

**T.C. İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İSTANBUL'DAKİ RÜZGAR ŞARTLARI VE İNŞAAT  
ÇALIŞMALARINA MUHTEMEL ETKİLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Sadık YİĞİT**

**Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği**

**Programı: Proje Yönetimi**

**Aralık 2011**

**T.C. İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İSTANBUL'DAKİ RÜZGAR ŞARTLARI VE İNŞAAT  
ÇALIŞMALARINA MUHTEMEL ETKİLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Sadık YİĞİT**

**0909011037**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29 Aralık 2011**

**Tezin Savunulduğu Tarih : 12 Ocak 2012**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. S. Ümit Dikmen**  
**Diğer Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Rifat Gürcan Özdemir**  
**Öğr. Gör. K. Emre Can**

**Aralık 2011**

## ÖNSÖZ

Günümüz şartlarında, inşaat sektöründeki rekabet ortamında firmaların karlılıklarını arttırması, ihale kazanması ve risklerini minimuma indirmesi isabetli maliyet tahminleri yapmalarına bağlıdır. İnşaat firmaları genellikle T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığın'dan temin ettikleri verileri kullanarak maliyet hesaplamaktadır. Ancak, bu hesaplar sabit fiyatlar kullanılarak yapıldığından ortalama bir maliyet verse de büyük oranda hatalı olabilmektedir. Bu bağlamda, maliyete etki eden faktörlerin incelenmesi büyük önem taşımaktadır. İnşaat işçilerinin verimliliği toplam inşaat maliyetine etki eden en önemli faktörlerden biridir. Bu çalışmada; İstanbul'daki rüzgar durumu ve rüzgarın inşaat işçileri verimliliği üzerindeki muhtemel etkileri istatistiki yöntemler ve sonlu eleman analizleri kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır.

Yüksek lisans öğrenimim süresince bilgi ve tecrübelerinden yararlanma şansı bulduğum, çalışmalarım sırasında beni yönlendiren ve hiçbir zaman yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. S.Ümit Dikmen'e ve çalışmalarım sırasında desteklerinde teşekkürü borç bilirim. Yine bu çalışmada desteklerini benden esirgemeyen Murat Aksel'e teşekkür etmek isterim.

Tüm öğrenim hayatım boyunca desteklerini benden esirgemeyen aileme çok teşekkür ederim.

<b>İÇİNDEKİLER</b>	iii
<b>TABLO LİSTESİ</b>	v
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b>	vi
<b>ÖZET</b>	vii
<b>ABSTRACT</b>	viii
<b>1. GİRİŞ</b>	1
<b>2. VERİMLİLİK</b>	4
<b>2.1. İnşaat Sektöründe Verimlilik Ve Verimliliği Etkileyen Faktörler</b>	4
<b>2.2. Hava Şartlarının Verimliliğe Etkileri</b>	7
<b>2.3. İnşaat İşlerinde Verimlilik Tahmini</b>	9
<b>2.4. Örnek Projelerin Verimlilik Oranları</b>	10
<b>3. RÜZGAR VE RÜZGAR ETKİLERİ</b>	13
<b>3.1. Rüzgar Hızlarının Zamana Bağlı Değişimi</b>	13
<b>3.1.1. Yıllar Arası Hız Değişimleri</b>	14
<b>3.1.2. Yıllık Hız Değişimleri</b>	14
<b>3.1.3. Günlük Hız Değişimleri</b>	15
<b>3.2. Rüzgar Hızının Yüksekliğe Bağlı Değişimi</b>	16
<b>3.2.1. Profil Oluşturma Metotları</b>	17
<b>3.3. Rüzgar Konforu</b>	20
<b>3.3.1. Rüzgarın Isıl Etkileri</b>	20
<b>3.3.2. Rüzgarın Mekanik Etkileri</b>	22
<b>4. RÜZGAR İSTATİSTİKLERİ</b>	25
<b>4.1. Weibull Dağılımı</b>	26
<b>4.1.1. Weibull Dağılımı Parametrelerini Belirleme Metotları</b>	27
<b>4.1.1.1. Grafik Metodu</b>	27
<b>4.1.1.2. Moment Metodu</b>	28
<b>4.1.1.3. En Yüksek Olabilirlik Metodu</b>	30
<b>4.2. Rayleigh Dağılımı</b>	31
<b>4.3. Hata Analizi</b>	32
<b>5. YÖNTEM</b>	33

<b>5.1. Kullanılan Veri</b>	33
<b>5.2. Frekans Dağılımı</b>	39
<b>5.3. Weibull Dağılımı</b>	42
<b>5.3.1. Parametre Hesaplama Metoduna Karar Verilmesi</b>	43
<b>5.3.2. Farklı Yüksekliklerdeki Rüzgar Hızı Dağılımları</b>	45
<b>6. RÜZGARIN İSTANBUL'DAKİ İNŞAAT PROJELERİNİN VERİMLİLİĞİNE ETKİLERİ</b>	48
<b>6.1. Sonlu Eleman Modeli</b>	48
<b>6.2. Çalışma Modeli</b>	49
<b>6.3. HAD Analizi Sonuçları</b>	50
<b>6.4. İstanbul'daki Verimlilik Oranları</b>	54
<b>7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b>	56
<b>KAYNAKLAR</b>	58
<b>EKLER</b>	61
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	97

## TABLO LİSTESİ

<b>TABLO</b>	<b>AÇIKLAMA</b>	<b>SAYFA NO</b>
<b>Tablo 1.1</b>	Türkiye’de inşaat halinde olan gökdelenler	2
<b>Tablo 2.1</b>	İnşaat işlerinin verimliliğine etki eden faktörler	5
<b>Tablo 2.2</b>	Türkiye’de inşaat işlerinin verimliliğine etki eden faktörler	6
<b>Tablo 3.1</b>	$\alpha$ Katsayısı değerleri	18
<b>Tablo 3.2</b>	$Z_0$ Değerleri	18
<b>Tablo 3.3</b>	$Z_0$ Değerleri (İstanbul yüksek binalar rüzgar yönetmeliği)	20
<b>Tablo 3.4</b>	Hissedilen Sıcaklıklar ve Ölçülen Sıcaklıklar	21
<b>Tablo 3.5</b>	Beaufort Skalası	23
<b>Tablo 5.1</b>	Analizlerde kullanılan örnek veri seti	36
<b>Tablo 5.2</b>	Rüzgar Yönü – Derece Dönüşümü	37
<b>Tablo 5.3</b>	Alınan hız aralıkları ve Ortalama Hızlar	40
<b>Tablo 5.4</b>	Florya Meteoroloji İstasyonu 30 Yıllık Rüzgar Hızları ve Olasılıkları	40
<b>Tablo 5.5</b>	Florya Meteoroloji İstasyonu Aylık Ortalama Rüzgar Hızları ve Olasılıkları	41
<b>Tablo 5.6</b>	Moment Metodu Kullanılarak Hesaplanan Dağılım	43
<b>Tablo 5.7</b>	Maksimum Benzerlik Metodu Kullanılarak Hesaplanan Dağılım	43
<b>Tablo 5.8</b>	Maksimum Benzerlik Metodu Kullanılarak Hesaplanan Dağılım	44
<b>Tablo 5.9</b>	Ortalama Karesel Hata (RMSE)	44
<b>Tablo 5.10</b>	Ortalama Mutlak Hata (MAPE)	45
<b>Tablo 5.11</b>	Farklı Yüksekliklerdeki Şekil ve Ölçek Parametreleri	46
<b>Tablo 5.12</b>	Farklı yüksekliklerdeki rüzgar dağılımları	46
<b>Tablo 6.1</b>	10,0 – 100,0 m Yüksekliklerindeki Verimlilik Oranları	54
<b>Tablo 6.2</b>	10m – 100m Yüksekliklerinde Aylık Verimlilik Oranları	55

## ŞEKİL LİSTESİ

ŞEKİL	AÇIKLAMA	SAYFA NO
Şekil 2.1	Hava şartlarının verimlilik üzerindeki etkileri	9
Şekil 2.2	İstanbul'da inşa edilmiş 5 adet betonarme yapının kaba yapı inşaatı ilerlemeleri	11
Şekil 2.3	1 no'lu binanın katlar bazında kaba inşaat verimliliği oranları	12
Şekil 3.1	İstanbul - Aylık Ortalama Rüzgar Hızı Değişimleri	15
Şekil 3.2	İstanbul – Günlük Rüzgar Hızı Değişimleri	15
Şekil 3.3	Açık arazide hesaplanan potansiyel rüzgar profilinin şehir merkezindeki profil ile bağlanması	17
Şekil 5.1	İstanbul'daki Hava İstasyonlarının Konumları	33
Şekil 5.2	İstanbul'daki İstasyonların rüzgar hızı frekans dağılımları	34
Şekil 5.3	Kartal, Florya, Şile ve Gebze İstasyonları Hız Dağılımları	35
Şekil 5.4	İstanbul'daki rüzgarların yön ve olasılıkları	37
Şekil 5.5	İstanbul'daki Rüzgarların Yön ve Ortalama Hızları	38
Şekil 5.6	Florya İstasyonu Ortalama Rüzgar Hızları ve Aylar	39
Şekil 5.7	Florya Meteoroloji İstasyonu 30 Yıllık Rüzgar Hızı Frekans Dağılımı	41
Şekil 5.8	İstanbul Aylık Rüzgar Hızı Frekans Dağılımları	42
Şekil 5.9	Parametre Hesaplama Yöntemlerinin Karşılaştırılması	44
Şekil 5.10	10-100 arasındaki Weibull dağılımları	47
Şekil 5.11	10m – 100m Yüksekliklerinde Aylık Verimlilik Oranları	43
Şekil 6.1	Analiz Modeli	49
Şekil 6.2	4.0 m/s rüzgar için model yapının farklı yüksekliklerinde oluşan rüzgar hızları	51
Şekil 6.3	5. katta farklı rüzgar hızları sonucunda oluşan noktasal rüzgar hızları	52
Şekil 6.4	20. katta farklı rüzgar hızları sonucunda oluşan noktasal rüzgar hızları	53
Şekil 6.5	Model yapının farklı yüksekliklerinde oluşan rüzgar hızları (kolon ve perdelerin mevcut olduğu durum)	54
Şekil 6.6	10m – 100m Yüksekliklerinde Aylık Verimlilik Oranları	56

## ÖZET

Rüzgar dış mekan komforunu etkileyen önemli faktörlerden biridir. Aynı sebepten, rüzgar dış mekanlarda çalışanların verimliliklerini de etkilemektedir. Bu nedenle, rüzgar şantiye aktivitelerini aksatmakta ve öncesinde dikkatlice planlanmadığı takdirde önemli gecikmelere sebep olabilmektedir. Şantiyede çalışan işçilerin verimliliği ile ilgili bir çok araştırma yapılmıştır. Özellikle yüksek yapıların kaba inşaatı sırasında rüzgar, şantiyedeki bir çok aktiviteye etki etmektedir. Betonarme yapıların inşasında; işçi verimliliği, kalıp imalatı, vinç çalışmaları ve betonlama işlemleri rüzgardan etkilenen aktiviteler olarak sıralanabilir. Bu çalışmanın amacı; İstanbul'daki yüksek binaların inşasında rüzgar etkilerinin inşaat planlamasına olan etkilerinin analitik olarak gösterilmesidir. Analizlerde kullanılan rüzgar verileri Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Bu çalışma yoluyla İstanbul'daki rüzgar şartlarını ve rüzgar şartlarının inşaat işleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

**Anahtar Sözcükler :** Rüzgar, Verimlilik, Planlama, Çok katlı yapılar



## **ABSTRACT**

Wind is one of the determinant factors of outdoor human comfort. With the same token wind affects essentially negatively the productivity of the workers working outdoors. Thus wind conditions can hamper the construction site activities and unless carefully planned beforehand major delays can be faced. There are various studies made by the researchers regarding the effects of wind on the productivity at construction sites. In high-rise construction, especially during the structural works, wind affects several functions on site. In cases of reinforced concrete buildings, these can be named as the workers' productivity, formwork manipulation, crane operations, concreting activities including curing of concrete and workers safety. The objective of this study to demonstrate analytically the effects of wind on the construction schedules in the reinforced concrete high-rise constructions in Istanbul taking into the probabilistic wind conditions. The necessary long term meteorological data is obtained from the Turkish State Meteorological Service. Through the study it is intended to specify wind conditions in Istanbul and its effects on the productivity at construction sites.

***Keywords*** : Wind, Labor Productivity, Scheduling, High-rise

## 1. GİRİŞ

Artan nüfus ve kentleşme oranları şehirleri sürekli olarak büyümeye zorlamaktadır. Kentlerin büyümesi yatay boyutta olduğu gibi coğrafi kısıtlar, gayrimenkul piyasasının dinamikleri gibi çeşitli nedenlerle dikey boyutta da gerçekleşmektedir. Bu bağlamda gelişen teknolojiyle birlikte her geçen gün daha yüksek binaların inşa edildiği görülmektedir, (Dikmen v.d. 2011).

İstanbul bu duruma en güzel örneklerden birini teşkil etmektedir. Şehrin bir yandan sürekli göç alması nedeniyle büyüyen nüfusu, diğer yanda ise şehrin ormanlar ve denizler dolayısıyla var olan fiziki kısıtlar gayrimenkul fiyatlarının bilhassa da arsa fiyatlarının artmasına yol açmaktadır. Sonuç olarak; İstanbul'da şehrin çeşitli yerlerinde çok sayıda yüksek katlı yapı inşa edilmiş ve edilmektedir. Bu yapılar bazen Maslak, Ayazağa, 4. Levent, Esentepe gibi semtlerde olduğu gibi bir noktada çok sayıda kümelenmiş olabildiği gibi Avcılar, Beylikdüzü, Kartal, Acıbadem gibi semtlerde tekil olarak da bulunabilmektedir.

İstanbul'daki yüksek yapılara örnek olarak; 2011 yılında inşa edilen 234 m yüksekliğindeki Sapphire of İstanbul, İstanbul'un ve aynı zamanda Türkiye'nin en yüksek binasıdır. Varyap Meridian Grand Tower - 2, 180 m yüksekliğindedir ve inşaatı 2011 yılında tamamlanmıştır. 2010 yılında inşa edilen Anthill Residence 1 – 2, 54 katlı, 210 m yüksekliğindedir ve Türkiye'nin en yüksek 2. binalarıdır. Sky Tower 1 (160 m), Rixos Bomonti Residence (159 m), Arkon Park Residence 1 (155 m), İstanbul Trump Tower 1 - 2 (155 m - 145 m), Uprise Elite (154 m) olarak sıralanabilir. Tablo 1.1 'de halen Türkiye'de inşa edilmekte olan yüksek binaların bir listesi sunulmuştur, (www.emporis.com, 2011). Özetle, Türkiye'de halen inşaatı tamamlanmış ve kullanılmakta olan, yüksekliği 140 m ve üstünde olan bina sayısı 42'dir. İnşaat halinde olan ve en geç 2015 yılında inşaatı bitirilecek gökdelen sayısı ise 33'dür.

Tablo 1.1. Türkiye’de inşaat halinde olan gökdelenler

Sıralama	Yapı	Şehir	Yükseklik(m)	Kat sayısı	Bitiş yılı
1	Diamond of Istanbul	İstanbul	270	53	2015
2	Varyap Meridian Grand Tower 1	İstanbul	244	61	2011
3	Skymark Tower	İstanbul	222	52	2012
4	Spine Tower	İstanbul	201	47	2013
5	Folkart Bayraklı Kulesi 1	İzmir	220	40	2013
6	Folkart Bayraklı Kulesi 2	İzmir	220	40	2013
7	My Towerland	İstanbul	181	52	2013
8	IFC Bomonty Hotel	İstanbul	178,5	48	2013
9	Türk Telekom Tower	Ankara	176	35	2012
10	Ak-Asya Shopping Center and Tower	İstanbul	173	40	2013
11	Zorlu Levent Tower	İstanbul	170	42	2013
12	Özdilek Plaza 1	İstanbul	170	38	2011
13	Özdilek Plaza 2	İstanbul	170	37	2011
14	Varyap Meridian Grand Tower 3	İstanbul	164	41	2011
15	EXEN Plaza	İstanbul	160	44	2011
16	Soyak Tower	İstanbul	160	35	2012
17	Four Winds 1	İstanbul	156	49	2012
18	Four Winds 2	İstanbul	156	49	2012
19	Four Winds 3	İstanbul	156	49	2012
20	Four Winds 4	İstanbul	156	49	2012
21	Mamak Euraisa Shopping Center 1	Ankara	151	41	2012
22	İstanbul Bloom	İstanbul	150	44	2012
23	Çamlıca Twin Towers 1	İstanbul	150	40	2012
24	Çamlıca Twin Towers 2	İstanbul	150	40	2012
25	Dumankaya İkon 1	İstanbul	149	41	2012
26	Dumankaya İkon 2	İstanbul	149	41	2012
27	Dumankaya İkon 3	İstanbul	149	40	2012
28	Royal Center 1	İstanbul	140	30	2012
29	Mamak Euraisa Shopping Center 2	Ankara	140	38	2012
30	Mamak Euraisa Shopping Center 3	Ankara	140	38	2012
31	Mamak Euraisa Shopping Center 4	Ankara	140	38	2012
32	Mamak Euraisa Shopping Center 5	Ankara	140	38	2012
33	Mamak Euraisa Shopping Center 6	Ankara	140	38	2012

Diğer yandan, sektör gözetmeksizin bir projenin başarılı olması, projenin belirlenen kapsamda, hesaplanan bütçeyi aşmadan, planlanan zaman içerisinde ve istenen kalitede tamamlanmasına bağlıdır. Bu da hiç şüphesiz ki kaynakların verimli kullanılması ile başarılabilir. İnşaat işlerinde, sektörün emek yoğun bir iş kolu olması nedeniyle, işçilik verimliliği (bu çalışmada kısaca verimlilik olarak adlandırılacaktır) çok önemli bir konudur.

Verimlilik, birçok inşaat projesinde karlılık üzerindeki çok önemli etkileri nedeniyle inşaat sektöründe çok tartışılan bir konudur, (Srinavin ve Mohamed,

2002). Mütahitler projelerin ihale aşamasında projenin maliyetini hesaplamak için genellikle işçi verimliliği oranları üzerine yoğunlaşırlar (Moselhi ve Khan, 2010). Bu bağlamda, öncelikle iş kazalarının önlenmesi ve mütahitlerin maliyetlerinin düşürülerek karlılıklarının arttırılması için hava şartlarının tahminleri ve hava verilerinin kullanılması çok önemlidir (Jang v.d. 2008). Ancak yapılan araştırmalar sonucunda bu faktörlerin verimliliğe ve iş güvenliğine etkileriyle ilgili bir yönetmelik ya da standartın olmadığı saptanmıştır.

Yapılan kapsamlı literatür araştırması sonucunda inşaat sektöründe verimliliği azaltan ve hatta çalışmaların tamamen durmasına neden olan birçok faktör olduğu ortaya çıkmıştır. Diğer birçok sektördeki projelerden farklı olarak inşaat sektöründe projelerin büyük çoğunluğu açık alanlarda yürütülmektedir. Şantiyeler farklı hava koşullarına açıktır. Bu nedenle; hava şartlarının yapı inşaat projeleri üzerinde çok büyük etkileri olabilmektedir. Sektördeki genel eğilim ise proje yöneticilerinin kışın soğuk dönemlerini ve yazın aşırı sıcak günlerini göz önünde bulundurmaları yönündedir. Ancak bir inşaat işçisinin verimliliği hava sıcaklığı, rüzgar hızı, bağıl nem, güneş radyasyonu, yağış ve ışık gibi bir çok faktörden etkilenmektedir. Bu nedenle, evrensel olarak olumsuz iklim şartlarının işçi verimliliğine negatif etkileri olduğu kabul edilmiştir, (Koehn ve Brown, 1985). Bu noktadan hareketle yöresel iklim koşullarının dikkate alınması gerekmektedir.

Yapılan araştırmalar sonucunda; rüzgar hızının verimliliğe etki eden önemli faktörlerden biri olduğu saptanmıştır. Araştırma sonuçları 15,0 km/saat hızın üzerindeki rüzgarların verimlilik üzerindeki olumsuz etkilerinin çok fazla olabileceğini göstermektedir. (Moselhi ve Khan, 2010). 1975 yılında yapılan araştırmalara göre ortalama rüzgar hızı yılda bir defadan fazla 11,5 m/s'i aşıyorsa tehlikeli olarak kabul edilirken, daha yeni çalışmalara göre bu hız eşiği 15,0 m/s olarak kabul edilmiştir, (ASCE Task Committee on Outdoor Human Comfort, 2004).

Bu çalışmanın amacı; İstanbul'daki rüzgar şartlarının istatistiki yöntemler ve sonlu eleman yazılımları kullanılarak incelenmesi ve rüzgar hızlarının İstanbul'daki yüksek binaların inşaat çalışmaları üzerindeki muhtemel etkilerinin araştırılmasıdır.

## **2. VERİMLİLİK**

Verimlilik, girdilerin fiziki miktarı ile üretilen ürünün fiziki miktarı arasındaki ilişkiyi ifade eden bir ölçüttür. Bu noktadan hareketle, birim çıktı elde edilmesi için gerekli olan girdi miktarı verimlilik olarak tarif edilir (Sönmez, 2009). Bir başka ifadeyle verimlilik; girdinin çıktıya ya da çıktının girdiye oranı olarak tanımlanabilir. Tanımda bahsedilen girdi, kaynakları kapsamakta, çıktı ise ortaya çıkan ürün ya da hizmetlerin miktarını kapsamaktadır. Verimliliğin artışından bahsedebilmek için, girdilerin en aza indirgenmesi, çıktıların ise maksimize edilmesi gerekir, (Ulubeyli, 2004).

### **2.1. İnşaat Sektöründe Verimlilik ve Verimliliği Etkileyen Faktörler**

İşçi verimliliği inşaat projelerinin hedeflenen sürede ve maliyette bitirilmesi üzerindeki etkileri nedeniyle büyük önem taşımaktadır, (Moselhi ve Khan, 2010). Bu nedenle işçi verimliliklerinin inşaat süreci başlamadan önce tahmin edilmesi çok büyük önem taşımaktadır. Birçok inşaat projesi beton dökme, kalıp imalatı ve hafriyat işleri gibi tekrar eden imalat kalemlerinden oluşmaktadır. Doğru bir planlama proje sürecinde zamandan ve paradan tasarruf edilmesine olanak sağlar; bu tasarruflar inşaat şirketleri için kara dönüşür ve daha büyük projeler için rekabet etme imkanı sağlar, (Graham ve Smith, 2004). Ancak inşaat projelerindeki işlerin stokastik yapısı nedeniyle verimlilik oranlarının tahmini çok zordur. Bu nedenle projelerde çalışan mühendisler daha önce yaptıkları çalışmalardan edindikleri tecrübelerden ve verilerden faydalanarak verimlilik tahmininde bulunurlar. Planlama mühendisleri yeni inşaat projesinde daha önceki projelerin verimlilik oranlarını ve yeni projede işçi verimliliğini etkileyen faktörleri göz önünde bulundurarak bir verimlilik tahmininde bulunurlar, (Dunlop ve Smith, 2003).

Srinavin ve Muhammed, (2002) yayınlamış oldukları bir çalışmada dünyanın muhtelif noktalarında yapılmış olan çalışmalardan genel bir değerlendirme yapmıştır. Bu çalışmada araştırmacıların elde etmiş oldukları sonuçlar Tablo 2.1’de özetlenmiştir.

Tablo 2.1 İnşaat işlerinin verimliliğine etki eden faktörler

<b>Kaynak</b>	<b>Faktör</b>
İşveren	Değişiklik talimatları
Tasarımcı	Tasarım zorlukları
	Tasarım değişiklikleri
Müteahhit	Şantiyedeki yığılmalar
	Malzeme yönetimi
	Alt yükleniciler
	Araçların elverişliliği
	Şantiye kurulumu/ulaşılabilirlik
	Alet elverişliliği
	İnşaat metodu
İşgücü	Öğrenme faktörü
	Hava koşulları
	Devamsızlık
	Fazla mesai
	Uсталık
	Ekip büyüklüğü
	İş gücü arzı
	İnşaat hacmi
Diğer	İşsizlik
	Yönetmelik gereksinimleri
	Ekonomik koşullar
	Sosyal faktörler

Kuruoğlu ve Sevim inşaat projelerinde verimliliği etkileyen çok sayıda faktörü 4 ana başlık altında örgütsel, ekonomik, fiziksel ve sosyo-politik faktörler olarak ele almıştır, (Kuruoğlu ve Sevim, 2011). Araştırmacılar yaptıkları çalışmada Türkiye’de ki etkin faktörleri araştırmışlardır. Bu çalışmaya göre de saha uygulama kısmında süresel planlamayı etkileyen faktörler açısından birinci sırada “işin sürekliliğinin sağlanması” yer almaktadır. Çalışmada elde edilen sonuçlar Tablo 2.2’de özetlenmiştir. Bu Tablo’dan da görüleceği gibi işgücü verimliliği süresel

planlamayı etkileyen faktörler arasında üst sıralarda yer almaktadır, (Kuruoğlu ve Sevim, 2011).

Tablo 2.2 Türkiye’de inşaat işlerinin verimliliğine etki eden faktörler

<b>Süresel Planlamayı Etkileyen Faktörler</b>	<b>Teknik Ofis</b>	<b>Saha Uygulama</b>	<b>Yönetim</b>	<b>Planlama</b>	<b>Katılımcı</b>
Malzemenin zamanında teslimi	1	11	2	1	2
İşgücü verimliliği	2	2	7	5	3
Etkin bir iş programının kullanımı	3	4	2	2	1
Proje-Yapım koordinasyon	4	13	6	9	9
İşgücü temini	5	4	6	5	6
Projede yapılan değişiklikler	6	24	7	11	24
Planlama yapılırken dikkate alınması gereken stratejik aktiviteler.	7	17	5	6	17
Yönetim personelinin sayısının yeterliliği ve deneyimi.	7	9	1	3	5
Alt yüklenicilerin seçimi	8	15	13	15	19
Proje Tipi ve özellikleri	9	15	6	7	18
Efektif organizasyon yapısı	9	18	16	18	25
Firma bazlı finansal problemler	10	2	3	6	4

Moselhi ve Khan’a göre ise işçi verimliliğine etki eden faktörler; hava şartları, çalışma şartları ve çalışan faktörü olmak üzere 3 kategoriye ayrılır. İşçilerin verimliliklerine etki eden hava şartları ayrıca sıcaklık, nem, yağış ver rüzgar hızı

olarak sıralanabilir. Verimliliğe etki eden çalışma şartları ise işin tipi, çalışılan mekanın yerden yüksekliği ve çalışma metodu olarak sıralanabilir. Çalışan faktörü ise araştırmacılarca birim işe düşen ekip sayısı olarak tanımlanmıştır (Moselhi ve Khan, 2010).

## **2.2. Hava Şartlarının Verimliliğe Etkileri**

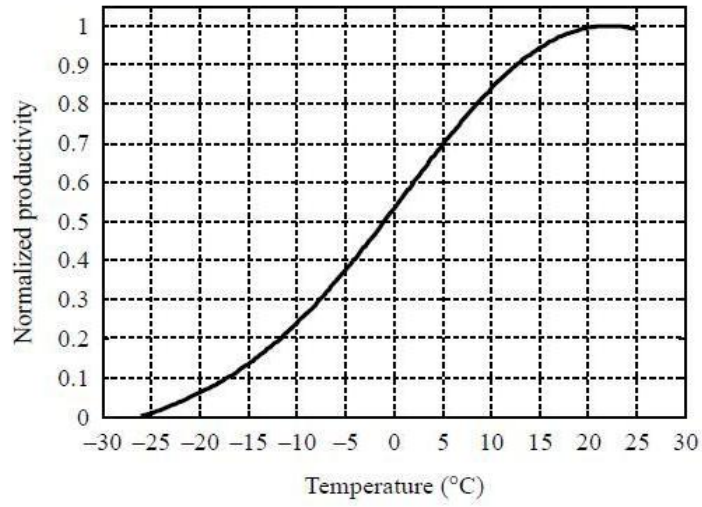
Diğer birçok sektördeki projelerden farklı olarak inşaat sektöründe projelerin büyük çoğunluğu açık alanlarda yürütülmektedir. Şantiyeler farklı hava koşullarına açıktır ve saha işleri bu koşullardan işin niteliğine bağlı olarak az veya çok etkilenebilmektedir. Verimlilik değişimlerinin %62 - %64'ü hava şartlarından kaynaklanmaktadır, (Koehn ve Brown, 1985). Bu nedenle daha öncede belirtildiği üzere projenin hedeflenen sürede ve maliyette bitirilmesi için planlamada hava şartlarının dikkate alınması çok önemlidir.

Açık hava şartlarında çalışan bir inşaat işçisinin verimliliği ve etkinliği hava sıcaklığı, nem, rüzgar hızı, solar radyasyon, yağış ve ışıktan etkilenmektedir. Bu nedenle korunma derecesi ve işin tipine bağlı olarak olumsuz hava şartlarının verimlilik kaybına neden olduğu evrensel olarak kabul edilmiştir, (Sönmez ve Rowings, 1998), (Kaming v.d. 1998), (Koehn ve Brown, 1985), (Srinavin ve Mohamed, 2002), (Kuruoğlu ve Sevim, 2011). Thomas v.d. 1999'da yaptıkları çalışmaya göre kar yağışı %35 oranında verimlilik kaybına, -7 °C ye kadar düşen hava sıcaklıklarında ise verimlilik %30 oranında düşmektedir, (Thomas v.d. 1999).

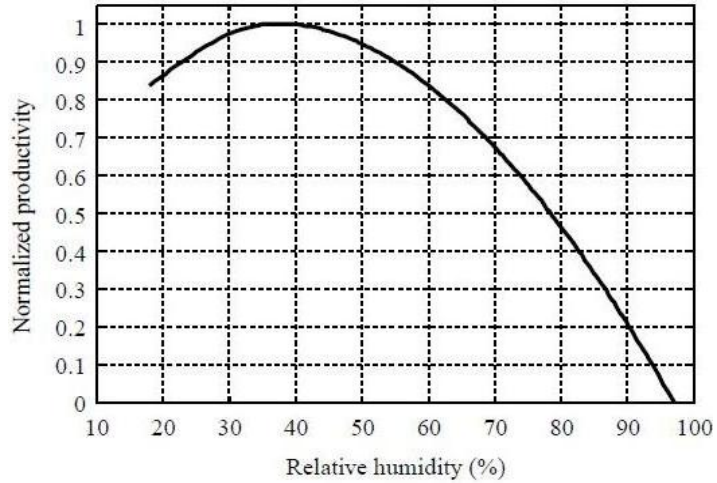
Aşırı sıcak hava ve soğuk hava çalışanları hem fiziksel, hem de psikolojik olarak etkilemektedir. Bu bağlamda çalışanlar, psikolojik olarak, rahat olmayan çalışma ortamlarına maruz kalmak istemezler. Fizyolojik olarak ise, özellikle aşırı soğuğa maruz kalan kişilerde çeşitli fiziki zedelenmelere veya rahatsızlıklara uğrama riski vardır ve -30°C ve altındaki sıcaklıklarda inşaat işlerinin anında durdurulması gerekmektedir. (Koehn ve Brown, 1985). Amerikadaki işçi tazminatları verilerine göre soğuktan yaralanmaların %75'i parmak, el, ayak parmağı, ayak, kulak ve burun gibi uzuvların donması sonucu gerçekleşmektedir (Koehn ve Brown, 1985).



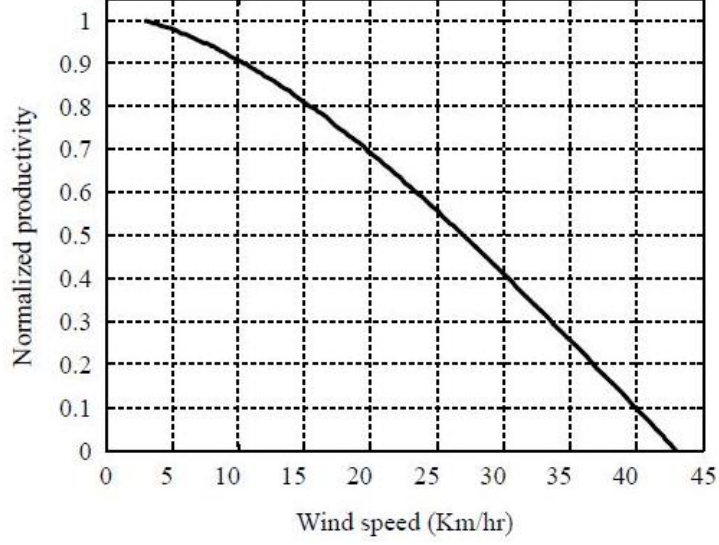
Hava şartlarının belirsizliği, verimlilik üzerine etki eden parametrelerin çokluğu ve parametrelerin etki miktarlarının modellenmesinin zor olması nedeniyle verimlilik tahmin modellerinde istatistik ve yapay zeka yöntemleri kullanılmaktadır. Moselhi ve Khan (2003) Kanada'nın Montreal şehrinde 10 ay süre ile 2 bina inşaatında yapılan gözlemler sonucu edinilen veriler kullanılarak hava şartlarının verimlilik üzerindeki etkileri yapay sinir ağları kullanılarak modellenmiştir. Elde ettikleri sonuçlar Şekil 2.1'de özetlenmiştir. Şekilde bütün parametreler sabit iken tek parametrenin verimlilik üzerindeki etkileri sunulmuştur.



a. Sıcaklığın verimliliğe etkileri



b. Bağıl nemin verimliliğe etkileri



c. Rüzgar hızının verimliliğe etkileri

Şekil 2.1 Hava şartlarının verimlilik üzerindeki etkileri

Şekil 2.1c.'de görüldüğü gibi 15,0 km/sa üzerindeki rüzgar hızlarının verimlilik üzerinde dikkate değer olumsuz etkileri olmaktadır. Rüzgar hızlarının çalışanlar üzerindeki termal ve fiziki olumsuz etkilerini yanısıra vinç vb. inşaat ekipmanları üzerinde de olumsuz etkileri vardır. Sanders ve Shapira (2011) yaptıkları çalışmada rüzgar türbini kurulumunda kullanılan farklı tipteki ve boyuttaki vinçlerin üzerine etki eden çevre şartları nedeniyle oluşan zorlukları incelemiştir. Sonuç olarak rüzgar hızları ve vinçlerin taşıma kapasiteleri arasında ters orantı olduğu saptanmıştır, (Sanders ve Shapira, 2011). Sunulan veriler ışığında işçi verimliliğine etki eden hava şartlarından dikkatle incelenmesi gerekenlerden birinin rüzgar hızı olduğu görülmektedir. Fakat proje yöneticilerinin ve planlama mühendislerinin tecrübelerine dayanılarak yapılan süresel planlamada, verimlilik değerlerindeki mevsime göre değişkenlik genellikle dikkate alınmamakta ve değerler sabit kabul edilmektedir, (Kuruoğlu ve Sevim, 2011).

### 2.3. İnşaat İşlerinde Verimlilik Tahmini

Teklif aşamasında verimlilik tahmini için ülkemizde ve dünya üzerinde çeşitli kaynaklar bulunmaktadır. Bunlar, ülkelerin resmi kurumlarına bağlı olan yayınlara olabileceği gibi, özel şirketlerce hazırlanmış yayınlara da olabilmektedir. Bu

bağlamda çok sayıda kitap ve yazılım mevcuttur, (Sönmez, 2009). Türkiye’de T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (Eski adıyla Bayındırlık ve İskan Bakanlığı), T.C. Devlet İstatistik Enstitüsü, İller Bankası Genel Müdürlüğü, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü gibi kurumların maliyet analizi için veri tabanları bulunmaktadır. Ancak veri maliyet analiziyle ilgili veri üreten ve ellerindeki verileri kullanıcılara sunan ve bilhassa bina inşaatlarında yaygın olarak kullanılan Türkiye’de T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’na ait verilerdir.

Aynı kurum tarafından tasarım öncesi evrede bina inşaat maliyeti tahminine yönelik oluşturulmuş olan yapı yaklaşık maliyetleri’nin ise en büyük eksikliği inşaatın yapıldığı yer, inşaat boyutu, kat sayısı v.b parametrelerin göz önünde bulundurulmadan birim m<sup>2</sup> bina inşaat maliyetlerinin üretilmiş olmasıdır, (Polat ve Çıracı, 2005), (Kuruoğlu ve Sevim, 2011), (Dikmen ve Sönmez, 2011). Bu nedenle; yapılan maliyet tahmin hesapları sağlıklı sonuçlar vermemektedir. Kalıp işleri maliyetlerinin hesaplanması geniş istatistik veriler gerektirmektedir. Ancak birçok ülke bu tip ayrıntılı istatistik veriye sahip değildir. Türkiye de bu tip verilere sahip olmayan ve Bayındırlık Bakanlığı’nın verdiği fiyatlarla maliyetleri hesaplamaktadır. Bu hesap yöntemi ortalama bir maliyet verse de çok yüksek oranlarda hatalı olabilmektedir (Dikmen ve Sönmez, 2011), (Kuruoğlu ve Bayoğlu, 2001). Polat ve Çıracı, (2005) yaptıkları araştırmaların sonucu olarak Türkiye’de tasarım öncesi evre için bina inşaat maliyeti tahminine yönelik güvenilir bir kaynağın olmadığı tespitinde bulunmuşlardır.

