İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK YAPILARDA RÜZGÂR ETKİLERİNİN STOKASTİK YÖNTEMLE ÇÖZÜMLENMESİ VE BASKIN ETKİLERİN PARAMETRİK İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ

Önder UMUT

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

EKİM 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK YAPILARDA RÜZGÂR ETKİLERİNİN STOKASTİK YÖNTEMLE ÇÖZÜMLENMESİ VE BASKIN ETKİLERİN PARAMETRİK İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ

Önder UMUT
(501062202)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Zeki HASGÜR
Tez Eş Danışmanı: Prof. Dr. Bülent AKBAŞ

EKİM 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501062202 numaralı Doktora Öğrencisi **Önder UMUT**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"YÜKSEK YAPILARDA RÜZGÂR ETKİLERİNİN STOKASTİK YÖNTEMLE ÇÖZÜMLENMESİ VE BASKIN ETKİLERİN PARAMETRİK İNCELENMESİ"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Prof. Dr. Zeki HASGÜR** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof.Dr. Metin AYDOĞAN** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Prof. Dr. Sıddık ŞENER Bilgi Üniversitesi	.....
	Prof. Dr. Mustafa ZORBOZAN Yıldız Teknik Üniversitesi	.....
	Doç. Dr. Canan GİRGİN Yıldız Teknik Üniversitesi	.....
	Doç. Dr. Beyza TAŞKIN AKGÜL İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Yrd. Doç. Dr. Barış Erkuş İstanbul Teknik Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : **30 Eylül 2014**
Savunma Tarihi : **31 Ekim 2014**

Aileme,

ÖNSÖZ

Bu çalışma, çok katlı yapıların giderek artmakta olduğu ülkemizde, rüzgâr etkisindeki binaların çözümlenmesinde mühendislere yardımcı olacak kaynaklardan biri olabilmeyi amaçlamıştır.

Tez çalışmalarım boyunca beni yönlendiren, hiç bir zaman desteğini ve emeğini esirgemeyen, en zor dönemlerimde yanımda olan saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Zeki Hasgür'e en derin şükranlarımı sunarım. Ayrıca beni her zaman destekleyen eş danışman hocam Prof. Dr. Bülent Akbaş'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın kapsamında Sabiha Gökçen Havalimanı'na anemometre kurulmasındaki katkılarından dolayı Prof. Dr. Selahattin İncecik'e, fikirleriyle tezimin oluşmasına katkı sağlayan Prof. Dr. Erdal Şafak'a ve Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı Teknik Blok Meydan Kontrol Kulesi personeline teşekkürlerimi sunarım.

Desteklerini ve yardımlarını hiçbir zaman benden esirgemeyen anneme, babama, eşime ve kızıma en içten teşekkürlerimi sunarım. Tezimi yaparken hep yanımda hissettiğim ve bana destek olan çalışma arkadaşlarıma çok teşekkür ederim. Bu zorlu süreçte hep yanımda olduğunu bildiğim arkadaşlarıma ayrıca teşekkür ederim.

34453 no'lu proje kapsamında, Sabiha Gökçen Havalimanı'na kurulan anemometrenin satın alınmasına sağladıkları maddi destekten dolayı İstanbul Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne en içten şükranlarımı sunarım.

Türkiye'de kaydedilen rüzgâr hızı verilerinin tarafıma sağlanmasındaki desteklerinden dolayı Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'ne teşekkürlerimi sunarım.

Doktora yaptığım süre boyunca bana verdiği bursla destekleyen TUBİTAK'a teşekkürü borç bilirim.

Ekim 2014

Önder Umut

İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xi**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xiii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xv**
SEMBOL LİSTESİ ..... **xvii**
ÖZET ..... **xxi**
SUMMARY ..... **xxv**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Genel Bigi ve Çalışmanın Kapsamı 1
1.2 Literatür Araştırması 4
1.2.1 Rüzgâr Türbülansı ile ilgili Yapılan Çalışmalar 4
1.2.2 Temel Rüzgâr Hızı İle İlgili yapılan Çalışmalar 8
1.2.3 Yapı - Rüzgâr Etkileşimi İle İlgili Yapılan Çalışmalar 12
2. KUVVETLİ RÜZGÂR KARAKTERİSTİKLERİ **19**
2.1 Rüzgâr Hızı Türbülansı Parametreleri 19
2.2 Durağan Olmayan Rüzgâr Hızının Tanımlanması 24
2.2.1 Ampirik mod ayrışımı yöntemi 25
2.3 Rüzgâr Hızı Kayıtlarının Dönüştürülmesi 26
3. İSTANBUL KUVVETLİ RÜZGÂR KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ **29**
3.1 Kuvvetli rüzgâr ölçümü yapılan bölgenin tanımı ve bölgenin meteorolojik yönden değerlendirilmesi 29
3.1.1 Çalışmada kullanılan ultrasonik anemometrenin özellikleri 32
3.2 Yapılan Çözümlemeler 36
3.3 Veri Örnekleme Aralığının Yapı Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi 44
4. TÜRKİYE İÇİN TEMEL RÜZGÂR HIZLARININ ELDE EDİLMESİ **51**
4.1 Giriş 51
4.2 Aşırı Değer Teorisine Giriş 51
4.3 Aşırı Değer Dağılım Teoremi 53
4.3.1 Dağıtım tipi seçimi 56
4.3.2 Parametre tahmin metodu seçimi 56
4.4 Yerinde Modelleme İle İlgili Konular 58
4.5 Eşik Üstü Değer (EÜD) Yöntemi 59
4.5.1 Eşik seçimi 60
4.6 Ekstrem Rüzgâr Hızı Tahmini Ve Haritalandırma 61
4.6.1 Rüzgâr hızı kaynakları 61
4.6.2 Veri kalitesi 61
4.6.3 Yapısal tasarım için örnekleme aralığı süresi ve dönüş periyodu 62
4.6.4 Örnekleme (Sampling) hataları 63
4.6.5 Temel rüzgâr hızına orografi etkisi 64

4.6.6 Bölgeselleştirme ve haritalandırma 64
4.7 Türkiye Temel Rüzgâr Hızları 65
5. ÇOK KATLI YAPILARDA RÜZGÂR ETKİLERİNİN STOKASTİK OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ 73
5.1 Giriş 73
5.2 Aerodinamik yükleme veritabanına dayalı 3BARYF 74
5.2.1 Yerdeğiştirme ani rüzgâr yükleme faktörü (YARYF) 75
5.2.2 Taban momenti ilişkili ani rüzgâr yükleme faktörü (MARYF) 80
5.2.3 MARYF ve YARYF arasındaki ilişki 84
5.2.4 Tasarım yöntemi 86
5.2.5 Üç boyutlu ani rüzgâr yükleme faktörleri (3BARYF) 88
5.2.6 Taban momentleri tepkisi ve mod şekil düzeltmeleri 90
5.2.7 Aerodinamik taban momenti veri tabanı 90
5.3 3BARYF'nin değerlendirmesi 92
5.3.1 3BARYF'nin tasarımda uygulanması 92
5.3.2 Yük etkileri 93
5.4 Dinamik yapısal özellikler 93
5.5 İvme Kriterleri 93
6. PARAMETRİK ÇALIŞMALAR 95
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 121
7.1 Sonuçlar 121
7.2 Öneriler 124
KAYNAKLAR 125
EKLER 139
ÖZGEÇMİŞ 157

KISALTMALAR

ADK	: Aşırı Değer Kuramı
AIJ-RLB	: Architecture Institute of Japan – Recommendations for Loads on Buildings
AMA	: Ampirik Mod Ayrışımı
AMF	: Ayrık Mod Fonksiyonları
ANSI	: Amerikan Ulusal Standartı
ARDF	: Ani Rüzgâr Dinamik Faktörü
ARYF	: Ani Rüzgâr Yükü Faktörü
ASCE	: American Society of Civil Engineers
BFY	: Bağımsız Fırtınalar Yöntemi
EBSİM	: En Büyüklerin Sıralı İstatiksel Modeli
ESRK	: Eşdeğer Statik Rüzgâr Kuvveti
EÜD	: Eşik Üzeri Değerler
GAD	: Genelleştirilmiş Aşırı Değer
GPD	: Genelleştirilmiş Pareto Dağılımı
GSYF	: Güç Spektrum Yoğunluk Fonksiyonu
HKCOP	: Hong Kong Uygulama Yönetmeliği
ISO	: International Organization for Standardization
İYBRY	: İstanbul Yüksek Binalar Rüzgâr Yönetmeliği
JGJ	: Çin Yönetmeliği
LMY	: L-moment Yöntemi
MARYF	: Taban Moment ilişkili Ani Rüzgâr Yükleme Faktörü
NALD	: NatHaz Aerodynamic Loads Database
NBCC	: Kanada Ulusal Bina Yönetmeliği
TEM	: Taban Eğilme Momenti
TÜMAS	: Türkiye Meteorolojik Veri Arşiv Sistemi
YARYF	: Yerdeğiştirme Ani Rüzgâr Yükleme Faktörü
YM	: Yıllık Maksimum
3BARYF	: Üç boyutlu Ani Rüzgâr Yükleme Faktörü

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Sabiha Gökçen Havalimanı 2001-2008 ortalama saatlik rüzgâr. hızları(m/s). 31
Çizelge 3.2 : Ultrasonik anemometrenin özellikleri. 34
Çizelge 3.3 : Ultrasonik anemometrenin özellikleri-2. 35
Çizelge 3.4 : Kuvvetli rüzgâr hızı kayıtları maksimum rüzgâr hızları ve türbülans şiddetleri. 40
Çizelge 3.5 : En yüksek hıza sahip 10 rüzgâr verisi setine ait ani rüzgâr faktörleri.. 43
Çizelge 3.6 : Çeşitli rüzgâr yönetmelikleri için temel rüzgâr hızı ortalama süreleri. 45
Çizelge 4.1 : Temel Rüzgâr Haritası oluşturulmasında kullanılan yeni değerler. ... 70
Çizelge 6.1 : Analizler için bina modellemesinde kullanılan değerler. 96
Çizelge 6.2 : Boyuna rüzgâr ve rüzgâra dik doğrultu için taban moment katsayıları. 98
Çizelge 6.3 : Çelik binalarda her iki rüzgâr doğrultusu için ortalama TEM, maksimum arka plan ve rezonans TEM bileşeni ve maksimum TEM değerleri..... 99
Çizelge 6.4 : Betonarme binalarda her iki rüzgâr doğrultusu için ortalama TEM, maksimum arka plan ve rezonans TEM bileşeni ve maksimum TEM değerleri..... 100
Çizelge 6.5 : Çelik ve betonarme binalarda her iki rüzgâr doğrultusu için bina tepesindeki maksimum yerdeğiştirme değerleri..... 101
Çizelge 6.6 : Çelik binalar için kullanabilirlik limit seviyesinde her iki rüzgâr doğrultusu için elde edilen maksimum ve ortalamanın karekökü ivme değerleri..... 102
Çizelge 6.7 : Betonarme binalar için kullanabilirlik limit seviyesinde her iki rüzgâr doğrultusu için elde edilen maksimum ve ortalamanın karekökü ivme değerleri..... 103
Çizelge 6.8 : M. İslam'ın tezinde çözülen bina ile aynı binanın NALD V2.0 sonuçlarının karşılaştırılması. 118
Çizelge 6.9 : İstanbul'da elde edilen boyuna GSYF ile çözülen bina ile aynı binanın NALD V2.0 taban eğilme momentlerinin karşılaştırılması. 119
Çizelge A.1 : Rüzgâr istasyonları, kayıt süreleri, maksimum hızları ve dönüştürülmüş maksimum hızları. 140
Çizelge B.1 : Analizlerde kullanılan bina modellerine karşılık gelen rüzgâr tüneli modelleri boyutları. 156

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Rüzgâr hızı örnekleme aralığı. 20
Şekil 2.2 : Kuvvet kuralı ve logaritmik kural için ortalama rüzgâr hızı profillerinin karşılaştırılması. 21
Şekil 2.3 : Rüzgâr koordinat sistemi ve dönüştürülmesi. 27
Şekil 3.1 : Kuvvetli rüzgâr ölçümünün yapıldığı Sabiha Gökçen Havalimanı …….....30
Şekil 3.2 : Sabiha Gökçen Havalimanı yönlere göre esme oranları(%). 32
Şekil 3.3 : Çalışmada kullanılan ultrasonik anemometre(birimler mm cinsinden verilmiştir)..... 33
Şekil 3.4 : Rüzgâr hızı ölçüm cihazının Sabiha Gökçen Havalimanı'na kurulması.. 36
Şekil 3.5 : Boyuna, enine ve düşey rüzgâr hızlarının zamanla değişimine tipik örnek ……...37
Şekil 3.6 : Boyuna rüzgâr hızı ve rüzgâr yönünün zamanla değişimi. 38
Şekil 3.7 : Ampirik mod ayrışımı bileşenleri..... 39
Şekil 3.8 : Zamanla değişen ortalama rüzgâr hızı. 40
Şekil 3.9 : 10 dakika örnekleme aralığına sahip rüzgâr hızları için 3 önde türbülans şiddet dağılımı..... 41
Şekil 3.10 : 10 dakika örnekleme aralığına sahip çeşitli rüzgâr hızları için ani rüzgâr faktörleri dağılımı..... 42
Şekil 3.11 : Boyuna türbülans güç spektrum yoğunluk fonksiyonu..... 43
Şekil 3.12 : Yatay türbülans güç spektrum yoğunluk fonksiyonu..... 44
Şekil 3.13 : Düşey türbülans güç spektrum yoğunluk fonksiyonu. 44
Şekil 3.14 : Çözümlemelerde kullanılan rüzgâr hızı verisinin zamanla değişimi. 46
Şekil 3.15 : T'ye bağlı örnekleme aralığı - kuvvet ilişkisi. 47
Şekil 3.16 : 5T'ye kadar T'ye bağlı örnekleme aralığı - kuvvet ilişkisi. 47
Şekil 3.17 : 0.04 s örnekleme aralığına sahip güç spektrum yoğunluk fonksiyonu. . 48
Şekil 3.18 : 0.4 s Hz örnekleme aralığına sahip güç spektrum yoğunluk fonksiyonu 48
Şekil 3.19 : 1 s örnekleme aralığına sahip güç spektrum yoğunluk fonksiyonu. 49
Şekil 3.20 : 10 s örnekleme aralığına sahip güç spektrum yoğunluk fonksiyonu. 49
Şekil 4.1 : Türkiye Temel Rüzgâr Hızı Haritasının elde edilmesinde kullanılan rüzgâr istasyonlarının dağılımı..... 66
Şekil 4.2 : Maksimum rüzgâr hızı ortalamalarının saatlik rüzgâr hızına oranı. 67
Şekil 4.3 : Türkiye Temel Rüzgâr Haritası – Eş değer eğri gösterimi..... 68
Şekil 4.4 : Türkiye Temel Rüzgâr Haritası – Renkli gösterim. 69
Şekil 4.5 : Türkiye Temel Rüzgâr Haritası – Eş eğri gösterimi. 71
Şekil 4.6 : Türkiye Temel Rüzgâr Haritası – Renkli gösterim. 72
Şekil 5.1 : Rüzgâr etkisindeki binanın titreşim yönleri. ……73
Şekil 5.2 : Rüzgârın spektral davranışı (J.D. Holmes, 2012). 77

Şekil 5.3 : Yerdeğiştirme ani rüzgâr yükleme faktörü modeli (Zhou ve Kareem, 2001)..... 78
Şekil 5.4 : Taban momenti ilişkili ani rüzgâr yükleme faktörü modeli (Zhou ve Kareem, 2001)..... 82
Şekil 5.5 : i'inci kat yüksekliği..... 86
Şekil 5.6 : Binanın farklı yerleşim alanlarında elde edilen aerodinamik taban momentlerinin güç spektrum yoğunluk fonksiyonları..... 91
Şekil 6.1 : B=50 m, D=33m ve H=200m olan binanın Sap2000 modeli ...……..97
Şekil 6.2 : Boyuna rüzgâr doğrultusundaki yerdeğiştirme – B/D oranı arasındaki ilişki (sabit B=50m değeri için)..... 104
Şekil 6.3 : Boyuna rüzgâr doğrultusundaki yerdeğiştirme – B/D oranı arasındaki ilişki (sabit B=30m değeri için)..... 105
Şekil 6.4 : Boyuna rüzgâr doğrultusundaki yerdeğiştirme – B/D oranı arasındaki ilişki (değişken B değerleri için)..... 106
Şekil 6.5 : Rüzgâra dik doğrultuda yerdeğiştirme – B/D oranı arasındaki ilişki (sabit B=50m değeri için)..... 107
Şekil 6.6 : Rüzgâra dik doğrultuda yerdeğiştirme – B/D oranı arasındaki ilişki (sabit B=30m değeri için)..... 108
Şekil 6.7 : Rüzgâr dik doğrultuda yerdeğiştirme – B/D oranı arasındaki ilişki (değişken B değerleri için)..... 109
Şekil 6.8 : Boyuna rüzgâr doğrultusundaki maksimum ivme – B/D oranı arasındaki ilişki (sabit B=50 m değeri için)..... 110
Şekil 6.9 : Boyuna rüzgâr doğrultusundaki maksimum ivme – B/D oranı arasındaki ilişki (sabit B=30 m değeri için)..... 111
Şekil 6.10 : Boyuna rüzgâr doğrultusundaki maksimum ivme – B/D oranı arasındaki ilişki (değişken B değerleri için)..... 112
Şekil 6.11 : Rüzgâra dik doğrultuda maksimum ivme – B/D oranı arasındaki ilişki (sabit B=50m değeri için)..... 113
Şekil 6.12 : Rüzgâra dik doğrultuda maksimum ivme – B/D oranı arasındaki ilişki (sabit B=30m değeri için)..... 114
Şekil 6.13 : Rüzgâr dik doğrultuda maksimum ivme – B/D oranı arasındaki ilişki (değişken B değerleri için)..... 115
Şekil 6.14 : M.İslam (1988) tezinde verilen 1. moddaki boyuna türbülans güç spektrumu yoğunluk fonksiyonunun normalize edilmiş frekansla değişimi..... 116
Şekil 6.15 : M.İslam (1988) tezinde verilen 1. moddaki boyuna türbülans güç spektrumu yoğunluk fonksiyonunun normalize edilmiş frekansla değişimi..... 117
Şekil 6.16 : M.İslam(1988) tezinde verilen 1. moddaki boyuna türbülans güç spektrumu yoğunluk fonksiyonunun normalize edilmiş frekansla değişimi..... 118
Şekil 6.17 : İYBRY- Boyuna türbülans güç spektrumu yoğunluk fonksiyonunun normalize edilmiş frekansla değişimi..... 120
Şekil B.1 : Eşdeğer statik rüzgâr yüklerinin çevrim içi hesaplanması için kullanıcı arayüzü..... 151
Şekil B.2 : Kullanıcı tarafından sağlanan yapısal girdiler için arayüz..... 152
Şekil B.3 : Boyutsuz taban moment spektrumu ekranı..... 153
Şekil B.4 : Can güvenliği ve kullanılabilirlik değerleri ekranı..... 154
Şekil B.5 : Rüzgâr kuvveti bileşenleri ekranı..... 155

SEMBOL LİSTESİ

a	: Ölçek parametresi
$\hat{a}_i$	: Her bir kat seviyesindeki ivme değeri
a_n, b_n	: Sabit değerler dizini
B	: Arka plan tepki faktörü
$\boldsymbol{B}$	: Arka plan faktörü
c	: Şekil parametresi
$c_j(t)$	: Ayrık mod fonksiyonu
c_1^*	: Birinci moddaki genelleştirilmiş sönüm
C_D	: Sürükleme katsayısı
E	: Ani rüzgâr enerji faktörü
f	: Frekans
f_1	: Birinci modun doğal frekansı
F	: Boyutsuz azaltılmış frekans
g_M	: Pik faktörü
g_R	: Rezonans pik faktörü
g_u	: Rüzgâr hızı pik faktörü
g_{MB}	: MARYF'nin arka plan bileşeni
g_{MR}	: MARYF'nin rezonans bileşeni
g_{YB}	: YARYF'nin arka plan bileşeni
g_{YR}	: YARYF'nin rezonans bileşeni
G	: Ani rüzgâr faktörü
$\bar{G}$	: ARYF'nin ortalama bileşeni
G_B	: 3DARYF arka plan bileşeni
G_B	: ARYF'nin arka plan bileşeni
G_M	: MARYF
G_R	: 3DARYF rezonans bileşeni
G_R	: ARYF'nin rezonans bileşeni
$G(T)$	: Ani rüzgâr faktörü
$G(x)$	: Çakışık olmayan dağılım fonksiyonu
G_Y	: Genelleştirilmiş Pareto dağılımı
G_Y	: Yerdeğiştirme pik faktörü
G_{MB}	: MARYF'nin arka plan bileşeni
G_{MR}	: MARYF'nin rezonans bileşeni
h	: Konum parametresi
H	: Yapının tepe yüksekliği
I_H	: Yapının tepesindeki türbülans şiddeti
$I_{i,u,v,w}$	: Türbülans şiddeti
$\lvert J_X(f)\rvert^2$	: Yatay ve yöndeki ortak uygunluk fonksiyonu
$\lvert J_z(\alpha,\beta,f)\rvert^2$	: Düşey yöndeki ortak uygunluk fonksiyonu
K	: Yer itki (drag) katsayısı
k_i^*	: Rijitlik

k_1^* : Birinci moddaki genelleştirilmiş rijitlik
$L_{u,i,x}$: Türbülans uzunluğu
m_i : i^{inci} moddaki genelleştirilmiş kütle
M_n : n zamanda elde edilen maksimum değer
m_0 : Kütle
m_1^* : Birinci moddaki genelleştirilmiş kütle
$\widehat{M}$: En büyük TEM beklenen tepkisi
$\bar{M}$: Ortalama TEM
$\widetilde{M}$: TEM'in aerodinamik bileşeni
$\bar{M}'$: Referans ortalama TEM değeri
$\widehat{M}_B$: En büyük arka plan TEM beklenen bileşeni
$\bar{M}'_{D,L}$: Salınım modları için ortalama TEM değeri
$\widehat{M}_R$: En büyük rezonans beklenen TEM bileşeni
$\bar{M}'_T$: Burulma modları için ortalama TEM değeri
$\widehat{\boldsymbol{M}}$: En büyük TEM beklenen değeri
$\widetilde{\boldsymbol{M}}$: TEM'in tetiklenen dalga bileşeni
$\widehat{\boldsymbol{M}}_B$: Arka plan taban momenti
$\widehat{\boldsymbol{M}}_R$: Yük etkisindeki TEM
N : AMF bileşenlerinin sayısı
$p(u)$: Türbülansın olasılık dağılımı
$\bar{P}_1^*$: Birinci modun genelleştirilmiş yükü
$\hat{P}$: Pik yük değeri
$\bar{P}_i$: Her kattaki ortalama rüzgâr kuvveti
$\bar{P}_i$: Ortalama ESRK
$\tilde{P}_1^*$: Birinci moddaki genelleştirilmiş yük
$\bar{P}(z)$: Ortalama boyuna rüzgâr yükü
$\widehat{\boldsymbol{P}}_{Bi}$: Kattaki arka plan ESRK bileşeni
$\widehat{\boldsymbol{P}}_{Ri}$: Kattaki rezonans ESRK bileşeni
$\widehat{\boldsymbol{P}}_R(z)$: ESRK dağılımı
$\widetilde{\boldsymbol{P}}_1^*$: Genelleştirilmiş eşdeğer statik rüzgâr yükü
$\widetilde{\boldsymbol{P}}(z,t)$: ESRK
$\widehat{\boldsymbol{P}}_{BiT}$: Arka plan bileşeni için burulma modundaki ESRK
$\widehat{\boldsymbol{P}}_{RiT}$: Rezonans bileşeni için burulma modundaki ESRK
$\widehat{\boldsymbol{P}}_{BiD,L}$: Rezonans bileşeni için burulma modundaki ESRK
$\widehat{\boldsymbol{P}}_{RiD,L}$: Rezonans bileşeni için salınım modundaki ESRK
$r(t)_N$: Artık
$\hat{r}_B$: Statik çözümlemeden elde edilen arka plan bileşeni
$\hat{r}_R$: Statik çözümlemeden elde edilen rezonans bileşeni
$\hat{r}$: Statik çözümlemeden elde edilen ortalama bileşen
$\bar{r}$: Tepki bileşeni
R : Rezonans tepki faktörü
$\boldsymbol{R}$: Rezonans faktörü
R_X : Türbülans rüzgâr basınçlarının yatay uyumluluk fonksiyonu
R_Z : Türbülans rüzgâr basınçlarının düşey uyumluluk fonksiyonu
S : Boyut azaltma faktörü
$S_M(f)$: Türbülans taban momentinin güç spektrum yoğunluk fonksiyonu
$S_u(f)$: Türbülansa rüzgâr hızının güç spektrum yoğunluk fonksiyonu
$S_{i,u,v,w,L}$: Rüzgâr spektral güç yoğunluk fonksiyonu

$S_{\xi_1}(f)$: Türbülansa ait genelleştirilmiş yerdeğiştirmenin güç spektrum yoğunluk fonksiyonu
$S_{\boldsymbol{M}}(f)$: TEM'nin güç spektrum yoğunluk fonksiyonu
T : Rüzgâr hızı hesaplama süresi
$u(t)$: Türbülans hızı
u_* : Sürtünme hızı
$U(t)$: Rüzgâr hızı
$U_{S,E,U}(t)$: Anemometrede kaydedilen birbirine dik bu yönlerdeki rüzgâr hızları
$\bar{U}$: Sabit rüzgâr hızı
$\bar{U}_H$: Yapının tepe yüksekliği H'deki ortalama rüzgâr hızı
$\bar{U}(t)$: Zamanla değişen ortalama rüzgâr hızı
$\bar{U}(z)$: Yerden z yüksekliğindeki ortalama rüzgâr hızı
$\bar{U}(z)$: z yüksekliğindeki rüzgâr hızı
$\bar{U}(z_r)$: Referans yüksekliğindeki ortalama rüzgâr hızı
$\bar{U}(T)$: T'ye göre ortalaması alınmış maksimum rüzgâr hızı
v_* : Sürtünme hızı
$v(t)$: Yatay türbülans bileşeni
$w(t)$: Düşey türbülans bileşeni
W : Rüzgâra dik yöndeki yapının genişliği
X_s : Yatay olarak güney yönü
Y_E : Yatay olarak doğu yönü
$\bar{Y}$: Ortalama yerdeğiştirme
$\hat{Y}$: Maksimum yerdeğiştirme beklenen tepkisi
$\hat{Y}_i$: En büyük yerdeğiştirme tepkisi
$\bar{Y}(\mathrm{z})$: Ortalama yerdeğiştirme
$\hat{Y}_R(z)$: Birinci moddaki en büyük rezonans yerdeğiştirmesi
z : Yerden yükseklik
z_r : Referans yüksekliği
z_0 : Yüzey pürüzlülük uzunluğu
Z_i : Zemin üzerindeki i'inci katın yüksekliği
Z_U : Düşey yönü
α : Yüzey pürüzlüğüne bağlı değer
$\alpha_u, \beta_u, \gamma_u$: Açı
λ : Kütle azaltma parametresi
$\eta_{\boldsymbol{M}}$: Taban momentleri için mod şekil düzeltmesi
η_R : Sapma faktörü
κ : Boyut azaltma faktörü
μ : Aşırı değer dağılımının modu (konum parametresi)
ξ : Birinci modun kritik sönüm oranı
ξ_1 : Birinci moddaki genelleştirilmiş yerdeğiştirme
ρ : Hava özgül kütlesi
σ : Standart sapma
$\sigma^2_{i,u,v,w}$: Türbülansın varyansı
$\sigma_{i,u,v,w}$: Türbülansın standart sapması
$\sigma_{\widetilde{M}}$: Ortalamanın karekökü TEM değeri
σ_Y : YARYF
σ_M : TEM'in ortalama karekökü
σ_{MB} : TEM'in arka plan bileşeni

σ_{MR}	: TEM'in rezonans bileşeni
$\sigma_{\boldsymbol{M}B}$	:Taban momentinin arka plan bileşeni
$\sigma_{\boldsymbol{M}R}$	: Taban momentinin rezonans bileşeni
σ_{MT}	: Aerodinamik taban momenti
σ_{ai}	: Kullanılabilirlik seviyesi için ivme tepkisi
σ_Y	: Yerdeğiştirmesinin standart sapması
φ_i	: i^{inci} mod şekli
χ	: Aerodinamik uygunluk (aerodynamic admittance) fonksiyonu
ω	: Şekil parametresi
ϟ	: Yıllık ortalama aşılma oranı
ΔH_i	: Kat yüksekliği

YÜKSEK YAPILARDA RÜZGÂR ETKİLERİNİN STOKASTİK YÖNTEMLE ÇÖZÜMLENMESİ VE BASKIN ETKİLERİN PARAMETRİK İNCELENMESİ

ÖZET

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde her geçen gün çok katlı yüksek yapıların sayısı artmakta ve bu tür yapılar üzerindeki rüzgârın dinamik etkileri tasarımda ön plana çıkmaktadır. Meydana gelebilecek kuvvetli rüzgârların çok katlı binalarda yüksek hızlı titreşimler meydana getirebildiği, üst katlarda oturanlar insanlara yapıda oluşan ivme tepkilerinden dolayı rahatsızlık verebildiği bilinmektedir. Özellikle deprem etkisinin baskın olmadığı, buna karşın rüzgârın etkin olduğu bölgelerde, çok katlı yapıların kuvvetli rüzgâr etkisindeki davranışı doğru bir şekilde belirlenmelidir.

Rüzgâr hızı, statik ve dinamik (türbülans) bileşenin toplamı biçiminde ifade edilmektedir. Dinamik rüzgâr etkilerinin yapı yüksekliği boyunca değişiminin rastgele olacağı bilindiğinden, analizlerde dinamik yüklemenin belirsizliğini dikkate alacak bir yönteme ihtiyaç vardır. Zamana bağlı olarak genlikleri ve frekans içeriği değişken olan rastgele titreşimlerin istatistik ve olasılık terminolojisi ile ifade edildiği stokastik yöntemler, daha gerçekçi ve ekonomik çözümler sağlar. Stokastik dinamik analiz yönteminde rüzgârın rastgeleliği göz önüne alındığından gerçeğe daha yakın ve daha ekonomik sonuçlar elde edilir. Rüzgâr hızı değişiminin rastgeleliği, rüzgârın türbülans bileşeni kayıtlarından elde edilen güç spektrum yoğunluk fonksiyonları ile dikkate alınır. Bu bağlamda kuvvetli rüzgâr etkisindeki yapıların tasarımında binanın yapılacağı bölgeye ait temel rüzgâr hızının, güç spektrum yoğunluk fonksiyonunun, ani rüzgâr faktörü gibi rüzgâr parametrelerinin bilinmesi çok daha gerçekçi ve güvenilir sonuç sağlar.

Doktora tez çalışmasının ilk bölümünde konuya genel bir giriş yapılmış, tezde yapılan çalışmalar kısaca özetlenmiş ve tez konusuyla ilgili geçmişte yapılan çalışmalar incelenmiştir. İkinci bölümde İstanbul rüzgâr istatistiklerinin elde edilmesi amacıyla yapılan çalışmalar anlatılmıştır. Rüzgâr parametrelerini elde etmek amacıyla Sabiha Gökçen Havalimanı'na küçük örnekleme aralığına sahip, birbirine dik üç yönde kayıt alabilen ultrasonik anemometre kurulmuştur. Anemometrenin en büyük özelliği örnekleme aralığı 25 Hz'lik üç boyutlu veri kaydedebilmesidir. Bu anemometre yardımıyla 15 Mayıs 2012 – 15 Ağustos 2014 tarihleri arasında 27 ay boyunca rüzgâr hızı kaydı alınmış ve kuvvetli rüzgâr türbülansı istatistikleri ile rüzgâr spektrumunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Durağan olamayan rüzgâr verilerinin zamanla değişen ortalama hızlarını bulmak amacıyla ampirik mod değiştirme yöntemi kullanılmış, böylelikle rüzgâr istatistikleri hesaplanırken daha gerçekçi sonuçlar elde edilmiştir. Tez çalışmasından çıkan sonuçlar İstanbul'da bu bölgede rüzgâr türbülansı hakkında bilgiler vermekte olup ve bu değerler çok katlı yapı tasarımlarında, rüzgâr türbini tasarımında kullanılabilir istatistiklerdir. Ayrıca boyuna rüzgâr hızı verisi kullanılarak temel rüzgâr hızı ortalama süresinin, yapının davranışına olan etkisi araştırılmıştır. Son

olarak, farklı örnekleme aralıklarına sahip rüzgâr verileri elde edilerek boyuna türbülans güç spektrum yoğunluk fonksiyonu çıkarılmıştır.

Tez çalışmasının dördüncü bölümünde, Türkiye'nin temel rüzgâr hızı değerleri hesaplanmıştır. Yapısal hesaplamalarda büyük önem taşıyan temel rüzgâr hızı, açık bir arazide yerden 10 metre yükseklikte herhangi bir yönde ölçülen 10 dakikalık ortalama rüzgâr hızlarından 50 yılda en az bir kere aşılması olasılığına karşı gelen rüzgâr hızıdır. Bir yapının tasarımında amaç, yapının ömrü boyunca, öncelikle içinde bulunan insanların can güvenliğini, sonrasında ise mal güvenliğini sağlamaktır. Bunu gerçekleştirmek için, yapının ömrü boyunca, gerçek kapasitesinin işletme yükünden yeterince fazla olması gerekmektedir. Bu nedenden dolayı, aşırı değerlerin dağılımını bulmak yapı mühendisliği açısından önemlidir. Düşük aşılma olasılığına denk gelen aşırı değerlerin kestirilmesi güncel bir araştırma alanı olup bu tahminler genelde ortalama T yılda bir aşılan maksimum rüzgâr hızı olan, dönüş periyodu olarak ifade edilmektedir. Aşırı rüzgâr hızlarının tahmini için, eşik üzeri değer yöntemi kullanılmıştır. İstatistiksel bakış açısından aşırı değer teorisinin amacı, gözlemlenen aşırı değerleri çözümlemek ve gelecekte meydana gelebilecek aşırı değerleri öngörmektir. Türkiye temel rüzgâr hızlarının elde edilmesi için Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Meteorolojik Veri Arşiv Sistemi'nden (TÜMAS) Türkiye'deki bütün rüzgâr istasyonlarının günümüze kadar kaydedilen rüzgâr hızları istenmiş, bunun karşılığında da TÜMAS'tan 341 rüzgâr istasyonuna ait, 1975-2011 yılları arasında kaydedilmiş saatlik rüzgâr hızları temin edilmiştir. Rüzgâr hızı istasyonları farklı kayıt sürelerine sahiptir, bu istasyonlardan 48 aydan düşük veriye sahip olanlar elenmiş, 48 aydan fazla hız verisine sahip olanlar ise aşırı değer analizi yapılarak 50 yılda bir defa aşılma olasılığına karşı gelen rüzgâr hızı hesaplanmış ve Türkiye temel rüzgâr hızı haritası elde edilmiştir.

Rüzgâr etkisi altında, çok katlı binalar aynı anda rüzgâr yönünde, rüzgâra dik yönde ve burulma yönünde titreşim yaparlar. Rüzgâr stokastik işleyim olarak kabul edildiğinden dolayı, bu işleyimin çok katlı yapılarda meydana getireceği tepkiyi stokastik analizlerle belirlemek en güvenilir yoldur. Bu tezin dördüncü bölümünde, rüzgâr etkisi altındaki farklı kesit ve yükseklikteki çok katlı binaların stokastik analizi yapılmıştır. Bina modellerinin can güvenliği düzeyinde en büyük yerdeğiştirmeler ve devrilme momenti değerleri, kullanabilirlik seviyesi için ise ortalama karekök ve en büyük ivme değerleri, yapının rüzgâr doğrultusunda ve rüzgâra dik doğrultusunda hesaplanmıştır. Yapılan analizler, NatHaz Aerodinamik Yükler Veritabanı (NALD) kullanılarak çevrimiçi olarak gerçekleştirilmiştir. NatHaz Aerodinamik Yükler Veritabanı, rüzgâr yönündeki hareket, rüzgâra dik yöndeki hareket ve burulma tepkilerinin belirlenmesi için rüzgâr tüneli test verilerinin web tabanlı arşivlenmesi için hazırlanmış, paylaşıma açık, araştırmalar sonucu geliştirilmiş bir programdır. Bu veritabanı kullanıcılara ortalama karekök tabanlı moment katsayılarını ve değişik sınır tabakaları altında test edilmiş, farklı geometrilere sahip rijit çok katlı bina modelleri üzerindeki yüksek frekanslı taban dengeleme yöntemi ölçümlerinden elde edilen boyutsuz güç spektrumları yoğunluk fonksiyonlarını sağlamaktadır. Yapılan analizlerde, bina modellerinin rüzgâr etkisi altındaki davranışı taban eğilme momenti bazlı ani rüzgâr yükleme faktörü yöntemi kullanılarak rastgele titreşim kuramı ile hesaplanmıştır. Bu yöntemde maksimum taban eğilme momenti beklenen değeri, ortalama taban eğilme momenti ile moment-ani rüzgâr yükleme faktörünün çarpımıyla hesaplanmaktadır. Analizlerde kullanılan bina modelleri karşılaştırılmalı olarak incelenmiş, sonuçlar sunulmuştur. M. İslam'ın "Modal coupling and wind-induced vibration of tall buildings" adlı tezindeki örnek NALD yazılımı ile çözümlenmiş ve

M.İslam'ın tezindeki sonuçlarla karşılaştırma yapılmıştır. Ayrıca İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı'nda alınan kayıtlardan elde edilen boyuna güç spektrumu kullanılarak Eurocode 1 yönetmeliğine göre çok katlı bir binanın rüzgâr tepkileri belirlenmiş ve İstanbul Yüksek Binalar Rüzgâr Yönetmeliği ve NALD programından bulunan sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

STOCHASTIC ANALYSIS OF WIND INDUCED HIGH-RISE BUILDINGS AND PARAMETRIC ASSESSMENT OF DOMINANT CHARACTERISTICS

SUMMARY

Since the number of tall buildings is increasing each day in both developed and developing countries, the dynamic wind effects during the design of these buildings design are becoming noteworthy. It is known that strong winds may cause high vibrations in tall buildings and they may cause discomfort to the people who live on the upper floors due to high acceleration response that may occur. Particularly, in areas where earthquake effect is not the dominant but wind is; the behavior of tall buildings under the influence of strong wind should be identified correctly.

Wind speed is expressed as the sum of the static and the dynamic (turbulence) components. Since it is known that the dynamic effects will be random, a new method that will take into account the uncertainty of dynamic loading is needed in the analyses. Stochastic methods in which random vibrations having variable amplitude and frequency content depending on the time are expressed in statistical and probability terms provides more realistic and cost-effective solutions. Since randomness of the wind is taken into account in the stochastic dynamic analysis method, more economical results that are much closer to reality are obtained. The randomness of the change in wind speed is considered together by the power spectral density functions obtained from the wind turbulence component records. In the design of the high rise buildings under the influence of strong winds, more realistic and reliable results are obtained by the known wind parameters such as the basic wind speed, the power spectral density function, and the gust factor of the wind related to the region where the building will be constructed.

In the first part of this dissertation, a general introduction is given including the previous research, the studies performed are summarized briefly and the studies performed in the past related with the subject of the dissertation are examined.

It is known that the most reliable tool for investigating the surface wind conditions are the field measurements. Obtaining of the wind characteristics and the atmospheric turbulence characteristics with field measurements have importance for detailed understanding of the wind as well as the design of the buildings under the influence of wind, wind turbines and wind tunnel simulations in structural engineering. In the second part of this dissertation, the studies performed in order to obtain İstanbul wind statistics are described. In order to obtain the wind parameters, an ultrasonic anemometer which is capable of recording in three directions and has a small sampling interval has been installed in the Sabiha Gökçen Airport at a distance where it will not be affected by takeoff and landing of aircrafts. The most important feature of this anemometer is its capability of recording 25 Hz three-dimensional data. Since there will no moving parts after installing the ultrasonic anemometer, errors due to the stresses in the device or ageing in the calibration parameters will not occur. System performance and the accuracy of the measurements can be controlled easily. The legal

permitions necessary for installation of this equipment and performing measurements have been obtained from the State Airports Administration General Directorate, İstanbul Meteorology Regional Directorate, Sabiha Gökçen International Airport Technical Block Aerodrome Control Tower, İstanbul Security Directorate and the Governorship of İstanbul. Wind speed was recorded by means of this anemometer during a period of 27 months between May 15th, 2012 and August 15th, 2014. In this study, it is aimed to determine the strong wind turbulence statistics and the wind spectrum. Calculating a constant mean in the non-stationary wind speed records does not yield a realistic result. Non-stationary wind speed is expressed as the sum of time-varying mean wind speed and turbulence wind speed. Empirical mode decomposition method is used to obtain the mean speeds of the non-stationary time-varying wind data. Thus, more realistic results are obtained when calculating the wind statistics. The results obtained from this study provide information about wind turbulence in İstanbul and these values are the statistics that can be used in tall building design and wind turbine design. In addition, the impact of the average time of the basic wind speed on the behavior of the building is investigated by using the longitudinal wind speed data. Wind speed data is created with 0,1T and 200T according to the various average duration depending on building period (T), and analyses are carried out according to the regulations of ASCE 7-10 standard. Maximum speeds in the generated wind data are used instead of basic wind speed in the ASCE 7-10 regulation. Finally, wind data with different sampling intervals are obtained and longitudinal turbulence power spectral density function is obtained. In this study, the effect of the average time of the basic wind speed on the behavior of the building is also investigated.

In the fourth part of the dissertation study, the basic wind speed values are calculated in order to be used especially in the analyses of wind effects of tall buildings for Turkey. The basic wind speed having great importance in structural calculations is the wind speed corresponding to the possibility of exceeding the 10-minute mean wind speeds measured in any direction at a height of 10 meter from the ground in an open field at least once in 50 years. The aim in building design is to ensure the safety of the people within the building during the lifespan of building. In order to achieve this aim, the actual capacity of the building has to be sufficiently larger than the operation load. For this reason, finding the distribution of extreme values is important by means of engineering practice. Extreme values are the statistical values obtained depending on the basic distribution of the observations and data size. Estimation of the extreme values corresponding to the low probability of exceedence is an active research area. These estimates are expressed as the return period which is the maximum wind speed typically exceeded once in every T years on average. The aim of the extreme value theory from a statistical viewpoint is to analyze the observed extreme values and to predict the extreme values that might occur in the future. In this study, peak-over-threshold method is used for the estimation of the extreme wind speeds. The wind speeds recorded in all meteorology stations in Turkey until today are requested from the State Meteorology Affairs General Directorate Meteorological Data Archive System (TÜMAS) in order to obtain the basic wind speeds of Turkey and hourly wind speeds recorded between the years 1975 and 2011 belonging to 341 wind stations are provided from TÜMAS. Since wind speed stations have different recording times, the ones among these stations having a data of less than 48 months are eliminated and extreme value analysis is performed for the ones having data for more than 48 months and the wind speed corresponding to the probability of exceeding once in every 50 years is calculated and the basic wind speed map of Turkey is prepared.

Under the influence of wind, tall buildings swing in along-wind, cross-wind and torsional directions at the same time. Since wind is regarded as a stochastic process, it is the most reliable way to determine the response caused by this process in tall buildings with stochastic analyses. Geometric properties of structural elements, mechanical properties of the material, the size and the distribution of fixed and moving loads, wind, external loads such as earthquakes are the major uncertainties of a structure to be analyzed under dynamic loading. Since these uncertainties are arising from the characteristics of the building (material, etc.) can be controlled during construction stage, it includes of less uncertainty compared to the dynamic external effects of wind effect. The responses such as acceleration, displacement, bending moment that occurred in the system in conjunction with giving the wind data including uncertainties as input to the structural system and taking into consideration these effects occur as uncertain. These uncertainties are calculated in terms of statistical functions such as mean value, variance and random behavior is introduced.

Although modern tall buildings that are designed to meet the requirements for drift ratios are safe in terms of structural safety, they may move during wind storms in a way to disturb especially the occupants living on the upper floors. Comfort of building occupants is defined depending on the biodynamic sensitivity of human against the accelerations that will occur in buildings due to wind effect. To ensure this condition in a tall building, availability limit conditions for relative story displacement and acceleration values should be checked. Extreme wind loading conditions having a 50-year return period are generally used to control the relative story displacement criteria and security requirements. The standard deviation acceleration and the peak acceleration of the extreme winds having a 10-year return period are widely used for the evaluation of wind-induced movements experienced in tall buildings.

In the fifth stage of this dissertation, the stochastic analysis of the tall buildings with different heights and structural sections subjected to wind is performed. The largest displacements and base moment values for the life safety level of building models and the average square root and the maximum acceleration values for the level of serviceability are calculated based in the along-wind direction and the cross-wind direction. The analyzes are performed online by using NatHaz Aerodynamic Loads Database that is first established in 2000 and then renewed in 2008. NatHaz Aerodynamic Loads Database is the main reference for web-based archiving and sharing of the wind tunnel test data for the determination of the along-wind movement, cross-wind movement and torsional responses. This database provides average square root based moment coefficients and the non-dimensional power spectral density functions obtained from the high-frequency base balance measurements on the rigid tall building models having different geometries, tested under different boundary layers to users. In the analysis performed, the behavior of the building models under the influence of the wind is calculated with the random vibration theorem by using overturning moment based gust loading factor. The maximum base bending moment expected in this method is calculated by multiplying the average base bending moment with the gust loading factor. Building models used in the analyses are comparatively examined and the results are presented. The sample on M. Islam's disseration "Modal coupling and wind-induced vibration of tall buildings" is analysed using the NALD program and the results are compared with the results in M. Islam's disseration. The alongwind force spectrum obtained from Istanbul Sabiha Gökçen Airport data is used to define the wind response of a building according to Eurocode 1 and is compared to

the results obtained from Istanbul High-Rise Building Wind Code and the NALD program.

1. GİRİŞ

1.1 Genel Bigi ve Çalışmanın Kapsamı

Ülkemizde ve dünyada yapı tasarım kavramlarındaki gelişmeler ve analitik tekniklerle birlikte her geçen gün daha çok katlı ve narin yapılar inşa edilmekte ve bu tür yapılar rüzgâr gibi dinamik etkilere karşı daha hassas hale gelmektedir. Büyük kentlerde gittikçe artan çok katlı yapıların tasarımında göz önünde bulundurulacak en önemli unsurlardan biri, en az deprem kadar önemli ve onun gibi rastgele etkilere sahip yüksek hızlı rüzgâr etkisindeki binanın üst katlarında oturan insanların konforudur. Güçlü rüzgârların çok katlı binalarda yüksek titreşimler meydana getirebildiği, oturanlara rahatsızlık verebildiği ve binalardaki hassas cihazlarda hasara yol açabildiği bilinmektedir. Rüzgâr etkisindeki yüksek yapıda ortaya çıkan ivmelerin, insanların bina içinde yaşam konforuyla ile yakından ilgili olduğu yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur. Özellikle deprem etkisinin baskın olmadığı buna karşın rüzgârın baskın olduğu bölgelerde, deniz kenarlarında, tepelerde yüksek kule tarzı yapılar yapıldığında yüksek yapının rüzgâra karşılık davranışını doğru ve güvenilir şekilde belirlemek, yapıları buna göre tasarlamak önemlidir.

Rüzgâr hızı, statik ve dinamik bileşenin toplamı biçiminde ifade edilmektedir. Dinamik etkilerin rastgele olacağı bilindiğinden, analizlerde dinamik yüklemenin belirsizliğini dikkate alacak bir yönteme ihtiyaç vardır. Başka bir deyişle, yapı analizleri ile anlamlı sonuçlar çıkarılmak isteniyorsa problemler stokastik olarak incelenmelidir. Stokastik dinamik analiz yönteminde rüzgârın rastgeleliği göz önüne alındığından gerçeğe çok daha yakın ve daha ekonomik sonuçlar elde edilir. Rüzgâr hızı değişiminin rastgeleliği, rüzgârın türbülans bileşeni kayıtlarından elde edilen güç spektrum yoğunluk fonksiyonları ile dikkate alınır.

Bir takım belirsizlikleri bünyesinde taşıyan rüzgâr, deprem hareketi, okyanus dalgası gibi titreşimlerin rastgele oluşundan dolayı, dinamik parametrelerin, başlangıç koşullarının ve zorlayıcı etkinin tamamen belirli olduğu deterministik yaklaşım ile çözüm yapılması çok gerçekçi çözümler vermeyebilir. Zamana bağlı olarak genlikleri

ve frekans içeriği değişken olan rastgele titreşimlerin istatistik ve olasılık terminolojisi ile ifade edildiği stokastik yöntemler, daha gerçekçi ve ekonomik çözümler sağlar. Önemli ekonomik değere sahip yapıların güvenirlik hesaplarında belirli bir güvenlikle bu yüklerin aşılması riski düşünüldüğünde rastgele titreşim teorisi ile hesap yapılması ve mühendislik parametrelerinin buna göre belirlenmesi gerekir. Yapı sistemlerinin çözümlemesinde yapılardaki belirsizlikleri dikkate alan stokastik yöntemler, 1960'lı yıllardan başlayarak yapı mekaniği alanında kullanılmaya başlanıp günümüze kadar yapılardaki belirsizlikleri içeren, güvenliğin sağlanması için olan çözüm yöntemlerini geliştirerek gelmiştir.

Yapı elemanlarının geometrik özellikleri, malzemenin mekanik özellikleri, sabit ve hareketli yüklerin büyüklük ve dağılımları, rüzgâr, deprem gibi dış yükler, dinamik yükleme altında çözümlenecek bir yapının belli başlı belirsizlikleridir. Yapının kendi özelliklerinden kaynaklanan belirsizlikler (malzeme vb.) yapım aşamasında kontrol edilebilmesinden dolayı rüzgâr etkisinin dinamik dış etkilerine oranla daha az belirsizlik içerir.

Rüzgâr etkisindeki yüksek yapıların davranışını incelerken elde edilecek sonuçlar kullanılan rüzgâr kayıtlarına ve yapının matematiksel modeline bağlıdır. Rüzgâr hızı kayıtları, kaydın alındığı arazinin tipine (engebesiz alanlar, deniz kıyı şeritleri, ormanlık alanlar, köyler, şehir merkezleri vb.) bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü katsayısına, yüksek yapının bulunduğu yerin deniz seviyesinden olan yüksekliğini ifade eden topoğrafya katsayısına ve yüksek yapının çevresindeki yapılar gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak farklı özellikler göstermektedirler. Analizler yapılırken daha çok yapının inşa edileceği bölgede elde edilmiş gerçek rüzgâr kayıtları kullanılmalıdır. Ancak çoğu durumda gerekli şartları sağlayan kayıt bulmak zor olabilir.

Rüzgâr stokastik bir işleyim (process) olarak kabul edildiğinden dolayı bu işleyimin yüksek yapılarda meydana getireceği tepki de stokastik analizlerle belirlenmelidir. Belirsizlikler içeren rüzgâr verisinin yapısal sisteme giriş olarak verilmesi ve bu etkilerin göz önüne alınmasıyla beraber sistemde oluşan ivme, yerdeğiştirme, eğilme momenti gibi tepkiler de belirsiz olarak ortaya çıkar. Bu belirsizlikler ortalamanın karekökü gibi istatistiksel terimlerle hesaplanarak rastgele davranış ortaya çıkarılır. Rüzgâr hızı değişiminin rastgeleliği, rüzgâr hızının türbülans bileşenleri kayıtlarından elde edilen güç spektrum yoğunluk fonksiyonları ile dikkate alınır.

Türbülans güç spektrum yoğunluk fonksiyonun elde etmek için küçük örnekleme aralığına sahip rüzgâr verisine ihtiyaç vardır. Ancak Türkiye'de böyle bir kayıt bulunamadığı için, bu doktora tezi kapsamında Sabiha Gökçen Havalimanı'na birbirine dik üç yönde kayıt alabilen, küçük örnekleme aralığına sahip ultrasonik anemometre (USA-1, Metek) kurulmuştur. Bu anemometre yardımıyla 27 ay boyunca rüzgâr hızı ve yönü kaydı alınmıştır. Böylece İstanbul için temel rüzgâr hızı ve türbülans özellikleri belirlenmiştir.

Çok katlı bir yapının rüzgâr analizi yapılırken kullanılan en önemli parametrelerden biri de temel rüzgâr hızıdır. Temel rüzgâr hızı açık bir arazide (örneğin hava alanları gibi), yerden 10m yükseklikte herhangi bir yönde ölçülen 10 dakikalık ortalama rüzgâr hızlarından 50 yılda en az bir kere aşılma olasılığına karşı gelen rüzgâr hızıdır (İYBRY). Türkiye için özellikle çok katlı yapıların rüzgâr hesaplarında kullanılmak üzere temel rüzgâr hızlarının bilinmesine ihtiyaç vardır. Türkiye'de temel rüzgâr hızlarını elde etmek için Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Meteorolojik Veri Arşiv Sistemi'nden (TÜMAS) Türkiye'deki bütün rüzgâr istasyonlarının günümüze kadar kaydedilen rüzgâr hızları istenmiş, bunun karşılığında da TÜMAS'tan 341 rüzgâr istasyonuna ait saatlik rüzgâr hızları temin edilmiştir. Öncelikle saatlik rüzgâr hızı kayıtları, Bölüm-3'te açıklanan yöntemle 10 dakikalık ortalama rüzgâr hızı kayıtlarına dönüştürülmüştür, daha sonra ise aşırı değerler çözümlemeleri (extreme value analysis) yapılarak her bölgeye ait temel rüzgâr hızları bulunmuştur.

Bu tezin dördüncü aşamasında ise rüzgâr etkisi altındaki çok katlı binaların stokastik analizi yapılmıştır. Çevrimiçi Nathaz Aerodinamik Yükler Veritabanı (NALD) kullanılarak yapılan çözümlemeler moment bazlı ani rüzgâr faktörü yöntemine dayanmaktadır. Sistemler modellenirken rüzgâr yönündeki, rüzgâra dik yöndeki ve burulma periyotları, bina kütle yoğunlukları, sönüm oranları ve rüzgâr hızı uygun şekilde belirlenmiştir. Rüzgâr etkisindeki çok katlı yapıların davranışının incelenebilmesi için farklı yükseklikte, farklı kesitler sahip betonarme ve çelik sistemler düzenlenmiştir. Bu sistemler karşılaştırılmalı olarak incelenmiş, binaların üst katında oluşan en büyük ivmeler, ortalama karekök (RMS) ivme değerleri, en büyük yerdeğiştirmeler belirlenmiştir. 2. bölümde elde edilen boyuna güç spektrum yoğunluk fonksiyonu kullanılarak çok katlı bir binanın analizi ASCE 7-10 yönetmeliğine göre çözümlenmiş, NALD'den elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca M.İslam'ın "Modal coupling and wind-induced vibration of tall buildings" adlı tezindeki

uygulama NALD programıyla çözümlenmiş ve M. İslam'ın tezindeki sonuçlarla karşılaştırma yapılmıştır.

1.2 Literatür Araştırması

1.2.1 Rüzgâr Türbülansı ile ilgili Yapılan Çalışmalar

1940'ların sonunda von Karman'ın (1948) istatiksel türbülans teoremine dayanan rüzgârların güç spektrumları için ilk teorik modelini önerdiğinden beri, rüzgârların türbülans özellikleri bir çok araştırmaya konu olmuştur.

Türbülansın karakteristiğinin anlaşılması, rüzgâr etkisindeki yapının davranışının tahmin edilebilmesi açısından büyük önemi taşımaktadır. Modern kayıt ve hesaplama tekniklerinin gelişmesiyle birlikte 1950'lerin başından itibaren, atmosferik türbülans ve özellikleri ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. 1961'de Davenport (1961) yer yüzeyine yakın atmosferik türbülans modelini öne sürdüğünden beri, yapıların dinamik rüzgâr etkilerini belirlemek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin amacı, ani rüzgâr faktörleri ve eşdeğer statik rüzgâr yüklerini belirleyerek yapının rüzgâr etkisi altındaki davranışını ortaya koymaktır. Bu tekniklerin dayandığı en yaygın varsayım, birinci mod şeklinin doğrusal olarak değiştiği, ikinci ve daha yüksek modların katkısının önemsiz olduğudur. Ayrıca gelişen teknolojiyle beraber, boyuna rüzgâr hızının yapıda ortaya çıkardığı yerdeğiştirmeleri ve ivmeleri hesaplamak için bilgisayar programları geliştirilmiştir.

Tipik yer yüzeyindeki rüzgârların hız spektrumuna ait basit özellikler Van Der Hoven (1957) tarafından modellenmiştir. Bu model, biri yüksek ölçekli hava sistemindeki bir geçite denk gelen periyotta, diğeri de mikrometeoroloji ölçeğindeki türbülansa denk gelen periyotta olmak üzere iki ana spektral pik göstermiştir. Yaklaşık 1 saatlik bir zaman ölçeğine sahip spektral açıklık, bu iki piki ayıran büyük bir vadi gibi görünmektedir.

Davenport (1960), Avusturalya ve İngiltere'de 12.2 metre ile 153 metre arasında değişen yüksekliklerde kaydedilmiş güçlü rüzgâr kayıtlarını kullanarak 70 adet boyuna güç spektrum yoğunluk fonksiyonu elde etmiştir. Spektrumları elde ederken otokorelasyon katsayılarını kullanmıştır. Ayrıca rüzgârın kaydedildiği yüksekliğin spektrum üzerindeki etkisini incelemiştir. Elde ettiği sonuçlardan güç spektrum yoğunluk fonksiyonunu ifade eden bir denklem geliştirmiştir.

Simiu (1974), çalışmasında rüzgâr spektrumu ve boyuna rüzgâr hızının yapılarda oluşturduğu etkiyi irdelemiştir. Boyuna rüzgâr spektrumunu yükseklikle değişen bir şekilde daha gelişmiş ifadelerle tanımlamış ve denklemini elde etmiştir. O zamanki Amerikan Ulusal Standardı'nda ve Kanada Yapısal Tasarım Klavuzu'nda yer alan, yükseklikle değişimin rüzgâr spektrumunun üzerindeki etkisinin dikkate alınmadığı yöntemin narin ve düşük sönümlü yapılarda çok doğru sonuçlar vermediğini göstermiştir.

Teunissen (1979), kırsal alanda ortalama rüzgâr hızı ve türbülans hakkında detaylı bir çalışma yapmıştır. Analizlerinde bir kuleye monte edilmiş pervaneli anemometrelerle kaydettiği beş saatlik veriyi kullanarak rüzgâr hızının üç bileşenin türbülans özellikleri elde edilmiştir. Ortalama rüzgâr hızının büyüklüğünün ve yönünün zamanla değişimi incelenmiştir. Rüzgâr hızının üç bileşeni için de otokorelasyon ve güç spektrumu eğrileri elde edilmiştir.

Kıyı şeritleri, göl çevreleri, engebesiz düz ve geniş alanlar, seyrek yapıların olduğu alanlar, köyler, banliyöler, ormanlık alanlar, şehir merkezleri gibi farklı arazi tipleri üzerinde rüzgâr hızının düşey dağılımlarını, karakteristiğini belirlemek gereklidir. Bu bilgi yüksek binaların tasarımları, rüzgâr tünel simülasyonları ve numerik modelleme için gereklidir. Rüzgâr hızı profillerini değerlendirmek için çeşitli yükseklikteki kulelerden toplanan rüzgâr datasını kullanan çok sayıda çalışma yapılmıştır (Thuillier ve Lappe, 1964; Panofsky ve Petersen, 1972; Korrell ve diğ, 1982; Grant, 1994; Holmes ve diğ, 1997; Holmes, 2007; Tieleman, 2008).

Atmosferik yüzey katmanındaki rüzgâr akışı çok çalkantılıdır ve yapılara etkiyen rüzgâr yükleri türbülans akış karakteristiğinden önemli ölçüde etkilenmektedir. Atmosferik türbülans karakteristikleri üzerine geçmişte çok sayıda arazı ölçümü gerçekleştirilmiştir. Çeşitli bölgelerdeki sayısız yükseklikten alınmış ölçümlere dayanarak rüzgâr hızı spektrumu ve türbülans karakteristiklerini incelemek, parametreleri ve genel davranışlarını belirlemek için önemli ölçüde girişimlerde bulunulmuştur. Uygun bir tanım oluşturmak ve türbülans hızlarının doğasını anlamak için gerekli olan çok sayıda spektrum formu önerilmiştir (von Karman, 1948; Davenport, 1961; Kaimal ve diğ, 1972; Panofsky ve diğ, 1959, 1982; Solari ve Piccardo, 2001; Shiau ve Chen, 2002). Ani rüzgâr faktörü, türbülans yoğunluğu ve türbülans uzunluğu gibi türbülans akışının parametreleri de rüzgâr akışını araştırmayı hedefleyen çok sayıda çalışmadan elde edilmiştir (von Karman, 1948; Shiau ve Chen,

2002; Cheng ve diğ, 2007; Tamura ve diğ, 2001; 2007; Holmes ve diğ, 1997; Law ve diğ, 2006; Holmes ve diğ, 2005; Holmes 2007; Schroeder ve diğ, 2009). Busch ve Panofsky (1968) belirli sabit koşullar altında farklı yükseklik ve alanda ölçülen atmosferik türbülansın spektrumunu analiz etmişlerdir. Choi (1978) Güney Çin Denizi üzerindeki tayfunların karakteristikleri üzerinde kapsamlı bir çalışma yapmıştır. Zhu (2002) Tsing Ma Köprüsüne yerleştirilmiş ultrasonik anemometrelerden toplanan rüzgâr datasını kullanarak Hong Kong'un Victor Tayfunu'nu analiz etmiştir.

