

Stokastik Modellerle Rüzgar Hızı Tahmini; Karabük Örneği

Bayram KÖSE¹, Ziyaddin RECEBLİ², Mehmet ÖZKAYMAK²

¹Öğr. Gör., Eskipazar Meslek Yüksek Okulu, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

²Doç. Dr., Enerji Sistemleri Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Karabük

Özet

Bir enerji kaynağı ve hava kütlelerinin hareketi olarak bilinen rüzgar, enerji ihtiyacını karşılaması bakımından ekonomik ve çevresel olarak çok büyük öneme sahiptir. Hava hareketleri, temel olarak güneşin dünyayı ısıtmasındaki ısıl farklar ve basınç farklılıklarından kaynaklanmaktadır. Rüzgarı yapısındaki türbülanslı çalkantılardan dolayı analitik olarak incelemek zordur.

Enerji üretiminin ve Rüzgar Enerji Sistemlerinin(RES) planlanmasında rüzgar hızının tahmin edilmesinin çok büyük önemi vardır. Bu çalışmada, stokastik autoregresif-hareketli ortalama ARMA (p, q) yaklaşımı ile Türkiye'nin Karabük ilinin rüzgâr hızı zaman serisini tahminlemek için uygulanmıştır. Çalışmada oluşturulan modellerle, geçmişteki veriler kullanılarak, gelecekteki rüzgâr hızları kestirilmiştir. Karabük ilinde rüzgar hızı tahmini için değişik modeller üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Modellerin ürettiği verilerin hata hesaplamaları yapılarak, gerçek verilerle ve modellerin birbirleriyle karşılaştırması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Rüzgâr hızı, tahmin, zaman serisi, Stokastik model, Rüzgar Enerji Sistemleri(RES),

Abstract

Wind known as a movement of air masses and an energy source, with regard to providing the energy requirement has a great importance economically and environmentally. Air movements fundamentally result from thermal differences and pressure differences while the sun heats the earth. It is difficult to investigate the wind analytically due to turbulences in its structure.

It has a big importance for estimating the wind speed in the planning of the energy generation and The Wind Energy Systems (WES). In this study, the stochastic autoregresif-moving average ARMA (p, q) approach was applied to estimate the time series of the wind speed of Karabük the province of Turkey. The future wind speeds has been estimated with the models created in this study by using prior data. The studies were conducted on various models to estimate the wind speed in the province Karabük. The actual data and the models' have been compared with each other by calculating the error computation of the data produced by the models.

Keywords: Wind speed, forecasting, time series, stochastic model, Wind Energy Systems (WES),

1. Giriş

Rüzgar enerjisinden teknolojik olarak faydalanmak için; yararlanma imkanlarının bilinmesi, yüksek rüzgar enerjisi potansiyeline sahip bölgelerin belirlenmesi, rüzgar karakteristiklerinin ve rüzgar hızlarının tahmin edilebilir olması çok önemlidir.

Rüzgar enerjisi alanında yapılan tahmin çalışmaları temel olarak ikiye ayrılır. Birincisi rüzgar enerjisi potansiyeli hesaplamalarıdır. İkincisi zaman eksenli gelecekteki rüzgar hızını tahmin etmedir. Her iki alanda da, literatürde çok sayıda çalışma vardır[1,7,9,10,13].

Rüzgar enerjisinin kullanılabilmesi rüzgar rejiminin doğru modellenmesine ve karakteristiklerin doğru ortaya konmasına bağlıdır. Bu anlamda rüzgar enerjisi potansiyelin hesaplanmasında olasılık dağılım fonksiyonları kullanılmaktadır. Weibull dağılımı sekil parametresine göre esneklik olduğu için rüzgar enerjisi potansiyelinin hesaplamalarında sıkça kullanılmaktadır[7,16]. Bu çalışmada bu konu üzerinde durulmayacaktır.