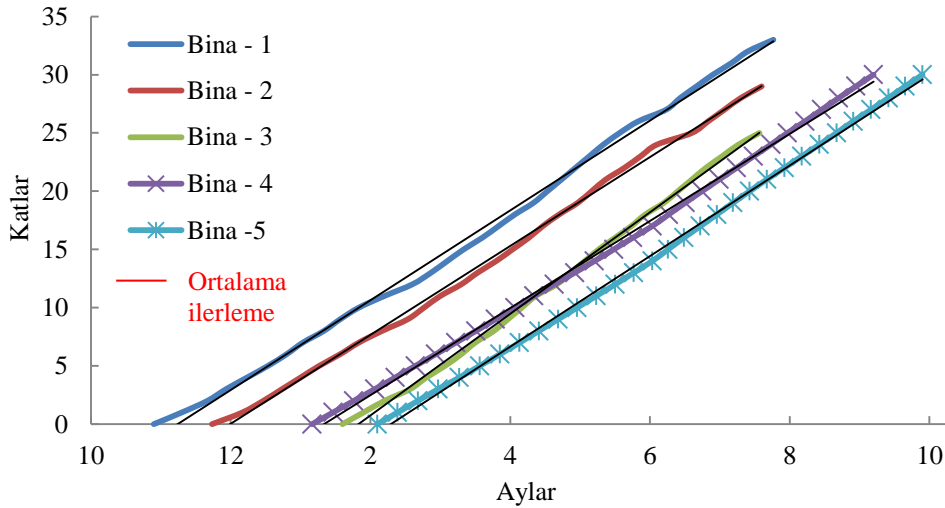
Konuyla ilgili dünyada bir çok kuruluş tarafından çeşitli yöntemler ve veri tabanları geliştirilmiştir. Ancak bunlardan herhangi birinin Türkiye’de doğrudan kullanılması ülkelerin koşulları arasındaki farklılıklardan dolayı mümkün değildir. Bu nedenlerle mevcut yöntemler kullanılarak verimlilik analizlerinin yapılması büyük problem ve riskleri de beraberinde getirmektedir.

#### **2.4. Örnek Projelerin Verimlilik Oranları**

Şekil 2.2’de İstanbul’da son birkaç yılda inşa edilmiş olan 5 adet yüksek katlı betonarme yapının zemin kotu üzerinde ki kaba inşaat ilerlemeleri gösterilmiştir. Yapıların yükseklikleri 25 ila 33 kat arasında değişkenlik göstermektedir. Bu

yapılardan 3'ü İstanbul'un batı yakasında 2'si ise doğu yakasındadır. Şekilden de görüleceği üzere inşaatlar yılın farklı aylarında başlamış ve bitirilmiştir. İncelenen bu inşaatlarda bina bazında ortalama ilerleme hızı 7,2 ila 8,1 gün/kat arasında değişkenlik göstermektedir. Şekil dikkatli incelendiğinde bu aylarda imalatın diğer aylara nazaran kısmen de olsa yavaş ilerlediği görülmektedir. Bu yavaşlık rüzgar etkisi ile olabileceği gibi soğuk ve nem gibi mevsimler şartları nedeniyle olabilmektedir.

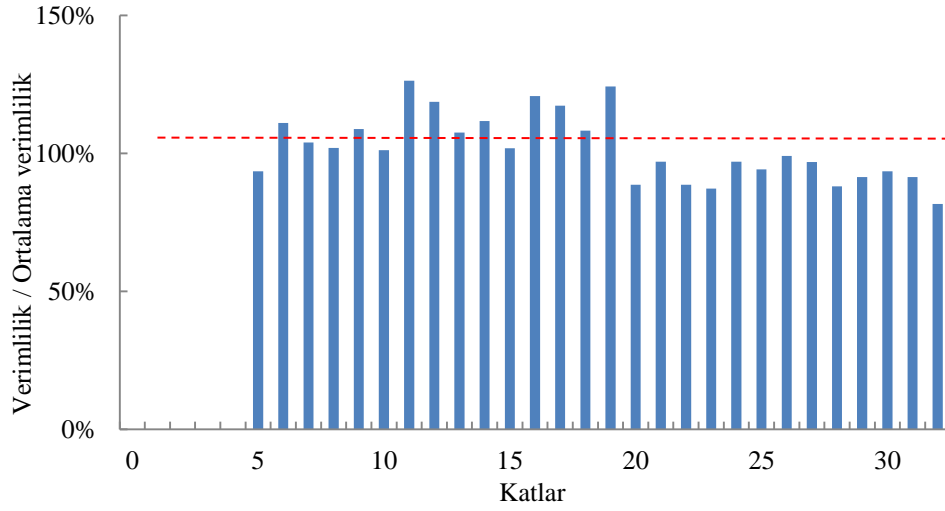
İnşaatları kış aylarında başlamış ve de inşaatın ciddi bir kısmı kış şartlarının hakim olduğu aylara (Kasım – Nisan) rastlayan 1 ve 2 no'lu binalar en düşük ilerleme hızına sahip yapılardır. Şekil 11'de 1 no'lu yapının 5 ve üzeri katlarında kaba inşaat işçilik verimliliğinin ortalama kaba inşaat işçiliği verimliliğe oranları gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere İstanbul'da kış şartlarının yaşandığı Ocak – Nisan arasına denk gelen 5'inci kattan 20'inci kata kadar olan kaba inşaat imalatında işçilik verimliliği hava şartlarının daha iyi olduğu üst katlardaki verimliliğe nazaran daha düşüktür. Bu dönemde işçilik oranları %25'e varan oranlarda ortalamadan yüksek, diğer dönemlerde ise %12'ye varan oranlarda ortalamadan düşüktür.



Şekil 2.2 İstanbul'da inşa edilmiş 5 adet betonarme yapının kaba yapı inşaatı ilerlemeleri

Sunulan örneklerden de açıkça görüleceği gibi hava şartlarının kaba inşaat işçiliği verimliliği üzerinde önemli etkisi olmaktadır. 5. Kattan sonraki katlarda 20.

kata kadar işçi verimliliği öğrenme faktörü nedeniyle artmakta 20. kattan sonra ise dikkate değer bir düşüş gözlenmektedir. Şekil 5.11 ve 5.12 incelendiğinde görüleceği üzere İstanbul'da kış şartlarının yaşandığı Ocak – Nisan arasına denk gelen 5'inci kattan 20'inci kata kadar olan kaba inşaat imalatında işçilik verimliliği hava şartlarının daha iyi olduğu üst katlardaki verimliliğe nazaran daha düşüktür. Bu dönemde işçilik oranları %25'e varan oranlarda ortalamadan yüksek, diğer dönemlerde ise %12'ye varan oranlarda ortalamadan düşüktür.



Şekil 2.3 1 no'lu binanın katlar bazında kaba inşaat verimliliği oranları

Yukarıda bahsedilen nedenler ve verilen örnekler sonucunda; hava şartlarının ve diğer faktörlerin verimlilik üzerindeki etkileri açıkça görülmektedir. Bu nedenle; verimlilik tahmininde hava şartlarının dikkate alınması büyük önem arz etmektedir.

### **3. RÜZGAR VE RÜZGAR ETKİLERİ**

Global rüzgarlar güneş ışınları yoluyla düzensiz olarak ısınan yeryüzünün sebep olduğu dünya yüzeyindeki basınç farklarından meydana gelir. Kutuplardan ekvatora yaklaşıldıkça yeryüzü tarafından emilen radyasyon miktarı artar. Gelen enerji miktarındaki değişim atmosferin alt tabakalarındaki konvektif hücreleri harekete geçirir. Bu nedenle, hava ekvatorda yükselir kutuplar da ise alçalır. Düzensiz ısınma nedeniyle atmosferde oluşan çevirim dünyanın dönmesinden de büyük miktarda etkilenir. Ekvatorda 600 km/saat hıza yükselen dönüş hızı kutuplarda 0 km/saat'e düşer. Ayrıca güneş enerjisinin dağılımındaki mevsimsel değişiklikler de çevrimdeki farklılıkları yükseltir.

Atmosferdeki bölgesel ısı transferindeki bu değişiklikler atmosfer basıncında farklılıklar yaratarak havanın yüksek basınç bölgelerinden düşük basınca doğru hareket etmesine neden olur. Düşey yöndeki basınç farklılıkları ise genellikle yerçekiminin düşey etkisi tarafından geçersiz kılınır. Bu nedenle rüzgar baskın olarak yatay basınç farklarının etkisiyle yatay düzlemde eser. Ayrıca, atmosferdeki basınç farklılıkları ve yerçekiminin yanısıra; havanın eylemsizliği, dünya'nın dönmesi ve yeryüzündeki sürtünme, atmosferik rüzgarları etkileyen diğer faktörler olarak sıralanabilir, (Manwell, 2002).

#### **3.1. Rüzgar Hızlarının Zamana Bağlı Değişimi**

Genel olarak rüzgar hızlarının zamana bağlı değişimi 4 farklı zaman diliminde ele alınmaktadır;

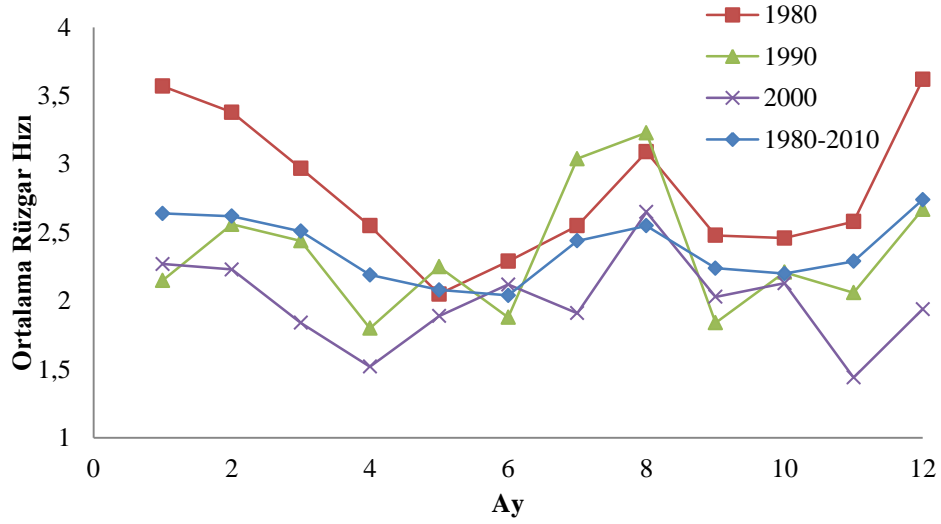
- Yıllar arası hız değişimleri
- Yıllık hız değişimleri
- Günlük hız değişimleri
- Kısa süreli hız değişimleri (gust ve ani rüzgarlar)

### **3.1.1. Yıllar Arası Hız Değişimleri**

Bir yıldan uzun süreli zaman aralıklarında gerçekleşen hız değişiklikleri yıllar arası rüzgar hızı değişiklikleri olarak sınıflandırılır. Meteorologlar genel olarak uzun vadeli rüzgar değerlerini saptamak için 30 yıllık veri gerektiğini, bir bölgedeki ortalama rüzgar hızının sağlıklı bir şekilde saptanması için ise en az 5 yıllık bir rüzgar verisine ihtiyaç olduğunu belirtmektedir, (Manwell, 2002). 1986 yılında yapılan çalışmaya göre bir bölgedeki ortalama rüzgar hızları genellikle istatistiki yöntemler kullanılarak 1 yıllık rüzgar verisi ile %90 oranında güvenilirlikle tahmin edilebilmektedir, (Aspliden v.d. 1986).

### **3.1.2. Yıllık Hız Değişimleri**

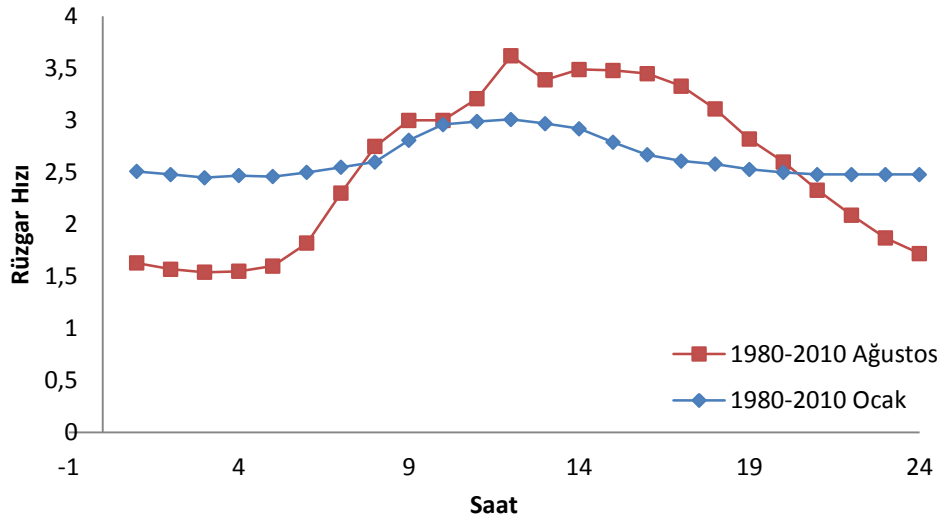
Aylık ve mevsimlik ortalama rüzgar hızları dikkate değer değişiklikler gösterir. Şekil 3.1'de İstanbul'daki Florya hava istasyonundan alınan verilere göre aylık ortalama rüzgar hızı değişimleri sunulmaktadır. Şekil 3.1 açıkça gösteriyor ki aylık ortalama rüzgar hızlarını saptamak için 1 yıllık veri yeterli olmamaktadır. Ayrıca, en yüksek rüzgar hızlarının kış ve yaz mevsimlerinde meydana geldiği görülmektedir, bahar ve sonbahar mevsimlerinde ise rüzgar hızları yaz ve kış mevsimlerine oranla daha düşüktür.



Şekil 3.1 İstanbul - Aylık Ortalama Rüzgar Hızı Değişimleri

### 3.1.3. Günlük Hız Değişimleri:

Bu tip rüzgar hızı değişimleri yeryüzünün günlük radyasyon döngüsündeki değişikliklerden kaynaklanır. Bu tür hız değişimlerinde ortalama rüzgar hızları gün içerisinde yükselirken gece yarısı saatlerinden, güneş doğana kadar geçen sürede ise en düşük hızlarda esmektedir. Genellikle en dikkate değer günlük değişimler bahar ve yaz aylarında gerçekleşir, en küçük değişiklikler ise kış aylarında gerçekleşir. Ayrıca günlük rüzgar hızı değişimleri bölgelere ve yükseltilere göre farklılıklar gösterebilmektedir (Örneğin : Tepeler ve Dağlar).



Şekil 3.2 İstanbul – Günlük Rüzgar Hızı Değişimleri

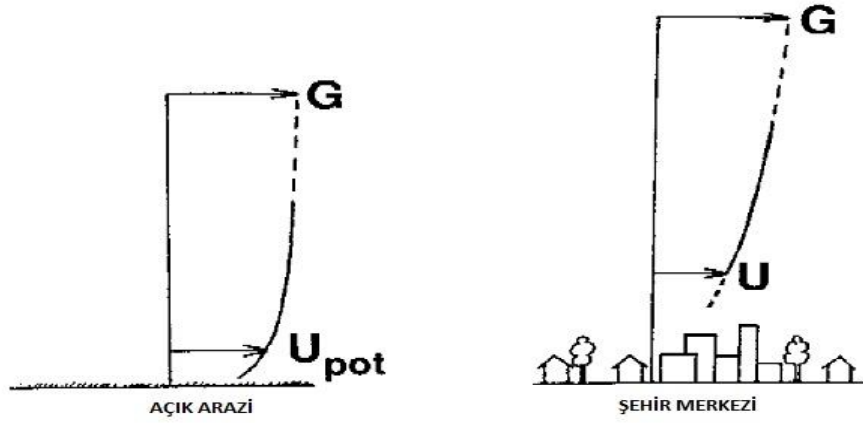


Şekilde 3.2’de İstanbuldaki Ocak ve Ağustos ayları günlük rüzgar hızı değişimleri gösterilmiştir. Yukarıda belirtildiği gibi Ağustos ayı içersinde büyük günlük hız değişimleri gerçekleşirken Ocak ayında daha küçük değişimlerin gerçekleştiği görülmüştür.

### **3.2. Rüzgar Hızının Yüksekliğe Bağlı Değişimi**

Yeryüzü sürtünmesinin atmosfer sınır tabakasına etki etmesi nedeniyle yükseklik arttıkça rüzgar hızları da eksponansiyel bir artış göstermektedir bu nedenle istasyonlardan alınan dataların ölçülen yükseklik dışındaki yüksekliklerde kullanılması için yüksekliğe bağlı dikey rüzgar profili oluşturmak gerekir. Bert Blocken ve Jan Carmeliet’in 2004 yılında yaptığı çalışmaya göre sınır tabakasındaki mevcut durumun (ortalama rüzgar hızlarının yüksekliğe göre değişiminin) modellenmesi güvenilir sonuçlar alınması açısından gereklidir, (Blocken ve Carmeliet, 2004).

Ayrıca çalışmalarda daha sağlıklı sonuçlar elde edebilmek için uzun süreli rüzgar verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, istasyondaki rüzgar hızlarının şantiyedeki rüzgar hızlarıyla bağlanması çok önemlidir, (Bottema, 1993). İstasyonlardan alınan referans rüzgar hızlarının (Ur) şantiyelerle bağlantılandırabilmesi ve farklı yüksekliklerdeki değişimini hesaplamak için kayıt rüzgar profili yöntemi veya kuvvet kanunu denklemi kullanılır. İki yöntem de rüzgar profilinin çıkarılmasında kullanılır, kayıt rüzgar profili kanunu daha doğru sonuçlar vermesine rağmen kullanımı daha kolay olan ampirik kuvvet kanunu denklemi daha fazla tercih edilmektedir, (Manwell, 2002).



Şekil 3.3 Açık arazide hesaplanan potansiyel rüzgar profilinin şehir merkezindeki profil ile bağlanması, (Bottema, 1993)

### 3.2.1. Profil Oluşturma Metotları

Kuvvet kanunu denklemi dikey rüzgar profilinin tahmininde kullanılan basit bir yöntemdir. Bu yöntem 1916'da Hellman tarafından önerilmiştir (Spera ve Richards, 1979). Denklem genel formu aşağıdaki gibidir;

$$V_2 = V_1 \left( \frac{z_2}{z_1} \right)^\alpha \quad (3.1)$$

Denklemde,  $V_1$  ve  $V_2$  sırasıyla  $Z_1$  ve  $Z_2$  yüksekliklerinde olan rüzgar hızlarıdır. Rüzgar ölçüm istasyonları genellikle verilerin çevre şartlarından en az etkilenmesi amacıyla yapılaşmanın az olduğu düz arazilerde kurulmaktadır. Bu nedenle denklem 3.1'de ki  $\alpha$  katsayısı çevre topoğrafyasına bağlı bir katsayıdır. Değerinin ise deneyler sonucu bulunması önerilmektedir. Ancak, elde deney sonuçlarının olmaması durumunda Tablo 3.1'de verilen değerlerin kullanılması genel olarak kabul gören bir uygulamadır.

Tablo 3.1.  $\alpha$  Katsayısı değerleri

No	Arazi	$\alpha$
1	Deniz, amur tabakası, karla kaplı düz araziler vb.	0.10 – 0.13
2	Kırsal bölgeler, ekili tarlalar, çitler ve birkaç ağaç vb.	0.14 – 0.20
3	Yoğun ağaçlık arazi, konut alanı, banliyö	0.20 – 0.25
4	Şehir	0.25 – 0.30
5	Büyük Şehir merkezi	0.30 – 0.50

Kayıt rüzgar profili kanunu ise yükseklikle değişen rüzgar hızlarının logaritmik bir fonksiyon yardımıyla hesaplanmasını sağlar. Eurocode 1 yeryüzünden 200 m yüksekliğe kadar olan rüzgar profillerini hesaplamakta kayıt rüzgar profili kanununu kullanmaktadır, (Eurocode 1, 2005).

Tablo 3.2  $Z_0$  Değerleri (Wieringa, 1993)

No	Arazi Şartları	$Z_0$ (m)
1	Deniz, gevŐek kum ve kar.	0,0002
2	Beton, düz l ve gelgit arazisi.	0,0002 - 0,0005
3	Düz karlı açık arazi.	0,0001 - 0,0007
4	Prztl buz arazi.	0,001 – 0,012
5	EkilmemiŐ arazi.	0,001 – 0,004
6	Kısa im ve yosun.	0,008 – 0,03
7	Uzun im ve fundalık.	0,02 – 0,06
8	Kısa olgun tarımsal ekinler.	0,04 – 0,09
9	Yüksek olgun ekinler.	0,12 – 0,18
10	Sürekli alılık arazi.	0,35 – 0,45
11	Olgun am ormanı.	0,8 – 1,6
12	Tropik orman.	1,7 – 2,3
13	Yoğun alçak binalar (banliyö).	0,4 – 0,7
14	Düzenli inşa edilmiş büyük kent.	0,7 – 1,5

$$U_{(z)} = \left| \frac{U^*}{K} \right| \cdot \ln \left( \frac{z}{z_0} \right) \quad (3.2)$$

Denklemden;  $U_{(z)}$  z yüksekliğindeki rüzgar hızı,  $U^*$  sürtünme hızı,  $K$  von Karman katsayısı ( $\approx 0,4$ ),  $z_0$  ise aerodinamik pürüzlülük uzunluğudur, (Wieringa, 1993).

İstanbul yüksek binalar rüzgar yönetmeliğinin istenen yükseklikteki rüzgar hızının hesaplanması için önerilen denklem ise;

$$V_m(z) = C_e(z) \cdot C_t \cdot V_b \quad (3.3)$$

Bu denklemde  $V_b$  (25 m/s) temel rüzgar hızı'nı,  $C_e(z)$  yükseklikle değişen yüzey pürüzlülük katsayısı'nı ve  $C_t$  topoğrafya katsayısı'nı göstermektedir. Bu değerler denklem 3.4 ve denklem 3.5 kullanılarak hesaplanır.  $Z_0$  değerleri için ise Tablo 3.3'den yararlanılır.

$$C_e = k_r \cdot \ln \left( \frac{z}{z_0} \right) \quad (3.4)$$

$$k_r = 0,23(z_0)^{0,07} \quad (3.5)$$

Tablo 3.3. Z<sub>0</sub> Değerleri (İstanbul yüksek binalar rüzgar yönetmeliği, 2008)

Arazi Tip No	Arazi Tipi	Z <sub>0</sub> (m)	Z <sub>min</sub> (m)
0	Denize açık kıyı şeritleri	0,003	1
I	Göl çevreleri veya engebesiz düz ve geniş alanlar	0,01	1
II	Seyrek ağaçların ve yapıların olduğu ova, çayır tipi alanlar (engebe aralıkları ortalama engebe yüksekliğinin 20 katından fazla)	0,05	2
III	Köyler, banliyöler, ormanlık alanlar (engebe aralıkları ortalama engebe yüksekliğinin 20 katından az)	0,3	5
IV	Şehir merkezleri ve benzeri en az %15 oranında ortalama yüksekliği 15m ve üzeri yapılarla kaplı alanlar.	1	10

### 3.3. Rüzgar Konforu

İç mekanlardaki hava şartları kontrol edilebilmekte ancak dış mekanlardaki hava şartlarının kontrolü mümkün olmamaktadır. Rüzgar insanlar için rahatsız ve tehlikeli durumlar oluşturabilmektedir, (ASCE, 2003). Rüzgar insanlara termal ve mekanik olmak üzere iki şekilde etki etmektedir, (Bottema, 1993).

#### 3.3.1. Rüzgarın Hissedilen Sıcaklığa Etkileri

Termal konfor nem, hava sıcaklığı, radyasyon, rüzgara maruz kalma süresi, yalıtım (giyilen kıyafetler), ortalama rüzgar hızı ve türbülans gibi birçok parametreye bağlıdır. Sıcak ve soğuk hava insanları hem fiziksel hem de psikolojik olarak etkilemektedir ve rüzgar hızı hissedilen sıcaklığı etkileyen başlıca faktörlerden biridir. Amerikan ordusu personelinin ısı ile ilgili hastalıklara yakalanmalarını önlemek amacıyla (WBGT – Wet Bulb Globe Temperature) Islak hazneli Termometre Ortam Sıcaklığı İndeksini oluşturmuştur. İndeksi oluşturmak için sadece 2 yada 3 adet ölçüme ihtiyaç duyulmaktadır, (Koehn ve Brown, 1985). Çeşitli ölçümleri almak amacıyla aşağıdaki cihazlar kullanılmıştır;

- Islak hazneli termometre; bu tip termometreler haznesi bir fitil ile kaplanmış ve suyun içerisine batırılmış standart bir termometreden oluşur. Beherin ağzının termometre haznesinin ucundan yaklaşık 2 cm kadar aşağıda olduğundan ve fitilin tamamen ıslanacak şekilde suya batırıldığından emin olunmalıdır.
- Kuru hazneli termometre; geleneksel olarak kullanılan gölgeye asılmış standart termometreden oluşur.
- Küre termometre; siyaha boyanmış ve merkezinde bir termometre haznesi bulunduran 6 inçlik bakır bir küreden oluşur, (Koehn ve Brown, 1985).

WBGT indeksi aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmaktadır, (Navy Enviromental Health Center, 2007).

$$WBGT = 0,7 \cdot WB + 0,2 \cdot GT + 0,1 \cdot DB \quad (3.6)$$

$$WBGT = 0,7 \cdot WB + 0,3 \cdot GT \quad (3.7)$$

Tablo 3.4 Hissedilen Sıcaklıklar ve Ölçülen Sıcaklıklar ( $^{\circ}C = [^{\circ}F - 32] / 1,8$ )  
( Koehn ve Brown, 1985)

Wind speed (mph) (1)	Actual Thermometer Reading, $^{\circ}F$									
	50 (2)	40 (3)	30 (4)	20 (5)	10 (6)	0 (7)	-10 (8)	-20 (9)	-30 (10)	-40 (11)
Calm	50	40	30	20	10	0	-10	-20	-30	-40
5	48	37	27	16	6	-5	-15	-26	-36	-47
10	40	28	16	4	-9	-21	-33	-46	-58	-70
15	36	22	9	-5	-18	-30	-45	-58	-72	-85
20	32	18	4	-10	-25	-39	-53	-67	-82	-96
25	30	16	0	-15	-29	-44	-59	-74	-88	-104
30	28	13	-2	-18	-33	-48	-63	-79	-94	-109
35	27	11	-4	-20	-35	-49	-67	-82	-98	-113
40	26	10	-6	-21	-37	-53	-69	-85	-100	-116

### 3.3.2. Rüzgarın Mekanik Etkileri

Rüzgarın insanlar üzerindeki mekanik etkileri tende hissedilen bir meltemden, güçlü bir rüzgar tarafından savrulmaya kadar çeşitlilik göstermektedir, (Blocken, 2004). Bugünkü ileri teknoloji rüzgar ölçüm aletlerinin olmadığı 18. yüzyılın başlarında rüzgarın şiddetinin görsel gözlem yoluyla tespit edilebilmesi amacıyla Beaufort skalası sadeleştirilmiş bir yol gösterici skala olarak geliştirilmiştir. Skala esas itibarıyla denizciler için geliştirilmiştir. Ancak rüzgarın karadaki insanlar üzerindeki etkilerine karar vermekte de kullanılabilir (NOAA, 2010). Skala sakin hava koşullarından kasırgaya kadar 12 seviyeden oluşmaktadır (Tablo 3.4). Tablodan da görüleceği gibi, 7 ve üzerindeki Beaufort şiddeti seviyelerinde ki rüzgar hızları dış mekanlardaki insanlar için çok tehlikeli olarak nitelendirilmektedir.

Arazi ölçümleri ve/veya rüzgar tüneline yapılan deneyler ile yayaların rüzgara bağlı konfor kriterleri oluşturulmuştur, (ASCE, 2003), (NOAA, 2010). Bottema tarafından yapılan çalışma düzenli ve düzensiz rüzgarların etkilerini çok doğru bir şekilde ayırmıştır, 4,0 m/s hızla 5 saniye süren ani bir rüzgar elbiselerin uçuşmasına, 7,0 m/s hızla 5 saniye esen ani bir rüzgar saçların dağılmasına, 15,0 m/s hızla 2 saniye süreyle esen bir gust insanların dengesini bozabilmekte ve yaşlılar için ise tehlikeli olmaktadır, 20,0 m/s hızla esen ani bir rüzgar genç insanlar için dahi tehlikeli olabilir, 23,0 m/s hızla esen rüzgar ise insanları savurur, (Bottema, 1993).

Murakami v.d. yaptığı çalışmaya göre 5 m/s hızla düzenli esen rüzgarlar insanların saçlarında ve elbiselerinde küçük rahatsızlıklara sebebiyet vermekte, 10,0 m/s hızla esen düzenli rüzgarlar saçları ve elbiseleri dağıtmakta, 25,0 - 33,0 m/s arasındaki hızlarda esen düzenli rüzgarlar ise insanları uzağa savurabilmektedir. İki çalışmanın sonuçlarına bakıldığında ani rüzgar etkilerinin, düzenli rüzgar etkilerine göre daha düşük hızlarda gerçekleştiği görülmekte ve ani rüzgarların analizinin önemine işaret etmektedir, (Murakami v.d. 1980).

Tablo 3.5. Beaufort Skalası

Beaufort Şiddeti	Saatlik Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	Saatlik Ortalama Rüzgar Hızı (km/sa)	Rüzgarın Tanımı	Rüzgarın Etkisi
0	< 0,3	<1,0	Durgun	Duman Dik Olarak Yükselir
1	0,3 – 1,5	1,1 – 5,5	Esinti	Dumanın sürüklenme yönü rüzgarın yönünü belirtir.
2	1,6 – 3,4	5,6 -11	Hafif Meltem	Yüzde hissedilir, Yapraklar hışırdar, Rüzgar gülü döner
3	3,4 – 5,6	12,0 – 19,0	Zayıf Meltem	Yapraklar ve dallar sürekli hareket eder, Bayraklar hafif hafif dalgalanır.
4	5,5 – 7,9	20,0 – 28,0	Orta Meltem	Tozlar ve kağıtlar havalanır, İnce dallar sallanır.
5	8,0 – 10,7	29,0 – 38,0	Sert Meltem	Yapraklı küçük dallar sallanır, suda dalgalar oluşur.
6	10,8 – 13,8	39,0 – 49,0	Kuvvetli Rüzgar	Büyük dallar sallanır, Telefon telleri ıslık sesi çıkarır
7	13,9 – 17,1	50,0 – 61,0	Mutedil Fırtına	Tüm ağaçlar sallanır, Rüzgara karşı yürürken direnç hissedilir
8	17,2 – 20,7	62,0 – 72,0	Fırtına	Ağaçların ince dalları kırılır. Rüzgara karşı yürümek imkansızlaşır.
9	20,8 – 24,4	75,0 – 88,0	Kuvvetli Fırtına	Bazı binalarda hasarlar olur. Baca kapakları sökülür, kiremitler uçar.
10	24,5 – 28,4	89,0 – 102,0	Büyük Fırtına	Ağaçları köklerinden söker, binalarda büyük hasar oluşur.
11	28,5 – 32,6	103,0 – 107,0	Bora	Yaptığı hasar çok geniştir. Karada pek rastlanmaz
12	> 32,7	> 118,0	Kasırga	Büyük ve müthiş tahribat yapar. Daha çok ekvatorial bölgelerde rastlanır.



Rüzgar hızlarının insanlar üzerinde nem ve sıcaklığın etkisiyle ısıl etkileri olduğu gibi Beaufort skalasında sunulduğu gibi mekanik etkileri vardır. Belli bir bölgede bu etkilerin saptanması için o bölgedeki rüzgar profilinin hesaplanması gerekmektedir. Ancak, rüzgar profilinin yeryüzü şekilleri, bitki örtüsü ve yapıların etkisiyle değişiklik göstermesi istasyondan alınan verilerin direkt olarak kullanılmasına olanak vermemektedir. Bu bağlamda, hava istasyonlarından alınan ölçümlerin profil oluşturma yöntemleri (Kayıt rüzgar profili ve Kuvvet kanunu) kullanılarak belirlenen bölgeye taşınması gerekmektedir. Taşınan rüzgar profilleri kullanılarak rüzgar hızlarının bölgedeki rüzgar konforu üzerindeki etkileri saptanabilir.

#### 4. RÜZGAR İSTATİSTİKLERİ

Literatürde yapılan çalışmalarda rüzgar hızı frekans dağılımı Gamma, log-normal ve Rayleigh gibi farklı dağılımlar tercih edilmektedir.

Bunların yanısıra son yıllarda iki parametrelili Weibull dağılımı dünyanın birçok bölgesinin rüzgar dağılımını temsil etmek için kullanılan bir yöntemdir, (Akdağ ve Güler, 2008). Weibull dağılımı genelleştirilmiş Gama dağılımının özel bir durumudur, (Hennesey, 1977). Rayleigh dağılımı Weibull dağılımının özel bir durumudur. Weibull dağılımından farklı olarak tek parametrelidir. Dağılımın tek parametrelili olması kullanım kolaylığı sağlasa da Rayleigh dağılımının Weibull dağılımına göre daha az esnek olmasına neden olmaktadır. Uluslararası standart IEC 61400-12'ye ve diğer birçok uluslararası standartta göre 2 parametrelili Weibull dağılımı rüzgar hızı verilerinin dağılımına en uygun istatistiksel dağılım fonksiyonu olarak önerilmektedir, (Akdağ v.d. 2010). Weibull dağılımı rüzgar yükleri, rüzgar enerjisi ve rüzgar konforu gibi çalışmalarda kullanılmaktadır.

Weibull dağılımının avantajları, (Justus v.d. 1977);

- Weibull dağılımı sadece 2 parametreye bağlıdır (c ve k) ve parametrelerin belirlenmesi oldukça kolaydır ayrıca, Rayleigh metodunda  $k=2$  alınır ve parametre sayısı 1'e düşürülerek kullanımı oldukça basit bir dağılım haline gelmektedir.
- Birçok akademik çalışma göstermiştir ki weibull dağılımı gerçek rüzgar verilerine oldukça uygun sonuçlar vermektedir.
- Bilinen bir yükseklikteki rüzgar dağılımı kullanılarak farklı yüksekliklerdeki rüzgar hızı dağılımları elde edilebilmektedir.

#### 4.1 Weibull Dağılımı

İki parametrelili weibull dağılımı boyutsuz şekil katsayısı ( $k$ ) ve rüzgar hızı ile aynı birime sahip ölçek ( $c$ ) parametrelerinden oluşan bir olasılık dağılımıdır. Weibull dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu en sade formu aşağıdaki gibidir;

$$f(v) = \frac{k}{c} \cdot \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (4.1)$$

Formülde  $f$  rüzgar hızı yoğunluğu,  $v$  rüzgar hızı,  $k$  birimsiz şekil parametresi,  $c$  rüzgar hızıyla aynı birime (m/s) sahip ölçek parametresidir. Weibull dağılımının kümülatif yoğunluk fonksiyonu ise aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$f(v) = 1 - e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (4.2)$$

Eğer  $z_a$  yüksekliğindeki anemometrenin aldığı ölçümler sonucu oluşturulan dağılımın parametreleri  $c_a$  ve  $k_a$  ise ancak dağılımı istenen rüzgar hızı yüksekliği  $z$  ise ve  $z \neq z_a$  ise aşağıdaki denklemler kullanılarak  $c_a$  ve  $k_a$  parametreleri hesaplanır (Tar, 2007).

$$c_z = c_a \cdot (z/z_a)^n \quad (4.3)$$

$$k_z = k_a [1 - 0.088 \cdot \ln(z_a/10)] / [1 - 0.088 \cdot \ln(z/10)] \quad (4.4)$$

ve  $n$  exponentinin hesaplanması için ise;

$$n = [0.37 - 0.088 \ln c_a] / [1 - 0.088 \ln(z_a/10)] \quad (4.5)$$

#### 4.1.1 Weibull Dağılımı Parametrelerini Belirleme Metotları

Weibull dağılımının parametrelerinin belirlenmesi için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler farklı sonuçlar verebilmektedir. En çok kullanılan parametre hesaplama yöntemleri ise Grafik Metodu (GM), Moment Metodu (MM) ve En Yüksek Olabilirlik Metodu (EYOM) olarak sıralanabilir.

##### 4.1.1.1 Grafik Metodu

Grafik metodu şekil ve ölçek parametrelerinin belirlenmesinde kullanılan en eski metotlardan biridir. Weibull kümülatif olasılık yoğunluk fonksiyonunun 2 tarafınının 2 defa doğal logaritması alınması sonucunda aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\ln[-\ln[1-F(v)]] = k \ln v - k \ln c \quad (4.6)$$

$\ln[-\ln[1-F(v)]]$ 'nin  $\ln v$ 'ye göre grafiği uzayda doğruyu gösterir ve k parametresi bu doğrunun eğimine eşittir. En küçük kareler yöntemi kullanılarak bulunan noktalara en uygun doğru çizilir.

