

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

RÜZGAR HIZININ SİNİRSEL BULANIK YÖNTEMLE TAHMİNİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Volkan ÖĞÜT

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği

Nisan 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

RÜZGAR HIZININ SİNİRSEL BULANIK YÖNTEMLE TAHMİNİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Volkan ÖĞÜT
501091532

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İsmail DURANYILDIZ

Nisan 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501091532 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Volkan ÖĞÜT** , ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**RÜZGAR HIZININ SİNİRSEL BULANIK YÖNTEMLE TAHMİNİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. İsmail Duranyıldız**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Mehmet Özger**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Melek Kazezyılmaz Alhan
İstanbul Üniversitesi

Teslim Tarihi : **03 Nisan 2014**
Savunma Tarihi : **07 Nisan 2014**

Babam'a,

ÖNSÖZ

Çalışmanın gerçekleşmesinde katkılarından dolayı başta değerli hocam Prof. Dr. İsmail Duranyıldız olmak üzere, Yrd. Doç. Dr. Özgür Kırca'ya, Ağaoğlu Enerji'den Murat Çolakoğlu'na, iş arkadaşlarım Mak. Müh. Coşkun Kartal ve İnş. Yük. Müh. Murat Özmen'e, Prota Bilgisayar A.Ş. İstanbul Yöneticisi Sayın Semih Türkoğlu'na, Chalmers Üniversitesi'nden Ahmet Anıl Sezer'e teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak bana bu çalışmada desteğini esirgemeyen aileme, iş arkadaşlarıma, dostlarıma bir kez daha teşekkür ederim.

Aralık 2013

Volkan ÖĞÜT
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
KISALTMALAR.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY.....	xix
1. GİRİŞ.....	1
2. RÜZGAR ENERJİSİNİN TARİHÇESİ, TÜRKİYE VE AVRUPA'DAKİ DURUMU.....	5
2.1 Rüzgar Enerjisi.....	5
2.2 Rüzgar Enerjisi Tarihçesi.....	5
2.2.1 Rüzgar enerjisinin gemilerde kullanımı.....	6
2.2.2 Metal eritme işleminde rüzgar gücünün kullanımı.....	7
2.2.3 Rüzgar milleri.....	8
2.2.4 Rüzgar türbinleri.....	9
2.2.5 Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarının durumu.....	12
2.2.6 Diğer yenilenebilir enerji kaynakları.....	13
2.2.7 Rüzgar enerjisine verilen destekler.....	14
3. RÜZGAR TÜRBİN TİPLERİ.....	17
3.1 Türbin Tipleri.....	17
3.1.1 Yatay eksenli rüzgar türbinleri.....	17
3.1.2 Düşey eksenli rüzgar türbinleri.....	17
3.2 Rüzgar Enerjisinde Temel Denklemlerin Eldesi.....	19
3.3 Rüzgar Türbinlerinde Aerodinamik Davranışı ve Froude Disk Konsepti.....	20
3.3.1 Güç katsayısı.....	23
3.3.2 Lancaster-Betz limit.....	23
3.4 Rüzgar Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları.....	24
4. RÜZGAR ENERJİ TAHMİNİNE GENEL BAKIŞ VE UYGULANAN YÖNTEMLER.....	27
4.1 Giriş.....	27
4.2 İletim Sistemi Operatörünün Sistemdeki Yeri.....	27
4.3 Rüzgar Enerjisi Tahmin Sistemleri.....	30
4.3.1 Sayısal hava tahmini.....	31
4.3.2 İstatistiksel sistemler.....	34
4.3.2.1 Rüzgar enerjisi tahmin aracı (Wind power prediction tool (WPPT)).....	34
4.3.2.2 WPPT'de kullanılan metotlar.....	34
4.3.2.3 WPPT konfigürasyon örnekleri.....	34
4.3.2.4 Yapay sinir ağları ile enerji tahmini.....	37
4.3.2.5 Bulanık mantık ile enerji tahmini.....	39
5. RÜZGAR HIZI TAHMİNİNDE SİNİRSSEL-BULANIK MANTIK ÇIKARIM MODELİ.....	41

5.1 Tahmin Değerlendirme Modelinin Mantığı	41
5.2 Bandırma Bölgesi Meteorolojik Bilgiler	42
5.3 Ölçüm Noktaları ve Kullanılan Veriler	42
5.4 S_1 ve S_2 Noktalarındaki Ölçümlerin İncelenmesi	42
5.5 S_1 ve S_2 Noktalarındaki Ölçümlerin Benzerliğinin Değerlendirilmesi	45
5.6 Bulanık Mantık Yöntemi ve Bulanık Kümelerin Oluşturulması	46
5.7 Bulanık Kural Tabanı	49
5.8 Bulanık Küme ve Üyelik Fonksiyonlarının Eğitilmesi	49
5.8.1 Parametrelerin ayarlanması.....	49
5.9 Verilerin Kontrol Edilmesi.....	51
5.10 Verilerin Test Edilmesi.....	53
6. TAHMİN EDİLEN HIZLARIN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ	55
6.1 ANFIS ile Tahmin Edilen Hızların İstatistiksel Analizi.....	55
6.1.1 Tahmin doğruluğu	55
6.1.1.1 Ortalama mutlak sapma.....	55
6.1.1.2 Ortalama mutlak yüzde sapma.....	55
6.1.1.3 Kümülatif hata.....	56
6.1.2 Tahmin kontrolü	56
6.1.2.1 Hataların aritmetik ortalaması (BIAS).....	56
6.1.2.2 Ortalama mutlak sapma (MAD).....	56
6.1.2.3 Ortalama hataların karesi (MSE).....	57
6.1.2.4 Ortalama mutlak yüzde hata (MAPE).....	57
6.1.2.5 Belirlilik katsayısı.....	57
6.2 Süreklilik Metodu ile Tahmin Edilen Hızların İstatistiksel Analizi	58
6.3 Sıcaklık Parametresi Eklenen ANFIS Modeli ile Tahmin Edilen Hızların İstatistiksel Analizi.....	58
6.4 Modellerin Grafıksel Olarak Karşılaştırılması.....	59
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	63
KAYNAKLAR.....	65
EKLER	69
ÖZGEÇMİŞ	93

KISALTMALAR

ANFIS	: Adaptive Neural Fuzzy Inference System
DETR	: Düşey Eksenli Rüzgar Türbinleri
MAPE	: Mean Absolute Percentage Error
MSE	: Mean Square Error
RES	: Rüzgar Enerji Santrali
RMSE	: Root Mean Square Error
SEAI	: Sustainable Energy Authority of Ireland
SHT	: Sayısal Hava Tahmini
WPPT	: Wind Power Prediction Tool

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1 : Avrupadaki SHT Sistemleri	33
Çizelge 6.1 : ANFIS ile yapılan rüzgar hızı sonuçları	58
Çizelge 6.2 : Süreklilik metodu ile yapılan rüzgar hızı tahminlerinin istatistiksel sonuçları	58
Çizelge 6.3 : Modele sıcaklık parametresinin eklenmesi ile yapılan rüzgar hızı tahminlerinin istatistiksel sonuçları	59
Çizelge A.1 : ANFIS ile yapılan rüzgar hızı tahmini ve istatistiksel analiz.....	69
Çizelge A.2 : ANFIS yöntemi ile oluşturulan model sıcaklık parametresinin eklenmesi sonucu elde edilen rüzgar hızı tahmini ve istatistiksel analiz	77
Çizelge A.3 : Süreklilik metodu ile yapılan rüzgar hızı tahmini ve istatistiksel analiz	85

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Çinlilere ait 2 direkli yelkenli bir gemi	6
Şekil 2.2 : Çift etkili, piston körük.....	7
Şekil 2.3 : Ebul İz'in Mekanizması ve 3 Boyutlu Şeması.....	8
Şekil 2.4 : Charles Brush Tarafından Dizayn Edilen İlk Türbin.....	9
Şekil 2.5 : Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Potansiyelleri	12
Şekil 3.1 : Rüzgar türbin tipleri	19
Şekil 3.2 : Rüzgar türbinlerinde momentum aktarımı modeli	21
Şekil 3.3 : Maksimum güç katsayısı	24
Şekil 4.1 : Rüzgar gücünün şebekeye yüksek değerlerde katıldığında elektrik yükü.	29
Şekil 4.2 : Atmosferik model	32
Şekil 4.3 : Alman hava tahmin servisinin 60x60km ² çözünürlüğe sahip lokal modeli	32
Şekil 4.4 : Alman hava tahmin servisinin 7x7 km ² 'lik lokal modeli.....	33
Şekil 4.5 : Büyük iletim sistemi tarafından kullanılan WPPT konfigürasyonu	35
Şekil 4.6 : Büyük rüzgar çiftliği.....	36
Şekil 4.7 : Çok büyük iletim operatörleri WPPT konfigürasyonu	37
Şekil 4.8 : Yapay sinir ağlarının şema olarak gösterimi	38
Şekil 5.1 : Kullanılan verilerin harita üzerinde gösterimi	42
Şekil 5.2 : S ₁ noktasında rüzgar hız-yön grafiği	43
Şekil 5.3 : S ₁ noktasında rüzgar gülü	43
Şekil 5.4 : S ₁ noktasında rüzgar hız-zaman grafiği	44
Şekil 5.5 : S ₂ noktası rüzgar gülü	44
Şekil 5.6 : S ₂ noktasında rüzgar hız-zaman grafiği	45
Şekil 5.7 : Rüzgar hızının bulanık kümesinin ve üyelik fonksiyonlarının oluşturulması	47
Şekil 5.8 : Rüzgar yönünün bulanık kümesinin ve üyelik fonksiyonlarının oluşturulması	48
Şekil 5.9 : Sıcaklık bulanık kümesinin ve üyelik fonksiyonlarının oluşturulması kurallarının oluşturulması	48
Şekil 5.10 : Matlab ANFIS arayüzü.....	50
Şekil 5.11 : Matlab'te eğitilen veriler	51
Şekil 5.12 : Matlab'te verilerin kontrolü	52
Şekil 5.13 : Matlab'te verilerin test edilmesi	53
Şekil 5.14 : Matlab'te çıktı verilerinin elde edilmesi	53
Şekil 6.1 : Modellerin tahmin değerleri ve ölçüm grafiği.....	60
Şekil 6.2 : Modellerdeki hataların karşılaştırılması (MAPE)	61
Şekil 6.3 : Modellerdeki hataların karşılaştırılması (RMSE)	61

RÜZGAR HIZININ SİNİRSEL-BULANIK YÖNTEMLE TAHMİNİ

ÖZET

Fosil yakıtların yakın gelecekte tükenme tehlikesiyle karşı karşıya kalacak olması insanları diğer enerji kaynaklarına yönlendirmiştir. Çevre dostu olması ve üretim için herhangi bir hammadde ihtiyacı olmaması, yenilenebilir enerji kaynaklarından olan, rüzgara ilgiyi artırmıştır.

Rüzgar enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında en hızlı büyüyen enerji türüdür. Bu yüzden rüzgar enerjisini planlama ve işletme çok önemli bir hale gelmiştir. Şebekede artan rüzgar gücü miktarı ve rüzgar hızının aralıklarla esen değişken yapısı sebebiyle yeni problemler ortaya çıkmaktadır. İyi bir tahmin sistemin kurulması bu problemlerin aşılmasında kilit rol oynamaktadır. Çalışmanın amacı geçmiş dönemlere ait veriler bulunduğu oluşturulabilecek hızlı ve etkili bir yöntem olan sinirsel bulanık yöntemin tahmin performansının değerlendirilmesidir.

Bu çalışmada Bandırma ilçesinde, WGS 84 koordinat sisteminde E 27° 50' 17,1" boylam ,N 40° 20' 04,9" bulunan, Edincik köyüne ait rüzgar hızı, yön değerleri alınarak Şah Rüzgar Enerji Santrali için rüzgar hızı tahmini yapılmaktadır. Sıcaklık girdisi değerleri ise Şah Rüzgar Enerjisi Santralinden elde edilen verilerden alınmıştır.

Tahmin metodunda bulanık mantık tipi olarak “Takagi Sugeno Kank (TSK)” olarak seçilmiştir. Yön - rüzgar hızı, rüzgar hızı - yön - sıcaklık girdi olarak alınarak 2 adet model oluşturulmuştur. Her bir girdi için 3'er adet üyelik fonksiyonu alınmış, üyelik fonksiyonları ise gauss üyelik fonksiyonu olarak seçilmiştir. Bulanık kural tabanları elde edilen geçmiş veriler altında oluşturularak üyelik fonksiyonları bu verilere dayanarak adapte edilmiştir. MatLab 2012 programının ANFIS arayüzünde, 08.07.2008- 07.07.2009 tarihinde elde edilen geçmiş veriler kullanılarak, sinirsel bulanık yöntem ile eğitilmiştir. Eğitilmiş veriler 13.09.2009-17.09.2009 arasında elde edilen verilerle aşırı uyumlu olma durumu kontrol edilmiştir. Eğitilmiş veriler tarafından oluşturulan modeller, Bandırma bölgesine ait Edincik'ten alınan verilere dayanarak, Şah Rüzgar Enerji Santrali'nde rastgele seçilen 48 saatlik zaman aralığında (17.09.2009- 19.09.2009) rüzgar hızı tahmin edilerek hata oranları bulunmuştur. Tahmin sonuçları istatistiksel olarak Microsoft Excel programında değerlendirilmiştir. Kuadratik hata (RMSE) ve ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) değerlerine göre modeller birbiri ile karşılaştırılmıştır. Sinirsel bulanık yöntem kullanılarak oluşturulan 2 model de süreklilik metoduna göre daha başarılı ve kullanılabilir olduğu gösterilmiştir.

WIND SPEED PREDICTION VIA NEURO-FUZZY SYSTEMS

SUMMARY

The danger of the extinction fossil fuels has diverted the people to another energy resources. As a result of this, the attention to wind energy has increased for clean and no needs raw materials.

Wind energy usage has been increased fastest if you compare with conventional energy resources. So that it takes critical role to plan and manage the process of wind energy production. Increased power amount in the grid, has caused new challenges recently. Accurate power prediction model is really important to overcome these challenges. The aim of the study is evaluating the performance of fast and effective model via Adaptive Neural Fuzzy Inference System (ANFIS) when you have past data for wind energy power plants.

In this study Edincik wind power plant which is located E 27° 50' 17,1", N 40° 20' 04,9" coordinates according to WGS 84 was called S1. The past data of the power plant which includes wind speed and wind direction has been used to predict ŞAH wind power plant (S2) which is located on N 40°22'24.84" - E 28°13'12.82" coordinates although temperature datas has been used from Şah wind power plant. These power plants' wind direction and wind velocity datas are compared to find the similarity of them. According to this comparison prevailing wind direction has been found North-North East direction both of the wind power plants. After obtaining prevailing wind direction, S1 and S2 were checked the relation between these points via correlation coefficient which shows linear relation between variables. MatLab was used to obtain how similar two variables. "corrcoef" and "corr2d" commans can be used to have correlation coefficient in MatLab programme. In this study S1 and S2 points' wind speed has been compared which belongs to 07/07/2008-08/07/2009, the coefficient was found 0.7257 which shows us; these points have a good positive linear relationship. Correlation coefficient changes between [-1,1]. If the coefficient value is found close to "1", it means both variables are increasing or decreasing at the same moment that means have a perfect relationship. When the correlation coefficient is decrease to "-1" it shows negative linear relationship. It means that when S1's velocity increase S2 is decreasing or the opposite. Meanwhile for this parameter "0" means there is no relationship between two variables.

Meanwhile ANFIS structure was defined as a class of adaptive multi-layer feedforward networks, applied to nonlinear forecasting where past samples are used to forecast the sample ahead. ANFIS uses the self-learning ability of neural network with the linguistic expression function of fuzzy inference. The ANFIS network is composed of five layers. Each layer contains several nodes described by the node function. An adaptive network is functionally equivalent to a Sugeno type fuzzy inference system. In this study uses a hybrid learning algorithm to identify parameters of Sugeno type fuzzy inference systems. Thus, ANFIS uses a combination of the least-squares method (to determine consequent parameters) and the backpropagation gradient.

In this study fuzzy logic membership function was used as Gaussian membership function. Defining to this to MatLab, we needed to open ANFIS interface via “anfisedit” command. Creating new fuzzy logic inference system via File/New FIS/Sugeno was used for Sugeno type fuzzy logic model has been used. In TSK model, numerical inputs are evaluated by fuzzy rules then obtained outputs are numerical which is a function of inputs.

Three different model has been created. First model’s inputs consists of wind velocity and wind direction. For second model which was called ANFIS+T, the temperature parameter has been added as an input to first model. The persistence method was used for last model. This method was not created by ANFIS.

Persistence method is a tool developed by meteorologists to supplement the NWP forecasting system is the simplest way to predict wind speed. This model based on there is a high correlation between the wind speed in the immediate future and the current wind speed. Persistence is more effective than NWP in some predictions ranging from several minutes to hours. As expected, the accuracy of this model degrades rapidly with increasing prediction lead time. However, it tends to be more robust than the NWP method in this regard.

The maximum value of membership function was taken from past wind velocity data which is 26,92 m/s in the first model. Velocity’s membership function was Gaussian and it divided to three different membership as low, medium, high membership functions according to the wind speed. After training in the MatLab, the membership functions has been adapted according to relation between input and output. Wind direction has been defined similar way as wind speed. Wind direction has been divided 3 gaussian membership functions and each of them represents 120 degree. The membership functions have been called “Yön 1”, “Yön 2” and “Yön 3” for wind direction.

For second model temperature has been added to wind direction and wind speed. The membership function created similar way with first model as 3 gaussian membership functions which has been divided as low, medium, high. The obtained past temperature datas have been checked and maximum 31,84 C° and minumum -3,49 C° found which used for membership limits.

In the fuzzy inference system, fuzzy rules explain the relationship in linguistic way between input and output. Also expert opinion should be taken to the account which may cause to avoid inaccurate prediction. Fuzzy rules can be a challenge to overcome when inputs have so many data. In this study 37318 datas have been used and it is so hard to find fuzzy rules via inputs. MatLab’s ANFIS interface has created fuzzy rules according to relation between inputs and an output. After obtained fuzzy rules, they were controlled and approved to use in this prediction system.

Before training the model, some parameters has to be defined as optimisation method. There are two methods that anfis learning employs for updating membership function parameters: Backpropagation for all parameters (a steepest descent method) and a hybrid method consisting of backpropagation for the parameters associated with the input membership functions, and least squares estimation for the parameters associated with the output membership functions. In this model hybrid method has been chosen. Error tolerance has been taken “0” and epoch number was defined as “1200”.

MatLab 2012’s Adaptive Neural Fuzzy Inference System (ANFIS) interface has been used to train datas which are measured between 08.07.2008-07.07.2009. In this study testing error have been found 2,505 for the first model, after adding temperature parameter, the error decreased 2,34 for training.

After training, checking model phase were taken to the account to validate the model. Model validation is the process by which the input vectors from input/output data sets on which the FIS was not trained, are presented to the trained FIS model, to see how well the FIS model predicts the corresponding data set output values. The RMSE errors have been found 2,72 for the first model which includes wind speed and direction.

A problem with model validation for models constructed using adaptive techniques is selecting a data set that is both representative of the data the trained model is intended to emulate, yet sufficiently distinct from the training data set so as not to render the validation process trivial.

If you have collected a large amount of data, hopefully this data contains all the necessary representative features, so the process of selecting a data set for checking or testing purposes is made easier. However, if you expect to be presenting noisy measurements to your model, it is possible the training data set does not include all of the representative features you want to model. The idea behind using a checking data set for model validation is that after a certain point in the training, the model begins overfitting the training data set. In principle, the model error for the checking data set tends to decrease as the training takes place up to the point that overfitting begins, and then the model error for the checking data suddenly increases. Overfitting is accounted for by testing the FIS trained on the training data against the checking data, and choosing the membership function parameters to be those associated with the minimum checking error if these errors indicate model overfitting. Overfitting has not been found in validation process for this study.

The testing data set lets you check the generalization capability of the resulting fuzzy inference system. The trained models have been tested to predict random 48 hours between 17.09.2009-19.09.2009. The RMSE error has been found 2,33 for the first model, temperature added model's RMSE error has been found 2,42. When RMSE errors decreased, model will give better prediction results.

As a result of this study, prediction results have been evaluated in Microsoft Excel programme and errors have been compared using statistical methods via Root Mean Squared Error (RMSE) and Mean Absolute Percentage Error (MAPE).

The MAPE error has been found in order ; %31,83 (ANFIS model which includes wind speed and direction as an input), %36,88 (temperature added ANFIS model), %43,34 (persistence method). The minumum error rate has been obtained by first ANFIS model. When the temperature has been added, the model did not give better error rate unexpectedly. The main reason were shown in the study cause of sudden wind speed changes. The proposed both ANFIS models have been found more successful and considerable than persistence method.

Suggestions will be given to improve the model. S1 has been located east of the Bandırma Airport which has the minumum elevation of the land. If we go more east from Bandırma Airport to S2 elevation will be increased. If both location has the similar elevation, prediction accuracy will be increased. Both powerplants measurements should be compared to see how is the correlation between them. High correlation will be recommended to obtain better predictiond from the model.

Another recommendation will be wind direction. If the prevailing wind direction is paralel to measurement places, the prediction might be better.

ANFIS model could be used to predict same powerplant's higher elevations.

1. GİRİŞ

Rüzgar enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında en hızlı büyüyen enerji türüdür. Bu yüzden rüzgar enerjisini planlama ve işletme çok önemli bir hale gelmiştir. Türkiyede rüzgar enerjisi için 2013 yılında 307 MW kurulu güç eklenmiş toplam 2619.15 MW değerine ulaşılmıştır (Url-1).

Kısa dönem rüzgar enerjisi tahmininde sistemin işletilmesi güçteki dalgalanma ve şebeke için gerekli frekansa ulaşılamaması çözülmesi gereken sektördeki önemli bir araştırma alanıdır. Rüzgar enerji tahmin aralığı 2 gün olarak dakika veya saat zaman aralıkları seçilebilir (Alexandre Costa, 2007).

Literatürde fiziksel ve istatistiksel olmak üzere çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Son yıllarda yapay sinir ağları ve bulanık mantık yöntemleri ilgi çekmeye başlamıştır. Bulanık mantığın sözel verilerini sayısal verilerle birleştiren yapay sinir ağları hybrid bir sistemdir. Adaptif Sinirsel Bulanık Sonuçlandırma Sistemleri (Adaptive Neural Fuzzy Inference System) olarak adlandırılır.

Yunanistan'da yapılan bir çalışmada rüzgar hızı ve buna bağlı enerji tahmini 0.5-2 saat aralıkta yapılmıştır. Model TSK bulanık modeli kullanılmış, genetik algoritma tabanlı bir sistemde eğitilerek 30 km çapında bir mesafede bulunan 2 nokta üzerinden 3. noktanın tahmini yapılmıştır. Süreklilik metoduna (Persistence Method) kıyasla düz arazilerde daha iyi sonuçlar elde edilmiş ve %10-%25 arasında hatalar görülmüştür (Ioannis G. Damousis, A Fuzzy Model for Wind Speed Prediction and Power Generation in Wind Parks Using Spatial Correlation, Haziran 2014).

Portekiz'de yapılan bir diğer çalışmada sinirsel bulanık sistem diğer yaklaşımlar ile karşılaştırılmıştır. (AR, ARIMA) Araştırmada bulanık kümeler çan eğrisi olacak şekilde seçilmiştir. Sonucun değerlendirilmesi için her mevsimden rastgele seçilen bir gün incelenmiştir. Bulanık sinirsel yaklaşım kısa dönem enerji tahmini için önerilmektedir (H.M.I. Pousinho, 23-25 Mart 2010).

Orta Anadoluda yapılan bir çalışmada ise rüzgar hızı ve rüzgar gücü tahmini yapılmıştır. Modelde farklı yükseklikteki istasyonlar pürüzlülüklerine göre sınıflandırılarak kullanılmıştır. Girdi olarak rüzgar hızı ölçüm istasyonu enlem ve

boylam, hızın ölçüldüğü yükseklik alınmış, çıktı olarak rüzgar hızı ve gücü elde edilmiştir. Çalışmada diğer makalelere benzer olarak eğitim ve test dataları kullanılmıştır. Bulanık kümeler gauss dağılımı olacak şekilde seçilmiş 81 adet bulanık kural ANFIS tarafından elde edilmiştir. Kuadratik hata oranları (RMSE), belirlilik katsayısı R^2 , ortalama yüzde hata (MPE) bulunarak değerlendirilmiştir. Ortalama yüzde hatalar %3'ün altında olduğu tespit edilmiş olup modelin başarılı olduğu söylenebilir. Kuadratik hatalar ise 0.001 mertebesinde çok küçük değerler elde edilmiştir (Ertuğrul ÇAM, 25.04.2005).

ANFIS yöntemi ile rüzgar hızlarının farklı yüksekliklerde rüzgar tahminleri yapılabilir. 10, 20, 30, 40 m verilerine göre 100 m yüksekliğe kadar hız değerleri tahmin edilebilmektedir. Konuyla ilgili yapılan çalışmada 10, 20, 30 m deki hız değerleri kullanılarak 40 m deki rüzgar hızı tahmin edilmiştir. Uygulamada bulanık mantık için Gauss üyelik fonksiyonu kullanılmış, hız girdisi için 10 adet üyelik fonksiyonu seçilmiş, 4 girdi, 1 çıktı ve 5 adet bulanık kural tanımlanmıştır. MatLab bilgisayar programı kullanılmış, devir sayısı (Epoch) 5 adet olarak girilmiştir. Bunun sebebi 5 epoch'tan sonra hata sabit hale gelmektedir. Ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE) % 3 olarak bulunmuştur. R^2 değeri ise % 98,02 bulunmuştur. Yani 40 m deki hızların % 98,02 'si 10, 20, 30 m yüksekliğindeki hızlarla açıklanabilmektedir. Bu açıklama hayli başarılı olarak kabul edilebilir. Ayrıca araştırmacılar verilerdeki mantıksız sonuçları eleme yöntemine gitmiştir (Estimation of Wind Speed Profile Using ANFIS, 2011).

Mısır'ın doğu kıyılarında ANFIS'le kısa dönem rüzgar hızı tahmini yapılmıştır. Sayısal hava tahminlerinin değişkenliği, dijital yükseklik modellerinin çözünürlüğü, uzun hesap süresi, hatalı girdi dataları yüzünden sayısal hava tahminleri (SHT) çeşitli limitlerle sınırlandırılmıştır. Modelde dataların hangi bulanık kurallara göre seçileceği tam olarak bilinemediğinden MatLab'te ANFIS arayüzünde bulunan "Subtractive Clustering" özelliğiyle girdi ve çıktı verilerine göre bulanık kurallar MatLab tarafından belirlenmiştir. Bulanık mantık üyelik fonksiyonu olarak "Gauss" üyelik fonksiyonu seçilmiştir. Girdi verileri hız olarak seçilmiş 24'er, 12'şer, 6 'şar saatlik tahminler yapılmış, tahmin aralığı azaldıkça ortalama mutlak hatanın azaldığı görülmüştür (O. M. Salim, 2014).

Farklı bir araştırmada ise ortalama günlük sıcaklık, basınç ve rüzgar hızı kullanarak ANFIS yöntemiyle tahmin yapılmıştır. 9 yıllık rüzgar verisi kullanılmıştır (Tektaş, 2010).

ANFIS'te ortalama saatlik rüzgar hızlarıyla ilgili yapılan bir çalışmada 6 aydan 10 yıla kadar veri kullanılmıştır. Sadece rüzgar hızı, rüzgar hızı ve sıcaklık içeren datalar kullanılmıştır. Ortalama mutlak hata 0,87 m/s olarak bulunmuştur. Tahmin edilen verilerle ölçülen veriler arasında %25.5 'tan %32.5'e kadar değişen hata oranları elde edilmiştir (Fernando Castellanos, 2009).

Aynı bölgede farklı noktalara ait veriler kullanarak (Kuzey, Güney, Doğu, Batı), 8 aydan 1 yıla kadar elde edilmiş verilerle 72 saatlik tahminler yapılmıştır. Ortalama mutlak hata 1.97 m/s olarak bulunmuştur (Barbounis, 2006).

Bu tez çalışmasında Bandırma bölgesine ait Edincik 'ten alınan verilere dayanarak 32 km uzakta bulunan ŞAH Rüzgar Enerji Santrali'nde rastgele seçilen 48 saatlik zaman aralığında rüzgar hızı tahmin edilerek hata oranları bulunmuş ve benzer çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Rüzgar hızının aynı bölgede başka bir nokta ile kıyaslandığında sadece rüzgar hızına bağlı bir fonksiyon olduğu anlatılmıştır. Rüzgar hızı bilindiği sürece rüzgar türbini üreticilerinin verdiği rüzgar hızı-güç eğrisi diyagramından kolayca rüzgar gücü elde edileceği için değişken bir parametre olan rüzgar hızı üzerine çalışılmıştır. Tez çalışması için MatLab'te bulunan ANFIS arayüzü kullanılmıştır.

2. RÜZGAR ENERJİSİNİN TARİHÇESİ, TÜRKİYE VE AVRUPA'DAKİ DURUMU

2.1 Rüzgar Enerjisi

Dünyadaki enerji güneş tarafından hidrojeni helyuma dönüştüren nükleer füzyon sayesinde oluşur. Sadece küçük bir kısmı güneş tarafından tutulur ve Dünya'nın ihtiyacı olan enerjiyi sağlar. Dünya'nın güneş tarafından aldığı enerji yaklaşık 1.8×10^{11} MW'tır. Bu güneş enerjisinin sadece %2'lik kısmı rüzgar enerjisinin oluşmasına sebep olur (3.6×10^9 MW). Oluşan enerjinin %35'i dünyanın yüzeyinden 1000m uzaklıktaki bölümdeki rüzgar enerjisinin oluşumunu sağlar (Nelson, 2011). 1.26×10^9 MW'lık bu değer günümüz enerji tüketiminin 20 katından fazladır. Görüldüğü üzere teoride rüzgar enerjisi dünya enerji ihtiyacının tamamını rahatlıkla karşılayabilecek düzeydedir.

Rüzgar, yüksek basınçlı bölgelerden alçak basınçlı bölgelere doğru eser. Rüzgar enerjisi ve hareketinin bağlı olduğu en önemli faktörlerden bir kaçı; dengesiz ısı değişimi, coriolis etkisi, bölgesel coğrafi etkenler olarak sayılabilir.

Konvansiyonel enerji kaynaklarıyla karşılaştırıldığı zaman rüzgar enerjisinin bir çok fayda ve avantaja sahip olduğu görülecektir. Fosil yakıtlar zararlı gazların salınımına (Karbon dioksit (CO₂), Karbonmonoksit (CO), Metan (CH₄), kükürtdioksit (SO₂), azot oksit (NO)), nükleer enerji radyoaktif atıkların oluşumuna sebep olurken buna karşın rüzgar enerjisi temiz ve çevre dostu bir enerji kaynağıdır. Rüzgar enerjisi kullanımının artması fosil yakıt kullanımına olan talebi azaltacağından, küresel ısınma ve asit yağmurlarının oluşmasını bir nebze de olsa azaltacaktır.

2.2 Rüzgar Enerjisi Tarihçesi

Rüzgar enerjisi en az 3000 yıldır buğday öğütmek, su pompalamak, yelkenli gemilerin kullanımı gibi alanlarda enerji kaynağı olarak kullanılmıştır. Ortaçağ'dan bu yana yatay akslı rüzgar milleri kırsal ekonominin bütünleyici bir parçası olmuştur.

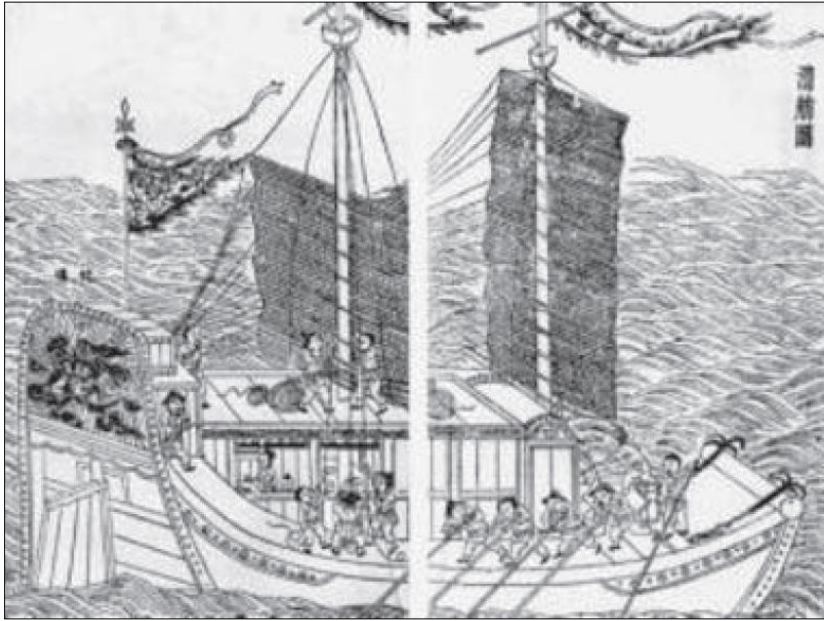
Sonraki bölümlerde rüzgar enerjisinin kullanıldığı alanları kronolojik sıraya göre göre hangi amaçlar için kullanıldığından bahsedilecektir.

2.2.1 Rüzgar enerjisinin gemilerde kullanımı

Rüzgarın günün hangi saatlerinde, yılın hangi mevsimlerinde bir yörenin nerelerinde fazlaca estiği tespit edildikten sonra, gücünden faydalanarak toplum için faydalı işlerin görülmesi düşünülmüştür. Bu yönde belkide ilk uygulamalar gemilerin yüzdürülmesiyle başlamıştır. Eski Yunanlılar ve onları takiben Romalılar zamanında her ne kadar gemilerin yüzdürülmesi mümkün olmuşsa da toplumun diğer faaliyetlerinde rüzgar gücünden yararlanma yoluna gidişler onlar tarafından yapılmamıştır (Şen, Temiz Enerji Kaynakları ve Modelleme İlkeleri, 2009).

M.Ö 4000’li yılların başında Çinliler ilk defa basit sallara yelkenleri eklemişlerdi. Eski Çin yazıtlarında Shang Hanedanlığı M.Ö 1600- M.Ö 1046 yelken anlamına gelen “𠂔” sıklıkla kullanıldığından bu hanlığında rüzgar enerjisini yelkenler ile salları hareket ettirmek doğrultusunda kullandığını kabul edebiliriz. Han Hanlığı (M.Ö 200-M.S1046) ise okyanusa uygun yelkenli gemiler kullanmışlardır.

3.yy ‘dan kalma kitaplardan alınan bilgiye göre çinlilerin ürettiği yelkenliler kargo taşımak için (700 kişi+260 ton) kullanılıyordu.



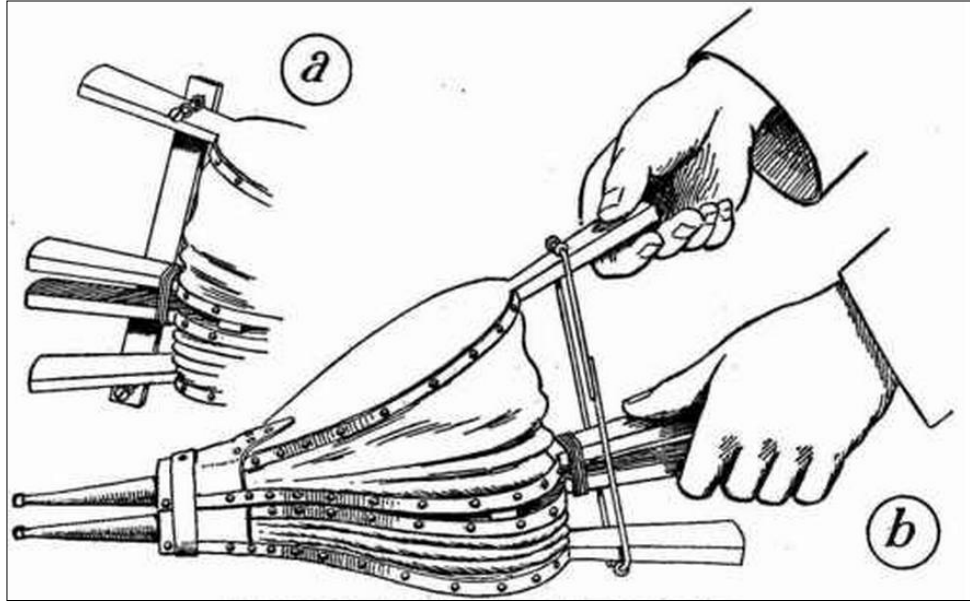
Şekil 2.1 : Çinlilere ait 2 direkli yelkenli bir gemi (Tiangong Kaiwu Ship).

Yaklaşık olarak M.Ö 3400 yılında Mısırlılar ilk yelkenli gemilerini Nil nehrinde, daha sonraları da Akdeniz kıyılarında kullanmışlardır. M.Ö 1250 yıllarında Mısırlılar edindiği tecrübelerle dayanarak daha nitelikli yelkenli gemiler yapmışlardır. Rüzgar enerjisi kullanan gemiler uzun zaman deniz ulaşımında görev yapmış daha sonraları buharlı makinelerin icadıyla 19 yy. da kullanımı ciddi oranda azalmıştır (Tong, 2010).

2.2.2 Metal eritme işleminde rüzgar gücünün kullanımı

M.Ö 300 dolaylarında Sri Lanka’lı yerliler güçlü muson rüzgarlarının avantajını kullanarak fırının içindeki havayı 1100 dereceye olacak şekilde ısıyı artırıp demir eritme işlemi yapmışlardır. Bu teknik sayesinde yüksek karbonlu çelik üretmeyi başarmışlardır.