İkinci bir tahmin grubu ise zaman eksenli gelecekteki rüzgar hızını tahmin etme çalışmaları olup, tahmin kullanım amacına bağlı olarak farklı zaman ölçeklerinde oluşturulabilir. Anlık Tahminler: Türbin kontrolü için kullanılan ve birkaç dakika için yapılan tahminlerdir. Çok kısa süreli tahmin: 0-6 saat arası için yapılan ve güç sisteminin yönetimi için kullanılan tahminlerdir. Kısa süreli tahmin: 0-72 saat arası için yapılan ve güç sisteminin yönetimi ile enerji ticareti için kullanılan tahminlerdir. Orta süreli tahmin: 0-7 gün arası için yapılan ve bakım onarım amaçlı kullanılan tahminlerdir[1,3,6,7].

Zaman eksenli gelecekteki rüzgar hızını tahmin etme ile ilgili çok fazla model ve çalışma vardır. Modellerin hepsinin kendine has karakteristik özellikleri vardır. Onların bazıları kısa süreli tahminde iyi olmasına rağmen diğerleri uzun süreli tahminde daha iyidir; bazıları basit ve yaygın olarak uygulanırken diğer karmaşık olanların daha kesin sonuçları vardır. Son zamanlarda matematik teknikler ve yapay zekâdaki gelişmelerle birlikte birçok yeni metod ileri sürülmüştür[6,8,10].

Son yıllarda bu alanda bir hayli araştırma yapılmaktadır. Elektrik dağıtım şirketlerinin, güvenilir ve önceden tahmin edilebilir rüzgar enerji santrallerine(RES) ihtiyaçları vardır. Anlık ve ya kısa süreli ikili anlaşmalar ile enerji teminine spot piyasa denmektedir.[7,15] Bu açıdan da kısa süreli enerji planlamasının büyük önemi vardır.

Serbest enerji piyasalarındaki en önemli özellik enerji üretim ve elektrik dağıtım planlamasıdır. AB ülkelerinde mevzuat gereği enerji dağıtım şirketleri dağıtılan enerjiye belli oranda Yenilenebilir Enerji Kaynağı (YEK) aktarmak zorundadır. Şirketler YEK kullanım zorunluluğunu yerine getirmek için en azından 0-48 saatlik enerji planlaması yapmak istemektedirler. Planlama aşamasında konvansiyonel enerji kaynaklarında planlama sıkıntısı olmamakta ancak YEK planlamasında sorun ortaya çıkmaktadır. Avrupa'daki şirketler, rüzgâr enerjisi tahmin modelleri kullanmaktadır[15].

Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) tarafından rüzgar santral işletmecilerinden saatlik bazda bir günlük tahminler zorunlu olarak istenmektedir. Ülkemizde, yurtdışı kaynaklı şirketlerin kurdukları modeller ile Türkiye'nin ihtiyacını gidermeye çalışmaktadırlar.

Bu çalışmada, stokastik otoregresif-hareketli ortalama ARMA (p, q) yaklaşımı ile Türkiye'nin Karabük ilinde rüzgâr hızı zaman serisini tahminlemek amaçlanmıştır. Oluşturulan modellerle, geçmişteki veriler kullanılarak, gelecekteki rüzgâr hızları tahmin edilmeye

çalışılmıştır. . Karabük ilinde rüzgar hızı tahmini için değişik modeller üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Modellerin ürettiği verilerin hata hesaplamaları yapılarak, gerçek verilerle ve modellerin birbirleriyle karşılaştırması yapılmıştır.

2. Metot ve Materyal

2.1 Stokastik Süreç (Zaman Serisi Süreci)

Tanım olarak, zaman (t) endeksi taşıyan rassal değişkenlerin oluşturduğu diziye stokastik süreç veya zaman serisi süreci denir. Zaman serisi modelleri tek değişkenli bir zaman serisinin geçmiş değerleri ve hatalarına dayalı olarak kurulan modelleri içermektedir. Modelleme matematiksel olarak;

$$V_t = f(V_{t-1}, V_{t-2}, \dots, e_t, e_{t-1}, e_{t-2}, \dots) \quad (1)$$

değişkenleriyle ifade edilir ve ele alınır.

