

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 511091011 numaralı Yüksek LisansÖğrencisi **Murat TUNÇ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**İSTANBUL'DA WRF MODELİ ile RÜZGÂR TAHMİNİ DOĞRULAMASI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Yurdanur S. Ünal**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Yurdanur S. Ünal**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Selahattin İncecik

İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Hasan Nüzhet Dalfes

İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **3 Mayıs 2013**
Savunma Tarihi : **7 Haziran 2013**

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitim hayatım boyunca bana olan yardımlarını hiçbir şekilde esirgemeyen, bilgisiyle ve tavsiyeleriyle her zaman yanımda olan Prof. Dr. Yurdanur S. Ünal'a içten teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim sürem boyunca başlarını bolca ağrıttığım ve bana zor koşullarda dahi yardımcı olan hocam Dr. Elçin Tan ile sevgili arkadaşlarım Ferat Çağlar, Ceren Ballı, Merve Acar, Emel Ünal, Canberk Karadavut'a ve bana her koşulda yardım eden canım kuzenlerim Kemal T. Dengiz ve Ayşem Pekcan'a teşekkürü borç bilirim.

Tüm hayatım ve özellikle eğitim ve öğrenim hayatım süresince benim maddi – manevi her şekilde arkamda duran canım aileme ise hayatım süresince minnettar kalacağım.

Mayıs 2013

Murat TUNÇ
Meteoroloji Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvi
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
2. YÖNTEM - WRF	7
2.1 Hava Araştırma ve Tahmin Modeli (WRF)	7
2.2WPS.....	9
2.3WRF – VAR.....	9
2.4ARW Çözücüsü.....	9
3. DOĞRULAMANIN GEREKLİLİĞİ.....	11
3.1 Doğrulama Modeli	12
3.2 Yaygın Olarak Kullanılan Doğrulama Yöntemleri	13
3.2.1 Saçılma diyagramları	13
3.2.2 Yanlılık veya ortalama (sayısal) hata.....	14
3.2.3 Ortalama mutlak hata	15
3.2.4 Ortalama karekök hata	16
3.2.5 Değişkenlik katsayısı	18
3.2.6 Olasılık tabloları.....	18
3.2.6.1 Doğru tahmin yüzdesi	18
4. VERİ.....	21
4.1 İstasyonlar ve Veriler	26
5. DENEY TASARIMI	33
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	37
6.1 Öneriler.....	54
KAYNAKLAR	57
EKLER.....	61
ÖZGEÇMİŞ.....	95

KISALTMALAR

MM5	: Mesoscale Meteorological Model, Version 5
WRF	: Weather Research and Forecasting Model
PBL	: Planetary Boundary Layer
NCAR	: National Center for Atmospheric Research
NCEP	: National Centers for Environmental Prediction
FSL	: Forecast Systems Laboratory
AFWA	: Air Force Weather Agency
FAA	: Federal Aviation Administration
NWP	: Numerical Weather Prediction
WRF-WSF	: WRF Software Framework
3DVAR	: Three Dimensional Variational Data
WPS	: WRF Pre-Processing System
TKE¹	: Toplam Kinetik Enerji
ECMWF	: European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
HIRLAM	: High-Resolution Limited Area Model
OMH	: Ortalama Mutlak Hata
OKH	: Ortalama Karekök Hata
AEMET	: Agencia Estatal de Meteorología
TKE²	: Türbülanslı Kinetik Enerji
METAR	: Meteorological Terminal Aviation Routine Weather Report
SPECI	: Havacılıkta kullanılan özel bir raporlama şekli
İBB	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
AKOM	: Afet Koordinasyon Merkezi
AWOS	: Automated Weather Observation System
İSKİ	: İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi
NCL	: NCAR Command Language
MODIS	: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
YSU	: Yonsei University
MYJ	: Mellor – Yamada – Janjic
SNOTEL	: Snowpack Telemetry

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 :Otomatik Meteoroloji İstasyonları ve Koordinatları	22
Çizelge 4.2 : 2005 – 2011 Yılları Saatlik Rüzgar Şiddeti Ortalaması ve Standart Sapması.	28
Çizelge 4.3 :Kış Mevsimi (Aralık – Ocak – Şubat) Ortalama Rüzgâr Şiddetleri.....	29
Çizelge 4.4: Kış Mevsimi (Aralık – Ocak – Şubat) Rüzgâr Şiddeti Standart Sapması	29
Çizelge 6.1 : AKOM istasyonu 24 – 48 – 72 – 96 saatlik analiz sonuçları	40
Çizelge 6.2 : Aksaray istasyonu 24 – 48 – 72 – 96 saatlik analiz sonuçları.....	40
Çizelge 6.3 : Büyükada istasyonu 24 – 48 – 72 – 96 saatlik analiz sonuçları	41
Çizelge 6.4 : Çavuşbaşı istasyonu 24 – 48 – 72 – 96 saatlik analiz sonuçları.....	41
Çizelge 6.5 : Hadımköy istasyonu 24 – 48 – 72 – 96 saatlik analiz sonuçları	42
Çizelge 6.6 : Olimpiyat istasyonu 24 – 48 – 72 – 96 saatlik analiz sonuçları	42
Çizelge 6.7 : Ömerli istasyonu 24 – 48 – 72 – 96 saatlik analiz sonuçları.....	43
Çizelge 6.8 : Terkos istasyonu 24 – 48 – 72 – 96 saatlik analiz sonuçları	43
Çizelge 6.9 : Model performans sonuçları.....	46
Çizelge 6.10 :Şiddetli rüzgârlar (>10 m/s) için oluşturulmuş 8 istasyona ait olasılık tabloları	49
Çizelge 6.11 : Ortaşiddetli rüzgârlar ($5,5 - 10$ m/s) için oluşturulmuş 8 istasyona ait olasılık tabloları	50
Çizelge 6.12 : Zayıf rüzgârlar ($<5,5$ m/s) için oluşturulmuş 8 istasyona ait olasılık tabloları	51

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: WRF ARW Modeli için akış şeması	8
Şekil 4.1: Otomatik meteoroloji istasyonları	22
Şekil 4.2: Modelin tahmin noktaları	23
Şekil 4.3: Modelin yeryüzü şekilleri.....	23
Şekil 4.4: Model bölgesi	24
Şekil 5.1: Model çalışma alanı.....	34
Şekil 5.2: Model çalışma alanı (en iç alan) ve metre cinsinden deniz seviyesinden olan yükseklik.....	35
Şekil 6.1 : Tüm istasyonlar için 24 saatlik yanlılık testi sonuçlarına ait histogram	44
Şekil 6.2 : Tüm istasyonlar için 48 saatlik yanlılık testi sonuçlarına ait histogram	44
Şekil 6.3 : Tüm istasyonlar için 72 saatlik yanlılık testi sonuçlarına ait histogram	44
Şekil 6.4 : Tüm istasyonlar için 96 saatlik yanlılık testi sonuçlarına ait histogram	44

İSTANBUL'DA WRF MODELİ ile RÜZGÂR TAHMİNİ DOĞRULAMASI

ÖZET

Bu tez çalışmasında İstanbul çevresindeki rüzgâr şiddeti ve rüzgâr yönlerinin, sınırlı alan nümerik hava tahmin modeli WRF ile tahmin doğruluğu araştırılmıştır. Bu amaçla öncelikle WRF modelinde İstanbul ve çevresi için gerekli fiziki şartlar tanımlanmış ve modelin çalıştırılma şartları belirlenmiş ve modelin ürettiği tahmin verilerinin karşılaştırması İstanbul ilinde yer alan meteorolojik istasyon noktaları ile yapılmıştır.

Model, 96'şar saatlik periyotlar halinde çalıştırılmıştır. İlk 24 saatlik dönem analiz amaçlı kullanılmış, sonraki 72 saat ise tahmin amaçlı değerlendirilmiştir. Doğrulama yapmak için gerekli olan rüzgâr gözlemleri İstanbul Büyükşehir Belediyesi Afet Koordinasyon Merkezi'ne ait meteorolojik istasyonlarından temin edilmiştir. Doğrulama işleminin yapılacağı periyot olarak, sinoptik sistemlerin hareketlerinin daha etkin olduğu ve rüzgârın daha karakteristik olarak estiği kış ayları seçilmiştir. Bu amaçla 2007 – 08, 2008 – 09, 2009 – 10 kış ayları için 96 saatlik simülasyonlar elde edilmiştir.

Doğrulama işlemi için literatürde bulunan yöntemler incelenmiş ve çalışmada kullanılması uygun olan yöntemler yanlılık, ortalama mutlak hata, ortalama karekök hata ve olasılık tabloları olarak belirlenmiştir. Ayrıca yanlılık hata testi analizleri için model hata histogramları oluşturulmuş ve hataların frekans dağılımı belirlenmiştir. Değerlendirme yapılırken, bütün doğrulama yöntemleri için 24 – 48 – 72 ve 96 saatlik performanslar kendi içlerinde karşılaştırılmıştır. İstasyon noktalarında tahmin edilen rüzgâr yönleri gözlemlerle aynı periyotlar için rüzgârgülleri vasıtası ile karşılaştırılmıştır. Kullanılan doğrulama testleri ve rüzgârgülleri karşılaştırmaları ile WRF modelinin İstanbul'da bulunan istasyonlar için temsil yeteneği araştırılmıştır.

Yanlılık testi sonuçları -2,5 ile 1,5 m/s arasında değişmektedir. Ortalama mutlak hatalar 1,2 ile 3 m/s arasında ve ortalama karekök hatalar ise 1,5 ile 3,4 m/s arasında değişmektedir. Sonuçlar geniş bir bant aralığında gibi görünmektedir, ancak bunun sebebi model tarafından bulunan sonuçların, istasyon noktasına indirgenmesinde yaşanan arazi kullanım, yükseklik simülasyonu gibi problemlerdir. Mesela Büyükdada gibi hem deniz – kara etkileşiminde olan hem de deniz yüzeyi içerisinde ekstrem sayılabilecek bir yükseklikte olan bir istasyon için simülasyonlardan doğru sonuçları almak bir hayli güçtür. Öyle ki bu istasyon için sırasıyla yanlılık, OMH ve OKH sonuçları, -2,62, 3 ve 3,4 m/s'dir. Bunun aksine, Çavuşbaşı gibi şehir etkisinden uzak ve çevresinde veri kalitesini bozacak etkenlerin az olduğu istasyonlar için de gözlem verileri ile model simülasyon verileri birbirine yakındır. Bu istasyon için yine sırayla yanlılık, OMH, OKH sonuçları, 0,71, 1,44, 1,73 m/s'dir. Buradan da anlaşılabileceği gibi arazi kullanımı, yükseklik temsili ve istasyon çevresindeki faktörlerin simülasyon sonuçları üzerindeki etkisi büyüktür. Bazı istasyon noktalarına ait simülasyon verisinin elde edilmesinde karşılaşılan problem ise, istasyonun şehirsellik, akış bozucu dış

etkenler etkisinde kalması ve boğaz – denizin doğru temsil edilememesi sebebiyle modelin gözlem verilerinden farklı veriler üretmesidir. Rüzgârgüllerine bakıldığında da benzer bir durumla karşılaşmakta ve hata testi sonuçlarının büyük değerler aldığı istasyonların rüzgârgüllerinde de gözlem verilerinden sapmalar görülmektedir.

VERIFICATION OF WRF WIND SPEED FORECASTS in ISTANBUL

SUMMARY

Daily variations of temperature, precipitation and humidity are the common interest for most of the human beings on their daily life. Generally the wind variations have a secondary importance unless stormy situations. In order to forecast the weather conditions for a number of days ahead, numerical weather prediction models are used. These models are run by operational weather forecast centers usually four times a day, and the forecast validation methodologies are applied usually to temperature and precipitation fields in these centers to monitor forecast quality over time. Since precipitation depends strongly on atmospheric motion, moisture content, and physical processes, the quality of a model's precipitation prediction is often used as an indicator of overall model performance. Hence the number of research for qualitative assessment of the forecasted wind field is relatively small in the literature.

Numerical weather prediction models have uncertainties in the representation of the dynamical and physical processes, the spatially varying land surface characteristics and topographic details due to the limitations of the dynamical and physical core of the model, numerical schemes used, applied geographical region as well as the resolution of the model. In addition, atmospheric analyses or global forecast data used to specify the initial and lateral boundary conditions for these models also have some uncertainties in the atmospheric fields such as pressure, temperature, wind etc. Therefore, there is no doubt that the accuracy of atmospheric models in simulating the atmospheric fields is bounded by these uncertainties.

Forecast verification is a systematic process to evaluate performance of the forecast model for different model generated parameters and for different sets of conditions to define the deficiencies of the model to predict the certain parameters by assessing its correctness and consistency over time. It is well known that forecast performance of the numerical weather prediction models varies seasonally and regionally. Different verification methods may be appropriate for each meteorological parameter and case, and the choice of verification methodology depends on the nature of the forecasted parameter. Forecasted and observed data sets are compared to each other according to specified methods to evaluate multiple aspects of a forecast system. Some of the verification methods are, bias, mean absolute error, root mean square error, and contingency tables. Bias is the average difference between forecast and observation, and explains that if the forecasting methodology is over-predicting or under-predicting a certain parameter. Mean absolute error methodology takes average of the absolute fraction between the forecasted and actual datasets. Mean absolute error gives an idea about the magnitude of the error, but this method is downsizing the extreme values to the mean of the dataset and driving away from the real error. Root mean square error is the square root of the fraction averages between actual and forecasted values. This methodology weighs the extreme value errors more than the others.

In this study, the forecasted wind field is compared with the station observations in Istanbul. Observation dataset was comprised of Istanbul Metropolitan Municipality Disaster Coordination Center's (AKOM) meteorological stations. Those stations cover all Istanbul, and the data quality of some stations is registered by World Meteorological Organization (WMO). AKOM owns 35 meteorological stations in total, but only 10 of them produce data in WMO qualifications. Because west coast of İstanbul was not included in our high resolution domain, 10m wind observations at 8 stations are used in this study namely AKOM, Aksaray, Büyükada, Çavuşbaşı, Hadımköy, Olimpiyat, Ömerli and Terkos stations.

Most of the stations were located in secure areas like the yards of İSKİ, or other public buildings. AKOM station is in the yard of AKOM – İSKİ complex, but the data quality is relatively poor in terms of completeness within the study period as well as representation of the true wind field around. There is a tall building 50 meters by the station, and also the station environment is covered by well grown trees. All these factors affect the data quality and especially the measured wind speeds. Aksaray station is in the yard of a public building, also data quality is poor in this station. There are several buildings very close to the station, and there are many trees. Büyükada station is located on the highest point of Princess Islands. Its altitude is 188 meters. There has been data transfer problem with the station so that the number of missing observations is quite large. Also modeling of the atmospheric wind field is challenging at this site because of the sharp topographic gradient and sea – land interactions. Çavuşbaşı station is located in the yard of public building at the Anatolian side of Istanbul. There is a building close to the station but it does not affect the data quality. Besides, there is no other obstacle to disturb the general atmospheric flow around the station out of this building. Hadımköy station was located in the middle of a field at the western European side of Istanbul. There were neither buildings nor trees around the station. There has been power outage for some months but the data quality is well. Olimpiyat station is located in the yard of İSKİ again, near the Atatürk Olympics Stadium. There are no tall buildings around, only single – floored buildings. So the data quality is trustworthy for this station. There has been no power outage during the study period so that the data quality is not affected. Ömerli station is located in the yard of İSKİ Ömerli Dam. There are no buildings around the station; there are only medium height trees. Data quality is relatively good for this station. Terkos station is located in the yard of İSKİ Terkos Dam. There are also no buildings, only some trees.

In this study, the Weather Research and Forecasting (WRF) model is used to forecast the atmospheric conditions around city of Istanbul. It is configured with three nested domains to reach a horizontal resolution of 1 km over Istanbul Metropolitan area. The mother domain is centered on Istanbul and it has a horizontal resolution of 9km. The second domain has 3km resolution. The WRF configuration is designed to have 45 terrain-following vertical levels. The numbers of grid points for low resolution to high resolution domain from east to west are 82 – 136 – 100 and from north to south, 73 – 82 – 73, respectively. Lambert conformal map projection is used, and the resolutions of the geographical data are 5 min – 2 min – 30 sec with respect to the domain order. The period of the runs were 96 hours, first 24 hours for analyze, and the rest 72 hours were for forecast applications. The wind field verification are accomplished by using 1 km resolution model simulations. The model offers multiple physics options for microphysics, radiation, cumulus parameterization, and boundary layer. ERA Interim data with the resolution of 0.7x0.7 degree are used for initial and lateral boundary conditions of the WRF model.

The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) land use/land cover system is used to determine the surface characteristics of the model. MODIS land use fields are 1-km gridded and includes the surface types in 20-categories defined by Land Cover Classification System (LCCS) developed by Food and Agriculture organization of the United Nations (FAO), rely on the scans of TERRA Satellite in the year of 2003. Therefore it is a relatively contemporary and in good agreement with today's global land coverage. However, it still fails to represent Bosphorus Strait realistically.

According to land use categorization, nearly all of Istanbul is well represented in the model except the Bosphorus Strait. It is not defined as water pathway even though some grid points along the Bosphorus are assigned as water body along the Bosphorus, they are not continuous. Apart from this, MODIS's representation ratio seemed well for the whole picture. The forestry areas, urban areas, field areas, large dams, mixed areas (mixture of urban – forest, forest – field) were characterized very similar to actual situation. The comparison of MODIS land use map is made with the sky photo taken from the Istanbul Metropolitan Municipality's web site.

96hr wind field simulations are performed by the WRF model for three winter season. The verification of the model simulated wind field near the surface are accomplished by using 8 station data for three winter season. Since the model domain has 1km resolution, the wind speed and directions at the nearest grid point to the station location are used instead of interpolation the wind field to the station locations. The performance tests are applied in daily basis. For example, 24 hours forecast's results, and 48 hours results were compared in between. The biases of the model for wind speeds are between -2.5 and 1.5 m/s for eight stations, where the mean absolute error are between 1.2 and 3.0 m/s. The results for root mean square error are ranging between 1.5 and 3.4 m/s. Bias results only give information about the over/under estimation of the winds at station location. They could not give insight about the variability of the errors. Mean absolute error and root mean square error results are more meaningful compared to bias. The temporal variability of the model estimations are in very good agreement with the observations. However, due to the misrepresentations of the land use categories and topography as well as land-sea contrast interpretation of the model, the large errors rise at some station locations. For example, Büyükada, Hadımköy, Aksaray, and Terkos stations are affected from local factors. Büyükada is on an island, in the middle of the sea with an altitude of 188 meters whereas model topography is 28 m. Therefore, there is underestimation of the wind speed at this station. Hadımköy is found on a field, and the reason seems like land use options of the model. Aksaray station is located near the sea, and it is probable that the model is not capturing land-sea interactions. Terkos has nearly the same properties like Aksaray, with a difference of being in a less urban area. Also AKOM station was located near tall buildings – trees, and the observation data quality was poor. Histograms were plotted for bias test for the periods of run times of model. According to the histograms, 24 and 48-hour results have almost normal distribution. The results of 72 and 96 hours have left skewed histograms, which mean that forecasted data over estimates the actual data. The performance of the model in simulation of the wind field decreases after 48 hours. Nearly the same results are obtained for wind direction estimates. For the prevailing wind direction and wind speed categories, model estimates are similar to the observations. There are small differences in magnitude, wind speed or number of occurrences. The most successful results were taken from Hadımköy and Ömerli stations.

Prevailing wind direction errors varies at most between 45 and 90 degrees. However, Büyükada, Aksaray, and Terkos stations need to be re-examined. These stations have land-sea interaction and urbanization effect. Wind roses of these stations show relatively large variations between forecasted and actual values. Also the wind rose results of Olimpiyat station were very poor. There are big differences in the wind direction even though more acceptable results in wind speed. This station is located on a land far from buildings, and trees. It needs to be studied in detail.

In this study, 96hr wind field simulation over Istanbul is performed and compared to the surface observations. In general, the WRF model is able to capture the wind variability reasonably well. There are some problems regarding the wind direction estimation. It might be due to the boundary layer processes involved in the model as well as the disturbed wind field around the observation locations due to the obstacle such as tall building, trees etc. Here, the verifications are accomplished only point wise. This study can be advanced by enlarging the verification area, locally correcting the land use categories in the model, testing the model performance for longer time scale including different season or using different weather prediction models.

1. GİRİŞ

Havanın ilerleyen günlerde nasıl olacağını bilmek özellikle günümüzde önemli bir hâl almıştır. Hava tahmini yapan merkezler bu ihtiyacı karşılamak amacıyla sıcaklık, yağış, nem miktarı, rüzgâr durumu gibi değişkenler için hava tahmini üretmektedirler. Hava tahmini işinin kaynağı ise atmosferin değişik seviyeleri için çalışan meteorolojik model çıktılarıdır. Bu çıktıların sonuçlarına göre tahmin üreten kuruluşlar, kendi tecrübelerini de kullanarak çeşitli merkezler için hava tahmini üretmektedirler. Şu anda atmosferik modelleme ile sıcaklık, yağış durumu, yağış miktarı, nem gibi parametrelerin tahmini, rüzgâr tahminlerine göre daha tutarlıdır.

5. nesil orta ölçekli model (MM5) ve WRF geniş bir ölçekte simülasyon üretmek ve karşılaştırmak amacıyla dünya genelinde kullanılmaktadır. Atmosferik sınır tabaka (PBL) parametrizasyonları ile atmosferik modelleri kullanan birçok çalışma bulunmakla birlikte, bu çalışmaların neredeyse tamamı modellerin doğru rüzgâr hızı tahmininden çok doğru yağış tahmini yapmasına odaklanmıştır (Kwun ve diğ., 2009). Atmosferik sınır tabaka içerisinde çoğunlukla kullanılan sınır tabaka şemaları YSU (Yonsei University) ve MYJ (Mellor – Yamada – Janjic)'dir. YSU atmosferik sınır tabaka şeması, sınır tabaka içerisinde bölgesel olmayan türbülanslı karışım katsayısını içeren revize edilmiş bir karışım paketidir. YSU şemasında karışım tabakası yüksekliğinin belirlenmesindeki en kritik nokta bölgesel olmayan karışımın tanımlamasıdır (Hong ve Kim, 2008). MYJ şeması ise YSU şemasının tersine bölgesel kapanım modelidir. MYJ atmosferik sınır tabaka şemasında yer seviyesi üzerindeki türbülansı temsil etmek amacıyla Mellor ve Yamada'nın 1.5 mertebeli kapanım modelini kullanır. MYJ şeması, eddy yayılım türbülansı bileşenlerini türbülanslı kinetik enerji vasıtası ile tespit eder. Mellor ve Yamada, şemanın tüm kararlı ve kararsız akışlar için geçerli olup olmadığı konusunda fikir birliğine varamamışken; hataların serbest konveksiyon limitine yaklaştıkça arttığı görülmüştür (Hu ve diğ., 2010).

Rüzgârın son yıllarda enerji sektörü için önemi artmaktadır. Örneğin İspanya'daki yıllık elektrik tüketiminin %4'ü rüzgâr enerjisinden sağlanmaktadır. Rüzgâr, karakteristik olarak dış etkenlere ve yeryüzü şekillerine karşı çok hassas olduğu için güvenilir enerji kaynağı sınıfına girememektedir. Bu sebeple rüzgârın doğru tahmin edilebiliyor olması, enerji ve diğer uygulamalarda rüzgâr bileşenlerinin kullanılması açısından büyük önem kazanmaktadır. Rüzgârın tahmini için istatistik modeller, sayısal hava tahmin modelleri, yapay sinir ağları gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır (Lei ve diğ., 2008). Tüm bu modellerin ürettiği simülasyon sonuçlarının ise gerçekte ne kadar örtüştüğünü anlayabilmek amacıyla tahminlerin doğrulamasının yapılması zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır.

Tahminlerin doğrulaması, tahminlerin tutarlılığını ölçmek ve sorgulamak açısından önem teşkil etmektedir. Literatürde çok sayıda doğrulama yöntemi vardır ve bütün doğrulama yöntemleri, modellerin ürettiği değerler ile gözlemlenmiş verilerin karşılaştırılmasına dayanmaktadır (Warner, 2011). Literatürde var olan doğrulama yöntemlerinden 3. bölümde (Doğrulamanın Gerekliliği) detaylı bir şekilde bahsedilecektir.

Literatürde doğrulama hakkında yapılmış çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Örneğin, yüksek çözünürlüklü (9 km) WRF modeli, Portekiz'deki geniş yağış gradyanlarını tahmin etmek amaçlı çalıştırılmış ve sonuçlar Portekiz genelinde bütün istasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yüksek çözünürlüklü WRF modeli sonuçları orografik etkenlerin yüksek olduğu bölgelerde bile gerçeğe yakın değerler üretmeyi başarmıştır (Pedro ve diğ., 2012).

Wyoming eyaleti çevrelerinde yapılan bulut tohumlama projesinin etkin sonuçlarını karşılaştırmak amacıyla ölçülen veriler ile WRF modelinin simülasyon sonuçları doğrulama testlerine tabi tutulmuştur. Kış mevsimi orografik bulutları ile yağışın değerlendirmesini yapabilmek amacıyla; modelin ürettiği bulut dağılımı, bulut yüksekliği, bulut dikey profili ve kar yağışı verileri gözlem verileri ile karşılaştırılmıştır. Her gün 02:00 Z saatinde yapılan 2 km çözünürlüğe sahip simülasyonlar ile, SNOTEL, selyometre, radiosonde verileri, radar verileri doğrulama için kullanılmıştır. Tahminlerin doğrulaması sonucunda, WRF modeli simülasyon sonuçlarının gerçekleşen verilerle uyumlu olduğu görülmüştür (Lou ve Breed, 2010).

Finlandiya Meteoroloji Enstitüsü tarafından geliştirilmiş olan HIRLAM modelinin, kullanılmaya başladığı yıl olan 1990'dan 2006 yılına kadar olan süre içerisinde modelin üretmiş olduğu yeryüzü basıncı, 925 mb sıcaklığı, 850 mb sıcaklığı, 500 mb jeopotansiyel yüksekliği ve 300 mb yüksekliği gibi parametreler Finlandiya Meteoroloji Enstitüsü tarafından gözlenmiş veriler ile doğrulamaya tabi tutulmuştur. Doğrulama yöntemi olarak yanlılık ve ortalama karekök hata kullanılmış ve modelin simülasyonlara başladığı süreç boyunca olan gelişim elde edilmiştir. Yapılan testler sonucu, model simülasyonlarının başladığı tarih olan 1990 ile 2006 yılları arasında hata skoru olarak neredeyse bütün parametrelerde yaklaşık 2 katına yakın iyileşme gözlenmiştir (Eerola, 2008).

Polonya'da operasyonel doğrulama yapmak için Polonya genelinde COSMO_PL modeli 14 km çözünürlüğünde çalıştırılmıştır. Doğrulama Polonya genelindeki 58 istasyonla yapılmıştır. Doğrulama, 2 m sıcaklığı, deniz seviyesi basıncı, 12 ve 24 saatlik toplam yağış ve rüzgâr parametreleri ile yapılmıştır. Modelin, sıcaklıkları kış mevsiminde ve geri kalan mevsimlerin gece saatlerinde daha düşük, gündüz saatlerinde ise daha yüksek tahmin ettiği, rüzgârı sürekli daha yüksek tahmin ettiği, basınç tahminindeki hata oranının tahmin süresi uzadıkça arttığı ve yağışları da gerçekleşenden daha düşük tahmin ettiği doğrulama sonucunda anlaşılmıştır (Starosta ve Linkowska, 2010).

Günümüze kadar yapılan çalışmalarda rüzgâr tahmini ve modellemesinin, rüzgâr harici parametrelerin tahmin ve modellemelerinden daha az olduğu görülmektedir. Rüzgâr tahmini, diğer parametrelerin aksine biraz daha zor modellenabilmektedir. Dolayısıyla rüzgâr tahmini tutarlılığı diğer parametrelere oranla biraz daha düşüktür. Atmosferik modelleme sırasında topografya gibi çeşitli faktörler etkin rol oynamaktadır. Özellikle İstanbul, atmosferik modelleme ile hava tahmini yapmak için oldukça zor bir konumda bulunmaktadır. Kuzey ve güneyi denizlerle çevrili olduğu için kara - deniz etkileşimi çok fazla olmakta ve atmosferik bileşenlerin doğru veya doğruya yakın bir şekilde tahmin edilmesi zorlaşmaktadır. Ayrıca; model alanı içerisinde bulunan boğaz model topografyasında çözünürlüğün nispeten düşük olması sebebiyle, modellemeyle kara deniz etkileşiminin ve boğaz çevresinde sinoptik ölçekten daha çok konvektif sebeplerle meydana gelen atmosferik olayların tahmin edilmesi zor olmaktadır (Çağlar vd., 2011). Rüzgâr hızının doğru tahmini ve simülasyonu yakın geçmişte çok yüksek öneme sahip

olmuştur ve günümüzün gelişen şartları ile hıza bağlı güç tahmini yapmada da önemi artmaya devam etmektedir (Carvalho ve diğ., 2012).

Rüzgâr tahmini ise belki de bu etkileşimlerden en fazla etkilenen parametredir. Rüzgâr tahmini konusunda İstanbul Boğazı ayrı bir bölge gibi davranmaktadır. Kara – deniz etkileşimine ek olarak topografya da İstanbul’da değişkenlikler göstermekte ve bu sebeple rüzgâr tahmini daha zor bir hâle gelmektedir. Orta yükseklikteki tepelerin rüzgâr akışının laminarlığını bozması ve sınır tabaka içerisinde oluşan fiziksel ve dinamik süreçlerin yeterince iyi ifade edilememesi sonucu, atmosferik benzeşimler gerçekten uzak olabilmektedir. Model kurulurken, topografya verileri doğru bir şekilde girilmiş olsa bile; gözlem yapılan istasyonların şehir merkezinde kalması sebebiyle, model çıktıları ile gözlem verileri arasında farklılıklar olabilmektedir.

