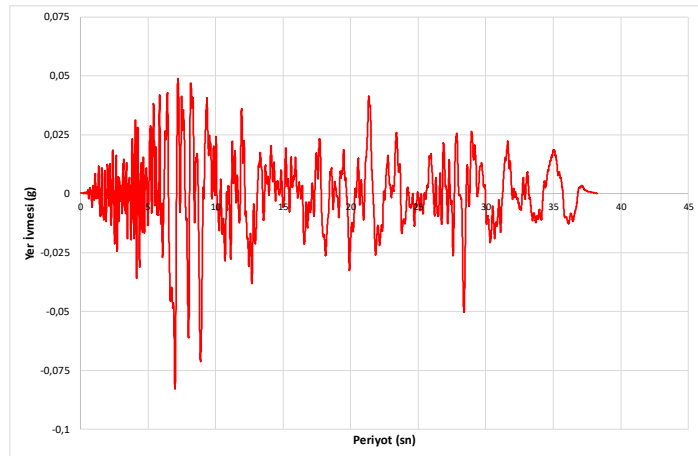
Şekil 5.42 Analizlerde kullanılan 1980 Livermore depreminin Faya Paralel bileşenine ait ivme kaydı



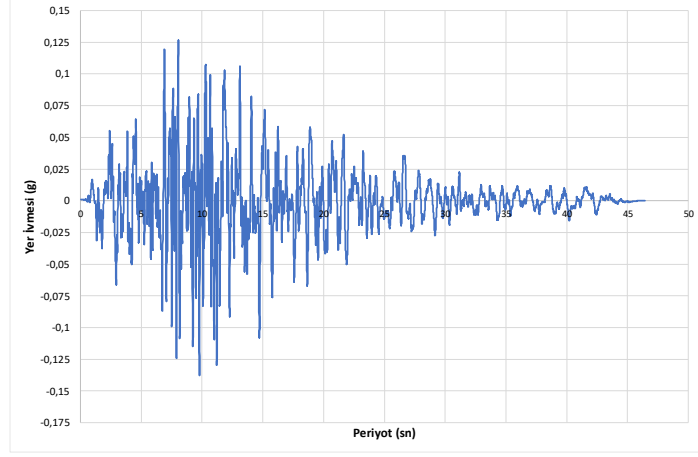
Şekil 5.43 Analizlerde kullanılan 1980 Livermore depreminin Faya Dik bileşenine ait ivme kaydı



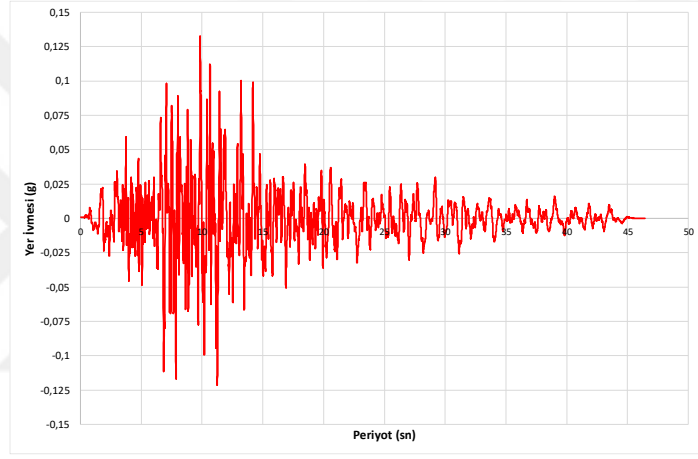
Şekil 5.44 Analizlerde kullanılan 1980 Irpinia Italy-1 depreminin Faya Paralel bileşenine ait ivme kaydı



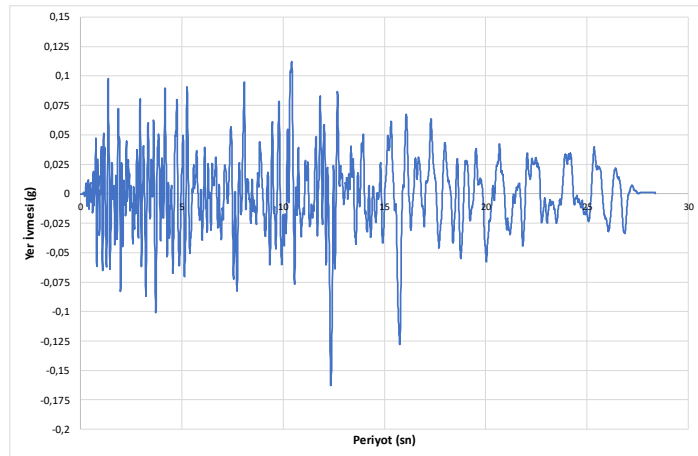
Şekil 5.45 Analizlerde kullanılan 1980 Irpinia Italy-1 depreminin Faya Dik bileşenine ait ivme kaydı



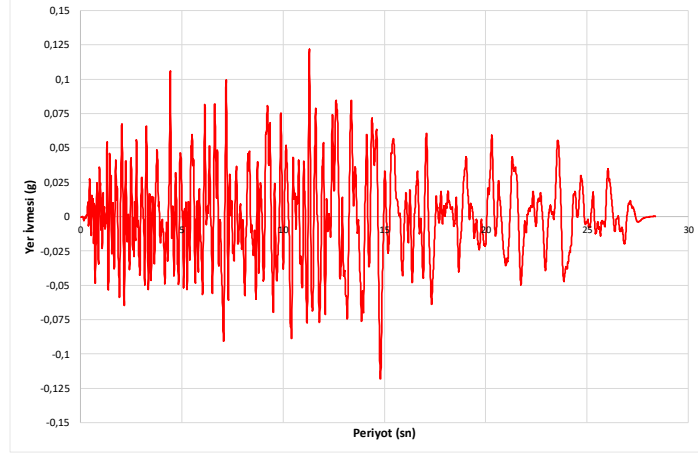
Şekil 5.46 Analizlerde kullanılan 1980 Irpinia Italy-2 depreminin Faya Paralel bileşenine ait ivme kaydı



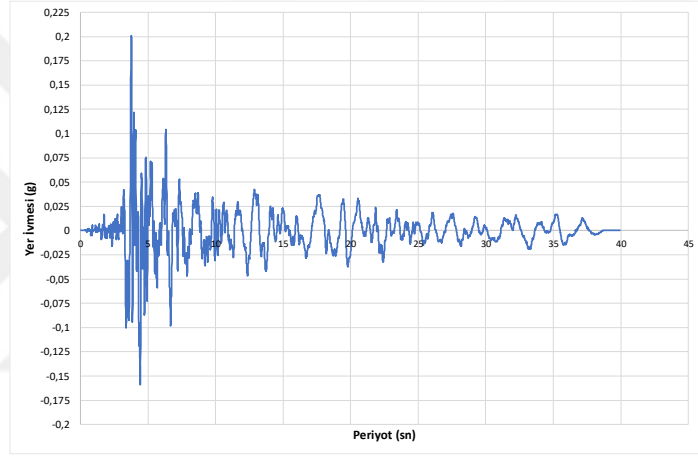
Şekil 5.47 Analizlerde kullanılan 1980 Irpinia Italy-2 depreminin Faya Dik bileşenine ait ivme kaydı



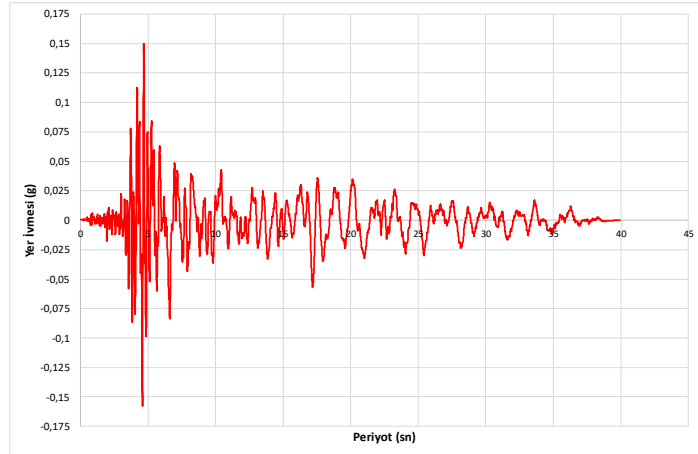
Şekil 5.48 Analizlerde kullanılan 1984 Morgan Hill depreminin Faya Paralel bileşenine ait ivme kaydı



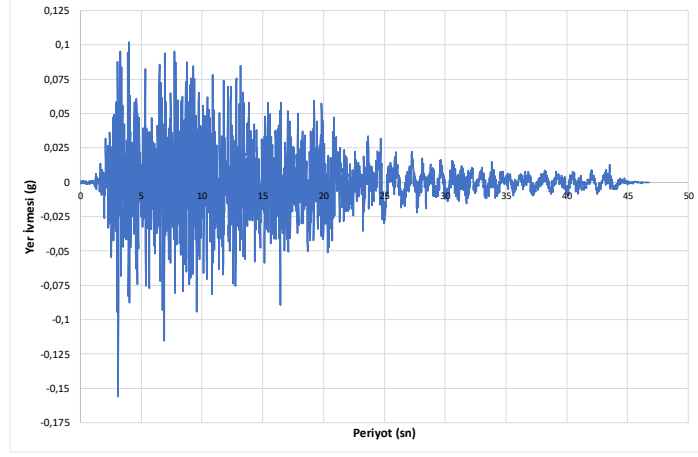
Şekil 5.49 Analizlerde kullanılan 1984 Morgan Hill depreminin Faya Dik bileşenine ait ivme kaydı



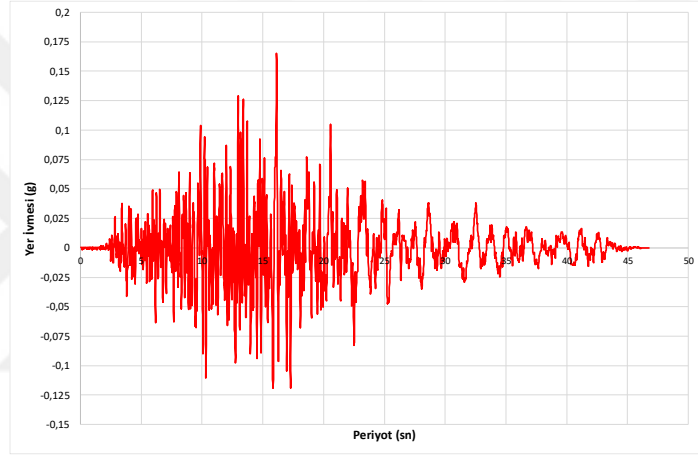
Şekil 5.50 Analizlerde kullanılan 1986 Chalfant Valley depreminin Faya Paralel bileşenine ait ivme kaydı



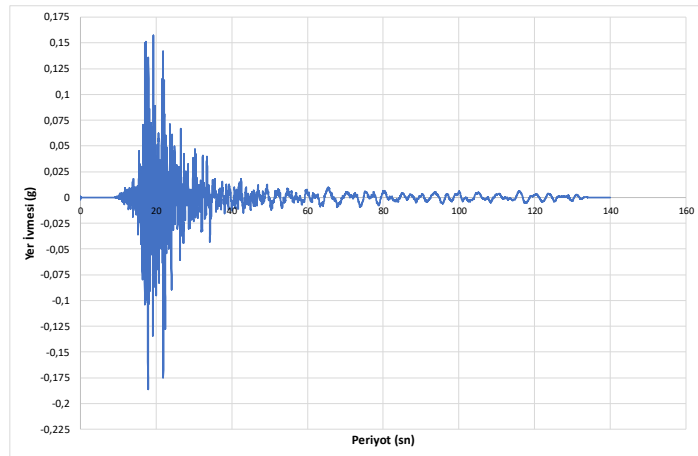
Şekil 5.51 Analizlerde kullanılan 1986 Chalfant Valley depreminin Faya Dik bileşenine ait ivme kaydı



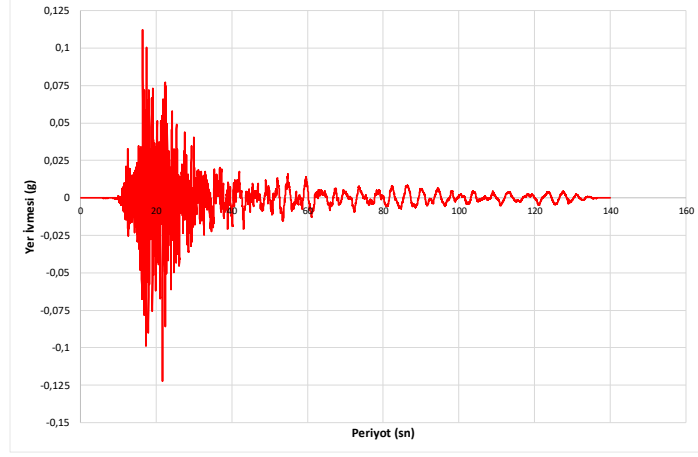
Şekil 5.52 Analizlerde kullanılan 1992 Big Bear depreminin Faya Paralel bileşenine ait ivme kaydı



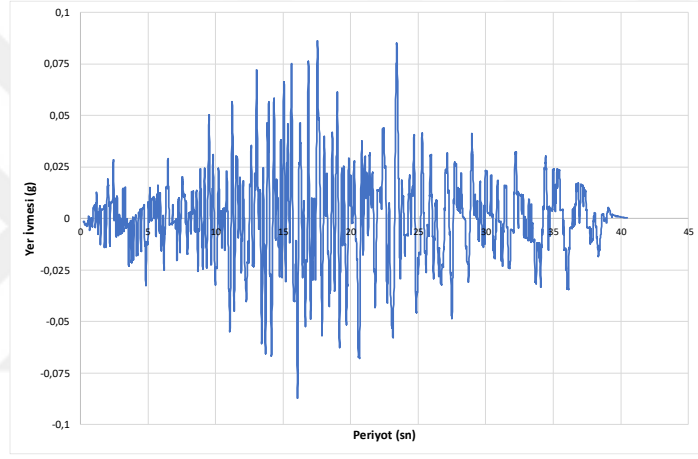
Şekil 5.53 Analizlerde kullanılan 1992 Big Bear depreminin Faya Dik bileşenine ait ivme kaydı



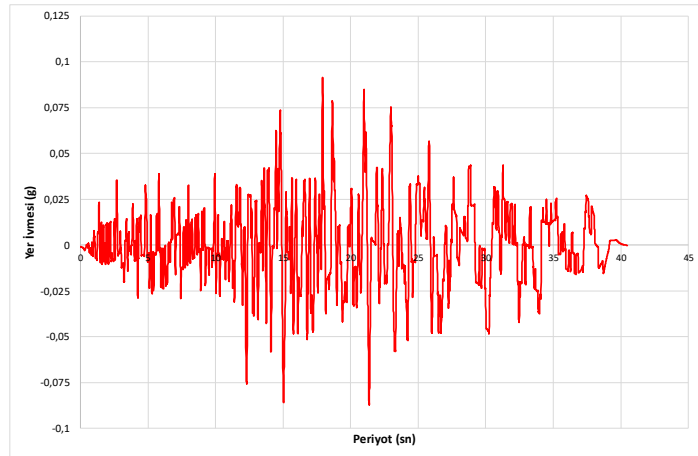
Şekil 5.54 Analizlerde kullanılan 1995 Kobe Japonya depreminin Faya Paralel bileşenine ait ivme kaydı



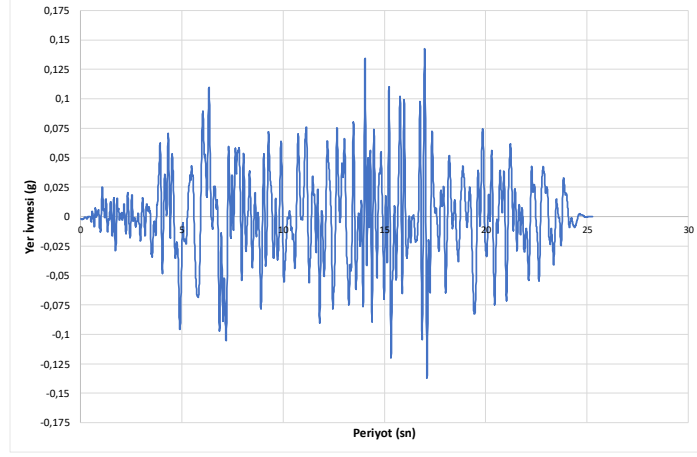
Şekil 5.55 Analizlerde kullanılan 1995 Kobe Japonya depreminin Faya Dik bileşenine ait ivme kaydı



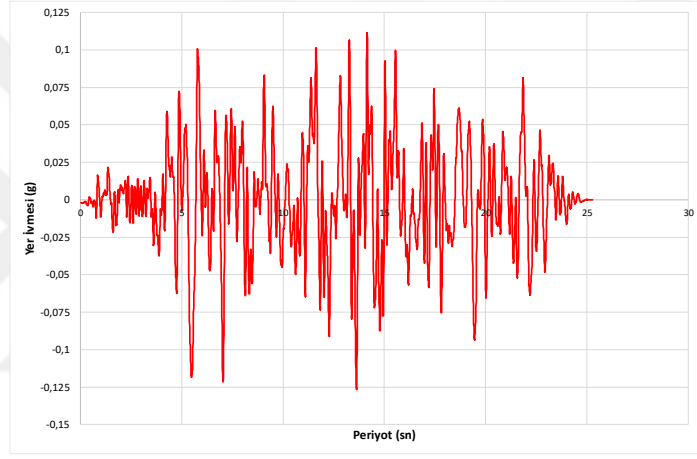
Şekil 5.56 Analizlerde kullanılan 1995 Kozani Yunanistan depreminin Faya Paralel bileşenine ait ivme kaydı



Şekil 5.57 Analizlerde kullanılan 1995 Kozani Yunanistan depreminin Faya Dik bileşenine ait ivme kaydı

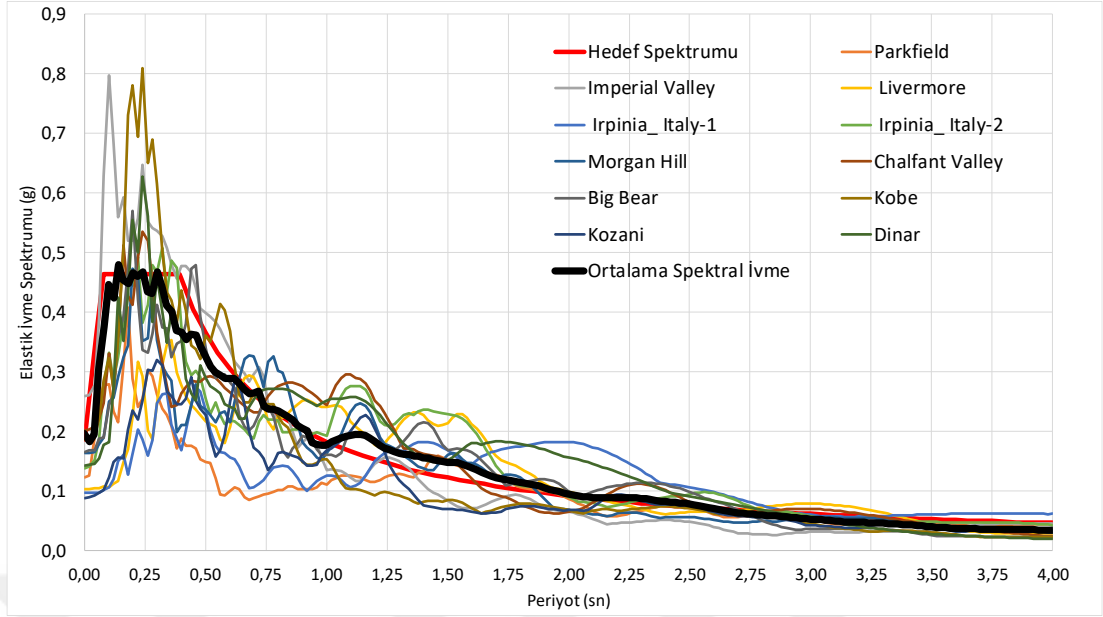


Şekil 5.58 Analizlerde kullanılan 1995 Dinar Türkiye depreminin Faya Paralel bileşenine ait ivme kaydı



Şekil 5.59 Analizlerde kullanılan 1995 Dinar Türkiye depreminin Faya Dik bileşenine ait ivme kaydı

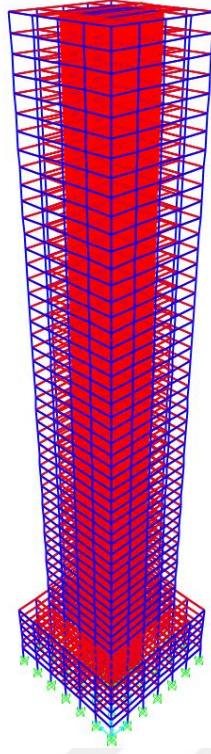
Seçilen deprem kayıtlarından her bir depremin en büyük ivme kayıtlarını doğrultusunda %5 sönüm oranına sahip elastik ivme spektrum grafikleri elde edilmiş ve bu grafiklerin ortalamasını gösteren grafikler oluşturulmuştur. Elde edilen 11 adet elastik ivme spektrumunun, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)'de yer alan ZD grubu zemin sınıfı için DD-4 deprem düzeyine ait elastik ivme spektrumunun ortalama değerlerine yakın olacak şekilde ölçeklendirilmiş ve Şekil 5.60'da gösterilmiştir.