Zaman serisinin ortalama ve varyansında sistematik değişme yoksa bu zaman serisi durağan zaman serisi olarak bilinir. Stokastik sürecin özelliklerinden dolayı zamana bağlı olarak durağan olmayan zaman serileri ortaya çıkmaktadır. Bu tür serilerin modellenmesi için logaritma alma, fark alma gibi durağanlaştırma işlemleri yapılmaktadır. Zaman serisinin ortalama ve varyansında bir trendin olup olmadığını tespit etmede üzerinde ittifak edilmiş bir yöntem olmamakla birlikte, veri grafiği incelemenin en kolay yöntem olduğu belirtilmektedir[11].

Box-Jenkins Modeli olarak da bilinen, Otoregresif (Auto Regressive-AR) AR(p), hareketli ortalama (Moving Average-MA) MA(q) ve bunların birleşimi ARMA(p,q) modelleri durağan zaman serilerine uygulanırken, durağan olmayan zaman serilerine ARIMA(p,d,q) (Autoregressive İntegrated Moving Average) modelleri kullanılmaktadır. Bu modellerin amacı, zaman serisine en iyi uyan ve en az parametre içeren lineer stokastik süreç modelini kurabilmektir.

Model belirleme safhasında otokovaryans ve otokorelasyon fonksiyonları, modelin ARMA(p,q) veya ARIMA(p,d,q) modellerinden hangisine uygun olduğunu belirlemede önemlidir. Zaman serisi analizinde iki rassal değişken arasındaki kovaryans,

$$\text{Kov}(V_t, X_t) = E[(V_t - E(V_t))(X_t - E(X_t))] \quad (2)$$

şeklinde dir. Benzer biçimde aralarında k periyot bulunan V_t, V_{t-k} için otokovaryans;

$$\gamma_k = \text{Kov}(V_t, V_{t-k}) = E[(V_t - E(V_t))(V_{t-k} - E(V_{t-k}))] \quad (3)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Bir zaman serisinde k gecikme için otokorelasyon, gerçek serinin k zaman değeri kadar geri taşınarak elde edilen seri ile orijinal seri arasındaki korelasyonun hesaplanmasıdır. Gecikme değeri k için otokorelasyon katsayısı;

$$\rho_k = \frac{E[(V_t - \mu)(V_{t-k} - \mu)]}{\sqrt{E[(V_t - \mu)^2]E[(V_{t-k} - \mu)^2]}} \quad (4)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Bu bağıntı;

$$\rho_k = \frac{E[(V_t - \mu)(V_{t-k} - \mu)]}{\sigma_v^2} \quad (5)$$

$$\rho_k = \frac{\gamma_k}{\gamma_0} \quad (6)$$

şeklinde de ifade edilebilir. Zaman serisi normal dağılıma sahip ve durağan olduğunda $\rho_0 = 1$ olmaktadır. Otokovaryans ve otokorelasyon ile ilgili; $\gamma_k = \gamma_{-k}$ ve $\rho_k = \rho_{-k}$ eşitlikleri vardır. Otokorelasyon fonksiyonu zaman serisinin durağanlığını belirlemede kullanılmaktadır.

2.2 AR(p) Modelleri

Gözlemlenen rüzgar hızı değerleri, V_t rastsal değişken olmak üzere, V_t zaman serisinin p dereceden bir otoregresif sürecin istatistiksel modeli AR(p);

$$V_t = \delta + \phi_1 V_{t-1} + \phi_2 V_{t-2} + \dots + \phi_p V_{t-p} + e_t \quad (7)$$

bağıntısıyla tanımlanabilir. Burada; δ , kesme(sabit) terimi, V_t stokastik sürecinin ortalamasını gösterir, $\phi_p : (\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p)$ bilinmeyen otoregresif parametreleri, e_t hata terimi olmak üzere ortalaması 0 (sıfır) ve σ_e^2 varyanslı korelasyonsuz rastsal değişkenler olarak varsayılır.

$$V_t = \delta + \phi_1 V_{t-1} + e_t \quad (8)$$

ile tanımlanan birinci derece otoregresif modeli AR(1) süreci ve

$$V_t = \delta + \phi_1 V_{t-1} + \phi_2 V_{t-2} + e_t \quad (9)$$

ile tanımlanan ikinci derece otoregresif modeli AR(2) süreci olarak bilinir. Modelin derecesinin bir olması V_t 'nin bir önceki değere V_{t-1} 'e ve e_t hata terimine bağlı olması, modelin derecesinin iki olması V_t 'nin iki önceki değere V_{t-2} ile V_{t-1} 'e ve e_t hata terimine bağlı olması anlamına gelmektedir.