Çift etkili, piston körükler Çinliler tarafından icat edilmiştir. M.Ö 4. yy.’da yaygın olarak kullanılmaktaydı. Bu tip körüklerin amacı körüğün durmaksızın üfleyerek fırınlarda demirin eritilmesi için gereken yüksek sıcaklıklara çıkmasını sağlamaktır. Bu şekilde Çinliler bir seferde birkaç ton demir dökümü yapabilmekteydiler (Tong, 2010).



Şekil 2.2 : Çift etkili,piston körük.

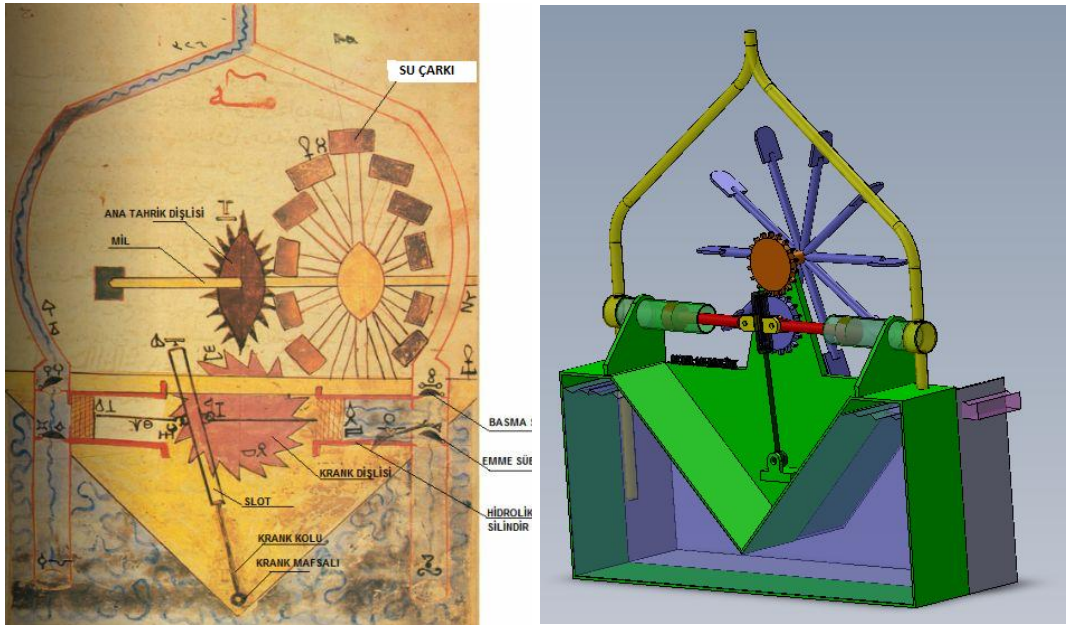
2.2.3 Rüzgar milleri

Çinliler rüzgar millerini çok uzun yıllar önce kullanmaya başlamıştır. Doğu Hanlığına ait ortaya çıkarılan duvar resimlerinde (M.S 25-220) rüzgar millerine ait resimler bulunmuştur. Bu da Çinlilerin yaklaşık 1800 yıldır rüzgar millerini kullandıklarının bir kanıtı olarak gösterilmektedir (Url-2).

Düşey eksenli rüzgar milleri 9. yy'da Doğu İran'da Sistan bölgesinde buğday öğütme, su pompalama gibi günlük faaliyetlerinde kullanmışlardır.

Yatay rüzgar milleri 1180'li yıllarda kuzeybatı avrupada icat edilmiştir. İlk yatay rüzgar milleri tipik 4 kanatlı, post mill'lerdir. Bu miller rüzgarın yönüne doğru dönebiliyorlardı. Milin gövdesinin mekanizması düşey bir direk üzerine monteli olarak yapılırdı. Daha sonra çeşitli bölgelerde değişik rüzgar millerine rastlanmıştır. Örnek olarak Hollanda ve Danimarka'da kullanılmış Smock mili, Dutch mili ve Fan mili sayılabilir (Tong, 2010).

Bir diğer kaynakta ise İslam medeniyeti sırasında geliştirilmiş olan ve 1200 yıllarında yaşamış Diyarbakır yöresi Artuk Türk'lerinden Ebu'l İz tarafından yapılmıştır (Şen, Temiz Enerji Kaynakları ve Modelleme İlkeleri, 2009).



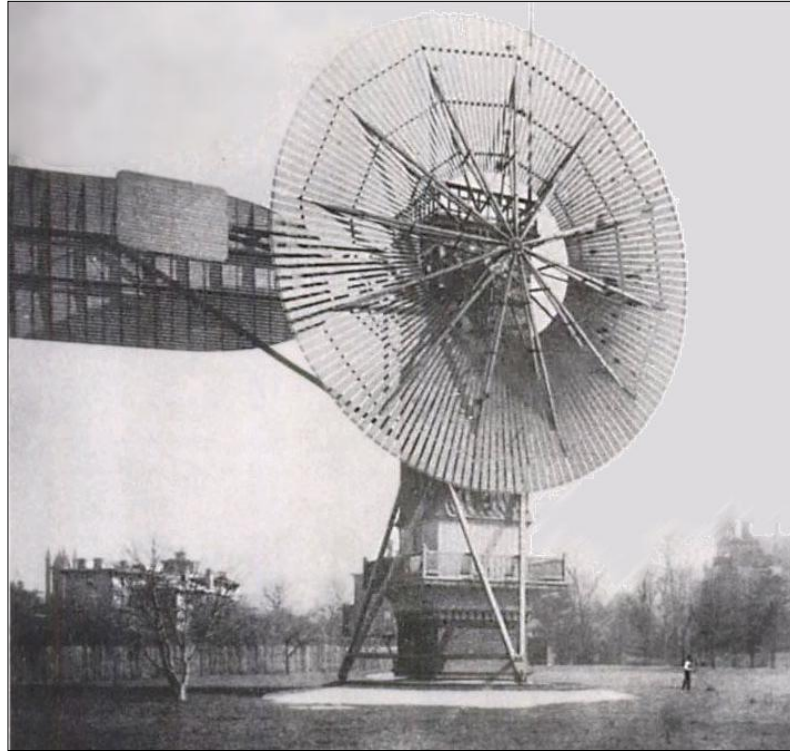
Şekil 2.3 : Ebul İz'in Mekanizması ve 3 Boyutlu Şeması (Url-3).

Yatay rüzgar milleri Avrupa ve Kuzey Amerika'da düşey rüzgar millerine göre her zaman baskın olmuşlardır. Yatay rüzgar millerinin bu denli tercihinin sebebi daha verimli ve teknik avantajlarının bulunmasıdır.

2.2.4 Rüzgar türbinleri

Rüzgar milleri su pompalama, buğday öğütme gibi işlemlerde kullanılsa da rüzgar türbinleri rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi elde edilmesini sağlar. İlk rüzgar türbini 1888 yılında Charles Brush tarafından dizayn edilip, yine kendisi tarafından üretilmiştir (Url-4).

144 adet pervane, 17 m rotor çapına sahip bir rüzgar türbini üretmiştir. Üretilen 12 kW güç ile bataryaları şarj ederek lambalar ve elektrik motorlarını çalıştırmak için doğru akım (DC) üretebiliyordu (Tong, 2010).



Şekil 2.4 : Charles Brush Tarafınan Dizayn Edilen İlk Türbin (Url-4).

Daha sonra araştırma Danirmarkalı Paul Le Cort tarafından devam ettirilmiş ve 1890 yılında elektrik enerjisi üretimi yapılmaya başlanmıştır. Rüzgar türbinlerindeki önemli bir gelişme adımı 1941 yılında W Smith-Putnam tarafından yapılan 1250 kW lık rüzgar türbinleridir.

Rüzgar türbinlerinde kilometre taşı diye nitelendirebilecek bu makine çelikten yapılmış 53 m lik bir rotor çapına sahiptir. Türbin kanat alanı kontrolü ve aşırı rüzgar hızları için bir hız kesici sistem ile yüklerin azaltılmasına rağmen, 1945 yılında

kanat ana kirişı kırılmıştır. Vermont, ABD 'de üretilen bu türbin yaklaşık 40 sene boyunca en büyük rüzgar türbini olarak kalmayı başarmıştır.

1931 yılında 100 kW güç üreten Balacava rüzgar türbini SSCB'de kullanılmıştır. Bir diğer örnek ise Andrea Enfield tarafından yapılan, 100 kW güç üretebilen, 24 m rotor çaplı, pnömatik dizayna sahip rüzgar türbini 1950'lerin başında Birleşik Krallık'ta üretilmiştir. Bu türbinde ucu açık delikli kanatlar havayı, jenaratörü çalıştıran başka bir türbine iletmekteydi.

Danimarka'da 200 kW güç üreten 24 m çapında Gedser türbini 1956'da yapılmıştır. O sırada 1.1 MW'lık 35 m çapındaki türbin 1963 'te yapılmıştı. Teknik avantajlara karşın ve Golding'in Elektrik araştırmalarının gayretiyle Prof. Ulrich Hutter, 1950-60'lı yıllarda Almanya'da çok sayıda yenilikçi ve hafif türbinler inşa etmişti.

1973 yılında petrol fiyatlarının aniden artmasıyla, İngiltere rüzgardan enerji üretimi için daha fazla ilgi gösteren ülkelerden biri olmuştur. Petrol fiyatlarının bu ani yükselişi ile İngiliz hükümeti araştırma geliştirme faaliyetlerini finansal olarak desteklemiştir.

Amerika'da bazı prototiplerle bu akıma öncülük etmiştir. "Mod 0" ile 1975 yılında 100 kW'lık 38 m çapında bir türbinden başlayarak, 1987 yılında üretilen "Mod 5b" 97.5 m çapında 2.5 MW güç üretebilen bir türbinle zirveye çıkmıştır.

Benzer programlar İngiltere, Almanya ve İsveç'te devam etmiştir. Fakat büyük ölçekte bakıldığında hangi modelin en fazla yenilikçi ve düşük maliyetli olduğu konusunda önemli bir belirsizlik vardı. Kanada'da 4 MW güç üretebilen düşey eksenli Darrieus rüzgar türbinleri yapılmıştır. Bu konseptten 34 m çaplı Sandia düşey eksenli rüzgar türbini test amaçlı Amerika'da yapılmıştır. İngiltere'de ise düz pervane kanadı kullanan, Dr Peter Musgrove tarafından H tipi rotor olarak anılan bu türbin 500 kW güç üreten bir prototip olarak yapılmıştı (Musgrove, 2010).

1981 yılında 3MW'lık daha inovatif düşey eksenli rüzgar türbini Amerika'da test edilmiştir. Sapma sürücüsü yerine hidrolik vites kullanılmıştır. Bu şekilde tüm yapı rüzgar yönüne göre kendini ayarlayabiliyordu. Bir, iki ve üç kanatlı türbinler yapılırken kanat sayısı seçiminde en iyi tercih tam olarak bilinemiyordu. Bilimsel veriler ve mühendislik anlamında bir çok yeni bilgi devlet tarafından desteklenen bu araştırmalar sayesinde kazanılmıştır. Prototipler genel olarak tasarlandığı gibi çalıştılar. Buna rağmen büyük rotor çapına sahip türbinlerin işletim problemleri kötü

hava şartlarında hafife alındı. Ayrıca prototiplerin güvenilirliği iyi değildi. O sıralarda özel şirketler multi-megawatt'lık prototipler inşa etmekteydi.

Bu prototipler genelde desteklenen bölgelerde, daha küçük üretilen, daha basit ve ticari satış amacıyla üretilmekteydi. Finansal destek mekanizması California'da 1980'lerin ortalarında bir çok küçük rüzgar türbinin üretilmesiyle sonuçlanmıştır. (<100 kW)

Çok sayıda inşa edilen bu rüzgar türbinleri çeşitli problemler yüzünden zarar görmüşler fakat küçük olmaları sebebiyle kolay tamir edilmiş ve parça değişimleri daha kolay yapılmıştır. Danimarka rüzgar türbini konsepti olarak adlandırılan 3 kanatlı, türbin kısmı elektromekanik olarak rüzgara yönlendirilen, "aerodinamik stall" olarak bilinen ve belli bir rüzgar hızından sonra hızı sabitleyen, güç kontrolü ile çalışan ve asenkron indüksiyon jeneratörü kullanılan bu tasarım, ortaya çıkmıştır (Url-5).

Bu basit sistem önemli bir başarı kanıtlamış ve 60 m rotor çapına sahip 1.5MW lık türbinlere uygulanmıştır.

Açı kontrol (Pitch control), değişken hız işletimi ve kullanılan teknolojik materyeller ile üretilen prototipler sayesinde 1980'lerde ticari olarak kullanımı artmıştı. 1991 yılında ilk açık deniz rüzgar çiftliği Vindeby (Danimarka)'da üretilmiştir. 450 kW'lık 11 adet rüzgar türbininden oluşuyordu ve kıyıdan 3 km uzaktaydı. 90'lar boyunca kıyılara yakın bir çok küçük rüzgar türbini yapıldı. 2002 yılında, Danimarka'nın batı kıyısında kıyıdan 20 km uzakta 160 MW 'lık rüzgar çiftliği kurulmuştur. 30 kV 'tan 150 kV' kadar voltajı artıran ilk proje olarak kullanılmıştır. 504 MW'lık rüzgar çiftliği (Greater Gabbard) 2010 yılında inşa edilmeye başlandı. 3.6 MW'lık 140 adet rüzgar türbininden (Siemens) oluşmaktadır.

Projenin yaklaşık 530 000 adet evin elektrik ihtiyacını karşılayacağı bildirilmiştir. 3.6 MW'lık rüzgar türbinleri kıyıda bulunan trafo merkezine gömülmüş kablolar vasıtası ile bağlanmıştır (Url-6).

İnşa edilen açık deniz rüzgar türbinlerinde 3 kanatlı karasal dizayn geliştirilmiştir. Daha yüksek kanat hızları, gürültü probleminin karasal rüzgar türbinlerine karşı daha önemsiz oluşu, görüntü probleminin sorun teşkil etmemesi, açık deniz rüzgar türbinlerine olan ilgiyi artırmıştır.

1973 yılında petrol fiyatlarının ani artışı alternatif kaynaklara dikkat çekmiş ve rüzgar enerjisine olan ilgiyi artırmıştır. 90'larda rüzgar enerjisinin kullanılmasının

ana sebebi düşük CO₂ emisyonu ve iklim değişikliğini hafifletmesi olarak gösterilmektedir. 2006 yılına gelindiğinde çok yüksek petrol fiyatları ve enerji sağlama konusundaki kaygı rüzgar enerjisine olan ilgiyi daha da artırmıştır.

2007 yılında Avrupa Birliği, enerji politikaları için üretilen enerjinin %20'sinin 2020 yılına kadar yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmesi gerektiğini belirtmiştir. Bir çok ülkede enerji politikaları hızla gelişmekte ve iklim değişikliğine engel olabilmek için 2050'ye kadar sera gazlarını %80'e kadar indirmeyi öngörmektedirler. Bazı ülkelerde rüzgar enerjisi çok daha hızlı gelişmektedir. Sadece rüzgar hızındaki farklarla açıklanabilecek kadar basit değildir. Önemli faktörler olarak finansal destek mekanizmaları, şebekeye ulaşım, bölgesel yetkililer tarafından rüzgar çiftliklerinin inşaat süreci için verilen izin, nüfusun rüzgar enerjisi hakkındaki algısı ve görsel etki (rüzgar türbinlerinin verebileceği görsel rahatsızlık) olarak sıralayabiliriz. Artan maliyete rağmen açık deniz rüzgar çiftliklerinin gelişimi rüzgar enerjisinin çevre dostu olması en büyük etkidir (Tony Burton, 2011).

2.2.5 Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının durumu

Enerji kaynakları gözden geçirildiğinde, fosil kökenli kaynakların Türkiye 'deki birincil enerji üretiminin hemen hemen yarısını oluşturmakta olduğu gözlenmektedir. 2007 yılı itibarıyla Türkiye'nin, toplam enerji tüketiminde %33 ile petrol en büyük payı almış olup; bunu %29 ile doğal gaz, %28 ile kömür ve geri kalan %10'luk bölümü ise hidrolik dahil olmak üzere yenilenebilir kaynaklar izlemiştir. Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarından en çok biyokütle enerjisi ve hidrolik enerji kullanılmaktadır. Güneş enerjisi kullanımı düşük bir seviyede olmasına rağmen rüzgar enerjisi artış göstermektedir.

Yenilenebilir enerji kaynağı	Mevcut brüt potansiyel (GWh/yıl)	Teknik yönden değerlendirilebilen potansiyel (GWh/yıl)	Ekonomik yönden değerlendirilebilen potansiyel (GWh/yıl)	Kullanılan potansiyel (GWh/yıl)	Kullanım (%)
Hidrolik	430-450	215	100-130	35330	30
Güneş	365	182*	91**	4,07	4,5
Biogaz	1,58	0,79*	0,4**	0,067	16,8
Rüzgar	400	124	98	61	62
Jeotermal	16	8*	4**	0,89	22,5
* : brüt potansiyelin % 50' si alınmıştır.					
** : Teknik yönden değerlendirilebilen potansiyelin % 50' si alınmıştır.					

Şekil 2.5 : Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Potansiyelleri (Url-7).

2.2.6 Diğer yenilenebilir enerji kaynakları

Hidrolik enerji; suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesi ile sağlanan bir enerjidir. Hidroelektrik santraller ile bu şekilde elektrik üretilir. Türkiye’de yıllık yağışlar 200-2500 mm arasında değişmekte olup, ortalama yağış (aritmetik) 642,6 mm’dir.

Yıllık yaklaşık 501 milyar m^3 yağış miktarına karşılık gelir ve yılda Türkiye yüzeyine düşen bu miktar suyun yaklaşık 186 milyar m^3 ’lük kısmı akış haline geçer. Türkiye akarsularının, rejimlerini kontrol altına almak, dolayısıyla taşkın zararlarını önlemek ve depolanan sulardan içme suyu, sulama yararları sağlamak ve enerji elde etmek amacıyla bugüne kadar birçok baraj ve hidroelektrik santralleri yapılmıştır. Barajların tamamlanması ile ülkemizde 7.254.454 hektar arazinin sulanması, 704.868 hektar arazinin taşkından korunması, 130.326 hektar arazinin kurutulması, 9856.3 hm^3 suyun içme suyu olarak şehir ve kasabalara iletilmesi, 34728.7 MW toplam güçte yapılacak 485 adet hidroelektrik santral vasıtasıyla 123.040 GWh enerji üretilmesi yapılan etütlere göre mümkün görülmektedir.

Jeotermal enerji kapasitesi ve doğrudan kullanımda Türkiye dünyada 5'nci sıradadır. Türkiye'nin 2005 yılına göre kapasitesi 24.839,9 TJ/sene kullanım ile veya 0.5 lik faktör kapasitesi 6900,5 GWh/sene ile 1495 MWt’dır. Bunun en çoğu direkt ısıtmada kullanımdır. Bunun yanı sıra jeotermal elektrik Kızıldere üretim tesislerinde 120.000 ton likit karbon dioksit ve soğutucu olarak kullanılan katı karbondioksit üretiminde elde edilir (Url-8).

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMI) mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışıyım şiddeti verilerinden yararlanarak EİE tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışıyım şiddeti 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir.

Ülkemizde çoğu Akdeniz ve Ege Bölgelerinde kullanılmakta olan, güneş enerjisini ısı enerjisine dönüştüren sıcak su üretme sistemleridir. Güneş enerjisinden ısı enerjisi

yıllık üretimi 420 bin TEP civarındadır. Bu haliyle ülkemiz dünyada kayda değer bir güneş kollektörü üreticisi ve kullanıcısı durumundadır (Url-9).

2.2.7 Rüzgar enerjisine verilen destekler

Rüzgar enerjisinin gelişimi için ekonomik olarak desteklenmesi ve özel şirketlerin bu alana yatırım yapması teşvik edilmelidir. Bu şekilde verilen destekler bir çok ülke tarafından sağlanmaktadır. Rüzgardan enerji üretimi iklim değişikliğinin ve ülkenin enerji üretimi açısından dışa bağımlılığını azaltması açısından önemli bir enerji kaynağıdır. Dolayısıyla devlet tarafından verilen destek dışa bağımlılığın azaltılması açısından ayrı bir önem arz etmektedir. Tarife garanti sistemi ile sabit fiyat garantisi ile üretilen enerjiye piyasa değerinde fiyat ve alım garantisi verilmiştir. Yöntemin avantajı gelişmeler altında kolay adapte edilebilir olması ve teknolojik gelişmeyi teşvik etmesi, dezavantajı ise üreticiler arasında rekabeti teşvik etmemesi dolayısıyla elektrik fiyatlarında beklenen düşüşün gerçekleşmemesi sayılabilir. Sabit fiyat garanti mekanizması dünyada 65 ülkede uygulanmakta ve bunların 18'inde kota sınırı vardır.

Avrupa Birliği ülkeleri içerisinde ise 27 ülkeden 18 'i tarife garanti sistemini kullanmaktadır. En belli başlı olarak Almanya ve İspanya örneklerini verebiliriz (Mario Ragwitz, 2007).

Diğer bir alternatif yaklaşım ise Kota sistemidir. Yenilenebilir Portföy Standardı (RPS), "Yenilenebilir Elektrik Standardı", "Yenilenebilir Zorunluluğu", "Zorunlu Piyasa Payları" olarak da bilinir. Kota/RPS, tedarikçi, tüketici ya da üreticilere satış, tüketim ya da üretim portföylerinin belli bir yüzdesinin yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşması yönünde bir zorunluluktur. Kotanın sağlanamaması halinde ceza uygulaması öngörülebilir. Üretimin ilgili yasal düzenlemelerde belirtilen yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı olarak gerçekleştirildiğinin belgelenmesini (yeşil sertifika, yenilenebilir etiket veya yenilenebilir belgesi) gerekmektedir.

Sertifika mantığının temeli yenilenebilir enerji tesisinin iki farklı ürün üretmesidir;

- a) Sertifika
- b) Elektrik Üretimi

Bu iki ürününün ayrı ayrı alım-satımı yapılabilmektedir. Sertifikalar yenilenebilir enerji üreticilerine verilir, yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektrik ise "piyasa fiyatından" satılır. Kota sistemlerinden olan ihale özellikle büyük ölçekli projeler için

uygulanır. Belirli bir kurulu güç ya da ön fizibilitesi yapılmış bir bölgeye tesis kurulması için açılan rekabetçi bir seçim süreci ile hem düşük maliyeti garanti eder, hem de yatırımcıları teşvik etmek için çeşitli özendirici unsurlar sunar. Sözleşme yapılan ve işletmeye geçen projelerde şebekeye verilen enerjinin birimi başına verilen teşvikli fiyat şirketlere sözleşme süresi boyunca garanti edilir. Günümüzde Fransa, Kanada, Çin, Hindistan vb. ülkelerde ihale uygulamaları kullanılmaktadır (Altuntaşoğlu, 2011).

3. RÜZGAR TÜRBİN TİPLERİ

3.1 Türbin Tipleri

Rüzgar türbinleri rotorun döneceği eksene göre sınıflandırılırlar.

3.1.1 Yatay eksenli rüzgar türbinleri

Bu türbinlerde; dönme eksenini rüzgar yönüne paralel, kanatlar rüzgar yönüne diktir. Rotor kanatların sayısı azaldıkça rotor daha hızlı dönmektedir. Bu türbinlerin verimi yaklaşık %45'dir. YERT genel olarak yerden 20-30m yüksekte ve çevredeki engellerden 10 m yüksekte olacak şekilde yerleştirilmelidir. Rüzgar hızının, rotor kanadı uç hızına bölünmesi ile elde edilen orana kanat uç hız oranı (λ) denir. Eğer;

$\lambda = 1-5$ Çok kanatlı rotor,

$\lambda = 6-8$ Üç kanatlı rotor,

$\lambda = 9-15$ İki kanatlı rotor,

$\lambda > 15$ Tek kanatlı rotor kullanılır.

YERT, farklı sayıda rotor kanadına sahip olan ve rüzgarı önden alan veya rüzgarı arkadan alan sistemler olarak da çeşitlilik gösterirler.

3.1.2 Düşey eksenli rüzgar türbinleri

Dönme eksenleri rüzgar yönüne dik ve düşey olan bu türbinlerin kanatları da düşeydir. DERT rüzgarı her yönden kabul edebilme üstünlüğüne sahiptir. Bu türbinler rüzgarı sürükler veya kaldırır. İlk harekete geçişleri güvenilir değildir. Verimleri yaklaşık %35'tir. Türbinlerin üreteç ve vites kutusu toprak seviyesinde kurulabildiğinden kuleye gerek duymazlar. Bu yüzden düşük rüzgar hızlarında çalışmak zorunda kalırlar ve “Yaw” mekanizmasına ihtiyaçları yoktur. Düşük rüzgar hızları ve az miktarda su pompalamak için tasarlanmışlardır. Kanat sayısının artması malzeme ağırlığını da beraberinde getirdiğinden, yüksek rüzgar hızlarında verimsiz çalışır. Rotor çapı 5 m olan türbinden yaklaşık 0,5 kW güç elde edilir. Bu türbinleri yer yüzeyine bağlayabilmek için çelik halatlara gereksinim duyulmaktadır.

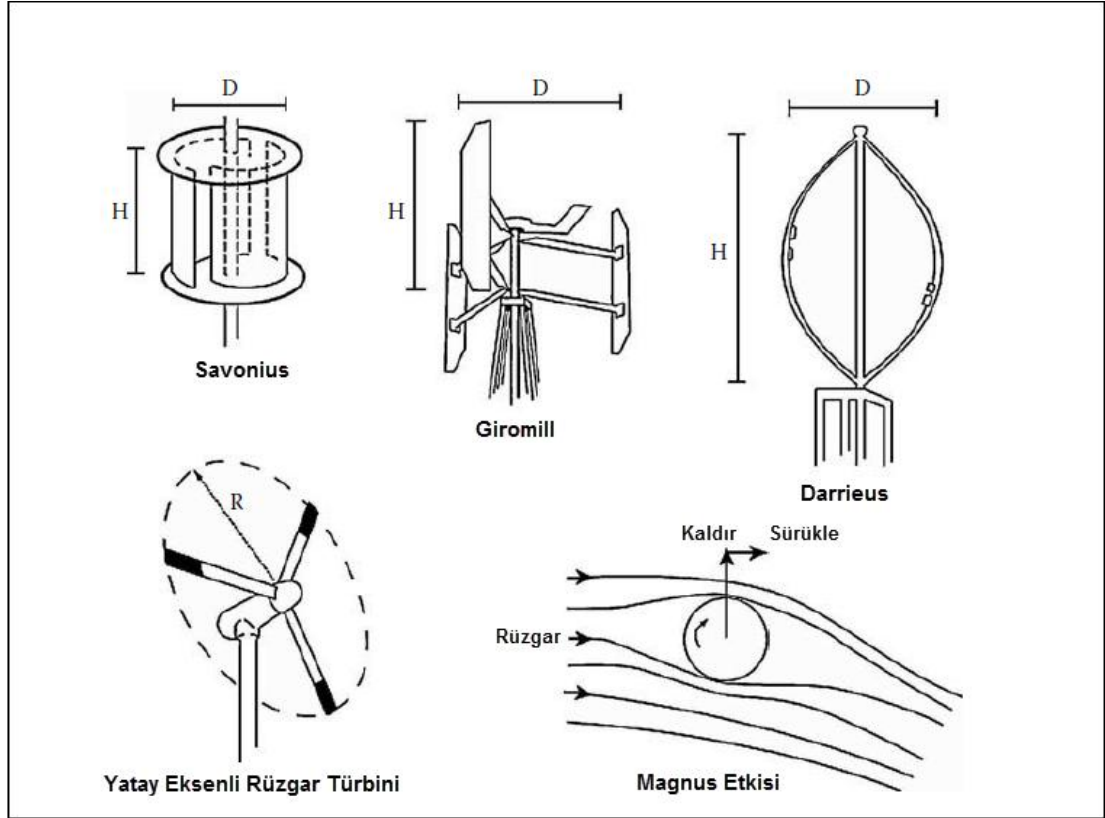
Savonius rüzgar türbinleri 1925 yılında Finlandiya’lı mühendis Sigurd J. Savonius tarafından keşfedilmiştir. İki yatay disk arasına yerleştirilmiş ve merkezleri birbirine göre simetrik olarak kaydırılmış, “kanat” adı verilen iki yarım silindirden oluşmaktadır. Belirli bir hızla gelen rüzgarın etkisiyle, çarkı oluşturan silindirin iç kısmında pozitif ve dış kısmında negatif bir moment olmaktadır. Pozitif moment, negatif momentten daha büyük olduğundan, dönme hareketi pozitif moment yönünde sağlanır.

Diğer DERT’lere göre; düşük rüzgar hızlarında iyi başlangıç karakteristiklerine sahip olması, yapımının kolay ve ucuz olması, rüzgarın yönünden bağımsız olması ve kendi kendine ilk harekete başlaması gibi birçok üstünlüklere sahip olan Savonius RT’lerinin, aerodinamik performansı düşük olduğu için ilk uygulama alanları; havalandırma, su pompalama gibi kısıtlı alanlar olmuştur. Savonius RT’nin birçok üstünlüğü bulunmasına rağmen, aerodinamik performanslarının düşüklüğü nedeniyle kullanılmamaktadır. Son yıllarda yapılan Savonius RT çalışmaları, aerodinamik performansın geliştirilmesi yönünde olmuştur.

Aldoss ve Najjar, bu çarkın performansı üzerine; “sallanan kanatlı çark” kullanarak deneysel bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında Savonius RT’nin performansını, hem rüzgarın gerisinde hem de rüzgara doğru, çark kanatlarının optimum bir açı ile geriye doğru salınmasına müsaade ederek geliştirmişlerdir. Reupke ve Probert, Savonius RT’nin çalışma etkinliğini arttırmak için, türbin kanatlarının kavisli kısımlarının yerine bir sıra menteşelenmiş kanatçıklar yerleştirmiştir. Kanatçıklar rüzgara doğru ilerlerken, rüzgar basıncının etkisinde otomatik olarak açılmış ve daha az akış direnci elde edilmiştir. Kanatçıkların ilk konuma gelirken, tekrar otomatik olarak kapandığını tespit edip, çok düşük uç hız oranlarında, düzeltilmiş parçalı kanatlı çarklardan, klasik Savonius RT’lerine oranla daha yüksek momentler elde edildiğini belirlemişlerdir. Darrieus Rüzgar Türbinleri, 1931 yılında Fransız mühendis George J.M. Darrieus tarafından icat edilmiştir. 1970 ve 1980’lerde Amerika ve Kanada’da Darrieus türbinlerinin kanat dizaynları üzerine geniş çalışmalar yapılmıştır. Kanatları geometrik formlu aerodinamik profile sahip olduğundan yüksek performanslıdır. Kanatlardaki hafif eğim sayesinde kanatlardaki çekme gerilimleri minimuma iner. Yüksek hızlarda çalışabilir, türbin 2 veya 3 kanatlı olur. İlk hareket için Savonius RT veya bir tahrik motoru gerekmektedir.

H-Darrieus Rüzgar Türbinleri: Dikey eksenli en önemli RT'lerden biridir. Darrieus RT'nin geliştirilmesiyle meydana gelen daha karmaşık tipte bir türbinidir. Darrieus RT'leri iki önemli farkla ayrılır. Bunlar:

- Aerodinamik profili düzdür.
- Kanatların yüksek rüzgarlarda kanat açılarının değişimi ile sabit hızda tutulması (pitch control) uygulanır.



Şekil 3.1 : Rüzgar Türbin Tipleri (Nelson, 2011).

3.2 Rüzgar Enerjisinde Temel Denklemlerin Eldesi

Rüzgar gücü; rüzgarın estiği yönde birim alana gelen güç ile ifade edilir. Rüzgarın hızı (V), havanın da bir kütlesi olmasından dolayı bu kütleyi hareket ettirir. Kinetik enerji denklemiyle basitçe açıklanabilir.

$$E = \frac{1}{2}.m.V^2 \quad (3.1)$$

Kütle, hacim ile yoğunluğun çarpımı olarak tanımlanabilir.

$$m = \rho.H \quad (3.2)$$

Rüzgarın düşey bileşeni yanında yatay bileşeni oldukça küçük olduğundan dolayı ihmal edilebilecek mertebededir. Dolayısıyla rüzgarın yatay hızı U ile gösterilecektir. Rüzgarın esme yönündeki alanı A ve rüzgar yönüne dik olan uzaklık L ise hacim formülünü aşağıdaki gibi elde edilir.

$$H = AL \quad (3.3)$$

Kinetik enerji formülünde yerine konulduğunda aşağıdaki denkleme ulaşılır.

$$E = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot ALU^2 \quad (3.4)$$

Uzunluk ise hız ve zamanın çarpımı olarak yazılıp, (3.4)'te yerine konulduğunda (3.6) elde edilir.

$$L = V.t \quad (3.5)$$

$$E = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A.t.U^3 \quad (3.6)$$

Denklemde bulunan ρ değeri deniz seviyesinde ölçülen rüzgarın yoğunluğu olup sayısal değeri 1.223 kg/m^3 olarak alınır.

Rüzgar türbinlerinde kayıplar olacağından güç katsayısı ile azaltarak bilinen güç üretim denklemi elde edilir. (Tony Burton, 2011)

$$P = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \rho \cdot AU^3 \quad (3.7)$$

C_p : Güç katsayısı

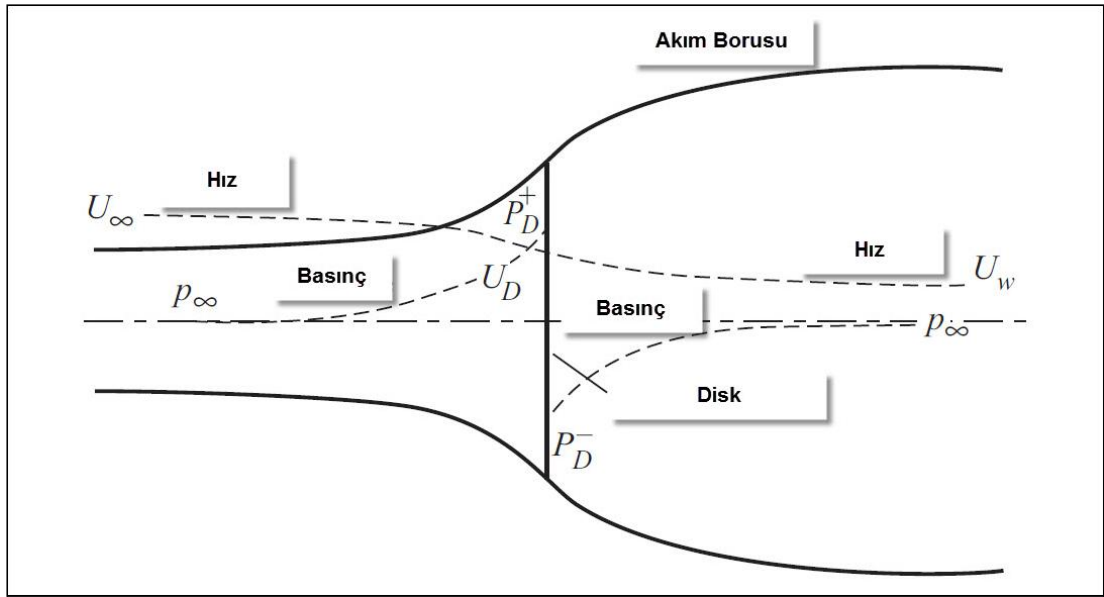
3.3 Rüzgar Türbinlerinde Aerodinamik Davranışı ve Froude Disk Konsepti

Kinetik enerji formülünden yukarıda bulunan denklem (3.7) çıkarılmıştır. Bu enerjinin bir kısmı faydalı bir işte kullanılmış olabilir, neticede çeşitli kayıplar olacaktır. Rüzgar enerjisi türbinlerinde herhangi bir türbin dizaynı olmadan aerodinamik davranışın analizine başlanabilir. Yöntem Şekil 3.2'de görüldüğü gibi Froude disk denen bir konsept üzerinde gerçekleştirilir. Diskin akıma karşı bölümünde kesit alanı diskten daha küçüktür, akım yönünde ise daha büyüktür. Akım

yönünde genişlemenin sebebi kütle debisi her yerde aynı olmak zorundadır. Bu inceleme sırasında şu kabuller yapılır:

- Diski geçen akışkan statik basınç artımı şeklinde bir enerji kazanır. Kazanılan enerji diskin her tarafında aynıdır.
- Diskin her tarafından geçen hava zerreciklerinin hızları aynıdır. Akım daimi ve girdapsızdır. Pervane çıkışındaki girdaplar ihmal edilir. (Url-10)

Kesitteki akım tüpünden birim zamanda geçen havanın ağırlığı $\rho.A.U$ 'dır. Burada ρ ; havanın ağırlığı, U ; akımın hızı, A ; kesit alanını ifade etmektedir.



Şekil 3.2 : Rüzgar Türbinlerinde Momentum Aktarımı Modeli (Tony Burton, 2011).