Yapı sağlığı izleme ve sensör teknolojilerinin son yıllardaki hızlı gelişimi ile dünyada gitgide daha fazla rüzgâr datası kaydedilmektedir (Vickery ve Twisdale, 1995; Holmes, 2001; Tieleman, 2008; Hui ve diğ, 2009).

Ancak literatür değerlendirmesine göre geçmişteki çalışmaların nispeten daha çok düz ve homojen yüzeylerdeki atmosferik türbülans ve rüzgâr hız profilleri ile ilgili olduğunu göstermektedir. Dünya üzerindeki kentsel alanlarda giderek daha yüksek yapıların inşa edilmesine rağmen şehirlerdeki yapılar üzerinde rüzgâr ile ilgili belirsizlik ve eksik bilgi bulunmaktadır. Yakın zamanda, yüksek yapıların bulunduğu şehirler gibi karmaşık araziler üzerindeki türbülans sınır katmanlarını tanımlama çabaları yaygınlaşmaya başlamıştır. Özellikle bu tip arazilerdeki türbülans yapılarını incelemek üzere Bradley, Mason ve King, Mickle ve diğ., Moraes ve diğ., Heinemann ve Kerschengs, ve Rotach tarafından çalışmalar yapılmıştır.

Yüksek katlı ve orta katlı yapıların çok bulunduğu arazilerdeki türbülans spektrumları ilk olarak Bradley ve Panofsky ve diğ. tarafından açıklığa kavuşturulmuştur. Bu tip arazilerdeki düşey hız spektrumunun tekdüze yüzeylerdeki ile aynı özelliklere sahip olduğunu bulmuşlardır.

Rüzgâr profillerinin ölçümünde meteorolojik cihazların yerleştirildiği kuleler ya da direkler kullanılmaktadır. Bu kuleler yüzlerce metre yüksekliğe çıkabilmektedir. Peil ve Nölle (1992), 341 metrelik bir direkte 17 farklı yükseklikte rüzgâr hızını ölçerek türbülansın istatistiksel parametrelerini ve rüzgâr profillerini belirlemişlerdir.

Ani rüzgâr faktörleri üzerine birçok çalışma yapılmıştır. İngiltere'deki rüzgâr ölçümlerine dayanarak Durst (1960) açık alan ve düz topoğrafyaya sahip bölgelerdeki çeşitli maksimum rüzgâr hızı ortalamaları ile ilgili saatlik ortalama rüzgâr hızı arasında istatistiksel ilişkiyi ortaya çıkarmıştır. Digital Anemograph Logging Equipment (DALE) rüzgâr verilerine göre Ashcroft (1994), Durst'un elde ettiği ani rüzgâr

faktörlerine yakın değerler bulmuştur. Ashcroft (1994,) ani rüzgâr oranı üzerine çalışmalarda bulunmuştur. Ani rüzgâr oranının zemin pürüzlüğüne bağlılığını göstermiş ve artan rüzgâr hızıyla birlikte ani rüzgâr oranının istatistiksel olarak önemli derecede azaldığını bulmuştur. Krayer ve Marshall (1992), Durst (1960) tarafından tarif edilen istatistiksel metodu kullanarak Durst'ün tropikal rüzgâr verilerinden elde ettiği ani rüzgâr faktörleri ile tropik hortum rüzgâr kayıtlarından elde edilen ani rüzgâr faktörleri karşılaştırmışlardır. Vickery ve Skerlj (2005), artan rüzgâr hızıyla ani rüzgâr faktörünün azaldığını göstermişlerdir.

Zemine yakın atmosferik sınır katmanlarındaki türbülans karakteristiklerinin zeminin yüzeyinin coğrafyasından etkilendiği bilinmektedir. Bazı ülkeler rüzgâr veritabanları oluşturmuşlardır. ABD'nin Sparks veritabanı (Sparks ve diğ. 1992), Japonya'da Kato ve Ohukuma veritabanı (Kato ve diğ, 1992), Norveç'teki Froya veritabanı (Andersen ve Lovseth, 1995) ve Birleşik Krallıktaki BWEA veritabanı (BWEA, 2008) bunlardan bazılarıdır. Ancak bu veritabanlarının farklı coğrafi özelliklere sahip yerlerde rastgele kullanılmalarının uygun olmayacağı belirtilmiştir.

Shiau ve Chen (2001), yaptıkları çalışmada Taiwan'ın Keelung sahil bölgesindeki kuvvetli rüzgâr türbülans istatistiklerini ve rüzgâr hız spektrumlarını elde etmişlerdir. 25 -27 Ekim 1998'deki Babs Tayfunu'nun yarattığı kuvvetli rüzgârların hız ve ısı bileşenleri, boyuna, yatay ve düşey olmak üzere ultrasonik anemometre ile üç yönde ölçülmüştür. Çalışmada rüzgâr hız dalgalanmalarının ve ısı dalgalanmalarının üç bileşeninin olasılık yoğunluk fonksiyonlarının Gaussian dağılımlarına yakın olduğu gösterilmiştir. Kuvvetli rüzgârın türbülans şiddeti ve türbülans uzunluğu hesaplanmıştır. Gözlemlenen boyuna rüzgâr spektrumunun Von Karman spektrumu ve Eurocode 1'deki rüzgâr spektrum denklemi ile uygun olduğu bulunmuştur. Yatay ve düşey rüzgâr spektrumların gözlemsel sonuçlarının izotropik türbülans spektrum denklemlerine benzer olduğu görülmüştür.

Shiau ve Chen (2002), başka bir çalışmalarında Taiwan'da 26 metrelik yükseklikte 11 ay boyunca topladıkları verileri kullanarak yaptıkları çözümlemede ortalama boyuna ve düşey türbülans şiddetleri arasında 1:0.45 gibi bir oran olduğunu göstermişlerdir.

S.S. Law ve diğ. (2006) Hong Kong'daki 50 metrelik bir gergili direkte ölçülen Dujuan Tayfunu'nun rüzgâr karakteristiklerini elde etmeye çalışmışlardır. Tayfunun güç spektrum yoğunluğunu von Karman tahmini ile karşılaştırmışlardır. İki ölçüm

seviyesindeki rüzgâr hızı arasındaki tutarlılık (coherence) fonksiyonun da Davenport'un tahmini ile yakın olduğu görülmüştür.

Q.S. Li ve diğ. (2009) 325 metre yüksekliği olan Beijing Meteoroloji Kulesi'ne 15 farklı yükseklikte yerleştirilmiş olan otuzdan fazla anemometreden rüzgâr hızı ve atmosferik türbülans datası elde etmişlerdir. Ultrasonik anemometre kuvvetli fırtınalar esnasında kaydedilen boyuna, yatay ve düşey doğrultulardaki rüzgâr hız datasını istatistiksel olarak analiz etmişlerdir. Üç boyutlu türbülans rüzgâr hızının, türbülans şiddeti, ani rüzgâr faktörü, türbülans uzunluğu ve güç spektral yoğunluk fonksiyonları gibi atmosferik türbülans bilgilerini sunmuşlardır. Böylece, tipik kentsel bir bölgedeki ortalama rüzgâr hızının profillerini ve atmosferik türbülans karakteristiklerini ortaya koymuşlardır.

S. Jung ve F.J Masters (2013), yerleşim alanlarındaki türbülansı karakterize etmek için, biri banliyö biri açık arazi olmak üzere birbirine yakın iki farklı arazide iki tane mobil kule konumlandırarak Ike Kasırgası'nı kaydedebilmişlerdir. Rüzgâr yönündeki ani değişimlerden dolayı oluşan verinin belirgin bir şekilde durağan olmama durumundan ötürü, sinyalin değişiminin giderilmesi için ampirik mod ayrışımı yöntemi kullanılmıştır. Kasırga verileri analiz edildiğinde, banliyö arazisinden elde edilen ortalama boyuna rüzgâr türbülans şiddetinin açık araziye göre %37 daha fazla olduğu ortaya çıkmıştır. Ortalama düşey türbülans şiddeti ise banliyöde %74 daha fazla bulunmuştur. Bu da yapı mühendislği için önemli çıkarımlar sağlayabilir. Ayrıca çalışmada banliyö bölgesinde elde edilen kayıtlardan bulunan ani rüzgâr faktörü açık arazininkinden %16 daha fazladır. Kasırga durumunda olmayan rüzgâr güç spektrum modelleri ile karşılaştırma yapıldığında ise elde edilen spektrumun özellikle açık arazide düşük frekansta yüksek enerji gösterdiği vurgulanmıştır.

Bo Chen ve diğ. (2013) Çin'de bulunan dünyanın en yüksek ahşap mabedinde(rüzgâr ölçümleri yapmışlardır. Ortalama rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, türbülans şiddeti, ani rüzgâr faktörü, türbülans uzunluğu ve rüzgâr spektrumu dahil olmak üzere, rüzgâr özelliklerini incelenmişlerdir.

1.2.2 Temel Rüzgâr Hızı İle İlgili yapılan Çalışmalar

Tarihsel olarak, aşırı değer problemleri ile ilgili çalışmalar 1709'a dayanmaktadır. Modern zamanda, aşırı değer teorisi, gökbilimcilerin kullandığı bir uç değerin kabulü veya reddi için bir kriter oluşturmak üzerine başlatılmıştır. Aşırı değer teorisinin ilk

sistematik gelişmesi, rastgele örneklerin en büyük değer dağılımlarını normal dağılım olarak inceleyen Bortkiewicz (1922) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmanın önemi en büyük değerler dağılımı kavramının ilk defa tanıtılmış olmasıdır. Başka dağılımlar kullanılarak en büyük değerler ile ilgili ilk çalışmalar yapan Dodd (1923) ve Frechet'in (1927) çalışması, en büyük değerlerden asimptotik dağılım elde etme ile ilgili ilk çalışmalar olarak kabul edilmektedir. Daha da önemlisi, ortak bir noktası olan farklı dağılımlardan alınan en büyük değerlerin ortak bir asimptotik dağılımı olabileceklerini göstermiştir. Fisher ve Tippet (1928) aşırı değer dağılımlarının üç tipten sadece biri olabileceğini ispatlamışlardır ve bu da şu ana kadar aşırı değerler üzerinde yapılan çalışmaların tabanı olmuştur. Jenkinson (1955), üç temel aşırı değer dağılım tipini tanımlayan, hali hazırda genelleştirilmiş aşırı dağılımlar olarak bilinen, genel bir aşırı değer dağılım şekli bulmuştur.

Aşırı değer teorisi, yağmur, sel, rüzgâr, hava kirliliği vb. gibi doğal afetler ve ileri matematik tekniklerine kadar bir çok uygulamada kullanabilen bir yöntemdir. Uygulama açısından değerlendirilecek olursa, Gumbel (1958) aşırı değer çözümlemesi alanına önemli katkılarda bulunmuştur. Gumbel önce ampirik olarak ele alınan aşırı değer teorisinin bazı dağılımlarda kullanılabilecek uygulamaları ile ilgili mühendislerin ve istatistikçilerin dikkatini çeken ilk kişidir. Bu yöntemle ele alınan ilk problem, Amerika Birleşik Devletleri'nde 1941 yılında, yıllık seller, yoğun yağmur yağışı gibi meteorolojik olaylardır. Tasarımda kullanılacak rüzgâr hızlarının hesabında aşırı değer çözümlemesinin kullanılması sel çözümlemesi alanındaki uygulamaların gerisinde kalmıştır. 1950 ve 1960'ların başlarında, Kanada gibi bazı ülkeler temel rüzgâr hızlarını öngörmek için aşırı değer çözümlemesini uygulamışlardır. Bu çözümlemelerde asıl olarak Tip I (Gumbel) dağılımı kullanılmıştır ve dönüş periyodu kavramı o yıllarda ortaya çıkmıştır. Rüzgâr yüklerinin hesabında modern yaklaşımın temeli olan olasılık ve istatistik kullanımı, çeşitli çalışmalarda da (Davenport, 1960, 1961, 1966, 1967b) belirtildiği gibi, büyük ölçüde, 1960'ların başında A.G Davenport'un çalışmalarında ortaya çıkmıştır. Daha sonra, aşırı rüzgâr hızlarının yerinde modellenmesinin iyileştirilmesi ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır.

Pickands'ın (1975) çalışmalarında ortaya konan Eşik Üzeri Değerler yöntemi, 1940'lardan beri istatistikçilerin üzerinde yoğunlaştığı klasik aşırı değer teorisinden farklı önemli bir adımdır. Eşiği aşan değerlerin bağımsız Genelleştirilmiş Pareto

Dağılımı olarak modellendiği bu yaklaşım, Davidson ve Smith (1990) tarafından genelleştirilmiştir.

Weismann (1978) klasik aşırı değer çözümlemesinin bir uzantısı olan bir teorinin temelini atmıştır. Bu teori, yıllık maksimum yerine, sabit zaman periyodundaki (örneğin 6 ay) en büyüklerin sıralandığı istatistikleri kullanmakta ve r en büyüklerin istatistik modeli olarak bilinmektedir. Son yıllarda, geliştirilmiş aşırı rüzgâr hızı tahmini ve hesapları için r en büyük istatistik modeli yerine eşik üzeri değerler (EÜD) yöntemine ağırlık verilmiştir.

Değerlerin asimptotik teorilerini ve istatistiksel uygulamalarını detaylandıran kaynaklar bulunmaktadır. Galambos (1987, 1978), Resnick (1987) ve Leadbetter ve diğ. (1983) bu konuyla ilgili çalışmalar sunmuşlardır. Castillo (1988), Gumbel'in (1958) çalışmalarını başarıyla güncelleştirmiş ve birçok aşırı değer teorisi ile ilgili istatistiksel uygulama sunmuştur. Geniş çapta aşırı değer çözümlemesi sunan yazılımları içeren güncel çalışmalar Reiss & Thomas (2001) ve Coles (2001) tarafından sağlanmıştır.

Bajic ve Peros (2005), 27 istasyondan elde edilen verileri kullanarak Hırvatistan'ın temel rüzgâr hızlarını belirlemiştir. Ancak, Hırvatistan'ın coğrafi yapısı nedeniyle oluşan önemli iklim farklılıklarından ve yetersiz sayıdaki rüzgâr hızı ölçümlerinden dolayı temel rüzgâr haritası oluşturulamamıştır. Hesaplanan temel rüzgâr hızı, karasal ve sahil alanlarında büyük farklılıklar göstermekle birlikte bazı bölgelerde 35 m/s'yi geçmiştir. Çıkan sonuçlar, denizden uzaklığın temel rüzgâr haritası bölgelendirmesinde tek etken olarak alınmaması gerektiğini göstermiştir. Yüksek irtifalı kesimlerde veri yetersizliğinden dolayı bölgeleme yapılamamıştır, ayrıca toplanan veri, yüksekliğe bağlı bir rüzgâr artışını geçerli kılacak sonuç göstermemiştir.

An ve Pandey (2005), çalışmasında Amerika Birleşik Devletleri rüzgâr hızı verisini kullanarak, aşırı değer çözümlemesi (extreme value analysis)için literatürde bulunan dört farklı yöntemi karşılaştırmalı değerlendirmesini sunmuştur. Bu yöntemler, Standart Gumbel, İyileştirilmiş Gumbel, Eşik Üzeri Değerler (peaks over threshold) ve Bağımsız Fırtınalar Yöntemi (methods of independent storms) olarak adlandırılmaktadır. Çözümleme, yöntemlerin 50-yıl ve 500-yıllık dönüş periyoduna denk tasarımsal rüzgâr hızı tahminleri üzerindeki etkisini vurgulamaktadır. Bağımsız

Fırtınalar yönteminin Eşik Üzeri Değerler yöntemine oranla daha stabil sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Kasperski (2002), Almanya için yeni bir temel rüzgâr haritası önermiştir. Önerilen yeni haritada, 22.5 m/s - 32.5 m/s arasında değişen beş rüzgâr bölgesi sunulmuştur. Bir önceki rüzgâr bölge haritasına göre, yeni haritada bir çok bölgeye daha küçük rüzgâr hızları belirlemiştir. Ayrıca, yön ile ilgili etkiler de incenmiş ve çözümlenmiştir ancak sonuçlar yönetmelikte yer alacak kadar homojen bulunmamıştır.

Lakshmanan ve diğ (2009)., Hindistan Meteoroloji Bölümü'nden elde ettikleri 70 meteorolojik istasyonuna ait uzun dönemli saatlik rüzgâr hızı verilerini toplayarak Hindistan için temel rüzgâr hızı haritası elde etmişlerdir. Her istasyon için günlük şiddetli rüzgâr verilerinden yıllık maksimum hızlar (km/s) bulunmuş, Gumbel olasılık yöntemi kullanılarak 50 yıllık dönüş periyodu için tasarım amaçlı rüzgâr hızları elde edilmiştir.

Simiu (1995), çalışmasında, aşırı rüzgâr yükleri ve aşırı rüzgâr hızları arasındaki bağlantıyı, tropik fırtınalara maruz olunmayan bölgelerdeki aşırı rüzgârların tahminlerinde kullanılan "Eşik Üzeri Değer" yaklaşımları ve kısa rüzgâr hızı kayıtları için aşırı tahmin yöntemlerini incelenmiştir. Rüzgâr yönü etkileri, tropik hortum ve kasırgalara bağlı aşırı rüzgâr tahminleri de ayrıca değerlendirilmiştir.

Murphy ve Jackson (1997), British Columbia'nın orta iç kesimindeki dört farklı bölgedeki aşırı rüzgâr olaylarının tipik dönüş periyotlarını, yıllık şiddetli rüzgâr hızlarının üstel aşırı değer dağılımı varsayımı ile hesaplamışlardır.

Rajabi ve Modarres (2007), Iran'ın Isfahan ilindeki Doğu Isfahan istasyonundan 1983-1993 yılları arası için temin ettikleri batıdan esen yıllık maksimum rüzgâr hızlarını kullanarak bu veriler için aşırı değer frekans analizi yapmışlardır.

Şahin (2002), Türkiye için 10, 12 ve 15 m/s'yi aşan rüzgâr hızları için 3 farklı rüzgâr haritası çıkarmıştır. Bu çalışmada, Türkiye'deki rüzgâr hızı aşılma bölgelerini elde edebilmek için ülkenin çeşitli yerlerindeki 68 meteoroloji istasyonunun verileri kullanılmıştır. Bu istasyonlara dayanarak, üç risk seviyesi göz önünde bulundurulmuş ve her seviye için haritalar çizilmiştir. İstasyonların çoğunda 10 ve 12 m/s üzerinde aşılmalar olduğu görülmüştür. Bu bölgeler, rüzgâr enerjisi üretimi için güvenli noktalar olarak değerlendirilmiştir. Rüzgâr hızları 15 m/s veya daha fazla olan 15 istasyon bulunmuştur. Özellikle Bozcaada ve Çanakkale istasyonları bina ve köprü

inşaatı ve rüzgâr erozyonu açısından riskli bölgeler olarak tespit edilmiş ancak rüzgâr enerji üretimi için oldukça elverişli olarak değerlendirilmiştir.

1.2.3 Yapı - Rüzgâr Etkileşimi İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Geçmiş yıllarda, rüzgâr hakkındaki bilgilerin artması, rüzgâr tünellerinin kullanımı ve rastgele titreşimler teorisinin gelişmesiyle beraber, rüzgâr etkisi altındaki çok katlı binaların davranışı daha gerçekçi bir şekilde tahmin edilebilmektedir.

Bu alandaki ilk çalışmalar 1960'ların başında Davenport tarafından başlatılmıştır. Davenport (1961, 1962, 1967), bir dizi makalesinde binanın davranışının dinamik tarafının hesaplandığı "ani rüzgâr(gust) faktörleri" kavramını tanıtmıştır. Davenport, rastgele titreşim yöntemini kullanarak, rüzgâr etkisi altındaki binanın toplam tepkisinin statik tepkisine oranı için bir tanım geliştirmiş ve bunu "ani rüzgâr faktörü" olarak ifade etmiştir. Tasarım amaçlı kullanılmak üzere eşdeğer statik rüzgâr yüklerini, statik rüzgâr yükü ile ani rüzgâr faktörünün çarpımı olarak elde etmiştir. Vickery (1970), Vellozi ve Cohen (1968, 1970) ve Simiu (1973, 1973,1975, 1976, 1977, 1980) bir dizi makalelerinde ani rüzgâr yükü faktörü hesaplamasının çeşitli yönlerine katkı sağlayıp düzeltmeler yapmışlardır. Ani rüzgâr faktörü yaklaşımı gelişmiş ülkelerdeki çok katlı yapılar rüzgâr yönetmeliklerinde kullanılmaktadır.

Ancak yapılan ilk çalışmalar şiddetli boyuna rüzgâr(alongwind) etkisindeki binaların davranışıyla ilgili olup bu yaklaşımlar enine rüzgâr (acrosswind) kuvvetleri ve burulma momentinden oluşabilecek tepkileri içermemektedir. Koten (1971) rüzgâr etkisi altındaki çeşitli binaların ölçümlerini yaparak, rüzgâra dik doğrultudaki ve burulma davranışının çok önemli olduğunu göstermiştir. Binaların rüzgârlar tarafından oluşan titreşimlerini ölçen Taoka ve diğ. (1975), Hart ve diğ. (1975) ve Blume & Associates Engineers (1988) de burulma davranışının önemini göstermişlerdir. Burulma titreşimlerinin kullanıcı rahatsızlığına neden olan bir başka olay Hansen ve diğ. (1973) tarafından kaydedilmiştir. Kareem (1978) ve Tallin (1984) enine rüzgâr etkilerini inceledikleri çalışmalarında vorteks titreşimlerinin neden olduğu bina tepkilerinin, boyuna rüzgârdan dolayı meydana gelen etkilerden çoğu kez daha baskın olabileceğini göstermiştir. Enine rüzgâr ve burulma kuvvetlerine yol açan mekanikler çok karmaşık olduğu için, binaların bu kuvvetler etkisindeki davranışlarını akışkanlar mekaniğinin temel ilkelerinden hesaplayacak, boyuna rüzgâr davranışlarının tahminlerinde kullanılan yöntemler kadar güvenilir, pratik, ve kesin yöntemler henüz

bulunmamaktadır. Ancak son zamanlarda bu alanda önemli araştırmalar yapılmış ve rüzgâr tüneli testlerinin binaların enine rüzgâr ve burulma kuvvetleri altındaki davranışlarını belirlemede en iyi yöntem olarak kullanıldığı görülmektedir.

Hart (1970), stokastik rüzgâr kuvvetine maruz kalan 3 boyutlu çok katlı binaların dinamik çözümlenmesi için bir yöntem sunmuştur. Katların kendi düzlemlerinde rijit olduklarını varsaymış ve her katın kütlesinin merkezinde 3 genelleştirilmiş koordinat, iki birbirine dik öteleme ve bir dönme tanımlamıştır. Hesaplamalarında azaltımış rijitlik matris yöntemini kullanmıştır. Hart'ın yönteminde, her kattaki rüzgâr kuvvetinin birbirinden bağımsız olduğu varsayılmıştır. Bu varsayım, bu yöntemin kullanılabilirliğini sınırlandırmaktadır. Patrickson ve Friedman (1976), kütle ve rijitlik merkezinin çakışmadığı binaların 3 boyutlu davranışını kapsamlı bir biçimde incelemiştir. Binada rüzgâr etkisinden dolayı oluşan hız ve ivme gibi büyüklüklerin burulma davranışına katkısının daha fazla olduğunu belirtmişlerdir.

Kareem (1982) enine rüzgâr davranışını belirlemek için, bir binanın modelini kullanarak rüzgâr tünelinde kaydedilen yüzey basınçlarının istatistiksel değerlendirmesinden rüzgâr kuvvetlerini elde ederek bir yaklaşım sunmuştur.

Foutch ve Şafak (1981) burulma davranışını tahmin etmek için analitik bir yöntem geliştirmişlerdir. Foutch ve Şafak'ın çözümlemelerinde kullandıkları burulma kuvvet spektrumları rüzgâr doğrultusundaki binanın iki yüzüne gelen rüzgârın katkılarını göz önüne almıştır. Tallin ve Ellingwood (1984), burulma davranışlarını, bir bina modelinin üst yarısında kaydedilen burulma momentlerinin toplamından elde edilen rüzgâr kuvvetini kullanarak tahmin etmişlerdir.

Kareem(1978), boyuna ve enine rüzgâr kuvvetlerinin birbiriyle ilişkisi olmadıklarını göstermiştir. Kareem'in ortaya koymuş olduğu bu sonuç, Reinhold (1977, 1983) ve Tallin'in (1984) çalışmalarıyla uyuşmaktadır. Boyuna rüzgâr kuvvetleri ve enine rüzgâr kuvvetleri - burulma arasındaki korelasyon önemsiz olsa da, Kareem (1978), Reinhold (1980, 1983), Tallin (1984) enine rüzgâr kuvvetleri ve burulmanın birbiriyle oldukça ilişkili olduğunu çalışmalarında göstermişlerdir.

Sidarous ve Vanderbilt (1979), modların birleşimini göz önüne alarak binaların davranışı çözümlemek için bir bilgisayar programı geliştirmişlerdir. Yang ve Lin (1981), modların birleşimini hesaba katarak binaların iç gerilmelerini belirlemek için

transfer matris yaklaşımını kullanmışlardır. Kareem (1985) ve Tallin (1984), rüzgâr tüneli deneylerinden elde edilen kuvvet spektrumlarını kullanarak modların birleşimini göze alan davranışı çözümlemişlerdir. Hem Kareem hem Tallin, rüzgâr tüneli başınç ölçüm verilerini kullanarak aerodinamik yükleri elde etmişlerdir. Ancak Tallin, kuvvet spektrumunu geliştirirken sadece modelin üst yarısında kaydedilen basınçları kullanmıştır.

Yüksek bina içindeki kullanıcıların rahatsız olmaması modern çok katlı binaların tasarımında en önemli değerlendirmelerden biri olmaya başlamıştır. Chen ve diğ. (1972), Chang (1973) ve Fujimoto (1988) çok katlı binalarda oturan insanların titreşim rahatlığı ile ilgili hem deneysel hem teorik araştırmalar yapmışlardır. İnsan vücudunun bina ivmesinden etkilendiğini göstermişlerdir. Burulma hareketinin, özellikle binanın dış çevresine yakın yerlerde, toplam ivme davranışına olan katkısının, dikkate değer olduğu ortaya konulmuştur.

Simiu (1975) ve Kareem (1981) yüksek modların, enine ve boyuna rüzgâr yerdeğiştirme davranışlarına fazla katkısının olmadığını göstermişlerdir. Ancak, yüksek modların, ivmeye önemli ölçüde katkı sağlayabileceğini belirtmişlerdir.

İslam ve diğ. (1990), rastgele titreşim kuramını rüzgâr etkilerine maruz kalmış simetrik çok katlı binaların dinamik tepkilerini tahmin etmek için kullanmışlardır. Rüzgâr kuvvetinin rüzgâr yönündeki, rüzgâra dik yöndeki ve burulma bileşenlerini, rüzgâr tüneli testi kullanarak rijit bir modeldeki yüzey basınçlarını bir zaman serisi analizi ile elde edilmiştir. Yapısal tepki analizi ileaerodinamik kuvvetin bu üç bileşeni arasındaki istatistiksel korelasyonu dikkate almışlardır. Birinci ve ikinci yatay modların ve burulma modlarının yapısal davranışa olan katkıları incelenmiştir. Rüzgâr dik yöndeki hareketin ve burulmanın bina ivmesine en büyük katkıyı sağladığı sonucun varmışlardır.

Górski ve Chmielowski (2008), hem elastik zemine oturan hem de rijit temelli yüksek endüstriyel bacalarının rüzgâr yünündeki ve rüzgâra dik yöndeki tepkisini karşılaştıran bir çalışması yapmışlardır. Rüzgâr yönündeki tepki Polonya, ISO ve Eurocode yönetmeliklerinde sunulan yaklaşımların ortalaması alınarak ve rastgele titreşim yaklaşımı ile tahmin edilmiştir. Rüzgâra dik yöndeki tepki ise Vickery ve Basu, Ruscheweyh ve Flaga tarafından geliştirilen üç yöntem ve Polonya, ISO ve Eurocode yönetmeliklerinde sunulan yöntemler kullanılarak elde edilmiştir. Eurocode' a göre

bulunan değerler ISO standardına oranla yaklaşık %25 daha yüksek çıkmıştır. Vickery-Basu'nun modeline göre, Flaga'nın modeline göre ve Polonya yönetmeliğine göre hesaplanmış bacanın rüzgâra dik yöndeki yerdeğiştirmeleri arasında birbirlerine oranla yaklaşık %9 fark bulunmuştur. ISO ve Eurocode'a göre bulunan yapı tepkileri ise ilk üç sonuca göre çok daha yüksek çıkmıştır (ISO için yaklaşık %70, Yaklaşım 2 için Eurocode yaklaşık % 110 ve Yaklaşım 1 için Eurocode yaklaşık % 400).

Tamura ve diğ. (2005), çalışmalarında rüzgâr yönündeki, rüzgâra dik yöndeki ve burulma yük bileşenlerinin birleşik etkilerinin yanı sıra binaların dinamik özelliklerini de ele almışlardır. Rüzgâr yönündeki tepkinin hesaplanması ve ivme kriterleri için rüzgâr yönündeki hız spektrumlarının matematiksel formları tartışılmıştır. Çalışmada aşağıdakileri önermeleri sunmuşlardır.

(1) Yönetmeliklerde, ani rüzgâr yükleme faktörü hesaplamalarında, yerdeğiştirmelerden ziyade taban eğilme momenti üzerinde odaklanılmalıdır,

(2) Von Karman spektrumu genel olarak rüzgâr yönündeki hesaplamaları için spektrum olarak tercih edilebilir.

Chen ve Kareem (2005), modların birbiriyle bağlaşık ilişkisini (coupled) göz önüne alarak yapının rüzgâr altındaki davranışını hesaplamak için, "yüksek frekanslı taban dengeleme yöntemini (high frequency base balance technique)" kullanmışlardır ve ilgili eşdeğer statik rüzgâr yüklerinin modellemesi için kapsamlı bir çalışma sunmuşlardır. Analizlerinde, kat seviyelerinde tek bir düşey eksen üzerinde yer almayan kütle merkezli bina modelleri kullanmışlardır. Üç temel mod olan birbirine dik yönde iki öteleme ve burulma hareketini dikkate alarak binanın rüzgâr etkisi altındaki tepkisini ortalama, arka plan(background) ve rezonans bileşenlerine ayırarak incelemişlerdir. Kurç ve diğ. (2012), binanın rüzgâr etkisi altındaki tepkisini ortalama, arka plan(background) ve rezonans bileşenlerini Ankara Rüzgâr Tüneli'ni kullanarak hesaplamışlar, sonuçları Eurocode, İstanbul Yüksek Binalar Rüzgâr Yönetmeliği ve ASCE 7-05'ten elde ettikleri sonuçlar ile karşılaştırmışlardır.

Ani rüzgârların etkisi altında yapıların üzerindeki rüzgâr yükleri dünyadaki başlıca rüzgâr yönetmeliklerinde 'ani rüzgâr yükü faktörü' (ARYF) yöntemi ile ele alınmaktadır. Zhou ve Kareem (2001), çalışmalarında yeni bir ARYF yöntemi için yeni model önermişlerdir. Tasarım için kullanılan eşdeğer statik rüzgâr yükü, ortalama rüzgâr kuvvetinin ARYF ile çarpımına eşittir. Geleneksel ARYF yöntemi binanın

yerdeğiştirme büyüklüğü için doğru sonuç verse de, binanın diğer tepki bileşenleri için güvenilir bir sonuç sağlamakta yetersiz kalabilmektedir. Çalışmada, bu yetersizliği gidererek çok katlı yapılar üzerindeki tasarım yüklerini belirlemek için daha gerçekçi bir yöntem önerilmiştir. ARYF'nin yerdeğiştirme yerine taban eğilme momentine dayalı olduğu yeni bir model anlatılmıştır. Yeni yöntemde, maksimum taban momenti beklenen değeri, ortalama taban momentinin önerilen ARYF ile çarpılması ile hesaplanmıştır Taban momenti daha sonra deprem mühendisliği uygulamalarındaki taban kesme kuvvetini dağıtmak için kullanılan yönteme benzer bir biçimde her kata dağıtılmıştır.

Rüzgâr yönünde bina cephesine etkiyen yükler, ani rüzgâr yükü faktörleri yöntemiyle doğru bir şekilde hesaplanabilirken, rüzgâra dik yönde binaya etkiyen yükler ve burulma yükler bu şekilde hesaplanamamaktadırlar. Bundan dolayı, yönetmelikler rüzgâra dik yöndeki ve burulma tepkilerinin hesabı için çok fazla bir bilgi sağlamamaktadırlar. Bu boşluğu doldurmak için Zhou ve diğ. (2003), çok katlı binaların rüzgâr yönündeki, rüzgâra dik yöndeki ve burulma tepkilerini hesaplayabilen, herhangi bir kullanıcı tarafından kullanılabilen bir programı tanıtmışlardır. Veri tabanı farklı kesit ve farklı yükseklikteki çok katlı bina modellerinin rüzgâr tüneli ile yapılmış yüksek frekanslı taban dengeleme ölçümlerinden oluşmaktadır.

Kwon ve diğ. (2008), çalışmalarında Zhou ve diğ. (2003) tarafından geliştirilen çevrimiçi programın yeni versiyonunu (NALD V. 2.0) sunmuşlardır. Programın yeni versiyonunda binanın kullanılabilirlik ve can güvenliği seviyeleri için ivme, taban momentleri, yerdeğiştirmeler ve eşdeğer statik rüzgâr yükleri belirlenebilmektedir. NALD v. 2.0'nin temel özelliği kendi analiz modülünün sunduğu esnekliktir. Kullanıcılar, çevrimiçi aerodinamik yükler veri tabanından en-boy ve yükseklik oranlarına göre verileri seçebilmekle beraber, aynı zamanda çok katlı binalar üzerindeki rüzgâr yükü etkilerinin değerlendirilmesi için yüksek frekanslı taban dengeleme yöntemi deneyinden elde edilen güç spektrum yoğunluk fonksiyonu veri setini veya başka bir rüzgâr tüneli testinden elde edilmiş güç spektral yoğunluğu verisini sisteme yükleyebilmektedirler.

Ha (2013) çalışmasında, çok katlı binaların rüzgâra dik yöndeki dinamik tepkilerini, binaların kesit oranlarının bir fonksiyonu olarak tahmin etmek için gerekli olan rüzgâra dik yöndeki moment ve spektral yoğunluk katsayısı için bir ampirik denklem formüle

etmeyi amaçlamıştır. Ampirik formülü elde etmek için, çeşitli kesit oranlarına (B/D) ve en/boy oranlarına sahip dikdörtgen modelleri üzerinde rüzgâr tüneli testleri gerçekleştirmiştir. Rüzgâra dik yöndeki değişen moment katsayısı ve en boy oranı varyasyonlarına göre spektral yoğunluk katsayısı için ampirik formüller önermiştir. Çalışmada, rüzgâra dik yöndeki değişen dönme momenti katsayılarının esas olarak kesit oranındaki değişmelerden etkilendiği ve en boy oranından çok az etkilendiği gösterilmiştir. Rüzgâra dik yöndeki değişen moment spektral yoğunluğu, en boy oranı arttıkça küçük bir artış göstermiştir, ancak, kesit oranındaki değişikliklerden ciddi bir şekilde etkilenmiştir.

Huang ve diğ. (2013), zaman tanım alanında durağan olmayan rüzgâr etkisindeki çok katlı bir binanın rüzgâr yönündeki tepkilerini araştırmışlardır. Zamanla değişen ortalama, ortalama karekök (root mean square) değeri ve tepe etkisi faktörü dahil olmak üzere çeşitli bina tepkileri üzerindeki durağan olmayan rüzgâr yüklerinin etkisi incelenmiştir. Frekans tanım alanından elde edilen sonuçlar zaman tanım alanından elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında sonuçların çok yakın olduğu görülmüştür.

Gorski (2009) çalışmasında, Polonya'daki Belchatow enerji santralında yer alan, 295 metre yüksekliğindeki sanayi bacasının rüzgâra dik yöndeki tepkisini araştırmıştır. Rüzgâra dik yöndeki tepki rastgele titreşim yaklaşımı ile tahmin edilmiştir. Kaimal, Tieleman ve Solari tarafından yatay türbülans bileşeninin tepkisinin değerlendirilmesi için önerilen üç güç spektral yoğunluk fonksiyonu dikkate alınmıştır. Vorteks titreşimi tepkisi bazı tamamlayıcıları içeren Vickery ve Basu'nun modellerinden elde edilen sonuçların ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Birinci periyodun ve birinci mod şeklinin enine rüzgâr tepkisi üzerindeki etkisi %99'dan fazla bulunmuştur. Solari'nin yatay türbülans güç spektrum yoğunluk fonksiyonu kullanılarak elde edilen sonuçlar, Tieleman'ın güç spektrum yoğunluk fonksiyonu kullanılarak hesaplanan sonuçlara oranla yaklaşık %33 daha fazla çıkmıştır, Kaimal'ın güç spektrum yoğunluk fonksiyonu kullanılarak hesaplanan sonuçlara oranla ise yaklaşık %42 daha fazla bulunmuştur. Çalışmada ayrıca sönüm oranının önemine değinilmiştir. %0.4 sönüm oranı için bacanın rüzgâra dik yöndeki tepkisi %0.8 sönüm oranı için hesaplanan tepkiden %57 daha fazla bulunmuştur.

Wu ve diğ. (2008), rüzgâra dik yöndeki ve burulma yönündeki rüzgâr kuvvetleri için ampirik formüllere dayalı olarak dikdörtgen çok katlı bir binanın yatay ve burulma analizleri yapılmıştır. Bu analizler farklı burulma rijitliği - yatay rijitlik oranları ve

kütle - rijitlik dış merkezlikleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Çok katlı binanın yatay - burulma bağlaşık tepkileri üzerindeki dış merkezlik etkileri yapısal dinamik analizi ile kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Sonuçlar, binanın geometrik merkezindeki burulma tepkilerinin kütle ve/veya rijitlik merkezlerindeki dış merkezlilikten önemli ölçüde etkilenebileceğini göstermiştir. Ayrıca burulma hareketinin, kütle ve/veya rijitlik dış merkezlilikleri bulunan dikdörtgen çok katlı binaların davranışlarına önemli katkıda bulunduğunu göstermiştir.

G. Piccardo ve Solari (2000), ani rüzgâr faktörü yaklaşımına dayalı olarak rüzgâr yönündeki, rüzgâra dik yöndeki ve burulma tepkisini tahmin etmek için tek bir uyumluluk formülasyonu önermişlerdir.

Chen (2008), rastgele titreşim teorisini kullanarak durağan olmayan rüzgârlar için rüzgâr yönündeki çok katlı binaların frekans tanım alanı analizi ile ilgili çalışmada bulunmuştur. Geçici rüzgâr dalgalanmaları ve ilişkili rüzgâr yükleri, zamanla değişen ortalama ve rastgele değişen rüzgâr türbülansının bileşenlerinin toplamı olarak modellenmiştir.

Lin ve diğ. (2005), farklı dikdörtgen kesitleri olan dokuz adet çok katlı bina modeli üzerindeki rüzgâr kuvvetlerinin özelliklerini incelemek için rüzgâr tüneli testi yapmışlardır. Çok katlı binalar üzerindeki rüzgâr kuvvetleri, ortalama ve ortalama karekök kuvvet katsayıları, güç spektral yoğunluk fonksiyonları ve korelasyon açısından incelenmiştir. Yükseklik, en boy oranı ve kenar oranı parametrelerinin rüzgâr kuvvetleri üzerindeki etkileri tartışılmıştır. Kenar oranının rüzgâr yüklerini büyük ölçüde etkilediği sonucuna varılmıştır.

2. KUVVETLİ RÜZGÂR KARAKTERİSTİKLERİ

Yer yüzeyine yakın rüzgâr karakteristiklerinin araştırılmasında en güvenilir aracın saha ölçümleri olduğu bilinmektedir. Rüzgâr karakteristiklerini ve atmosferik türbülans özelliklerini saha ölçümleri ile elde etmek rüzgârın detaylı anlaşılması kadar, yapı mühendisliğinde rüzgâr etkisindeki yapıların tasarımları, rüzgâr türbinleri ve rüzgâr tüneli simülasyonları için önem teşkil etmektedir. Dolayısıyla, türbülans karakteristiklerinin belirlenmesi, rüzgâr etkisindeki yapının davranışının tahmin edilmesi açısından çok önemlidir.

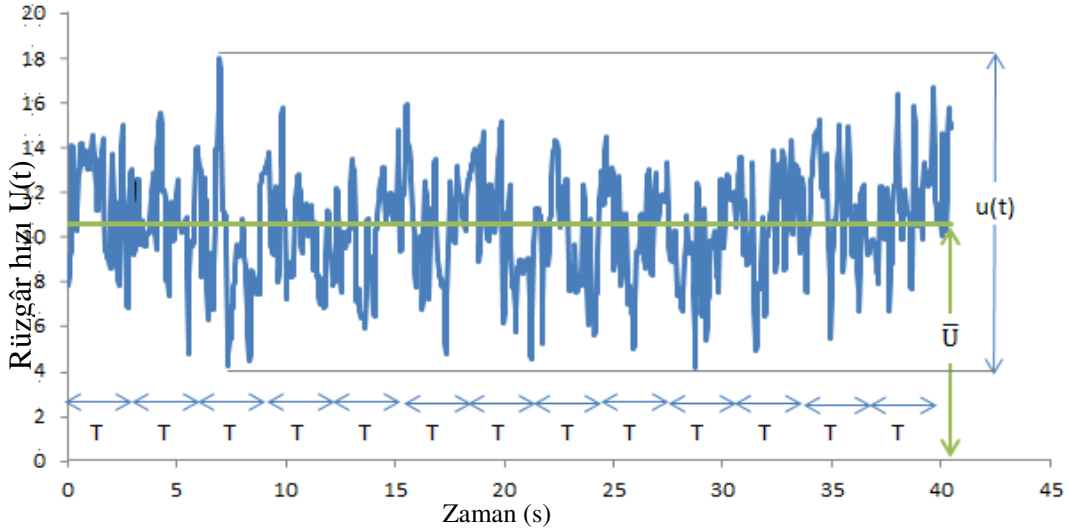
2.1 Rüzgâr Hızı Türbülansı Parametreleri

Rüzgâr etkisindeki yüksek periyotlu narin yapıların davranışının hesaplanmasında rüzgâr hızı $U(t)$'nin ergodik bir işleyim olduğu, zamanla değişmeyen, ortalama bir rüzgâr hızı $\overline{U}$ ve bu sabit rüzgâr hızının etrafındaki dinamik dalgalanmalardan (türbülans) $u(t)$ oluştuğu yaklaşımı yapılmaktadır, bu yaklaşım Denklem (2.1)'de gösterilmiştir.

$$U(t) = \overline{U} + u(t) \tag{2.1}$$

Denklem (2.2)'de ifade edilen ortalama rüzgâr hızı $\overline{U}$'nun hesaplama süresi T, başka bir deyişle örnekleme aralığı, rüzgâr yönetmeliklerinde genelde 3 saniye, 10 dakika ya da 1 saatlik süre olarak ele alınmaktadır. Şekil 2.1'de rüzgâr hızının T=3 s için örnekleme aralığı gösterilmiştir.

$$\overline{U} = \frac{1}{T}\int_0^T U(t)dt \tag{2.2}$$



Şekil 2.1 : Rüzgâr hızı örnekleme aralığı.

Rüzgâr hızı parametreleri;

- ortalama rüzgâr hızı
- temel rüzgâr hızı
- türbülans şiddeti
- ani rüzgâr (gust) faktörü
- türbülansın olasılık dağılımı
- varyans (standart sapmanın karesi)
- türbülans güç spektrumu yoğunluk fonksiyonu

olarak sıralanabilir.

Rüzgâr hızı profilini ifade etmek için çokça kullanılan iki kuraldan birisi Davenport (1961) tarafından önerilen kuvvet kuralı, diğeri ise Simiu (1973) tarafından önerilen logaritmik kuraldır.

Davenport (1961)'in önerdiği kuvvet kuralı Denklem (2.3)'teki gibi ifade edilir. Bu formül rüzgâr hızının yükseklikle değişimini göstermek için kullanılan bir formüldür.

$$\bar{U}(z) = \bar{U}(z_r)\left(\frac{z}{z_r}\right)^{\alpha} \tag{2.3}$$

Bu formülde z_r referans yüksekliğidir. α değeri yüzey pürüzlülüğüne bağlı bir katsayıdır ve bölgeye bağlı olarak değişir, α değeri Denklem (2.4)'te verilmiştir.

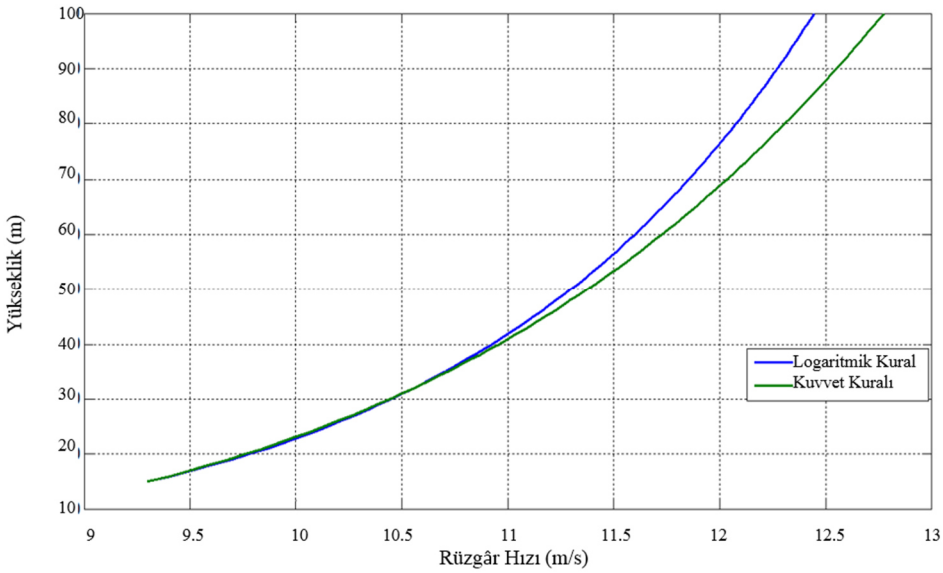
$$\alpha = \left(\frac{1}{log_e \left({}^{z_r}/_{z_0} \right)} \right) \tag{2.4}$$

Simiu (1973), logaritmik kural ile rüzgâr hızının yükseklikle değişimi Denklem (2.5)'teki gibi tanımlamıştır.

$$\bar{U}(z) = \bar{U}(z_r) \frac{ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{ln\left(\frac{z_r}{z_0}\right)} \tag{2.5}$$

Burada z_0 yüzey pürüzlülük uzunluğunu, z_r ise metre cinsinden referans yüksekliğini ifade etmektedir.

Kuvvet kuralı ($\alpha = 0.128$) ile logaritmik kuraldan ($z_0 = 0.02$ metre) elde edilen ortalama rüzgâr hızı profilleri Şekil 2.2'de karşılaştırılmıştır. U_{10}, 10 metredeki rüzgâr hızını ifade etmektedir.



Şekil 2.2 : Kuvvet kuralı ve logaritmik kural için ortalama rüzgâr hızı profillerinin karşılaştırılması.

Sıfır ortalamalı türbülansın varyansı σ_u^2, Denklem (2.6)'da gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır.

$$\sigma_u^2 = \frac{1}{T} \int_0^T u^2(t)\, dt \tag{2.6}$$

Denklem (2.7)'de gösterildiği gibi, türbülansın standart sapmasının ortalama rüzgâr hızına oranı türbülans şiddetini (I_i) vermektedir. $\overline{U}$, bu denklemde 10 dakikalık rüzgâr hızının ortalaması olarak tanımlanabilir.

$$I_i = \frac{\sigma_i}{\overline{U}} \qquad i = (u, v, w) \tag{2.7}$$

Türbülansın olasılık dağılımı $p(u)$, Gaussian dağılımına benzer bir dağılım Denklem (2.8)'de ifade edilmiştir.

$$p(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_u}} e^{-u^2/2\sigma_u^2} \tag{2.8}$$

Ani rüzgâr faktörü $G(T)$, T'ye göre ortalaması alınmış maksimum rüzgâr hızının ortalama rüzgâr hızına oranı şeklinde, Denklem (2.9)'da gösterildiği gibi ifade edilmektedir. T $\leq$ 3600 saniye olmalıdır.

$$G(T) = \frac{max[(\overline{U})]}{\overline{U}(T)}, T \leq 3600s \tag{2.9}$$

Önemli türbülans parametrelerinden biri de türbülans enerjisinin frekans tanım alanındaki dağılımını ifade eden türbülans güç spektrum yoğunluk fonksiyonudur. Güç spektrum yoğunluk fonksiyonu, dinamik davranışın değerlendirilmesinde kullanılan yöntemler için giriş verisi olarak gereklidir. Meteorolojide ve rüzgâr mühendisliğinde spektral güç yoğunluk fonksiyonunu belirlemek için birçok matematiksel biçim vardır. Türbülans enerjisinin frekans tanım alanındaki dağılımını ifade eden bu spektral güç yoğunluk fonksiyonlarının kendilerine özgü yararlarından en önemlisi belirsizliğin stokastik ve rastgele değişken açısından ifade edilmesidir. Rüzgârdaki belirsizlikte, bölgenin coğrafi konumu, topoğrafik arazi özellikleri ve denizden yükseklikle değişimi önemlidir.

En yaygın kullanılan rüzgârın boyuna hız bileşeni için olan spektrumlarından biri Denklem (2.10)'de gösterilen Von Karman spektrumudur. Bu denklemde L_u türbülans uzunluğunu, f frekansı ifade etmektedir.

$$\frac{fS_u(f)}{\sigma_u^2} = \frac{4(fL_u/\overline{U})}{[1 + 70.8(fL_u/\overline{U})^2]^{5/6}} \tag{2.10}$$

Türbülans için Davenport (1961)'un geliştirmiş olduğu rüzgâr spektral güç yoğunluk fonksiyonu Denklem (2.11) ile verilmiştir.

$$S_u(f) = 4K\frac{\overline{U}^2(10)}{f}\frac{X^2}{(1+X^2)^{4/3}} \tag{2.11}$$

Bu formülde X= $1200\frac{\mathrm{f}}{\overline{\mathrm{U}}(10)}$, K yer itki(drag) katsayısıdır. Davenport spektrumu yerden olan yükseklikten bağımsızdır.

Bir başka yükseklikten bağımsız Von Karman tipi spektrum ise Denklem (2.12)'de gösterildiği şekilde Harris (1971) tarafından ortaya konmuştur.

$$\frac{fS_u(f)}{u_*^2} = \frac{4.0X^2}{(2+X^2)^{5/6}} \tag{2.12}$$

Bu denklemde $X = \frac{1800\mathrm{f}}{\mathrm{U}(10)}$ 'dir. u_* sürtünme hızını ifade etmektedir.

Simiu (1974) ise Denklem (2.13)'te ifade edildiği gibi, yüksekliğe bağımlı bir spektrum yoğunluk fonksiyonu önermiştir.

$$S_u(z,f) = \frac{u_*^2}{f}\frac{200F}{(1+50F)^{5/3}} \tag{2.13}$$

Bu denklemde $F = \frac{u*z}{\overline{U}(z)}$'tir ve boyutsuz azaltılmış frekans anlamına gelmektedir. Solari (1987) tarafından önerilen rüzgâr spektrumu Denklem (2.14)'te gösterilmiştir.

$$\frac{fS_u(z,f)}{u_*^2} = \frac{2.21\beta^{2.5}F}{(1+3.31\beta^{1.5}F)^{5/3}} \tag{2.14}$$

Burada $\beta = 5.53'$tür.

Solari (1993) tarafından önerilen diğer bir spektrum ise Denklem (2.15)'te verilmiştir.

$$\frac{fS_u(z,f)}{u_*^2} = \frac{6.868(\frac{FL_u}{z})}{[1+10.302(\frac{FL_u}{z}]^{5/3}} \tag{2.15}$$

Tieleman (2008) tarafından binaların yoğun şekilde bulunduğu alanlar için önerilen spektrum Denklem (2.16)'te, düzgün ve pürüzsüz alanlar için önerilen spektrum Denklem (2.17)'de verilmiştir.

$$\frac{fS_L(f)}{u_*^2} = \frac{252.6F}{(1+60.62f)^{5/3}} \tag{2.16}$$

$$\frac{fS_u(f)}{u_*^2} = \frac{128.28F}{1 + 475.09f^{5/3}.} \tag{2.17}$$

En yaygın kullanılan ve rüzgâr hızının üç bileşenini (u,v,w) ifade eden bir diğer spektrum ise Kaimal spektrumudur ve Denklem (2.18)'de gösterilmiştir.

$$\frac{fS_i}{\sigma_i^2} = \frac{4f_iL_i}{(1 + 6f_iL_i/\bar{U})^{5/3}} \tag{2.18}$$

Türbülansın yatay ve düşey bileşenleri için Von Karman tipi spektrum Denklem (2.19)'da verilmiştir.

$$\frac{fS_i}{\sigma_i^2} = \frac{4(f_i\,L_i/\bar{U})(1 + 755.2(f_i\,L_i/\bar{U})^2)}{(1 + 283.2(f_i\,L_i/\bar{U})^2)^{11/6}} \tag{2.19}$$

B. Shiau ve Y. Chen (2001), izotropik türbülans teorisini kullanarak boyuna türbülans güç spektrumundan yatay ve düşey türbülans spektrumunu elde etmiştir. İzotropik türbülans teorisine göre yatay ve düşey türbülans spektrumları Denklem (2.20) ve (2.21)'de verilmiştir, $c = 4.2065'$tir.

$$S_v(f) = \frac{4\overline{v'^2}L_x^v[1 + (32/3)(2cf\,L_x^v/\bar{U})^2]}{\bar{U}[1 + 4(2cf\,L_x^v/\bar{U})^2]^{11/6}} \tag{2.20}$$

$$S_w(f) = \frac{4\overline{w'^2}L_x^w[1 + (32/3)(2cf\,L_x^w/\bar{U})^2]}{\bar{U}[1 + 4(2cf\,L_x^w/\bar{U})^2]^{11/6}} \tag{2.21}$$

Türbülans için idealleştirilmiş model, homojen ve izotropik türbülans modelidir. İzotropi özelliği gereği herhangi bir noktada ve zamanda, x yönünde hızın dalgalanması, başka herhangi bir yönde dalgalanması ile aynı ihtimaldedir. Bu modelde büyük matematiksel basitleştirmeler yapılarak türbülans tanımlanmıştır. Bir diğer model homojen, anizotropik (yöne bağlı) türbülans modelidir. Bu durumda, hızın dalgalanma yoğunluğu her yönde aynı değildir. Yönü hıza ve/veya türbülans uzunluğuna bağlı olabilir.

2.2 Durağan Olmayan Rüzgâr Hızının Tanımlanması

Klasik yaklaşıma göre rüzgâr etkisindeki yüksek yapıların davranışlarını tahmin etmekte kullanılan belirli bir yükseklikteki U(t) boyuna rüzgâr hızı, sabit ortalama rüzgâr hızı bileşeni Ū ve boyuna türbülans hızı bileşeni u(t)'nin toplamını içeren bir

ergodik rastgele işleyim olduğu varsayılır. Ancak rüzgâr hızı her zaman durağan bir hareket göstermez, özellikle yüksek rüzgâr hızlarında rüzgâr hızı durağan dışı bir işleyim halini alır. Bu gibi durumlarda, ortalama rüzgâr hızı bir önceki bölümde anlatılan sabit hızdan farklı olarak zamana bağlı olarak tanımlanmalıdır. Durağan olmayan rüzgâr hızı kayıtlarında sabit bir ortalama almak çok da gerçekçi bir sonuç vermez. Durağan olmayan rüzgâr hızı $U(t)$, rüzgârın geçici eğilimini yansıtan, zamanla değişen ortalama rüzgâr hızı $\overline{U}(t)$ ve türbülans rüzgâr hızı $u(t)$'nin toplamı olarak ifade edilir. Denklem (2.22)'de ifade edilen bu model ortalama rüzgâr hızının zamanla gelişigüzel olarak değişmesine izin vermektedir. Bu da ortalama rüzgâr hızının zamanla değişikliğini değerlendirmekte esneklik sağlamaktadır. Eğer rüzgâr hızı U(t), tam anlamıyla bir durağan rastgele işleyimi ise, zamanla değişen ortalama rüzgâr hızı Ū(t), Denklem (2.1)'de gösterildiği gibi durağan rüzgâr hızı U olacaktır.

$$U(t) = \overline{U}(t) + u(t) \tag{2.22}$$

Rüzgâr hızı kaydından zamanla değişen ortalama rüzgâr hızı çıkarılarak türbülans elde edilir. Zamanla değişen rüzgâr hızı, durağan olmayan rüzgâr verisinden Huang ve diğ. (1998) tarafından geliştirilen bir veri işleyim metodu olan ampirik mod ayrışımı (AMA) metodu ile çıkarılmaktadır.

2.2.1 Ampirik mod ayrışımı yöntemi

Ampirik mod ayrışımı ile rüzgâr hızı verisi genelde az sayıda olan ayrık mod fonksiyonlarına (AMF) ayrıştırılmaktadır. Bu ayrıştırma doğrusal olmayan ve durağan olmayan işleyimlere uygulanır.

Zaman tanım alanında durağan olmayan rüzgâr hızı $U(t)$'nin üst ve alt maksimum ve minimum değerleri kübik eğri fonksiyonu ile birleştirilerek zarf eğrileri elde edilir. Daha sonra iki zarfın ortalamaları hesaplanır. Gerçek rüzgâr hızı verisinden bu değer çıkarılarak ilk ayrık mod fonksiyonu değeri, $c_1(t)$ elde edilir. Ancak iki adet şartın sağlanması gerekmektedir.

1) Çalışılan veri aralığında, maksimum ve minimum noktaların sayısı ile sıfırdan geçen nokta sayısı birbirine eşit ya da en fazla bir farklı olmalıdır.

2) Herhangi bir noktada, lokal maksimumların oluşturduğu zarf ile lokal minimumların oluşturduğu zarfın ortalama değeri sıfır olmalıdır.

$U(t)$ ile $c_1(t)$ arasındaki farktan yeni bir rüzgâr hızı verisi oluşur ve aynı işlem tekrar uygulanarak ikinci ayrık mod fonksiyonu, $c_2(t)$ elde edilir. Bu prosedür artık(residue) değeri çok küçük oluncaya kadar ya da monotonik bir fonksiyon oluncaya kadar devam ettirilir. Buradaki artık, zamanla değişen rüzgâr hızını temsil etmektedir. Orijinal rüzgâr hızı kaydı Denklem (2.23)'te gösterildiği gibi AMF'lerin ve artığın toplamı biçiminde ifade edilmektedir.

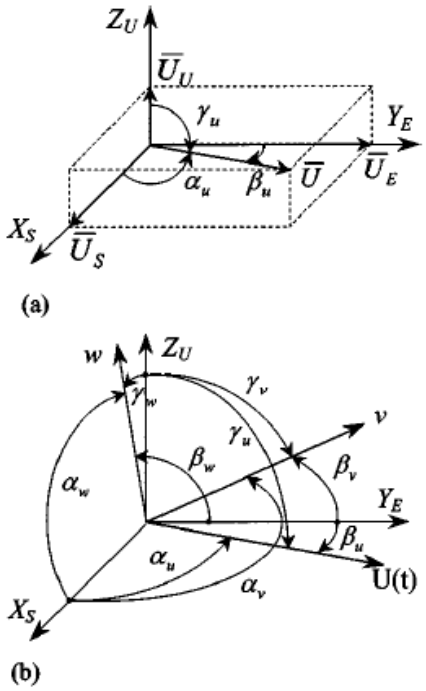
$$U(t) = \sum_{j=1}^{N} c_j(t) + r(t)_N \tag{2.23}$$

Bu denklemde N, AMF bileşenlerinin sayısını, $r(t)_N$ de artığı ifade etmektedir. AMA, herhangi bir önbilgi olmadan zaman tanım alanındaki rüzgâr hızından zamanla değişen ortalama rüzgârı çıkarmaktadır. Buradaki en önemli nokta, zamanla değişen ortalama rüzgâr hızının durağan olmayan rüzgâr hızından elde edilmesidir.

Zamanla değişen rüzgâr hızı $\overline{\mathrm{U}}(\mathrm{t})$ belirlendikten sonra orijinal veriden çıkarılarak durağan türbülans verisi oluşturulur. Türbülans verisi durağan bir işleyim olduğu için, verinin türbülans şiddeti ve ani rüzgâr faktörü sırasıyla Denklem (2.7) ve Denklem (2.9)'den elde edilir.

2.3 Rüzgâr Hızı Kayıtlarının Dönüştürülmesi

Üç boyutlu rüzgâr hızı kaydedebilen bir ultrasonik anemometre için rüzgâr koordinat sistemi Şekil 2.3'te görüldüğü gibi kartezyen koordinat sisteminde $\mathrm{X_S}, \mathrm{Y_E}, \mathrm{Z_U}$ olarak seçilmiştir. $\mathrm{X_S}$ yatay olarak güney yönünü, $\mathrm{Y_E}$ yatay olarak doğu yönünü, $\mathrm{Z_U}$ ise düşey yönü ifade etmektedir. $\mathrm{U_S(t)}, \mathrm{U_E(t)}, \mathrm{U_U(t)}$ ultrasonik anemometre tarafından kaydedilen birbirine dik bu yönlerdeki rüzgâr hızlarını göstermektedir.