Bunun sonucunda, model çıktılarının yer istasyonlarında yapılan gözlemlerle karşılaştırılarak modellerin sonuçlarının doğruluğunun sınanması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Doğrulama yöntemleri, atmosferik çalışmalar haricinde de pek çok çalışmada kullanılmaktadır (Colt ve diğ. 2011, Bosy ve diğ., 2009). Bu gereksinim, çeşitli doğrulama yöntemleri ile giderilmeye çalışılarak, model sonuçları ile gözlenmiş veriler ilişkilendirilmeye çalışılır. Bütün yeryüzü şekilleri modelde simüle edildiği hâlde; İstanbul’daki şehirleşmenin sonucu, şehir içinde kalan doğrulamanın yapılacağı istasyonlara ait doğru tahmini elde etmek zor olmaktadır. Tüm bu etkiler düşünüldüğünde, İstanbul’da meteorolojik parametrelerin modelleme yöntemi ile tahmininin yapılması ve bu parametrelerin gerçeği ne kadar yansıtıp yansıtmadığının test edilmesi amacıyla çeşitli bilimsel çalışmalar yapılmaktadır.

Bu çalışmanın ilerleyen bölümlerinde; öncelikle WRF modelinden ve modelin içeriğinden, model çalıştırılırken hangi parametrelerin kullanıldığından ve parametreleri oluşturan etkenlerden bahsedilecektir. Üçüncü bölümde, doğrulamanın gerekliliğinden literatür çalışmaları ile desteklenmiş hâlde bahsedilecek ve doğrulama yöntemlerinin çeşitlerine, doğrulama işleminin uygulama örneklerine değinilecektir. Dördüncü bölümde, çalışmada kullanılan veri kalitesinden, verileri sağlayan istasyonların lokasyonundan, kuruldukları bölgelerin

topografik özelliklerinden bahsedilecektir. Bu bölümü takiben, çalışma sırasında modelin kurulum ve çalıştırılma safhalarına yer verilecektir.

Son bölümde ise yapılan çalışmada elde edilen sonuçlara detaylı olarak yer verilmiş ve bulunan sonuçların önemine değinilmiştir. Daha sonra elde edilen sonuçlara bağlı olarak, simülasyon sonuçlarının nasıl daha iyi hale getirilebileceği ile ilgili önerilere yer verilmiştir.

2. YÖNTEM – WRF

2.1 Hava Araştırma ve Tahmin Modeli (WRF)

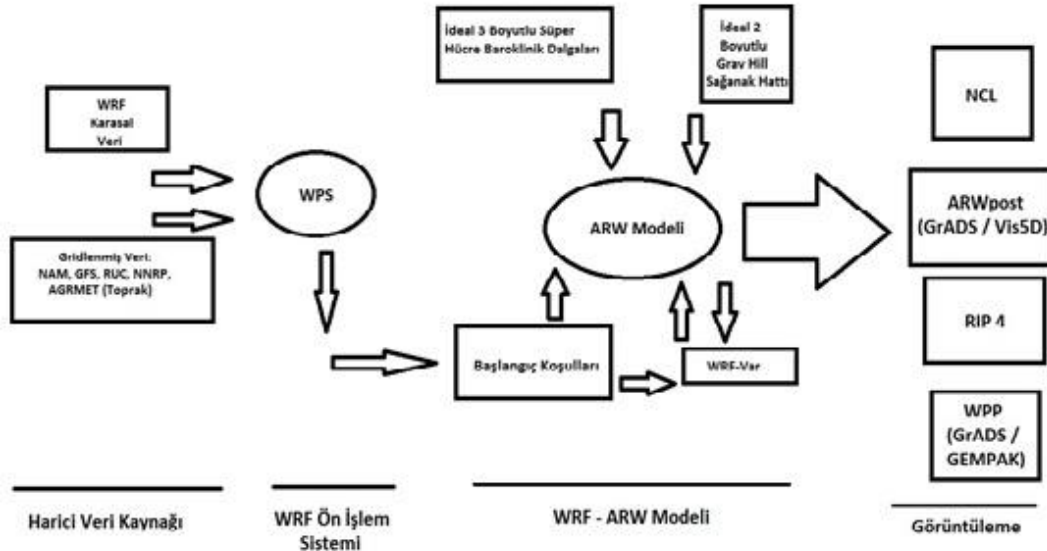
Hava Araştırma ve Tahmin Modeli (WRF), hem atmosferik ihtiyaçları hem de öngörü ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla oluşturulmuş yeni nesil bir orta ölçekli sayısal hava tahmin sistemidir. Bu program, çoklu dinamik çekirdekleri ile 3 boyutlu değişken asimilasyon sisteminin yer aldığı ve tüm bu sistemlerin paralel çalışmasını sağlayan bir mimariye sahip atmosfer dinamiği modelidir. WRF, ölçeği metre mertebesinden kilometrelere kadar değişebilen ölçeklerde çalışmaya uygun olarak tasarlanmıştır.

WRF; Atmosferik Araştırmalar Ulusal Merkezi (NCAR), Ulusal Okyanus ve Atmosfer Yönetimi, Ulusal Çevresel Tahmin Merkezleri (NCEP) ve Tahmin Sistemleri Laboratuvarı (FSL), Hava Kuvvetleri Atmosfer Ajansı (AFWA), Oklahoma Üniversitesi ve Federal Havacılık Yönetimi (FAA) kurumları arasındaki ortak çalışma sonucu geliştirilmiştir. WRF, araştırmacılara gerçek veriler ile atmosfer simülasyonları yapma olanağını sağlar. WRF, bir modelin hesaplamalara göre değişken ve verimli olup olmadığının anlaşılmasına katkıda bulunur. Ayrıca fiziksel ve nümerik olarak kullanılan veriler için asimilasyon fırsatı da barındırır. WRF modelinin kullanıcıları, her geçen gün artmakta ve WRF modeli birçok merkezde aktif olarak kullanılmaktadır [Url-1, 2013].

İleri Araştırma modeli olan WRF (ARW), son birkaç yıldan bu yana geliştirilmektedir. Şu anda ise ikinci sürümü kullanılmaktadır. ARW'nin içerdiği özellikler ise idealize edilmiş simülasyonlar (LES, konveksiyon, baroklinik dalgalar), ölçülebilirlik araştırması, veri asimilasyonu araştırması, tahmin araştırması, gerçek zamanlı NWP, birleştirilmiş model uygulamaları ve eğitimidir.

NCAR'ın orta ve küçük ölçekli meteoroloji birimi, WRF'in üçüncü versiyonunun kodlarını ellerinde bulundurmakta ve destek sağlamaktadır. Ücretsiz ve isteyen herkesin erişimine açık olan bu kodlar; WRF Yazılım sistemi (WSF), tek, iki yönlü

ve hareketli yuvalanmış bölgeleri içeren WRF ileri araştırma dinamik çözümleyicisi, WRF ön işleme sistemi (WPS), 3DVAR özelliğini de destekleyen WRF değişken veri asimile (WRF-Var) sistemi, WRF ortakları ve araştırmabirliği tarafından oluşturulan sayısız fizik paketleri, diğer grafik araçları ve dönüştürme programları için çok sayıda grafik programından oluşmaktadır.



Şekil 2.1 :WRF ARW Modeli Akış Şeması.

(http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide/users_guide_chap1.html)

Şekil 2.1’de görüldüğü üzere; WRF modelleme sistemi sırasıyla, WRF ön işleme sistemi (WPS), WRF – Var, ARW çözücüsü ve ileri işlem ve grafik araçlarından oluşmaktadır.

2.2 WPS

WPS programı,atmosferik verinin çalışılacak olan model simülasyon alanına yatay interpolasyonunu yapmakta kullanılmaktadır. Programın fonksiyonları; ilk olarak simülasyon alanlarını belirlemek, ikinci olarak karasal verileri interpolate etmek (arazi, arazi kullanımı, toprak çeşidi gibi), üçüncü olarak ise başka bir meteorolojik model simülasyonundan veya gridlenmiş gözlem verilerinden yararlanmaktır.Bu, modele meteorolojik veri aktarırken çalıştırılacak model alanı ve çözünürlüğüne bağlı olarak yeniden gridleme ve interpolasyon işlemlerini kapsamaktadır.

2.3 WRF – Var

WRF – Var programı opsiyonel olmasına rağmen, WPS tarafından üretilen interpolate edilmiş analizlerin içine öngörülerini koymaktadır. Ayrıca, WRF modelinin başlangıç şartlarınının güncellemesinde de kullanılır.

2.4 ARW Çözücüsü

İdealize edilmiş simülasyonlar ile gerçek veri simülasyonlarını ve sayısalintegrasyon programını içeren ARW çözücüsü, modelleme sisteminin anahtar bileşenidir. Tek yönlü yuvalamayı içeren bir program barındırdığı gibi aynı zamanda çift yönlü yuvalama ve hareketli yuvalama seçenekleri mevcuttur. WRF modelinin anahtar bileşenleri; tamamen sıkıştırılabilir, hidrostatik opsiyonu da olan hidrostatik olmayan eşitlikler, tüm Coriolis ve eğrilik terimleri, çok yuvalı sistemlerde dışarıdan içeriye (tek yönlü) bilgi akışı, hareketli simülasyon alanları, ağırlık bazlı arazi takip koordinatı, yükseklikle birlikte değişebilen dikey grid boşluklarından oluşmaktadır.WRF modelinde kutupsal stereografik, Lambert – konformal (orta enlemlerde kullanılan) ve Merkator (ekvator çevresinde kullanılan)dan oluşan harita ölçek faktörleri kullanılmaktadır.

Arakawa C-grid yapısı, Runge-Kutta ikinci ve üçüncü dereceden zaman seçenekleri, prognostik değişkenler için yönsüz koruyucu akım, ikiden altıncı dereceye kadar taşınım seçeneklerini (yatay ve dikey) içerir. Ayrıca nem, skaler ve toplam kinetik enerji (TKE) için pozitif tanımlı taşınım seçeneği ve tekdüze taşınım, yatay olarak açık, dikey olarak kapalı küçük zaman adımı, diverjans azaltma opsiyonu ve dikey zaman ortalaması ile harici mod filtreleme seçeneği gibi

aşamaları vardır. Yukarı sınır tabakada absorpsiyon etkiliyken Rayleigh saçılmasının sönümlendirilmiş olduğu kabul edilir. Yatay sınır koşulları ise ideal ve gerçek durumlar için değişmektedir. Yeryüzü sınır tabaka, atmosfer ve yüzey radyasyon özellikleri, bulut mikrofiziği ve kümölüs gelişimi gibi fiziksel seçenekleri içerir. [Url-2, 2013].

3. DOĞRULAMANIN GEREKLİLİĞİ

Doğrulama, gözlem ve tahminler arasında değerlendirme yapmamızı sağlayan sayısal ilişkidir. Doğrulama faaliyetleri, eğer doğrulama yapılan üründe bir gelişmeye sebep oluyorsa işlevseldir. Doğrulama testleri sonuçları öngörülerin gözlemlere yakınlığının bir ölçüsüdür. Farklı doğrulama testleri sonucunda elde edilen sayısal değerler yardımıyla, öngörüde kullanılan yaklaşımlarda iyileştirme yapmak olasıdır. Bu sonuçlar doğrultusunda tahmin modelinin gözden geçirilmesi, fiziksel, dinamik süreçlerin modelde iyileştirilmesi veya farklı istatistiksel yaklaşımların kullanılması gerekli olabilir. Ayrıca öngörülerin tatmin edici seviyede olması durumunda “hiçbir şey yapmaya gerek olmaması” koşulunun sağlanıp sağlanmadığını bulmaya da yardımcı olur (Stanski ve diğ.,1989).

Polonya çevresinde küresel navigasyon sistemlerinin atmosfer koşullarını belirlemek amacıyla kullanıldığı çalışmada, sayısal hava tahmin modelleri ile meteorolojik gözlemler karşılaştırılmaktadır. Değişken dalgacık yöntemi ve korelasyon yöntemlerinin kullanıldığı çalışmanın sonucunda yapılan gözlemler ile meteorolojik modeller arasındaki fark bulunarak bu sonuçlar asimilasyon işlemleri sırasında kullanılmıştır (Bosy ve diğ., 2009).

Meteorolojik değişkenlerin birer parametre olarak seçildiği ve yağış, rüzgâr hız ve yönü ile sıcaklık verisi kullanılan çalışmada ise olasılık tabloları, beceri skorları ve rüzgâr veri grubu için saçılım diyagramı testleri kullanılarak Kolombiya dağlarında bulunan bir kayak merkezi ile bir geçidin meteorolojik parametreleri doğrulama işlemine tabi tutulmuştur. Her iki bölge için de farklı çözünürlüklerin kullanıldığı modellerin ürettiği veriler ile gözlemlenen verilerin oldukça tutarlı olduğu görülmüştür (Roeger ve diğ., 2001).

Doğrulama sistemi dizayn edilmeden önce, doğrulamanın amacı belirlenmelidir çünkü amaç sistemin dizaynında anahtar rol oynar.

Meteorolojide doğrulama aktiviteleri iki temel amaç kapsamında yürütülmektedir:

- 1) İdari: Doğrulamanın yönetsel amaçlarla kullanımı; bir hava tahmin kuruluşunun süper bilgisayarlar gibi meteorolojik donanımları yenileme zamanı, yaptığı tahminlerin tutarlılığı, ürettiği verinin kalitesi, tahmin sisteminin yenisiyle değiştirilme zamanı hakkında bilgi vermektedir. Ayrıca iyileştirme ihtiyacının olduğu öngörü parametrelerini de göstermesi açısından önemlidir.
- 2) Bilimsel: Doğrulamanın bilimsel kullanımı öngörünün gelişimini sağlamak amaçlı yapılan çalışmalardır.

3.1 Doğrulama Modeli

Doğrulama işlemlerinin geneli, seçilmiş belirli bir gözlem ve gözlem periyodunu kapsayan zamana ait öngörülerle başlar. Veri seçimi tamamlandıktan sonra sıradaki adımsa doğrulamanın idari veya bilimsel amaçla yapılması gerektiğine karar verme aşamasıdır. Bu adım da tamamlandıktan sonra doğrulama için gerekli olan tabakalama işlemi yapılır. Tabakalama aşaması eldeki veriyi ihtiyaçlar dâhilinde belirli seçim kuralları ile iki veya daha fazla alt gruba ayırmaya ve doğrulamayı buna göre yapmaya yarar.

Tabakalara ayırmanın da kendi içerisinde çeşitleri vardır. Bunlardan birisi olan harici tabakalama işleminde, doğrulanan elementten bağımsız olarak koşullar seçilir. Harici tabakalandırmaya örnek olarak, günlük veya mevsimsel bazda yapılan doğrulama işlemleri gösterilebilir. İkinci olarak, dâhili tabakalama yönteminden bahsedilir. Bu yöntemde kategorizasyon kuralları, doğrulamanın amacına yöneliktir ve yine doğrulama yapılan elementler kullanılır.

Dâhili tabakalama yöntemi de kendi içinde ikiye ayrılmaktadır. Bunlardan birisi gözlemlere göre tabakalara ayırmadır ve bu yöntemde kategoriler hava bileşeninin gözlemlerine bağlı kalarak belirlenir. Diğer yöntem, öngörüye bağlı tabakalama işlemidir ve bu yöntemde ise kategoriler öngörülen hava bileşenlerine bağlı olarak belirlenir.

Tek bir doğrulama yöntemi kullanılarak, ürün kalitesi hakkında yeterli bilgi sağlanamaz. Bir doğrulama yöntemi çoğunlukla sınırlı sayıda ölçüme dair bilgi vermektedir. Doğrulama yöntemleri şu şekilde sıralanır:

Doğruluk: Bu terim, yapılan ölçümler ile elde edilmiş öngörü arasındaki kabul edilebilirlik seviyesinin ölçüsüdür. Bu iki parametre arasındaki farka “hata” denilmektedir. Hata ne kadar küçük olursa, doğruluk o kadar büyük olmaktadır.

Beceri: Bağlı doğruluk olarak da adlandırılan bu yöntemde, bir öngörünün doğruluğu önceden belirli standartlara göre tespit edilmiş öngörü doğruluklarıyla ilişkilidir.

Güvenilirlik: Sapma olarak da anılan bu özellik, öngörülüş bir bileşenin, gözlemlenmiş olan bileşenden farkını göstermektedir.

Çözünürlük: Bu özellik, örnek olay gruplarının farklı frekans dağılımları ile alt gruplara çözülmesidir. Çözünürlük, öngörü tarafından katmanlanan tahminlerin standart sapma ve varyansı ile ilişkilendirilir.

Keskinlik: Bu özellik tek başına, öngörülerin ekstrem değerleri tahmin etme yatkınlığını gösterir.

Belirsizlik: Doğrulama örneğindeki gözlemlerin, öngörülere bağlı kalmaksızın elde edilen varyansdır.

3.2 Yaygın Olarak Kullanılan Doğrulama Yöntemleri

3.2.1 Saçılma diyagramları

Bu yöntem belki de en basit doğrulama yöntemlerinden birisidir. Bu yöntemin uygulanması tahmin edilen ve gözlemlenen sıcaklık, rüzgâr gibi verilerin aynı diyagram üzerinde çizdirilmesiyle elde edilir. Ordinat ve apsisin aynı ölçekte olması, öngörü = gözlem olan 45° çizgisinin düz olması için gereklidir. Bu yöntemi kullanma şekli örneklenecek olursa, elde bulunan bir tahmin ve bu tahminin sıfırinci ile otuz altıncı saat gözlem sonuçları incelenirken; iki gözlem saçılma diyagramında çizdirilerek, tahminin güvenilirlik ve bunun gibi parametreleri hakkında fikir sahibi olunabilir.

3.2.2 Yanlılık veya ortalama (sayısal) hata

Sapma; gözlenmiş verilerden, ortalama hatanın ne kadar saptığını gösterir. Ancak hatanın büyüklüğü hakkında fikir vermez. Pozitif sapma değerleri, yapılan tahminin ölçülenden fazla olduğunu; negatif sapma değerleri ise tahmin edilen değişkenin ölçülenden az olduğunu gösterir. Aşağıda (3.1) gösterilmiş olan yanlılık formülünde; N seri sayısına, F_i “i”nci tahmine, O_i ise aynı sıradaki gözleme karşılık gelmektedir.

$$Yanlılık = \frac{1}{N} [\sum_{i=1}^N (F_i - O_i)] \quad (3.1)$$

Bir örnekle açıklanacak olursa;

Tahmin verileri: 4, 4.9, 5.6, 5.9, 5.9

Gözlem verileri: 4.2, 7.2, 4.6, 4.7, 5

$(F_i - O_i)$: 0.2, -2.3, 1, 1.2, 0.9

Yanlılık= 0.2 m/s

Yanlılık testi sonucu bulunan değer ne kadar büyük olursa eğilim o kadar büyüktür demektir. Yanlılık testi tek başına bir doğrulama yöntemi olarak kullanılmamaktadır. Çünkü bu yöntemde hatanın büyüklüğü hakkında bilgi sahibi olunamaz.

Yanlılık yönteminin kullanıldığı örnek çalışmalardan biri, Avustralya’da düzenlenen Amerika Kupası isimli tekne yarışları sırasında rüzgârda meydana gelen ani değişimleri tahmin amacıyla yapılmıştır. Rüzgâr hızı ve yönündeki ani değişimler, yarışlar sırasında sonuca etki eden en önemli faktörlerin başında gelmektedir. Bu sebeple, meteorolojik model sonuçları ile istasyonlarda yapılan gözlemlerin doğrulanması ve yarıştan önce yarışçılara doğru rüzgâr tahmininin iletilmesi büyük önem arz etmiştir. Bu sebeple, bölgede yanlılık ve ortalama mutlak hatanın doğrulama yöntemi olarak kullanıldığı, toplamda dokuz adet yüksek çözünürlüklü atmosferik model çalıştırılmıştır. İncelemeler sonucunda modellerin hem yön hem de şiddet tahminlerinin ölçülenlerle yakın olduğu gözlemlenmiştir. Şiddet tahmininde hafif rüzgârlar olağandan daha şiddetli, şiddetli rüzgârlar ise

ölçülenden daha hafif tahmin edilmiştir. Yön tahmininde ise modeller, yörenin hâkim rüzgârı olan doğu – kuzeydoğulu rüzgârlar ile ikincil hâkim rüzgâr olan batılı rüzgârların tahmini konusunda ölçülen değerlerden sapmalar göstermiştir (Katzfey ve diğ., 2009).

ECMWF verileri kullanılarak model çalıştırılıp elde edilen sonuçların HIRLAM modeli ile daha küçük alanlara indirgenmesinin test edildiği çalışmada, yanlılık testi uygulanmış ve bu testin sonuçlarına göre ECMWF başlangıç verilerine sahip modelin HIRLAM kullanılarak daha küçük alanlara indirgenmesinin kısa vadede anlamlı sonuçlar vermediği görülmüştür (Feddersen ve Sattler, 2002).

3.2.3 Ortalama mutlak hata

Ortalama mutlak hata yöntemi; tahmin edilen değerlerin, ölçülen değerlerden farkının mutlak değerleri toplamının, toplam eleman sayısına bölünmesi ile bulunan yöntemdir. Mutlak ortalama hatayı minimize etmek için ortanca değer kullanılabilir, fakat ortalama değer in hesaplamalara alınması işleme müdahale etmek anlamına gelecek ve sonucun değişmesine yol açacağı için yöntem bir öngörü olmaktan çıkacaktır.

$$OMH = \frac{1}{N} [\sum_{i=1}^N |F_i - O_i|] \quad (3.2)$$

Buradaki formülde (3.2) değişkenler, tıpkı yanlılık testinde olduğu gibi aynı terimlere karşılık gelmektedir. Ortalama mutlak hata, hatanın ortalama büyüklüğünü veren lineer bir hesaplamadır. Ancak bu yöntemle sapmanın yönü hakkında bir fikir sahibi olunamaz.

Ortalama mutlak hatanın kullanıldığı çalışmada rüzgar hızlarının türbin yüksekliğinde tahmin edildiği durumdaki sonuçlar bulunmuştur. Ortalama mutlak hata ile diğer doğrulama elemanları da kullanılmış ve tahmin performansının genel olarak gerçekleşen değerlerle uyumlu olduğu görülmüştür (Zelle ve diğ., 2011). Bir diğer çalışmada ise Norveç'te bulunan çeşitli havalimanlarındaki türbülans ve rüzgâr şiddetinin tahmini konusu ele alınmıştır. HIRLAM ve SIMRA modellerinin kullanıldığı çalışmada, yararlanılan doğrulama yöntemlerinden birisi de ortalama mutlak hatadır ve doğrulama yöntemlerine göre, yuvalanmış alanlarla çalışırken, SIMRA modelinin diğer büyük ölçekli modellere oranla daha iyi sonuçlar verdiği anlaşılmıştır (Midtbø ve diğ., 2008).

Denklem (3.1)'in örneklendiği veriler kullanılarak ortalama mutlak hata formülü için bir örnek sonuç aşağıdaki şekilde elde edilebilir:

$$(F_i - O_i): \quad 0.2, -2.3, 1, 1.2, 0.9$$

$$|F_i - O_i|: \quad 0.2, 2.3, 1, 1.2, 0.9$$

$$OMH = 1.12 \text{ m/s}$$

Ortalama Mutlak Hata bir Yetenek Hesabı Formülünde de kullanılabilir. Bu yöntemle lineer bir sonuca dayandırılan kesintisiz girdilerin yetenekleri hakkında bilgi sahibi olunmaktadır. Yetenek eşitliğinin formülünde önceki değişkenlere ek olarak klimatoloji sabiti gibi bir kontrol elemanına sahip olan tahmini ifade eden F_{ci} elemanı eklenmiştir.

$$Tahmin Yeteneği = \frac{\sum_{i=1}^N |F_{ci} - O_i| - \sum_{i=1}^N |F_i - O_i|}{\sum_{i=1}^N |F_{ci} - O_i|} \quad (3.3)$$

3.2.4 Ortalama karekök hata

Bu yöntem, ikinci dereceden bir hatanın kareköküne dayandırılmış sonuç elde etme yöntemidir. Tıpkı ortalama mutlak hata yöntemi gibi, bu yöntem de sapmanın yönü hakkında bilgi vermez. Bu yöntem, ortalama mutlak hatayla kıyaslandığında büyük hataları daha belirgin bir şekilde belli eder ve daha çok büyük hatalar bulunmuyorken kullanılır. Yöntemin büyük hatalara olan bu hassaslığı, küçük veri örnekleri kullanıldığı zaman işe yaramamaktadır. Diğer ikinci dereceden yöntemler gibi bu yöntem de klimatolojik ortalamaya yakın öngörülerini desteklemektedir. Eğer ekstrem durumlar daha az tahmin edilmişse, bu durumda büyük hataların frekansları azaltılacak ve ortalama karekök hata azaltılmış olacaktır.

$$Ortalama Karekök Hata = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.4)$$

Denklem (3.1)'in örneklendiği veriler kullanılarak ortalama karekök hata için sonuçlar aşağıdaki şekilde elde edilebilir:

$$(F_i - O_i): \quad 0.2, -2.3, 1, 1.2, 0.9$$

$$(F_i - O_i)^2: \quad 0.04, 5.29, 1, 1.44, 0.81$$

$$OKH = 1.716 \text{ m/s}$$

İspanya'nın kuzey kesimlerinde gözlemlenen çok kuvvetli rüzgârlar ve özellikle 23 – 25 Ocak 2009'da Barselona'da bir spor salonu çatısının çökmesine sebep olan olağanüstü hadiselerle benzerlik gösteren durumların oluşma olasılığı çeşitli doğrulama yöntemleri ile belirlenmeye çalışılmıştır.

Analizde kullanılan veriler; AEMET'in(İspanyol Meteoroloji Ajansı) yaklaşık 340 istasyonundan alınan verilerle birlikte, HIRLAM modelinin çıktıları da ayrıca Barselona havalimanındaki gözlemlerle karşılaştırılmıştır.

Çalışmada HIRLAM modelinin 7.1 sürümü kullanılmıştır. Doğrulama işlemi için AEMET gözlem ağını kullanabilmek amaçlı birkaç değişiklik yapılarak HARMONIE/HIRLAM doğrulama tekniği oluşturulmuştur. Bu teknik dâhilinde ortalama karekök hata ve sapma yöntemleri kullanılmıştır.

10 metrede ölçülen ve tahmin edilen veriler grafik üzerinde karşılaştırıldığında, modelin gözlemlenen değerlerden yaklaşık olarak 0,5 ile 1 m/s arasında değişen oranlarda daha fazla tahmin elde ettiği görülmüştür.

TKE (Türbülanslı Kinetik Enerji) yöntemi, 15 m/s'den küçük hamleler için iyi tahmin yaparken, daha büyük değerlerde sapmalar oluşmuştur.

Genel olarak hamlelerin gelişim süreci tutarlı şekilde modellenmiş ancak 30 m/s'den büyük değerler dikkate alınmamıştır (Calvo ve Morales, 2009).

Denizsel rüzgârların tahmin edilme performansının, iki adet model ile (ECMWF ve WRF) karşılaştırıldığı çalışmada doğrulama yöntemi olarak OKH ve Yanlılık testleri uygulanmıştır. Doğrulama yapılan veri setleri ise QUICKSAT uydu görüntülerinden alınan 10 metre yükseklikteki günlük rüzgâr şiddeti ortalamalarıdır. Gözlem verileri ile tahmin verileri her iki model için incelenmiş ve iki yöneme göre teste tabi tutulmuştur. Testler sonucunda WRF modeli sonuçlarının gerçekleşenlerle çok yakın olduğu anlaşılmıştır (Kwun ve diğ., 2009).

Yüksek çözünürlüklü modellerin kullanılmasının model sonuçlarındaki etkisini araştırmak amacıyla yapılan çalışmada karışık yapıdaki arazi üzerinde 30 ve 3,3 km çözünürlüğe sahip MM5 modeli çalıştırılmıştır. Bulunan sonuçlar OKH ile incelendiğinde çözünürlüğü artırmanın model sonuçlarında pozitif etki yarattığı

ancak zamanlama sorunu gibi sorunlar ortaya çıkardığı görülmüştür (Rife ve Davis, 2005).

3.2.5 Değişkenlik katsayısı

Değişim azaltma, klimatolojik değerler ile ortalama karekök hatayı karşılaştıran bir beceri ölçümüdür.

Değişim azaltma +1 ile – sonsuz arasında değerler almaktadır. Negatif değerler, iklim ortalamasının tahminlerden daha iyi bir öngörüye sahip olduğunu gösterirken, pozitif değerlerde ise tam tersi durum geçerlidir. Eğer örnek grubu az sayıda elemana sahip ise burada artan hata sebebiyle negatif değerler çıkması daha olasıdır. Eğer değer +1 ise tahminde hata yok demektir ve tahminler ile gözlem değerleri birbirine eşittir. Eğer değer 0'a eşit ise tahmin iklim ortalamasından daha iyi değildir.

$$DK = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (F_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (M - O_i)^2} \right] = \frac{MSE_c - MSE}{MSE_c} \quad (3.5)$$

Formülde(3.5) görülen F_i ve O_i aynı değişkenlere karşılık gelmektedir. Diğer formüllerden farklı olarak M değişkeni, kullanılan veri setindeki ortalama veya iklim ortalaması olarak; MSE_c iklime bağlı kalmak şartı ile ortalama karekök hata; MSE ise tahminin ortalama karekök hatasını göstermektedir.

3.2.6 Olasılık tabloları

Olasılık tabloları ile tahmin edilen ve gözlemlenen hava olayları hakkında faydalı bilgiler elde edilebilir. Tek başına bir olasılık tablosu, doğrulama yöntemini temsil edemese de faydalı sonuçlar elde edilebilir. Bir olasılık tablosu, bir saçılım diyagramı benzer sonuçlar verir.