Şekil 5.60 DD-4 Deprem düzeyi için yapılan zaman tanım alanı analizlerinde kullanılan depremlerin spektrumları

5.6 İncelenen Yüksek Binanın Rüzgâr ve Deprem Etkileri Altındaki Analizlerde Kullanılan Yapısal Modelin Oluşturulması

Eşdeğer statik ve dinamik rüzgâr etkileri analizlerinde ve deprem analizlerinde SAP2000 V19.1.1 bilgisayar programı kullanılmıştır. Yapısal modelde kolon ve kirişler çubuk eleman, perdeler kabuk eleman ve döşemeler kabuk eleman olarak alınmıştır. Tüm düşey taşıyıcı elemanların temelle birleşim uçları tam ankastre mesnet tanımlanmıştır. Yapının SAP2000 modelinin üç boyutlu görünüşü Şekil 5.61’de verilmiştir.



Şekil 5.61 Analiz modelinin üç boyutlu görünüşü

5.7 İncelenen Yüksek Binanın Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması ve Değerlendirilmesi

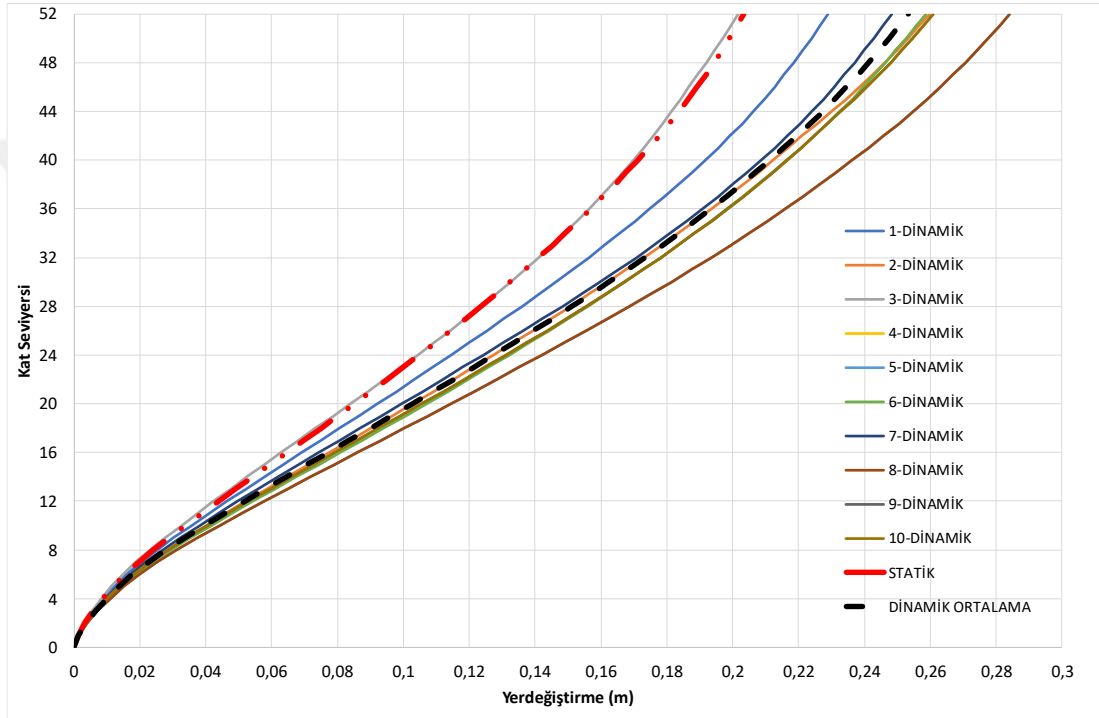
Seçilen yüksek binada rüzgâr ve deprem etkilerinin statik ve dinamik olma durumları incelenmiş ve analiz sonuçları grafikler halinde karşılaştırmalı sunulmuştur.

5.7.1 Rüzgâr Yükleri Altında Analiz Sonuçları

Rüzgâr yükleri olarak yüksekliğe bağlı eşdeğer statik durum için TS EN 1991 1-4 (2007) standardına göre bir adet analiz yapılmıştır ve analiz adı “Statik” olarak adlandırılmaktadır. Yükseklik ve zaman ile değişen dinamik durum için Spektral Temsil Yöntemi (SRM) yöntemine göre toplamda on adet rastgele sentetik rüzgâr zaman kayıt seti için analiz yapılmıştır. On adet rastgele sentetik rüzgâr zaman kayıt seti sonucunun ortalama değerleri de ele alınmıştır. Eşdeğer statik ve dinamik rüzgâr etkilerinden dolayı yüksek yapıda meydana gelen kat yatay yerdeğiştirmesi, kat kesme kuvveti ve kat moment değerleri aşağıda grafiksel olarak gösterilmiş ve irdelenmiştir. Ayrıca, grafiklerde yer alan değerler tablo halinde Ek-1’de sunulmuştur.

5.7.1.1 İncelenen Yüksek Binada Rüzgâr Yükleri Altında Oluşan Kat Yerdeğiştirme Sonuçları

TS EN 1991 1-4 (2007) standartlarına göre elde edilen eşdeğer statik rüzgâr kuvvetleri ve Spektral Temsil Yöntemi (SRM)'ne göre oluşturulan on adet dinamik rüzgâr kuvveti-zaman serisi için yapılan analizlerden elde edilen kat yatay yerdeğiştirme sonuçları Şekil 5.62'de gösterilmiştir.

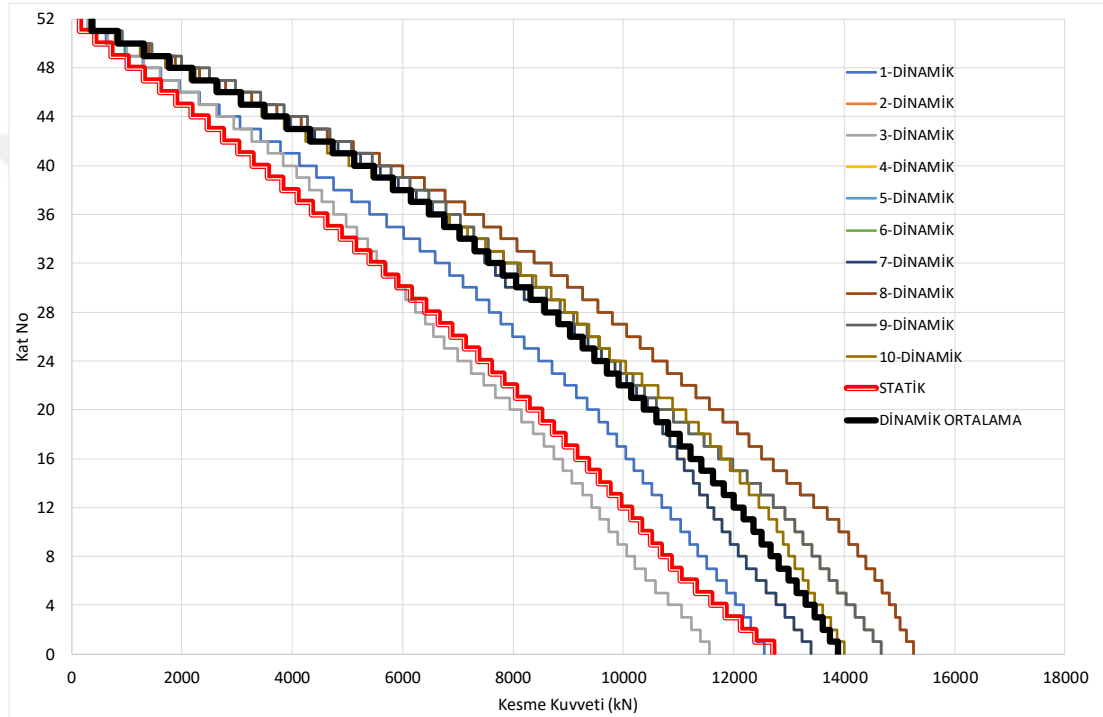


Şekil 5.62 Rüzgâr etkileri sonucu yüksek yapı kat-yerdeğiştirme grafiği

Rüzgâr akıntısı etkisindeki yüksek binada, SRM yöntemi ile toplam on setten oluşan dinamik rüzgâr yükleri altında binada oluşan kat yatay yerdeğiştirmeleri ortalamasının, TS EN 1991 1-4 standardına göre elde edilen eşdeğer statik rüzgâr kuvvetlerinin binada oluşturduğu kat yatay yerdeğiştirmelerinden daha büyük olduğu görülmüştür.

5.7.1.2 İncelenen Yüksek Binada Rüzgâr Yükleri Altında Oluşan Kat Kesme Kuvveti Sonuçları

TS EN 1991 1-4 (2007) standartlarına göre elde edilen eşdeğer statik rüzgâr kuvvetleri ve Spektral Temsil Yöntemi (SRM)'ne göre oluşturulan on adet dinamik rüzgâr kuvveti-zaman serisi için yapılan analizlerden elde edilen kat kesme kuvveti sonuçları Şekil 5.63'de gösterilmiştir.

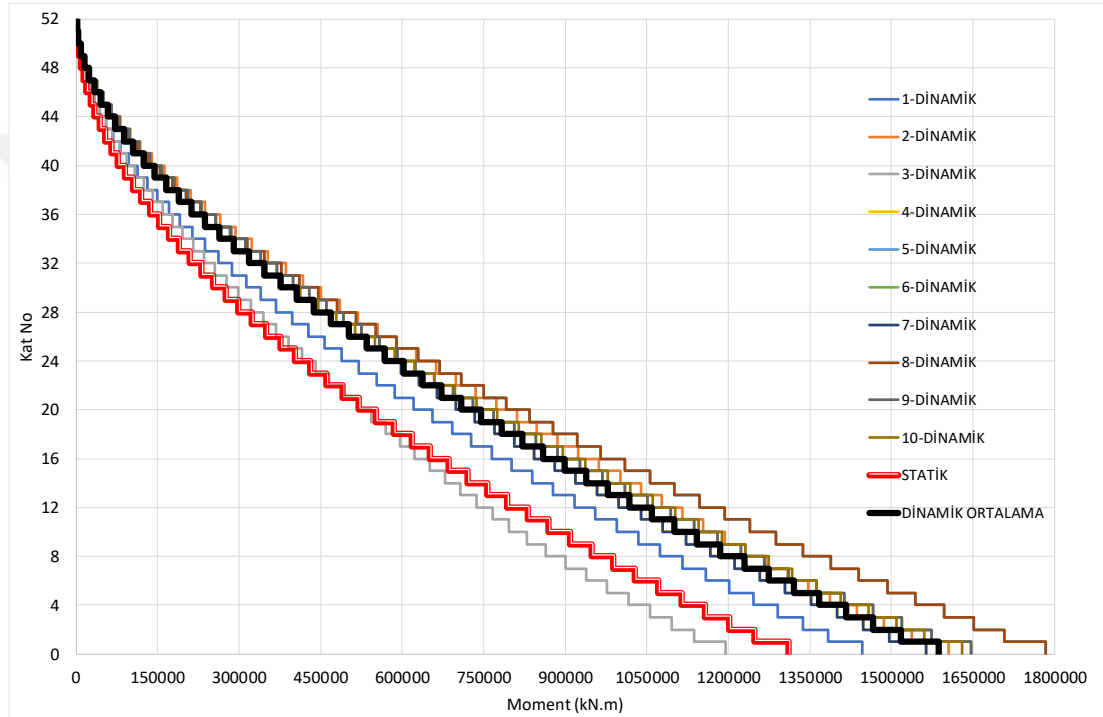


Şekil 5.63 Rüzgâr etkileri sonucu yüksek yapı kat-kesme kuvveti grafiği

Rüzgâr akıntısı etkisindeki yüksek binada, SRM yöntemi ile toplam on setten oluşan dinamik rüzgâr yükleri sonucu binada oluşan kat kesme kuvvetleri ortalamasının, TS EN 1991 1-4 standardına göre elde edilen eşdeğer statik rüzgâr kuvvetlerinin binada oluşturduğu kat kesme kuvvetlerinden daha büyük olduğu görülmüştür.

5.7.1.3 İncelenen Yüksek Binada Rüzgâr Yükleri Altında Oluşan Kat Momenti Sonuçları

TS EN 1991 1-4 (2007) standartlarına göre elde edilen eşdeğer statik rüzgâr kuvvetleri ve Spektral Temsil Yöntemi (SRM)'ne göre oluşturulan on adet dinamik rüzgâr kuvveti-zaman serisi için yapılan analizlerden elde edilen kat moment sonuçları Şekil 5.64'de gösterilmiştir.



Şekil 5.64 Rüzgâr etkileri sonucu yüksek yapı kat-moment grafiği

Rüzgâr akıntısı etkisindeki yüksek binada, SRM yöntemi ile toplam on setten oluşan dinamik rüzgâr yükleri sonucu binada oluşan kat momentleri ortalamasının, TS EN 1991 1-4 standardına göre elde edilen eşdeğer statik rüzgâr kuvvetlerinin binada oluşturduğu kat momentlerinden daha büyük olduğu görülmüştür.

5.7.2 Deprem Yüğü Altında Analiz Sonuçları

Bölüm 5.5'te özellikleri tanımlanmış olan DD-4 deprem düzeyi için oluşturulan ivme spektrumuna göre ölçeklendirilmiş gerçek ivme deprem kayıtları kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal yöntem ile yüksek yapı üzerinde dinamik deprem analizleri yapılmıştır. Toplamda ele alınan 11 deprem ivme yer kayıtlarının iki yönlü bileşenleri için ($11 \times 2 = 22$) 22 adet analiz yapılarak yüksek yapı üzerinde oluşan kat yatay yerdeğiştirmesi, kat kesme kuvveti ve kat momenti değerleri incelenmiştir. Ayrıca mod birleştirme yöntemi ile spektral analiz yapılarak eşdeğer deprem yükleri de belirlenmiştir. Elde edilen sonuçların ortalamaları alınarak aşağıda grafiksel olarak gösterilmiş ve irdelenmiştir. Grafiklerde yer alan değerler tablo halinde Ek-2'de sunulmuştur.

5.7.2.1 İncelenen Yüksek Bina İçin Elde Edilen Dinamik Analiz Sonuçları

İncelenen yüksek binanın dinamik özelliklerinin belirlenmesi için modal analiz yapılmıştır. Dinamik analiz sonucu bina için elde edilen periyot ve kütle katılım oranı değerleri Tablo 5.8'de verilmiştir.

