

Araştırma Makalesi - Research Article

Rüzgâr Hızlarında Uzun Hafıza: Amasra Bölgesi için Bir Zaman Serisi Analizi

Long Memory at Wind Speed: a Time Series Analysis for Amasra Region

Serpil Türkyılmaz^{1*}

Geliş / Received: 13/08/2022

Revize / Revised: 22/11/2022

Kabul / Accepted: 25/11/2022

ÖZ

Son yıllarda rüzgâr enerjisinin yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak yaygınlaşması ile birlikte rüzgâr hızının enerji üretimindeki ekonomik etkilerinin değerlendirilmesi de önem kazanmış ve enerji planlamalarında doğru rüzgâr hızı tahmini ve modellemesine olan ilgi artmıştır. Çalışmada klasik yaklaşımlardan farklı olarak rüzgâr hızlarındaki uzun hafıza özelliği incelenmiştir. Bu amaçla, Türkiye’de Bartın ili Amasra bölgesi rüzgâr hızları için uzun hafıza etkisi ARFIMA-FIGARCH modelleri ile araştırılmış ve model performansları karşılaştırılmıştır. Çalışma bulgularına göre; Amasra bölgesi rüzgâr hızı serisi için ortalama ve koşullu varyansında uzun hafıza parametreleri istatistiksel anlamlı bulunmuş ve en uygun model ARFIMA(0,ξ,1)- FIGARCH(1, d, 1) modeli olarak tahmin edilmiştir.

Anahtar Kelimeler- Rüzgâr Hızı, Uzun Hafıza, ARFIMA Modeli, FIGARCH Modeli, FIEGARCH Modeli

ABSTRACT

With the widespread use of wind energy as a renewable energy source in recent years, the evaluation of the economic effects of wind speed on energy production has gained importance and the interest in accurate wind speed estimation and modeling in energy planning has increased. In study, unlike the classical approaches, the long memory feature in wind speeds was investigated. For this purpose, the long memory effect for wind speeds in Bartın province Amasra region in Turkey was investigated with ARFIMA-FIGARCH models and model performances were compared. According to the study findings; Long memory parameters were found to be statistically significant in mean and conditional variance for the wind speed series of Amasra region, and the most appropriate model was estimated as ARFIMA(0,ξ,1)- FIGARCH(1, d, 1) model.

Keywords- Wind Speed, Long Memory, ARFIMA Model, FIGARCH Model, FIEGARCH Model

^{1*}Sorumlu yazar iletişimi: serpil.turkyilmaz@bilecik.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-7193-4148>)
İstatistik ve Bilgisayar Bilimleri Bölümü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Fakültesi, Bilecik, Türkiye

I. GİRİŞ

Son yıllarda artan enerji talebi ile birlikte fosil enerji tüketiminin olumsuz etkileri, rüzgâr enerjisi gibi temiz yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi arttırmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimindeki en temel risk değişen hava koşullarıdır ve en yaygın enerji kaynaklarından olan rüzgâr enerjisi üretimini etkilemektedir. Depolama söz konusu olmadığı için önemli bir ekonomik problem olarak görülmektedir. Rüzgâr enerjisi için riske maruz kalma, rüzgârı karakterize eden iki unsur olan “genel rüzgâr hızı” veya “rüzgâr hızı yoğunluğu ve rüzgâr yönü” ile ilişkilendirilmektedir [1]. Özellikle riskli yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji üretimi portföyündeki artan payı değerlendirildiğinde üretim risklerinin nicelleştirilmesi ve öngörülmesi büyük önem arz etmektedir. Rüzgâr çiftliklerinin yönetimi ve işletilmesi, rüzgâr enerjisi üretimindeki rolü gibi diğer pek çok faktör sebebiyle rüzgâr hızının hatasız tahmini gerekli olmaktadır. Bu sebeple rüzgâr hızlarının yüksek doğrulukta tahmin problemi son yıllarda ilgi odağı haline gelmiştir. Rüzgâr enerjisi tahminleri için meteorolojik ve istatistiksel/matematiksel modeller olarak iki temel yaklaşım söz konusudur. Meteorolojik modeller bir güç eğrisi aracılığıyla rüzgâr enerjisi tahminine dönüştürülen hava tahmini modellerini içermekte iken ikinci yaklaşım, rüzgâr enerjisi üretimi ile ilgili ve geçmiş dönem rüzgâr verilerini kullanarak değişkenler arasındaki ilişkileri açıklayan, ileriye dönük tahmini mümkün kılan zaman serileri, yapay sinir ağları, veri madenciliği gibi istatistiksel modellere dayanmaktadır [1,2]. Meteorolojik yaklaşımla kısa dönem rüzgâr hızı ve yoğunluğunun tahmini yapılabilmektedir.

Rüzgâr enerjisi ile ilgili risk analizi, uzun dönem tahminleri, diğer meteorolojik değişkenlerle ilişkilerinin değerlendirilmesi ve simülasyonları için istatistiksel model ve yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Rüzgâr hızı belirsizliğinin tahmini için koşullu değişen varyans modelleri GARCH türü modeller kullanılmaya başlanmıştır. Literatürde rüzgâr enerjisi alanında farklı tahmin yöntemlerini kullanan çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalardan bazılarında izleyen kısımda değinilmektedir. Shen ve Ritter [1] çalışmalarında rüzgâr gücünün oynaklığını tahmin etmede bir Markov rejim süreçli GARCH (MRS-GARCH) modelini kullanmışlardır. MRS-GARCH modelinin, rüzgâr gücünün oynaklığını tahmin etmede geleneksel GARCH modellerinden daha iyi performans gösterdiğini ve üstel GARCH modelinin ise geleneksel GARCH modelleri arasında daha iyi olduğunu bulmuşlardır. Caporin ve Pres [2] çalışmalarında rüzgâr yoğunluklarının tahmini ve simülasyonu için üç alternatif yaklaşımın ARG, ARFIMA-GARCH ve ARFIMA-FIGARCH performanslarını karşılaştırmışlar ve ARFIMA tabanlı modellerin daha iyi sonuçlar verdiği bulgusuna ulaşmışlardır. Bouette vd. [3] çalışmalarında İrlanda günlük rüzgâr hızı verileri için ARFIMA modelinin serinin davranışını yeterli düzeyde yakalayamadığını ve mevsimsel uzun hafıza GARMA modelinin seri için uygun model olduğunu göstermiştir. Liu ve Wang [4]’ in çalışmalarında rüzgâr hızı tahmini için ARFIMA-EGARCH modeli kullanılmış ve bulguları söz konusu modellerin klasik yaklaşımlardan daha yüksek doğruluğa sahip olduğu gösterilmiştir. Özen vd. [5] çalışmalarında Türkiye'nin İstanbul, İzmir, Muğla, Tekirdağ ve Eskişehir illerinde yer alan beş havalimanının kendi tarihsel rüzgâr hızı verileri için tekrarlayan bir yapay sinir ağı ve uzun kısa-süreli hafıza (LSTM) kullanılmıştır. Çalışma için seçilen istasyonları düşük rüzgâr hızına sahip olduğundan rüzgâr hızlarındaki artış ve azalışlar model tarafından tam olarak yorumlanamamış ve sadece rüzgâr hızı verilerini değil diğer değişkenleri de kullanan farklı modellerin de tahmin edilmesinin uygun olduğu önerilmiştir. Malinda ve Hui [6]’ nin çalışmalarında enerji fiyatlarının oynaklık ve asimmetrik oynaklığındaki uzun hafızayı karşılaştırmak için ARFIMA, ARFIMA, ARFIMA-FIEGARCH ve ARFIMA-HYGARCH modelleri kullanılmış ve enerji fiyatlarının oynaklığı için asimmetrik uzun hafıza ARFIMA-FIEGARCH modeli en uygun model olarak önerilmiştir. Haddad vd. [7] çalışmalarında belirli bir yenilenebilir enerji sistemi için SARIMA tabanlı bir model önerilmiştir. Rüzgâr türbini ve güneş paneli modelleri sayesinde küresel enerji sisteminin toplam maliyetini optimize etmek için önerilen modelin gerçek verilerle uygunluğu doğrulanmıştır. Emami vd. [8] çalışmalarında İran'ın Erdebil ili ve Nayer şehrine ait rüzgâr yönü verileri için uzun hafızalı zaman serisi modellerini kullanmıştır. Bulguları, otoregresif kesirli entegre hareketli ortalama ARFIMA(3,0,0)-FIGARCH(1,0,1) modelinin kriterlere göre en uygun model olduğunu göstermiştir. Taylor vd. [9]’ nin çalışmalarında Birleşik Krallık' taki beş rüzgâr santralinde bir ila 10 gün öncesinden üretilen rüzgâr gücünün olasılık yoğunluk fonksiyonunu tahmin etme yöntemleri araştırılmıştır. Rüzgâr gücü yoğunluğunun nokta tahminlerinin zaman serisi modelleriyle elde edilenlere göre daha iyi sonuçlar verdiği gösterilmiştir. Dong [10]’ un çalışmalarında veri ön işleme, optimizasyon, tahmin ve değerlendirme gibi çeşitli bileşenleri içeren birleşik bir rüzgâr hızı tahmin stratejisi geliştirilmiştir. Stratejinin performansını değerlendirmek için, Çin'in Shandong eyaletindeki büyük rüzgâr çiftliklerinden toplanan 10 dakikalık rüzgâr hızı verileri kullanılmıştır. Simülasyon sonuçlarında, önerilen birleşik stratejimizin tahmin yeteneğinin, seçilen diğer karşılaştırılabilir modellere göre daha iyi olduğu gösterilmiştir. Bulgulara göre; rüzgâr enerjisi üretim planlaması için güvenilir destek sağlayabileceği önerilmiştir. Prabha vd. [11]’ nin çalışmalarında uzun kısa-süreli hafıza (LSTM) yaklaşımı ile dört farklı bölge için zaman serisi verilerinin rüzgârlı ve rüzgârsız aylar olarak kümelenecek rüzgâr hızının bir saat