2.3 MA(q) Modelleri

Hareketli ortalama süreci bir zaman serisinin t dönemdeki değerinin, rassal bir değişken olan hata(kalıntı)ların ve geçmiş dönemdeki değerlerinin ağırlıklı ortalaması olarak ifade edilen bir süreç olarak bilinmektedir[11]. Matematiksel olarak;

$$V_t = \mu + \theta_1 e_{t-1} + \theta_2 e_{t-2} + \dots + \theta_q e_{t-q} + e_t \quad (10)$$

bağıntısıyla ifade edilir. Burada MA modelinde μ , zaman serisi V_t nin ortalamasını, $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$ katsayıları kayan ortalamalar parametresini ve e_t ise sıfır ortalama ve sabit σ_e^2 varyansa sahip hata terimidir. MA(1) modeli ve MA(2) modeli

$$V_t = \mu + \theta_1 e_{t-1} + e_t \quad (11)$$

$$V_t = \mu + \theta_1 e_{t-1} + \theta_2 e_{t-2} + e_t \quad (12)$$

bağıntılarıyla ifade edilmektedirler.

2.4 ARMA(p,q) Modelleri

Bazı durağan rastgele süreçler, pür otoregresif veya pür hareketli ortalama süreci ile modellenemeyebilir; o takdirde, zaman serisi bu iki süreci birlikte içerebilir. Yani zaman serisi modeli hem AR, hem de MA bileşenleri p ve q dereceden olmak üzere ARMA(p,q) olarak modellenebilir. Modelin matematiksel gösterimi;

$$V_t = \delta + \phi_1 V_{t-1} + \dots + \phi_p V_{t-p} + \theta_1 e_{t-1} + \dots + \theta_q e_{t-q} + e_t \quad (13)$$

olarak ifade edilebilmektedir.

2.5 Modelin Oluşturma Aşamaları

Zaman serisi modeli oluşturmada, Box-Jenkins yaklaşımının temel fikri cimrilik prensibine dayanır. Cimrilik prensibi ise, zaman serisi verilerinin özelliklerini ortaya koyan en uygun sayıda parametre veya serbestlik derecesini bulunduran bir model kurmayı öngörmektedir. Bu yaklaşımda temel adımlar; dört aşamalıdır.[14]

2.5.1 Modelin Belirlenmesi

Modeli belirleme aşamasında tahmin edilen otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonlarına dayanarak örneklem verileri için deneme niteliğinde bir ARIMA modeli belirlenir.

Modelin derecesi belirlemek için serinin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonlarından faydalanılır. AR modelinde anlamlı kısmi otokorelasyon ve MA modelinde anlamlı otokorelasyon katsayılarının sayısıyla model derecesi belirlenmektedir[11].

AR(p) ise otokorelasyon katsayıları üstel olarak sıfıra yaklaşabilirler, kısmi otokorelasyon katsayılarının sıfır olması p gecikme sonra olmaktadır. MA(q) modellerinde ise otokorelasyon katsayıları q gecikme sonra sıfır olmakta, buna karşılık kısmi otokorelasyon katsayıları üstel olarak sıfıra yaklaşmaktadır. Otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayıları üstel azalma göstermekle birlikte sinüs dalgası şekline benzer bir yapıda da olabilir. ARMA(p,q) modellerinde ise otokorelasyon katsayıları ve kısmi otokorelasyon katsayılarının sıfıra yaklaşması üstel olur veya sinüzoidal dalgalanmalar şeklinde de olabilirler[11].

2.5.2 Model Parametreleri Tahmini

Model belirlendikten sonra modelin otoregresif ve hareketli ortalama parametrelerinin tahmin edilmesi gerekmektedir. Parametre tahmininde en küçük kareler yöntemi kullanılabilir. Hata terimlerinin dağılımı incelendiğinde, dağılım normal ise, tahmin yöntemi olarak Maksimum Benzerlik yöntemi de kullanılmaktadır[11].