Grafik metoduyla parametre belirleme aşağıdaki basamaklardan oluşmaktadır, (Weibull Models, 2004);

Grafiğin Çizilmesi;

- I. Veriler küçükten büyüğe sıralanır;  $t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_n$ .
- II.  $1 \leq i \leq n$  aralığı için  $\hat{F}(t_{(i)})$  hesaplanır.

$\hat{F}(t_{(i)})$  ampirik dağılım fonksiyonunun hesaplanması için aşağıdaki denklemler kullanılabilir.

$$\hat{F}(t_{(i)}) = i/(n+1) \quad (4.7)$$

$$\hat{F}(t_{(i)}) = (i-0.5)/n \quad (4.8)$$

$$\hat{F}(t_{(i)}) = (i-0.3)/(n+0.4) \quad (4.9)$$

$$\hat{F}(t_{(i)}) = \left(i - \frac{3}{8}\right) / \left(n + \frac{1}{4}\right) \quad (4.10)$$

- III.  $1 \leq i \leq n$  aralığında,  $y_i = \ln\{-\ln[1 - \hat{F}(t_i)]\}$  değerleri hesaplanır.
  - IV.  $1 \leq i \leq n$  aralığında,  $x_i = \ln(t_i)$  değerleri hesaplanır.
  - V.  $1 \leq i \leq n$  aralığında,  $x_i - y_i$  grafiği çizilir
- Parametre tahmini;
- VI. Regresyon yada en küçük kareler metodu kullanılarak hesaplanan noktalara en yakın doğruyu çizmek.
  - VII. Çizilen doğrunun eğimi şekil parametresi (k) 'dır.
  - VIII. Doğrunun y eksenini kestiği nokta  $y_0$  hesaplanır ve bu değer kullanılarak c parametresi  $c = \exp(-y_0/k)$  hesaplanır.

#### 4.1.1.2 Moment Metodu

Moment metodu standart sapma ve dağılımın ortalaması kullanılarak Weibull dağılımının şekil parametresi ve ölçek parametrelerinin belirlenmesini sağlayan bir metottur. En basit ve en eski parametre belirleme yöntemlerinden biridir. Parametreler aşağıdaki denklemler ile ifade edilir.

$$c = \frac{V_{ort}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)} \quad (4.10)$$

Bu denklemde (  $\Gamma$  ) gamma fonksiyonudur.

$$k = \left( \frac{\sigma}{V_{ort}} \right)^{-1,086} \quad (4.11)$$

Moment metoduyla parametre belirleme aşağıdaki basamaklardan oluşmaktadır;

- I. Dağılımdaki verilerin ortalaması hesaplanır;  $0 \leq i \leq n$  aralığında

$$V_{ort} = \frac{1}{n} \cdot \sum V_i \quad (4.12)$$

- II. Dağılımın standart sapması hesaplanır;  $0 \leq i \leq n$  aralığında

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} (V_i - \bar{V})^2} \quad (4.13)$$

- III. Standart sapma ve verilerin ortalaması denklemde yerine konularak şekil parametresi (k) hesaplanır.

- IV. Gamma fonksiyonu hesaplanır;

$$\Gamma(z) = \int_0^{\infty} t^{z-1} \cdot e^{-t} dt \quad (4.14)$$

- V. Gamma fonksiyonu değeri ve Ortalama hız kullanılarak ölçek parametresi (c) hesaplanır.

#### 4.1.1.3. En Yüksek Olabilirlik Metodu

En yüksek olabilirlik metodunda deneme yanılma yöntemi kullanılarak şekil parametresi (k) ve ölçek parametresi (c) hesaplanır. k ve c parametrelerinin belirlenmesinde aşağıdaki denklemler kullanılır;

Ölçek parametresi aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanır;

$$c = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (V_i)^k}{n} \right)^{\frac{1}{k}} \quad (4.15)$$

Şekil parametresi aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanır;

$$k = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n V_i^k \cdot \ln(V_i)}{\sum_{i=1}^n V_i^k} - \frac{\sum_{i=1}^n \ln(V_i)}{n} \right]^{-1} \quad (4.16)$$

En yüksek olabilirlik metodunun iteratif yapıda olması çözümünü zorlaştırmaktadır. Bu nedenle bu metot bilgisayarların gelişiminden önce çok fazla kullanılan bir yöntem değildir.

En yüksek olabilirlik metoduyla parametre belirleme aşağıdaki basamaklardan oluşmaktadır;

- I. Şekil parametresi denkleminde iterasyon yapılarak şekil parametresi (k) belirlenir.
- II. Hesaplanan k parametresi ölçek parametresi denkleminde yerine konularak ölçek parametresi (c) hesaplanır.

## 4.2. Rayleigh Dağılımı

Rayleigh modeli ise Weibull dağılımının basitleştirilmiş halidir. Bu dağılımda Weibulldan farklı olarak şekil parametresi  $k = 2$  olarak kabul edilir. Rayleigh olasılık yoğunluk fonksiyonu ve kümülatif dağılım fonksiyonları aşağıda ifade edilmiştir;

$$f_R(v) = \frac{v}{c^2} \cdot e^{-v^2/2c^2} \quad (4.17)$$

$$F_R(v) = 1 - e^{-v^2/2c^2} \quad (4.18)$$

Parametre hesabı için ise;

$$c = \sqrt{\frac{1}{2n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (4.19)$$

Rayleigh metoduyla parametre belirleme aşağıdaki basamaklardan oluşmaktadır;

I.  $c$  parametresi hesaplanır;

$$V_{ort} = \frac{1}{n} \cdot \sum V_i \quad (4.20)$$

II. Hesaplanan ölçek parametresi ( $c$ ) kullanılarak olasılık yoğunluk dağılımı ya da kümülatif olasılık dağılımı çizilir.

## 4.3. Hata Analizi

RMSE (Root mean square error) Hataların Ortalamasının karekökü hata hesaplamasında kullanılan bir yöntemdir. RMSE denklemi aşağıdaki gibi ifade edilir;



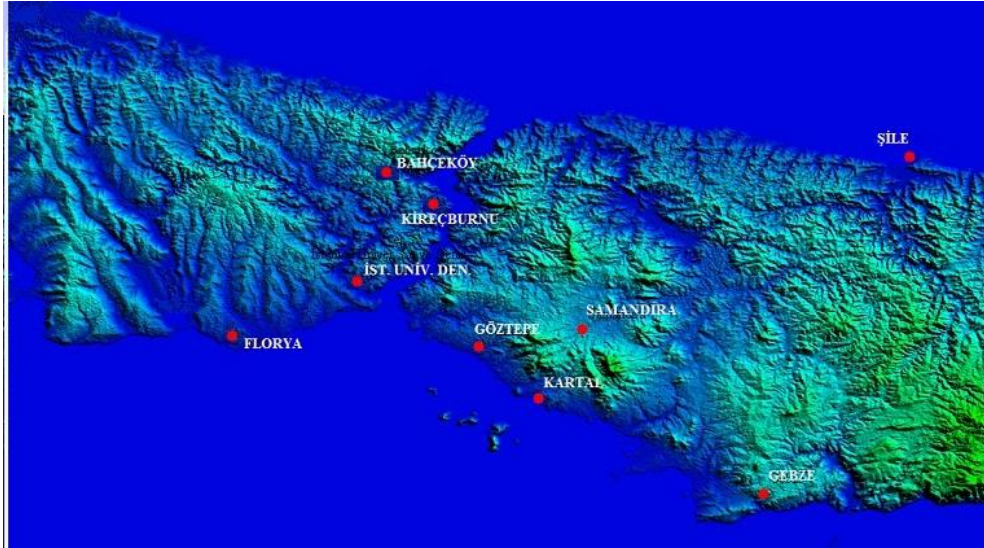
$$RMSE = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2 \right]^{0.5} \quad (4.21)$$

Burada n gözlem sayısı, y ölçülen değerler, x Weibull dağılımıyla hesaplanan değerlerdir. RMSE değeri küçük olan dağılım fonksiyonu en iyi dağılım fonksiyonu olarak kabul edilir.

## 5.YÖNTEM

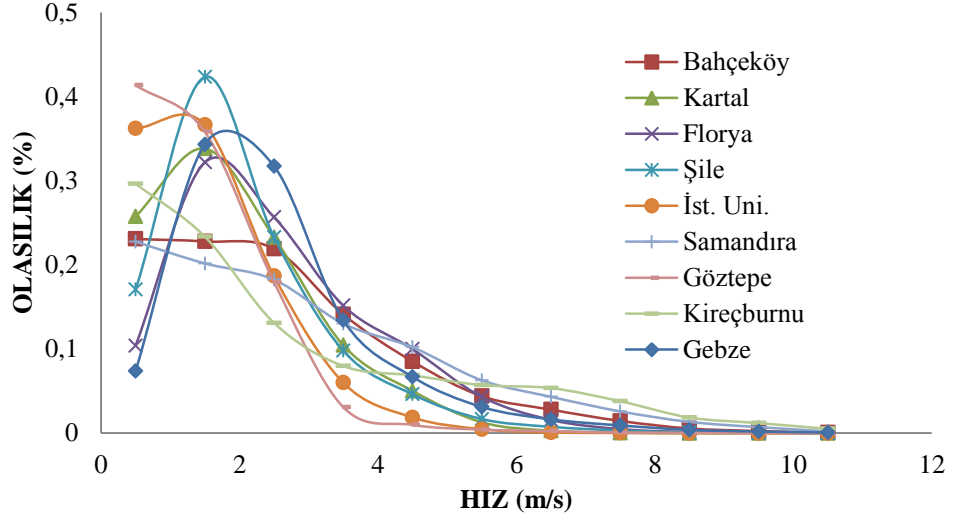
### 5.1. Kullanılan Veri

Çalışma için ihtiyaç duyulan İstanbul bölgesi rüzgar verileri Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir (DMİ, 2011). DMİ İstanbul'da 9 farklı noktada meteoroloji istasyonuna sahiptir. Bu istasyonlar ölçümler yerden 10.0 m yükseklikte konumlanmış aletler ile alınmaktadır. Kullanılan anemometreler 2007 yılına kadar analog 2007 sonra otomatik dijital aletlerdir. Bu nedenle 2007 yılına kadar olan veriler saatlik, 2007 yılından sonraki veriler ise dakikalık ölçümlerdir. İstasyonların İstanbul'daki konumları Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



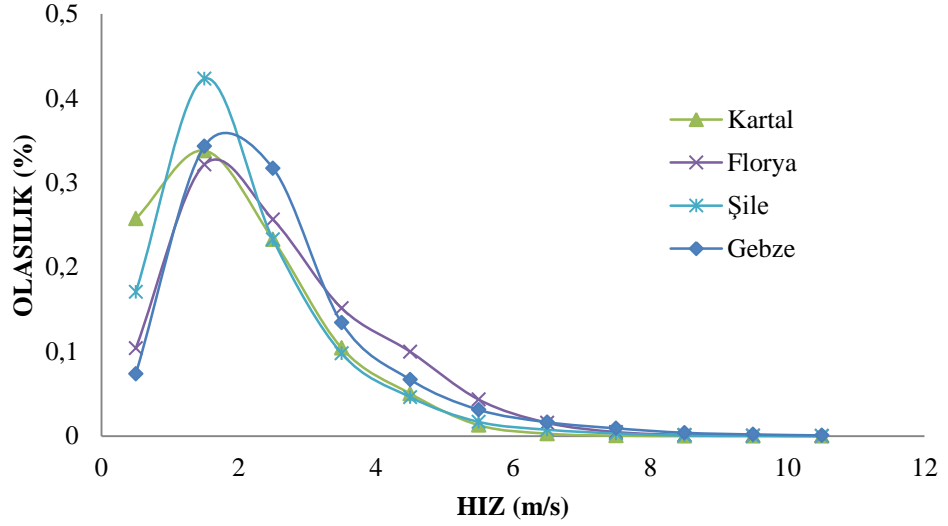
Şekil 5.1 İstanbul'daki Hava İstasyonlarının Konumları

Şekil 5.2’de ise İstanbul’daki farklı istasyonlardaki rüzgar hızlarının frekans dağılımları sunulmaktadır. Şekil 5.2 gösteriyor ki İstanbul’daki rüzgar dağılımları her istasyonda farklılık göstermektedir.



Şekil 5.2 İstanbul’daki İstasyonların rüzgar hızı frekans dağılımları

Genel olarak istasyonlar denize yakın yerlere yerleştirilmiştir. Bunun nedeni yerşekillerinden etkilenmeden rüzgar hızlarının ölçülmesidir. Ancak, Şekil 5.1 ve Şekil 5.2 karşılaştırıldığında İstanbul’un iç bölgelerinde bulunan Bahçeköy, Kireçburnu, Samandıra istasyonlarından alınan veri dağılımlarının düzensiz olduğu görülmektedir. İstanbul Üniversitesi Denizcilik Fakültesi ve Göztepe istasyonları da Gebze, Şile, Florya ve Kartal istasyonlarına göre daha düzensiz dağılımlar göstermektedir. Bunun nedeni coğrafik nedenler olabileceği gibi çevredeki yapıların ve bitki örtüsünün etkisi de olabilir.



Şekil 5.3 Kartal, Florya, Şile ve Gebze İstasyonları Hız Dağılımları

Şekil 5.3'te Hız dağılımları daha düzenli olan Kartal, Florya, Gebze ve Şile istasyonlarının hız dağılımları sunulmaktadır. İstanbul'daki yoğun yerleşim merkezlerine yakın olması nedeniyle 4 istasyon arasından Florya istasyonu seçilmiştir ve çalışmada Florya'nın hız dağılımı esas alınmıştır.

Önceki bölümlerde belirtildiği gibi güvenilir bir meteoroloji analizi yapılabilmesi için 30 yıllık veri ihtiyacı vardır. Bu bağlamda DMİ den 1980 – 2011 yılları arasındaki ceriler temin edilmiştir. DMİ istasyonlarından alınan veriler yukarıda da bahsedildiği üzere 2007-2011 yılları arasında dakikalık, 2007 ve öncesi için ise saatlik ortalamalar olarak kaydedilmiştir. Bu nedenle, daha hassas olan otomatik istasyonlardan alınan dakikalık ölçümlerin ortalamaları alınmış ve saatlik ortalamalara dönüştürülmüştür. Tablo 5.1'de kullanılan veri setinden bir örnek sunulmuştur. Tablo 5.1'de 1. kolonda ölçüm yapan istasyonun kod numarası (17636 = Florya Meteoroloji İstasyonu), 2, 3, 4 ve 5. kolonlarda sırasıyla ölçüm yapılan yıl, ay, gün ve saat, 6. kolonda ölçülen rüzgar hızı, 7. kolonda ise rüzgarın yönü gösterilmektedir.

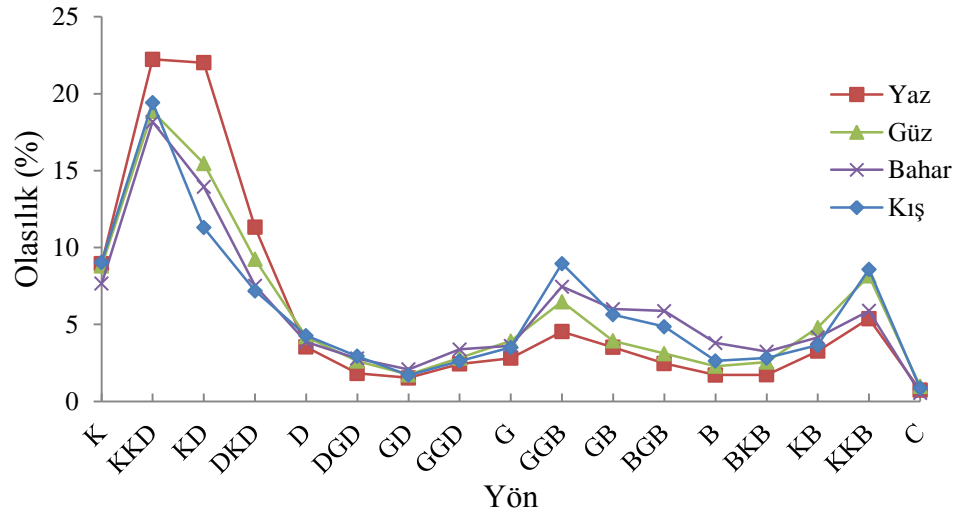
Tablo 5.1 Analizlerde kullanılan örnek veri seti

İstasyon	Yıl	Ay	Gün	Saat	Hız (m/s)	Yön
17636	2011	6	29	18	1,4	DKD
17636	2011	6	29	19	1	D
17636	2011	6	29	20	1,2	D
17636	2011	6	29	21	1,2	D
17636	2011	6	29	22	1,6	D
17636	2011	6	29	23	0,7	DKD
17636	2011	6	30	0	1,4	GGD
17636	2011	6	30	1	1,9	GGB
17636	2011	6	30	2	2	GB
17636	2011	6	30	3	2,4	GGB
17636	2011	6	30	4	3,2	GB
17636	2011	6	30	5	2,8	GB
17636	2011	6	30	6	3,8	GGB
17636	2011	6	30	7	2,2	BGB
17636	2011	6	30	8	2,3	GB
17636	2011	6	30	9	2,3	GGB
17636	2011	6	30	10	2,7	GGB
17636	2011	6	30	11	1,9	GGB
17636	2011	6	30	12	1,8	GB
17636	2011	6	30	13	1,8	GGD
17636	2011	6	30	14	1,3	GGD
17636	2011	6	30	15	1,2	DGD
17636	2011	6	30	16	1,3	GGD
17636	2011	6	30	17	0,9	GD
17636	2011	6	30	18	0,9	D
17636	2011	6	30	19	0,8	GGD
17636	2011	6	30	20	0,8	G
17636	2011	6	30	21	1,5	GGB
17636	2011	6	30	22	1,7	GB
17636	2011	6	30	23	1,8	BGB

2007 – 1980 arasında yapılan ölçümler 16 yönde yapılmıştır. Ancak 2007’de dijital ölçüm sistemleri kullanılmaya başlanmış ve bu tarihten itibaren rüzgar hızları 1 derece hassasiyetle derece olarak ölçülmüştür. Bu nedenle verilerin analizlerde kullanılması için rüzgar yönlerinin aynı cinsten olması gerekmektedir. Tablo 5.2’de meteoroloji istasyonlarından derece olarak temin edilen rüzgar yönlerinin nasıl dönüştürüldüğü sunulmuştur.

Tablo 5.2 Rüzgar Yönü – Derece Dönüşümü

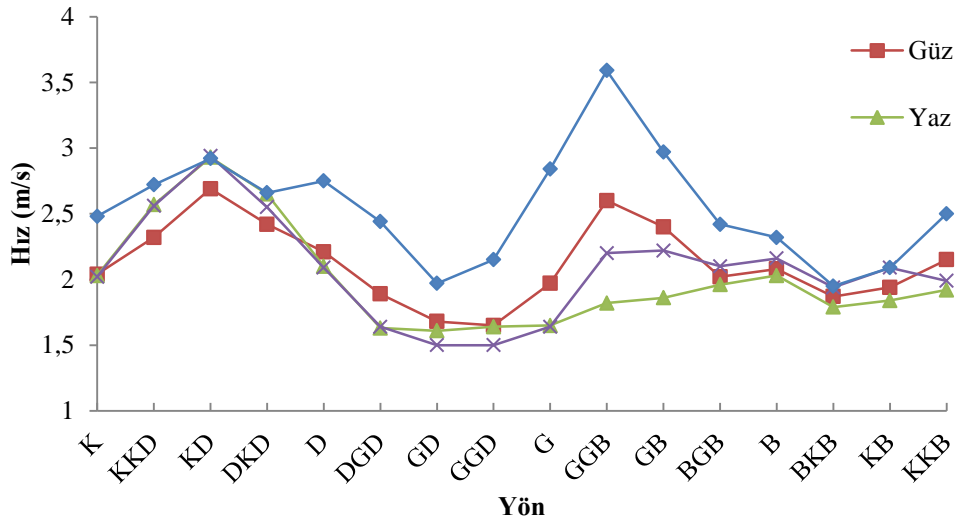
Rüzgar Yönü	Rüzgar Yönü (Derece)
K (Kuzey)	348,75 – 11,25
KKD (Kuzey - Kuzeydoğu)	11,25 – 33,75
KD (Kuzeydoğu)	33,75 – 56,25
DKD (Doğu - Kuzeydoğu)	56,25 – 78,75
D (Doğu)	78,75 – 101,25
DGD (Doğu - Güneydoğu)	101,25 – 123,75
GD (Güneydoğu)	123,75 – 146,25
GGD (Güney - Güneydoğu)	146,25 – 168,75
G (Güney)	168,75 – 191,25
GGB (Güney - Güneybatı)	191,25 – 213,75
GB (Güneybatı)	213,75 – 236,25
BGB (Batı - Güneybatı)	236,25 – 258,75
B (Batı)	258,75 – 281,25
BKB (Batı - Kuzeybatı)	281,25 - 303,75
KB (Kuzeybatı)	303,75 – 326,25
KKB (Kuzey - Kuzeybatı)	326,25 – 348,75



Şekil 5.4 İstanbul'daki rüzgarların yön ve olasılıkları

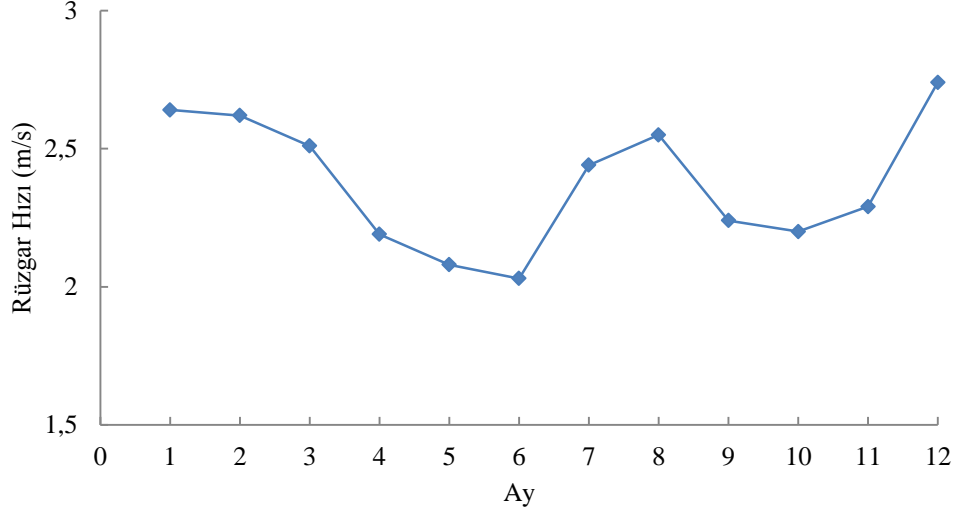
Şekil 5.2'de İstanbul'daki hakim rüzgar yönünün KKD ve KD yönleri olduğu görülmektedir. Grafik oluşturulurken 30 yıl boyunca alınan ölçümlerin sayıları baz alınmıştır. Tablo 5.2'de mevsimlere göre gözlemlenen rüzgar yönleri ve gözlem sayıları sunulmaktadır. Toplamda 269.987 ölçüm alınmıştır; C olarak ifade edilen

rüzgar yönü ise 0,1 m/s altındaki ölçülemeyen rüzgar hızlarını yada rüzgarsız hava durumunu göstermektedir. Bütün rüzgar yönleri bütün mevsimlerde paralellik göstermektedir. KKD ve KD yönlerinden esen rüzgarlar yaz aylarında % 23,0 oranına yükselirken diğer hakim yönler % 9,0 ve %8,5 ile GGB ve KKB yönleridir. Bir başka dikkate değer istatistik ise istanbul'da esen rüzgarların yaz mevsiminde yaklaşık %65,0'inin kuzey (K) – Doğu (D) yönleri aralığında gerçekleşmesidir.



Şekil 5.5 İstanbul'daki Rüzgarların Yön ve Ortalama Hızları

Şekil 5.3'te Florya meteoroloji istasyonundan alınan verilerin yönlere göre ortalama hızları sunulmaktadır. Grafikte görüldüğü üzere en yüksek rüzgar hızları kış mevsiminde gözlenmektedir. Diğer dikkate değer nokta ise; yaz mevsiminde gözlemlenen rüzgar hızlarının bahar ve sonbahar mevsimlerinden daha yüksek olmasıdır. Hakim Rüzgar yönleri olan KKD (Kuzey - Kuzeydoğu) ve KD yönlerinde ortalama rüzgar hızları sırasıyla 2,72 m/s ve 2,92 m/s olarak ölçülmüştür. İstanbul'da ölçülen en yüksek ortalama rüzgar hızı ise GGB (Güney Güney Batı) yönündedir ve 3,59 m/s olarak hesaplanmıştır. GGB yönünde esen rüzgar hızları daha yüksek olsa da gerçekleşme sıklığı K – D aralığında esen rüzgarlara göre daha düşük olduğundan verimliliğe etkisi daha düşük olacaktır.



Şekil 5.6 Florya İstasyonu Ortalama Rüzgar Hızları ve Aylar

Şekil 5.4'te ise aylara göre ortalama rüzgar hızları gösterilmiştir. En yüksek rüzgar hızları Ocak, Şubat, Mart, Temmuz, Ağustos ve Aralık aylarında gözlenmektedir. En yüksek ortalama hızlar Aralık ayı ortalama rüzgar hızı 2,74 m/s dir ve yıl içinde gerçekleşen en yüksek ortalama rüzgar hızıdır. İstanbul'da ölçülen en yüksek saatlik ortalama hız 1981 yılı Kasım ayında 12,2 m/s'dir. Yakın zamanda ölçülen en yüksek rüzgar hızı ise Kasım 2008'de 11,8 m/s olarak ölçülmüştür. Ancak bu değerler saatlik ortalamalar olduğundan gustları göstermemektir. Saatlik ortalamalar, rüzgar komforu ve verimlilik çalışmalarında kullanılabilir ancak, güvenlik ile ilgili çalışmalarda anlık rüzgar hızlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

## 5.2 Frekans Dağılımı

Tablo 5.4'de Florya meteoroloji istasyonundan alınan 30 yıllık verinin frekans dağılımı değerleri sunulmuştur. Belirlenen hız aralıklarındaki veri sayısı (Örneğin: 0,0 m/s – 1,0 m/s) alınarak alınan aralığın ortalaması olan değer karşısına yazılarak oluşturulmaktadır. Tablo 5.3'de alınan aralıklar ve ortalama hızlar gösterilmektedir.



Tablo 5.3 Alınan hız aralıkları ve Ortalama Hızlar

Hız Aralığı	Ortalama
0 m/s – 1,0 m/s	0,5 m/s
1,0 m/s – 2,0 m/s	1,5 m/s
2,0 m/s – 3,0 m/s	2,5 m/s
3,0 m/s – 4,0 m/s	3,5 m/s
4,0 m/s – 5,0 m/s	4,5 m/s
5,0 m/s – 6,0 m/s	5,5 m/s
6,0 m/s – 7,0 m/s	6,5 m/s

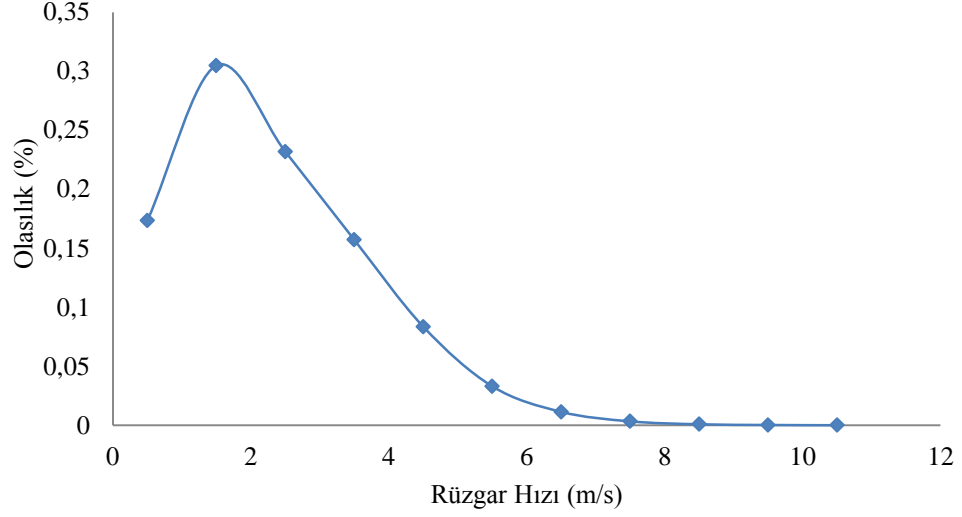
Denlem 5.1 kullanılarak  $x_1 - x_2$  aralığındaki rüzgar hızlarının sayısının ( $n_{(x_1-x_2)}$ ) toplam alınan ölçüm sayısına ( $N = 269.987$ ) bölünerek  $x_1 - x_2$  aralığındaki verilerin sayısının toplam veri sayısına oranı hesaplanmaktadır.  $x_{ort}$  sayısı  $x_1$  ve  $x_2$  sayılarının ortalamasına eşittir.

$$F(x_{ort}) = \frac{n_{(x_1-x_2)}}{N} \quad (5.1)$$

Tablo 5.4 Florya Meteoroloji İstasyonu 30 Yıllık Rüzgar Hızları ve Olasılıkları

Rüzgar Hızı	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5
Olasılık (%)	0,173	0,305	0,232	0,157	0,084	0,033	0,011	0,003	0,001	0,000	0,000

Tablo 5.4 ve Şekil 5.5'den görüleceği üzere gerçekleşme olasılığı en yüksek rüzgar hızı % 30,5 olasılıkla 1,5 m/s hızla esen rüzgarlardır. 15,0 km/saat hızın üzerinde esen rüzgarların çalışmalar üzerindeki olumsuz etkilerinden daha önceki bölümlerde durulmuştur. Tablo 5.4'e göre zamanın % 15'inde rüzgar hızları 4,0 m/s (~15,0 km/saat) hızı aşmaktadır. %15,0 düşük bir oran gibi gözükse de yükseklik arttıkça rüzgar hızının artacağı göz önünde bulundurulmalıdır.



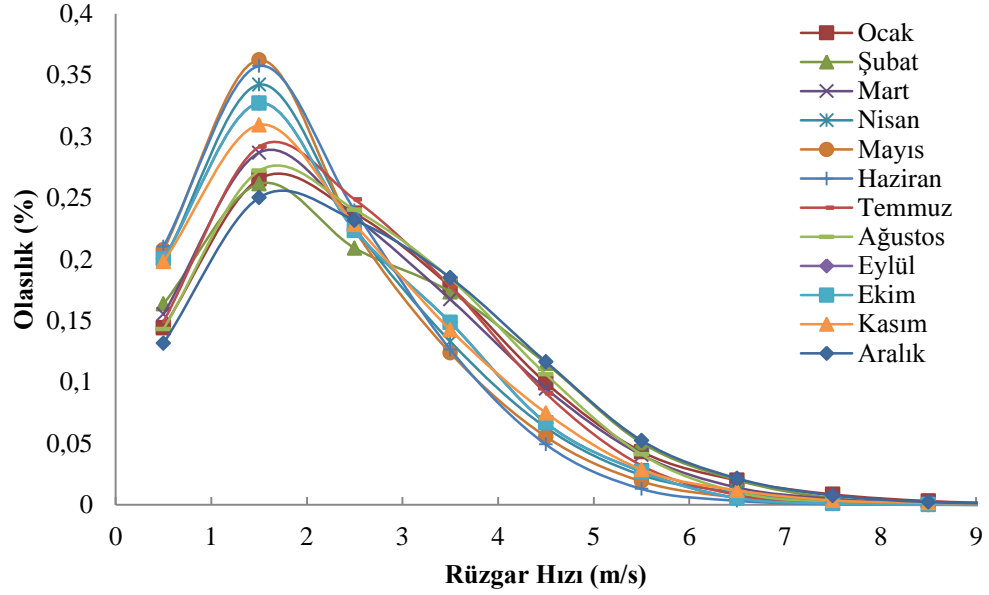
Şekil 5.7 Florya Meteoroloji İstasyonu 30 Yıllık Rüzgar Hızı Frekans Dağılımı

Tablo 5.5 Florya Meteoroloji İstasyonu Aylık Ortalama Rüzgar Hızları ve Olasılıkları

Ortalama Rüzgar Hızı	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5
<b>Ocak</b>	0,144	0,265	0,237	0,178	0,099	0,043	0,020	0,009	0,003	0,001	0,000
<b>Şubat</b>	0,164	0,262	0,209	0,173	0,115	0,051	0,020	0,005	0,001	0,000	0,000
<b>Mart</b>	0,155	0,287	0,234	0,167	0,095	0,041	0,014	0,005	0,001	0,000	0,000
<b>Nisan</b>	0,198	0,342	0,226	0,133	0,063	0,024	0,010	0,003	0,001	0,000	0,000
<b>Mayıs</b>	0,208	0,362	0,224	0,124	0,055	0,019	0,006	0,001	0,000	0,000	0,000
<b>Haziran</b>	0,210	0,357	0,240	0,126	0,049	0,013	0,003	0,001	0,000	0,000	0,000
<b>Temmuz</b>	0,149	0,292	0,249	0,178	0,091	0,032	0,008	0,001	0,000	0,000	0,000
<b>Ağustos</b>	0,143	0,272	0,240	0,184	0,106	0,041	0,010	0,002	0,000	0,000	0,000
<b>Eylül</b>	0,200	0,327	0,223	0,149	0,067	0,027	0,005	0,001	0,000	0,000	0,000
<b>Ekim</b>	0,200	0,327	0,223	0,149	0,067	0,027	0,005	0,001	0,000	0,000	0,000
<b>Kasım</b>	0,198	0,309	0,228	0,142	0,075	0,029	0,012	0,004	0,002	0,001	0,000
<b>Aralık</b>	0,132	0,250	0,232	0,185	0,116	0,052	0,022	0,008	0,002	0,001	0,000

Tablo 5.5 ve Şekil 5.6’de rüzgar hızlarının aylık frekans dağılımları gösterilmektedir. Rüzgar hızları arttıkça frekans dağılımı x ekseninde sağa doğru kaymaktadır. Mayıs ve Haziran ayları en solda Aralık, Şubat ve Ocak ayları ise diğer aylara göre x ekseninde en sağdadır. Rüzgar dağılımının x ekseninde kayması daha yüksek rüzgar hızlarının olasılıklarının yükselmesinden kaynaklanmaktadır. Bu bağlamda dağılımların tepe noktalarının daha yüksek hızlara karşılık geldiği

görülmektedir. Aralık ayının rüzgar hızı ortalamalarının diğer aylara nazaran daha yüksek olduğu şekilde açıkça görülmektedir.



Şekil 5.8 İstanbul Aylık Rüzgar Hızı Frekans Dağılımları

### 5.3 Weibull Dağılımı

Weibull dağılımının oluşturulması için öncelikle c ve k (ölçek ve şekil parametreleri) parametrelerinin hesaplanması gerekmektedir. Parametre hesaplama yöntemleri üzerinde daha önceki bölümlerde durulmuştur. Kapsamlı literatür taramaları sonucunda en çok kullanılan parametre hesaplama yöntemleri olarak moment metodu, grafik metodu, maksimum benzerlik metodu ve basitleştirilmiş bir weibull dağılımı olan Rayleigh dağılımı yöntemleri en çok kullanılan yöntemler olarak öne çıkmaktadır.

### 5.3.1 Parametre Hesaplama Metoduna Karar Verilmesi

Parametre hesaplama yöntemleri sonucunda farklı dağılımlar oluşabilmektedir ve bu dağılımlar her zaman gerçek rüzgar dağılımıyla uyumluluk göstermemektedir. Farklı bölgelerdeki rüzgar verileri için farklı parametre belirleme yöntemleri doğru sonuçlar verebilmektedir. Bu nedenle parametre hesaplama yöntemine karar verilmesi gerekmektedir. Daha önce belirtildiği üzere grafik metodu, maksimum benzerlik metodu, moment metodu ve Rayleigh dağılımı yöntemleri arasından İstanbul için uygun olanı rüzgar analizleri için seçilecektir. Literatür incelendiğinde Grafik metodu diğer metodlara göre uygulanması daha zahmetli olması ve diğer metodların daha doğru sonuçlar vermesi nedeniyle çalışmamızda yer verilmemiştir.

Moment metodu kullanılarak hesaplanan (şekil parametresi)  $k = 1,743$  ve (ölçek parametresi)  $c = 2,675$  olarak hesaplanmıştır. Bu parametrelere göre hesaplanan dağılım değerleri Tablo 5.6'de sunulmaktadır.

Tablo 5.6 Moment Metodu Kullanılarak Hesaplanan Dağılım

Rüzgar Hızı	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5
Olasılık (%)	0,177	0,294	0,255	0,161	0,081	0,033	0,011	0,003	0,001	0,000	0,000

Maksimum benzerlik metodu kullanılarak hesaplanan (şekil parametresi)  $k = 1,669$  ve (ölçek parametresi)  $c = 2,651$  olarak hesaplanmıştır. Bu parametrelere göre hesaplanan dağılım değerleri Tablo 5.7'de sunulmaktadır.