3.2.6.1 Doğru tahmin yüzdesi

Doğru tahmin yüzdesi çapraz elementlerin toplamının, toplam olay sayısına bölümüyle elde edilir.

$$DTY = \frac{a+e+i}{T} \times 100 \quad (3.6)$$

Burada a, e ve i her kategorideki doğru tahmin sayısı, T ise toplam tahmin sayısına karşılık gelmektedir.

Olasılık tablosu verileri ileride yapılması muhtemel çalışmalar için saklanmalıdır. Bilimsel amaçlı doğrulama işlemleri için gözlem ve öngörü verisinin ham hâli bir arada saklanmalıdır ki ileride bir çalışma yapıldığı zaman o andaki istenenlere bağlı olarak doğrulama işlemi yapılabilsin. İdari amaçlı doğrulama işleminde ise sadece son olasılık tablosunun kaydedilmesi gerekmektedir. Ancak bu durumda ileride yapılacak bir çalışmada en baştan itibaren doğrulama mümkün olmayacaktır (Stanski ve diğ, 1989).

Avustralya’da son yıllarda yaşanan orman yangınlarının şiddetinin artırması ve yön değiştirmesi gibi olaylara sebebiyet veren rüzgâr değişimlerinin görülme sıklığı artmıştır. Bu değişimleri gözlemek amacı ile METAR, SPECI ve Avustralya Meteorolojik Veri Arşivi’nden sağlanan veriler ile nümerik model çıktıları (MESO – LAPS05) arasında doğrulama işlemi yapılmıştır.

Yapılan çalışmada doğrulama yöntemi olarak olasılık tabloları yöntemi kullanılmıştır. Toplamda yedi istasyon verisi ve yaklaşık olarak altı yıllık periyottaki veriler kullanılarak doğrulama işlemi yapılmıştır. Yılda yaklaşık olarak yetmiş beş adet rüzgâr değişimi gözlenmiş ve nümerik hava tahmin modelleri tarafından da yaklaşık sayıda rüzgâr değişimi bulunmuştur (Huang ve diğ, 2008).

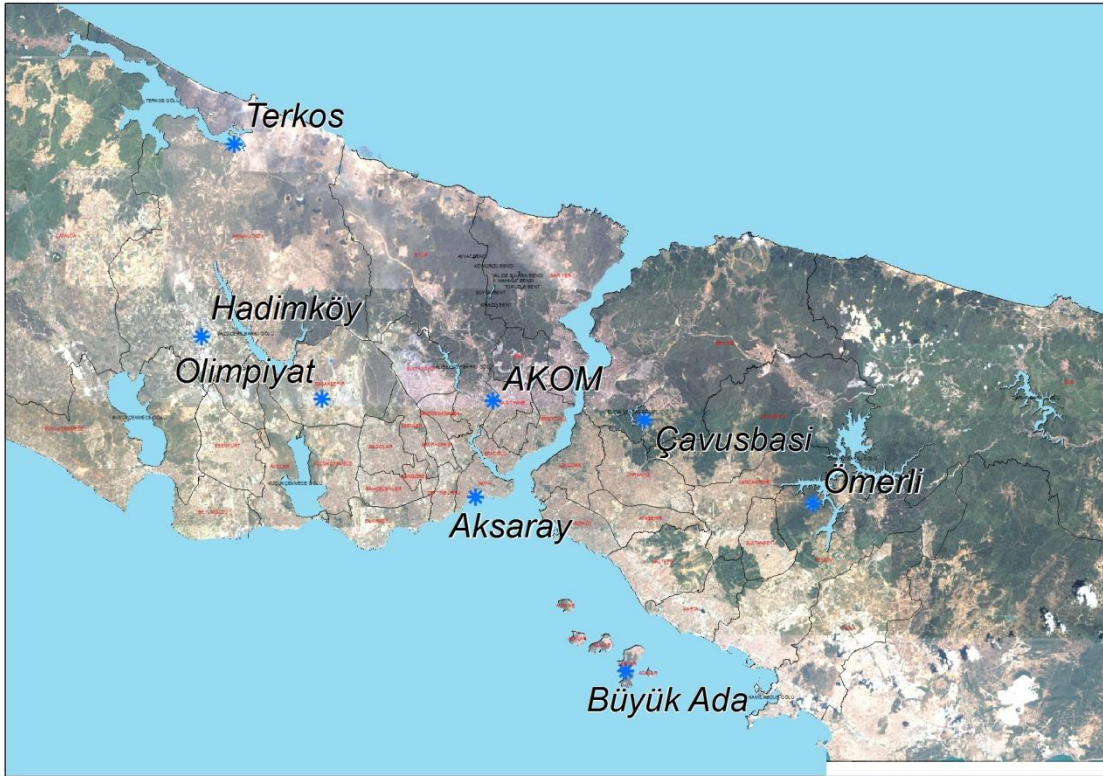
4. VERİ

Bu çalışma yapılırken WRF modeli için kullanılan veriler, ECMWF'in ERA-Interim başlangıç verileridir. Veriler indirildikten sonra WRF programı için dörder günlük aralıklarla; ilk gün analiz, takip eden üç gün ise öngörü verisi olmak üzere model çalıştırılmıştır. ERA-Interim, Avrupa Orta Ölçekli Hava Tahmin Merkezi (ECMWF) tarafından üretilmiş olan son küresel ölçekli atmosferik analizdir. ERA-Interim, 1 Ocak 1989'dan 31 Ocak 2013'e kadar olan zamanı kapsamakta ve geleceğe yönelik olarak genişletilebilmektedir. Gridlenmiş veri ürünleri; çok çeşitli üçer saatlik yüzey parametreleri, okyanus – dalga ile kara – deniz etkileşimleri ve troposfer ile stratosfer koşullarını da içeren altışar saatlik üst atmosfer koşullarını kapsamaktadır (Dee ve diğ., 2011).

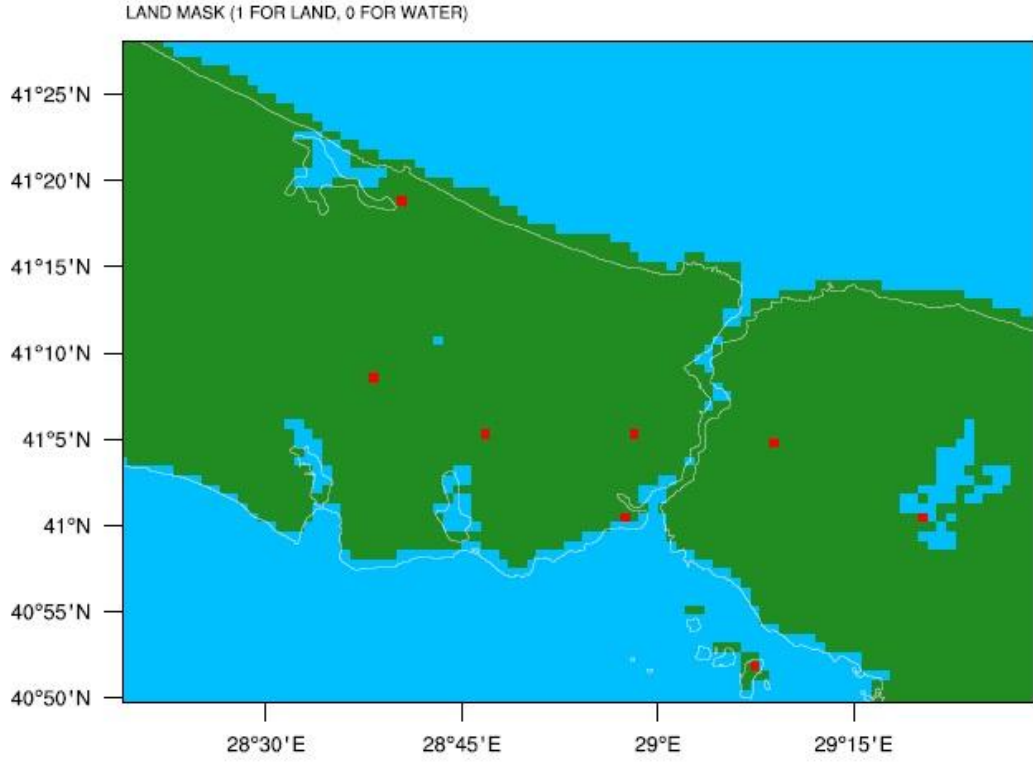
Bu çalışmada tahmin yapılan günler için modelin ürettiği yüzey rüzgârlarını karşılaştırmak amacıyla, İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Afet Koordinasyon Merkezi'nin (AKOM) sahip olduğu AWOS'lara (Automated Weather Observing System) ait, sensörleri Dünya Meteoroloji Örgütü'nün (WMO) kabul ettiği hassaslıkta ölçüm yapabilen; 10 metrede ölçülmüş olan rüzgâr hız ve yön sensörlerinden elde edilmiş dakikalık veriler kullanılmıştır. AKOM bünyesinde ölçüm yapan istasyonların üç tanesi Anadolu yakasında, yedi tanesi ise Avrupa yakasındadır ve toplamda on adet belirtilen hassaslıkta ölçüm yapabilen istasyon bulunmaktadır. Ancak, Kâmiloba ve Çanta istasyonları model simülasyon alanının dışında kaldığından, bu istasyon verileri karşılaştırmalarda kullanılamamıştır. Diğer istasyonların listesi, koordinat ve yükseklikleri Çizelge 4.1'de, istasyonların İstanbul haritası üzerindeki dağılımı Şekil 4.1'de verilmiştir.

Çizelge4.1 : Otomatik Meteoroloji İstasyonları ve Koordinatları.

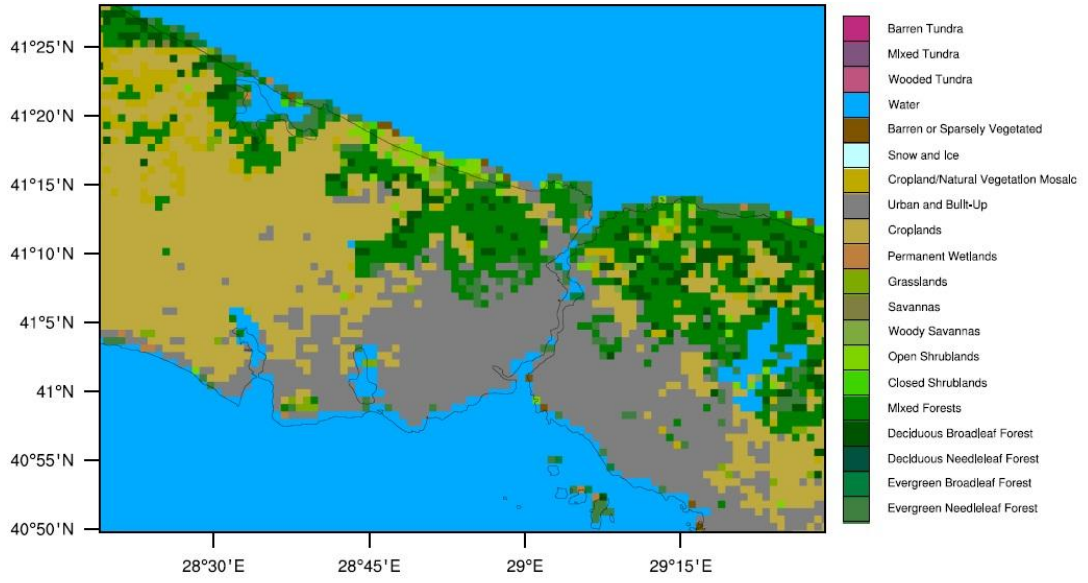
İstasyon Adı	Koordinat	Yükseklik(m)
AKOM	41° 5' 7,37" K, 28° 57' 43,10" D	88
Aksaray	41° 0' 7,07" K, 28° 56' 36,00" D	4
Büyükada	40° 51' 9,90" K, 29° 7' 4,09" D	188
Çavuşbaşı	41° 04' 33,92" K, 29° 08' 11,81" D	137
Hadımköy	41° 8' 17,74" K, 28° 37' 26,25" D	183
Olimpiyat	41° 5' 5,70" K, 28° 45' 58,30" D	100
Ömerli	40° 59' 57,42" K, 29° 19' 47,15" D	153
Terkos	41° 18' 15,81" K, 28° 39' 31,19" D	4



Şekil 4.1 : Otomatik Meteoroloji İstasyonları.



Şekil 4.2 : Modelin Tahmin Noktaları.



Şekil 4.3: Modelin Yeryüzü Şekilleri.



Şekil 4.4:Model Bölgesi.(<http://sehirrehberi.ibb.gov.tr/map.aspx>)

Şekil 4.2’de modelin kurulumu tamamlanmış ve en içteki çalışma alanı üzerinde, istasyon noktalarına en yakın grid noktaları gösterilmiştir. Bu şekilde gösterilen grid noktaları ile Şekil 4.1’de İstanbul haritası üzerinde gösterilen istasyon noktaları arasındaki fark küçüktür. Bu nedenle istasyon verileri ile model çıktıları arasındaki karşılaştırmalarda, alansal interpolasyon yapmak yerine modelin temsil ettiği istasyona en yakın olan grid noktası değerleri kullanılmıştır. Örneğin, Büyükaada, Hadımköy gibi şehir ve yapılaşma etkisinden uzak istasyonların bulunduğu grid noktaları gerçeğe uygun şekilde tanımlanmıştır. Bu uygunluk, modelin bu noktalardaki rüzgâr tahminlerinin şehirsellik ve rüzgârı bozucu etkenlerden en az seviyede etkileneceği anlamına gelmektedir. Şehirleşme etkisinde kalan istasyonların grid noktası olarak, Aksaray istasyonu hariç gerçek koordinatına yakın temsil edildiği görülmüştür. Aksaray istasyonunun ise gerçek lokasyonundan biraz daha uzakta temsil edildiği görülmektedir.

Şekil 4.3’te,MODIS arazi kullanım verisinin modelin en iç alanı için temsil yeteneğini gösteren arazi kullanım haritası verilmektedir. MODIS uydusu, Terra

MODIS ve Aqua MODIS uydularından oluşmakta ve bu iki uydu birisi kuzeyden güneye sabah saatlerinde, diğeri ise güneyden kuzeye öğleden sonra olacak şekilde geçiş yapmaktadır. Bu iki uydu, her iki günde bir Dünya'nın yüzeyini toplamda 36 spektral bantta taramaktadırlar. Elde edilen veriler ile, karalar üzerindeki global dinamikleri, okyanuslardaki değişimi ve aşağı atmosferde meydana gelen değişiklikleri izlememiz mümkün olmaktadır. Şekil 4.3'te görülen MODIS'in arazi kullanımına dair taraması sonucu çıkarılmış haritadır. Bu işlem için MODIS'in 1 – 7. bantları kullanılmış ve bu bantlar için teknik olarak verilen çözünürlük ise 1 ve 2. bant için 250 m, 3 – 7. bantlar için ise 500 m'dir [Url-3, 2013]. MODIS'ten elde edilen arazi kullanım haritası ile İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin sitesinden alınmış olan ve Şekil 4.4'te görülen harita karşılaştırıldığında İstanbul ilinin güneyindeki şehirleşmenin ve kuzeyde Karadeniz'e yakın bölgelerde bulunan orman alanlarının doğru bir şekilde modellendiği görülmektedir. Yine aynı şekilde Büyükçekmece Gölü'nün kuzeyinde kalan tarım arazileri ile Ömerli Baraj Gölü'nün kuzeyinde bulunan tarım arazileri de doğru bir şekilde temsil edilmiştir. İstanbul'un doğal ve büyük su kaynakları olan göllerin modelde doğru bir şekilde ve yerinde temsil edildiği anlaşılmaktadır. Şehir içinde kalan bölgeler incelendiğinde ise; özellikle Sarıyer civarında bulunan Belgrad Ormanı, Kilyos bölgesindeki yapılaşma, Anadolu Yakası'nın kuzeyinde bulunan ve yapılaşmanın az, ormanlık alanın çok olduğu denize yakın bölgelerin iyi bir şekilde temsil edildiği görülmüştür. Ek olarak, Avrupa Yakası'nda Karadeniz sahiline yakın bölgelerde bulunan ve eskiden taş ocakları olarak kullanılan, şu anda ise küçük göletlerin bulunduğu ve tarıma elverişli olmayan alanların ve Avrupa Yakası Marmara Denizi sahil kesimindeki yapılaşmanın da başarılı bir şekilde modele aktarıldığı görülmüştür. Bütün bu olumlu noktalara rağmen, boğaz ve çevresinin arazi kullanımında temsil edilme katsayısının düşük olduğu gözlemlenmiştir. Boğaz hattının, bir bütün su yolu olarak temsil edilemediği açık bir şekilde görülmektedir. Aslında model, boğaz hattındaki yükseltiyi "0" metre olarak algılamakta, ancak o bölgedeki su varlığını temsil edememektedir. Boğazın doğru bir şekilde temsil edilemiyor oluşu, özellikle boğaz hattında meydana gelen rüzgârların simülasyonunda hatalı sonuçlar üretilmesine sebep olabilir. Aynı şekilde, boğaz temsilinde yaşanan sıkıntının bir benzeri de, Aksaray istasyonu için de geçerlidir. Aksaray istasyonu, deniz seviyesinde ve denize 30 metrelik bir konumdadır. Bu

sebeple Aksaray istasyonu için elde edilen simülasyon sonuçlarında deniz – kara etkileşiminden kaynaklı olumsuz sonuçlar görülmesi ihtimali bulunmaktadır. Bahsedilen olumsuz etkilere rağmen, modelde kullanılan arazi modellemesinin gerçeğe çok yakın yapıldığı sonucu çıkarılmaktadır.

Ölçüm yapan istasyonların tamamına yakını; kurulum aşamasında çevresel faktörler dikkate alınarak yol, yerleşim alanı gibi etkenlerden izole olacak şekilde tasarlanmış ve montajı yapılmıştır. İstasyonlardan gelen veriler dakikalık verilerdir ve bunların içerisinde gerekli olan saat başlarındaki anlık veriler karşılaştırmalarda kullanılmıştır. Çıkarılmış olan bu veriler, analiz edilerek WRF modeli aracılığıyla üretilmiş olan saat başı verileri ile karşılaştırılmış ve doğrulama testlerine tabi tutulmuştur.

4.1. İstasyonlar ve Veriler

Çalışmada verileri kullanılan istasyonların yerleri ve çevre koşulları hakkındaki bilgiler aşağıda anlatılmıştır:

- **AKOM istasyonu**, Nurtepe – Kâğıthane’de bulunan İSKİ Genel Müdürlüğü’nün bahçesinde bulunmaktadır. Yaklaşık olarak 70 metre batısından E5 – TEM bağlantı yolu geçmesine rağmen istasyon yoldaki koşullardan etkilenmemektedir. İstasyon çevresinde yüksek bina ile ağaçlar bulunmakta ve rüzgâr verileri de bunun etkisinde kalmaktadır. Özellikle kuzeydoğu ve güneyli rüzgârlar perdeleme etkisinde kalmakta ve rüzgar şiddeti de bu etkenler dolayısıyla türbülans, hız azalması gibi etkiler sebebiyle gerçek değerlerden sapmalar göstermektedir.
- **Aksaray istasyonu**, Yenikapı’da İDO İskelesi’nin karşısında bulunan Sivil Savunma Binası’nın bahçesinde bulunmaktadır. İstasyon deniz seviyesinde sayılabilir. Sahil ile istasyon arasında sadece sahil yolu bulunmakta ve istasyon yoldan yaklaşık iki metre yukarıda olmakla birlikte, yol koşulları istasyonu etkilememektedir. İstasyon çevresinde tek katlı binalar ve ağaçlardan başka perdeleyici bir yapı bulunmamaktadır.
- **Büyükada istasyonu**, Büyükada’nın en yüksek noktasında, Aya Yorgi Kilisesi ve televizyon vericilerinin yaklaşık olarak yüz metre kuzeyinde bulunmaktadır. İstasyonun çevresinde, istasyon işletmeye alındıktan sonra inşa edilmiş yüksek

bir yapı bulunmaktadır. Bu yapı özellikle güneydoğulu rüzgârlar kaydedilirken bir perdelemeye sebep olabilmektedir. Ayrıca istasyonun bulunduğu noktada, cep telefonu şebekesinin sinyal gücü zayıf olduğundan, verilerde iletişim şebekesi kaynaklı eksiklikler bulunmaktadır.

- **Çavuşbaşı istasyonu,** daha önce Çavuşbaşı Belediyesi'ne ait olan binanın arka bahçesindeki tepecik üzerine kurulmuştur. İstasyonun verilerini etkileyecek derecede yüksek yapı bulunmamaktadır.
- **Hadımköy istasyonu,** TEM karayolu Hadımköy gişelerinden Hadımköy merkeze giden yol üstünde bulunan büyük kavşağın ortasında yer almaktadır. İstasyon, tarlaların ortasına kurulmuştur ve veri kalitesini engelleyici herhangi bir yapı bulunmamaktadır. Ancak istasyonda zaman zaman enerji sıkıntısı meydana gelmekte ve bu sebeple eksik veri bulunmaktadır.
- **Olimpiyat istasyonu,** Olimpiyat Stadı'nın kuzeyinde bulunan İSKİ'ye ait arıtma tesisinin bahçesinde bulunmaktadır. İstasyonun çevresinde herhangi bir yüksek yapı ve veri kalitesini etkileyecek etmen bulunmamaktadır.
- **Ömerli istasyonu,** Paşaköy yakınlarında bulunan İSKİ'ye ait Ömerli Barajı kenarında bulunan arıtma tesisinin bahçesinde yer almaktadır. İstasyon açık ve rüzgâr verilerini etkileyebilecek yakınlıkta binalardan uzak bir bölgede kurulmuştur.
- **Terkos istasyonu,** Terkos Gölü kenarında bulunan İSKİ Arıtma Tesisinin içerisinde ve baraj gölüne sıfır kotta bulunmaktadır. İstasyonu perdeleyebilecek veya etkisi altına alacak herhangi bir yapılaşma yoktur.

İstasyonların genelinde, 2007 yılı Aralık ayının ilk yarısı ile 2010 yılının Ocak ayının büyük kısmındaki verilerde eksiklikler bulunmaktadır.

Çizelge4.2'de istasyon verilerinden derlenmiş olan ve 2005 – 2011 yıllarını kapsayan periyoda ait ortalama rüzgâr şiddeti değerleri, standart sapma değerleri ve rüzgârların esme sayıları görülmektedir.

Çizelge4.2 : 2005 – 2011 Yılları Saatlik Rüzgâr Şiddeti Ortalaması ve Standart Sapması.

İstasyon	2005-2011 ortalama (m/s)	2005-2011 Std. Sapma (m/s)	2005-2011 Gözlem Sayısı
AKOM	2,44	1,53	25.721
Aksaray	2,70	1,69	29.966
Büyükada	5,98	3,57	19.134
Çavuşbaşı	3,14	2,24	31.306
Hadımköy	5,71	3,04	21.886
Olimpiyat	3,84	2,35	29.833
Ömerli	3,33	2,21	29.744
Terkos	3,41	2,50	30.280

Çizelge4.2'deki verilerde, Hadımköy ve Büyükada istasyonlarının ortalaması diğer istasyonlara göre daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi, istasyonların rüzgâr alan bölgelerde tesis edilmiş olmasıdır. Bununla birlikte, iki istasyonda birden bulunan eksik verilerin de bu sonuca etkisi vardır. Öyle ki, Büyükada istasyonundan uzun süre boyunca sensör arızası, iletişim sorunları gibi sebeplerle veri gelmemiştir. Aynı şekilde, Hadımköy istasyonunda da enerjisiz kalma sebebiyle veri eksiklikleri bulunmakta ve bu iki istasyonun, diğer istasyonlardan yüksek ortalama ve yüksek standart sapmalara sahip olmasının sebebi açıklanabilmektedir. Bunun dışında diğer istasyonlarda, şehir merkezine yakın olan istasyonların ortalaması perdeleme, türbülans gibi etkenlerden dolayı biraz daha düşük, kırsal kesime yakın olan istasyonların ortalaması ise diğer istasyonlara nazaran biraz daha yüksek çıkmıştır.

Çizelge 4.3 : KışMevsimi (Aralık – Ocak – Şubat)Ortalama Rüzgâr Şiddetleri.

İstasyon	Sezon	Ortalama (m/s)	Gözlem Sayısı	İstasyon	Sezon	Ortalama (m/s)	Gözlem Sayısı
AKOM	07 - 08	2,36	1.610	Hadımköy	07 - 08	5,59	1.463
	08 -09	2,38	1.275		09 - 10	6,93	1.398
	09 - 10	3,47	1.376				
Aksaray	07 - 08	2,87	1.627	Olimpiyat	07 - 08	3,77	1.632
	08 - 09	2,65	1.383		08 - 09	3,50	1.335
	09 - 10	3,52	1.380		09 - 10	4,58	1.384
Büyükada	08 O - Şu	6,40	1.115	Ömerli	07 - 08	3,13	1.608
	09 Şub	8,21	125		08 - 09	3,13	1.409
	09 – 10	7,70	1.429		09 - 10	4,91	1.339
Çavuşbaşı	07 - 08	3,03	1.625	Terkos	07 - 08	3,38	1.625
	08 - 09	2,83	1.500		08 - 09	3,81	1.090
	09 - 10	3,73	1.378		09 - 10	4,37	1.386

Çizelge 4.4 : Kış Mevsimi (Aralık – Ocak – Şubat)Rüzgâr Şiddeti Standart Sapmaları.

İstasyon	Sezon	Std. sapma (m/s)	Gözlem Sayısı	İstasyon	Sezon	Std. Sapma (m/s)	Gözlem Sayısı
AKOM	07 - 08	1,51	1.610	Hadımköy	07 - 08	3,15	1.463
	08 -09	1,56	1.275		09 - 10	3,55	1.398
	09 - 10	2,10	1.376				
Aksaray	07 - 08	1,62	1.627	Olimpiyat	07 - 08	2,46	1.632
	08 - 09	1,60	1.383		08 - 09	2,10	1.335
	09 - 10	2,00	1.380		09 - 10	2,53	1.384
Büyükada	08 O - Şu	3,76	1.115	Ömerli	07 - 08	2,15	1.608
	09 Şub	3,25	125		08 - 09	1,96	1.409
	09 – 10	3,59	1.429		09 - 10	3,09	1.339
Çavuşbaşı	07 - 08	2,41	1.625	Terkos	07 - 08	2,64	1.625
	08 - 09	2,01	1.500		08 - 09	2,74	1.090
	09 - 10	2,37	1.378		09 - 10	2,93	1.386

Çizelge4.3 ve 4.4’te, çalışmada kullanılan sekiz adet istasyona ait ve kış aylarında (Aralık – Ocak – Şubat) ölçülmüş olan saatlik rüzgâr şiddetlerinin mevsimsel ortalaması ile aynı sezona ait rüzgâr şiddetlerinin standart sapma değerleri verilmektedir. Bu değerlerin uzun yıllar saatlik gösterimi ise EK A’da ilgili istasyon altında görülebilir. Aynı şekilde gözlem verilerinden elde edilmiş rüzgârgülü sonuçlarına ise EK B’den ulaşılabilir.

Çizelge 4.3'teki veriler incelendiği zaman; şehir merkezinden ve yapılaşmadan daha izole bölgelerde bulunan istasyonlardaki rüzgâr şiddetleri, diğer istasyonlara oranla daha yüksektir. Örneklendirmek gerekirse; Büyükada istasyonu, adanın en yüksek noktasında kurulduğundan, pürüzlülük ve sürtünme gibi etkenlerden en az miktarda etkilenmekte ve bu istasyonda kaydedilen rüzgâr hızları diğer istasyonlardan daha yüksek ölçülmektedir. Büyükada istasyonu için 2007 – 2010 yılları arasındaki hakim rüzgâr yönleri ise 2009 – 2010 kışı hariç kuzeyli rüzgârlardır. Yalnızca 2009 – 2010 kış aylarında rüzgârın hakim bir yönden değil de değişken yönlerden estiği görülmüştür.

Büyükada istasyonu ile çok yakın topografik özelliklere sahip bir bölge olan Hadımköy istasyonunun kurulu olduğu bölge; pürüzlülük, yer seviyesinde sürtünme, türbülans gibi bileşenlerden az etkilendiği için Hadımköy istasyonunda kaydedilen rüzgâr şiddetleri, diğer istasyonlardan daha yüksektir. Tıpkı Büyükada istasyonunda olduğu gibi Hadımköy istasyonunda da hâkim rüzgâr yönü son yıl hariç kuzeydoğulu yönlerdedir. Yalnızca 2009 – 2010 kış aylarında rüzgâr değişken yönlerden esmiştir.

Hadımköy istasyonunu ise sırasıyla Olimpiyat, Terkos, Ömerli, Çavuşbaşı istasyonları takip etmektedir. Bu istasyonlar, topografik yönden son iki sıradaki Aksaray ve AKOM istasyonları kadar çevresel etki altında kalmıyor olsa da yaklaşık olarak 100 – 200 metre aralığında değişen mesafelerde veri kalitesini etkileyebilecek bileşenlerle çevrilidir. Rüzgârın ortalama olarak en şiddetli olduğu istasyonlar haricindeki diğer istasyonlarda da rüzgâr yönü dağılımı Büyükada ve Hadımköy istasyonu rüzgâr yönleri ile örtüşmektedir (EK B).

Rüzgâr şiddetleri en az olan iki istasyon Aksaray ve AKOM'dur. İstasyon topografik özelliklerinde de açıklandığı üzere, bu istasyonların çevresinde çeşitli yüksekliklerdeki yapılar bulunmakta ve bu istasyonların ölçtüğü rüzgâr şiddetleri artan pürüzlülük, sürtünme ve türbülans etkilerinden dolayı düşük değerlerde kalmaktadır.