AR ve MA parametrelerinin istatistik açıdan anlamlı olmaları gerekmektedir Parametrelerin anlamlılığı t-testi ile belirlenmektedir, anlamsız parametreler modelden çıkartılarak model parametreleri tekrar tahmin edilir. Tahmin edilen parametrelerin, istatistik olarak anlamlı, durağanlık ve çevrilebilirlik sınırları içinde olmaları çok önemlidir[11].

2.5.3 Modelin Uygunluk Testi

Bu aşamada genellikle gözlem serisi ile modelden elde edilen tahmin serisinin zaman serisi grafiği karşılaştırılır(Şekil 1). Bunun dışında gözlem serisi ile tahmin serisinin otokorelasyon fonksiyonları incelenebilmektedir[11].

Modelin oluşturulması ve parametrelerinin tahmininden sonra modelin uygunluğunu araştırmada hipotez testlerinden başka, bilgi temelli model seçim kriterleri yani bilgi kriterleri 1970'lerden itibaren kullanılmaya başlanmıştır. Bu kriterlerden yaygın kullanılan iki tanesinden, ilki Akaiki Bilgi Kriteri (AIC), bağıntısı (14) ile verilmektedir,

$$AIC = \ln(\sigma_e^2) + \frac{2k}{n} \quad (14)$$

σ_e^2 hata terimleri varyansı, k sabit terim de dahil olmak üzere modeldeki parametre sayısı ($k=p+q+1$) ve n gözlem sayısıdır. İkinci olarak Schwartz'ın Bayesian Bilgi Kriteri(SBİC) ise,

$$BIC = \ln(\sigma_e^2) + \frac{k}{n} \ln(n) \quad (15)$$

bağıntısı ile verilir. Model seçimlerinde en küçük bilgi kriteri değerine sahip model uygun model olarak tercih edilir[11].

2.5.4 Tahminleme ve Model Performansının Belirlenmesi

En uygun modelin verilere uygun olması ve bununla birlikte tahmin başarısının da çok iyi olması gerekmektedir. Modellerin tahmin başarılarının kıyaslanması maksadıyla çeşitli değerlendirme kriterleri kullanılmaktadır. Bu kriterlerden bazıları; Hata Kareleri Toplamı(HKT), Ortalama Hata Karesi(OHK) ve Ortalama Mutlak Yüzde Hata(OMYH) hesaplamalarıdır. Bunlar ise,

$$(HKT) = \sum_{i=1}^n (y'_i - y_i)^2 \quad (16)$$

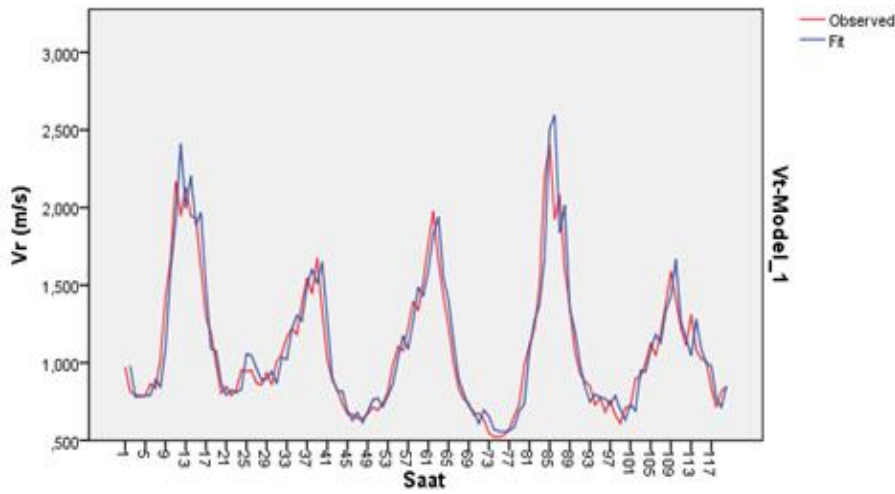
$$(HKO) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y'_i - y_i)^2 \quad (17)$$

$$(OMYH) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y'_i - y_i|}{y_i} \cdot 100 \quad (18)$$

formülleri ile hesaplanırlar[11].