Tablo 5.7 Maksimum Benzerlik Metodu Kullanılarak Hesaplanan Dağılım

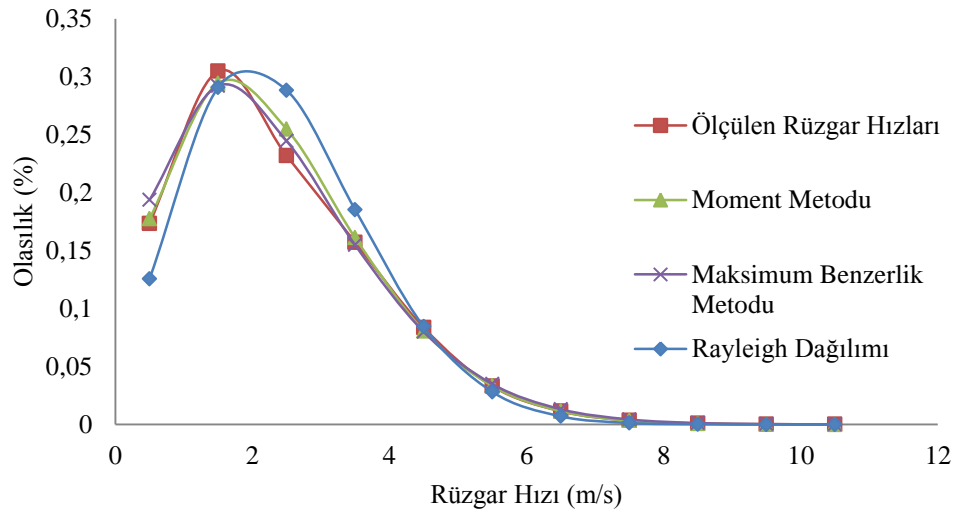
Rüzgar Hızı	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5
Olasılık (%)	0,194	0,292	0,245	0,155	0,080	0,035	0,013	0,004	0,001	0,000	0,000

Rayleigh metodu weibull dağılımının basitleştirilmiştir halidir (şekil parametresi)  $k = 2$  olarak kabul edilir ve (ölçek parametresi)  $c$  hesaplanarak dağılım oluşturulur. Rayleigh metodu kullanılarak hesaplanan (ölçek parametresi)  $c = 1,962$  olarak hesaplanmıştır ve bu parametreler kullanılarak oluşturulan dağılım Tablo 5.8'de sunulmaktadır.

Tablo 5.8 Rayleigh Metodu Kullanılarak Hesaplanan Dağılım

Rüzgar Hızı	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5
Olasılık (%)	0,126	0,291	0,288	0,185	0,084	0,028	0,007	0,001	0,000	0,000	0,000

Ölçülen dalar kullanılarak oluşturulan frekans dağılımı şekil 5.8’de moment metodu, maksimum benzerlik metodu ve Rayleigh metodları kullanılarak oluşturulan dağılımlarla karşılaştırılmaktadır. Şekil 5.8’den açıkça görüleceği üzere moment metodu ve maksimum benzerlik metodu kullanılarak oluşturulan dağılımlar frekans dağılımına uymaktadır ancak Rayleigh metodu diğer parametre hesaplama yöntemlerine göre daha kötü sonuçlar vermektedir. Ortalama karesel hata metodu ve ortalama mutlak hata yöntemleri kullanılarak hangi metodun daha uygun sonuç verdiği hesaplanacaktır.



Şekil 5.9 Parametre Hesaplama Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Tablo 5.9 Ortalama Karesel Hata (RMSE)

Metot	RMSE
Maksimum Benzerlik Metodu	0,008287
Moment Metodu	0,007846
Rayleigh Dağılımı	0,024336

Tablo 5.9’da ortalama karesel hata metodu kullanılarak parametre belirleme yöntemleri kullanılarak oluşturulan c ve k parametreleri kullanılarak oluşturulan dağılımların hataları analiz edilmiştir. Bu analizler sonucunda maksimum benzerlik

metodu ve moment metodu birbirine çok yakın hata değerleri vermiştir ve bu hata oranları kabul edilebilir sınırlar içersindedir. Rayleigh dağılımında ise hata oranının diğer yöntemlere oranla çok yüksek olduğu gözlenmiştir.

Tablo 5.10 Ortalama Mutlak Hata (MAPE)

<b>Metot</b>	<b>MAPE</b>
Maksimum Benzerlik	0,118712
Moment Metodu	0,107215
Rayleigh Distribution	0,417993

Tablo 5.10’da ortalama mutlak hata yöntemiyle parametre belirleme yöntemlerinin hata oranları hesaplanmış ve Tablo 5.10’a benzer bir durum ortaya çıkmıştır.

Yapılan hata analizleri ve çizilen dağılım grafikleri sonucunda en doğru sonuçların moment metodu kullanılarak elde edildiği görülmektedir. Aynı zamanda maksimum benzerlik metodu da kabul edilebilir ve moment metoduna yakın sonuçlar vermektedir ancak, moment metodunun daha kolay bir yöntem olması ve iterasyon gerektirmemesi de moment metodunun tercih edilmesinde önemli rol oynamaktadır.

### 5.3.2 Farklı Yüksekliklerdeki Rüzgar Hızı Dağılımları

Rüzgar hızının yeryüzü şekilleri, bitki örtüsü v.b. etkiler nedeniyle sınır tabakasında değişiklik gösterdiğinin daha önceki bölümlerde üzerinde durulmuştur. Yapıların inşası süresince işçiler farklı yüksekliklerde çalışmak zorundadırlar. Ancak Florya meteoroloji istasyonlarından temin edilen verilere göre oluşturduğumuz dağılımlar 10m yükseklikteki rüzgar hızları kullanılarak oluşturulmuştur. Bu nedenle farklı yüksekliklerdeki rüzgar dağılımlarının hesaplanması gerekmektedir. Şekil ve ölçek parametrelerinin hesaplanması denklemler kullanılarak 10m yükseklik için hesaplanan c ve k parametreleri diğer yüksekliklerdeki şekil ve ölçek parametrelerine dönüştürülmüştür. Tablo 5.11’de 10m – 100m yükseklikleri arasındaki yükseklikler için şekil ve ölçek parametreleri sunulmaktadır.

Tablo 5.11 Farklı Yüksekliklerdeki Şekil ve Ölçek Parametreleri

Yükseklik	C	k
10	2,675	1,743
20	3,256	1,857
30	3,653	1,930
40	3,928	1,902
50	4,222	2,031
60	4,445	2,070
70	4,644	2,104
80	4,823	2,134
90	4,987	2,161
100	5,138	2,187

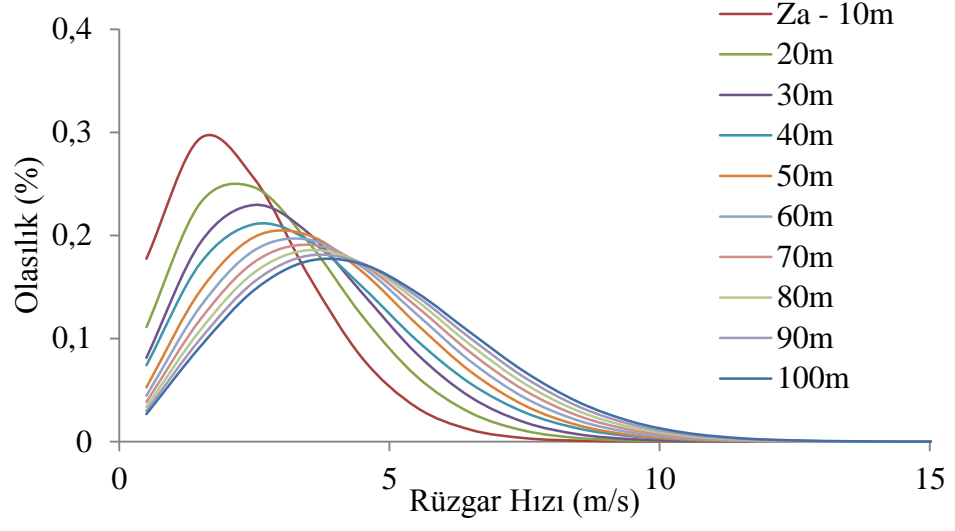
Hesaplanan c ve k parametreleri kullanılarak 10m – 100m arasındaki yüksekliklerdeki Weibull dağılımları hesaplanmıştır. Hesaplanan weibull dağılımları Tablo 5.3.2.2’de sunulmaktadır. Tablo 5.3.2.2’de açıkça görüldüğü gibi yükseklik arttıkça yüksek rüzgar hızlarının oranları da yükselmektedir.

Tablo 5.12 Farklı yüksekliklerdeki rüzgar dağılımları

Yükseklik (m)	Rüzgar Hızı (m/s)										
	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5
10,0	0,18	0,29	0,25	0,16	0,08	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
20,0	0,11	0,23	0,25	0,19	0,12	0,06	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
30,0	0,08	0,19	0,23	0,20	0,14	0,09	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00
40,0	0,07	0,17	0,21	0,20	0,15	0,10	0,06	0,03	0,01	0,01	0,00
50,0	0,05	0,15	0,20	0,20	0,16	0,11	0,07	0,04	0,02	0,01	0,00
60,0	0,04	0,13	0,19	0,20	0,17	0,12	0,08	0,04	0,02	0,01	0,00
70,0	0,04	0,12	0,17	0,19	0,17	0,13	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00
80,0	0,03	0,11	0,16	0,19	0,17	0,14	0,09	0,06	0,03	0,01	0,01
90,0	0,03	0,10	0,16	0,18	0,17	0,14	0,10	0,06	0,03	0,02	0,01
100,0	0,03	0,09	0,15	0,18	0,17	0,14	0,11	0,07	0,04	0,02	0,01

Şekil 5.8’de Tablo 5.9’da sunulan verilen grafik haline getirilmiştir. Weibull dağılımı yükseklik arttıkça x ekseninde sağa doğru kaymaktadır. Bunun nedeni yükseklikle doğru orantılı olarak rüzgar hızının artmasıdır. Ancak 10,0 m – 40,0 m arasındaki dağılımlar arasında hız değişim oranları, 40,0 m – 100,0 m arasındaki yüksekliklerdeki rüzgar hızlarının değişimi oranlarına göre daha yüksektir. Bunun

sebebi 40,0 m yükseklikten sonraki yüksekliklerde yeryüzü şekillerinin rüzgar hızına etkilerinin azalmasıdır.



Şekil 5.10 10-100 m Weibull dağılımları



## **6. RÜZGARIN İSTANBUL'DAKİ İNŞAAT PROJELERİNİN VERİMLİLİĞİNE ETKİLERİ**

İstanbul'daki rüzgar durumu Florya meteoroloji istasyonundan alınan veriler kullanılarak incelenmiştir ve istatistik olarak analiz edilmiştir. Bu analizler sonucunda elde edilen dağılımlar; enerji fizibilitesi, yapılar üzerindeki rüzgar yükleri, rüzgar konforu v.b. birçok alanda kullanılabilir. Önceki bölümlerde bahsedilen rüzgarın inşaat çalışanları üzerindeki etkilerinin incelenmesinde de bu dağılımlar kullanılacaktır.

Daha önceki bölümlerde istasyonlardan alınan veriler yardımıyla oluşturulan rüzgar profillerinin direkt olarak istenen bölgede kullanılmayacağını logaritmik rüzgar profili kanunu yada kuvvet kanunu kullanılarak profilin başka bir bölgeye taşınması gerektiği vurgulanmıştı. Bu bağlamda taşınan rüzgar profili taşındığı bölgedeki çevresel faktörlerden de etkilenecektir. Bu etkilerin belirlenmesi ancak, sonulu eleman modelleri kullanılarak mümkün olabilmektedir.

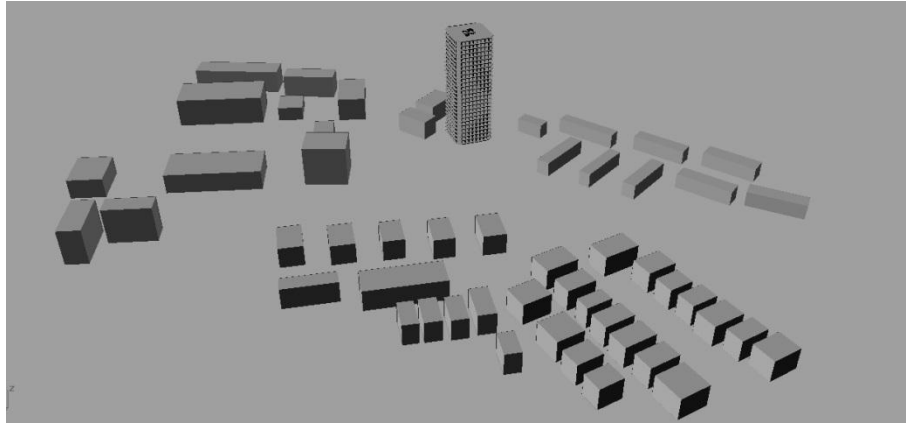
### **6.1.Sonlu Eleman Modeli**

Rüzgar 3 boyutta ve zamana bağlı değişkenlik gösteren bir hava olayıdır. Bu bağlamda verilen bir noktada rüzgar hızları yakın çevrede olan yapılar nedeniyle de değişkenlik gösterebilmektedir (Dikmen v.d., 2010). Değişkenliğin sebebi coğrafik etkiler ve yüksek yapıların etkisiyle olabileceği gibi inşaat sürecinde tamamlanan kolon ve perde duvar yerleşimlerinden de kaynaklanabilmektedir. Özellikle, perde duvarlar rüzgarın yönüne bağlı olarak bir yandan perdeleyici bir etki gösterirken diğer yandan uç noktalarda rüzgarın hızlanmasına da yol açabilmektedir (Dikmen v.d., 2011)

Yüksek binaların inşasında çalışma ortamını negatif yönde etkileyecek rüzgar hızlarının belirlenmesi amacıyla hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) kullanılmıştır. Hesaplamalar için ticari bir yazılım olan ANSYS'in 3 boyutlu hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri yapabilen FLUENT yazılımı ile gerçekleştirilmiştir (ANSYS, 2006).

## 6.2.Çalışma Modeli

Analizin her aşamasında gerekli 3 boyutlu modelin oluşturulmasında benzer çalışmalarda kullanılan “Best Practice Guideline for the CFD Simulation of Flows in the Urban Environment developed in the COST” başlıklı kitapçıkta önerilen kural ve yöntemler kullanılmıştır (Franke v.d. 2007).



Şekil 6.1 Analiz Modeli

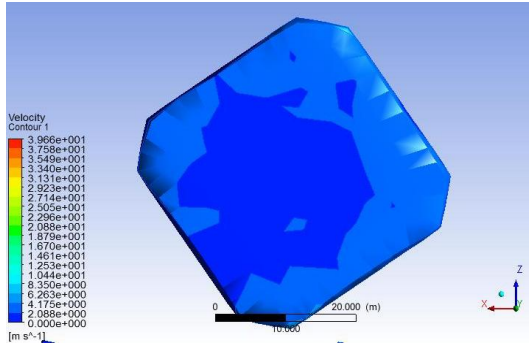
Analizlerde kullanılmak üzere 100.0 m yüksekliğinde ve planda 35.0\*35.0 m ölçülerinde İstanbul'da mevcut olan bir bina ve çevresi seçilmiştir. Betonarme taşıyıcı sistemine sahip yapının merkezinde asansör ve merdiven shaftlarının oluşturduğu bir çekirdek bulunmaktadır. Kolonlar yapının dış kenarlarına 4.0 m aralıklarla sıralanmıştır. Yapının ön bölümünde yaklaşık 25.0 m genişliğinde bir cadde ve çevresinde ise 12.0 – 30.0 m yüksekliğinde yapılar mevcuttur. İstanbul'da mevcut olan bu şehir ortamının modellenmesi amacıyla 600\*350\*400 m boyutlarında bahsi geçen çevredeki tüm yapıları içeren bir model hacmi

oluşturulmuştur (Şekil 6.1). Bu sayede çevre rüzgar etkilerinin hesaplanarak girilen rüzgar profiline etki etme mesafesinin yeterli

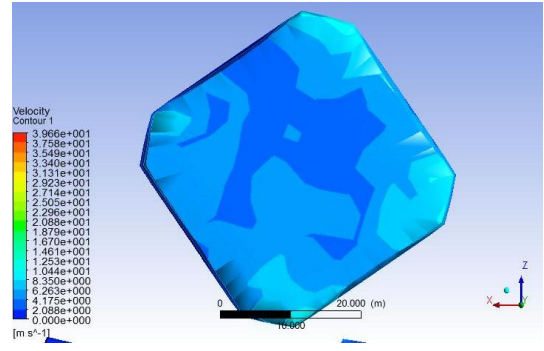
Rüzgarın etkileri bilhassa kaba inşaat döneminde etkin olabilmektedir. Bu nedenle çalışmada HAD analizleri sadece kaba inşaat sürecinin incelenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Rüzgarın farklı yüksekliklerde ki etkisinin irdelenmesi amacıyla incelenen yapı 4 farklı yükseklik için ayrı ayrı modellenmiştir. Kat yükseklikleri 5, 10, 15 ve 20 kat olarak belirlenmiştir, bu kat yükseklikleri sırasıyla 18,0, 36,0, 54,0, ve 72,0 m yüksekliklere karşı gelmektedir.

### **6.3.HAD Analizi Sonuçları**

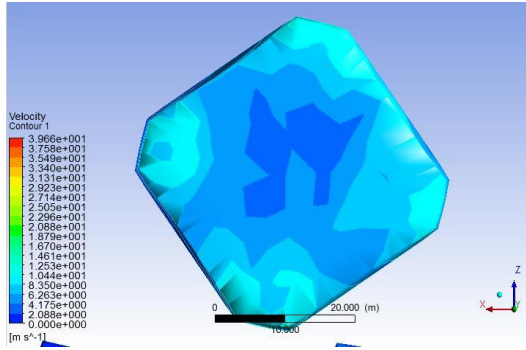
Yukarıda sunulduğu üzere 4 farklı bina yüksekliği (5, 10, 15, 20 katlı) için hazırlanan modellere üzerinde KKD (Kuzey – Kuzeydoğu) yönünden 10.0 m yükseklikte 4,0, 6,0, 8,0 ve 10,0 m/s hızla esen rüzgar profilleri etkilmiştir. Analizlerin birinci aşamasında en üst katın kolon ve perdelerinin hazırlanmadığı durum incelenmiştir. İkinci aşamada ise kolon ve perde duvarların yapıldıktan sonraki süreç analiz edilmiştir. Bu sayede kolon ve perde duvarların rüzgar hızlarına ve çalışma ortamı üzerindeki etkilerinin incelenmesi hedeflenmiştir. Kolon ve perdelerin etkisiyle rüzgarın geçtiği boşluklar daralmakta ve bu etki rüzgar hızının artmasına neden olmaktadır. Yapılan HAD analizlerinin sonuçları, 4,0 m/s rüzgar hızı için Şekil 6.2’de farklı yükseklikler için sunulmuştur. Şekil 6.3 ve 6.4’de de 5. ve 20. kat seviyelerinde farklı rüzgar hızları sonucunda oluşan lokal rüzgar hızları gösterilmiştir. Yapılan analizler sonucunda oluşturulan şekillerde gösterilen rüzgar hızları döşeme kotununun 1,50 m üzerindedir. Bu yükseklik çalışanların takriben göğüs hizasına denk gelen bir yüksekliktir. Şekil 6.3’den de görüldüğü üzere, yapılan analizlerin sonucunda 5 kat yükseklikte 4.0 m/s rüzgar hızında 0 – 5.0 m/s, 6.0 m/s’de 3.0 – 12.0 m/s, 8.0 m/s’de 6.0 – 20.0 m/s ve 10.0 m/s’de 12.0 – 30.0 m/s noktasal rüzgar hızları hesaplanmıştır. Çok düşük rüzgar hızlarında dahi çok tehlike oluşturabilecek seviyelere yükselen noktasal rüzgar hızı alanları oluşabilmektedir. 5 katlı yapının yüksekliği çevre binaların yüksekliklerine yakın olması sebebiyle hızlar 10, 15 ve 20 katlı bina analizlerine oranla daha düşüktür.



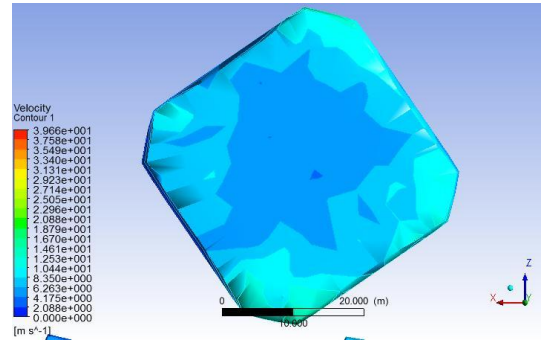
a. 5. kat



b. 10. kat

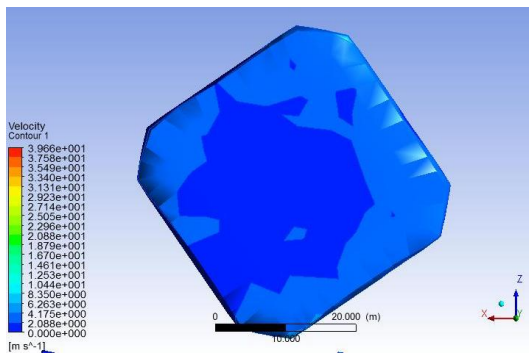


a. 15. kat

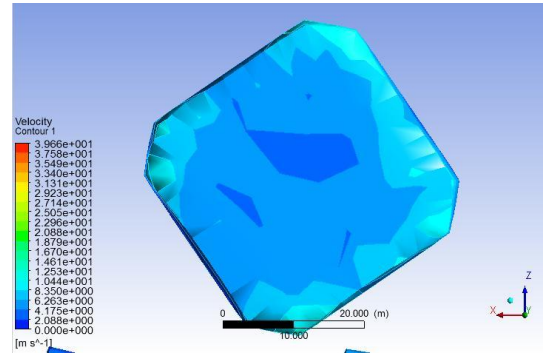


b. 20. kat

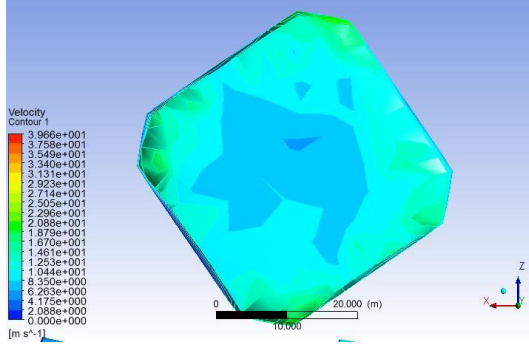
Şekil 6.2 4.0 m/s rüzgar için model yapının farklı yüksekliklerinde oluşan rüzgar hızları



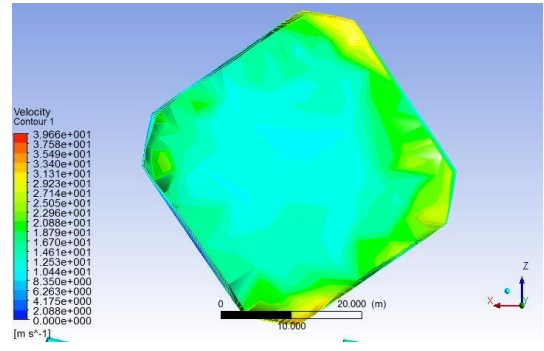
a. 4.0 m/s



b. 6.0 m/s

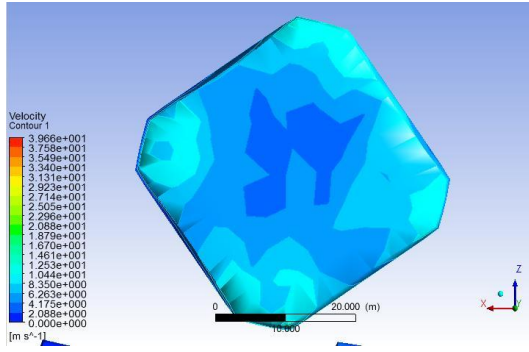


c. 8.0 m/s

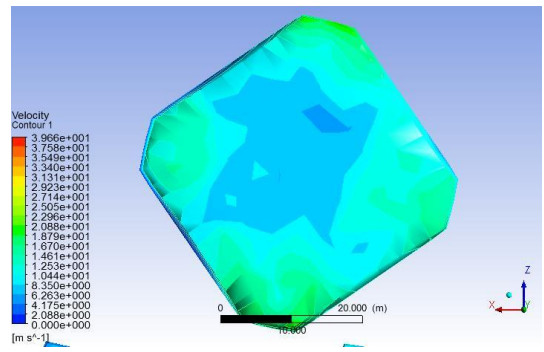


d. 10.0 m/s

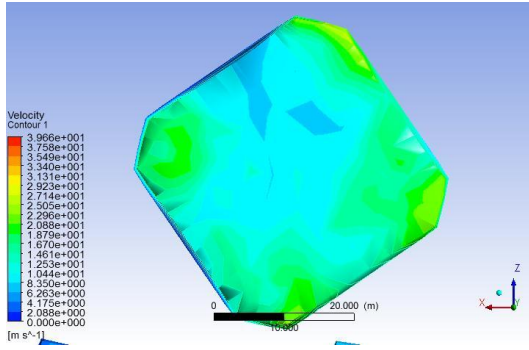
Şekil 6.3 5. katta farklı rüzgar hızları sonucunda oluşan noktasal rüzgar hızları



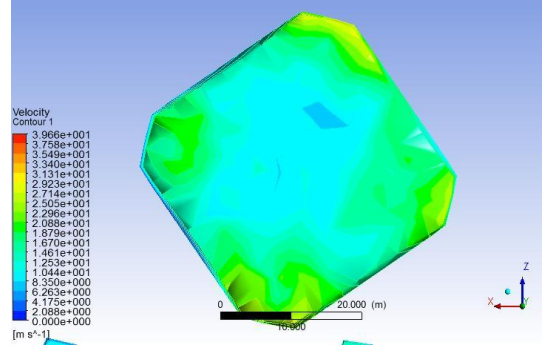
a. 4.0 m/s



b. 6.0 m/s



c. 8.0 m/s



d. 10.0 m/s

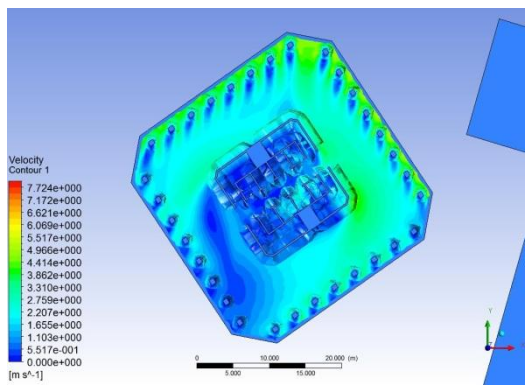
Şekil 6.4 20. katta farklı rüzgar hızları sonucunda oluşan noktasal rüzgar hızları

Yine şekillerden de görüleceği üzere döşemenin dış kenarlarına isabet eden yerlerde rüzgar hızları yüksek iç bölümlerindeki rüzgar hızları ise dış bölümlere göre daha düşüktür. Betonarme yapıların hemen hepsinde dış kenarda bir sıra kolon olması olağandır. Bu bağlamda oluşan rüzgar hızındaki bu artışın döşeme kenarında ki kalıp işlerini etkileyeceği açıktır 4,0 m/s rüzgar hızı kullanılarak yapılan analizler tüm perde ve kolonlar tamamlandıktan sonra tekrarlanmıştır. Sonuçları Şekil 6.5’de

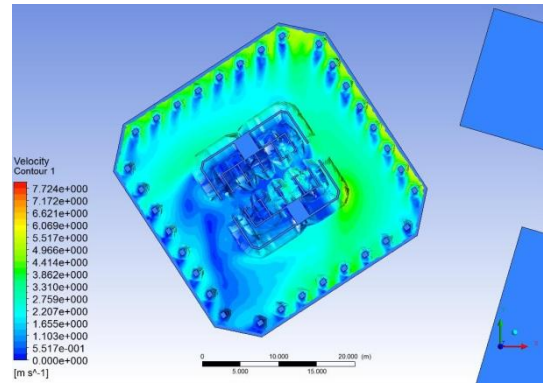
özetlenen bu analizlerden de görüleceği üzere kolonlar nedeniyle dış noktalarda rüzgar hızları artmış içi kısımlarda ise perde duvarların perdelemesi neticesinde rüzgar tarafında olmayan noktalarda düşmüştür. Şekilden de görüldüğü üzere bina üzerindeki çalışma ortamında rüzgar hızları 2,0 km/saat – 14,4 km/saat arasındadır. Rüzgarın yapının çekirdeği tarafından engellendiği bölgede rüzgar hızları 2,0 km/saat hıza düşmetek olduğu kenar bölgelerde ise 14,4 km/saat hıza ulaşmaktadır.

10 katlı yapı analizinde ise rüzgar hızları ise 5 katlı bina analizi sonuçlarına benzer olarak 2,5 km/saat ile 15,0 km/saat arasında değişiklik göstermektedir. Şekil 6.5.c'de görüldüğü gibi 15 katlı yapının analizinde ise rüzgar hızlarının 3,5 km/saat ile 20,0 km/saat arasında değişiklik gösterdiği hesaplanmıştır. Son olarak 20 katlı binanın analiz sonuçları rüzgar hızlarının 3,6 km/saat ile 21,0 km/saat arasında olduğu hesaplanmıştır. Tüm analizler incelendiğinde maksimum rüzgar hızlarının kenar bölgelerde, en düşük rüzgar hızlarının ise perde duvarlar tarafından perdelenen bölgelerde olduğu görülmektedir.

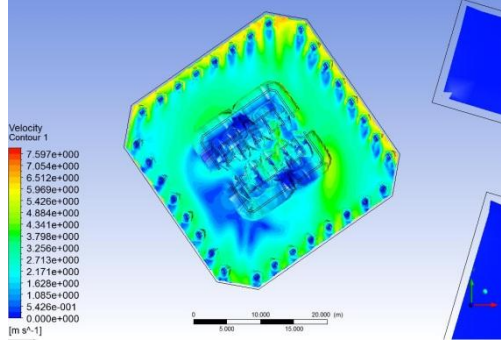
Bu sonuç aynı zamanda, hem verimliliğin artırılması hem de çok daha önemli bir konu olan güvenli çalışmanın sağlanması açısından güncel iş programlamasının rüzgar yönüne bakılarak yapılması gereğine işaret etmektedir.



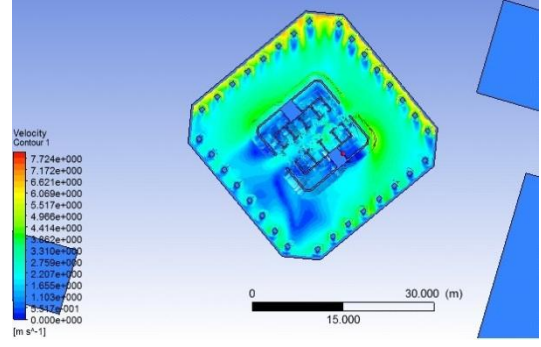
a. 5. kat (18.0 m)



b. 10. kat (36.0 m)



c. 15. Kat (54.0 m)



d. 20. Kat (72.0 m)

Şekil 6.5 Model yapının farklı yüksekliklerinde oluşan rüzgar hızları (kolon ve perdelerin mevcut olduğu durum)

#### 6.4. İstanbul'daki Verimlilik Oranları

Moment metodu kullanılarak oluşturulan Weibull dağılımları ve Moselhi'nin oluşturduğu rüzgar – verimlilik grafiği kullanılmıştır. Her bir rüzgar hızı için karşılık gelen verimlilik değerleri hız dağılımlarından alınan oranlarla çarpılarak ağırlık ortalamalar alınmıştır ve 10,0 m – 100,0 m yükseklikler arasındaki inşaat işçilerinin verimliliklerine etkileri hesaplanmıştır.

Tablo 6.1 10,0 – 100,0 m Yüksekliklerindeki Verimlilik Oranları

Yükseklik (m)	Verimlilik (%)
10	0,98
20	0,89
30	0,86
40	0,84
50	0,82
60	0,81
70	0,79
80	0,78
90	0,77
100	0,76

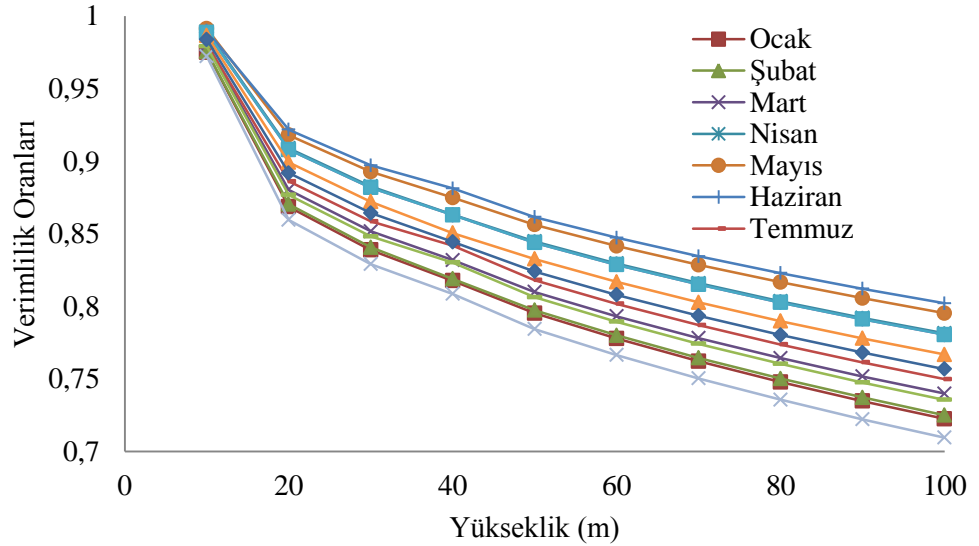
Tablo 5.13'de Moselhi'nin çalışması kullanılarak hesaplanan verimlilik oranları sunulmaktadır. 10,0 m – 100,0 m arasındaki ortalama verimlilik oranları ise

0,83 oranındadır. Rüzgar yıl boyunca ortalama % 17,0 oranında bir verimlilik kaybına neden olmaktadır.

Tablo 6.2 10m – 100m Yüksekliklerinde Aylık Verimlilik Oranları

Yükseklik (m)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Hazir.	Tem.	Ağus.	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
10	0,98	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,97
20	0,87	0,87	0,88	0,91	0,92	0,92	0,89	0,88	0,91	0,91	0,90	0,86
30	0,84	0,84	0,85	0,88	0,89	0,90	0,86	0,85	0,88	0,88	0,87	0,83
40	0,82	0,82	0,83	0,86	0,87	0,88	0,84	0,83	0,86	0,86	0,85	0,81
50	0,80	0,80	0,81	0,84	0,86	0,86	0,82	0,81	0,84	0,84	0,83	0,78
60	0,78	0,78	0,79	0,83	0,84	0,85	0,80	0,79	0,83	0,83	0,82	0,77
70	0,76	0,76	0,78	0,82	0,83	0,83	0,79	0,77	0,82	0,82	0,80	0,75
80	0,75	0,75	0,76	0,80	0,82	0,82	0,77	0,76	0,80	0,80	0,79	0,74
90	0,73	0,74	0,75	0,79	0,81	0,81	0,76	0,75	0,79	0,79	0,78	0,72
100	0,72	0,73	0,74	0,78	0,80	0,80	0,75	0,74	0,78	0,78	0,77	0,71

Tablo 6.2'deki veriler kullanılarak Şekil 6.6 oluşturulmuştur. Şekil 6.6'ya göre rüzgar hızlarının inşaat işlerine en uygun olduğu aylar Haziran, Mayıs ve Ekim ayları, verimliliğin en düşük olduğu aylar ise Aralık, Ocak ve Şubat aylarıdır.



Şekil 6.6 10m – 100m Yüksekliklerinde Aylık Verimlilik Oranları



## 7.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada; İstanbul'daki mevcut rüzgar şartları ve inşaat sektöründe işçi verimliliğine muhtemel etkilerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Maliyet hesaplamalarında kullanılan mevcut yöntemlerde genellikle sabit fiyatlar kullanılması ve hava şartlarının dikkate alınmaması hatalı sonuçlar verebilmektedir. Bu hatalar ihalelerin kaybına veya maddi zararlara neden olacak boyutta olabilir. Bu nedenle işçi verimliliğine etki eden şartların öngörülmesi büyük önem taşımaktadır.