Tablo 5.8 Seçilen yüksek binanın dinamik analiz sonucu periyot ve kütle katılım değerleri

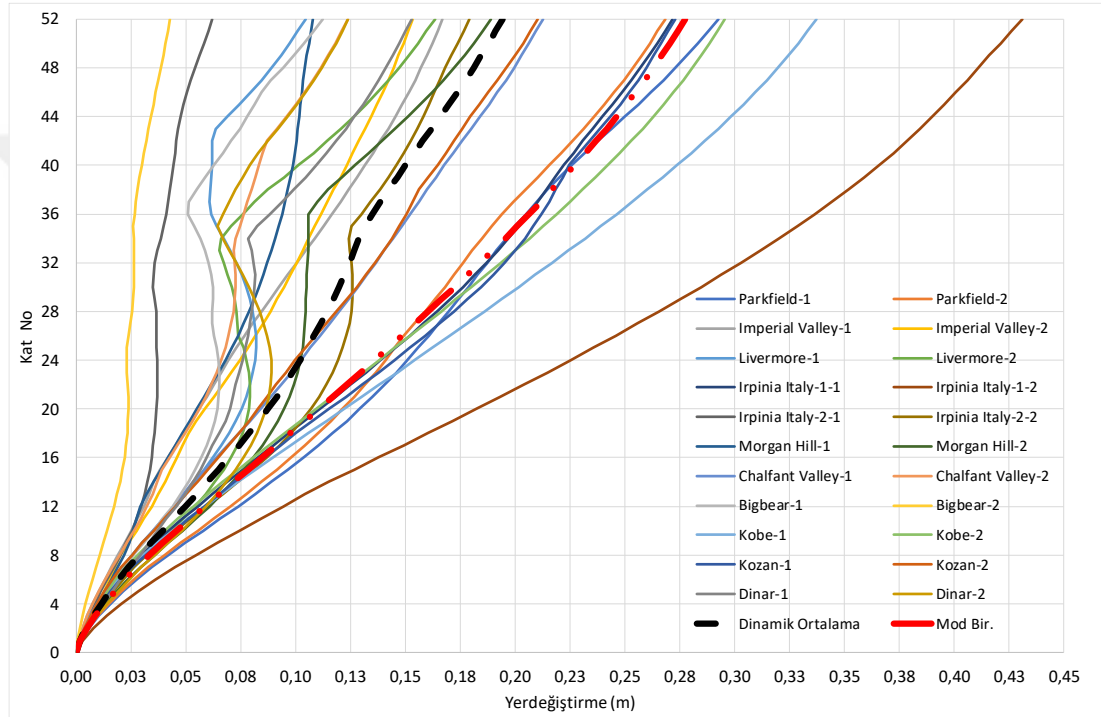
Mod No	Periyot(sn)	SumUX	SumUY	SumUZ
1	5,3855	0,000	0,646	0,000
2	4,4961	0,595	0,646	0,000
3	3,8006	0,595	0,646	0,000
4	1,6549	0,595	0,781	0,000
5	1,1993	0,595	0,781	0,000
6	1,0951	0,751	0,781	0,000
7	0,8917	0,751	0,839	0,000
8	0,6679	0,751	0,839	0,000
9	0,6121	0,751	0,881	0,000
10	0,4751	0,826	0,881	0,000
11	0,4563	0,826	0,911	0,000
12	0,4548	0,826	0,911	0,000
13	0,3555	0,826	0,929	0,000
14	0,3374	0,826	0,929	0,000
15	0,2988	0,826	0,929	0,732
16	0,2829	0,826	0,940	0,732

Tablo 5.8 devamı

Mod No	Periyot(sn)	SumUX	SumUY	SumUZ
17	0,2792	0,882	0,940	0,732
18	0,2538	0,882	0,940	0,732
19	0,2433	0,882	0,941	0,732
20	0,2341	0,883	0,941	0,732
21	0,2267	0,883	0,948	0,732
22	0,2157	0,883	0,948	0,732
23	0,2101	0,883	0,948	0,732
24	0,2021	0,883	0,948	0,732
25	0,1960	0,883	0,948	0,732
26	0,1893	0,900	0,948	0,732
27	0,1890	0,923	0,948	0,732
28	0,1882	0,923	0,953	0,732
29	0,1876	0,923	0,953	0,732
30	0,1682	0,923	0,953	0,732
31	0,1661	0,923	0,953	0,733
32	0,1583	0,923	0,959	0,733
33	0,1571	0,923	0,959	0,733
34	0,1556	0,923	0,959	0,733
35	0,1523	0,923	0,959	0,733
36	0,1436	0,923	0,959	0,733
37	0,1431	0,923	0,959	0,733
38	0,1411	0,923	0,959	0,733
39	0,1394	0,945	0,959	0,733
40	0,1356	0,945	0,965	0,733
41	0,1316	0,945	0,965	0,733
42	0,1313	0,945	0,965	0,733
43	0,1306	0,945	0,965	0,733
44	0,1266	0,945	0,965	0,733
45	0,1176	0,945	0,971	0,733
46	0,1127	0,945	0,971	0,733
47	0,1077	0,957	0,971	0,733
48	0,1034	0,957	0,975	0,733

5.7.2.2 İncelenen Yüksek Binada Deprem Yükleri Altında Oluşan Kat Yerdeğiştirme Sonuçları

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)'e göre elastik tasarım spektrumu elde edilen mod birleştirme yöntemi ve zaman tanım alanında yapılan on bir adet ölçeklenmiş gerçek yer ivme deprem kayıtları kullanılarak yapılan analizlerden elde edilen kat yatay yerdeğiştirmesi sonuçları Şekil 5.65'de gösterilmiştir.

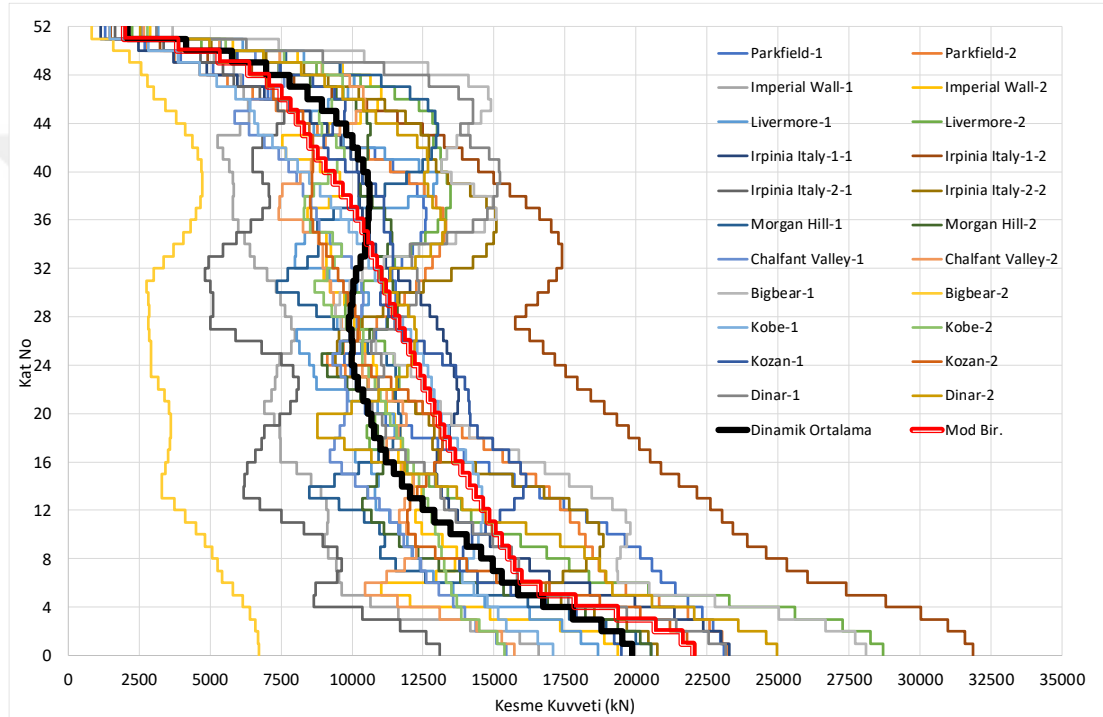


Şekil 5.65 Deprem etkileri sonucu yüksek yapı kat-yerdeğiştirme grafiği

İncelenen yüksek binanın DD-4 deprem düzeyi için mod birleştirme yöntemi ile yapılan analizlerde statik deprem yükleri sonucu binada oluşan kat yatay yerdeğiştirmelerinin, zaman tanım alanı yöntemi ile deprem analizlerinden hesaplanan kat yatay yerdeğiştirmeleri ortalamasından daha büyük olduğu görülmüştür.

5.7.2.3 İncelenen Yüksek Binada Deprem Yükleri Altında Oluşan Kat Kesme Kuvveti Sonuçları

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)'e göre elastik tasarım spektrumu elde edilen mod birleştirme yöntemi ve zaman tanım alanında yapılan on bir adet ölçeklenmiş gerçek yer ivme deprem kayıtları için yapılan analizlerden elde edilen kat kesme kuvveti sonuçları Şekil 5.66'da gösterilmiştir.

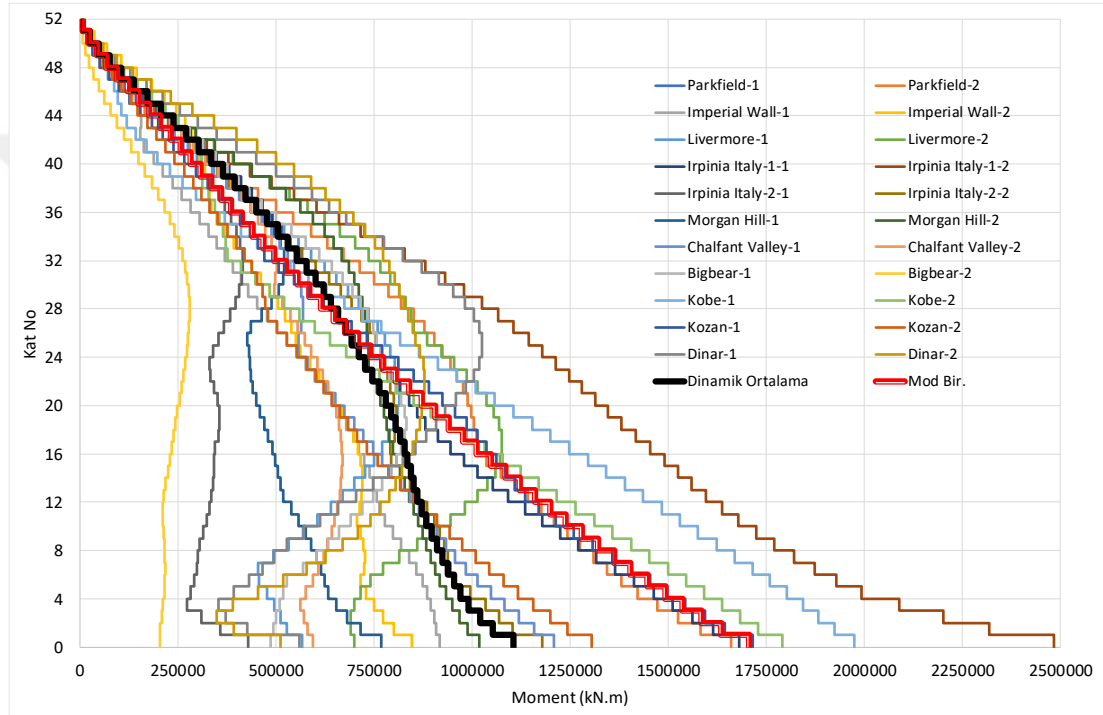


Şekil 5.66 Deprem etkileri sonucu yüksek yapı kat-kesme kuvveti grafiği

İncelenen yüksek binanın DD-4 deprem düzeyi için mod birleştirme yöntemi ile statik deprem yükleri sonucu binada oluşan kat kesme kuvvetlerinin, zaman tanım alanı yöntemi ile deprem analizlerinden hesaplanan kat kesme kuvvetleri ortalamasından daha büyük olduğu görülmüştür.

5.7.2.4 İncelenen Yüksek Binada Deprem Yükleri Altında Oluşan Kat Momenti Sonuçları

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)'e göre elastik tasarım spektrumu elde edilen mod birleştirme yöntemi ve zaman tanım alanında yapılan on bir adet ölçeklenmiş gerçek yer ivme deprem kayıtları için yapılan analizlerden elde edilen kat momenti sonuçları Şekil 5.67'de gösterilmiştir.



Şekil 5.67 Deprem etkileri sonucu yüksek yapı kat-momentleri grafiği

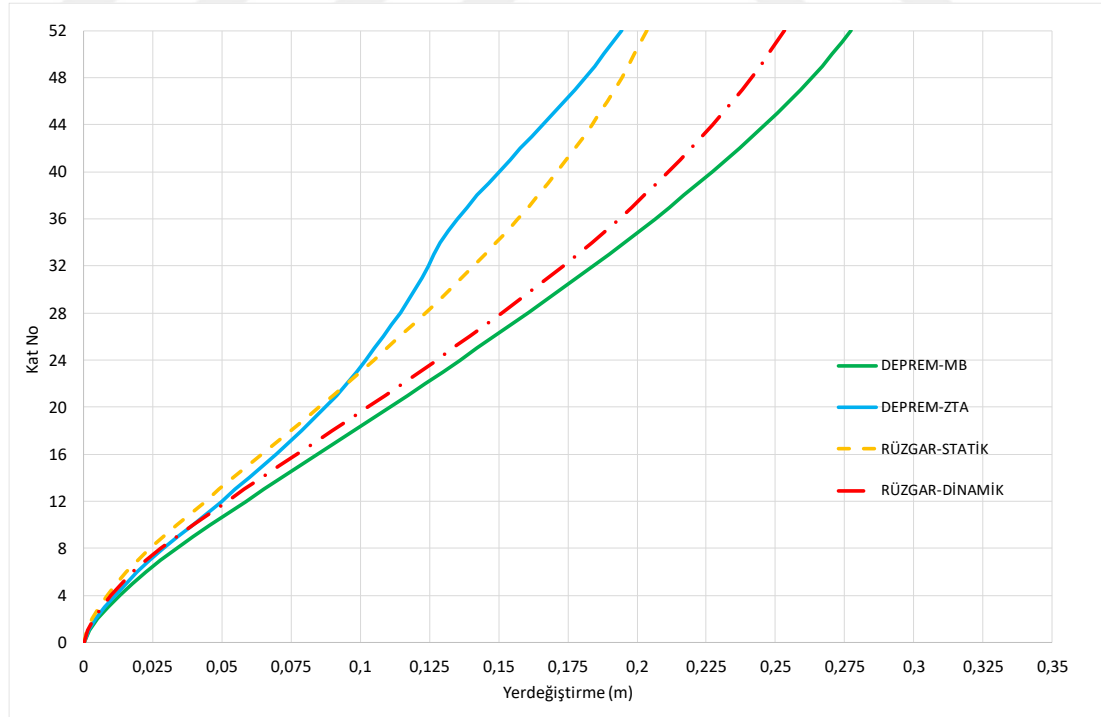
Deprem etkisindeki yüksek binada, DD-4 deprem düzeyi için mod birleştirme yöntemi ile statik deprem yükleri sonucu binada oluşan kat momentlerinin, zaman tanım alanı analiz yöntemi ile deprem analizlerinden hesaplanan kat momentlerin ortalamasından daha büyük olduğu görülmüştür.

5.7.3 Rüzgâr ve Deprem Yükü Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

Rüzgâr ve deprem durumları için eşdeğer statik ve dinamik yöntemler ile yapılan analizler sonucunda elde edilen kat yatay yerdeğiştirmeleri, kat kesme kuvvetleri ve kat moment değeri karşılaştırmalı olarak aşağıdaki bölümlerde grafikler halinde sunulmuştur.

5.7.3.1 İncelenen Yüksek Binada Rüzgâr ve Deprem Yükleri Altında Oluşan Kat Yerdeğiştirme Sonuçlarının Karşılaştırılması

TS EN 1991 1-4 (2007) standartlarına göre elde edilen eşdeğer statik rüzgâr kuvvetleri ve Spektral Temsil Yöntemi (SRM)'ne göre oluşturulan on adet dinamik rüzgâr kuvveti-zaman serisi için yapılan analizlerden elde edilen ortalama kat yatay yerdeğiştirmesi ile mod birleştirme yönteminden elde edilen deprem kuvvetleri ve zaman tanım alanında deprem analizlerinden elde edilen ortalama kat yatay yerdeğiştirme değeri karşılaştırmalı olarak Şekil 5.68'de gösterilmiştir.

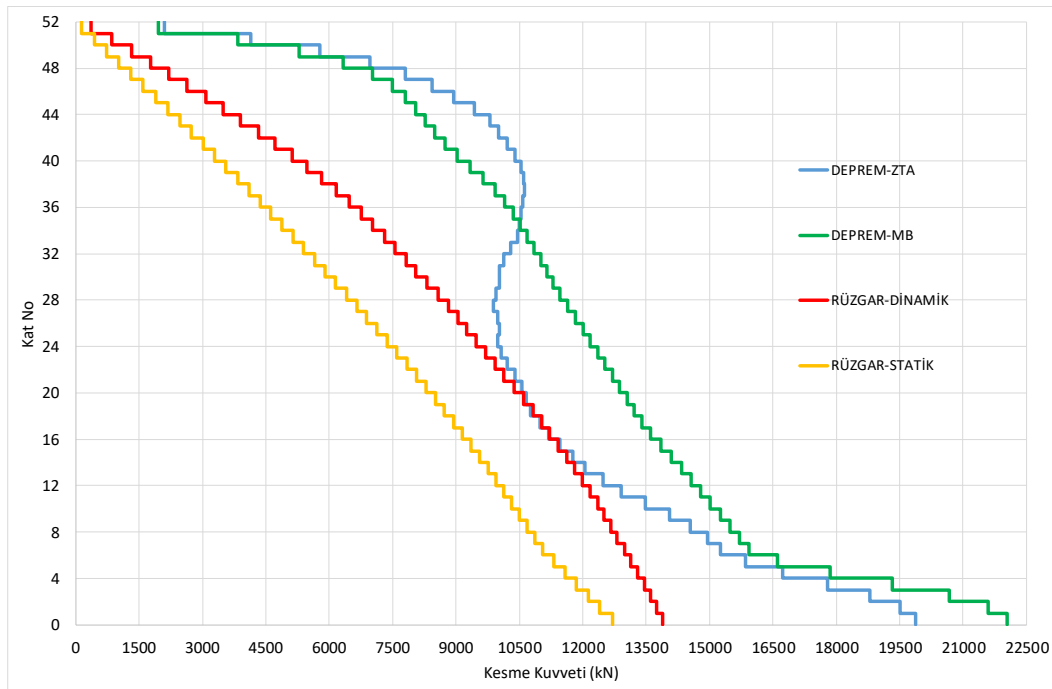


Şekil 5.68 Rüzgâr ve deprem etkileri altında yüksek yapı kat-yerdeğiştirme grafiğı

Deprem etkisi altında yüksek binada, DD-4 deprem düzeyi için mod birleştirme yöntemi ile statik deprem yükleri sonucu binada oluşan kat yatay yerdeğiştirmelerinin zaman tanım alanı yöntemi ile deprem analizlerinden hesaplanan kat yatay yerdeğiştirmeleri ortalamasından ve rüzgâr akıntısı etkisindeki yüksek binada, SRM yöntemi ile toplam on setten oluşan dinamik rüzgâr yükleri sonucu binada oluşan kat yerdeğiştirmelerinin ortalamasından TS EN 1991 1-4 standardına göre elde edilen eşdeğer statik rüzgâr kuvvetlerinin binada oluşturduğu kat yatay yerdeğiştirmelerinden daha büyük olduğu görölmüştür.

5.7.3.2 İncelenen Yüksek Binada Rüzgâr ve Deprem Yükleri Altında Oluşan Kat Kesme Kuvveti Sonuçlarının Karşılaştırılması

TS EN 1991 1-4 (2007) standartlarına göre elde edilen eşdeğer statik rüzgâr kuvvetleri ve Spektral Temsil Yöntemi (SRM)'ne göre oluşturulan on adet dinamik rüzgâr kuvveti-zaman serisi için yapılan analizlerden ortalama elde edilen kat kesme kuvveti ile mod birleştirme yönteminden elde edilen deprem kuvvetleri ve zaman tanım alanında deprem analizlerinden elde edilen ortalama kat kesme kuvveti değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 5.69'da gösterilmiştir.