Şekil 2.3 : Rüzgâr koordinat sistemi ve dönüştürülmesi.

Boyuna rüzgâr hızının yön vektörü Denklem (2.24)'de ifade edilmiştir.

$$(cos\alpha_u\,, cos\beta_u\,, cos\gamma_u\,) = (\overline{U}_S\,, \overline{U}_E\,, \overline{U}_U\,)/\overline{U} \tag{2.24}$$

$\overline{U}_S$, $\overline{U}_E$, $\overline{U}_U$ sırasıyla Denklem (2.25), (2.26) ve (2.27)'da verilmiştir.

$$\overline{U}_S = \frac{1}{T}\int_0^T U_s(t)dt \tag{2.25}$$

$$\overline{U}_E = \frac{1}{T}\int_0^T U_s(t)dt \tag{2.26}$$

$$\overline{U}_U = \frac{1}{T}\int_0^T U_s(t)dt \tag{2.27}$$

Bir yapının bulunduğu yerdeki konumuna göre düzenlenecek yeni eksen takınında boyuna rüzgâr hızı $U(t)$, yatay türbülans bileşeni $v(t)$ ve düşey türbülans bileşeni $w(t)$ sırasıyla Denklem (2.28), (2.29) ve (2.30)'e göre elde edilebilmektedir.

$$U(t) = U_S(t)cos\alpha_u + U_E(t)cos\beta_u + U_U(t)cos\gamma_u \tag{2.28}$$

$$v(t) = U_S(t)cos\alpha_v + U_E(t)cos\beta_v + U_U(t)cos\gamma_v \tag{2.29}$$

$$w(t) = U_S(t)cos\alpha_w + U_E(t)cos\beta_w + U_U(t)cos\gamma_w \quad \textbf{(2.30)}$$

Burada α, β ve γ açıları sırasıyla yeni eksen takımının güney, doğu ve düşey ile yaptığı açıları ifade etmektedir.

3. İSTANBUL KUVVETLİ RÜZGÂR KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ

İstanbul'da kuvvetli rüzgâr karakteristiklerinin belirlenmesi için İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı'nda açık alanda, uçakların kalkış ve inişinden etkilenmeyecek mesafede, yerden 15 metre yükseklikte ultrasonik anemometre cihazı kurulmuştur. Kurulum ve ölçüm alınabilmesi için Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü, İstanbul Meteoroloji Bölge Müdürlüğü, Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı Teknik Blok Meydan Kontrol Kulesi, İstanbul Emniyet Müdürlüğü ve İstanbul Valiliği'nden gerekli izinler alınmıştır. Bu çalışmada kuvvetli rüzgâr türbülansı istatistikleri ve rüzgâr spektrumunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmadan çıkan sonuçlar İstanbul'daki rüzgâr türbülansı hakkında bilgiler vermektedir ve bu değerler yüksek yapı tasarımlarında, rüzgâr türbini tasarımında veri olarak kullanılabilir.

3.1 Kuvvetli rüzgâr ölçümü yapılan bölgenin tanımı ve bölgenin meteorolojik yönden değerlendirilmesi

Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı İstanbul ili, Pendik ilçesi sınırlarında inşa edilen İstanbul'un 2. Havalimanıdır ve Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

Şekil 3.1 : Kuvvetli rüzgâr ölçümünün yapıldığı Sabiha Gökçen Havalimanı.

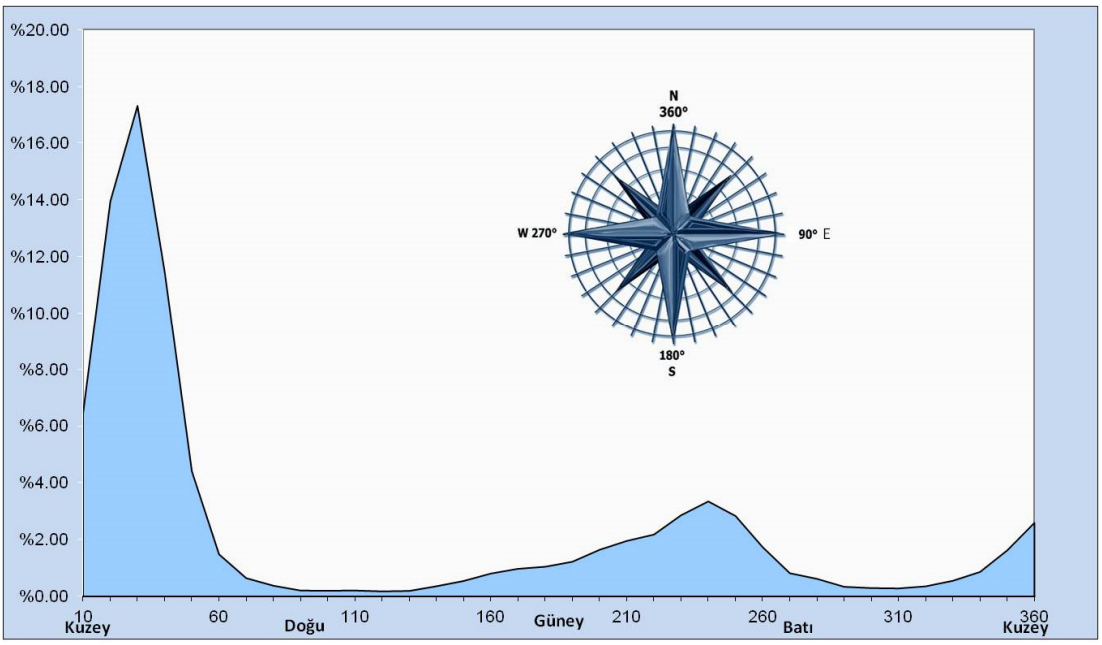
Sabiha Gökçen Havalimanı Meydan Meteoroloji Müdürlüğü faaliyetlerine 2 Ocak 2001 tarihinde başlamış olup ilk ölçümler 5 Ocak 2001 tarihinde yapılmıştır. İstasyon 41,1^{o} Kuzey Enlemi, 29,5^{o} Doğu Boylamında, denizden 99,3 m yükseklikte ölçümlerini sürdürülmektedir. 2001 ve 2008 yılları arasındaki rüzgâr hızı ölçümlerinin saatlik ortalamaları Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Sabiha Gökçen Havalimanı 2001-2008 ortalama saatlik rüzgâr hızları(m/s).

Ay/Yıl	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Ocak	4.94	3.40	4.37	4.17	3.70	4.42	3.50	3.24
Şubat	4.37	3.40	5.30	4.17	4.27	3.81	3.76	4.12
Mart	4.73	3.96	4.48	4.17	4.42	3.86	4.58	4.32
Nisan	3.96	3.96	3.81	4.06	3.96	4.22	3.86	3.70
Mayıs	3.81	4.78	4.58	4.27	3.91	3.91	3.70	3.45
Haziran	4.22	4.32	4.53	3.50	4.22	4.12	3.86	4.32
Temmuz	4.68	3.86	3.81	5.09	4.53	5.40	4.99	-
Ağustos	4.78	3.86	4.89	3.09	4.37	4.17	4.58	-
Eylül	3.40	3.04	3.76	4.17	3.50	3.91	4.06	-
Ekim	4.12	2.93	4.32	3.70	3.60	3.86	3.70	-
Kasım	4.42	2.52	3.40	3.81	3.24	3.50	3.65	-
Aralık	5.56	4.01	4.32	3.50	3.55	2.88	3.70	-
Yıllık ortalama	4.42	3.67	4.30	3.97	3.94	4.00	4.00	3.86

Meydanda ortalama rüzgâr hızı $\overline{U}$, 3.96 m/s olarak tespit edilmiştir. En şiddetli rüzgârlara kış aylarında rastlanmasına rağmen, ortalama rüzgâr hızının Temmuz ve Ağustos aylarında 4.48 m/s'ye ulaştığı görülmektedir.

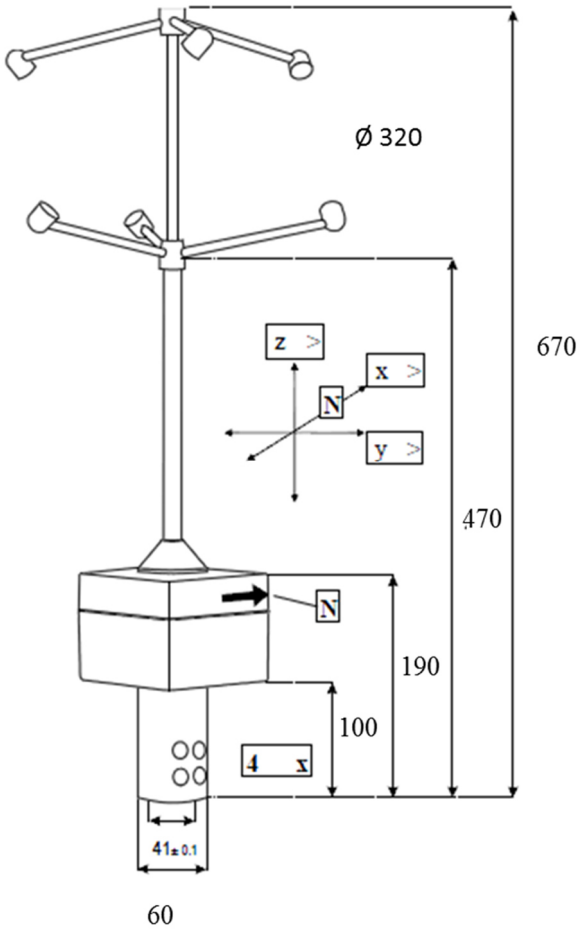
Rüzgâr genellikle kuzey ve doğu yönlerden esmekle beraber, en çok %17,4 ile 30°'den esmiştir. Rüzgârın güney ve batıdan estiği zamanlarda ise %3,2 ile 240°'den estiği gözlemlenmiştir. Yönlere göre rüzgâr esme oranları Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2 : Sabiha Gökçen Havalimanı yönlere göre esme oranları(%).

3.1.1 Çalışmada kullanılan ultrasonik anemometrenin özellikleri

Bu çalışmada kullanılan anemometre Bristol Industrial and Research Associates Limited (BIRAL) aracılığıyla İngiltere'den getirtilmiştir. Meteorologische Messtechnik GmbH (METEK) firması tarafından üretilen anemometre ultrasonik olarak boyuna, yatay ve düşey rüzgâr hızını ölçebilmekte ve herhangi bir yönde saniyede 25 rüzgâr hızı (25 Hz) verisine kadar kayıt yapabilmektedir. Cihazın örnekleme aralığı rüzgâr hızı türbülans spektrumunu elde etmek için yeterlidir. Ultrasonik anemometreyi sabitledikten sonra diğer anemometreler veya rüzgâr gülleri gibi hareket eden bir parçası olmadığı için, cihazdaki gerilmelerden doğan hatalar veya kalibrasyon parametrelerinde değişimler oluşmamaktadır. Sistem performansı ve ölçümlerin doğruluğu kolayca kontrol edilebilmektedir. Cihazla birlikte getirtilen kalibrasyon gereci sayesinde kalibrasyon kolayca yapılabilmektedir. Anemometrenin önemli özelliklerinden birisi de ölçümün doğru olup olmadığını cihazın kurulduğu sahada kontrol edilip düzeltilebilmesidir. Anemometrenin boyutları mm cinsinden Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3 : Çalışmada kullanılan ultrasonik anemometre
(birimler mm cinsinden verilmiştir).

Ultrasonik anemometrenin özellikleri Çizelge 3.2'de, çıkış verisi özellikleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.2 : Ultrasonik anemometrenin özellikleri.

Ölçme aralığı		
Rüzgâr hızı	0 . . . 50	m/s
Rüzgâr bileşenleri	-50 . . . 50	m/s
Rüzgâr yönü	0 . . . 359	°
Sıcaklık	-30 . . . 50	°C
Ölçüm netliği		
Rüzgâr hızı	± 0.01	m/s
Rüzgâr bileşenleri	± 0.01	m/s
Rüzgâr yönü	± 1	°
Sıcaklık	± 0.01	K
Veri alma aralığı		
Örnekleme aralığı	0.004 . . . 25	Hz
Ortalama aralığı	1 . . . 45000	veri
Boyutlar		
Ses Yolu	175	mm
Alıcı kafası (Ø x yükseklik)	320 x 200	mm
Cihaz yüksekliği	670	mm
Elektronik kutu	120 x 120 x 90	mm
Montaj yeri (iç Ø x uzunluk)	41 ± 0.1 x 100	mm

Çizelge 3.3 : Ultrasonik anemometrenin özellikleri-2.

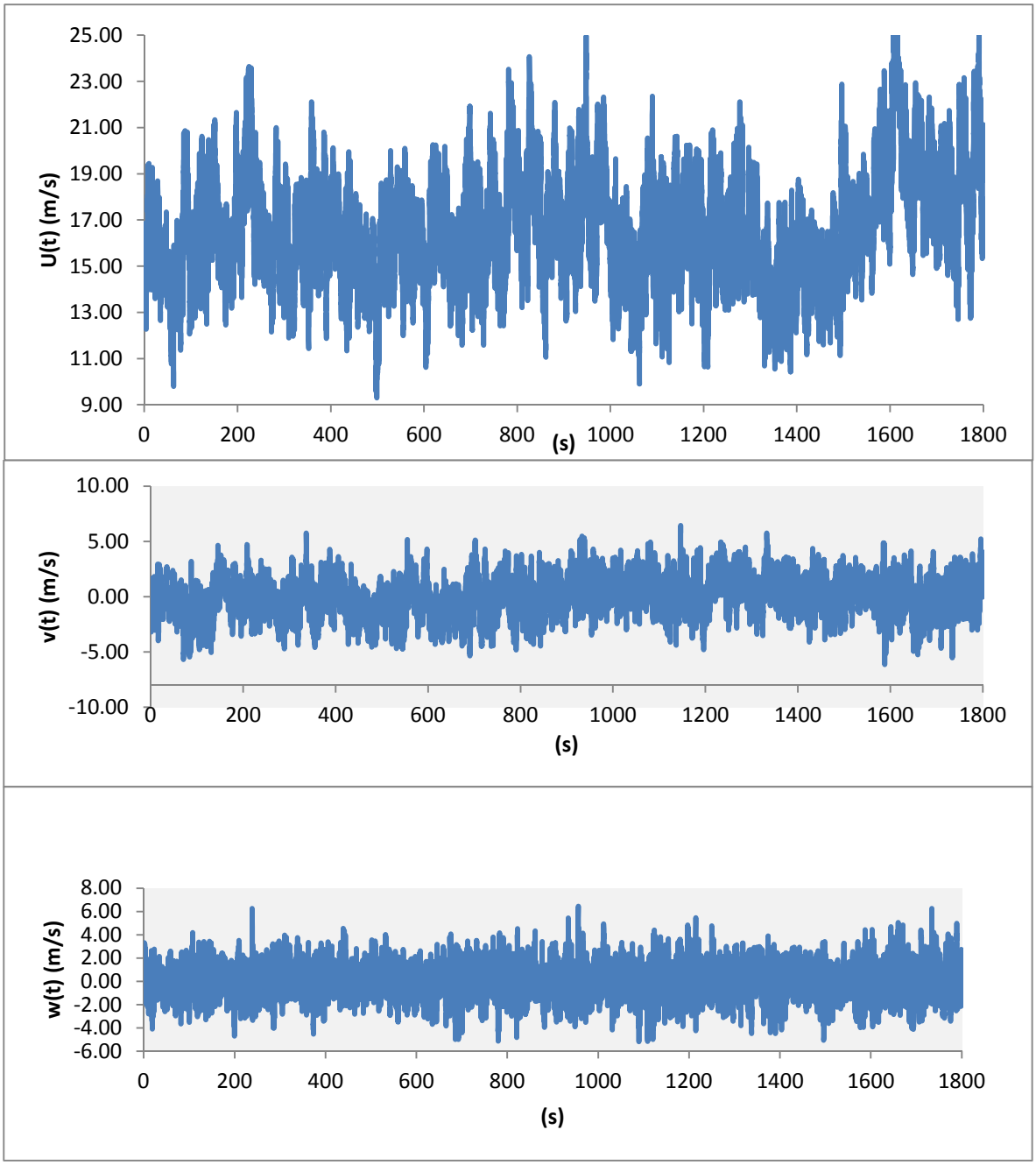
Rüzgâr Hızı		**Güç**	
Aralık	0.01 – 50 m/s	Gereksinimler	9-35 VDC
İsabetlilik	+/- %2	Mevcut çekim	180 mA (@ 24 VDC)
Çözünürlük	0.01 m/s (adım)	**Veri**	
Rüzgâr Yönü		Sonik ısı	-30^{0}C den 50^{0}C'ye kadar
Aralık	0 – 359^0	Ölçme birimi	m/s, knot, mph, km/h, ^{0}C
		Genel	
İsabetlilik	+/- 2^0	IP oranlaması	65
Çözünürlük	0.4^0 (adım)	Boyut	32cm x 69 cm
Dijital Çıktı		Ağırlık	2.8 kg
Tip	RS422	Malzeme	Sensör başı – paslanmaz çelik
Örnekleme Aralığı	25 Hz		Elektronik gövde – pudra kaplamalı aliminyum kalıp döküm
Ortalama	1800 saniyeye kadar		

Ultrasonik anemometre Şekil 3.4'te görüldüğü gibi açık bir alanda, yerden 15 metre yükseklikte 15 Mayıs 2012 tarihinde kurulmuştur. 15 Mayıs 2012 – 15 Ağustos 2014 tarihleri arasında 27 aylık, 3 boyutlu, her boyutta saniyede 25 rüzgâr hızı verisi (25 Hz) ve rüzgâr yönü kaydedilmiştir.

Şekil 3.4 : Rüzgâr hızı ölçüm cihazının Sabiha Gökçen Havalimanı'na kurulması.

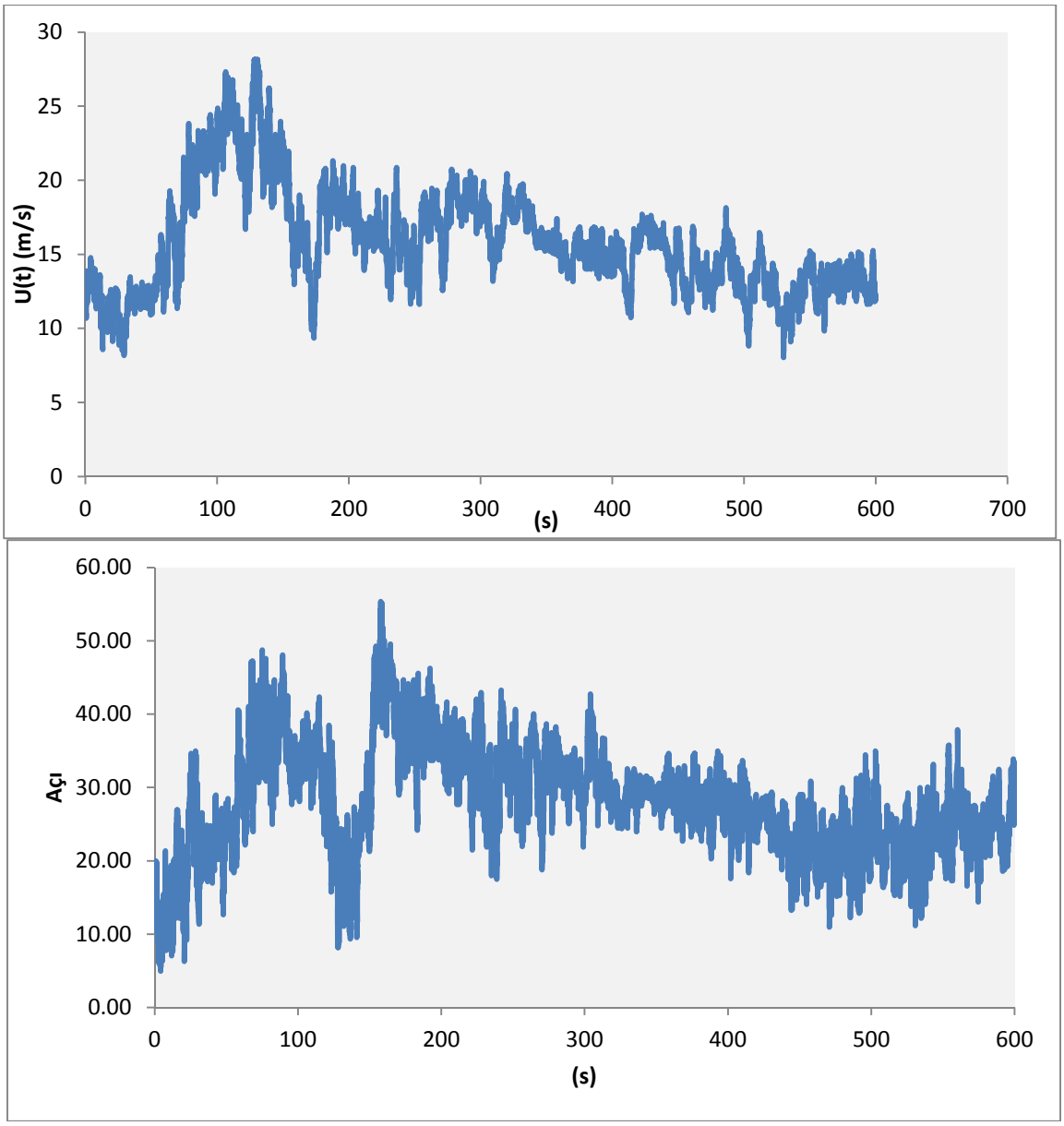
3.2 Yapılan Çözümlemeler

Sabiha Gökçen Havalimanı'nda kaydedilen rüzgâr hızlarından 30 dakikalık bir örnek eş zamanlı olarak boyuna, yatay ve düşey yön için Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5 : Boyuna, enine ve düşey rüzgâr hızlarının zamanla değişimine tipik örnek.

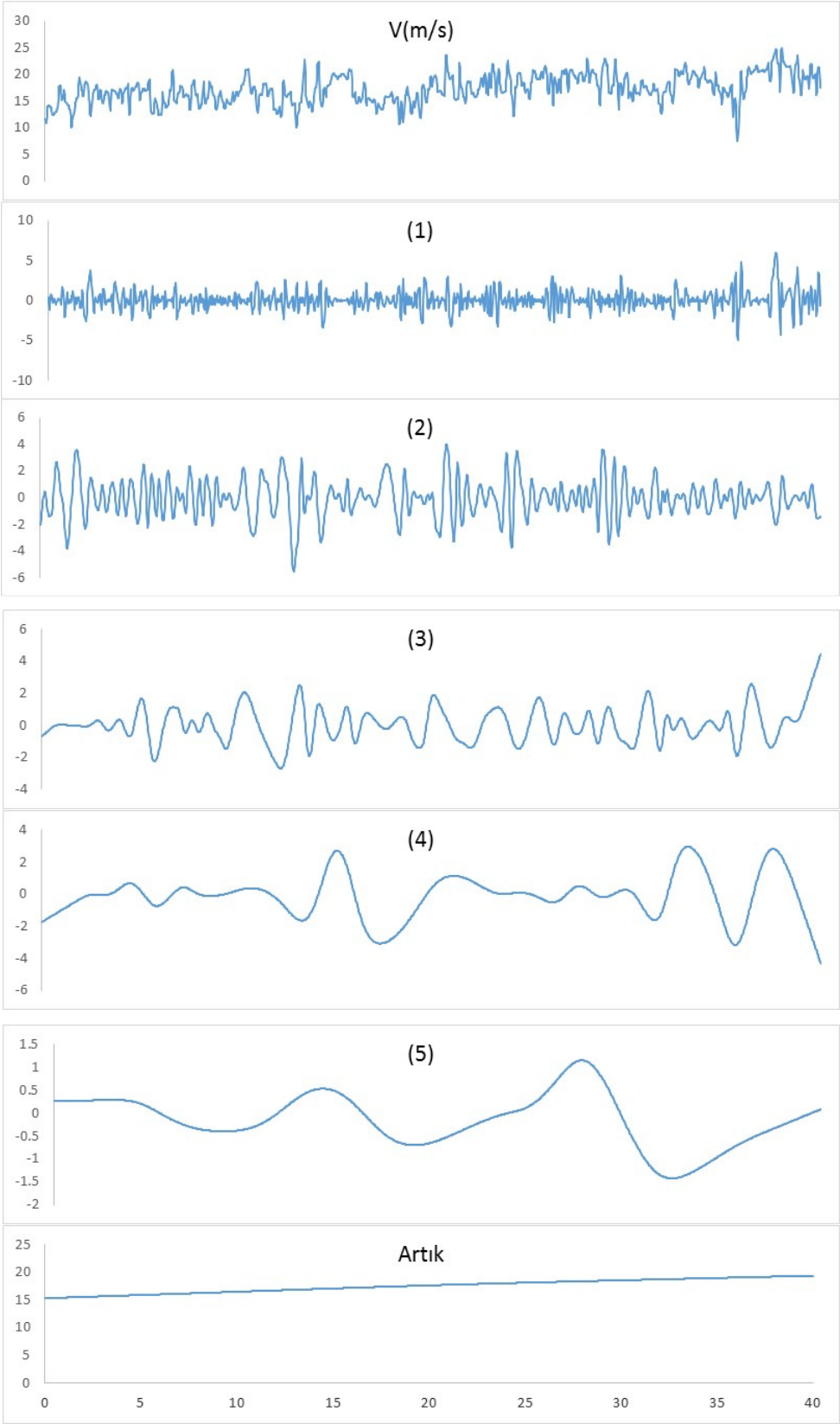
Şekil 3.6'da Sabiha Gökçen Havalimanı'ndan kayıt alındığı sürece maksimum rüzgâr hızının oluştuğu zamanki boyuna rüzgâr hızının rüzgâr yönüyle olan değişimi gösterilmiştir. Rüzgâr hızının ani değişim gösterdiği ve pik yaptığı aralıkta rüzgâr yönünün de ani bir biçimde değiştiği görülmektedir.



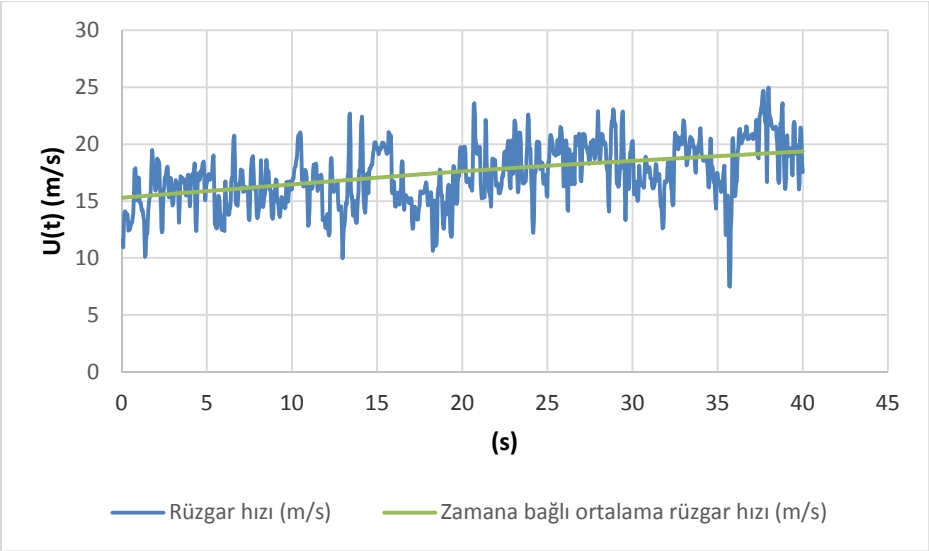
Şekil 3.6 : Boyuna rüzgâr hızı ve rüzgâr yönünün zamanla değişimi.

Şekil 3,6'da görüldüğü gibi rüzgâr hızında ani yükselme ve alçalmalar olduğu zaman dilimlerinde rüzgâr yönünde de ani değişim olduğu görülmüştür. Durağan olmayan rüzgâr hızlarının oluşum sebebinin rüzgâr yönündeki ani değişimler olduğu söylenebilir.

Bu kayıtlara ampirik mod ayrışımı (AMA) uygulanmıştır, zamanla değişen ortalama rüzgâr hızları ile durağan türbülans verisi elde edilmiştir. Bir numaralı kayıt için ampirik mod ayrışımı yöntemi Şekil 3.7'de gösterilmiştir. Ampirik mod ayrışımı analizleri C++ programı kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 3.7 : Ampirik mod ayrışımı bileşenleri.



Şekil 3.8 : Zamanla değişen ortalama rüzgâr hızı.

Durağan olmayan rüzgâr hızı verisi ve ampirik mod ayrışımı ile elde edilen zamanla değişen ortalama rüzgâr hızı Şekil 3.8'de gösterilmiştir.

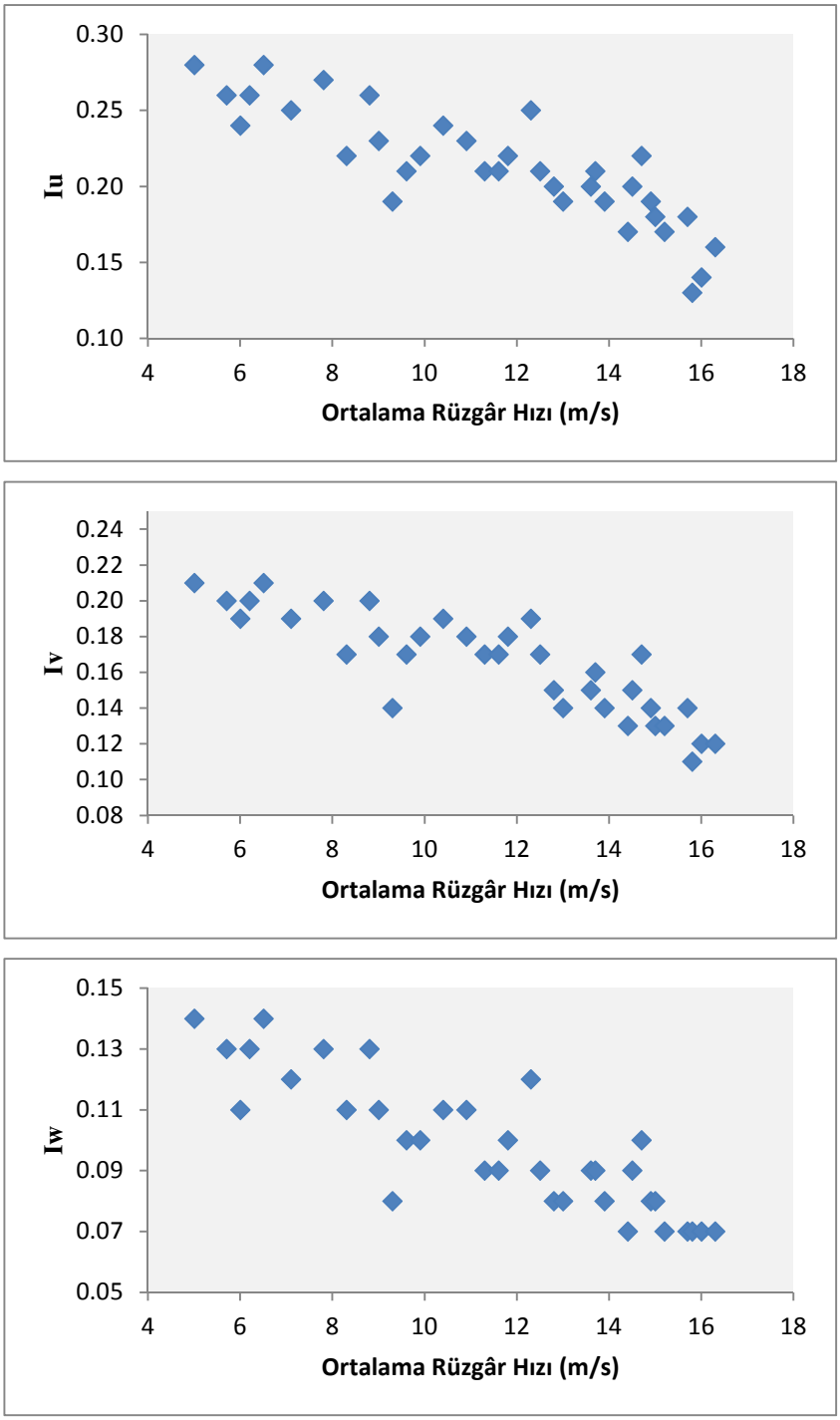
Çizelge 3.4 : Kuvvetli rüzgâr hızı kayıtları maksimum rüzgâr hızları ve türbülans şiddetleri.

Veri Set (VS)	U(t)(m/s)	Iu	Iv	Iw
VS 1	28.15	0.16	0.12	0.07
VS 2	27.16	0.18	0.14	0.07
VS 3	26.01	0.18	0.13	0.08
VS 4	25.89	0.19	0.14	0.09
VS 5	24.97	0.17	0.13	0.07
VS 6	24.11	0.19	0.14	0.08
VS 7	23.78	0.21	0.16	0.09
VS 8	23.5	0.2	0.15	0.09
VS 9	22.49	0.19	0.14	0.08
VS 10	22.16	0.2	0.15	0.08
Ortalama:	**24.82**	**0.19**	**0.14**	**0.08**

Sabiha Gökçen Havalimanı'nda 15 Mayıs 2012 – 15 Ağustos 2014 tarihleri arasında kaydedilen en yüksek 10 adet veri setine ait maksimum rüzgâr hızları ve türbülans şiddetleri Çizelge 3.4'te verilmiştir. I_u boyuna rüzgâr hızı türbülans şiddetini, I_v yatay

rüzgâr hızı türbülans şiddetini, I_w düşey rüzgâr hızı türbülans şiddetini ifade etmektedir.

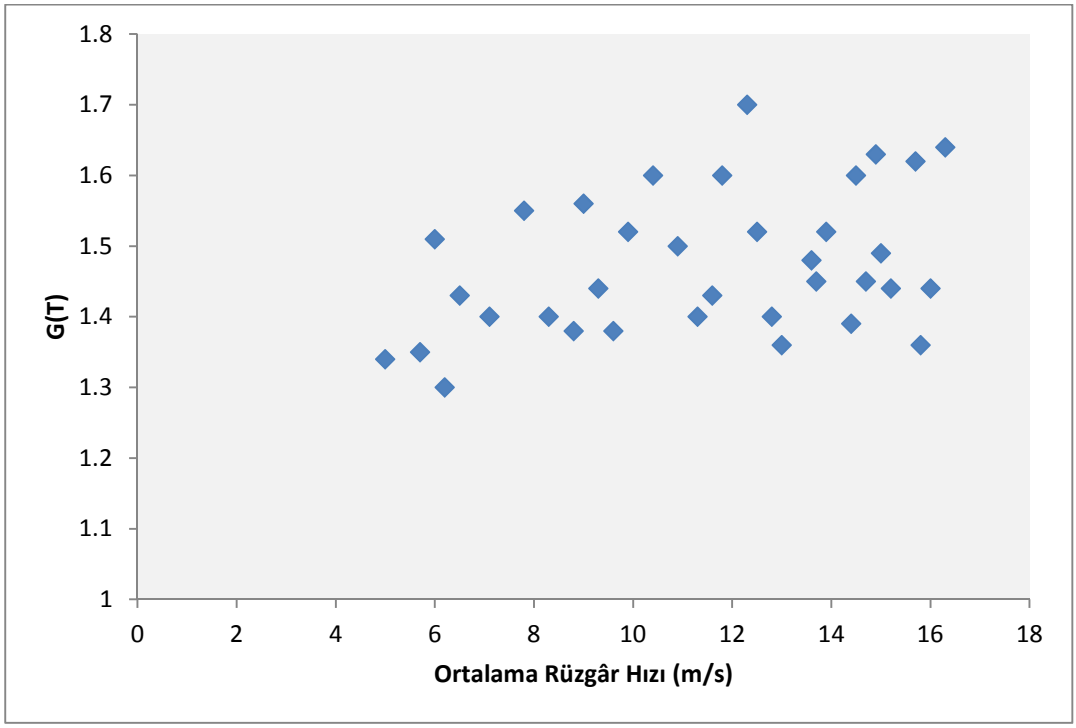
Şekil 3.9'da boyuna, yatay ve düşey yöndeki türbülans şiddetlerinin 10 dakikalık örnekleme aralığına sahip ortalama rüzgâr hızıyla olan ilişkisi gösterilmiştir.



Şekil 3.9 : 10 dakika örnekleme aralığına sahip rüzgâr hızları için 3 yönde türbülans şiddet dağılımı.

Elde edilen ortalama türbülans şiddeti boyuna yönde (I_u) 0.19, yatay yönde (I_v) 0.14, düşey yönde (I_w) ise 0.08 bulunmuştur. Aralarındaki türbülans şiddeti oranları 1:0.73:0:42 şeklindedir. S.Jung ve F.J. Masters (2013) tarafından yapılan açık alanda elde edilen ortalama türbülans şiddetleriyle karşılaştırıldığında, oldukça yakın değerler elde edildiği gözükmektedir. Açık alanda ortalama rüzgâr hızına bağlı türbülans şiddetindeki değişim, binaların yoğun bulunduğu bölgelerdeki türbülans şiddetindeki değişimle [Q. S. Li ve diğ., (2009)] karşılaştırıldığında daha az olduğu görülmüştür.

Ampirik mod ayrışımı yöntemi kullanılarak elde edilen 10 dakika ortalamalı çeşitli rüzgâr hızları için ani rüzgâr faktörleri dağılımı *G(T),* Şekil 3.10'da verilmiştir. Çizelge 3.5'te en yüksek hıza sahip 10 rüzgâr verisi setine ait ani rüzgâr faktörleri verilmiştir.



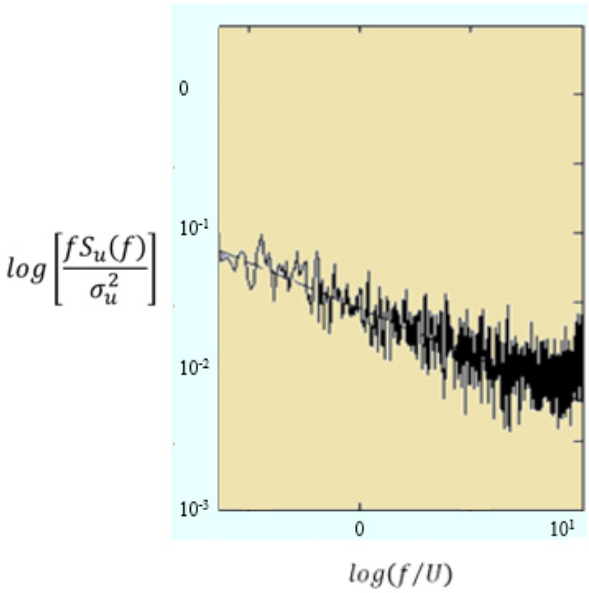
Şekil 3.10 : 10 dakika örnekleme aralığına sahip çeşitli rüzgâr hızları için ani rüzgâr faktörleri dağılımı.

Açık alanında alınan rüzgâr verisi setlerinden elde edilen ortalama ani rüzgâr faktörü G(T), Denklem (2.9) kullanılarak 1.48 bulunmuştur. Bu değer Vickery ve Skerlj (2005) tarafından yapılan çalışmada raporlanan 10 dakikalık ortalama ani rüzgâr faktörü 1.55 ile yakın sonuç vermektedir.

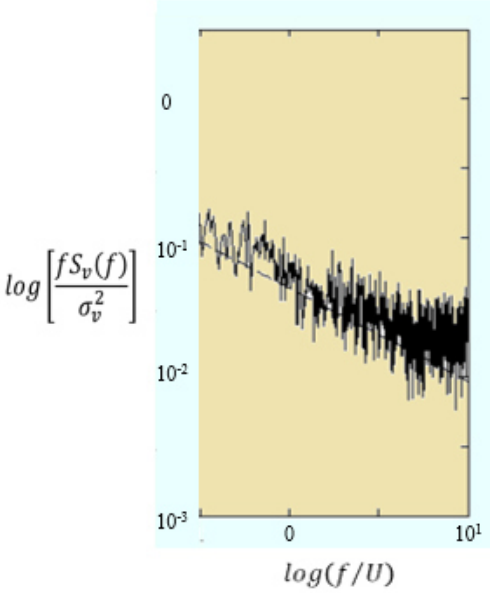
Çizelge 3.5 : En yüksek hıza sahip 10 rüzgâr verisi setine ait ani rüzgâr faktörleri.

Veri Set	U(m/s)	G(T)
VS 1	28.15	1.64
VS 2	27.16	1.62
VS 3	26.01	1.49
VS 4	25.89	1.48
VS 5	24.97	1.39
VS 6	24.11	1.52
VS 7	23.78	1.45
VS 8	23.5	1.48
VS 9	22.49	1.36
VS 10	22.16	1.4
Ortalama:	**24.82**	**1.48**

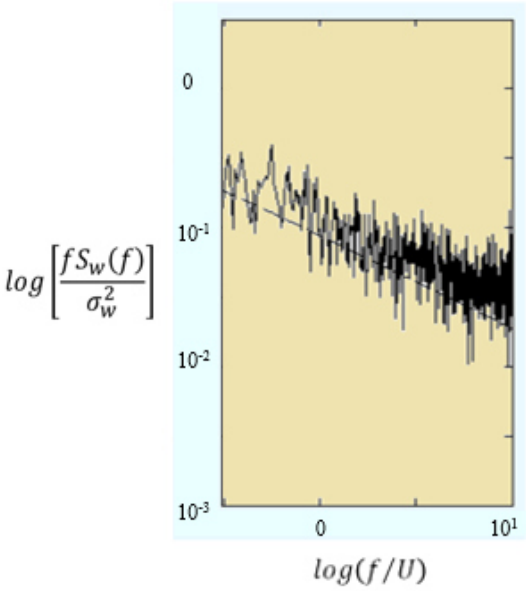
Sabiha Gökçen Havalimanı'ndan elde edilen rüzgâr hızı verileri kullanılarak boyuna, yatay ve düşey yönler için elde edilen rüzgâr türbülansı güç spektrum yoğunluk fonksiyonları Şekil 3.11, Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'te verilmiştir.



Şekil 3.11 : Boyuna türbülans güç spektrum yoğunluk fonksiyonu.



Şekil 3.12 : Yatay türbülans güç spektrum yoğunluk fonksiyonu.



Şekil 3.13 : Düşey türbülans güç spektrum yoğunluk fonksiyonu.

3.3 Veri Örnekleme Aralığının Yapı Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi

Rüzgâr Yönetmelikleri'nde temel rüzgâr hızını tanımlarken, belirli bir süre için(3s, 10dak. gibi) elde edilen ortalama rüzgâr hızlarının belirli bir zamanda,örneğin 50 yılda en az bir kere aşılma olasılığına karşı gelen rüzgâr hızı olarak tanımlanır. Çizelge 3.6'da çeşitli rüzgâr yönetmeliklerinde belirtilen ortalama süreleri verilmiştir.

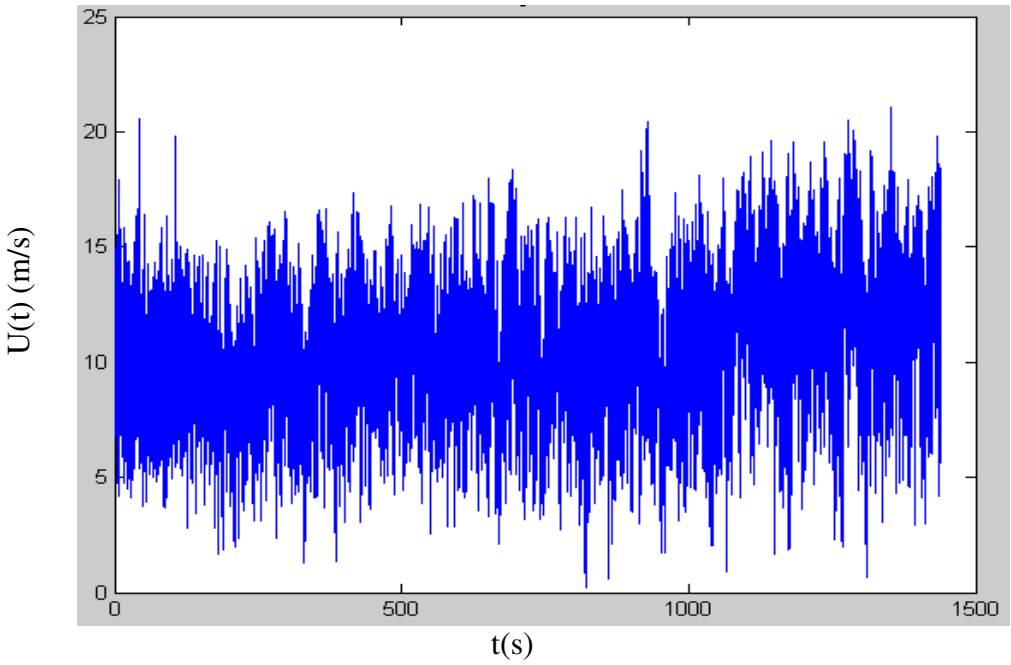
Görüldüğü üzere ortalama süreleri yönetmelikler için oldukça değişiklik göstermektedir.

Çizelge 3.6 : Çeşitli rüzgâr yönetmelikleri için temel rüzgâr hızı ortalama süreleri.

Yönetmelik	**Ortalama Süresi**
İYBRY (Türkiye)	10 dakika
ASCE (A.B.D.)	3 saniye
Eurocode (Avrupa)	10 dakika
NBCC (Kanada)	1 saat
RLB-AIJ (Japonya)	10 dakika

Bu çalışmada temel rüzgâr hızı ortalama örnekleme aralığının, yapının davranışına olan etkisi araştırılmıştır. Rüzgâr hızı verisi yapının periyoduna (T) bağlı olarak 0.1T ile 200T arasında çeşitli ortalama örnekleme aralıklarına göre 128 adet veri seti oluşturulmuş ve ASCE 7-10 yönetmeliğine göre çözümleme yapılmıştır. Oluşturulan rüzgâr verilerindeki maksimum hızlar ASCE 7-10 yönetmeliğinde temel rüzgâr hızı yerine kullanılmıştır.

Rüzgâr hızı olarak, Sabiha Gökçen Havalimanı'nda kurulan anemometreden elde edilen, 25 Hz örnekleme aralığı sahip boyuna rüzgâr hızları kullanılmıştır. Bu rüzgâr hızı verisi daha büyük süreli veriden kesilmiştir. Çözümlemelerde kullanılan rüzgâr hızı-zaman(s) grafiği Şekil 3.14'te gösterilmiştir. Hesaplar MATLAB ve Excel programı kullanılarak yapılmıştır.

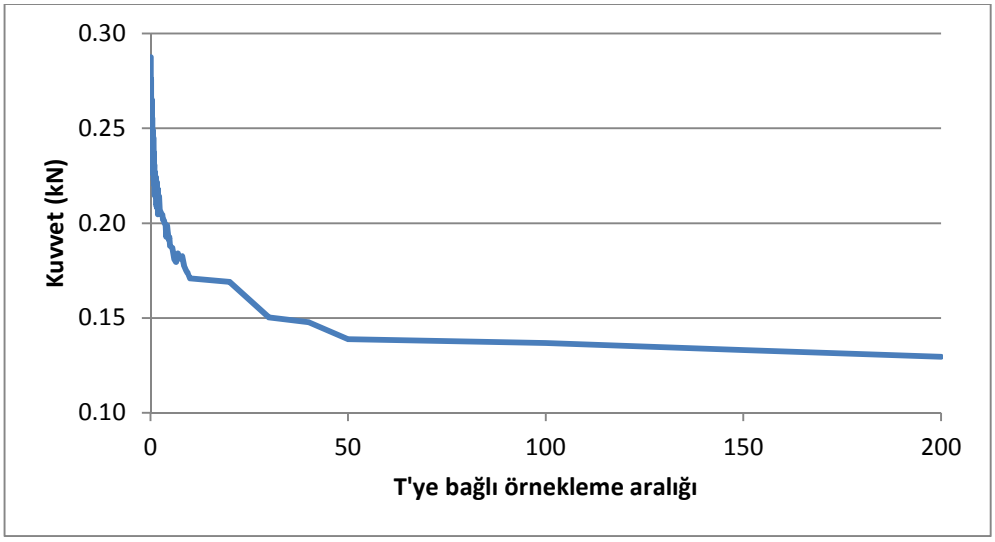


Şekil 3.14 : Çözümlemelerde kullanılan rüzgâr hızı verisinin zamanla değişimi.

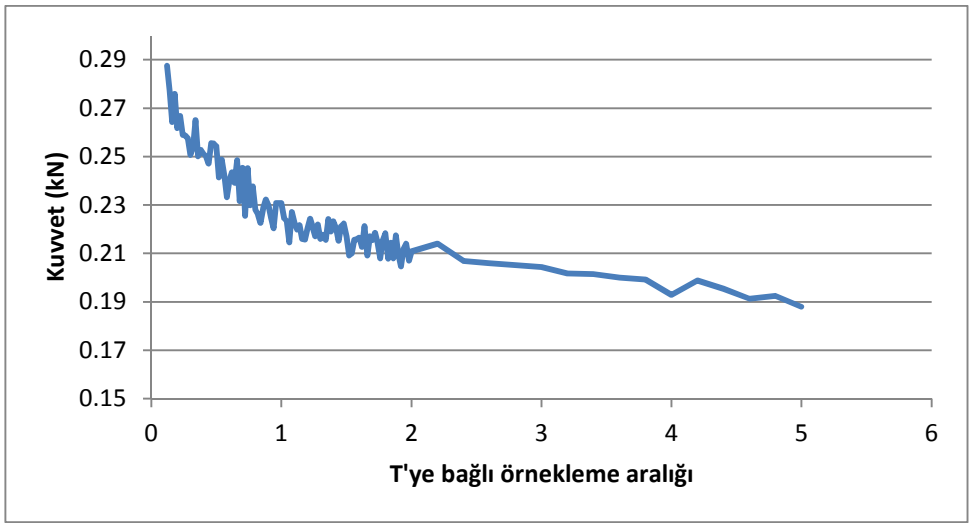
Çözümlemelerde kullanılan sistemin yüksekliği 10 metre, periyodu 2.5 saniyedir, rüzgâr verileri sistemin 10. metresinde 1 metre x 1 metrelik bir kesite etkittirilmiştir. Rüzgâr hızı verisinden, T sistemin periyodu olmak üzere, örnekleme aralıkları 0.1T, 0.12T, 0.14T, 0.16T, 0.18T, 0.2T, 0.22T, 0.24T, 0.26T, 0.28T, 0.3T, 0.32T, 0.34T, 0.36T, 0.38T, 0.4T, 0.42T, 0.44T, 0.46T, 0.48T, 0.5T, 0.52T, 0.54T, 0.56T, 0.58T, 0.6T, 0.62T, 0.64T, 0.66T, 0.68T, 0.7T, 0.72T, 0.74T, 0.76T, 0.78T, 0.8T, 0.82T, 0.84T, 0.86T, 0.88T, 0.9T, 0.92T, 0.94T, 0.96T, 0.98T, 1T, 1.02T, 1.04T, 1.06T, 1.08T, 1.1T, 1.12T, 1.14T, 1.16T, 1.18T, 1.2T, 1.22T, 1.24T, 1.26T, 1.28T, 1.3T, 1.32T, 1.34T, 1.36T, 1.38T, 1.4T, 1.42T, 1.44T, 1.46T, 1.48T, 1.5T, 1.52T, 1.54T, 1.56T, 1.58T, 1.6T, 1.62T, 1.64T, 1.66T, 1.68T, 1.7T, 1.72T, 1.74T, 1.76T, 1.78T, 1.8T, 1.82T, 1.84T, 1.86T, 1.88T, 1.9T, 1.92T, 1.94T, 1.96T, 1.98T, 2T, 2.2T, 2.4T, 2.6T, 2.8T, 3T, 3.2T, 3.4T, 3.6T, 3.8T, 4T, 4.2T, 4.4T, 4.6T, 4.8T, 5T, 5.5T, 6T, 6.5T, 7T, 7.5T, 8T, 8.5T, 9T, 9.5T, 10T, 20T, 30T, 40T, 50T, 100T, 150T, 200T olacak şekilde 128 adet rüzgâr hızı verisi elde edilmiştir.

Şekil 3.15'de rüzgârdan dolayı oluşan yapının periyoduna bağlı rüzgâr hızı örnekleme aralığı – rüzgâr kuvveti ilişkisi gösterilmektedir. Şekil 3.16'da ise 5T'ye kadar olan yapının periyoduna bağlı ortalama değeri – rüzgâr kuvveti ilişkisi gösterilmiştir. Yapılan çözümleme sonucunda rüzgâr verisinin 2T (5 saniye) ortalama süre sonunda

dinamik etkisinin kaybolduğu, sadece statik etkisinin devam ettiği gözlemlenmiştir. Yüksek yapılarda, rüzgâr verisi kullanılarak ileri seviyede yapılan hesaplamalarda, yapının periyodunun 2 katından daha büyük bir örnekleme aralığına sahip rüzgâr hızı verisi kullanılmamalıdır.



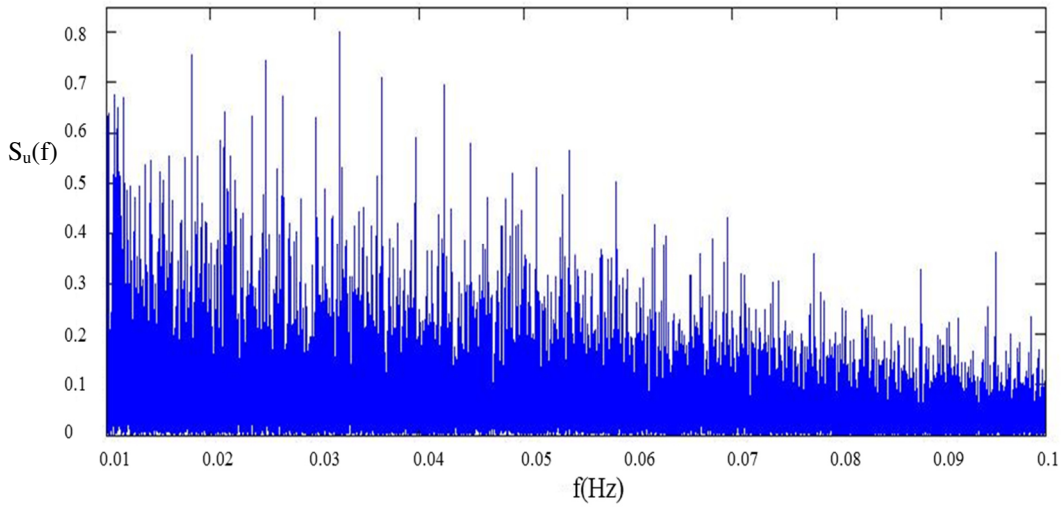
Şekil 3.15 : T'ye bağlı örnekleme aralığı - kuvvet ilişkisi.



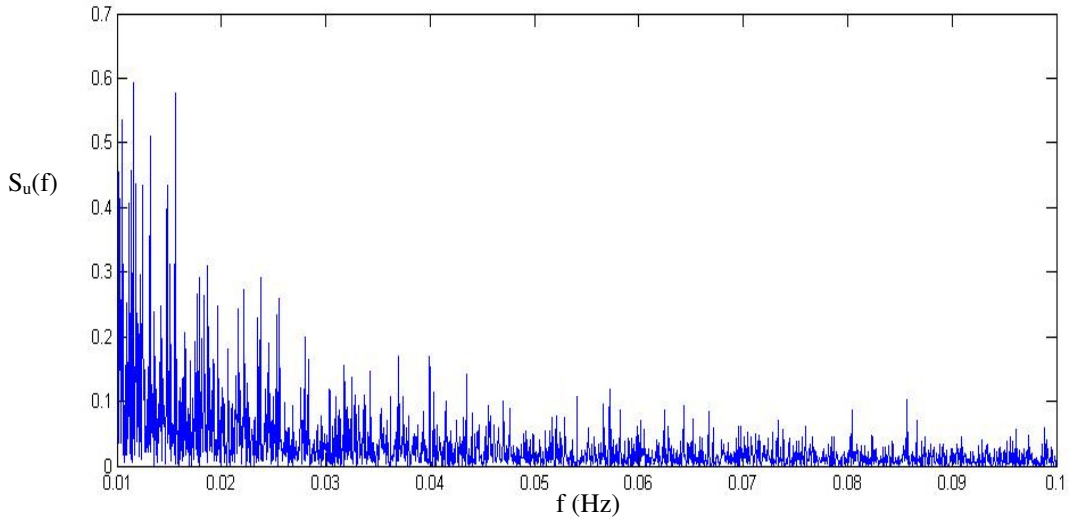
Şekil 3.16 : 5T'ye kadar T'ye bağlı örnekleme aralığı - kuvvet ilişkisi.

Yapılan çalışmalarda güç spektrum yoğunluk fonksiyonu çıkarılırken hangi örnekleme aralığına göre çıkarılması gerektiğine dair bir çalışma yapılmamıştır. Çalışmalar incelendiği zaman 0.3 Hz ile 30 Hz arasında değişen frekanslarda rüzgâr verilerinin alındığı ve bu verilere göre güç spektrum yoğunluk fonksiyonunun elde edildiği görülmektedir. Bu çalışmada Sabiha Gökçen Havalimanı'ndan elde edilen rüzgâr verileri kullanılarak farklı örnekleme aralığına sahip rüzgâr hızı setleri edilmiş, bu setlerden boyuna türbülans güç spektrum yoğunluk fonksiyonları çıkarılmış ve

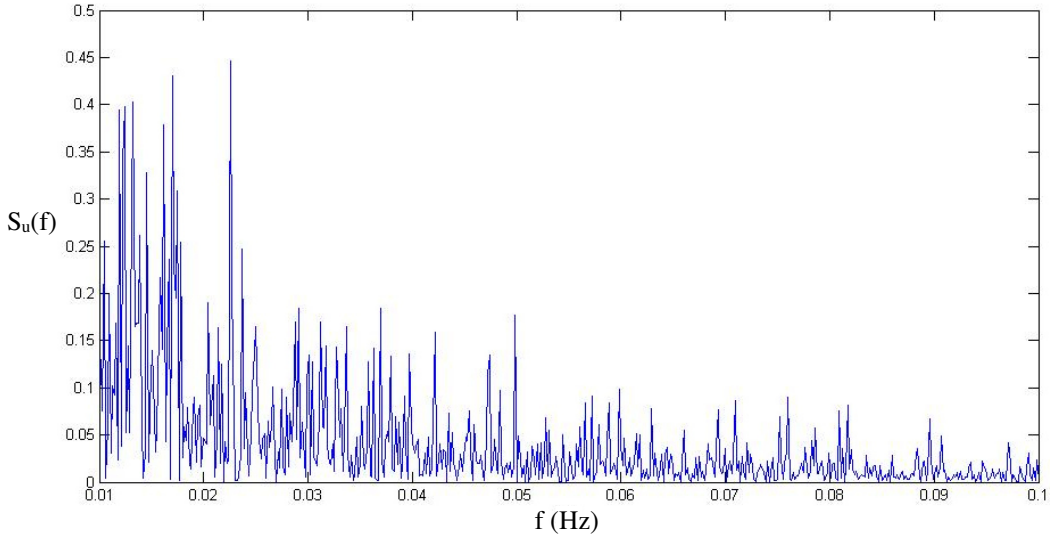
karşılaştırılmıştır. Şekil 3.17 - 3.18 - 3.19 ve 3.20'de sırasıyla 0.04 saniye, 0.4 saniye, 1 saniye ve 10 saniye için elde edilmiş türbülans güç yoğunluk fonksiyonları gösterilmiştir. Sonuçlar karşılaştırıldığı örnekleme aralığının değişmesiyle birlikte rüzgâr hızı verisinin frekans içeriğinin değiştiği görülmektedir.



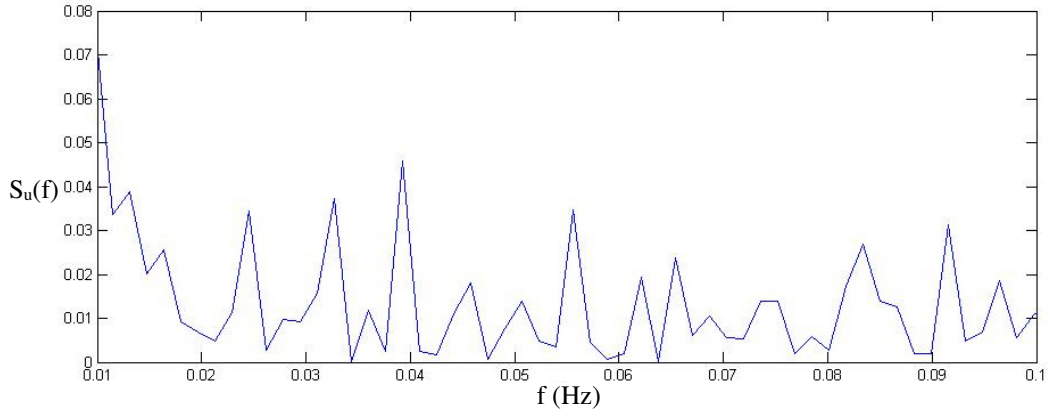
Şekil 3.17 : 0.04 s örnekleme aralığına sahip güç spektrum yoğunluk fonksiyonu.



Şekil 3.18 : 0.4 s Hz örnekleme aralığına sahip güç spektrum yoğunluk fonksiyonu.