Kütle debisi akım borusunda her yerde eşit olacağı için ;

$$\rho.A_{\infty}.U_{\infty} = \rho.A_D.U_D = \rho.A_w.U_w \quad (3.8)$$

“ ∞ ” sembolü akıma karşı olan bölümdeki durumu gösterir. D ise diskteki şartları ,W ise akım yönündeki uzak bölümdeki durumları gösterir. Genelde bu diske akım hızına eklenmesi gereken, hız değişkeni eklendiği düşünülür. Akım yönündeki bileşen $-a.U_{\infty}$ formülü ile akıma eklenir. a; aksenal akış faktörüdür. Akım yönündeki hız;

$$U_D = U_{\infty}.(1-a) \quad (3.9)$$

Momentum teorisine göre hava diskten geçtiğinde toplam hızdaki değişim $U_{\infty} - U_w$ olur. Momentumdaki değişim hızın kütle debisi ile çarpımına eşittir.

$$\text{Momentumdaki Değişim Oranı} = (U_{\infty} - U_w) \cdot \rho \cdot A_D \cdot U_D \quad (3.10)$$

Momentumdaki değişime sebep olan etken akım borusundaki diskin aşağı bölümü ile disk arasındaki basınç farkından kaynaklanmaktadır.

Havadaki kuvvet;

$$(P_{+D} - P_{-D}) \cdot A_D = (U_{\infty} - U_w) \cdot \rho \cdot A_D \cdot U_{\infty} \cdot (1 - a) \quad (3.11)$$

Basınç farkını ($P_{+D} - P_{-D}$) elde etmek için akım yönüne ters yönde ve akım yönünde ayrı ayrı bernoulli denklemi yazılır. Bernoulli denklemi kararlı akım şartlarında (Akışkanın herhangi bir noktasında akım şartlarının zamanla değişmediği akımlardır) akıştaki toplam enerji kinetik enerji, statik basınç enerjisi, potansiyel enerji ve sabit bir değerden oluşur.

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot U^2 + P + \rho \cdot g \cdot h = \text{sabit} \quad (3.12)$$

Akıma karşı yönde bernoulli denklemini yazarsak;

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot U_{\infty}^2 + P_{\infty} + \rho \cdot g \cdot h_{\infty} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot U_D^2 + P_D + \rho \cdot g \cdot h_D \quad (3.13)$$

Akımın sıkışmaz ve yatayda aynı seviyede yer aldığını farzedildiğinde ;

$$\begin{aligned} \rho_{\infty} &= \rho_D \\ h_{\infty} &= h_D \end{aligned} \quad \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot U_{\infty}^2 + P_{\infty} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot U_D^2 + P_D^+ \quad (3.14)$$

ifadesini elde etmiş oluruz. Akım yönünde de denklem benzer olacaktır.

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot U_w^2 + P_{\infty} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot U_D^2 + P_D^- \quad (3.15)$$

Denklem (3.14) ve (3.15)'i bir arada çözersek (birbirinden çıkarırsak) aşağıdaki denklem (3.16) elde edilir.

$$P_D^+ - P_D^- = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (U_{\infty}^2 - U_w^2) \quad (3.16)$$

Denklem (3.11) de yerine konursa;

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (U_{\infty}^2 - U_w^2) \cdot A_D = (U_{\infty} - U_w) \cdot \rho \cdot A_D \cdot U_{\infty} \cdot (1 - a) \quad (3.17)$$

$$U_w = (1 - 2a) \cdot U_{\infty} \quad (3.18)$$

Görüldüğü gibi akım borusunda eksenel hızdaki kaybın yarısı akıma karşı bölümde diğer yarısı ise akım yönündedir.

3.3.1 Güç katsayısı

Rüzgar türbinde enerji üretimini sağlayan kuvvet denklem (3.11)'i kullanarak güç katsayısı formülünün çıkarımı;

$$Güç = T \cdot U_D = 2 \cdot \rho \cdot A_D \cdot U^3 \cdot (1 - a)^2 \quad (3.19)$$

a'lı terimleri yalnız bırakılırsa güç katsayısı C_P ;

$$C_P = \frac{Güç}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_D \cdot U_{\infty}^3} \quad (3.20)$$

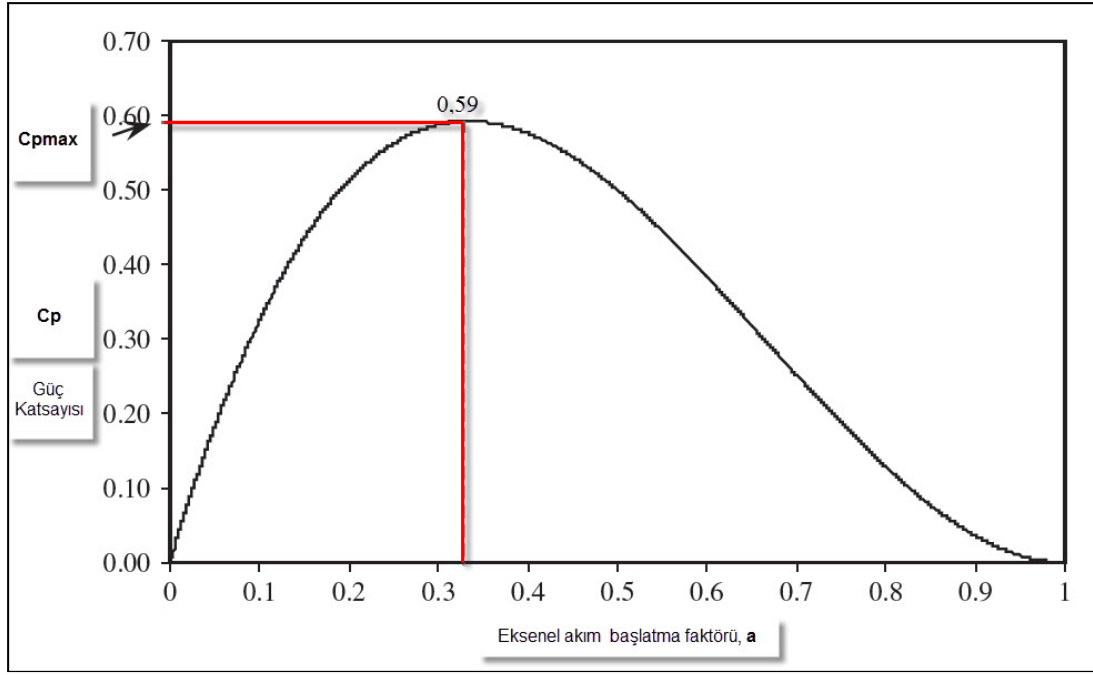
$$C_P = 4a \cdot (1 - a)^2 \quad (3.21)$$

3.3.2 Lancaster-Betz limit

Teorik olarak elde edilebilecek maksimum güç değeri Lancaster tarafından 1915 ve Betz tarafından 1920 yılında elde edilmiştir. Güç katsayısının a'ya göre türevi alındığında a'nın maksimum değerine ulaşılır.

$$\frac{dC_P}{da} = 4 \cdot (1 - a) \cdot (1 - 3a) \quad (3.22)$$

a'nın 1/3 değeri için güç maksimum değere ulaşır. Dolayısıyla $C_{P_{max}} = 0,59$ değerini alır. İdeal bir türbinde rüzgardan alınabilecek enerji, rotor süpürme alanından geçen havanın taşıdığı enerjinin %59'u olacaktır (Url-11). Teorik olarak %59 olmasına rağmen bu oran sürtünme kayıpları da hesaba katıldığında pratikte %30'lara ulaşabilmektedir (Tony Burton, 2011).



Şekil 3.3 : Maksimum güç katsayısı.

3.4 Rüzgar Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları

Rüzgardan enerji üretiminin avantajları aşağıdaki maddeleri sayabiliriz.

- Atmosferde güneş etkileşimi ile meydana gelen yatay hareketler olduğundan ham maddeye ihtiyaç duyulmaz. Bu enerjinin kaynağı olan rüzgar meteorolojik şartlara bağlıdır. Yılın her gününde aynı miktarlarda bulunmaz.
- Kurulması diğer enerji santrallerine göre daha hızlıdır. Diğer enerji üretim birimlerinin planlanma aşaması, inşa safhası uzun zaman ve büyük mali yatırımlar gerektirmektedir. İnşa tamamlandığında hammaddenin ulaştırılması, üretilen enerjinin taşınması devamlı olarak sağlanmalıdır. Rüzgar türbinlerine yatırıma karar verdikten sonra mali bütçenin de hazır olması ile 3 ay gibi kısa bir zaman zarfında tamamlanarak üretime başlatılabilir. Rüzgardan enerji üreten türbinlerin ömürleri 30-40 yıl garanti edildiğinden yatırım maliyeti de uzun vadede azdır. Bir rüzgar türbinin yatırım maliyeti kendisini 2-3 yıl gibi bir süre zarfında amorti edebilmektedir.
- Atmosferdeki hava hareketleri ve bunların ortaya çıkmasında güneş ışıınımları rol oynadığından rüzgar enerjisi temiz bir enerji kaynağıdır. Hava ve çevre kirlenmesi gibi yan etkileri bulunmamaktadır.
- Fosil yakıtların ömürleri kömür olarak 250 yıl ile sınırlıyken rüzgar enerjisinin az olan miktarına karşın böyle bir sorunu olmadığından sürdürülebilir enerji kaynağıdır.

- Yerli enerji kaynağıdır. Bu bakımdan ülke üzerinden esen rüzgarlardan enerji elde edilmesinde ülke ekonomisi ve enerji artırımı açısından faydası vardır.
 - Fosil yakıtların sebep olduğu atmosfer kirlenmesi ile güneşten yeryüzüne gelen kısa dalga boylu ışınımın bir kısmının yeryüzünden yansıtılarak uzun dalga boylu olarak tekrar atmosfere verilmesi sırasında bu uzun dalga boylu ışınımın atmosfer dışına çıkması engellenmiş olur. Rüzgar, güneş gibi temiz enerji kaynaklarının daha verimli kullanılması ile fosil yakıtların kullanımının düşürülerek küresel ısınmanın engellenmesi amaçlanmaktadır.
 - Rüzgar enerjisi türbinlerdeki teknolojik gelişme ve maliyetlerin azaltılmasıyla giderek ucuzlamaktadır. Birçok ülke için rüzgar enerjisi kullanılabilir seviyeye gelmiştir.
 - Rüzgar çiftliklerindeki türbinler yapılaşmaya müsaade etmez. Bu sayede rüzgar türbinlerinin kurulduğu arazide yeşil alanların azalmasına engel olunabilir ve bu alanlarda tarım yapılabilir (Şen, 2009).
- Rüzgar enerjisinin dezavantajları ise;
- Rüzgar türbinleri gürültülü çalışabilir. Bu yüzden çevrede yaşayan insanları rahatsız edebilir.
 - Rüzgar türbinlerinde Betz limitine göre verim %59'dur. Bu hesaba sürtünme kayıpları da hesaba katılırsa verim % 30'lara düşer. Bu yüzden verim biraz düşüktür.
 - Rüzgar enerjisinin şebeke üzerine birtakım olumsuz etkileri bulunmaktadır. Süreksiz ve dalgalı enerji çıkışı ile şebeke sistemine bazı problemler oluşturabilir. Örneğin rüzgar hızına bağlı değişimler yüzünden rüzgar enerjisi süreklilik arz etmez. Bu sebeplerden dolayı enerji sisteminde gerilim değişimlerine (salınımlara) sebep olurlar.
 - Şebeke sisteminin kararlılığı yani üretim ve tüketim dengesi frekans yardımıyla ölçülebilir. Üretim ve tüketim arasındaki herhangi bir dengesizlik durumunda frekans değeri değişir. Bu da elektronik aletlerde arızalara sebep olabilir. Bu yüzden tüketicilere verilecek enerjinin miktarının tahmini oldukça önemlidir (Hans Auer, 2004).
 - Rüzgâr santralının büyüklüğüne göre değişmekle beraber, 2-3 km çapındaki bir alan içinde, radyo, tv ve diğer haberleşme dalgalarını olumsuz etkilemektedir.
 - Rüzgâr santralleri, diğer enerji santrallerinden daha fazla yer kaplayabilir. Bu durum türbinlerin, birbirlerinin rüzgârını kesmemesi amacıyla seyrek yerleştirilmesinden

kaynaklanır. Örneğin, büyük sayılabilecek 20 adet türbin, yaklaşık 1 km²'lik bir alan kaplar. Ancak bu alanın gerçekte, sadece %1-1,5'lik bir bölümü türbinlerin oturduğu alandır.

- Bazılarına göre, doğaya uyumsuz şekilleri itibariyle, doğal ortam şartlarında garip ve çirkin görüntüler sergilemekte, görüntü kirliliği oluşturmaktadır. Örneğin İngiltere'de 10 türbinden fazla ve 5 MW'tan büyük güçte rüzgâr çiftlikleri, milli park alanlarında kurulmamaktadır.
- Yüksek hızla dönen rotorları (pervaneleri) ile, kuşların ölümlerine sebep olmaktadır (Hayli, 2001).

Bu bölümün sonuçlarından biri olarak önemli bir dezavantaj oluşturan rüzgar hızının değişken ve süresiz oluşu sonucunda şebeke sistemine verilecek enerji çok iyi tahmin edilmelidir.

4. RÜZGAR ENERJİ TAHMİNİNE GENEL BAKIŞ VE UYGULANAN YÖNTEMLER

4.1 Giriş

Rüzgar çiftliklerinde enerji üretimi direkt olarak etkilenemeyen faktörler olan meteorolojik şartlara, rüzgar hızına bağlıdır. Konvansiyonel enerji kaynakları ile karşılaştıracak olursak rüzgar hızının değişken olmasına rağmen teknik ve ekonomik açıdan rüzgar enerjisi ciddi bir fark yaratabilir.

Rüzgar enerjisinde elektrik üretim ve dağıtımında aktif rol oynayanların rüzgarın dalgalı ve değişken oluşu, öngörülemeyen rüzgar şartları önemli bir tartışma konusudur. Bahsedilen belirsizlikleri anlamak ve nasıl yapılacağı konusunda bir model oluşturmak bu tezin konusudur. Bu modellerin amacı elde edilecek gücü yakın gelecekte bir zaman için (24 saat vb) güvenilir tahmin ederek bu enerjinin verimli bir şekilde şebekeye entegre edilmesidir.

Rüzgar enerji piyasasındaki aktörler 48 saat içerisindeki üretim ve tüketim değerlerini bilmeleri gerekmektedir (Url-12).

Ayrıca enerji ticareti yapan şirketler, sistem operatörleri, santral operatörleri üretim gibi tahmin değerlerine de bağlıdırlar (Enerji değişimi için teklif verme, konvansiyonel (Termik santraller, nükleer santraller, hidroelektrik santraller, doğalgaz çevrim santralleri vb.) (Url-13).

Sonuç olarak güvenilir rüzgar enerjisi tahminleri düşük maliyetli enerji tedariki açısından yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygın kullanımı için önemlidir. Rüzgar enerjisi tahminlerinin daha detaylı değerlendirilmesi, operasyonel kullanım için sınır şartlarının çıkarılması ve elektrik tedarik sisteminin bazı yönleri iletim sistemi operatörünün (TSO) bakış açısından daha detaylı anlatılacaktır.

4.2 İletim Sistemi Operatörünün Sistemdeki Yeri

Sağlıklı bir elektrik tedariki zamanın her bir noktasında üretimle talebin mümkün olduğu kadar eşleşmesiyle olur. TSO'nun görevi bu dengeyi kurmaktır.

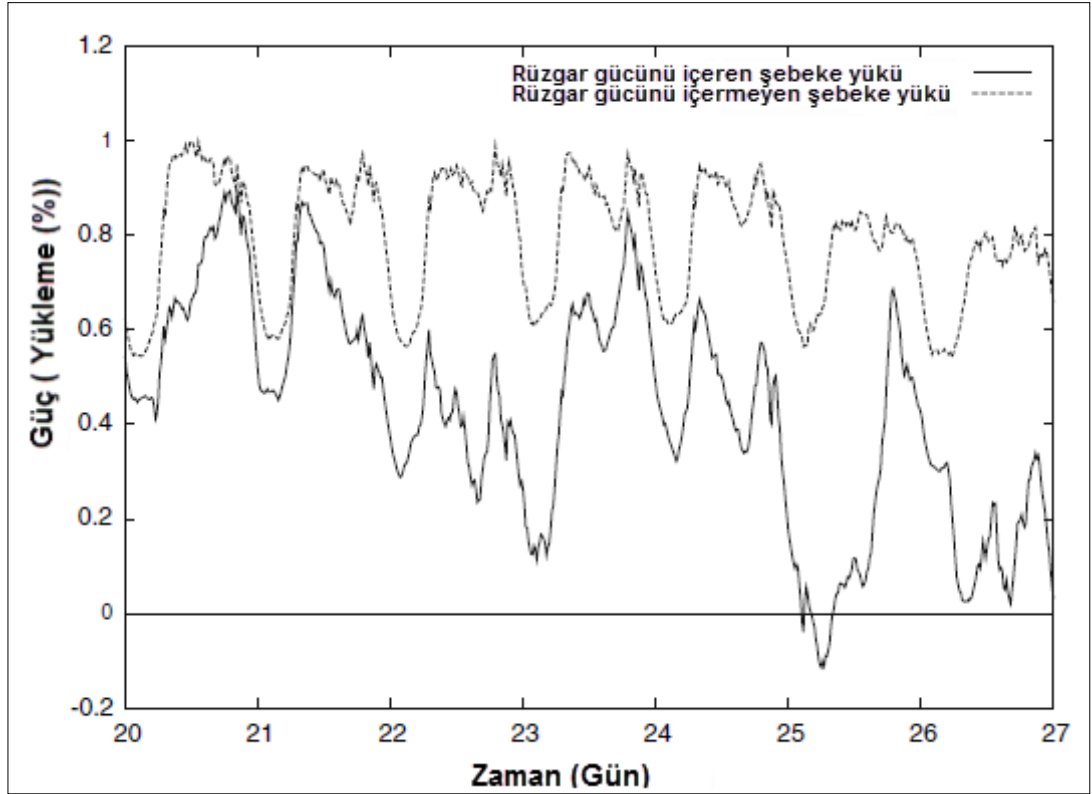
Ayrıca iletim sistemi operatörü (TSO) kendi sınırları içinde dağıtım sistemlerinin bakımı, onarımı ve dağıtım sisteminin geliştirilmesini, elektrik talebini karşılamak için iletim sisteminde güvenli bir ortam sağlamakla yükümlüdürler. Endüstri ve ev kullanıcılarının toplam tüketimi genellikle elde edilen deneyimler sonucunda bellidir. Yük profilleri tarafından ifade edilirler. Bu günlük yük şablonları ertesi güne ait elektrik tüketimini tahmin etmek için kullanılırlar. Serbest piyasalarda TSO ‘nun 2 seçeneği vardır. Ya elektriği kendi enerji santrallerini kullanarak güç üretimi yapacak ya da piyasadan elektriği satın alacaktır.

TSO elektrik üretimini kendi yaptığı durumlarda üretim programı yarın için işletilecek konvansiyonel enerji santrallerinin sayısı ve tipinin bir önceki gün bilinmesi ile yapılır. Programlama süresi 48 saattir. Bu programlamanın zaman çizelgesi farklı tipteki özel karakteristikleri göz önüne alır. Yakıt maliyeti örnek olarak verilebilir. Elektrik 24 saat tabanlı satılıp alınsa da teklifler 48 saat üzerinden yapılır.

Hazırlanan üretim programında, rüzgar enerjisinin sisteme katılımı çok fazla ise bu program anlamsız hale gelebilir. (Özellikle rüzgar enerjisi beklenmeyen bir şekilde sisteme katıldığında) TSO tarafından bakıldığında rüzgar enerjisi negatif yük gibi davranır. Çünkü konvansiyonel enerji kaynakları tarafından karşılanması gereken enerji talebinin rüzgar enerjisi ile karşılanması sebebiyle rüzgar enerjisi tarafından karşılanacak güç kadar azaltılır. Bu durum rüzgar enerjisinin rüzgar enerjisinin şebekeye çok fazla katıldığı durumlarda önemlidir. Şekil 4.1’de görüldüğü üzere Almanya’nın kuzeyi ve Danimarka’da yüksek değerlerde şebeke sistemini besleyen rüzgar enerjisi ile ilgili diyagram verilmiştir.

Şekil 4.1’de rüzgar enerjisi içermeyen grafikte günlük bazda yük modelinin çok düzgün olduğu görülebilir. Fakat rüzgar enerjisi dahil olduğunda rüzgar enerjisinin katkısı bir negatif yük gibi etki eder ve grafikte bir dalgalanma oluşturur. Yüksek rüzgar hızlarında türbinlerden elde edilen güç talebi aşabilir. (25.gün)

Almanya’da eklenen dengeleme gücüyle bu soruna çözüm getirilmiştir. Dengeleme gücü genel olarak yük ve üretim arasındaki ani sapmaları dengelemek için uygulanır. Aynı zamanda şebekedeki dalgalı davranışa sahip rüzgar gücünü dengelemek için de kullanılır



Şekil 4.1 : Rüzgar gücünün şebekeye yüksek değerlerde katıldığında elektrik yükü.

Dengelenmenin devam ettirilmesi beklenmedik olaylara karşı hazırlıklı olunmasını sağlar. Örneğin eğer bir çok rüzgar çiftliğinin bulunduğu bir bölgede bir fırtına meydana geldiği takdirde rüzgar çiftlikleri güvenlik nedeniyle durabilirler. Bu durum enerji üretiminde kayda değer bir oranda azalmaya sebep olabilir. Ayrıca dengeleme rüzgar enerjisinin çevresel faydalarını azaltmaktadır. Ya daha düşük verimli santraller yapılmalı yada ek olarak fosil yakıt kullanan santraller eklenmelidir. Bundan ötürü dengelemeye bağlı enerji, rüzgar enerjisinin şebekeye aktarılmasından doğan dalgalanmayı gidermek için, rüzgar enerjisinin şebekeye verdiği enerjiden çıkarılmalıdır. Böylece önlenmesi gereken CO₂ emisyonu azalacaktır.

Konvansiyonel enerji santrallerinde planlama ve elektrik pazarında teklif verme genelde gündüz 1 gün olacak şekilde yapılır. Rüzgar gücü tahminleri en az 48 saatlik bir periyodu kapsamalıdır. Yeterli doğrulukta bir tahmin rüzgar enerjisinin 1-2 gün içindeki mevcut durumu için belirleyici bir bilgi sağlar. TSO'ya da varolan elektrik tedarik sistemiyle önemli ölçüde rüzgar gücünün birleştirilmesine izin verir. Eğer yeteri kadar güvenilir bir tahmin yapılırsa dengeleme azalacaktır.

Güvenli bir rüzgar tahmini kullanmak daha az dengeleme gücü kullanmakla sadece TSO'nun para tasarruf etmesi sağlanmayacak aynı zaman da bu bilgi elektrik pazarına ne kadar rüzgar gücü satabileceğini de gösteren bir bilgi olacaktır.

Ayrıca doğruluğu yüksek bir tahmin rüzgar enerjisinin ekonomik değerini artıracak ve konvansiyonel enerji kaynakları ile rekabet etmesini sağlayacaktır (Lange, 2005).

4.3 Rüzgar Enerjisi Tahmin Sistemleri

Son yıllarda artmakta olan rüzgar enerjisi tahmin metotları oldukça gelişmiştir. Bu bölümde kullanılmakta olan farklı metot ve konseptleri irdelenecektir.

Gerekli rüzgar enerjisi tahmin edilecek zaman aralığı çok önemlidir. Örneğin kısa dönem enerji tahmini ile çok kısa dönem enerji tahmini arasında fark vardır. Kısa dönem enerji tahmini birkaç günlük bir zaman aralığını belirtirken çok kısa dönem için ise 0-3 saatlik zaman aralığı düşünülür. Daha uzun periyotta atmosfer dinamiğini açıkça modelleyen sayısal hava tahmini daha iyi sonuçlar verirken daha kısa periyotta meteorolojik şartların sürekliliği belirleyici rol oynadığı için istatistiksel yaklaşım daha iyi sonuçlar vermektedir (Bossanyi, 1985).

Varolan bir çok model sayısal hava tahmini üzerinden sayısal hava tahmini sonuçları üzerine dayanır. Bundan dolayı gelecek hakkındaki bilgi, bir anlamda rüzgar türbinin kurulacağı yerdeki beklenen gelişme SHT tarafından sağlanır. SHT sistemleri atmosferin durumunu fiziksel kanunlara dayanarak çıkarılan denklemler (Navier-Stokes) ile tahmin eder. Denklemler, momentum, enerji ve kütle korunumunun temel prensiplerinden elde edilir. İstenen zaman aralığında SHT, istatistiksel yaklaşımı temsil eden herhangi bir iklimsel yaklaşım veya istatistiksel tipten daha doğru sonuç vermektedir. Rüzgar hızı ve rüzgar yönü rüzgar gücü tahminindeki en önemli değişkenlerdir. Rüzgar enerjisi tahmin sistemlerinin görevi bu ham bilgiyi SHT sistemleri tarafından rüzgar çiftlikleri enerji tahmini çıktısına dönüştürülmesidir. Rüzgar tahminini rüzgar enerjisine dönüştürmek için basit olarak 2 yöntem vardır. Bir tarafta fiziksel sistemler atmosferik sınır tabakasının fiziğine dayanan metotlarla gerekli düzeltmeler gerçekleştirilir. Rüzgar profili parametризasyonlarını kullanarak rüzgar türbini yüksekliğindeki rüzgar hızı hesaplanır. Bu rüzgar hızı güç eğrisinde yerine konularak güç elde edilir. Genelde önceden tanımlanmış bir güç eğrisi kullanılmaz. Bu yüzden fiziksel sistemlerin

aksine istatistiksel sistemler giriş datalarının ölçülen datalara göre düzeltilmesine ihtiyaç duyar.

4.3.1 Sayısal hava tahmini

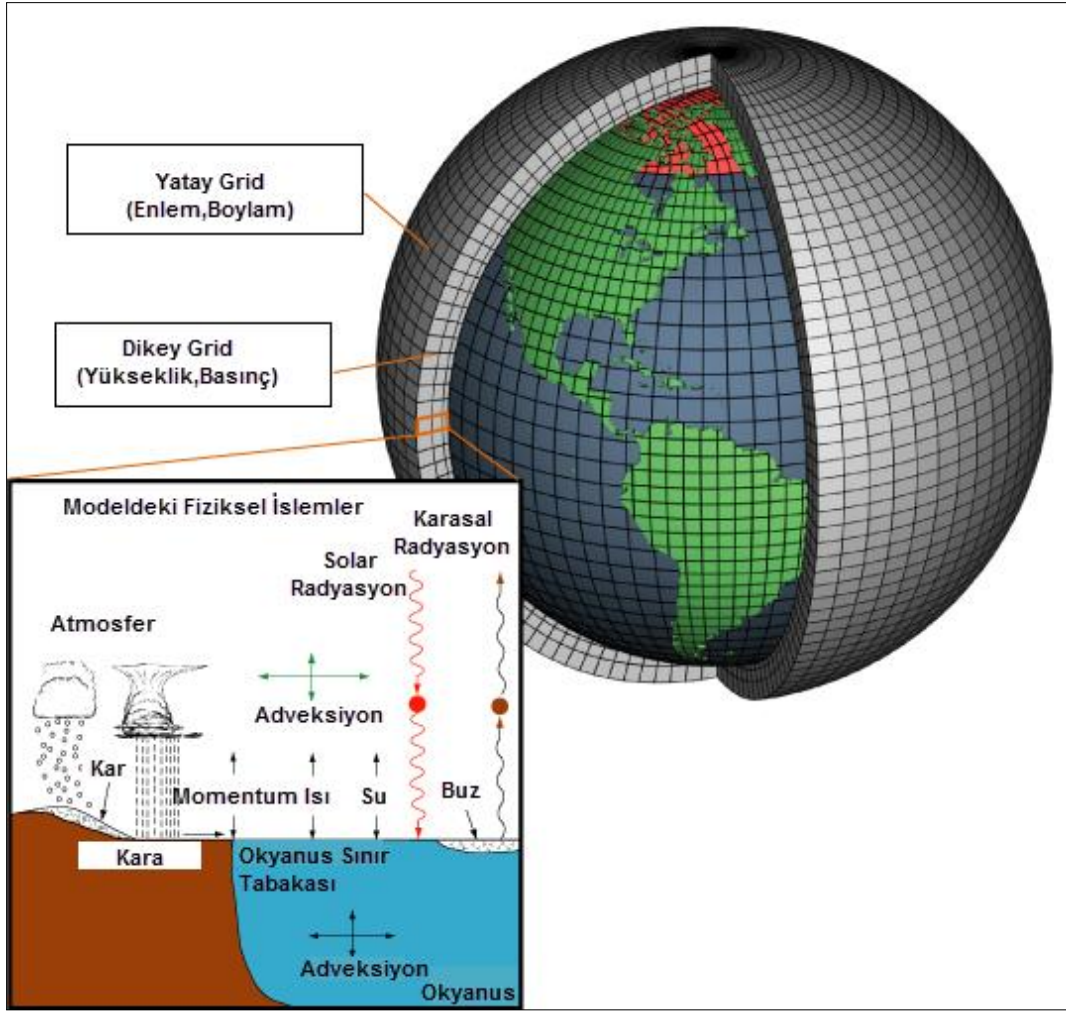
Atmosferdeki değişim, güncel atmosferik durumun non-lineer hareket denklemlerinin sayısal integrasyonu ile modellenir. Bu yüzden 3 boyutlu grid üzerinde haritalama yapılmalıdır. Yapılması gerekli olmasa da sonuçları yansıtması bakımında yardımcı olabilir. Bilgisayar teknolojisinin kapasitesine bağlı olarak sayısal gridin çözümü sonludur. Bu yüzden SHT'ler bu işlemi grid altı ölçekte doğrudan modelleyemezler. Özellikle arazideki orografik yapıların etkisini ve deniz meltemleri gibi bölgesel termal etkileri kapsar.

Deniz meltemleri oluşurken, ısınan kara üzerindeki havanın yükselmesi ile karada bir alçak basınç alanı oluşmaya başlar ve giderek artar. Deniz, özelliği nedeni ile çabuk ısınmaz ve giderek deniz ve kara arasındaki sıcaklık farkı, deniz üzerinde yükselemeyen ve çöken hava, denizin birkaç km açığında bir yüksek basınç alanı oluşturur. Karadan gelen rüzgarların olmadığı günlerde, deniz meltemi, deniz üzerinde oluşan yüksek basınç alanından kara üzerindeki alçak basınç alanına doğru yönelir ve giderek kuvvetlenir.

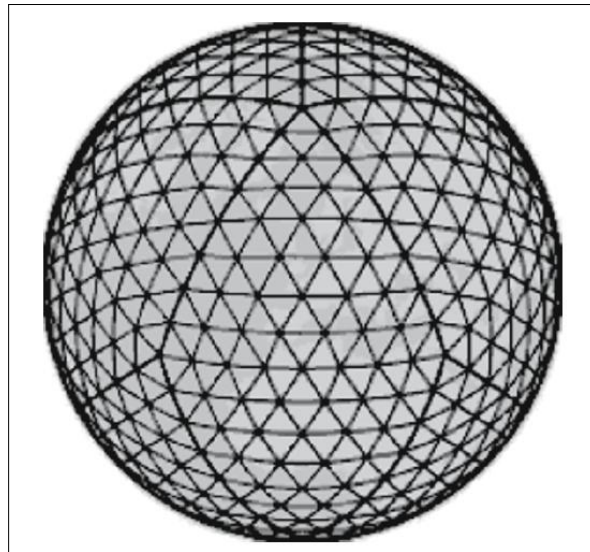
Türbülans veya bulut oluşumu gibi grid altı işlemlerin etkisinin olduğu daha geniş ölçekteki değişim parametrize edilmelidir. Yani makro ölçekteki etkiler, mikro ölçekteki detayları düşünmeden modellenir. Böylece sayısal hava tahmin modelleri büyük ölçeklerdeki atmosferik davranışı betimler. (Örnek:10km-1000km arasındaki sinoptik hava sistemleri)

Yukarıda bahsedilen sonlu çözüm; gridteki her bir kareyi temsil eden her noktada değişken için ortalama bir değer hesaplanır. Bu yüzden bir grid hücresi (gridteki herhangi bir kare) için tahmin edilen değerler gridteki her nokta için iyi sonuç vermeyebilir.

Tüm rüzgar enerji tahmin yöntemleri için SHT gerekli data girdisini sağlar. Kompleks olması ve çok fazla gerekli dataya ihtiyaç olmasına rağmen bu modellerin çalıştırılması gereklidir. Genelde hava tahmin servisleri tarafından bu modeller uygulanır. Hava tahmin merkezleri dünya genelindeki hava sistemlerindeki değişimleri görebilmek için 100x100km² 'den 50x50km²'ye değişen yatay çözünürlüğe sahip bir global model kullanılırlar.

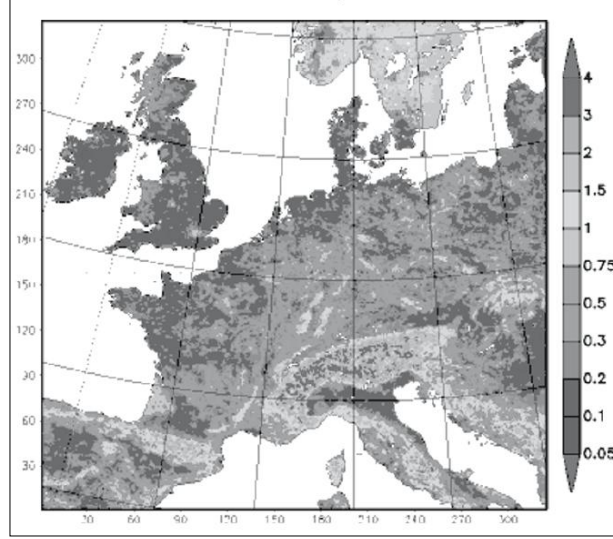


Şekil 4.2 : Atmosferik model (Url-14).



Şekil 4.3 : Alman hava tahmin servisinin 60x60 km² çözünürlüğe sahip global model.

Büyük bir global model 50x50 km²'den 7x7 km²'ye olan daha yüksek uzaysal çözünürlüğe sahip lokal bir model kullanır. Genel olarak ait olduğu ülkeyi içine alacak şekilde daha küçük bir alan kullanılır.



Şekil 4.4 : Almanya hava tahmin servisinin 7x7 km² çözünürlüğe sahip lokal modeli.

Data formatları ve ölçümler World Meteorological Organisation (WMO) yani Dünya Meteoroloji Örgütü tarafından standartize edilirler. Ayrıca global meteorolojik datada ülkelerin kendi SHT modelleri için başlangıç koşullarını ayarlayabilmeleri için kullanılırlar. Avrupada işletilen SHT'ler:

Çizelge 4.1 : Avrupadaki SHT Sistemleri.

Model Adı	Hava Tahmin Merkezi	Yatay Çözünürlük (km)
Global Model (GME)	Alman Hava Tahmin Servisi (DWD)	60
Lokal Model(LM)		7
Arpege Aladin	Fransız Hava Tahmin Servisi (Meteo France)	19-250 9.5
Hırlam	İsveç, Danimarka, Norveç, İspanya, İzlanda, İrlanda, Finlandiya Hollanda	10-50
ECMWF	Avrupa Orta Mesafe Tahmin Merkezi	40
Birleşik Model	MetOffice,İngiltere	60/11

4.3.2 İstatistiksel sistemler

4.3.2.1 Rüzgar enerjisi tahmin aracı (Wind power prediction tool (WPPT))

1997'den beri Danimarka'da kullanılan istatistiksel bir sistemdir. Danimarka Teknik Üniversitesi'nde Matematik Modelleme ve Bigi Teknolojileri Enstitüsü, Danimarka güç üretim programları Elsam ve Eltra, Danimarka'nın batı bölümünün iletim sistemi operatörü'nün işbirliğiyle oluşturulmuştur (Lange, 2005).

WPPT yapay zeka üzerine kurulur. Bu yüzden sistem durumu otomatik olarak kalibre eder. Sistemin minimum yüklemesi için online rüzgar ölçümleri gerekir. Konfigürasyona bağlı olarak sistem aşağıdaki verilere gereksinim duyar.

WPPT için gerekli girdiler;

- Online rüzgar enerjisi ölçümleri (Her 5 dakikada güncellenen-1 saat)
- Bölgedeki tüm türbinlerin ürettikleri enerjilerin okunması
- Meteorolojik tahminler (Bölgedeki rüzgar hızı ve yönü),(0-48 saat, 120 dakika aralığında 2 veya 4 defa güncellenmeli)
- Diğer ölçümler (Bölgedeki aktif türbin sayısı, rüzgar esme sıklığı)'dır.

Girdiler Anemos projesindeki gibi standart Avrupa formatında verilebilir.

WPPT'den alınacak çıktılar ise 120 saate kadar rüzgar enerjisi tahmini alınabilir.