önceden tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bulgulara göre LSTM yaklaşımının rüzgâr hızı tahmin hatalarını azaltılabileceği ile ilgili kanıtlar sunulmuştur. Balcı vd. [12]'nin çalışmalarında Balıkesir iline ait saatlik rüzgâr hızı verileri kullanılarak tahmin için EEMD-MLP (topluluk ampirik mod ayrıştırması-çok katmanlı algılayıcılar) ve CEEMDAN-MLP (uyarlanabilir gürültü ile komple topluluk ampirik mod ayrıştırması-çok katmanlı algılayıcılar) hibrit tahmin yaklaşımları karşılaştırılmalı olarak önerilmiştir. Çalışmada model performans kriterlerine göre CEEMDAN-MLP hibrit modelinin rüzgâr hızı tahmini için daha uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Altınsoy & Bal [13]'ün çalışmalarında Ankara ili bazı ilçelerinin rüzgâr hızı tahmini için farklı öğrenme algoritmaları ile yapay sinir ağları kullanılmış ve ilçeler için hesaplanan ortalama mutlak yüzde hata Çubuk ilçesi için %9,48, Keçiören için %7,77, Polatlı için %7,88, Bala için %6,83, Şereflikoçhisar için %8,02 ve Haymana için %5,41 olarak elde edilmiştir. Kurban vd. [14]'nin çalışmalarında Weibull ve Rayleigh istatistiksel dağılım fonksiyonları ile bölgenin rüzgâr enerjisi potansiyelini analiz edebilmek amacıyla Anadolu Üniversitesi tarafından desteklenen araştırma projesi kapsamında Eskişehir ili iki eylül kampüsü bölgesinde kurulan rüzgâr gözlem istasyonundaki 2005 yılına ait 4 ay için (Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim) 15 sn. aralıklarla ölçülen rüzgâr hızı verileri kullanılmıştır. Çalışma bulguları, Weibull dağılımının ilgili bölgedeki rüzgâr hızlarını analiz etmede Rayleigh dağılımına göre daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Çağlar [15]'ün çalışmasında iki parametrelili Weibull dağılımı ile Antalya-Elmalı Bölge Meteoroloji İstasyonu verileri kullanılarak Antalya ilinin rüzgâr hızı ve gücü için potansiyel analizi yapılmıştır. Çalışma bulgularına göre; hata analizi göstergelerinin ortalama güç yoğunluğu için moment metodunun uygun olduğunu desteklediği belirtilmiştir. Görgülü [16]'nın çalışmasında Rayleigh dağılımı ile İstanbul ili için Atatürk Havalimanı meteoroloji istasyonundan alınan iki yıllık veriler kullanılarak ortalama rüzgâr hızları yoğunluğu ve gücü belirlenmiş ve gerçek verilerle karşılaştırılmıştır. Bulguları, ilgili bölgenin bir rüzgâr enerjisi santrali kurulumu için uygun bir potansiyele sahip olmadığını göstermiştir. Yanıktepe ve Kara [17]'nin çalışmasında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Mühendislik Fakültesi çatısında kurulu rüzgâr ölçüm cihazı ile ölçülen rüzgâr hızları kullanılarak ilgili bölgede rüzgâr enerjisi potansiyel analizi yapılmıştır. Çalışmada kullanılan grafik yöntemi, maksimum olabilirlik yöntemi ve değiştirilmiş en yüksek olabilirlik yöntemi bulgularına göre, grafik yönteminin ölçüm yapılan yılın rüzgâr verileri için diğer yöntemlere göre daha iyi sonuç verdiği belirtilmiştir.

Bu çalışmada ise Türkiye'de yüksek rüzgâr hızına sahip bölgeler arasında bulunması ayrıca kıyıya yakın bir bölgede yer alması sebebiyle seçilen Bartın ili Amasra bölgesinin rüzgâr hızları kullanılarak koşullu değişen varyans için asimetrik etkileri göz önünde bulunduran üstel GARCH (EGARCH) modeli tahmin edilmiştir. Ayrıca rüzgâr hızlarındaki uzun hafıza özelliğinin incelenmesi için ortalamadaki uzun hafıza süreci ARFIMA modelleri ve oynaklığındaki uzun hafıza özelliği de FIGARCH modelleri ile tahmin edilmiştir. Rüzgâr hızlarının oynaklığındaki asimetrik uzun hafıza sürecinin tahmini için FIEGARCH modelleri kullanılmış ve tahmin edilen istatistiksel anlamlı tüm modellerin tahmin performansları seçim kriterleri LogL, Akaike bilgi kriteri (AIC) ve Schwarz (SC) bilgi kriteri ile karşılaştırılmıştır. Literatürdeki çalışmalara bakıldığında rüzgâr enerjisi analizi ile ilgili olarak çalışmalarda derin öğrenme algoritmaları, yapay sinir ağları, olasılık dağılım fonksiyonları gibi yöntemlerin ağırlıklı kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmada rüzgâr hızı tahmini için literatürde kullanılan klasik tahmin yöntemlerinden farklı olarak serinin ortalama ve koşullu varyansındaki uzun hafıza sürecini de göz önünde bulunduran zaman serisi modelleri tahmin edilerek alanında literatüre katkı sağlaması beklenmektedir. Söz konusu modellerle Türkiye'de rüzgâr enerji potansiyeli yüksek bir bölge olan Bartın ili Amasra ilçesi için rüzgâr hızlarının parçalı dinamiklerinin dikkate alınarak analiz edilmesi de çalışmaya farklı bir boyut kazandırmaktadır. Çalışmanın birinci bölümü olan Giriş kısmında genel bilgi ve literatür sunulmuştur. İkinci bölüm çalışmada kullanılan zaman serisi modellerini tanıtan Metodoloji kısmıdır. Üçüncü bölüm veri ve tanımlayıcı istatistiklerle birlikte tahmin edilen model sonuçlarını ve yorumlarını içermektedir. Bulguların özetlendiği dördüncü bölüm Sonuç bölümüdür. Beşinci bölümde yararlanılan kaynaklara yer verilmiştir.