Şekil 3.19 : 1s örnekleme aralığına sahip güç spektrum yoğunluk fonksiyonu.



Şekil 3.20 : 10 s örnekleme aralığına sahip güç spektrum yoğunluk fonksiyonu.

4. TÜRKİYE İÇİN TEMEL RÜZGÂR HIZLARININ ELDE EDİLMESİ

4.1 Giriş

Rüzgâr, deprem ve kar gibi çevresel yükler genelde yapılar üzerindeki beklenmeyen zamanda, geçici bir sürede etkiyen yükler olarak değerlendirilmektedirler. Temel rüzgâr hızı gibi ortalama hızı aşan değerler, yapısal hesaplamalarda ortalama yük değerlerinin tahminine nazaran büyük önem taşımaktadırlar.

Bir yapının tasarımında amaç, yapının kullanım ömrü boyunca yukarıda belirtilen yükler altında, içinde bulunan insanların can güvenliğini sağlamaktır. Bunu sağlamak için, yapının ömrü boyunca, gerçek kapasitesinin işletme yükünden yeterince fazla olması gerekmektedir. Bu nedenden dolayı, rüzgârın yıllar içinde aşırı hızlara ulaştığı, kasırgaların en büyük hızlarına ulaştığı (aşırı) değerlerin dağılımını bulmak yapı mühendisliği açısından önemlidir. Modern bina yönetmelikleri hesaplamalarda kullanılacak aşırı rüzgâr ile ilgili bilgiyi, belirlenen çeşitli ortalama tekrarlama aralıklarına (tekrarlanma periyodu) denk gelen rüzgâr hızı şeklinde vermektedir.

Temel rüzgâr hızı, tanım olarak, açık bir arazide yerden 10 metre yükseklikte herhangi bir yönde ölçülen 10 dakikalık ortalama rüzgâr hızlarından 50 yılda en az bir kere aşılması olasılığına karşı gelen rüzgâr hızıdır. Türkiye için özellikle yüksek yapıların rüzgâr hesaplarında kullanılmak üzere temel rüzgâr hızlarını gösteren bir haritaya ihtiyaç vardır.

4.2 Aşırı Değer Teorisine Giriş

Düşük aşılma olasılığına denk gelen aşırı değerlerin tahmini aktif bir araştırma alanıdır. Bu tahminler genelde ortalama T yılda bir aşılan maksimum rüzgâr hızı olan, dönüş periyodu olarak ifade edilmektedir.

Eğer, yalnızca yıllık maksimumlar en büyük gözlemler olarak ele alınırsa, örneğin 30 yıllık kayıt bize sadece 30 aşırı değer olarak nokta sağlayacaktır. Bu da dağılımı güçlü bir şekilde temsil etmeye yeterli olmayacaktır.

50 veya 500 yıllık dönüş periyotlu rüzgâr hızlarının tahminlerinde sadece 10 yıllık maksimum değerler kullanılırsa, model ve örnekleme hataları istastistiksel çözümlemeyi önemli şekilde etkileyebilir.

Hâlihazırda, aşırı rüzgâr hızlarının gelecekteki tahmini için kullanılan, yıllık-maksimum (YM) ve eşik üzeri değer (EÜD) yöntemleri olmak üzere iki genel istatistiksel model sınıfı vardır. Yıllık maksimum yönteminde, Gumbel dağılımı, bir zaman periyodunda kaydedilen yıllık maksimum değer örneklerine yerleştirilmektedir. Eşik üzeri değer yönteminde yıllık maksimum yerine yeterli büyüklükteki eşiği geçen değerler kullanılmaktadır. Bu şekilde, veri, örnekleme belirsizliğini azaltmak için genişletilmiş olur. Gumbel metodunun en büyük eksikliği, toplanan rüzgâr hız verisinin büyük bir kısmını gözden çıkarmasıdır ve bu da örnekleme ve modelleme hatalarından dolayı tahminin doğruluğunu bozmaktadır.

Eşik üzeri değer yöntemi, yıllık-maksimum yöntemine göre daha gerçekçi bir yöntem olsa da, eşik üzeri değer yönteminin kullanılan veriler az sayıda ise çok doğru bir sonuç elde edilememektedir (Galambos ve Macri, 1999). Eşik üzeri değer yöntemi ile ilişkili bir diğer sorun ise eşik seçiminin güçlüğüdür. Çünkü EÜD yöntemi ile elde edilen değer seçilen eşiğe çok duyarlıdır (Pandey, 2002).

İstatistiksel bakış açısından aşırı değer kuramının amacı, gözlemlenen aşırı değerleri çözümlemek ve gelecekte meydana gelebilecek aşırı değerleri öngörmektir. Aşırı değerler, gözlemlerin temel dağılımlarına ve veri büyüklüğüne bağlı olarak elde edilen istatistiksel değerlerdir.

Klasik aşırı değer kuramı, esas olarak, aynı şekilde dağılmış bağımsız, rastgele değişkenlerin asimptotik değerleriyle ilgilenmektedir. Klasik aşırı değer teorisi, Fisher ve Tippet (1928) tarafından belirlenen üç asimptotik aşırı değer dağılımlarına dayanmaktadır. Bu aşırı değerler, bilinen olasılık dağılımının bağımsız rastgele değişkenlerin sonsuz yığınının en büyüklerinin dağılımları oldukları için asimptotiklerdir. Bu üç dağılımdan hangisine uygun olduğu altta kalan ana dağılımın kuyruğunun şekline bağlıdır. Alternatif olarak, aşırı değerlerin gösterimi için daha kesin ve güvenilir istatistiksel modeller önerilmiştir.

Aşırı değer kuramı (ADK), Klasik Aşırı Tipler Teoremi, Eşik Üzeri Değerler Yöntemi ve r Azami Sıra İstatistik Modeli olarak 3 ana parçada değerlendirilebilinir. Klasik Aşırı Tipler Teoremi aşırı değer teorisinin temel bir bileşenidir. Buna göre, veri üç

dağılım cinsinden biri olmalıdır. Bunlar da sırasıyla Gumbel, Frechet ve Weibull cinsleri olarak bilinen tip I, II ve III aşırı değer dağılımlarıdır. Aşırı tipler teoremi ilk olarak herhangi bir matematiksel kanıtı olmadan Fisher ve Tippett (1928) tarafından önerilmiş, daha sonra Gnedenko (1943) tarafından türetilmiştir. Bu üç tip Jenkinson (1955) tarafından önerilen tek bir Genelleştirilmiş Aşırı Değer (GAD) Dağılımı adı altında birleştirilmiştir. Aşırı tip teorisinin ikinci önemli kısmı eşik modellerinin aşılmasına dayalıdır. Eşik olarak belirlenmiş yüksek bir seviyenin üstündeki fazla değerler, eğer sadece Gumbel, Frechet ve Weibull aşırı dağılımlarından birinin etki alanındaysa, Genelleştirilmiş Pareto Dağılımına (GPD) asimptotik olarak uymaktadırlar. En Büyüklerin Sıralı İstatistiksel Modeli "r" (EBSİM), aşırı tip teoremine bağlı olarak klasik aşırı değer çözümlemesinin bir uzantısı olarak değerlendirilmektedir. Her blokta r >1 olan en büyük r gözlemini kullanmaktadır (sabit zaman periyodu, mesela 1 yıl). En büyük r değerinin asimptotik birleşim dağılımı tanımlandıktan sonra maksimum bloğun sınır GAD veya Gumbel dağılımına denk gelen parametreler belirlenmektedir. EBSİM'in kaynakları Weismann'e (1978) dayanmaktadır.

4.3 Aşırı Değer Dağılım Teoremi

Klasik aşırı değer teorisi Denklem (4.1)'de gösterilen istatistiksel davranışı baz almaktadır.

$$M_n = max\{X_1, \ldots\ldots, X_n\} \tag{4.1}$$

$X_1, \ldots\ldots, X_n$, dağılım fonksiyonu F olan bağımsız rastgele değişkenler dizisini ve M_n ise n kere gözlem yapılmış maksimum işleyimi belirtmektedir. Eğer n, bir senede yapılan gözlem sayısı ise, M_n yıllık maksimuma denk gelmektedir. Tüm n değerleri için M_n'nin dağılımı Denklem(4.2)'deki gibi ortaya çıkarılmaktadır;

$$\begin{aligned} Pr\{M_n \leq z\} &= Pr\{X_1 \leq x, \ldots X_n \leq x\} \\ &= Pr\{X_1 \leq x\} * \ldots * Pr\{X_n \leq x\} \\ &= \{F(x)\}^n \end{aligned} \tag{4.2}$$

Dağılım fonksiyonu F genelde bilinmediği için, alternatif yöntem olarak sadece aşırı veriden hesaplanan F_n modellerinin yaklaşık tipleri aranır.

Mn değişkeninden kaynaklanan bazı zorlukları engellemek için de M_n değişkeninin sabit değerler dizini $\{a_n>0\}$ ve $\{b_n\}$ için lineer renormalizasyonu Denklem (4.3)'teki gibi önerilmektedir;

$$M_n^* = \frac{M_n - b_n}{a_n} \tag{4.3}$$

$\{a_n\}$ ve $\{b_n\}$'nin uygun seçimi, n arttıkça M_n^*'nin yerini ve ölçeğini stabilize etmektedir. Fisher ve Tippet (1928) tarafından yapılan çalışma Denklem (4.4)'teki teoremi çıkarmıştır:

$$n \to \infty \; oldukça, Pr\{\frac{M_n - b_n}{a_n} \leq x\} \to G(x) \tag{4.4}$$

G çakışık olmayan dağılım fonksiyonu ve ölçek parametresi σ>0, yer parametresi μ ve Tip II ve III için, şekil parametresi ω>0 olarak, Denklem (4.5)'teki tiplerden biri olmalıdır;

$$Tip\ I: G(x) = exp\left\{-exp\left[-\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right]\right\}, \qquad -\infty < x < \infty;$$

$$Tip\ II: \begin{cases} 0, & x \leq \mu, \\ G(x) = exp\{-\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^{-\omega}\}, & x > \mu; \end{cases}$$

$$Tip\ III: \begin{cases} 1, & x \geq \mu, \\ G(x) = exp\left\{-\left[-\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^{-\omega}\right]\right\}, & x < \mu; \end{cases} \tag{4.5}$$

y değişkeni pratikte çok kullanılan bir değişkendir ve Denklem (4.6)'daki gibi tanımlanmaktadır;

$$y = \frac{x-\mu}{\sigma} \tag{4.6}$$

μ = aşırı değer dağılımının modu (konum parametresi)

σ = standart sapma (veya ölçek parametresi)

Teorem, yeniden ölçeklendirilen maksimanın M_n^*'nin , dağılımda cins I, II veya III olarak adlandırılan dağılımlardaki bir değişkene yaklaştığını göstermektedir. Bununla beraber, bu üç sınıf dağılım yaygın olarak bilinen adlarıyla Gumbel, Frechet ve

Weibull olan Tip I, Tip II ve Tip III aşırı değer dağılımları olarak belirlenmiştir. Gumbel, Frechet ve Weibull tipi aşırı değer dağılımlarının farklı kuyruk davranış şekilleri vardır. Ters Weibull dağılımının üst son noktası sonlu iken, Frechet ve Gumbel dağılımlarının kuyrukları sonsuza kadar uzanmaktadır.

Jenkinson'ın (1955) çalışmasında, Denklem (4.5)'teki üç tip aşırı değer dağılımları kümülatif dağılım fonksiyonu ile tek cins genelleştirilmiş dağılımının birer üyesi olarak göstermiştir. Parametrelerin $\infty<\mu<\infty$, $\sigma>0$ ve $-\infty<\xi<\infty$ olduğu durumda;

$$G(x) = exp\{-\left[1 + \omega\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^{-1/\omega}\right]\} \tag{4.7}$$

olmaktadır. Bu, dağılım Genelleştirilmiş Aşırı Değer Dağılımı (generalized extreme value distribution) olarak adlandırılmıştır. Bu modelin, konum parametresi μ, ölçek parametresi σ, ve şekil parametresi ξ olmak üzere üç parametresi vardır. Genelleştirilmiş Aşırı Değer dağılımının şekil parametresi aşırı değer dağılımının tipini belirlemektedir. Aşırı değer dağılım sınıfları Tip I, II ve III sırasıyla, $\xi=0$, $\xi>0$, $\xi<0$ durumlarına denk gelmektedir. $\xi>0$ durumu polinom olarak azalan kuyruk fonksiyonun olup uzun-kuyruklu esas fonksiyona denk gelmektedir. $\xi=0$ durumu katlanarak azalan kuyruğu, $\xi<0$ sonu olan üst bitiş noktası durumudur ve dolayısıyla kısa-kuyrukludur.

Hosking (1984) tarafından verinin genelleştirilmiş aşırı değer dağılımındaki şekil parametresi ξ'nin sıfır olup olmadığının testi yapılmıştır. Genelleştirilmiş aşırı değer dağılımı için bir takım uygunluk testleri Chowdhury (1991) tarafından yapılmıştır. Karim & Chowdhury (1995), sel veri setleri için Genelleştirilmiş Aşırı Değer Dağılımının en uygun dağılım olduğunu göstermişlerdir.

Aşırı rüzgâr hızları, genellikle XT niceliği üzerinden ifade edilmektedir. Bu değer, T yıllık dönüş periyodunda aşılan ortalama maksimum rüzgâr hızıdır. Gumbel (1958) her yıllık kaydın 365 günlük veya 8750 saatlik gözlem verisi içerdiğini ve yıllık aşırı değerlerin de yıllık verilerin maksimum değerleri olduğunu belirtmiştir. Bu klasik aşırı değer teorisinin temeli kabul edilmektedir. Amaç, dağılımın tipini ve parametrelerini belirleyip, XT değerlerini hesaplamaktır. Dolayısıyla 4.3.1 ve 4.3.2 numaralı bölümlerde anlatılan iki adım, klasik aşırı değer analizinin esas bileşenleridir.

4.3.1 Dağıtım tipi seçimi

İlk adım olarak, aşırı, yüksek hızlı (ekstrem) rüzgârların olasılık davranışını modellemek için en uygun olasılık dağılım tipini belirlemek çok önemlidir. En güvenilir tahminleri elde etmek için hangi tip aşırı değer dağılımının kullanılmasının uygun olacağına ilişkin literatürde ortak bir fikir birliği görünmemektedir.

Aslında, Gumbel, Frechet ve Weibull aşırı değer dağılımları daha önce çeşitli ülkelerde kullanılmıştır. Amerikan Ulusal Standardı ANSI A58.1-1972'nin (1972) kasırga tipi rüzgârların oluşmadığı bölgelerdeki rüzgâr hızlarını Frechet dağılımı ile göstermiştir. Wantz ve Sinclair (1981) Pasifik Kuzeybatı yerleşimindeki 78 bölgeden elde edilen 1 dakika örnekleme aralığına sahip rüzgâr hızlarını Tip II (Frechet) aşırı değer fonksiyonu ile çözmüşlerdir. Daha sonra Amerikan rüzgâr hızı verisi üzerine yapılan geniş bir çalışma, Gumbel dağılımının daha uygun olduğunu göstermiştir. Ilıman enlemlerdeki rüzgâr hızı verisinin Tip I dağılıma uygun olduğunu gösteren çok sayıda çalışma (Abild ve diğ, 1992; Cook, 1982; Gusella, 1991; Ross, 1987) yapılmıştır. Kanada Ulusal Bina Yönetmeliği(1970; 2005) aşırı rüzgârın davranışının en iyi Tip I (Gumbel) dağılımı ile modellendiği varsayımına dayanmaktadır. Hennesey (1977), rüzgâr hızlarının temel dağılımının Weibull tipinde olduğunu önermiştir. Weibull dağılımı Tip I dağılımının alanında olduğu için, Gumbel aşırı dağılım çözümlemesi de yıllık aşırı rüzgâr hızının çözümlenmesi için doğal bir seçenektir. Ancak, EÜD yöntemine dayalı araştırmalar, ters Weibull dağılımının da aşırı rüzgâr hızlarını belirlemekte kullanılabilineceğini belirtmiştir (Simiu ve Heckert, 1996). Diğer bir taraftan, Naess (1997), verinin nasıl çözümlendiğine bağlı olarak, Gumbel dağılımının da ters Weibull kadar iyi bir tercih olabileceğini göstermiştir.

4.3.2 Parametre tahmin metodu seçimi

Literatürde parametre tahmini üzerine çok sayıda yöntem anlatılmıştır. Maksimum Olabilirlik Yöntemi (maximum likelihood method), Momentler Yöntemi (the methods of moments), Olasılık-Ağırlıklı Momentler Yöntemi (the probability-weighted moments method) ve En Küçük Kareler Yöntemi (least squares method) gibi yöntemler, tahmin yöntemleri arasında en popüler olanlarıdır. Aşırı değerler dağılımlarının parametrelerinin belirlenmesi hakkındaki tahmin yöntemleri ile ilgili Lu ve Peng (2003), Mathhys ve Beirlant (2003), Wu ve Li (2003), Yun (2002) tarafından çalışmalar yapılmıştır. Maksimum Olabilirlik Yöntemi, gözlemlenen

verinin olabilirliğini maksimize etmeye dayalıdır ve aşırı değer dağılımlarının parametrelerini tahmin etmek üzere Kimball (1946) tarafından geliştirilmiştir. Momentler Yöntemi, 1894'te İngiliz istatistikçi Karl Pearson tarafından önerilmiştir. Bir dağılımın k kadar parametresini tahmin etmek için verinin ilk k örneklem momentlerine bakılır ve dağılıma göre hesaplanan bir parametre değeri veri iken, onları ilgili momentlere eşitlenir. Daha sonra aşırı değer dağılımların parametrelerinin değerlendirilmesinin standart bir yöntemi olarak denklemlerin sonuç sistemlerini çözerek elde edilmektedir (Castillo, 1988).

Olasılık-Ağırlıklı momentler yöntemi, Momentler Yöntemi'nin bir çeşididir. Değişkenin ilk ağırlıklı k momentlerini, denk gelen ağırlıklı örnek momentlere yerleştirerek, daha sonra denklemlerin sonuç sistemlerini çözerek parametreler elde edilmektedir. Greenwood ve diğ. (1979) çeşitli dağılımları (aşırı değer dağılımları dahil), dağılım parametreleri arasındaki ilişkiyi ve Olasılık-Ağırlıklı momentler yöntemlerini dikkate almışlardır. En Küçük Kareler Yöntemi, teorik nicelikler ile gözlemlenen örneklemelerin farkının karesini minimize ederek parametreleri tahmin etmektedir. Yakın zamanda, Olasılık-Ağırlıklı momentler yönteminin uzantısı olan L-moment Yöntemi (LMY) tanıtılmıştır.

Aşırı değer dağılımının parametrelerini kestirmenin en uygun yöntemini belirlerken, verinin özellikleri dikkate alınmalıdır. Aşırı rüzgâr hızları ile ilgili yapılan çalışmalarında örneklemeler genelde küçük olmaktadır ve bu durum göz önünde bulundurularak Abild ve diğ. (1992) Olasılık-Ağırlıklı momentler yöntemini tavsiye etmişlerdir. Landwehr ve diğ. (1979) çalışmasında Maksimum Olabilirlik Yöntemi ve Momentler Yöntemini karşılaştırarak Olasılık-Ağırlıklı Momentler Yöntemini önermişlerdir. Hosking (1990) En Küçük Kareler Yöntemi'nin aşırı değer dağılımlarının tahmininde kullanılmasında en etkili yöntem olduğunu tavsiye etmiştir.

Son yıllarda geliştirilen bir teori (Davison ve Smith, 1990; Pickands, 1975), belirli bir eşiği geçen tüm değerlerin çözümlenmesine izin vermektedir. Bu yöntemin adı Eşik Üzeri Değer (EÜD) yöntemidir ve özellikle belirli süreli seriler içindir. Asimptotik dağılım olan Genelleştirilmiş Pareto dağılımı (GPD) bir dizi aşırı değerleri, seçilen (yüksek) eşiğe uygun hale getirmek için kullanmaktadır. Eşik Üzeri Değer yöntemlerinin diğer alanlarda kullanımın yaygınlaşmasıyla beraber, aşırı hızlı rüzgârların çözümlenmesi hakkında çok sayıda uygulama ve araştırma yapılmıştır. (Gross ve diğ. (1994), Heckert ve diğ., (1998), Lechner ve diğ. (1993), Naess (1997),

Naess (1998), Naess ve Clausen (2001), Pandey ve diğ. (2001), Simiu ve Heckert (1996), Whalen (1996))

4.4 Yerinde Modelleme İle İlgili Konular

Aşırı rüzgâr hızlarının çözümlenmesinde hangi yöntemin kullanılacağına karar verilirken, ilk değerlendirme eldeki veri setinin uzunluğu olacaktır. Eğer uzun zaman dizisi varsa, Genelleştirilmiş Aşırı Değer dağılımı veya Genelleştirilmiş Pareto dağılımının kullanılması uygun olmaktadır.Aşırı rüzgâr hızlarının hesabında en yaygın kullanılan dağılım, yıllık maksimum (veya yıllık tepe dağılım) setine uygulanan Tip I (Gumbel) dağılımıdır. Gumbel yönteminin temel eksikliği, her devre (dönem, zaman) için bir adet değerin seçilmesidir.

Çözümlemeye müsait verinin sayısını arttırmak için Bağımsız Fırtınalar Yöntemi (BFY) ve Eşik Üzeri Değer (EÜD) yöntemi gibi alternatif yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu tekniklerin en önemli özelliği, belirli bir zaman dizini için, çözümlemede daha fazla nokta seçilebilmesi ve aynı veri setine uygulanan yıllık tepe değerlerin çözümlemesine oranla daha az hata çıkmasıdır.

Bu yöntemleri başarılı bir şekilde uygulamak için kullanıcı tarafından ek kararlar verilmesi gerekmektedir. Öncelikle, hem Bağımsız Fırtınalar Yöntemi hem de Eşik Üzeri Değer yöntemi için eşiğin değerine karar verilmesi gerekmektedir. İkinci olarak, aşırı değer teorisinin başarıyla uygulanması için, aşırı değerlerin bağımsız olmaları gerekmektedir. Eşik Üzeri Değer örneklemleri için, eğer bağımsızlığı sağlamak için herhangi bir adım atılmazsa, rüzgâr verisindeki kuvvetli korelasyondan dolayı, bağımlı aşırıların çıkarılma olasılığı artmaktadır. Bağımsızlığı sağlamak için, aşırılar arasında minimum ayrılık mesafesi uygulanır ve gereken ikinci karar da ayrılık mesafesinin uzunluğunun belirlenmesidir.

Seçilen aşırıların rüzgâr hızı değerlerinin bağımsız olmaları aşırı değer çözümlemesinin bir koşuludur. Her rüzgâr yılından seçilen yıllık maksimum rüzgâr hızları, istatistiksel olarak her zaman bağımsızdırlar. Ancak, Bağımsız Fırtınalar Yöntemi, Eşik Üzeri Değer ve r- azami sıra istatistikleri yöntemlerinde olduğu gibi, her yıldan birkaç veri noktası alındığında, tek bir fırtınadan eşiğin üzerinde kümelenmiş birkaç maksimum hız gözükebilmektedir. Bu tip olayların istatistiksel

olarak bağımsız olmaları çok olası değildir. Dolayısıyla, bir yılda bağımsız ve korelasyonu olmayan aşırı rüzgâr hızları seçilmelidir.

İstatistiksel çözümlemeyle devam etmeden önce çeşitli stratejilere başvurulmaktadır. Bunun basit bir yolu, seçilen olaylar arasında minimum zaman ayrılığı veya "ölü zaman" olmasıdır. Cook (1985) ve Gusella (1991), Avrupa rüzgâr iklimleri ile çalışırken 48 saatlik bir ölü zaman kullanmışlardır, Coles ve Walshaw (1994) ise bu süreyi 60 saate çıkarmışlardır (Cook, 1982).

4.5 Eşik Üstü Değer (EÜD) Yöntemi

Son yıllarda geliştirilen bir kuram, belirli bir eşiği geçen tüm değerlerin ele alınıp çözümlenmesinin yapılmasına dayanmaktadır. Bu yöntemin adı Eşik Üzeri Değer (EÜD) yöntemi olup özellikle kısmi süreli seriler içindir. Asimptotik dağılım olan genelleştirilmiş Pareto dağılımı (GPD) bir dizi aşırı değerleri, seçilen (yüksek) eşiğe uygun hale getirmek için kullanılmaktadır.

Dağılımın üst kuyruğunu modellemek için, Eşik Üstü Değer yöntemi, u eşiği üstünde, rastgele değer X'in k kere aşılmasını değerlendirmektedir. Yeterince büyük u için, maksimumların asimptotik dağılımı Y=X-u, Denklem (4.8)'de ifade edildiği gibi genelleştirilmiş Pareto dağılımını (GPD) takip etmektedir (Pickands, 1975):

$$G_Y(y) = 1 - (1 + \frac{c(y-h)}{a})^{-1/c} \qquad \textbf{(4.8)}$$

h, a ve c sırasıyla konum, ölçek ve şekil parametrelerini ifade etmektedir. Genelde, konum parametresi h=0 olarak alınır. Eğer $c \geq 0$ ise $0 < y < \infty$, yani dağılımın sınırsız üst kuyruğu vardır.

Simiu ve Heckert (Simiu ve Heckert, 1996), parametre tahminleri için, X_{n-k} belirli bir eşiği aşan k'inci değerin ve Xn 'nin en büyük örnekleme değerinin olduğu, aşılmaların sıra istatistiklerini, $\{X_{n-k},\ldots\ldots,X_n\}$, uygulamışlardır. Şekil parametresi Denklem (4.9)'daki gibi hesaplanmaktadır.

$$c_1 = J_n^{(1)} \; ve \; c_2 = 1 - \frac{1}{2}\left(1 - \frac{\left(J_n^{(1)}\right)^2}{J_n^{(2)}}\right)^{-1} \; iken \; c = c_1 + c_2 \qquad \textbf{(4.9)}$$

Bu hesaplama Denklem (4.10)'da verildiği gibi logaritmik dönüşümlü seri istatistiklerinin momentleri kullanılarak yapılmaktadır;

$$J_n^{(r)} = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k}[log(X_{n-i+1}) - log(X_{n-k})]^r \quad \textbf{(4.10)}$$

Şekil parametresi Denklem (4.11)'deki gibi çıkarılmıştır;

$$eğer\ c \geq 0\ ise, \rho = 1\ ve\ eğer\ c < 0\ ise, \rho = \frac{1}{1-c} olduğunda\ a = u\frac{J_n^{(1)}}{\rho} \quad \textbf{(4.11)}$$

T-yıl dönüş periyoduna denk gelen nicelik değeri, XT, ϟ yıllık ortalama aşılma oranıyken, ϟT, dönüş periyoduna denk gelen pik niceliklerden hesaplanır. Eğer Eşik Üstü Değer örneklemi n yıllık veriden elde edilirse, ϟ=k/n olur. Son olarak, u seçilen eşik (konum parametresi), yani x-μ değerleri aşılma, σ ve ξ sırasıyla ölçek ve şekil parametreleri olduğunda, T-yıllık değeri Denklem (4.12)'deki gibi hesaplanmaktadır;

$$x_T = \frac{a}{c}\left[\left(1 - \frac{1}{\lambda T}\right)^{-c} - 1\right] + u \quad \textbf{(4.12)}$$

4.5.1 Eşik seçimi

Gerçek maksimumların belirlenmesi için eşiğin yeterince büyük belirlenmesi gerekmektedir. Eğer durum bu şekilde olmazsa, seçilen aşırıların dağılımı Genelleştirilmiş Pareto Dağılımı asimptotuna yaklaşamayacaktır. Sonuç, doğru asimptotun hatalı bir gösterimi olacaktır. Diğer yandan, dağılım parametrelerinin doğru bir şekilde belirlenmesi için yeterli veri seçilebilmelidir. Bunun için de eşiğin yeterince düşük seçilmesi ile eşiği geçen veri sayısı arttırılabilmektedir (Abild ve diğ., 1992). Cook (1985), Birleşik Krallık için, saatlik-ortalama rüzgâr hızları için 15m/s^{-1}lik, aşırı rüzgâr hızı için 30m/s^{-1}lik eşik önermektedir. Ancak, her duruma uygun olacak bir eşik yoktur. Brabsonn & Palutikof (2000), Sumburgh-Shetland için en uygun eşiğin 32~36 m/s^{-1} aralığında olduğunu göstermişlerdir.

Eşik seçimine yardımcı olan çeşitli teknikler vardır. Örneğin, koşullu ortalama grafikleri eşiğin bir fonksiyonu olarak eşiğin üzerindeki ortalama aşılmayı çizmektedir (Davison, 1984; Ledermann ve diğ. 1990). Genelleştirilmiş Pareto dağılımlı spektrum

için, koşullu ortalama aşılma grafiği düz bir çizgi çıkmaktadır. Düz çizginin üzerindeki en düşük değer belirlenerek uygun eşik seçilebilmektedir.

4.6 Ekstrem Rüzgâr Hızı Tahmini Ve Haritalandırma

Globalleşen dünya ile birlikte yaygınlaşan yüksek yapılar, önümüzdeki yıllarda da artarak çoğalmaya devam edeceği öngörüldüğü için tüm ülkelere ait temel rüzgâr hız verilerine olan ihtiyaç belirgin bir şekilde artacaktır. Günümüzde, gelişmiş ülkelerde tasarımcıların yapı inşası için kullanabilecekleri, ulusal rüzgâr yönetmelikleri bulunmaktadır.

4.6.1 Rüzgâr hızı kaynakları

Günümüzde, aşırı rüzgâr hızları üzerine dünya çapında veri sağlayan bir veri bankası bulunmamaktadır. Holmes (2001), 56 ülkedeki temel rüzgâr hızlarının kaynaklarını basitçe özetlemiş ve bu ülkeleri veya bölgeleri aşırı rüzgâr hızlarının seviyelerine göre 5 seviyede sınıflandırmıştır. Rüzgâr hızının yapılardaki etkisini de içeren Eurocode, ülkeler için temel rüzgâr hızlarını içermemektedir. Bu hızların ulusal kaynaklar tarafından sağlanması beklenmektedir. Ancak daha önceki bir taslak (Avrupa Standartlaşma Kurultayı 1994) 18 ülkenin temel rüzgâr hızlarını (10 dakikalık ortalama hızlarını) içermekteydi ancak ülke sınırlarında birbiri ile uyumlu olmayan hızlar dolasyısıyla bazı belirgin kusurlar vardı. Miller (2002) bu farklılıkları, tarihsel kayıtlarından elde ettiği rüzgâr hızlarına bağlı tahminlerle, bir nebze başarıyla, çözmüştür. Asya-Pasifik bölgesinin temel rüzgâr hızları, Holmes ve Weller (2002) tarafından, ulusal standartlar ve 5-seviye bölgeselleştirme sistemi kullanılarak özetlenmiştir. Karayip bölgesi için, Shellard (1972) aşırı rüzgâr hızlarını geleneksel aşırı değer yöntemi ile, Davenport ve diğ. (1985) ise simülasyon yöntemi kullanarak tahmin etmişlerdir.

4.6.2 Veri kalitesi

Aşırı rüzgâr hızı bölgeselleştirmesi yapılabilmesi için, temel rüzgâr hızı değerlerini öngörmek için kullanılan rüzgâr hızının birtakım gereksinimleri sağlamış olması gerekmektedir. Bir bölgenin ya da bir ülkenin rüzgâr hızı ölçümlerinin

- Aynı alet veya aynı dinamik özellikleri taşıyan aletlerle
- Aynı tip arazide; açık, düz zeminde

- Zemin seviyesinden aynı yükseklikte (tercihen 10 metre yükseklikte)
- Yeterince uzun periyotta (tercihen 30-40 seneden uzun bir periyotta)

yapılması gerekmektedir.

Ancak genelde tüm bu koşulların sağlandığı durumların dışında bir veri alımı sözkonusu olmaktadır. Aşırı rüzgâr hızlarının gözlem hataları birkaç farklı kaynaktan doğabilmektedir. İlki, türüne, hacmine ve boyutuna bağlı olarak, anemometrenin dinamik özelliklerinden dolayı olabilir. Anemometrelerin ve özelliklerinin geniş bir tanımı Sachs (1972) tarafından verilmiştir. Rüzgâr hızını ölçen bir aletin ölçüm istasyonunda 40- 50 seneden fazla bir süreden sonra aynı kalması olası değildir. Eğer ölçüm aletlerinin düzenli kalibrasyonu (statik ve dinamik) yapılmazsa, bu kaynaktan belirgin hatalar çıkabilmektedir.

Anemometreyi destekleyen kulenin veya direğin konumlandırması da potansiyel bir hata kaynağıdır. Anemometre direklerinin çeşitli yükseklikteki binaların üstüne veya yakınına monte etmek yıllardır çok yaygındı. Binanın aerodinamik etkisi rüzgâr tüneli testleri kullanılarak düzeltilebilse de ancak binalar yüksek olduğunda bu düzeltmeler çok güvenilir olmamaktadır. Eğer havaalanı gibi daha iyi konumlanmış bir istasyon mevcut değilse, şehir merkezindeki anemometreden elde edilen rüzgâr verisini kullanmak tavsiye edilmemektedir.

4.6.3 Yapısal tasarım için örnekleme aralığı süresi ve dönüş periyodu

Rüzgâr hızını kaydetmek için kullanılan örnekleme aralığı süresi 2-3 saniye ile 1 saat arasında değişmektedir.

Rüzgâr yükleri için kullanılan ulusal standartlardaki örnekleme aralığı süresi seçimi, bölgedeki rüzgâr tipine bağlı olabilmektedir. Örneğin, aşağı yönlü kasırgaların baskın olduğu ülke veya bölgelerde, fırtınanın birkaç dakika sürdüğü durumlarda 2-3 saniyelik şiddetli kısmın kullanılması normal olduğu gibi 1-saat veya 10-dakikalık şiddetli kısmın çok az, hatta hiçbir anlamı olmamaktadır. Sinoptik rüzgârlar baskın olduğunda ise, daha uzun örnekleme aralığı süresi, aşırı rüzgâr hızı analizlerinde kullanılan verilere daha fazla güvenilirlik sağlamaktadır. Bu tip durumlarda en yaygın ortalama periyot 10 dakika ve 1 saattir. Tropik kasırgalardan (fırtınalar, tayfunlar) etkilenen bölgeler için 10 dakikalık periyodu kullanmak daha uygundur.

Fırtına tipi rüzgâr hızları genelde aralıksız ölçülmektedir. Dolayısıyla, belli bir bölgedeki fırtına tipi rüzgâr hızı ikliminin gerçek bir temsilcisi olmaktadır. Ortalama rüzgâr hızına gelince aynı şey her zaman geçerli olmamaktadır. Bazı ülkeler ortalama rüzgâr hızını aralıksız ölçerken (mesela Birleşik Krallık ve Hollanda her saat saatlik ortalama hızı ölçerken, İşviçreliler 10 dakikada bir 10-dakikalık ortalama rüzgâr hızını ölçmektedirler), çoğu ülke ortalama rüzgâr hızını raporlama saatinden hemen önce uygun ortalama periyodu üzerinden ölçmektedir.

Dolayısıyla, bazı ülkeler için 10 dakikalık ortalama rüzgâr hızı, raporlama saatinden hemen önceki 10 dakikalık periyottaki durumu temsil ederken, bir sonraki saatin 50 dakikasındaki ortalama rüzgâr hızı ile ilgili hiçbir bilgi bulunmamaktadır. Sonuç olarak, raporlanan 10-dakikalık ortalama rüzgâr hızı, o saat içerisindeki maksimum 10-dakikalık ortalama rüzgâr hızını her zaman temsil etmemektedir. Kayıt edilmeyen 50 dakikada oluşabilecek herhangi bir fırtına kayıtta hiçbir şekilde görülmeyecektir.

Uluslararası yönetmeliklerdeki en çok tercih edilen tekrarlanma periyodu (yıllık rüzgâr hızlarının tamamlayıcı olasılık dağılımının karşıtına eşit) 50 yıldır. Ancak Avustralya/Yeni Zelanda yönetmelikleri, normal yapılar için, deprem mühendisliği uygulamalarında yaygın olan, 500 yıllık bir değeri tavsiye etmektedir. ASCE 7-10'da bina önem derecelerine göre 50 yılda % 3, % 7 ve % 15 aşılma olasılıklarına karşı gelen temel rüzzgar hızı haritaları mevcuttur.

4.6.4 Örnekleme (Sampling) hataları

Örnekleme hataları, öngörülen rüzgâr hızlarının belirli tekrarlanma periyotlarında, öngörü yapmakta kullanılan dağılım parametrelerindeki belirsizliklerden oluşan hatalardır. Bu hatalar yüksek tekrarlanma periyoduna öngörü yapmak için nispeten kısa veri kayıtlarından oluşan verilerin kullanılmasından ortaya çıkar. Örnekleme hatalarını incelerken, doğru olasılık dağılımın seçildiği varsayılmaktadır ve hatalar seçilen dağılımın parametrelerindeki belirsizlikten doğmaktadır.

Simiu ve diğ. (1978), Genelleştirilmiş Aşırı Değerlerin (Generalized extreme value) aşırı rüzgâr hızına uygun hale getirilmesinden kaynaklanan örnekleme hatalarını incelemişlerdir. Simiu vd, 25 yıllık bir veriden 50 yıllık tekrarlanma periyodundaki rüzgâr hızının tahminindeki örnekleme hatasının, %68 güven düzeyi ile, ±%7 olduğunu bulmuşlardır. 25 yıllık bir veriden 1000 yıllık tekrarlanma periyot değerinin tahminindeki hata ±%9 olarak hesaplanmıştır.

Bireysel istasyonlardaki kısa süreli kayıt sorununu aşmak için, birçok istasyondan veri toplanıp daha uzun eş değer zaman tanım alanı kurmak için birleştirilebilmektedir. Bu şekilde bir yaklaşım, önce Avusturalya'da Dorman (1983) tarafından kullanılmış, daha sonra Peterka ve Shahid (1998) tarafından Amerika Birleşik Devletleri rüzgâr hızlarını çözümlemek için kullanılmıştır. Böyle yaklaşımlar kullanıldığında, her bir istasyonun meteorolojik karakteristiklerinin birbirlerine gerçekten benzer olduklarından emin olunması gerekmektedir; örneğin topografya ve dağ bilgisi (orografi) etkilerinin benzer veya uygun bir şekilde düzeltilmiş olması gerekmektedir. Özetle, bireysel istasyonların çözümlemelerinin kayıt uzunluğunun en az 30 yıl olmasını tavsiye etmektedir.

4.6.5 Temel rüzgâr hızına orografi etkisi

Rüzgâr hızları sadece zemin üzerindeki yüksekliğe bağlı değildir, aynı zamanda deniz seviyesinden yüksekliğe de bağlıdır. Bu bağlılık, özellikle dağlık bölgelerde özel bir katsayı ile dikkate alınmalıdır.

Zuranski (1992), aynı bölgede farklı yüksekliklerde birkaç meteorolojik istasyondan elde edilen rüzgâr hızı verilerini inceleyerek temel rüzgâr hızının deniz seviyesi yüksekliğine bağlılığını göstermiştir.

4.6.6 Bölgeselleştirme ve haritalandırma

Bölgeselleştirme ve eşyükselti eğrileri sistemleri rüzgâr yönetmeliklerinde temel rüzgâr hızlarının gösteriminde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Kanada Ulusal Bina Yönetmeliği'nde ülkedeki belirli şehir ve ilçelerinin temel rüzgâr basınçlarının çizelgesinin olduğu üçüncü bir sistem uygulanmıştır.

Bölgeselleştirme sisteminin en önemli avantajı kolaylıkla yönetilebilir olmasıdır, çünkü sınırlar, il, ilçe ve eyalet gibi idari bilimlerin sınırlarını gerçekleştirecek şekilde ayarlanabilmektedir. Ayrıca, eşyükselti eğrileri sistemine nazaran, yanlış anlaşılmaya ve haritanın yanlış okunmasına daha az meyillidir.

Örnekleme hatalarının tasarım değerlerinde neden olduğu belirsizlikleri ele alırsak, 50 yıllık tekrarlanma periyot değerleri için 3 m/s 'den düşük fırtına hızı değişiklikleri için eşyükselti eğrisi çizmenin pek bir anlamı olmamaktadır. Başka bir deyişle, yönetmeliklerdeki rüzgâr haritalarındaki bölge ve eşyükselti eğrileri aralıkları

arasındaki kademe değişikliğinin örnekleme hatalarından kaynaklanan belirsizlikleri yansıtması beklenilir.

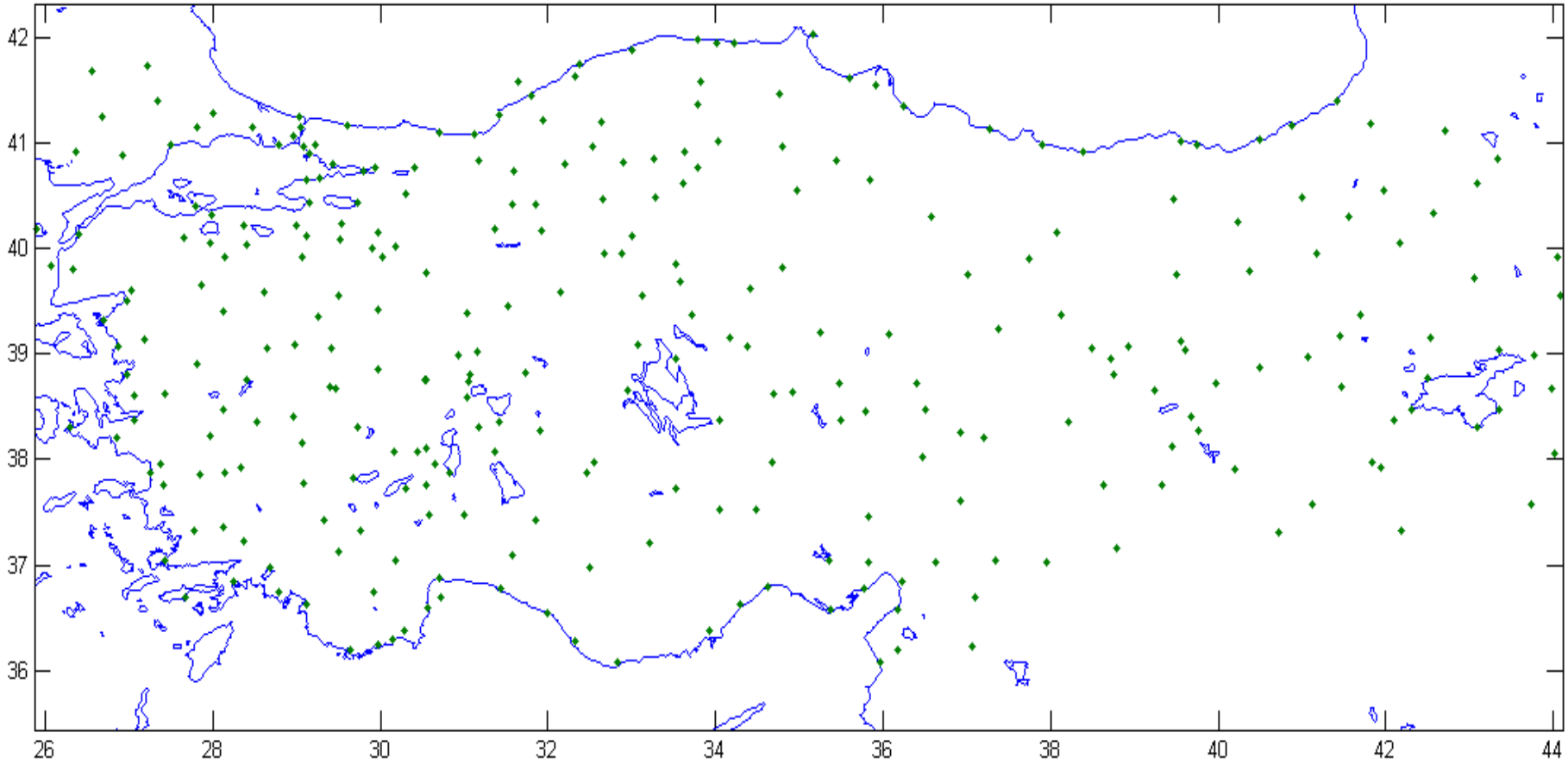
Aynı nedenlerden dolayı, bitişik bölgelerdeki rüzgâr hızlarının arasındaki fark 50 sene için 5 m/s'den az olmamalıdır. Eğer 10 dakika veya 1-saatlik ortalamalar kullanılarak haritalandırma yapılıyorsa minimum aralıklar bu değerlerin üçte ikisi kadar olmalıdır.

Aşırı rüzgârlar için herhangi bilinen aşırı değer çözümlemesi kullanılabilir ancak kullanılan olasılık dağılımı asimptotik dağılımlar türünün bir üyesi olmalıdır.

4.7 Türkiye Temel Rüzgâr Hızları

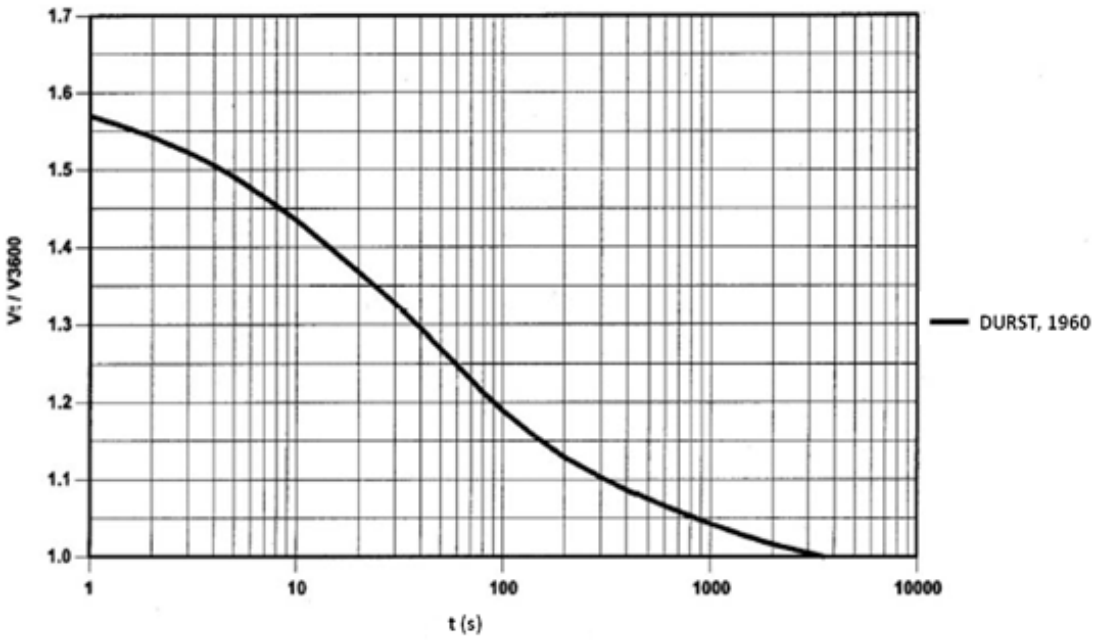
Temel rüzgâr hızı açık bir arazide yerden 10 metre yükseklikte herhangi bir yönde ölçülen 10 dakikalık ortalama rüzgâr hızlarından 50 yılda en az bir kere aşılması olasılığına karşı gelen rüzgâr hızıdır. Türkiye için özellikle yüksek yapıların rüzgâr hesaplarında kullanılmak üzere temel rüzgâr hızlarını gösteren bir haritaya ihtiyaç vardır.

Türkiye Temel Rüzgâr Hızı Haritası üretmek için Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Meteorolojik Veri Arşiv Sistemi'nden (TÜMAS) Türkiye'deki bütün rüzgâr istasyonlarının günümüze kadar kaydedilen rüzgâr hızları istenmiş, bunun karşılığında da TÜMAS'tan Şekil 4.1'deki haritada yerleri gösterilen 341 rüzgâr istasyonuna ait, 1975-2011 yılları arasında kaydedilmiş saatlik rüzgâr hızları temin edilmiştir. Hesaplamalar eşik üstü değer yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Bu istasyonların TÜMAS'ta kayıtlı numaraları, kayıt süreleri, maksimum hız, 10 dakikalık maksimum hız ve 50 yıllık V_{maks} değerleri (m/s) cinsinden Ek A Çizelge A-1'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1 : Türkiye Temel Rüzgâr Hızı Haritasının elde edilmesinde kullanılan rüzgâr istasyonlarının dağılımı.

Bu istasyonlardan 4 seneden düşük kayıta sahip olanlar elenmiş, bunun sonucunda da 303 rüzgâr istasyonunun kaydı kullanılmıştır. Rüzgâr istasyonlarının dağılımı Şekil 4.1'de Türkiye haritası üzerinde gösterilmiştir.

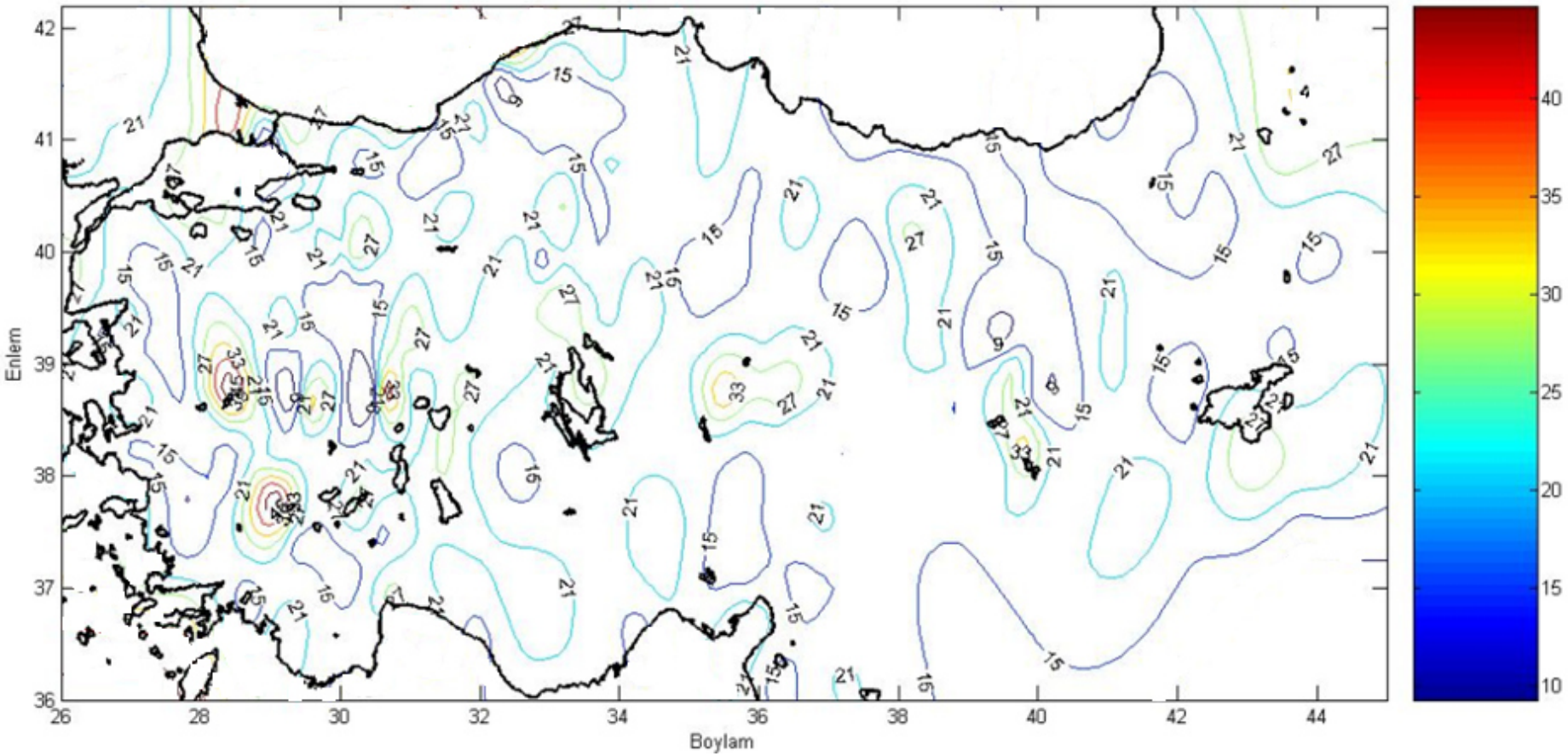


Şekil 4.2 : Maksimum rüzgâr hızı ortalamalarının saatlik rüzgâr hızına oranı.

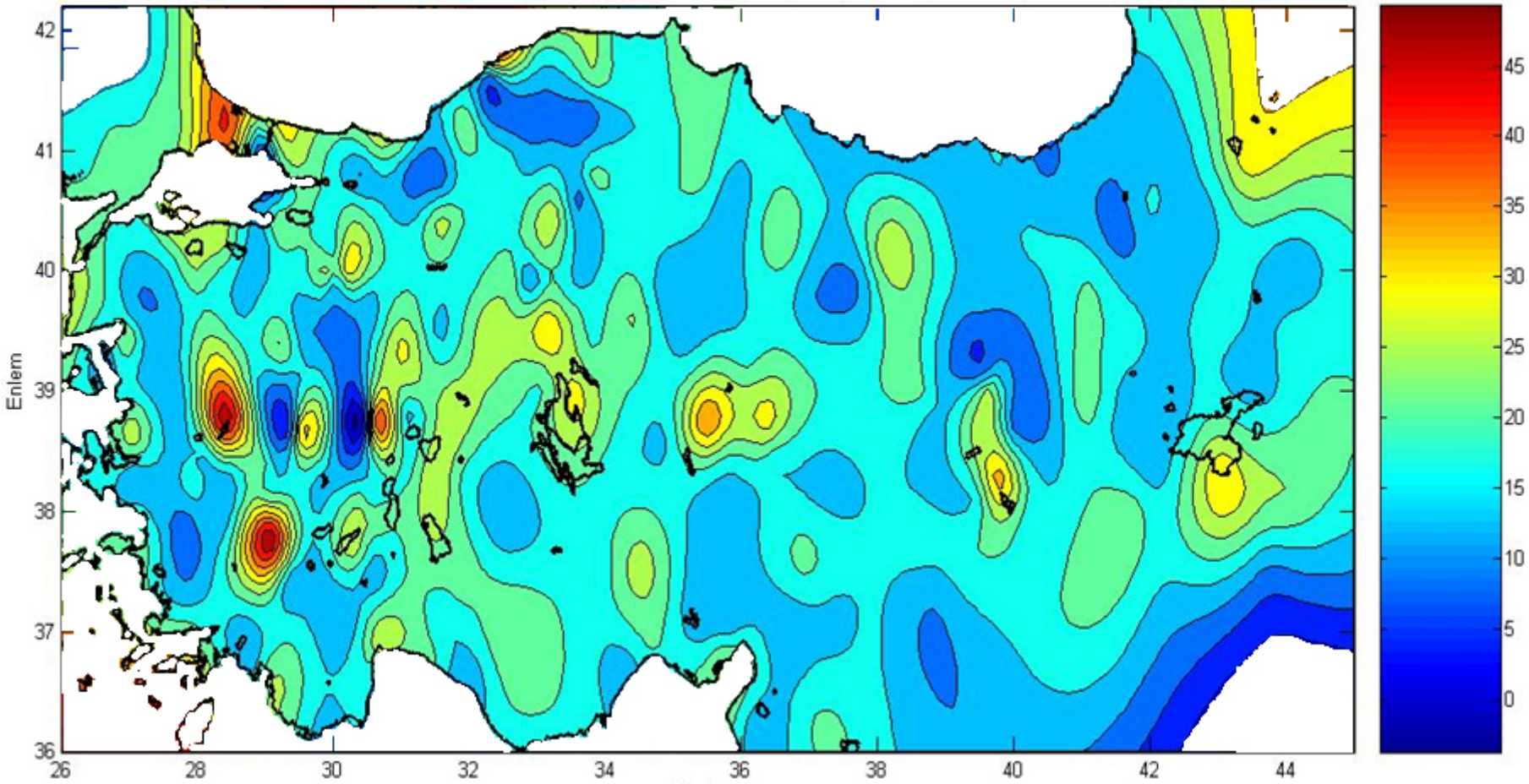
TÜMAS'tan elde edilen rüzgâr hızı verileri saatlik veriler olduğu için Şekil 4.2'de gösterilen eğri kullanılarak elde edilen maksimum veriler 10 dakikalık hızlara çevrilmiştir.

Rüzgâr hızı istasyonları farklı kayıt sürelerine sahiptir, bu istasyonlardan 48 aydan düşük veriye sahip olanlar elenmiş, 48 ay ve üstü hız verisine sahip olanlar ise aşırı değer analizi yapılarak 50 yılda bir defa aşılma olasılığına karşı gelen rüzgâr hızı hesaplanmıştır.

Her rüzgâr istasyonu için hesaplanan 50 yıllık dönüşüm periyoduna sahip rüzgâr hızı verilerinden Matlab programı kullanılarak Temel Rüzgâr Hızı haritaları oluşturulmuştur. Şekil 4.3'te eş değer eğriler ile, Şekil 4.4'te ise renkli bölgeler ile haritalar oluşturulmuştur. Rüzgâr istasyonlarının enlem ve boylamları Devlet Meteoroloji İşleri'nin internet sayfasından elde edilmiştir.



Şekil 4.3 : Türkiye Temel Rüzgâr Haritası – Eş değer eğri gösterimi.

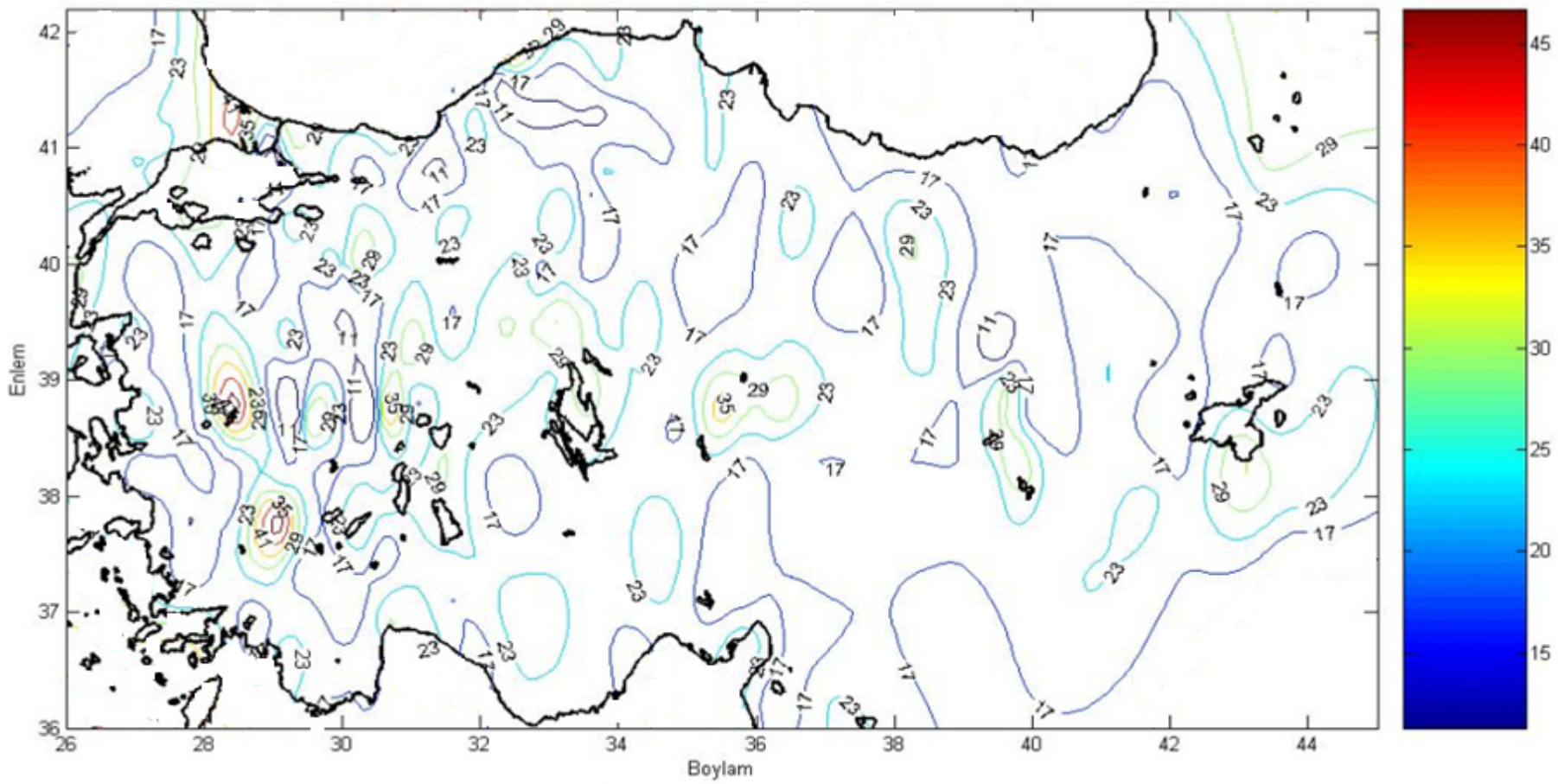


Şekil 4.4 : Türkiye Temel Rüzgâr Haritası – Renkli gösterim.