2009 – 2010 sezonu, diğer sezonlara oranla rüzgârın daha kuvvetli olduğu bir dönem olarak görünmekte, ancak bu tam olarak bilinmemektedir. Çünkü 2010 yılının Ocak ayındaki verilerde, veritabanındaki bir sorun sebebiyle tüm istasyonlar

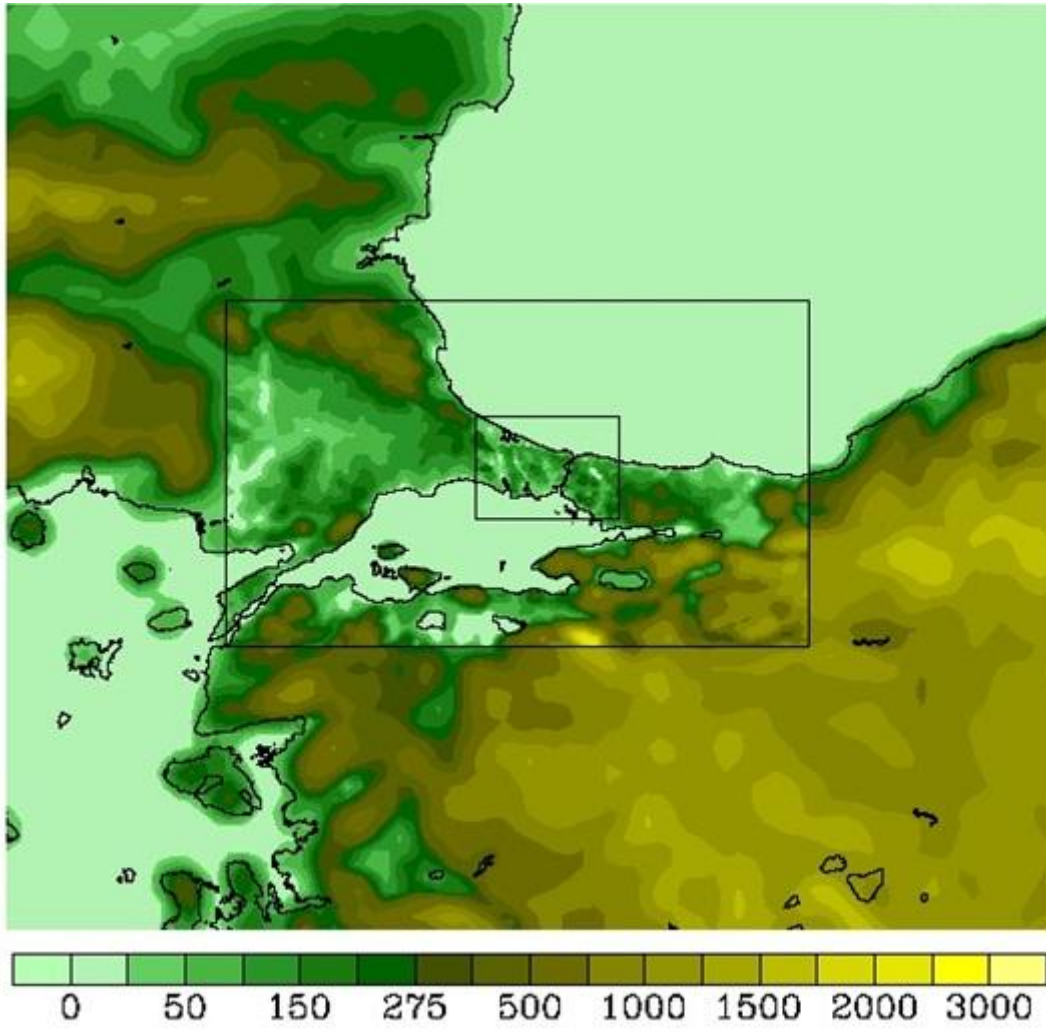
genelinde bir eksiklik bulunmaktadır. Söz konusu ayın yalnızca ilk 3 günü ile ayın 13 ve 14'ünde rüzgâr verisi mevcuttur. Ayrıca gözlemlerin bulunduğu dönem, rüzgâr şiddetinin ortalamanın bir hayli üstünde seyrettiği bir dönemdir ve Ocak ayının rüzgâr verilerindeki yüksek ortalamadan dolayı da mevsimin rüzgâr şiddeti ortalaması, diğer senelerden daha yüksek olarak hesaplanmıştır.

Diğer yılların verisi de incelendiğinde; 2009 – 2010 sezonunda, Ocak dışında kalan aylarda da rüzgâr şiddetinin yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Ancak veri eksikliğinden dolayı mevsim konusunda net bir yargıya varmak mümkün olamamıştır.

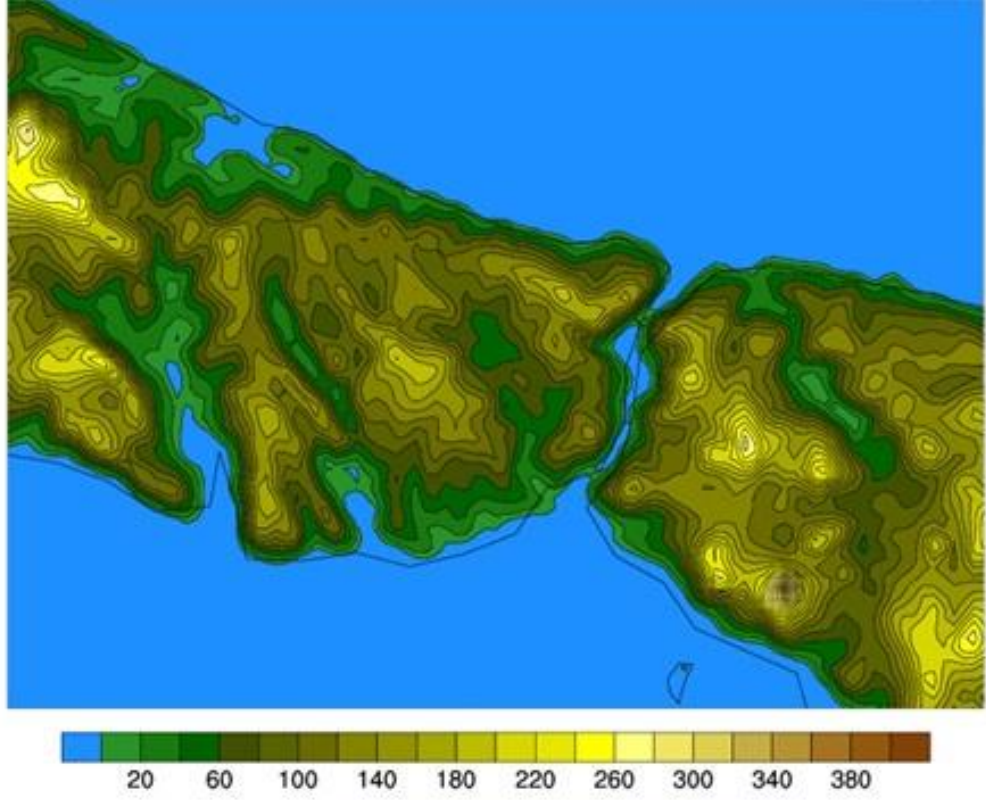
Çizelge 4.4 incelendiğinde; standart sapma değerlerinin de, aynı rüzgâr şiddetlerinde olduğu gibi, pürüzlülük, sürtünme, türbülans benzeri değişkenlere bağlı olduğu anlaşılmaktadır. Standart sapma değerleri, tıpkı rüzgâr şiddetinde olduğu gibi, aynı sırayı takip ederek istasyonlar bazında değişkenlik göstermektedir. Büyükada istasyonundaki standart sapma değerleri en yüksek iken, AKOM istasyonundaki standart sapma değerleri en düşük seviyededir. Bu durumun sebebi, AKOM istasyonu civarındaki yapılar sebebiyle, şiddetli rüzgârların bu bölgede oluşmasının engellenmesi olabilir.

5. DENEY TASARIMI

Çalışmada kullanılan WRF – ARW modeli ECMWF’in 0,5 derece çözünürlüklü başlangıç verilerini temel almıştır. Lambert harita projeksiyonunun kullanıldığı modelde (Şekil 5.1) 3 yuvalı alan kullanılmıştır [Url-4, 2013]. En dışarıdaki alan Trakya ve İç Anadolu bölgesinin bir kısmını kapsayacak şekilde ayarlanmış ve 9 km çözünürlük kullanılmıştır. Ortada kullanılan alan Marmara Bölgesi’ni içine alacak şekilde belirlenmiş ve bu alanda 3 km çözünürlük kullanılmıştır. (Şekil 5.1). 1 km çözünürlük kullanılan en içte bulunan alan ise İstanbul’u içine alacak biçimde dizayn edilmiştir. Ancak simülasyonların deniz – kara etkileşiminden daha az etkilenmesi amacıyla deniz alanlarını en az kapsayacak şekilde ayarlandığından İstanbul’un batı noktaları alan sınırları dışında kalmıştır(Şekil 5.2). Doğu – batı doğrultusunda dıştan içe sırasıyla 82, 136 ve 100 adet grid; kuzey – güney doğrultusunda ise dıştan içe sırasıyla 73, 82 ve 73 adet grid kullanılan modeldeki MODIS coğrafi veri çözünürlüğü en dıştaki alan için 5 dk. ortadaki alan için 2 dk.en içteki alan için 30 saniyedir. Sınır tabaka modeli olarak YSU şeması kullanılmıştır. Bu şemanın kullanılma amacı, sınır tabakanın hemen üst noktasında oluşan sürüklenmeyi çözmesi ve akışı daha iyi temsil edebilmesidir (Skamarock ve diğ., 2008). ERA – Interim başlangıç verilerinin kullanıldığı model, ilk 24 saati analiz, sonraki 72 saatlik veriler tahmin olmak üzere 96’şar saatlik periyotlarla, kış aylarındaki rüzgâr hakkında fikir sahibi olmak amacıyla 2007 – 2008, 2008 – 2009, 2009 – 2010 kış ayları (Aralık – Ocak – Şubat) için çalıştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, NCL kullanılarak sayısal ve görsel olarak ifade edilmiştir [Url-5, 2013]. Yine NCL aracılığı ile aylık bazda her istasyon bölgesi için rüzgârgülleri çizdirilmiştir. Tahmin ve gözlem verilerinden elde edilmiş rüzgârgülleri Ekler bölümünde, Şekil B başlığı altında görülebilir.



Şekil 5.1: Model Çalışma Alanı.



Şekil 5.2: Model çalışma alanı (en iç alan) ve metre cinsinden deniz seviyesinden olan yükseklik.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Üç kış mevsimi için (2007 – 2008, 2008 – 2009, 2009 – 2010) çalıştırılan WRF modeli sonucunda elde edilen rüzgâr şiddeti değerleri ile gözlem verisi değerleri karşılaştırılmıştır. Model sonuçlarına; yanlılık, ortalama mutlak hata (OMH) ve ortalama karekök hata (OKH) testleri uygulanmış ve elde edilen sonuçlar sekiz adet tabloda aşağıda gösterilmiştir.

Ayrıca, modelin simülasyon performansını farklı rüzgâr şiddeti aralıklarında tespit etmek amacıyla olasılık tablosu yöntemi de kullanılmıştır. Olasılık tablolar hazırlanırken veri setleri mevsimlere veya yıllara göre ayrılmayıp, istasyon verileri zaman serileri şeklinde karşılaştırılmıştır.

Test sonuçları incelendiğinde, perdeleme – şehirleşme gibi etkenler gölgesinde kalan istasyonların hata oranları ile çevresel faktörlerden daha az etkilenmesi beklenen istasyonların hata oranlarının birbirinden farklı olduğu görülmüştür. Bu duruma istisnai durum ise Büyükada istasyonunda karşımıza çıkmaktadır. Çevresinde herhangi bir yapılaşma olmayan istasyon için tahmin ile gözlem değerleri arasındaki hatanın düşük olması beklenirken, model topografyası ile gerçek topografyanın tam olarak örtüşmemesinden dolayı Büyükada istasyonunda daha zayıf rüzgâr alanı elde edilmiştir. Bu durum ise hata oranının yükselmesine sebep olmuştur.

Genel olarak bakıldığında, istasyonların geneli için rüzgâr şiddeti hata değerleri bazı istasyonlar hariç çok yüksek değerlere çıkmamış ve modelin çoğunlukla gerçeğe yakın değerler verdiğini kanıtlamıştır.

AKOM istasyonunun Çizelge 6.1’de bulunan analiz sonuçları incelendiğinde, tüm yılların ortalaması olarak “Yanlılık” testi sonuçlarının 0,70 m/s civarında olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar, rüzgâr hızı tahminlerinin bu hata testine göre gerçekleşenden daha yüksek tahmin edildiği anlaşılmaktadır. Ortalama mutlak hata “OMH” testi sonuçlarında ise AKOM istasyonu için tüm yılların ortalama

değerlerinin 1,23 m/s olduğu görülmektedir. Bu değer tahmin – gerçekleşen tutarlılığı açısından fazla olarak görünmektedir ancak, AKOM istasyonunun çevresinde bulunan engelleyici etkenler göz önüne alındığında bu sonucun normal sayılabileceği anlaşılmaktadır. Ortalama karekök hata “OKH” testinin tüm yıllar ortalaması ise 1,51 m/s’dir. Bu değer tıpkı “OMH” testinde olduğu gibi fazla olarak kabul edilebilir. Modelin, gözlenen değerlerden sapmasının fazla olduğuna işaret etmektedir.

Aksaray istasyonunun Çizelge 6.2’de bulunan analiz sonuçlarına göre, “Yanlılık” testinin tüm yıllar için ortalamasının 2,01 m/s olduğu görülmektedir. Buradan çıkan sonuca göre Aksaray istasyonu için modelin tahmin ettiği değerler, gerçekleşen değerlerden daha fazladır. “OMH” testinin tüm yıllar ortalaması 2,29 m/s olarak bulunmuştur. “OKH” testinin tüm yıllar ortalaması ise 2,66 m/s olarak bulunmuştur. Aksaray istasyonunun bütün değerleri AKOM istasyonuna göre daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi, Aksaray istasyonunun denize yakın olması ve rüzgâr akışını engelleyici yapı ve çevresel etkenlerin arasında kalması sebebiyle modelleme açısından zor bir topografyaya sahip olması olabilir.

Büyükada istasyonunun Çizelge 6.3’te bulunan analiz sonuçlarına göre, “Yanlılık” testinin tüm yıllar ortalaması -2,62 m/s bulunmuştur. “OMH” testinin tüm yıllar için ortalaması 3 m/s, “OKH” testinin tüm yıllar için ortalaması ise 3,4 m/s bulunmuştur. Çalışmada kullanılan hata testlerinin bu istasyon koordinatları için bu denli yüksek sonuçlar vermesi tercih edilen bir durum olmamakla birlikte, bu sonucun sebebi istasyonun deniz seviyesinden 188 metre yükseklikte kurulmuş olması ve modelin kullandığı arazi haritasında bu noktanın bulunmaması ile deniz – kara etkileşimi sonucunda meydana gelen simülasyon sonuçları farklılıkları olabilir.

Çavuşbaşı istasyonunun Çizelge 6.4’te bulunan analiz sonuçlarına göre, “Yanlılık” testi için tüm yıllar ortalaması 0,71 m/s, “OMH” testi için tüm yıllar ortalaması 1,44 m/s, “OKH” testi için tüm yıllar ortalaması ise 1,73 m/s olarak bulunmuştur. Modelin bu istasyonu temsil oranının diğer istasyonlara oranla daha iyi olması, istasyonun çevresinde gözlem verilerini etkileyecek yapıların bulunmaması ve modelin yüzey kullanım parametrelerinin gerçekte bulunan yüzey şekillerini iyi bir şekilde temsil etmesi olabilir.

Hadımköy istasyonunun Çizelge 6.5'te bulunan analiz sonuçlarına göre, "Yanlılık" testi için tüm yıllar ortalaması -0,47 m/s, "OMH" testi için tüm yıllar ortalaması 1,51 m/s, "OKH" testi için tüm yıllar ortalaması ise 1,85 m/s olarak bulunmuştur. Hadımköy istasyonunun bulunduğu bölge ve modelin yüzey kullanım parametreleri göz önüne alındığında model sonuçları ile gözlem verileri arasındaki hata oranının çok yüksek olmamasının sebebi açıklanmaktadır. Model, bu istasyon için gözlem verilerinden daha düşük değerde veri üretmiştir, ancak bu fark çok yüksek mertebelere ulaşmamıştır.

Olimpiyat istasyonunun Çizelge 6.6'da bulunan analiz sonuçlarına göre, "Yanlılık" testi için tüm yıllar ortalaması 0,31 m/s, "OMH" testi için tüm yıllar ortalaması 1,51 m/s, "OKH" testi için tüm yıllar ortalaması ise 1,54 m/s olarak bulunmuştur. Hadımköy ve Çavuşbaşı istasyonları gibi bu istasyonda da hata testleri sonucu değerler yüksek değildir. Bu sonuçta, istasyonun kurulu olduğu bölgenin tıpkı diğer istasyonlarda olduğu gibi rüzgâr akışını bozacak yapı ve çevresel faktörlerden izole bir bölgede kurulmuş olması ile topografyanın model tarafından doğru bir şekilde modellenmiş olmasının etkisi büyüktür.

Ömerli istasyonunun Çizelge 6.7'de bulunan analiz sonuçlarına göre, "Yanlılık" testi için tüm yıllar ortalaması -0,17 m/s, "OMH" testi için tüm yıllar ortalaması 1,29 m/s, "OKH" testi için tüm yıllar ortalaması ise 1,58 m/s olarak bulunmuştur. Şehir etkisinden uzak olan bu istasyonda da model ile gözlem verileri arasındaki farkın yüksek olmadığı ve model performansının bu istasyon noktası için de iyi olduğu görülmektedir.

Terkos istasyonunun Çizelge 6.8'de bulunan analiz sonuçlarına göre, "Yanlılık" testi için tüm yıllar ortalaması 1,54 m/s, "OMH" testi için tüm yıllar ortalaması 2,02 m/s, "OKH" testi için tüm yıllar ortalaması 2,36 m/s olarak bulunmuştur. Modelin bu istasyon için ürettiği veriler ile gerçekleşen değerler arasında, şehir etkisinden uzak diğer istasyonlara göre daha kötü bir performans sergilediği görülmektedir. Bunun sebebinin Terkos istasyonunun bulunduğu bölgenin deniz, göl ve kara birleşim noktasında kalıyor olması ve böyle ekstrem bir bölgenin modellenmesinde karşılaşılan güçlükler olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 6.1: AKOM istasyonu 24 – 48 – 72 – 96 saatlik analiz sonuçları.

	24			48			72			96		
	Yanlılık	OMH	OKH	Yanlılık	OMH	OKH	Yanlılık	OMH	OKH	Yanlılık	OMH	OKH
Tüm yıllar	0,72	1,23	1,50	0,74	1,27	1,54	0,72	1,26	1,49	0,67	1,24	1,50
Aralık	0,68	1,15	1,42	1,07	1,38	1,62	0,95	1,42	1,61	0,36	1,00	1,27
Ocak	0,36	0,98	1,22	0,44	1,15	1,45	0,43	1,17	1,40	0,54	1,12	1,37
Şubat	0,98	1,41	1,70	0,76	1,26	1,50	0,72	1,15	1,38	0,82	1,37	1,62

Çizelge 6.2: Aksaray istasyonu 24 – 48 – 72 – 96 saatlik analiz sonuçları.

	24			48			72			96		
	Yanlılık	OMH	OKH	Yanlılık	OMH	OKH	Yanlılık	OMH	OKH	Yanlılık	OMH	OKH
Tüm yıllar	1,97	2,25	2,61	1,97	2,26	2,66	2,03	2,33	2,68	2,07	2,30	2,70
Aralık	1,99	2,19	2,48	2,24	2,45	2,88	2,73	2,85	3,23	2,12	2,40	2,89
Ocak	2,04	2,22	2,58	1,62	1,90	2,24	1,59	1,93	2,30	1,79	1,98	2,30
Şubat	1,90	2,32	2,76	1,97	2,33	2,76	1,59	1,93	2,30	2,19	2,43	2,79

Çizelge 6.3: Büyükkada istasyonu 24 – 48 – 72 – 96 saatlik analiz sonuçları.

	24			48			72			96		
	Yanlılık	OMH	OKH	Yanlılık	OMH	OKH	Yanlılık	OMH	OKH	Yanlılık	OMH	OKH
Tüm yıllar	-2,55	2,84	3,28	-3,11	3,35	3,89	-2,46	2,88	3,26	-2,37	2,75	3,18
Aralık	-2,48	2,76	3,17	-2,98	3,25	3,79	-2,31	2,91	3,32	-2,45	2,91	3,41
Ocak	-2,88	3,08	3,45	-3,67	3,75	4,20	-2,89	3,09	3,40	-2,69	2,90	3,21
Şubat	-2,16	2,59	3,24	-2,44	2,89	3,57	-1,98	2,38	2,83	-2,30	2,72	3,31

Çizelge 6.4: Çavuşbaşı istasyonu 24 – 48 – 72 – 96 saatlik analiz sonuçları.

	24			48			72			96		
	Yanlılık	OMH	OKH	Yanlılık	OMH	OKH	Yanlılık	OMH	OKH	Yanlılık	OMH	OKH
Tüm yıllar	0,74	1,39	1,68	0,60	1,39	1,68	0,71	1,53	1,83	0,80	1,45	1,74
Aralık	0,58	1,35	1,64	0,61	1,46	1,72	1,17	1,72	2,03	0,80	1,61	1,94
Ocak	0,77	1,23	1,48	0,48	1,20	1,46	0,58	1,40	1,67	0,79	1,22	1,45
Şubat	0,89	1,54	1,85	0,68	1,48	1,83	0,36	1,45	1,77	0,81	1,48	1,79

Çizelge 6.5: Hadımköy istasyonu 24 – 48 – 72 – 96 saatlik analiz sonuçları.

	24			48			72			96		
	Yanlılık	OMH	OKH	Yanlılık	OMH	OKH	Yanlılık	OMH	OKH	Yanlılık	OMH	OKH
Tüm yıllar	-0,53	1,52	1,88	-0,61	1,40	1,71	-0,43	1,53	1,89	-0,30	1,60	1,92
Aralık	-0,53	1,34	1,62	-1,00	1,46	1,80	-0,09	1,72	2,11	-0,35	1,77	2,14
Ocak	-0,28	1,27	1,59	-0,48	1,38	1,68	-0,56	1,58	1,94	-0,06	1,32	1,57
Şubat	-0,70	1,81	2,24	-0,49	1,37	1,68	-0,53	1,39	1,72	-0,45	1,71	2,07

Çizelge 6.6: Olimpiyat istasyonu 24 – 48 – 72 – 96 saatlik analiz sonuçları.

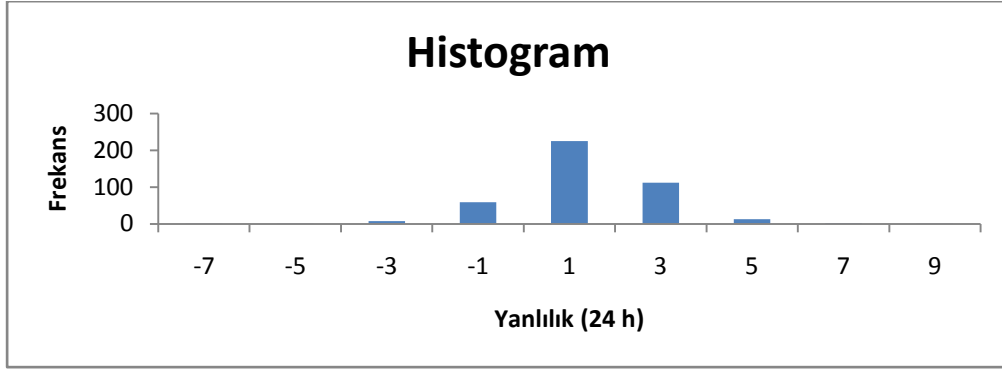
	24			48			72			96		
	Yanlılık	OMH	OKH	Yanlılık	OMH	OKH	Yanlılık	OMH	OKH	Yanlılık	OMH	OKH
Tüm yıllar	-0,33	1,21	1,52	-0,37	1,23	1,52	-0,23	1,26	1,55	-0,30	1,29	1,58
Aralık	-0,36	1,07	1,39	-0,16	1,26	1,56	0,10	1,29	1,57	-0,31	1,29	1,61
Ocak	-0,11	1,18	1,42	-0,48	1,30	1,56	-0,50	1,22	1,50	-0,08	1,16	1,38
Şubat	-0,43	1,38	1,71	-0,50	1,17	1,45	-0,37	1,24	1,56	-0,42	1,36	1,69

Çizelge 6.7: Ömerli istasyonu 24 – 48 – 72 – 96 saatlik analiz sonuçları.

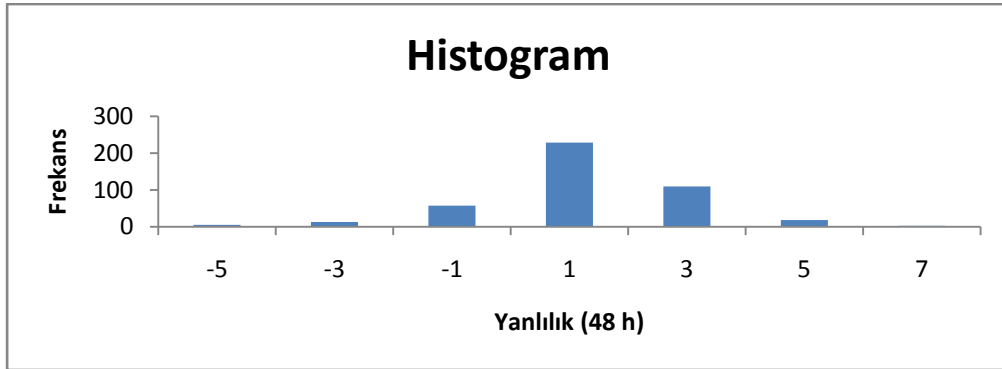
	24			48			72			96		
	Yanlılık	OMH	OKH	Yanlılık	OMH	OKH	Yanlılık	OMH	OKH	Yanlılık	OMH	OKH
Tüm yıllar	-0,13	1,27	1,54	-0,39	1,35	1,67	-0,05	1,23	1,52	-0,10	1,29	1,58
Aralık	-0,13	1,18	1,46	-0,36	1,30	1,60	0,10	1,28	1,56	-0,04	1,24	1,55
Ocak	0,05	1,19	1,43	-0,41	1,24	1,51	-0,10	1,23	1,52	-0,02	1,23	1,45
Şubat	-0,26	1,39	1,68	-0,41	1,48	1,84	-0,16	1,19	1,48	-0,19	1,37	1,67

Çizelge 6.8: Tekos istasyonu 24 – 48 – 72 – 96 saatlik analiz sonuçları.

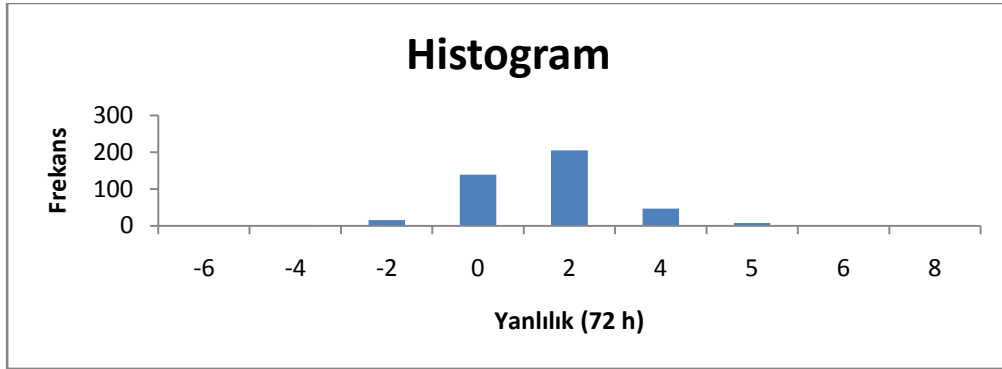
	24			48			72			96		
	Yanlılık	OMH	OKH	Yanlılık	OMH	OKH	Yanlılık	OMH	OKH	Yanlılık	OMH	OKH
Tüm yıllar	1,49	2,02	2,38	1,57	2,01	2,35	1,57	2,03	2,36	1,53	2,02	2,36
Aralık	1,56	1,92	2,27	1,51	1,89	2,24	1,88	2,26	2,61	1,79	2,08	2,50
Ocak	0,96	1,72	2,05	1,25	1,80	2,07	0,97	1,60	1,89	0,64	1,44	1,68
Şubat	1,71	2,31	2,68	1,86	2,27	2,65	1,57	2,03	2,37	1,81	2,31	2,64



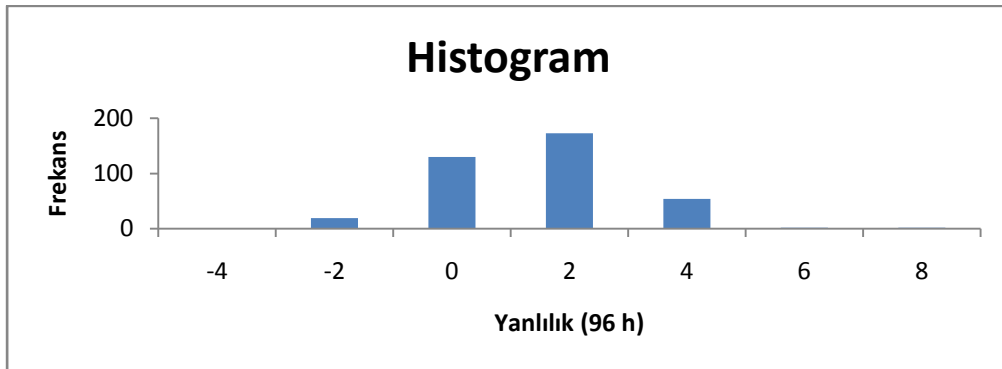
Şekil6.1: Tüm istasyonlar için 24 saatlik yanlılık testi sonuçları histogramı.



Şekil6.2: Tüm istasyonlar için 48 saatlik yanlılık testi sonuçları histogramı.