3. Uygulama ve Bulgular

Yukarıda anlatılan modeli uygulamak için Karabük Meteoroloji İl müdürlüğünden temin edilen, Karabük Merkez rüzgar hız verilerinden 2010 yılı Ocak ayının ilk haftasının saatlik ortalamaları kullanılmıştır(Şekil 1). Bunun için saatlik bazda ortalamalar için 24 gecikmeli zaman serisi veri seti oluşturulmuştur. Modeller için bu veriler kullanılmıştır.



Şekil 1 Karabük İli Merkez Rüzgar Hız Verileri ve SPSS ile ARIMA(1,1,9) model tahminleri 5 Günlük

Karabük rüzgar verileri için SPSS ve Excel 2010 programları kullanılarak model AR(p) modelleri ve ARIMA(p,d,q) modelinin parametreleri hesaplanmış ve (Tablo 1, 2,3,4) gösterilmiştir. Oluşturulan modellerle tahminleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 1, 2).

Tablo 1 Excel de Hazırlanan AR(2) Model Parametreleri

ÖZET ÇIKIŞI	AR(2) [Vt_1,Vt_5]			
Regresyon İstatistikleri				
Çoklu R	0,93236			
R Kare	0,869296			
Ayarlı R Kare	0,867062			
Standart Hata	0,152917			
Gözlem	120			
	Katsayılar	Standart Hata	t Stat	P-değeri
Sabit Terim	0,24733	0,04629	5,343049	4,57E-07
X Değişkeni 1	0,988759	0,035825	27,59974	4,68E-53
X Değişkeni 2	-0,21788	0,035897	-6,06958	1,63E-08

Tablo 2 Excel de Hazırlanan AR(3) Model Parametreleri

ÖZET ÇIKIŞI	AR(3)[Vt_1,Vt_5Vt_14]			
Regresyon İstatistikleri				
Çoklu R	0,939267			
R Kare	0,882223			
Ayarlı R Kare	0,879177			

Standart Hata	0,145782			
Gözlem	120			
	Katsayılar	Standart Hata	t Stat	P-değeri
Sabit Terim	0,530337	0,090763	5,843099	5E-08
X Değişkeni 1	0,917608	0,039548	23,20229	2E-45
X Değişkeni 2	-0,265104	0,036692	-7,22509	6E-11
X Değişkeni 3	-0,138786	0,038895	-3,56826	5E-04

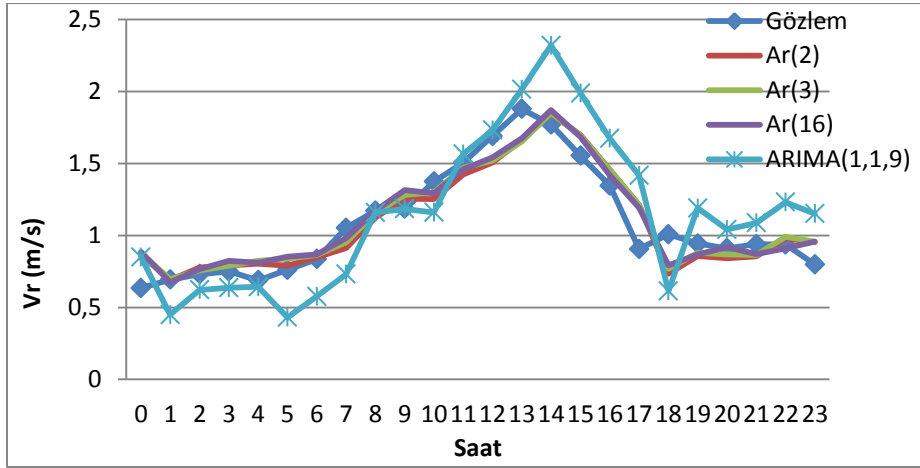
Tablo 3 Excel de Hazırlanan AR(16) Model Parametreleri