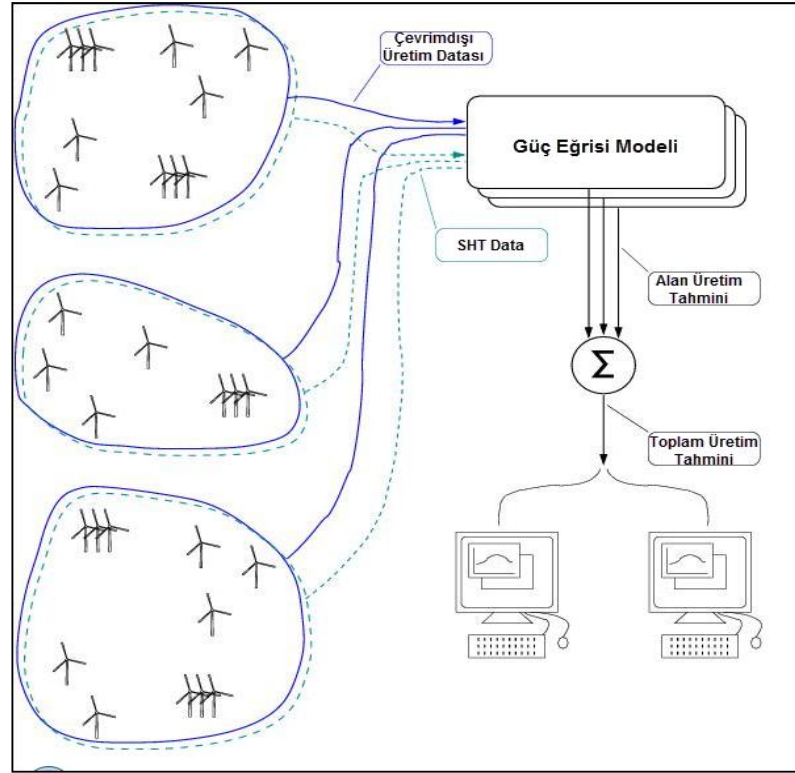
4.3.2.2 WPPT'de kullanılan metotlar

WPPT lineer olmayan istatistiksel modeller üzerine kurulmuştur. Bu yarı parametrik olan, rüzgar çiftlikleri için güç eğrisi modelleri rüzgar hızı ve yönünü hesaba katar. Ayrıca dinamik tahmin modelleri de rüzgar gücünün dinamiklerini ve günlük değişimleri tanımlar. Bu modeller kendi kendini kalibre eder ve adaptifdir. Ayrıca bu sistemler aşağıdaki değişimleri de hesaba katar.

- Türbin sayısı ve karakteristikleri
- Çevre koşulları, pürüzlülük, kirli türbin pervaneleri
- SHT'lerdeki değişimler

4.3.2.3 WPPT konfigürasyon örnekleri

Örnek 1 Büyük İletim Sistemi Operatörü;



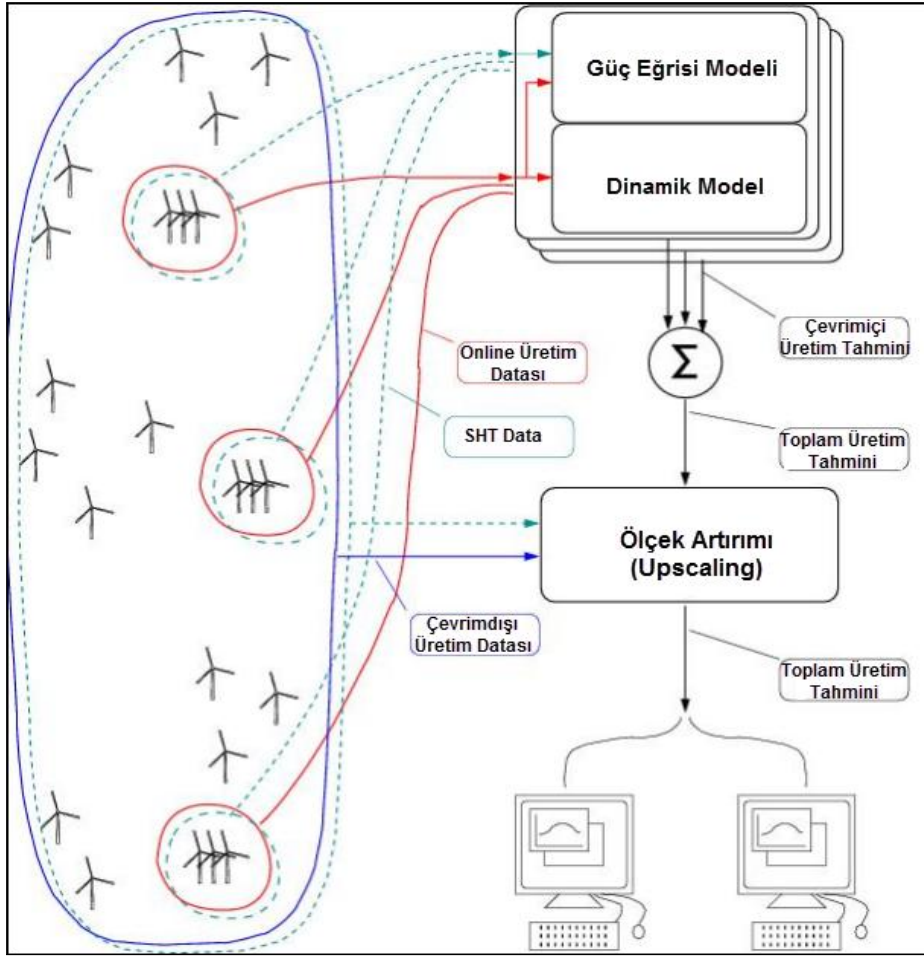
Şekil 4.5 : Büyük İletim Sistemi tarafından kullanılan WPPT konfigürasyonu.

- Çok sayıda rüzgar çiftliği ve birbirinden bağımsız rüzgar türbinleri varsa,
- Rüzgar türbini sayılarında sık sık değişiklik oluyorsa,
- Türbinlerin bulunduğu alanda sınır tabakasında değişimler meydana geliyorsa,
- Alandaki türbinlerin %99'unda çevrim dışı enerji üretim verileri alınabiliyorsa,
- Modele herhangi bir online data girilmiyorsa bu örnek kullanılabilir.

Örnek 2 Büyük rüzgar çiftliği sahibi;

Bu konfigürasyon Danimarka'da büyük rüzgar çiftlikleri için kullanılır. Aşağıdaki karaktersitiklere sahiptir.

- Makul (20 adetten az) rüzgar çiftliği sayısı
- Rüzgar çiftlikleri için kullanılabilir çevrim içi enerji üretim verisi
- Tüm rüzgar türbinleri için 15 dakika çözünürlükte çevrim dışı üretim verisi

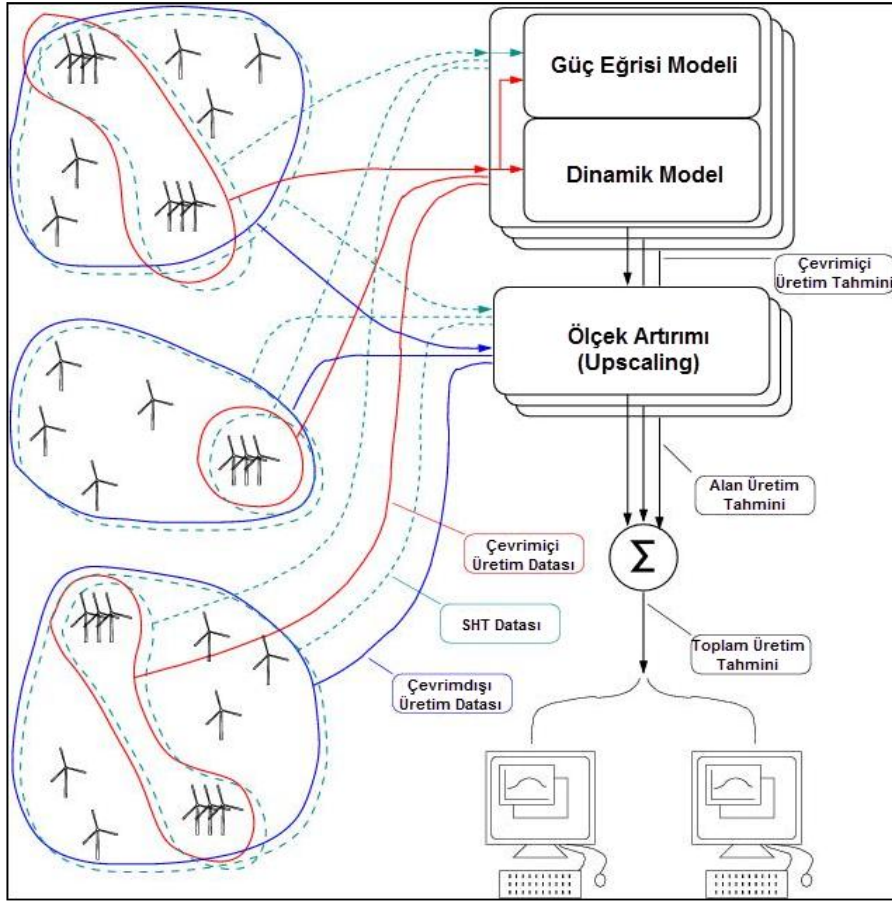


Şekil 4.6 : Büyük rüzgar çiftliği.

Örnek 3 Çok Büyük İletim Operatörleri;

Çok büyük iletim operatörlerinin karakteristikleri aşağıda verilmiştir.

- Çok fazla sayıda rüzgar çiftliğine ve bağımsız rüzgar türbinlerine sahiptir.
- Rüzgar türbini sayısında çok sık değişimler yapılabilir.
- Alandaki rüzgar türbinlerinin %99’undan fazla olacak şekilde çevrim dışı üretim datası kullanılabilir.
- Çevrimiçi data ise çok sayıda rüzgar çiftliği için kullanılabilir. Çevrimiçi rüzgar çiftlikleri çok sık artar (Madsen, 2006).



Şekil 4.7 : Çok büyük iletim operatörleri WPPT konfigürasyonu.

4.3.2.4 Yapay sinir ağları ile enerji tahmini

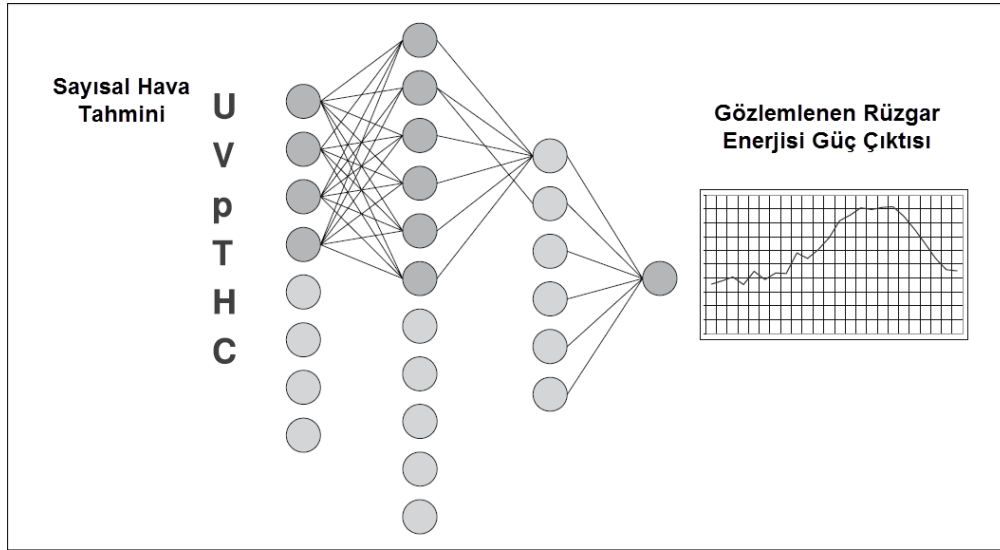
Rüzgar enerjisinde çevrimiçi görüntüleme ve rüzgar enerjisi tahmini ISET (Institut für Solare Energieversorgung Technik) tarafından geliştirilmiş ve bazı alman iletim operatörleri tarafından kullanılmaktadır. WPMS denmektedir. Sistem, gridi besleyen rüzgar gücünün hesabını sağlar. Temsil edilen rüzgar çiftliklerinde tahmin edilen ölçümleri baz alır. WPMS, WPPT içerir ve yapay sinir ağları (YSA) yöntemini meteorolojik tahmin ile elde edilen güç arasındaki ilişkiyi temsil etmek için kullanır. Tahmin sistemi bir çok rüzgar çiftliğinin toplam gücünü 0-72 saat aralığında tahmin etmek için tasarlanır. İlk olarak temsil eden rüzgar çiftliklerinin rüzgar hızlarının sayısal tahmini ve Alman hava servisinin meteorolojik değişkenleri, geçmiş verilerle eğitilmiş YSA'da rüzgar gücü tahminine dönüştürülürler. Daha sonra temsil edilen alanlardaki tahmin edilen güç verileri adapte edilerek istenilen bölge için toplan güç elde edilir. Ayrıca temsil edilen rüzgar çiftliklerinin çevrimiçi ölçümleri 1-8 saat arasındaki tahmini iyileştirmek için kullanılır. YSA konsepti için, birbiriyle bağlı ve

komşu hücrelerin etkinlik derecesine bağlı olarak özel tepkiler oluşturma özelliklerinden esinlenilmiştir. YSA'lar bu biyolojik sisteme benzeyen matematik modellerdir. Yapay nöronun etkinlik derecesi diğer nöronlardan gelen sinyallere göre belirlenir. Bu yüzden matematiksel terimlerde nöronların etkinlikleri ağırlıklı toplam yöntemiyle tanımlanır.

$s_i(t)$ i'ninci nöronun t anındaki etkinliği olsun. Daha sonra N tane nöronun bağlandığı j nöronunun etkinliği s_j ;

$$s_j(t) = \sum_{i=1}^N w_{ij} \cdot s_i(t) \quad (4.1)$$

olarak tanımlanır. w_{ij} nöronlar arasındaki çift yönlü ağırlık faktörüdür. Ayrıca w_{ij} gerçel sayılardır. Dolayısıyla negatif olabilirler. Bu duruma örnek vermek gerekirse i nöronu j nöronunun etkinliğini engelliyorsa negatif olabilir. YSA'da ağırlık faktörleri önemli parametrelerdir. YSA'daki davranışı belirlemek için eğitilme dönemindeki kesin kurallara göre düzenlenirler.



Şekil 4.8 : Yapay Sinir Ağlarının Şema Olarak Gösterimi (Lange, 2005).

Şekil 4.8'de farklı girdilerden sorumlu bir çok farklı katman, sistemin önceki verilere göre eğitilmesi işlemi ve rüzgar enerji tahmini çıktısından oluşmaktadır. Çok boyutlu güç eğrileri oluşturmak için meteorolojik tahminler ile güç tahminlerinin ilişkilendirilmesi sistemin ana fikridir. Bu güç eğrilerinin kullanılmasının avantajı her bir eğitilmiş güç eğrisi kısmen sistematik hataları telafi etmektedir.

4.3.2.5 Bulanık mantık ile enerji tahmini

Bulanık mantık yöntemini temel alan model, kısa dönem enerji tahmini için Ecole de Mines (Armines) tarafından geliştirilmiştir. Ayrıca More-Care olarak bilinen bulanık mantık tahmin sistemi ise İrlanda, Portekiz (Madeira), Yunanistan (Girit Adası)'nda kullanılmaktadır. More-Care rüzgar enerjisinin şebeke üzerindeki payının arttığı izole edilmiş (Girit örneği verilebilir) ve zayıf bağlı sistemler, diğer yenilenebilir enerji sistemleri, pompalı hidroelektrik depolama santrallerinin hesaba katılması ve ileri düzeyde çevrimiçi güvenlik fonksiyonlarının optimize edilmesini amaçlar. Bu kontrol sisteminin ana özellikleri yük ve rüzgar enerjisi tahmini için ileri düzey yazılım modülleri, üretim birimlerinin en uygun dağılımı (unit commitment), kovansiyonel ve yenilenebilir birimlerin ekonomik dağıtımı, çevrimiçi güvenlik değerlendirme kapasitesi olarak sayılabilir. Bu açıdan adalar gibi izole edilmiş, rüzgar enerjisinin şebeke üzerinde önemli bir etkiye sahip sistemlerde daha güvenilir sonuçlar elde edilebilir (Hatziargyriou, et al., 2002).

5. RÜZGAR HIZI TAHMİNİNDE SİNİRSEL-BULANIK MANTIK ÇIKARIM MODELİ

Rüzgar enerjisinin şebekedeki, Girit adasında olduğu gibi ,etkisinin % 20 ile % 40 arasında değiştiği sistemlerde rüzgar enerjisindeki ani değişimler ekonomik ve güvenilirlik açısından ciddi azalmalara sebep olabilir. Rüzgar enerji tahmini ile birlikte yük tahmini rüzgar türbinleri veya jeneratörlerin bağlantı yapılıp yapılmayacağını planlar. Böylece sistem operatörünün kararı ile devreye alınabilen, elektrik ağı ile senkronize çalışan aletler tarafından üretilen ve etkin cereyanı yükseltebilen kapasite (spinning reserve) ve en uygun işletme maliyeti sağlanmış olur (Ilıcak, 2007).

Bu tez de elektrik enerjisinin üretimi sırasında rüzgar hızı sinirsel bulanık modelle tahmini yapılacaktır. Model yapay sinir ağları kullanılarak eğitilmiştir. Bu yaklaşım rüzgar çiftliklerinde kullanılabilir.

5.1 Tahmin Değerlendirme Modelinin Mantığı

Rüzgar gücünün Denklem 3.7’de görüldüğü gibi rüzgar hızına bağlı olan bir fonksiyon olarak düşünülebilir. Bir rüzgar türbini için hız V rüzgar gücünün P olduğunu varsayarsak üreticilerin oluşturduğu eğriler aşağıdaki şekilde oluşur.

V_i : Rüzgar türbinin başlama hızı (Cut-in)

V_o :Rüzgar türbinin tasarlandığı maksimum hız (Cut-off)

V_r : Ölçülen rüzgar hızı

$P=0$ ise $V < V_i, V > V_o$

$P=P_r \cdot (V - V_i) / (V_r - V_i)$ ise $V_i < V < V_r$

$P=P_r$ ise $V_r < V < V_o$

$E = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \rho \cdot A \cdot U^3$ formülünde hava yoğunluğu, süpürme alanı ve güç katsayısı (C_p)

aşağıdaki gibi yakın noktalarda sabit kabul edildiğinde Rüzgar enerjisinin hıza bağlı bir fonksiyon olduğunu göstermektedir. Bulanık mantık modellemesinde hız ve yöne bağlı girdilerden bahsedilecektir (Ioannis G. Damousis, A Fuzzy Model for Wind

Speed Prediction and Power, 2004). Bir diğerk model olarak hız, yön ve sıcaklık girdi olarak alınacak, istatistiksel olarak tahmin sonuçları değerkendirilecektir.

5.2 Bandırma Bölgesi Meteorolojik Bilgiler

Balkanlardan gelen karasal iklimin geçiş alanı üzerinde yer alması nedeniyle, ilçede çeşitli iklim özellikleri gözlenir. 52 yıllık değerklere göre Bandırma'da; en düşük sıcaklık -14.6 °C (15 Ocak 1954), en yüksek sıcaklık ise 42.4 °C (9 Temmuz 2000) olarak kaydedilmiştir. Yıllık ortalama sıcaklık 14 °C' dir. Hakim rüzgar yönü Kuzey-Kuzeydoğ'u dur. Ortalama rüzgar hızı Bandırma'nın Edincik ilçesinde elde edilen verilerin ortalaması 4 – 6 m/s arasında değerkismektedir. İlçede yıllık ortalama yağış miktarı 703,3 kg/m' dir. Yıllık nispi nem ortalaması %73' tür.

5.3 Ölçüm Noktaları ve Kullanılan Veriler

Tezde bandırma bölgesinde ölçüm yapılmış noktalar Ağaoğlu Enerji'den alınmıştır. Bahsi geçen noktalar Şekil 5.1'de gösterilmektedir.

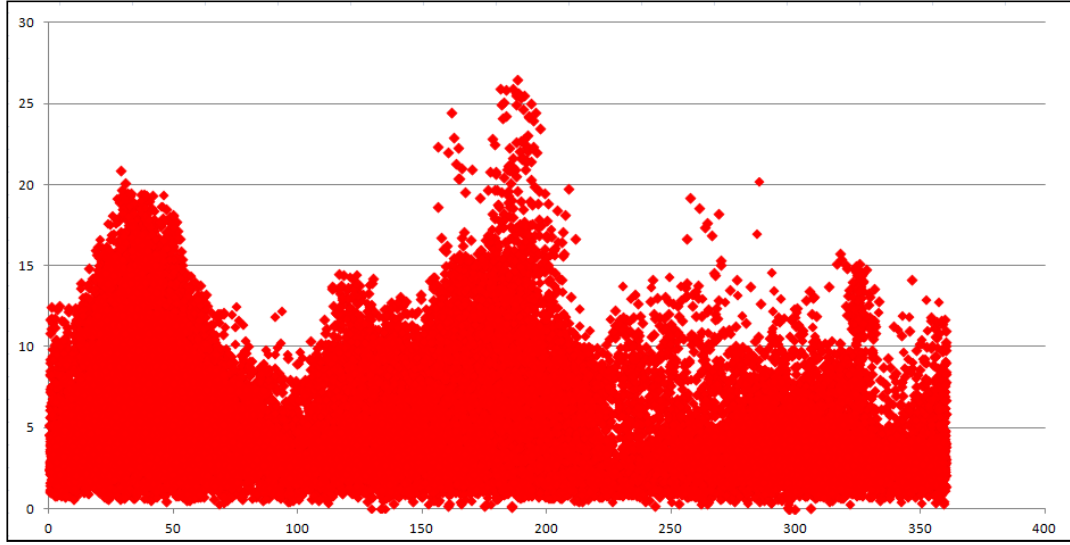


Şekil 5.1 : Kullanılan verilerin harita üzerinde gösterimi.

5.4 S₁ ve S₂ Noktalarındaki Ölçümlerin İncelenmesi

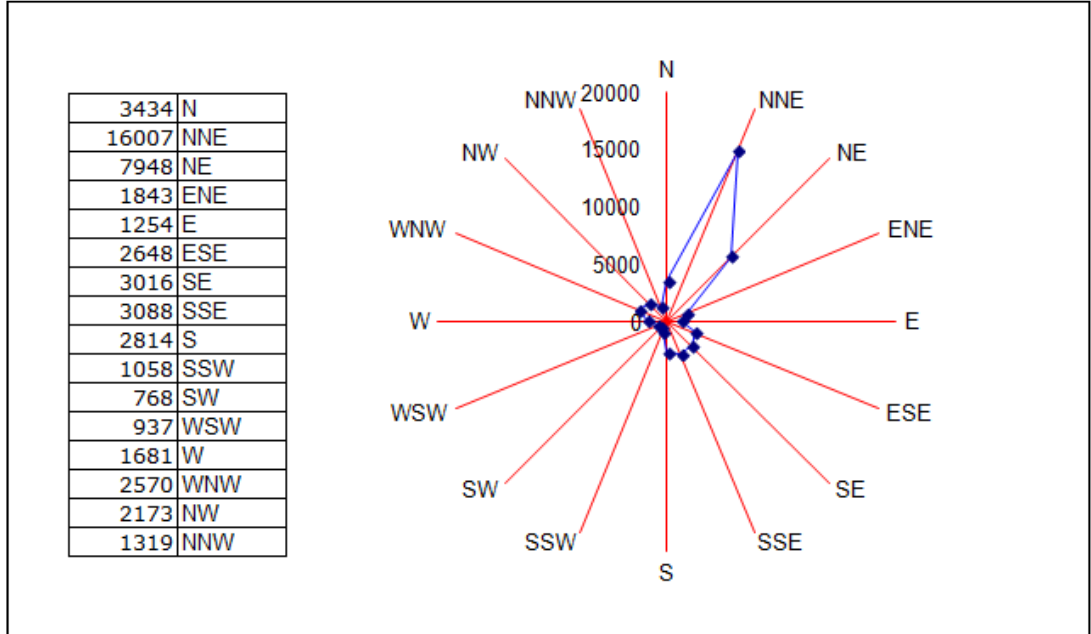
S₁ noktası Edincik 'te koordinatları WGS84 koordinat sisteminde E 27° 50' 17,1" boylam, N 40° 20' 04,9" enleminde yer almaktadır. Hakim rüzgar yönü verilerin

değerlendirilmesiyle Kuzeydoğu olarak görülmektedir. Bölgenin genelinde bu rüzgar yönü görülmektedir.



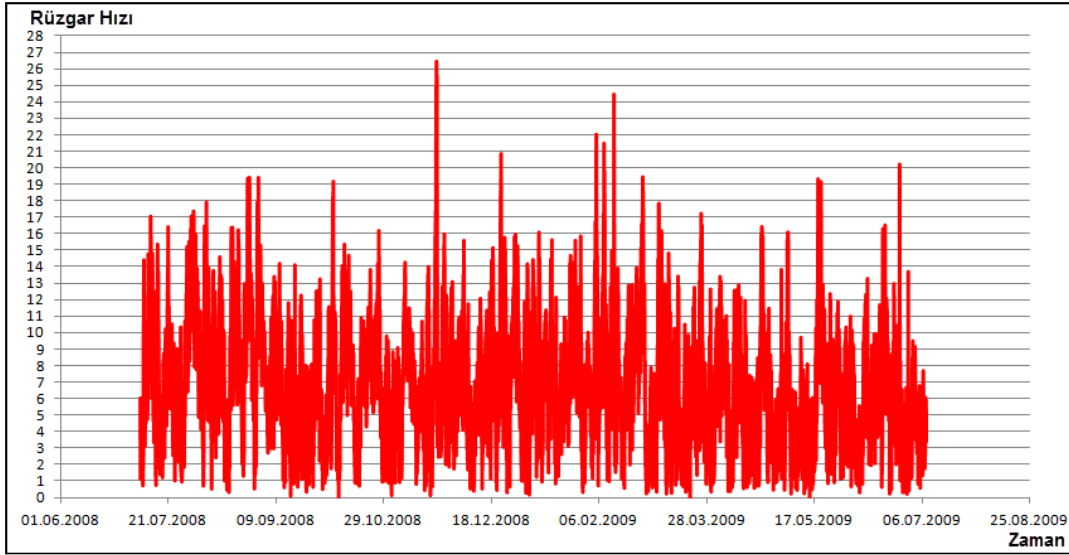
Şekil 5.2 : S₁ noktasındaki rüzgar hız-yön grafiği.

Ayrıca rüzgar yönünün daha iyi anlaşılması açısından aşağıda rüzgar yönüne göre adetleri gösteren rüzgar gülü grafiğinde daha açık bir şekilde görülmektedir.



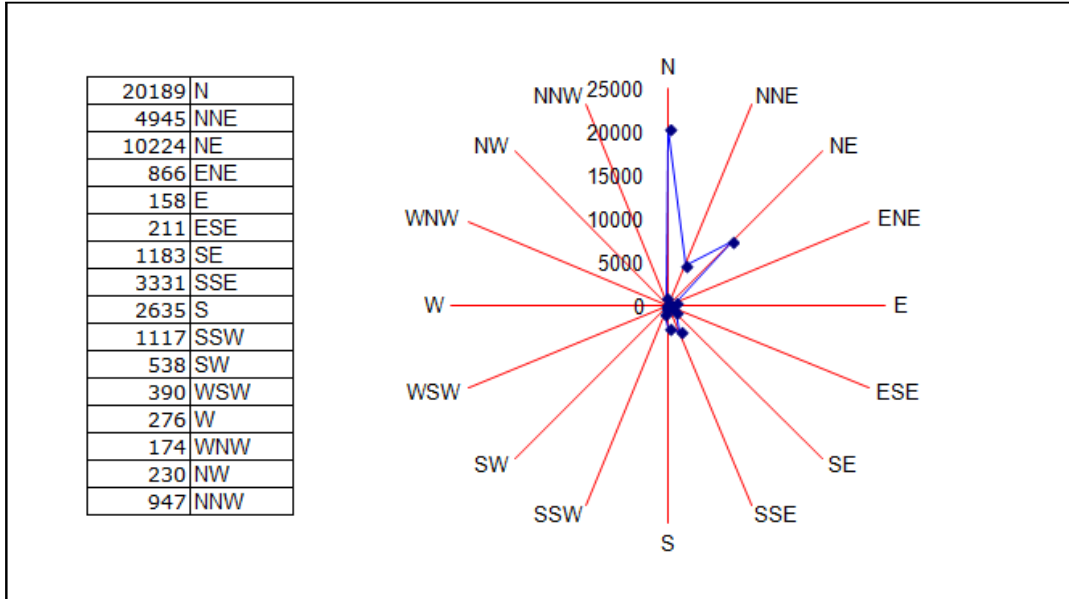
Şekil 5.3 : S₁ noktasındaki rüzgar gülü grafiği.

Şekil 5.2’de görüldüğü gibi rüzgar hızları 350-60 derece aralığında pik değerlere ulaşmaktadır. Bu grafikte hakim rüzgar yönü Kuzeydoğu olmak üzere belirlenmiştir. S₁ noktası için 10 dakikalık hazırlanan rüzgar yön ve hız ölçümlerinden aşağıdaki rüzgarın zamanla değişimini gösteren grafik elde edilmiştir.



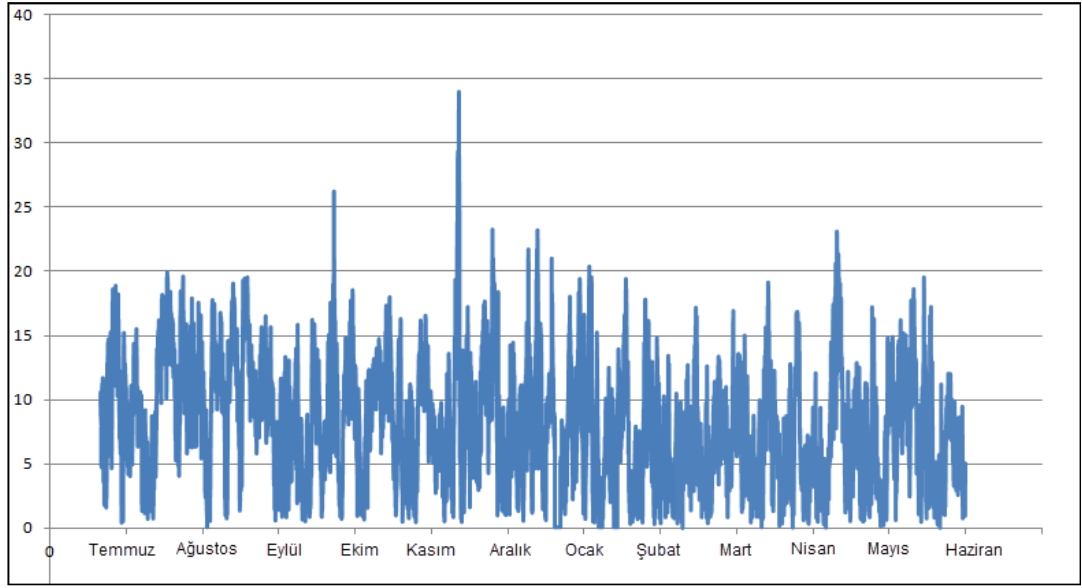
Şekil 5.4 : S₁ noktasındaki rüzgar hız-zaman grafiği.

Grafikte özellikle Aralık ve Şubat aylarında yüksek hızdeğerleri göze çarpmaktadır. Ayrıca 2008-2009 verilerinden elde edilen ortalama hız ise 6.72 m/s dir. S₂ noktası ise Şah RES’den alınan rüzgar hız ve yön verilerinin elde edildiği noktadır. Şah RES ‘ait koordinatlar N 40°22'24.84" Enlem- E 28°13'12.82" Boylam) olarak verilmiştir.



Şekil 5.5 : Şah RES (S₂) noktasındaki rüzgar gülü.

S₂ noktasında da açıkça görüldüğü gibi rüzgar hakim yönü Kuzey – KuzeyDoğu olarak görülmektedir. (350°-50°) S₁ ve S₂ verilerinin rüzgar yönü açısından bölge geneline uyduğu söylenebilir. S₂ için ise rüzgar hızının zamana bağlı değişimi aşağıda verilmiştir.



Şekil 5.6 : S_2 noktasındaki rüzgar hız-zaman grafiği.

S_2 noktası da yukarıda görüldüğü gibi Aralık ve Şubat aylarında pik noktalara sahiptir. S_1 ve S_2 değerlerinin rüzgar hızı eşit olmasa da aynı aylarda pik değerlere ulaşmaktadır.

5.5 S_1 ve S_2 Noktalarındaki Ölçümlerin Benzerliğinin Değerlendirilmesi

İki değişken arasındaki doğrusal ilişkinin derecesi, “ R ” simgesiyle gösterilen korelasyon katsayısıyla ölçülür. Korelasyon katsayısı iki değişkenin değişimlerinde, ne dereceye kadar uygunluk olduğunu belirler. Fakat hiç bir şekilde neden - sonuç ilişkisi kurmaz.

Aslında bir çok durumda, modelin değişkenlerinden hangisinin bağımsız değişken, hangisinin bağımlı değişken olduğu bilinmez. İşte bu gibi durumlarda, ilişkinin derecesinin belirlenmesinde oransal bir ölçü olan, “korelasyon katsayısı”ndan yararlanılır (Durmuş, 2013).

MatLab "corrcoef " komutu veya "corr2" komutu ile her bir değişken sütunu ayrı bir veri tipini belirtmesi koşuluyla korelasyon katsayısını oluşturabilir. Korelasyon katsayısı [-1, 1] değerleri arasında değişebilir. Korelasyon katsayısı 1'e yakın değerleri gösterdiğinde veriler arasında pozitif , -1 olduğunda ise negatif lineer bir ilişki görülür. Negatif bir değer bağımlı değişkenin değerinin (tahmin edilen değer) bağımsız (tahminci) değişkenin değeri arttıkça azaldığını ima eder. Korelasyon katsayısı 0 veya 0'yakın bir değer alıyorsa değişkenler arasında lineer bir ilişki olmadığı söylenebilir (Ronald E. Walpole, 2011).

2008-2009 verilerinden oluşan S_1 ve S_2 noktalarının hız değerleri korelasyon ile MatLab programında değerlendirilip korelasyon katsayısı bulunmuştur. Bu işlem için MatLab programında Excel dosyası halinde bulunan değerler matris olarak ithal

edilmiştir. Çalışma alanından (Workspace)  yeni değişken (new variable) komutu seçilerek ekrana gelen pencereden File/İmport Data seçilerek oluşturulan Microsoft Excel veri dosyası seçilir. Zaman değişkeninin sabit olduğu düşünüldüğünde sadece hız değerlerinin alınması yeterlidir. Matris boyutları mutlaka eşit olmalıdır. Aksi halde korelasyon katsayısı hesaplanamamaktadır.

Korelasyon katsayısının hesabı için aşağıdaki komut kullanılmıştır.

$$f(x)=R = \text{corr2}(V1,V2)$$

A ve B yukarıda bahsedilen zamana bağlı hız matrisleridir. V1 (37318x1) ve V2 (37318x1) matrisleri için $R=0.7257$ değeri bulunmuştur. V1 ve V2 hızları arasında pozitif lineer bir ilişki bulunmaktadır. Komut satırına `corrcoef(V1,V2)` yazılarak da korelasyon katsayısı bulunabilir (Url-15).

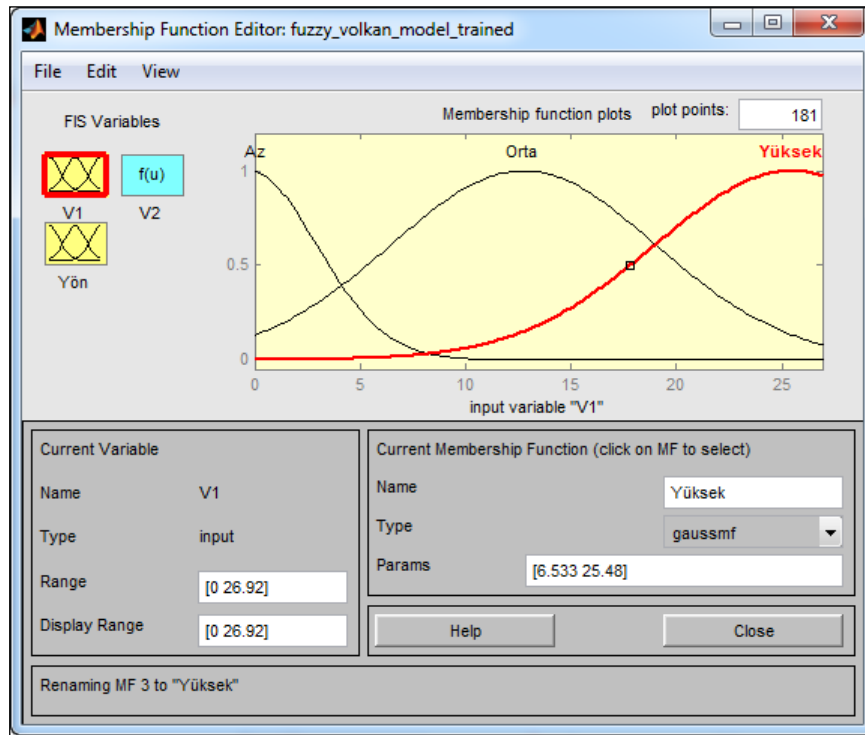
5.6 Bulanık Mantık Yöntemi ve Bulanık Kümelerin Oluşturulması

Bulanıklık; bir araştırmacının incelediği konun kendisi tarafından bilinemediği durumlarda sahip olduğu eksik ve belirsiz bilgilerin tamamıdır. Araştırmacı klasik analitik yöntemler ile dinamik korunum ilkeleri (enerji, momentumun korunumu gibi) elde ettiği denklemlerin verilerinde ve bilgilerinde belirsiz bulunduğu için doğrudan kullanılamaz.

Bulanık mantığı açıklarken disk örneği verilebilir. Disk, silindir ve yuvarlak çubuk arasındaki fark yükseklikleridir. Fakat hepsi aynı geometrik bilgiye sahiptir. Disk yüksekliği kısa, silindir yüksekliği orta ,çubuk ise uzun olarak adlandırılabilinecek silindirik şekillerdir. Bunların birbirinden diğerine geçiş sınırı kesin değildir. Bulanık küme esaslarına göre silindirik toplum kümesinin değişik üyelik dereceleri ile birer alt küme teşkil eder. Burada belirtildiği gibi 3 adet alt küme söz konusudur. Bunlar kısa, orta ve uzun kelimeleri ile ifade edilmiştir. Kesit alanı daireden sapmaları olan veya daireye benzeyen kesit alanları da olabilir. Unutulmamalıdır ki gerçek dünya her zaman idealleştirilmiş dünyadan farklılık gösterir (Şen, 2009).