Şekil6.3: Tüm istasyonlar için 72 saatlik yanlılık testi sonuçları histogramı.



Şekil6.4: Tüm istasyonlar için 96 saatlik yanlılık testi sonuçları histogramı.

Şekil 6.1’de görülen histogramda, çalışmada kullanılan 8 istasyon için yapılmış olan 24 saatlik tahminlerin “Yanlılık” testi sonuçlarından elde edilmiş sonuçlar görülmektedir. 24 saatlik test sonuçları bütün istasyonları ve modelin çalıştırılmış olduğu üç kış sezonunun bütün aylarını kapsamaktadır. Yıllara veya aylara göre sıralama yapılmamıştır. Buradaki sonuçlara bakıldığında, yanlılık hata testi değerlerinin geniş bir spektruma dağıldığı görülmektedir. Ancak uç değerlerdeki eleman sayısının çok az olduğu görülmektedir. Hataların çoğunun 1 m/s civarında yoğunlaştığı görülmektedir. Histogramın da pozitif hata değerlerine yani sağa yatık olduğu anlaşılmaktadır. Yani model, 24 saat mertebesinde yaptığı tahminlerde genel olarak gerçekleşen değerlerden daha büyük değerler tahmin etmiştir.

Şekil 6.2’de görülen histogram, modelin 48 saat mertebesinde, bütün istasyonları kapsayan ve üç kış sezonunun bütün ayları için yapmış olduğu tahminlerin “Yanlılık” testi sonuçlarını göstermektedir. Histograma göre, hataların çok büyük bir kısmı 1 m/s civarında yoğunlaşmış olmakla birlikte, histogram sağa yatık olarak kabul edilebilir. 48 saat mertebesinde yapılmış olan tahminlerin büyük bir kısmı, gerçekleşen değerlerden daha yüksek tahmin edilmiştir.

Şekil 6.3’te görülen histogram, modelin 72 saat mertebesinde, bütün istasyonları kapsayan ve üç kış sezonunun bütün ayları için yapmış olduğu tahminlerin “Yanlılık” testi sonuçlarını göstermektedir. Histogramı önceki histogramlarla karşılaştırıldığı zaman, yine normal dağılıma yakın ancak biraz sağa yatık bir histogram meydana geldiği görülmektedir. Önceki histogramlarda en fazla elemana sahip sekme 0 veya 1 m/s değerinde iken bu histogramda 2 m/s olarak meydana gelmiştir. Bu sonuca göre modelin 48 saatten sonra tahmin etme performansı yaklaşık olarak 1 m/s kötüleşmiş ve gözlem değerlerinden ortalama olarak 2 m/s yüksek değerler ürettiği görülmüştür.

Şekil 6.4’te görülen histogram, modelin 96 saat mertebesinde, bütün istasyonları kapsayan ve üç kış sezonunun bütün ayları için yapmış olduğu tahminlerin “Yanlılık” testi sonuçlarını göstermektedir. Bu histogramda da, tıpkı 72 saatlik tahmin performansı için çizilmiş olan histogramda olduğu gibi en fazla eleman sayısına sahip sekmenin 2 m/s olduğu görülmekte ve modelin 96 saat mertebesinde gerçekleşen rüzgâr değerlerinden ortalama olarak 2 m/s büyük değerler tahmin ettiği anlaşılmaktadır.

Çizelge 6.9: Model performans sonuçları.

AKOM	Yanlılık	OMH	OKH	Hadımköy	Yanlılık	OMH	OKH
0 - 5,5 m/s	0,80	1,22	2,54	0 - 5,5 m/s	-0,17	1,27	2,69
5,5 - 10 m/s	-0,31	1,51	4,01	5,5 - 10 m/s	-0,76	1,78	5,16
>10 m/s	-2,41	2,65	10,41	>10 m/s	-1,34	1,91	6,19
Aksaray				Olimpiyat			
0 - 5,5 m/s	1,97	2,29	8,49	0 - 5,5 m/s	0,002	1,08	1,93
5,5 - 10 m/s	2,48	3,01	14,41	5,5 - 10 m/s	-1,40	1,74	4,56
>10 m/s	0,37	2,79	14,44	>10 m/s	-3,67	3,69	16,88
Büyükada				Ömerli			
0 - 5,5 m/s	-1,07	1,73	4,39	0 - 5,5 m/s	0,08	1,12	2,05
5,5 - 10 m/s	-3,19	3,35	14,53	5,5 - 10 m/s	-1,24	1,77	5,25
>10 m/s	-4,72	4,90	32,31	>10 m/s	-3,48	3,51	16,84
Çavuşbaşı				Terkos			
0 - 5,5 m/s	0,93	1,40	3,25	0 - 5,5 m/s	1,71	2,00	6,87
5,5 - 10 m/s	-0,43	1,54	3,91	5,5 - 10 m/s	1,06	2,06	7,38
>10 m/s	-2,45	2,56	8,74	>10 m/s	0,20	1,79	6,06

Çizelge 6.9’da 2007 – 2008, 2008 – 2009 ve 2009 – 2010 kışları için yapılmış olan bütün tahminler ile aynı dönemdeki gözlem değerleri karşılaştırılmış ve tahmin performansları “Yanlılık”, “OMH” ve “OKH” testleri ile zayıf (0 – 5,5 m/s), orta (5,5 – 10 m/s) ve şiddetli (10 m/s’den büyük) rüzgâr hızları için karşılaştırılmıştır. Rüzgâr sınıfları kararlaştırılırken meteorolojik literatürde kullanılan bofor skalası baz alınarak rüzgâr sınıfları belirlenmiştir [Url-6, 2013]. Karşılaştırmalar yapılırken, belirlenen rüzgâr hızı aralıklarında gerçekleşen rüzgâr değerlerinin tahmin edilebilme performansı belirlenmiş ve kullanılan hata testlerinde çıkan sonuçların ortalamaları alınmıştır.

Çizelge 6.9’da görülen AKOM istasyonuna ait sonuçlar incelendiğinde, zayıf rüzgârların tahmin edilme ihtimali diğer rüzgâr aralıklarına oranla daha fazladır. Yalnızca zayıf statüsündeki rüzgârların gerçekleşenden yaklaşık olarak 1 m/s daha fazla tahmin edildiği görülmektedir. Orta şiddetteki rüzgârların ise tahmin edilebilme performansı zayıf sınıfa oranla daha düşük, ancak şiddetli rüzgâr sınıfından daha iyi şekilde gerçekleşmiştir. Şiddetli rüzgâr sınıfında ise, hata miktarı daha da artmış ve gerçekleşen rüzgâr değeri tahmin edilenden daha yüksek meydana gelmiştir.

Aksaray istasyonuna ait sonuçlar incelendiğinde, zayıf rüzgâr sınıfından itibaren tahminlerde uç değerlerin oluşmaya başladığı gözlenmektedir. Zayıf ve orta

sınıflarda gerçekleşenden daha düşük değerler tahmin edilmiştir. Ancak orta ve şiddetli sınıfta uç değerlerin daha fazla arttığı gözlenerek; bu istasyondaki tahmin edilebilme performansının çok iyi seviyelerde olmadığı anlaşılmıştır. Bunun sebebi olabilecek etkenler arasında istasyonun çevresinde bina ve ağaçların bulunması sebebiyle veri kalitesinin bozulması ile istasyonun denize çok yakın olması sebebiyle deniz – kara etkileşiminin etkisinde kalıyor olması gösterilebilir.

Büyükkada istasyonu için elde edilmiş tablo görülmektedir. Büyükkada istasyonu için bütün sınıflarda tahmin edilen değerler, gerçek değerlerden daha düşük olarak gerçekleşmiştir. Hata miktarlarının, zayıf rüzgâr sınıfı için kabul edilebilir aralıkta olmasına rağmen orta sınıfta bir miktar daha arttığı, şiddetli sınıfta ise hata miktarının uç değerler aldığı görülmüştür. Şiddetli rüzgârların bu istasyonda tahmininde ciddi miktarlarda hata gözlenmiştir. Bu duruma istasyonun denizden 188 metre yükseklikte kurulmuş olması ve istasyonun ada üzerinde kurulmuş olması sebebiyle oluşan çeşitli topografik etkenlerin sebep olma ihtimali yüksektir.

Çavuşbaşı istasyonuna ait sonuçlar incelendiğinde, modelin tahmin performansının bu istasyon için diğer istasyonlara oranla daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Yalnızca şiddetli kategorisine giren rüzgârların tahmininde, tahmin ile gözlem verisi arasındaki fark artmış ve aynı kategorideki rüzgârlar gerçekleşen değerlerden düşük tahmin edilmiştir. Modelin bu istasyon için tahminlerinin başarılı sonuçlar verdiği söylenebilir.

Hadımköy istasyonuna ait sonuçlar incelendiğinde, Çavuşbaşı istasyonuna yakın değerlerin elde edilmiş olduğu görülmektedir. Çavuşbaşı istasyonundan tek farkı, rüzgâr hızlarının gerçekleşenden daha düşük tahmin edilmesi hemen hemen tüm rüzgâr sınıflarında bulunmaktadır. Bunun sebebinin, istasyonun yapılaşmadan uzak ve açık arazide kurulmuş olduğu düşünülmektedir. Modelin bu istasyon için de rüzgâr sınıflarına göre yapılan tahminlerde başarılı sonuçlar verdiği söylenebilir.

Olimpiyat istasyonuna ait sonuçlar incelendiğinde, istasyonun önceki iki istasyonla benzer coğrafyalarda kurulmuş olmasına rağmen hata testi sonuçları önceki istasyonlarla karşılaştırıldığı zaman, modelin bu istasyon için tahmin üretmekte çok başarılı olamadığı görülmüştür. Hemen hemen tüm rüzgâr kategorileri için tahmin edilen değer, gerçekleşen değer altında kalmış ve şiddetli sınıftaki rüzgârların tahmini konusunda yüksek değerlerde hataların var olduğu görülmektedir.

Ömerli istasyonu için elde edilmiş sonuçlar incelendiğinde, modelin tahminlerinin zayıf kategorideki rüzgârlar için tutarlı sonuçlar verdiği, orta kategoride kabul edilebilir tutarlılıkta tahmin yaptığı ancak şiddetli kategoride ise uç değerlerin arttığı yani modelin tahmin performansının düştüğü gözlenmektedir. Şiddetli rüzgâr kategorisi için neredeyse tüm istasyonlarda olduğu gibi bu istasyon için de gerçekleşen değerler tahmin edilen değerlerin üzerindedir. Modelin bu istasyon için, şiddetli sınıf hariç tutarlı tahmin yaptığı söylenebilir.

Terkos istasyonuna ait sonuçlar incelendiğinde, modelin hemen hemen tüm rüzgâr sınıfları için yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Hata miktarları tüm rüzgâr kategorilerinde neredeyse aynı kalmakta ve hata mertebesi çok yüksek değerlere ulaşmamaktadır. Modelin, bu istasyon için yaptığı tahminlerin %100 tutarlı olmasa da istikrarlı olduğu söylenebilir.

Çizelge 6.10: Şiddetli rüzgârlar (>10 m/s) için oluşturulmuş olasılık tabloları.

AKOM		Tahmin		
		E	H	OY
Gözlem	E	3	8	99,37%
	H	23	4887	

Hadımköy		Tahmin		
		E	H	OY
Gözlem	E	244	98	93,59%
	H	106	2734	

Aksaray		Tahmin		
		E	H	OY
Gözlem	E	13	6	94,79%
	H	261	4849	

Olimpiyat		Tahmin		
		E	H	OY
Gözlem	E	5	74	98,32%
	H	11	4975	

Büyükada		Tahmin		
		E	H	OY
Gözlem	E	182	548	86,62%
	H	18	3482	

Ömerli		Tahmin		
		E	H	OY
Gözlem	E	29	84	98,09%
	H	13	4952	

Çavuşbaşı		Tahmin		
		E	H	OY
Gözlem	E	14	28	98,67%
	H	40	5040	

Terkos		Tahmin		
		E	H	OY
Gözlem	E	71	23	93,15%
	H	307	4414	

WRF modelinin şiddetli rüzgârı (>10 m/s) tahmin etmedeki başarısını görmek amacıyla Çizelge 6.10’da bulunan tablo oluşturulmuştur. Olasılık tabloları gözlem ve tahmin verilerinin 10 m/s üzerinde ve altındaki tahmin – gerçekleşen rüzgâr verileri sayıları kullanılarak hazırlanmıştır. Her bir olasılık tablosu hazırlandıktan sonra da Olasılık Yüzdesi (OY) hesaplanmış ve şiddetli rüzgârların tahmini konusunda % cinsinden modelin başarısı çıkarılmıştır.

Tabloda hesaplanmış olan “Olasılık Yüzdesi” değerleri incelendiğinde tahminlerde en başarılı istasyon AKOM gibi görünmekteyken, en başarısız istasyon da Büyükada gibi görünmektedir. Ancak bu sonuçlar yanıltıcı olabilir, çünkü AKOM istasyonunda her iki durumun da “Evet” olarak işaretlendiği data sayısı çok azdır. Ters olarak ise performansı kötü olarak görünen Hadımköy ve Büyükada istasyonlarında ise doğru tahmin edilen veri sayısı ise diğer istasyonlara oranla daha fazladır. % değerlerine bakarak yorum yapıldığı zaman ortaya çıkan sonuç her zaman doğru olmayabilir. Bakılması gereken esas nokta gözlem sayılarıdır.

Çizelge 6.11: Orta şiddetteki rüzgârlar (5,5 – 10 m/s) için oluşturulmuş olasılık tabloları.

AKOM		Tahmin		
		E	H	OY
Gözlem	E	212	118	88,80%
	H	433	4158	

Hadımköy		Tahmin		
		E	H	OY
Gözlem	E	553	500	75,72%
	H	274	1861	

Aksaray		Tahmin		
		E	H	OY
Gözlem	E	200	164	72,64%
	H	1240	3528	

Olimpiyat		Tahmin		
		E	H	OY
Gözlem	E	492	420	86,34%
	H	273	3888	

Büyükkada		Tahmin		
		E	H	OY
Gözlem	E	408	1159	61,07%
	H	499	2193	

Ömerli		Tahmin		
		E	H	OY
Gözlem	E	356	287	87,33%
	H	357	4082	

Çavuşbaşı		Tahmin		
		E	H	OY
Gözlem	E	478	221	87,19%
	H	436	3992	

Terkos		Tahmin		
		E	H	OY
Gözlem	E	641	385	73,84%
	H	876	2918	

WRF modelinin orta şiddetteki rüzgârları (5,5 – 10 m/s) tahmin etmedeki başarısını görmek amacıyla Çizelge 6.11’de görülen tablo oluşturulmuştur. Önceki çizelgedeki yöntem izlenerek oluşturulan olasılık tabloları değerleri ile Olasılık Yüzdesi (OY) hesaplanmış ve tahmin sisteminin % cinsinden başarısı çıkarılmıştır.

Tablodaki olasılık yüzdeleri incelendiğinde en başarılı istasyonlar % değerlerine göre Ömerli, Çavuşbaşı, Terkos ve AKOM olarak görünmektedir. Ancak % değerleri ile gözlem sayıları birlikte değerlendirilecek olursa, başarılı istasyonlar Olimpiyat, Çavuşbaşı, Hadımköy ve Terkos’tur. Yüzde değerlerine göre en başarılı görünen istasyon olan AKOM’daki doğru tahmin edilen gözlem sayısı Aksaray istasyonu ile birlikte en düşük değerleri almıştır.

Çizelge 6.12: Zayıf rüzgârlar (<5,5 m/s) için oluşturulmuş olasılık tabloları.

AKOM		Tahmin		
		E	H	OY
Gözlem	E	4131	418	89,09%
	H	119	253	

Hadımköy		Tahmin		
		E	H	OY
Gözlem	E	1572	172	80,93%
	H	436	1008	

Aksaray		Tahmin		
		E	H	OY
Gözlem	E	3374	1343	73,03%
	H	41	374	

Olimpiyat		Tahmin		
		E	H	OY
Gözlem	E	3831	188	87,21%
	H	461	593	

Büyükada		Tahmin		
		E	H	OY
Gözlem	E	1782	95	65,60%
	H	1370	1012	

Ömerli		Tahmin		
		E	H	OY
Gözlem	E	4016	267	88,63%
	H	311	488	

Çavuşbaşı		Tahmin		
		E	H	OY
Gözlem	E	3954	395	88,32%
	H	204	574	

Terkos		Tahmin		
		E	H	OY
Gözlem	E	2754	900	77,84%
	H	168	998	

Çizelge 6.12’de WRF modelinin zayıf rüzgâr (<5,5 m/s) sınıfındaki başarısını görmek amacıyla oluşturulmuş olasılık tabloları görülmektedir. Olasılık tabloları önceki çizelgelerde olduğu gibi aynı yöntemle hazırlanmış ve ardından Olasılık Yüzdeleri (OY) hesaplanmıştır.

Tablodaki veriler incelendiğinde, zayıf rüzgârlar için tahmin edilme olasılıklarının diğer rüzgâr kategorilerinden daha iyi olduğu görülmektedir. Yüzde oranlarının diğer istasyonlardan düşük çıktığı istasyonlar, Aksaray, Büyükada, Terkos ve Hadımköy’dür. Aksaray, Terkos ve Büyükada istasyonları deniz – kara etkileşimi ve gözlem verilerini etkileyen sebepler sonucu zayıf rüzgâr tahmininde diğer istasyonlardan daha başarısız görünmektedir. Hadımköy istasyonundaki nispeten düşük performansın sebebi ise, istasyonun arazi kullanım haritasında doğru temsil edilememesi ve modellemenin başarısız olmasıdır.

Modelin çalıştırıldığı döneme ait gözlenmiş rüzgâr şiddeti ile aynı periyot için modelin üretmiş olduğu tahmini rüzgâr şiddetlerini gösteren şekiller EK A’da

görülebılır. Rüzgâr yönlerinin simülasyonuna dair yapılan çalışmaların sonuçları, EK B başlığı altında bulunan rüzgârgülleri vasıtası ile görülebilir. Buradaki rüzgârgülleri oluşturulurken, aynı dönem için gözlem verileri ile tahmin verileri düzenlenmiş ve bu veriler kullanılarak NCL vasıtası ile rüzgârgülleri çizdirilmiştir. Modelin çalıştırılmış olduğu 3 kış sezonu için elde edilen tahmin – gözlem verisi rüzgârgülleri Şekil B.1 – Şekil B.23 arasında bulunmaktadır.

Şekil B.1 – B.3 arasında AKOM istasyonu için elde edilmiş rüzgârgülleri görülmektedir. 2007 – 08 ve 2008 – 09 kış ayları için hâkim rüzgâr yönü %100 doğru modellenememiş, ancak gözlenen ve tahmin edilen rüzgâr şiddetleri karşılaştırıldığında, modelin doğruya yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Aynı dönemlerde gözlem verilerine göre hâkim rüzgâr yönü yıldız iken, tahmin verisinde bu poyrazdır. 2009 – 2010 dönemi içinse, hâkim rüzgâr yönünün doğru tahmin edildiği ancak rüzgâr şiddetlerinde sapmaların olduğu anlaşılmaktadır. Gözlem verisi ile tahmin verisi arasında yaklaşık olarak 2 m/s'lik şiddet sapması olduğu gözlenmektedir.

Şekil B.4 – B.6 arasında Aksaray istasyonu için elde edilmiş rüzgârgülleri görülmektedir. Üç kış dönemi için de, hâkim rüzgâr yönleri çok başarılı bir şekilde tahmin edilememiştir. 2007 – 08 döneminde gözlenen hâkim rüzgâr yönü yıldız iken tahmin verisine göre ise poyrazdır. Aynı şekilde 2008 – 09 kış sezonunda gözlenen hâkim rüzgâr yönü yıldız ve poyraz arasında değişmekte iken, tahmin verisinde ise poyraz ve keşişleme olarak gerçekleşmiştir. 2009 – 10 kış döneminde ise, gözlenen ve tahmin edilen veriler ışığında hâkim rüzgâr yönünün lodos ve yıldız olduğu görülmektedir, yalnızca tahmin verisinde keşişleme yönünden olan rüzgârların da fazlalığı dikkat çekicidir. Rüzgâr şiddetlerine dair verilen bilgilere göre ise, şiddet tahminlerinde kara – deniz etkileşiminin çok başarılı bir şekilde simüle edilememesinden kaynaklı olma ihtimali bulunan sapmalar vardır.

Şekil B.7 – B.9'da Büyükada istasyonu için elde edilmiş rüzgârgülleri görülmektedir. Gözlenen ve tahmin edilen verilerle elde edilen rüzgârgüllerine göre hâkim rüzgâr yönü tahmininin başarılı olduğu sezon yalnızca 2007 – 08 kışı olarak görünmektedir. Bu yılda hâkim rüzgâr yönü hem gözlem hem de tahmin verilerinde gündoğusu ve poyraz iken, diğer kış sezonlarında gözlem ve tahmin verilerinde çok büyük sapmalar bulunmaktadır. Aynı sapmaların varlığı rüzgâr şiddetleri için de var olduğu görülmektedir. Gözlem verilerindeki şiddetler büyük değerlere sahipken, simülasyon

sonuçlarında ise değerler düşük kalmaktadır. Bu durumun sebepleri arasında, her ne kadar tahmin verilerinin üretildiği grid noktası doğru seçilmiş olsa da, istasyonun ada gibi bir coğrafik konumda bulunması ve istasyon kotunun deniz seviyesinden bir hayli yüksek olması gösterilebilir. Bir diğer muhtemel sebep ise, deniz – kara etkileşimi sebebiyle modelin doğru verileri üretememiş olması gösterilebilir.

Şekil B.10 – B.12’de Çavuşbaşı istasyonu için elde edilmiş rüzgârgülleri görülmektedir. Şekillere göre, yalnızca 2007 – 08 sezonunda poyraz yönünden esen hâkim rüzgârın doğru tahmin edildiği, diğer iki kış sezonunda ise hâkim rüzgâr yönü tahmininde sapmalar olduğu görülmektedir. 2008 – 09 sezonunda poyraz ve yıldız olan gerçek hâkim rüzgârın tahminlerinde de aynı yönler bulunmakta, ancak güneyli rüzgârların etkisi sebebiyle gerçekleşen değerler tam olarak temsil edilememiştir. 2009 – 10 sezonunda ise kuzeyli – güneyli yönlerden oluşmakta iken, simüle edilen hâkim rüzgâr lodos şeklinde bulunmuştur. Modelleme açısından ve arazi kullanımı açısından başarılı bir şekilde temsil edilmiş olan Çavuşbaşı istasyonunda son sezonda gözlenmiş olan bu büyük farkın sebebi olarak 2009 – 2010 sezonundaki gözlem verisinin az olması gösterilebilir.

Şekil B.13 – B.14’te Hadımköy istasyonu için elde edilmiş olan rüzgârgülleri görülmektedir. 2008 – 2009 kış sezonunda istasyonda yaşanan sorun sebebiyle gözlem verisi üretilenmemiş ve bu yüzden bu döneme ait karşılaştırma yapılamamıştır. 2007 – 2008 kış sezonunda gerçekleşen hâkim rüzgâr yönü poyraz ve yıldız olarak ölçülmüş iken tahminler de bu yönleri destekler nitelikte bulunmuştur. 2009 – 2010 kış sezonunda ise ağırlıklı olarak güneyli olan hakim rüzgâr, yönü yaklaşık olarak aynı bulunmuştur. Yine 2009 – 2010 sezonundaki sapmanın sebebi olarak bu dönemdeki veri azlığı gösterilebilir.

Şekil B.15 – B.17’de Olimpiyat istasyonu için elde edilmiş rüzgârgülleri verilmiştir. Bu istasyon için ölçüm verileri ile tahmin verilerinden hesaplanan rüzgârgülleri arasında büyük farklılıklar bulunmaktadır. 2009 – 2010 sezonunda simülasyonlar gerçekte yakın hâkim rüzgâr yönü bulmuş ancak önceki kış sezonlarında modelin performansı yetersiz kalmıştır. Buna sebep olarak, modelin arazi kullanımı veya grid noktası seçiminin yanlış olması etken olabilir. Bahsi geçen her iki parametre de çıktılarda doğru yapılmış gibi görünüyorsa da sorunun kaynağı olabilir.

Şekil B.18 – B.20’de Ömerli istasyonu için elde edilmiş rüzgârgülleri görülmektedir. 2007 – 2008 sezonunda gözlemlenen hâkim rüzgâr yönü yıldız ve poyraz iken tahmin edilen hâkim rüzgâr yönünde bu yönler ek olarak kible rüzgârı da bulunmaktadır. 2008 – 2009 sezonunda ise, yıldız, kible ve poyraz hâkim rüzgâr yönü iken simülasyonlar yıldız hâkim rüzgâr yönü olarak gösterememektedir. 2009 – 2010 sezonu ise hâkim rüzgâr yönü tahmini açısından başarılı bir sezon olarak görülmektedir. Her iki veri setinde de hâkim rüzgâr yönleri kible ve lodos olarak görülmektedir.

Şekil B.21 – B.23’te Terkos istasyonu için elde edilmiş rüzgârgülleri görülmektedir. 2007 – 2008 kış sezonunda gözlem verilerine göre hakim rüzgâr yönü yıldız ve kible iken, simülasyon sonuçlarına göre ise yıldız ve poyraz olarak gerçekleşmiştir. Modelin tahmin performansı istasyonun topografik özellikleri göz önünde bulundurulduğunda başarılı sayılabilir. 2008 – 2009 kış sezonunda ise gözlem ve tahmin verilerinin her ikisinde de hâkim rüzgâr yönü yıldız ve kible, yalnızca simülasyon verilerinin rüzgâr gülünde poyraz ve lodos yönleri var iken gözlem verisinde bu yönler öne çıkmamıştır. 2009 – 2010 sezonunda ise gözlem verileri hâkim rüzgâr kible ve lodos yönleridir. Son sezondaki verilerin azlığı göz önüne alındığında simülasyonların doğru tahmin yaptığı sonucu çıkarılabilir.

6.1. Öneriler

- Çalışma yapılırken yalnızca üç kış sezonu için doğrulama yapılmıştır. Mevsimler arasındaki tahmin performansı farkını veya mevsimlere göre olan salınımı görmek amacıyla bütün yılı kapsayacak şekilde uzun yıllara dair testler yapılabilir.
- Boğaz ve çevresinin arazi kullanımında mevcut simülasyonlarda çok iyi temsil edilemediği görülmüştür. Yeni bir çalışma yapılarak, bu çalışmada kullanılan arazi modelinin boğaz ve çevresini daha iyi temsil etmesi sağlanarak, modelin tekrar çalıştırılması ile daha sağlıklı tahmin verileri elde edilebilir.
- Sadece kış ayları karşılaştırılacak olsa bile, model çalıştırılma süresinin 3 kışla sınırlanmaması, daha fazla zaman serisi için modelin çalıştırılması, sonuçların daha tutarlı hale gelmesinde fayda sağlayabilir.

- Modelle çalışılırken, en iç alanda 1 km çözünürlük kullanılmıştır. Var olan bu çözünürlük, daha da artırılarak modelin daha doğru veri üretmesi sağlanabilir. Buna boğaz ve çevresinin de daha doğru temsil edileceği seçenek eklenirse, modelin daha tutarlı hale geleceği aşikârdır.
- Çalışmada kullanılan farklı bir sınırlı alan nümerik hava tahmin modeli kullanarak doğrulama testlerinin sonuçları karşılaştırılabilir ve hangi modelin daha doğru sonuç vereceği hakkında fikir sahibi olunabilir.

KAYNAKLAR

- Bosy, J., Rohm, W., Borkowski, A., Kroszczynski, K., Figurski, M.,** (2009). Integration and Verification of Meteorological Observations and NWP Model Data for the Local GNSS Tomography. *Atmospheric Research* 96 (2010) 522–530, Polonya.
- Caglar F., Tan, E., Ünal, Y.S.** (2011). A High Resolution Flash Flood Event Simulation in Istanbul using the WRF Model, EGU General Assembly 2011, Viyana, Avusturya.
- Calvo, J. ve Morales, G.,** (2009). Verification of Wind Gust Forecasts. *HIRLAM / ALADIN ASM*, Utrecht.
- Carvalho, D., Rocha, A., Gómez-Gesteira, M., Santos, C.,** (2012). A sensitivity Study of the WRF Model in Wind Simulation for an Area of High Wind Energy. *Environmental Modelling & Software* 33 (2012) 23 – 34, Portekiz.
- Dee, D. P., Uppala, S. M., Simmons, A. J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M. A., Balsamo, G., Bauer, P., Bechtold P., Beljaars A. C. M., Berg, L. van de, Bidlot, J., Bormann, N., Delsol, C., Dragani, R., Fuentes, M., Geer, A. J., Haimberger, L., Healy, S. B., Hersbach, H., Hólm, E. V., Isaksen, I., Kållberg, P., Köhler, M., Matricardi, M., McNally, A. P., Monge-Sanz, B. M., Morcrette, J.-J., Park, B.-K., Peubey, C., Rosnay, P. de, Tavolato, C., Thépaut, J.-N. ve Vitart F.** (2011). *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 137: 553–597. DOI:10.1002/qj.828.
- Eerola, K.,** (2008). Long-term verification of HIRLAM forecasts at the Finnish Meteorological Institute. *HIRLAM Newsletter* No 54, Finlandiya.
- Fedderson, H. Ve Sattler, K.** (2002). Verification of Wind Forecasts for a Set of Experimental DMI-HIRLAM Ensemble Experiments. Danish Meteorological Institute.
- Hong, S. Y., Kim, S. W.,** (2008). Stable Boundary Layer Mixing in a Vertical Diffusion Scheme. Department of Atmospheric Sciences, Yonsei University, Seoul 120 – 749, Korea.
- Hu, X. M., Nielsen – Gammon, J. W., Zhang, F.,** (2010). Evaluation of Three Planetary Boundary Layer Schemes in the WRF Model, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Volume 49.