İstanbul'daki rüzgar istasyonlarından alınan veriler kullanılarak İstanbul'un rüzgar analizleri yapılmıştır. Verilerin kullanıldığı istasyon seçiminde denize yakın olan coğrafik ve diğer faktörlerden en az etkilenen ölçümleri yapan istasyon seçilmeye çalışılmıştır. Çalışmada en düzenli dağılıma sahip olan Florya istasyonu aynı zamanda İstanbul'daki yoğun yerleşim merkezlerine yakın olması nedeniyle seçilmiştir.Yapılan analizlerde Weibull dağılımı kullanılmıştır. Dünyanın farklı noktalarında ölçülen rüzgar hızlarının dağılımında farklı parametre hesap yöntemleri daha doğru sonuçlar vermektedir. Florya istasyonunda ölçülen verilerin dağılımını en doğru şekilde veren parametreler moment metodu kullanılarak hesaplanmıştır. Bu nedenle weibull dağılımını oluşturmak için gereken parametrelerin hesaplanmasında moment metodu kullanılmıştır.

Ayrıca, İstanbul'daki rüzgar hızları 16 yönde ve aylık olarak incelenmiştir. 16 yön ve 12 ay için 10,0 m – 100,0 m arasındaki yüksekliklerde rüzgar dağılımları hesaplanmıştır. Bu dağılımlar EK.1.'de sunulmaktadır. Rüzgar hızlarının yükseklik arttıkça yüzey sürtünmeleri ve diğer etkilerin azalması nedeniyle arttığı daha önceki bölümlerde belirtilmiştir. Rüzgar hızlarının verimliliğe olan etkilerinin saptanması amacıyla yapılacak analizlerde kullanılmak üzere oluşturulmuştur.

Oluşturulan dağılımlara göre; İstanbul'daki hakim rüzgar yönlerinin Kuzey, Kuzey-Kuzeydoğu ve Kuzeydoğu yönleri olduğu görülmektedir. En yüksek rüzgar hızları ise Yaz ve Kış aylarında gerçekleşmektedir. Kış aylarında rüzgar hızlarının yüksek olması beklenen bir durumdur ancak Yaz aylarındaki rüzgar hızlarının yüksek olması dikkate değerdir. Ayrıca yükseklik arttıkça rüzgar hızlarının artması ve İstanbul'da inşa edilen yüksek bina sayısının dikkate değer oranda artması çıkan sonuçların önemini arttırmaktadır.

Hesaplanan dağılımlar İstanbul'da mevcut olan bir evre seçilerek oluşturulan bir model kullanılarak, bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yazılımı olan ANSYS kullanılarak farklı rüzgar hızlarında ve farklı yüksekliklerdeki çalışma ortamlarındaki rüzgar hızları analiz edilmiştir.

Verimlilik oranlarının hesaplanmasında Moselhi ve Khan (2010) yaptıkları çalışma sonucunda elde edilen rüzgar – verimlilik analizleri kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre İstanbul'daki binaların inşasında işçi verimliliği kaybı bazı aylarda %30'a kadar yükselmektedir. Bu nedenle maliyet hesapları yapılırken hava şartlarının dikkate alınması çok büyük önem taşımaktadır.

Yapılan alışma, tüm analizler göz önünde bulunduğunda günlük iş programlamalarında rüzgar yönü ve şiddetinin dikkate alınması gereğini göstermektedir. Bunun şantiyelerde hem verimlilik hem de iş güvenliği olarak pozitif etkileri olacaktır.

## KAYNAKLAR

**Akdağ S. A. Ve Güler Ö.** (2008), Weibull Dağılım Parametrelerini Belirleme ve Metodların Karşılaştırılması, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES'2008, 17-19 Aralık 2008, İstanbul.

**American Society of Civil Engineers. Task Committee on Outdoor Human Comfort,** (2004), Outdoor Human Comfort and Its Assessment ASCE.

**ANSYS.** (2006), FLUENT ver. 6.3 User's Guide, ANSYS Inc., Canonsburg, PA, ABD

**ASCE, American Society of Civil Engineers,** (2003). Outdoor Human Comfort and Its Assessment, Dış mekanlarda insan konforuna aerodinamiğin etkileri ASCE özel komisyonu raporu.

**Aspliden, C. I. , Elliot, D. L. , Wendell, L. L.** (1986) Resource Assessment Methods, Siting, and Performance Evaluation, in Physical Climatology for Solar and Wind Energy, (eds. R. Guzzi and C.G. Justus) World Scientific, New Jersey.

**Blocken B. Ve Carmeliet J.** (2004) Pedestrian Wind Environment around Buildings: Literature Review and Practical Examples, Journal of Thermal Env. & Bldg. SCI., Vol. 28, No. 2.

**Bottema M.** (1993) Wind Climate and Urban Geometry, Technische Universiteit Eindhoven.

**C. G. Justus W. R. Hargraves, Mikhail A. ve Graber D.** (1977), Methods for Estimating Wind Speed Frequency Distributions, American Meteorological Society, Journal of Applied Meteorology, Volume 17. 1977.

**D. N. P. Murthy, Xie M. , Jiang R.** (2004), Weibull Models, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

**Dikmen S.Ü. , Aksel M. , Yiğit S.** (2010), A Study of The Effects of Tall Buildings on The Pedestrian Wind Comfort In Istanbul, 6th ARCHENG-2010 International Architecture and Engineering Symposiums, CENG'10, 56-61 pp., Lefke, KKTC, Kasım 2010

**Dikmen S.Ü. , Yiğit S. , Aksel M.** (2011), Effects of Wind in the Construction of Highrise Buildings 6th International Conference on Construction in the 21st Century, 693-700 pp., Kuala Lumpur, Malezya, Temmuz 2011

**Dikmen S. Ü. , Yiğit S. , Aksel M. , Sönmez M. , Şener B.** (2011) Yüksek Yapı Çalışmalarında Bir Verimlilik Faktörü: Rüzgar, 6. İnşaat Yönetimi Kongresi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Bursa Şubesi.

**Dunlop P, Smith SD.** (2003) Estimating key characteristics of the concrete delivery and placement process using linear regression Analysis, *Civil Engng Environ Syst* 2003; 20(4): 273–90.

**Eurocode 1: Actions on structures** (2005). “Part 1-4: General actions – Wind actions”, The European Standard EN 1991-1-4:2005 has the status of a British Standard.

**Franke, J., Hellsten, A., Schlünzen, H., Carrissimo, B.** (2007). COST, Best Practice Guideline for the CFD Simulation of Flows in the Urban Environment, Mayıs 2007

**Graham D. , Smith S. D.** (2004) Estimating the productivity of cyclic construction operations using case-based reasoning, *Advanced Engineering Informatics* 18 (2004) 17–28.

**İstanbul Büyükşehir Belediyesi İmar Müdürlüğü,** (2008). İstanbul Yüksek Binalar Rüzgar Yönetmeliği, Boğaziçi Üniversitesi, Çengelköy, İstanbul.

**Jang M. H. , Yoon Y. S. , Suh S. W. and Ko S. J.** (2008) Method of Using Weather Information for Support to Manage Building Construction projects, *ASCE AEI 2008: Building Integration Solutions.*

**Kaming P. F. , Holt G. D. , Kometa S. T. Ve Olomolaiye O.** (1998) Severity diagnosis of productivity problems – a reliability analysis, *International Journal of Project Management* Vol. 16, No. 2 pp. 107-113, 1998.

**Koehn, E. and Brown, G.** (1985). Climatic Effects on Construction, *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. I, No. 2, Haziran, 1985.

**Kuruoğlu M. , Bayoğlu F.İ.** (2001) Yapı üretiminde adam saat değerlerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma ve sonuçları. 16. İnşaat Mühendisliği Teknik Kongresi, Ankara

**Kuruoğlu M. ve Sevim D.** (2011) Süresel Planlamadaki Verimliliklerin Mevsime Göre Değişimin Regresyon Analizi. 6. İnşaat Yönetimi Kongresi, İnşaat Mühendisleri Odası, Bursa.

**Manwell J. F. , McGowan J.G. and Rogers A.L.** (2002) *Wind Energy Explained, Theory Design and Application*, John Willey & Sons. pp 22. University of Massachusetts, Amherst, USA.

**Murakami, S., Uehara, K. and Deguchi, K.** (1980). Wind Effects on Pedestrians: New Criteria Based on Outdoor Observation of Over (2000) Persons, In: Cermak (ed.) *Proceedings of the 5th International Conference on Wind Engineering*, Fort Collins, Colorado, pp. 277–288.

**Navy Environmental Health Center,** (2007). Prevention, Treatment and Control of Heat Injury, Department of the Army, 620 John Paul Jones Circle, Suite 1100 Portsmouth, Virginia 23708-2103., June, 2007.

**NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration,** USA, (2010), Web adresi: [www.spc.noaa.gov/faq/tornado/beaufort.html](http://www.spc.noaa.gov/faq/tornado/beaufort.html).

**Polat D. A. ve Çıracı M.** (2005) Türkiye’de tasarım öncesinde maliyet tahmini için veri tabanı modeli itüdergisi/a mimarlık, planlama, tasarım Cilt:4, Sayı:2, 59-69 Eylül 2005.

**S.A. Akdag, H.S. Bagiorgas, G. Mihalakakou,** (2010), Use of two-component Weibull mixtures in the analysis of wind speed in the Eastern Mediterranean, Applied Energy 87 (2010) 2566–2573.

**Sanders S. A. and Shapira A.** (2011) Windmill Erection and Maintenance: Challenges for Crane Design, Journal of Construction Engineering and Management ASCE / Ekim 2011.

**Sönmez M.** (2009) Yapay sinir ağları metodu ile kalıp işlerinde bir verimlilik ve adam-saat tahmini modeli, İstanbul Kültür Üniversitesi: Yüksek lisans tezi, İstanbul.

**Sönmez R. ve Rowings J. E.** (1998) Construction Labor Productivity Modelling With Meural Networks ASCE Journal of Construction Engineering and Management / November/December 1998.

**Spera, D. A. and Richards, T.R.** (1979) Modified Power Law Equations for Vertical Wind Profiles, NASA Lewis Research Center Cleveland, Ohio, US.

**Srinavin K. , Mohamed S.** (2002) Thermal environment and construction workers’ productivity: some evidence from Thailand. Building and Environment 38 (2003) 339 – 345.

**T. C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Yüksek Fen Kurulu Başkanlığı,** (2002a). 2002 Yılı İnşaat Birim Fiyat Analizleri, Ankara.

**Tar K.** (2007), Some statistical characteristics of monthly average wind speed at various heights, Renewable and Sustainable Energy Reviews 12 (2008) 1712–1724.

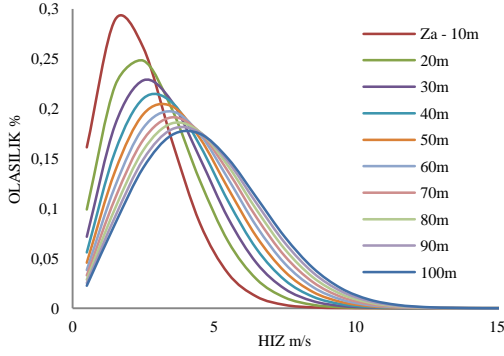
**Thomas H. R. , Riley D. R. , and Sanvido V. E.** (1999) Loss of labor productivity due to delivery methods and weather. Journal of Construction Engineering and Management, 01/02.1999.

**Ulubeyli S.** (2004). İnşaat sektöründeki iş gücü verimliliğinin proje süresine etkisi ve maliyet analizi, Yüksek lisans tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya.

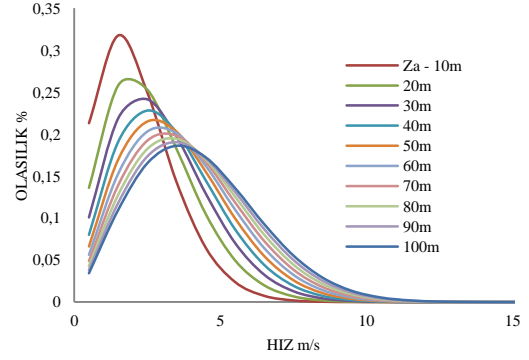
**Wieringa J.** (1993) Representative Roughness Parameters For Homogeneous Terrain, Boundary Layer Meteorology, 63: 323-363. Netherlands.