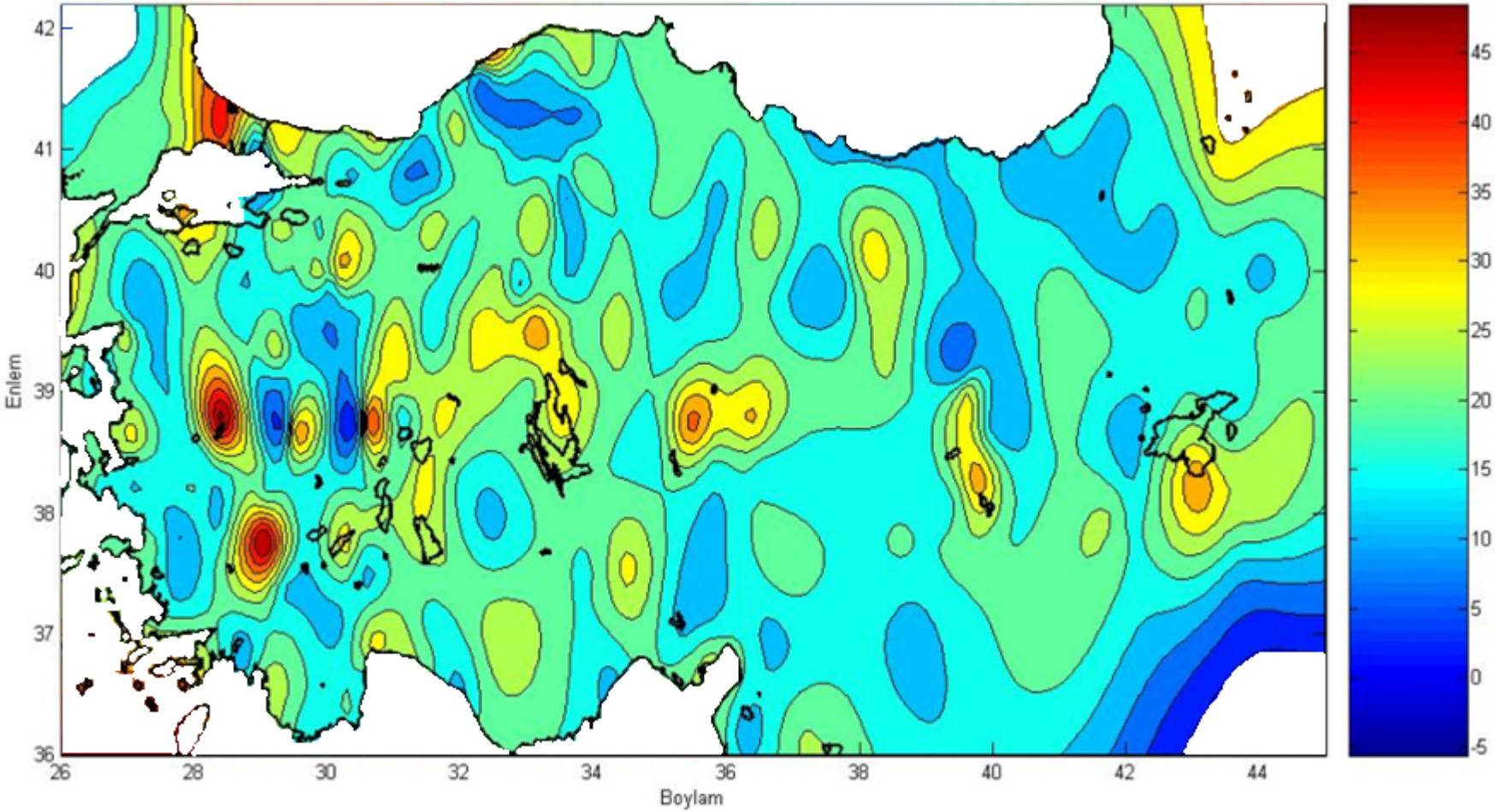
Ayrıca, ek olarak, temel rüzgâr hızları birbirine yakın değerler için tek bir değer elde edilerek yeniden düzenlenmiştir. Çizelge 4.1'de gösterildiği gibi her 3m/s için tek bir üst değer elde edilmiştir, örneğin 51-53 m/s arasındaki bütün hızlar 53 m/s alınmıştır. Bu verilerden oluşan haritalar Şekil 4.5'te ve Şekil 4.6'da gösterilmektedir.

Çizelge 4.1 : Temel Rüzgâr Haritası oluşuturulmasında kullanılan yeni değerler.

Aralık	**Yeni değeri**
51-53 m/s	53 m/s
48-50 m/s	50 m/s
45-47 m/s	47 m/s
42-44 m/s	44 m/s
39-41 m/s	41 m/s
36-38 m/s	38 m/s
33-35 m/s	35 m/s
30-32 m/s	32 m/s
27-29 m/s	29 m/s
24-28 m/s	26 m/s
21-23 m/s	23 m/s
18-20 m/s	20 m/s
15 - 17 m/s	17 m/s
12-14 m/s	14 m/s
9-11 m/s	11 m/s



Şekil 4.5 : Türkiye Temel Rüzgâr Haritası – Eş eğri gösterimi.

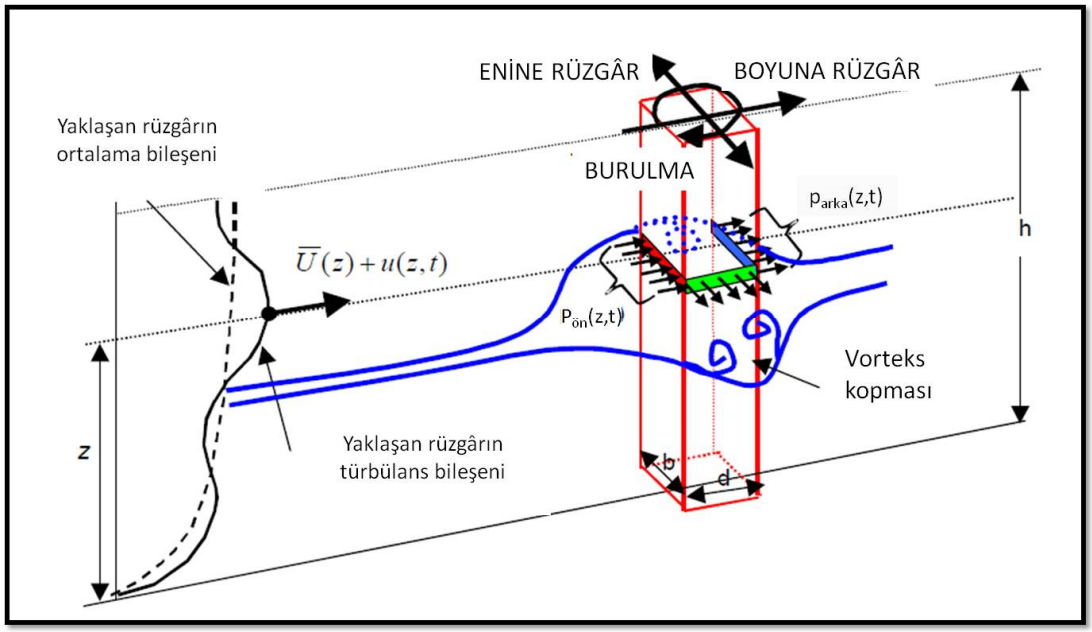


Şekil 4.6 : Türkiye Temel Rüzgâr Haritası – Renkli gösterim.

5. ÇOK KATLI YAPILARDA RÜZGÂR ETKİLERİNİN STOKASTİK OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1 Giriş

Rüzgâr etkisi altında, Şekil 5.1'de gösterildiği gibi çok katlı binalar aynı anda rüzgâr yönünde, rüzgâra dik yönde ve burulmalı yönde titreşerek salınım yaparlar. Birçok yüksek bina için rüzgâra dik yöndeki tepkinin hem kullanım hem de can güvenliği tasarımları açısından rüzgâr yönündeki tepkiyi aşabileceği kabul edilmiştir (Kareem, 1985). Bununla birlikte, gelişmiş rüzgâr yönetmelikleri sadece rüzgâr yönünde tepki için ayrıntılı hesaplamalar içermekte olup, rüzgâra dik yöndeki tepki ve burulma tepkisi ile ilgili çok az bilgi içermektedirler. Rüzgâra dik yöndeki ve burulma tepkileri, rüzgâr yönündeki tepkinin aksine, aerodinamik basınç dalgalanmalarının, vorteks titreşimlerinin ve girdap akımlarının sonucu olarak oluşmaktadır.



Şekil 5.1 : Rüzgâr etkisindeki binanın titreşim yönleri.

Yapıların dinamik boyuna rüzgâr davranışları hakkındaki araştırmalar sadece ilk titreşim modu dikkate alınarak, maksimum yerdeğiştirmeyi, boyutsuz sabit bir katsayı olan "Ani Rüzgâr Dinamik Faktörü" (ARDF) ile ortalama statik yerdeğiştirmenin

çarpımı olarak ifade etmiştir (Davenport 1967, Simiu 1976, Solari 1982). Bu çalışmalar ayrıca eşdeğer statik rüzgâr yükünü (ESRK) statik olarak yapıya uygulanan, maksimum yerdeğiştirme üreten kuvvet olarak tanımlamıştır. Bu kuvvet, ortalama statik kuvvet ile ARDF'nin çarpımıdır.

Daha ileri dönemlerdeki araştırmalar iki farklı çizgide gelişmiştir. İlki, yük davranış korelasyonu yöntemini Kasperski (1992), etki fonksiyonu tekniğini Davenport (1995), uygun boyuna ani rüzgâr etki faktörünü Zhou ve Kareem (2001a) ve yük kombinasyonu yöntemlerini Holmes (2002) kullanarak boyuna rüzgâr davranışına bağlı maksimum etkilerin değerlendirilmesini amaçlamıştır. İkincisi rüzgâr tüneli testlerinin sonuçlarını kullanarak Tamura ve diğ. (1996) ve Zhou ve diğ. (2003) veya sözde 3 boyutlu bir ARDF'ye dayanan, deneysel sonuçlar üzerinde kalibre edilmiş, basitleştirilmiş analitik yöntemleri geliştirerek Piccardo ve Solari (2000) boyuna rüzgâr tepkisinden rüzgâra dik doğrultuda ve burulma tepkilerini özgün ölçütlerinden genelleştirmiştir.

Girdi olarak aerodinamik taban eğilme momentini kullanarak ve doğrusal yapısal mod şekillerini kabul ederek, bir binanın rüzgâr etkisi altındaki davranışı, aerodinamik momentler ve genelleştirilmiş rüzgâr yükleri arasındaki özel ilişkiyi dikkate alarak rastgele titreşim kuramı kullanılarak hesaplanabilmektedir (Zhou ve diğ, 2001). Özellikle mod şekil düzeltmesi gereken durumlarda, sayısal olarak daha verimli olan, eşdeğer statik rüzgâr yüklerini ve tepkiyi değerlendirmek için geleneksel rüzgâr yüklerini kullanmak yerine bir taban eğilme momenti esaslı yöntem önerilmektedir (Zhou ve diğ. 2001). Bu yöntemle rüzgâra dik doğrultudaki davranış ve burulma davranışı uygun bir şekilde hesaplanabilmektedir (Zhou ve Kareem 2001b).

5.2 Aerodinamik yükleme veritabanına dayalı 3BARYF

Bu bölümde rüzgâr yönündeki davranış bir aerodinamik yükleme veritabanına dayalı üç doğrultudaki dinamik yük bileşenlerini kestirmede kullanılan, Zhou ve Kareem (2003) tarafından önerilen üç boyutlu ani rüzgâr yükleme faktörü (3BARYF) kavramı açıklanmaya çalışılmıştır.

Genel olarak yapılar yönetmeliklerde önerilen eşdeğer statik rüzgâr yüklerine (ESRK) ve/veya rüzgâr tüneli sonuçlarına dayanarak tasarlanmaktadır. Bina tasarım yönetmeliklerindeki ESRK, Davenport (1967) tarafından önerilen 'ani rüzgâr yükleme

faktörü' (ARYF) yaklaşımına dayalı olarak tahmin edilmektedir. ARYF yöntemine göre ESRK, ortalama rüzgâr kuvveti ile ARYF'nin çarpımına eşittir. Basitliği nedeniyle, ARYF yöntemi dünya çapında yaygın olarak kabul edilmiştir ve hemen hemen tüm gelişmiş ülkelerin yönetmeliklerde yerini almıştır. Birçok üstünlüğüne karşın, ARYF yönteminin nispeten uzun, çok katlı ve esnek yapılarda uygulanmasında bazı eksikliklere sahip olduğu kaydedilmiştir. Ani rüzgâr faktörü herhangi bir yük etkisi için tanımlanmış olmasına rağmen, aslında yerdeğiştirme tepkisine dayanmakta olup aslında aşırı ve ortalama yerdeğiştirme tepkisi arasındaki orandır. Yerdeğiştirme ani rüzgâr yükleme faktörü (YARYF) herhangi bir tepki bileşeninin hesabı için kullanılmaktadır. Türevde, sadece birinci moddaki türbülans ve ortalama yerdeğiştirme tepkileri yer aldığı için, YARYF, söz konusu yapı için sabit bir değerdir ve bu da yanlış tahminlere yol açabilmektedir. Sabit YARYF, en büyük ESRK'yi tahmin etmek için kullanıldığı zaman, ortalama rüzgâr yükü ile aynı dağılıma sahip bir ESRK elde edilmektedir. Bu, çok katlı, uzun ve esnek yapılar üzerindeki genel ESRK anlayışıyla çelişmektedir. Bu tip yapılar için, rezonans etkisi baskın bir tepkidir. Dolayısıyla, ESRK'nin dağılımı kütle dağılımı ve mod şekline bağlı olmalıdır. Zhou ve diğ. (1999a,b) YARYF yönteminin rüzgâr etkisindeki yapıların yerdeğiştirme büyüklerini doğru bir tahmin etmesine rağmen, taban kesme kuvveti gibi diğer tepkiler için çok doğru olmayan sonuçlar verdiğini belirtmektedirler.

Zhou ve Kareem (2001) tarafından önerilen yeni modelde, maksimum taban eğilme moment beklenen değeri, ortalama taban eğilme momenti ile moment ani rüzgâr yükleme faktörünün (MARYF) çarpımıyla hesaplanmaktadır. Taban eğilme momenti (TEM) daha sonra diğer katlara dağıtılmaktadır.

5.2.1 Yerdeğiştirme ani rüzgâr yükleme faktörü (YARYF)

Karşılaştırma ve bütünlük bakımından, geleneksel YARYF yaklaşımı aşağıdaki gibi kısaca özetlenmiştir. YARYF yaklaşımında, en büyük yük değeri $\hat{P}$, Denklem (5.1) ile elde edilmektedir.

$$\hat{P} = G * \bar{P}(z) \tag{5.1}$$

burada *G,* ani oluşan rüzgârların ve yapının dinamiklerini hesaba katan ani rüzgâr faktörü ve $\bar{P}(z)$ ise ortalama rüzgâr kuvvetidir.

YARYF yaklaşımında, G yerdeğiştirme tepkisi açısından değerlendirilmektedir ve Denklem (5.2)'de gösterilmiştir.

$$G_Y = \hat{Y}_z/\bar{Y}\,(z) \tag{5.2}$$

Burada G_Y YARYF; $\bar{Y}$ ortalama yerdeğiştirme ve $\hat{Y}$ beklenen maksimum yerdeğiştirme tepkisidir. Durağan bir işleyim için, G_Y Denklem (5.3) ile verilmektedir;

$$G_Y = 1 + g_Y\sigma_Y(z)/\bar{Y}(z) = 1 + 2g_Y I_H\sqrt{B+R} \tag{5.3}$$

Burada G_Y yerdeğiştirme pik faktörü; σ_Y ortalama karekök olarak (root mean square) yerdeğiştirmesinin standart sapması; B ve R sırasıyla arka plan ve rezonans tepki faktörleri; ve $I_H = \sigma_U/\bar{U}_H$ yapının tepesinde değerlendirilen türbülans şiddetidir. Ortalama rüzgâr yükü Denklem (5.4) ile verilmektedir (Kareem ve Zhou, 2003).

$$\bar{P}z = 1/2\,\rho C_D W\bar{U}_H^2(z/H)^{2\alpha} \tag{5.4}$$

Burada ρ hava özgül kütlesi; C_D sürükleme katsayısı; W rüzgâra dik yöndeki yapının genişliği; $\bar{U}(z) = \bar{U}_H(z/H)^{\alpha}$ yerden z yüksekliğindeki ortalama rüzgâr hızı, $\bar{U}_H$ yapının tepe yüksekliği H'deki ortalama rüzgâr hızı; ve α ortalama rüzgâr hızı profilinin üssüdür.

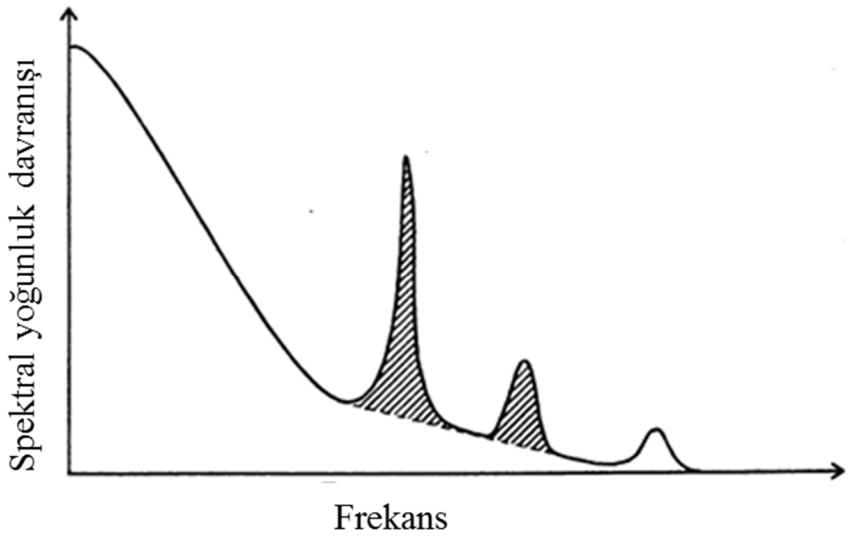
Alternatif olarak, Denklem (5.3) ASCE 7 (2000)' de belirtildiği gibi arka plan ve rezonans tepki ile ilişkili pik faktörler cinsinden Denklem (5.5)'te gösterildiği gibi ifade edilebilmektedir.

$$G_Y = 1 + 2I_H\sqrt{g_u^2\,.B + g_R^2\,.R} \tag{5.5}$$

Denklem (5.5)'te, g_u rüzgâr hızı pik faktörü; g_R rezonans pik faktörü olup $g_R = \sqrt{2\ln(f_1T)} + 0.5772/\sqrt{2\ln(f_1T)}$ için T gözlem süresi ve f_1 birinci modun doğal frekansıdır. S'nin boyut azaltma faktörü ve E'nin ani rüzgâr enerji faktörü ve ξ birinci modun kritik sönüm oranı olduğunda $R = SE/\xi$'dir.

Rüzgâr Mühendisliğinde arka plan rüzgârı, rezonans bölgesi dışında (yani analiz edilen sistemin titreşiminin doğal frekansı ile örtüşen spektral bölge) oluşum frekansına sahip tüm ani rüzgârları içermektedir. Dolayısıyla, dinamik rüzgâr bileşeni arkaplan ve rezonans rüzgâr bileşenlerinden oluşmaktadır (Şekil 5.2). Tüm yapılar

rezonans frekansın dışında değişken yükleri deneyimleyeceklerdir (arkaplan davranışı). Sönümleme yeterince yüksekse, belirgin bir rezonans davranışı oluşmayabilir.



Şekil 5.2 : Rüzgârın spektral davranışı (J.D. Holmes, 2012).

Denklem (5.5), ortalama, arka plan ve rezonans bileşenleri cinsinden Denklem (5.6)'daki gibi yeniden yazılabilinmektedir

$$G_Y = 1 + \sqrt{G_{YB}^2 + G_{YR}^2} \tag{5.6}$$

Burada G_{YB} ve G_{YR} sırasıyla YARYF'nin arka plan ve rezonans bileşenleridir.

Denklem (5.7)'de verilen genellikle ortalama yerdeğiştirme $\bar{Y}(z)$, birinci mod ile edilen ortalama yerdeğiştirme ile doğru bir şekilde tahmin edilebilmektedir.

$$\overline{Y}(z) = [\bar{P}_1^*/k_1^*] \,.\, \varphi_1(z) \tag{5.7}$$

Burada $\bar{P}_1^* = \int_0^H \bar{P}(z)\varphi_1(z)dz$ birinci modun genelleştirilmiş yükü, $k_1^* = (2\pi f_1)^2 m_1^*$ birinci modun rijitliği ve $m_1^* = \int_0^H m(z)\varphi_1^2(z)dz$ kütlesidir; temel mod şekli Denklem (5.8) ile yaklaşık olarak bulunabilmektedir.

$$\varphi_1(z) = c(z/H)^{\beta} \tag{5.8}$$

Denklem (5.8)'de c ve β sabitlerdir ve kütlenin aşağıdaki denklemde gösterildiği gibi doğrusal olarak yayıldığı kabul edilmektedir.

$$m(z) = m_0(1 - \lambda(z/H)) \quad \textbf{(5.9)}$$

Burada λ kütle azaltma faktörü, m_0 kütledir.

Türbülanstan kaynaklanan yerdeğiştirme birinci moddaki gibi Denklem (5.10) ile yaklaşık olarak bulunabilinmektedir.

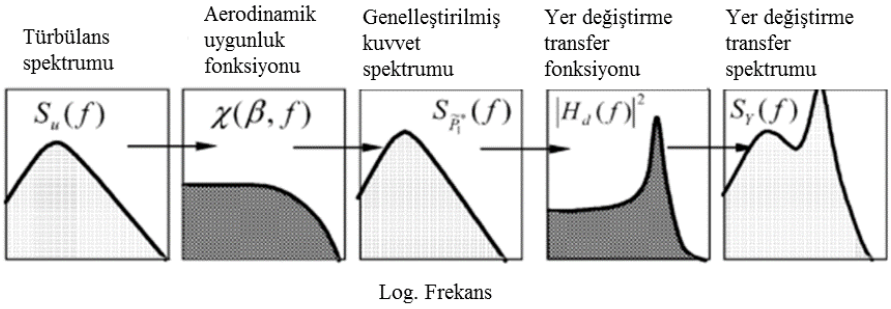
$$\sigma_Y z = \left[\int_0^\infty S_{\xi_1}(f)df\right]^{1/2} . \varphi_1(z) \quad \textbf{(5.10)}$$

Burada $S_{\xi_1}(f)$ türbülansa ait genelleştirilmiş yerdeğiştirmenin güç spektrum yoğunluk fonksiyonudur ve Şekil 5.3'te gösterildiği gibi Zhou ve Kareem (2001) tarafından belirlenmiş yaklaşım izlenerek Denklem (5.11)'deki gibi hesaplanabilinmektedir

$$S_{\xi_1}(f) = \int_0^\infty S_u(f) \,.\, \chi(\beta, f) \,.\, |H_d(f)|^2 df \quad \textbf{(5.11)}$$

Burada $S_u(f)$ türbülans rüzgâr hızının güç spektrum yoğunluk fonksiyonu; χ ise ortaya çıkan türbülans rüzgâr kuvvetinin güç spektrum yoğunluk fonksiyonu ($S_{\bar{P}_1^x}(f)$) ile rüzgâr hızı güç spektrum yoğunluk fonksiyonunu ilişkilendiren aerodinamik uygunluk (aerodynamic admittance) fonksiyonudur. Rüzgârdan dolayı yapının ön ve arka yüzeylerindeki rüzgâr basınçları arasındaki ilişki göz ardı edilirse Denklem (5.12)'deki ilişki elde edilebilinmektedir:

$$S_{\bar{P}_1^x}(f) = \chi(\beta, f) \,.\, S_u(f) \quad \textbf{(5.12)}$$



Şekil 5.3 : Yerdeğiştirme ani rüzgâr yükleme faktörü modeli (Zhou ve Kareem, 2001).

Denklem (5.12)'de

$$\chi(\beta,f) = \frac{(\rho C_D W H \bar{U}_H)^2}{(1+\alpha+\beta)^2} \cdot |J_X(f)|^2 \cdot |J_Z(\alpha,\beta,f)|^2 \tag{5.13}$$

ve

$$|J_X(f)|^2 = \frac{1}{W^2}\int_0^W \int_0^W R_X(x_1,x_2,f)dx_1,dx_2 \tag{5.14}$$

$$|J_z(\alpha,\beta,f)|^2 = \frac{(1+\alpha+\beta)^2}{H^2}\int_0^H \int_0^H \left(\frac{Z_1}{H}\right)^{\alpha+\beta}\left(\frac{Z_2}{H}\right)^{\alpha+\beta} R_Z(z_1,z_2,f)dz_1dz_2 \tag{5.15}$$

$|J_X(f)|^2$ ve $|J_z(\alpha,\beta,f)|^2$ sırasıyla yatay ve düşey yönlerdeki ortak uygunluk fonksiyonları (joint acceptance functions) $R_X(x_1,x_2,f) = \exp(-(C_x f/\bar{U}(h)|x_1-x_2|)$ ve $R_Z(z_1,z_2,f) = \exp(-(C_z f/\bar{U}(h)|z_1-z_2|)$ sırasıyla türbülans rüzgâr basınçlarının yatay ve düşey uyumluluk fonksiyonları(coherence functions); C_x; C_z üstel azalım katsayıları(exponential decay coefficients); ve h referans yüksekliğidir. Aerodinamik uygunluk fonksiyonunun sadece türbülans özelliklerinin bir fonksiyonu değil, aynı zamanda mod şeklinin de bir fonksiyonu olduğu dikkate alınmalıdır. İlk mod yerdeğiştirme tepkisi için mekanik uygunluk fonksiyonu Denklem (5.16)'da verilmektedir.

$$|H_d(f)|^2 = |H_1(f)|^2/k_1^{*2} \tag{5.16}$$

burada

$$|H_1(f)|^2 = \frac{1}{[1-(f/f_1)^2]^2 + (2\xi f/f_1)^2} \tag{5.17}$$

Denklem (5.3) ve Denklem (5.10)'u kullanarak, YARYF'nin türbülans bileşeni YARYF'nin kütleden bağımsız olduğunu gösteren Denklem (5.18) ile hesaplanabilinmektedir.

$$\sigma_Y(z)/\bar{Y}(z) = \left(\int_0^\infty S_{\bar{P}_1^*}(f)|H_1(f)|^2 df\right)^{1/2} \Big/ \bar{P}_1^* \tag{5.18}$$

Mühendislik hesaplamalarını kolaylaştırmak için Denklem (5.18), genellikle arka plan ve rezonans kısımlarına ayrıştırılmaktadır. YARYF'nin arka plan ve rezonans bileşenleri sırasıyla Denklem (5.19) ve Denklem (5.20) ile ifade edilebilinmektedir

$$G_{YB} = 2g_u I_H \sqrt{B} \tag{5.19}$$

$$G_{YR} = 2g_R I_H \sqrt{R} \tag{5.20}$$

Burada $B = \int_0^\infty \kappa(\beta, f) S_u^*(f) df$ ve $R = SE/\xi$ sırasıyla arka plan ve rezonans faktörleridir; aerodinamik uygunluk fonksiyonunu sağlayan $\kappa(\beta, f) = ((2 + 2\alpha)/1 + \alpha + \beta))^2 . |J_X(f)|^2 |J_Z(\alpha, \beta, f)|^2$; $S = \kappa(\beta, f_1)$ boyut azaltma faktörü; $E = (\pi f_1/4) S_u^*(f_1)$ ani rüzgâr enerji faktörü ;$S_u^*(f)$ normalleştirilmiş rüzgâr hızı spektrumu ve $I_H = \sigma_u/\overline{U}_H$ yapının tepesinde değerlendirilen türbülans şiddetidir. Bir çok yönetmelik doğrusal mod şekli varsayımını, veya β=1'i kullanmaktadır. Bu durumda YARYF bileşenleri aşağıdaki gibidir.

$$G_{YB} = 2g_u I_H \left(\frac{2 + 2\alpha}{2 + \alpha}\right) \sqrt{\int_0^\infty |J_X(f)|^2 |J_z(\alpha, 1, f)|^2 S_u^*(f) df} \tag{5.21}$$

$$G_{YR} = 2g_R I_H \left(\frac{2 + 2\alpha}{2 + \alpha}\right) \sqrt{|J_X(f_1)|^2 |J_z(\alpha, 1, f_1)|^2 \, . \, \frac{\pi f_1}{4\xi} S_u^*(f_1)} \tag{5.22}$$

5.2.2 Taban momenti ilişkili ani rüzgâr yükleme faktörü (MARYF)

Geleneksel YARYF yaklaşımının aksine, yeni yöntem Denklem (5.23)'te tanımlanan TEM –ilişkili ARYF (MARYF)'yi kullanmaktadır.

$$G_M = \widehat{\boldsymbol{M}}/\overline{M} \tag{5.23}$$

burada G_M MARYF; $\overline{M}$ ortalama TEM ve $\widehat{\boldsymbol{M}}$ en büyük TEM beklenen değeridir. YARYF'nin hesabına benzer şekilde, durağan bir Gauss süreci dikkate alındığında, MARYF Denklem (5.24) ile hesaplanabilinmektedir.

$$G_M = 1 + g_M \sigma_{\widetilde{M}}/\overline{M} \tag{5.24}$$

Burada g_M pik faktörü; ve $\sigma_{\widetilde{M}}$ ortalamanın karekökü TEM değeridir.

TEM büyüklüğü türbülans – yapı etkileşiminin etkilerini içermektedir ve bu da Denklem (5.25)'teki yapısal hareketin, birinci mod genelleştirilmiş denklemleri tarafından elde edilmektedir:

$$m_1^*\ddot{\xi}_1(t) + c_1^*\dot{\xi}_1(t) + k_1^*\xi_1(t) = \tilde{P}_1^*(t) \quad \textbf{(5.25)}$$

Burada $m_1^*, c_1^*, k_1^*, \tilde{P}_1^*$ ve ξ_1sırasıyla birinci moddaki genelleştirilmiş kütle, sönüm, rijitlik, yük ve yerdeğiştirmedir. Buna göre, genelleştirilmiş rüzgâr yükü $k_1^*\xi_1(t)$, genelleştirilmiş yerdeğiştirme açısından elde edilebilinmektedir.

Genelleştirilmiş eşdeğer statik rüzgâr yükünün güç spektral yoğunluk fonksiyonu Denklem (5.26) ile verilmektedir.

$$S_{\tilde{P}_1^*}(f) = k_1^{*2} S_{\xi_1}(f) = S_{\tilde{P}_1^*}(f)|H_1(f)|^2 \quad \textbf{(5.26)}$$

$\widetilde{\boldsymbol{P}}_1^*$ genelleştirilmiş eşdeğer statik rüzgâr yükü olup $\widetilde{\boldsymbol{P}}_1^*(t) = \int_0^H \widetilde{\boldsymbol{P}}(z,t)\varphi_1(z)dz$ ve integral içindeki $\widetilde{\boldsymbol{P}}(z,t)$ ESRK'dir. Dış yüklerde kullanılan sembollerin burada ESRK ve birleşimlerinde kullanıldığına ve onları dış yüklerden ayırt etmek için kalın siyah harfler ile yazıldığına dikkat edilmelidir. ESRK, $\widetilde{\boldsymbol{P}}(z,t)$ binanın yüksekliği boyunca dağıtılmaktadır. Bir aerodinamik model, dışarıdan uygulanan, veya aerodinamik rüzgâr yükünü ölçmede kullanılan rüzgâr tüneli modeli olarak tanımlanmaktadır. Bu modelde, rüzgâr hızı, yoğunluk, rijitlik ve sönüm gibi çeşitli değerler için, prototipin dinamik davranışı aşağıda açıklandığı şekilde kolaylıkla hesaplanabilinmektedir.

Doğrusal bir mod şekli için, Denklem (5.27) ve Denklem (5.28)'deki bağıntılar hem dışarıdan uygulanan hem de ESRK için geçerlidir:

$$\tilde{P}_1^* = \widetilde{M}/H \quad \textbf{(5.27)}$$

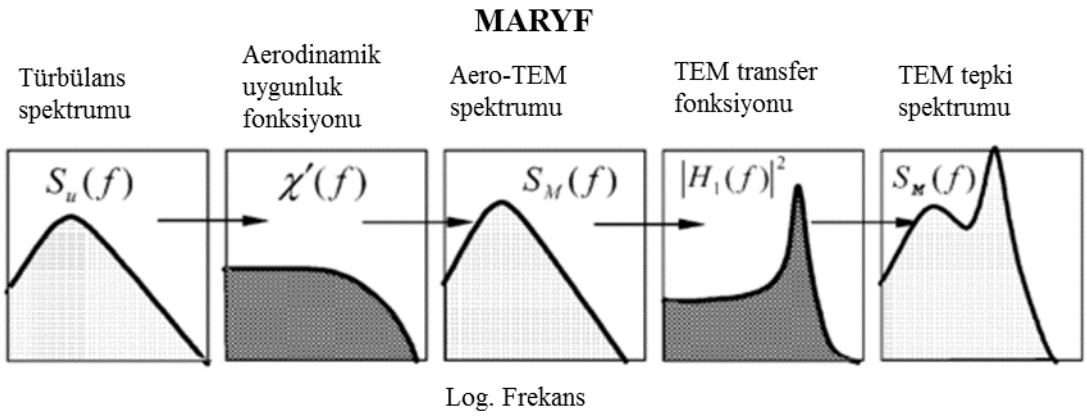
$$\widetilde{\boldsymbol{P}}_1^* = \widetilde{\boldsymbol{M}}/H \quad \textbf{(5.28)}$$

burada $\widetilde{M}$ TEM'in aerodinamik ve $\widetilde{\boldsymbol{M}}$ ise TEM'in tetiklenen dalga bileşenleridir. Eşdeğer – statik / tetiklenmiş ve aerodinamik /dışarıdan uygulanan rüzgâr yükleri arasında ayrım yapmak önemlidir. Denklem (5.27) ve Denklem (5.28) Denklem(5.26)'daki ifade kullanılarak Denklem (5.29)'daki gibi yazılabilir.

$$S_{\widetilde{\boldsymbol{M}}}(f) = S_{\widetilde{M}}(f)|H_1(f)|^2 \quad \textbf{(5.29)}$$

Denklem (5.29) Şekil 5.4'te vurgulandığı gibi ESRK'nin uygun değerlendirmesini kolaylaştıran, aerodinamik yük ile rüzgâr yükü etkileri arasındaki ilişkinin çok kısa ama öz bir tanımını vermektedir. Ayrıca geleneksel formülasyonda, aerodinamik

uygunluk fonksiyonunun teorik açıdan tespit edilmesi zordur ve bu nedenle tepkilerin tahmin edilmesinde önemli değişikliklere yol açmıştır (Zhou ve Kareem, 2002; Lee ve Ng, 1988). Şekil 5.2'de gösterilen şemada, aerodinamik uygunluk fonksiyonu giriş türbülansı ile genelleştirilmiş rüzgâr yükü arasındaki transfer fonksiyonudur. Aerodinamik uygunluk fonksiyonu Denklem (5.13)-(5.15)'te gösterildiği gibi mod şeklinin bir fonksiyonu olmaktadır. Bu teorik formülasyonun deneysel ölçümlerle doğrulanmasını zorlaştırmaktadır. Yeni formülasyonda, aerodinamik uygunluk fonksiyonu giriş türbülansı ile TEM arasındaki ilişkiyi açıklamaktadır ve yüksek frekanslı taban dengelemesi kullanılarak tespit edilebilmektedir. Bu nedenle, mevcut aerodinamik rüzgâr yükü verisi modelin doğruluğunu geliştirmek için yardımcı olmak üzere kullanılabilmektedir. Ek verilerin mevcut olması durumunda bu modele dayalı tahminler daha da geliştirebilmektedir (Zhou ve Kareem, 2002; Zhou ve diğ, 2003).



Şekil 5.4 : Taban momenti ilişkili ani rüzgâr yükleme faktörü modeli (Zhou ve Kareem, 2001).

Denklem (5.29)'u aşağıdaki boyutsuz formda yeniden yazarak:

$$\sigma_{\widetilde{M}}/\widetilde{M} = \left(\int_0^\infty S_{\widetilde{M}}(f)|H_1(f)|^2 df\right)^{1/2} \Big/ \overline{M} \qquad \textbf{(5.30)}$$

Denklem (5.30)'u Denklem (5.24)'ün içerisine yerleştirerek ve bazı matematiksel işlemlerden sonra, taban momenti ilişkili rüzgâr yükleme faktörü (MARYF) Denklem (5.31)'deki şekilde elde edilmektedir.

$$G_M = 1 + 2I_H\sqrt{g_u^2\boldsymbol{B} + g_R^2\boldsymbol{R}} = 1 + \sqrt{G_{MB}^2 + G_{MR}^2} \qquad \textbf{(5.31)}$$

Burada $G_{MB} = 2I_H g_u \sqrt{\boldsymbol{B}}$ MARYF'nin arka plan bileşeni ve $G_{MR} = 2I_H g_R \sqrt{\boldsymbol{R}}$ MARYF'nin rezonans bileşenleridir. $\boldsymbol{B}$ arka plan, $\boldsymbol{R}$ rezonans faktörleridir. B ve R Denklem (5.20) ile elde edilebilmektedir.

MARYF'nin yönetmelik uygulamaları için, $\boldsymbol{B}$ ve $\boldsymbol{R}$ YARYF'de kullanılanlar gibi grafikler veya kapalı formda ifadeler ile verilmektedir. Bununla beraber, daha sonra açıklandığı gibi, YARYF ve MARYF arasında basit ilişkiyi kullanarak, MARYF'yi elde etmekte kolaylık sağlamaktadır.

Bina üzerindeki ortalama TEM, Denklem (5.32) ile aşağıdaki denklemle verilmektedir.

$$\bar{M} = \int_0^H \bar{P}(z) z dz = \frac{0.5\, \rho C_D W U_H^2 H^2}{2 + 2\alpha} \tag{5.32}$$

Türbülanstan kaynaklanan TEM tepkisi, yerdeğiştirme tepkisi gibi, arka plan ve rezonans bileşenleri açısından değerlendirilmektedir.

Arka plan taban momenti Denklem (5.33)'te verildiği şekilde, etki katsayısı fonksiyonunu *i(z)=z* kullanılarak Davenport (1995)'deki bağıntısı ile elde edilebilinmektedir.

$$\widehat{\boldsymbol{M}}_B = {}^{g_u}\sqrt{\int_0^\infty \int_0^H \int_0^H \int_0^W \int_0^W (\rho C_D W \bar{U}_H)^2 \left(\frac{z_1}{H}\right)^\alpha \left(\frac{z_2}{H}\right)^\alpha R_Z(f) R_X(f) S_u(f) z_1 z_2 dx_1 dx_2 dz_1 dz_2 df}$$

$$= g_u \frac{I_H \rho \bar{U}_H^2 C_D W H^2}{2 + \alpha} \sqrt{\int_0^\infty S_u^*(f) |J_X(f)|^2 |J_Z(\alpha, 1, f)|^2 df} \tag{5.33}$$

Boyutsuz bir biçimde ifade edildiği zaman, MARYF'nin arka plan bileşeni Denklem (5.34)'deki gibi olmaktadır.

$$G_{MB} = \frac{\widehat{\boldsymbol{M}}_B}{\bar{M}} = 2 g_u I_H \frac{2 + 2\alpha}{2 + \alpha} . \sqrt{\int_0^\infty S_u^*(f) |J_X(f)|^2 |J_Z(\alpha, 1, f)|^2 df} \tag{5.34}$$

Denklem (5.33)'te bir etki fonksiyonu kullanıldığı için, daha üst modların etkisi otomatik olarak dâhil edilmiştir.

Diğer taraftan, rezonans bileşeni için, eşdeğer statik rüzgâr yükü atalet kuvvetine eşittir. Rüzgârla etkisindeki bir yapının, sadece birinci moddaki rezonans tepkinin katkısı sıklıkla dikkate alınmaktadır. Denklem (5.8) - (5.13)'ü kullanarak, doğrusal

olmayan bir mod şekli ve düzensiz bir kütle dağılımı göz önüne alınarak, birinci moddaki en büyük rezonans yerdeğiştirmesi Denklem (5.35) ile verilmektedir.

$$\hat{Y}_R(z) = g_R \frac{(I_H \rho \overline{U}_H^2 C_D W)}{(2\pi f_1)^2 m_0} \frac{(1+2\beta)(2+2\beta)}{(1+\alpha+\beta)[(2+2\beta)-\lambda(1+2\beta)]}$$

$$x \sqrt{|J_X(f_1)^2 . |J_Z(\alpha,\beta,f_1)|^2 . \frac{\pi f_1}{4\xi} S_u^*(f_1) . (\frac{z}{H})^\beta} \qquad \textbf{(5.35)}$$

Yükseklik boyunca yerdeğiştirmenin, mod şeklini izlediği dikkate alınmalıdır. Karşılık gelen ESRK, Denklem (5.36) ile verilmektedir.

$$\widehat{\boldsymbol{P}}_R(z) = (2\pi f_1)^2 m(z) \hat{Y}_R(z)$$

$$= (g_R I_H \rho \overline{U}_H^2 C_D W) \frac{(1+2\beta)(2+2\beta)}{(1+\alpha+\beta)[(2+2\beta)-\lambda(1+2\beta)]}$$

$$x \sqrt{|J_X(f_1)^2 . |J_Z(\alpha,\beta,f_1)|^2 . \frac{\pi f_1}{4\xi} S_u^*(f_1) . (1-\lambda\frac{z}{H})(\frac{z}{H})^\beta} \qquad \textbf{(5.36)}$$

ESRK dağılımı, mod şekli ve kütle dağılımı ile ilgilidir. Denklem (5.20) ‘deki yük etkisindeki TEM Denklem (5.37) ile elde edilebilmektedir.

$$\widehat{\boldsymbol{M}}_R = \int_0^H \widehat{\boldsymbol{P}}_R(z) z dz (g_R I_H \rho\, \overline{U}_H^2 C_D W H^2) \frac{(1+2\beta)(2+2\beta)}{(1+\alpha+\beta)[(2+2\beta)-\lambda(1+2\beta)]}$$

$$x \frac{[(3+\beta)-\lambda(2+\beta)]}{(3+\beta)(2+\beta)} \sqrt{|J_X(f_1)|^2 . |J_Z(\alpha,\beta,f_1)|^2 . \frac{\pi f_1}{4\xi} S_u^*(f_1)} \qquad \textbf{(5.37)}$$

Boyutsuz bir biçimde yeniden yazarak, MARYF’nin rezonans bileşeni Denklem (5.38)’de verilmektedir.

$$G_{MR} = \frac{\widehat{\boldsymbol{M}}_R}{\overline{M}} = 2 g_R I_H \frac{(1+2\beta)(2+2\beta)(2+2\alpha)}{(1+\alpha+\beta)[(2+2\beta)-\lambda(1+2\beta)]} \frac{[(3+\beta)-\lambda(2+\beta)]}{(3+\beta)(2+\beta)}$$

$$x \sqrt{|J_X(f_1)|^2 . |J_Z(\alpha,\beta,f_1)|^2 . \frac{\pi f_1}{4\xi} S_u^*(f_1)} \qquad \textbf{(5.38)}$$

5.2.3 MARYF ve YARYF arasındaki ilişki

Denklem (5.30) ve Denklem (5.18) arasında karşılaştırma yapılarak ve Denklem (5.27) ve Denklem (5.28)’de verilen ilişkiler kullanılarak Denklem (5.39) elde edilir.

$$\sigma_{\bar{M}}/\bar{M} = \sigma_Y/\bar{Y} \tag{5.39}$$

Denklem (5.39)'u Denklem (5.3) ve Denklem (5.24)'te yerleştirmek çok anlamlı bir ilişki sağlamaktadır.

$$G_{\boldsymbol{M}} = G_Y \tag{5.40}$$

Denklem (5.40), MARYF'nin sayısal olarak geleneksel YARYF'ye eşit olduğu anlamına gelmektedir ve bu da doğrusal mod şekilleri olan yapılar için güncel yönetmeliklerde belirtilmiştir.

Bununla birlikte, Denklem (5.40)'ta verilen eşitlik doğrusal bir mod şekli için geçerlidir. Doğrusal olmayan bir mod şeklinin MARYF ile YARYF arasındaki ilişki üzerindeki etkisi aşağıdaki bölümde incelenmektedir.

MARYF'nin arka plan bileşeni, YARYF'nin arka plan bileşenini açıklayan Denklem (5.21) ile aynı olan Denklem (5.34) ile verilmiştir. Bu sonuç da Denklem (5.40) ile tutarlılık göstermektedir. Arka plan tepkisi $|H_1(f)| = 1$ için arka plan TEM bileşeni, Denklem (5.26)'da belirtilen yapısal ve türbülans özelliklerine bakılmaksızın aerodinamik taban momentidir. Bununla birlikte, MARYF ve YARYF'nin rezonans bileşenleri arasındaki benzer bir ilişki böylesine açık değildir.

Ancak, Denklem (5.22) ve Denklem (5.38) kullanılarak, MARYF ve YARYF yaklaşımlarının rezonans bileşenlerini ilişkilendirmek için bir sapma faktörü tanımlanmış ve Denklem (5.41)'de gösterilmiştir.

$$\eta_R = \frac{G_{MR}}{G_{YR}} = \frac{(1+2\beta)(2+2\beta)(2+2\alpha)}{(1+\alpha+\beta)[(2+2\beta)-\lambda(1+2\beta)]}$$

$$x\,\frac{[(3+\beta)-\lambda(2+\beta)]}{(3+\beta)(2+\beta)}.\sqrt{\frac{|J_Z(\alpha,\beta,f_1)|^2}{|J_Z(\alpha,1,f_1)|^2}} \tag{5.41}$$

Denklem (5.41)'de α rüzgâr hızı profili üssü; β Denklem (5.8)'deki mod şekli üssü; λ Denklem (5.9)'da belirtilen kütle azaltma parametresidir ve J_Z daha önceden Denklem (5.15)'te tanımlanmıştır. Daha önce belirtildiği gibi, doğrusal mod şekli için $\eta_R = 1$ olmaktadır.

Diğer yandan, yapının mod şekli doğrusal olmadığı zaman, rezonans sapma faktörü hem yapısal hem de türbülans özelliklerine bağlı olmakla beraber yapısal ve türbülans

özelliklerindeki değişikliklere karşı çok fazla duyarlı değildir. Diğer bir deyişle, yapısal ve türbülans özelliklerin geniş bir aralığı için, rezonans MARYF bileşeni rezonans YARYF bileşeni ile tahmin edilebilmektedir.

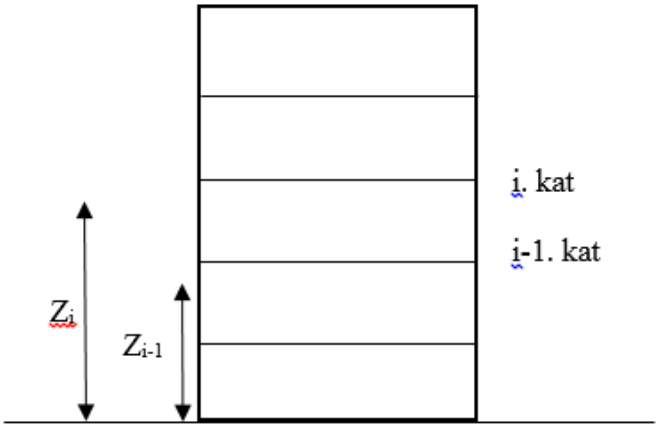
5.2.4 Tasarım yöntemi

Tasarım uygulamaları için, MARYF'yi kullanarak ESRK'yi tahmin etmek için basitleştirilmiş bir yöntem sunulmaktadır.

Adım 1: Denklem (5.42)'deki gibi her kattaki ortalama rüzgâr kuvveti hesaplanır.

$$\bar{P}_i = (\frac{1}{2}\rho\bar{U}_H^2(Z_i/H)^{2\alpha})C_D(W.\Delta H_i) \qquad \textbf{(5.42)}$$

Burada Z_i zemin üzerindeki i'inci katın yüksekliğidir ve $\Delta H_i = Z_i - Z_{i-1}$ olarak Şekil 5.5'te gösterilmektedir.



Şekil 5.5 : i'inci kat yüksekliği.

Adım 2: Ortalama taban eğilme momenti (TEM) değeri Denklem (5.43)'teki gibi hesaplanır. *N* yapıdaki kat sayısıdır.

$$\bar{M} = \sum_{i=1}^{N} \bar{P}_i Z_i \qquad \textbf{(5.43)}$$

Adım 3: Herhangi güncel bir rüzgâr yönetmeliği izlenerek, *B; S* ve *E* elde edilir ve doğrusal bir mod şekli kullanarak Denklem (5.44), Denklem (5.45) ve Denklem (5.46)'da gösterildiği şekilde YARYF hesaplanır.

$$G_{MB} = G_{YB} = 2g_u I_H \sqrt{B} \qquad \textbf{(5.44)}$$

$$G_{MR} = G_{YR} = 2g_R I_H \sqrt{SE/\xi} \quad \textbf{(5.45)}$$

$$G_M = 1 + \sqrt{G_{MB}^2 + G_{MR}^2} \quad \textbf{(5.46)}$$

Adım 4: Denklem (5.47)'de ifade edildiği şekilde en büyük rezonans TEM bileşeni hesaplanır.

$$\widehat{\boldsymbol{M}}_R = G_{MR}\bar{M} \quad \textbf{(5.47)}$$

Adım 5: Her kattaki en büyük ESRK hesaplanır. Rezonans bileşen, Denklem (5.48)'e göre, en büyük TEM'nin her kata dağıtılmasıyla elde edilir.

$$\widehat{\boldsymbol{P}}_{Ri} = \frac{m_i \varphi_i}{\sum m_i \varphi_i Z_i} \widehat{\boldsymbol{M}}_R \quad \textbf{(5.48)}$$

Burada $\varphi_i = \varphi_1(Z_i)$'dir. Arka plan ESRK'nin dağılımın genellikle söz konusu tepki bileşenine bağlıdır (Zhou ve diğ, 2000).

$$\widehat{\boldsymbol{P}}_{Bi} = G_{MB}\bar{P}_i \quad \textbf{(5.49)}$$

Adım 6: Basit bir statik çözümleme yoluyla söz konusu aşırı tepkiler tahmin edilir.

Örneğin, en büyük yerdeğiştirme tepkisi Denklem (5.50) ile basitçe hesaplanabilmektedir.

$$\hat{Y}_i = G_M \bar{Y}_i \quad \textbf{(5.50)}$$

Her bir kat seviyesindeki ivme Denklem (5.51) ile verilmektedir.

$$\hat{a}_i = G_{MR} \,.\, \bar{Y}_i \,.\, (2\pi f_1)^2 \quad \textbf{(5.51)}$$

Hem rezonans hem de arka plandan gelen etkileri içeren taban kesme kuvveti gibi diğer tepki bileşenleri için, sonuç değeri bir SRSS kombinasyonu kuralı kullanılarak Denklem (5.52)'de gösterildiği gibi elde edilebilinmektedir

$$\hat{r} = \bar{r} + \sqrt{(\hat{r}_B)^2 + (\hat{r}_R)^2} \quad \textbf{(5.52)}$$

Burada $\bar{r}, \hat{r}_B$ ve $\hat{r}_R$ yukarıdaki ESRK bileşenlerini ayrı ayrı kullanarak statik çözümlemeden elde edilen ortalama, arka plan ve rezonans bileşenleridir.

5.2.5 Üç boyutlu ani rüzgâr yükleme faktörleri (3BARYF)

Bu bölümde, rüzgâr etkisindeki binanın rüzgâr yönünde, rüzgâra dik yönde ve burulma dinamik yük bileşenlerini tahmin etmek için üç boyutlu ani rüzgâr yükleme faktörleri (3BARYF) kavramı incelenmiştir (Zhou ve Kareem, 2002). Yüksek rüzgâr hızlarının etkisindeki çok katlı binalar aynı anda bu üç doğrultuda titreşirler. Çok katlı binalar için birçok durumda, rüzgâra dik ve burulma doğrultularındaki titreşimler hem kullanılabilirlik (serviceability) hem de can güvenliği (survivability) tasarımları için boyuna yöndeki titreşimler kadar önemli olabilmektedir. Bununla birlikte, rüzgâr yönetmelikleri sadece boyuna rüzgâr davranışı için olan yöntemler üzerine odaklanırlar ve diğer iki yön için çok az bilgi sağlarlar (Kijewski ve Kareem, 1998; Zhou ve diğ, 1998; Kareem, 1985).

Bu bölüm genel olarak boyuna rüzgâr tepkileri için kullanılmış olan ‘‘ARYF’’ için belirlenen biçime göre enine ve burulma etkisi oluşturan rüzgâr yükü etkilerinin formülasyonu için bir yapı sağlamaktadır.

Önerilen 3BARYF, Denklem (5.53)’te gösterilen TEM’ne dayalı yeni bir MARYF kavramının bir uzantısıdır.

$$G = \widehat{\boldsymbol{M}}/\overline{M}' \qquad \textbf{(5.53)}$$

Bu denklemde *G* ARYF; $\overline{M}'$ referans ortalama TEM değeridir. Ortalama TEM değeri, salınım ve burulma modları için sırasıyla Denklem (5.54) ve Denklem (5.55) yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$\overline{M}'_{D,L} = \int_0^H \overline{P}(z).zdz \qquad \textbf{(5.54)}$$

$$\overline{M}'_T = \int_0^H \overline{P}(z).(0.04B)dz \qquad \textbf{(5.55)}$$

Burada $\overline{P}(z)$ yerden z yüksekliğindeki ortalama boyuna rüzgâr yükü, *H* ve *B* sırasıyla bina yüksekliği ve rüzgâr yönündeki genişliğidir. Alt simgeler D, L ve T sırasıyla rüzgâr doğrultusundaki, rüzgâra dik doğrultudaki ve burulma yönlerini temsil etmektedirler. Boyuna rüzgârın Denklem (5.54)’teki referans ortalama taban momenti ve Denklem (5.55)’teki burulma momenti gerçek ortalama taban momentleri değildir. Genellikle, çoğu simetrik binalar için, rüzgâra dik ve burulma yönündeki ortalama

taban momentleri çok küçüktür. Kolaylık sağlamak için, rüzgâra dik doğrultudaki referans ortalama momenti, boyuna rüzgârın ortalama taban momentine eşit olarak belirlenmektedir. $\widehat{\boldsymbol{M}}$ pik TEM tepkisidir ve Denklem (5.56)'da gösterilmiştir.

$$\widehat{\boldsymbol{M}} = \bar{M} + g.\sigma_M \tag{5.56}$$

burada $\bar{M}$ ortalama TEM; g genel olarak 3~4 civarında olan pik faktördür. $\sigma_M = \left(\int_0^\infty S_M(f)df\right)^{1/2}$ ise TEM'nin ortalama kareköküdür. Burada $S_M(f)$ türbülans taban momentinin güç spektrum yoğunluk fonksiyonudur. Denklem (5.57)'de gösterildiği gibi türbülanstan kaynaklanan tepkiyi ikiye paylaştırmak genel bir uygulama olmuştur.

$$\sigma_M = \sqrt{\sigma_M^2 B + \sigma_M^2 R} \tag{5.57}$$

Burada σ_{MB} ve σ_{MR} sırasıyla TEM'nin arka plan veya rezonans bileşenleridir. Böylece 3BARYF, Denklem (5.58)'deki gibi ifade edilebilinmektedir

$$G = \bar{G} + \sqrt{G_B^2 + G_R^2} \tag{5.58}$$

Burada $\bar{G}, G_B$ve G_R sırasıyla, sırasıyla Denklem (5.59), Denklem (5.60) ve Denklem (5.61) ile hesaplanabilen, ARYF'nin ortalama, arka plan ve rezonans bileşenleridir.

$$\bar{G} = \bar{M}/\bar{M}' \tag{5.59}$$

$$G_B = g_B.\sigma_{MB}/\bar{M}' \tag{5.60}$$

$$G_R = g_R.\sigma_{MR}/\bar{M}' \tag{5.61}$$

burada $G_B = g_u$ arka plan pik faktörü veya ASCE 7 (2000)'de önerildiği gibi türbülans rüzgâr hızının pik faktörüdür. Taban momenti ilişkili ARYF modeli geleneksel ARYF yaklaşımına kıyasla yapılar üzerindeki dinamik yük etkilerinin açıklamasını daha doğru şekilde yansıtan geliştirilmiş bir ARYF biçimi sunmaktadır. Boyuna rüzgâr davranışı için, ARYF'nin ortalama bileşeni birdir ve simetrik bir binanın enine rüzgâr ve burulma davranışları için, bu değer genellikle çok küçüktür veya sıfırdır.

5.2.6 Taban momentleri tepkisi ve mod şekil düzeltmeleri

ARYF'ne bağlı yaklaşımlar, mod şekline ve aerodinamik basınç alanı özelliklerine bağlı olan genelleştirilmiş rüzgâr yüklemesi içerirler (Zhou ve diğ, 2002). Mühendislik uygulamasındaki bu parametreler genelde yaklaşık olarak tahmin edilebilen parametrelerdir. Türbülanstan kaynaklanan TEM'nin güç spektrum yoğunluk fonksiyonu Denklem (5.62)'de verilmektedir.

$$S_{\boldsymbol{M}}(f) = \eta_{\boldsymbol{M}}.S_M(f).|H_1(f)|^2 \qquad \textbf{(5.62)}$$

$\eta_{\boldsymbol{M}}$ taban momentleri için mod şekil düzeltmesidir.

Arka plan tepkisi için, hem $|H_1(f)|^2$ hem de $\eta_{\boldsymbol{M}}$ "bir"'e eşittir. Bir bina ideal mod şekline sahipse, yani salınım modları doğrusal ise ve burulma yönünde düzenli ise, rezonans tepki bileşeni için η_M bir değerini alır (Zhou ve Kareem, 2001; Zhou ve Kareem, 2000; Boggs ve Peterka, 1989). Çalışmalar, genelleştirilmiş rüzgâr yüküne dayalı yöntemin aksine, taban momentleri için olan mod şekli düzeltme katsayısı $\eta_{\boldsymbol{M}}$'nin ideal mod şekline, kütle dağılımına ve aerodinamik basınç alanı özelliklerinden nispeten etkilenmediğini göstermiştir. Taban momentleri ilişkili yaklaşımda, mod şekil düzeltmesi ihmal edilebilir boyuttadır, bu da rüzgâr etkisindeki binaların davranışlarının tahmininde kabul edilebilir büyüklükte sapmalara neden olmaktadır (Zhou ve diğ, 2000; Zhou ve Kareem, 2000). Denklem (4.62)'de taban momentini dışarıdan uygulanan aerodinamik momentten ayırt etmek için aynı sembollerin koyu renkle yazılmış olduğuna dikkat edilmelidir.

Denklem (5.62)'yi, arka plan tepkisinin tanımını ve beyaz gürültü titreşimi varsayımını kullanarak, taban momentlerinin arka plan ve rezonans bileşenleri sırasıyla Denklem (5.63) ve Denklem (5.64) ile hesaplanabilmektedir.

$$\sigma_{\boldsymbol{M}B} = \sigma_M \qquad \textbf{(5.63)}$$

$$\sigma_{\boldsymbol{M}R} = \sqrt{\frac{\pi f_1}{4\xi_1}.S_M(f_1)} \qquad \textbf{(5.64)}$$

5.2.7 Aerodinamik taban momenti veri tabanı

Rüzgârın esişine dik ve burulma etkisindeki aerodinamik taban momentleri, rüzgâr tüneli testleri ile doğru şekilde tespit edilebilmektedir. Bu değerlerin teorik

hesaplanması için kesin bir çözümleme yöntemi henüz geliştirilmemiştir. Boyutsuz biçimdeki taban momentleri, Boggs ve Peterka (1989) ve Tschanz ve Davenport (1983) tarafından önerilen yüksek frekanslı taban dengelemesi yöntemi kullanılarak veya Kareem (1982) ve Ho ve diğ. (1999) tarafından önerilen, ölçekli bina modelleri üzerindeki yüzey basıncı ölçümlerinden elde edilerek bulunmaktadır.

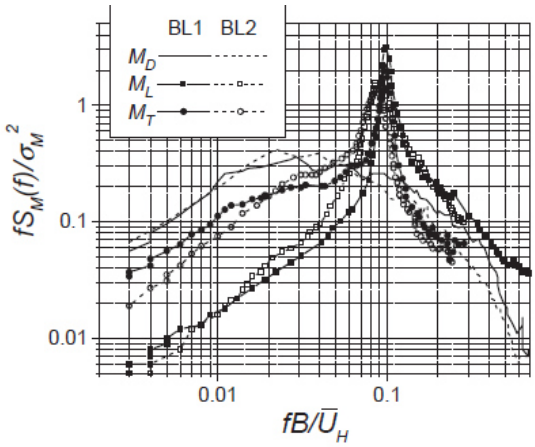
Yüksek frekanslı taban dengeleme yöntemi ölçümlerine dayanan bir başlangıç aerodinamik taban momenti veri tabanı Zhou ve diğ. (2003) tarafından geliştirilmiş ve ayrıntılı şekilde sunulmuştur. Hesaplamalar web üzerinden java tabanlı uygulama ile (http://www3.nd.edu/~nathaz/) yapılabilmektedir. Uygun yüksek frekanslı taban dengelemesi ile mevcut veri tabanı kolaylıkla genişletilebilinmektedir (Zhou ve diğ, 2003).