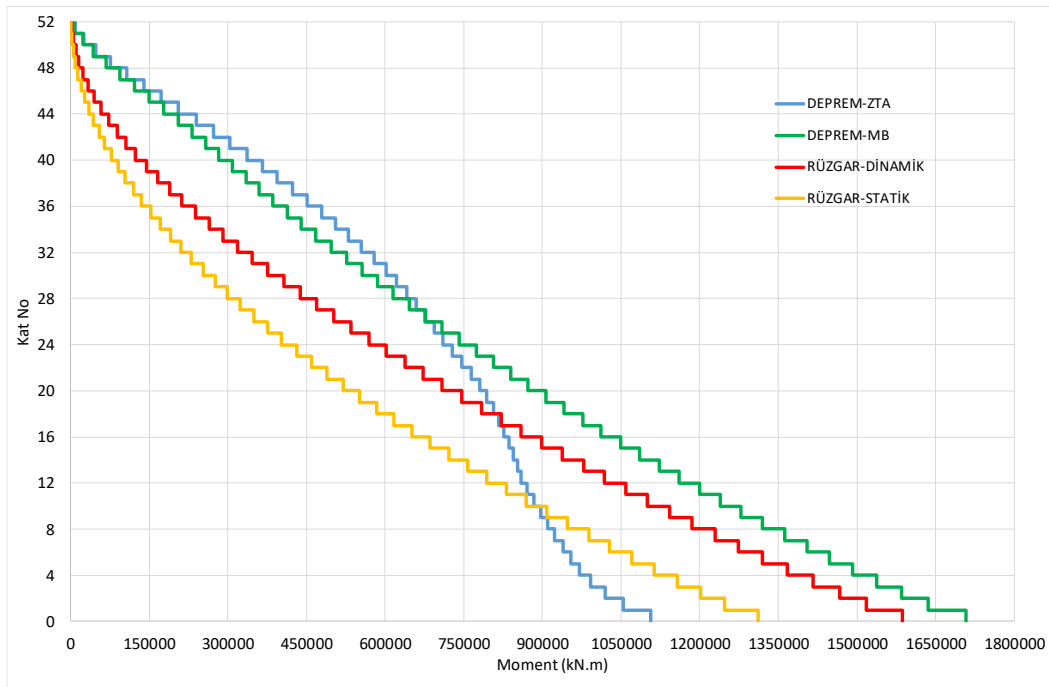


Şekil 5.69 Rüzgâr ve deprem etkileri altında yüksek yapı kat-kesme kuvveti grafiğı

Deprem etkisi altında yüksek binada, DD-4 deprem düzeyi için mod birleştirme yöntemi ile statik deprem yükleri sonucu binada oluşan kat kesme kuvvetlerinin, zaman tanım alanı yöntemi ile deprem analizlerinden hesaplanan kat kesme kuvvetlerinin ortalamasından ve rüzgâr akıntısı etkisindeki yüksek binada, SRM yöntemi ile toplam on setten oluşan dinamik rüzgâr yükleri sonucu binada oluşan kat kesme kuvvetlerinin ortalamasından, TS EN 1991 1-4 standardına göre elde edilen eşdeğer statik rüzgâr kuvvetlerinin binada oluşturduğu kat kesme kuvvetlerinden daha büyük olduğu görülmüştür.

5.7.3.3 İncelenen Yüksek Binada Rüzgâr ve Deprem Yükleri Altında Oluşan Kat Momenti Sonuçlarının Karşılaştırılması

TS EN 1991 1-4 (2007) standartlarına göre elde edilen eşdeğer statik rüzgâr kuvvetleri ve Spektral Temsil Yöntemi (SRM)'ne göre oluşturulan on adet dinamik rüzgâr kuvveti-zaman serisi için yapılan analizlerden ortalama elde edilen kat momenti ile mod birleştirme yönteminden elde edilen deprem kuvvetleri ve zaman tanım alanında deprem analizlerinden elde edilen ortalama kat moment değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 5.70'de gösterilmiştir.

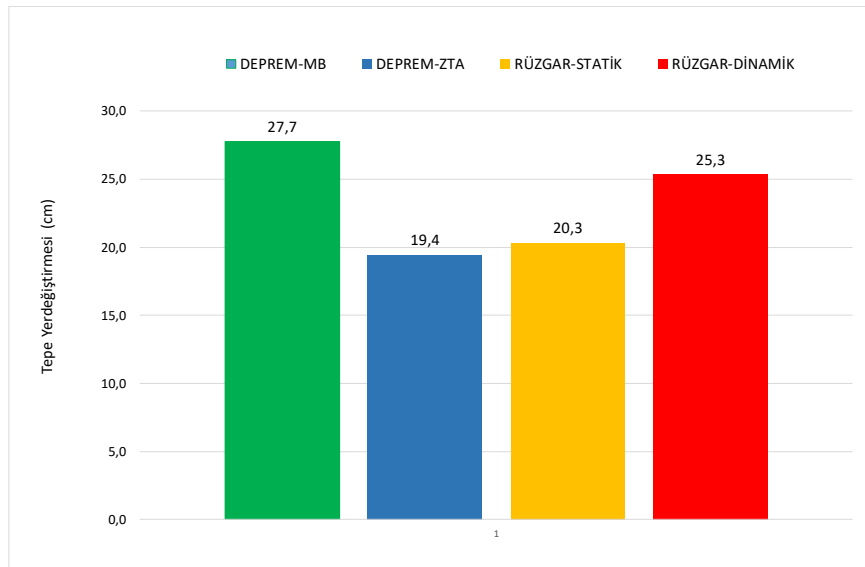


Şekil 5.70 Rüzgâr ve deprem etkileri altında yüksek yapı kat-moment grafiği

Deprem etkisi altında yüksek binada, DD-4 deprem düzeyi için mod birleştirme yöntemi ile statik deprem yükleri sonucu binada oluşan kat momentlerinin, zaman tanım alanı yöntemi ile deprem analizlerinden hesaplanan kat momentlerinin ortalamasından ve rüzgâr akıntısı etkisindeki yüksek binada, SRM yöntemi ile toplam on setten oluşan dinamik rüzgâr yükleri sonucu binada oluşan kat momentlerinin ortalamasından, TS EN 1991 1-4 standardına göre elde edilen eşdeğer statik rüzgâr kuvvetlerinin binada oluşturduğu kat momentlerinden daha büyük olduğu görülmüştür.

5.7.3.4 İncelenen Yüksek Binada Rüzgar ve Deprem Yükleri Altında Oluşan Tepe Yerdeğiştirme Sonuçlarının Karşılaştırılması

TS EN 1991 1-4 (2007) standartlarına göre elde edilen eşdeğer statik rüzgâr kuvvetleri ve Spektral Temsil Yöntemi (SRM)'ne göre oluşturulan on adet dinamik rüzgâr kuvveti-zaman serisi için yapılan analizlerden ortalama elde edilen tepe yatay yerdeğiştirmesi ile mod birleştirme yönteminden elde edilen deprem kuvvetleri ve zaman tanım alanında deprem analizlerinden elde edilen ortalama tepe yerdeğiştirmesi değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 5.71'de gösterilmiştir.

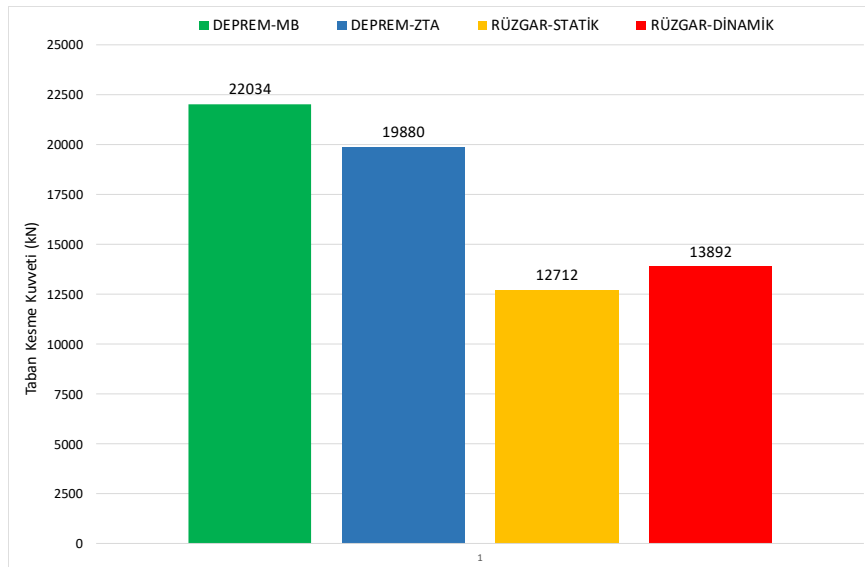


Şekil 5.71 Rüzgâr ve deprem etkileri altında yüksek yapı tepe yerdeğiştirme grafiği

Deprem etkisi altında yüksek binada, DD-4 deprem düzeyi için mod birleştirme yöntemi ile statik deprem yükleri sonucu binada oluşan tepe yerdeğiştirmesinin, zaman tanım alanı yöntemi ile deprem analizlerinden hesaplanan bina tepe yerdeğiştirmesi ortalamasından ve rüzgâr akıntısı etkisindeki yüksek binada, SRM yöntemi ile toplam on setten oluşan dinamik rüzgâr yükleri sonucu binada oluşan tepe yerdeğiştirmesi ortalamasından TS EN 1991 1-4 standardına göre elde edilen eşdeğer statik rüzgâr kuvvetlerinin binada oluşturduğu tepe yerdeğiştirmesinden daha büyük olduğu görölmüştür.

5.7.3.5 İncelenen Yüksek Binada Rüzgâr ve Deprem Yükleri Altında Oluşan Taban Kesme Kuvveti Sonuçlarının Karşılaştırılması

TS EN 1991 1-4 (2007) standartlarına göre elde edilen eşdeğer statik rüzgâr kuvvetleri ve Spektral Temsil Yöntemi (SRM)'ne göre oluşturulan on adet dinamik rüzgâr kuvveti-zaman serisi için yapılan analizlerden ortalama elde edilen taban kesme kuvveti ile mod birleştirme yönteminden elde edilen deprem kuvvetleri ve zaman tanım alanında deprem analizlerinden elde edilen ortalama taban kesme kuvveti değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 5.72'de gösterilmiştir.

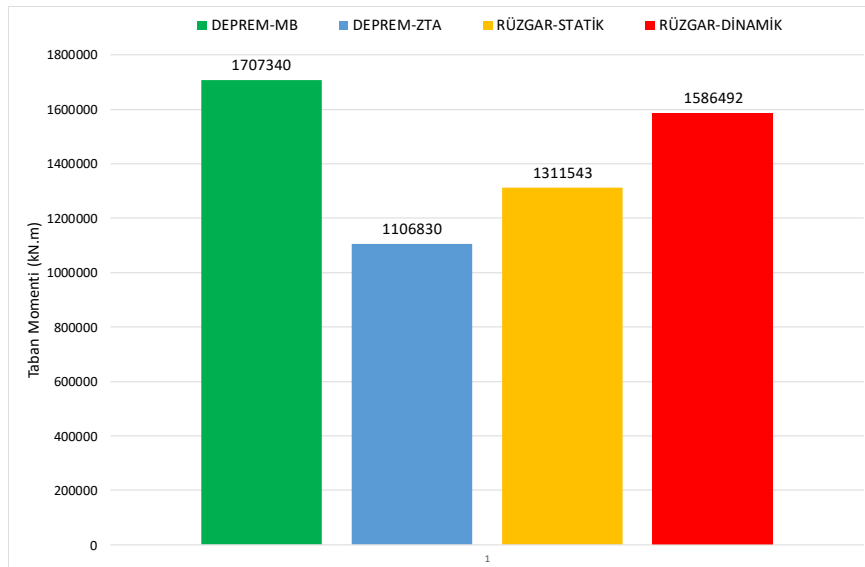


Şekil 5.72 Rüzgâr ve deprem etkileri altında yüksek yapı taban kesme kuvveti grafiğı

Deprem etkisi altında yüksek binada, DD-4 deprem düzeyi için mod birleştirme yöntemi ile statik deprem yükleri sonucu binada oluşan taban kesme kuvvetinin zaman tanım alanı yöntemi ile deprem analizlerinden hesaplanan taban kesme kuvvetleri ortalamasından ve rüzgâr akıntısı etkisindeki yüksek binada, SRM yöntemi ile toplam on setten oluşan dinamik rüzgâr yükleri sonucu binada oluşan taban kesme kuvvetleri ortalamasından TS EN 1991 1-4 standardına göre elde edilen eşdeğer statik rüzgâr kuvvetlerinin binada oluşturduğu taban kesme kuvvetinden daha büyük olduğu görülmüştür.

5.7.3.6 İncelenen Yüksek Binada Rüzgâr ve Deprem Yükleri Altında Oluşan Taban Momenti Sonuçlarının Karşılaştırılması

TS EN 1991 1-4 (2007) standartlarına göre elde edilen eşdeğer statik rüzgâr kuvvetleri ve Spektral Temsil Yöntemi (SRM)'ne göre oluşturulan on adet dinamik rüzgâr kuvveti-zaman serisi için yapılan analizlerden ortalama elde edilen taban momenti ile mod birleştirme yönteminden elde edilen deprem kuvvetleri ve zaman tanım alanında deprem analizlerinden elde edilen ortalama taban momenti değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 5.73'de gösterilmiştir.



Şekil 5.73 Rüzgâr ve deprem etkileri altında yüksek yapı taban momenti grafiği

Deprem etkisi altında yüksek binada, DD-4 deprem düzeyi için mod birleştirme yöntemi ile statik deprem yükleri sonucu binada oluşan taban momentinin, zaman tanım alanı yöntemi ile deprem analizlerinden hesaplanan taban momentleri ortalamasından ve rüzgâr akıntısı etkisindeki yüksek binada, SRM yöntemi ile toplam on setten oluşan dinamik rüzgâr yükleri sonucu binada oluşan taban momentleri ortalamasından TS EN 1991 1-4 standardına göre elde edilen eşdeğer statik rüzgâr kuvvetlerinin binada oluşturduğu taban momentinden daha büyük olduğu görülmüştür.



BÖLÜM ALTI

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1 Sonuçlar

Bu tez kapsamında, Spektral Temsil Yöntemi (SRM) kullanılarak elde edilen dinamik rüzgâr etkilerinin yapı davranışına etkisi incelenmiştir. SRM yöntemine göre elde edilen dinamik rüzgâr etkileri ve TS EN 1991 1-4 (2007) standardına göre elde edilen eşdeğer statik rüzgâr etkileri karşılaştırılmıştır. Ayrıca, rüzgâr ve deprem yüklerinin binalar üzerindeki etkilerinin incelenmesi amacıyla 52 katlı yüksek bir binanın statik ve dinamik analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- TS EN 1991 1-4 (2007) standardına göre yapılara etkiyecek rüzgâr yükleri zamandan bağımsız olarak statik yük şeklinde belirlenmektedir. Spektral Temsil Yöntemi (SRM) ile rüzgâr hızının zamana bağlı değişimini gösteren dinamik rüzgâr kayıtları sentetik olarak oluşturulmaktadır. Ayrıca, dinamik rüzgâr kayıtları, güç spektral yoğunluk ve korelasyon fonksiyonlarını kullanarak bina yüzeyindeki istenilen her bir nokta için ayrı ayrı oluşturulabilmektedir. SRM yöntemi ile sentetik rüzgâr kayıtlarının oluşturulması için MATLAB programında bir yazılım geliştirilmiştir.
- Tez kapsamında, örnek olarak seçilen 193,7 m yüksekliğindeki 52 katlı yüksek bir binaya etki edecek rüzgâr akıntısının TS EN 1991 1-4 yöntemiyle eşdeğer statik ve SRM yöntemi ile dinamik rüzgâr hızı, rüzgâr basıncı ve rüzgâr kuvvetleri hesaplanmıştır.

Binaya etki eden rüzgâr hızları karşılaştırıldığında, TS EN 1991 1-4 standardına göre elde edilen eşdeğer statik rüzgâr hızlarının, SRM yöntemine göre elde edilen rüzgâr hızlarına ortalama %85 yakın olmakla beraber daha büyük olduğu görülmüştür. Binanın tepe noktasında eşdeğer statik rüzgâr hızı

değeri 60,48 m/sn iken SRM'ye göre hesaplanan dinamik rüzgâr hızı değeri 52,94 m/sn olarak hesaplanmıştır.

Binaya etki eden rüzgâr basınçları karşılaştırıldığında, TS EN 1991 1-4 standardına göre elde edilen eşdeğer statik rüzgâr basınçlarının, SRM yöntemine göre elde edilen rüzgâr basınçlarına % 82 yakın olmakla beraber daha büyük olduğu görülmüştür. Binanın tepe noktasında eşdeğer statik rüzgâr basıncı değeri 1,922 kN/m² iken SRM'ye göre hesaplanan dinamik rüzgâr basıncı değeri 1,697 kN/m² olarak hesaplanmıştır.

Binaya etki eden rüzgâr kuvvetleri karşılaştırıldığında, TS EN 1991 1-4 standardına göre elde edilen basınç ve emme kuvvetlerinin toplamı olan eşdeğer statik rüzgâr kuvvetlerinin, SRM yöntemine göre elde edilen toplam rüzgâr kuvvetlerine %81 yakın olmakla beraber daha büyük olduğu görülmüştür. Binanın tepe noktasında eşdeğer statik rüzgâr kuvveti değeri 62,573 kN iken SRM'ye göre hesaplanan dinamik rüzgâr kuvveti değeri 53,739 kN olarak hesaplanmıştır.

- Tez kapsamında, örnek olarak seçilen yüksek binanın TS EN 1991 1-4 yöntemiyle eşdeğer statik ve SRM yöntemi ile toplam on setten oluşan dinamik rüzgâr yükleri altında analizleri yapılmıştır. Analiz sonucu yüksek bina kat yatay yerdeğiştirmeleri, kat kesme kuvvetleri ve kat momentleri hesaplanarak karşılaştırılmıştır.

Rüzgâr akıntısı etkisindeki yüksek binada, SRM yöntemi ile toplam on setten oluşan dinamik rüzgâr yükleri altında binada oluşan kat yatay yerdeğiştirmeleri ortalamasının, TS EN 1991 1-4 standardına göre elde edilen eşdeğer statik rüzgâr kuvvetlerinin binada oluşturduğu kat yatay yerdeğiştirmelerinden %24 daha büyük olduğu görülmüştür. Binanın tepe noktasında SRM'ye göre hesaplanan yatay yerdeğiştirme değeri 25,3 cm iken TS EN 1991 1-4'e göre hesaplanan yatay yerdeğiştirme değeri 20,3 cm olarak elde edilmiştir.