ÖZET ÇIKIŞI		AR(16)		
Regresyon İstatistikleri				
Çoklu R	0,943816			
R Kare	0,890789			
Ayarlı R Kare	0,873824			
Standart Hata	0,148977			
Gözlem	120			
	Katsayılar	Standart Hata	t Stat	P-değeri
Sabit Terim	0,594948	0,130257	4,567486	1E-05
X Değişkeni 1	0,954021	0,097511	9,783735	2E-16
X Değişkeni 2	-0,00488	0,13437	-0,03632	0,971
X Değişkeni 3	-0,097738	0,132111	-0,73982	0,461
X Değişkeni 4	-0,052482	0,131951	-0,39774	0,692
X Değişkeni 5	-0,101933	0,132539	-0,76908	0,444
X Değişkeni 6	-0,082197	0,132435	-0,62066	0,536
X Değişkeni 7	0,085286	0,131939	0,646409	0,519
X Değişkeni 8	-0,002884	0,131977	-0,02185	0,983
X Değişkeni 9	-0,155502	0,133568	-1,16422	0,247
X Değişkeni 10	0,105922	0,127723	0,829311	0,409
X Değişkeni 11	-0,054326	0,127224	-0,42701	0,67
X Değişkeni 12	-0,060026	0,128384	-0,46755	0,641
X Değişkeni 13	0,106686	0,126728	0,841848	0,402
X Değişkeni 14	-0,237153	0,126784	-1,87053	0,064
X Değişkeni 15	0,14141	0,130306	1,085216	0,28
X Değişkeni 16	-0,089848	0,093636	-0,95954	0,34

Tablo 4 SPSS ile Oluşturulan ARIMA(1,1,9) Model Parametreleri

ARIMA(1,1,9) Model Parametreleri						
Vt-Model_1			Estimate	SE	t	Sig.
Natural Logarithm	AR	Lag 1	0,643	,125	5,147	,000
		Difference	1			
	MA	Lag 1	0,478	,133	3,590	,000
		Lag 9	0,395	,092	4,278	,000

a. Best-Fitting Models according to Stationary R-squared (larger values indicate better fit).



Şekil 2 Hesaplanan Parametrelerle Yapılan 24 saatlik Tahmin Grafiği

4. Sonuç ve Değerlendirme

Yapılan hesaplarda en uygun AR(p) modelinin AR(3) olduğu, SPSS sonucu olan Tablo 5 ile Excel de yapılan hesaplamalarla Tablo 6 ve 7 göstermektedir.

Tablo 5 SPSS AR Modelinin Bağlı Olduğu Gecikme Serileri Bilgi Kriteri Sonuçları

Model Building Summary	Target: Vt		
	Step 1	Step 2	Step 3
Information Criterion	-86,295	-132,174	-136,667
Vt_1_transformed	✓	✓	✓
Effect Vt_22_transformed		✓	✓
Vt_5_transformed			✓

The model building method is Forward Stepwise using the Information Criterion.
A checkmark means the effect is in the model at this step.

Tablo 5 incelendiğinde şu anki rüzgar hızının 1 saat önce, 5 saat önce ve 22 saat önceki hızların bir lineer kombinasyonu olarak tahminlenebileceğini göstermektedir.

Sonuçlar değerlendirdiğinde, hata değerlerinde de görüldüğü gibi, AR(p) modellerinin ARIMA(1,1,9) modelinden daha iyi sonuç verdiği ortaya çıkmaktadır.

Tablo 6 Modellerin Tahmin Performansı İçin Hata Değerleri

Hatalar	AR(2)	AR(3)	AR(16)	ARIMA(1,1,9)
Korelasyon	0,926018	0,932343	0,939313	0,870569188
HKT	0,450896	0,422551	0,384887	1,806630465
HKO	0,018787	0,017606	0,016037	0,075276269
Ortalama Mutlak Yüzde Hata	10,9548	10,6116	10,33563	22,98791542