Bu veri tabanında, ölçülen aerodinamik taban momentleri Denklem (5.65) ve Denklem (5.66)'daki şekilde boyutsuz formlara indirgenmiştir.

$$\sigma_{MT} = \sigma_M / M' \tag{5.65}$$

$$C_M(f) = (f.S_M(f))/\sigma_M^2 \tag{5.66}$$

Burada M' boyuna rüzgâr için $M'_D = (1/2\,\rho\bar{U}_H^2 BH^2)$, enine rüzgâr doğrultusu için $M'_L = (1/2\,\rho\bar{U}_H^2 DH^2)$ ve burulma için $M'_T = (1/2\,\rho\bar{U}_H^2 BDH^2)$ denklemleri ile tanımlanan testteki referans momenttir. Boyutsuz veriler binaların davranışının çözümlemesinde doğrudan kullanılabilinmektedir. Çok katlı bir kare bina modeli üzerindeki aerodinamik yüklerin bir örneği hem açık kırsal (BL1) hem de kentsel (BL2) alanda için Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.6 : Binanın farklı yerleşim alanlarında elde edilen aerodinamik taban momentlerinin güç spektrum yoğunluk fonksiyonları.

5.3 3BARYF'nin değerlendirmesi

Aerodinamik taban momentleri göz önüne alındığında, Denklem (5.63)–(5.66)'yı Denklem (5.59)–(5.61)'de yerine konarak, Denklem (5.67)-(5.69)'daki şekilde 3BARYF'nin üç bileşeni hesaplanmaktadır.

$$\bar{G} = \begin{cases} 1 \; boyuna \; rüzgar \; için, \\ 0 \; simetrik \; binaların \; yan \; rüzgar \; ve \; burulmaları \; için, \end{cases} \quad \textbf{(5.67)}$$

$$G_B = g_B . \sigma_{MT} . M' / \bar{M}' \quad \textbf{(5.68)}$$

$$G_R = g_R \frac{\sigma_{MT} . M'}{\bar{M}'} \sqrt{\frac{\pi C_M(f_1)}{4\xi_1}} \quad \textbf{(5.69)}$$

5.3.1 3BARYF'nin tasarımda uygulanması

Diğer avantajların yanı sıra, taban momentine dayalı hesaplanan ARYF, bir bina üzerindeki ESRK'nin, taban momenti tepkisini her bir kata dağıtarak hesaplanabilmektedir. Ortalama ve arka plan bileşenler için, ESRK'ler, Denklem (5.70)-(5-72) ile ifade edilmektedir (Kareem ve Zhou, 2003).

$$\bar{\boldsymbol{P}}_i = \bar{\boldsymbol{M}} . \frac{2 + 2\alpha}{H^2} . (\frac{z_i}{H})^{2\alpha} . \Delta H_i \quad \textbf{(5.70)}$$

$$\hat{\boldsymbol{P}}_{BiD,L} = \hat{\boldsymbol{M}}_{BD,L} . \frac{2 + 2\alpha}{H^2} . (\frac{z_i}{H})^{2\alpha} . \Delta H_i \quad \textbf{(5.71)}$$

$$\hat{\boldsymbol{P}}_{BiT} = \hat{\boldsymbol{M}}_{BT} . \frac{1 + 2\alpha}{H} . (\frac{z_i}{H})^{2\alpha} . \Delta H_i \quad \textbf{(5.72)}$$

Rezonans bileşenleri için, salınım modlarındaki ESRK Denklem (5.73) ile hesaplanmaktadır.

$$\hat{\boldsymbol{P}}_{RiD,L} = \hat{\boldsymbol{M}}_{RD,L} . \frac{m_i \varphi_{1iD,L}}{\sum m_i z_i \varphi_{1iD,L}} \quad \textbf{(5.73)}$$

Burulma modu da Denklem (5.74)'teki gibi ifade edilmektedir

$$\hat{\boldsymbol{P}}_{RiT} = \hat{\boldsymbol{M}}_{RT} . \frac{I_i \varphi_{1iT}}{\sum I_i \varphi_{1iT}} \quad \textbf{(5.74)}$$

Burada $\bar{\boldsymbol{P}} = ESRK$; $\bar{\boldsymbol{M}} = \bar{G}.\bar{M}'$ ortalama taban momenti bileşeni, $\widehat{\boldsymbol{M}}_B = G_B.\bar{M}'$ arka plan taban momenti bileşeni ve $\widehat{\boldsymbol{M}}_R = G_R.\bar{M}'$ ise rezonans taban momenti bileşenleridir. z_i zemin üzerindeki *i*'inci katın yüksekliği; $\Delta H_i = z_i - z_{i-1}$ *i*'inci katın kat yüksekliği ve m_i, I_i ve φ_{1i} sırasıyla *i*'inci kat yüksekliğindeki kütle, kütle eylemsizlik momenti ve birinci mod şeklidir.

5.3.2 Yük etkileri

Binanın rüzgâr etkisi altında oluşacak ivme değerleri ESRK'leri kullanarak basit bir çözümleme ile uygun şekilde hesaplanabilmektedir. Sadece rezonans ESRK bileşeni kullanılarak, kullanılabilirlik değerleri için ivme tepkisi Denklem (5.75) ile hesaplanabilmektedir.

$$\sigma_{ai} = \frac{\sum \widehat{\boldsymbol{P}}_{Ri}.\varphi_{1i}}{g_R.\sum m_i \varphi_{1i}^2}.\varphi_{1i} \qquad \textbf{(5.75)}$$

5.4 Dinamik yapısal özellikler

Birçok modern rüzgâr yükü yönetmeliği, dinamik rüzgâr yükünün hesaplanması ve rüzgâra duyarlı narin, düşük sönümlü çok katlı yapıların davranışının hesaplanması için yöntemler içermektedir. Genel olarak, rüzgâra duyarlı yapılar birinci mod doğal frekansı 1 Hz'ten daha düşük ve narinlik (yüksekliğin genişliğine veya derinliğine) oranı 4'ten daha büyük olanlar yapılardır. Titreşimin doğal frekansları ve yapısal sönüm oranları, dinamik rüzgâr yükünün ve rüzgâra duyarlı yapıların rüzgâr etkisi altındaki davranışının hesaplanmasında en önemli yapısal parametrelerdir. Doğal frekans, tasarım azaltılmış rüzgâr hızını tanımlamak için binanın boyutu ve tasarım rüzgâr hızı ile bağlantılı olarak kullanılmaktadır.

5.5 İvme Kriterleri

Göreli kat öteleme gerekliliklerini karşılayacak şekilde tasarlanmış modern çok katlı binalar can güvenliği açısından güvenli olmalarına rağmen, bu tip bazı binalarda rüzgâr fırtınaları sırasında, özellikle üst katlarda yaşayan bina sakinlerini rahatsız edecek şekilde titreşim gelişebilmektedir. Bina sakinlerinin konforu, binada rüzgâr etkisinden oluşacak ivmelere karşı insan biyodinamik duyarlılığına bağlı olarak ifade tanımlanmaktadır (Kareem, 1992).

Çok katlı bir binanın kullanılabilirlik koşulunu sağlamak için, göreli kat öteleme ve ivme değerleri için kullanılabilirlik sınır durumları kontrol edilmelidir. 50 yıllık bir geri dönüş periyoduna sahip aşırı rüzgâr yükleme koşulları genel olarak göreli kat öteleme kriterlerini ve güvenlik gereksinimlerini kontrol etmek için kullanılmaktadır. 10 yıllık geri dönüş periyoduna sahip aşırı rüzgârların standart sapma ivmesi ve pik ivmesi çok katlı binalarda yaşanan rüzgâr kaynaklı hareketlerin değerlendirilmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır (Burton ve diğ, 2007).

Aşırı rüzgâr olayları ile ilişkili pik ivme kriterleri, fırtına veya tayfun durumlarında bina sakinlerinin rahatsız olmalarını engellemek için modern tasarım yönetmeliklerinde yerini almıştır. Örneğin, 10 yıllık geri dönüş periyoduna sahip rüzgâr koşullarının etkisindeki konut yapıları için 15 mili-g ve ticari binalar için 25 mili-g pik ivme kriterleri, Kanada Ulusal Yapı Yönetmeliği (NBCC 1995), Çin Yönetmeliği (JGJ 3-2002) ve Hong Kong Uygulama Yönetmeliklerinde (HKCOP 2004, HKCOP 2005) önerilmektedir.

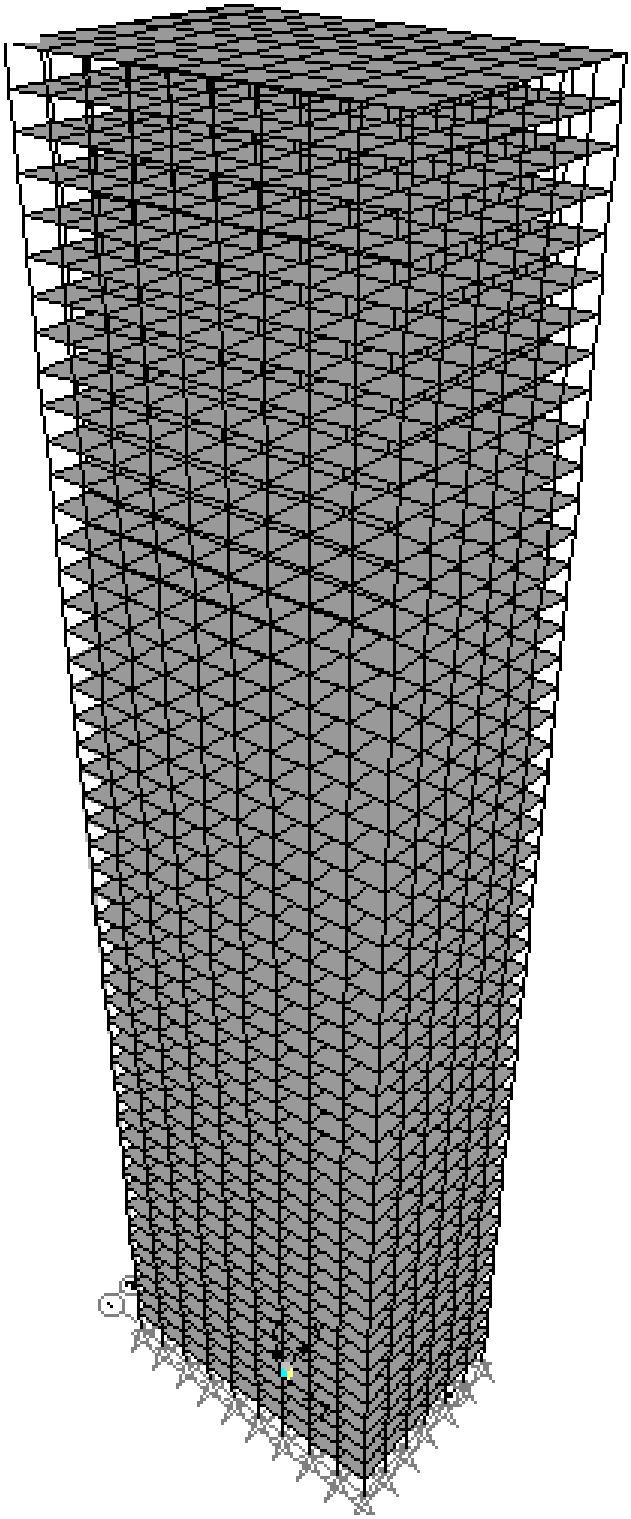
İstenmeyen ivme seviyelerini tanımlamaya yardımcı olmak için 1970'li ve 1980'li yıllardaki bir dizi tam ölçekli gözlem ve deneyler Irwin (1979, 1986) tarafından özetlenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, daha sonra kabul edilen ve ISO 6897'de (1984) bina sakinlerinin konforu için ivme kriterleri olarak tanımlanan Irwin'in E2 Eğrisini oluşturmak için kullanılmıştır. 1990'ların sonlarında insan tepkisi ve ivme düzeyleri hakkında çok kapsamlı bir çalışma Denoon (2000) tarafından yürütülmüştür.

6. PARAMETRİK ÇALIŞMALAR

Bu bölümde çevrim içi NALD V2.0 programı kullanılarak rüzgâr etkisindeki 24 adet çelik ve 24 adet betonarme olmak üzere toplam 48 adet dikdörtgen plana sahip bina modellenmiş, boyuna rüzgâr doğrultusu ve rüzgâra dik doğrultu için ortalamanın karekökü taban moment katsayıları (σ_{MT}) değerleri hesaplanmış, can güvenliği seviyesi (50 sene) için ortalama taban eğilme momenti beklenen değeri ($\overline{M}$), en büyük arka plan TEM bileşeni beklenen değeri ($\widehat{M}_B$), en büyük rezonans TEM bileşeni beklenen değeri ($\widehat{M}_R$), en büyük taban eğilme momenti (TEM) beklenen tepkisi ($\widehat{M}$), en büyük yerdeğiştirme değerleri, kullanılabilirlik düzeyi (10 sene) için ise en üst kattaki en büyük ivme değerleri ve ortalamanın karekökü (RMS) ivme değerleri hesaplanmıştır. Programda ayrıca üçgen ve trapez kesitler mevcut olmasına karşın sadece dikdörtgen ve kare kesitli binalar için analizler yapılmıştır. Analizlerde sönüm oranı çelik binalar için 0.01, betonarme binalar için 0.02 (ASCE 7-10), bina kütle yoğunluğu çelik binalar için 180 kg/m^3, betonarme binalar için 250 kg/m^3 alınmıştır. Arazi tipi olarak engebesiz, geniş, açık alan kategorisi seçilmiş, kat yüksekliği 4m, hava yoğunluğu 1.25 kg/m^3, sürükleme katsayısı 1.3 olarak belirlenmiştir. Analizlerde kullanılan Nathaz etkileşimli veritabınında bulunan rüzgâr tüneli modelleri boyutları, modellenen binaların en, boy ve yükseklikleri, boyuna rüzgâr doğrultusundaki, rüzgâra dik doğrultudaki ve burulma frekansları çelik ve betonarme binalar için Çizelge 6.1'de verilmiştir. Binaların ilk üç modu için frekans değerleri Sap2000 sonlu elemanlar programı kullanılarak elde edilmiş ve Şekil 6.1'de plandaki boyutları B=50 m ve D=33m, yükseklikliği H=200m olan binanın Sap2000 modeli verilmiştir.

Çizelge 6.1 : Analizler için bina modellemesinde kullanılan değerler.

					Çelik taşıyıcı sistem			Betonarme taşıyıcı sistem		
Arazi	**Güç Spektrum Yoğunluk Fonksiyonu**	**B (m)**	**D (m)**	**H (m)**	**f_x (1/s)**	**f_y (1/s)**	**f_z (1/s)**	**f_x (1/s)**	**f_y (1/s)**	**f_z (1/s)**
C	Nathaz etkileşimli veri tabanı güç spektrum yoğunluk fonksiyonu	50	17	132	0.293	0.321	0.508	0.303	0.332	0.527
			25		0.293	0.306	0.453	0.303	0.317	0.470
			33		0.293	0.298	0.422	0.303	0.309	0.438
			17	168	0.230	0.258	0.453	0.238	0.267	0.471
			25		0.230	0.246	0.396	0.238	0.255	0.411
			33		0.230	0.239	0.350	0.238	0.247	0.363
			17	200	0.193	0.217	0.431	0.200	0.224	0.448
			25		0.193	0.205	0.412	0.200	0.212	0.428
			33		0.193	0.199	0.361	0.200	0.206	0.375
C	Nathaz etkileşimli veri tabanı güç spektrum yoğunluk fonksiyonu	33	50	132	0.298	0.293	0.422	0.309	0.303	0.438
		25			0.306	0.293	0.453	0.317	0.303	0.471
		17			0.321	0.293	0.508	0.332	0.303	0.527
		33		168	0.239	0.230	0.350	0.247	0.238	0.363
		25			0.246	0.230	0.397	0.255	0.238	0.412
		17			0.258	0.230	0.453	0.267	0.238	0.471
		33		200	0.199	0.193	0.361	0.206	0.200	0.375
		25			0.205	0.193	0.412	0.212	0.200	0.428
		17			0.217	0.193	0.431	0.224	0.200	0.448
C	Nathaz etkileşimli veri tabanı güç spektrum yoğunluk fonksiyonu	30	30	120	0.322	0.322	0.465	0.334	0.334	0.482
			45		0.328	0.322	0.480	0.340	0.334	0.498
			30	152	0.258	0.258	0.452	0.267	0.267	0.469
			45		0.265	0.258	0.398	0.274	0.267	0.413
			30	180	0.215	0.215	0.389	0.222	0.222	0.404
			45		0.220	0.215	0.391	0.228	0.222	0.406



Şekil 6.1 : B=50 m, D=33m ve H=200m olan binanın Sap2000 modeli.

Çelik ve betonarme binalarda ortalamanın karekökü taban moment katsayıları (σ_{MT}) değerleri boyuna rüzgâr ve rüzgâra dik doğrultudaki için hesaplanmış ve Çizelge 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.2 : Boyuna rüzgâr ve rüzgâra dik doğrultu için taban moment katsayıları.

			Çelik taşıyıcı sistem		**Betonarme taşıyıcı sistem**	
B (m)	**D (m)**	**H (m)**	**σ_{MT} (Nm)**		**σ_{MT} (Nm)**	
			Boyuna rüzgâr doğrultusu	**Rüzgâra dik doğrultuda**	**Boyuna rüzgâr doğrultusu**	**Rüzgâra dik doğrultuda**
50	17	132	0.062	0.059	0.062	0.059
	25		0.064	0.108	0.064	0.108
	33		0.068	0.127	0.068	0.127
	17	168	0.055	0.059	0.055	0.059
	25		0.058	0.106	0.058	0.106
	33		0.06	0.144	0.06	0.144
	17	200	0.051		0.051	
	25		0.057	0.106	0.057	0.106
	33		0.056	0.137	0.056	0.137
33	50	132	0.062	0.086	0.062	0.086
25			0.055	0.064	0.055	0.064
17			0.055	0.05	0.055	0.05
33		168	0.055	0.102	0.055	0.102
25			0.052	0.079	0.052	0.079
17			0.048	0.053	0.048	0.053
33		200	0.05	0.114	0.05	0.114
25			0.044	0.091	0.044	0.091
17			0.042	0.052	0.042	0.052
30	30	120	0.068	0.123	0.068	0.123
	45		0.062	0.086	0.062	0.086
	30	152	0.06	0.131	0.06	0.131
	45		0.055	0.102	0.055	0.102
	30	180	0.055	0.135	0.055	0.135
	45		0.05	0.114	0.05	0.114

Can güvenliği seviyesinde boyuna rüzgâr ve rüzgâra dik doğrultudaki için ortalama TEM beklenen değeri ($\overline{M}$), en büyük arka plan TEM bileşeni beklenen değeri ($\widehat{M}_B$), en büyük rezonans TEM bileşeni beklenen değeri ($\widehat{M}_R$) ve en büyük taban eğilme momenti (TEM) beklenen tepkisi ($\widehat{M}$) değerleri çelik binalar için Çizelge 6.3'te, betonarme için olan değerler Çizelge 6.4'te verilmiştir.

Çizelge 6.3 : Çelik binalarda her iki rüzgâr doğrultusu için ortalama TEM, maksimum arka plan ve rezonans TEM bileşeni ve maksimum TEM değerleri.

B (m)	D (m)	H (m)	Boyuna rüzgâr doğrultusu (10^6 kN-m)				Rüzgâra dik doğrultuda (10^6 kN-m)			
			$\widehat{M}_B$	$\widehat{M}_R$	$\widehat{M}_B$	$\widehat{M}_R$	$\widehat{M}_B$	$\widehat{M}_R$	$\widehat{M}_B$	$\widehat{M}_R$
50	17	132	1.1017	0.4143	1.0752	2.2539	**yok**	0.1332	0.3513	0.3756
	25		1.1017	0.4229	1.3954	2.5598	**yok**	0.3594	1.0717	1.1304
	33		1.1017	0.4535	1.796	2.9541	**yok**	0.5591	2.6456	2.704
	17	168	1.9221	0.638	2.3186	4.3268	**yok**	0.2343	1.0369	1.0631
	25		1.9221	0.6774	2.6112	4.6197	**yok**	0.6131	2.0734	2.1621
	33		1.9221	0.6925	3.073	5.0722	**yok**	1.1002	3.1813	3.3756
	17	200	2.8741	0.8846	3.2929	6.2838	**yok**			
	25		2.8741	0.9835	3.8078	6.8069	**yok**	0.9228	3.3204	3.4462
	33		2.8741	0.9662	4.0462	7.0341	**yok**	1.565	5.1903	5.4211
33	50	132	0.7271	0.2708	0.8787	1.6466	**yok**	0.5692	2.1152	2.1905
25			0.5509	0.1835	0.6438	1.2203	**yok**	0.4275	2.0546	2.0986
17			0.3746	0.1243	0.5353	0.9241	**yok**	0.3298	1.8354	1.8648
33		168	1.2686	0.4219	1.4619	2.7901	**yok**	1.1821	5.272	5.4029
25			0.961	0.3033	1.0182	2.0234	**yok**	0.9211	5.7199	5.7936
17			0.6535	0.1905	0.9078	1.581	**yok**	0.6183	4.346	4.3898
33		200	1.8969	0.5736	2.1962	4.1667	**yok**	1.9705	11.298	11.4685
25			1.437	0.3859	1.4309	2.9191	**yok**	1.5767	11.8825	11.9866
17			0.9772	0.2459	0.9251	1.9344	**yok**	0.895	4.6488	4.7341
30	30	120	0.5305	0.287	0.9145	1.4708	**yok**	0.3935	1.4321	1.4851
	45		0.5305	0.1976	0.6887	1.2278	**yok**	0.4111	1.5167	1.5715
	30	152	0.9154	0.3298	1.2542	2.2123	**yok**	0.7237	3.2014	3.2821
	45		0.9154	0.3044	1.0654	2.0234	**yok**	0.8445	3.5195	3.6194
	30	180	1.3523	0.4472	1.7663	3.1743	**yok**	1.1042	9.0767	9.1436
	45		1.3523	0.4089	1.5709	2.9755	**yok**	1.3907	7.6344	7.76

Çizelge 6.4 : Betonarme binalarda her iki rüzgâr doğrultusu için ortalama TEM, maksimum arka plan ve rezonans TEM bileşeni ve maksimum TEM değerleri.

B(m)	D(m)	H(m)	Boyuna rüzgâr doğrultusu (10^6 kN-m)				Rüzgâra dik doğrultuda (10^6 kN-m)			
			$\widehat{M}_B$	$\widehat{M}_R$	$\widehat{M}_B$	$\widehat{M}_R$	$\widehat{M}_B$	$\widehat{M}_R$	$\widehat{M}_B$	$\widehat{M}_R$
50	17	132	1.1017	0.4143	0.7654	1.9721	**yok**	0.1332	0.2427	0.2768
	25		1.1017	0.4229	0.9362	2.129	**yok**	0.3594	0.7064	0.7925
	33		1.1017	0.4535	1.2787	2.4594	**yok**	0.5591	1.8019	1.8867
	17	168	1.9221	0.638	1.5832	3.629	**yok**	0.2343	0.7212	0.7583
	25		1.9221	0.6774	1.8917	3.9314	**yok**	0.6131	1.4283	1.5543
	33		1.9221	0.6925	2.1036	4.1367	**yok**	1.1002	2.2013	2.4609
	17	200	2.8741	0.8846	2.3181	5.3553	**yok**			
	25		2.8741	0.9835	2.6993	5.7469	**yok**	0.9228	2.2092	2.3942
	33		2.8741	0.9662	2.9065	5.937	**yok**	1.565	3.6052	3.9302
							yok			
33	50	132	0.7271	0.2708	0.6692	1.449	**yok**	0.5692	1.4566	1.5639
25			0.5509	0.1835	0.4136	1.0034	**yok**	0.4275	1.3225	1.3899
17			0.3746	0.1243	0.3743	0.769	**yok**	0.3298	1.2708	1.3129
33		168	1.2686	0.4219	1.0403	2.3911	**yok**	1.1821	3.4685	3.6644
25			0.961	0.3033	0.7113	1.7343	**yok**	0.9211	3.9196	4.0264
17			0.6535	0.1905	0.6362	1.3176	**yok**	0.6183	2.8318	2.8985
33		200	1.8969	0.5736	1.5476	3.5474	**yok**	1.9705	7.5124	7.7665
25			1.437	0.3859	1.003	2.5117	**yok**	1.5767	7.971	8.1254
17			0.9772	0.2459	0.6212	1.6453	**yok**	0.895	3.2103	3.3327
							yok			
30	30	120	0.5305	0.2187	0.5817	1.1519	**yok**	0.3935	1.0088	1.0828
	45		0.5305	1.1976	0.4888	1.0577	**yok**	0.4111	1.0472	1.125
	30	152	0.9154	0.3298	0.8727	1.8484	**yok**	0.7237	2.1535	2.2719
	45		0.9154	0.3044	0.7582	1.7325	**yok**	0.8445	2.3662	2.5123
	30	180	1.3523	0.4472	1.2637	2.6928	**yok**	1.1042	5.7252	5.8307
	45		1.3523	0.4089	1.1068	2.532	**yok**	1.3907	4.7976	4.9951

Çelik ve betonarme binalarda can güvenliği seviyesi için boyuna rüzgâr ve rüzgâra dik doğrultudaki en büyük yerdeğiştirme beklenen değerleri Çizelge 6.5'te verilmiştir.

Çizelge 6.5 : Çelik ve betonarme binalarda her iki rüzgâr doğrultusu için bina tepesindeki maksimum yerdeğiştirme değerleri.

			Çelik taşıyıcı sistem		**Betonarme taşıyıcı sistem**	
B (m)	**D (m)**	**H (m)**	**Maksimum Yerdeğiştirme (m)**		**Maksimum Yerdeğiştirme (m)**	
			Boyuna rüzgâr doğrultusu	**Rüzgâra dik doğrultuda**	**Boyuna rüzgâr doğrultusu**	**Rüzgâra dik doğrultuda**
50	17	132	0.748	0.104	0.441	0.052
	25		0.578	0.234	0.324	0.11
	33		0.505	0.447	0.283	0.209
	17	168	1.439	0.281	0.812	0.135
	25		1.045	0.428	0.598	0.206
	33		0.869	0.536	0.477	0.263
	17	200	2.095		1.197	0.211
	25		1.543	0.692	0.873	0.324
	33		1.208	0.876	0.684	0.427
33	50	132	0.272	0.375	0.16	0.18
25			0.253	0.474	0.139	0.211
17			0.256	0.619	0.143	0.293
33		168	0.443	0.926	0.256	0.422
25			0.400	1.311	0.23	0.612
17			0.418	1.46	0.234	0.648
33		200	0.673	1.727	0.385	0.881
25			0.586	1.926	0.346	1.032
17			0.51	1.855	0.293	0.951
30	30	120	0.462	0.467	0.242	0.228
	45		0.248	0.329	0.143	0.158
	30	152	0.675	1.001	0.379	0.466
	45		0.394	0.736	0.225	0.343
	30	180	0.994	1.644	0.575	0.88
	45		0.593	1.156	0.338	0.604

Çelik binalarda kullanılabilirlik seviyesi için boyuna rüzgâr ve rüzgâra dik doğrultuda en üst kattaki en büyük ivme değerleri ve ortalamanın karekökü (RMS) ivme değerleri Çizelge 6.6'da verilmiştir.

Çizelge 6.6 : Çelik binalar için kullanabilirlik limit seviyesinde her iki rüzgâr doğrultusu için elde edilen maksimum ve ortalamanın karekökü ivme değerleri.

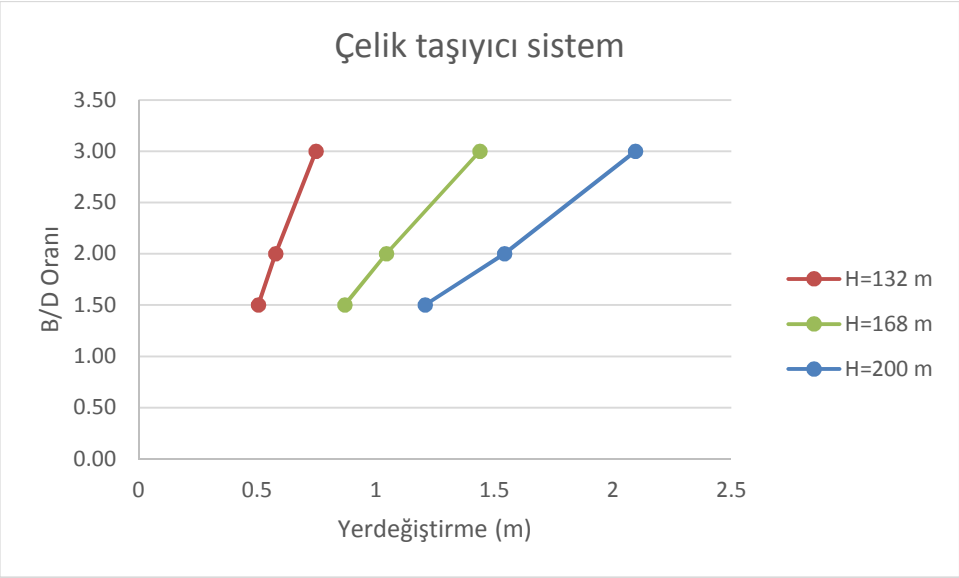
B (m)	D (m)	H (m)	Boyuna rüzgâr doğrultusu (milli-g)	Rüzgâra dik doğrultuda (milli-g)
50	17	132	16.21	4.52
	25		11.79	8.82
	33		11.23	18.1
	17	168	19.69	8.76
	25		14.09	11.07
	33		14.4	12.63
	17	200	23.59	
	25		21.71	12.71
	33		13.44	15.87
33	50	132	6.16	9.1
25			5.74	13.48
17			6.92	22.55
33		168	6.42	17.68
25			6.12	26.4
17			6.99	30.81
33		200	7.04	23.81
25			5.49	32.84
17			5.78	26.95
30	30	120	14	19.54
	45		6.68	9.69
	30	152	13.28	26
	45		7.12	18.07
	30	180	14.46	35.03
	45		7.54	24.61

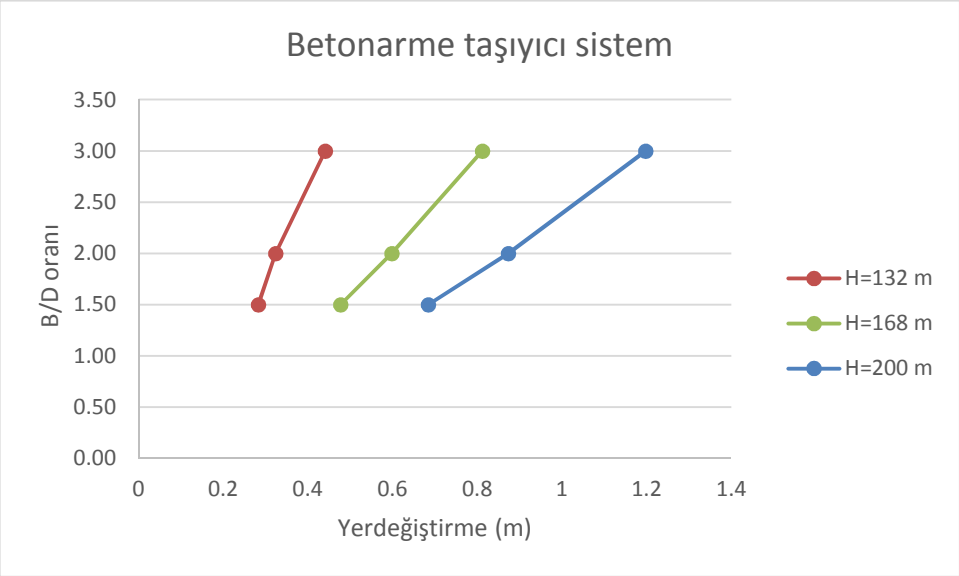
Betonarme binalarda kullanılabilirlik seviyesi için boyuna rüzgâr ve rüzgâra dik doğrultuda en üst kattaki en büyük ivme değerleri ve ortalamanın karekökü (RMS) ivme değerleri Çizelge 6.7'de verilmiştir.

Çizelge 6.7 : Betonarme binalar için kullanabilirlik limit seviyesinde her iki rüzgâr doğrultusu için elde edilen maksimum ve ortalamanın karekökü ivme değerleri.

B(m)	D(m)	H(m)	Boyuna rüzgâr doğrultusu (milli-g)	Rüzgâra dik doğrultuda (milli-g)
50	17	132	8.25	2.1
	25		5.77	4.41
	33		5.41	8.19
	17	168	9.86	4.27
	25		6.87	5.3
	33		7.52	6.17
	17	200	13.26	
	25		10.36	6.34
	33		6.63	7.05
33	50	132	3.15	4.54
25			2.78	6.08
17			3.4	11.47
33		168	3.4	8.64
25			3.13	12.69
17			3.47	14.65
33		200	3.56	11.68
25			2.87	15.78
17			2.91	13.45
30	30	120	6.95	8.85
	45		3.39	4.62
	30	152	6.79	12.2
	45		3.8	8.78
	30	180	6.96	16.9
	45		3.82	11.98

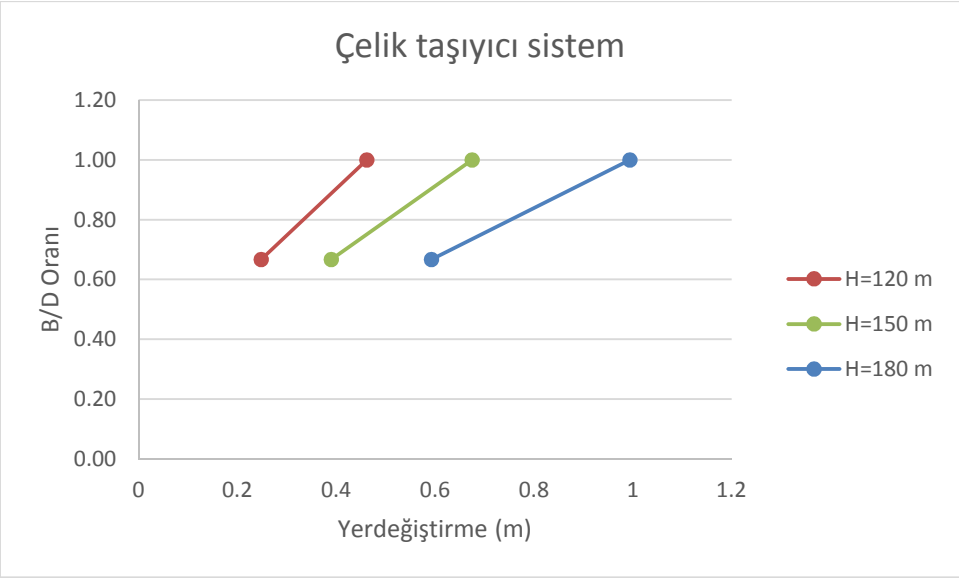
Şekil 6.2'de sabit genişlik (B=50 m) ve Şekil 6.2'de sabit genişlik (B=30 m) için çelik ve betonarme binaların boyuna rüzgâr doğrultusunda yerdeğiştirme - en/boy oranının (B/D) arasındaki ilişki ve bina yüksekliğiyle olan değişimi verilmiştir.

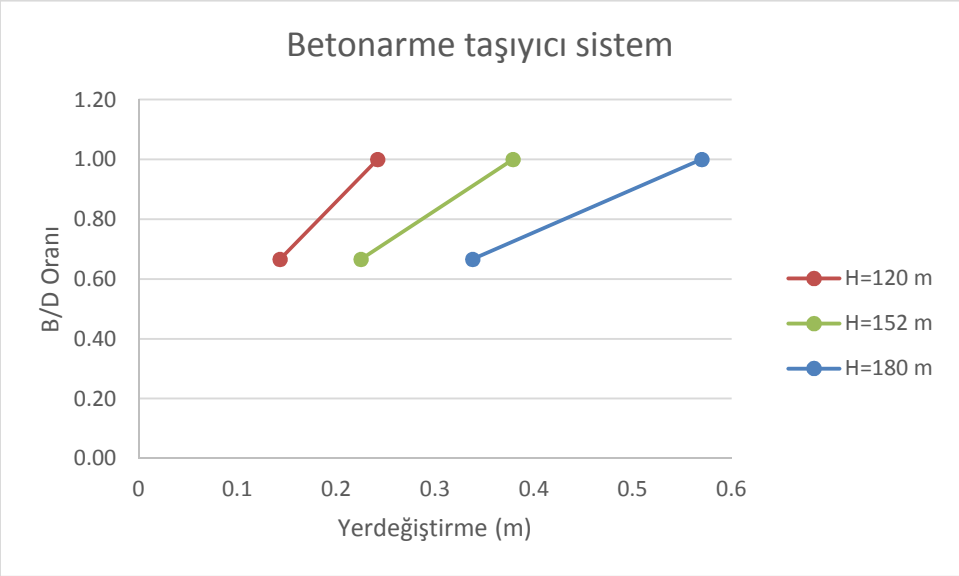




Şekil 6.2 : Boyuna rüzgâr doğrultusundaki yerdeğiştirme – B/D oranı arasındaki ilişki (sabit B=50m değeri için).

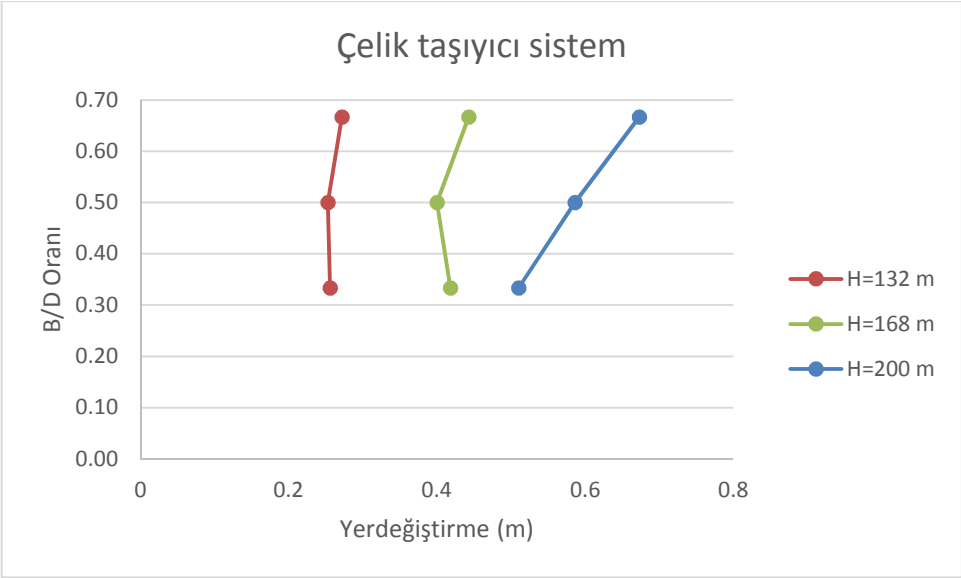
Hem Şekil 6.2'de hem Şekil 6.3'de görüldüğü gibi B/D kenar oranın artmasıyla beraber rüzgâr etkidiği doğrultuda sabit genişliğe sahip hem çelik hem betonarme binaların tepe noktalarındaki yerdeğiştirme artmıştır. Ayrıca beklendiği gibi bina yüksekliği arttıkça binaların tepe noktasındaki yerdeğiştirme de büyümüştür.

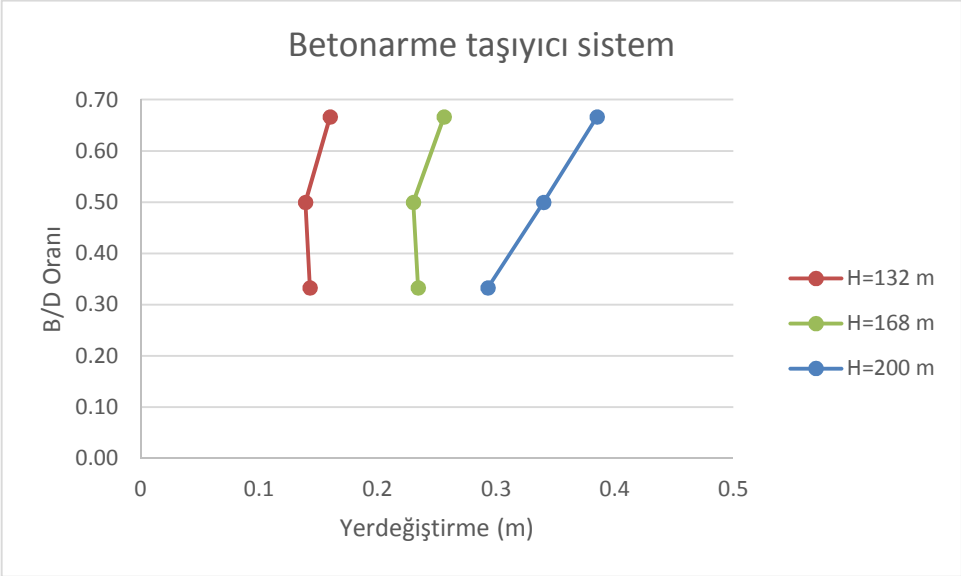




Şekil 6.3 : Boyuna rüzgâr doğrultusundaki yerdeğiştirme – B/D oranı arasındaki ilişki (sabit B=30m değeri için).

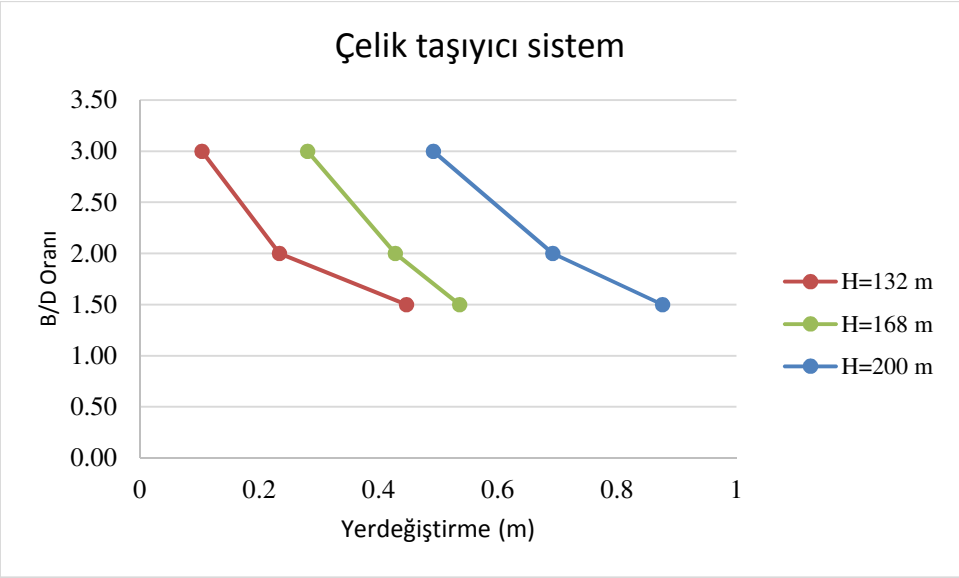
Şekil 6.4'te çelik ve betonarme binaların boyuna rüzgâr doğrultusunda değişken genişlik (B=17 m, 25m, 33m) için yerdeğiştirme - en/boy oranının (B/D) arasındaki ilişki ve bina yüksekliğiyle olan değişimi verilmiştir. Buna bağlı olarak, binanın rüzgâra dik doğrultusundaki yüzeyinin sabit genişliğe sahip olduğu ancak rüzgârın etkidiği doğrultudaki yüzeyin genişliğinin değiştiği çelik ve betonarme binalarda tepe noktalarındaki yerdeğiştirmenin B/D kenar oranından net bir şekilde etkilenmemektedir.

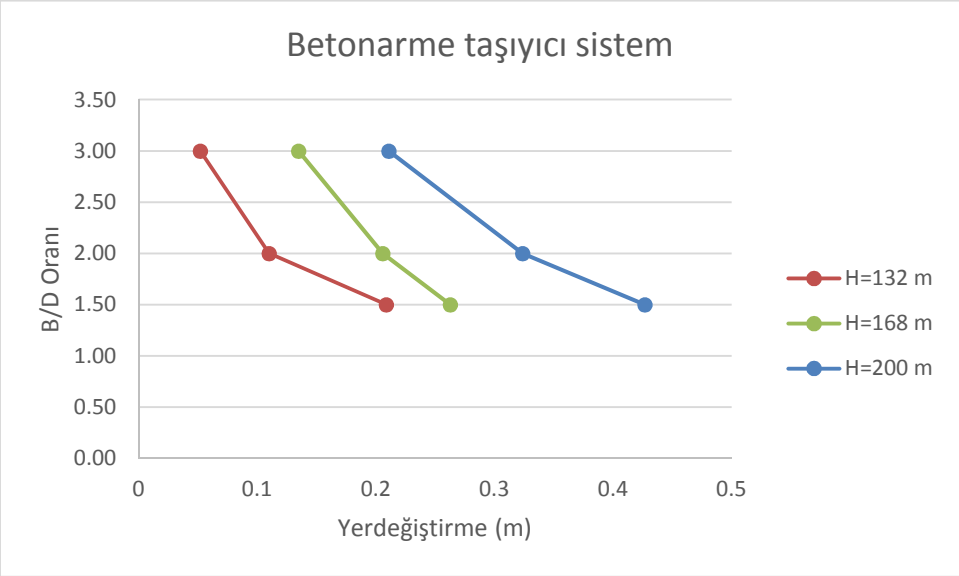




Şekil 6.4 : Boyuna rüzgâr doğrultusundaki yerdeğiştirme – B/D oranı arasındaki ilişki (değişken B değerleri için).

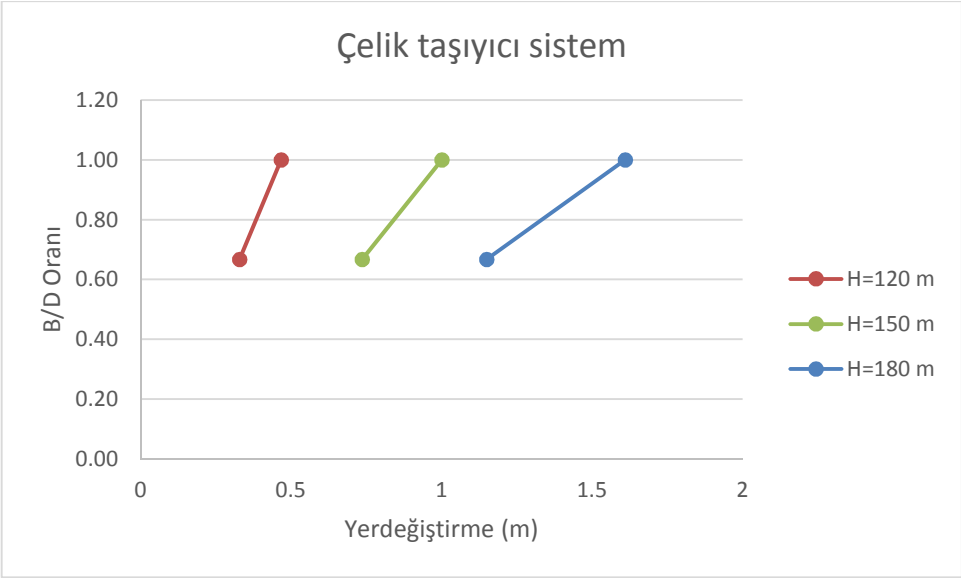
Şekil 6.5'te sabit genişlik (B=50 m) ve Şekil 6.6'da sabit genişlik (B=30 m) için çelik ve betonarme binaların rüzgâra dik doğrultuda yerdeğiştirme - en/boy oranının (B/D) arasındaki ilişki ve bina yüksekliğiyle olan değişimi verilmiştir.

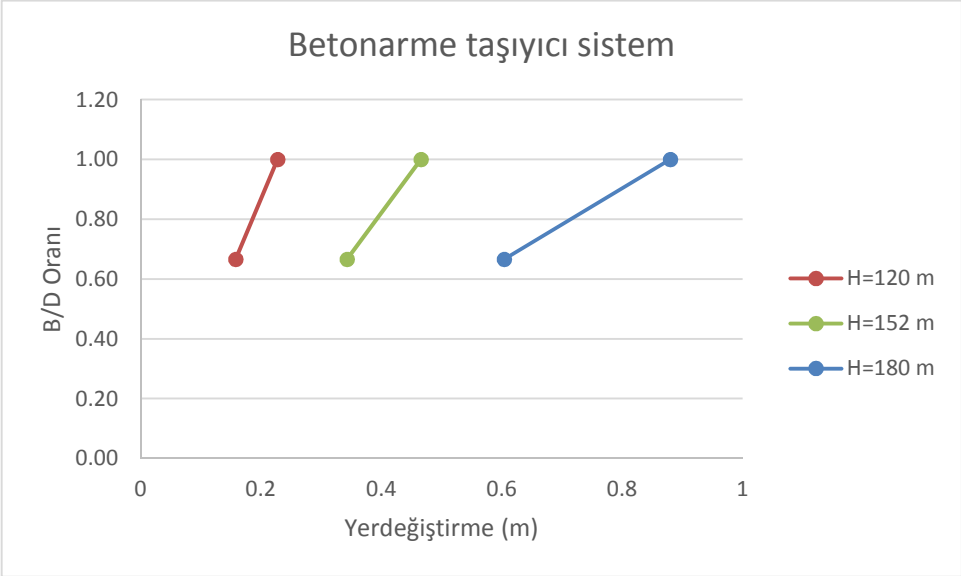




Şekil 6.5 : Rüzgâra dik doğrultuda yerdeğiştirme – B/D oranı arasındaki ilişki (sabit B=50m değeri için).

Birinci modun rüzgârın etkidiği doğrultuda olan binalarda, Şekil 6.5'te gösterildiği gibi B/D oranın artmasıyla rüzgâra dik yönde binaların tepe noktalarındaki yerdeğiştirme azalmıştır.

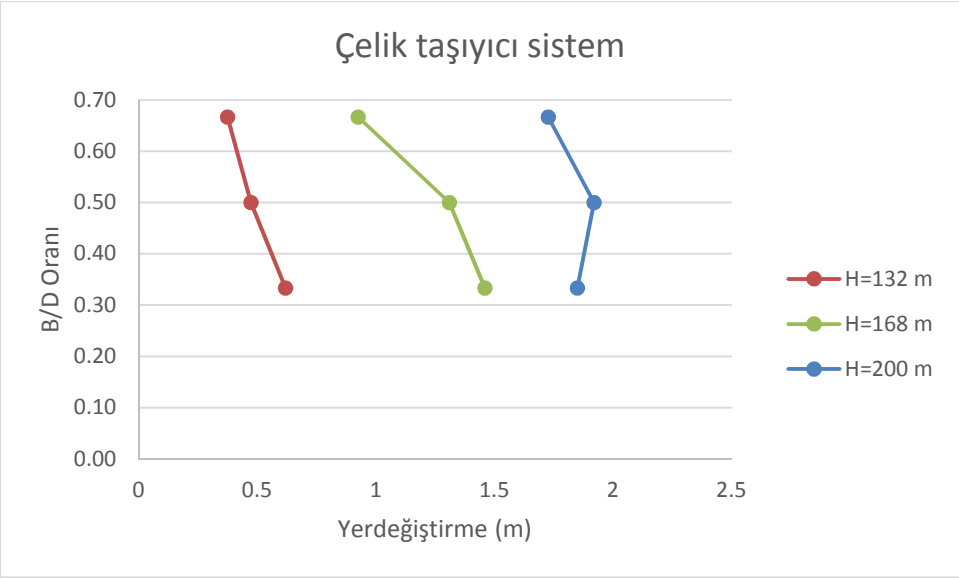


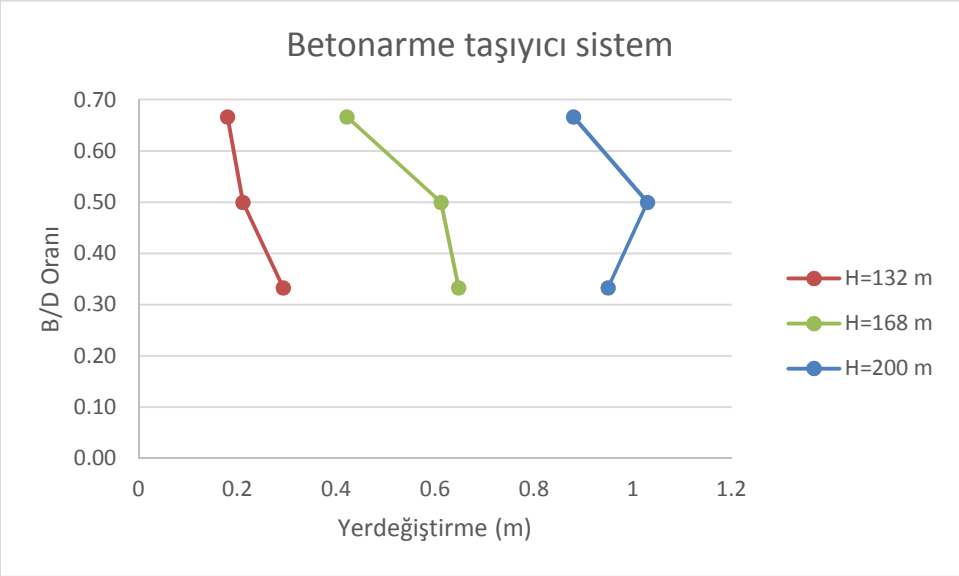


Şekil 6.6 : Rüzgâra dik doğrultuda yerdeğiştirme – B/D oranı arasındaki ilişki (sabit B=30m değeri için).

Şekil 6.6'da gösterildiği gibi, birinci modun rüzgâra dik doğrultuda olan binalarda, B/D oranın artmasıyla rüzgâra dik yönde binaların tepe noktalarındaki yerdeğiştirme artmıştır.

Şekil 6.7'de çelik ve betonarme binaların rüzgâra dik doğrultuda değişken genişlik (B=17 m, 25m, 33m) için yerdeğiştirme - en/boy oranının (B/D) arasındaki ilişki ve bina yüksekliğiyle olan değişimi verilmiştir.

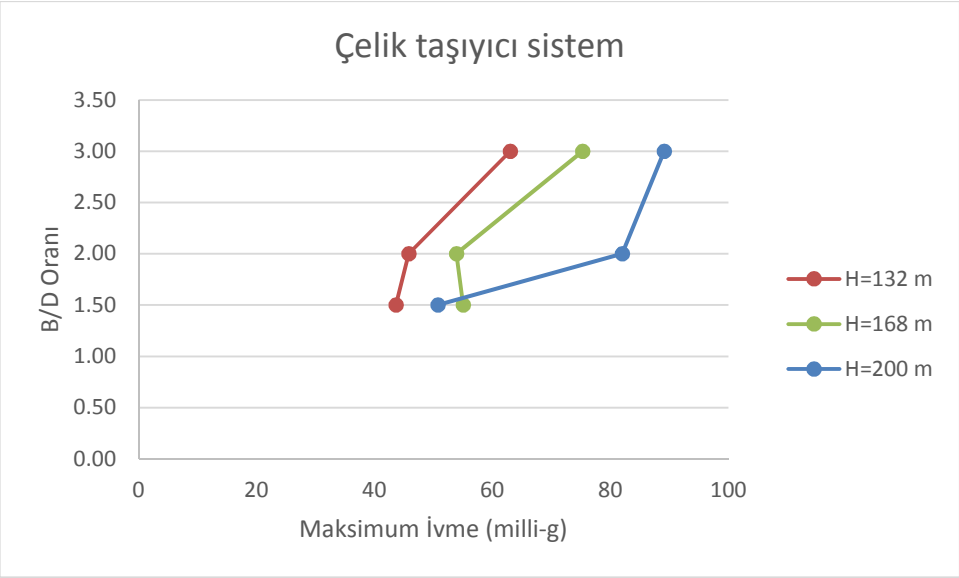


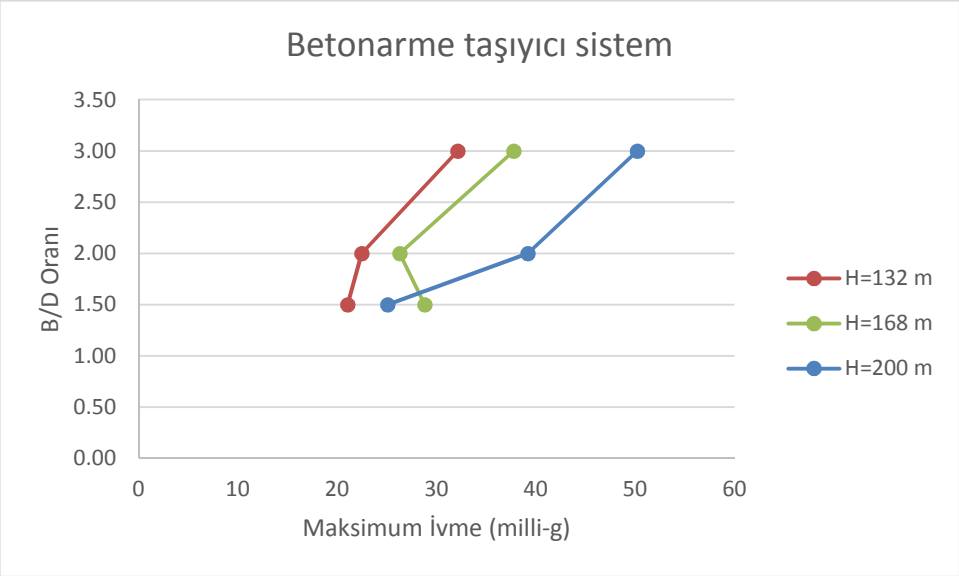


Şekil 6.7 : Rüzgâr dik doğrultuda yerdeğiştirme – B/D oranı arasındaki ilişki (değişken B değerleri için).

Şekil 6.7'de görüldüğü gibi rüzgâr etkidiği doğrultudaki kenar uzunluğunun değiştiği, rüzgâra dik doğrultudaki kenarın sabit olduğu binalarda, rüzgâra dik doğrultudaki yerdeğiştirme ile B/D kesit oranı arasında net bir ilişki bulunmamaktadır.

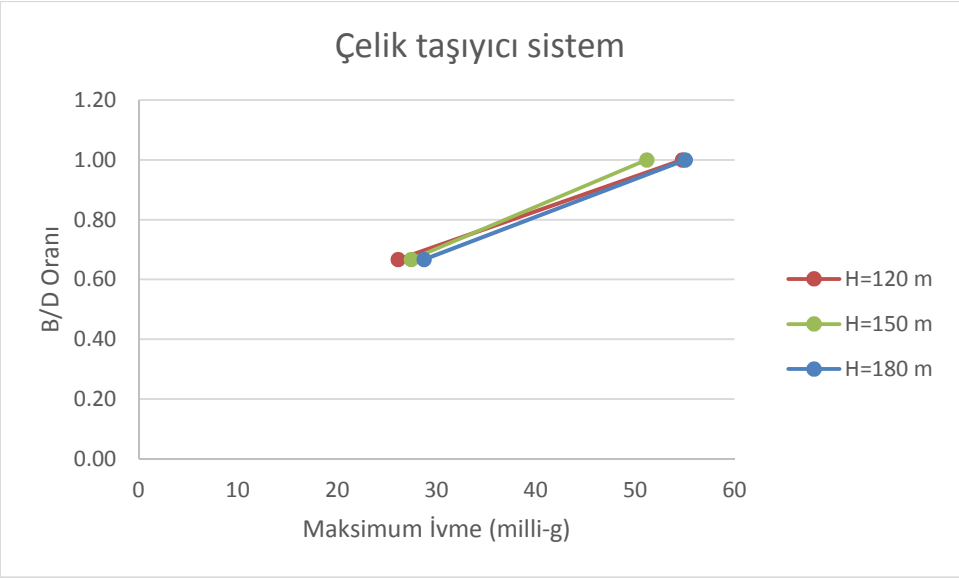
Şekil 6.8'de sabit genişlik (B=50 m) ve Şekil 6.9'da sabit genişlik (B=30 m) için çelik ve betonarme binaların boyuna rüzgâr doğrultusunda maksimum ivme - en/boy oranının(B/D) arasındaki ilişki ve bina yüksekliğiyle olan değişimi verilmiştir.

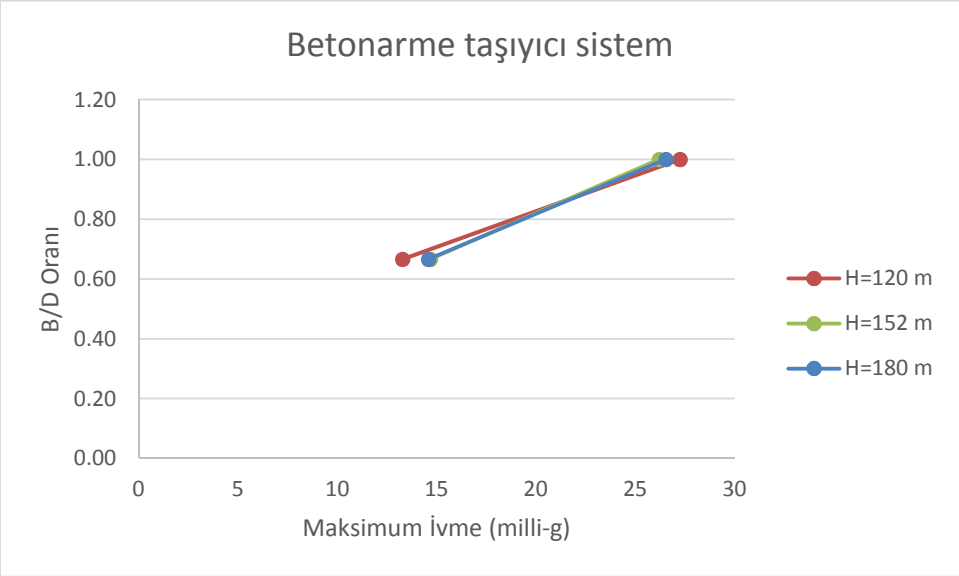




Şekil 6.8 : Boyuna rüzgâr doğrultusundaki maksimum ivme – B/D oranı arasındaki ilişki (sabit B=50 m değeri için).