## EK A. FLORYA METEOROLOJİ İSTASYONU RÜZGAR DAĞILIMLARI

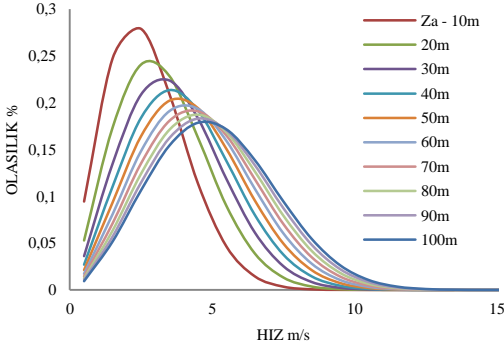
### A.1. Ocak Ayı Hız Dağılımları



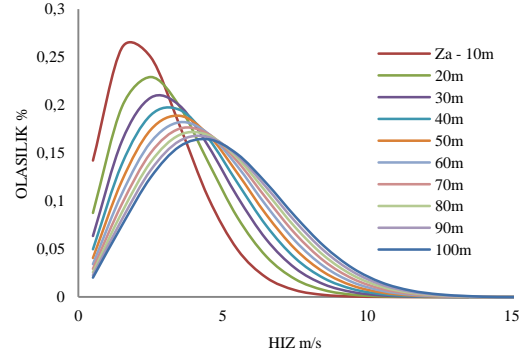
Şekil A.1.1 Kuzey



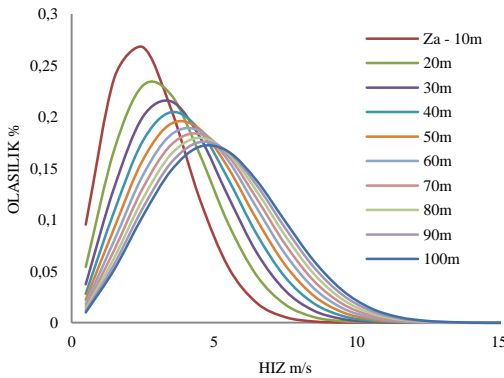
Şekil A.1.4 Doğu - Kuzeydoğu



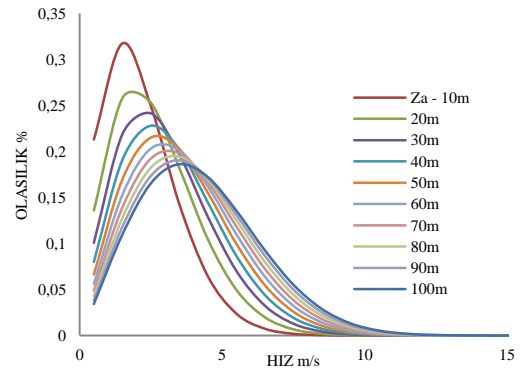
Şekil A.1.2 Kuzey-Kuzeydoğu



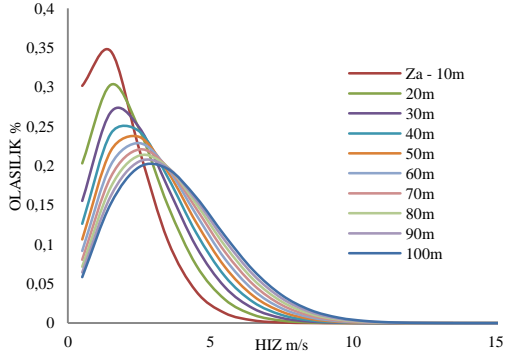
Şekil A.1.5 Doğu



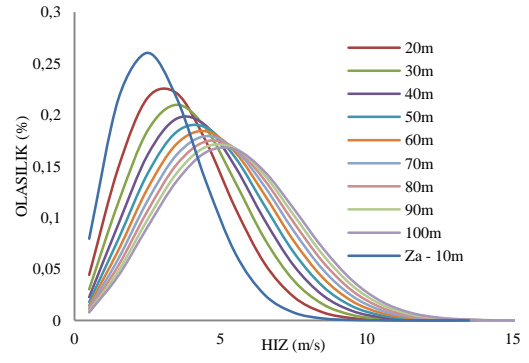
Şekil A.1.3 Kuzeydoğu



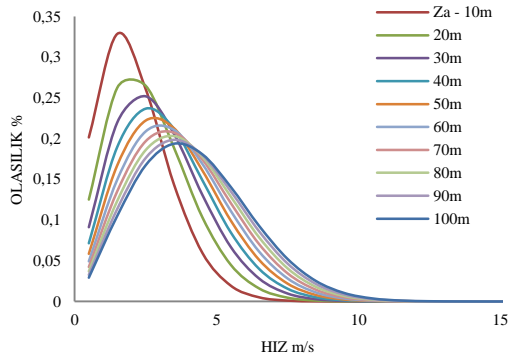
Şekil A.1.6 Doğu - Güneydoğu



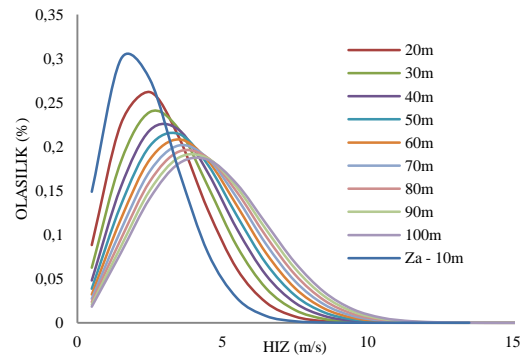
Şekil A.1.7 Güneydoğu



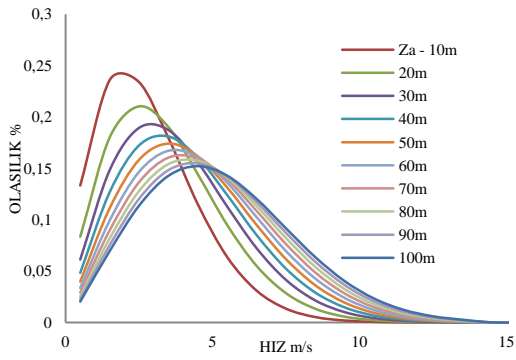
Şekil A.1.11 Güneybatı



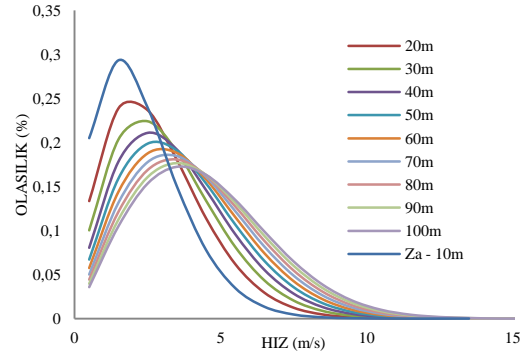
Şekil A.1.8 Güney - Güneydoğu



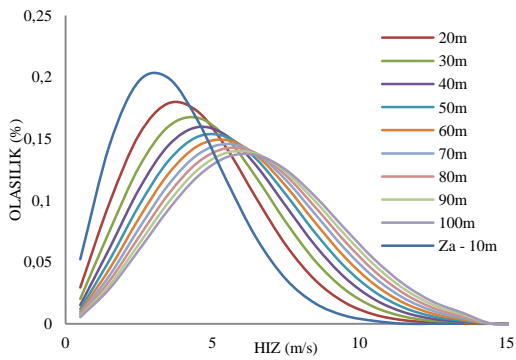
Şekil A.1.12 Batı - Güneybatı



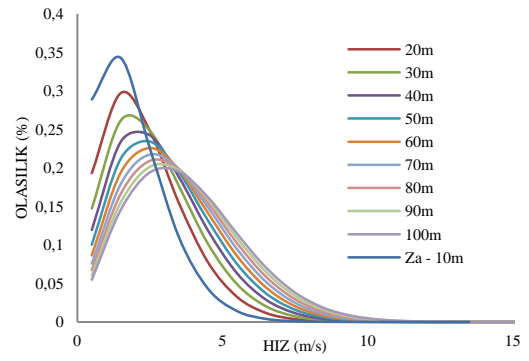
Şekil A.1.9 Güney



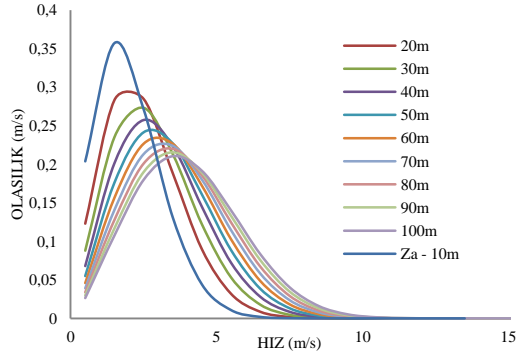
Şekil A.1.13 Batı



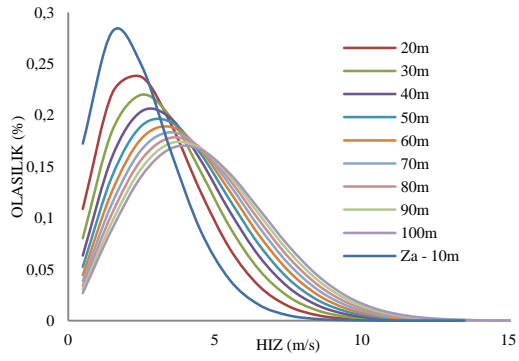
Şekil A.1.10 Güney - Güneybatı



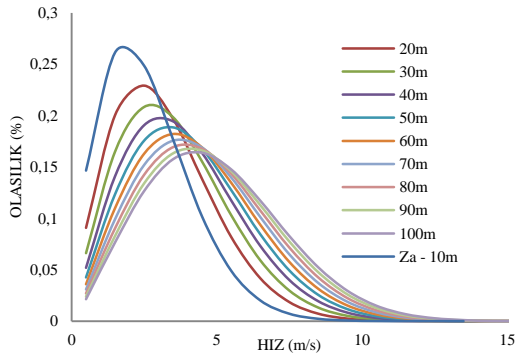
Şekil A.1.14 Batı - Kuzeybatı



Şekil A.1.15 Kuzeybatı



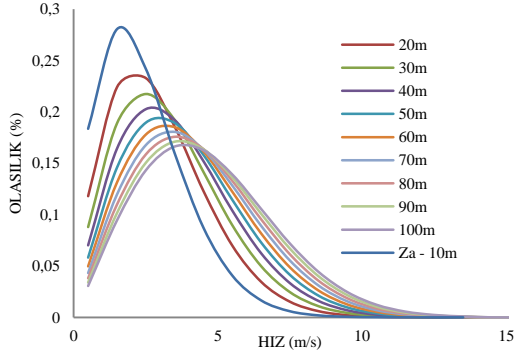
Şekil A.1.16 Kuzeybatı



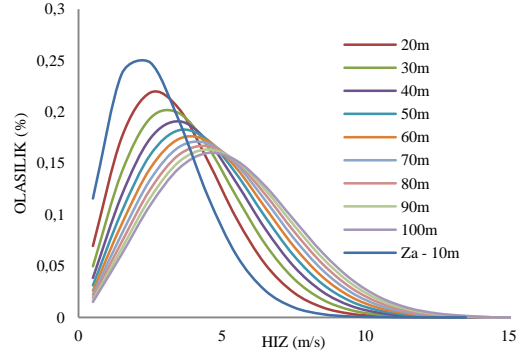
Şekil A.1.17 16 Yön Ortalaması



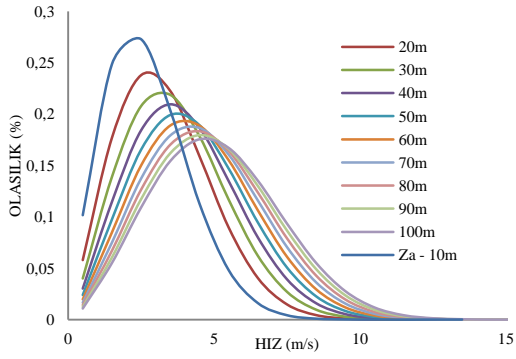
## A.2. Şubat Ayı Hız Dağılımları



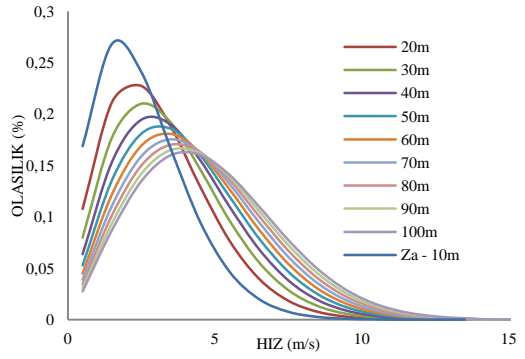
Şekil A.2.1 Kuzey



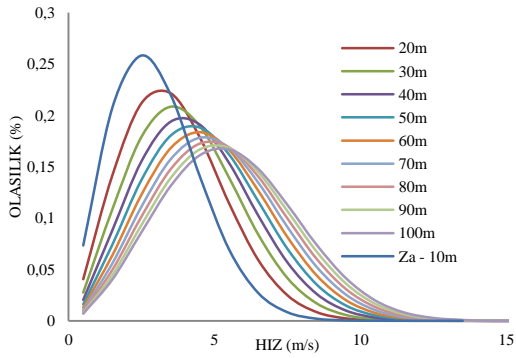
Şekil A.2.4 Doğu – Kuzeydoğu



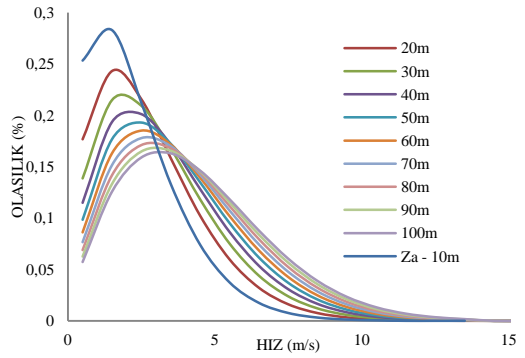
Şekil A.2.2 Kuzey – Kuzeydoğu



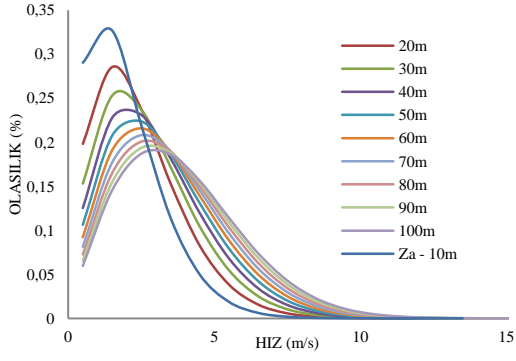
Şekil A.2.5 Doğu



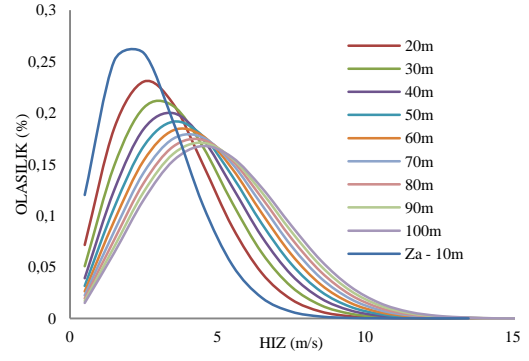
Şekil A.2.3 Kuzeydoğu



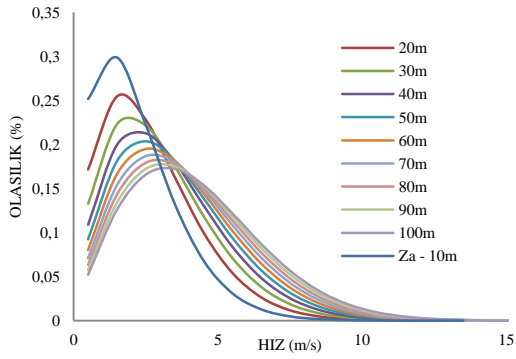
Şekil A.2.6 Doğu – Güneydoğu



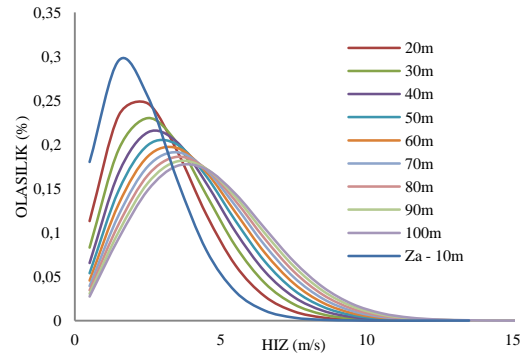
Şekil A.2.7 Güneydoğu



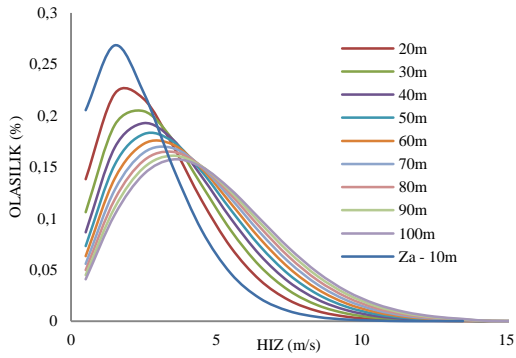
Şekil A.2.11 Güneybatı



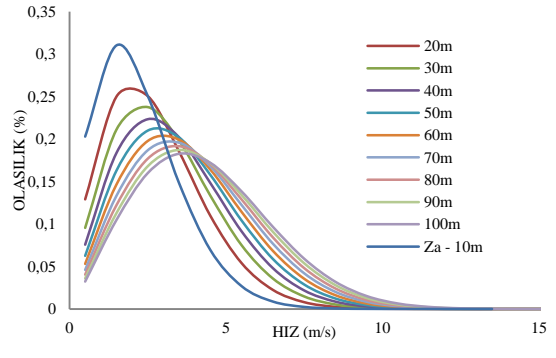
Şekil A.2.8 Güney - Güneydoğu



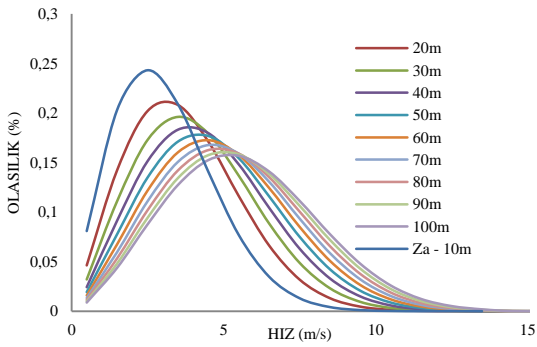
Şekil A.2.12 Batı - Güneybatı



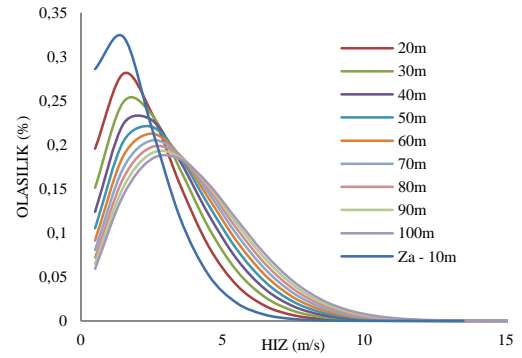
Şekil A.2.9 Güney



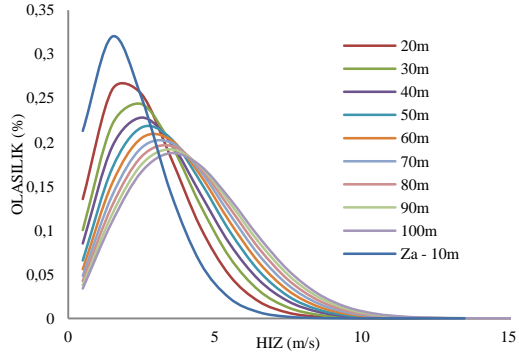
Şekil A.2.13 Batı



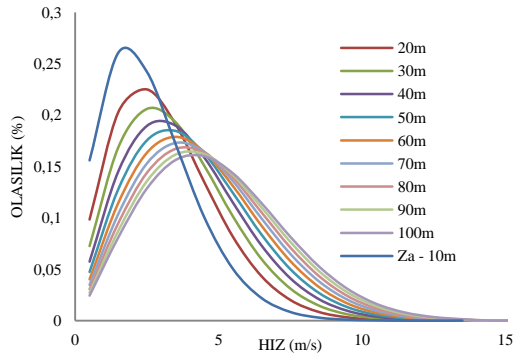
Şekil A.2.10 Güney - Güneybatı



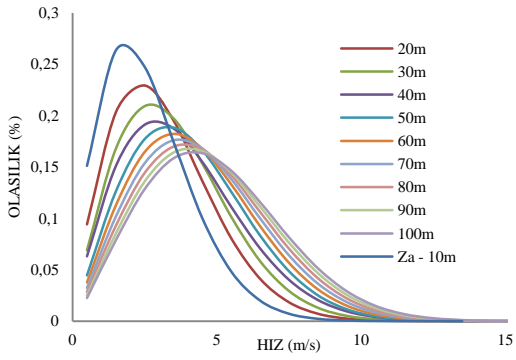
Şekil A.2.14 Batı - Kuzeybatı



Şekil A.2.15 Kuzeybatı

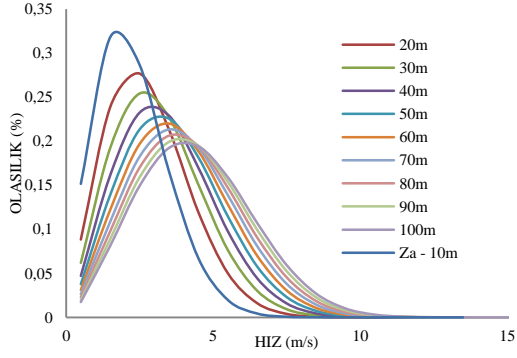


Şekil A.2.16 Kuzey - Kuzeybatı

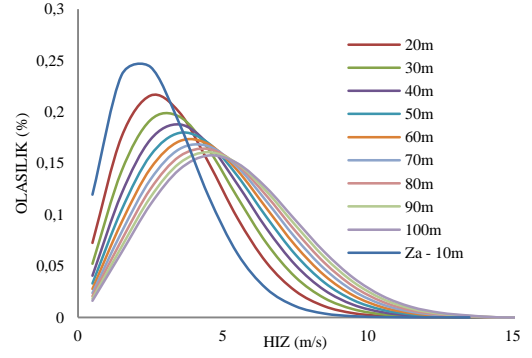


Şekil A.2.17 16 yön Ortalaması

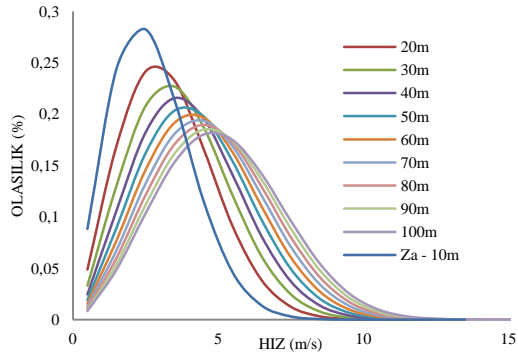
### A.3. Mart Ayı Hız Dağılımları



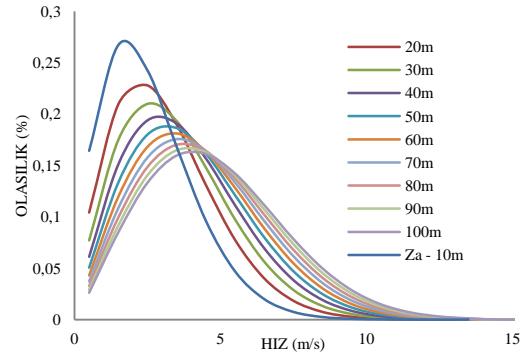
Şekil A.3.1 Kuzey



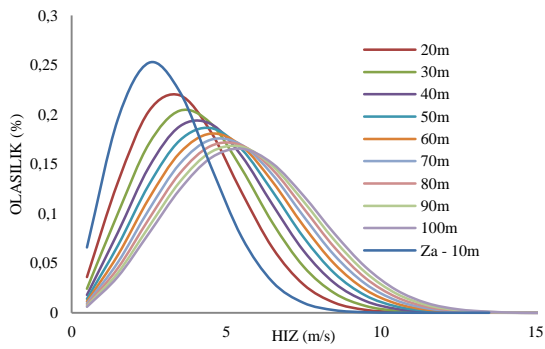
Şekil A.3.4 Doğu – Kuzeydoğu



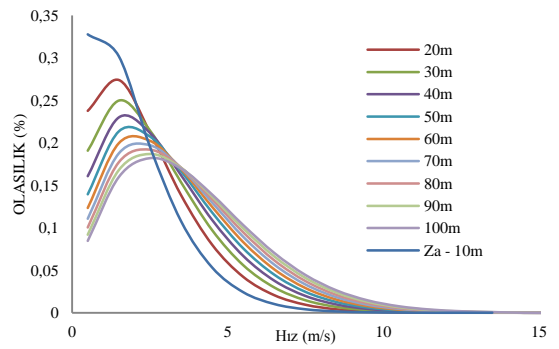
Şekil A.3.2 Kuzey – Kuzeydoğu



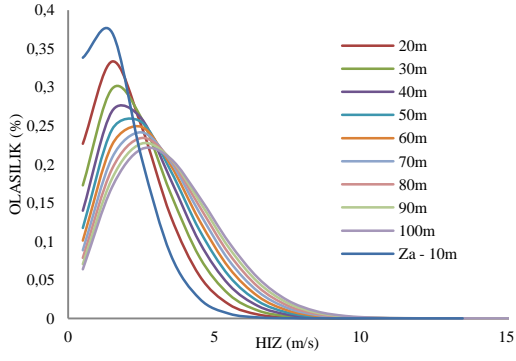
Şekil A.3.5 Doğu



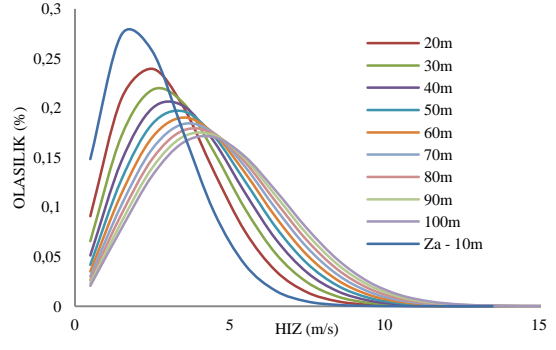
Şekil A.3.3 Kuzeydoğu



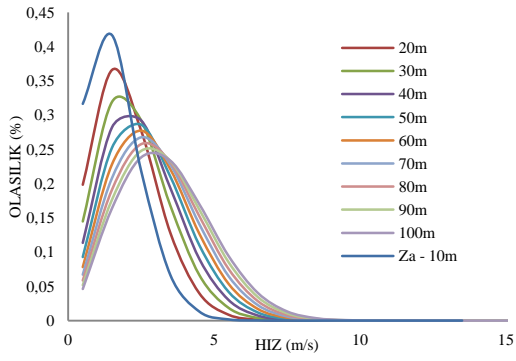
Şekil A.3.6 Doğu – Güneydoğu



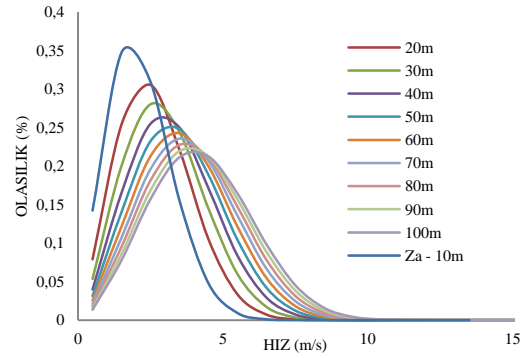
Şekil A.3.7 Güneydoğu



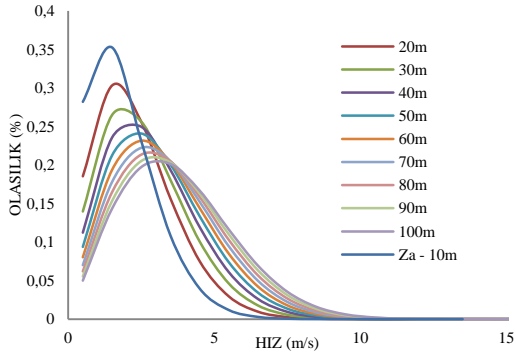
Şekil A.3.11 Güneybatı



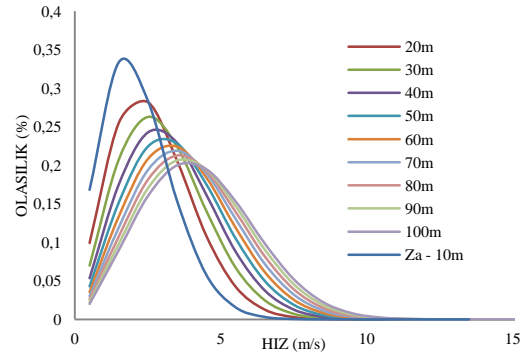
Şekil A.3.8 Güney – Güneydoğu



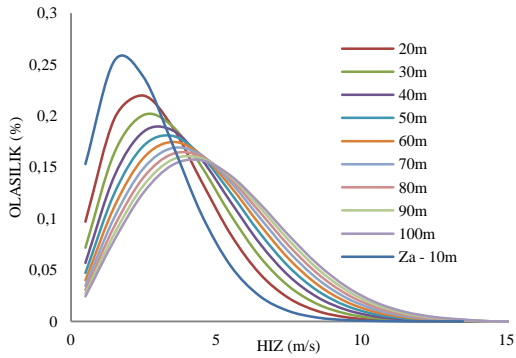
Şekil A.3.12 Batı - Güneybatı



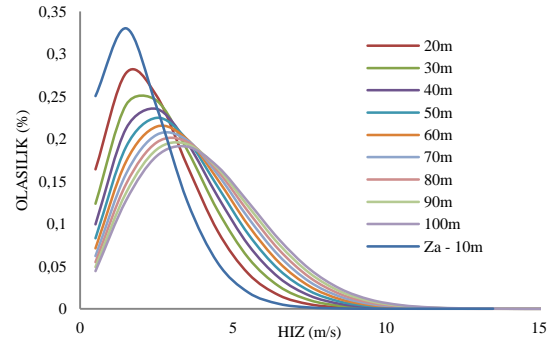
Şekil A.3.9 Güney



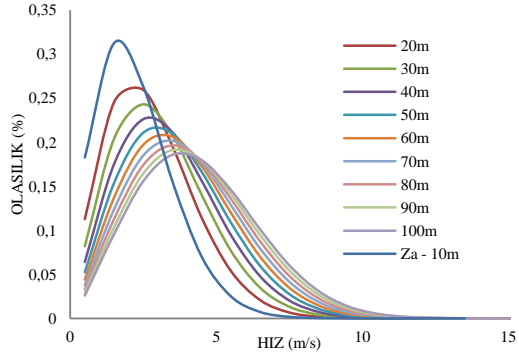
Şekil A.3.13 Batı



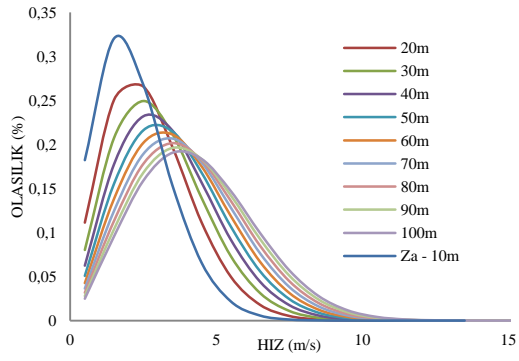
Şekil A.3.10 Güney – Güneybatı



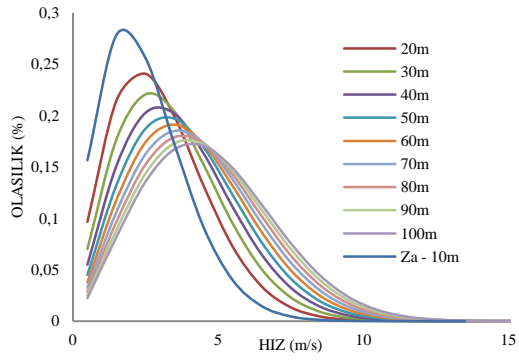
Şekil A.3.14 Batı – Kuzeybatı



Şekil A.3.15 Kuzeybatı

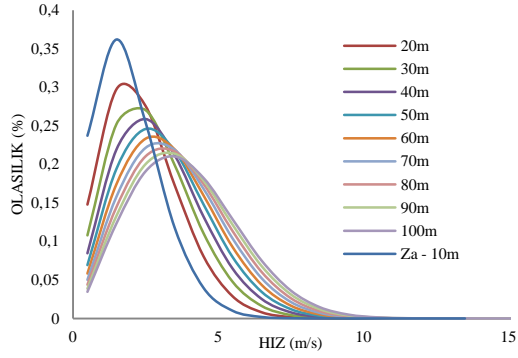


Şekil A.3.16 Kuzey - Kuzeybatı

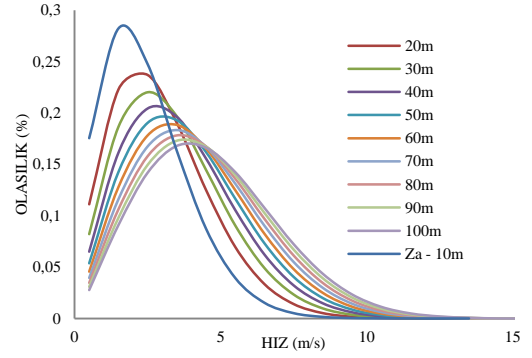


Şekil A.3.17 16 Yön Ortalaması

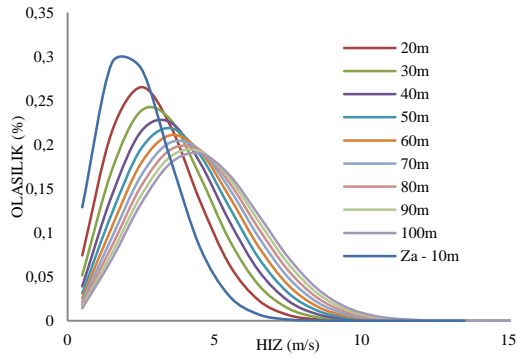
#### A.4. Nisan Ayı Hız Dağılımları



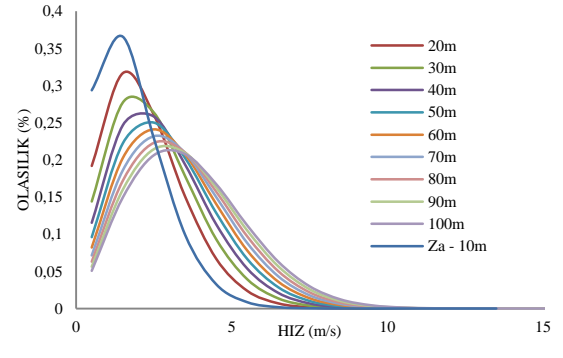
Şekil A.4.1 Kuzey



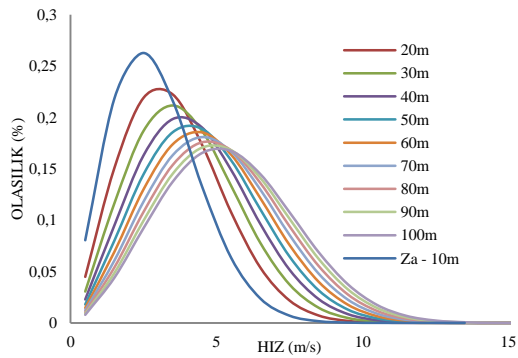
Şekil A.4.4 Doğu - Kuzeydoğu



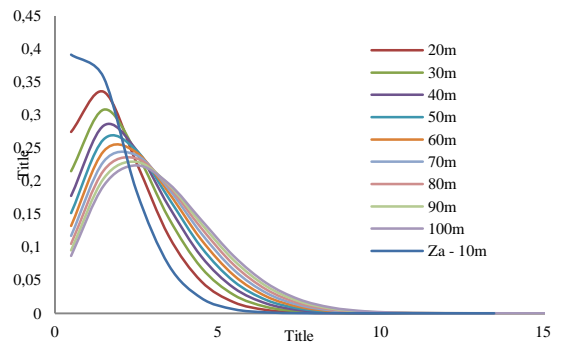
Şekil A.4.2 Kuzey - Kuzeydoğu



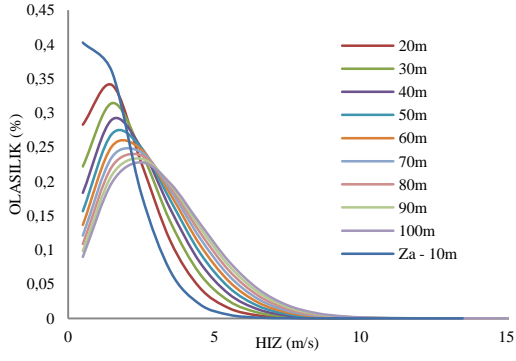
Şekil A.4.5 Doğu



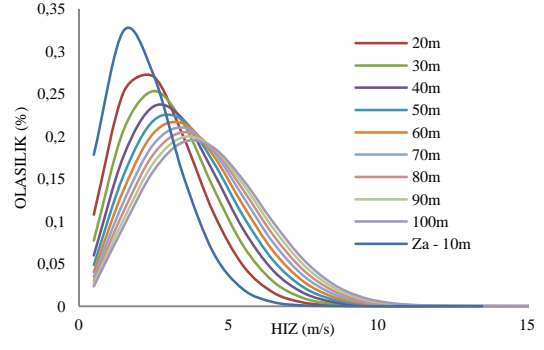
Şekil A.4.3 Kuzeydoğu



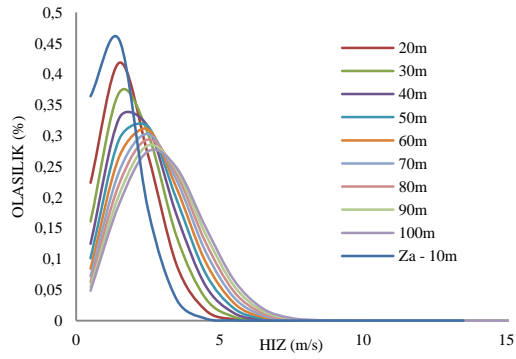
Şekil A.4.6 Doğu - Güneydoğu



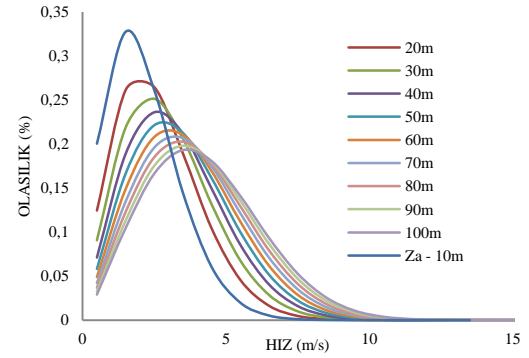
Şekil A.4.7 Güneydoğu



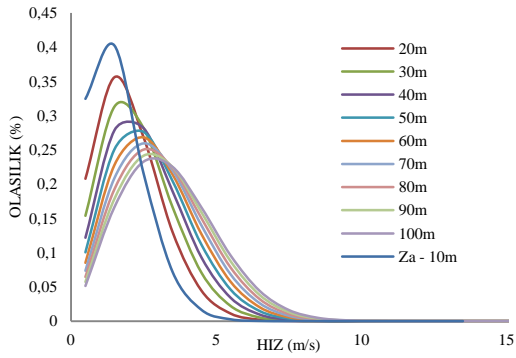
Şekil A.4.11 Güneybatı



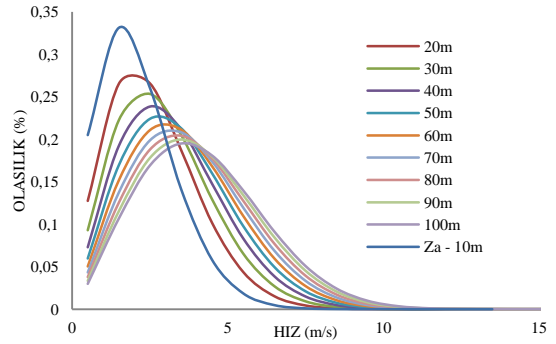
Şekil A.4.8 Güney - Güneydoğu



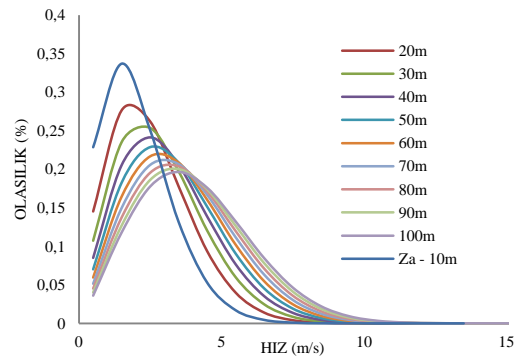
Şekil A.4.12 Batı - Güneybatı



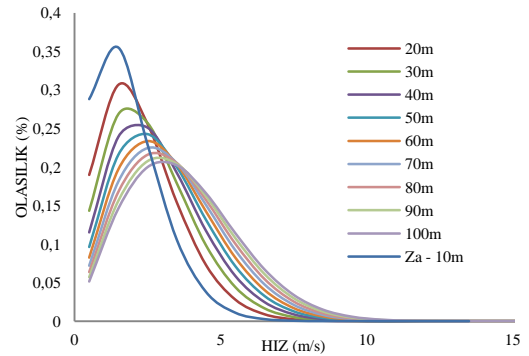
Şekil A.4.9 Güney



Şekil A.4.13 Batı

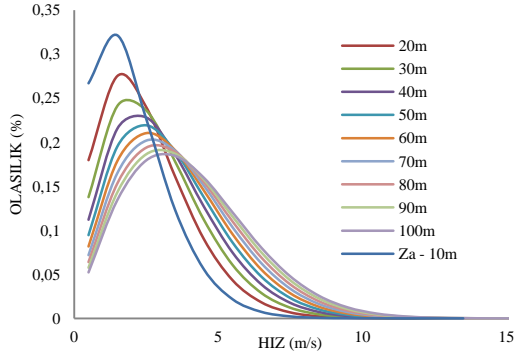


Şekil A.4.10 Güney - Güneybatı

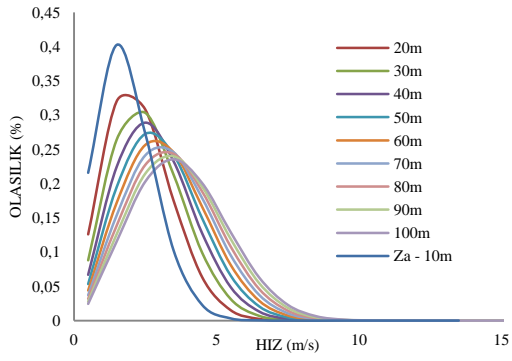


Şekil A.4.14 Batı - Kuzeybatı

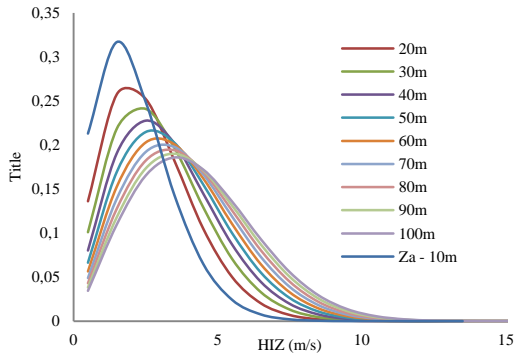




Şekil A.4.15 Kuzeybatı

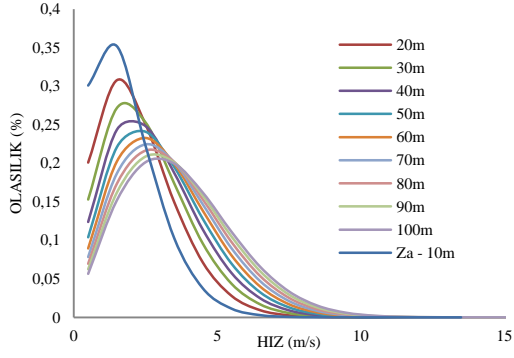


Şekil A.4.16 Kuzey - Kuzeybatı

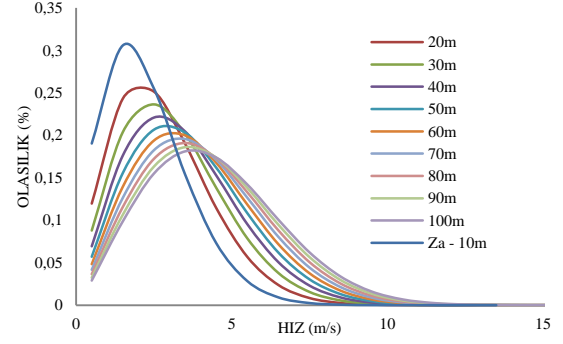


Şekil A.4.17 16 Yön Ortalaması

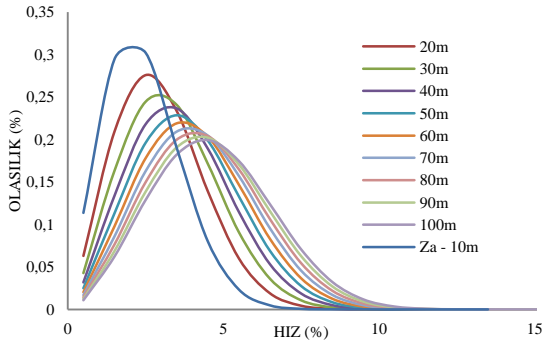
## A.5. Mayıs Ayı Hız Dağılımları



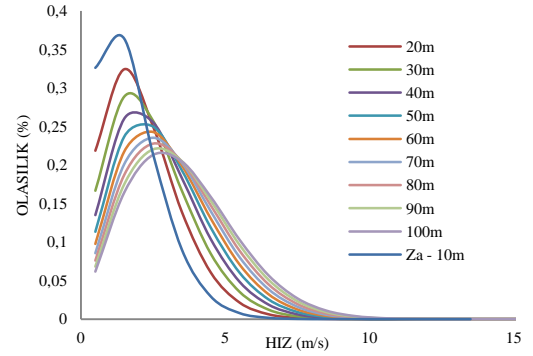