Tablo 7 AR Modellerinin Uygunluğu İçin Bilgi Kriteri Sonuçları

Burada Tablo 1, 2, 3 incelendiğinde AR(2) ve AR(3) sonuçları birbirine yakın olup AİC bilgi kriterine (Tablo 7) ve korelasyon ilişkisine ve hatalarla birlikte (Tablo 6) parametre sayısı göz önüne alındığında, AR(3) modelinin Karabük rüzgarlarını tahminlemek için kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Kaynaklar

- [1] Aoife M., Foley, Paul G. Leahy, Antonino Marvuglia, Eamon J. McKeogh, (2012), Current methods and advances in forecasting of wind power generation, Renewable Energy 37 (2012) 1e8
- [2] KAYNAR Oguz, Serkan TASTAN,(2009), Zaman Serisi Analizinde MLP Yapay Sinir Ağları ve Arıma Modelinin Karşılaştırılması, Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Sayı: 33, Temmuz-Aralık, ss.161-172
- [3] Xin Zhao, Shuangxin Wang, Tao Li, “Review of Evaluation Criteria and Main Methods of Wind Power Forecasting”, Energy Procedia 12 (2011) 761 – 769
- [4] Yoldas U.C., “Elektrik Enerjisinde Yük Tahmin Yöntemleri ve Türkiye’nin 2005-2020 Yılları Arasındaki Elektrik Enerjisi Talep Gelisimi ve Arz Planlaması”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 5-35 (2006).
- [5] KAYTEZ Fazıl, “En Küçük Kareler Destek Vektör Makineleri İle Türkiyenin Uzun Dönem Elektrik Tüketim Tahmini Ve Modellemesi”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2012
- [6] Sfestos, A., 2000. A comparison of various forecasting techniques applied to mean hourly wind speed time series. Renewable Energy 21, 23–35.
- [7] DURAK Murat, Serra ÖZER “Rüzgar Enerjisi: Teoeri ve Uygulama”, Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği (TÜREB), Ankara, 2008
- [8] ŞAHİN Ahmet Duran, “Türkiye Rüzgarlarının Alan-Zaman Modellemesi”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2001
- [9] ÖZGÜR Mustafa Arif, “Kütahya Rüzgar Karakteristiğinin İstatiksel Analizi Ve Elektrik Üretimine Uygulanabilirliği” Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2006
- [10] TÜRKYILMAZ Ferdi, “Saatlik ve Aylık Rüzgar Verisiyle Rüzgar Enerjisi Modellemesi”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 1997
- [11] CAN Mustafa., “İşletmelerde Zaman Serileri Analizi İle Tahmin”, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Sayısal Yöntemler Doktora Programı, Doktora Tezi, İstanbul, 2009
- [12] ARABACI, Özer., “Makroekonomik Zaman Serisi Analizi Ve Yapay Sınır Ağı Uygulamaları”, Uludağ Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ekonometri Anabilim Dalı, İstatistik Bilim Dalı, Doktora Tezi, 2007

Bilgi Kriterleri	AR(2)	AR(3)	AR(16)
BİC	-3,4903	-3,37629	-0,78313
AİC	-3,63756	-3,57263	-1,61758

- [13] Vinay Thapar, Gayatri Agnihotri, Vinod Krishna Sethi, “Critical analysis of methods for mathematical modelling of wind turbines”, *Renewable Energy* 36 (2011) 3166e3177
- [14] Sevüktekin, M., ve M. Nargeleşkenler, *Ekonomik Zaman Serileri Analiz:EVIEWS Uygulamalı, Geliştirilmiş Üçüncü Baskı*, Ankara: Nobel Yayın Dağıtım, 2010
- [15] Dolunay GUCLUER, “Kısa Sureli Ruzgar Enerjisi Tahminleri Ve Ülkemiz İçin Önemi”, 16. Uluslararası Enerji, ve çevre fuarı ve konferansı 2010, <http://www.yeta.org.tr/images/ICCI2010BK.pdf#page=77> (erişim 18.02.2012)
- [16] Y. Murat BULUT, Emin ACIKKALP, “Ruzgar Enerjisi Potansiyelinin Hesaplanmasında Parametre Tahmin Yöntemlerinin İncelenmesi” *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:C, Tasarım Ve Teknoloji GU J Sci Part:C*, 1(2):49-54(2013)