- Huang, X., Ma, Y., Mills, G.,** (2008). Verification of Mesoscale NWP Forecasts of Abrupt Wind Changes. The Centre for Australian Weather and Climate Research, CAWCR Technical Report No. 008.
- Katzfey, J. J., McGregor, J., Thatcher, M., Ebert, B.,** (2009). Verification of 1 km Ensemble Wind Predictions. 18th World IMACS / MODSIM Congress, Cairns, Australia 13-17 July 2009.
- Kwun, J. H., Kim, Y. K., Seo, J. W., Jeong, J. H., You, S. H.** (2009). Sensitivity of MM5 and WRF Mesoscale Model Predictions of Surface Winds in a Typhoon to Planetary Boundary Layer Parameterizations. *Nat Hazards*, 51:63–77 DOI 10.1007/s11069-009-9402-3.
- Lei, M., Shiyan, L., Chuanwen, J., Hongling, L., Yan, Z.,** (2008). A review on the forecasting of wind speed and generated power. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 (2009) 915 – 920.
- Lou, X., Breed, D.,** (2010). Model evaluations for winter orographic clouds with observations. *Chinese Science Bulletin*, Vol:56, No.1: 76 – 83, DOI: 10.1007/s11434-010-4249-2.
- Midtbø, K. H., Bremnes, J. B., Homleid, M., Ødegaard, V.,** (2008). Verification of Wind Forecasts for the Airports Hammerfest, Honningsvåg, Sandnessjøen, Ørsta, Værnes, Sandane and Narvik. *Met. no report*, no. 2/2008, Norway.
- Pedro, M. M. S., Rita, M. C., Pedro M. A. M., Joana de M., Margarida, B. P., Fátima, E. S.** (2012). WRF High Resolution Dynamical Downscaling of ERA-Interim for Portugal. *Clim Dyn*, DOI 10.1007/s00382-012-1315-2, Portekiz.
- Rife, D. L. ve Davis, C. A.** (2005). Verification of Temporal Variations in Mesoscale Numerical Wind Forecasts. *Monthly Weather Review*, V.133, Boulder, Colorado.
- Roeger, C., McClung, D., Stull, R., Hacker, J., Modzelevski, H.** (2001). A Verification of Numerical Weather Forecasts for Avalanche Prediction. *Cold Regions Science and Technology* 33 (2001) 189–205, Vancouver, Canada.
- Skamarock, C. W., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D. M., Duda, M. G., Huang, X., Wang, W., Powers, J. G.,** (2008). A Description of the Advanced Research WRF Version 3. NCAR/TN – 475 +STR Boulder, Colorado, USA.
- Stanski, H. R., Wilson, L. J., Burrows, W. R.,** (1989). Survey of Common Verification Methods in Meteorology.
- Starosta, K., Linkowska, J.,** (2010). Overview of operational verification results in Poland. Working Group on Verification and Case Studies, No 10, Varşova.
- Warner, T. T.,** (2011). *Numerical Weather and Climate Prediction*, Cambridge University Press. NY, USA.

Zelle, H., Mika, Á., Vroom, J. D., Groenewoud, P., (2011). Verification of WRF WindForecasts at WindTurbineHeight. BMT ARGOSS, theNetherlands WRF Workshop 2011.

Url-1 <<http://www.wrf-model.org/index.php>>, alındığı tarih: 05.01.2013.

Url-2

<http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide/users_guide_chap1.html>, alındığı tarih: 08.01.2013.

Url-3 <<http://modis.gsfc.nasa.gov/about/>>, alındığı tarih: 24.05.2013.

Url-4 < https://en.wikipedia.org/wiki/Lambert_conformal_conic_projection>, alındığı tarih:26.05.2013.

Url-5 <<http://www.ncl.ucar.edu/overview.shtml>>, alındığı tarih: 26.05.2013.

Url-6<<http://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/sss/beaufort.pdf>>,alındığı tarih: 22.05.2013.

EKLER

EK A: Gözlem Verisi 2005 – 2011 Arası Rüzgâr Şiddeti

- Şekil A.1: AKOM istasyonu 2007 – 2008 tahmin – gerçekleşen rüzgâr şiddeti
Şekil A.2: AKOM istasyonu 2008 – 2009 tahmin – gerçekleşen rüzgâr şiddeti
Şekil A.3: AKOM istasyonu 2009 – 2010 tahmin – gerçekleşen rüzgâr şiddeti
Şekil A.4: Aksaray istasyonu 2007 – 2008 tahmin – gerçekleşen rüzgâr şiddeti
Şekil A.5: Aksaray istasyonu 2008 – 2009 tahmin – gerçekleşen rüzgâr şiddeti
Şekil A.6: Aksaray istasyonu 2009 – 2010 tahmin – gerçekleşen rüzgâr şiddeti
Şekil A.7: Büyükkada istasyonu 2007 – 2008 tahmin – gerçekleşen rüzgâr şiddeti
Şekil A.8: Büyükkada istasyonu 2009 – 2010 tahmin – gerçekleşen rüzgâr şiddeti
Şekil A.9: Çavuşbaşı istasyonu 2007 – 2008 tahmin – gerçekleşen rüzgâr şiddeti
Şekil A.10: Çavuşbaşı istasyonu 2008 – 2009 tahmin – gerçekleşen rüzgâr şiddeti
Şekil A.11: Çavuşbaşı istasyonu 2009 – 2010 tahmin – gerçekleşen rüzgâr şiddeti
Şekil A.12: Hadımköy 2007 – 2008 tahmin – gerçekleşen rüzgâr şiddeti
Şekil A.13: Hadımköy istasyonu 2009 – 2010 tahmin – gerçekleşen rüzgâr şiddeti
Şekil A.14: Olimpiyat istasyonu 2007 – 2008 tahmin – gerçekleşen rüzgâr şiddeti
Şekil A.15: Olimpiyat istasyonu 2008 – 2009 tahmin – gerçekleşen rüzgâr şiddeti
Şekil A.16: Olimpiyat istasyonu 2009 – 2010 tahmin – gerçekleşen rüzgâr şiddeti
Şekil A.17: Ömerli istasyonu 2007 – 2008 tahmin – gerçekleşen rüzgâr şiddeti
Şekil A.18: Ömerli istasyonu 2008 – 2009 tahmin – gerçekleşen rüzgâr şiddeti
Şekil A.19: Ömerli istasyonu 2009 – 2010 tahmin – gerçekleşen rüzgâr şiddeti
Şekil A.20: Terkos istasyonu 2007 – 2008 tahmin – gerçekleşen rüzgâr şiddeti
Şekil A.21: Terkos istasyonu 2008 – 2009 tahmin – gerçekleşen rüzgâr şiddeti
Şekil A.22: Terkos istasyonu 2009 – 2010 tahmin – gerçekleşen rüzgâr şiddeti

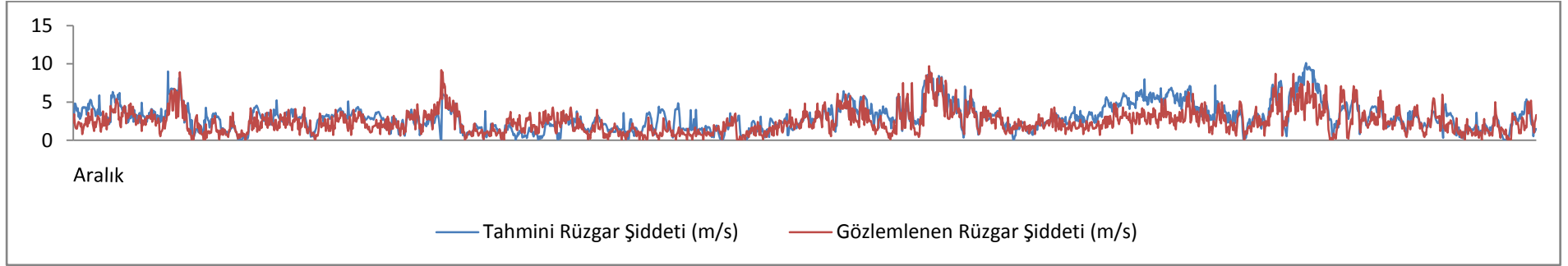
EK B: Gözlem – Tahmin Verisinden Elde Edilmiş Rüzgâr Gülleri

- Şekil B.1: AKOM 2007 – 2008 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü
Şekil B.2: AKOM 2008 – 2009 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü
Şekil B.3: AKOM 2009 – 2010 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü
Şekil B.4: Aksaray 2007 – 2008 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü
Şekil B.5: Aksaray 2008 – 2009 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü
Şekil B.6: Aksaray 2009 – 2010 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü
Şekil B.7: Büyükkada 2007 – 2008 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü
Şekil B.8: Büyükkada 2008 – 2009 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü
Şekil B.9: Büyükkada 2009 – 2010 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü
Şekil B.10: Çavuşbaşı 2007 – 2008 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü
Şekil B.11: Çavuşbaşı 2008 – 2009 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü
Şekil B.12: Çavuşbaşı 2009 – 2010 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü
Şekil B.13: Hadımköy 2007 – 2008 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü
Şekil B.14: Hadımköy 2009 – 2010 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü
Şekil B.15: Olimpiyat 2007 – 2008 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü
Şekil B.16: Olimpiyat 2008 – 2009 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü
Şekil B.17: Olimpiyat 2009 – 2010 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü
Şekil B.18: Ömerli 2007 – 2008 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü
Şekil B.19: Ömerli 2008 – 2009 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü
Şekil B.20: Ömerli 2009 – 2010 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü

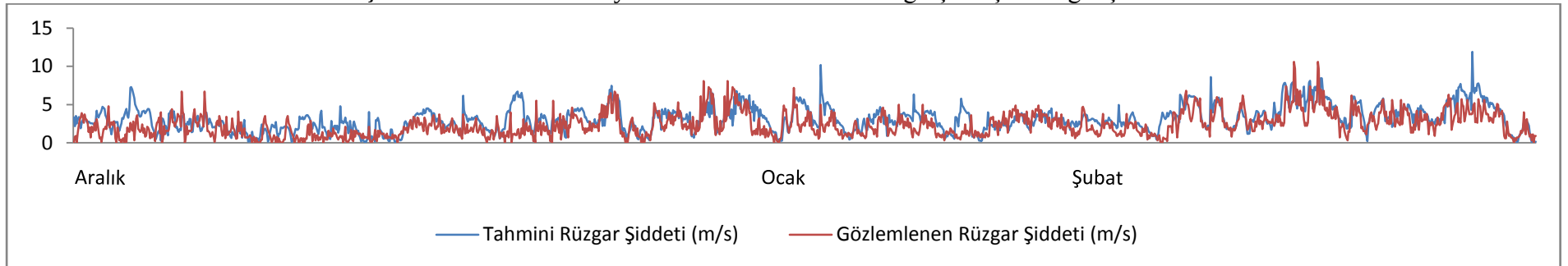
Şekil B.21: Terkos 2007 – 2008 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü

Şekil B.22: Terkos 2008 – 2009 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü

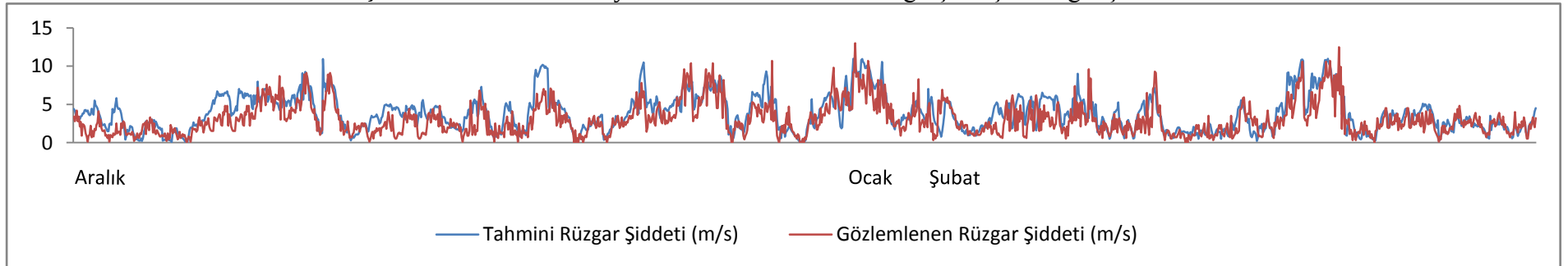
Şekil B.23: Terkos 2009 – 2010 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü



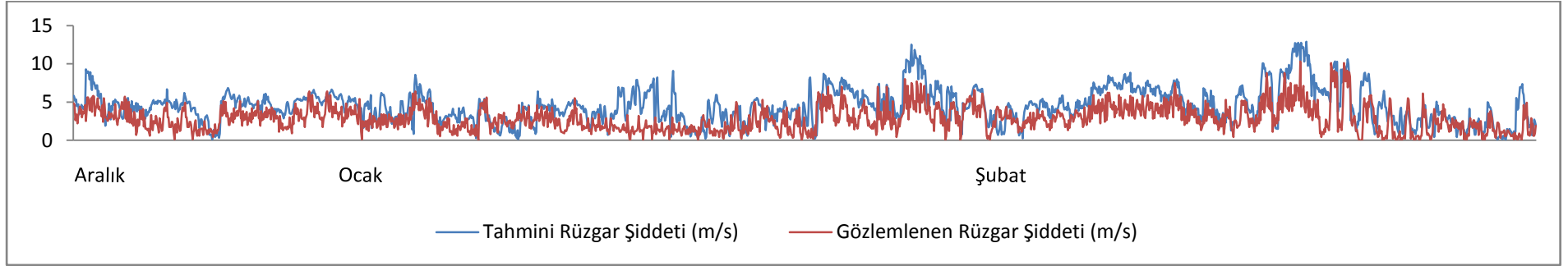
Şekil A.1: AKOM istasyonu 2007 – 2008 tahmin – gerçekleşen rüzgâr şiddeti.



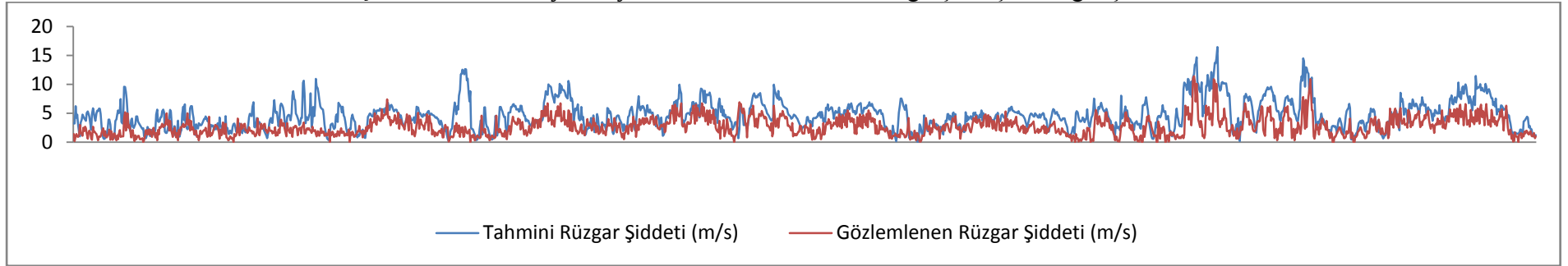
Şekil A.2: AKOM istasyonu 2008 – 2009 tahmin – gerçekleşen rüzgâr şiddeti.



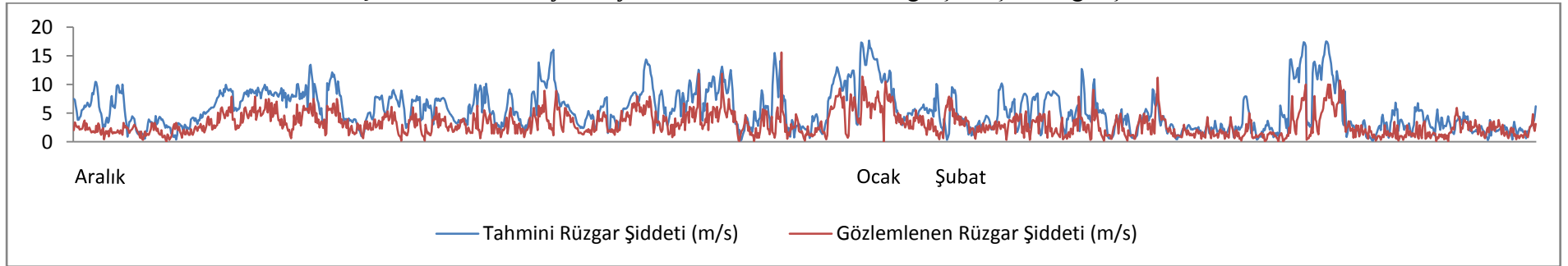
Şekil A.3: AKOM istasyonu 2009 – 2010 tahmin – gerçekleşen rüzgâr şiddeti.



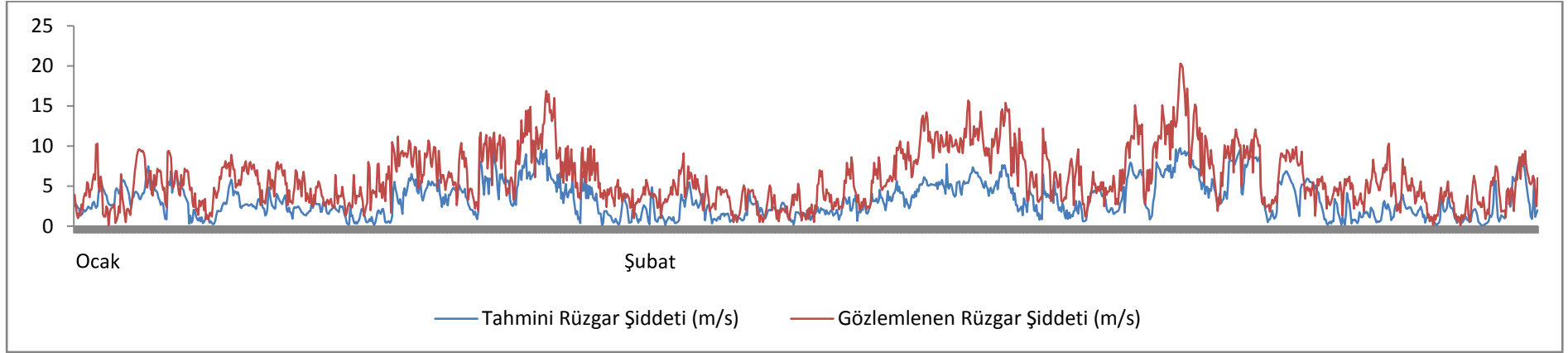
Şekil A.4: Aksaray istasyonu 2007 – 2008 tahmin – gerçekleşen rüzgâr şiddeti.



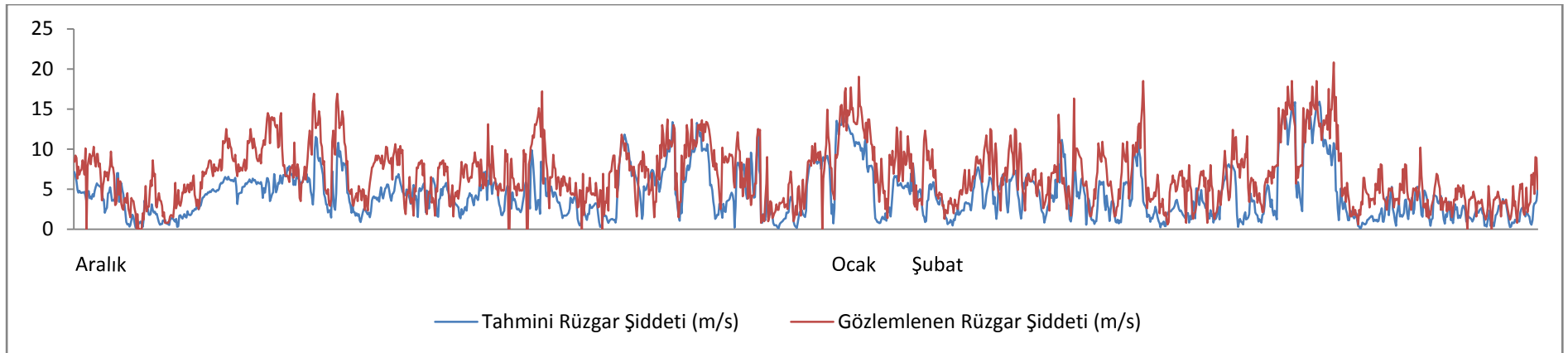
Şekil A.5: Aksaray istasyonu 2008 – 2009 tahmin – gerçekleşen rüzgâr şiddeti.



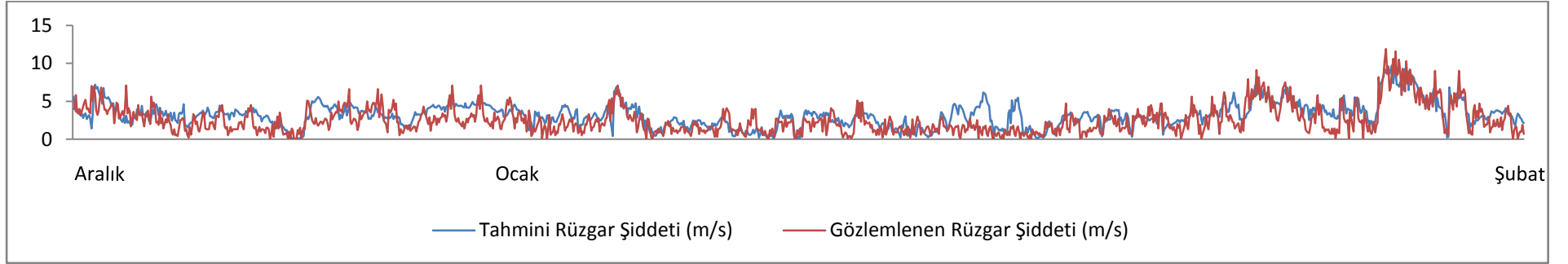
Şekil A.6: Aksaray istasyonu 2009 – 2010 tahmin – gerçekleşen rüzgâr şiddeti.



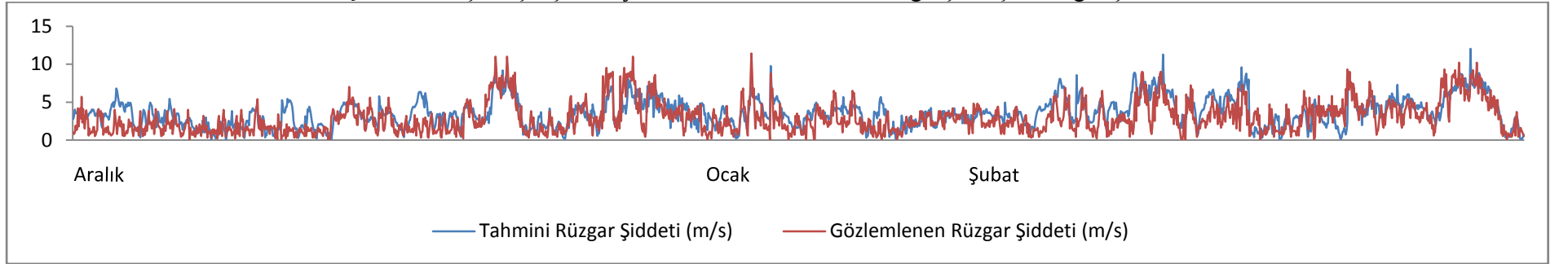
Şekil A.7: Büyükada istasyonu 2007 – 2008 tahmin – gerçekleşen rüzgâr şiddeti.



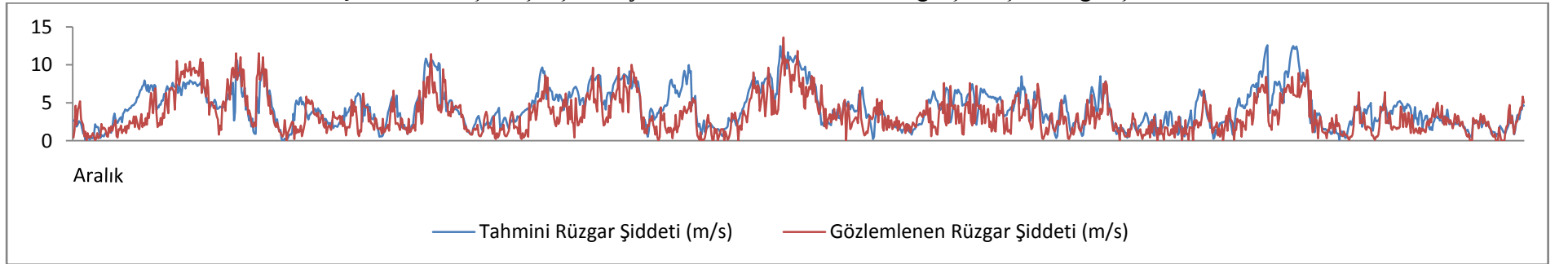
Şekil A.8: Büyükada istasyonu 2009 – 2010 tahmin – gerçekleşen rüzgâr şiddeti.



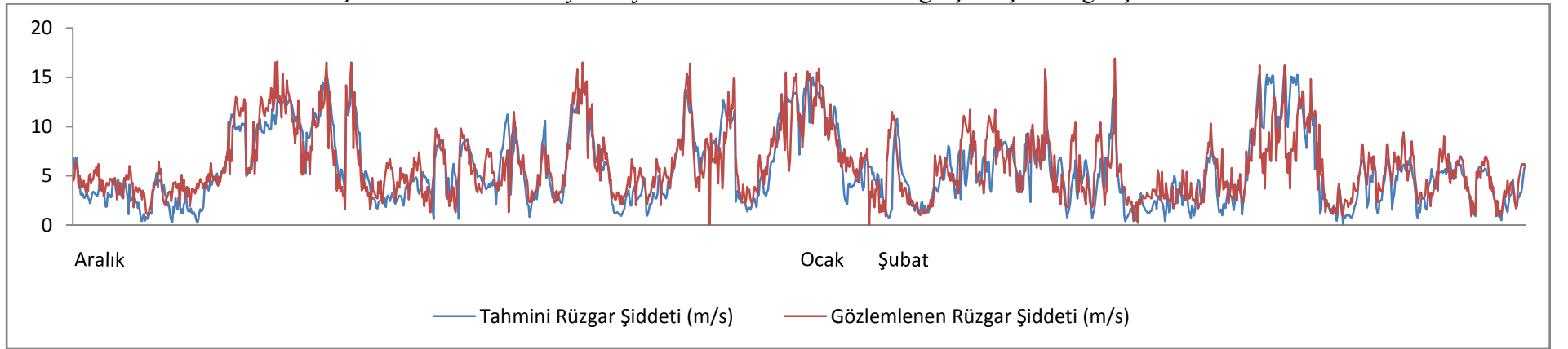
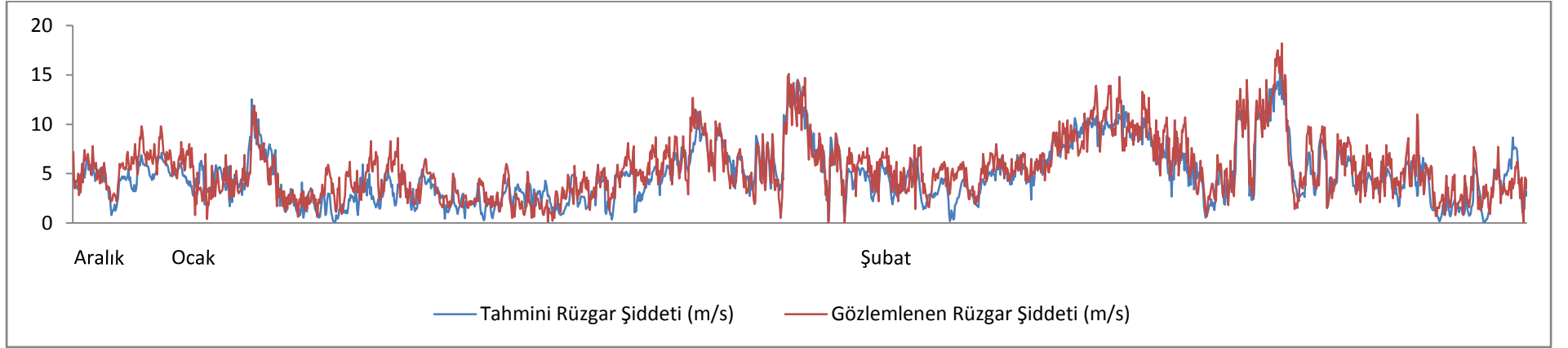
Şekil A.9: Çavuşbaşı istasyonu 2007 – 2008 tahmin – gerçekleşen rüzgâr şiddeti.