II. METODOLOJİ

Zaman serilerinde meydana gelen beklenmedik ani düşüş ve yükseliş kümelenmeleri oynaklık (volatilite) olarak tanımlanmaktadır. Bu tür serilerde hata terimleri genellikle sabit varyans (homoscedasticity) varsayımını sağlamamaktadır ve koşullu değişen varyansa (heteroscedasticity) sahip olmaktadır. Birçok zaman serisi istikrar dönemleri, ardından yüksek oynaklık ile belirsizlik dönemleri sergilediğinden, doğrusallık ve sabit varyanslı hata varyansı varsayımları ile geçerli olan klasik zaman serisi modellerinden ARIMA türü modellerin yeterli olmayacağı görülmektedir. Bu amaçla değişen varyans için Engle [18] tarafından otoregresif koşullu değişen varyans (ARCH) modeli önerilmiştir. ARCH modeli geçmiş dönem hata terimlerinin karelerinin ağırlıklı ortalamasıdır ve model (1)'de verilmiştir.

$$\varepsilon_t / \Psi_{t-1} \sim N(0, h_t) \quad (1)$$

$$h_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^q \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 \quad (2)$$

Burada $\alpha_0 > 0$, $\alpha_i \geq 0$ ve $\sum_{i=1}^q \alpha_i < 1$ ' dir ve koşulsuz varyansın pozitif olma şartı için kısıtlamalardır [18].

Bollerslev [19] koşullu varyansın gecikmeli değerlerinin de ARCH modeline dahil edildiği ARCH modelinin geliştirilmiş formu GARCH modelini geliştirmiştir. Modelin genel yazılımı (2)'deki gibidir:

$$\varepsilon_t = \xi_t \sqrt{h_t} \quad (3)$$

$$h_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^q \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^p \beta_j h_{t-j} \quad (4)$$

Burada $\alpha_0 > 0$, $\alpha_i \geq 0$ ve $\sum_{i=1}^q \alpha_i + \sum_{j=1}^p \beta_j < 1$ ise süreç zayıf durağandır.

ARCH ve GARCH modelleri şokların koşullu değişen varyans üzerindeki etkilerinin simetrik olduğunu varsaymaktadır. Pozitif ve negatif şokların koşullu değişen varyans üzerindeki farklı etkilerinin varlığı GARCH modellerinin geliştirilmesi ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. İlk olarak Nelson [20] tarafından şokların sadece büyüklüğünü değil, aynı zamanda negatif ve pozitifliğini de dikkate alan (5) ' de genel formu verilen üstel GARCH (EGARCH) modeli önerilmiştir.

$$\ln(h_t) = \alpha_0 + \beta \ln(h_{t-1}) + \gamma_1 \left| \frac{\varepsilon_{t-1}}{\sqrt{h_{t-1}}} \right| + \gamma_2 \frac{\varepsilon_{t-1}}{\sqrt{h_{t-1}}} \quad (5)$$

Model (5)' deki $\frac{\varepsilon_{t-1}}{\sqrt{h_{t-1}}}$ değeri pozitif ise şokun koşullu varyans üzerindeki etkisi $(\gamma_1 + \gamma_2)$ toplamına eşittir,

negatif ise şokun koşullu varyans üzerindeki etkisi $(-\gamma_1 + \gamma_2)$ ile ölçülmektedir. Modeldeki γ_2 parametresi istatistiksel olarak anlamlı ise kaldıraç etkisinin varlığından söz edilmektedir. Serilerin kesirli bütünleşik derecelerde durağanlık özelliği de göstermesi mümkün olduğundan ARIMA modelleri, otoregresif kesirli bütünleşik hareketli ortalama modeli ARFIMA ortalamadaki uzun hafıza modeli olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır. ARFIMA modelini Granger & Joyeux [21] ve Hosking [22] uzun hafıza özelliğinin test edilmesi için önermişlerdir. ARFIMA (p, ξ , q) modelinin genel ifadesi denklem (6)' da verilmiştir.

$$\psi(L)(1-L)^\xi (y_t - \mu) = \phi(L)\varepsilon_t, \quad \varepsilon_t \sim i.i.d.(0, h_t) \quad (6)$$

Burada ψ ve ϕ modelde AR ve MA süreçlerinin gecikme derecesini, L gecikme operatörünü ve d kesirli bütünleşme derecesi parametresini ifade etmektedir. $\xi=0$ ise ARFIMA modeli ARMA modeline, $\xi=1$ ise ARIMA modeline dönüşmektedir. Kesirli bütünleşme parametresi derecesi $\xi < 0.5$ ise seri durağandır ve çevrilebilirdir. $\xi > 0.5$ ise seri durağanlık özelliğine sahip değildir ve seri üzerinde herhangi bir şokun etkisi uzun dönemde kaybolacağı için ortalamaya dönme eğilimi gösterecektir. Fakat $\xi > 1$ durumunda seri durağanlık özelliğini kaybedecek ve herhangi bir şokun seri üzerindeki etkisi uzun dönemde de devam edeceği için ortalamaya dönme eğiliminden bahsedilemeyecektir [21, 22, 25]. Şokların oynaklık üzerindeki etkileri de sınırlı değildir ve oynaklıkta kesirli bütünleşme sürecine yol açmaktadır. Bu amaçla ARFIMA model notasyonundaki karesel hataların genişletilmiş versiyonu olarak serilerin ortalamasına benzer biçimde koşullu varyanslarındaki uzun hafıza özelliği için de Baillie vd. [23] tarafından FIGARCH modeli geliştirilmiştir. FIGARCH (p, d, q) modeli (7)' deki gibi ifade edilmektedir.

$$\phi(L)(1-L)^d (\varepsilon_t^2) = \omega + [1 - \beta(L)]v_t, \quad (7)$$

Burada $v_t = \varepsilon_t^2 - h_t$ 'dir ve ilişkisiz sıfır ortalamalı hata terimini ifade etmektedir. FIGARCH modelinde eğer $d=0$ ise model GARCH (p,q) modeline indirgenmektedir. $d=1$ için süreç bütünleşik GARCH (IGARCH) süreci olur. $0 < d < 1$ olduğunda FIGARCH (p,d,q) süreçlerinin koşullu varyansı üzerine bir şokun etkisi hiperbolik oranda yavaş biçimde azalmaktadır [23]. Şokların oynaklık üzerindeki etkilerinin asimetrik olabileceği görüşü ile Bollerslev & Mikkelsen [24], Üstel GARCH (EGARCH) modelini asimetrik uzun hafıza özelliğini de göz önünde bulunduran kesirli bütünleşik EGARCH (FIEGARCH) modelini önermişlerdir. FIEGARCH (p,d,q) modeli (8)' deki gibidir:

$$\phi(L)(1-L)^d \ln(h_t) = \beta_0 + \sum_{i=1}^q (\beta_i |y_{t-i}| + \gamma_i y_{t-i}) \quad (8)$$