Rüzgâr akıntısı etkisindeki yüksek binada, SRM yöntemi ile toplam on setten oluşan dinamik rüzgâr yükleri sonucu binada oluşan kat kesme kuvvetleri ortalamasının, TS EN 1991 1-4 standardına göre elde edilen eşdeğer statik rüzgâr kuvvetlerinin binada oluşturduğu kat kesme kuvvetlerinden %9 daha büyük olduğu görülmüştür. Binanın taban noktasında SRM'ye göre hesaplanan kesme kuvveti değeri 13 892 kN iken TS EN 1991 1-4'e göre hesaplanan kesme kuvveti değeri 12 712 kN olarak elde edilmiştir.

Rüzgâr akıntısı etkisindeki yüksek binada, SRM yöntemi ile toplam on setten oluşan dinamik rüzgâr yükleri sonucu binada oluşan kat momentleri ortalamasının, TS EN 1991 1-4 standardına göre elde edilen eşdeğer statik rüzgâr kuvvetlerinin binada oluşturduğu kat momentlerinden %20 daha büyük olduğu görülmüştür. Binanın taban noktasında SRM'ye göre hesaplanan moment değeri 1 586 492 kN.m iken TS EN 1991 1-4'e göre hesaplanan moment değeri 1 311 543 kN.m olarak elde edilmiştir.

Seçilen yüksek binada yapılan rüzgâr yükü analizleri sonucunda kat düzeylerinde dinamik durumda oluşan yatay yerdeğiştirme, kesme kuvveti ve moment değerleri eşdeğer statik durum için hesaplanan değerlerden ortalama %17 daha büyük çıkmıştır. Bu durum rüzgâr için yapılan dinamik analizlerin eşdeğer statik analizlere göre daha elverişsiz sonuçlar verebileceğini göstermektedir. Dinamik analizin, statik analizden daha büyük değerler vermesinin sebebi olarak dinamik analizde dikkate alınan atalet kuvvetlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu nedenle daha elverişsiz sonuçların alınması, dinamik analizi daha etkin kılmaktadır.

- Tez kapsamında incelenen yüksek binanın servis depremi olarak adlandırılan DD-4 deprem düzeyi için mod birleştirme yöntemiyle statik ve zaman tanım alanında analiz yöntemi ile toplam on bir adet ölçeklenmiş gerçek yer ivme deprem kayıtlarından oluşan dinamik deprem yükleri altında analizleri yapılmıştır. Analiz sonucu yüksek bina kat yatay yerdeğiştirmeleri, kat kesme kuvvetleri ve kat momentleri hesaplanmıştır.

İncelenen yüksek binanın DD-4 deprem düzeyi için mod birleştirme yöntemi ile yapılan analizlerde statik deprem yükleri sonucu binada oluşan kat yatay yerdeğiştirmelerinin, zaman tanım alanı yöntemi ile deprem analizlerinden hesaplanan kat yatay yerdeğiştirmeleri ortalamasından %40 daha büyük olduğu görölmüştür. Binanın tepe noktasında mod birleştirme yöntemine göre hesaplanan yatay yerdeğiştirme değeri 27,7 cm iken zaman tanım alanı analiz yöntemine göre hesaplanan yatay yerdeğiştirme değeri 19,4 cm olarak hesaplanmıştır.

İncelenen yüksek binanın DD-4 deprem düzeyi için mod birleştirme yöntemi ile statik deprem yükleri sonucu binada oluşan kat kesme kuvvetlerinin, zaman tanım alanı yöntemi ile deprem analizlerinden hesaplanan kat kesme kuvvetleri ortalamasından %11 daha büyük olduğu görölmüştür. Binanın taban noktasında mod birleştirme yöntemine göre hesaplanan kesme kuvveti değeri 22 034 kN iken zaman tanım alanı analiz yöntemine göre hesaplanan kesme kuvveti değeri 19 880 kN olarak hesaplanmıştır.

Deprem etkisindeki yüksek binada, DD-4 deprem düzeyi için mod birleştirme yöntemi ile statik deprem yükleri sonucu binada oluşan kat momentlerinin, zaman tanım alanı analiz yöntemi ile deprem analizlerinden hesaplanan kat momentlerin ortalamasından %54 daha büyük olduğu görölmüştür. Binanın taban noktasında mod birleştirme yöntemine göre hesaplanan moment değeri 1 707 340 kN.m iken zaman tanım alanı analiz yöntemine göre hesaplanan moment değeri 1 106 830 kN.m olarak hesaplanmıştır.

- Tez kapsamında incelenen yüksek binanın, rüzgâr akıntısı ve deprem etkisi altında statik ve dinamik analizleri yapılarak sonuçlar kıyaslanmıştır. Rüzgâr kuvvetleri için TS EN 1991 1-4 yöntemiyle eşdeğer statik ve SRM yöntemi ile toplam on setten oluşan dinamik rüzgâr yükleri, deprem kuvvetleri için servis depremi olarak adlandırılan DD-4 deprem düzeyi için mod birleştirme yöntemiyle statik ve zaman tanım alanında analiz yöntemi ile toplam on bir adet ölçeklenmiş gerçek yer ivme deprem kayıtlarından oluşan dinamik deprem

yükleri altında analiz yapılmıştır. Analiz sonuçları olarak kat yatay yerdeğiştirmeleri, kat kesme kuvvetleri ve kat momentleri karşılaştırılmıştır.

Deprem etkisi altında yüksek binada, DD-4 deprem düzeyi için mod birleştirme yöntemi ile statik deprem yükleri sonucu binada oluşan kat yatay yerdeğiştirmelerinin, zaman tanım alanı yöntemi ile deprem analizlerinden hesaplanan kat yatay yerdeğiştirmeleri ortalamasından ve rüzgâr akıntısı etkisindeki yüksek binada, SRM yöntemi ile toplam on setten oluşan dinamik rüzgâr yükleri sonucu binada oluşan kat yerdeğiştirmelerinin ortalamasından TS EN 1991 1-4 standardına göre elde edilen eşdeğer statik rüzgâr kuvvetlerinin binada oluşturduğu kat yatay yerdeğiştirmelerinden daha büyük olduğu görölmüştür. Binanın tepe noktasında mod birleştirme yöntemine göre hesaplanan yatay yerdeğiştirme değeri 27,7 cm iken zaman tanım alanı analiz yöntemine göre hesaplanan yatay yerdeğiştirme değeri 19,4 cm, SRM'ye göre hesaplanan yatay yerdeğiştirme değeri 25,3 cm ve TS EN 1991 1-4'e göre hesaplanan yatay yerdeğiştirme değeri 20,3 cm olarak elde edilmiştir.

Deprem etkisi altında yüksek binada, DD-4 deprem düzeyi için mod birleştirme yöntemi ile statik deprem yükleri sonucu binada oluşan kat kesme kuvvetlerinin, zaman tanım alanı yöntemi ile deprem analizlerinden hesaplanan kat kesme kuvvetlerinin ortalamasından ve rüzgâr akıntısı etkisindeki yüksek binada, SRM yöntemi ile toplam on setten oluşan dinamik rüzgâr yükleri sonucu binada oluşan kat kesme kuvvetlerinin ortalamasından, TS EN 1991 1-4 standardına göre elde edilen eşdeğer statik rüzgâr kuvvetlerinin binada oluşturduğu kat kesme kuvvetlerinden daha büyük olduğu görölmüştür. Binanın taban noktasında mod birleştirme yöntemine göre hesaplanan kesme kuvveti değeri 22 034 kN iken zaman tanım alanı analiz yöntemine göre hesaplanan kesme kuvveti değeri 19 880 kN, SRM'ye göre hesaplanan kesme kuvveti değeri 13 892 kN ve TS EN 1991 1-4'e göre hesaplanan kesme kuvveti değeri 12 712 kN olarak elde edilmiştir.

Deprem etkisi altında yüksek binada, DD-4 deprem düzeyi için mod birleştirme yöntemi ile statik deprem yükleri sonucu binada oluşan kat momentlerinin, zaman tanım alanı yöntemi ile deprem analizlerinden hesaplanan kat momentlerinin ortalamasından ve rüzgâr akıntısı etkisindeki yüksek binada, SRM yöntemi ile toplam on setten oluşan dinamik rüzgâr yükleri sonucu binada oluşan kat momentlerinin ortalamasından, TS EN 1991 1-4 standardına göre elde edilen eşdeğer statik rüzgâr kuvvetlerinin binada oluşturduğu kat momentlerinden daha büyük olduğu görülmüştür. Binanın taban noktasında mod birleştirme yöntemine göre hesaplanan moment değeri 1 707 340 kN.m iken zaman tanım alanı analiz yöntemine göre hesaplanan moment değeri 1 106 830 kN.m SRM'ye göre hesaplanan moment değeri 1 586 492 kN.m ve TS EN 1991 1-4'e göre hesaplanan moment değeri 1 311 543 kN.m olarak elde edilmiştir.

Yukarıdaki sonuçlar incelendiğinde genel olarak deprem etkilerinin, rüzgâr etkilerine göre ortalama %26 daha büyük olduğu görülmektedir. Ancak burada seçilen örnek binanın deprem tehlike sınıfı birinci bölge olarak İzmir'de yapılacağı kabul edildiğinden deprem kuvvetleri, rüzgâr kuvvetlerine göre büyük değerler olarak hesaplanmıştır. Tasarımı yapılacak binanın depremselliği düşük olan bir bölgede yapılması durumunda doğal olarak deprem kuvvetleri çok daha küçük değerler alacak ancak rüzgâr kuvvetlerinde büyük bir değişim meydana gelmeyecektir. Böyle bir durumda rüzgâr etkilerinin, deprem etkilerinden daha kritik olabileceği göz önünde tutulmalıdır.

Sonuç olarak dinamik olarak yapılan rüzgâr analizlerinde her bir kat için hesaplanacak yatay yerdeğiştirme, kesme kuvveti ve moment gibi tasarım parametreleri değişken olarak hesaplanabilmektedir. Bu değişkenlik dikkate alınarak rüzgâr etkisi altında istenilen aşılma olasılığına göre yapısal tasarım yapmak mümkün olacaktır. Eşdeğer statik rüzgâr analizlerinde ise sadece tek bir rüzgâr profili kullanıldığından tasarımda kullanılacak her bir yatay yerdeğiştirme veya iç kuvvet büyüklüğü tek bir değer olarak belirlendiğinden bu büyüklüklerin istatistiksel değişimi

belirlenmemektedir. Bu nedenle SRM yöntemi ile elde edilen sentetik rüzgâr kayıtlarına göre yapılan dinamik analizlerin eşdeğer statik rüzgâr yük analizlerine göre istatistiki açıdan daha güvenli tasarım yapmaya imkân verdiği görüşüne varılmıştır.

6.2 Öneriler

Bu tez kapsamında açıklanan, SRM yöntemi ile üretilen sentetik rüzgâr kayıtlarının gerçeğe yakınlığının irdelenmesi için, farklı yüksek binalarda yapılmış veya yapılacak olan rüzgâr ölçümleri ile karşılaştırma yapılması faydalı olacaktır.



KAYNAKLAR

- Abrous, A., Wamkeue, R. ve Berkouk, E. M. (2015). Modeling and simulation of a wind model using a spectral representation method. *3rd International Renewable and Sustainable Energy Conference*, 1-6.
- Adnan, A. ve Suradi, S. (2008). Comparison on the effect of earthquake and wind loads on the performance of reinforced concrete buildings. *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*, 12-17.
- Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı. (2018). *Türkiye bina deprem yönetmeliği 2018*. Ankara.
- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. (2019). *Türkiye deprem tehlike haritaları interaktif web uygulaması*. 25 Şubat 2019, <http://tdth.afad.gov.tr/>.
- Baker, W. F., Korista, D. S. ve Novak, L. C. (2007). Burj Dubai: Engineering the world's tallest building. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 16, 361-375.
- Benowitz, B. ve Deodatis, G. (2015). Simulation of wind velocities on long span structures: Anovel stochastic wave based model. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 147, 154-163.
- Berahman, F. (2013). Performance-based seismic evaluation of the Icon Hotel in Dubai, United Arab Emirates. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 22(3), 300-326.
- Cao, Y., Haifan, X. ve Zhou, Y. (2000). Simulation of stochastic wind velocity field on long-span bridges. *Journal of Engineering Mechanics*, 126(1), 1-6.

- Chen, X. ve Kareem, A. (2005). Proper orthogonal decomposition-based modeling analysis, and simulation of dynamic wind load effects on structures. *Journal of Engineering Mechanics*, 131(4), 325-339.
- Chen, N., Li, Y. ve Xiang, H. (2014). A new simulation algorithm of multivariate short-term stochastic wind velocity field based on inverse fast Fourier transform. *Engineering Structures*, 80, 251-259.
- Computer and Structures Inc. (2000). *SAP2000 - Static and dynamic finite element analysis of structures*. California.
- Davenport, A. G. (1961a). The application of statistical concepts to the wind loading of structures. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 19(4), 449-472.
- Davenport, A. G. (1961b). The spectrum of horizontal gustigust near the ground in high winds. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 87(372), 194-211).
- Ding, Q., Zhu, L. ve Xiang, H. (2011). An efficient ergodic simulation of multivariate stochastic processes with spectral representation. *Probabilistic Engineering Mechanics*, 26, 350-356.
- El-Hewity, M. M., Abdelnaby, M. H. ve Eshra, E. M. (2019). Numerical simulation of buffeting longitudinal wind forces on buildings. *Alexandria Engineering Journal*, 58, 225-236.
- Han, D. J. ve Luo, J. J. (2006). Simulation of stochastic fluctuating wind field using the Wave Superposition Method with random frequencies. *Computational Methods In Engineering and Science* (21-23). Sanya: Springer.
- Harris, R. I. (1968). On the spectrum and auto-correlation function of gustiness in high winds, Electrical Research Association report: 5273.

Heiza, K. M. ve Tayel, M. A. (2012). Comparative study of the effects of wind and earthquake loads on high-rise buildings. *Concrete Research Letters*, 3(1), 386-405.

Humphreys, W. J. (1940). *Physics of the air* (3. Baskı). New York: McGraw-Hill.

Jadhav, A. A., Kulkarni, S. K. ve Galatage, A. A. (2016). Comparison of the effect of earthquake and wind loads on the performance of rc framed shear wall building with its different orientation. *International Journal of Advance Research and Innovative Ideas in Education*, 2, 314-319.

Kaimal, J. (1978). Horizontal velocity spectra in an unstable surface layer. *Journal of Atmospheric Sciences*, 35(1), 18–24.

Li, Y., Liao, H. Ve Qiang, S. (2004). Simplifying the simulation of stochastic wind velocity fields for long cable-stayed bridges. *Computers and Structures*, 82, 1591-1598.

Liu, Z. ve Liu Z. (2018). Random function representation of stationary stochastic vector processes for probability density evolution analysis of wind-induced structures. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 106, 511-525.

Mortezaei, A. ve Ronagh, H. R. (2013). Plastic hinge length of reinforced concrete columns subjected to both far-Faya and near-Faya ground motions having forward directivity. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 22, 903–926.

Özdemir, Z. ve Fahjan, Y. (2007). Gerçek deprem kayıtlarının tasarım spektrumlarına uygun olarak zaman ve frekans tanım alanlarında ölçekleme yöntemlerinin karşılaştırılması. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, 435-436.

Pasific Earthquake Engineering Research Center (PEER). (2016). *PEER strong ground motion database*. 01 Ocak 2019, http://ngawest2.berkeley.edu/users/sign_in?unauthenticated=true.

- Pekgözü, R. K. ve Taş, G. (2017). Ayarlı kütle sönümleyici yerleştirilmiş betonarme yüksek minarelerin dinamik analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(1), 265-282.
- Rajmani, A. ve Guha, P. (2015). Analysis of wind & earthquake load for different shapes of high rise building. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 6(2), 38-45.
- Shinozuka, M. ve Jan, C. M. (1972). Digital simulation of random processes and its applications. *Journal of Sound and Vibration*, 25(1), 111-128.
- Simiu, E. (1974). Wind spectra and dynamic alongwind response. *Journal of the structural division*, 100(9), 1897-1910.
- Simiu, E. ve Scanlan, R. H. (1986). *Wind effects on structures* (2. Baskı). New York: John Wiley and Sons.
- Solari, G. (1983). Design wind loads. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 11, 345-358.
- Solari, G. (1985). Mathematical model to predict 3-D wind loading on buildings. *Journal of Engineering Mechanics*, 111(2), 254-276.
- Solari, G. (1988). Equivalent wind spectrum technique: Theory and applications. *Journal of Structural Engineering*, 114(6), 1303-1323.
- Solari, G. (1987). Turbulence modeling for gust loading. *Journal of Structural Engineering*, 113(7), 1550-1569.
- Solari, G. (1993). Gust buffeting I: Peak wind velocity and equivalent pressure. *Journal of Structural Engineering*, 119(2), 365-382.

- Solari, G. ve Tubino, F. (2007). Dynamic approach to the wind loading of structures: Alongwind, crosswind and torsional response. *Wind effects on buildings and design of wind-sensitive structures* (137–166). Vienna: Springer.
- Steenbergen, R. D. J. M., Vrouwenvelder, A. C. W. M. ve Geurts, C. P. W. (2012). The use of Eurocode EN 1991-1-4 procedures 1 and 2 for building dynamics a comparative study. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 107-108, 299-306.
- Tennekes, H. (1973). The logarithmic wind profile. *Journal of Atmospheric Sciences*, 30(2), 234–238.
- Tian, Y., Yang, Q., Yang, N., Li, B. ve Chen, B. (2011). Statistical spectrum model of wind velocity at Beijing Meteorological Tower. *Science China Technological Sciences*, 54(11), 2869-2877.
- Togbenou, K., Li, Y., Chen, N. ve Liao, H. (2016). An efficient simulation method for vertically distributed stochastic wind velocity field based on approximate piecewise wind spectrum. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 151, 48-59.
- Türkeli, E. (2014). Determination and comparison of wind and earthquake responses of reinforced concrete minarets. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39(5), 3665-3680.
- Türk Standartlar Enstitüsü. (2000). *TS 500 Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları*. Ankara.
- Türk Standartlar Enstitüsü. (2007). *TS EN 1991 1-4 Yapılar üzerindeki etkiler – bölüm 1-4: Genel etkiler – rüzgâr etkileri (Eurocode 1)*. Ankara.

Venanzi, I., Lavan, O., Lerimonti, L. ve Fabrizi, S. (2018). Multi-hazard loss analysis of tall buildings under wind and seismic loads. *Structure and Infrastructure Engineering*, 14(10), 1295–1311.

Xu, Z. D., Wang, D. X. ve Wu, K. Y. (2011). Simulation of stochastic wind field for large complex structures based on modified Fourier spectrum. *Journal of Zhejiang University Science A*, 12(3), 238-246.