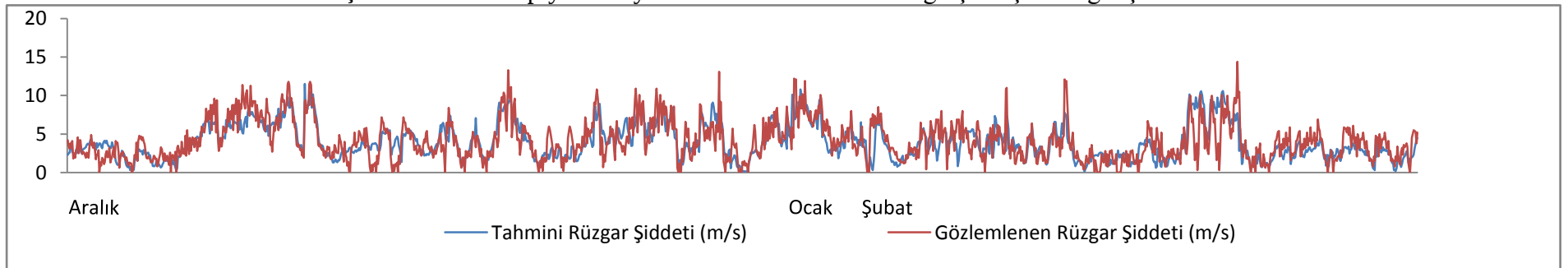
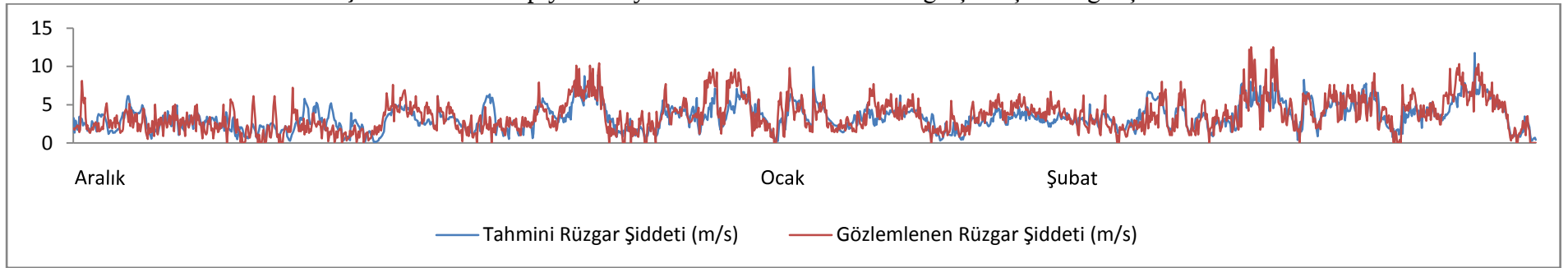
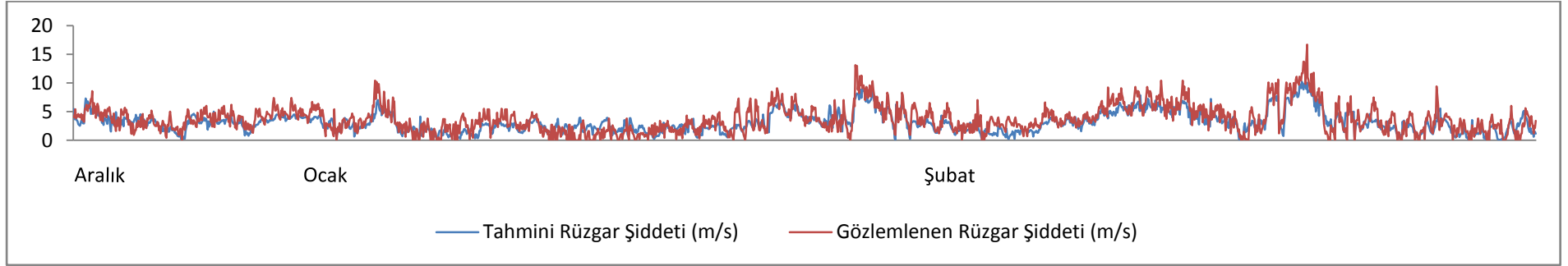


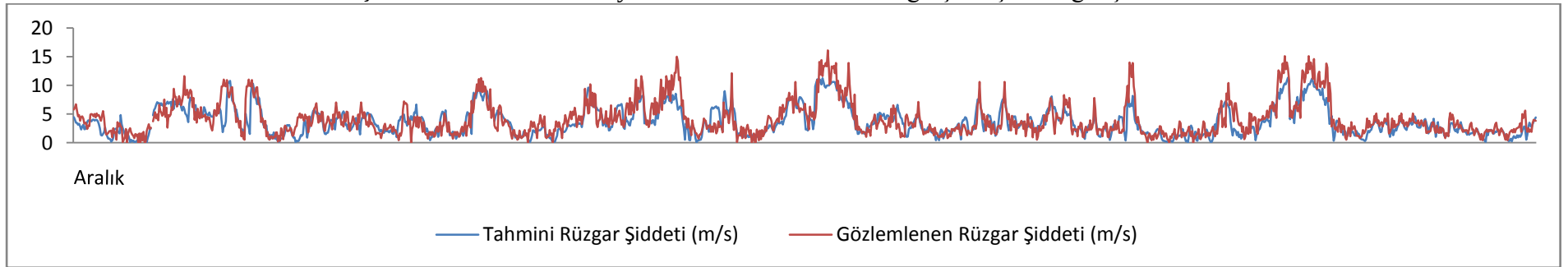
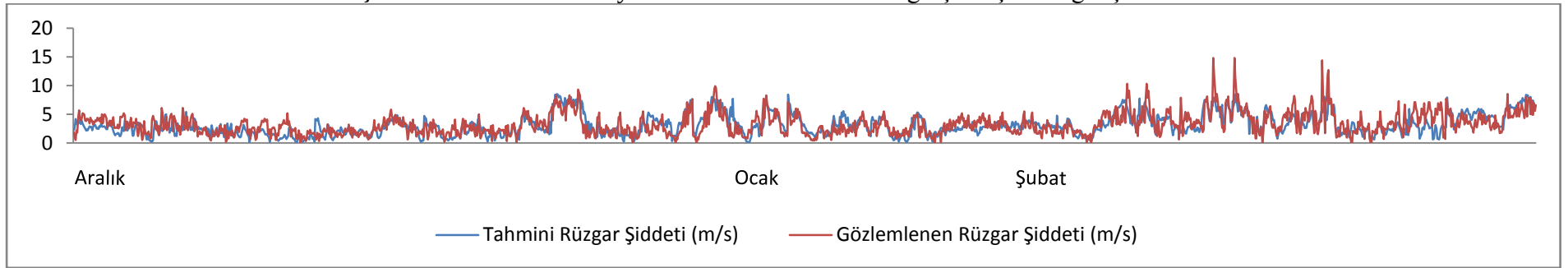
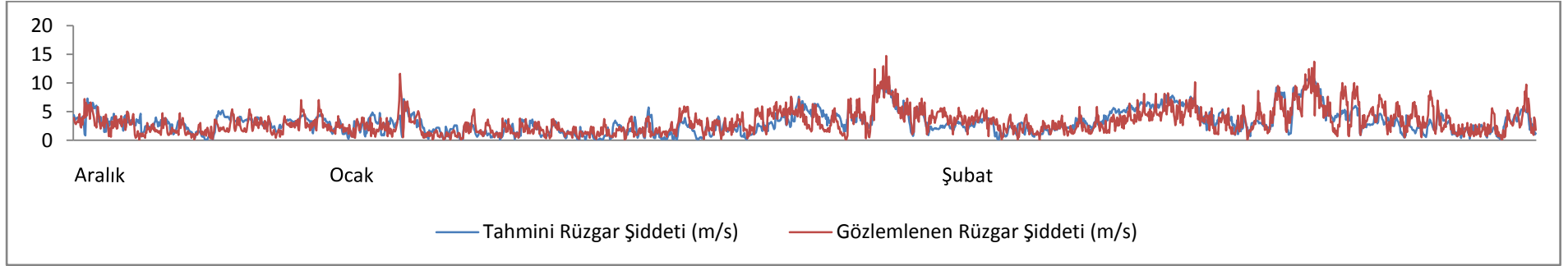
Şekil A.10: Çavuşbaşı istasyonu 2008 – 2009 tahmin – gerçekleşen rüzgâr şiddeti.

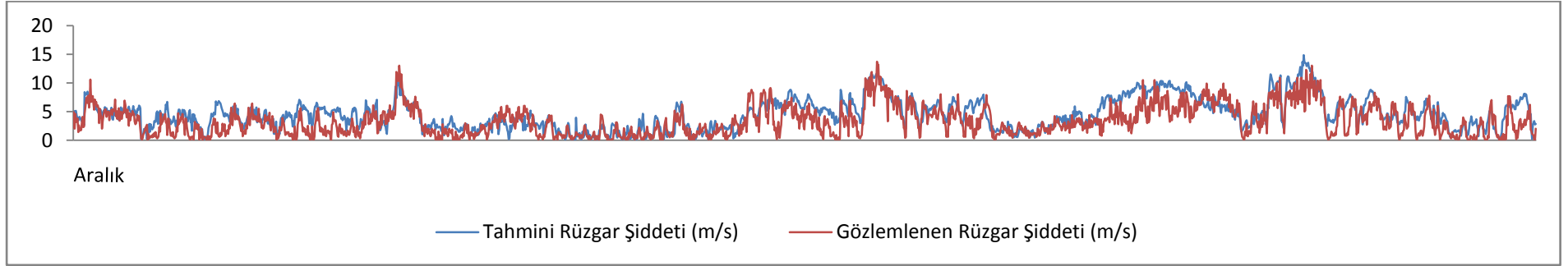


Şekil A.11: Çavuşbaşı istasyonu 2009 – 2010 tahmin – gerçekleşen rüzgâr şiddeti.

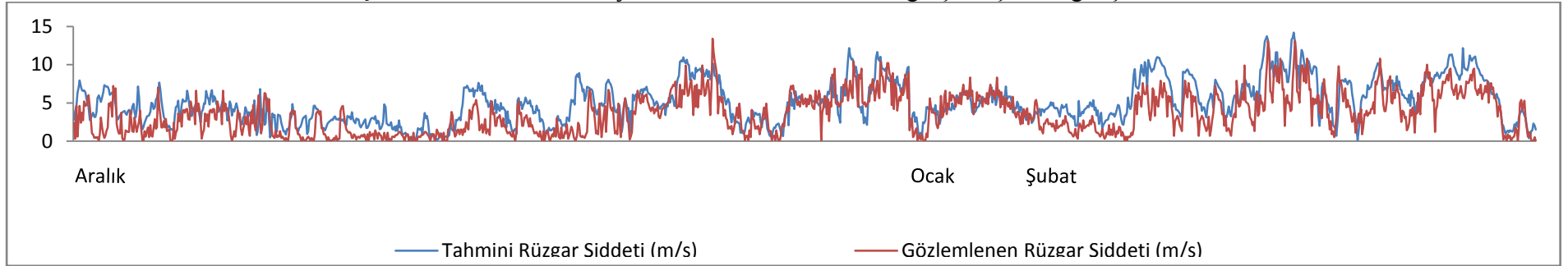




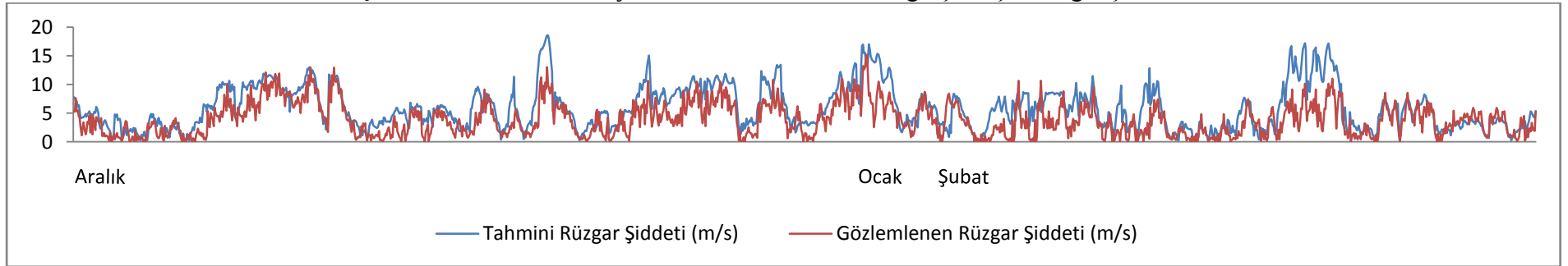




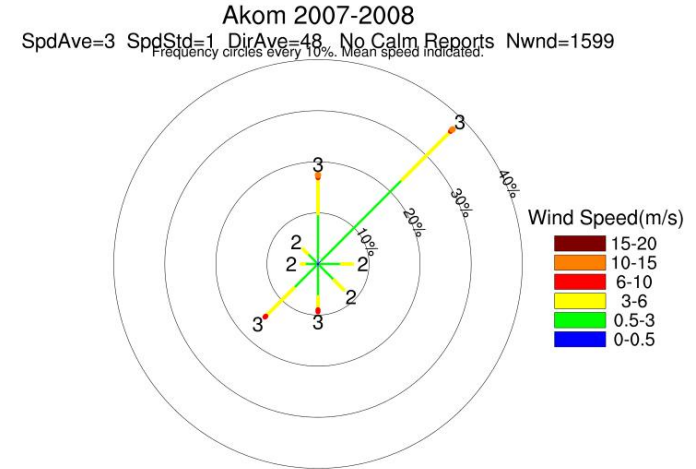
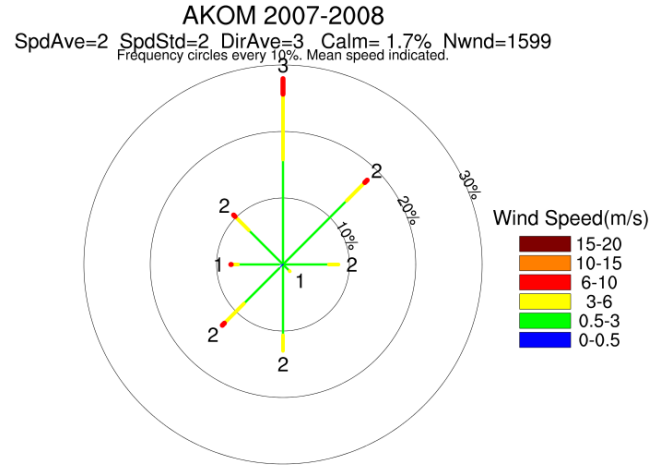
Şekil A.20: Terkos istasyonu 2007 – 2008 tahmin – gerçekleşen rüzgâr şiddeti.



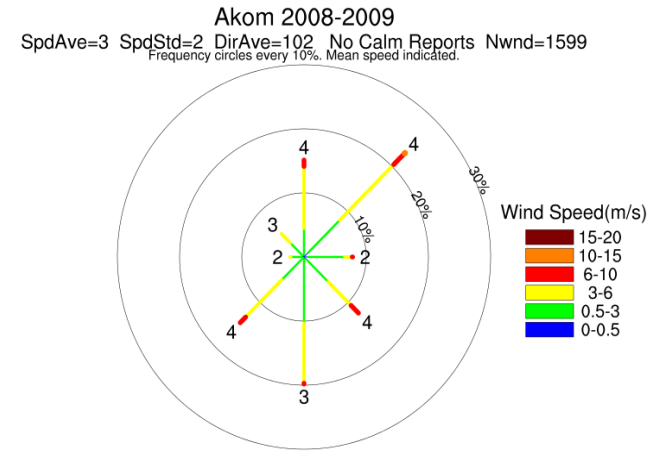
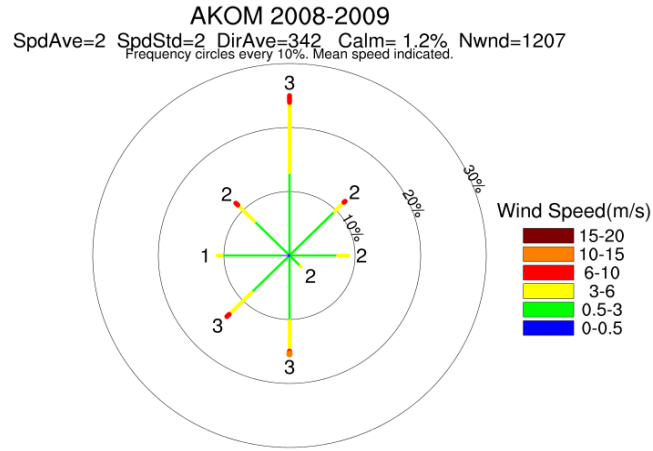
Şekil A.21: Terkos istasyonu 2008 – 2009 tahmin – gerçekleşen rüzgâr şiddeti.



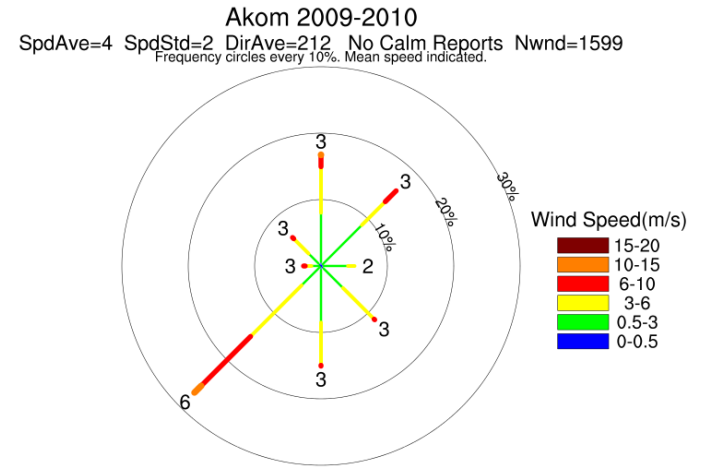
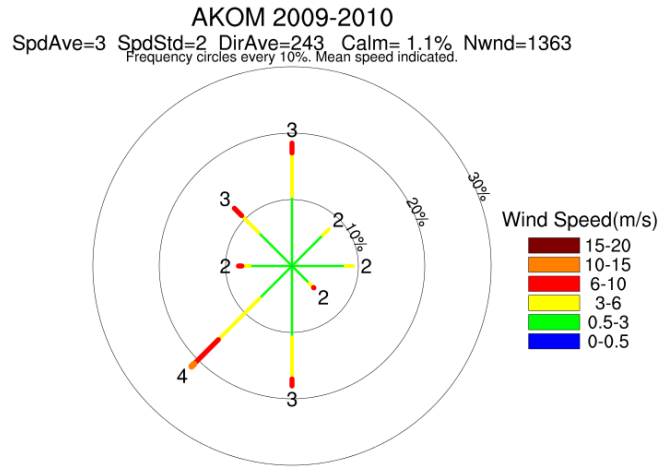
Şekil A.22: Terkos istasyonu 2009 – 2010 tahmin – gerçekleşen rüzgâr şiddeti.



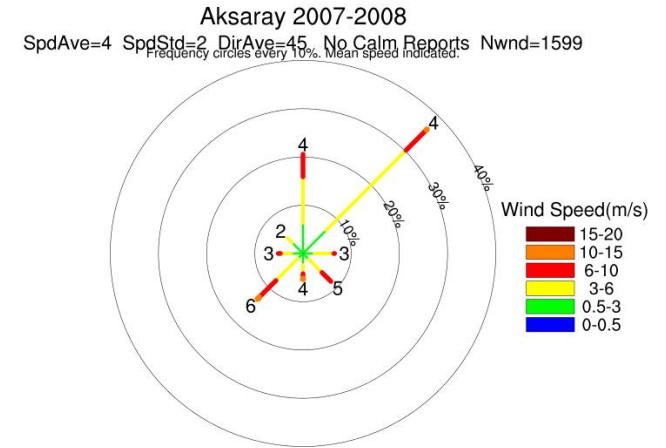
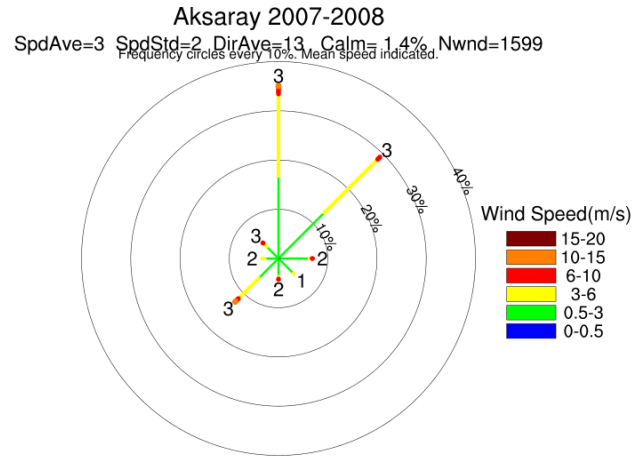
Şekil B.1: AKOM 2007 – 2008 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü.



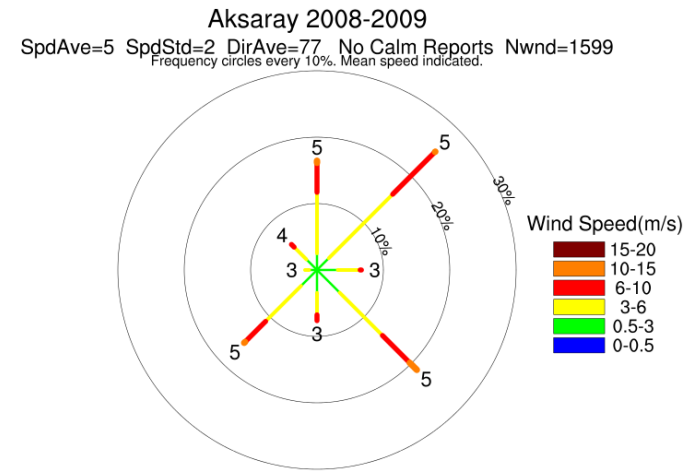
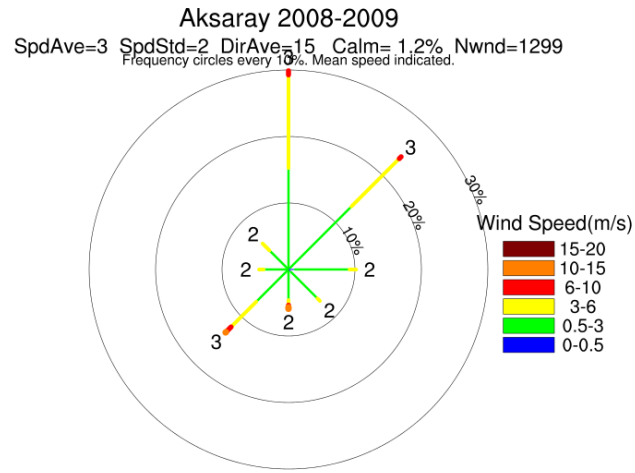
Şekil B.2: AKOM 2008 – 2009 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü.



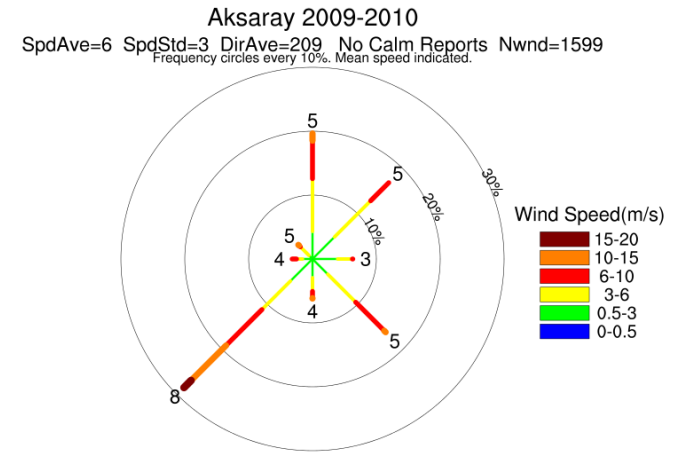
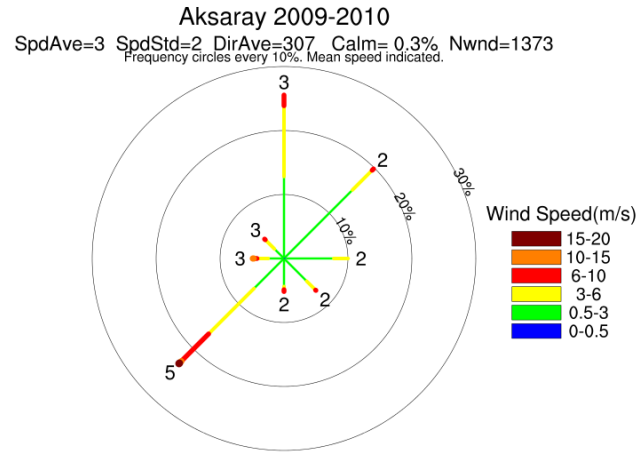
Şekil B.3: AKOM 2009 – 2010 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gücü.



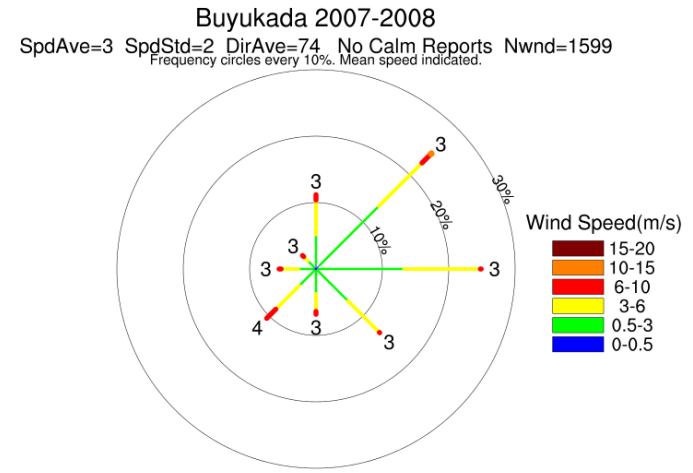
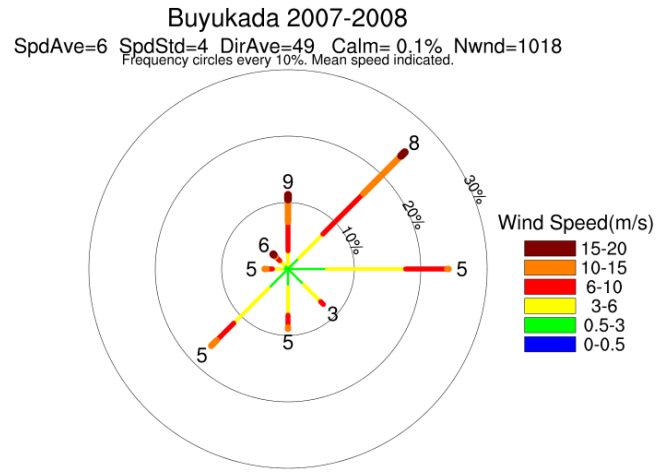
Şekil B.4: Aksaray 2007 – 2008 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü.



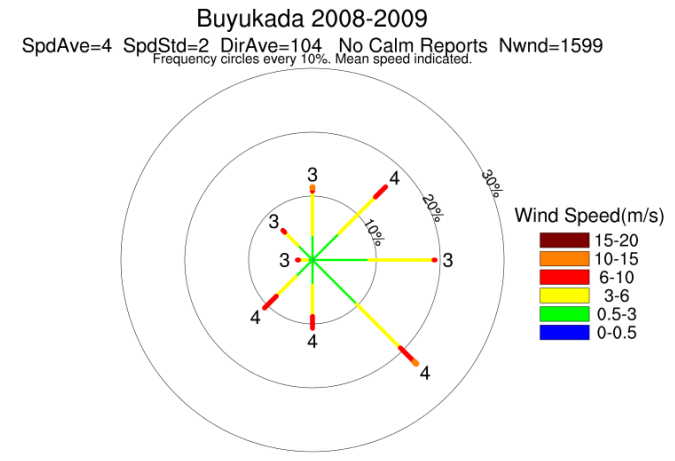
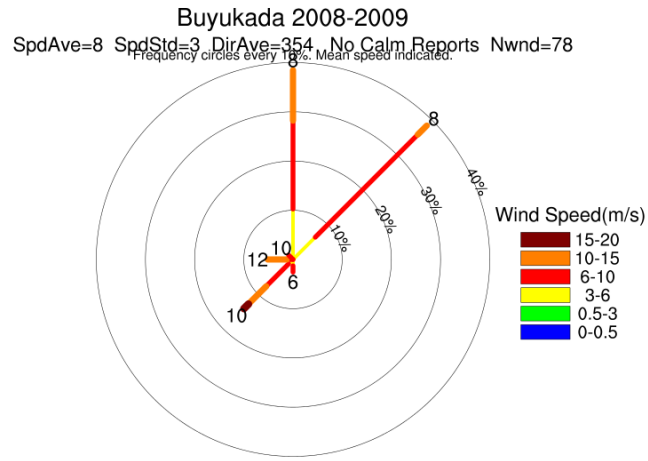
Şekil B.5: Aksaray 2008 – 2009 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü.



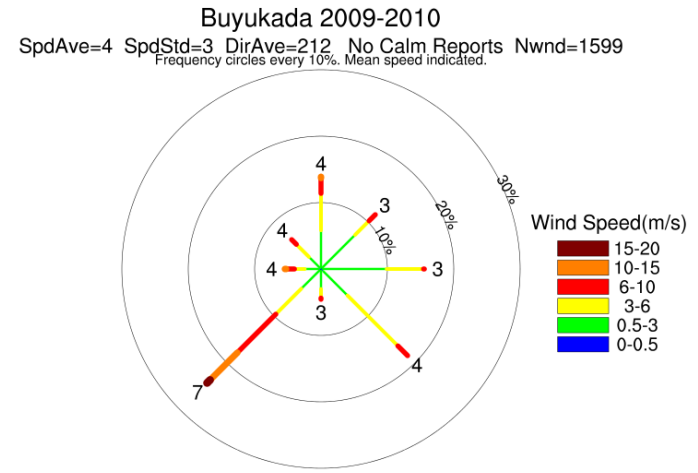
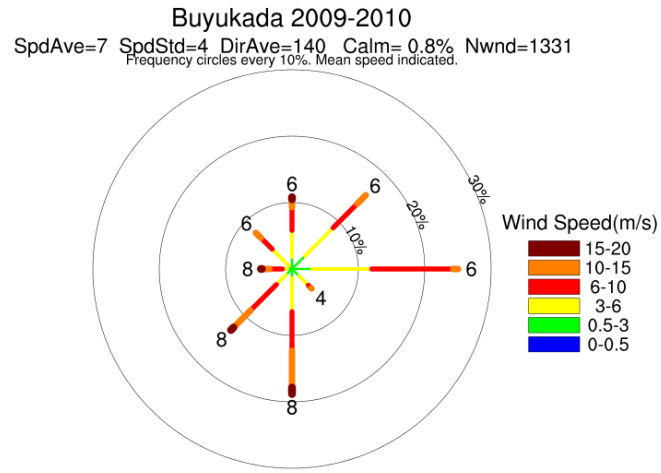
Şekil B.6: Aksaray 2009 – 2010Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü.