$$\ln(h_t) = w + \phi(L)^{-1}(1-L)^{-d} [1 + \alpha(L)]g(z_{t-1}) \quad (9)$$

$$g(z_t) = \theta(z_t) + \gamma [z_t - E|z_t|] \quad (10)$$

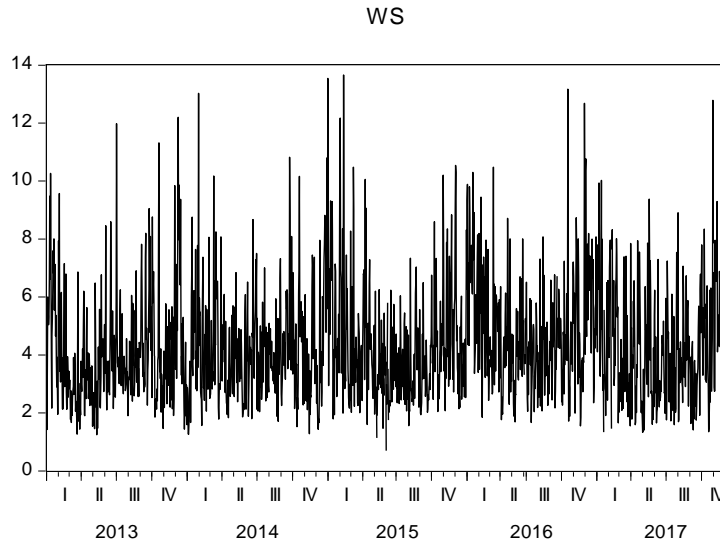
Model $d=0$ olduğunda EGARCH modeline $d=1$ olduğunda IEGARCH modeline dönüşmektedir [24].

III. AMASRA BÖLGESİ RÜZGÂR HIZLARI İÇİN AMPİRİK BULGULAR

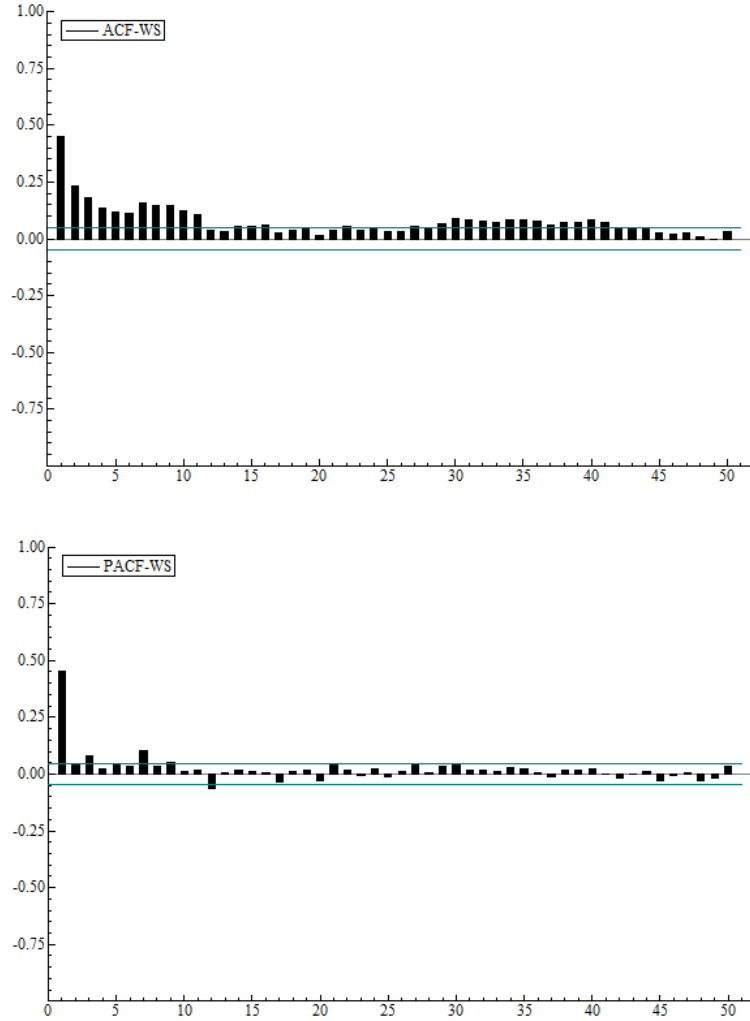
Çalışmada Türkiye' de Bartın ili Amasra ilçesi rüzgâr hızları için uzun hafızanın varlığı araştırılmaktadır. Bu bölümde değişkene ilişkin tanımlayıcı istatistiklere, birim kök testlerine, koşullu değişen varyans modelleri ve uzun hafıza özelliği için ikili uzun hafıza modelleri tahmin sonuçlarına yer verilmiştir. Bulgular, Eviews ve OxMetrics programları yardımıyla elde edilmiştir.

A. Veri ve Tanımlayıcı İstatistikler

Çalışmada kullanılan veri, 2013-2017 dönemine ait Amasra bölgesi için günlük rüzgâr hızı (m/s) verilerinden oluşmakta ve değişken WS ile gösterilmektedir. Veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğü' nden elde edilmiştir. Şekil 1' de WS rüzgâr hızı serisinin grafiği ve Şekil 2' de ACF (Otokorelasyon Fonksiyonu) ile PACF (Kısmi Otokorelasyon Fonksiyonu) grafikleri verilmektedir.



Şekil 1. Amasra Bölgesi Rüzgâr Hızları (m/s) (WS) Serisinin Grafiği



Şekil 2. Amasra Bölgesi Rüzgâr Hızları (m/s) (WS) Serisi ACF, PACF Grafikleri

Şekil 1 ve Şekil 2 incelendiğinde serideki oynaklık (volatilite) kümelemelerinin de varlığına işaret eden ortalama etrafındaki iniş çıkışlı eğilimi ve ACF fonksiyonu grafiğinde periyodiklik ile birlikte yavaş bir azalma eğilimi gözlenmektedir. Bu özellikler rüzgâr hızı (WS) serisindeki oynaklığın ve uzun hafızanın varlığının incelenmesini gerekli kılmaktadır. Tablo 1’ de WS değişkenine ilişkin tanımlayıcı istatistikler verilmektedir.

Tablo 1. WS Değişkeni için Tanımlayıcı İstatistikler

Gözlem Sayısı	1760
Ortalama	4,3614
Standart Sapma	1,9428
Çarpıklık	1,1566
Basıklık	1,8029
Minimum	0,7
Maksimum	13,663
J-B: p-Değeri	630,74 [0,0000]
ARCH(2)	169,73 [0.0000]**
ARCH(5)	71,400 [0.0000]**
ARCH(10)	39,246 [0.0000]**
Q(5)	572,326[0.0000]**
Q(10)	742,514[0.0000]**
Q(20)	790,799[0.0000]**
Q(50)	971,454[0.0000]**
Q ² (5)	434,463[0.0000]**
Q ² (10)	590,205[0.0000]**
Q ² (20)	636,353[0.0000]**
Q ² (50)	810,233[0.0000]**
Uzun Hafıza (Long Memory) Test İstatistikleri	
Kritik Değerler	
%90: [0.861, 1.747]	
%95: [0.809, 1.862]	
%99: [0.721, 2.098]	
H0: Hurst-Mandelbrot = Otokorelasyon yoktur ve Lo = Uzun Dönem Bağımlılık Yoktur	
WS Serisi hataları için Lo R/S Test İstatistiği	2.56599**
WS Serisi - kareli hataları için Hurst-Mandelbrot R/S Test İstatistiği	3.09217**
WS Serisi - hataları için Lo R/S Test İstatistiği	2.33153**
WS Serisi - kareli hataları için Hurst-Mandelbrot R/S Test İstatistiği	3.09217**

Tablo 1’ de rüzgâr hızı (WS) değişkeni için tanımlayıcı istatistik sonuçlarına göre, çarpıklık ve basıklık istatistikleri serinin normal dağılıma göre asimetric, sağa çarpık ve aşırı basık olduğunu göstermektedir. J-B (Jarque-Bera) istatistiği de serinin normal dağılmadığının göstergesi olarak istatistiksel anlamlıdır. Serinin hata ve kareli hatalarının bağımsızlık testi için farklı gecikme değerlerinde (5-10-20-50) Ljung-Box İstatistikleri (Q ve Q²) elde edilmiştir. İstatistiklere göre; hatalarda ve kareli hatalarda 50. gecikmeye kadar yüksek derecelerde ilişkili olduklarını ve i.i.d. (bağımsız ve aynı dağılıma sahip olma özelliği) süreci göstermediğini söylemek mümkündür. Rüzgâr hızı (WS) serisinin uzun hafıza özelliği ile ilgili başlangıç değerlendirilmesinde uzun dönem bağımlılık özelliğinin ve otokorelasyonun testi Lo R/S Test İstatistiği ve Hurst-Mandelbrot R/S Test İstatistikleri de hatalarda ve kareli hatalardaki uzun hafıza özelliğinin kanıtını sunmaktadır.