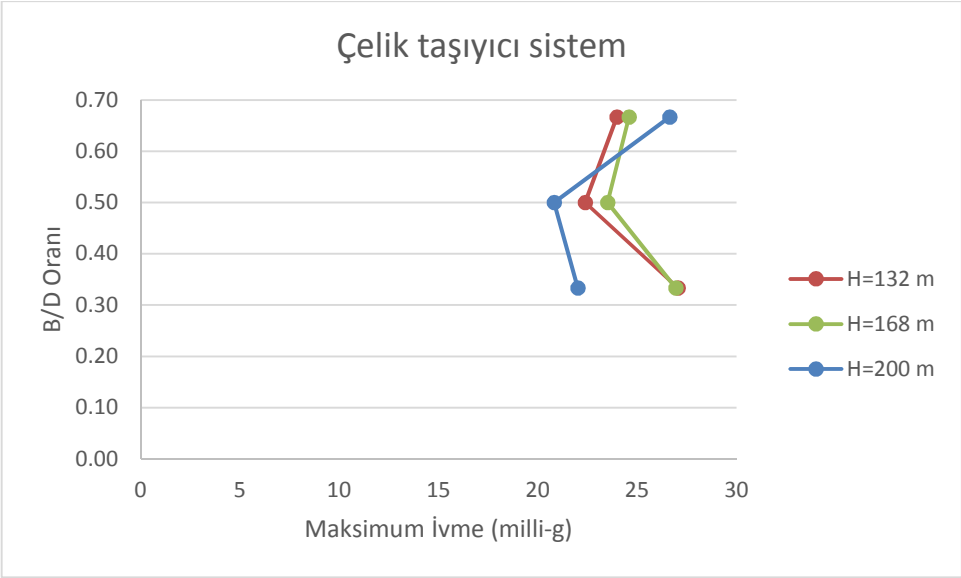
Şekil 6.8 ve Şekil 6.9'da görüldüğü gibi artan B/D oranı ile boyuna rüzgâr doğrultusunda maksimum ivme değerleri artmaktadır.

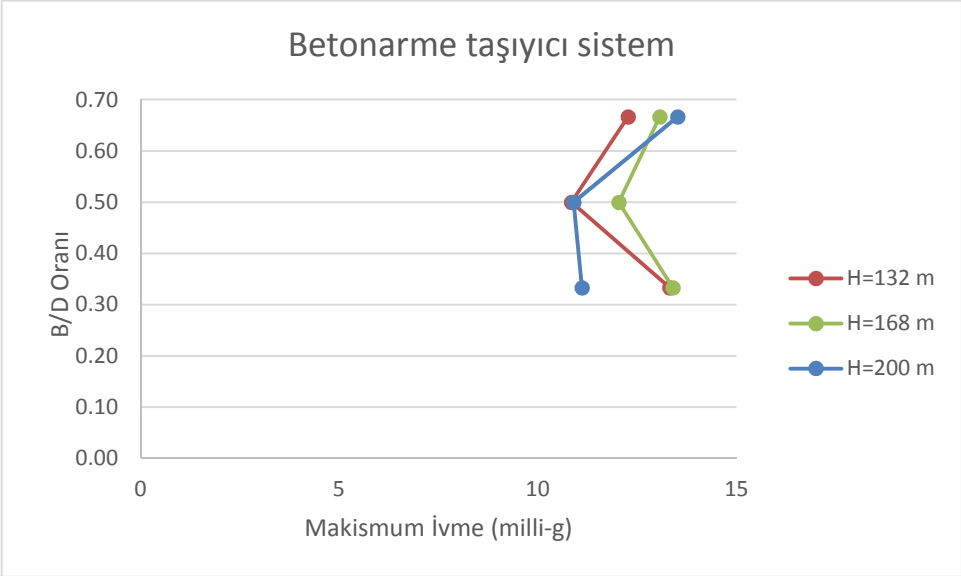




Şekil 6.9 : Boyuna rüzgâr doğrultusundaki maksimum ivme – B/D oranı arasındaki ilişki (sabit B=30 m değeri için).

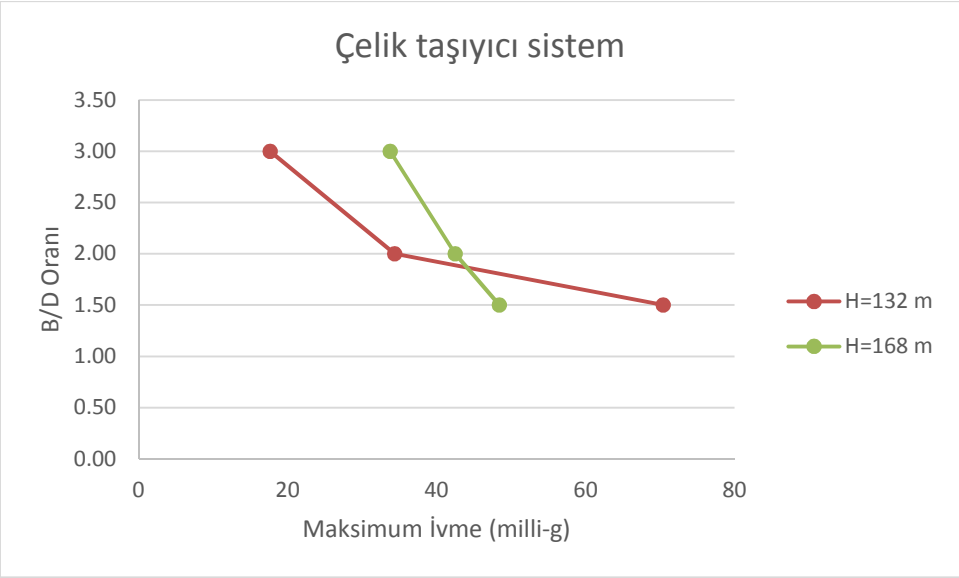
Şekil 6.10'da çelik ve betonarme binaların boyuna rüzgâr doğrultusunda değişken genişlik (B=17 m, 25m, 33m) için maksimum ivme - en/boy oranının (B/D) arasındaki ilişki ve bina yüksekliğiyle olan değişimi verilmiştir.

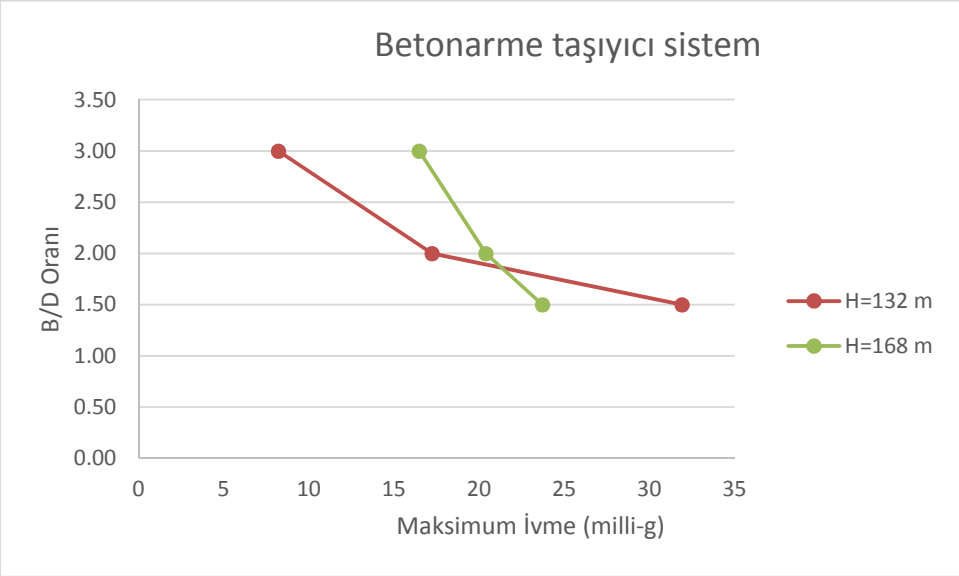




Şekil 6.10 : Boyuna rüzgâr doğrultusundaki maksimum ivme – B/D oranı arasındaki ilişki (değişken B değerleri için).

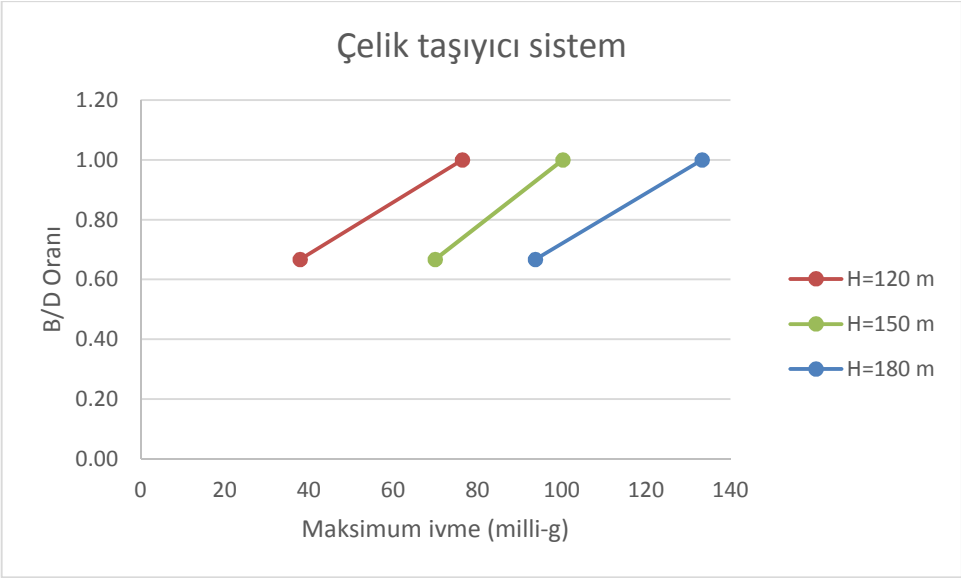
Şekil 6.11'de sabit genişlik (B=50 m) ve Şekil 6.12'de sabit genişlik (B=30 m) için çelik ve betonarme binaların rüzgâra dik doğrultuda maksimum ivme - en/boy oranının (B/D) arasındaki ilişki ve bina yüksekliğiyle olan değişimi verilmiştir.

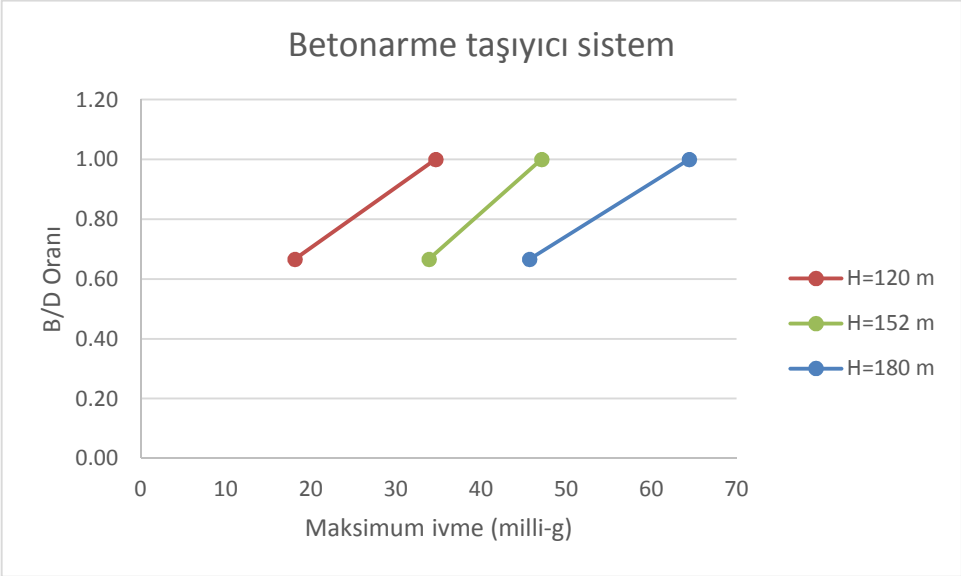




Şekil 6.11 : Rüzgâra dik doğrultuda maksimum ivme – B/D oranı arasındaki ilişki (sabit B=50m değeri için).

Şekil 6.11'de, B/D oranın artmasıyla rüzgâra dik yönde binaların tepe noktalarındaki en büyük ivme beklenen değerleri azalmıştır. Buna karşın, Şekil 6.12'de B/D oranın artmasıyla en büyük ivme beklenen değerinin arttığı görülmektedir. Bunun nedeni, Şekil 6.11'de ele alınan binaların birinci modunun rüzgârın etkidiği doğrultuda, Şekil 6.12'de ele alınan binaların birinci modunun rüzgâra dik doğrultuda olmasıdır.

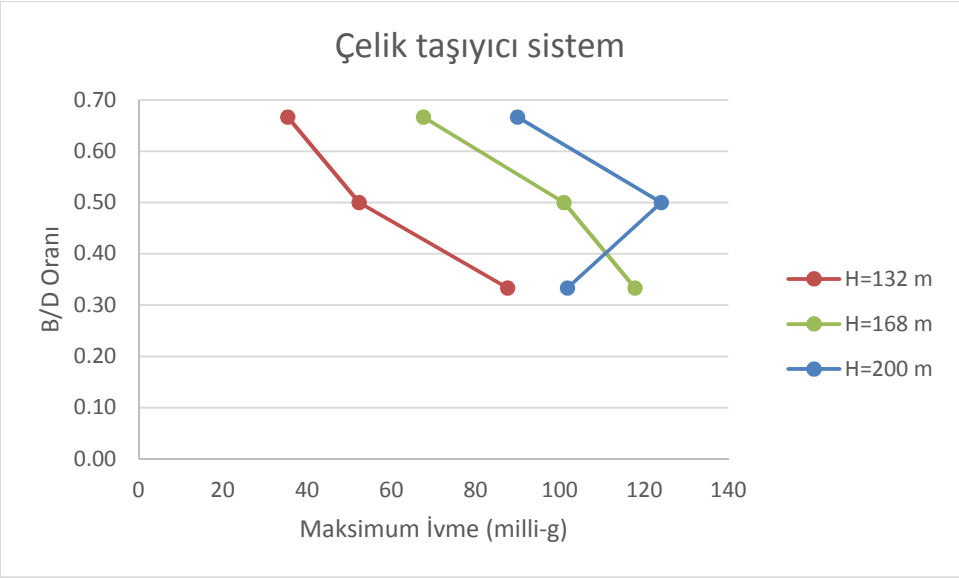


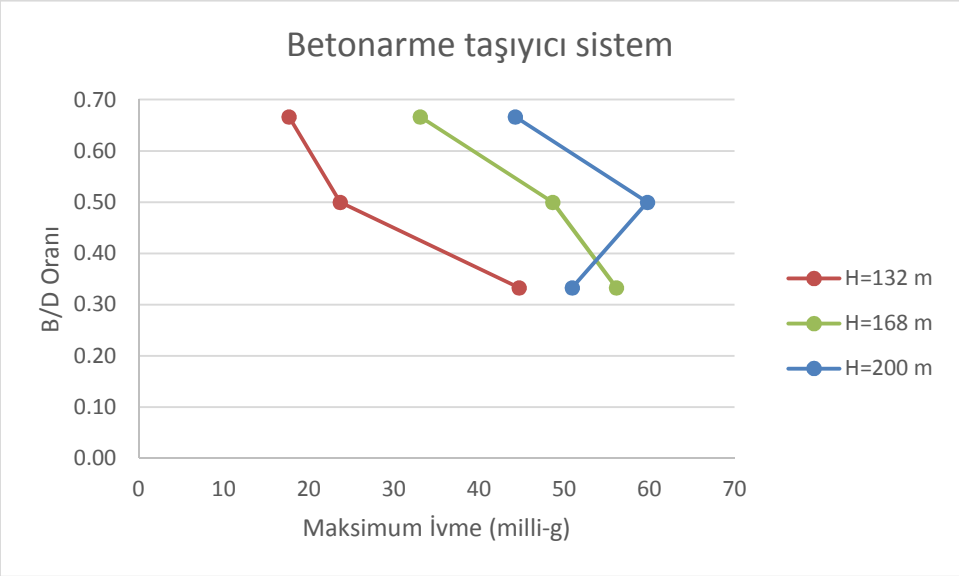


Şekil 6.12 : Rüzgâra dik doğrultuda maksimum ivme – B/D oranı arasındaki ilişki (sabit B=30m değeri için).

Şekil 6.13'te çelik ve betonarme binaların rüzgâra dik doğrultuda değişken genişlik (B=17 m, 25m, 33m) için maksimum ivme - en/boy oranının (B/D) arasındaki ilişki ve bina yüksekliğiyle olan değişimi verilmiştir. Bir genelleme yapamamakla beraber,

B/D oranın artmasıyla maksimum ivme beklenen değerleri azalmıştır.

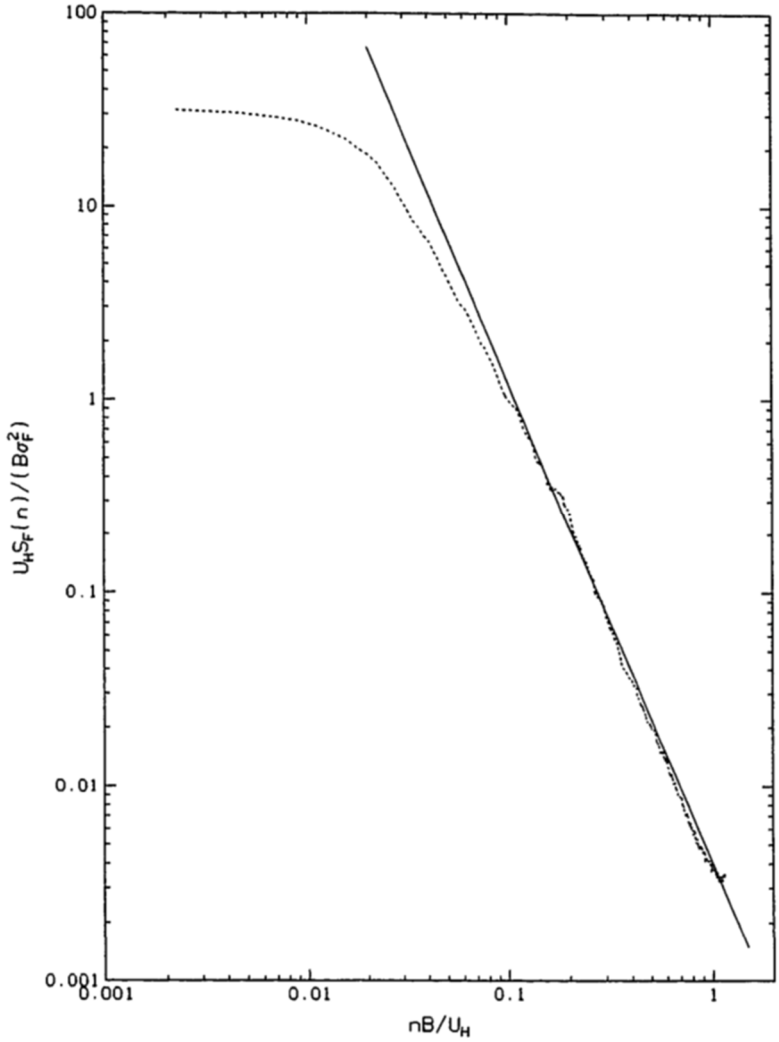




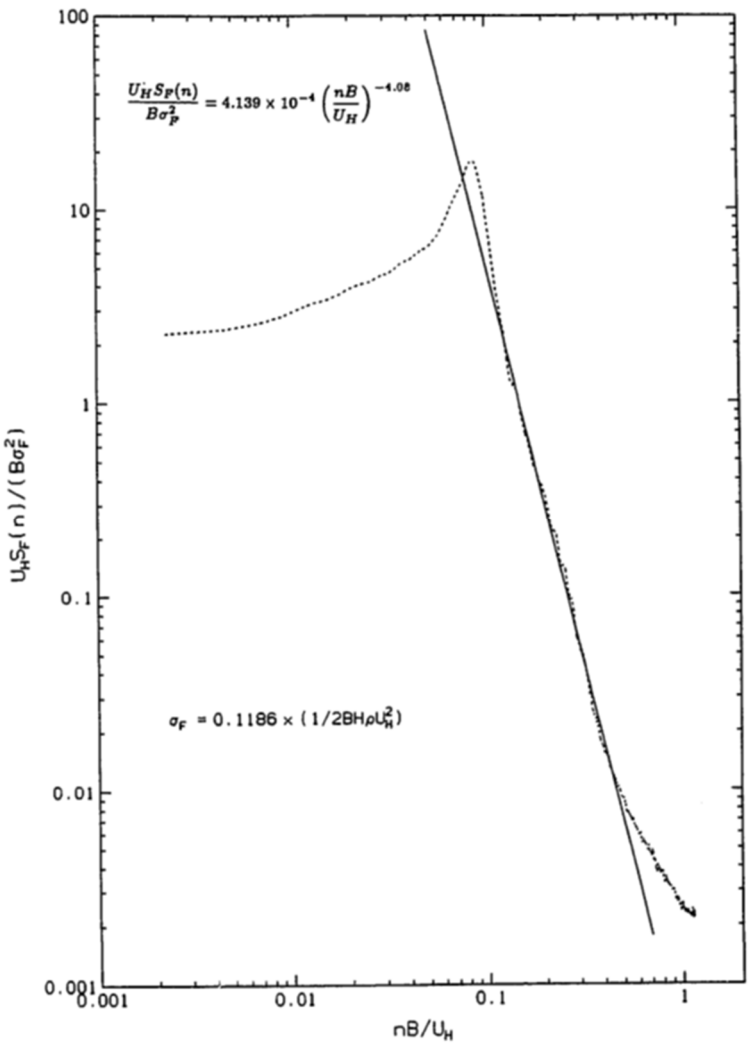
Şekil 6.13 : Rüzgâr dik doğrultuda maksimum ivme – B/D oranı arasındaki ilişki (değişken B değerleri için)

Çalışmanın bu bölümünde M. İslam'ın "Modal coupling and wind-induced vibration of tall buildings" adlı tezinde ele aldığı bina NALD V2.0 programı yardımıyla çözülmüştür. M.İslam (2008)'in doktora tezinde kullandığı 1. moddaki rüzgâr doğrultusundaki, rüzgâra dik doğrultudaki ve burulma güç spektrum yoğunluk fonksiyonları sırasıyla Şekil 6.14, Şekil 6.15 ve 6.16'da verilmiştir. Boyutları 180m x 30m x 30m, bina kütle yoğunluğu 190 kg/m^2, sönüm oranı 0.01, kullanabilirlik seviyesindeki rüzgâr hızı 28 m/s, hava youğunluğu 1.2929 kg/m^3, boyuna rüzgâr doğrultusundaki freakansı 0.1898 1/s, enine rüzgâr doğrultusundaki frekansı 0.20 1/s ve burulma frekansı

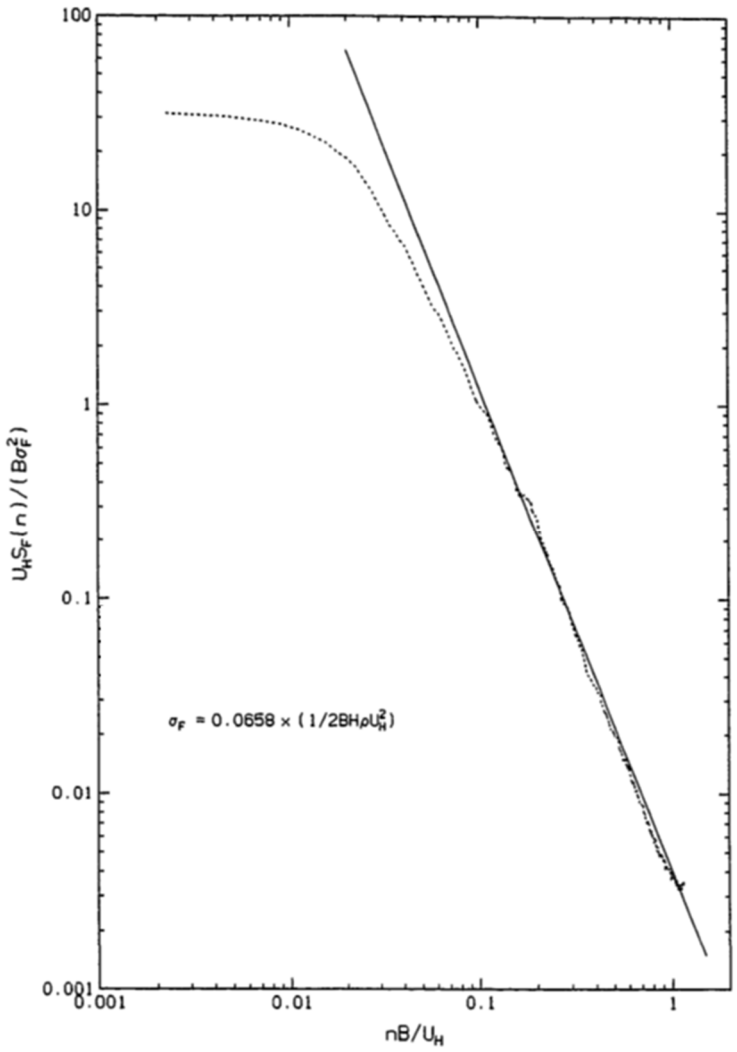
0.2479 1/s olan binanın en üst katında ortalamanın karekökü ivme beklenen değerleri Çizelge 6.8'de verilmiştir.



Şekil 6.14 : M.İslam (1988) tezinde verilen 1. moddaki boyuna türbülans güç spektrumu yoğunluk fonksiyonunun normalize edilmiş frekansla değişimi



Şekil 6.15 : M.İslam (1988) tezinde verilen 1. moddaki boyuna türbülans güç spektrumu yoğunluk fonksiyonunun normalize edilmiş frekansla değişimi.



Şekil 6.16 : M.İslam(1988) tezinde verilen 1. moddaki boyuna türbülans güç spektrumu yoğunluk fonksiyonunun normalize edilmiş frekansla değişimi.

M. İslam(1988) doktora tezinde kullandığı yöntemle, tezinde ele aldığı binanın üst katının köşe noktasındaki ortalamanın karekökü beklenen değerini 11.56 milli-g bulmuştur. Aynı bina NALD V2.0 programıyla çözüldüğünde % 14 daha düşük bir değer elde edilmiştir.

Çizelge 6.8 : M. İslam'ın tezinde çözülen bina ile aynı binanın NALD V2.0 sonuçlarının karşılaştırılması.

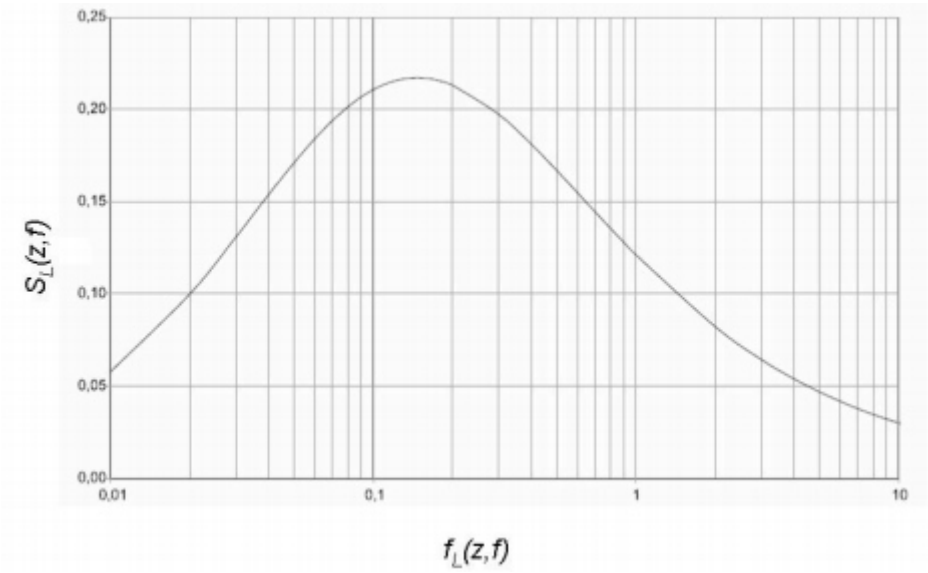
	Boyuna rüzgâr doğ. RMS ivme değeri(milli-g)	**Enine rüzgâr doğ. RMS ivme değeri(milli-g)**	**Binanın üst köşesinde RMS ivme beklenen değeri(milli-g)**
M. İslam (1988)	-	-	13.23
NALD V2.0	6.01	9.88	11.56

Ayrıca İstanbul Yüksek Binalar Rüzgâr Yönetmeliği (İYBRY) (2009)'ne ve bu doktora tezinin 2. bölümünde Şekil 2.15'te verilen, İstanbulSabiha Gökçen Havalimanı'ndan veri toplanarak elde edilen boyuna rüzgâr türbülans güç spektrum yoğunluk fonksiyonu (GSYF) kullanılarak Eurocode-1'e göre çözümleme yapılmıştır. İYBRY'de ve M.İslam (2008)'in doktora tezinde verilen güç spektrum yoğunluk fonksiyonları sırasıyla Şekil 6.16'da ve Şekil 6.17'de verilmiştir. Bina değerleri olarak M.İslam'ın tezide kullandığı değerler kabul edilmiştir. ASCE 7-05'de tanımlanan C sınıfı rüzgâr profilinin tam karşılığı EuroCode 1'de bulunmamaktadır. Bu sebepten dolayı C sınıfı rüzgâr profiline en yakın profil olan II. sınıf EuroCode 1 hesaplarında kullanılmıştır. Çizelge 6.9'da gösterildiği gibi en büyük taban momenti sonuçları, NALD V2.0 programından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6.9 : İstanbul'da elde edilen boyuna GSYF ile çözülen bina ile aynı binanın NALD V2.0 taban eğilme momentlerinin karşılaştırılması.

	Boyuna rüzgâr doğrultusu taban eğilme momentleri(10^6 kN-m)			
	$\bar{M}$	$\widehat{M}_B$	$\widehat{M}_R$	$\widehat{M}$
Eurocode-1 (Sabiha Gökçen Havalimanı'nda elde edilen boyuna GSYF kullanılarak)	-	-	-	1.0973
İYBRY	-	-	-	1.1104
NALD V2.0	0.3420	0.2783	0.5032	0.9170

İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı'nda kaydedilen rüzgâr hızı kayıtlarından elde edilen türbülans boyuna güç spektrum yoğunluk fonksiyonu kullanılarak Eurocode-1'e göre yapılan çözümleme sonucu bulunan en büyük taban eğilme momenti değeri, İYBRY (2009) kullanılarak yapılan çözümlemeden elde edilen en büyük taban eğilme momenti sonucuna göre % 1.1 daha düşük çıkmıştır. Buna karşın NALD V2.0 programı kullanılarak elde edilen taban eğilme momenti değerinden ise % 20 daha büyüktür.



Şekil 6.17 : İYBRY- Boyuna türbülans güç spektrumu yoğunluk fonksiyonunun normalize edilmiş frekansla değişimi.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1 Sonuçlar

Doktora çalışmasının temel hedeflerinden biri, İstanbul'da yüksek yapı tasarım ve boyutlandırmasında kullanılmak için rüzgâr istatistiklerinin (rüzgâr türbülansı güç spektrum fonksiyonu, türbülans şiddeti, maksimum rüzgâr hızı ve ani rüzgâr faktörü) belirlenmesidir Bu amaçla Sabiha Gökçen Havalimanı'nda 15 Mayıs 2012 tarihinde kurulan 3 boyutlu, her boyutta saniyede 25 rüzgâr hızı verisi (25 Hz) ve rüzgâr yönü kaydedilebilen ultrasonik anemometre yardımıyla İstanbul rüzgâr istatistiklerini oluşturacak bilgiler elde edilmiştir. Ayrıca boyuna rüzgâr hızı verisi kullanılarak temel rüzgâr hızı ortalama süresinin, yapının davranışına olan etkisi araştırılmıştır. Son olarak, farklı örnekleme aralıklarına sahip rüzgâr verileri elde edilerek boyuna türbülans güç spektrum yoğunluk fonksiyonu çıkarılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

- Durağan olmayan rüzgâr verilerinin zamanla değişen ortalama hızlarını bulmak amacıyla ampirik mod değiştirme yöntemi kullanılmıştır. Böylece rüzgâr istatistikleri hesaplanırken daha gerçekçi sonuçlar elde edilmiştir.
- Açık alanında alınan rüzgâr verisi setlerinden elde edilen ortalama ani rüzgâr faktörü 1.48 bulunmuştur. Bu değer Vickery ve Skerlj (2005) tarafından yapılan çalışmada raporlanan 10 dakikalık ortalama ani rüzgâr faktörü 1.55 ile yakın sonuç vermektedir.
- Rüzgâr hızında ani yükselme ve alçalmalar olduğu zaman dilimlerinde rüzgâr yönünde de ani değişim olduğu görülmüştür. Durağan olmayan rüzgâr hızlarının oluşum sebebinin rüzgâr yönündeki ani değişimler olduğu söylenebilir.
- Havalimanında elde edilen türbülans şiddeti boyuna yönde 0.19, yatay yönde 0.14, düşey yönde ise 0.08 bulunmuştur. Aralarındaki türbülans şiddeti oranları 1:0.73:0:42 şeklindedir. S.Jung ve F.J. Masters (2013) tarafından yapılan açık

alanda elde edilen ortalama türbülans şiddetleriyle karşılaştırıldığında oldukça yakın değerler elde edildiği gözükmektedir.

- Her üç yön için de ortalama rüzgâr hızının artmasıyla türbülans şiddetinin düştüğü görülmüştür.
- Açık alanda ortalama rüzgâr hızına bağlı türbülans şiddetindeki değişim, binaların yoğun bulunduğu bölgelerdeki türbülans şiddetindeki değişimle Q.S. Li ve diğ., (2009) karşılaştırıldığında daha az olduğu görülmüştür.
- Türbülans rüzgâr hızının boyuna, yatay ve düşey yönündeki ölçülen spektral güç yoğunlukları literatürdeki spektrumlarla büyük benzerlikler göstermektedir. Açık alanda üç rüzgâr hızı bileşeni için elde edilen spektrumlar enerji dağılımını iyi bir şekilde tanımlamaktadır.
- İstanbul için yüksek yapı analizlerinde kullanılmak amacıyla boyuna, yatay ve düşey rüzgâr türbülans güç spektrum yoğunluk fonksiyonları elde edilmiştir.
- Ultrasonik anemometre ile kaydedilen boyuna rüzgâr hızı verisi kullanılarak temel rüzgâr hızı ortalama süresinin, yapının davranışına olan etkisi araştırılmıştır. Rüzgâr hızı verisi yapının periyoduna (T) bağlı olarak 0.1T ile 10T arasında çeşitli ortalama sürelerine göre 128 adet veri seti oluşturulmuş ve ASCE 7-10 yönetmeliğine göre çözümleme yapılmıştır. Yapılan çözümleme sonucunda rüzgâr verisinin 2T (5 saniye) ortalama süre sonunda dinamik etkisinin kaybolduğu, sadece statik etkisinin devam ettiği gözlemlenmiştir. Yüksek yapılarda, rüzgâr verisi kullanılarak ileri seviyede yapılan hesaplamalarda, yapının periyodunun 2 katından daha büyük bir örnekleme aralığına sahip rüzgâr hızı verisi kullanılmamalıdır.
- Sabiha Gökçen Havalimanı'ndan elde edilen rüzgâr verileri kullanılarak farklı örnekleme aralıklarına (25 Hz, 2.5 Hz, 1 Hz, 0.1 Hz) sahip rüzgâr verileri elde edilerek boyuna türbülans güç spektrum yoğunluk fonksiyonu çıkarılmıştır. Sonuçlar karşılaştırıldığı örnekleme aralığının değişmesiyle birlikte rüzgâr hızı verisinin frekans içeriğinin değiştiği görülmektedir.
- Sabiha Gökçen Havalimanı'ndan elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan türbülan şiddetleri, ani rüzgâr faktörleri, üç bileşen için güç spektrum yoğunluk fonksiyonu parametreleri İstanbul Yüksek Yapılar Rüzgâr Yönetmeliği'nde kullanılabilecek değerlerdir.

- Hesaplanan Türkiye temel rüzgâr hızı değerleri Türkiye'de yapılacak çok katlı yapılar için büyük önem teşkil etmektedir. Bu değerler Türkiye için oluşturulacak çok katlı binalar için rüzgâr yönetmeliğinde esas alınması gerekecektir.

Tezin 6. bölümünde farklı dikdörtgen kesitlere sahip 46 adet bina çözümlenerek en büyük yerdeğiştirme ve ivme değerleri bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Rüzgârın etkidiği bina yüzey genişliğinin sabit olduğu çelik ve betonarme taşıyıcı sistemlerin B/D kenar oranın artmasıyla tepe noktasındaki boyuna rüzgâr doğrultusundaki yerdeğiştirme artmıştır. Beklendiği üzere bina yüksekliği arttıkça binaların tepe noktasındaki yerdeğiştirme de büyümüştür. Ayrıca binaların tepe yerdeğiştirmesi, bina yüksekliği arttıkça B/D kenar oranından daha çok etkilenmektedir. B/D oranın iki kat artması 132 metrelik binada en büyük yerdeğiştirmeyi % 48, 200 metrelik binada % 73 arttırmıştır.
- Rüzgârın etkidiği doğrultudaki yüzeyin genişliğinin değiştiği, rüzgâra dik doğrultusundaki yüzeyinin sabit tutulup elde edilen çelik ve betonarme binaların karşılaştırılmalarında tepe noktasında boyuna rüzgâr doğrultusundaki yerdeğiştirme, B/D kenar oranının değişiminden net bir şekilde etkilenmemektedir.
- Birinci mod salınımının rüzgârın etkidiği doğrultuda olan binalarda, B/D oranın artmasıyla rüzgâra dik yönde binaların tepe noktalarındaki yerdeğiştirme azalmakta, birinci mod salınımının rüzgâra dik doğrultuda olan binalarda yerdeğiştirme artmaktadır.
- Rüzgâr etkidiği doğrultudaki kenar uzunluğunun değiştiği, rüzgâra dik doğrultudaki kenarın sabit olduğu binalarda, rüzgâra dik doğrultudaki yerdeğiştirme ile B/D kesit oranı arasında net bir ilişki bulunmamaktadır.
- B/D oranındaki değişim ele alınırken rüzgârın etkidiği yüzeyin sabit genişlikte tutulup, rüzgârın etkidiği doğrultuya dik kenarının değişken olarak ele alındığı binaların karşılaştırılmasında, boyuna rüzgâr doğrultusunda artan B/D oranı ile boyuna rüzgâr doğrultusunda maksimum ivme değerleri artmaktadır.
- Birinci modun rüzgârın etkidiği doğrultuda olan binalarda, B/D oranın artmasıyla rüzgâra dik yönde binaların tepe noktalarındaki en büyük ivme

beklenen değerleri azalmıştır. Buna karşın, birinci modu rüzgâra dik doğrultuda olan binalarda B/D oranın artmasıyla en büyük ivme beklenen değerinin arttığı görülmektedir.

- M. İslam (1988) doktora tezinde ele aldığı bina, NALD V2.0 programı ile çözülmüştür. Binanın üst katının köşe noktasındaki ortalamanın karekökü beklenen değeri NALD V2.0 programı ile % 14 daha düşük bir ivme değeri bulunmuştur.
- Eurocode-1'deki boyuna güç spektrum yoğunluk fonksiyonu yerine İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı'nda kurulan anemometrenin kaydettiği rüzgâr hızı kayıtlarından elde edilen türbülans boyuna güç spektrum yoğunluk fonksiyonu kullanılarak, M.İslam(1988)'ın doktora tezinde kullandığı binada oluşabilecek en büyük taban eğilme momenti değeri bulunmuştur. Bu değer İstanbul Yüksek Binalar Rüzgâr Yönetmeliği (2009) kullanılarak yapılan çözümlemeden elde edilen değerden % 1.1 daha düşükür. Aynı bina NALD V2.0 programı kullanılarak çözümlenmiştir. Eurocode-1 kullanılarak hesaplanan en büyük taban eğilme momenti değeri NALD V2.0 programı kullanılarak elde edilen taban eğilme momenti değerinden % 20 daha büyük çıkmıştır.

7.2 Öneriler

- Yapılan çalışmada ultrasonik anemometre kullanılarak elde edilen rüzgâr verisi 27 aylıktır, temel rüzgâr hızının hesaplanabilmesi için bu sürenin en az 5 yıl olması gerekmektedir.
- Yüksek yapıların yoğun bulunduğu bölgelere kurulacak anemometre ile bu bölgelerdeki rüzgâr istatistikleri elde edilebilir.
- Bir yüksek yapıya yüksekliği boyunca 10 metrede bir kurulacak olan anemometreler yardımıyla ve yapısal sağlık izlemesiyle rüzgâr hızı ve yüksek yapı arasındaki ilişki incelenebilir.
- Temel rüzgâr hızı haritası elde edilirken daha gelişmiş bir program kullanılabilir.
- Rüzgâr yönetmeliklerinde, binaların rüzgâra dik yöndeki titreşimleri için herkesçe kabul edilen bir yöntem verilmemektedir. Dolasıyla ilerideki çalışmalarda bu konu üzerine eğilmek faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

Abild, J., Andersen, E.Y., ve Rosbjerg, D. (1992). Climate of extreme winds at the Great Belt, Denmark. *J. Wind Eng.Ind.Aerodyn., Vol. 41(1-3)*, 521-532.

AIJ-RLB-2004 (2004). Recommendations for loads on buildings. *Architectural Institute of Japan*, Japan.

American Society of Civil Engineers (ASCE), (2000). Minimum design loads for buildings and other structures, *ASCE 7–98*. Reston, Virginia.

American Society of Civil Engineers (ASCE), (2005). Minimum design loads for buildings and other structures, *ASCE 7–05*. Reston, Virginia.

American Society of Civil Engineers (ASCE), (2010). Minimum design loads for buildings and other structures, *ASCE 7–10*. Reston, Virginia.

An, Y., **Pandey, M.D.** (2005). A comparison of methods of extreme wind speed estimation. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 93,* 535–545.

Andersen, O.J. ve Lovseth, J. (1995). Gale force maritime wind, the Froya data base. Part 1: sites and instrumentation, review of the database. *J. Wind Eng. Ind. Aerod., 57(1),* 97-109.

ANSI. (1972). American national standard building requirement for minimum design loads in buildings and other structures, *A58.1. American National Standards Institute,* New York, U. S.

Ashcroft, J. (1994). The relationship between the gust ratio, terrain roughness, gust duration and the hourly mean wind speed. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 53,* 331–355.

Bajic, A. ve Peros, B. (2005). Meteorological basis for wind loads calculation in Croatia. *Wind and Structures, Vol. 8, No. 6,* 389-405.

Boggs, D.W., Hosoya, N. ve Cochran, L. (2000) Sources of torsional wind loading on tall buildings, in: M. Elgaaly (Ed.), Advanced Techniques in Structural Engineering, Proceedings of the Structures Congress, Philadelphia, PA, CD-Rom, ASCE, Reston, VA.

Boggs, D.W. ve Peterka, J.A. (1989). Aerodynamic model tests of tall buildings. *J. Eng. Mech. ASCE 115,* 618–635.

Bortkiewicz, L.V. (1922). Variationsbreite und mittlerer Fehler. *Sitzungsber. Berli. Math. Ges., Vol.21*, 3-11.

Brabson, B.B. ve Palutikof, J. P. (2000). Tests of the generalized Pareto distribution for predicting extreme wind speeds. *J.Appl.Meteorol., Vol. 39(9)*, 1627-1640.

Burton, M.D., Kwok, K.C.S. ve Hitchcock, P.A. (2007). Occupant comfort criteria for wind-excited buildings: based on motion duration. In: Proceedings of 12th International Conference on Wind Engineering, vol. 1, Cairns, Australia, Temmuz, 1207–1214.

Busch, N.E. ve Panofsky, H.A. (1968). Recent spectra of atmospheric turbulence. *Q.J.R. Meteorol. Soc. 94,* 132–148.

BWEA. UK Wind Speed Database[DB/OL] (2008), http://www.bwea.com/noabl/index.html

Castillo, E. (1988). Extreme value theory in engineering. *Academic Press*

Chang, F.K. (1973). Human Response to Motions in Tall Buildings. *J. Struct. Engr., 99*, 1259-1272.

Chen, B., Yang, Q., Wang, K. ve Wang, L. (2013). Full-scale measurements of wind effects and modal parameter identification of Yingxian wooden tower. *Wind and Structures: Vol. 17. No:6,* 609-627.

Chen, P.W. ve Robertson, L.E. (1972). Human Perception Threshold of Horizontal Motion. *J. Struct. Engr., 98*, 1681-1696.

Chen, X. (2008). Analysis of Alongwind Tall Building Response to Transient Nonstationary Winds. *Journal of Structural Engineering, Vol. 134, No. 5,* 782-791.

Chen, X., ve Kareem, A. (2005). Dynamic Wind Effects on Buildings with 3D Coupled Modes: Application of High Frequency Force Balance Measurements. *J. Eng. Mech., 131(11),* 1115–1125.

Cheng, C.H., Wu, J.C., Wang, J. ve Lin, Y.Y. (2007). Wind characteristics of typhoon and monsoon. *Proc. Of The Twelfth Int. Conf. on Wind Engineering,* Cairns, Australia*,* 1-6 Temmuz 2007*,* 711-717.

Choi, E.C.C. (1978). Characteristics of typhoons over the South China Sea*. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. 3*, 353–365.

Chowdhury, J.U., Stedinger, J.R., ve Lu, L. (1991). Goodness-of-fit tests for regional generalized extreme value flood distributions. *Water Resour. Res., Vol. 27(7)*, 1765.

Coles, S. (2001). An introduction to statistical modeling of extreme values. *Springer.*

Coles, S.G. ve Walshaw, D. (1994). Directional Modelling of Extreme Wind Speeds. *Appl. Stat.,Vol. 43(1),* 139-157

Cook, N.J. (1982). Towards better estimation of extreme winds. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., Vol. 9(3)*, 295-323.

Cook, N.J. (1985). The designer's guide to wind loading of building structures. *Building Research Establishment, Dept, of the Environment;* London; Butterworths

Davenport, A.G. (1960). Rationale for determining design wind velocities. *J. Atmos. Civ. Soc. Civ. Eng. Struct. Div. 86*, 39–68.

Davenport, A.G. (1961). The Application of Statistical Concepts to the Wind Loading of Structures. *Proc. Inst. Civ. Engr., 19,* 449-471.

Davenport, A.G. (1961). The spectrum of horizontal gustiness near the ground in high winds. *Q. J. Roy.Meteor. Soc., 87,* 194-211.

Davenport, A.G. (1962). The Response of Slender Line-Like Structures to a Gusty Wind. *Proc. Inst. Civ. Engr., 23*, 389-408.

Davenport, A.G. (1966). Design factors for evaluating dynamic action of wind on structures. *ASCE and Colegio de Ingenieros Civiles de Mexico Meeting,* (sf. 38), American Society of Civil Engineers (ASCE), New York, NY, United States.

Davenport, A.G. (1967). Gust Loading Factors. *J. Struct. Engr., ASCE, 93,* 11-34.

Davenport, A.G. (1995). How can we simplify and generalize wind loads. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 54/55*, 657–669.

Davenport, A.G., Georgiou, P.N. ve Surry, D. (1985). Hurricane wind risk study for the Eastern Caribbean, Jamaica and Belize, with special consideration of the effects of topography. *Report* **BLWT-SS31-1985**. University of Western Ontario.

Davison, A.C. (1984). Modelling excesses over high thresholds, with an application. *Oliviera, J.Tiago de, ed.,Reidel, Dordrecht,* 461-482.

Davison, A.C. ve Smith, R.L. (1990). Models for Exceedances over High Thresholds. *Journal of the Royal Statistical Society.Series B (Methodological), Vol. 52(3),* 393-442.

Dodd, E.L. (1923). The greatest and least variate under general laws of error. *Trans. Am. Math. Soc.,Vol. 25(4)*, 525-539.

Dorman, C.M.L. (1983). Extreme wind gust speeds in Australia, excluding tropical cyclones. *Civ. Eng. Trans.I. E. Aust., 25*, 96-106.

Durst, C. S. (1960). Wind speeds over short periods of time. *Meteor.Mag., 89,* 181–186.

European Committee for Standardization (1994), Eurocode 1: Basis of Design and Actions on Structures. *Part 2-4: Wind actions*. ENV-1991-2-4, C.E.N., Brussels.

Fisher, R.A. ve Tippett, L.H.C. (1928). Limiting forms of the frequency distribution of the largest or smallest members of a sample. *Proc. Cambridge Philos. Soc., Vol. 24,* 180-190.

Foutch, D.A. ve Şafak, E. (1981). Torsional Vibration of Along- Wind Excited Structures. *J. Engr. Mech.,* 107, 323-337.

Foutch, D.A. ve Şafak, E. (1981). Torsional Vibration of Wind Excited Symmetrical Structures. *J. Wind Engr. & Ind. Aerodyn.,* 7, 191-201.

Frechet, M. (1927). Sur la loi de probabilite de l'ecart maximum. *Ann. Soc. Polon. Math. Cracovie, 6*, 93-116.

Fujimoto, M. ve diğ. (1988). Human Response to Wind-Induced Vibration of Tall Buildings. *Proc. Symposium/Workshop on Serviceability of Buildings, Vol. I,* 271-290.

Galambos, J. (1978). The asymptotic theory of extreme order statistics. *Wiley.*

Galambos, J. (1987). The asymptotic theory of extreme order statistics. *R.E. Krieger Pub. Co.,Malabar, Fla.*

Galambos, J. ve Macri, N. (1999). Classical Extreme Value Model and Prediction of Extreme Winds. *J. Struct. Eng.,125(7)*, 792–794

Gnedenko, B. V. (1943). Sur la distribution limit du terme maximum d'une serie aleatoire. *Ann. Math., Vol. 44*, 423.

Górski, P. (2009). Some aspects of the dynamic cross-wind response of tall industrial chimney. *Wind and Structures, Vol. 12, No. 3*, 259-279.

Górski, P. ve Chmielewski, T. (2008). A comparative study of along and cross-wind responses of a tall chimney with and without flexibility of soil. *Wind Struct., 11(2),* 121-135.

Grant, A.L.M. (1994). Wind profiles in the stable boundary layer, and the effect of low relief. *Q. J. Roy.Meteor. Soc., 120*, 27-46.

Greenwood, J.A., Landwehr, J.M., Matalas, N.C., ve Wallis, J.R. (1979). Probability weighted moments: definition and relation to parameters of several distributions expressable in inverse form. *Water Resources Research, 15*, 1049-1054.

Gross, J.L., Heckert, N.A., Lechner, J.A., ve Simiu, E. (1994). Extreme winds estimation by 'peaks over threshold1 and epochal methods. *Proceedings of the Structures Congrees '94*, *Apr 24-28 1994*, (Sf. 1472-1477) Publ by ASCE, New York, NY, USA; National Inst of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, USA,

Gumbel, E.J. (1958). *Statistics of extremes*. Columbia University Press.

Gusella, V. (1991). Estimation of extreme winds from short-time records. *J. Struct. Eng., 117*, 375-390.

Hansen, J.R., Reed, W.J., ve Vanmarcke, E.H. (1973). Human Response to Wind-Induced Motion of-Buildings. *J. Struct. Engr., 99*, 1589-1606.

Ha, Y.C., (2013). Empirical formulations for evaluation of across-wind dynamic loads on rectangular tall buildings. *Wind and Structures, Vol. 16, No. 6*, 603-616

Hart, G.C. (1970). Building Dynamics Due to Stochastic Wind Forces, *J. Struct. Engr., 96*, 535-550.

Hart, G.C. ve diğ. (1975). Torsional Response of High Rise Buildings. *J. Struc. Engr., 101*, 397-416.

Heckert, N.A., Simiu, E., ve Whalen, T. (1998). Estimates of hurricane wind speeds by 'peaks over hreshold' method. *J.Struct.Eng., Vol. 124(4),* 445-449.

Hennessey, J. P. J. (1977). Some aspects of wind power statistics. *J. Appl. Meteorol., Vol. 16(2*), 119-128.

Ho, T.C.E., Lythe, G.R. ve Isyumov, N. (1999) Structural loads and responses from the integration of instantaneous pressure, in *Wind Engineering into the 21st Century*, **3**, A. Larsen, G.L. Larose, F.M. Livesey (Eds.), A.A. Balkema, Rotterdam.

Holmes, J.D. (2001). *Wind Loading of Structures*. Spon Press, London.

Holmes, J.D. (2002). A re-analysis of recorded wind speeds in Region A. *Australian Journal of Structural Engineering, 4,*29-40.

Holmes, J.D. (2007). *Wind loading of structures*. Taylor & Francis, New York.

Holmes, J.D. (2012). Ders notları.

Holmes, J.D., Banks, R.W. ve Paevere, P. (1997). Measurements of topographic multipliers and flow separation from a steep escarpment. Part I. Full scale measurements. *J. Wind Eng. Ind. Aerod., 69-71*, 885-892.

Holmes, J.D., Baker, C.J., English, E.C. ve Choi, E.C.C. (2005). Wind structure and codification. *Wind Struct., 8(4),* 235-250.

Holmes, J.D. ve Weller, R. (2002). Design Wind Speeds for the Asia-Pacific Region, *Handbook HB-212*, Standards Australia.

Hong Kong Code of Practice (2004). *Code of practice for structural use of concrete, Buildings Department,* Hong Kong.

Hong Kong Code of Practice (2005). *Code of practice for structural use of steel, Buildings Department,* Hong Kong.

Hosking, J.R.M. (1984). Testing whether the shape parameter is zero in the generalized extreme-value distribution. *Biometrika, Vol. 71*, 367-374.

Hosking, J.R.M (1990). L-Moments: Analysis and Estimation of Distributions Using Linear Combinations of Order Statistics. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological), Vol. 52(1)*, 105-124.

Huang, G., Chen, X., Liao, H. ve Li, M. (2013). Predicting of tall building response to non-stationary winds using multiple wind speed samples. *Wind and Structures, Vol. 17, No. 2*. 227-244.

Hui, M.C., Larsen, A. ve Xiang, H.F. (2009). Wind turbulence characteristics study at the Stonecutters Bridge site: Part I—Mean wind and turbulence intensities. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 97(1),* 22-36.

Irwin, P.A. (1979). Cross-Spectra of Turbulence Velocities in Isotropic Turbulence. *Boundary Layer Meteorolog.*, 16, 237-243.

Irwin, P.A. (1986). Motion in Tall Buildings. *Proceedings of the Conference on Tall Buildings*, *Second Century of the Skyscraper*, Chicago, Il.

Islam, M.S. (1988). *Modal coupling amd wind-induced vibration of tall buildings,* (doktora tezi), The Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland.

Islam, M.S., Ellingwood, B., ve Corotis, R.B. (1990). Structural Properties of Tall Buildings. *Engineering Structures*, 2982-3002.

İYBRY. (2008). Istanbul Yüksek Binalar Rüzgâr Yönetmeliği, *Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Boğaziçi Üniversitesi Çengelköy,* İstanbul.

Isyumov, N. ve Case, P.C. (2000) Wind-induced torsional loads and response of buildings, in: M. Elgaaly (Ed.), Advanced Techniques in Structural Engineering, Proceedings of the Structures Congress, Philadelphia, PA, CD-Rom, ASCE, Reston, VA..

Isyumov, N. ve Poole, M. (1984). Wind-Induced Torque on Square and Rectangular Building Shapes. *Proc. 6th Int. Conf. on Wind Engineering.* Elsevier, Amsterdam.

Jenkinson, A.F. (1955). The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) of meteorological elements. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc., Vol. 81,* 158-171.

JGJ. (2002). Chinese Building Code, *JGJ 3-2002 Technical Specification for Concrete Structures of Tall Buildings.*

Jung, S. ve Masters, F. J. (2013). Characterization of open and sunurban boundary layer wind turbulence in 2008 Hurricane Ike, *Wind and Structures:* Vol. 17. No:2 *135-162.*

Kaimal, J.C., Wyngaard, J.C., Izumi, Y. ve Cote, O.R. (1972). Spectral characteristics of surface-layer turbulence. *Q. J. Roy. Meteor. Soc., 98,* 563-589.

Kanda, J. ve diğ. (1988). Probabilistic Criteria for Human Perception of Low-Frequency Horizontal Motions. *Proc. Symposium / Workshop on Serviceability of Buildings, Vol. I,* 260-269.

Kareem, A. (1978). *Wind Excited Motion of Buildings,* (doktora tezi), Department of Civil Engr., Colorado State Univ.

Kareem, A. (1981). Wind-Excited Response of Buildings in Higher Modes. *J. Struct. Engr., 107*, 701-706.

Kareem, A. (1982). Across-Wind Response of Buildings. *J. Struct. Engr., 108*, 869-887.

Kareem, A. (1982). Measurements of total dynamic loads from surface pressures, in: T.A. Reinhold (Ed.),National Bureau of Standards, Proceedings, International Workshop on Wind Tunnel Modeling Criteria and Techniques, Gaithersburg, Maryland, Cambridge University Press, Cambridge.

Kareem, A. (1985). Lateral-Torsional Motion of Tall Buildings to Wind Loads. *J. Struct. Engr., 111*, 2479-2496.

Kareem, A. (1986). Synthesis of fluctuating along-wind loads on tall buildings, *J. Eng. Mech. ASCE 112,* 121–125.

Kareem, A. (1992). Dynamic Response of High-Rise Buildings to Stochastic Wind Loads. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 41-44,* 1101-1112.

Karim, M.A. ve Chowbury, J.U. (1995). A comparison of four distributions used in flood frequency analysis in Bangladesh. *Hydrol. Sci. J., 40*, 55-66.

Kasperski, M. (2002). A new wind zone map for Germany. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 90,* 1271-1287.

Katen, Van H. (1971). The Comparison of Measured and Calculated Amplitudes of Some Buildings and Determination of the Damping Effects of the Building. *Proc. 3rd Int. Conf. on Wind Effects on Buildings and Structures,* 825-839.

Kato, N., Ohukuma, T., Kim, J.R., Marukawa, H. ve Niihori, Y. (1992). Full scale measurements of wind velocity in 2 urban areas using an ultrasonic anemometer. *J. Wind Eng. Ind. Aerod., 41(1-3),* 67-78.

Kijewski, T. ve Kareem, A. (1998). Dynamic wind effects: a comparative study of provisions in codes and standards with wind tunnel data. *Wind Struct. 1,* 77–109.

Kimball, B. F. (1946). Sufficient statistical estimation functions for the parameters of the distribution of maximum values. *Ann. Math. Stats., 17*, 299.

Korrell, A., Panofsky, H.A. ve Rossi, R.J. (1982). Wind profiles at the Boulder tower. *Bound. Lay. Meteorol., 22,* 295-312.

Kasperski, M. (1992). Extreme wind load distributions for linear and nonlinear design. *Eng. Struct., 14*, 27–34.

Katen, Van H., (1971). The Comparison of Measured and Calculated Amplitudes of Some Buildings and Determination of the Damping Effects of the Building", *Proc. 3rd Int. Con/. on Wind Effects on Buildings and Structures,* 825-839**.**

Krayer, W. R., ve R. D. Marshall. (1992). Gust factors applied to hurricane winds. *Bull. Amer. Meteor. Soc., 73,* 613–617.

Kwok, K.C.S. (1982). Cross-Wind Response of Tall Buildings. *Engr. Structures, 4,* 256-262.

Kwon, D. K., Kijewski-Correa, T., ve Kareem, A. (2008). e-Analysis of high-rise buildings subjected to wind loads. *Journal of Structural Engineering, ASCE, 134(7)*, 1139-1153.

Lakshmanan, N., Gomathinayagam, S., Harikrishna, P., Abraham, A. ve

Ganapathi, S.C. (2009). Basic wind speed map of India with long-term hourly wind data. *Current science, vol. 96, no. 7*, 911-922.

Landwehr, J.M., Matalas, N.C., ve Wallis, J.R. (1979). Probability weighted moments compared with some traditional techniques in estimating Gumbel parameters and quantiles. *Water Resources Research, 15*, 1055-1064

Law, S.S., Bu, J. Q., Zhu, X. Q. ve Chan, S. L. (2006). Wind characteristics of Typhoon Dujuan as measured at a 50 m guyed mast. *Wind and Structures:* Vol. 9. No:5 *387-396.*

Leadbetter, M.R., Lindgren, G., ve Rootzen, H. (1983). Extremes and related properties of random sequences and processes. *Springer-Verlag*.

Lechner, J.A., Simiu, E., ve Heckert, N.A. (1993). Assessment of 'peaks over threshold' methods for estimating extreme value distribution tails. *Struct.Saf, Vol. 12(4)*, 305-314

Ledermann, W., Lloyd, E., Vajda, S., ve Alexander, C. (1990). *Handbook of Applicable Mathematics.* (Vol. 7: Supplement, sf. 47)

Lee, B.E. ve Ng, W.K. (1988). Comparisons of estimated dynamic along-wind responses. *J. Wind Eng. Ind.Aerodyn., 30,* 153–162.