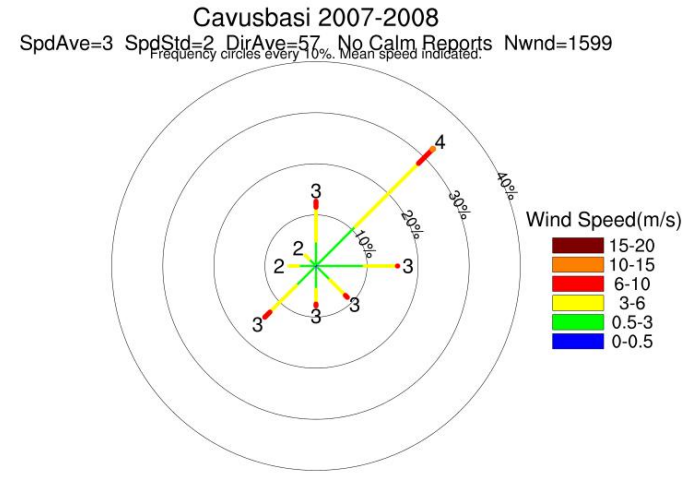
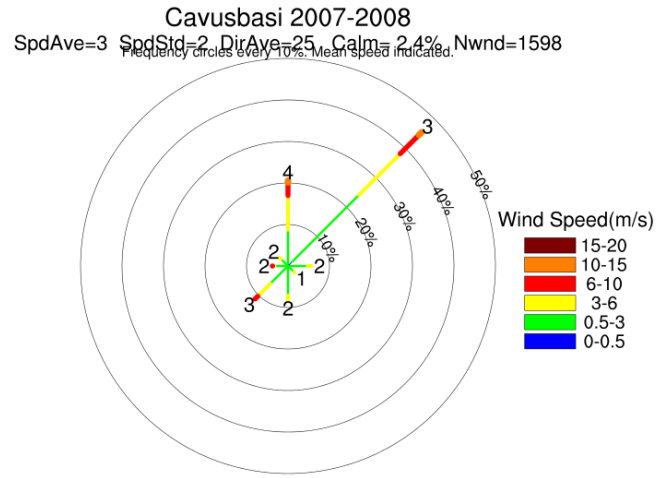
Şekil B.7: Büyükkada 2007 – 2008 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü.



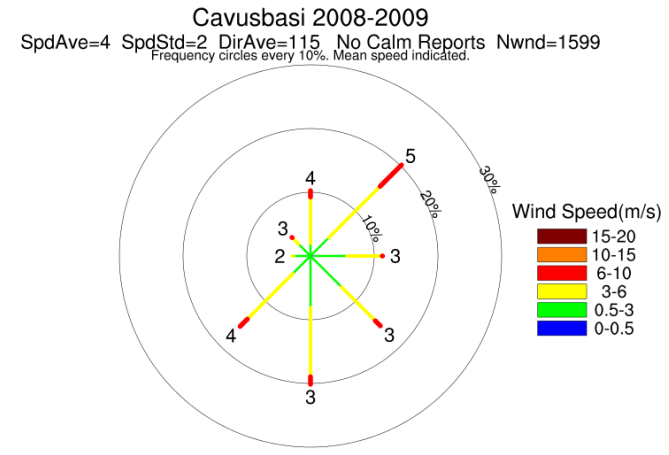
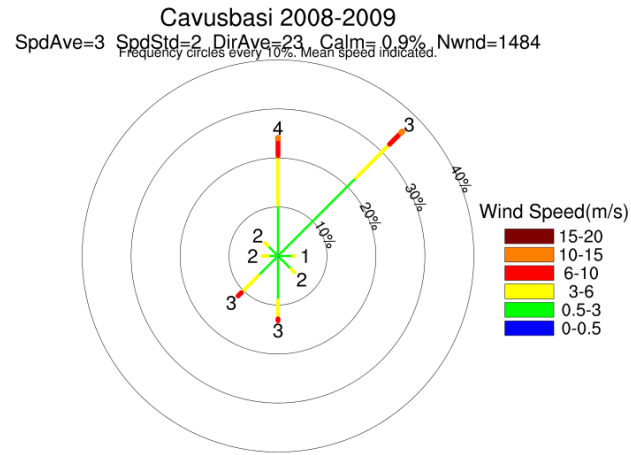
Şekil B.8: Büyükada 2008 – 2009 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü.



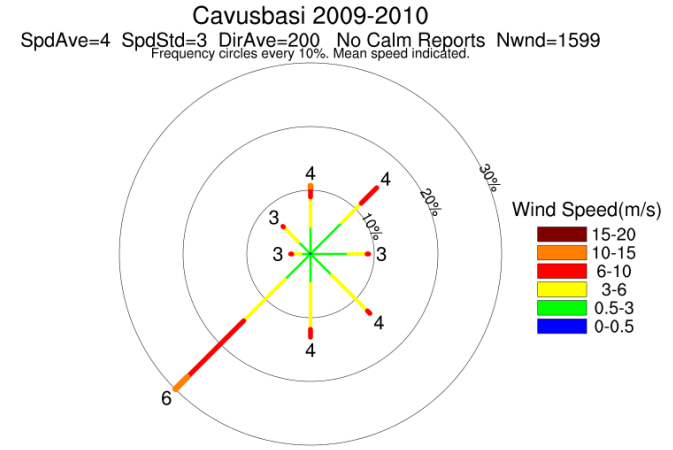
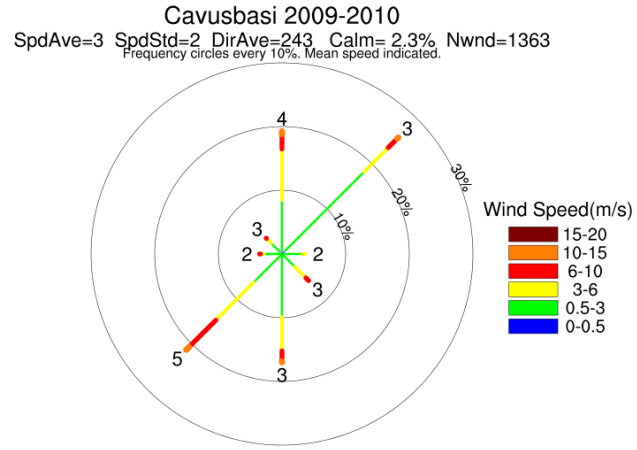
Şekil B.9: Büyükada 2009 – 2010 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü.



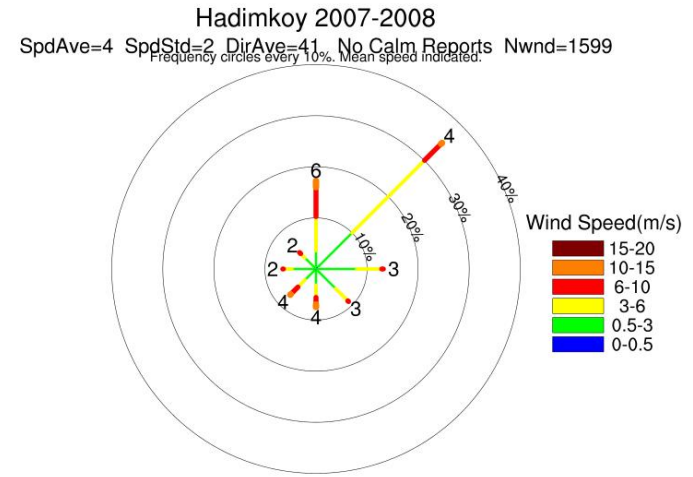
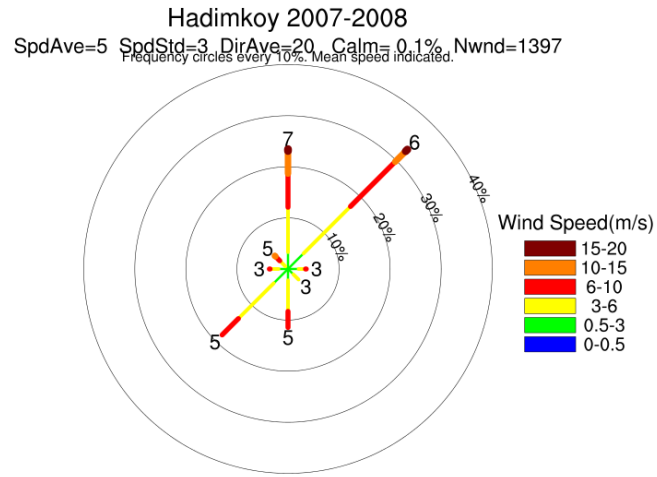
Şekil B.10: Çavuşbaşı 2007 – 2008 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü.



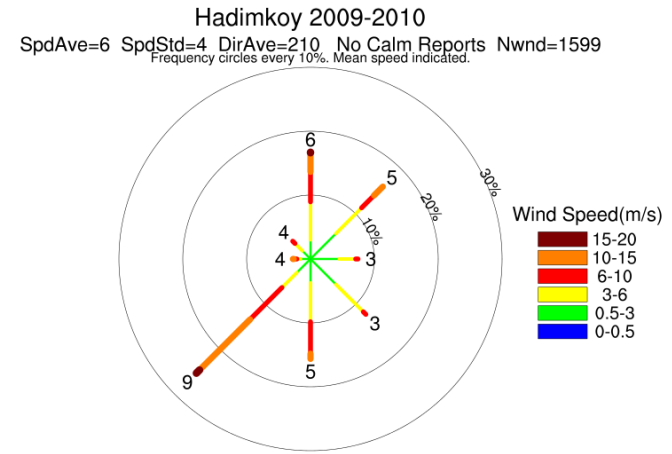
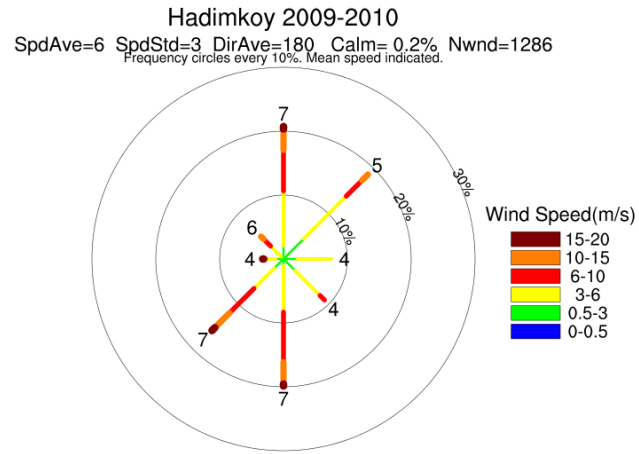
Şekil B.11: Çavuşbaşı 2008 – 2009 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü.



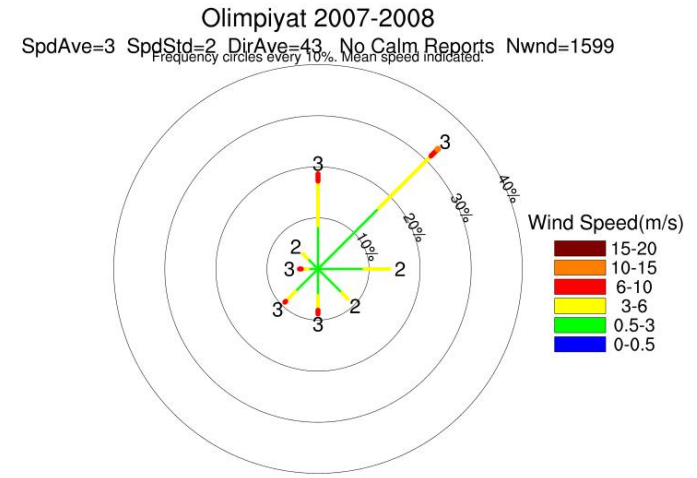
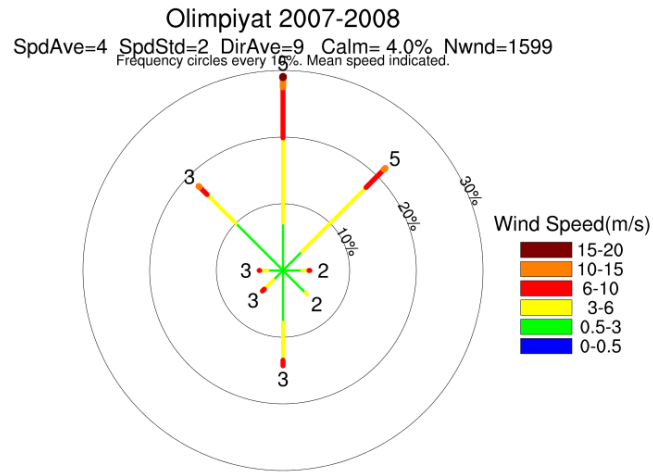
Şekil B.12: Çavuşbaşı 2009 – 2010 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü.



Şekil B.13: Hadımköy 2007 – 2008 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü.



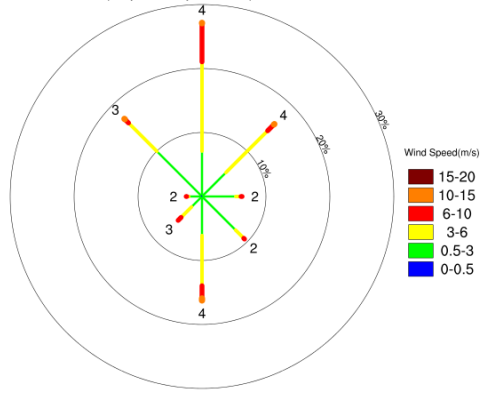
Şekil B.14: Hadımköy 2009 – 2010 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü.



Şekil B.15: Olimpiyat 2007 – 2008 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü.

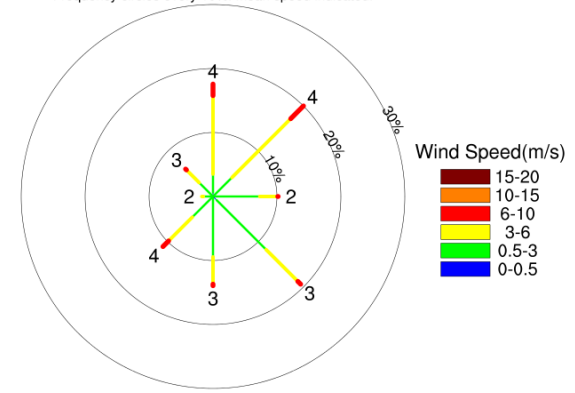
Olimpiyat 2008-2009 Ruzgar Gulu

SpdAve=3 SpdStd=2 DirAve=9 Calm= 2.5% Nwnd=1241
Frequency circles every 10%. Mean speed indicated.

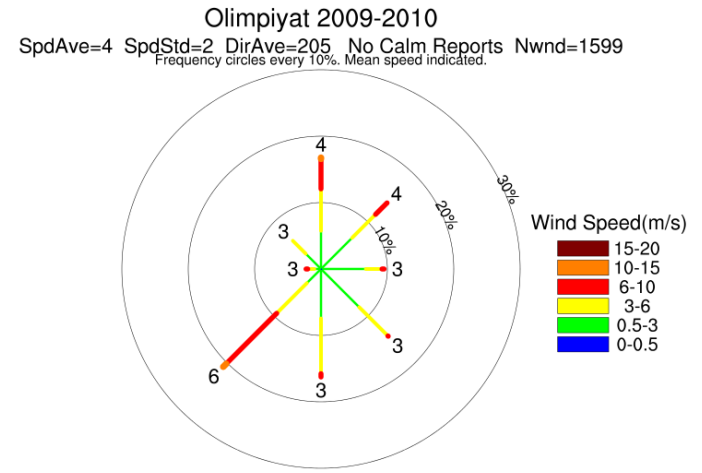
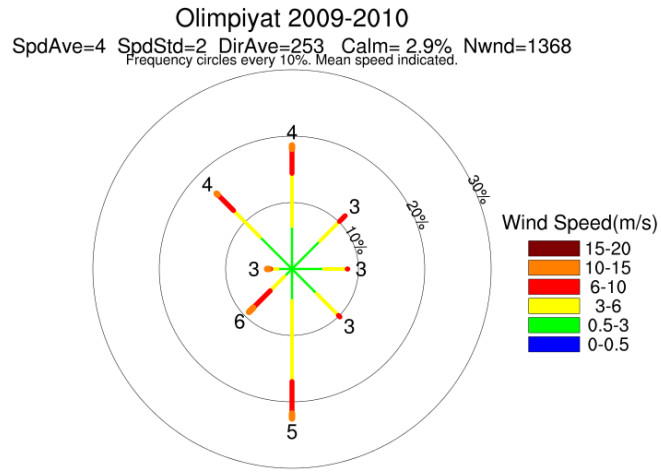


Olimpiyat 2008-2009

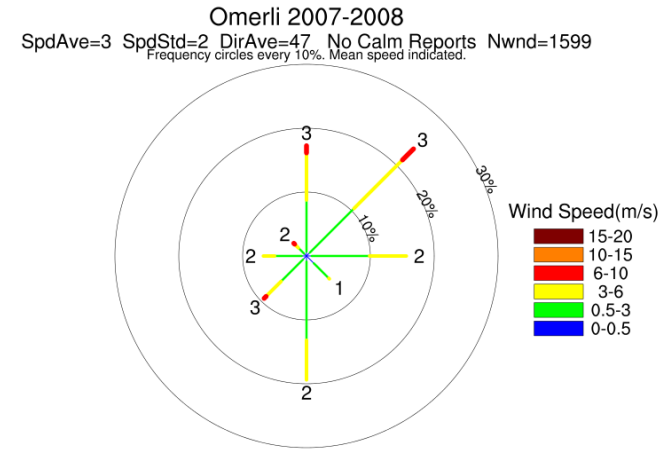
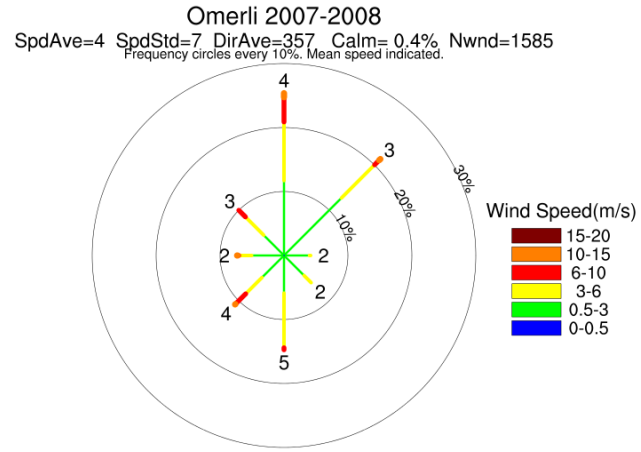
SpdAve=3 SpdStd=2 DirAve=65 No Calm Reports Nwnd=1599
Frequency circles every 10%. Mean speed indicated.



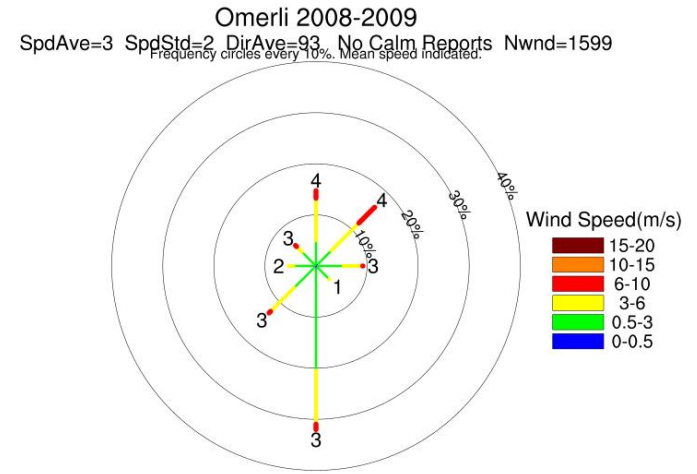
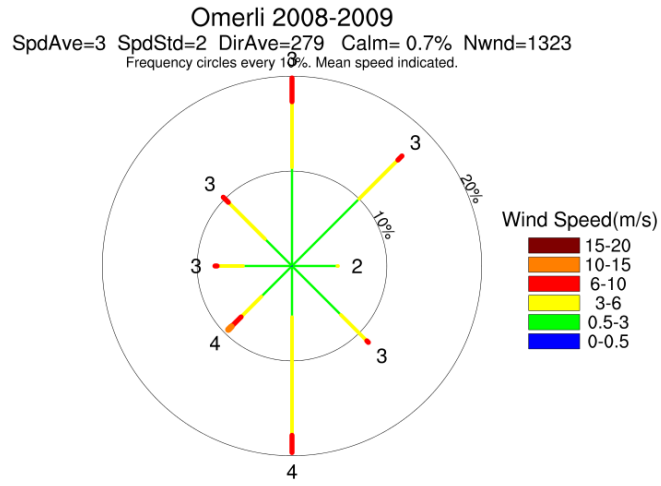
Şekil B.16: Olimpiyat 2008 – 2009 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü.



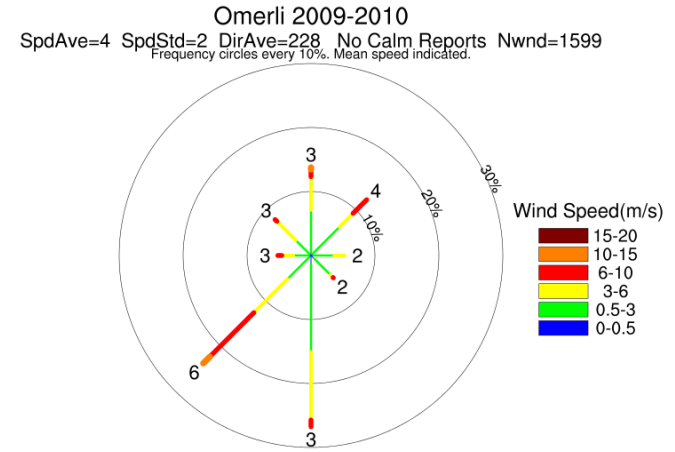
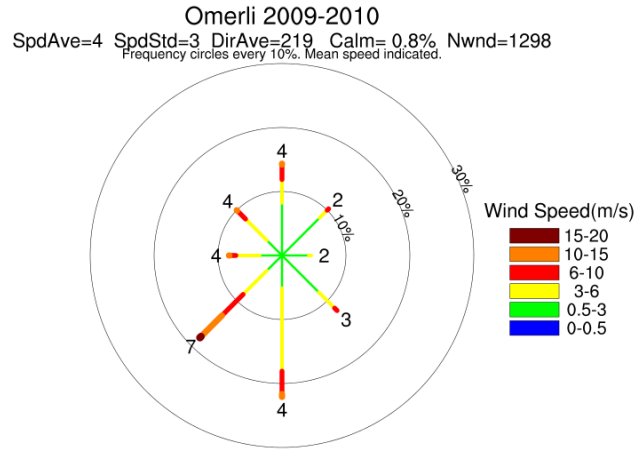
Şekil B.17: Olimpiyat 2009 – 2010 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü.



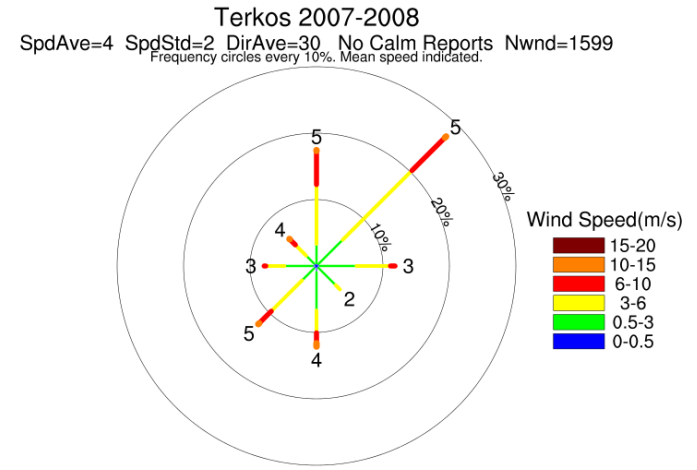
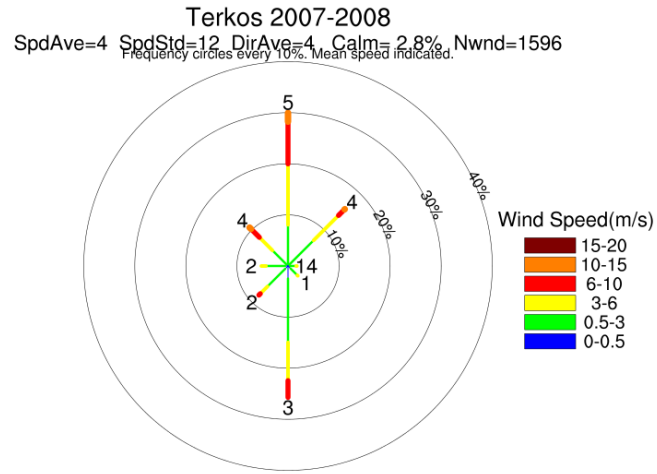
Şekil B.18: Ömerli 2007 – 2008 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü.



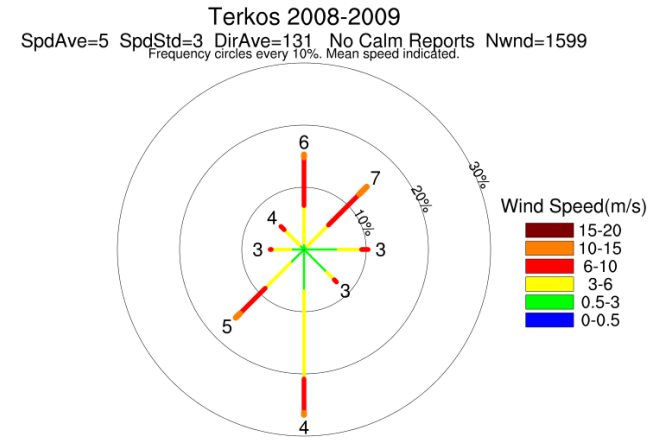
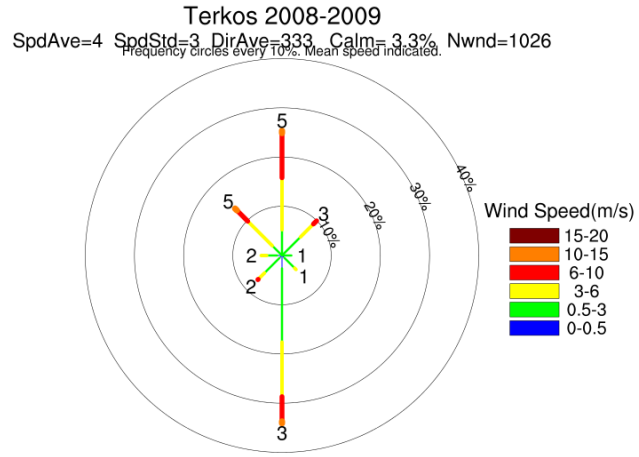
Şekil B.19: Ömerli 2008 – 2009 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü.



Şekil B.20: Ömerli 2009 – 2010 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü.

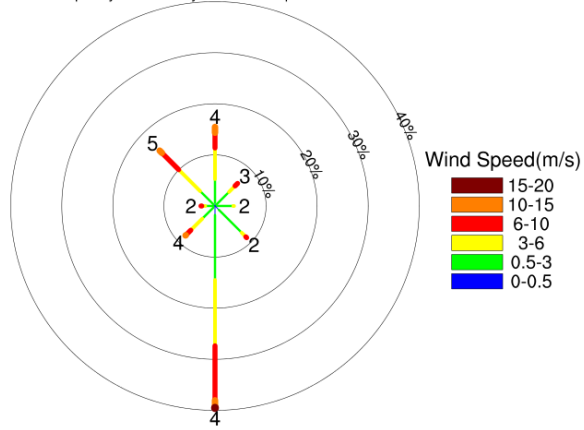


Şekil B.21: Terkos 2007 – 2008 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü.

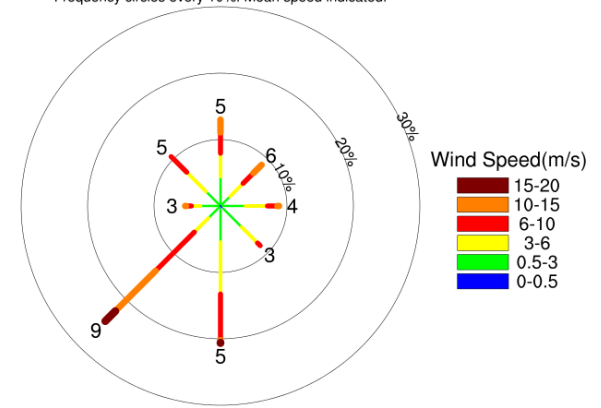


Şekil B.22: Terkos 2008 – 2009 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü.

Terkos 2009-2010
 SpdAve=4 SpdStd=3 DirAve=227 Calm= 3.8% Nwnd=1364
 Frequency circles every 10%. Mean speed indicated.



Terkos 2009-2010
 SpdAve=6 SpdStd=4 DirAve=216 No Calm Reports Nwnd=1599
 Frequency circles every 10%. Mean speed indicated.



Şekil B.23: Terkos 2009 – 2010 Gözlem – Tahmin Verisi Rüzgâr Gülü.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Murat Tunç

Doğum Yeri ve Tarihi: Isparta / 17.06.1984

E-Posta: mtunc@borusanenbwenerji.com

Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi Meteoroloji Mühendisliği Bölümü / 2007

İş Geçmişi:

11.2007 – 04.2011: İBB AKOM – Meteoroloji Mühendisi

04.2011 – 11.2012: DSİ 4. Bölge Müdürlüğü (Konya) – Meteoroloji Mühendisi

**11.2012 – Halen çalışıyor: Borusan EnBW Enerji – Meteoroloji Mühendisi
(Planlama Uzmanı)**