Çalışmada rüzgâr hızı (WS) için uzun hafıza özelliğinin analizi ile ilgili olarak öncelikle serinin durağan olup olmadığının belirlenmesi için birim kök testleri uygulanmakta ve sabitli ADF (Augmented Dickey Fuller), PP (Phillips-Perron) ve KPSS (Kwiatkowski, Phillips, Schmidt ve Shin) birim kök test sonuçları Tablo 2’ de verilmektedir.

Tablo 2. Rüzgâr Hızı (WS) Serisinin Birim Kök Test Sonuçları

Test	WS
ADF	-25.70987 [0,0000]**
PP	-29.14217 [0,0000]**
KPSS	0.358969

** ,%5 anlam düzeyinde ADF ve PP testleri için “H₀:Birim Kök” sıfır hipotezinin reddini, KPSS testi için “H₀:Birim Kök yoktur” sıfır hipotezinin reddini ifade etmektedir. % 5 anlam düzeyi için Mc Kinnon Kritik Değeri (-2,86), Kwiatkowski Kritik Değeri (0,463)’ dir. Durağanlık testi için WS serisinin grafiği değerlendirilerek kesim noktasının modele dahil edildiği sabitli model seçilmiştir.

Tablo 2' de birim kök testleri sonuçları incelendiğinde; ADF, PP ve KPSS testleri WS serisinin düzeyde durağan olduğunu göstermektedir. Buna göre durağan rüzgâr hızı-WS serisinin ortalaması ve oynaklığı için uzun hafıza model sonuçlarına yer verilmektedir.

B. Rüzgâr Hızı İçin Model Tahmin Sonuçları

1) ARFIMA (p, ξ , q) Model Tahmin Sonuçları: Amasra bölgesi rüzgâr hızı serisinin ortalamasındaki uzun hafıza özelliğini analiz etmek amacıyla Normal, Student-t, Skewed Student-t ve GED dağılımlı, farklı (p, q) gecikmeli ARFIMA modelleri tahmin edilmektedir. WS serisinin p, q=0,1,2 gecikme değerli ARFIMA (p, ξ ,q) model kombinasyonları Akaike (AIC), Schwarz (SIC) Bilgi Kriterleri ve Log(L) ile karşılaştırılarak seri için en uygun model seçilmektedir. Buna göre tahmin edilen en uygun ARFIMA (p, ξ , q) modeli sonuçları Tablo 3' de sunulmaktadır.

Tablo 3. Rüzgâr Hızı (WS) için ARFIMA(1, ξ , 0) Modeli Tahmin Sonuçları

(p, ξ , q)	ARFIMA (1, ξ , 0)			
	N	ST	GED	SST
μ	4.365401* (0.19904) [0.0000]	3.648380* (0.21055) [0.0000]	3.572287* (0.22303) [0.0000]	4.356374* (0.099893) [0.0000]
ψ_1	0.221505* (0.046248) [0.0000]	0.226903* (0.044389) [0.0000]	0.225123* (0.049126) [0.0000]	0.208440* (0.042482) [0.0000]
ψ_2	-	-	-	-
ξ	0.191200* (0.036632) [0.0000]	0.181822* (0.035105) [0.0000]	0.195238* (0.041576) [0.0000]	0.090794* (0.028727) [0.0016]
θ_1	-	-	-	-
θ_2	-	-	-	-
v	-	5.551800* (0.73135) [0.0000]	1.336494* (0.070733) [0.0000]	9.136494 (1.7793) [0.0000]
ln(ζ)	-	-	-	0.547218* (0.053561) [0.0000]
Log(L)	-3450.49	-3394.27	-3408.06	-3312.76
AIC	3.892890	3.862809	3.878480	3.771318
SIC	3.903457	3.878358	3.894029	3.789976
Çarpıklık	1.0235	1.0301	1.0134	1.1420
Aşırı Basıklık	2.2169	2.2217	2.2091	2.2529
J-B	667.67	673.21	659.12	754.79
Q(5)	3.74455 [0.4416797]	3.43741 [0.4874595]	4.06191 [0.3976923]	41.3584* [0.0000000]
Q(10)	16.6102*** [0.0551819]	16.6576*** [0.0543557]	16.4473*** [0.0581075]	72.5421* [0.0000000]
Q(20)	33.6270** [0.0203283]	33.5573** [0.0207135]	33.8683** [0.0190460]	86.0201* [0.0000000]
Q(50)	50.9407 [0.3971634]	50.6522 [0.4081621]	50.3217 [0.4208994]	119.455* [0.0000001]
Q ² (5)	23.9977* [0.0002173]	23.2445* [0.0003031]	23.7115* [0.0002466]	20.9199* [0.0008388]
Q ² (10)	30.3412* [0.0007532]	31.4432* [0.0004955]	31.3015* [0.0005231]	33.5737* [0.0002180]
Q ² (20)	33.6108** [0.0288811]	34.8970** [0.0206600]	34.7316** [0.0215813]	37.6034* [0.0098969]
Q ² (50)	95.4763* [0.0001136]	93.8154* [0.0001737]	93.0764* [0.0002094]	103.790* [0.0000123]
ARCH(1)	8.2303* [0.0003]	7.9534* [0.0004]	8.1881* [0.0003]	6.7023* [0.0013]
ARCH(5)	4.2152* [0.0008]	4.0596* [0.0011]	4.1395* [0.0010]	3.6778* [0.0026]
ARCH(10)	2.6003* [0.0039]	2.6808* [0.0029]	2.6748* [0.0030]	2.8264* [0.0017]

*, **, *** sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyinde istatistiksel anlamlılığı, (.) standart hatayı ve [.] p-olasılık değerini ifade etmektedir.