EKLER

EK-1 Yüksek Binaya Etkiyen Rüzgâr Yükleri Altında Analiz Sonuçları

Tablo A.1 Rüzgâr analizlerinde kullanılan rüzgârların kısaltmaları

Rüzgâr Analizi Adı	Kısaltma
Dinamik-1	R1
Dinamik-2	R2
Dinamik-3	R3
Dinamik-4	R4
Dinamik-5	R5
Dinamik-6	R6
Dinamik-7	R7
Dinamik-8	R8
Dinamik-9	R9
Dinamik-10	R10
Dinamik Ortalama	R11
Statik (TS EN 1991 1-4)	R12

Tablo A.2 Rüzgâr kuvvetleri altında yüksek bina kat yatay yerdeğıştirmeleri (R1-R6)

Kat Yatay Yerdeğıştirmeleri (cm)						
Kat No	R1	R2	R3	R4	R5	R6
52	22,90	25,97	20,16	24,81	28,41	25,87
51	22,65	25,65	19,94	24,55	28,09	25,57
50	22,39	25,32	19,70	24,27	27,76	25,27
49	22,13	24,98	19,46	23,99	27,42	24,95
48	21,85	24,62	19,20	23,70	27,07	24,63
47	21,56	24,24	18,94	23,39	26,69	24,30
46	21,27	23,85	18,66	23,07	26,30	23,97
45	20,95	23,44	18,40	22,74	25,90	23,61
44	20,62	23,00	18,14	22,40	25,48	23,25
43	20,28	22,56	17,87	22,04	25,04	22,87
42	19,93	22,09	17,58	21,66	24,58	22,47
41	19,56	21,65	17,29	21,27	24,11	22,06
40	19,17	21,22	16,98	20,87	23,63	21,64
39	18,77	20,77	16,66	20,44	23,15	21,21
38	18,36	20,32	16,34	20,01	22,65	20,76
37	17,93	19,84	15,99	19,55	22,14	20,30
36	17,49	19,36	15,64	19,08	21,61	19,83
35	17,04	18,86	15,27	18,60	21,07	19,34
34	16,58	18,35	14,90	18,10	20,51	18,84
33	16,10	17,83	14,50	17,59	19,94	18,33
32	15,62	17,30	14,10	17,06	19,35	17,80
31	15,12	16,75	13,68	16,52	18,75	17,27
30	14,62	16,20	13,25	15,97	18,13	16,72
29	14,11	15,64	12,81	15,40	17,51	16,16
28	13,59	15,08	12,36	14,82	16,87	15,59
27	13,07	14,51	11,89	14,24	16,22	15,01
26	12,53	13,93	11,42	13,64	15,56	14,43

Tablo A.2 devamı

Kat Yatay Yerdeştirmeleri (cm)						
Kat No	R1	R2	R3	R4	R5	R6
25	11,99	13,34	10,93	13,04	14,89	13,83
24	11,45	12,74	10,44	12,43	14,21	13,22
23	10,89	12,14	9,93	11,81	13,53	12,60
22	10,33	11,53	9,42	11,19	12,84	11,98
21	9,77	10,91	8,91	10,57	12,14	11,34
20	9,21	10,29	8,39	9,95	11,44	10,70
19	8,64	9,66	7,86	9,32	10,74	10,06
18	8,07	9,03	7,34	8,69	10,03	9,40
17	7,50	8,39	6,81	8,07	9,32	8,75
16	6,92	7,76	6,29	7,44	8,61	8,09
15	6,35	7,12	5,76	6,82	7,90	7,43
14	5,78	6,48	5,26	6,20	7,19	6,76
13	5,22	5,85	4,75	5,59	6,49	6,10
12	4,66	5,22	4,25	4,98	5,78	5,45
11	4,10	4,60	3,75	4,38	5,09	4,79
10	3,55	3,99	3,25	3,79	4,41	4,16
9	3,02	3,39	2,77	3,22	3,74	3,53
8	2,51	2,82	2,31	2,68	3,11	2,93
7	2,03	2,28	1,87	2,17	2,51	2,37
6	1,60	1,80	1,48	1,70	1,97	1,87
5	1,23	1,38	1,14	1,31	1,52	1,44
4	0,89	1,00	0,83	0,95	1,10	1,04
3	0,59	0,66	0,55	0,63	0,72	0,69
2	0,33	0,37	0,30	0,35	0,40	0,38
1	0,16	0,17	0,15	0,16	0,19	0,19
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tablo A.3 Rüzgâr kuvvetleri altında yüksek bina kat yatay yerdeğıştirmeleri (R7-R12)

Kat Yatay Yerdeğıştirmeleri (cm)						
Kat No	R7	R8	R9	R10	R11	R12
52	24,81	28,41	25,87	26,08	25,33	20,34
51	24,55	28,09	25,57	25,77	25,04	20,13
50	24,27	27,76	25,27	25,46	24,75	19,90
49	23,99	27,42	24,95	25,14	24,44	19,67
48	23,70	27,07	24,63	24,80	24,13	19,43
47	23,39	26,69	24,30	24,44	23,80	19,18
46	23,07	26,30	23,97	24,07	23,45	18,92
45	22,74	25,90	23,61	23,68	23,10	18,65
44	22,40	25,48	23,25	23,28	22,73	18,36
43	22,04	25,04	22,87	22,86	22,34	18,07
42	21,66	24,58	22,47	22,47	21,95	17,76
41	21,27	24,11	22,06	22,07	21,54	17,44
40	20,87	23,63	21,64	21,65	21,13	17,11
39	20,44	23,15	21,21	21,22	20,70	16,77
38	20,01	22,65	20,76	20,78	20,26	16,42
37	19,55	22,14	20,30	20,32	19,81	16,06
36	19,08	21,61	19,83	19,85	19,34	15,69
35	18,60	21,07	19,34	19,36	18,85	15,30
34	18,10	20,51	18,84	18,85	18,36	14,91
33	17,59	19,94	18,33	18,34	17,85	14,51
32	17,06	19,35	17,80	17,80	17,32	14,10
31	16,52	18,75	17,27	17,26	16,79	13,67
30	15,97	18,13	16,72	16,70	16,24	13,24
29	15,40	17,51	16,16	16,13	15,68	12,80
28	14,82	16,87	15,59	15,55	15,11	12,36
27	14,24	16,22	15,01	14,96	14,54	11,90
26	13,64	15,56	14,43	14,36	13,95	11,43

Tablo A.3 devamı

Kat Yatay Yerdeşiftirmeleri (cm)						
Kat No	R7	R8	R9	R10	R11	R12
25	13,04	14,89	13,83	13,74	13,35	10,96
24	12,43	14,21	13,22	13,12	12,75	10,48
23	11,81	13,53	12,60	12,49	12,13	10,00
22	11,19	12,84	11,98	11,85	11,51	9,51
21	10,57	12,14	11,34	11,21	10,89	9,01
20	9,95	11,44	10,70	10,56	10,26	8,51
19	9,32	10,74	10,06	9,90	9,63	8,00
18	8,69	10,03	9,40	9,24	8,99	7,49
17	8,07	9,32	8,75	8,58	8,36	6,98
16	7,44	8,61	8,09	7,92	7,72	6,46
15	6,82	7,90	7,43	7,26	7,08	5,94
14	6,20	7,19	6,76	6,60	6,44	5,42
13	5,59	6,49	6,10	5,95	5,81	4,90
12	4,98	5,78	5,45	5,30	5,18	4,39
11	4,38	5,09	4,79	4,66	4,56	3,87
10	3,79	4,41	4,16	4,03	3,95	3,37
9	3,22	3,74	3,53	3,42	3,36	2,87
8	2,68	3,11	2,93	2,84	2,79	2,40
7	2,17	2,51	2,37	2,29	2,26	1,95
6	1,70	1,97	1,87	1,80	1,78	1,54
5	1,31	1,52	1,44	1,39	1,37	1,19
4	0,95	1,10	1,04	1,00	0,99	0,87
3	0,63	0,72	0,69	0,66	0,65	0,57
2	0,35	0,40	0,38	0,37	0,36	0,32
1	0,18	0,21	0,17	0,18	0,18	0,16
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tablo A.4 Rüzgâr kuvvetleri altında yüksek bina kat kesme kuvvetleri (R1-R6)

Kat Kesme Kuvvetleri (kN)						
Kat No	R1	R2	R3	R4	R5	R6
51	291	390	298	415	387	388
50	624	931	654	897	899	919
49	969	1461	1004	1362	1401	1459
48	1289	1984	1308	1807	1872	1995
47	1613	2488	1607	2235	2312	2495
46	1954	2966	1939	2679	2797	2970
45	2325	3438	2294	3107	3270	3423
44	2681	3898	2634	3517	3723	3857
43	3049	4347	2938	3967	4167	4271
42	3428	4796	3266	4400	4633	4684
41	3786	5237	3559	4830	5112	5067
40	4130	5655	3830	5232	5579	5446
39	4436	6065	4075	5588	6008	5797
38	4749	6448	4308	5920	6398	6135
37	5076	6789	4535	6244	6773	6473
36	5397	7102	4754	6539	7133	6788
35	5707	7410	4973	6802	7465	7048
34	6014	7710	5171	7055	7782	7286
33	6312	8003	5363	7277	8077	7552
32	6585	8272	5529	7478	8379	7819
31	6845	8515	5702	7682	8693	8082
30	7100	8737	5864	7862	8991	8342
29	7341	8932	6047	8200	9265	8612
28	7561	9118	6225	8529	9533	8856
27	7783	9289	6405	8844	9799	9099
26	7991	9442	6560	9114	10059	9336

Tablo A.4 devamı

Kat Kesme Kuvvetleri (kN)						
Kat No	R1	R2	R3	R4	R5	R6
25	8202	9588	6753	9359	10296	9555
24	8456	9721	6995	9608	10536	9750
23	8708	9820	7242	9841	10796	9941
22	8928	9893	7472	10053	11057	10170
21	9142	10019	7685	10245	11307	10383
20	9349	10290	7932	10426	11559	10602
19	9546	10558	8159	10585	11806	10908
18	9713	10813	8359	10705	12056	11190
17	9877	11058	8556	10833	12276	11457
16	10038	11286	8743	10966	12503	11719
15	10194	11483	8906	11106	12716	11984
14	10360	11680	9073	11256	12964	12249
13	10521	11879	9257	11386	13209	12492
12	10691	12048	9422	11519	13447	12718
11	10862	12233	9575	11645	13690	12919
10	11035	12408	9737	11784	13897	13098
9	11198	12591	9901	11926	14085	13245
8	11353	12778	10065	12075	14249	13415
7	11509	12945	10213	12229	14392	13568
6	11693	13145	10398	12409	14555	13723
5	11863	13297	10577	12587	14680	13866
4	12038	13491	10811	12769	14818	14035
3	12178	13679	11045	12930	14925	14196
2	12307	13842	11234	13093	15020	14363
1	12428	13999	11391	13242	15125	14516
0	12549	14166	11550	13397	15256	14675

Tablo A.5 Rüzgâr kuvvetleri altında yüksek bina kat kesme kuvvetleri (R7-R12)

Kat Kesme Kuvvetleri (kN)						
Kat No	R7	R8	R9	R10	R11	R12
51	415	387	388	324	368	145
50	897	899	919	782	842	435
49	1362	1401	1459	1241	1312	726
48	1807	1872	1995	1693	1762	1016
47	2235	2312	2495	2141	2193	1306
46	2679	2797	2970	2592	2634	1596
45	3107	3270	3423	3035	3069	1887
44	3517	3723	3857	3445	3485	2177
43	3967	4167	4271	3848	3899	2461
42	4400	4633	4684	4243	4317	2737
41	4830	5112	5067	4634	4723	3012
40	5232	5579	5446	5024	5115	3285
39	5588	6008	5797	5424	5478	3556
38	5920	6398	6135	5808	5822	3825
37	6244	6773	6473	6174	6155	4092
36	6539	7133	6788	6514	6469	4357
35	6802	7465	7048	6841	6756	4620
34	7055	7782	7286	7173	7032	4881
33	7277	8077	7552	7498	7299	5140
32	7478	8379	7819	7821	7556	5397
31	7682	8693	8082	8134	7811	5652
30	7862	8991	8342	8418	8051	5904
29	8200	9265	8612	8689	8316	6154
28	8529	9533	8856	8938	8568	6401
27	8844	9799	9099	9164	8812	6646
26	9114	10059	9336	9374	9039	6888

Tablo A.5 devamı

Kat Kesme Kuvvetleri (kN)						
Kat No	R7	R8	R9	R10	R11	R12
25	9359	10296	9555	9564	9253	7128
24	9608	10536	9750	9745	9471	7365
23	9841	10796	9941	10046	9697	7599
22	10053	11057	10170	10342	9919	7830
21	10245	11307	10383	10630	10135	8058
20	10426	11559	10602	10897	10364	8283
19	10585	11806	10908	11136	10600	8505
18	10705	12056	11190	11360	10815	8723
17	10833	12276	11457	11578	11020	8937
16	10966	12503	11719	11766	11221	9148
15	11106	12716	11984	11934	11413	9354
14	11256	12964	12249	12104	11616	9557
13	11386	13209	12492	12275	11811	9755
12	11519	13447	12718	12457	11998	9949
11	11645	13690	12919	12629	12181	10137
10	11784	13897	13098	12775	12351	10320
9	11926	14085	13245	12891	12509	10500
8	12075	14249	13415	12999	12667	10681
7	12229	14392	13568	13101	12815	10861
6	12409	14555	13723	13249	12986	11041
5	12587	14680	13866	13342	13135	11312
4	12769	14818	14035	13471	13305	11582
3	12930	14925	14196	13617	13462	11853
2	13093	15020	14363	13758	13609	12123
1	13242	15125	14516	13873	13746	12394
0	13397	15256	14675	13996	13892	12712

Tablo A.6 Rüzgâr kuvvetleri altında yüksek bina kat momentleri (R1-R6)

Kat Momentleri (kN.m)						
Kat No	R1	R2	R3	R4	R5	R6
51	1099	1426	1092	1524	1410	1388
50	3441	4880	3523	4872	4741	4762
49	7029	10300	7255	9947	9935	10140
48	11835	17656	12118	16674	16880	17506
47	17841	26880	18090	24993	25415	26726
46	25115	37874	25292	34960	35456	37711
45	33760	50618	33810	46517	47258	50378
44	43725	65069	43586	59489	61040	64655
43	55050	81183	54492	73731	76464	80465
42	67779	98964	66472	89155	93508	97811
41	81833	118380	79458	105653	112104	116578
40	97161	139343	93456	124465	132193	136751
39	113623	161827	108452	145132	153983	158227
38	131239	185732	124419	167033	177665	180958
37	150061	210902	141241	190135	202737	204942
36	170069	237235	158770	214336	229144	230099
35	191222	264711	176989	239513	256783	256223
34	213509	293299	195808	265628	285600	283231
33	236898	322970	215230	292570	315510	311042
32	261295	353641	235096	320259	346457	339569
31	286656	385214	255399	348705	378375	368769
30	312963	417607	276615	377818	411241	398671
29	340162	450727	298491	407495	445078	429284
28	368179	484538	320772	437754	479831	460497
27	397015	518982	344007	468664	515447	492270
26	426620	553994	367631	500105	551939	524602

Tablo A.6 devamı

Kat Momentleri (kN.m)						
Kat No	R1	R2	R3	R4	R5	R6
25	456983	589550	391572	532018	590086	557451
24	488177	625599	415905	564386	629052	590765
23	520226	662013	440600	597177	668763	624579
22	553026	698692	465634	630464	709128	658835
21	586594	735671	491033	664273	750223	694422
20	620849	772969	516813	698769	792046	730859
19	655813	810475	542931	733932	834531	767626
18	691393	848230	569295	769736	877585	805371
17	727541	886203	595935	806191	921240	845494
16	764284	924281	622900	843293	965408	886027
15	801570	962431	650210	881014	1010101	926950
14	839326	1000625	678316	919394	1055299	968233
13	877573	1038879	707059	958499	1100973	1009824
12	916299	1077229	736244	998328	1147070	1051735
11	955340	1115694	765818	1038734	1193544	1093969
10	994666	1154229	796487	1079677	1240273	1136564
9	1034296	1192787	828812	1122016	1287302	1179385
8	1074163	1231343	863687	1166681	1337827	1222412
7	1114866	1269926	900767	1211914	1388758	1265745
6	1158114	1308664	938425	1257815	1440294	1310450
5	1201995	1347259	976698	1304384	1492281	1361760
4	1246530	1386874	1015776	1351625	1544830	1413696
3	1291584	1436542	1055707	1399468	1597830	1466228
2	1337120	1486689	1096429	1447910	1651623	1519378
1	1383105	1537224	1137799	1496907	1707586	1573092
0	1445853	1606047	1194567	1563893	1783866	1646472

Tablo A.7 Rüzgâr kuvvetleri altında yüksek bina kat momentleri (R7-R12)

Kat Momentleri (kN.m)						
Kat No	R7	R8	R9	R10	R11	R12
51	1524	1410	1388	1160	1342	537
50	4872	4741	4762	4027	4462	2148
49	9947	9935	10140	8583	9321	4833
48	16674	16880	17506	14819	15855	8592
47	24993	25415	26726	22714	23979	13425
46	34960	35456	37711	32281	33682	19332
45	46517	47258	50378	43489	44998	26313
44	59489	61040	64655	56219	57897	34367
43	73731	76464	80465	70444	72249	43472
42	89155	93508	97811	86131	88030	53600
41	105653	112104	116578	103269	105161	64744
40	124465	132193	136751	121850	123863	76898
39	145132	153983	158227	141915	144050	90054
38	167033	177665	180958	163403	165610	104206
37	190135	202737	204942	186247	188408	119346
36	214336	229144	230099	210347	212358	135468
35	239513	256783	256223	235661	237362	152563
34	265628	285600	283231	262204	263374	170625
33	292570	315510	311042	289953	290329	189644
32	320259	346457	339569	318898	318150	209613
31	348705	378375	368769	349005	346797	230524
30	377818	411241	398671	380166	376281	252369
29	407495	445078	429284	412335	406543	275138
28	437754	479831	460497	445426	437508	298822
27	468664	515447	492270	479358	469212	323412
26	500105	551939	524602	514068	501560	348900