Bulanık kümelerin oluşturulmasında bu tezde kümelerin gauss üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. MatLab'te bu üyelik fonksiyonlarını oluştururken öncelikle komut satırına “fuzzy” komutu yazıldığında ekrana Bulanık Sonuç Çıkarım Sistemi (Fuzzy Inference System) penceresi gelecektir. Karşınıza gelecek olan Dosya (File) sekmesinde sırasıyla Yeni Bulanık Çıkarım Sistemi (New FIS) ve Sugeno seçeneği işaretlenmelidir. Sugeno bulanık çıkarım sisteminin seçilmesinin sebebi verilerin eğitilebilmesi için gereklidir. Takagi-Sugeno-Kank adı verilen bulanık sistemde veri tabanındaki girdiler birer sayı, bulanık kurallara göre yapılan çıkarımlar sonucunda çıktılar girdilerin bir fonksiyonudur (Url-16).

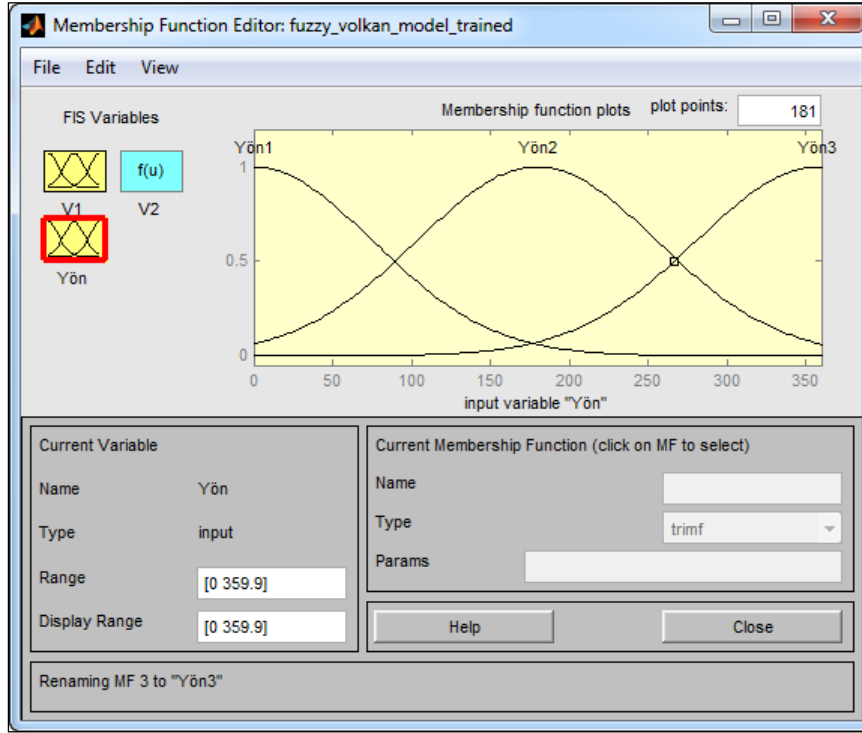
Oluşturulacak 2 ayrı model için farklı girdiler ele alınacaktır. ANFIS modelinde S_1 noktasından rüzgar hızı ve rüzgar yönü girdileri alınarak irdelenecektir. Daha sonra bu girdilere S_2 noktasına ait sıcaklık verileri girdilere eklenerek ANFIS+T modeli olarak değerlendirilecektir.



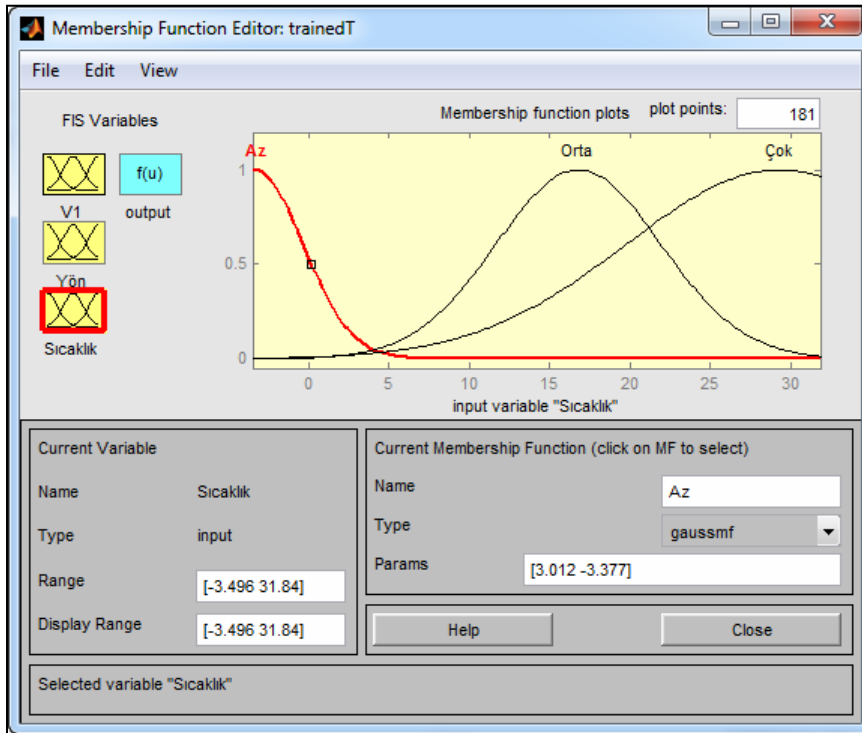
Şekil 5.7 : Rüzgar hızının bulanık kümesinin oluşturulması.

Rüzgar hızı değerleri için 26,92 m/s değeri verilerdeki maksimum değere denk geldiğinden rüzgar hızı 26,92 m/s alınmıştır. Düşük, Orta ve Yüksek olarak bulanık sistemde çan eğrisi şeklindeki üyelik fonksiyonları tanımlanmıştır. Şekil 5.8’de eğitilen verilere göre MatLab tarafından uyarlanmış üyelik fonksiyonları bulunmaktadır. Bir diğer üyelik fonksiyonu ise yöndür. Yön ise Yön 1, Yön 2 Yön 3

olarak 3 adet Gauss üyelik fonksiyonu tanımlanmıştır. Gauss üyelik fonksiyonu yön-
hız diyagramına göre seçilmiştir.



Şekil 5.8 : Rüzgar yönü bulanık kümesinin oluşturulması.



Şekil 5.9 : Sıcaklık bulanık kümesinin ve üyelik fonksiyonlarının oluşturulması.

S₂ noktasından alınan sıcaklık verileri 2. modele (ANFIS+T) ilave edilmek üzere üyelik fonksiyonları oluşturulmuştur. Az, orta, yüksek olarak derecelendirilen 3 adet üyelik fonksiyonu ANFIS arayüzüne girilmiştir. Üyelik fonksiyonları gauss üyelik fonksiyonu olarak seçilmiştir. Sıcaklık değerlerine minimum ve maksimum değerlerine bağlı olarak, üyelik fonksiyonu değerleri - 3,49 C° ile 31.84 C° arasında alınmıştır. Şekil 5.9 eğitim sonucu yeniden düzenlenen üyelik fonksiyonları verilmiştir.

5.7 Bulanık Kural Tabanı

Bulanık sistemin kural tabanısistemdeki girdi ve çıktılar arasındaki sözel ilişkilerle sorunu çözmeye çalışan, uzman görüşlerindeki içine alarak bütünleşik bir çözüm bulma yoludur. Bulanık kural tabanında sözel değişkenler Eğer-ise kuralları (If/then) ile şartlı olarak bağlanır. Örneğin Rüzgar hızı “yüksek” ise rüzgar gücü “yüksek”tir. Modelde çok sayıda veri olduğu için bulanık kuralların belirlenmesi MatLab'te girdi ve çıktı verilerine göre yapılacaktır.

5.8 Bulanık Küme ve Üyelik Fonksiyonlarının Eğitilmesi

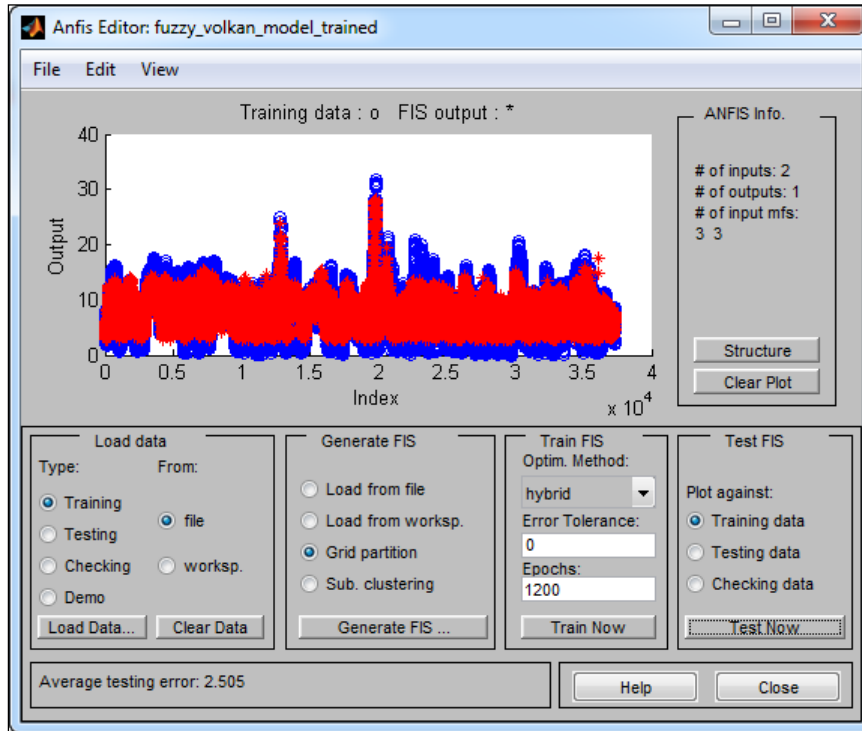
Modelleme için kullanılacak girdi ve çıktı verileri, bulanık çıkarım sistemi ve bazı benzer senaryoların modellenmesi için kullanılabilir. Özellikle rüzgar hızı gibi oldukça değişken bir parametre için bulanık kümeleri, üyelik fonksiyonlarını ayarlamak hayli güç olabilir. Bu ayarlamalar nöro-adaptif öğrenme teknikleri ile yapılabilir. Nöro-adaptif öğrenme teknikleri yapay sinir ağlarına benzemektedir. Nöro-adaptif öğrenme teknikleri bulanık modelleme için sağlanan verilerden bilgi toplama işlemidir. MatLab programında bulanık mantık arayüzü üyelik fonksiyonlarını verilen data'lara göre en iyi şekilde ayarlar. Üyelik fonksiyonlarını data'lara göre ayarlayan bu arayüze ANFIS adı verilir.

5.8.1 Parametrelerin ayarlanması

Ağ tipi network yapısı yapay sinir ağlarına benzemektedir. Girdileri üyelik fonksiyonlarını ve ilgili parametreleri, çıktı üyelik fonksiyonlarını ve ilgili parametreleri haritalar. Üyelik fonksiyonları ile ilgili parametreler eğitim süreci boyunca değişir. Bu parametrelerin hesabı gradyan vektör ile sağlanır. Bu gradyan vektör, veriler ışığında bulanık çıkarım sisteminin girdi ve çıktı modellenmesinin ne

kadar iyi olduğunu ölçmeyi sağlar. Gradyan vektör elde edildiğinde parametreleri ayarlayarak hataları azaltmak için kullanılabilir. Bu hata genelde elde olan ve istenen veri arasındaki farkların kareleri toplanarak belirlenir.

MatLab'te veri eğitimi yapmak için ANFIS arayüzü açılmalıdır. ANFIS'teki yaklaşım pek çok tanımlama yöntemleriyle aynıdır. Öncelikle parametrize edilen yapının hipotezi kurulmalıdır. Girdi üyelik fonksiyonları ve çıktı üyelik fonksiyonları tayin edilmelidir. Elde edilen veriler girdi ve çıktı verileri modelin eğitilmesi için toplanmalıdır. Seçilen hata kriterine göre üyelik fonksiyonları ve parametreler güncellenir. Veri ölçümlerinin problemlili yapıldığından şüphelenildiği durumlarda model test verisiyle test edilmelidir. Bulanık sonuçlandırma sisteminde eğitime katılmayan bu test, eğitilmiş verinin ne kadar iyi olduğunu görülmeye yardımcı olur. Bunun için Edit/ANFIS seçilerek Şekil 5.10'daki pencere açılacaktır.

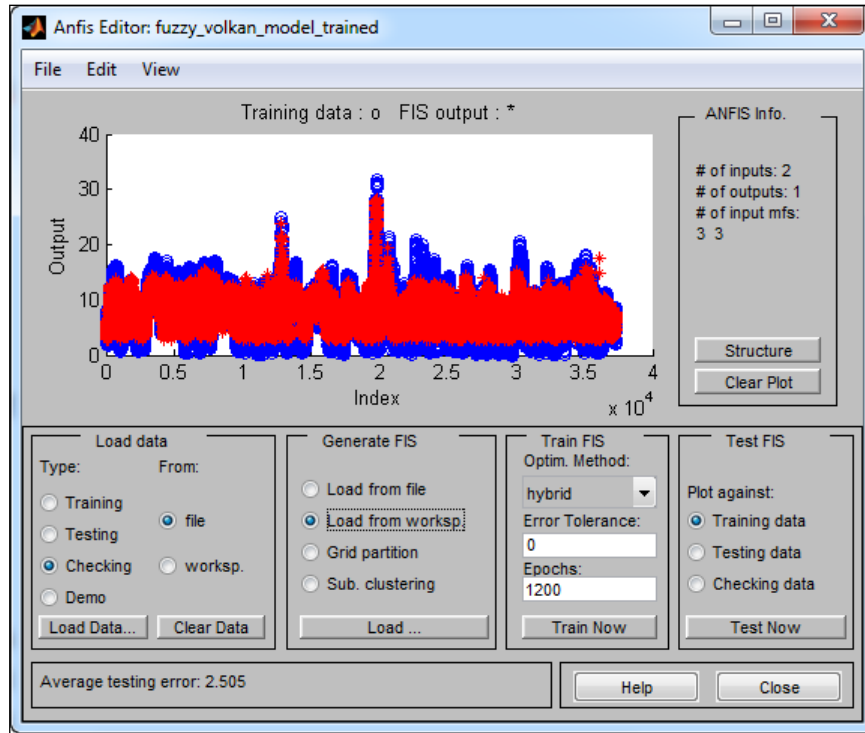


Şekil 5.10 : MatLab ANFIS arayüzü.

Şekil 5.10'da bulunan pencereden Tip (Type) bölümünden Eğitim (Training) seçilerek eğitilecek veri seçilir. Veri Yükleme (Load Data) butonuna basıldığında çalışma alanında daha önceden elde edilen 07.07.2007-08.07.2009 yılları arasındaki 37318 veri ile bulanık mantık kümelerinin parametreleri bu verilere göre adapte edilecektir. Bunun için “Çalışma Alanından Yükle” (Load from workspace) seçeneği seçilerek oluşturulan bulanık mantık modeli seçilerek Bulanık Sonuçlandırma Sistemi Oluştur (Generate FIS) seçeneği işaretlenerek yapılır.

Hata toleransı, hatanın büyüklüğüne bağlı olarak eğitimin durdurulması için bir kriter olarak kullanılır. Eğitim hatasının nasıl davranacağı bilinmiyorsa 0 alınması önerilir. Hata toleransını 0 değerini girerek bir çeşit iterasyon sayısı olan epoch sayısına 1200 değeri girildiğinde örnek için yeterli olacaktır (A.P.Papilinski, 2005).

Epoch sayısı eğitim yapay sinir ağlarında kullanılan devir sayısı olarak adlandırılmıştır. İterasyon sayısının farklı bir yapısıdır. 1 epoch eğitimdeki set sayısı kadar iterasyon sayısına eşittir. Kısacası eğitim devir sayısı şeklinde adlandırılabilir. Bulanık Sistemin Eğitilmesi (Train FIS) bölümünde Eğitim (Training) seçilerek test edilir.



Şekil 5.11 : Matlab'te eğitilen veriler.

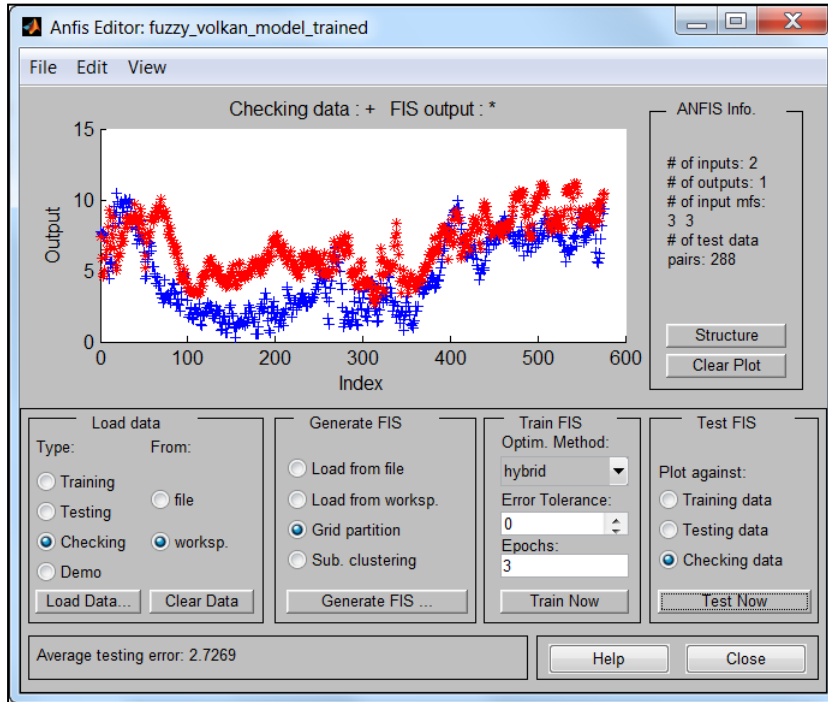
Şekil 5.11'de yüklenen veriler görülmektedir. Veriler ışığında tekrar güncellenen bulanık mantık kümelerine geri döndüğünde kümelerin verilere göre adapte edilecektir. Eğitilen datada RMSE değeri 2.505 olarak bulunmuştur.

5.9 Verilerin Kontrol Edilmesi

Verilerin kontrol edilmesi bulanık sonuçlandırma sisteminin her bir iterasyon (epoch) için genelleme kapasitesinin test edilmesi için kullanılır. Verilerin kontrolü (Checking Data) girdinin çok veya veri dizilerinin bazı anlamsız verilere sahip olduğu durumlar için önemlidir. Bulanık sonuçlandırma sistemi girdi ve çıktının iyi ayarlanıp ayarlanmadığını takip etmelidir. ANFIS'te kullanılan modelin yapısı

düzeltilir. Eğitilen datalarda aşırı uyumlu (overfitting) hale getirme yatkınlığı olabilir. Aşırı uyumlu olma (overfitting) durumu genelde büyük epoch değerlerinde ortaya çıkar. Aşırı uyumlu olma durumu (overfitting) ortaya çıktığında bulanık sonuçlandırma sistemi tahmin ederken doğru sonuçlar vermeyebilir. Veri kontrolü bu gibi durumlarda etkili olabilir. Bu veri seti bulanık sonuçlandırma modelini çapraz doğrulama yapmak için kullanılır. Bu çapraz doğrulama uygulandıktan sonra modelin bu veriler altında ne kadar iyi sonuç verdiği kontrol edilir. Veri kontrolü (Checking data) seçildiğinde her bir yapay sinir ağı eğitim devir sayısında (epoch) uygulanır.

Bulanık sonuçlandırma sistemi ANFIS arayüzü kullanılarak üyelik fonksiyonu parametreleri eğitim ve veri kontrolü verileri yüklendiği zaman minimum RMSE değerine sahip olur (Url-17).



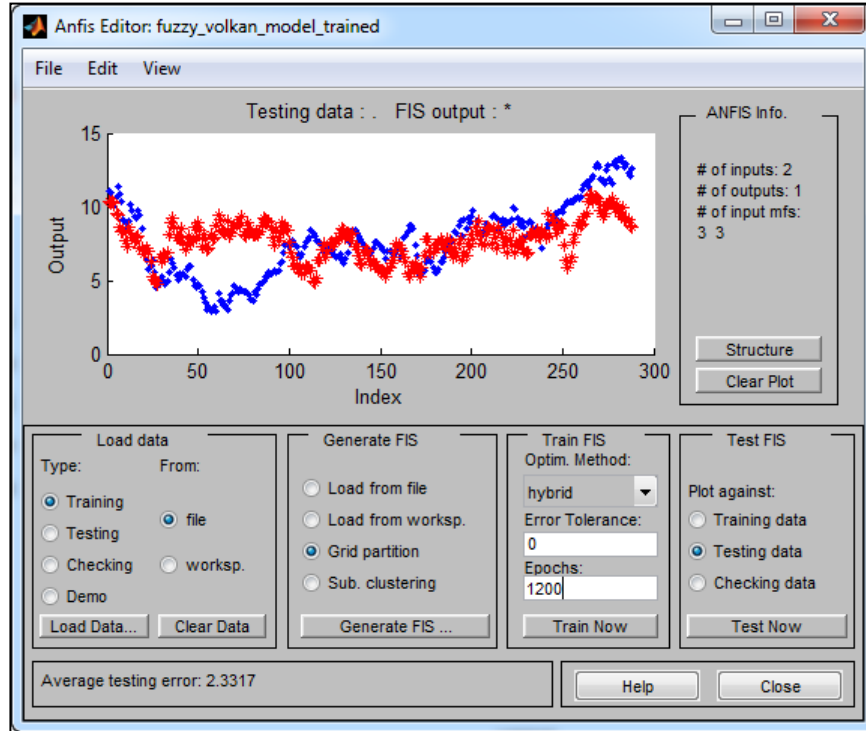
Şekil 5.12 : MatLab'te verilerin kontrolü.

Burda kullanılan RMSE bir öğrenme algoritmasının yaptığı tahminler ile gerçek değerleri arasındaki farkın karesinin ortalaması, ortalama karesel hatayı (Mean Squared Error) verir. MSE değerinin karekökünün alınmasıyla ortalama karesel hatanın karekökü (Root Mean Squared Error) hesaplanır. Sürekli olarak değişen bir fonksiyonun sürekli olmayan değer serisi için hesaplanabilir. Karekök ortalama ismi karelerin ortalamasının karekökünün alınmasından gelir. RMSE değeri 0

yaklaştıkça mükemmel model elde edilmiş olur. 13.09.2009-17.09.2009 tarihleri arasında verilerle kontrol yapılmış, kuadratik hata 2,72 olarak bulunmuştur.

5.10 Verilerin Test Edilmesi

Yapılan tahminin ne kadar iyi olduğunu görebilmek için verilerin test edilmesi gerekir. Verilerin test edilmesi için 17.09.2009-19.09.2009 arasındaki 48 saatlik veri kullanılmıştır. Verilerin test edilmesi işlemi esnasında Tip (Type) bölümünden veriyi test edeceğimizden dolayı Test Etme (Testing) seçilir.



Şekil 5.13 : Matlab’te verilerin test edilmesi.

Şekil 5.13’te görüldüğü üzere kırmızı işaretlenmiş şekilde olanlar tahmin datalarını mavi ile işaretlenmiş olanlar ise tahmin edilen rüzgar hızları verilerin ölçülmüş değerlerini göstermektedir. Kuadratik hata oranı (RMSE) değeri 2.33 olarak bulunmuştur. MatLab’te aşağıdaki komut kullanarak çıktılar elde edilerek istatistiksel analizi yapılacaktır.

```
output=evalfis(testingCopy,fuzzy_volkan_model_trained)
```

Çalışma alanından eğitim verisinin adı yazılır.

Çalışma alanında bulunan, daha önce oluşturulmuş bulanık mantık modelinin adı yazılır.

Şekil 5.14 : Matlab’te çıktı verilerinin elde edilmesi.

6. TAHMİN EDİLEN HIZLARIN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

6.1 ANFIS ile Tahmin Edilen Hızların İstatistiksel Analizi

İstatistiksel analiz, tahmin doğruluğu ve tahmin kontrolü olarak yapılacaktır. Bu iki başlık altında sınıflandırılan istatistik parametreleri ve bu parametrelere göre hesaplanan değerler verilecektir.

6.1.1 Tahmin doğruluğu

Tahminden elde edilen değerlerin gerçek değerler ile karşılaştırılması ile bulunur. Tahmin edilen değerler gerçek değerlere yaklaştıkça tahmin de daha doğru olur. Tahmin doğruluğu için kullanılan çeşitli ölçütler aşağıda verilmektedir.

Ortalama Mutlak Sapma - Mean Absolute Deviation (MAD)

Ortalama Mutlak Yüzde Sapma - Mean Absolute Percent Deviation (MAPD)

Kümülatif Hata - Cumulative Error

6.1.1.1 Ortalama mutlak sapma

Ortalama Mutlak Sapma - Mean absolute deviation (MAD) ölçüm ile tahmin edilen ölçüm arasındaki farkların ortalaması olarak tanımlanır. Farkın mutlak değeri alınır, çünkü hata işaretinden bağımsız olarak hatadır. Matematiksel olarak:

$$MAD = \frac{|F_t - D_t|}{n} \quad (6.1)$$

t = period sayısı , D_t = period t'deki talep , F_t = period t'deki tahmin

6.1.1.2 Ortalama mutlak yüzde sapma

Ortalama mutlak yüzde sapma - mean absolute percent deviation (MAPD) mutlak hatayı periyod başına değil de ölçüm değerlerinin bir yüzdesi olarak ölçer. Ölçüm değerleri birbirinden oldukça farklı iki tahminin birbiri ile karşılaştırılmasında hatanın büyüklüğünün belirlenmesini sağlayan faydalı bir ölçüttür.

MAD değerinin tahminde kullanılan dönemler için toplam ölçüm değerlerine bölünmesi ile bulunur (Ronald E. Walpole, 2011).

$$MAPD = \frac{MAD}{\sum_{i=1}^n D_i} \quad (6.2)$$

6.1.1.3 Kümülatif hata

Kümülatif hata ölçüm ve tahmin edilen değerler arasındaki farkların mutlak değer alınmadan hesaba katılması ile bulunur. Negatif ve pozitif hataları doğrudan toplar. Kümülatif hatanın ana kullanım amacı tahminin tutarlı bir şekilde gerçek datayı fazla veya az tahmin edip etmediğinin bulunmasıdır. Büyük pozitif değerler az tahmini gösterir. Ortalama hata ya da (önyargı) bias, kümülatif hatanın tahminde kullanılan dönem sayısına bölünmesi ile hesaplanır (Tuzkaya, 2010).

6.1.2 Tahmin kontrolü

Tahmin Kontrolü; tahmin hatasının kabul edilebilir limitler arasında olup olmadığını ölçmekte kullanılır. Kullanılan diğer formüller aşağıda verilmiştir. Excel programında aşağıda formüllere göre çıktıları elde edilmiştir.

6.1.2.1 Hataların aritmetik ortalaması (BIAS)

Denklem (6.3)'te BIAS'ın hesaplanması için gerekli formül verilmiştir.

$$BIAS = \frac{\sum (\text{Ölçüm} - \text{Tahmin})}{n} = \frac{\sum (\text{Hata})}{n} \quad (6.3)$$

n: tahmin hatalarının sayısı

Excel programında aşağıdaki formülle elde edilebilir.

f(x)= ORTALAMA(hata aralığı)

6.1.2.2 Ortalama mutlak sapma (MAD)

Ortalama mutlak sapma denklem (6.4) verilen formülle hesaplanır.

$$MAD = \frac{\sum |Ölçüm - Tahmin|}{n} = \frac{\sum |Hata|}{n} \quad (6.4)$$

6.1.2.3 Ortalama hataların karesi (MSE)

Ortalama hataların karesi denklem (6.5)'te verilen formül ile hesaplanır.

$$MSE = \frac{\sum (Ölçüm - Tahmin)^2}{n} = \frac{\sum (Hata)^2}{n} \quad (6.5)$$

MSE değerinin karekökü alınarak kuadratik ortalama (RMSE) elde edilir. Genellikle tahmin ve ölçüm değerleri arasındaki farkı ölçmek için kullanılır. RMSE değerleri oluşturulan modellerin performansını tahmin edilecek periyot için değerlendirmek ve her bir modelin performansını birbiri ile karşılaştırmak için kullanılır.

Excel için; f(x)=TOPKARE(hata aralığı) / BAĞ_DEĞ_SAY(hata aralığı) formülü ile hesaplanabilir.

6.1.2.4 Ortalama mutlak yüzde hata (MAPE)

Ortalama hataların karesi denklem (6.6)'da verilen formül ile hesaplanır.

$$MAPE = \frac{\sum \frac{|Ölçüm - Tahmin|}{Ölçüm} * \%100}{n} \quad (6.6)$$

6.1.2.5 Belirlilik katsayısı

Regresyon denkleminin verilere olan uyumunun sağlanıp sağlanmadığının bir göstergesi de açıklanabilen değişimin toplam değişime olan oranıdır. Bu oran, belirlilik katsayısı olarak isimlendirilir ve bağımlı değişkendeki değişimin ne kadarının bağımsız değişkence açıklanabildiğini gösterir. Korelasyon katsayısının karesine eşit olan belirlilik katsayısının alabileceği en küçük ve en büyük değerler sıfırla birdir.

Regresyon gibi eğri uydurma modelleri için, hata ölçütü (BIAS, MAD, MSE) ne kadar düşükse ya da R² ne kadar yüksek ise tahmin modeli daha iyi uymaktadır.

Çizelge 6.1 : ANFIS ile yapılan rüzgar hızı tahmininin istatistiksel sonuçları.

MAD	1.89
MAPD	% 24.61013
Kümülatif Hata	-23.28
MSE	5.44
RMSE	2.33
MAPE	% 31.83
Belirlilik Katsayısı (R^2)	0.12
BIAS	-0.08

6.2 Süreklilik Metodu ile Tahmin Edilen Hızların İstatistiksel Analizi

Süreklilik metodu, tahmin yapılması en kolay metotlardan biridir. Süreklilik metodunda tahmin yapılacak tahmin periyodunda değişme olmayacağı kabul edilir. Örneğin bugün hava güneşli ve 25 derece ise, süreklilik metoduna göre yarın da havanın güneşli ve 25 derece olacağı kabul edilir. Genelde hava değişimlerinin günden güne az olduğu bölgelerde iyi tahminler elde edilebilmektedir (Url-18). Buna göre istatistiksel sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Çizelge 6.2 : Süreklilik metoduna ile yapılan rüzgar hızı tahmininin istatistiksel sonuçları.

MAD	3.32
MAPD	% 43.34
Kümülatif Hata	50.86
MSE	13.76
RMSE	3.71
MAPE	% 49.76
Belirlilik Katsayısı (R^2)	0.14
BIAS	0.18

6.3 Sıcaklık Parametresi Eklenen ANFIS Modeli ile Tahmin Edilen Hızların İstatistiksel Analizi

Sıcaklık parametresi hız ve yön girdilerine ek olarak modele konularak, istatistiksel olarak değerlendirilecektir. Sıcaklık girdisi için 3 adet Gauss üyelik fonksiyonu seçilmiştir. Bu fonksiyonlar Az, Orta ve Yüksek olarak sıcaklık dereceleri sınıflandırılmıştır. Üyelik fonksiyonları ve bulanık kurallar girdi ve çıktı verilerine göre MatLab tarafından oluşturulmuştur. Test edilen 17.09.2009 -19.09.2009 tarihleri

arasında yapılan benzer test sonuçları değerlendirilmiş, istatistiksel parametreler hesaplanmıştır.

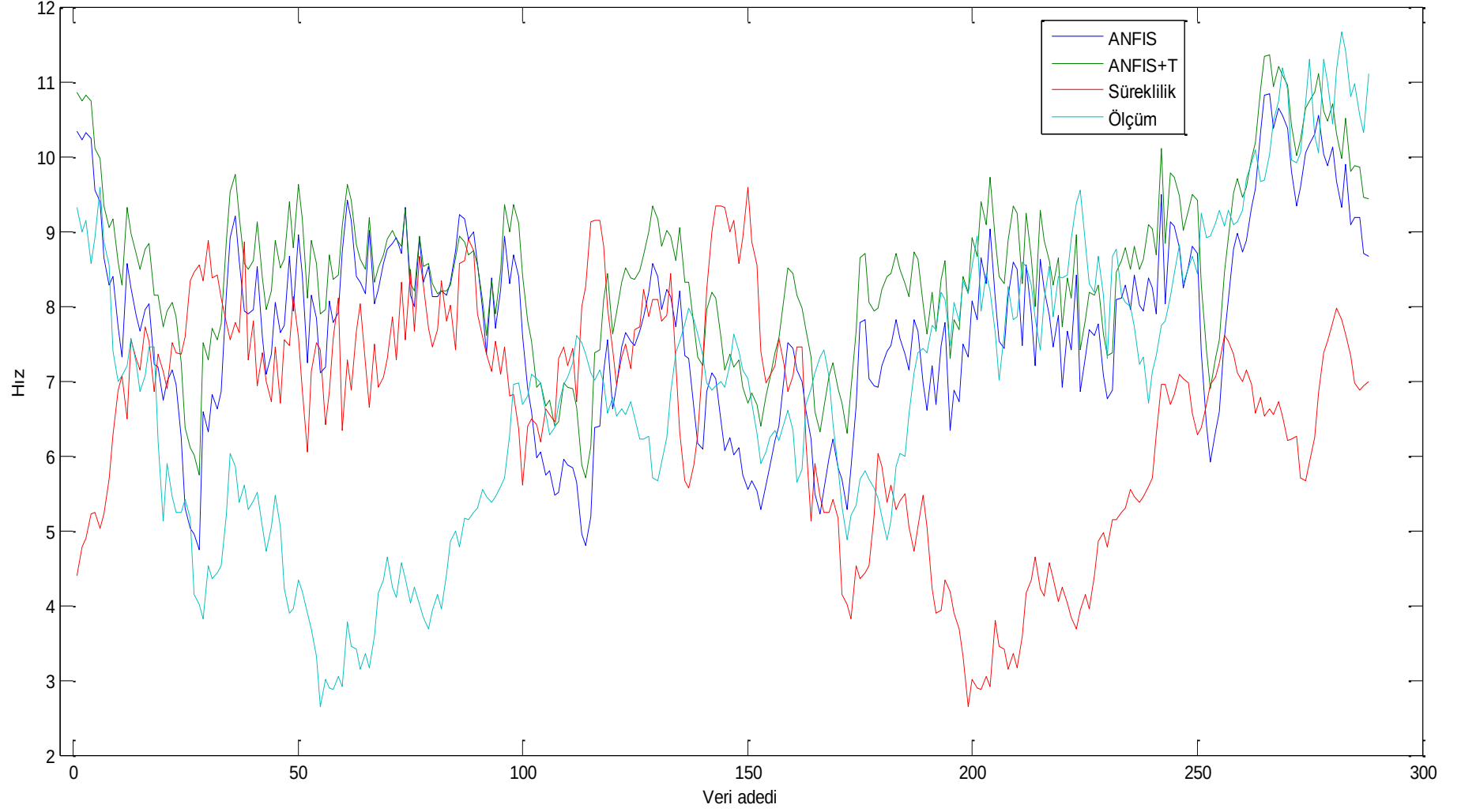
Çizelge 6.3 : Modele sıcaklık parametresi eklenmesi ile yapılan rüzgar hızı tahminin istatistiksel sonuçları.

MAD	1.84
MAPD	% 26.64382
Kümülatif Hata	-452.60
MSE	5.86
RMSE	2.42
MAPE	% 36.88
Belirlilik Katsayısı (R^2)	0.17
BIAS	-1.57

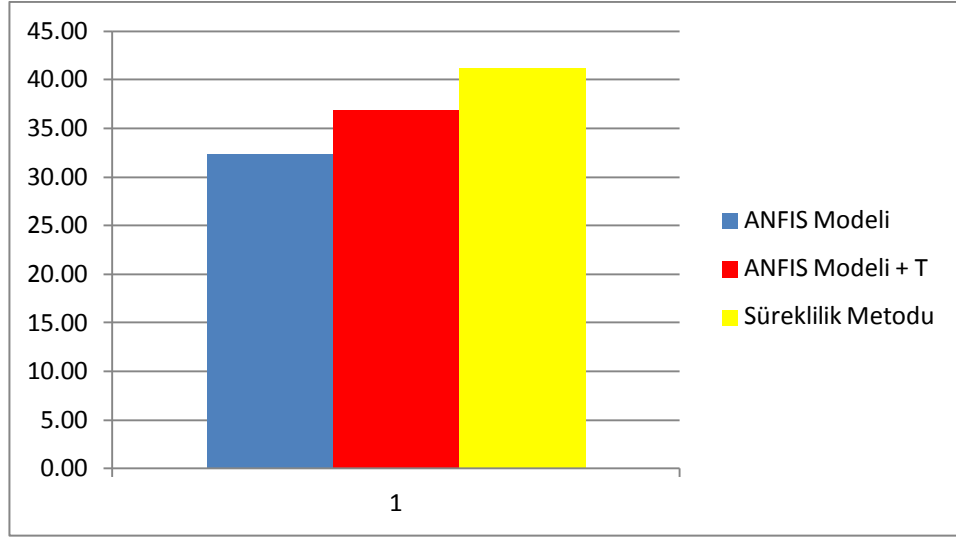
6.4 Modellerin Grafiksel Olarak Karşılaştırılması

ANFIS metodu kullanılarak oluşturulan hız ve yön girdileri yardımıyla model oluşturulmuştur. Daha sonra bu modele sıcaklık parametresi eklenmiş, sonuçları incelenmiştir. İki modelde süreklilik metodu ile karşılaştırılmıştır. Ölçüm değerleri ile modellerden elde edilen tahmin sonuçları Şekil 6.1’de MatLab’te oluşturulmuştur. Modellerin hata büyüklüklerini değerlendirdiğimiz ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) değerleri Şekil 6.2’de karşılaştırılmıştır. Hata oranlarının en düşük saptandığı model rüzgar hızı ve yönü girdi olarak alınan ANFIS modelidir. MAPE değeri %31,83 olarak bulunmuştur.