Tablo 4. Rüzgâr Hızı (WS) için ARFIMA(0, ξ , 1) Modeli Tahmin Sonuçları

(p, ξ , q)	ARFIMA (0, ξ , 1)			
	N	ST	GED	SST
μ	4.363654* (0.21600) [0.0000]	3.578238* (0.21542) [0.0000]	3.509948* (0.18695) [0.0000]	4.358426* (0.11089) [0.0000]
ψ_1	-	-	-	-
ψ_2	-	-	-	-
ξ	0.213935* (0.029941) [0.0000]	0.207323* (0.028259) [0.0000]	0.219440* (0.029797) [0.0000]	0.114436* (0.022541) [0.0000]
θ_1	0.208830* (0.039039) [0.0000]	0.208407* (0.035353) [0.0000]	0.209238* (0.039379) [0.0000]	0.191603* (0.033445) [0.0000]
θ_2	-	-	-	-
v	-	5.574517* (0.73160) [0.0000]	1.338410* (0.068219) [0.0000]	9.212631 (1.7903) [0.0000]
ln(ζ)	-	-	-	0.551347* (0.055405) [0.0000]
Log(L)	-3448.88	-3393.06	-3406.693	-3311.8
AIC	3.923725	3.861432	3.876924	3.770222
SIC	3.936164	3.876980	3.892472	3.788880
Çarpıklık	1.0223	1.0291	1.0122	1.1390
Aşırı Basıklık	2.1927	2.1987	2.1848	2.2401
J-B	659.16	665.18	650.60	748.57
Q(5)	1.37822 [0.8479721]	1.31824 [0.8582725]	1.60501 [0.8078910]	41.0654* [0.0000000]
Q(10)	13.9692 [0.1234259]	14.2284 [0.1144306]	13.9160 [0.1253465]	68.4517* [0.0000000]
Q(20)	31.2143** [0.0382386]	31.5443** [0.0351504]	31.7218** [0.0335839]	81.3446* [0.0000000]
Q(50)	47.8727 [0.5188311]	47.9906 [0.5140201]	47.6193 [0.5291930]	111.634* [0.0000009]
Q ² (5)	23.5764* [0.0002618]	22.9139* [0.0003506]	23.4213* [0.0002804]	20.8417* [0.0008678]
Q ² (10)	30.2266* [0.0007865]	31.3779* [0.0005081]	31.2774* [0.0005279]	33.5943* [0.0002163]
Q ² (20)	33.3129** [0.0311664]	34.6151* [0.0222525]	34.4884** [0.0230044]	37.5293* [0.0101036]
Q ² (50)	95.1678* [0.0001230]	93.0948* [0.0002084]	92.4555* [0.0002448]	103.751* [0.0000124]
ARCH(1)	7.8077* [0.0004]	7.7198* [0.0005]	7.9410* [0.0004]	6.6572* [0.0013]
ARCH(5)	4.1389* [0.0010]	4.0132* [0.0013]	4.0982* [0.0011]	3.6716* [0.0026]
ARCH(10)	2.5763* [0.0043]	2.6737* [0.0030]	2.6693* [0.0031]	2.8243* [0.0018]

*, **, *** sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyinde istatistiksel anlamlılığı, (.) standart hatayı ve [.] p-olasılık değerini ifade etmektedir.

Tablo 3 ve Tablo 4' deki sonuçlar rüzgâr hızı (WS) için ortalamadaki uzun hafıza özelliğini destekler niteliktedir. Tahmin edilen modeller arasından parametreleri istatistiksel anlamlı bulunan ARFIMA (1, ξ , 0) modeli normal, student-t, GED ve skewed student-t dağılımları için tahmin edilen ortalamadaki kesirli bütünleşme derecesi ξ parametresi %1 istatistiksel olarak anlamlı bulunmuş ve 0,090794 ile 0,195238 arasında değişmektedir. Benzer biçimde parametreleri anlamlı bulunan ARFIMA (0, ξ , 1) modelinde tahmin edilen ortalamadaki kesirli bütünleşme derecesi ξ ise 0,114436 ile 0,219440 arasında değişmektedir ve %1 anlamlılık düzeyinde istatistiksel anlamlıdır. Rüzgâr hızı (WS) için istatistiksel anlamlı bulunan her iki modelin tanımsal istatistikleri incelendiğinde serinin pozitif asimetri ve aşırı basıklık özelliğine sahip olduğu görülmekte ve J-B (Jarque-Bera) istatistiği de standartlaştırılmış hataların normal dağılımdan farklı bir dağılıma sahip olduğunu desteklemektedir. Ljung-Box istatistikleri WS serisi için özellikle kareli hatalarda i.i.d. özelliği (bağımsız aynı dağılıma sahip olma) sıfır hipotezini desteklememektedir. Ayrıca ARCH-LM testi sonuçları da hatalardaki ARCH etkilerinin %1 anlamlılık düzeyinde istatistiksel anlamlı olduğunu ifade etmektedir. Bulgulara göre rüzgâr hızı (WS) serisinin yalnızca ortalamasının uzun hafıza özelliğinin varlığının incelenmesi için ARFIMA model tahminlerinin yeterli olmadığını

söylemek mümkündür. Bu amaçla rüzgâr hızı (WS) ortalamasındaki uzun hafıza ile birlikte oynaklıktaki (volatilité) uzun hafıza özelliği de incelenmektedir. Rüzgâr hızı için tahmin edilen çeşitli gecikme değerlerindeki GARCH türü model parametreleri istatistiksel anlamlı bulunmadığı için model sonuçlarına yer verilmemiştir. Tablo 5-7' de WS için oynaklık modelleri ve oynaklıktaki uzun hafıza için FIGARCH Modeli sonuçları gösterilmektedir.

2) *EGARCH (p, q) Model Tahmin Sonuçları:* Bu bölümde rüzgâr hızı (WS) serisinin oynaklığının modellenmesinde Normal, Student-t, GED ve Skewed Student-t dağılımlı, farklı (p, q) gecikmeli EGARCH modelleri tahmin edilmektedir. WS serisinin p, q=0,1,2 gecikme değerli EGARCH (p, q) model kombinasyonları Akaike (AIC), Schwarz (SIC) Bilgi Kriterleri ve Log(L) ile karşılaştırılarak seri için en uygun istatistiksel anlamlı model seçilmektedir. Buna göre tahmin edilen en uygun EGARCH (p, q) modeli sonuçları Tablo 5' de gösterilmektedir.

Tablo 5. Rüzgâr Hızı (WS) Serisi için EGARCH (1,1) Modeli Tahmin Sonuçları

(p, q)	EGARCH (1,1)			
	N	ST	GED	SST
ω	4.036277* (0.053962) [0.0000]	3.938652* (0.057150) [0.0000]	3.927912* (0.059339) [0.0000]	4.303019* (0.060156) [0.0000]
β_0	-0.847121* (0.10242) [0.0000]	-0.845856* (0.10417) [0.0000]	-0.847596* (0.10167) [0.0000]	0.153580 (0.27993) [0.5833]
β_1	0.947921* (0.049207) [0.0000]	0.956253* (0.043503) [0.0000]	0.953123* (0.045118) [0.0000]	0.175106 0.43870 [0.6898]
(Egarch) γ_1	0.309191* (0.052677) [0.0000]	0.252911* (0.051813) [0.0000]	0.290819* (0.052094) [0.0000]	0.000385 (0.036633) [0.9916]
(Egarch) γ_2	0.235552** (0.053931) [0.0000]	0.323881* (0.049607) [0.0000]	0.279383* 0.051687 [0.0000]	0.239423* (0.048839) [0.0000]
ν	-	7.834723 (1.3725) [0.0000]	1.506243* (0.08624) [0.0000]	16.00669* (5.5186) [0.0038]
$\ln(\zeta)$	-	-	-	0.761756* (0.057043) [0.0000]
Log(L)	-3578.42	-3548.32	-3559.48	-3445.56
AIC	4.073203	4.040141	4.052814	3.924501
SIC	4.091861	4.061909	4.074582	3.949379
Çarpıklık	1.15656	0.85629	1.15656	1.15656
Aşırı Basıklık	4.80292	1.3596	4.80292	4.80292
J-B	295.97	350.63	315.07	611.76
Q(5)	394.585* [0.0000]	349.823* [0.0000]	358.487* [0.0000]	470.659* [0.0000]
Q(10)	500.196* [0.0000]	444.338* [0.0000]	454.060* [0.0000]	616.490* [0.0000]
Q(20)	531.691* [0.0000]	471.617* [0.0000]	481.587* [0.0000]	659.779* [0.0000]
Q(50)	653.631* [0.0000]	578.316* [0.0000]	590.705* [0.0000]	812.704* [0.0000]
Q ² (5)	6.84165 [0.0771]	7.24544*** [0.0644]	7.06708*** [0.0697]	15.3582 [0.0015]
Q ² (10)	11.7787 [0.1613]	11.6795 [0.1660]	11.7826 [0.1611]	36.7684 [0.0000]
Q ² (20)	16.9698 [0.5251]	17.6791 [0.4769]	17.5661 [0.4845]	44.0481* [0.0005]
Q ² (50)	53.4909 [0.2716]	52.4047 [0.3070]	51.4877 [0.3389]	111.390* [0.0000]
ARCH(1)	1.3040 [0.2717]	1.6109 [0.2000]	1.5375 [0.2152]	3.9193** [0.0200]
ARCH(5)	1.3272 [0.2497]	1.3784 [0.2294]	1.3495 [0.2407]	2.8358** [0.0148]
ARCH(10)	1.2028 [0.2841]	1.1820 [0.2982]	1.1878 [0.2942]	3.0676* [0.0007]

*, **,*** sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyinde istatistiksel anlamlılığı, (.) standart hatayı ve [.] p-olasılık değerini ifade etmektedir.