Tablo A.7 devamı

Kat Momentleri (kN.m)						
Kat No	R7	R8	R9	R10	R11	R12
25	532018	590086	557451	549480	534669	375273
24	564386	629052	590765	585565	568365	402524
23	597177	668763	624579	622296	602617	430640
22	630464	709128	658835	659656	637386	459611
21	664273	750223	694422	697617	672875	489427
20	698769	792046	730859	736173	709015	520074
19	733932	834531	767626	775286	745668	551540
18	769736	877585	805371	814926	782923	583814
17	806191	921240	845494	855044	821057	616881
16	843293	965408	886027	895560	859648	650728
15	881014	1010101	926950	936414	898675	685339
14	919394	1055299	968233	977614	938173	720700
13	958499	1100973	1009824	1019128	978123	756794
12	998328	1147070	1051735	1060883	1018492	793604
11	1038734	1193544	1093969	1102916	1059226	831110
10	1079677	1240273	1136564	1145284	1100369	869295
9	1122016	1287302	1179385	1187948	1142125	908146
8	1166681	1337827	1222412	1230953	1185399	947665
7	1211914	1388758	1265745	1274195	1229259	987851
6	1257815	1440294	1310450	1317800	1274012	1028704
5	1304384	1492281	1361760	1361588	1320439	1070558
4	1351625	1544830	1413696	1407369	1367685	1113413
3	1399468	1597830	1466228	1457760	1416864	1157269
2	1447910	1651623	1519378	1508670	1466673	1202125
1	1496907	1707586	1573092	1560004	1517330	1247983
0	1563893	1783866	1646472	1629987	1586492	1311543

EK-2 Yüksek Binaya Etkiyen Deprem Yükleri Altında Analiz Sonuçları

Tablo B.1 Deprem analizlerinde kullanılan depremlerin kısaltmaları

Deprem Analizi Adı	Kısaltma
Parfield-1	D1
Parfield-2	D2
Imperial Wall-1	D3
Imperial Wall-2	D4
Livermore-1	D5
Livermore-2	D6
Irpinia Italy-1-1	D7
Irpinia Italy-1-2	D8
Irpinia Italy-2-1	D9
Irpinia Italy-2-2	D10
Morgan Hill-1	D11
Morgan Hill-2	D12
Chalfant Valley-1	D13
Chalfant Valley-2	D14
Bigbear-1	D15
Bigbear-2	D16
Kobe-1	D17
Kobe-2	D18
Kozan-1	D19
Kozan-2	D20
Dinar-1	D21
Dinar-2	D22
Dinamik Ortalama	D23
Mod Birleştirme Yöntemi	D24

Tablo B.2 Deprem kuvvetleri altında yüksek bina kat yatay yerdeşistirmeleri (D1-D8)

Kat Yatay Yerdeşistirmeleri (cm)								
Kat No	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
52	29,25	26,84	16,70	15,32	10,45	16,35	27,19	43,11
51	28,79	26,49	16,47	15,12	10,10	15,97	26,84	42,62
50	28,32	26,14	16,23	14,91	9,73	15,57	26,48	42,11
49	27,82	25,76	15,98	14,69	9,33	15,15	26,10	41,61
48	27,30	25,37	15,72	14,46	8,90	14,71	25,71	41,10
47	26,76	24,96	15,44	14,22	8,44	14,24	25,29	40,59
46	26,19	24,52	15,15	13,97	7,95	13,74	24,87	40,08
45	25,60	24,07	14,85	13,71	7,44	13,22	24,43	39,56
44	25,00	23,61	14,54	13,44	6,91	12,66	23,98	39,02
43	24,39	23,12	14,21	13,17	6,36	12,07	23,53	38,45
42	23,78	22,62	13,88	12,89	6,20	11,46	23,08	37,86
41	23,18	22,10	13,53	12,61	6,20	10,82	22,65	37,24
40	22,58	21,57	13,18	12,32	6,18	10,15	22,23	36,59
39	22,02	21,03	12,81	12,04	6,15	9,46	21,82	35,90
38	21,48	20,48	12,44	11,75	6,10	8,76	21,42	35,19
37	20,97	19,93	12,05	11,46	6,09	8,12	21,01	34,44
36	20,49	19,40	11,66	11,17	6,14	7,58	20,59	33,66
35	20,02	18,92	11,26	10,88	6,39	7,06	20,16	32,86
34	19,58	18,48	10,86	10,60	6,72	6,60	19,70	32,03
33	19,15	18,05	10,45	10,32	7,03	6,54	19,21	31,17
32	18,72	17,64	10,05	10,04	7,31	6,72	18,70	30,30
31	18,29	17,22	9,64	9,76	7,55	6,91	18,17	29,40
30	17,86	16,80	9,24	9,46	7,76	7,08	17,62	28,48
29	17,42	16,35	8,85	9,16	7,93	7,22	17,04	27,54
28	16,97	15,90	8,45	8,84	8,05	7,31	16,44	26,57
27	16,52	15,42	8,05	8,52	8,14	7,35	15,83	25,59
26	16,05	14,92	7,66	8,18	8,19	7,40	15,19	24,59

Tablo B.2 devamı

Kat Yatay Yerdeştirmeleri (cm)								
Kat No	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
25	15,57	14,51	7,29	7,82	8,19	7,61	14,54	23,56
24	15,09	14,09	6,95	7,45	8,15	7,77	13,88	22,53
23	14,58	13,64	6,61	7,07	8,06	7,88	13,20	21,47
22	14,05	13,17	6,28	6,69	7,93	7,94	12,51	20,40
21	13,50	12,68	5,94	6,29	7,75	7,94	11,81	19,32
20	12,93	12,15	5,60	5,88	7,53	7,88	11,11	18,23
19	12,33	11,60	5,26	5,46	7,27	7,76	10,39	17,13
18	11,70	11,03	4,90	5,12	6,97	7,59	9,68	16,02
17	11,04	10,42	4,54	4,86	6,63	7,36	8,97	14,91
16	10,36	9,79	4,18	4,60	6,25	7,07	8,27	13,79
15	9,65	9,14	3,82	4,34	5,85	6,73	7,58	12,67
14	8,92	8,45	3,53	4,05	5,41	6,34	6,90	11,54
13	8,16	7,75	3,32	3,76	4,95	5,90	6,21	10,42
12	7,38	7,02	3,07	3,44	4,48	5,41	5,53	9,43
11	6,59	6,28	2,81	3,10	3,99	4,89	4,86	8,44
10	5,79	5,53	2,53	2,75	3,51	4,34	4,20	7,44
9	4,99	4,77	2,23	2,38	3,02	3,76	3,56	6,45
8	4,20	4,02	1,92	2,01	2,55	3,18	2,95	5,46
7	3,45	3,31	1,61	1,77	2,09	2,62	2,44	4,50
6	2,75	2,64	1,31	1,54	1,67	2,13	2,06	3,62
5	2,14	2,06	1,03	1,27	1,33	1,70	1,67	2,83
4	1,57	1,50	0,77	0,99	1,00	1,27	1,28	2,08
3	1,04	1,00	0,52	0,70	0,68	0,86	0,88	1,39
2	0,58	0,56	0,29	0,41	0,39	0,49	0,51	0,78
1	0,23	0,22	0,11	0,16	0,15	0,19	0,20	0,30
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tablo B.3 Deprem kuvvetleri altında yüksek bina kat yatay yerdeşiftirmeleri (D9-D16)

Kat Yatay Yerdeşiftirmeleri (cm)								
Kat No	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16
52	6,20	17,93	10,78	18,91	21,26	12,38	11,24	4,29
51	6,02	17,66	10,69	18,53	20,95	12,10	10,83	4,19
50	5,83	17,39	10,60	18,13	20,63	11,80	10,39	4,08
49	5,63	17,11	10,52	17,70	20,30	11,48	9,92	3,97
48	5,43	16,83	10,43	17,24	19,94	11,15	9,42	3,85
47	5,23	16,55	10,35	16,74	19,58	10,78	8,88	3,74
46	5,04	16,30	10,28	16,23	19,19	10,40	8,47	3,63
45	4,88	16,06	10,22	15,68	18,80	10,00	8,14	3,52
44	4,76	15,81	10,16	15,12	18,40	9,58	7,81	3,41
43	4,64	15,54	10,10	14,53	18,00	9,15	7,45	3,30
42	4,57	15,25	10,04	13,94	17,59	8,71	7,08	3,20
41	4,51	14,93	9,96	13,33	17,19	8,49	6,69	3,10
40	4,44	14,59	9,87	12,72	16,79	8,32	6,28	3,00
39	4,37	14,23	9,77	12,11	16,39	8,15	5,88	2,90
38	4,29	13,84	9,66	11,50	16,00	7,98	5,48	2,81
37	4,20	13,43	9,53	11,01	15,60	7,81	5,13	2,74
36	4,10	12,99	9,39	10,60	15,21	7,64	5,10	2,67
35	3,99	12,53	9,23	10,59	14,82	7,46	5,39	2,59
34	3,86	12,42	9,06	10,58	14,43	7,27	5,65	2,62
33	3,72	12,48	8,88	10,56	14,04	7,17	5,88	2,63
32	3,60	12,54	8,70	10,54	13,64	7,22	6,05	2,64
31	3,54	12,58	8,52	10,52	13,24	7,25	6,16	2,64
30	3,51	12,61	8,33	10,50	12,83	7,25	6,22	2,62
29	3,59	12,60	8,12	10,48	12,41	7,22	6,23	2,59
28	3,65	12,54	7,89	10,46	11,98	7,16	6,22	2,54
27	3,68	12,45	7,65	10,43	11,55	7,08	6,20	2,48
26	3,68	12,32	7,38	10,39	11,12	6,96	6,29	2,40

Tablo B.3 devamı

Kat Yatay Yerdeştirmeleri (cm)								
Kat No	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16
25	3,66	12,15	7,10	10,32	10,68	6,81	6,40	2,31
24	3,69	11,94	6,80	10,22	10,24	6,62	6,47	2,30
23	3,71	11,69	6,48	10,09	9,80	6,41	6,52	2,32
22	3,71	11,41	6,15	9,93	9,34	6,17	6,53	2,36
21	3,70	11,08	5,82	9,73	8,88	5,90	6,50	2,38
20	3,67	10,70	5,49	9,49	8,40	5,61	6,43	2,38
19	3,62	10,27	5,16	9,20	7,92	5,29	6,31	2,37
18	3,57	9,79	4,83	8,88	7,42	4,96	6,15	2,33
17	3,51	9,26	4,51	8,51	6,91	4,62	5,95	2,28
16	3,44	8,68	4,18	8,10	6,39	4,26	5,71	2,21
15	3,36	8,06	3,85	7,65	5,86	3,90	5,43	2,11
14	3,25	7,39	3,53	7,16	5,33	3,70	5,12	2,00
13	3,12	6,69	3,21	6,63	4,89	3,48	4,76	1,87
12	2,96	5,96	2,92	6,06	4,44	3,23	4,38	1,73
11	2,77	5,23	2,74	5,46	3,98	2,95	3,96	1,57
10	2,54	4,51	2,60	4,84	3,51	2,64	3,52	1,41
9	2,29	3,81	2,41	4,21	3,04	2,31	3,07	1,25
8	2,01	3,20	2,18	3,57	2,57	1,97	2,61	1,07
7	1,72	2,65	1,92	2,95	2,11	1,64	2,22	0,90
6	1,42	2,14	1,63	2,37	1,69	1,32	1,85	0,73
5	1,14	1,69	1,32	1,85	1,32	1,04	1,49	0,58
4	0,86	1,26	1,01	1,36	0,97	0,76	1,13	0,43
3	0,58	0,85	0,70	0,91	0,64	0,51	0,78	0,29
2	0,33	0,48	0,40	0,51	0,36	0,29	0,45	0,16
1	0,13	0,19	0,16	0,20	0,14	0,11	0,18	0,06
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tablo B.4 Deprem kuvvetleri altında yüksek bina kat yatay yerdeşistirmeleri (D17-D24)

Kat Yatay Yerdeşistirmeleri (cm)								
Kat No	D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23	D24
52	33,74	29,56	27,28	21,03	15,30	12,40	19,43	27,75
51	33,32	29,21	26,97	20,70	15,02	12,13	19,12	27,40
50	32,89	28,85	26,65	20,36	14,73	11,85	18,80	27,05
49	32,44	28,47	26,32	19,99	14,42	11,54	18,47	26,68
48	31,97	28,07	25,97	19,61	14,11	11,20	18,11	26,30
47	31,47	27,66	25,60	19,20	13,78	10,85	17,74	25,90
46	30,96	27,22	25,20	18,78	13,43	10,46	17,37	25,49
45	30,42	26,77	24,78	18,36	13,07	10,06	16,98	25,06
44	29,86	26,30	24,34	17,96	12,69	9,63	16,59	24,62
43	29,27	25,81	23,87	17,59	12,29	9,19	16,18	24,17
42	28,66	25,30	23,40	17,23	11,86	8,74	15,79	23,70
41	28,04	24,77	22,92	16,85	11,42	8,30	15,40	23,22
40	27,39	24,23	22,46	16,46	10,95	7,92	15,01	22,72
39	26,73	23,67	22,16	16,05	10,45	7,58	14,62	22,22
38	26,05	23,09	21,86	15,61	9,94	7,28	14,23	21,70
37	25,35	22,50	21,55	15,33	9,39	6,99	13,85	21,18
36	24,64	21,90	21,21	15,04	8,83	6,70	13,49	20,64
35	23,92	21,28	20,84	14,72	8,24	6,46	13,16	20,09
34	23,18	20,65	20,44	14,38	7,82	6,70	12,89	19,54
33	22,44	20,00	20,01	14,01	7,99	7,00	12,67	18,98
32	21,68	19,34	19,53	13,63	8,10	7,30	12,45	18,41
31	20,92	18,68	19,01	13,22	8,15	7,60	12,23	17,83
30	20,15	18,00	18,45	12,79	8,14	7,87	11,98	17,24
29	19,38	17,32	17,85	12,34	8,09	8,13	11,72	16,65
28	18,60	16,63	17,23	11,87	8,01	8,35	11,44	16,05
27	17,82	15,93	16,58	11,39	7,93	8,55	11,14	15,45
26	17,03	15,23	15,90	10,91	7,84	8,71	10,83	14,84

Tablo B.4 devamı

Kat Yatay Yerdeştirmeleri (cm)								
Kat No	D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23	D24
25	16,23	14,52	15,21	10,44	7,73	8,82	10,52	14,22
24	15,43	13,81	14,50	9,98	7,60	8,89	10,20	13,60
23	14,63	13,09	13,78	9,54	7,44	8,91	9,86	12,97
22	13,82	12,38	13,04	9,13	7,27	8,88	9,50	12,34
21	13,01	11,66	12,29	8,72	7,16	8,80	9,13	11,71
20	12,20	10,94	11,53	8,29	7,01	8,66	8,73	11,07
19	11,39	10,22	10,77	7,86	6,80	8,47	8,31	10,42
18	10,58	9,51	10,00	7,41	6,53	8,24	7,87	9,78
17	9,78	8,79	9,30	6,96	6,22	7,96	7,42	9,13
16	8,97	8,09	8,60	6,49	5,96	7,64	6,96	8,48
15	8,18	7,38	7,91	6,01	5,66	7,28	6,47	7,82
14	7,39	6,69	7,22	5,53	5,34	6,87	5,98	7,17
13	6,61	6,00	6,53	5,03	4,97	6,41	5,48	6,51
12	5,85	5,32	5,84	4,53	4,57	5,91	4,98	5,86
11	5,11	4,66	5,15	4,02	4,12	5,37	4,46	5,22
10	4,39	4,01	4,47	3,52	3,72	4,79	3,93	4,58
9	3,69	3,39	3,81	3,02	3,33	4,19	3,41	3,95
8	3,04	2,80	3,17	2,53	2,91	3,58	2,89	3,35
7	2,43	2,25	2,57	2,07	2,47	2,98	2,39	2,77
6	1,90	1,77	2,03	1,65	2,03	2,44	1,94	2,24
5	1,45	1,43	1,57	1,28	1,64	1,92	1,53	1,77
4	1,05	1,09	1,15	0,97	1,24	1,43	1,14	1,32
3	0,69	0,75	0,76	0,66	0,85	0,97	0,77	0,89
2	0,38	0,44	0,42	0,38	0,49	0,55	0,44	0,51
1	0,15	0,17	0,16	0,15	0,19	0,22	0,17	0,20
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tablo B.5 Deprem kuvvetleri altında yüksek bina kat kesme kuvvetleri (D1-D8)

Kat Kesme Kuvvetleri (kN)								
Kat No	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
51	1311	1443	2055	2893	3174	2245	1152	1482
50	2699	2788	3887	5797	6140	4691	2461	3240
49	3967	3733	5147	8073	8287	6870	3701	4905
48	5112	4618	5839	9676	9585	8750	4865	6473
47	6137	5607	6068	10641	10066	10302	5941	7940
46	7043	6508	6167	11035	9842	11506	6917	9293
45	7832	7324	6328	10914	9160	12354	7782	10516
44	8511	8056	6355	10311	8560	12846	8526	11587
43	9149	8766	6038	9155	8650	12999	9139	12497
42	10040	9706	5261	7525	9688	12875	9615	13253
41	10811	10571	5436	7656	11168	13109	9954	13885
40	11449	11347	5662	8868	12358	13162	10159	14444
39	11947	12017	5791	9583	12976	13342	10247	14990
38	12306	12563	5831	9650	12869	13476	10250	15555
37	12529	12962	5796	9203	11982	13467	10256	16117
36	12618	13213	5805	8441	10363	13310	10349	16615
35	12579	13304	5983	8584	8565	13010	10475	17012
34	12415	13248	6194	9078	8319	12586	10613	17282
33	12132	13076	6415	9266	8006	12072	10825	17409
32	11741	12843	6568	9104	7978	11515	11196	17385
31	11394	12574	6996	8992	9192	10954	11620	17216
30	11518	12258	7328	9216	10177	10390	12036	16926
29	11545	11866	7484	9712	10587	9789	12413	16548
28	11452	11402	7626	9990	10350	9767	12736	16117
27	11218	10860	7858	10082	9486	10272	13000	15747
26	10835	10279	7977	10195	8048	10742	13203	16266

Tablo B.5 devamı

Kat Kesme Kuvvetleri (kN)								
Kat No	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
25	10316	9680	7843	10471	8145	11157	13355	16734
24	9731	9118	7456	10754	8481	11473	13475	17149
23	9942	9748	7340	10872	8638	11653	13593	17530
22	10133	10593	7275	10898	8746	11669	13695	17943
21	10299	11429	7170	10971	9864	11509	13744	18412
20	10449	12253	6914	11202	10893	11196	13716	18875
19	11179	13076	7262	11502	11463	10809	13605	19314
18	12112	13875	7457	11680	11507	10521	13421	19730
17	13031	14626	7467	11716	11003	10616	13191	20130
16	13938	15312	7476	11617	10105	11181	12998	20516
15	14836	15927	8052	11716	10667	11956	12937	20876
14	15724	16468	8541	12146	10932	12718	13001	21529
13	16600	16940	8890	12445	10803	13363	13160	22141
12	17452	17348	9098	12454	10825	13848	13398	22638
11	18257	17694	9165	12230	11301	14182	13730	23040
10	18986	17985	9137	12463	11685	14925	14215	23412
9	19622	18235	9043	13183	11958	15923	14863	23913
8	20151	18466	9147	13686	12114	16847	15567	24588
7	20571	18690	9439	13626	12387	17660	16265	25323
6	20892	18904	9537	12957	12870	18346	16950	26050
5	21378	19631	9633	11015	13576	20454	18370	27404
4	21839	20824	10635	12048	14667	23306	19976	28816
3	22326	21845	11635	14868	16269	25618	21351	30044
2	22726	22595	14172	17330	17405	27277	22373	30988
1	22978	23047	15913	18873	18073	28255	22994	31581
0	23085	23253	16576	19357	18669	28703	23298	31876