Li, Q. S., Zhi, L. ve Hu, F. (2009). Field monitoring of boundary layer wind characteristics in urban area. *Wind and Structures:* Vol. 12. No:6. *553-574.*

Lin, N., Letchford, C., Tamura, Y., Liang, B. ve Nakamura, O. (2005). Characteristics of wind forces acting on tall buildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 93,* 217–242.

Lu, J. C. ve Peng, L. (2003). Likelihood based distribution of the periods and amplitudes of sea waves. *Extremes, Vol. 5(4),* 337-35.

Mathhys, G. ve Beirlant, J. (2003). Estimating the extreme value index and high quantiles with exponential regression models. *Statistica Sinica, Vol. 13(3)*, 853-880.

Miller, C.A. (2002). A design wind speed map for Europe derived from mean sea level pressure measurements. *AGD 2002 Symposium*, London, Ontario, Canada, 20-22 Haziran.

Murphy, B. ve Jackson, P.L. (1997). Extreme Value Analysis: Return Periods of Severe Wind Events in the Central Interior of British Columbia. *McGregor Model Forest Association.*

Naess, A. (1997). Statistical extrapolation of extreme value data based on the 'peaks over threshold' method. *Proc. 16th Int. Conf. Offshore Mech. Arctic Engrg. Vol. II, Safety and Reliability,* (Sf. 113-117) ASME, New York, U. S

Naess, A. (1998). Statistical extrapolation of extreme value data based on the peaks over threshold method. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Transactions of the ASME, Vol. 120(2),* 91-96.

Naess, A. ve Clausen, P.H. (2001). Combination of the peaks-over-threshold and bootstrapping methods for extreme value prediction. *Struct. Saf, Vol. 23(4),* 315-330.

NBCC. (1970)**.** Canadian structural design manual, *Supplement No. 4 to the National Building Code of Canada. National Research Council of Canada*, Ottawa, Canada.

NBCC. (2005). National Building Code of Canada. Institute for research in construction, *National Research Council of Canada*, Ottawa, Canada.

NRCC. (1996). User's Guide-NBC1995 Structural Commentaries (Part 4).

O'Rourke, M.J., Parmelee, R.A. ve Corotis, R.B. (1975). Response of Structures to Random Wind Forces. *J. Struct. Engr., 101*, 2557-2571.

Pandey, M.D. (2002)**.** An adaptive exponential model for extreme wind speed estimation, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 90,* 839-866.

Pandey, M. D., Gelder, P. H. A. J. M. V., ve Vrijling, J. K. (2001). The estimation of extreme quantiles of wind velocity using L-moments in the peaks-over-threshold approach. *Struct.Saf.,Vol. 23(2)*, 179-192.

Panofsky, H.A., Larko, D., Lipschutz, R., Stone, G., Bradley, E.F., Bowen, A.J. ve Hojstrup, J. (1982). Spectra of velocity components over complex terrain. *Q. J. Roy. Meteor. Soc., 108,* 215-230.

Panofsky, H.A. ve McCormik, R.A. (1959). *The spectrum of vertical velocity near the surface, Collection of Mineral industries*. Pennsylvenia University, University Park.

Panofsky, H.A. ve Petersen, E.L. (1972). Wind profiles and change of terrain roughness at Riso. *Q. J. Roy.Meteor. Soc., 98*, 845-854.

Patrickson, C.P. ve Friedmann, P. (1976). A Study of the Coupled Lateral and Torsional Response of Tall Buildings to Wind Loadings. *Technical Report,* **UCLA-Eng 76126**, Univ. of California at Los Angeles.

Peil, U. ve Nölle, H. (1992). Guyed mast under wind load. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 41-44,* 2129-2140.

Peterka, J.A. ve Shahid, S. (1998). Design gust wind speeds in the United States. *J. Struct. Eng., ASCE, 124,* 207-214.

Piccardo, G. ve Solari, G. (2000). 3D Wind-Excited Response of Slender Structures: Closed-Form Solution. *J. Struct. Eng. 126*, 936-943.

Pickands, J. I. (1975). Statistical Inference Using Extreme Order Statistics. *The Annals of Statistics,Vol. 3(1),* 119-131.

Rajabi, M.R. ve Modarres, R. (2007). Extreme value frequency analysis of wind data from Isfahan, Iran. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 96,* 78–82.

Reinhold, T.A. (1977). *Measurement of Simultaneous Fluctuating Loads at Multiple Levels on a Model of a Tall Building in a simulated Urban Boundary Layer,* (doktora tezi), Engineering Mechanics Department, Virginia Polytechnic Institute & State University.

Reinhold, T.A. (1983). Distribution and Correlation of Dynamic Wind Loads. *J. Engr. Mech.,109*, 1419-1436.

Reiss, R.D., ve Thomas, M. (2001). Statistical analysis of extreme values : from insurance, finance, hydrology, and other fields. *BirkhAnuser Verlag.*

Resnick, S.I. (1987). Extreme values, regular variation, and point processes. *Springer-Verlag.*

Ross, W.H. (1987). A peaks over threshold analysis of extreme speeds. *Can. J. Statistics, 15*, 328-335.

Sachs, P. (1972). Wind Forces in Engineering. Pergamon Press, Oxford.

Safak, E. ve Foutch, D.A. (1980). Vibration of Buildings under Random Wind Loads. *Structural Research Series* (No. 480) Dept. of Civil Engr., Univ. of Illinois at Urbana-Champaign.

Saunders, J.W. ve Melbourne, W.H. (1975). Tall Rectangular Building Response to Cross-Wind Excitation. *Proc. 4th Int. Conj. Wind Effects on Buildings and Structures,* 369-379.

Schroeder, J.L., Edwards, B.P. ve Giammanco, I.M. (2009). Observed tropical cyclone wind flow characteristics. *Wind Struct., 12(4),* 347-379.

Shellard, H.C. (1972). Extreme wind speeds in the Commonwealth Caribbean. *J. Barbados Assoc. Prof. Eng*

Shiau, B. ve Chen, Y. (2001). In situ measurement of strong wind velocity spectra and wind characteristics at Keelung coastal area of Taiwan. *Atmospheric Research, 57*, 171-185.

Shiau., B. ve Chen, Y. (2002). Observation on wind turbulence characteristics and velocity spectra near the ground at the coastal region. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 90*, 1671-1681.

Sidarous, J.F.Y. ve Vanderbilt, M.D. (1979). An Analytical Methodolgy for Dynamic Building Response to Wind Loading. *Structural Research Report No. 24,,* Civil Engineering Dept., Colorado State University, Fort Collins,

Simiu, E. (1973). Gust Factors and Alongwind Pressure Correlations", *J. Struct. Engr., ASCE, 99*, 773-783.

Simiu, E. (1974). Wind spectra and dynamic alongwind response. *J. Struct. Div., ASCE, 100(9),* 1897-1910.

Simiu, E. (1976). Equivalent Static Wind Loads for Tall Building Design. *J. Struct. Engr., ASCE, 102,* 719-737.

Simiu, E. (1980). Revised Procedure for Estimating Alongwind Response. *J. Struct. Engr., ASCE, 106*, 1-10.

Simiu, E., Bietry, J. ve Filliben, J.J. (1978). Sampling errors in estimation of extreme winds. *J. Struct. Div.,ASCE, 104,* 491-501.

Simiu, E. ve Heckert, N.A. (1996). Extreme wind distribution tails: a 'peaks over threshold' approach. *J.Struct.Eng., Vol. 122(5),* 539-547.

Simiu, E. ve Lozier, D.W. (1975). Buffeting of Tall Structures by Strong Winds. *National Bureau of Standards Building Science* (Series 74), Washington DC.

Simiu, E., Marshall, R.D. ve Haber, S. (1977). Estimation of Along Wind Building Response. *J. Struct. Engr., ASCE, 103*, 1325-1338.

Solari, G. (1975). Alongwind Response Estimation: Closed Form Solution. *J. Struct. Engr., ASCE, 108*, pp. 225-244.

Solari, G. (1982). Alongwind Response Estimations. Closed Form Solution. *J. of Struct. Div., ASCE, 108(1),* 225-244.

Solari, G. (1993). Gust buffeting. II: dynamic along-wind response, *J. Struct. Eng. ASCE, 119*, 383–397.

Solari, G. ve Piccardo, G. (2001). Probabilistic 3-D turbulence modeling for gust buffeting of structures. *Probabilist. Eng. Mech., 16,* 73-86.

Şahin, A.D. (2002). Hourly wind velocity exceedence maps of Turkey. *Energy Conversion and Management, 44,* 549–557.

Sparks, P.R., Reid, G.T., Reid, W.D., Welsh, S. ve Welsh, N. (1992). Wind conditions in hurricane Hugo by measurement, inference, and experience. *J. Wind Eng. Ind. Aerod., 41(1-3)*, 55-66.

Tallin, A. (1984). *Wind Induced Motion of Tall Buildings,* (doktora tezi) Civil Engineering Department, The Johns Hopkins University.

Tallin, A. ve Ellingwood, B. (1984). Serviceability Limit States: Wind Induced Vibrations. *J. Struct. Engr. vol. 110*, 2424-2437.

Tallin, A. ve Ellingwood, B. (1985). Wind Induced Lateral-Torsional Motion of Buildings. *J. Struct. Engr.*, *111*, 2197-2213.

Taoka, G.T. ve diğ. (1975). Ambient Response Analysis of some Tall Structures. *J. Struc. Engr., ASCE, 101*, 49-65.

Tamura, Y., Kareem, A., Solari, G., Kwok, K.C.S., Holmes, J.D ve Melbourne, W.H. (2005). Aspects of the dynamic wind-induced response of structures and codification. *Wind and Structures, Vol. 8, No. 4*, 251-268.

Tamura, Y., Iwatani, Y., Hibi, K., Suda, K., Nakamura, O., Maruyama, T. ve Ishibashi, R. (2007). Profiles of mean wind speeds and vertical turbulence intensities measured at seashore and two inland sites using Doppler sodars. *J. Wind Eng. Ind. Aerod., 95,* 411-427.

Tamura, Y., Suda, K., Sasaki, A., Iwatani, Y., Fujii, K., Ishibashi, R. ve Hibi, K. (2001). Simultaneous measurements of wind speed profiles at two sites using Doppler sodars. *J. Wind Eng. Ind. Aerod., 89,* 325-335.

Teunissen. H.W. (1979). Structure of Mean Winds and Turbulence in the Planetary Boundary Layer Over Rural Terrain, *Journal of Boundary-Layer Meteorology,* Vol. 19, No. 2, *187-221*.

Thuillier, R.H. ve Lappe, V.O. (1964). Wind and temperature profile characteristics from observations on a 1400 ft tower. *J. Appl. Meteorol., 3,* 299-306.

Tieleman, H.W. (2008). Strong wind observations in the atmospheric surface layer. *J. Wind Eng. Ind. Aerod., 96*, 41-77.

Tschanz, T. ve Davenport, A.G. (1983). The base balance technique for the determination of dynamic wind loads, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. 13,* 429–439.

URS/John A. Blume & Associates,Engineers (1988). Wind Response of a Tall Building with Full-Scale Observations, *Report Prepared or The U.S. Department of Energy* Under Contract **DE-ACOB-8,./NV10343**.

Van der Hoven, I. (1957). Power spectrum of horızontal wınd speed in the frequency range from 0.0007 to 900 cycles per hour. *J. Meteor.*, *14*, 160–164.

Vellozi, J. ve Cohen, E. (1968). Gust Response Factors. *J. Struct. Engr., ASCE, 94*, 1295-1314.

Ve1lozi, J. ve Cohen, E. (1970). Dynamic Response of Tall Flexible Structures to Wind Loadings. *Proc. Technical Meeting Concerning Wind Loads on Building and Struct., National Bureau of Standards, 30,* 115-128.

Vickery, B.J. (1970). On the Reliabilty of Gust Loading Factors. *Proc. Technical Meeting Concerning Wind Loads on Building and Struct., National Bureau of Standards, 30,* 93-104.

Vickery, B.J. (1995). The response of chimneys and tower-like structures to wind loading, A State of the Art in Wind Engineering, Ninth International Conference on Wind Engineering, New Delhi, India, 205–233

Vickery, P. J., ve Skerlj, P.F. (2005). Hurricane gust factors revisited. *J. Struct. Eng., 131*, 825–832.

Vickery, P.J. ve Twisdale, L.A. (1995). Wind-field and filling models for hurricane wind-speed predictions. *Journal of Structural Engineering, 121(11)*, 1700-1709.

Vivekananda, M. (1972). *Wind Excited Vibration of a Square Section Beam and Suspended Cable*, (doktora tezi), Massachussetts Institute of Technology, Cambridge, MA.

von Karman, T. (1948). Progress in the statistical theory of turbulence. *Proc. of the National Academy of Sciences, 34,* 530-539.

Wantz, J.W. ve Sinclair, R.E. (1981). Distribution of extreme winds in the Boneville power administration service area. *J. Appl. Meteorol., 20*, 1400-1411.

Weissman, I. (1978). Estimation of parameters and large quantiles based on the k largest observations. *Journal of the American Statistical Association*, *Vol. 73*, 812-815.

Whalen, T.M. (1996). Probabilistic Estimates of Design Load Factors for Wind-Sensitive Structures Using the "Peaks Over Threshold" Approach. *Rep. No. Technical Note* **1418**, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, U.S.A.

Wu, J.W. ve Li, P.L. (2003). Optimal parameter estimation of the extreme value distribution based on a type II censored sample. *Communications in Statistics, Theory and Methods, Vol. 32(3)*, 533-554.

Wu, J.R., Li, Q.S. ve Tuan A.Y. (2008). Wind-induced lateral-torsional coupled responses of tall buildings**.** *Wind and Structures, Vol. 11, No. 2,* 153-178.

Xie, J. ve Irwin, P.A. (2000). Key factors for torsional wind response of tall buildings, in: M. Elgaaly (Ed.),Advanced Techniques in Structural Engineering, Proceedings of the Structures Congress, Philadelphia, PA, CD-Rom, ASCE, Reston, VA.

Yang, J.N. ve Lin, Y.K. (1981). Coupled Motion of Wind-Loaded Multi-Storey Building. *J. Engr. Mech., 107*, 1209-1226.

Yun, S. (2002). On a generalized Pickands estimator of the extreme value index. *Journal of Statistical Planning and Inference, Vol. 102(2),* 389-409.

Zhou, Y. ve Kareem, A. (2000) Torsional load effects on buildings under wind, in: M. Elgaaly (Ed.), Advanced Techniques in Structural Engineering, Proceedings of the Structures Congress Philadelphia, PA, CD-Rom, ASCE, Reston, VA.

Zhou, Y. ve Kareem, A. (2001). Gust loading factor: new model. *J. Struct. Eng., ASCE, 127(2)*, 168-175.

Zhou, Y. ve Kareem, A. (2002). On the aerodynamic admittance functions of tall buildings, *NatHaz Modeling Laboratory Technical* Report.

Zhou, Y. ve Kareem, A. (2003). Aeroelastic Balance. *J. Eng. Mech., 129(3),* 283–292.

Zhou, Y., Kareem, A. ve Gu, M. (1999a). Gust loading factors for design applications. Proceedings of the 10thICWE, Copenhagen, Denmark, 169–176.

Zhou, Y., Kareem, A. ve Gu, M. (2000). Equivalent static buffeting wind loads on structures. *J. Struct. Eng., ASCE, 126,* 989–992.

Zhou, Y., Kareem, A. ve Gu, M. (2002). Mode shape corrections for wind load effects on tall buildings. *J. Eng. Mech., ASCE, 128*, 15–23.

Zhou, Y., Gu, M. ve Xiang, H. (1999b). Alongwind static equivalent wind loads and responses of tall buildings. Part II: Effects of mode shapes. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 79,* 151-158.

Zhou, Y., Kijewski, T. and Kareem, A. (2002). Along-wind load effects on tall buildings: a comparative study of major international codes and standards. *J. Struct. Eng., ASCE, 128,* 788–796.

Zhou, Y., Kijewski, T. and Kareem, A. (2003). Aerodynamic loads on tall buildings: an interactive database. *J. Struct. Eng., ASCE, 129(3)*, 394-404.

Zhu, L.D. (2002). *Buffeting response of long span cable-supported bridges under skew winds: field measurement and analysis,* (doktora tezi), The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong.

Zuranski, J.A. (1992). Orographic effects on strong winds in Poland. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 41-44, 417-426.

EKLER

EK A.1 Rüzgâr İstasyonları

EK B.1 NatHaz Aerodinamik Yükler Veritabanı (NALD) Çevrim içi Rüzgâr-Bina Çözümleme Programı

EK A.1: Rüzgâr İstasyonları

Çizelge A.1 : Rüzgâr istasyonları, kayıt süreleri, maksimum hızları ve dönüştürülmüş maksimum hızları.

İSTASYON ADI	İSTASYON NO	MAX HIZ (m/s)	Süre (Ay)	10 dak max hız(m/s)	50 yıllık V_{max}(m/s)
Samandağ	17986	15.8	281	16.75	18.24
Yumurtalık	17979	22.1	319	23.43	26.23
Gazipaşa	17974	16.1	430	17.07	18.11
Kale-Demre	17970	12.4	212	13.14	15.18
Birecik	17966	15.5	415	16.43	17.45
Islahiye	17964	11.4	413	12.08	12.75
Dörtyol	17962	17.2	432	18.23	19.02
Ceyhan	17960	11.3	72	11.98	15.98
Alata-Erdemli	17958	11.3	312	11.98	12.36
Manavgat	17954	19.9	327	21.09	22.96
Kemer-Antalya	17953	12	52	12.72	17.31
Elmalı	17952	14.7	432	15.58	16.24
Kumluca	17951	13.4	52	14.2	19.94
Cizre	17950	14.2	417	15.05	16.03
Hadım	17928	20.8	316	22.05	24.11
İbradi	17927	12.4	52	13.14	17.01
Korkuteli	17926	11.6	329	12.3	14.21
Koycegiz	17924	11.9	434	12.61	13.54
Yüksekova	17920	12.6	280	13.36	14.31
Siverek	17912	17.7	405	18.76	20.01
Kozan	17908	12.1	223	12.83	14.24
Ulukışla	17906	25	425	26.5	27.39
Karapınar	17902	16.5	432	17.49	17.98
Seydişehir	17898	20.8	426	22.05	22.99
Gözlü Tigem	17897	19.8	51	20.99	26.59
Boztepe Tigem	17895	14.5	52	15.37	21.01
Sütçüler	17893	14.3	52	15.16	21.33
Tefenni	17892	9.4	52	9.96	13.44
Gölhisar-Burdur	17891	12.2	52	12.93	18.83
Acıpayam	17890	14	420	14.84	16.83
Bucak	17887	10.3	52	10.92	14.46

Çizelge A.1 (devam) : Rüzgâr istasyonları, kayıt süreleri, maksimum hızları ve dönüştürülmüş maksimum hızları.

İSTASYON ADI	İSTASYON NO	MAX HIZ (m/s)	Süre (Ay)	10 dak max hız(m/s)	50 yıllık V_{max}(m/s)
Yatağan	17886	13.6	299	14.42	16.34
Atabey	17885	17.1	52	18.13	24.05
Milas	17884	12.8	432	13.57	14.04
Eğirdir	17882	18.6	308	19.72	21.21
Söke	17881	13	52	13.78	17.07
Başkale	17880	21.8	411	23.11	23.91
Çermik	17874	15.3	281	16.22	17.4
Elbistan	17870	13.8	426	14.63	15.76
Afşin	17868	13.8	292	14.63	16.25
Göksun	17866	16.4	421	17.38	19.6
Aksu	17865	11.4	52	12.08	17.73
Uluborlu	17864	18.1	112	19.19	21.96
Sarkıkağaç	17863	18.9	52	20.03	27.73
Dinar	17862	18.9	436	20.03	21.26
Nazılli	17860	11.7	300	12.4	13.44
Çardak	17855	12.3	48	13.04	18.09
Selçuk	17854	14.4	435	15.26	15.97
Gevaş	17852	28.9	296	30.63	34.58
Sultanhisar	17850	13	319	13.78	15.86
Ergani	17847	30.7	280	32.54	36.72
Maden Elazığ	17846	27.4	300	29.04	32.15
Sarız	17840	16.5	288	17.49	18.51
Tomarza	17837	17.5	291	18.55	19.96
Develi	17836	18.2	295	19.29	21.21
Ürgüp	17835	14.7	293	15.58	17.11
Ilgın	17832	16.9	259	17.91	20.45
Suhut	17829	20	51	21.2	27.49
Yalvaç	17828	18.1	293	19.19	20.69
Esme	17827	15.8	52	16.75	21.67
Senirkent	17826	16.3	348	17.28	18.14
Civril	17825	12.2	52	12.93	16.78
Güney	17824	17.5	298	18.55	20.1
Sultandağı	17823	19.4	52	20.56	24.84
Ödemiş	17822	16.7	279	17.7	19.46

Çizelge A.1 (devam) : Rüzgâr istasyonları, kayıt süreleri, maksimum hızları ve dönüştürülmüş maksimum hızları.

İSTASYON ADI	İSTASYON NO	MAX HIZ (m/s)	Süre (Ay)	10 dak max hız(m/s)	50 yıllık V_{max}(m/s)
Seferihisar	17820	14.8	436	15.69	16.23
Özalp	17812	18	300	19.08	21.61
Ahlat	17810	13.9	285	14.73	16.15
Palu	17806	10.6	256	11.24	13.15
Keban	17804	13.9	325	14.73	16.48
Pınarbaşı Kayse	17802	26.2	272	27.77	31.37
Yunak	17798	24.9	303	26.39	28.44
Alaşehir	17797	13.1	52	13.89	17.51
Bolvadın	17796	15.9	328	16.85	17.50
Köprübaşı	17795	35.1	52	37.21	46.39
Çay	17793	14.5	52	15.37	22.41
Salihli	17792	15.2	436	16.11	16.88
Menemen Koy Hiz	17789	18.9	52	20.03	26.41
Aliağa	17787	17.3	52	18.34	23.33
Muradiye Van	17786	13.8	310	14.63	16.52
Erciş	17784	13.9	396	14.73	16.07
Malazgirt	17780	14.1	278	14.95	17.46
Varto	17778	15.9	259	16.85	18.81
Solhan	17776	20	282	21.2	24.84
Hozat	17770	13.6	72	14.42	19.45
Çemisgezek	17768	12.9	279	13.67	16.06
Agın	17766	17.5	252	18.55	21.94
Arapkır	17764	19.2	314	20.35	22.02
Kangal	17762	16.7	287	17.7	18.99
Bogazlıyan	17760	16.1	255	17.07	19.61
Mucur	17758	14.7	52	15.58	19.72
Kaman	17756	18.6	296	19.72	22.12
Kulu	17754	18.3	316	19.4	20.97
Bayat	17753	18	52	19.08	25.47
Emirdag	17752	20.8	268	22.05	23.65
Gediz	17750	12.2	319	12.93	14.65
Simav	17748	12.5	436	13.25	13.94
Dumlupınar	17747	13.2	52	13.99	20.39
Demirci Manisa	17746	24	220	25.44	29.65

Çizelge A.1 (devam) : Rüzgâr istasyonları, kayıt süreleri, maksimum hızları ve dönüştürülmüş maksimum hızları.

İSTASYON ADI	İSTASYON NO	MAX HIZ (m/s)	Süre (Ay)	10 dak max hız(m/s)	50 yıllık V_{max}(m/s)
Malya Tigem	17745	17.7	48	18.76	25.47
Altınova Tar. I	17744	14.6	52	15.48	20.9
Bergama	17742	14	436	14.84	16.8
Hınıs	17740	15.6	286	16.54	18.19
Kiğı	17738	11.8	76	12.51	16.09
Mazgirt	17736	20.6	252	21.84	23.59
Divriği	17734	18.3	307	19.4	20.37
Haymana Topr.	17733	19.8	52	20.99	26.99
Çiçekdağı	17732	21.9	300	23.21	25.55
Şereflikoçhisar	17731	22.2	52	23.53	29.7
Keskin	17730	18.9	312	20.03	20.58
Bala	17729	23.8	51	25.23	34.95
Polatlı	17728	21.9	434	23.21	24.74
Sivrihisar	17726	14.4	434	15.26	15.92
Çifteler	17723	21.6	52	22.9	31.91
Burhaniye	17722	17.9	51	18.97	25.53
Doğubeyazıt	17720	15.8	378	16.75	18.01
Tercan	17718	13.1	275	13.89	16.55
Zara	17716	11.4	278	12.08	13.76
Ulas Tigem	17710	16.6	52	17.6	22.9
Emet	17707	17.8	52	18.87	25.21
Sultansuyu Tigem	17706	12.5	52	13.25	18.12
Susurluk	17705	15.1	52	16.01	22.67
Tavşanlı	17704	12.8	318	13.57	16.37
Söğüt	17703	22.1	52	23.43	28.71
Bozuyuk	17702	14.7	342	15.58	16.78
Pazaryeri	17701	18.3	52	19.4	25.85
Dursunbey	17700	15.3	309	16.22	17.71
Manyas	17699	18.4	52	19.5	24.44
Bigadiç	17698	18.3	51	19.4	24.86
Keles	17695	14.7	299	15.58	17.11
Kıbrıscık	17694	15.7	52	16.64	21.96
Seben	17693	18.5	52	19.61	26.08
Sarıkamış	17692	11.9	432	12.61	13.75

Çizelge A.1 (devam) : Rüzgâr istasyonları, kayıt süreleri, maksimum hızları ve dönüştürülmüş maksimum hızları.

İSTASYON ADI	İSTASYON NO	MAX HIZ (m/s)	Süre (Ay)	10 dak max hız(m/s)	50 yıllık V_{max}(m/s)
Horasan	17690	12.4	274	13.14	15.47
Tortum	17688	9	302	9.54	10.44
Suşehri	17684	23.8	279	25.23	27.89
Beypazarı	17680	15.9	436	16.85	17.15
Nallıhan	17679	14.9	52	15.79	21.49
Yenişehir	17678	17.8	214	18.87	21.76
Uludağ Zirve	17676	16.7	430	17.7	20.01
M. Kemalpaşa	17675	14.4	52	15.26	21.26
Gönen	17674	18.1	341	19.19	21.07
Karacabey	17673	18.8	52	19.93	25.55
Ezine	17671	18.4	49	19.5	26.21
İnegöl	17670	13.7	52	14.52	19.17
Oltu	17668	14.8	341	15.69	16.44
Ispır	17666	12.1	340	12.83	14.07
Sabanözü	17665	18.4	52	19.5	26.19
Kızılcahamam	17664	16.7	308	17.7	19.07
Gemlik	17663	16.5	52	17.49	24.01
Geyve	17662	18.3	222	19.4	21.62
İznik	17661	14.6	52	15.48	21.03
Çınarcık	17658	9.9	300	10.49	12.48
Arpaçay	17656	25.3	309	26.82	29.44
Gökhöyük Tigem	17655	22.2	51	23.53	31.33
Osmancık	17652	11.9	52	12.61	15.99
Polatlı Tigem	17651	18.9	52	20.03	26.82
Tosya	17650	14.9	321	15.79	17.49
Çukurova Tigem	17649	12.7	51	13.46	16.14
Ilgaz	17648	13.6	313	14.42	15.98
Yapraklı	17647	15	52	15.9	22.44
Çerkes	17646	13.8	323	14.63	15.39
Hatay Tigem	17645	12.5	52	13.25	18.15
Karasu	17644	19.7	52	20.88	28.32
Kurşunlu	17643	11.9	52	12.61	16.47
Gerede	17642	13.5	52	14.31	18.55
Eskipazar	17641	12.7	52	13.46	17.90

Çizelge A.1 (devam) : Rüzgâr istasyonları, kayıt süreleri, maksimum hızları ve dönüştürülmüş maksimum hızları.

İSTASYON ADI	İSTASYON NO	MAX HIZ (m/s)	Süre (Ay)	10 dak max hız(m/s)	50 yıllık V_{max}(m/s)
Çerkezköy	17640	22.2	52	23.53	30.16
Gebze	17639	16.4	52	17.38	22.87
Kartal İst. Blg	17638	11.3	52	11.98	16.25
Boludağı	17637	7.5	52	7.95	11.48
Florya	17636	14.2	433	15.05	15.63
Erdek	17635	22.6	52	23.96	30.85
Malkara	17634	19.7	352	20.88	22.71
İpsala	17632	18.4	421	19.5	20.64
Lüleburgaz	17631	15.2	50	16.11	21.8
Pazar (Rize)	17628	14.4	288	15.26	16.62
Turgutreis Marina	17627	17.2	52	18.23	23.87
Akçaabat	17626	14.4	288	15.26	17.55
Çatalzeytin	17625	12.5	52	13.25	18.78
Ünye	17624	11.6	426	12.3	13.09
Alacam	17623	16	51	16.96	21.85
Bafra	17622	14.3	52	15.16	20
Boyabat	17620	13.6	52	14.42	20.4
Devrekanı	17618	20.3	304	21.52	24.01
Ulus	17615	11.5	52	12.19	16.73
Devrek	17613	17	52	18.02	24.45
Ereğli	17611	11.3	52	11.98	16.01
Şile	17610	24.2	435	25.65	26.87
Uzunköprü	17608	17.8	432	18.87	20.06
Bozkurt	17606	19.7	436	20.88	21.65
Cide	17604	17.5	82	18.55	22.91
İstanbul-Unv	17603	8.5	52	9.01	12.65
Amasra	17602	31.1	331	32.97	34.55
Kas	17380	14.4	172	15.26	17.44
Finike	17375	14.4	433	15.26	15.63
Antakya	17372	13	431	13.78	14.14
İskenderun	17370	18.6	431	19.72	20.84
Osmaniye	17355	15.8	82	16.75	20.63
Mersin	17340	17.8	432	18.87	19.34
Silifke	17330	15.9	431	16.85	17.41

Çizelge A.1 (devam) : Rüzgâr istasyonları, kayıt süreleri, maksimum hızları ve dönüştürülmüş maksimum hızları.

İSTASYON ADI	İSTASYON NO	MAX HIZ (m/s)	Süre (Ay)	10 dak max hız(m/s)	50 yıllık V_{max}(m/s)
Anamur	17320	17.3	431	18.34	19.4
Alanya	17310	12.3	433	13.04	14.17
Antalya-Bölge	17302	20.3	52	21.52	28.53
Antalya Myd	17300	16.6	383	17.6	18.14
Marmaris	17298	19	436	20.14	21.39
Datça	17297	26.5	52	28.09	37.27
Fethiye	17296	22.6	430	23.96	24.05
Dalaman	17294	12.2	281	12.93	14.42
Muğla	17292	16.1	435	17.07	17.89
Bodrum	17290	20.6	434	21.84	23.01
Hakkari	17285	11.4	419	12.08	13.22
Ünal Erkan Heli	17283	11.8	52	12.51	16.72
Batman	17282	19.8	291	20.99	23.69
Diyarbakır	17280	16.1	408	17.07	17.62
Mardin	17275	19.2	421	20.35	21.41
Şanlıurfa	17270	10.7	431	11.34	12.01
Adıyaman	17265	16.4	430	17.38	17.64
Kilis	17262	15.8	402	16.75	17.65
Gaziantep	17261	13.9	429	14.73	15.42
Kahramanmaraş	17255	19.6	429	20.78	21.84
Niğde	17250	18.9	431	20.03	21.01
Ereğli Konya	17248	18.1	432	19.19	20.04
Karaman	17246	19.5	432	20.67	21.32
Konya-Bölge	17245	10.2	52	10.81	15.34
Konya	17244	11.6	341	12.3	13.64
Isparta	17240	18.1	436	19.19	19.99
Akşehir	17239	25.6	432	27.14	28.34
Burdur	17238	25.4	436	26.92	27.45
Denizli	17237	45.6	436	48.34	49.24
Aydın	17234	8.6	436	9.12	9.79
Kuşadası	17232	17.8	430	18.87	19.12
Cıldır-AYDIN	17227	15.6	52	16.54	21.64
Ceşme	17221	16.9	434	17.91	18.82
İzmir	17220	14.7	436	15.58	16.43

Çizelge A.1 (devam) : Rüzgâr istasyonları, kayıt süreleri, maksimum hızları ve dönüştürülmüş maksimum hızları.

İSTASYON ADI	İSTASYON NO	MAX HIZ (m/s)	Süre (Ay)	10 dak max hız(m/s)	50 yıllık V_{max}(m/s)
Siirt	17210	18.6	420	19.72	20.77
Siirt Meydan	17209	15.7	52	16.64	23.48
Bitlis	17207	12.6	429	13.36	14.06
Tatvan	17205	14.3	426	15.16	16.02
Muş	17204	14.2	428	15.05	15.89
Bingöl	17203	11.2	413	11.87	13.02
Elazığ	17201	20.5	430	21.73	22.79
Malatya	17199	15	253	15.9	17.65
Kayseri	17196	33.3	431	35.3	36.88
Nevşehir	17193	14.4	432	15.26	15.61
Aksaray	17192	17.2	428	18.23	18.83
Cihanbeyli	17191	19.3	436	20.46	21.43
Afyon	17190	16.4	436	17.38	18.09
Uşak	17188	11.5	436	12.19	13.04
Manisa	17186	16.2	436	17.17	17.96
Uşak Meydan	17185	20	51	21.2	28.23
Akhisar	17184	15	434	15.9	16.89
Dikili	17180	16.1	436	17.07	17.94
Ayvalık	17175	13.9	436	14.73	15.56
Van	17172	23.6	429	25.02	26.14
Tunceli	17165	11.5	431	12.19	12.45
Gemerek	17162	19	431	20.14	21.01
Kırşehir	17160	19.8	436	20.99	21.51
Balıkesir-Radar	17158	25.8	52	27.35	36.44
Kütahya	17155	10.4	432	11.02	11,88
Balıkesir	17152	15.1	166	16.01	19.32
Edremit	17145	15.6	436	16.54	17.46
Yozgat	17140	13.9	430	14.73	15.45
Elmadağ-Radar	17137	28.4	48	30.1	41.48
Kırıkkale	17135	14.8	299	15.69	17.33
Gölbaşı-Ankara	17134	16.3	52	17.28	22.88
Ankara	17130	11.3	425	11.98	12.79
Etimesgut Meyd.	17129	16.4	97	17.38	21.49
Esenboğa	17128	20.1	377	21.31	22.84

Çizelge A.1 (devam) : Rüzgâr istasyonları, kayıt süreleri, maksimum hızları ve dönüştürülmüş maksimum hızları.

İSTASYON ADI	İSTASYON NO	MAX HIZ (m/s)	Süre (Ay)	10 dak max hız(m/s)	50 yıllık V_{max}(m/s)
Eskişehir-Bölge	17126	11.7	130	12.4	14.88
Bilecik	17120	16.7	335	17.7	18.19
Yalova	17119	14.2	329	15.05	16.51
Bursa	17116	13.5	436	14.31	15.21
Bandırma	17114	23.8	306	25.23	27.61
Çanakkale	17112	21.8	435	23.11	23.87
Bozcaada	17111	27.7	403	29.36	30.89
Gökçeada	17110	23.5	436	24.91	26.04
Iğdır	17100	11.9	414	12.61	13.27
Ağrı	17099	16.9	410	17.91	18.21
Kars	17097	17.9	424	18.97	19.86
Erzurum	17096	17.7	389	18.76	20.04
Erzincan	17094	12.6	408	13.36	14.04
Sivas	17090	12.1	430	12.83	13.46
Bayburt	17089	15.1	430	16.01	16.96
Gümüşhane	17088	11.4	341	12.08	13.24
Tokat	17086	21.5	431	22.79	23.47
Amasya	17085	13.1	431	13.89	14.15
Corum	17084	18.1	436	19.19	20.07
Merzifon	17083	15.7	52	16.64	22.36
Çankırı	17080	9.7	436	10.28	10.91
Karabük	17078	8	52	8.48	11.63
Kastamonu	17074	10.2	433	10.81	11.36
Düzce	17072	8.4	320	8.9	9.99
Bolu	17070	10.8	435	11.45	12.01
Sakarya	17069	10.6	436	11.24	12.04
Gölcük Kocaeli	17067	15	52	15.9	22.17
Kocaeli	17066	17.1	358	18.13	19.52
Samandıra	17065	17.4	52	18.44	25.68
Göztepe İstanbul	17062	11.4	434	12.08	12.84
Kıreçburnu	17061	21.1	436	22.37	23.12
Kumköy	17059	23.9	432	25.33	26.40
Tekirdağ	17056	20.2	422	21.41	22.66
Çorlu	17054	23.5	432	24.91	26.03

Çizelge A.1 (devam) : Rüzgâr istasyonları, kayıt süreleri, maksimum hızları ve dönüştürülmüş maksimum hızları.

İSTASYON ADI	**İSTASYON NO**	**MAX HIZ (m/s)**	**Süre (Ay)**	**10 dak max hız(m/s)**	**50 yıllık V_{max}(m/s)**
Kırklareli	17052	12.6	145	13.36	16.26
Edirne	17050	13.1	436	13.89	14.31
Çatalca-Radar	17047	29.2	50	30.95	42.31
Ardahan	17046	16.4	429	17.38	18.78
Artvin	17045	11.5	305	12.19	13.27
Hopa	17042	14	432	14.84	15.48
Rize	17040	10.3	429	10.92	11.89
Trabzon Meyd.	17038	13.1	64	13.89	18.24
Trabzon	17037	14.3	276	15.16	17.28
Giresun	17034	13	432	13.78	14.75
Ordu	17033	13.1	432	13.89	15.08
Samsun	17030	16.8	432	17.81	21.42
Sinop	17026	21	430	22.26	23.71
İnebolu	17024	24	436	25.44	26.88
Zonguldak	17022	17.2	432	18.23	19.12
Bartın	17020	11.6	308	12.3	14.21
Acısu-Radar	17018	11.9	52	12.61	16.52
Akçakoca	17015	18.5	435	19.61	20.69

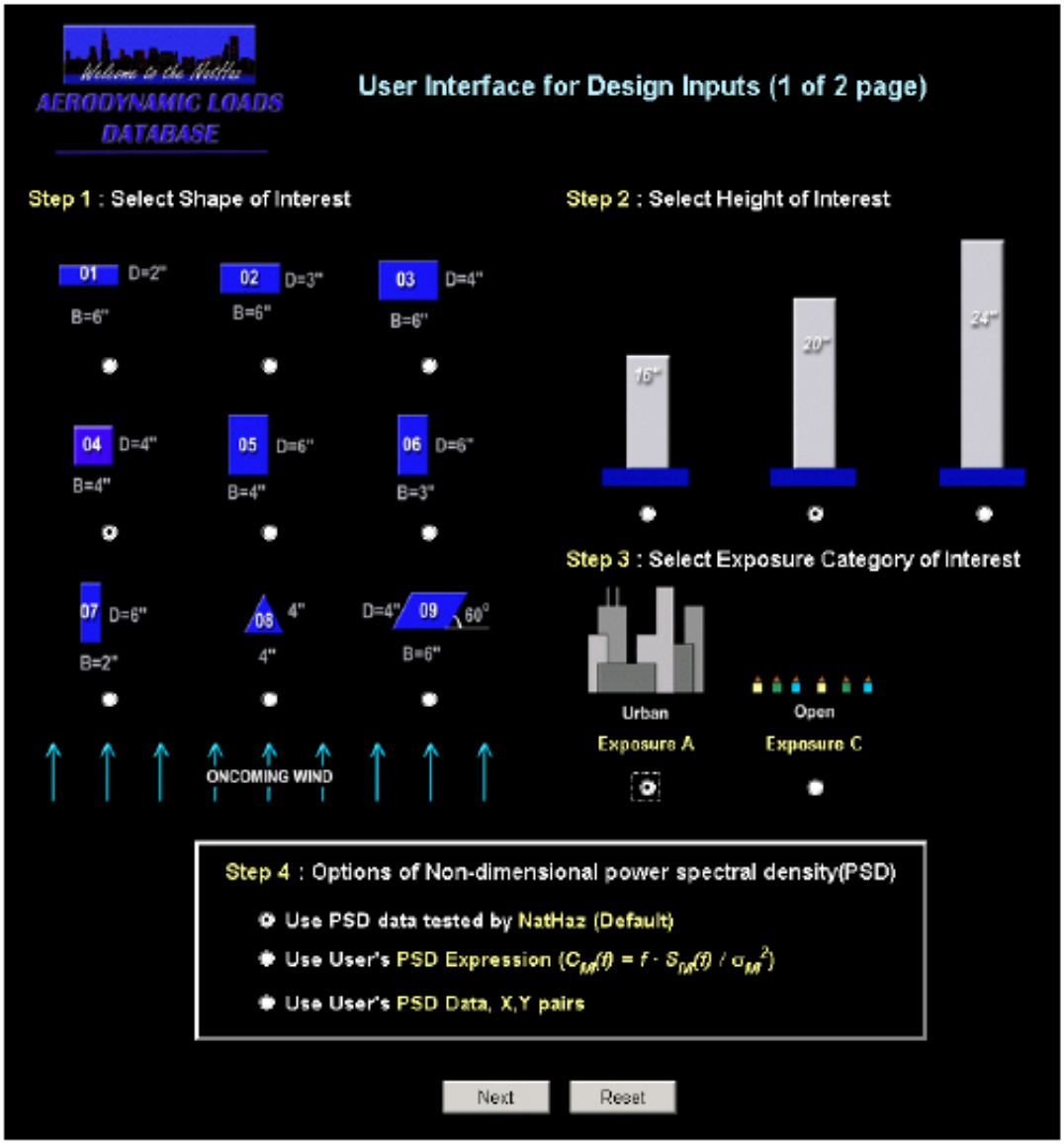
EK B.1: NatHaz Aerodinamik Yükler Veritabanı (NALD) Çevrim içi Rüzgâr-Bina Çözümleme Programı

Herhangi bir mühendislik dalındaki önemli zorluklardan biri büyük miktarlarda bilgilerin işlenmesi ve arşivlenmesidir. Bu durum, rüzgâr tüneli çalışmalarını, laboratuvar deneylerini, malzeme testlerini ve hatta tam ölçekli izlemeyi içeren verileri kapsayan Yapı-Rüzgâr Mühendisliğinde için de geçerlidir. Bilişim teknolojilerindeki son gelişmeler, büyük veri setlerini toplamak, saklamak, analiz etmek ve hatta dünya genelinde paylaşmak için etkili yollara olanak sağlayarak, bu zorluklara uygun çözümler sunmaktadır.

İlk olarak 2000 senesinde kurulan NatHaz Aerodinamik Yükler Veritabanı (NALD), rüzgâr yönündeki hareket, rüzgâra dik yöndeki hareket ve burulma tepkilerinin belirlenmesi için rüzgâr tüneli test verilerinin web tabanlı arşivlenmesinin ve paylaşılmasının bir örneğidir [2]. Bu veritabanı, çok katlı binaların ön tasarımında kullanılmak üzere çevrim içi bir veritabanı oluşturmada önemli bir ilk adım olmuştur. Bu etkileşimli veritabanı kullanıcılara ortalamanın karekökü(rms) tabanlı moment katsayılarını ve değişik atmosferik sınır tabakaları altında test edilmiş, farklı geometrilere sahip rijit çok katlı bina modelleri üzerindeki yüksek frekanslı taban balansı ölçümlerinden elde edilen boyutsuz güç spektrumları yoğunluk fonksiyonlarını(GSYF) sağlamaktadır. JAVA tabanlı uygulamaların kullanıldığı programın diğer bir özelliği ise enterpolasyon ile ilgili potansiyel hataların oluşmamasıdır. Veri yönetimi ve yazılım araçlarındaki son gelişmeler ışığında program 2008 yılında yenilenmiştir. Yeniden tasarlanmış olan NatHaz Aerodinamik Yükler Veritabanı (http://aerodata.ce.nd.edu), kendi konusunda öncü bir site olarak hizmet vermektedir. Revize edilmiş site, can güvenliği için eşdeğer statik rüzgâr yüklerinin çevrim içi olarak belirlenmesine olanak sağlamakla beraber, kullanılabilirlik değerlendirmeleri için de çok katlı binalarda yaşayan insanların konforu için gerekli olan ivme değerlerleri gibi özellikler sunmaktadır. Bu değişiklikler, web tabanlı programlama araçları ile Apache HTTP sunucular, JAVA / JavaScript uygulamalar, HiperMetin Önişlemciler (PHP), Yapısal Sorgu Dili veritabanları (MySQL), MATLAB gibi yaygın olarak kullanılan yazılımları beraber kullanarak elde edilmiştir.

RÜZGÂR TÜNELİ VERİSİ

Aerodinamik veritabanı Şekil 1'de gösterildiği gibi, 9 farklı kesit, 3 yükseklik modeli, 2 arazi tipi ve yapının üç tepki yönünün (boyuna, rüzgâra dik yönde ve burulma) bir kombinasyonlarını içeren 162 farklı veri setinden oluşmaktadır.

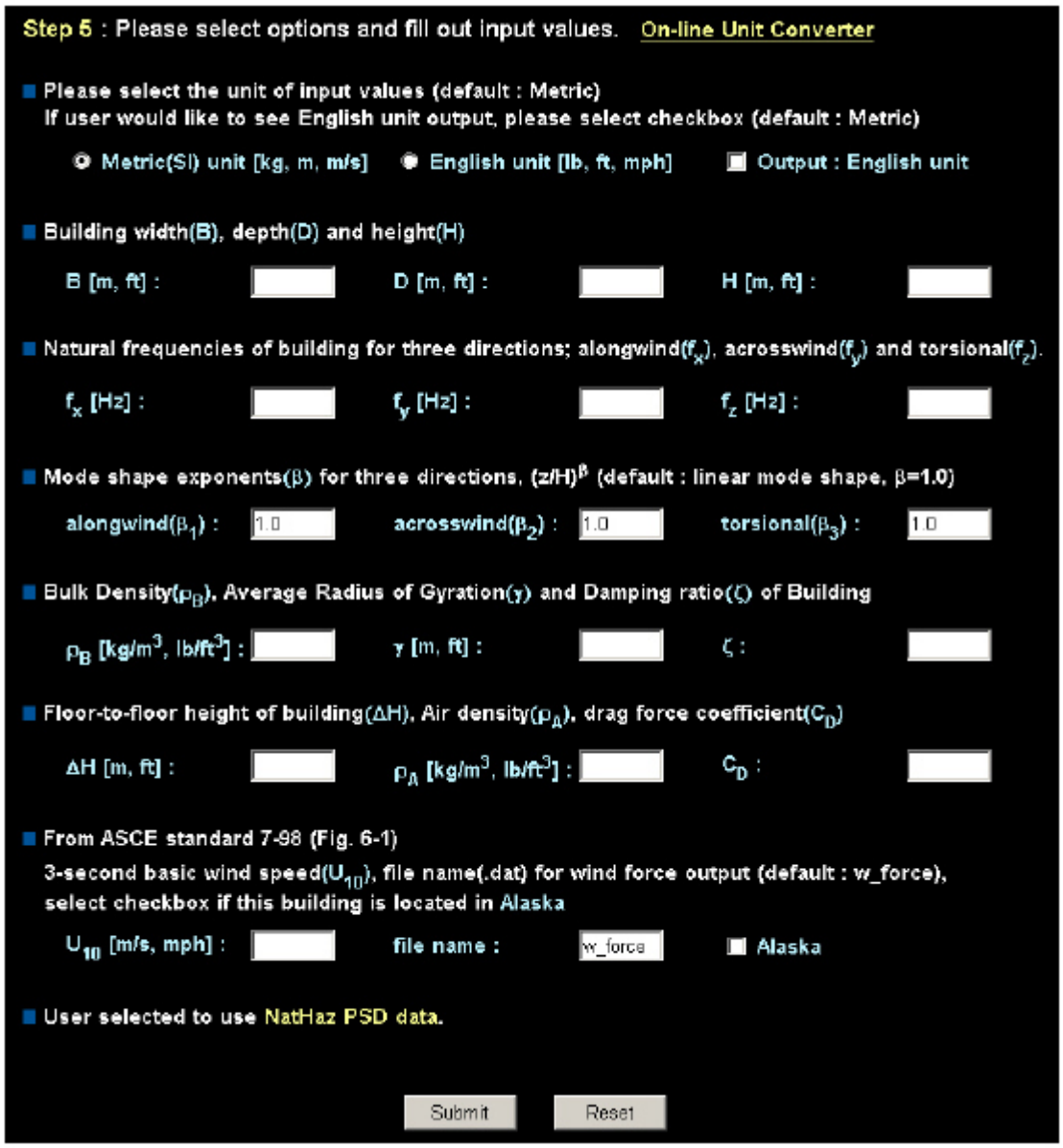


Şekil B.1 : Eşdeğer statik rüzgâr yüklerinin çevrim içi hesaplanması için kullanıcı arayüzü.

Modellerin her biri 3 m (10 ft) x 1,5 m (5 ft) kesite ve 18 m (60 ft) uzunluğa sahip bir sınır tabakası rüzgâr tünelinde test edilmiştir. Açık alanda (ASCE 7 [3]'deki konum C) ve kentsel alanda (ASCE 7 [3]'deki konum A) olmak üzere tipik iki sınır tabakası bu deneyde benzeştirilmiştir. Yüksek frekanslı kuvvet dengeleme yöntemi ile her bir ahşap modelle bağlantılı olarak kullanılarak rüzgâr etkisindeki dinamik yapısal yükler belirlenmiştir. Daha sonra Hızlı Fourier Dönüşümü kullanarak boyutsuzlaştırılmış olan spektrum ve çapraz spektrum yoğunluk fonksiyonları belirlenmiştir. Bu çözümleme, 27 model bina için gerçekleştirilmiştir ancak program sadece 0° rüzgâr geliş açısını dikkate almaktadır.

NatHaz Aerodynamic Yükler Veritabanı sunucusu bir web sunucusu programı tarafından çalıştırılmakta ve http://aerodata.ce.nd.edu adresinde herkese açık bir şekilde sunulmaktadır. Şekil 1'de gösterilen kullanıcı arayüzü tek adımda istenilen bir çözümlemenin seçimine olanak sağlamaktadır. Şekil 1 - 4. adımda gösterildiği gibi, GSYF'nin belirlenmesi için NatHaz deneylerinden elde edilen GSYF verisi

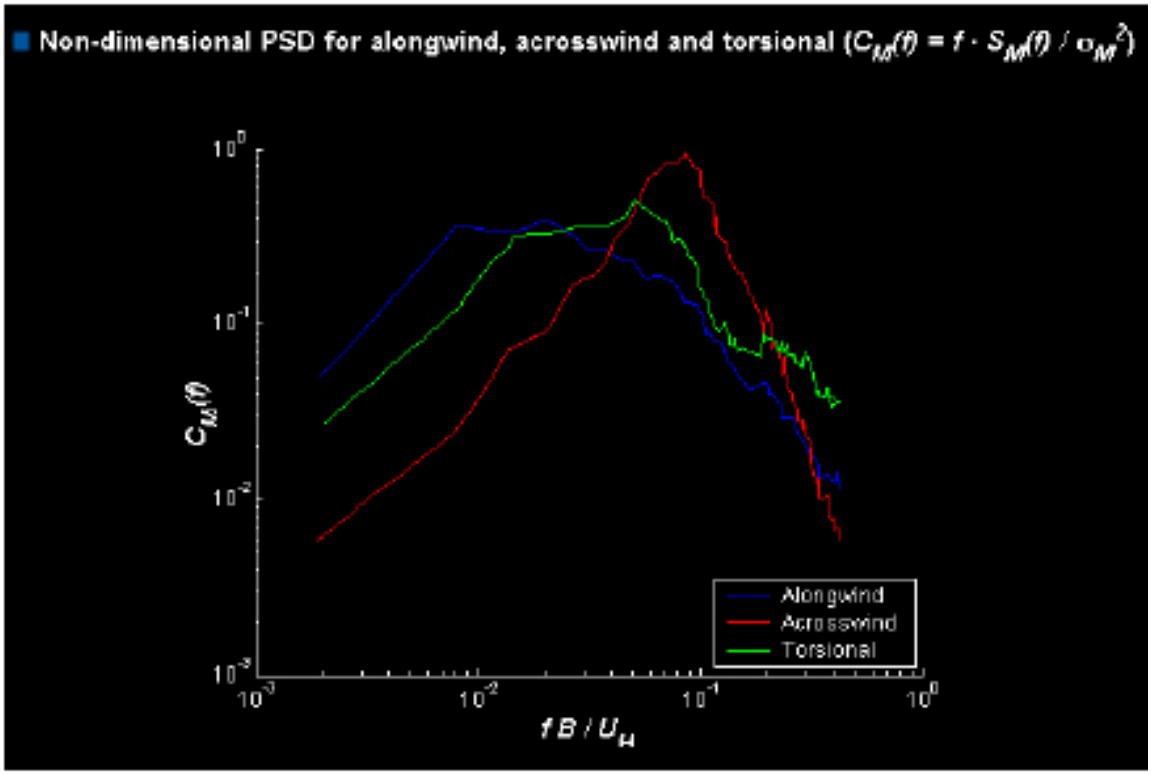
(varsayılan seçenek), kullanıcı tanımlı GSYF verisi veya kullanıcı tarafından sağlanan GSYF verisi (X, Y çiftleri) olmak üzere üç seçenek mevcuttur.



Şekil B.2 : Kullanıcı tarafından sağlanan yapısal girdiler için arayüz.

Temel girdiler belirlendikten sonra modül, yapının kesit değerlerine, yüksekliğine, konum kategorisine ve temel dinamik özellikler dahil olmak üzere ek girdilere ihtiyaç duymaktadır (Şekil 2). Programda yapısal girdiler ve hesaplanan çıktılar için Metrik (SI) veya İngiliz birimleri opsiyonları bulunmaktadır.

MATLAB 6.1 (R 12), NALD çevrim içi programı için hesaplama aracı olarak kullanılmaktadır. Sunucu üzerinde çalışan MATLAB kodu, yapısal ivmeleri ve Kareem ve Zhou'nun (2003)'deki çalışmalarında anlatılan yönteme dayanan eşdeğer statik rüzgâr yükleri belirlemektedir. Kullanıcı programı çalıştırdıktan sonra bir sonraki ara yüzde, boyutsuz taban moment spektrumu (Şekil 3), ortalama karekök taban momenti katsayısı, boyutsuz moment katsayısı, can güvenliği tasarımı için taban momenti ve kullanılabilirlik tasarımı için binanın tepesindeki ivme değerlerini elde etmektedir(Şekil 4). Bu değerler üç tepki bileşeninin her biri için görüntülenmektedir.



Şekil B.3 : Boyutsuz taban moment spektrumu ekranı.

Survivability Design (50-year wind) : Base moments

	Base Moment (10^6 *kN-m*)			
	$\bar{M}$	$\hat{M}_B$	$\hat{M}_R$	$\hat{M}$
Alongwind	1.2828	0.9734	1.4828	3.0566
Acrosswind	-	1.1899	3.6403	3.8298
Torsional	-	0.0784	0.1386	0.1592

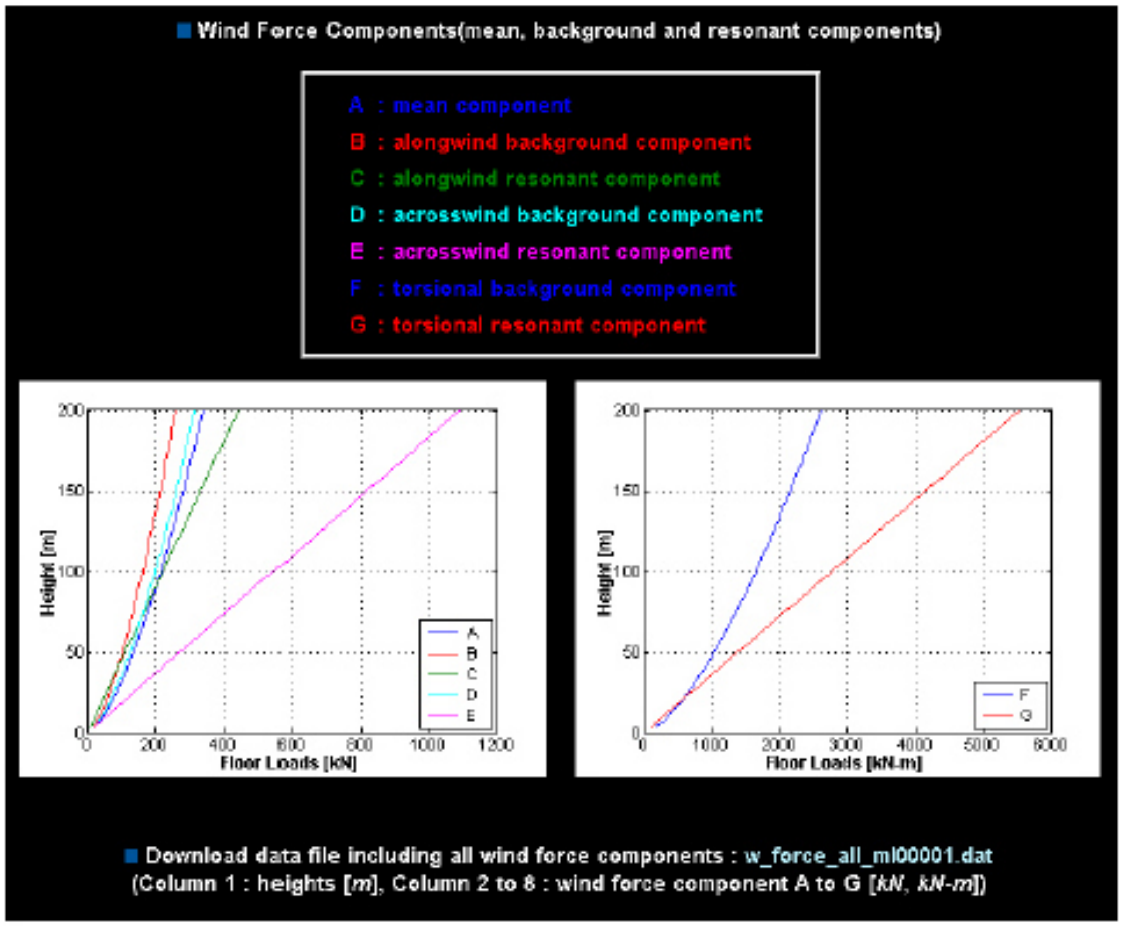
Serviceability Design (10-year wind) : Peak and RMS Accelerations

	Peak Accelerations at roof	
Alongwind	**14.19** *milli-g*	
Acrosswind	**23.50** *milli-g*	
Lateral Accelerations at Corner Induced by Torsion	**0.00476** *rad/s*^{2}	Alongwind component : **9.70** *milli-g*
		Acrosswind component : **9.70** *milli-g*
Total Lateral Accelerations at Corner	Alongwind component : **17.19** *milli-g* Acrosswind component : **25.43** *milli-g*	

	RMS Accelerations at roof	
Alongwind	**3.75** *milli-g*	
Acrosswind	**6.21** *milli-g*	
Lateral Accelerations at Corner Induced by Torsion	**0.00121** *rad/s*^{2}	Alongwind component : **2.47** *milli-g*
		Acrosswind component : **2.47** *milli-g*
Total Lateral Accelerations at Corner	Alongwind component : **4.49** *milli-g* Acrosswind component : **6.68** *milli-g*	

Şekil B.4 : Can güvenliği ve kullanılabilirlik değerleri ekranı.

Son olarak, bunlara, binanın üzerindeki eşdeğer statik rüzgâr yüklerinin ortalama, arka plan ve rezonans bileşenlerinin bir şeması eklenir (Şekil 5). Çevrim içi çözümleme modülü ayrıca, eğer giriş değerleri NatHaz veritabanının uygulanabilirlik aralığının dışında yani girilen bina modelinin ilk üç moddaki frekansından herhangi biri veritabanında bulunan güç spektrum yoğunluk fonksiyonun içerdiği frekanslardan farklı ise kullanıcıları uyaran bir mesaj ile bir hata tespit etme yöntemini de içermektedir.



Şekil B.5 : Rüzgâr kuvveti bileşenleri ekranı.

Tezin 5. bölümünde analizlerde kullanılan bina modellerine karşılık gelen rüzgâr tüneli modelleri boyutları Çizelge B.1'de verilmiştir. Binanın rüzgâr doğrultusundaki genişliği B, rüzgâra dik doğrultudaki genişliği D harfi ile gösterilmiştir.

Çizelge B.1: Analizlerde kullanılan bina modellerine karşılık gelen rüzgâr tüneli modelleri boyutları.

B (inch)	D (inch)	Yükseklik	B(m)	D(m)	H(m)
6	2	16	50	17	132
6	3	16	50	25	132
6	4	16	50	33	132
6	2	20	50	17	168
6	3	20	50	25	168
6	4	20	50	33	168
6	2	24	50	17	200
6	3	24	50	25	200
6	4	24	50	33	200
4	6	16	33	50	132
3	6	16	25	50	132
2	6	16	17	50	132
4	6	20	33	50	168
3	6	20	25	50	168
2	6	20	17	50	168
4	6	24	33	50	200
3	6	24	25	50	200
2	6	24	17	50	200
4	4	16	30	30	120
4	6	16	30	45	120
4	4	20	30	30	152
4	6	20	30	45	152
4	4	24	30	30	180
4	6	24	30	45	180

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : **Önder Umut**

Doğum Yeri ve Tarihi : İstanbul 19.08.1980

E-Posta : onderumut@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

Lisans : 2004, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği

Yüksek Lisans : 2006, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Deprem Mühendisliği

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

- Maya İnşaat – Kontrol Mühendisi (Saha Mühendisi) – 2004
- Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Deprem ve Yapı Mühendisliği – Araştırma Görevlisi
- TUBITAK Yurt içi Doktora Bursu

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/ SUNUMLAR:

- Umut Ö., Hasgür Z., 2014. Determination of the Characteristics of High Winds in Istanbul., *International Journal of Sciences*, *14(2),* 197-200.