Şekil A.5.1 Kuzey



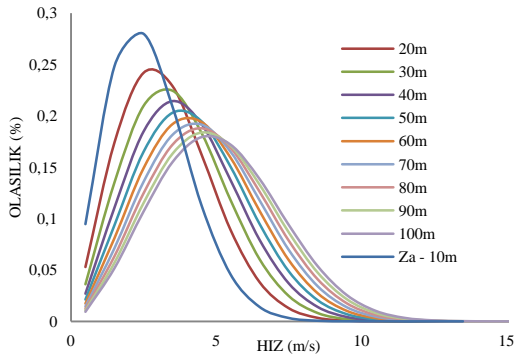
Şekil A.5.4 Doğu – Kuzeydoğu



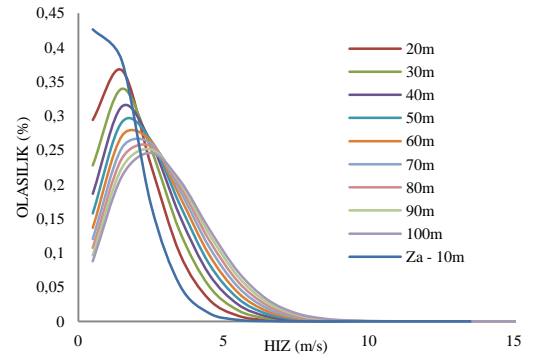
Şekil A.5.2 Kuzey – Kuzeydoğu



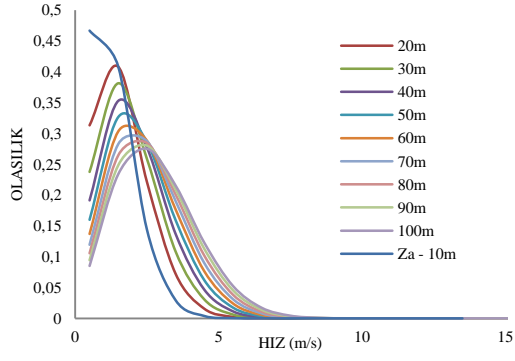
Şekil A.5.5 Doğu



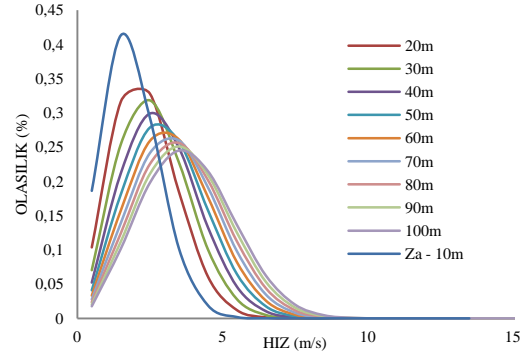
Şekil A.5.3 Kuzeydoğu



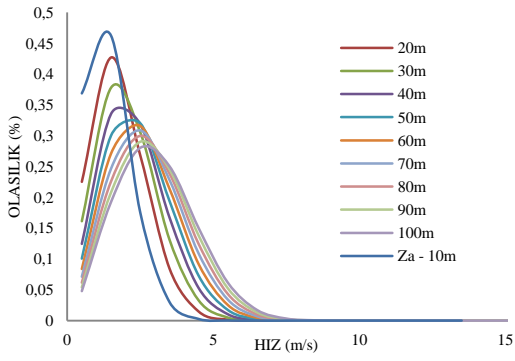
Şekil A.5.6 Doğu – Güneydoğu



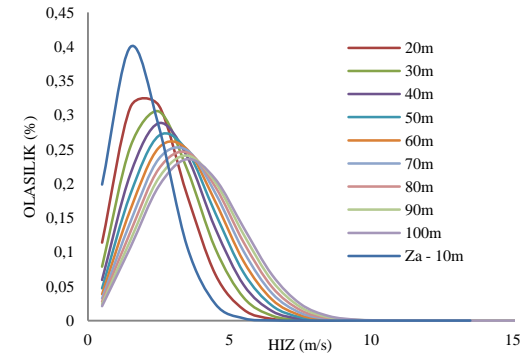
Şekil A.5.7 Güneydoğu



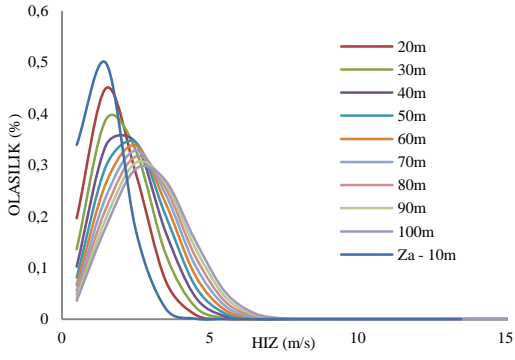
Şekil A.5.11 Güneybatı



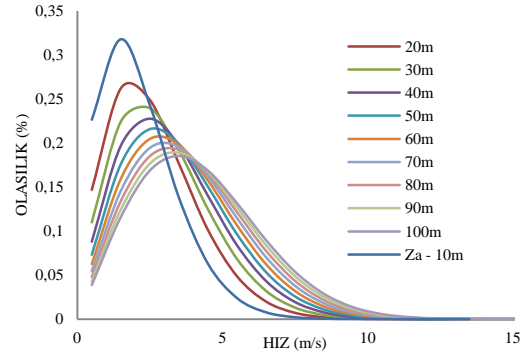
Şekil A.5.8 Güney - Güneydoğu



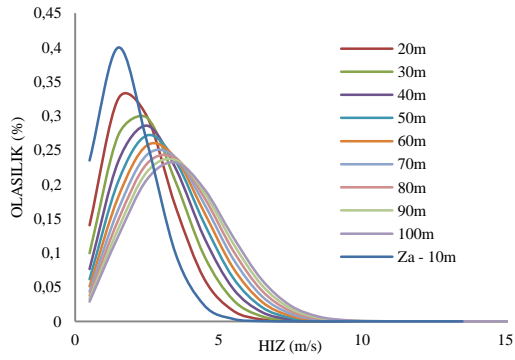
Şekil A.5.12 Batı - Güneybatı



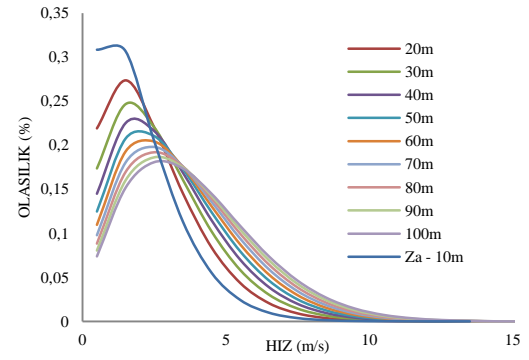
Şekil A.5.9 Güney



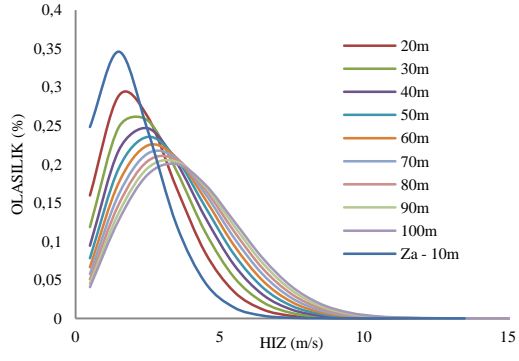
Şekil A.5.13 Batı



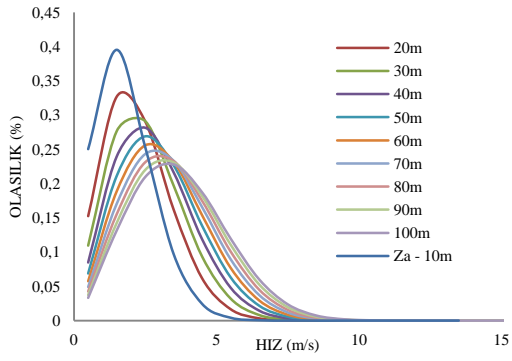
Şekil A.5.10 Güney - Güneybatı



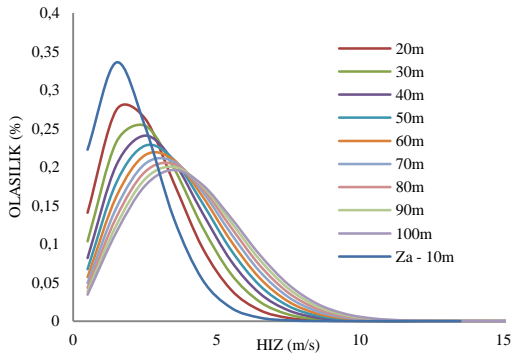
Şekil A.5.14 Batı - Kuzeybatı



Şekil A.5.15 Kuzeybatı

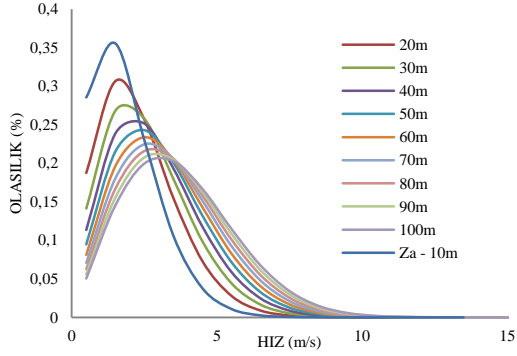


Şekil A.5.16 Kuzey – Kuzeybatı

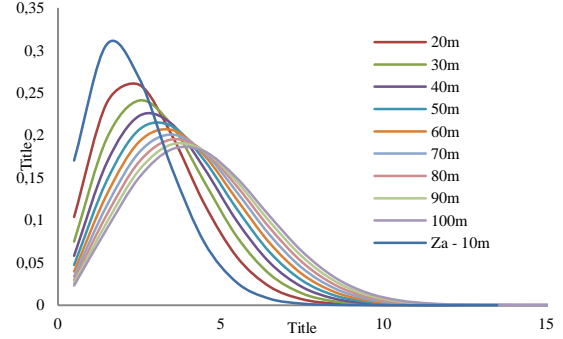


Şekil A.5.17 16 Yön Ortalaması

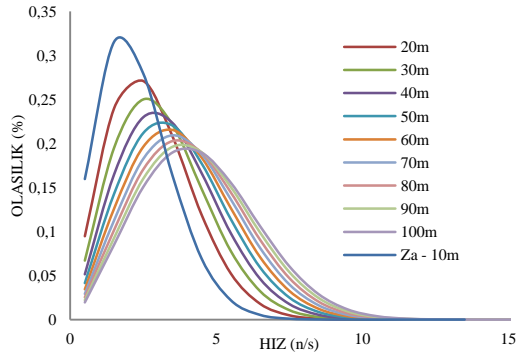
## A.6. Haziran Ayı Hız Dağılımları



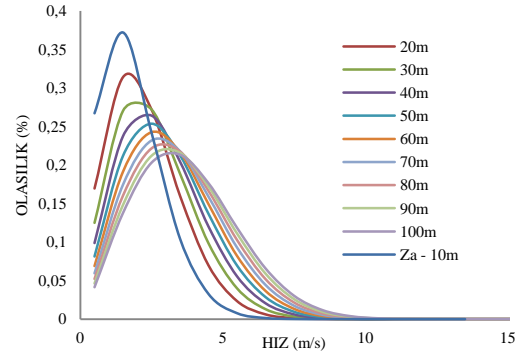
Şekil A.6.1 Kuzey



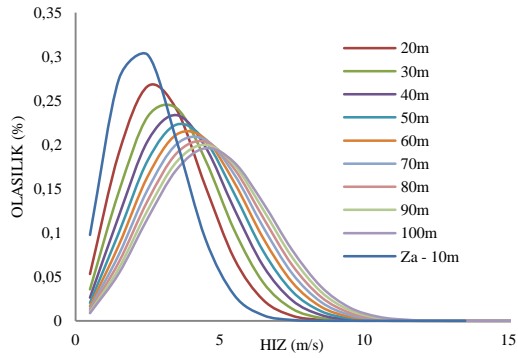
Şekil A.6.4 Doğu – Kuzeydoğu



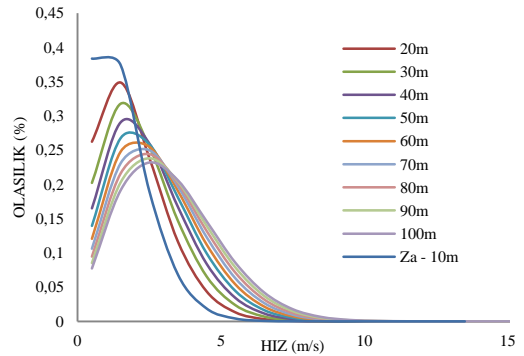
Şekil A.6.2 Kuzey – Kuzeydoğu



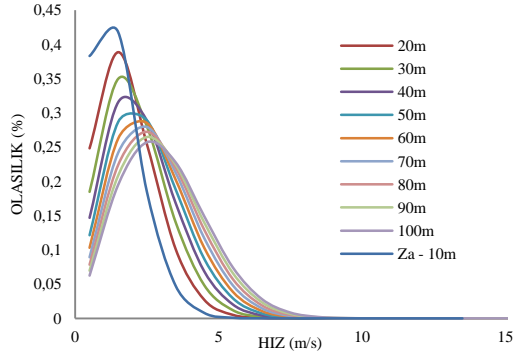
Şekil A.6.5 Doğu



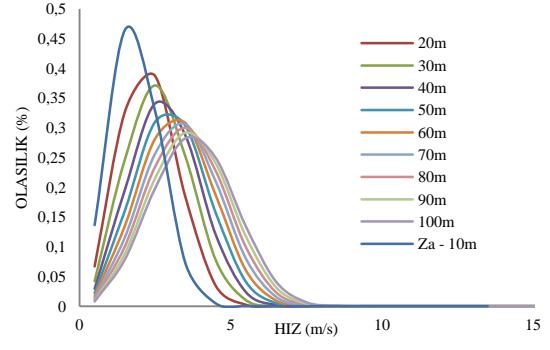
Şekil A.6.3 Kuzeydoğu



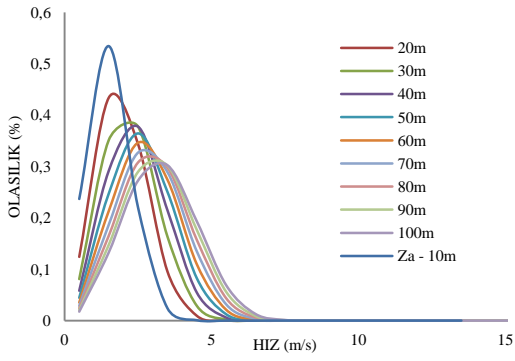
Şekil A.6.6 Doğu – Güneydoğu



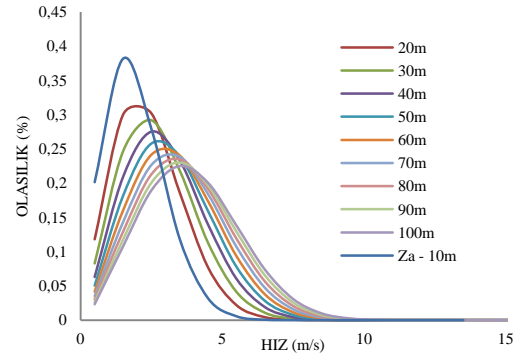
Şekil A.6.7 Güneydoğu



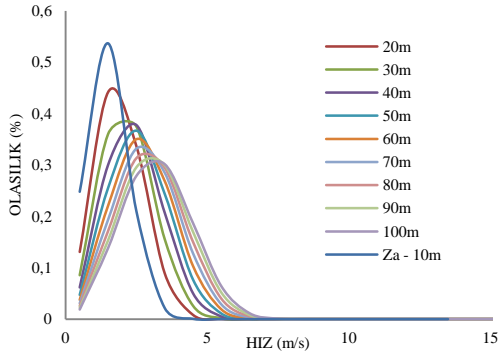
Şekil A.6.11 Güneybatı



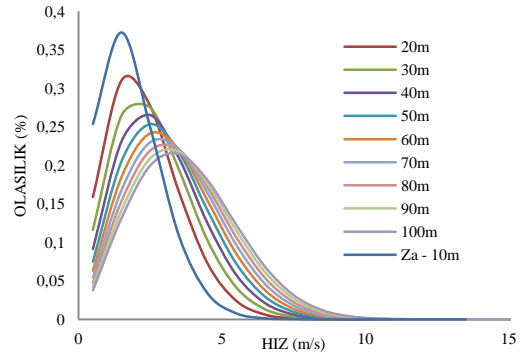
Şekil A.6.8 Güney – Güneydoğu



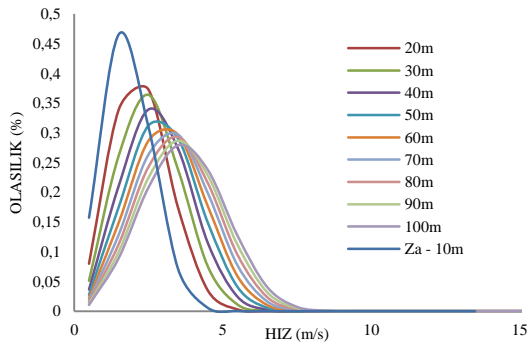
Şekil A.6.12 Batı – Güneybatı



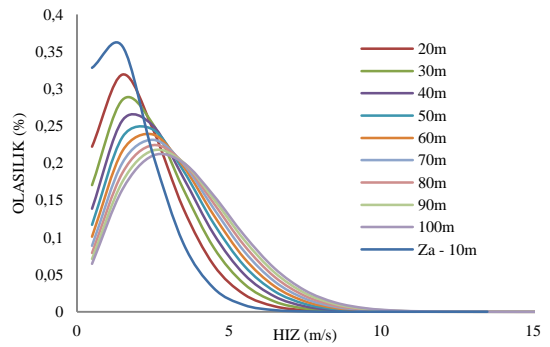
Şekil A.6.9 Güney



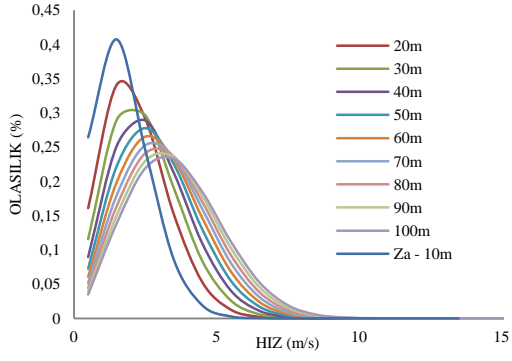
Şekil A.6.13 Batı



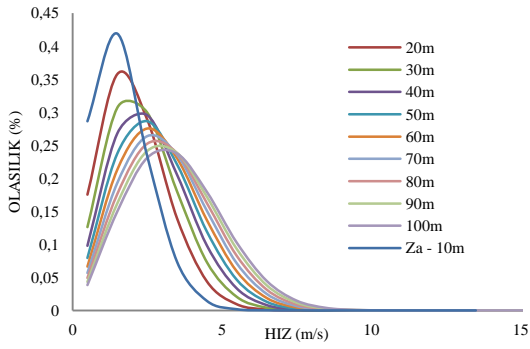
Şekil A.6.10 Güney – Güneybatı



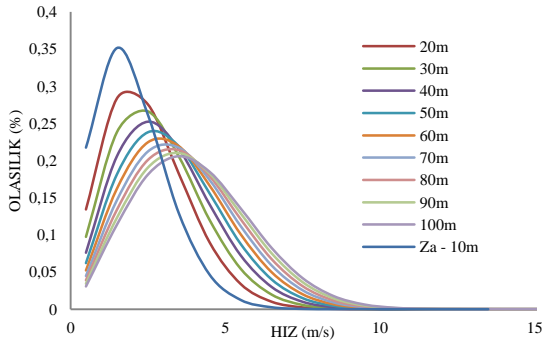
Şekil A.6.14 Batı-Kuzeybatı



Şekil A.6.15 Kuzeybatı

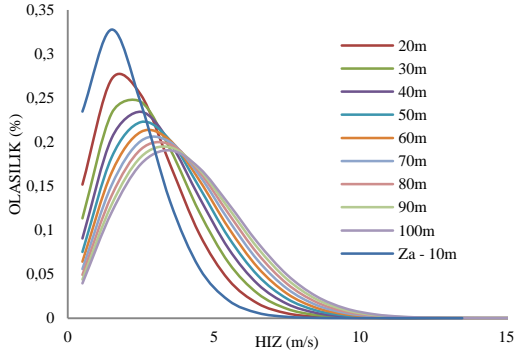


Şekil A.6.16 Kuzey – Kuzeybatı

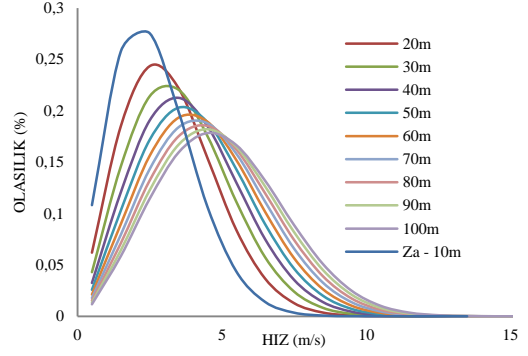


Şekil A.6.17 16 Yön Ortalaması

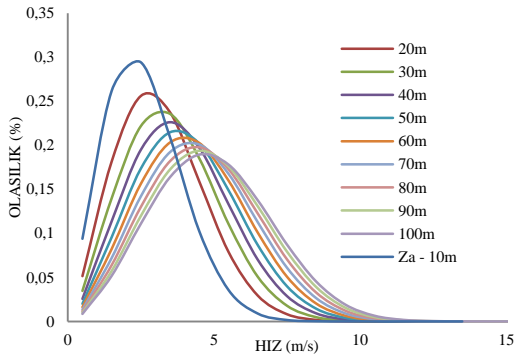
## A.7. Temmuz Ayı Hız Dağılımları



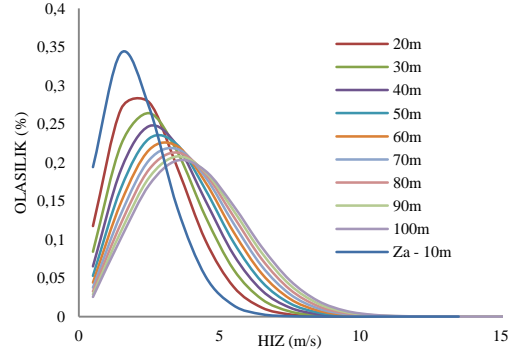
Şekil A.7.1 Kuzey



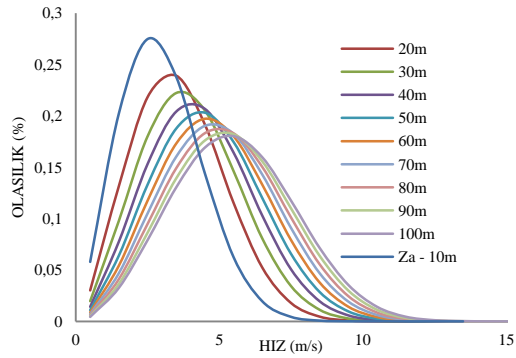
Şekil A.7.4 Doğu – Kuzeydoğu



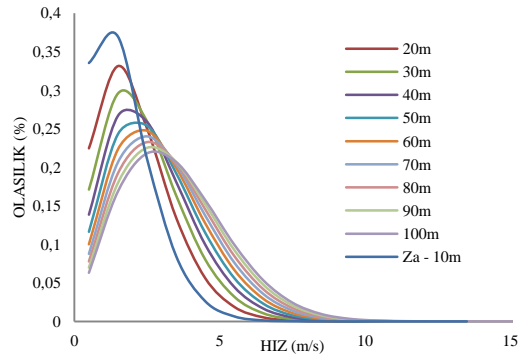
Şekil A.7.2 Kuzey – Kuzeydoğu



Şekil A.7.5 Doğu

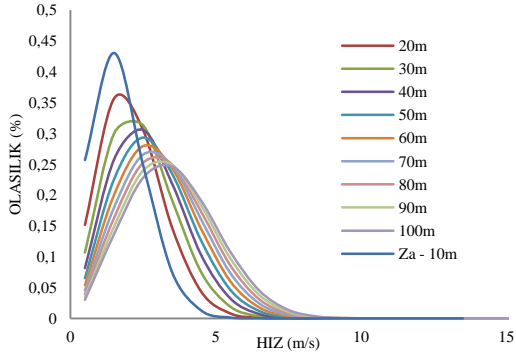


Şekil A.7.3 Kuzeydoğu

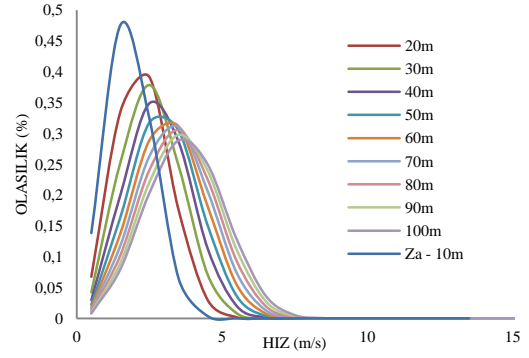


Şekil A.7.6 Doğu – Güneydoğu

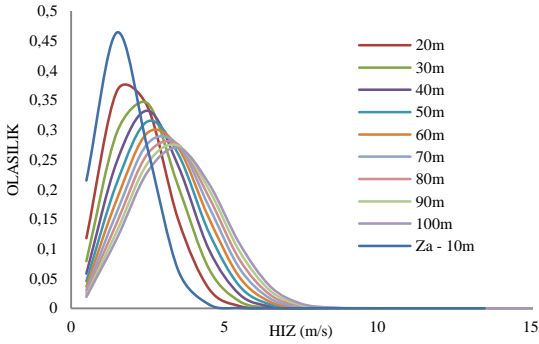




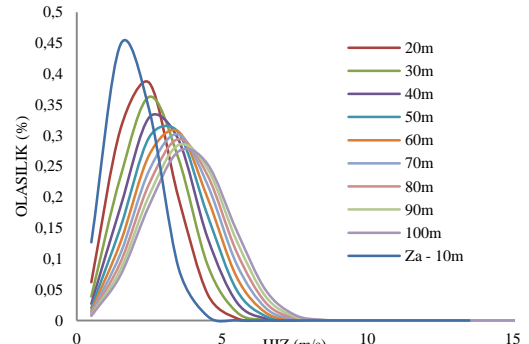
Şekil A.7.7 Güneydoğu



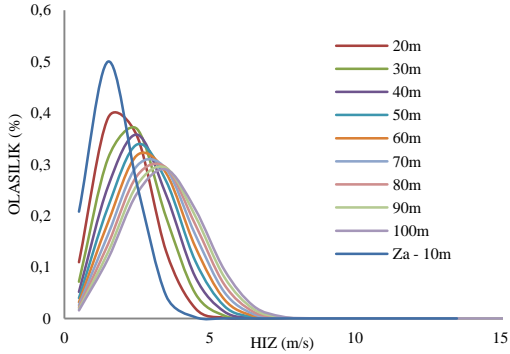
Şekil A.7.11 Güneybatı



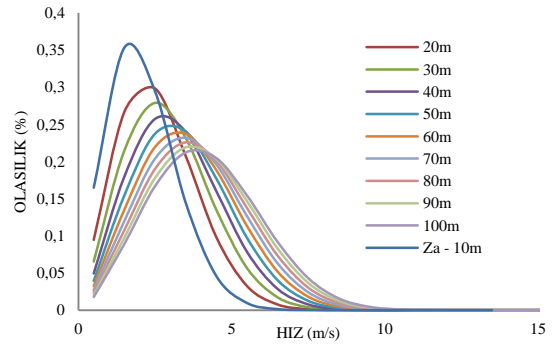
Şekil A.7.8 Güney - Güneydoğu



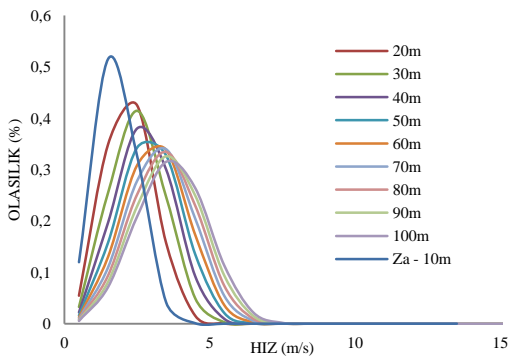
Şekil A.7.12 Batı - Güneybatı



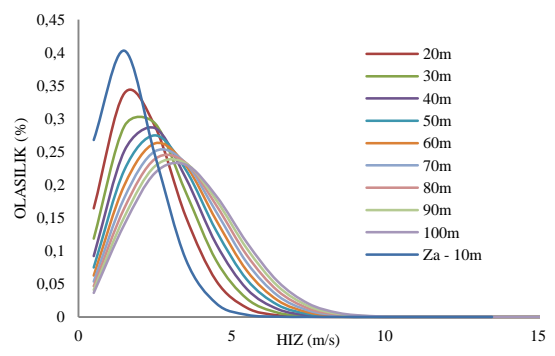
Şekil A.7.9 Güney



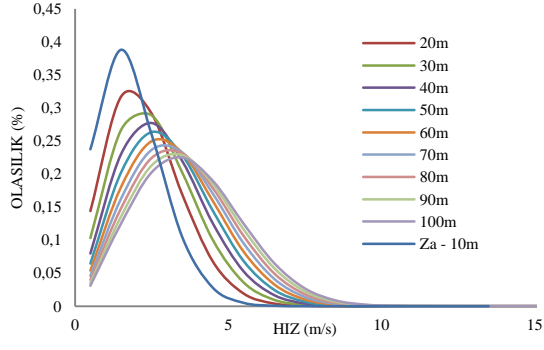
Şekil A.7.13 Batı



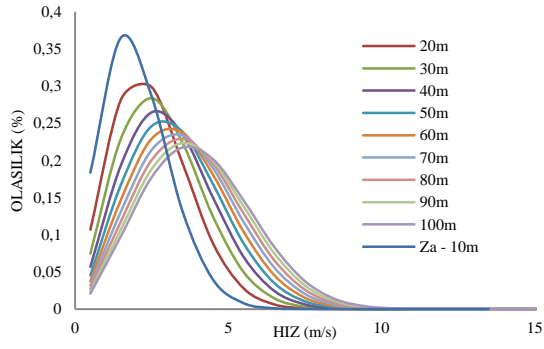
Şekil A.7.10 Güney - Güneybatı



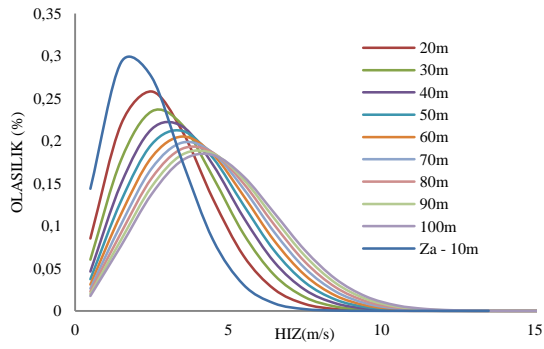
Şekil A.7.14 Batı - Kuzeybatı



Şekil A.7.15 Kuzeybatı

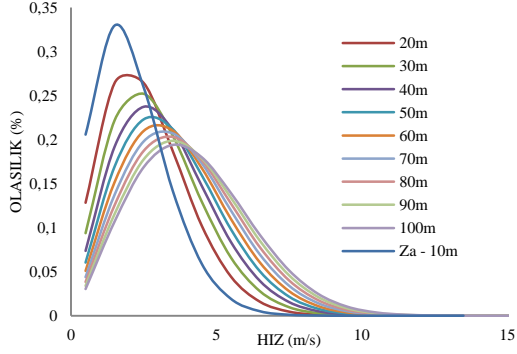


Şekil A.7.16 Kuzey - Kuzeybatı

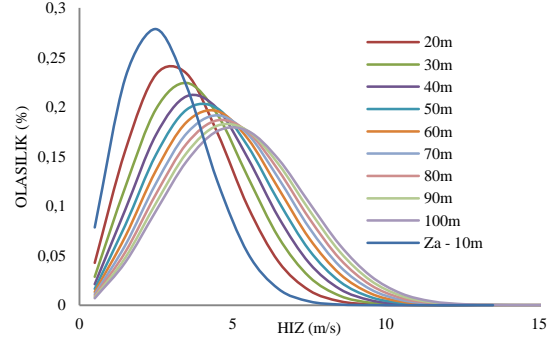


Şekil A.7.17 16 Yön Ortalaması

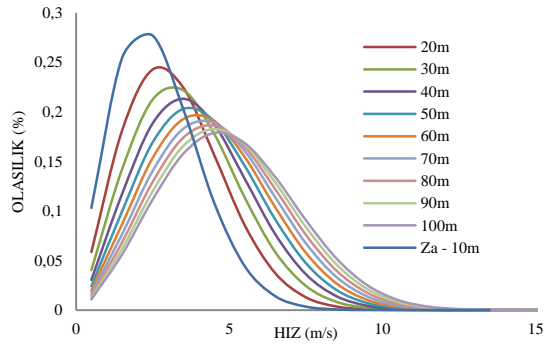
## A.8. Ağustos Ayı Hız Dağılımları



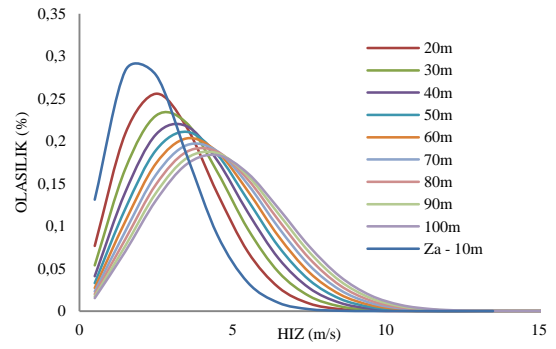
Şekil A.8.1 Kuzey



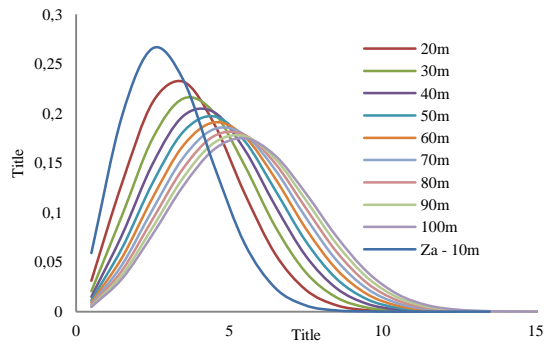
Şekil A.8.4 Doğu – Kuzeydoğu



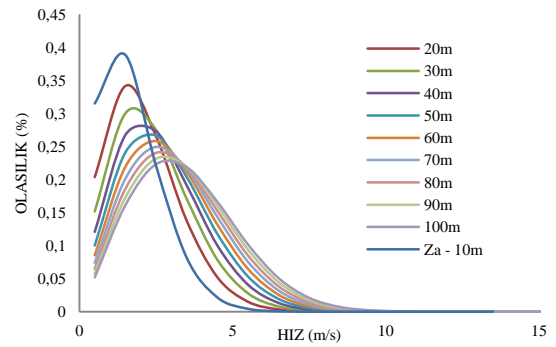
Şekil A.8.2 Kuzey – Kuzeydoğu



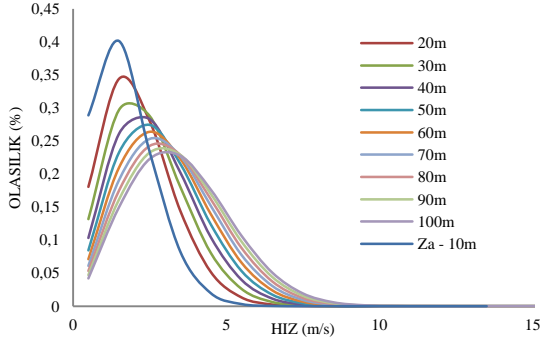
Şekil A.8.5 Doğu



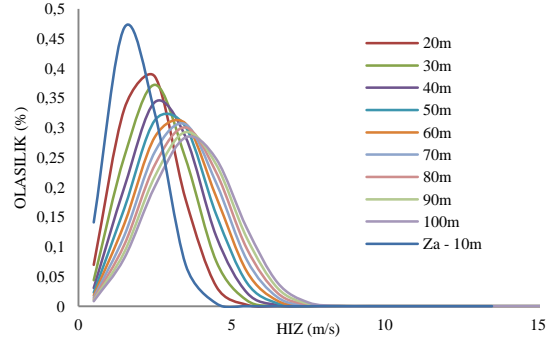
Şekil A.8.3 Kuzeydoğu



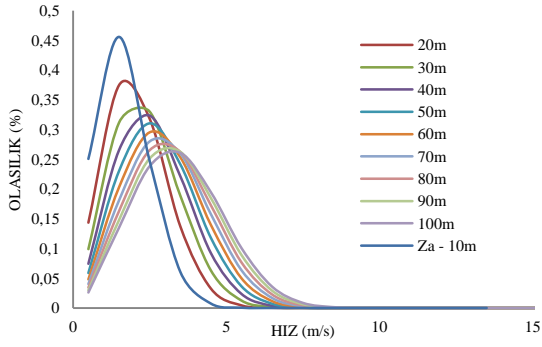
Şekil A.8.6 Doğu – Güneydoğu



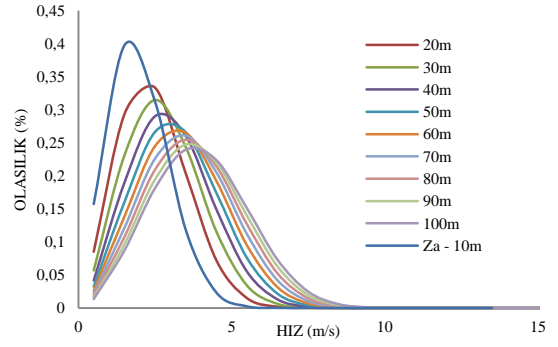
Şekil A.8.7 Güneydoğu



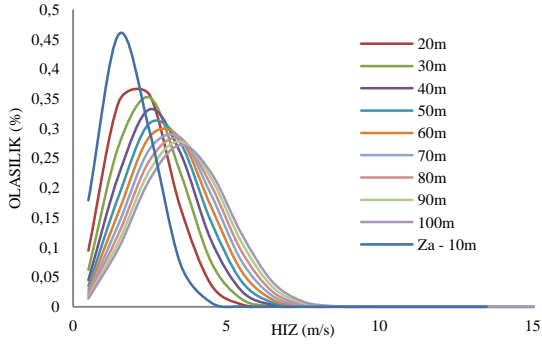
Şekil A.8.11 Güneybatı



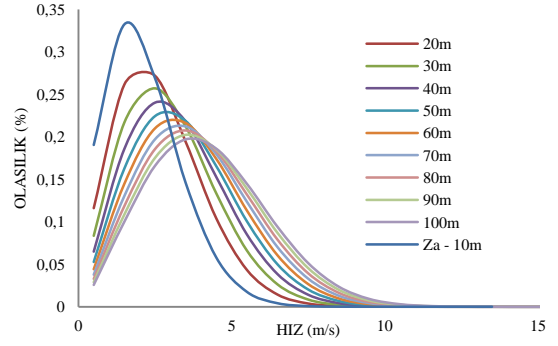
Şekil A.8.8 Güney – Güneydoğu



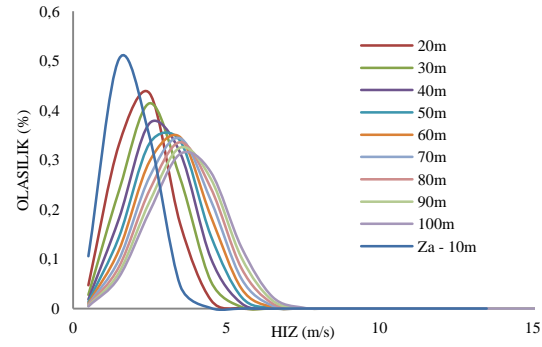
Şekil A.8.12 Batı – Güneybatı



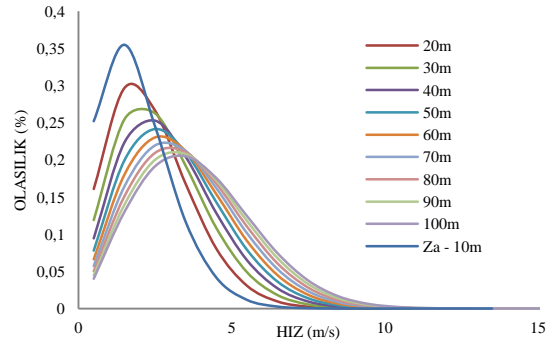
Şekil A.8.9 Güney



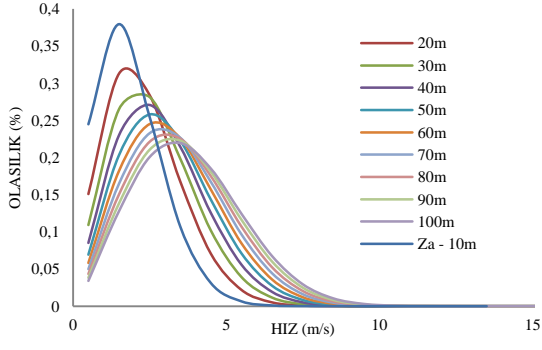
Şekil A.8.13 Batı



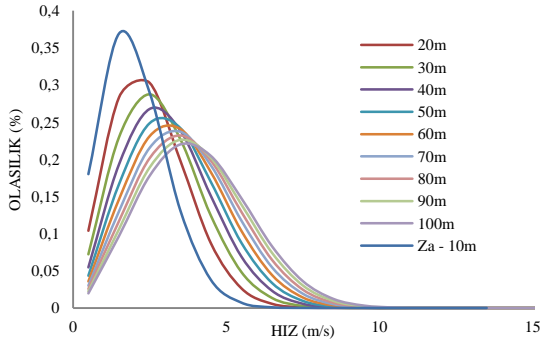
Şekil A.8.10 Güney – Güneybatı



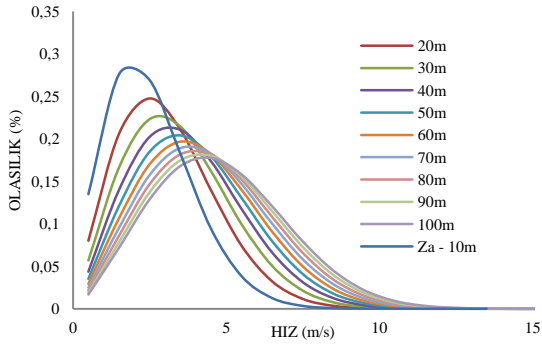
Şekil A.8.14 Batı – Kuzeybatı



Şekil A.8.15 Kuzeybatı

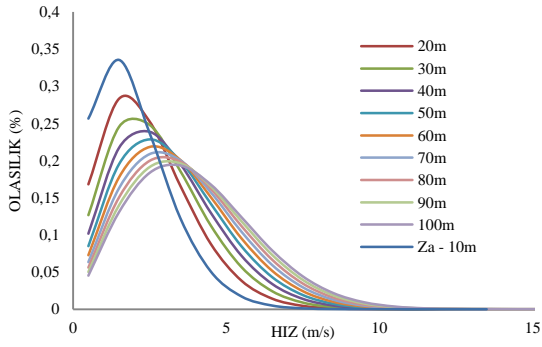


Şekil A.8.16 Kuzey – Kuzeybatı

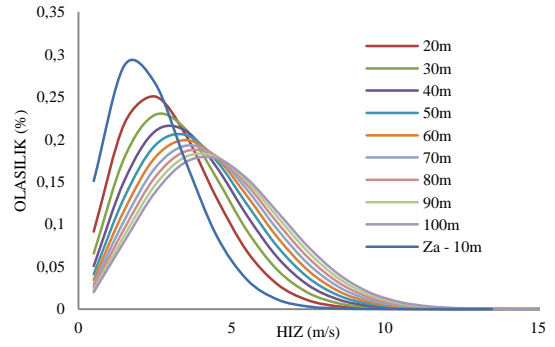


Şekil A.8.17 16 Yön Ortalaması

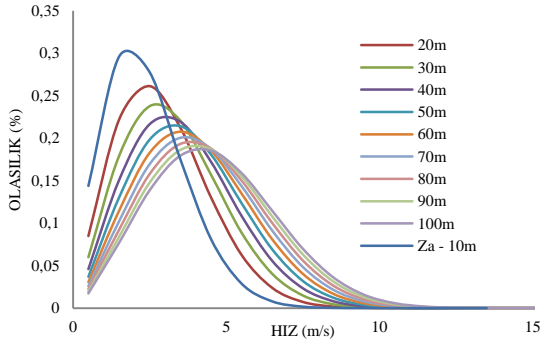
## A.9. Eylül Ayı Hız Dağılımları



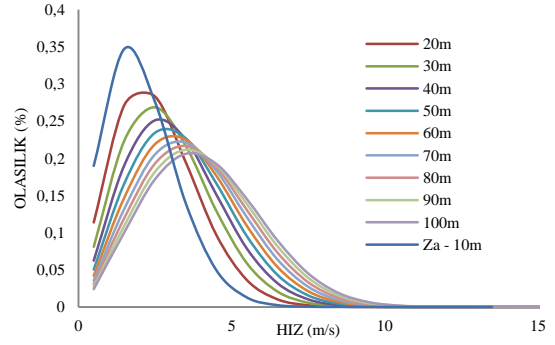
Şekil A.9.1 Kuzey



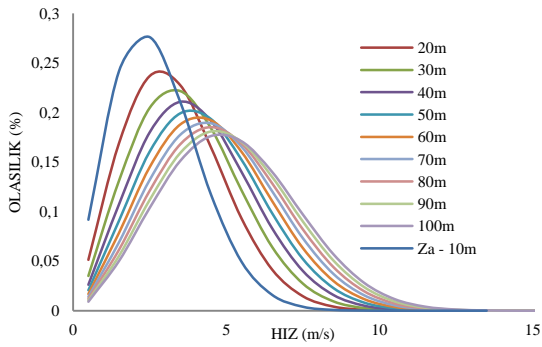
Şekil A.9.4 Doğu – Kuzeydoğu



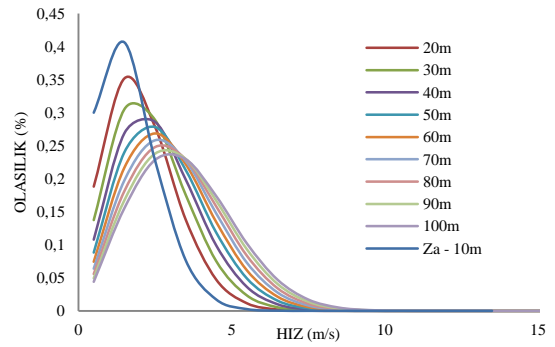