Tablo 5' de Normal, Student-t, GED dağılımlı EGARCH(1,1) modeli parametreleri %1 anlamlılık düzeyinde istatistiksel anlamlı bulunmuştur ve seride kısa dönem asimetrik etkiler değerlendirilmiştir. Amasra bölgesi rüzgâr hızları için EGARCH(1,1) modeli bulgularına göre (Egarch) γ_1 ve (Egarch) γ_2 parametreleri %5 anlamlılık düzeyinde istatistiksel anlamlıdır. (Egarch) γ_2 parametresi modelin simetrik etkisini ve büyüklüğünü ifade etmektedir. (Egarch) $\gamma_2 > 0$ olduğundan asimetrik etkiler anlamlıdır, kaldıraç etkisi söz konusudur ve negatif şoklar serinin oynaklığını arttırmaktadır. Bir başka ifade ile negatif şokların etkileri (kötü haber) pozitif şoklara (iyi haber) göre serinin oynaklığı üzerinde daha fazladır. İstatistiksel anlamlı bulunan β_1 parametresi ise rüzgâr hızlarında meydana gelen anormal durumların etkilerini göstermektedir. β_0 parametresi kısa dönem etkileri ifade ederken, β_1 parametresi ne kadar büyükse buna bağlı olarak rüzgâr hızlarını etkileyecek anormal durumların etkisinin de uzun süre kalıcı olacağını söylemek mümkündür.

3) *FIGARCH (p, d, q) Model Tahmin Sonuçları*: Bu bölümde rüzgâr hızı (WS) serisinin oynaklığındaki uzun hafıza sürecinin modellenmesinde Normal, Student-t, GED ve Skewed Student-t dağılımlı, farklı (p, q) gecikmeli FIGARCH modelleri tahmin edilmektedir. WS serisinin p, q=0,1,2 gecikme değerli FIGARCH (p,d,q) model kombinasyonları Akaike (AIC), Schwarz (SIC) Bilgi Kriterleri ve Log(L) ile karşılaştırılarak seri için en uygun istatistiksel anlamlı model seçilmiştir. Buna göre tahmin edilen en uygun FIGARCH (p,d,q) modeli sonuçlarına Tablo 6' da yer verilmektedir.

Tablo 6. Rüzgâr Hızı (WS) Serisi İçin FIGARCH (1, d, 1) Modeli Tahmin Sonuçları

(p, d, q)	FIGARCH (1, d, 1)			
	N	ST	GED	SST
ω	4.124229* (0.066891) [0.0000]	3.973430* (0.059911) [0.0000]	3.961525* (0.063342) [0.0000]	4.286755* (0.053241) [0.0000]
β_0	-0.729893* (0.20496) [0.0004]	0.713726* (0.091908) [0.0000]	0.722095* (0.10131) [0.0000]	0.818578* (0.058289) [0.0000]
β_1	-0.773626* (0.18269) [0.0000]	0.854857* (0.051836) [0.0000]	0.848899* (0.054595) [0.0000]	0.872105* (0.038609) [0.0000]
d	0.157026* (0.038433) [0.0000]	0.388904* (0.091204) [0.0000]	0.354498* (0.10199) [0.0005]	0.151712* (0.044268) [0.0006]
ν	-	6.639128* (0.98415) [0.0000]	1.408229* (0.085019) [0.0000]	17.544251* (6.1894) [0.0046]
$\ln(\zeta)$	-	-	-	0.746506* (0.053254) [0.0000]
Log(L)	-3608.77	-3559.462	-3577.608	-3443.51
AIC	4.106556	4.051661	4.072282	3.921037
SIC	4.122105	4.070319	4.090940	3.942805
Çarpıklık	1.15656	1.0945	1.15656	1.15656
Aşırı Basıklık	4.80292	2.5504	4.80292	4.80292
J-B	642.53	828.41	782.20	593.84
Q(5)	373.213* [0.0000]	314.017* [0.0000]	323.809* [0.0000]	467.943* [0.0000]
Q(10)	478.493* [0.0000]	398.931* [0.0000]	410.794* [0.0000]	605.920* [0.0000]
Q(20)	509.004* [0.0000]	422.730* [0.0000]	435.125* [0.0000]	647.538* [0.0000]
Q(50)	626.057* [0.0000]	522.205* [0.0000]	535.897* [0.0000]	792.694* [0.0000]
Q ² (5)	1.64693 [0.6487]	2.08750 [0.5544]	1.81937 [0.6107]	8.08366 ** [0.0443]
Q ² (10)	6.99571 [0.5370]	5.87396 [0.6613]	6.10086 [0.6359]	23.1813* [0.0031]
Q ² (20)	11.7197 [0.8613]	10.9856 [0.8949]	11.1413 [0.8882]	29.8562** [0.0388]
Q ² (50)	56.0449 [0.1986]	50.2978 [0.3825]	49.2882 [0.4214]	77.7185 * [0.0042]
ARCH(1)	0.040981 [0.9598]	0.38119 [0.6831]	0.26586 [0.7666]	2.7434*** [0.0646]
ARCH(5)	0.32353 [0.8990]	0.42120 [0.8342]	0.37191 [0.8681]	1.5452 [0.1726]
ARCH(10)	0.66791 [0.7551]	0.58633 [0.8263]	0.60661 [0.8094]	2.0388** [0.0264]

*, **, *** sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyinde istatistiksel anlamlılığı, (.) standart hatayı ve [.] p-olasılık değerini ifade etmektedir.

Tablo 6' da FIGARCH (1,d,1) modeli tahmin sonuçları incelendiğinde kesirli bütünleşme uzun hafıza d parametresi sıfırdan farklı ve %5 anlamlılık düzeyinde istatistiksel anlamlı bulunmuştur. Ljung-box (Q) istatistikleri serinin i.i.d. özelliğini desteklemektedir. Rüzgâr hızı serisi için dağılımların tahmin sonuçlarının anlamlı olduğunu söylemek mümkündür. Student-t dağılımı modellerde tahmin hatalarının kalın kuyruk karakteristiklerini yakalamaktadır. ν parametresi % 5 anlam düzeyinde istatistiksel anlamlıdır. Buna göre rüzgâr hızları kalın kuyruklu bir olasılık yoğunluğu göstermektedir. Skewed student-t dağılımı için $\ln(\zeta)$ parametresi de %5 anlamlılık düzeyinde istatistiksel anlamlıdır ve elde edilen hataların dağılımının asimetrik olduğunu ifade etmektedir. $\ln(\zeta)$ parametresi pozitif olduğundan dağılım sağa çarpıktır. Söz konusu dağılımların normal dağılıma göre seri için daha uygun dağılımlar olduğunu söylemek mümkündür.

4) FIEGARCH (p, d, q) Model Tahmin Sonuçları: Bu bölümde rüzgâr hızı (WS) serisinin oynaklığındaki asimetrik uzun hafıza sürecinin değerlendirilmesi için Normal, Student-t, GED ve Skewed Student-t dağılımlı, farklı (p, q) gecikmeli FIEGARCH modelleri tahmin edilmektedir. WS serisinin p, q=0,1,2 gecikme değerli FIEGARCH (p,d,q) model kombinasyonları Akaike (AIC), Schwarz (SIC) bilgi kriterleri ve Log(L) ile karşılaştırılarak seri için en uygun istatistiksel anlamlı model seçilmiştir. Tablo 7' de en uygun FIEGARCH (p,d,q) modeli sonuçları gösterilmektedir.