Tablo B.6 Deprem kuvvetleri altında yüksek bina kat kesme kuvvetleri (D9-D16)

Kat Kesme Kuvvetleri (kN)								
Kat No	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16
51	1661	2556	2615	1991	2607	2658	3677	828
50	3366	5034	5339	4125	4961	5336	7421	1568
49	4644	6960	7673	5939	6583	7435	10437	2149
48	5454	8298	9578	7405	7446	8944	12667	2560
47	5834	9148	11037	8516	7592	9906	14102	2801
46	6754	10249	12051	9440	7155	10392	14812	3005
45	7371	11150	12659	10126	6415	10459	14883	3424
44	7591	11880	12941	10524	5865	10148	14555	3797
43	7363	12414	13008	10642	6383	9568	14109	4113
42	6854	12705	12967	10563	6915	9056	13700	4371
41	6502	12713	12814	10558	7403	8817	13353	4563
40	6502	12968	12480	10458	7770	8557	13144	4684
39	6835	13377	11921	10347	8045	8177	13492	4736
38	7078	14170	11142	10309	8273	7541	14303	4719
37	7092	14745	10224	10696	8546	7439	14951	4642
36	6851	15037	9355	11146	8740	7412	15094	4502
35	6416	15081	8772	11384	8851	8264	14656	4303
34	5915	14980	8803	11409	9213	8796	13666	4040
33	5450	14737	8801	11243	9636	8970	12356	3719
32	4953	14261	8435	10913	9965	8979	11135	3363
31	4817	13509	7717	11051	10200	9084	10371	3013
30	4997	12511	7347	11424	10338	9243	9903	2767
29	5098	11664	8120	11629	10378	9346	9564	2816
28	5087	11083	8746	11587	10317	9422	9395	2851
27	4992	10359	9336	11248	10156	9642	9614	2831
26	5890	9526	9957	10599	9905	10039	10169	2853

Tablo B.6 devamı

Kat Kesme Kuvvetleri (kN)								
Kat No	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16
25	6821	9476	10555	9652	9582	10362	10851	2914
24	7508	9409	11225	8921	9327	10444	11514	2929
23	7929	9469	11540	9130	9592	10365	12070	2907
22	8097	10556	11584	9832	9754	10582	12505	3176
21	8049	11504	11545	10302	9822	11228	12827	3390
20	7822	12242	11625	10571	9807	11787	13129	3533
19	7430	12713	11731	10739	9721	11918	13510	3605
18	6904	12898	11705	10915	9579	11616	14134	3611
17	6802	12823	11447	11088	9394	11216	14969	3568
16	6591	13063	10941	11161	9213	11290	15879	3506
15	6320	14355	10220	11080	9646	11773	16801	3422
14	6213	15649	9371	10852	10093	12158	17663	3293
13	6164	16777	8500	10551	10543	12165	18456	3291
12	6745	17664	9540	10356	10973	11856	19166	3728
11	7502	18291	10421	10665	11347	11669	19653	4134
10	8297	18683	10961	11107	11623	11913	19806	4496
9	8977	18856	11143	11654	11821	12234	19672	4807
8	9467	18740	10998	12333	12150	12264	19449	5061
7	9638	18259	11549	13060	12408	11861	19315	5254
6	9459	17427	12595	13808	12621	11212	19355	5409
5	8699	16839	14420	15321	13063	10453	20459	5796
4	8655	17367	16203	16894	13569	11600	22796	6134
3	10361	18546	17643	18210	13981	13074	25026	6393
2	11704	19683	18944	19357	14343	14386	26694	6577
1	12605	20438	19983	20158	15082	15284	27743	6684
0	13081	20746	20526	20523	15437	15729	28123	6724

Tablo B.7 Deprem kuvvetleri altında yüksek bina kat kesme kuvvetleri (D17-D24)

Kat Kesme Kuvvetleri (kN)								
Kat No	D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23	D24
51	1463	2793	1989	1999	3093	2527	2094	1950
50	2812	5529	4122	3888	6276	4979	4150	3838
49	3861	7601	5962	5357	8965	6869	5780	5288
48	4619	8966	7477	6389	11115	8196	6966	6327
47	5233	9654	8628	6998	12711	9019	7793	7027
46	5892	9705	9389	7230	13743	9668	8428	7487
45	6389	9285	9751	7830	14244	10383	8951	7804
44	6555	8831	9719	8256	14249	10824	9427	8052
43	6681	8939	9319	8503	13819	11603	9794	8276
42	7190	9457	8985	8602	14158	12300	10016	8501
41	7654	9743	9161	8614	14839	12651	10216	8749
40	8084	9475	9747	8606	15171	12686	10399	9029
39	8490	9160	10351	8599	15211	12545	10547	9333
38	8884	8637	10835	8577	15102	12690	10607	9637
37	9257	8325	11107	8536	14984	12842	10617	9915
36	9600	8303	11119	8545	14760	13129	10577	10151
35	9899	8526	11134	8625	14255	13264	10540	10350
34	10158	9330	11337	8846	13355	13177	10492	10525
33	10383	9624	11439	9105	12028	12785	10454	10691
32	10592	9385	11434	9323	12095	12218	10296	10849
31	10802	9119	11320	9515	12283	11328	10135	11000
30	11028	8695	11109	9704	12356	11119	10035	11144
29	11269	8997	10994	9844	12278	11587	10019	11294
28	11526	9294	11292	10108	12013	11981	9954	11459
27	11794	9799	11496	10235	11519	12209	9888	11641
26	12059	10406	11772	10217	10786	12263	9976	11830

Tablo B.7 devamı

Kat Kesme Kuvvetleri (kN)								
Kat No	D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23	D24
25	12300	10349	12538	10063	10691	12194	10022	12012
24	12509	10361	13179	10054	11026	12097	9983	12182
23	12674	10589	13667	10669	11130	11935	10075	12346
22	12805	10801	13977	11361	10919	11580	10211	12516
21	12909	10998	14108	11981	10398	10941	10393	12694
20	13012	11182	14129	12481	10699	9986	10550	12874
19	13155	11355	14156	12860	11050	8781	10666	13049
18	13391	11560	14417	13102	11186	8765	10759	13219
17	13712	11773	14969	13184	11048	9713	10980	13399
16	14012	11977	15535	13108	11868	10675	11186	13605
15	14260	12170	15947	12893	12535	11859	11466	13839
14	14445	12350	16125	12596	12930	12959	11758	14089
13	14563	12516	16041	12299	13107	13677	12048	14334
12	14617	12667	15714	12055	13247	13871	12472	14566
11	14613	12805	15225	11948	13662	14694	12911	14791
10	14557	12929	14690	11972	14253	16129	13480	15020
9	14446	13040	14241	12237	14948	17325	14047	15254
8	14281	13141	13912	12925	15608	18202	14536	15482
7	14069	13233	13776	14028	15875	18724	14942	15699
6	13870	13321	14403	15084	15804	18944	15261	15923
5	14282	13499	15596	16965	15868	19168	15850	16615
4	14758	13687	16826	18735	17631	20550	16722	17849
3	15157	13849	17906	20162	19679	22067	17792	19320
2	15447	14478	18734	21190	21415	23603	18795	20670
1	16538	15109	19246	21802	22562	24576	19515	21602
0	17090	15377	19493	22082	23157	24984	19880	22034

Tablo B.8 Deprem kuvvetleri altında yüksek bina kat momentleri (D1-D8)

Kat Momentleri (kN.m)								
Kat No	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
51	5504	5126	10187	12233	9818	6262	8043	8029
50	17318	15850	29257	36150	28782	18941	24319	23729
49	34986	31484	53693	68476	54002	37237	47205	45135
48	58150	51484	80437	105945	82712	61484	75265	70502
47	86399	75336	106540	145077	112082	90803	107075	98048
46	119336	102696	128993	182815	139431	124652	141308	126041
45	156477	133094	145571	216686	162440	162462	176828	153874
44	197342	166288	154873	245868	179346	203652	212726	191013
43	241454	202109	157268	268331	201533	247620	248328	230588
42	288479	240287	152959	283623	233113	293722	283173	274017
41	337949	280556	163647	292018	263864	341318	316961	324614
40	389514	322599	187748	303403	299402	389803	349502	377762
39	442910	365997	211969	319185	336648	438469	380673	432753
38	497691	410282	236081	328170	374114	486747	410392	488981
37	553510	455079	259742	331314	411544	533986	438608	545930
36	609751	500058	282985	334631	448726	579586	465313	603152
35	665967	544738	305544	347880	485435	623064	490555	660299
34	721709	588727	327512	369301	521460	663904	514442	717011
33	776540	631640	348881	391826	556607	701626	537133	772908
32	830044	673126	369669	415185	590678	735825	558813	827540
31	882100	713068	390003	438830	623455	766206	579726	880403
30	932347	750950	410063	462052	654732	792428	600037	931062
29	980513	786497	430068	484088	684192	814170	619828	979161
28	1026352	819601	451759	504424	711513	831221	638870	1024453
27	1069334	850178	477668	522759	736343	843432	656719	1066939
26	1109507	877950	503189	538269	758320	850532	684029	1106741

Tablo B.8 devamı

Kat Momentleri (kN.m)								
Kat No	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
25	1146275	902901	528238	551545	777088	884706	713167	1144208
24	1179513	925311	552537	562007	792325	921312	741001	1179807
23	1209169	944942	576077	586674	803762	258633	767446	1214129
22	1235250	961952	598826	609995	811203	290989	792532	1247754
21	1257811	976550	620709	631071	814526	322196	816287	1281117
20	1276947	988627	641605	650413	813690	352229	838808	1314360
19	1292873	998363	661358	668564	808777	381116	860238	1347335
18	1305758	1005938	679793	684772	799870	409110	880694	1380522
17	1315598	1011299	696748	698603	787036	436856	912293	1418461
16	1322575	1014834	712098	709270	770558	465751	945522	1454936
15	1326908	1037325	725776	716779	750467	497699	979582	1490271
14	1328850	1073023	737830	720850	727081	532318	1014899	1525139
13	1336362	1108179	748361	721439	700527	567573	1052357	1560541
12	1354528	1142655	757424	718837	671070	602097	1092849	1597559
11	1371908	1176580	765173	713806	639079	635026	1135705	1636975
10	1388764	1209959	778851	707372	604854	665734	1179947	1679208
9	1405438	1243027	799143	716632	568806	693624	1225099	1724270
8	1422085	1276260	819204	723559	531376	718169	1270994	1771801
7	1439169	1309964	838721	726753	492996	738964	1317613	1821518
6	1456537	1344644	857292	725415	454050	755733	1364972	1873788
5	1473355	1381309	873129	715429	457584	768483	1413388	1929500
4	1489996	1422940	885942	728759	477566	777674	1462709	1992331
3	1508668	1471766	895795	749184	495612	784603	1512692	2088825
2	1532888	1525955	903334	772197	512080	792440	1563117	2202038
1	1580554	1582935	909419	800858	527511	801682	1613804	2318735
0	1644863	1661692	916777	846345	567824	807365	1682445	2483792

Tablo B.9 Deprem kuvvetleri altında yüksek bina kat momentleri (D9-D16)

Kat Momentleri (kN.m)								
Kat No	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16
51	7823	7770	7746	8473	6200	8055	8858	2541
50	23334	23159	22803	25325	18010	23847	25749	7408
49	44661	44237	43173	48473	35546	45791	48301	14418
48	70059	69214	67128	75881	57616	72566	76347	23742
47	97704	96321	95463	105672	83359	102769	107527	35014
46	125790	124803	127115	136136	111952	134852	141092	48026
45	152651	157768	160475	170868	142656	167512	175632	62611
44	176860	191547	194673	209656	174836	199562	211168	78479
43	203221	225351	229077	251270	208006	230345	246563	95361
42	231085	258633	263134	296094	241734	259914	281046	112960
41	258142	290989	296613	343487	275628	289227	314705	130907
40	284195	322196	329279	391615	309342	319994	346225	148869
39	308890	352229	361072	438739	342520	352872	376257	166518
38	331778	381116	391938	483406	374778	384998	404647	183657
37	352479	409110	421440	524748	405705	413253	432559	199928
36	370723	436856	449105	562049	435090	436462	463762	215069
35	386316	465751	473944	594916	462548	455350	500708	228880
34	399035	497699	494816	623434	487746	472843	538639	241338
33	408555	532318	510627	647637	510268	488421	575459	252102
32	414405	567573	520260	667971	529650	498888	610132	261051
31	416173	602097	523037	684949	545491	502141	641734	268349
30	413640	635026	518559	699048	557325	497292	670613	273735
29	406841	665734	506824	710616	564987	495518	695458	277241
28	396207	693624	488445	719915	568521	516235	717000	279154
27	382687	718169	464124	726944	568232	536091	734071	279319
26	367871	738964	435119	731762	564610	555057	747710	278195

Tablo B.9 devamı

Kat Momentleri (kN.m)								
Kat No	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16
25	353520	755733	427712	734586	558218	573060	758220	275835
24	339694	768483	430496	735899	557286	590002	767018	272532
23	330987	777674	432964	736092	580828	605692	776740	268528
22	333229	784603	436234	747351	604289	619985	790353	264006
21	342594	792440	441682	757443	627855	632691	806219	259132
20	350114	801682	449968	766505	651557	643679	820133	253934
19	354967	807365	460053	774738	675364	652814	829315	248616
18	356161	807823	470540	782419	699242	659998	832157	243419
17	352799	802583	480653	789948	723172	665148	828467	238557
16	344452	791815	490150	797863	747132	668267	819423	233918
15	341975	793963	498480	806767	771062	669414	806962	229317
14	341241	817580	505238	817045	794849	668700	791226	224487
13	339110	841675	510871	828425	818388	666268	771505	219284
12	335446	864574	518948	840124	841613	662265	747473	213512
11	330172	885337	538438	851586	864528	656842	719773	210374
10	323316	903361	558084	862538	887228	649987	689951	212465
9	314999	918281	575687	873039	909864	641719	660934	214416
8	305520	929951	590714	883340	932697	631985	632955	215969
7	301074	938584	603604	893878	956380	620815	603177	217021
6	297983	945025	615690	905255	983702	608400	569608	217472
5	291949	954284	624004	918083	1014593	593616	527595	216724
4	282860	995802	633759	932930	1048206	576972	519418	214810
3	273218	1034205	655000	949990	1083754	562284	510578	211772
2	309983	1069577	682575	968958	1120558	571613	501007	208034
1	358693	1103885	716381	989416	1158080	581055	492814	204053
0	428218	1180047	767940	1018528	1209166	594583	487243	204342

Tablo B.10 Deprem kuvvetleri altında yüksek bina kat momentleri (D17-D24)

Kat Momentleri (kN.m)								
Kat No	D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23	D24
51	7240	7895	5507	6574	9511	10202	8291	7648
50	20563	24141	16481	19695	28769	30781	24727	22619
49	37320	47766	31657	37735	56303	59581	47515	43004
48	55176	77372	51420	59084	90034	94896	75124	67179
47	72060	111323	74529	82211	128154	135568	106031	93686
46	86420	147600	100050	105599	169076	181250	138853	121354
45	97397	184158	127124	127935	211823	231968	172455	149345
44	104868	219284	154983	148235	255928	286534	205939	177127
43	118577	250893	183051	172294	301620	342686	239452	204414
42	142622	277100	211067	195601	349611	398295	272076	231104
41	169661	296842	239019	218022	399659	451538	304198	257234
40	198669	309387	267382	240595	450093	501258	335507	282951
39	229537	314061	296559	265596	499253	546964	365637	308476
38	262199	311417	326387	289082	546228	588740	394158	334055
37	296583	327254	356099	310656	590980	627286	422522	359906
36	332665	343409	384631	330056	634478	663233	450789	386183
35	370487	355966	410976	352124	678686	696625	478379	412974
34	409998	365622	434447	376031	725328	726764	505172	440318
33	451102	372213	454510	398772	774525	752696	530328	468223
32	493662	376569	470852	419559	824304	773866	554108	496683
31	537437	411000	507557	437734	871913	790214	578922	525673
30	582252	446535	545740	452939	914863	802815	601641	555152
29	627926	483108	583749	464792	951755	814105	622265	585077
28	674287	520665	620999	473533	981553	826046	641165	615413
27	721202	559182	657479	479466	1003979	837925	659342	646146
26	768552	598600	693804	502226	1018737	848363	676080	677276

Tablo B.10 devamı

Kat Momentleri (kN.m)								
Kat No	D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23	D24
25	816247	638871	731347	528635	1025921	856434	693370	708811
24	864196	679951	771011	554133	1025637	867668	710300	740754
23	912295	721799	811729	578279	1018329	875316	728348	773108
22	960477	764372	851760	600957	1004485	878702	746523	805880
21	1008688	807594	889883	622302	984530	878749	763524	839089
20	1056873	851403	925210	642668	958843	876366	779724	872756
19	1104969	895736	957442	662588	931405	872226	793819	906903
18	1152927	940534	986626	683031	908241	866556	806254	941540
17	1200670	985763	1013205	705663	883189	858725	817226	976676
16	1248180	1031375	1037941	731062	855074	848430	827102	1012327
15	1295480	1077319	1061671	758576	823223	835774	836067	1048526
14	1342618	1123566	1085162	787550	787435	821558	844527	1085317
13	1389648	1170130	1109505	817445	747692	806085	852078	1122746
12	1436603	1216907	1136657	848031	704246	788447	859800	1160849
11	1483488	1263913	1170526	879167	657625	767009	870897	1199651
10	1530276	1311048	1212689	910806	613567	740511	884180	1239175
9	1576926	1358266	1258885	942991	571435	708176	897308	1279447
8	1623454	1405495	1307269	975788	527842	670006	909841	1320489
7	1669722	1452665	1357314	1009317	494908	626380	923754	1362315
6	1715614	1499718	1407186	1043697	464766	577700	938977	1404933
5	1760126	1546457	1453995	1079522	431182	519401	953747	1448125
4	1802934	1592785	1498495	1116926	393112	453942	970782	1492214
3	1844207	1638850	1544080	1156531	352824	389198	992070	1537807
2	1884174	1684716	1593366	1198870	371151	349733	1019914	1585499
1	1923356	1730516	1645272	1243357	427543	392357	1053423	1635658
0	1975847	1792564	1716747	1305076	559084	510633	1106830	1707340