Şekil A.9.2 Kuzey – Kuzeydoğu



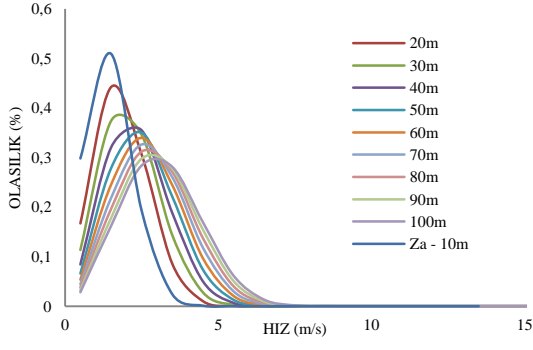
Şekil A.9.5 Doğu



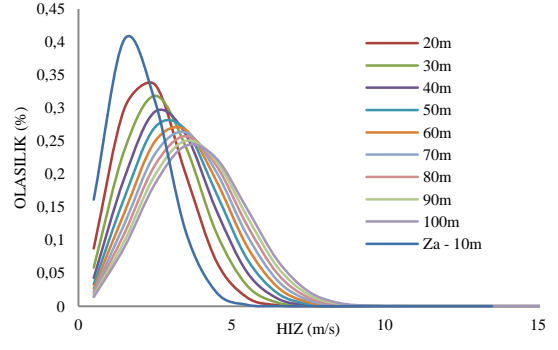
Şekil A.9.3 Kuzeydoğu



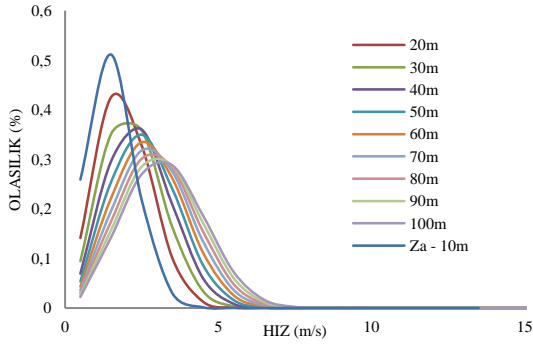
Şekil A.9.6 Doğu – Güneydoğu



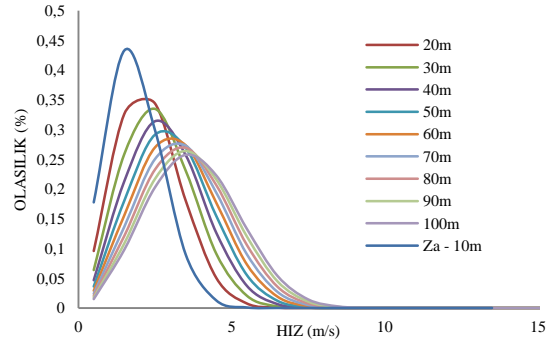
Şekil A.9.7 Güneydoğu



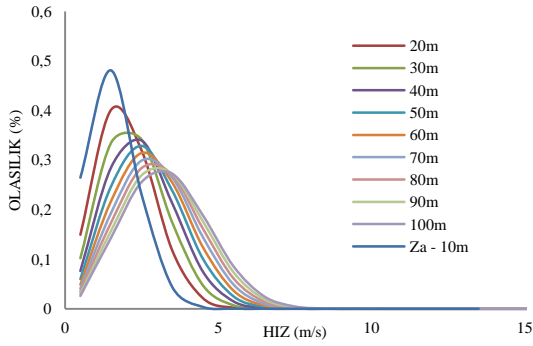
Şekil A.9.11 Güneybatı



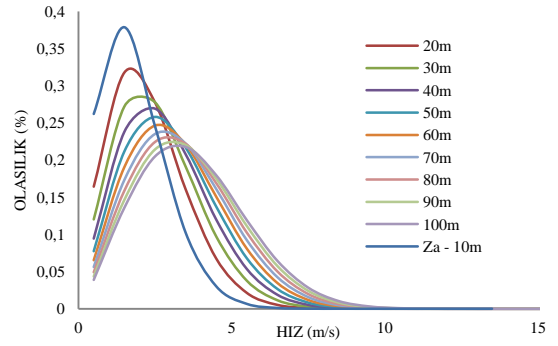
Şekil A.9.8 Güney – Güneydoğu



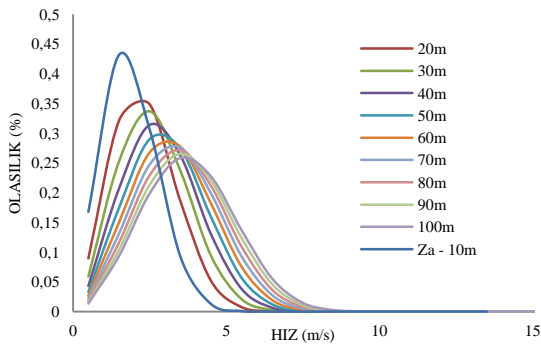
Şekil A.9.12 Batı – Güneybatı



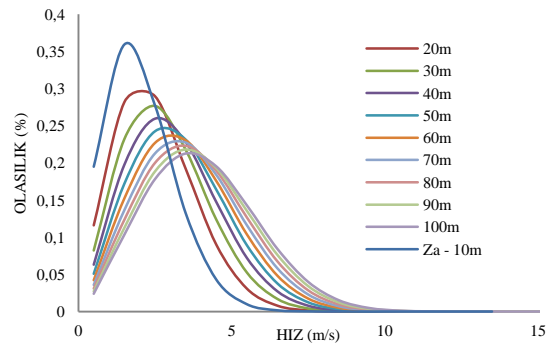
Şekil A.9.9 Güney



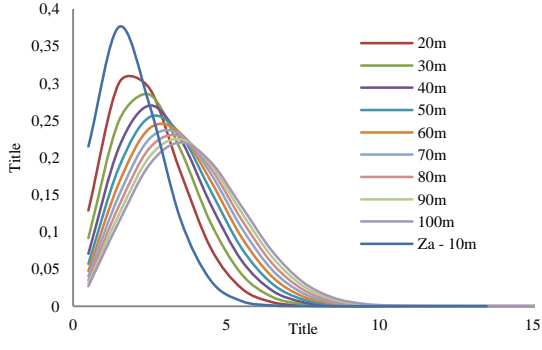
Şekil A.9.13 Batı



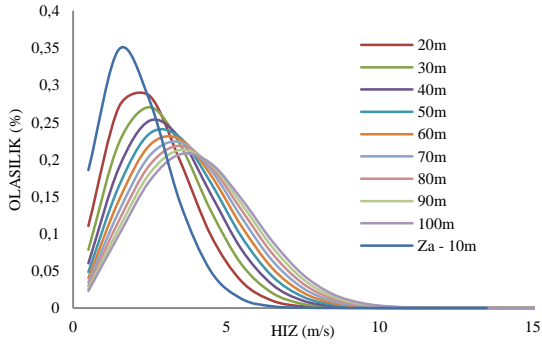
Şekil A.9.10 Güney – Güneybatı



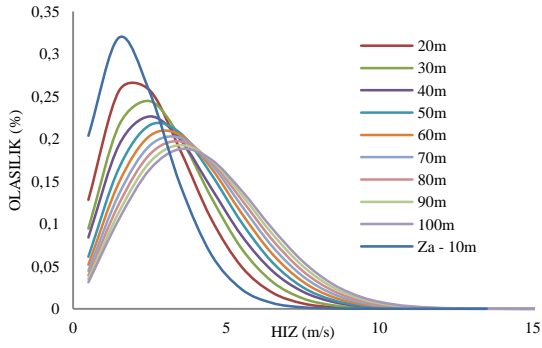
Şekil A.9.14 Batı – Kuzeybatı



Şekil A.9.15 Kuzeybatı



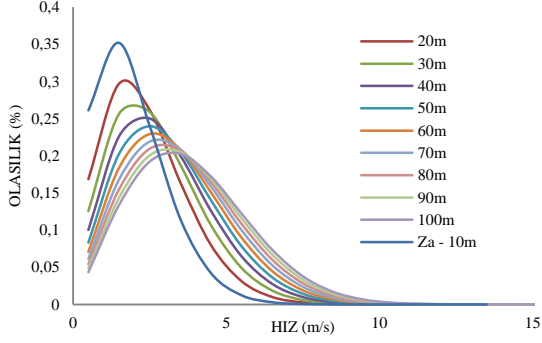
Şekil A.9.16 Kuzey – Kuzeybatı



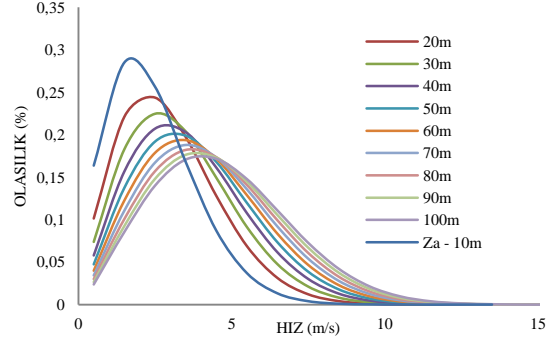
Şekil A.9.17 16 Yön Ortalaması



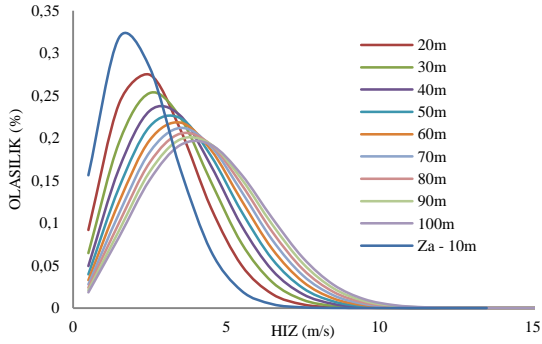
## A.10. Ekim Ayı Hız Dağılımları



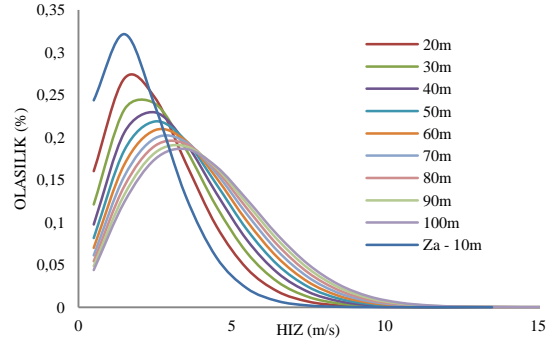
Şekil A.10.1 Kuzey



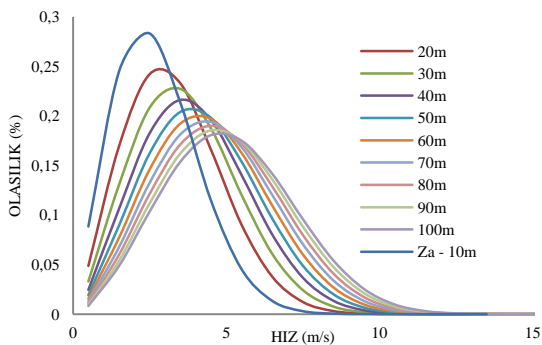
Şekil A.10.4 Doğu – Kuzeydoğu



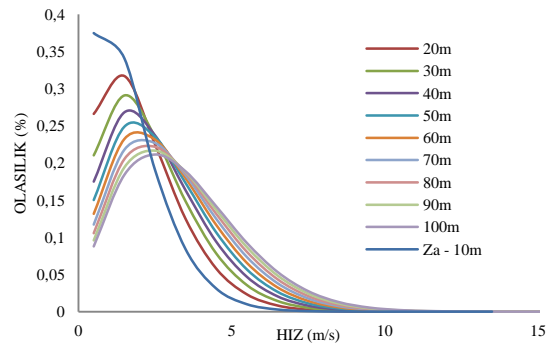
Şekil A.10.2 Kuzey – Kuzeydoğu



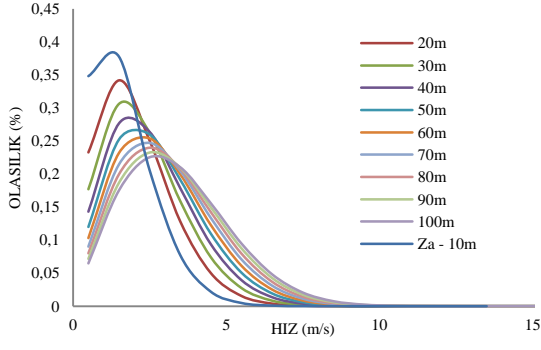
Şekil A.10.5 Doğu



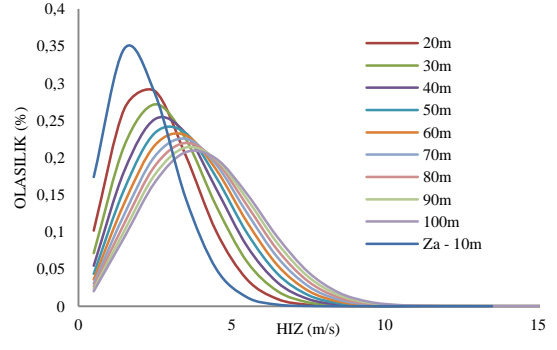
Şekil A.10.3 Kuzeydoğu



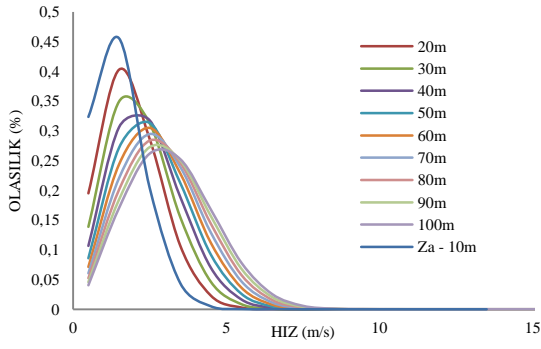
Şekil A.10.6 Doğu – Güneydoğu



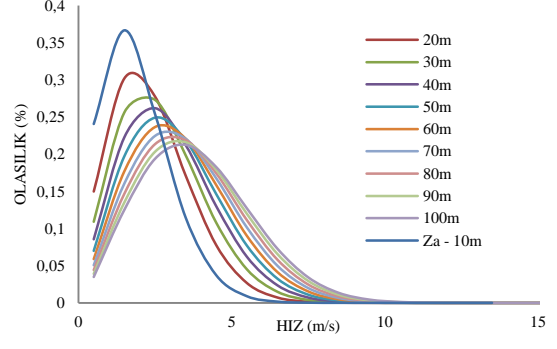
Şekil A.10.7 Güneydoğu



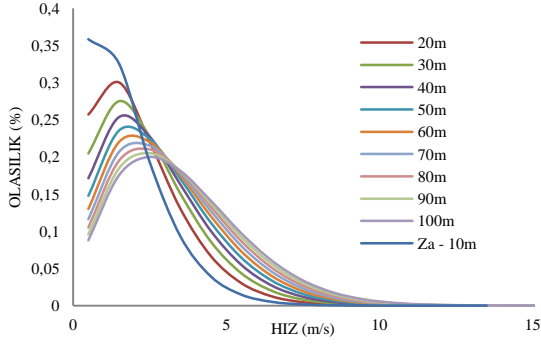
Şekil A.10.11 Güneybatı



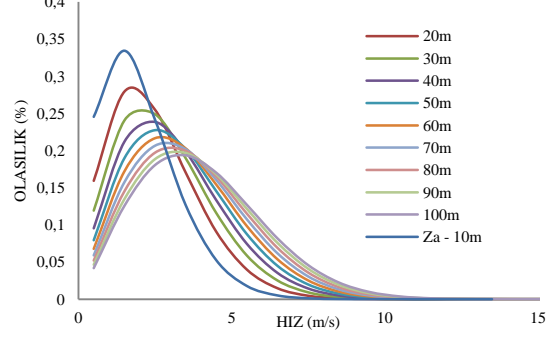
Şekil A.10.8 Güney – Güneydoğu



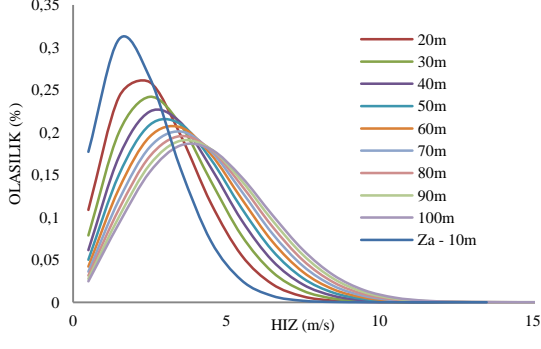
Şekil A.10.12 Batı – Güneybatı



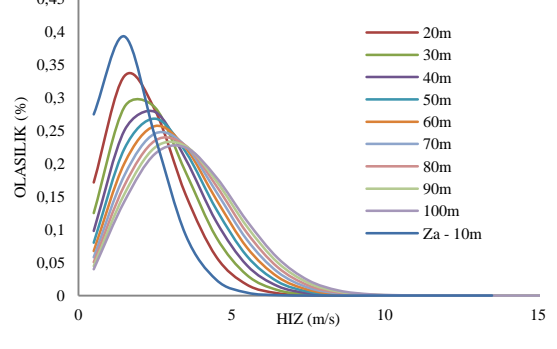
Şekil A.10.9 Güney



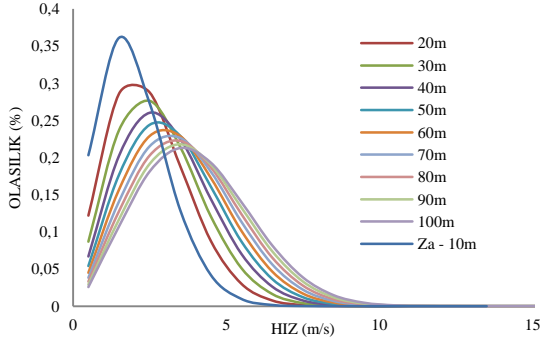
Şekil A.10.13 Batı



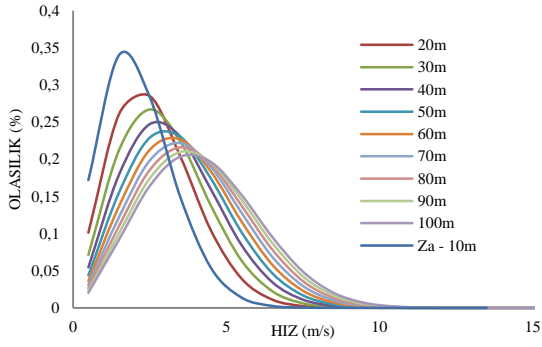
Şekil A.10.10 Güney – Güneybatı



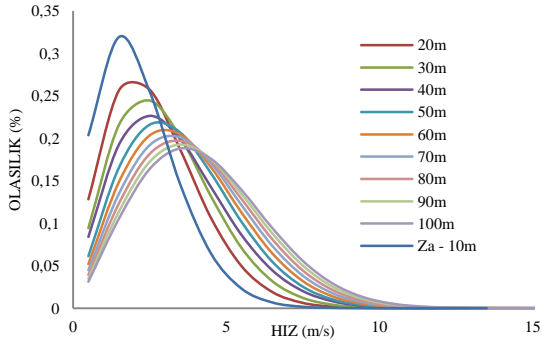
Şekil A.10.14 Batı – Kuzeybatı



Şekil A.10.15 Kuzeybatı

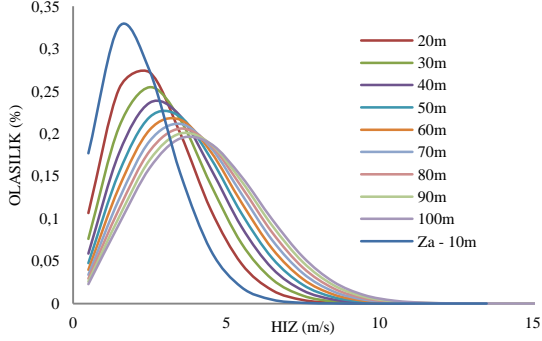


Şekil A.10.16 Kuzey – Kuzeybatı

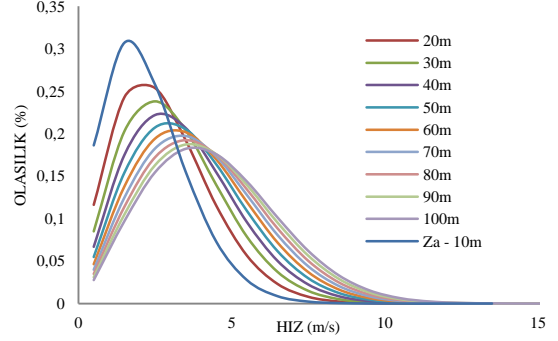


Şekil A.10.17 16 Yön Ortalaması

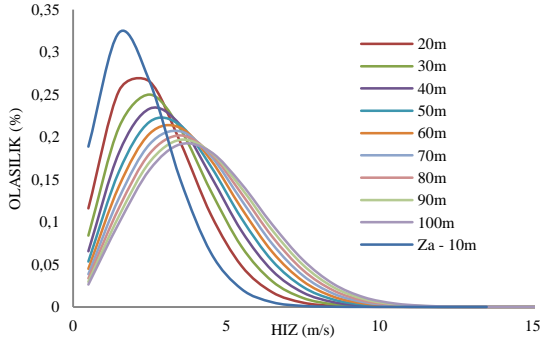
## A.11. Kasım Ayı Hız Dağılımları



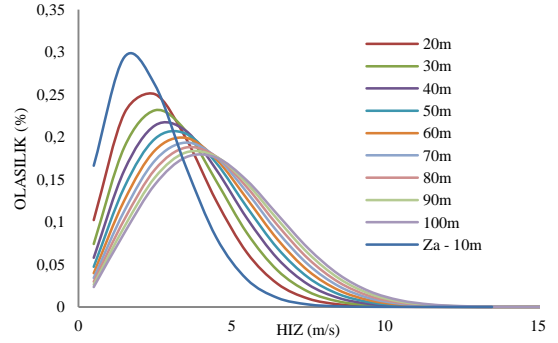
Şekil A.11.1 Kuzey



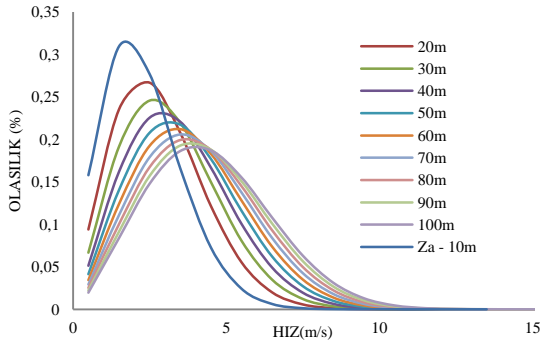
Şekil A.11.4 Doğu – Kuzeydoğu



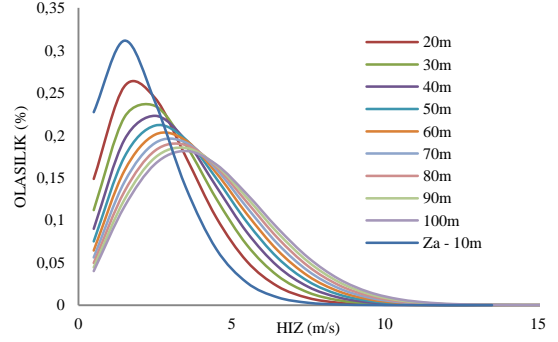
Şekil A.11.2 Kuzey – Kuzeydoğu



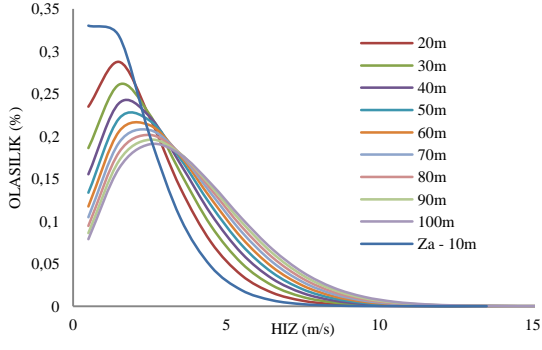
Şekil A.11.5 Doğu



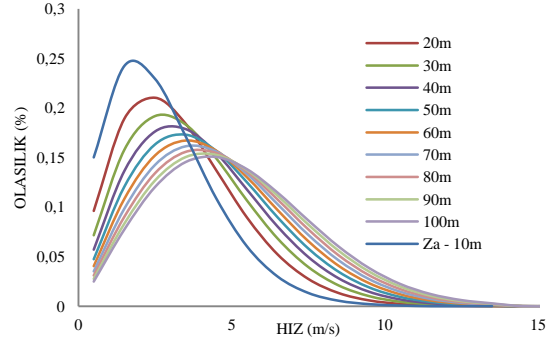
Şekil A.11.3 Kuzeydoğu



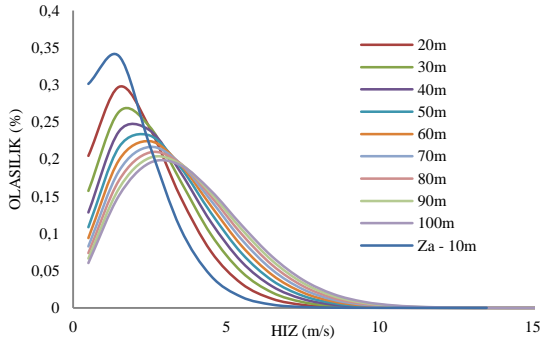
Şekil A.11.6 Doğu – Güneydoğu



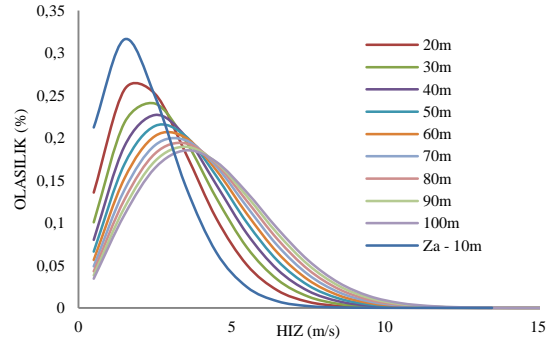
Şekil A.11.7 Güneydoğu



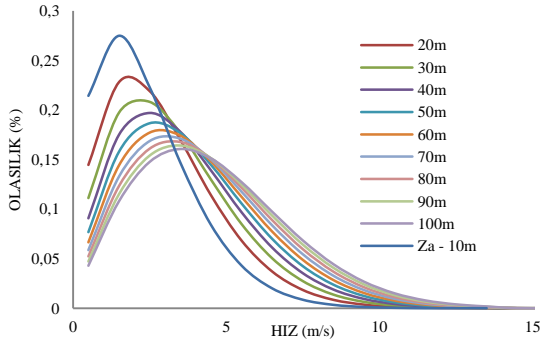
Şekil A.11.11 Güneybatı



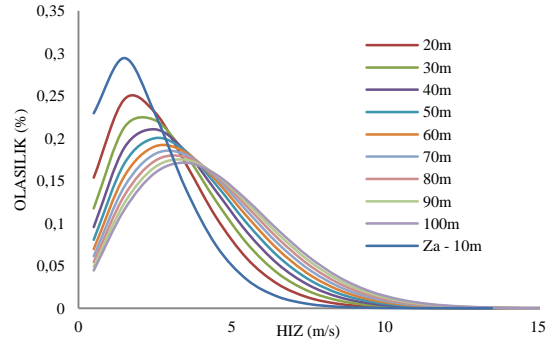
Şekil A.11.8 Güney – Güneydoğu



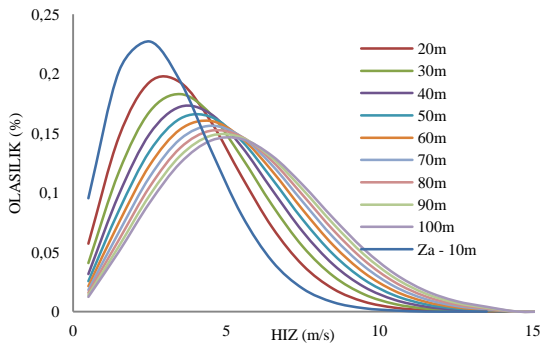
Şekil A.11.12 Batı – Güneybatı



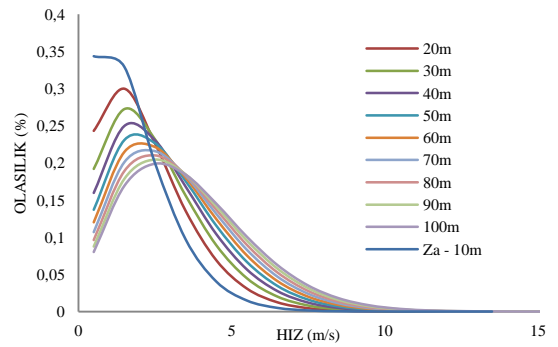
Şekil A.11.9 Güney



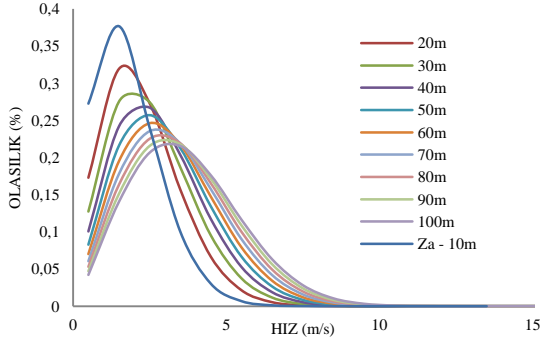
Şekil A.11.13 Batı



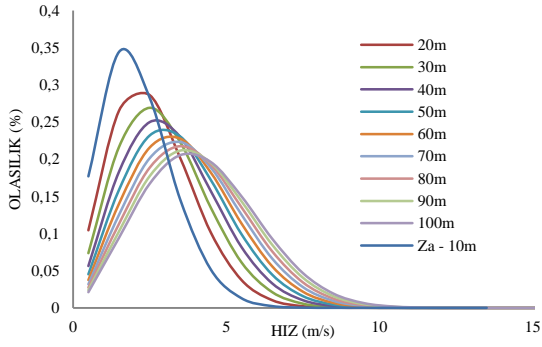
Şekil A.11.10 Güney – Güneybatı



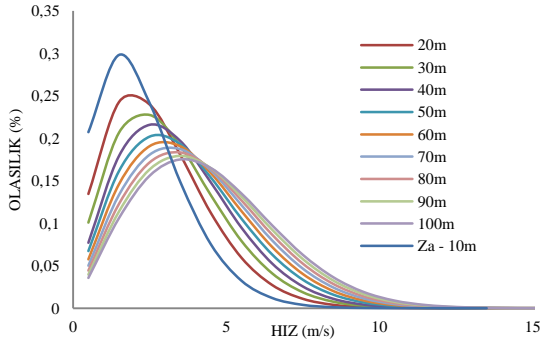
Şekil A.11.14 Batı – Kuzeybatı



Şekil A.11.15 Kuzeybatı

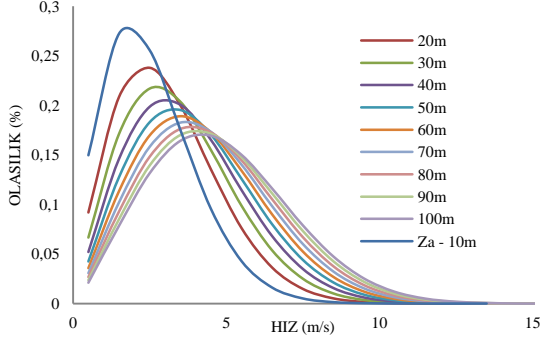


Şekil A.11.16 Kuzey – Kuzeybatı

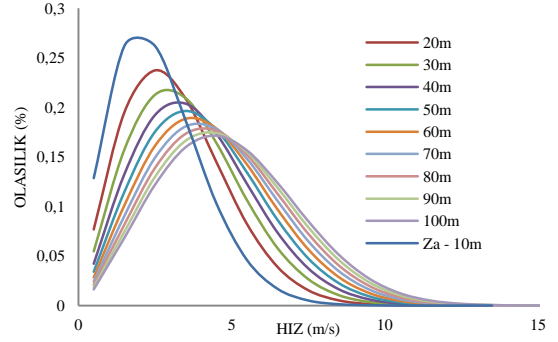


Şekil A.11.17 16 Yön Ortalaması

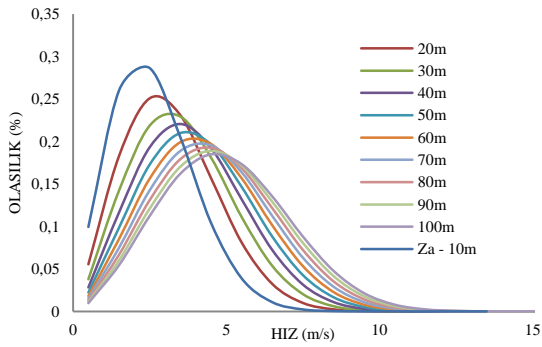
## A.12. Aralık Ayı Hız Dağılımları



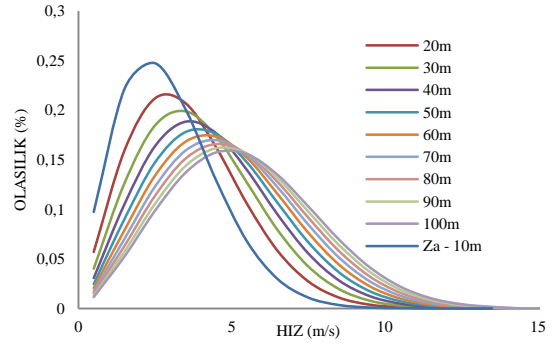
Şekil A.12.1 Kuzey



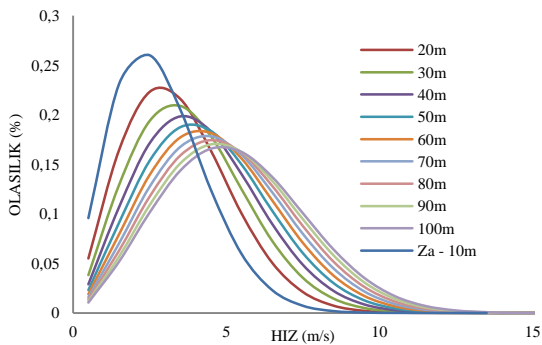
Şekil A.12.4 Doğu - Kuzeydoğu



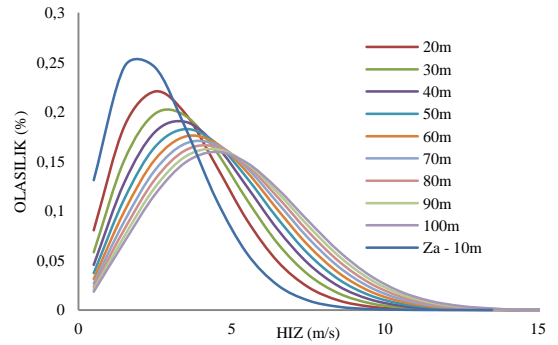
Şekil A.12.2 Kuzey - Kuzeydoğu



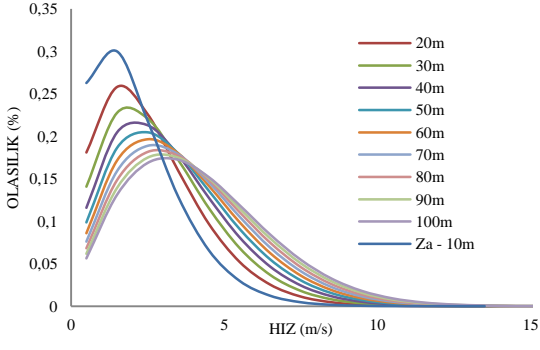
Şekil A.12.5 Doğu



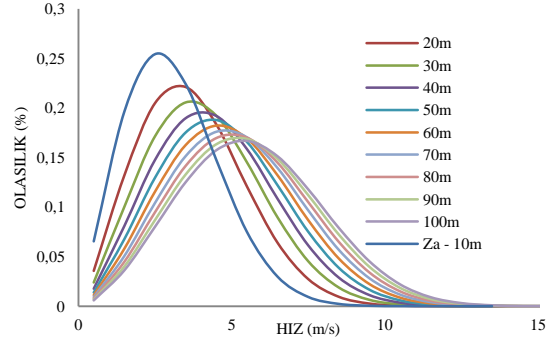
Şekil A.12.3 Kuzeydoğu



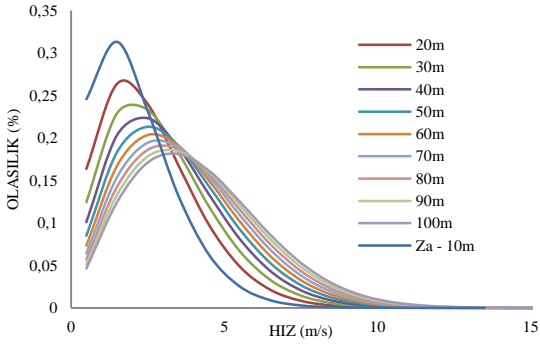
Şekil A.12.6 Doğu - Güneydoğu



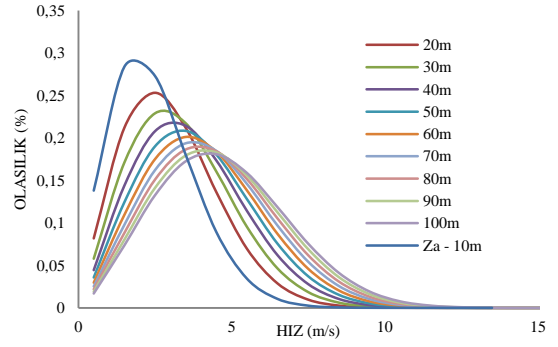
Şekil A.12.7 Güneydoğu



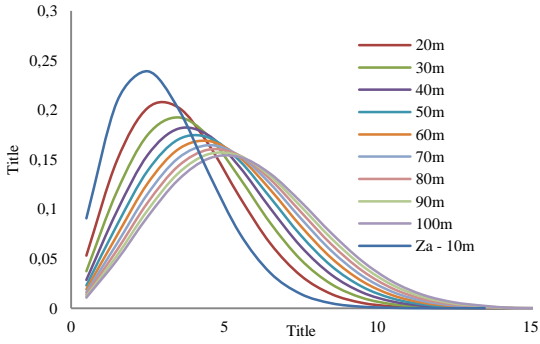
Şekil A.12.11 Güneybatı



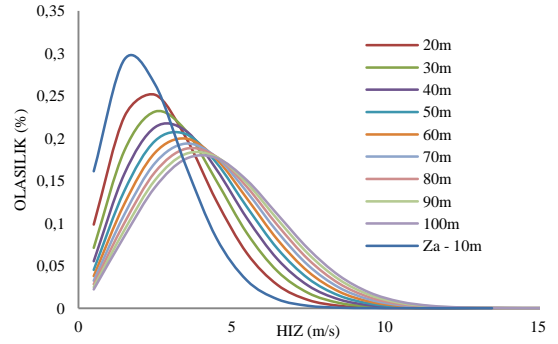
Şekil A.12.8 Güney - Güneydoğu



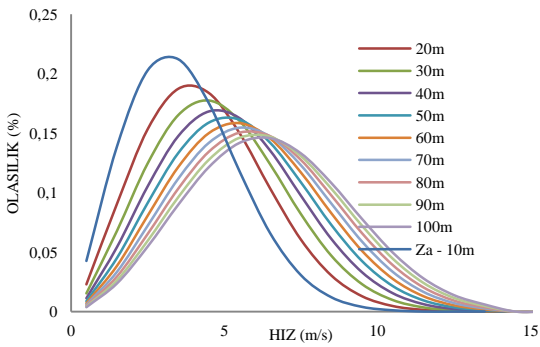
Şekil A.12.12 Batı - Güneybatı



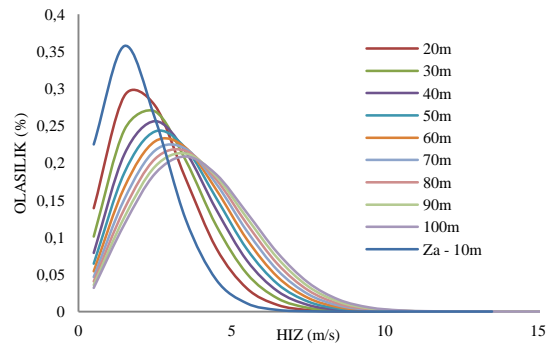
Şekil A.12.9 Güney



Şekil A.12.13 Batı

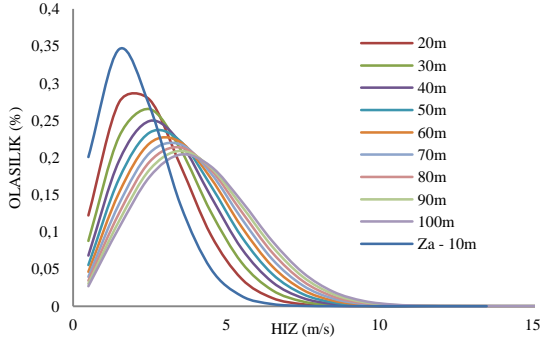


Şekil A.12.10 Güney - Güneybatı

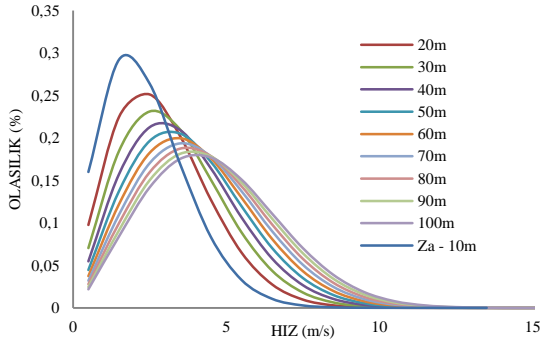


Şekil A.12.14 Batı - Kuzeybatı

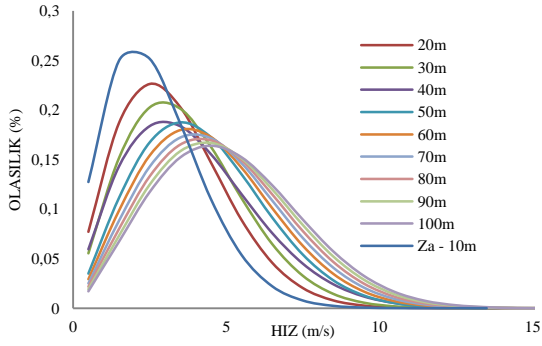




Şekil A.12.15 Kuzeybatı



Şekil A.12.16 Kuzey – Kuzeybatı



Şekil A.12.17 16 Yön Ortalaması

## ÖZGEÇMİŞ

Sadık YİĞİT 1983 yılında İstanbul'un Bakırköy ilçesinde doğdu. Lise öğrenimini İstanbul'da İstek Bilge Kağan lisesinde tamamladı. 2004 - 2005 öğretim döneminde İstanbul Kültür Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünü kazandı ve 2007- 2008 öğretim döneminde mezun oldu. 2010 bahar döneminde İstanbul Kültür Üniversitesi Proje Yönetimi alanında Yüksek Lisans Eğitimi almaya başladı