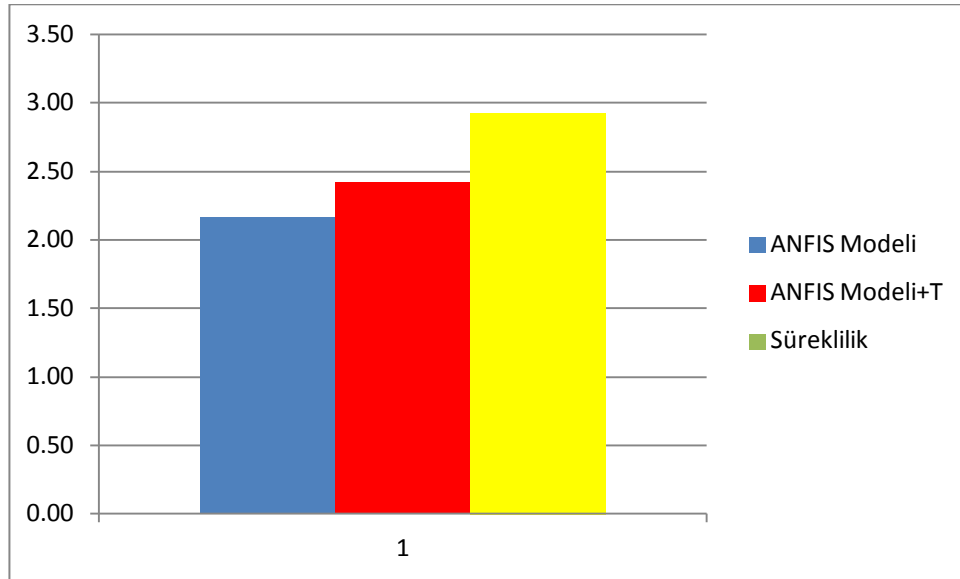
Modellerin birbiri ile kıyaslanması için kullandığımız kuadratik hata (RMSE) değeri Şekil 6.3’te görüldüğü gibi hız ve yön girdileri kullanarak oluşturulan ANFIS modelinde en başarılı sonuçları vermiştir. Süreklilik metoduna göre daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 6.1 : Modellerin tahmin değerleri ve ölçüm grafiği.



Şekil 6.2 : Modellerdeki Hataların Karşılaştırılması (MAPE).



Şekil 6.3 : Modellerdeki Hataların Karşılaştırılması (RMSE).

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkelerin gelişmişlik oranı arttıkça kullandıkları enerji miktarı da artmaktadır. Fosil kaynak rezervlerinin yakın bir gelecekte bitecek olması, ülkeleri yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlendirmiştir.

Yenilenebilir Enerji Kaynakları içinde rüzgar enerjisi son dönemlerde önemli bir ivme kazanmış oldukça önemli bir enerji kaynağı türüdür. Üretilen elektriğin şebekeye katılımının sürekli ve sabit değerde olmaması nedeniyle, rüzgar enerjisi tahmini büyük bir önem arz etmektedir.

Bu çalışmada seçilen Bandırma bölgesinde seçilen S_1 (E 27° 50' 17,1" Boylam, N 40° 20' 04,9" Enlem) ve S_2 noktası N 40°22'24.84" Enlem, E 28°13'12.82" Boylam) olarak verilmiştir. Çalışmanın amacı S_1 noktasındaki geçmiş verilere dayanarak S_2 noktasındaki hız verilerini tahmin etmektir. Bu tahmin için Takagi-Sugeno-Kank (TSK) bulanık modeli kullanılarak, yapay sinir ağları ile veriler MatLab programında eğitilmiştir.

ANFIS'te yapılan model istatistiksel olarak incelendiğinde, ANFIS metodu ile oluşturulan MatLab modelleri süreklilik metoduna göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Sıcaklık parametresi eklenmesine rağmen modelde ani değişimlerde beklenen sonucu verememiş, hız ve yön girdilerinin kullanıldığı modele göre hata oranlarının daha yüksek olduğu görülmüştür. Kuadratik hata değerleri sıfıra yaklaştıkça model mükemmelleşir. Modeller kıyaslandığında girdi verileri olarak hız ve yön değerleri alındığında kuadratik hata (RMSE) 2.17, sıcaklık parametresi eklendiğinde 2.42, süreklilik metoduna göre ise 2.93 olarak bulunmuştur. Modeller süreklilik metoduna göre daha başarılı ve kullanılabiliridir.

Edincik'le (S_1) Şah RES arasında arazi kotu Bandırma havalimanına doğru azalmakta daha sonra Bandırma Havalimanı'ndan Şah RES'e doğru yükseltiler artmaktadır. Daha başarılı bir model elde edilmesi içi topoğrafya engebeli olmamalıdır.

Ölçüm istasyonu ile tahmin edilecek nokta arasında yüksek bir korelasyon oranı iyi bir tahmin modeli için gereklidir.

Rüzgar yönü ve ölçüm istasyonları arasındaki eksen rüzgar yönüne paralel olduğu zaman daha başarılı sonuçlar alınabilir.

ANFIS modeli aynı ölçüm direğinde daha yüksek kotlar için de uygulanabilir.

KAYNAKLAR

- Alexandre Costa, A. C.** (2007). A review on the young history of the wind power. 1731.
- Altuntaşoğlu, Z. T.** (2011). Rüzgar Enerjisinden Elektrik Üretimine Sağlanan Teşvikler. İzmir Rüzgar Sempozyumu ve Sergisi. İzmir.
- Ayhan, M.** (Kasım - Aralık 2008). Rüzgar Enerjisinin Tarihsel Gelişimi 3. Yeni Enerji .
- Barbounis, T.** (2006). Long-term wind speed and power forecasting using local recurrent neural network models. Energy Conversion, IEEE Transactions on (Volume:21 , Issue: 1) , 273-284.
- Bossanyi, E.** (1985). Short-term wind prediction using Kalman filters.
- Ertuğrul ÇAM, O. Y.** (25.04.2005). Prediction of Wind Speed and Power in the Central Anatolian Region of Turkey by Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems. Turkish J. Eng. Env. Sci. , 35-41. Estimation of Wind Speed Profile Using ANFIS. (2011). Elsevier , 4024-4032.
- Fernando Castellanos, N. J.** (2009). Average Hourly Wind Speed Forecasting with ANFIS. Americas Conference on Wind Energy. San Juan - Puerto Rico.
- H.M.I. Pousinho, V. M.** (23-25 Mart 2010). Neuro-Fuzzy Approach to Forecast Wind Power in Portugal. International Conference on Renewable Energies and Power Quality. Granada, İspanya: European Association for the Development of Renewable Energies.
- Hans Auer, M. S.** (2004). Cost and Technical Constraints of RES-E Grid Integration. Vienna, Austria: GreenNet.
- Hatziargyriou, N., C. G., Matos, M., Lopes, J., Kariniotakis, G., Mayer, D., et al.** (2002). Energy management and control of island power systems with increased penetration from renewable sources. Power Engineering Society Winter Meeting (s. 335-339).
- Hayli, Y. S.** (2001). Rüzgar Enerjisinin Önemi ve Türkiye'deki Durumu. Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi , 1-26.
- Ioannis G. Damousis, M. C.** (2004, Haziran 2). A Fuzzy Model for Wind Speed Prediction and Power. IEEE Transaction on Energy Conversion , s. 1-10.
- Madsen, H.** (2006, Mart). Forecasting of Wind Power. Lyngby, Sweden.
- Mario Ragwitz, A. H.** (2007). Final report of Assessment and Optimization of Renewable Energy Support Schemes in the European Electricity Market (OPTRES). Karlsruhe.

- Matthias Lange, U. F.** (2005). Physical Approach to Short-Term Wind Power Prediction. Oldenburg, Germany: Springer.
- Musgrove, P.** (2010). Wind Power. Cambridge University Press.
- Nelson, V.** (2011). Renewable Energy and the Environment. CRC Press.
- O. M. Salim, M. A.** (2014). Adaptive Neuro-Fuzzy Short-term Windspeed Forecasting for Egypt's East-Coast. International Journal of Sustainable Energy , 16-34.
- Ronald E. Walpole, R. H.** (2011). Probability and Statistics for Engineers and Scientists.
- Şen, Z.** (2009). Bulanık Mantık İlkeleri ve Modelleme. İstanbul: Su Vakfı.
- Şen, Z.** (2009). Temiz Enerji Kaynakları ve Modelleme İlkeleri. Su Vakfı.
- Tektaş, M.** (2010). Weather forecasting using ANFIS and ARIMA models. A case study for Istanbul. Environmental Research, Engineering and Management , 5-10.
- Tong, W.** (2010). Wind Power Generation and Wind Turbine Design. WIT Press.
- Tony Burton, N. J.** (2011). Wind Energy Handbook. John Wiley & Sons.
- A.P.Papilinski** (2005, Mayıs 20). Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS). Kasım 2013, 2013 tarihinde Monash University: <http://www.csse.monash.edu.au/courseware/cse5301/2006/Lnts/L12fz.pdf>
- Durmuş, D. A.** (2013). Korelasyon. 11 2, 2013 tarihinde Sakarya Üniversitesi: <http://web.sakarya.edu.tr/~adurmus/statistik/acikogretim/unite12.pdf>
- Ilıcak, A.** (2007). Elektrik Sektöründe Rekabet Hukukunun Uygulanması. Eylül 7, 2013 tarihinde Actecon: http://www.actecon.com/PDF/elektrik_ilicak.pdf
- Lund, J. W.** Geothermal Power in Turkey. Nisan 14, 2013 tarihinde Factgrabber: http://factgrabber.com/index.php?q=Geothermal_power_in_Turkey&lcid=B7FmuSeJJ5mmGScZJxmGkSfJZhkmmcaZ5oFmySaZZIk=#sth.ash.QVYPivcy.ELuEAdyK.dpuf
- Özemre, A. Y.** (2013). Konvansiyonel ve Alternatif Enerji Kaynakları Açısından Dünyanın Geleceği. Temmuz 13, 2013 tarihinde Sakarya Üniversitesi: https://dosya.sakarya.edu.tr/Dokumanlar/2013/432/486046610_kek_pdf.pdf
- Turgut Görez, A. A.** (tarih yok). Ekler. Nisan 7, 2013 tarihinde Elektrik Mühendisleri Odası: http://www.emo.org.tr/ekler/7267ca39f652c0d_ek.pdf
- Tuzkaya, D. D.** (2010, Kasım). İstatistik ve Güvenilirlik Ders Notları. 03 08, 2014 tarihinde Yıldız Teknik Üniversitesi: http://www.yildiz.edu.tr/~tuzkaya/MIG_Ders_Notlari/Istatistik_Ders_Notu_5.pdf

Yükselen, M. A. (2013). Aerodinamik Ders Notları. 6 8, 2013 tarihinde İTÜ:
<http://web.itu.edu.tr/~yukselen/Uck351/11-%20Pervane%20teorisi.pdf>

Url-1<<http://www.tureb.com.tr/tr/duyurular/77-turkiye-ruzgar-enerjisi-istatistik-raporu-temmuz-2013>>, alındığı tarih 07.04.2013.

Url-2<<http://www.china.org.cn/english/NM-e/151624.htm>>, alındığı tarih: 07.04.2013

Url-3 <<http://www.muhandislikbilgileri.com/?Bid=1440437>>, alındığı tarih: 14.04.2013

Url-4<<http://www.blade-wind-tech.nl/the-wind/history/?lang=en>> alındığı tarih: 14.04.2013

Url-5<<http://www.yenienerji.info/?pid=1914>>, alındığı tarih: 15.06.2013

Url-6<<http://www.rwe.com/web/cms/en/310134/rweinnogy/sites/windoffshore/under-construction/the-proposal/>>, alındığı tarih: 15.06.2013

Url-7<http://www.emo.org.tr/ekler/7267ca39f652c0d_ek.pdf>, alındığı tarih: 21.06.2013

Url-8<http://factgrabber.com/index.php?q=Geothermal_power_in_Turkey&lcid>, alındığı tarih: 22.06.2013

Url-9<<http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/gunes/tgunes.html>>, alındığı tarih: 23.06.2013

Url-10<<http://web.itu.edu.tr/~yukselen/Uck351/11-%20Pervane%20teorisi.pdf>>, alındığı tarih: 12.07.2013

Url-11<<http://tiyep.homestead.com/Wind.html>>, alındığı tarih: 28.07.2013

Url-12<<http://www.ritm.gov.tr/aboutUs/ritm.php>>, alındığı tarih: 17.08.2013

Url-13<https://dosya.sakarya.edu.tr/Dokumanlar/2013/432/486046610_kek_pdf.pdf> alındığı tarih: 14.09.2013

Url-14<http://celebrating200years.noaa.gov/breakthroughs/climate_model/AtmosphericModelSchematic.png>, alındığı tarih: 20.09.2013

Url-15<<http://www.mathworks.com/help/images/ref/corr2.html>>, alındığı tarih: 21.09.2013

Url-16<<http://www.mathworks.com/help/fuzzy/anfis-and-the-anfis-editor-gui.html#bq960u6>>, alındığı tarih: 12.10.2013

Url-17<<http://www.mathworks.com/help/fuzzy/anfis-and-the-anfis-editor-gui.html>>, alındığı tarih: 13.10.2013

Url-18<[http://ww2010.atmos.uiuc.edu/\(Gh\)/guides/mtr/fcst/mth/prst.rxml](http://ww2010.atmos.uiuc.edu/(Gh)/guides/mtr/fcst/mth/prst.rxml)>, alındığı tarih: 03.08.2014

EKLER

EK A: Tahmin sonuçları

Çizelge A.1 : ANFIS ile yapılan rüzgar hızı tahmini ve istatistiksel analiz

Tarih	V ₁ (m/s)	Yön (°)	V ₂ Ölçüm (m/s)	V ₂ Tahmin (m/s)	Mutlak Hata (m/s)	Hata (m/s)	Mutlak Hata /V ₂ Ölçüm
17 Eylül 2009 0:00	8.46	3.897	9.31	10.33	1.02	-1.02	0.11
17 Eylül 2009 0:10	8.31	4.1	9	10.22	1.22	-1.22	0.14
17 Eylül 2009 0:20	8.43	3.178	9.14	10.32	1.18	-1.18	0.13
17 Eylül 2009 0:30	8.33	3.372	8.56	10.25	1.69	-1.69	0.20
17 Eylül 2009 0:40	7.436	4.316	8.92	9.54	0.62	-0.62	0.07
17 Eylül 2009 0:50	7.272	4.383	9.59	9.39	0.20	0.20	0.02
17 Eylül 2009 1:00	6.532	5.798	8.86	8.65	0.21	0.21	0.02
17 Eylül 2009 1:10	6.169	5.315	8.54	8.27	0.27	0.27	0.03
17 Eylül 2009 1:20	6.276	4.478	7.395	8.40	1.00	-1.00	0.14
17 Eylül 2009 1:30	5.691	5.14	6.981	7.73	0.74	-0.74	0.11
17 Eylül 2009 1:40	5.336	4.162	7.067	7.32	0.25	-0.25	0.04
17 Eylül 2009 1:50	6.428	3.92	7.207	8.57	1.37	-1.37	0.19
17 Eylül 2009 2:00	6.142	5.172	7.561	8.24	0.68	-0.68	0.09
17 Eylül 2009 2:10	5.785	3.018	7.233	7.87	0.63	-0.63	0.09
17 Eylül 2009 2:20	5.651	5.802	6.86	7.67	0.81	-0.81	0.12
17 Eylül 2009 2:30	5.886	4.747	7.06	7.96	0.90	-0.90	0.13
17 Eylül 2009 2:40	5.938	3.993	7.449	8.03	0.58	-0.58	0.08
17 Eylül 2009 2:50	5.25	3.623	7.46	7.22	0.24	0.24	0.03
17 Eylül 2009 3:00	5.206	2.051	6.196	7.19	0.99	-0.99	0.16
17 Eylül 2009 3:10	4.856	3.805	5.134	6.74	1.61	-1.61	0.31
17 Eylül 2009 3:20	5.054	2.922	5.898	6.99	1.09	-1.09	0.19
17 Eylül 2009 3:30	5.182	3.101	5.45	7.15	1.70	-1.70	0.31
17 Eylül 2009 3:40	5.033	3.742	5.245	6.96	1.71	-1.71	0.33
17 Eylül 2009 3:50	4.435	4.021	5.24	6.24	1.00	-1.00	0.19
17 Eylül 2009 4:00	3.591	5.876	5.407	5.30	0.11	0.11	0.02
17 Eylül 2009 4:10	3.321	5.944	5.162	5.03	0.13	0.13	0.03
17 Eylül 2009 4:20	3.233	6.435	4.15	4.95	0.80	-0.80	0.19
17 Eylül 2009 4:30	3.013	9.47	4.01	4.74	0.73	-0.73	0.18
17 Eylül 2009 4:40	4.733	5.161	3.815	6.58	2.77	-2.77	0.73
17 Eylül 2009 4:50	4.507	5.315	4.532	6.31	1.78	-1.78	0.39
Tarih	V₁	Yön	V₂	V₂	Mutlak	Hata	Mutlak

	(m/s)	(°)	Ölçüm (m/s)	Tahmin (m/s)	Hata (m/s)	(m/s)	Hata /V ₂ Ölçüm
17 Eylül 2009 5:00	4.924	4.259	4.36	6.82	2.46	-2.46	0.56
17 Eylül 2009 5:10	4.787	6.485	4.433	6.63	2.20	-2.20	0.50
17 Eylül 2009 5:20	4.976	5.869	4.525	6.86	2.34	-2.34	0.52
17 Eylül 2009 5:30	6.03	3.153	5.207	8.15	2.94	-2.94	0.56
17 Eylül 2009 5:40	6.744	2.814	6.021	8.92	2.90	-2.90	0.48
17 Eylül 2009 5:50	7.049	3.289	5.855	9.21	3.35	-3.35	0.57
17 Eylül 2009 6:00	6.483	5.049	5.369	8.61	3.24	-3.24	0.60
17 Eylül 2009 6:10	5.9	6.591	5.608	7.94	2.34	-2.34	0.42
17 Eylül 2009 6:20	5.868	7.81	5.278	7.89	2.61	-2.61	0.49
17 Eylül 2009 6:30	5.92	7.208	5.389	7.96	2.57	-2.57	0.48
17 Eylül 2009 6:40	6.435	6.798	5.502	8.53	3.03	-3.03	0.55
17 Eylül 2009 6:50	5.611	7.487	5.054	7.59	2.54	-2.54	0.50
17 Eylül 2009 7:00	5.192	8.57	4.722	7.09	2.36	-2.36	0.50
17 Eylül 2009 7:10	5.404	7.789	5.047	7.35	2.30	-2.30	0.46
17 Eylül 2009 7:20	5.999	6.883	5.47	8.05	2.58	-2.58	0.47
17 Eylül 2009 7:30	5.672	8.87	5.05	7.64	2.59	-2.59	0.51
17 Eylül 2009 7:40	5.754	7.926	4.229	7.75	3.52	-3.52	0.83
17 Eylül 2009 7:50	6.577	7.596	3.894	8.66	4.77	-4.77	1.22
17 Eylül 2009 8:00	5.923	7.997	3.943	7.94	4.00	-4.00	1.01
17 Eylül 2009 8:10	6.865	7.579	4.333	8.95	4.61	-4.61	1.06
17 Eylül 2009 8:20	6.363	8.37	4.19	8.42	4.23	-4.23	1.01
17 Eylül 2009 8:30	5.343	9.63	3.887	7.25	3.36	-3.36	0.86
17 Eylül 2009 8:40	6.104	8.23	3.69	8.14	4.45	-4.45	1.21
17 Eylül 2009 8:50	5.846	9.62	3.31	7.83	4.52	-4.52	1.37
17 Eylül 2009 9:00	5.235	10.69	2.642	7.11	4.46	-4.46	1.69
17 Eylül 2009 9:10	5.304	10.86	3.008	7.18	4.17	-4.17	1.39
17 Eylül 2009 9:20	6.065	9.71	2.893	8.07	5.18	-5.18	1.79
17 Eylül 2009 9:30	5.802	9.51	2.87	7.78	4.91	-4.91	1.71
17 Eylül 2009 9:40	5.971	12.4	3.045	7.91	4.87	-4.87	1.60
17 Eylül 2009 9:50	6.659	8.17	2.92	8.73	5.81	-5.81	1.99
17 Eylül 2009 10:00	7.332	6.326	3.788	9.41	5.62	-5.62	1.48
17 Eylül 2009 10:10	7.031	5.511	3.453	9.15	5.70	-5.70	1.65
17 Eylül 2009 10:20	6.341	8.01	3.407	8.40	5.00	-5.00	1.47
17 Eylül 2009 10:30	6.246	7.154	3.143	8.32	5.18	-5.18	1.65
17 Eylül 2009 10:40	6.128	8.47	3.349	8.16	4.82	-4.82	1.44
17 Eylül 2009 10:50	6.92	7.14	3.173	9.01	5.84	-5.84	1.84
17 Eylül 2009 11:00	6.034	10.59	3.577	8.02	4.44	-4.44	1.24
17 Eylül 2009 11:10	6.192	8.93	4.167	8.23	4.06	-4.06	0.97
17 Eylül 2009 11:20	6.489	7.812	4.328	8.56	4.24	-4.24	0.98
17 Eylül 2009 11:30	6.715	9.47	4.641	8.76	4.12	-4.12	0.89
17 Eylül 2009 11:40	6.767	8.2	4.233	8.84	4.61	-4.61	1.09
Tarih	V₁	Yön	V₂	V₂	Mutlak	Hata	Mutlak

	(m/s)	(°)	Ölçüm (m/s)	Tahmin (m/s)	Hata (m/s)	(m/s)	Hata /V ₂ Ölçüm
17 Eylül 2009 11:50	6.831	7.619	4.115	8.91	4.80	-4.80	1.17
17 Eylül 2009 12:00	6.652	9.36	4.561	8.70	4.14	-4.14	0.91
17 Eylül 2009 12:10	7.247	7.113	4.362	9.31	4.95	-4.95	1.14
17 Eylül 2009 12:20	6.132	10.04	4.038	8.14	4.10	-4.10	1.02
17 Eylül 2009 12:30	6.02	11.41	4.249	7.99	3.74	-3.74	0.88
17 Eylül 2009 12:40	6.849	7.926	4.019	8.92	4.91	-4.91	1.22
17 Eylül 2009 12:50	6.318	10.96	3.834	8.32	4.49	-4.49	1.17
17 Eylül 2009 13:00	6.419	6.511	3.688	8.52	4.83	-4.83	1.31
17 Eylül 2009 13:10	6.092	8.57	3.928	8.12	4.20	-4.20	1.07
17 Eylül 2009 13:20	6.098	8.36	4.148	8.13	3.99	-3.99	0.96
17 Eylül 2009 13:30	6.167	8.33	3.947	8.21	4.26	-4.26	1.08
17 Eylül 2009 13:40	6.092	7.196	4.404	8.15	3.74	-3.74	0.85
17 Eylül 2009 13:50	6.238	7.313	4.857	8.31	3.45	-3.45	0.71
17 Eylül 2009 14:00	6.635	6.676	4.983	8.74	3.75	-3.75	0.75
17 Eylül 2009 14:10	7.106	5.492	4.782	9.22	4.44	-4.44	0.93
17 Eylül 2009 14:20	7.077	7.234	5.154	9.16	4.00	-4.00	0.78
17 Eylül 2009 14:30	6.773	5.968	5.149	8.89	3.74	-3.74	0.73
17 Eylül 2009 14:40	6.855	4.632	5.247	9.00	3.75	-3.75	0.71
17 Eylül 2009 14:50	6.463	5.873	5.301	8.57	3.27	-3.27	0.62
17 Eylül 2009 15:00	5.927	7.579	5.544	7.96	2.41	-2.41	0.44
17 Eylül 2009 15:10	5.413	8.42	5.457	7.35	1.89	-1.89	0.35
17 Eylül 2009 15:20	6.271	5.534	5.379	8.38	3.00	-3.00	0.56
17 Eylül 2009 15:30	5.708	7.899	5.454	7.70	2.25	-2.25	0.41
17 Eylül 2009 15:40	6.144	5.763	5.583	8.23	2.65	-2.65	0.47
17 Eylül 2009 15:50	6.782	4.512	5.698	8.93	3.23	-3.23	0.57
17 Eylül 2009 16:00	6.208	6.638	6.272	8.29	2.01	-2.01	0.32
17 Eylül 2009 16:10	6.569	6.199	6.957	8.68	1.72	-1.72	0.25
17 Eylül 2009 16:20	6.278	4.621	6.962	8.40	1.44	-1.44	0.21
17 Eylül 2009 16:30	5.597	5.978	6.68	7.60	0.92	-0.92	0.14
17 Eylül 2009 16:40	5.046	9.27	6.805	6.90	0.10	-0.10	0.01
17 Eylül 2009 16:50	4.771	9.11	7.09	6.58	0.51	0.51	0.07
17 Eylül 2009 17:00	4.262	11.23	7.027	5.98	1.04	1.04	0.15
17 Eylül 2009 17:10	4.316	11.43	6.965	6.04	0.92	0.92	0.13
17 Eylül 2009 17:20	4.048	12.45	6.561	5.74	0.82	0.82	0.13
17 Eylül 2009 17:30	4.072	8.55	6.281	5.80	0.48	0.48	0.08
17 Eylül 2009 17:40	3.774	9.52	6.368	5.47	0.89	0.89	0.14
17 Eylül 2009 17:50	3.817	10.94	6.686	5.51	1.18	1.18	0.18
17 Eylül 2009 18:00	4.223	8.64	6.952	5.96	0.99	0.99	0.14
17 Eylül 2009 18:10	4.147	8.2	7.049	5.88	1.17	1.17	0.17
17 Eylül 2009 18:20	4.103	7.194	7.237	5.84	1.40	1.40	0.19
17 Eylül 2009 18:30	3.934	9.91	7.608	5.64	1.97	1.97	0.26
Tarih	V₁	Yön	V₂	V₂	Mutlak	Hata	Mutlak

	(m/s)	(°)	Ölçüm (m/s)	Tahmin (m/s)	Hata (m/s)	(m/s)	Hata /V ₂ Ölçüm
17 Eylül 2009 18:40	3.267	13.35	7.518	4.96	2.56	2.56	0.34
17 Eylül 2009 18:50	3.077	12.06	7.349	4.80	2.55	2.55	0.35
17 Eylül 2009 19:00	3.494	13.15	7.097	5.18	1.92	1.92	0.27
17 Eylül 2009 19:10	4.584	9.18	7.001	6.37	0.63	0.63	0.09
17 Eylül 2009 19:20	4.604	8.74	7.143	6.39	0.75	0.75	0.10
17 Eylül 2009 19:30	5.204	7.254	6.963	7.12	0.16	-0.16	0.02
17 Eylül 2009 19:40	5.561	7.262	6.568	7.54	0.97	-0.97	0.15
17 Eylül 2009 19:50	4.807	8.79	6.78	6.63	0.15	0.15	0.02
17 Eylül 2009 20:00	5.061	7.869	6.532	6.94	0.41	-0.41	0.06
17 Eylül 2009 20:10	5.516	9.49	6.627	7.45	0.82	-0.82	0.12
17 Eylül 2009 20:20	5.673	8.52	6.553	7.65	1.10	-1.10	0.17
17 Eylül 2009 20:30	5.592	10.46	6.722	7.52	0.80	-0.80	0.12
17 Eylül 2009 20:40	5.53	9.04	6.517	7.48	0.96	-0.96	0.15
17 Eylül 2009 20:50	5.729	11.32	6.212	7.66	1.45	-1.45	0.23
17 Eylül 2009 21:00	5.852	8.95	6.218	7.85	1.63	-1.63	0.26
17 Eylül 2009 21:10	6.137	7.881	6.262	8.19	1.92	-1.92	0.31
17 Eylül 2009 21:20	6.475	6.931	5.71	8.57	2.86	-2.86	0.50
17 Eylül 2009 21:30	6.328	7.931	5.664	8.39	2.73	-2.73	0.48
17 Eylül 2009 21:40	5.935	7.985	5.913	7.96	2.05	-2.05	0.35
17 Eylül 2009 21:50	6.176	8.25	6.24	8.22	1.98	-1.98	0.32
17 Eylül 2009 22:00	6.087	7.911	6.836	8.13	1.29	-1.29	0.19
17 Eylül 2009 22:10	5.703	6.24	7.373	7.72	0.35	-0.35	0.05
17 Eylül 2009 22:20	6.114	4.994	7.523	8.21	0.69	-0.69	0.09
17 Eylül 2009 22:30	5.358	4.226	7.769	7.34	0.43	0.43	0.05
17 Eylül 2009 22:40	5.298	2.497	7.969	7.29	0.68	0.68	0.08
17 Eylül 2009 22:50	4.768	2.855	7.815	6.65	1.17	1.17	0.15
17 Eylül 2009 23:00	4.364	2.433	7.623	6.17	1.45	1.45	0.19
17 Eylül 2009 23:10	4.299	3.855	7.33	6.08	1.25	1.25	0.17
17 Eylül 2009 23:20	4.945	2.558	6.972	6.86	0.11	0.11	0.02
17 Eylül 2009 23:30	5.145	1.843	6.879	7.11	0.24	-0.24	0.03
17 Eylül 2009 23:40	5.084	2.464	6.933	7.03	0.10	-0.10	0.01
17 Eylül 2009 23:50	4.618	2.883	6.994	6.47	0.53	0.53	0.08
18 Eylül 2009 0:00	4.302	5.925	6.906	6.07	0.83	0.83	0.12
18 Eylül 2009 0:10	4.427	3.451	7.229	6.24	0.99	0.99	0.14
18 Eylül 2009 0:20	4.226	1.404	7.63	6.01	1.62	1.62	0.21
18 Eylül 2009 0:30	4.298	1.202	7.396	6.10	1.30	1.30	0.18
18 Eylül 2009 0:40	3.988	1.167	7.147	5.74	1.40	1.40	0.20
18 Eylül 2009 0:50	3.811	1.093	7.031	5.55	1.48	1.48	0.21
18 Eylül 2009 1:00	3.92	0.839	6.707	5.67	1.04	1.04	0.15
18 Eylül 2009 1:10	3.804	2.603	6.296	5.53	0.76	0.76	0.12
18 Eylül 2009 1:20	3.55	2.944	5.886	5.27	0.62	0.62	0.11
Tarih	V₁	Yön	V₂	V₂	Mutlak	Hata	Mutlak

	(m/s)	(°)	Ölçüm (m/s)	Tahmin (m/s)	Hata (m/s)	(m/s)	Hata /V ₂ Ölçüm
18 Eylül 2009 1:30	3.873	1.607	6.051	5.61	0.44	0.44	0.07
18 Eylül 2009 1:40	4.097	2.131	6.245	5.86	0.38	0.38	0.06
18 Eylül 2009 1:50	4.385	0.79	6.338	6.20	0.13	0.13	0.02
18 Eylül 2009 2:00	4.553	1.117	6.199	6.40	0.20	-0.20	0.03
18 Eylül 2009 2:10	5.059	1.08	6.436	7.02	0.58	-0.58	0.09
18 Eylül 2009 2:20	5.47	1.609	6.611	7.51	0.90	-0.90	0.14
18 Eylül 2009 2:30	5.396	1.043	6.341	7.43	1.09	-1.09	0.17
18 Eylül 2009 2:40	5.172	2.206	5.642	7.14	1.50	-1.50	0.27
18 Eylül 2009 2:50	5.05	2.973	5.822	6.99	1.16	-1.16	0.20
18 Eylül 2009 3:00	4.74	2.703	6.684	6.61	0.07	0.07	0.01
18 Eylül 2009 3:10	4.42	3.716	6.897	6.23	0.67	0.67	0.10
18 Eylül 2009 3:20	3.777	5.591	7.109	5.50	1.61	1.61	0.23
18 Eylül 2009 3:30	3.506	4.589	7.308	5.22	2.09	2.09	0.29
18 Eylül 2009 3:40	3.828	5.003	7.409	5.55	1.86	1.86	0.25
18 Eylül 2009 3:50	4.214	4.266	7.05	5.98	1.07	1.07	0.15
18 Eylül 2009 4:00	4.422	5.242	6.425	6.22	0.21	0.21	0.03
18 Eylül 2009 4:10	4.103	6.667	5.838	5.84	0.01	-0.01	0.00
18 Eylül 2009 4:20	3.958	8.05	5.311	5.68	0.37	-0.37	0.07
18 Eylül 2009 4:30	3.572	8.96	4.884	5.27	0.39	-0.39	0.08
18 Eylül 2009 4:40	4.101	7.357	5.211	5.84	0.63	-0.63	0.12
18 Eylül 2009 4:50	4.812	5.95	5.346	6.67	1.32	-1.32	0.25
18 Eylül 2009 5:00	5.722	3.934	5.692	7.78	2.09	-2.09	0.37
18 Eylül 2009 5:10	5.752	3.539	5.804	7.82	2.02	-2.02	0.35
18 Eylül 2009 5:20	5.093	4	5.678	7.03	1.35	-1.35	0.24
18 Eylül 2009 5:30	5.023	4.963	5.562	6.93	1.37	-1.37	0.25
18 Eylül 2009 5:40	4.989	2.485	5.431	6.92	1.49	-1.49	0.27
18 Eylül 2009 5:50	5.214	1.866	5.18	7.20	2.02	-2.02	0.39
18 Eylül 2009 6:00	5.379	2.433	4.879	7.39	2.51	-2.51	0.52
18 Eylül 2009 6:10	5.472	3.989	5.129	7.48	2.35	-2.35	0.46
18 Eylül 2009 6:20	5.763	4.816	5.858	7.81	1.96	-1.96	0.33
18 Eylül 2009 6:30	5.55	4.736	6.032	7.57	1.53	-1.53	0.25
18 Eylül 2009 6:40	5.379	5.609	5.992	7.35	1.36	-1.36	0.23
18 Eylül 2009 6:50	5.199	5.07	6.553	7.14	0.59	-0.59	0.09
18 Eylül 2009 7:00	5.746	3.601	7.108	7.81	0.70	-0.70	0.10
18 Eylül 2009 7:10	5.613	2.843	7.379	7.67	0.29	-0.29	0.04
18 Eylül 2009 7:20	5.053	3.77	7.424	6.98	0.44	0.44	0.06
18 Eylül 2009 7:30	4.775	7.578	7.377	6.61	0.77	0.77	0.10
18 Eylül 2009 7:40	5.262	6.008	7.74	7.20	0.54	0.54	0.07
18 Eylül 2009 7:50	4.864	9.26	7.679	6.69	0.99	0.99	0.13
18 Eylül 2009 8:00	5.533	9.18	8.18	7.48	0.70	0.70	0.09
18 Eylül 2009 8:10	5.794	9.49	8.09	7.77	0.32	0.32	0.04
Tarih	V₁	Yön	V₂	V₂	Mutlak	Hata	Mutlak

	(m/s)	(°)	Ölçüm (m/s)	Tahmin (m/s)	Hata (m/s)	(m/s)	Hata /V ₂ Ölçüm
18 Eylül 2009 8:20	4.589	12.14	7.473	6.34	1.13	1.13	0.15
18 Eylül 2009 8:30	5.031	10.38	8.04	6.87	1.17	1.17	0.15
18 Eylül 2009 8:40	4.902	10.2	7.792	6.72	1.07	1.07	0.14
18 Eylül 2009 8:50	5.549	8.8	8.34	7.50	0.84	0.84	0.10
18 Eylül 2009 9:00	5.422	11.21	8.16	7.31	0.85	0.85	0.10
18 Eylül 2009 9:10	6.013	6.931	8.52	8.07	0.46	0.46	0.05
18 Eylül 2009 9:20	5.81	8.53	8.94	7.81	1.13	1.13	0.13
18 Eylül 2009 9:30	6.551	7.008	7.926	8.64	0.72	-0.72	0.09
18 Eylül 2009 9:40	6.229	7.488	8.43	8.29	0.14	0.14	0.02
18 Eylül 2009 9:50	6.953	7.922	8.2	9.03	0.83	-0.83	0.10
18 Eylül 2009 10:00	6.096	9.94	7.639	8.10	0.46	-0.46	0.06
18 Eylül 2009 10:10	5.589	10.35	7.008	7.52	0.51	-0.51	0.07
18 Eylül 2009 10:20	5.526	11.41	7.625	7.43	0.19	0.19	0.03
18 Eylül 2009 10:30	6.164	12.38	8.26	8.13	0.13	0.13	0.02
18 Eylül 2009 10:40	6.548	9.35	7.818	8.59	0.78	-0.78	0.10
18 Eylül 2009 10:50	6.445	8.51	7.848	8.50	0.66	-0.66	0.08
18 Eylül 2009 11:00	5.59	12.8	8.59	7.48	1.11	1.11	0.13
18 Eylül 2009 11:10	6.534	10.85	8.52	8.55	0.03	-0.03	0.00
18 Eylül 2009 11:20	5.924	11.11	8.27	7.89	0.38	0.38	0.05
18 Eylül 2009 11:30	5.355	12.63	7.846	7.21	0.63	0.63	0.08
18 Eylül 2009 11:40	6.557	7.807	7.414	8.63	1.22	-1.22	0.16
18 Eylül 2009 11:50	6.239	11.46	8.08	8.23	0.15	-0.15	0.02
18 Eylül 2009 12:00	5.886	9.49	8.52	7.88	0.64	0.64	0.08
18 Eylül 2009 12:10	5.547	11.79	7.864	7.45	0.42	0.42	0.05
18 Eylül 2009 12:20	5.903	10.39	8.39	7.88	0.51	0.51	0.06
18 Eylül 2009 12:30	5.135	15.25	8.37	6.92	1.45	1.45	0.17
18 Eylül 2009 12:40	5.796	15.2	8.42	7.66	0.76	0.76	0.09
18 Eylül 2009 12:50	5.522	11.72	8.9	7.42	1.48	1.48	0.17
18 Eylül 2009 13:00	6.35	7.6	9.37	8.42	0.95	0.95	0.10
18 Eylül 2009 13:10	5.056	13.82	9.55	6.85	2.70	2.70	0.28
18 Eylül 2009 13:20	5.4	9.51	8.83	7.32	1.51	1.51	0.17
18 Eylül 2009 13:30	5.781	13.45	8.29	7.68	0.61	0.61	0.07
18 Eylül 2009 13:40	5.645	9.69	8.18	7.60	0.58	0.58	0.07
18 Eylül 2009 13:50	5.774	8.89	8.67	7.76	0.91	0.91	0.11
18 Eylül 2009 14:00	5.199	10.76	8.15	7.06	1.09	1.09	0.13
18 Eylül 2009 14:10	4.954	12.04	7.296	6.76	0.54	0.54	0.07
18 Eylül 2009 14:20	5.021	8.75	8.67	6.88	1.79	1.79	0.21
18 Eylül 2009 14:30	6.033	7.511	8.76	8.08	0.68	0.68	0.08
18 Eylül 2009 14:40	6.057	7.699	8.14	8.10	0.04	0.04	0.00
18 Eylül 2009 14:50	6.232	9.01	8.05	8.27	0.22	-0.22	0.03
18 Eylül 2009 15:00	5.935	7.921	7.982	7.96	0.02	0.02	0.00
Tarih	V₁	Yön	V₂	V₂	Mutlak	Hata	Mutlak

	(m/s)	(°)	Ölçüm (m/s)	Tahmin (m/s)	Hata (m/s)	(m/s)	Hata /V ₂ Ölçüm
18 Eylül 2009 15:10	6.38	9.14	7.722	8.42	0.70	-0.70	0.09
18 Eylül 2009 15:20	5.993	8.95	7.224	8.01	0.78	-0.78	0.11
18 Eylül 2009 15:30	5.922	8.57	7.324	7.93	0.61	-0.61	0.08
18 Eylül 2009 15:40	6.319	8.64	6.708	8.37	1.66	-1.66	0.25
18 Eylül 2009 15:50	6.19	7.406	7.125	8.25	1.13	-1.13	0.16
18 Eylül 2009 16:00	5.931	11.29	7.342	7.89	0.55	-0.55	0.07
18 Eylül 2009 16:10	7.474	7.757	7.733	9.50	1.77	-1.77	0.23
18 Eylül 2009 16:20	5.981	7.26	7.802	8.02	0.22	-0.22	0.03
18 Eylül 2009 16:30	7.032	6.694	8.13	9.13	1.00	-1.00	0.12
18 Eylül 2009 16:40	6.967	6.729	8.44	9.06	0.62	-0.62	0.07
18 Eylül 2009 16:50	6.668	6.622	8.82	8.77	0.05	0.05	0.01
18 Eylül 2009 17:00	6.182	7.516	8.3	8.24	0.06	0.06	0.01
18 Eylül 2009 17:10	6.446	7.037	8.51	8.53	0.02	-0.02	0.00
18 Eylül 2009 17:20	6.681	6.155	8.66	8.79	0.13	-0.13	0.02
18 Eylül 2009 17:30	6.593	6.237	8.43	8.70	0.27	-0.27	0.03
18 Eylül 2009 17:40	5.423	7.403	9.24	7.38	1.86	1.86	0.20
18 Eylül 2009 17:50	4.625	8.28	8.91	6.42	2.49	2.49	0.28
18 Eylül 2009 18:00	4.199	10.87	8.94	5.92	3.02	3.02	0.34
18 Eylül 2009 18:10	4.555	9.94	9.1	6.32	2.78	2.78	0.30
18 Eylül 2009 18:20	4.785	10.1	9.27	6.59	2.68	2.68	0.29
18 Eylül 2009 18:30	5.598	7.744	9.07	7.58	1.49	1.49	0.16
18 Eylül 2009 18:40	6.018	6.635	9.28	8.08	1.20	1.20	0.13
18 Eylül 2009 18:50	6.636	5.573	9.08	8.76	0.32	0.32	0.04
18 Eylül 2009 19:00	6.852	5.478	9.13	8.98	0.15	0.15	0.02
18 Eylül 2009 19:10	6.628	7.245	9.28	8.72	0.56	0.56	0.06
18 Eylül 2009 19:20	6.768	6.781	9.7	8.87	0.83	0.83	0.09
18 Eylül 2009 19:30	7.223	6.427	9.91	9.31	0.60	0.60	0.06
18 Eylül 2009 19:40	7.598	9.3	10.09	9.57	0.52	0.52	0.05
18 Eylül 2009 19:50	8.53	6.828	9.66	10.32	0.66	-0.66	0.07
18 Eylül 2009 20:00	9.31	6.17	9.69	10.81	1.12	-1.12	0.12
18 Eylül 2009 20:10	9.36	6.328	10.02	10.83	0.81	-0.81	0.08
18 Eylül 2009 20:20	8.6	6.77	10.48	10.37	0.11	0.11	0.01
18 Eylül 2009 20:30	9.06	6.785	10.75	10.65	0.10	0.10	0.01
18 Eylül 2009 20:40	8.85	5.985	11.18	10.54	0.64	0.64	0.06
18 Eylül 2009 20:50	8.61	6.4	10.9	10.38	0.52	0.52	0.05
18 Eylül 2009 21:00	7.779	5.981	9.96	9.79	0.17	0.17	0.02
18 Eylül 2009 21:10	7.256	6.199	9.91	9.34	0.57	0.57	0.06
18 Eylül 2009 21:20	7.547	6.977	10.05	9.58	0.47	0.47	0.05
18 Eylül 2009 21:30	8.12	6.287	10.73	10.04	0.69	0.69	0.06
18 Eylül 2009 21:40	8.27	5.946	11.29	10.16	1.13	1.13	0.10
18 Eylül 2009 21:50	8.46	6.103	10.28	10.29	0.01	-0.01	0.00
	V₁	Yön	V₂	V₂	Mutlak	Hata	Mutlak

Tarih	(m/s)	(°)	Ölçüm (m/s)	Tahmin (m/s)	Hata (m/s)	(m/s)	Hata /V ₂ Ölçüm
18 Eylül 2009 22:00	8.85	5.568	10.05	10.55	0.50	-0.50	0.05
18 Eylül 2009 22:10	8.07	5.701	11.3	10.02	1.28	1.28	0.11
18 Eylül 2009 22:20	7.869	5.59	10.99	9.87	1.12	1.12	0.10
18 Eylül 2009 22:30	8.24	6.464	10.43	10.13	0.30	0.30	0.03
18 Eylül 2009 22:40	7.627	6.399	11.17	9.66	1.51	1.51	0.14
18 Eylül 2009 22:50	7.259	7.448	11.67	9.32	2.35	2.35	0.20
18 Eylül 2009 23:00	7.93	6.13	11.42	9.90	1.52	1.52	0.13
18 Eylül 2009 23:10	6.994	6.682	10.8	9.09	1.71	1.71	0.16
18 Eylül 2009 23:20	7.081	5.947	10.97	9.19	1.78	1.78	0.16
18 Eylül 2009 23:30	7.082	6.549	10.54	9.18	1.36	1.36	0.13
18 Eylül 2009 23:40	6.595	6.539	10.32	8.70	1.62	1.62	0.16
18 Eylül 2009 23:50	6.55	5.694	11.1	8.67	2.43	2.43	0.22
Σ			1988.6	2229.89	471.25	-241.2	93.01
MAD	1.64						
MAPD	% 23.69716						
Kümülatif Hata	-241.25						
MSE	4.71						
RMSE	2.17						
MAPE	% 32.29						
Belirlilik Katsayısı	0.10						
BIAS	-0.84						

Çizelge A.2 : FIS yöntemi ile oluşturulan modele sıcaklık parametresinin eklenmesi sonucu elde edilen rüzgar hızı tahmini ve istatistiksel analiz

Tarih	V ₁ (m/s)	Yön (°)	T (C°)	V ₂ Ölçüm (m/s)	V ₂ Tahmin (m/s)	Mutlak Hata (m/s)	Hata (m/s)	Mutlak Hata/V ₂ Ölçüm
17 Eylül 2009 0:00	8.46	3.90	14.28	9.31	10.85	1.54	-1.54	0.17
17 Eylül 2009 0:10	8.31	4.10	14.16	9.00	10.74	1.74	-1.74	0.19
17 Eylül 2009 0:20	8.43	3.18	13.97	9.14	10.81	1.67	-1.67	0.18
17 Eylül 2009 0:30	8.33	3.37	13.91	8.56	10.74	2.18	-2.18	0.25
17 Eylül 2009 0:40	7.44	4.32	13.95	8.92	10.11	1.19	-1.19	0.13
17 Eylül 2009 0:50	7.27	4.38	13.93	9.59	9.98	0.39	-0.39	0.04
17 Eylül 2009 1:00	6.53	5.80	14.00	8.86	9.34	0.48	-0.48	0.05
17 Eylül 2009 1:10	6.17	5.32	14.14	8.54	9.04	0.50	-0.50	0.06
17 Eylül 2009 1:20	6.28	4.48	14.12	7.40	9.17	1.77	-1.77	0.24
17 Eylül 2009 1:30	5.69	5.14	14.07	6.98	8.59	1.61	-1.61	0.23
17 Eylül 2009 1:40	5.34	4.16	14.06	7.07	8.27	1.20	-1.20	0.17
17 Eylül 2009 1:50	6.43	3.92	13.96	7.21	9.31	2.10	-2.10	0.29
17 Eylül 2009 2:00	6.14	5.17	13.72	7.56	8.97	1.41	-1.41	0.19
17 Eylül 2009 2:10	5.79	3.02	13.70	7.23	8.71	1.48	-1.48	0.20
17 Eylül 2009 2:20	5.65	5.80	13.76	6.86	8.50	1.64	-1.64	0.24
17 Eylül 2009 2:30	5.89	4.75	13.79	7.06	8.76	1.70	-1.70	0.24
17 Eylül 2009 2:40	5.94	3.99	13.71	7.45	8.83	1.38	-1.38	0.18
17 Eylül 2009 2:50	5.25	3.62	13.47	7.46	8.15	0.69	-0.69	0.09
17 Eylül 2009 3:00	5.21	2.05	13.32	6.20	8.14	1.94	-1.94	0.31
17 Eylül 2009 3:10	4.86	3.81	13.20	5.13	7.72	2.58	-2.58	0.50
17 Eylül 2009 3:20	5.05	2.92	13.07	5.90	7.93	2.03	-2.03	0.34
17 Eylül 2009 3:30	5.18	3.10	12.99	5.45	8.04	2.59	-2.59	0.47
17 Eylül 2009 3:40	5.03	3.74	12.84	5.25	7.85	2.60	-2.60	0.50
17 Eylül 2009 3:50	4.44	4.02	12.80	5.24	7.25	2.01	-2.01	0.38
17 Eylül 2009 4:00	3.59	5.88	12.86	5.41	6.37	0.96	-0.96	0.18
17 Eylül 2009 4:10	3.32	5.94	12.90	5.16	6.10	0.94	-0.94	0.18
17 Eylül 2009 4:20	3.23	6.44	12.98	4.15	6.01	1.86	-1.86	0.45
17 Eylül 2009 4:30	3.01	9.47	12.93	4.01	5.74	1.73	-1.73	0.43
17 Eylül 2009 4:40	4.73	5.16	12.82	3.82	7.51	3.69	-3.69	0.97
17 Eylül 2009 4:50	4.51	5.32	12.80	4.53	7.28	2.75	-2.75	0.61
17 Eylül 2009 5:00	4.92	4.26	12.75	4.36	7.71	3.35	-3.35	0.77
17 Eylül 2009 5:10	4.79	6.49	13.04	4.43	7.54	3.11	-3.11	0.70
17 Eylül 2009 5:20	4.98	5.87	13.14	4.53	7.76	3.24	-3.24	0.72
17 Eylül 2009 5:30	6.03	3.15	13.07	5.21	8.85	3.64	-3.64	0.70
17 Eylül 2009 5:40	6.74	2.81	13.30	6.02	9.52	3.50	-3.50	0.58
17 Eylül 2009 5:50	7.05	3.29	13.36	5.86	9.76	3.90	-3.90	0.67
17 Eylül 2009 6:00	6.48	5.05	13.21	5.37	9.20	3.83	-3.83	0.71
17 Eylül 2009 6:10	5.90	6.59	12.89	5.61	8.57	2.96	-2.96	0.53
17 Eylül 2009 6:20	5.87	7.81	12.86	5.28	8.49	3.21	-3.21	0.61

Tarih	V ₁ (m/s)	Yön (°)	T (C°)	V ₂ Ölçüm (m/s)	V ₂ Tahmin (m/s)	Mutlak Hata (m/s)	Hata (m/s)	Mutlak Hata/V ₂ Ölçüm
17 Eylül 2009 6:30	5.92	7.21	13.09	5.39	8.60	3.21	-3.21	0.60
17 Eylül 2009 6:40	6.44	6.80	13.38	5.50	9.13	3.62	-3.62	0.66
17 Eylül 2009 6:50	5.61	7.49	13.54	5.05	8.37	3.32	-3.32	0.66
17 Eylül 2009 7:00	5.19	8.57	13.69	4.72	7.95	3.23	-3.23	0.68
17 Eylül 2009 7:10	5.40	7.79	13.98	5.05	8.21	3.16	-3.16	0.63
17 Eylül 2009 7:20	6.00	6.88	14.69	5.47	8.87	3.40	-3.40	0.62
17 Eylül 2009 7:30	5.67	8.87	15.27	5.05	8.51	3.46	-3.46	0.69
17 Eylül 2009 7:40	5.75	7.93	15.57	4.23	8.62	4.39	-4.39	1.04
17 Eylül 2009 7:50	6.58	7.60	15.77	3.89	9.40	5.51	-5.51	1.41
17 Eylül 2009 8:00	5.92	8.00	16.02	3.94	8.77	4.83	-4.83	1.22
17 Eylül 2009 8:10	6.87	7.58	16.13	4.33	9.63	5.30	-5.30	1.22
17 Eylül 2009 8:20	6.36	8.37	16.27	4.19	9.16	4.97	-4.97	1.19
17 Eylül 2009 8:30	5.34	9.63	16.53	3.89	8.11	4.22	-4.22	1.09
17 Eylül 2009 8:40	6.10	8.23	16.78	3.69	8.87	5.18	-5.18	1.41
17 Eylül 2009 8:50	5.85	9.62	16.98	3.31	8.57	5.26	-5.26	1.59
17 Eylül 2009 9:00	5.24	10.69	17.23	2.64	7.90	5.26	-5.26	1.99
17 Eylül 2009 9:10	5.30	10.86	17.37	3.01	7.95	4.94	-4.94	1.64
17 Eylül 2009 9:20	6.07	9.71	17.60	2.89	8.68	5.79	-5.79	2.00
17 Eylül 2009 9:30	5.80	9.51	18.02	2.87	8.35	5.48	-5.48	1.91
17 Eylül 2009 9:40	5.97	12.40	18.25	3.05	8.41	5.37	-5.37	1.76
17 Eylül 2009 9:50	6.66	8.17	18.33	2.92	9.06	6.14	-6.14	2.10
17 Eylül 2009 10:00	7.33	6.33	18.26	3.79	9.63	5.85	-5.85	1.54
17 Eylül 2009 10:10	7.03	5.51	18.26	3.45	9.41	5.95	-5.95	1.72
17 Eylül 2009 10:20	6.34	8.01	18.26	3.41	8.81	5.40	-5.40	1.58
17 Eylül 2009 10:30	6.25	7.15	18.59	3.14	8.63	5.49	-5.49	1.75
17 Eylül 2009 10:40	6.13	8.47	18.68	3.35	8.49	5.14	-5.14	1.53
17 Eylül 2009 10:50	6.92	7.14	18.62	3.17	9.19	6.02	-6.02	1.90
17 Eylül 2009 11:00	6.03	10.59	18.93	3.58	8.31	4.73	-4.73	1.32
17 Eylül 2009 11:10	6.19	8.93	18.79	4.17	8.51	4.34	-4.34	1.04
17 Eylül 2009 11:20	6.49	7.81	19.05	4.33	8.68	4.35	-4.35	1.00
17 Eylül 2009 11:30	6.72	9.47	18.95	4.64	8.90	4.26	-4.26	0.92
17 Eylül 2009 11:40	6.77	8.20	18.77	4.23	9.01	4.78	-4.78	1.13
17 Eylül 2009 11:50	6.83	7.62	19.22	4.12	8.89	4.78	-4.78	1.16
17 Eylül 2009 12:00	6.65	9.36	19.10	4.56	8.79	4.23	-4.23	0.93
17 Eylül 2009 12:10	7.25	7.11	19.04	4.36	9.29	4.92	-4.92	1.13
17 Eylül 2009 12:20	6.13	10.04	19.25	4.04	8.29	4.25	-4.25	1.05
17 Eylül 2009 12:30	6.02	11.41	19.18	4.25	8.21	3.96	-3.96	0.93
17 Eylül 2009 12:40	6.85	7.93	19.15	4.02	8.93	4.91	-4.91	1.22
17 Eylül 2009 12:50	6.32	10.96	19.03	3.83	8.53	4.69	-4.69	1.22
17 Eylül 2009 13:00	6.42	6.51	19.17	3.69	8.57	4.88	-4.88	1.32
17 Eylül 2009 13:10	6.09	8.57	19.15	3.93	8.30	4.37	-4.37	1.11
17 Eylül 2009 13:20	6.10	8.36	19.51	4.15	8.16	4.02	-4.02	0.97

Tarih	V ₁ (m/s)	Yön (°)	T (C°)	V ₂ Ölçüm (m/s)	V ₂ Tahmin (m/s)	Mutlak Hata (m/s)	Hata (m/s)	Mutlak Hata/V ₂ Ölçüm
17 Eylül 2009 13:30	6.17	8.33	19.54	3.95	8.21	4.27	-4.27	1.08
17 Eylül 2009 13:40	6.09	7.20	19.37	4.40	8.21	3.81	-3.81	0.87
17 Eylül 2009 13:50	6.24	7.31	19.55	4.86	8.27	3.41	-3.41	0.70
17 Eylül 2009 14:00	6.64	6.68	19.41	4.98	8.65	3.67	-3.67	0.74
17 Eylül 2009 14:10	7.11	5.49	19.58	4.78	8.93	4.14	-4.14	0.87
17 Eylül 2009 14:20	7.08	7.23	19.73	5.15	8.85	3.70	-3.70	0.72
17 Eylül 2009 14:30	6.77	5.97	19.55	5.15	8.69	3.54	-3.54	0.69
17 Eylül 2009 14:40	6.86	4.63	19.53	5.25	8.75	3.51	-3.51	0.67
17 Eylül 2009 14:50	6.46	5.87	19.32	5.30	8.55	3.25	-3.25	0.61
17 Eylül 2009 15:00	5.93	7.58	19.37	5.54	8.07	2.53	-2.53	0.46
17 Eylül 2009 15:10	5.41	8.42	19.34	5.46	7.61	2.15	-2.15	0.39
17 Eylül 2009 15:20	6.27	5.53	19.45	5.38	8.33	2.95	-2.95	0.55
17 Eylül 2009 15:30	5.71	7.90	19.31	5.45	7.90	2.44	-2.44	0.45
17 Eylül 2009 15:40	6.14	5.76	18.80	5.58	8.48	2.89	-2.89	0.52
17 Eylül 2009 15:50	6.78	4.51	17.81	5.70	9.35	3.65	-3.65	0.64
17 Eylül 2009 16:00	6.21	6.64	16.95	6.27	8.99	2.71	-2.71	0.43
17 Eylül 2009 16:10	6.57	6.20	16.64	6.96	9.36	2.41	-2.41	0.35
17 Eylül 2009 16:20	6.28	4.62	16.91	6.96	9.10	2.14	-2.14	0.31
17 Eylül 2009 16:30	5.60	5.98	16.86	6.68	8.42	1.74	-1.74	0.26
17 Eylül 2009 16:40	5.05	9.27	16.63	6.81	7.80	0.99	-0.99	0.15
17 Eylül 2009 16:50	4.77	9.11	16.53	7.09	7.52	0.43	-0.43	0.06
17 Eylül 2009 17:00	4.26	11.23	16.53	7.03	6.92	0.11	0.11	0.02
17 Eylül 2009 17:10	4.32	11.43	16.44	6.97	6.98	0.01	-0.01	0.00
17 Eylül 2009 17:20	4.05	12.45	16.61	6.56	6.66	0.10	-0.10	0.01
17 Eylül 2009 17:30	4.07	8.55	16.77	6.28	6.75	0.46	-0.46	0.07
17 Eylül 2009 17:40	3.77	9.52	16.82	6.37	6.40	0.03	-0.03	0.00
17 Eylül 2009 17:50	3.82	10.94	16.30	6.69	6.46	0.23	0.23	0.03
17 Eylül 2009 18:00	4.22	8.64	15.96	6.95	6.97	0.02	-0.02	0.00
17 Eylül 2009 18:10	4.15	8.20	15.76	7.05	6.91	0.14	0.14	0.02
17 Eylül 2009 18:20	4.10	7.19	15.62	7.24	6.89	0.35	0.35	0.05
17 Eylül 2009 18:30	3.93	9.91	15.49	7.61	6.65	0.96	0.96	0.13
17 Eylül 2009 18:40	3.27	13.35	15.38	7.52	5.88	1.64	1.64	0.22
17 Eylül 2009 18:50	3.08	12.06	15.34	7.35	5.70	1.65	1.65	0.22
17 Eylül 2009 19:00	3.49	13.15	15.27	7.10	6.12	0.98	0.98	0.14
17 Eylül 2009 19:10	4.58	9.18	15.18	7.00	7.37	0.37	-0.37	0.05
17 Eylül 2009 19:20	4.60	8.74	15.09	7.14	7.41	0.26	-0.26	0.04
17 Eylül 2009 19:30	5.20	7.25	15.01	6.96	8.08	1.12	-1.12	0.16
17 Eylül 2009 19:40	5.56	7.26	14.89	6.57	8.44	1.88	-1.88	0.29
17 Eylül 2009 19:50	4.81	8.79	14.87	6.78	7.62	0.84	-0.84	0.12
17 Eylül 2009 20:00	5.06	7.87	14.74	6.53	7.91	1.38	-1.38	0.21
17 Eylül 2009 20:10	5.52	9.49	14.76	6.63	8.32	1.70	-1.70	0.26
17 Eylül 2009 20:20	5.67	8.52	14.77	6.55	8.51	1.96	-1.96	0.30

Tarih	V ₁ (m/s)	Yön (°)	T (C°)	V ₂ Ölçüm (m/s)	V ₂ Tahmin (m/s)	Mutlak Hata (m/s)	Hata (m/s)	Mutlak Hata/V ₂ Ölçüm
17 Eylül 2009 20:30	5.59	10.46	14.81	6.72	8.37	1.65	-1.65	0.25
17 Eylül 2009 20:40	5.53	9.04	14.87	6.52	8.36	1.84	-1.84	0.28
17 Eylül 2009 20:50	5.73	11.32	14.90	6.21	8.48	2.27	-2.27	0.37
17 Eylül 2009 21:00	5.85	8.95	14.95	6.22	8.68	2.46	-2.46	0.40
17 Eylül 2009 21:10	6.14	7.88	15.02	6.26	8.99	2.73	-2.73	0.44
17 Eylül 2009 21:20	6.48	6.93	15.01	5.71	9.33	3.62	-3.62	0.63
17 Eylül 2009 21:30	6.33	7.93	15.05	5.66	9.16	3.50	-3.50	0.62
17 Eylül 2009 21:40	5.94	7.99	15.01	5.91	8.79	2.88	-2.88	0.49
17 Eylül 2009 21:50	6.18	8.25	15.00	6.24	9.01	2.77	-2.77	0.44
17 Eylül 2009 22:00	6.09	7.91	14.94	6.84	8.94	2.10	-2.10	0.31
17 Eylül 2009 22:10	5.70	6.24	14.80	7.37	8.61	1.24	-1.24	0.17
17 Eylül 2009 22:20	6.11	4.99	14.64	7.52	9.04	1.52	-1.52	0.20
17 Eylül 2009 22:30	5.36	4.23	14.60	7.77	8.32	0.55	-0.55	0.07
17 Eylül 2009 22:40	5.30	2.50	14.74	7.97	8.32	0.35	-0.35	0.04
17 Eylül 2009 22:50	4.77	2.86	14.85	7.82	7.75	0.07	0.07	0.01
17 Eylül 2009 23:00	4.36	2.43	14.89	7.62	7.31	0.31	0.31	0.04
17 Eylül 2009 23:10	4.30	3.86	14.89	7.33	7.20	0.13	0.13	0.02
17 Eylül 2009 23:20	4.95	2.56	14.84	6.97	7.95	0.97	-0.97	0.14
17 Eylül 2009 23:30	5.15	1.84	14.93	6.88	8.18	1.30	-1.30	0.19
17 Eylül 2009 23:40	5.08	2.46	14.96	6.93	8.10	1.17	-1.17	0.17
17 Eylül 2009 23:50	4.62	2.88	15.03	6.99	7.58	0.59	-0.59	0.08
18 Eylül 2009 0:00	4.30	5.93	15.03	6.91	7.15	0.25	-0.25	0.04
18 Eylül 2009 0:10	4.43	3.45	14.91	7.23	7.36	0.13	-0.13	0.02
18 Eylül 2009 0:20	4.23	1.40	14.93	7.63	7.18	0.45	0.45	0.06
18 Eylül 2009 0:30	4.30	1.20	14.92	7.40	7.27	0.13	0.13	0.02
18 Eylül 2009 0:40	3.99	1.17	14.96	7.15	6.92	0.23	0.23	0.03
18 Eylül 2009 0:50	3.81	1.09	15.03	7.03	6.71	0.32	0.32	0.05
18 Eylül 2009 1:00	3.92	0.84	15.08	6.71	6.84	0.14	-0.14	0.02
18 Eylül 2009 1:10	3.80	2.60	14.91	6.30	6.68	0.38	-0.38	0.06
18 Eylül 2009 1:20	3.55	2.94	14.63	5.89	6.39	0.51	-0.51	0.09
18 Eylül 2009 1:30	3.87	1.61	14.51	6.05	6.79	0.73	-0.73	0.12
18 Eylül 2009 1:40	4.10	2.13	14.40	6.25	7.02	0.78	-0.78	0.12
18 Eylül 2009 1:50	4.39	0.79	14.61	6.34	7.38	1.04	-1.04	0.16
18 Eylül 2009 2:00	4.55	1.12	14.53	6.20	7.56	1.36	-1.36	0.22
18 Eylül 2009 2:10	5.06	1.08	14.52	6.44	8.11	1.67	-1.67	0.26
18 Eylül 2009 2:20	5.47	1.61	14.46	6.61	8.51	1.90	-1.90	0.29
18 Eylül 2009 2:30	5.40	1.04	14.20	6.34	8.44	2.10	-2.10	0.33
18 Eylül 2009 2:40	5.17	2.21	13.79	5.64	8.15	2.50	-2.50	0.44
18 Eylül 2009 2:50	5.05	2.97	13.61	5.82	7.98	2.16	-2.16	0.37
18 Eylül 2009 3:00	4.74	2.70	13.79	6.68	7.68	1.00	-1.00	0.15
18 Eylül 2009 3:10	4.42	3.72	13.76	6.90	7.31	0.42	-0.42	0.06
18 Eylül 2009 3:20	3.78	5.59	13.71	7.11	6.59	0.52	0.52	0.07

Tarih	V ₁ (m/s)	Yön (°)	T (C°)	V ₂ Ölçüm (m/s)	V ₂ Tahmin (m/s)	Mutlak Hata (m/s)	Hata (m/s)	Mutlak Hata/V ₂ Ölçüm
18 Eylül 2009 3:30	3.51	4.59	13.63	7.31	6.32	0.98	0.98	0.13
18 Eylül 2009 3:40	3.83	5.00	13.54	7.41	6.65	0.76	0.76	0.10
18 Eylül 2009 3:50	4.21	4.27	13.51	7.05	7.07	0.02	-0.02	0.00
18 Eylül 2009 4:00	4.42	5.24	13.46	6.43	7.25	0.83	-0.83	0.13
18 Eylül 2009 4:10	4.10	6.67	13.45	5.84	6.89	1.05	-1.05	0.18
18 Eylül 2009 4:20	3.96	8.05	13.52	5.31	6.71	1.40	-1.40	0.26
18 Eylül 2009 4:30	3.57	8.96	13.80	4.88	6.30	1.42	-1.42	0.29
18 Eylül 2009 4:40	4.10	7.36	13.90	5.21	6.89	1.68	-1.68	0.32
18 Eylül 2009 4:50	4.81	5.95	13.97	5.35	7.67	2.32	-2.32	0.43
18 Eylül 2009 5:00	5.72	3.93	13.98	5.69	8.65	2.96	-2.96	0.52
18 Eylül 2009 5:10	5.75	3.54	14.09	5.80	8.71	2.90	-2.90	0.50
18 Eylül 2009 5:20	5.09	4.00	14.20	5.68	8.04	2.36	-2.36	0.42
18 Eylül 2009 5:30	5.02	4.96	14.25	5.56	7.94	2.38	-2.38	0.43
18 Eylül 2009 5:40	4.99	2.49	14.17	5.43	7.97	2.54	-2.54	0.47
18 Eylül 2009 5:50	5.21	1.87	14.22	5.18	8.23	3.05	-3.05	0.59
18 Eylül 2009 6:00	5.38	2.43	14.37	4.88	8.39	3.51	-3.51	0.72
18 Eylül 2009 6:10	5.47	3.99	14.42	5.13	8.44	3.31	-3.31	0.65
18 Eylül 2009 6:20	5.76	4.82	14.43	5.86	8.70	2.84	-2.84	0.49
18 Eylül 2009 6:30	5.55	4.74	14.44	6.03	8.49	2.46	-2.46	0.41
18 Eylül 2009 6:40	5.38	5.61	14.54	5.99	8.30	2.31	-2.31	0.38
18 Eylül 2009 6:50	5.20	5.07	14.63	6.55	8.13	1.58	-1.58	0.24
18 Eylül 2009 7:00	5.75	3.60	14.58	7.11	8.73	1.62	-1.62	0.23
18 Eylül 2009 7:10	5.61	2.84	14.69	7.38	8.63	1.25	-1.25	0.17
18 Eylül 2009 7:20	5.05	3.77	14.75	7.42	8.02	0.60	-0.60	0.08
18 Eylül 2009 7:30	4.78	7.58	14.90	7.38	7.62	0.24	-0.24	0.03
18 Eylül 2009 7:40	5.26	6.01	14.85	7.74	8.18	0.44	-0.44	0.06
18 Eylül 2009 7:50	4.86	9.26	14.86	7.68	7.66	0.01	0.01	0.00
18 Eylül 2009 8:00	5.53	9.18	15.01	8.18	8.36	0.18	-0.18	0.02
18 Eylül 2009 8:10	5.79	9.49	14.96	8.09	8.61	0.52	-0.52	0.06
18 Eylül 2009 8:20	4.59	12.14	14.98	7.47	7.30	0.18	0.18	0.02
18 Eylül 2009 8:30	5.03	10.38	15.12	8.04	7.81	0.23	0.23	0.03
18 Eylül 2009 8:40	4.90	10.20	15.19	7.79	7.68	0.11	0.11	0.01
18 Eylül 2009 8:50	5.55	8.80	15.29	8.34	8.39	0.05	-0.05	0.01
18 Eylül 2009 9:00	5.42	11.21	15.41	8.16	8.19	0.03	-0.03	0.00
18 Eylül 2009 9:10	6.01	6.93	15.29	8.52	8.91	0.39	-0.39	0.05
18 Eylül 2009 9:20	5.81	8.53	15.55	8.94	8.66	0.28	0.28	0.03
18 Eylül 2009 9:30	6.55	7.01	15.74	7.93	9.40	1.47	-1.47	0.19
18 Eylül 2009 9:40	6.23	7.49	15.54	8.43	9.09	0.66	-0.66	0.08
18 Eylül 2009 9:50	6.95	7.92	15.50	8.20	9.72	1.52	-1.52	0.19
18 Eylül 2009 10:00	6.10	9.94	15.51	7.64	8.89	1.25	-1.25	0.16
18 Eylül 2009 10:10	5.59	10.35	15.43	7.01	8.39	1.38	-1.38	0.20
18 Eylül 2009 10:20	5.53	11.41	15.45	7.63	8.29	0.67	-0.67	0.09

Tarih	V ₁ (m/s)	Yön (°)	T (C°)	V ₂ Ölçüm (m/s)	V ₂ Tahmin (m/s)	Mutlak Hata (m/s)	Hata (m/s)	Mutlak Hata/V ₂ Ölçüm
18 Eylül 2009 10:30	6.16	12.38	15.41	8.26	8.88	0.62	-0.62	0.08
18 Eylül 2009 10:40	6.55	9.35	15.65	7.82	9.33	1.51	-1.51	0.19
18 Eylül 2009 10:50	6.45	8.51	15.97	7.85	9.25	1.40	-1.40	0.18
18 Eylül 2009 11:00	5.59	12.80	16.25	8.59	8.30	0.29	0.29	0.03
18 Eylül 2009 11:10	6.53	10.85	16.36	8.52	9.25	0.73	-0.73	0.09
18 Eylül 2009 11:20	5.92	11.11	16.59	8.27	8.65	0.38	-0.38	0.05
18 Eylül 2009 11:30	5.36	12.63	17.12	7.85	7.99	0.15	-0.15	0.02
18 Eylül 2009 11:40	6.56	7.81	17.01	7.41	9.27	1.85	-1.85	0.25
18 Eylül 2009 11:50	6.24	11.46	17.14	8.08	8.88	0.80	-0.80	0.10
18 Eylül 2009 12:00	5.89	9.49	16.97	8.52	8.61	0.09	-0.09	0.01
18 Eylül 2009 12:10	5.55	11.79	16.52	7.86	8.27	0.40	-0.40	0.05
18 Eylül 2009 12:20	5.90	10.39	16.69	8.39	8.64	0.25	-0.25	0.03
18 Eylül 2009 12:30	5.14	15.25	16.93	8.37	7.72	0.65	0.65	0.08
18 Eylül 2009 12:40	5.80	15.20	17.15	8.42	8.37	0.05	0.05	0.01
18 Eylül 2009 12:50	5.52	11.72	17.70	8.90	8.10	0.80	0.80	0.09
18 Eylül 2009 13:00	6.35	7.60	17.71	9.37	8.96	0.41	0.41	0.04
18 Eylül 2009 13:10	5.06	13.82	18.59	9.55	7.42	2.13	2.13	0.22
18 Eylül 2009 13:20	5.40	9.51	18.62	8.83	7.81	1.02	1.02	0.12
18 Eylül 2009 13:30	5.78	13.45	18.37	8.29	8.19	0.10	0.10	0.01
18 Eylül 2009 13:40	5.65	9.69	18.21	8.18	8.15	0.03	0.03	0.00
18 Eylül 2009 13:50	5.77	8.89	18.24	8.67	8.28	0.39	0.39	0.05
18 Eylül 2009 14:00	5.20	10.76	18.50	8.15	7.63	0.53	0.53	0.06
18 Eylül 2009 14:10	4.95	12.04	18.64	7.30	7.33	0.03	-0.03	0.00
18 Eylül 2009 14:20	5.02	8.75	18.87	8.67	7.38	1.29	1.29	0.15
18 Eylül 2009 14:30	6.03	7.51	18.56	8.76	8.45	0.31	0.31	0.04
18 Eylül 2009 14:40	6.06	7.70	18.07	8.14	8.60	0.46	-0.46	0.06
18 Eylül 2009 14:50	6.23	9.01	17.93	8.05	8.78	0.73	-0.73	0.09
18 Eylül 2009 15:00	5.94	7.92	18.05	7.98	8.49	0.51	-0.51	0.06
18 Eylül 2009 15:10	6.38	9.14	18.35	7.72	8.80	1.08	-1.08	0.14
18 Eylül 2009 15:20	5.99	8.95	18.20	7.22	8.49	1.27	-1.27	0.18
18 Eylül 2009 15:30	5.92	8.57	17.26	7.32	8.63	1.30	-1.30	0.18
18 Eylül 2009 15:40	6.32	8.64	16.56	6.71	9.09	2.38	-2.38	0.36
18 Eylül 2009 15:50	6.19	7.41	16.32	7.13	9.02	1.90	-1.90	0.27
18 Eylül 2009 16:00	5.93	11.29	16.29	7.34	8.68	1.33	-1.33	0.18
18 Eylül 2009 16:10	7.47	7.76	16.31	7.73	10.11	2.37	-2.37	0.31
18 Eylül 2009 16:20	5.98	7.26	16.32	7.80	8.83	1.03	-1.03	0.13
18 Eylül 2009 16:30	7.03	6.69	16.34	8.13	9.78	1.65	-1.65	0.20
18 Eylül 2009 16:40	6.97	6.73	16.37	8.44	9.72	1.28	-1.28	0.15
18 Eylül 2009 16:50	6.67	6.62	16.37	8.82	9.47	0.65	-0.65	0.07
18 Eylül 2009 17:00	6.18	7.52	16.38	8.30	9.01	0.71	-0.71	0.09
18 Eylül 2009 17:10	6.45	7.04	16.34	8.51	9.27	0.76	-0.76	0.09
18 Eylül 2009 17:20	6.68	6.16	16.27	8.66	9.50	0.84	-0.84	0.10

Tarih	V ₁ (m/s)	Yön (°)	T (C°)	V ₂ Ölçüm (m/s)	V ₂ Tahmin (m/s)	Mutlak Hata (m/s)	Hata (m/s)	Mutlak Hata/V ₂ Ölçüm
18 Eylül 2009 17:30	6.59	6.24	16.25	8.43	9.42	0.99	-0.99	0.12
18 Eylül 2009 17:40	5.42	7.40	16.19	9.24	8.28	0.96	0.96	0.10
18 Eylül 2009 17:50	4.63	8.28	16.12	8.91	7.41	1.50	1.50	0.17
18 Eylül 2009 18:00	4.20	10.87	16.02	8.94	6.89	2.05	2.05	0.23
18 Eylül 2009 18:10	4.56	9.94	15.98	9.10	7.30	1.80	1.80	0.20
18 Eylül 2009 18:20	4.79	10.10	15.96	9.27	7.55	1.72	1.72	0.19
18 Eylül 2009 18:30	5.60	7.74	15.95	9.07	8.46	0.61	0.61	0.07
18 Eylül 2009 18:40	6.02	6.64	15.90	9.28	8.91	0.37	0.37	0.04
18 Eylül 2009 18:50	6.64	5.57	15.79	9.08	9.51	0.43	-0.43	0.05
18 Eylül 2009 19:00	6.85	5.48	15.78	9.13	9.70	0.57	-0.57	0.06
18 Eylül 2009 19:10	6.63	7.25	15.87	9.28	9.45	0.17	-0.17	0.02
18 Eylül 2009 19:20	6.77	6.78	15.93	9.70	9.58	0.12	0.12	0.01
18 Eylül 2009 19:30	7.22	6.43	15.99	9.91	9.97	0.06	-0.06	0.01
18 Eylül 2009 19:40	7.60	9.30	15.91	10.09	10.19	0.10	-0.10	0.01
18 Eylül 2009 19:50	8.53	6.83	15.71	9.66	10.89	1.23	-1.23	0.13
18 Eylül 2009 20:00	9.31	6.17	15.72	9.69	11.33	1.64	-1.64	0.17
18 Eylül 2009 20:10	9.36	6.33	15.70	10.02	11.36	1.34	-1.34	0.13
18 Eylül 2009 20:20	8.60	6.77	15.70	10.48	10.93	0.45	-0.45	0.04
18 Eylül 2009 20:30	9.06	6.79	15.61	10.75	11.20	0.45	-0.45	0.04
18 Eylül 2009 20:40	8.85	5.99	15.48	11.18	11.09	0.09	0.09	0.01
18 Eylül 2009 20:50	8.61	6.40	15.46	10.90	10.95	0.05	-0.05	0.00
18 Eylül 2009 21:00	7.78	5.98	15.49	9.96	10.41	0.45	-0.45	0.05
18 Eylül 2009 21:10	7.26	6.20	15.48	9.91	10.01	0.10	-0.10	0.01
18 Eylül 2009 21:20	7.55	6.98	15.39	10.05	10.22	0.17	-0.17	0.02
18 Eylül 2009 21:30	8.12	6.29	15.54	10.73	10.64	0.09	0.09	0.01
18 Eylül 2009 21:40	8.27	5.95	15.64	11.29	10.74	0.55	0.55	0.05
18 Eylül 2009 21:50	8.46	6.10	15.69	10.28	10.86	0.58	-0.58	0.06
18 Eylül 2009 22:00	8.85	5.57	15.72	10.05	11.10	1.05	-1.05	0.10
18 Eylül 2009 22:10	8.07	5.70	15.74	11.30	10.61	0.69	0.69	0.06
18 Eylül 2009 22:20	7.87	5.59	15.73	10.99	10.48	0.51	0.51	0.05
18 Eylül 2009 22:30	8.24	6.46	15.69	10.43	10.71	0.28	-0.28	0.03
18 Eylül 2009 22:40	7.63	6.40	15.66	11.17	10.29	0.88	0.88	0.08
18 Eylül 2009 22:50	7.26	7.45	15.71	11.67	9.98	1.69	1.69	0.14
18 Eylül 2009 23:00	7.93	6.13	15.70	11.42	10.51	0.91	0.91	0.08
18 Eylül 2009 23:10	6.99	6.68	15.70	10.80	9.79	1.01	1.01	0.09
18 Eylül 2009 23:20	7.08	5.95	15.66	10.97	9.88	1.09	1.09	0.10
18 Eylül 2009 23:30	7.08	6.55	15.62	10.54	9.86	0.68	0.68	0.06
18 Eylül 2009 23:40	6.60	6.54	15.61	10.32	9.45	0.87	0.87	0.08
18 Eylül 2009 23:50	6.55	5.69	15.58	11.10	9.44	1.66	1.66	0.15

MAD	1.84
MAPD	26.643 % 82
Kümülatif Hata	-452.60
MSE	5.86
RMSE	2.42
MAPE	% 36.88
Belirlilik Katsayısı	0.17
BIAS	-1.57

Çizelge A.3 : Süreklilik metodu ile yapılan rüzgar hızı tahmini ve istatistiksel analiz

Tarih	V ₁ (m/s)	Yön (°)	V ₂ Ölçüm (m/s)	V ₂ Tahmin (Süreklilik)	Mutlak Hata (m/s)	Hata (m/s)	Mutlak Hata/V ₂ Ölçüm
17 Eylül 2009 0:00	8.46	3.90	9.31	4.40	4.92	4.92	0.53
17 Eylül 2009 0:10	8.31	4.10	9	4.77	4.23	4.23	0.47
17 Eylül 2009 0:20	8.43	3.18	9.14	4.90	4.24	4.24	0.46
17 Eylül 2009 0:30	8.33	3.37	8.56	5.22	3.34	3.34	0.39
17 Eylül 2009 0:40	7.44	4.32	8.92	5.25	3.67	3.67	0.41
17 Eylül 2009 0:50	7.27	4.38	9.59	5.02	4.58	4.58	0.48
17 Eylül 2009 1:00	6.53	5.80	8.86	5.22	3.64	3.64	0.41
17 Eylül 2009 1:10	6.17	5.32	8.54	5.68	2.86	2.86	0.33
17 Eylül 2009 1:20	6.28	4.48	7.395	6.28	1.12	1.12	0.15
17 Eylül 2009 1:30	5.69	5.14	6.981	6.88	0.10	0.10	0.01
17 Eylül 2009 1:40	5.34	4.16	7.067	7.06	0.01	0.01	0.00
17 Eylül 2009 1:50	6.43	3.92	7.207	6.49	0.72	0.72	0.10
17 Eylül 2009 2:00	6.14	5.17	7.561	7.55	0.02	0.02	0.00
17 Eylül 2009 2:10	5.79	3.02	7.233	7.29	0.06	-0.06	0.01
17 Eylül 2009 2:20	5.65	5.80	6.86	7.14	0.28	-0.28	0.04
17 Eylül 2009 2:30	5.89	4.75	7.06	7.72	0.66	-0.66	0.09
17 Eylül 2009 2:40	5.94	3.99	7.449	7.52	0.07	-0.07	0.01
17 Eylül 2009 2:50	5.25	3.62	7.46	6.85	0.61	0.61	0.08
17 Eylül 2009 3:00	5.21	2.05	6.196	7.36	1.16	-1.16	0.19
17 Eylül 2009 3:10	4.86	3.81	5.134	7.13	1.99	-1.99	0.39
17 Eylül 2009 3:20	5.05	2.92	5.898	6.89	0.99	-0.99	0.17
17 Eylül 2009 3:30	5.18	3.10	5.45	7.51	2.06	-2.06	0.38
17 Eylül 2009 3:40	5.03	3.74	5.245	7.37	2.12	-2.12	0.40
17 Eylül 2009 3:50	4.44	4.02	5.24	7.35	2.11	-2.11	0.40
17 Eylül 2009 4:00	3.59	5.88	5.407	7.59	2.18	-2.18	0.40
17 Eylül 2009 4:10	3.32	5.94	5.162	8.33	3.17	-3.17	0.61
17 Eylül 2009 4:20	3.23	6.44	4.15	8.46	4.31	-4.31	1.04
17 Eylül 2009 4:30	3.01	9.47	4.01	8.55	4.54	-4.54	1.13
17 Eylül 2009 4:40	4.73	5.16	3.815	8.34	4.53	-4.53	1.19
17 Eylül 2009 4:50	4.51	5.32	4.532	8.88	4.35	-4.35	0.96
17 Eylül 2009 5:00	4.92	4.26	4.36	8.38	4.02	-4.02	0.92
17 Eylül 2009 5:10	4.79	6.49	4.433	8.41	3.98	-3.98	0.90
17 Eylül 2009 5:20	4.98	5.87	4.525	8.11	3.59	-3.59	0.79
17 Eylül 2009 5:30	6.03	3.15	5.207	7.77	2.57	-2.57	0.49
17 Eylül 2009 5:40	6.74	2.81	6.021	7.54	1.52	-1.52	0.25
17 Eylül 2009 5:50	7.05	3.29	5.855	7.78	1.92	-1.92	0.33
17 Eylül 2009 6:00	6.48	5.05	5.369	7.64	2.27	-2.27	0.42
17 Eylül 2009 6:10	5.90	6.59	5.608	8.86	3.25	-3.25	0.58
17 Eylül 2009 6:20	5.87	7.81	5.278	7.27	1.99	-1.99	0.38

Tarih	V ₁ (m/s)	Yön (°)	V ₂ Ölçüm (m/s)	V ₂ Tahmin (Süreklilik)	Mutlak Hata (m/s)	Hata (m/s)	Mutlak Hata/V ₂ Ölçüm
17 Eylül 2009 6:30	5.92	7.21	5.389	7.79	2.40	-2.40	0.45
17 Eylül 2009 6:40	6.44	6.80	5.502	6.94	1.44	-1.44	0.26
17 Eylül 2009 6:50	5.61	7.49	5.054	7.38	2.32	-2.32	0.46
17 Eylül 2009 7:00	5.19	8.57	4.722	7.00	2.28	-2.28	0.48
17 Eylül 2009 7:10	5.40	7.79	5.047	6.72	1.67	-1.67	0.33
17 Eylül 2009 7:20	6.00	6.88	5.47	7.46	1.99	-1.99	0.36
17 Eylül 2009 7:30	5.67	8.87	5.05	6.71	1.66	-1.66	0.33
17 Eylül 2009 7:40	5.75	7.93	4.229	7.55	3.33	-3.33	0.79
17 Eylül 2009 7:50	6.58	7.60	3.894	7.48	3.59	-3.59	0.92
17 Eylül 2009 8:00	5.92	8.00	3.943	8.13	4.19	-4.19	1.06
17 Eylül 2009 8:10	6.87	7.58	4.333	7.58	3.24	-3.24	0.75
17 Eylül 2009 8:20	6.36	8.37	4.19	6.88	2.69	-2.69	0.64
17 Eylül 2009 8:30	5.34	9.63	3.887	6.04	2.16	-2.16	0.55
17 Eylül 2009 8:40	6.10	8.23	3.69	7.12	3.43	-3.43	0.93
17 Eylül 2009 8:50	5.85	9.62	3.31	7.51	4.20	-4.20	1.27
17 Eylül 2009 9:00	5.24	10.69	2.642	7.41	4.77	-4.77	1.80
17 Eylül 2009 9:10	5.30	10.86	3.008	6.42	3.42	-3.42	1.14
17 Eylül 2009 9:20	6.07	9.71	2.893	6.85	3.95	-3.95	1.37
17 Eylül 2009 9:30	5.80	9.51	2.87	7.57	4.70	-4.70	1.64
17 Eylül 2009 9:40	5.97	12.40	3.045	8.11	5.07	-5.07	1.66
17 Eylül 2009 9:50	6.66	8.17	2.92	6.34	3.42	-3.42	1.17
17 Eylül 2009 10:00	7.33	6.33	3.788	7.27	3.48	-3.48	0.92
17 Eylül 2009 10:10	7.03	5.51	3.453	6.88	3.43	-3.43	0.99
17 Eylül 2009 10:20	6.34	8.01	3.407	7.66	4.25	-4.25	1.25
17 Eylül 2009 10:30	6.25	7.15	3.143	8.03	4.89	-4.89	1.55
17 Eylül 2009 10:40	6.13	8.47	3.349	7.25	3.90	-3.90	1.17
17 Eylül 2009 10:50	6.92	7.14	3.173	6.65	3.48	-3.48	1.10
17 Eylül 2009 11:00	6.03	10.59	3.577	7.49	3.91	-3.91	1.09
17 Eylül 2009 11:10	6.19	8.93	4.167	6.91	2.74	-2.74	0.66
17 Eylül 2009 11:20	6.49	7.81	4.328	7.05	2.73	-2.73	0.63
17 Eylül 2009 11:30	6.72	9.47	4.641	7.29	2.65	-2.65	0.57
17 Eylül 2009 11:40	6.77	8.20	4.233	7.86	3.63	-3.63	0.86
17 Eylül 2009 11:50	6.83	7.62	4.115	7.28	3.16	-3.16	0.77
17 Eylül 2009 12:00	6.65	9.36	4.561	8.31	3.75	-3.75	0.82
17 Eylül 2009 12:10	7.25	7.11	4.362	7.54	3.18	-3.18	0.73
17 Eylül 2009 12:20	6.13	10.04	4.038	8.50	4.46	-4.46	1.11
17 Eylül 2009 12:30	6.02	11.41	4.249	7.66	3.41	-3.41	0.80
17 Eylül 2009 12:40	6.85	7.93	4.019	8.67	4.65	-4.65	1.16
17 Eylül 2009 12:50	6.32	10.96	3.834	8.27	4.44	-4.44	1.16
17 Eylül 2009 13:00	6.42	6.51	3.688	7.70	4.02	-4.02	1.09
17 Eylül 2009 13:10	6.09	8.57	3.928	7.45	3.52	-3.52	0.90
17 Eylül 2009 13:20	6.10	8.36	4.148	7.68	3.53	-3.53	0.85

Tarih	V ₁ (m/s)	Yön (°)	V ₂ Ölçüm (m/s)	V ₂ Tahmin (Süreklilik)	Mutlak Hata (m/s)	Hata (m/s)	Mutlak Hata/V ₂ Ölçüm
17 Eylül 2009 13:30	6.17	8.33	3.947	8.33	4.38	-4.38	1.11
17 Eylül 2009 13:40	6.09	7.20	4.404	7.79	3.39	-3.39	0.77
17 Eylül 2009 13:50	6.24	7.31	4.857	8.01	3.15	-3.15	0.65
17 Eylül 2009 14:00	6.64	6.68	4.983	7.42	2.44	-2.44	0.49
17 Eylül 2009 14:10	7.11	5.49	4.782	8.57	3.79	-3.79	0.79
17 Eylül 2009 14:20	7.08	7.23	5.154	8.60	3.45	-3.45	0.67
17 Eylül 2009 14:30	6.77	5.97	5.149	8.90	3.75	-3.75	0.73
17 Eylül 2009 14:40	6.86	4.63	5.247	8.75	3.50	-3.50	0.67
17 Eylül 2009 14:50	6.46	5.87	5.301	7.89	2.59	-2.59	0.49
17 Eylül 2009 15:00	5.93	7.58	5.544	7.59	2.05	-2.05	0.37
17 Eylül 2009 15:10	5.41	8.42	5.457	7.35	1.90	-1.90	0.35
17 Eylül 2009 15:20	6.27	5.53	5.379	7.12	1.74	-1.74	0.32
17 Eylül 2009 15:30	5.71	7.90	5.454	7.52	2.07	-2.07	0.38
17 Eylül 2009 15:40	6.14	5.76	5.583	7.09	1.50	-1.50	0.27
17 Eylül 2009 15:50	6.78	4.51	5.698	7.46	1.76	-1.76	0.31
17 Eylül 2009 16:00	6.21	6.64	6.272	6.79	0.51	-0.51	0.08
17 Eylül 2009 16:10	6.57	6.20	6.957	6.82	0.14	0.14	0.02
17 Eylül 2009 16:20	6.28	4.62	6.962	6.35	0.62	0.62	0.09
17 Eylül 2009 16:30	5.60	5.98	6.68	5.61	1.07	1.07	0.16
17 Eylül 2009 16:40	5.05	9.27	6.805	6.39	0.42	0.42	0.06
17 Eylül 2009 16:50	4.77	9.11	7.09	6.50	0.59	0.59	0.08
17 Eylül 2009 17:00	4.26	11.23	7.027	6.41	0.62	0.62	0.09
17 Eylül 2009 17:10	4.32	11.43	6.965	6.19	0.78	0.78	0.11
17 Eylül 2009 17:20	4.05	12.45	6.561	6.62	0.06	-0.06	0.01
17 Eylül 2009 17:30	4.07	8.55	6.281	6.54	0.26	-0.26	0.04
17 Eylül 2009 17:40	3.77	9.52	6.368	6.46	0.09	-0.09	0.01
17 Eylül 2009 17:50	3.82	10.94	6.686	7.30	0.61	-0.61	0.09
17 Eylül 2009 18:00	4.22	8.64	6.952	7.46	0.51	-0.51	0.07
17 Eylül 2009 18:10	4.15	8.20	7.049	7.21	0.16	-0.16	0.02
17 Eylül 2009 18:20	4.10	7.19	7.237	7.43	0.20	-0.20	0.03
17 Eylül 2009 18:30	3.93	9.91	7.608	6.73	0.88	0.88	0.12
17 Eylül 2009 18:40	3.27	13.35	7.518	8.00	0.48	-0.48	0.06
17 Eylül 2009 18:50	3.08	12.06	7.349	8.26	0.91	-0.91	0.12
17 Eylül 2009 19:00	3.49	13.15	7.097	9.12	2.02	-2.02	0.29
17 Eylül 2009 19:10	4.58	9.18	7.001	9.15	2.15	-2.15	0.31
17 Eylül 2009 19:20	4.60	8.74	7.143	9.15	2.01	-2.01	0.28
17 Eylül 2009 19:30	5.20	7.25	6.963	8.80	1.84	-1.84	0.26
17 Eylül 2009 19:40	5.56	7.26	6.568	7.97	1.41	-1.41	0.21
17 Eylül 2009 19:50	4.81	8.79	6.78	7.42	0.64	-0.64	0.09
17 Eylül 2009 20:00	5.06	7.87	6.532	6.95	0.42	-0.42	0.06
17 Eylül 2009 20:10	5.52	9.49	6.627	7.32	0.70	-0.70	0.11
17 Eylül 2009 20:20	5.67	8.52	6.553	7.49	0.94	-0.94	0.14

Tarih	V ₁ (m/s)	Yön (°)	V ₂ Ölçüm (m/s)	V ₂ Tahmin (Süreklilik)	Mutlak Hata (m/s)	Hata (m/s)	Mutlak Hata/V ₂ Ölçüm
17 Eylül 2009 20:30	5.59	10.46	6.722	7.17	0.45	-0.45	0.07
17 Eylül 2009 20:40	5.53	9.04	6.517	7.69	1.17	-1.17	0.18
17 Eylül 2009 20:50	5.73	11.32	6.212	7.72	1.50	-1.50	0.24
17 Eylül 2009 21:00	5.85	8.95	6.218	8.22	2.00	-2.00	0.32
17 Eylül 2009 21:10	6.14	7.88	6.262	7.86	1.60	-1.60	0.26
17 Eylül 2009 21:20	6.48	6.93	5.71	8.08	2.37	-2.37	0.42
17 Eylül 2009 21:30	6.33	7.93	5.664	8.08	2.42	-2.42	0.43
17 Eylül 2009 21:40	5.94	7.99	5.913	7.80	1.89	-1.89	0.32
17 Eylül 2009 21:50	6.18	8.25	6.24	7.87	1.63	-1.63	0.26
17 Eylül 2009 22:00	6.09	7.91	6.836	8.43	1.59	-1.59	0.23
17 Eylül 2009 22:10	5.70	6.24	7.373	7.25	0.12	0.12	0.02
17 Eylül 2009 22:20	6.11	4.99	7.523	6.32	1.20	1.20	0.16
17 Eylül 2009 22:30	5.36	4.23	7.769	5.67	2.10	2.10	0.27
17 Eylül 2009 22:40	5.30	2.50	7.969	5.56	2.41	2.41	0.30
17 Eylül 2009 22:50	4.77	2.86	7.815	5.87	1.95	1.95	0.25
17 Eylül 2009 23:00	4.36	2.43	7.623	6.27	1.35	1.35	0.18
17 Eylül 2009 23:10	4.30	3.86	7.33	7.27	0.06	0.06	0.01
17 Eylül 2009 23:20	4.95	2.56	6.972	8.22	1.25	-1.25	0.18
17 Eylül 2009 23:30	5.15	1.84	6.879	9.00	2.12	-2.12	0.31
17 Eylül 2009 23:40	5.08	2.46	6.933	9.33	2.40	-2.40	0.35
17 Eylül 2009 23:50	4.62	2.88	6.994	9.33	2.34	-2.34	0.33
18 Eylül 2009 0:00	4.30	5.93	6.906	9.31	2.40	-2.40	0.35
18 Eylül 2009 0:10	4.43	3.45	7.229	9.00	1.77	-1.77	0.24
18 Eylül 2009 0:20	4.23	1.40	7.63	9.14	1.51	-1.51	0.20
18 Eylül 2009 0:30	4.30	1.20	7.396	8.56	1.16	-1.16	0.16
18 Eylül 2009 0:40	3.99	1.17	7.147	8.92	1.77	-1.77	0.25
18 Eylül 2009 0:50	3.81	1.09	7.031	9.59	2.56	-2.56	0.36
18 Eylül 2009 1:00	3.92	0.84	6.707	8.86	2.15	-2.15	0.32
18 Eylül 2009 1:10	3.80	2.60	6.296	8.54	2.24	-2.24	0.36
18 Eylül 2009 1:20	3.55	2.94	5.886	7.40	1.51	-1.51	0.26
18 Eylül 2009 1:30	3.87	1.61	6.051	6.98	0.93	-0.93	0.15
18 Eylül 2009 1:40	4.10	2.13	6.245	7.07	0.82	-0.82	0.13
18 Eylül 2009 1:50	4.39	0.79	6.338	7.21	0.87	-0.87	0.14
18 Eylül 2009 2:00	4.55	1.12	6.199	7.56	1.36	-1.36	0.22
18 Eylül 2009 2:10	5.06	1.08	6.436	7.23	0.80	-0.80	0.12
18 Eylül 2009 2:20	5.47	1.61	6.611	6.86	0.25	-0.25	0.04
18 Eylül 2009 2:30	5.40	1.04	6.341	7.06	0.72	-0.72	0.11
18 Eylül 2009 2:40	5.17	2.21	5.642	7.45	1.81	-1.81	0.32
18 Eylül 2009 2:50	5.05	2.97	5.822	7.46	1.64	-1.64	0.28
18 Eylül 2009 3:00	4.74	2.70	6.684	6.20	0.49	0.49	0.07
18 Eylül 2009 3:10	4.42	3.72	6.897	5.13	1.76	1.76	0.26
18 Eylül 2009 3:20	3.78	5.59	7.109	5.90	1.21	1.21	0.17

Tarih	V ₁ (m/s)	Yön (°)	V ₂ Ölçüm (m/s)	V ₂ Tahmin (Süreklilik)	Mutlak Hata (m/s)	Hata (m/s)	Mutlak Hata/V ₂ Ölçüm
18 Eylül 2009 3:30	3.51	4.59	7.308	5.45	1.86	1.86	0.25
18 Eylül 2009 3:40	3.83	5.00	7.409	5.25	2.16	2.16	0.29
18 Eylül 2009 3:50	4.21	4.27	7.05	5.24	1.81	1.81	0.26
18 Eylül 2009 4:00	4.42	5.24	6.425	5.41	1.02	1.02	0.16
18 Eylül 2009 4:10	4.10	6.67	5.838	5.16	0.68	0.68	0.12
18 Eylül 2009 4:20	3.96	8.05	5.311	4.15	1.16	1.16	0.22
18 Eylül 2009 4:30	3.57	8.96	4.884	4.01	0.87	0.87	0.18
18 Eylül 2009 4:40	4.10	7.36	5.211	3.82	1.40	1.40	0.27
18 Eylül 2009 4:50	4.81	5.95	5.346	4.53	0.81	0.81	0.15
18 Eylül 2009 5:00	5.72	3.93	5.692	4.36	1.33	1.33	0.23
18 Eylül 2009 5:10	5.75	3.54	5.804	4.43	1.37	1.37	0.24
18 Eylül 2009 5:20	5.09	4.00	5.678	4.53	1.15	1.15	0.20
18 Eylül 2009 5:30	5.02	4.96	5.562	5.21	0.36	0.36	0.06
18 Eylül 2009 5:40	4.99	2.49	5.431	6.02	0.59	-0.59	0.11
18 Eylül 2009 5:50	5.21	1.87	5.18	5.86	0.68	-0.68	0.13
18 Eylül 2009 6:00	5.38	2.43	4.879	5.37	0.49	-0.49	0.10
18 Eylül 2009 6:10	5.47	3.99	5.129	5.61	0.48	-0.48	0.09
18 Eylül 2009 6:20	5.76	4.82	5.858	5.28	0.58	0.58	0.10
18 Eylül 2009 6:30	5.55	4.74	6.032	5.39	0.64	0.64	0.11
18 Eylül 2009 6:40	5.38	5.61	5.992	5.50	0.49	0.49	0.08
18 Eylül 2009 6:50	5.20	5.07	6.553	5.05	1.50	1.50	0.23
18 Eylül 2009 7:00	5.75	3.60	7.108	4.72	2.39	2.39	0.34
18 Eylül 2009 7:10	5.61	2.84	7.379	5.05	2.33	2.33	0.32
18 Eylül 2009 7:20	5.05	3.77	7.424	5.47	1.95	1.95	0.26
18 Eylül 2009 7:30	4.78	7.58	7.377	5.05	2.33	2.33	0.32
18 Eylül 2009 7:40	5.26	6.01	7.74	4.23	3.51	3.51	0.45
18 Eylül 2009 7:50	4.86	9.26	7.679	3.89	3.79	3.79	0.49
18 Eylül 2009 8:00	5.53	9.18	8.18	3.94	4.24	4.24	0.52
18 Eylül 2009 8:10	5.79	9.49	8.09	4.33	3.76	3.76	0.46
18 Eylül 2009 8:20	4.59	12.14	7.473	4.19	3.28	3.28	0.44
18 Eylül 2009 8:30	5.03	10.38	8.04	3.89	4.15	4.15	0.52
18 Eylül 2009 8:40	4.90	10.20	7.792	3.69	4.10	4.10	0.53
18 Eylül 2009 8:50	5.55	8.80	8.34	3.31	5.03	5.03	0.60
18 Eylül 2009 9:00	5.42	11.21	8.16	2.64	5.52	5.52	0.68
18 Eylül 2009 9:10	6.01	6.93	8.52	3.01	5.51	5.51	0.65
18 Eylül 2009 9:20	5.81	8.53	8.94	2.89	6.05	6.05	0.68
18 Eylül 2009 9:30	6.55	7.01	7.926	2.87	5.06	5.06	0.64
18 Eylül 2009 9:40	6.23	7.49	8.43	3.05	5.39	5.39	0.64
18 Eylül 2009 9:50	6.95	7.92	8.2	2.92	5.28	5.28	0.64
18 Eylül 2009 10:00	6.10	9.94	7.639	3.79	3.85	3.85	0.50
18 Eylül 2009 10:10	5.59	10.35	7.008	3.45	3.56	3.56	0.51
18 Eylül 2009 10:20	5.53	11.41	7.625	3.41	4.22	4.22	0.55

Tarih	V ₁ (m/s)	Yön (°)	V ₂ Ölçüm (m/s)	V ₂ Tahmin (Süreklilik)	Mutlak Hata (m/s)	Hata (m/s)	Mutlak Hata/V ₂ Ölçüm
18 Eylül 2009 10:30	6.16	12.38	8.26	3.14	5.12	5.12	0.62
18 Eylül 2009 10:40	6.55	9.35	7.818	3.35	4.47	4.47	0.57
18 Eylül 2009 10:50	6.45	8.51	7.848	3.17	4.68	4.68	0.60
18 Eylül 2009 11:00	5.59	12.80	8.59	3.58	5.01	5.01	0.58
18 Eylül 2009 11:10	6.53	10.85	8.52	4.17	4.35	4.35	0.51
18 Eylül 2009 11:20	5.92	11.11	8.27	4.33	3.94	3.94	0.48
18 Eylül 2009 11:30	5.36	12.63	7.846	4.64	3.21	3.21	0.41
18 Eylül 2009 11:40	6.56	7.81	7.414	4.23	3.18	3.18	0.43
18 Eylül 2009 11:50	6.24	11.46	8.08	4.12	3.97	3.97	0.49
18 Eylül 2009 12:00	5.89	9.49	8.52	4.56	3.96	3.96	0.46
18 Eylül 2009 12:10	5.55	11.79	7.864	4.36	3.50	3.50	0.45
18 Eylül 2009 12:20	5.90	10.39	8.39	4.04	4.35	4.35	0.52
18 Eylül 2009 12:30	5.14	15.25	8.37	4.25	4.12	4.12	0.49
18 Eylül 2009 12:40	5.80	15.20	8.42	4.02	4.40	4.40	0.52
18 Eylül 2009 12:50	5.52	11.72	8.9	3.83	5.07	5.07	0.57
18 Eylül 2009 13:00	6.35	7.60	9.37	3.69	5.68	5.68	0.61
18 Eylül 2009 13:10	5.06	13.82	9.55	3.93	5.62	5.62	0.59
18 Eylül 2009 13:20	5.40	9.51	8.83	4.15	4.68	4.68	0.53
18 Eylül 2009 13:30	5.78	13.45	8.29	3.95	4.34	4.34	0.52
18 Eylül 2009 13:40	5.65	9.69	8.18	4.40	3.78	3.78	0.46
18 Eylül 2009 13:50	5.77	8.89	8.67	4.86	3.81	3.81	0.44
18 Eylül 2009 14:00	5.20	10.76	8.15	4.98	3.17	3.17	0.39
18 Eylül 2009 14:10	4.95	12.04	7.296	4.78	2.51	2.51	0.34
18 Eylül 2009 14:20	5.02	8.75	8.67	5.15	3.52	3.52	0.41
18 Eylül 2009 14:30	6.03	7.51	8.76	5.15	3.61	3.61	0.41
18 Eylül 2009 14:40	6.06	7.70	8.14	5.25	2.89	2.89	0.36
18 Eylül 2009 14:50	6.23	9.01	8.05	5.30	2.75	2.75	0.34
18 Eylül 2009 15:00	5.94	7.92	7.982	5.54	2.44	2.44	0.31
18 Eylül 2009 15:10	6.38	9.14	7.722	5.46	2.27	2.27	0.29
18 Eylül 2009 15:20	5.99	8.95	7.224	5.38	1.85	1.85	0.26
18 Eylül 2009 15:30	5.92	8.57	7.324	5.45	1.87	1.87	0.26
18 Eylül 2009 15:40	6.32	8.64	6.708	5.58	1.13	1.13	0.17
18 Eylül 2009 15:50	6.19	7.41	7.125	5.70	1.43	1.43	0.20
18 Eylül 2009 16:00	5.93	11.29	7.342	6.27	1.07	1.07	0.15
18 Eylül 2009 16:10	7.47	7.76	7.733	6.96	0.78	0.78	0.10
18 Eylül 2009 16:20	5.98	7.26	7.802	6.96	0.84	0.84	0.11
18 Eylül 2009 16:30	7.03	6.69	8.13	6.68	1.45	1.45	0.18
18 Eylül 2009 16:40	6.97	6.73	8.44	6.81	1.64	1.64	0.19
18 Eylül 2009 16:50	6.67	6.62	8.82	7.09	1.73	1.73	0.20
18 Eylül 2009 17:00	6.18	7.52	8.3	7.03	1.27	1.27	0.15
18 Eylül 2009 17:10	6.45	7.04	8.51	6.97	1.55	1.55	0.18
18 Eylül 2009 17:20	6.68	6.16	8.66	6.56	2.10	2.10	0.24

Tarih	V ₁ (m/s)	Yön (°)	V ₂ Ölçüm (m/s)	V ₂ Tahmin (Süreklilik)	Mutlak Hata (m/s)	Hata (m/s)	Mutlak Hata/V ₂ Ölçüm
18 Eylül 2009 17:30	6.59	6.24	8.43	6.28	2.15	2.15	0.25
18 Eylül 2009 17:40	5.42	7.40	9.24	6.37	2.87	2.87	0.31
18 Eylül 2009 17:50	4.63	8.28	8.91	6.69	2.22	2.22	0.25
18 Eylül 2009 18:00	4.20	10.87	8.94	6.95	1.99	1.99	0.22
18 Eylül 2009 18:10	4.56	9.94	9.1	7.05	2.05	2.05	0.23
18 Eylül 2009 18:20	4.79	10.10	9.27	7.24	2.03	2.03	0.22
18 Eylül 2009 18:30	5.60	7.74	9.07	7.61	1.46	1.46	0.16
18 Eylül 2009 18:40	6.02	6.64	9.28	7.52	1.76	1.76	0.19
18 Eylül 2009 18:50	6.64	5.57	9.08	7.35	1.73	1.73	0.19
18 Eylül 2009 19:00	6.85	5.48	9.13	7.10	2.03	2.03	0.22
18 Eylül 2009 19:10	6.63	7.25	9.28	7.00	2.28	2.28	0.25
18 Eylül 2009 19:20	6.77	6.78	9.7	7.14	2.56	2.56	0.26
18 Eylül 2009 19:30	7.22	6.43	9.91	6.96	2.95	2.95	0.30
18 Eylül 2009 19:40	7.60	9.30	10.09	6.57	3.52	3.52	0.35
18 Eylül 2009 19:50	8.53	6.83	9.66	6.78	2.88	2.88	0.30
18 Eylül 2009 20:00	9.31	6.17	9.69	6.53	3.16	3.16	0.33
18 Eylül 2009 20:10	9.36	6.33	10.02	6.63	3.39	3.39	0.34
18 Eylül 2009 20:20	8.60	6.77	10.48	6.55	3.93	3.93	0.37
18 Eylül 2009 20:30	9.06	6.79	10.75	6.72	4.03	4.03	0.37
18 Eylül 2009 20:40	8.85	5.99	11.18	6.52	4.66	4.66	0.42
18 Eylül 2009 20:50	8.61	6.40	10.9	6.21	4.69	4.69	0.43
18 Eylül 2009 21:00	7.78	5.98	9.96	6.22	3.74	3.74	0.38
18 Eylül 2009 21:10	7.26	6.20	9.91	6.26	3.65	3.65	0.37
18 Eylül 2009 21:20	7.55	6.98	10.05	5.71	4.34	4.34	0.43
18 Eylül 2009 21:30	8.12	6.29	10.73	5.66	5.07	5.07	0.47
18 Eylül 2009 21:40	8.27	5.95	11.29	5.91	5.38	5.38	0.48
18 Eylül 2009 21:50	8.46	6.10	10.28	6.24	4.04	4.04	0.39
18 Eylül 2009 22:00	8.85	5.57	10.05	6.84	3.21	3.21	0.32
18 Eylül 2009 22:10	8.07	5.70	11.3	7.37	3.93	3.93	0.35
18 Eylül 2009 22:20	7.87	5.59	10.99	7.52	3.47	3.47	0.32
18 Eylül 2009 22:30	8.24	6.46	10.43	7.77	2.66	2.66	0.26
18 Eylül 2009 22:40	7.63	6.40	11.17	7.97	3.20	3.20	0.29
18 Eylül 2009 22:50	7.26	7.45	11.67	7.82	3.86	3.86	0.33
18 Eylül 2009 23:00	7.93	6.13	11.42	7.62	3.80	3.80	0.33
18 Eylül 2009 23:10	6.99	6.68	10.8	7.33	3.47	3.47	0.32
18 Eylül 2009 23:20	7.08	5.95	10.97	6.97	4.00	4.00	0.36
18 Eylül 2009 23:30	7.08	6.55	10.54	6.88	3.66	3.66	0.35
18 Eylül 2009 23:40	6.60	6.54	10.32	6.93	3.39	3.39	0.33
18 Eylül 2009 23:50	6.55	5.69	11.1	6.99	4.11	4.11	0.37

MAPD	% 36.71
Kümülatif Hata	103.29

MSE	8.56
RMSE	2.93
MAPE	% 41.18
Belirlilik Katsayısı	0.12
BIAS	0.36

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Volkan Ögüt

Doğum Yeri ve Tarihi: Zonguldak, 04/07/1987

Adres: İTÜ İnşaat

E-Posta: volkanogut@windowslive.com

Lisans: Sakarya Üniversitesi

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

Köroğlu Mühendislik, Altyapı İnşaat Mühendisi, 2010 – 2011,

Prota Bilgisayar, Probina Orion Ürün Sorumlusu, 2011 - Halen