Tablo 7. Rüzgâr Hızı (WS) Serisi için FIEGARCH (1, d, 1) Modeli Tahmin Sonuçları

(p, d, q)	FIEGARCH (1, d, 1)			
	N	ST	GED	SST
ω	4.038695* (0.054044) [0.0000]	3.939302* (0.057691) [0.0000]	3.931483* (0.059816) [0.0000]	4.299115* (0.061332) [0.0000]
β_0	0.523786* (0.12898) [0.0001]	0.575671* (0.11444) [0.0000]	0.558825* (0.11719) [0.0000]	0.101522 (0.23634) [0.6676]
β_1	-0.713141* (0.098704) [0.0000]	-0.718594* (0.10368) [0.0000]	-0.724646* (0.091382) [0.0000]	0.157829 (0.34342) [0.6459]
(Egarch) γ_1	0.323964* (0.048821) [0.0000]	0.265899* (0.048993) [0.0000]	0.306078* (0.049021) [0.0000]	0.005852 (0.038241) [0.8784]
(Egarch) γ_2	0.224339* (0.062860) [0.0004]	0.317555* (0.055588) [0.0000]	0.269070* (0.059174) [0.0000]	0.237156* (0.047561) [0.0000]
d	0.229490* (0.049726) [0.0000]	0.253882* (0.051273) [0.0000]	0.238347* (0.048016) [0.0000]	0.037025 (0.031321) [0.2373]
ν	-	7.889379* (1.4140) [0.0000]	1.516764* (0.087661) [0.0000]	15.973644* (5.4740) [0.0036]
$\ln(\zeta)$	-	-	-	0.755817* (0.059887) [0.0000]
Log(L)	-3573.637	-3545.07	-3556.06	-3445.072
AIC	4.068906	4.037584	4.050067	3.925082
SIC	4.090674	4.062462	4.074945	3.953069
Çarpıklık	1.15656	1.15656	1.15656	1.15656
Aşırı Basıklık	4.80292	4.80292	4.80292	4.80292
J-B	288.87	343.75	306.90	612.09
Q(5)	407.293* [0.0000]	359.566* [0.0000]	371.567* [0.0000]	468.242* [0.0000]
Q(10)	519.538* [0.0000]	459.819* [0.0000]	474.191* [0.0000]	613.154* [0.0000]
Q(20)	550.703* [0.0000]	488.386* [0.0000]	502.904* [0.0000]	654.778* [0.0000]
Q(50)	667.623* [0.0000]	591.773* [0.0000]	608.306* [0.0000]	809.178* [0.0000]
Q ² (5)	4.81821 [0.1856]	4.04445 [0.2567]	4.64672 [0.1995]	14.7765* [0.0020]
Q ² (10)	10.1397 [0.2553]	8.83057 [0.3567]	9.93847 [0.2693]	35.6329* [0.0000]
Q ² (20)	14.5117 [0.6951]	13.2940 [0.7738]	14.4520 [0.6991]	42.8869* [0.0008]
Q ² (50)	50.9623 [0.3578]	48.0022 [0.4727]	48.4607 [0.4542]	112.371* [0.0000]
ARCH(1)	1.9839 [0.1378]	1.5038 [0.2226]	1.9252 [0.1462]	3.7663** [0.0233]
ARCH(5)	0.98435 [0.4258]	0.81050 [0.5421]	0.94022 [0.4537]	2.7256** [0.0185]
ARCH(10)	1.0413 [0.4056]	0.91857 [0.5149]	1.0264 [0.4182]	2.9802* [0.0010]

*, **, *** sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyinde istatistiksel anlamlılığı, (.) standart hatayı ve [.] p-olasılık değerini ifade etmektedir.

Tablo 7’ de şokların koşullu varyans üzerindeki uzun dönem asimetrik etkilerini değerlendiren FIEGARCH (1,d,1) modeli bulgularına göre; (Egarch) γ_2 kaldıraç etki parametresi tüm dağılımlar için %5 anlamlılık düzeyinde istatistiksel anlamlıdır ve (Egarch) $\gamma_2 > 0$ olarak tahmin edilmiştir. Bu durum EGARCH (1,1) modelini destekler nitelikte olup şokların oynaklık üzerindeki asimetrik etkilerinin anlamlı olduğunu ifade etmektedir. Rüzgâr hızı serisinin oynaklığındaki uzun hafıza için kesirli bütünleşme parametresi d Skewed student-t dağılımı dışında diğer tüm dağılımlarda %5 anlamlılık düzeyinde istatistiksel anlamlıdır ve dağılımlar için (0.229490 - 0.253882) arasında değer almaktadır. Kesirli bütünleşme parametresi $0 < d < 1$ arasında olduğundan sürecin durağanlığını ifade etmektedir. Tahmin edilen modele ilişkin bulgular serinin oynaklığı üzerinde asimetrik etkilerin varlığı ile birlikte uzun hafızaya ilişkin kanıtlar sunmaktadır.

5) *En Uygun Model Seçimi*: Rüzgâr hızı (WS) serisi için istatistiksel anlamlı bulunan, asimetrik koşullu değişen varyans modellerinden EGARCH(1,1) modeli, serinin ortalamasındaki uzun hafıza sürecini değerlendirmek için tahmin edilen ARFIMA(1,ξ,0) ve ARFIMA(0,ξ,1) modelleri, rüzgâr hızı serisinin koşullu değişen varyansındaki uzun hafıza süreci için şokların etkisinin simetrik kabul edildiği FIGARCH (1,d,1) modeli ve şokların etkisinin asimetrik kabul edildiği FIEGARCH (1,d,1) modeli, seçim kriterlerine göre karşılaştırılmakta ve bulguları Tablo 8’ de sunulmaktadır.

Tablo 8. Rüzgâr Hızı (WS) Serisi için Model Karşılaştırma Sonuçları

Model Seçim Kriterleri	EGARCH(1,1) (ST)	ARFIMA(1,ξ,0) (SST)	ARFIMA(0,ξ,1) (SST)	FIGARCH(1,d,1) (SST)	FIEGARCH(1,d,1) (ST)
Log(L)	-3548,32	-3312,76	-3311,8	-3443,51	-3545,07
AIC	4,040141	3,771318	3,770222	3,921037	4,037584
SIC	4,061909	3,789976	3,788880	3,942805	4,062462
Uzun Hafıza Parametreleri					
ξ	-	0,090794 (0,0016)	0,114436 (0,0000)	-	-
d	-	-	-	0,151712 (0,0006)	0,253882 (0,0000)

Not: (ST): Student-t Dağılımlı, (SST): Çarpık Student-t Dağılımlı model tahminini ifade etmektedir. AIC: Akaike Bilgi Kriteri, SC: Schwarz Bilgi Kriteri. Modellere ilişkin parameter tahminleri, diğer test ve kriterler model tahmin sonuçları tablolarındadır.

Buna göre; Tablo 8’ de verilen tahmin edilen modeller değerlendirildiğinde seçim kriterlerine göre rüzgâr hızı serisinin (WS) ortalaması için en uygun modelin ARFIMA(0,ξ,1) modeli olduğu, rüzgâr hızı serisinin (WS) koşullu varyansı için (EGARCH, FIGARCH ve FIEGARCH) modellerinden FIGARCH(1, d, 1) modelinin en uygun model olduğu görülmektedir. Buna göre; rüzgâr hızı serisinin ortalama ve varyansında uzun hafıza özelliği söz konusudur. Koşullu varyans üzerinde şokların asimetrik etkileri istatistiksel anlamlı bulunmakla birlikte (EGARCH, FIEGARCH modelleri ile) kriterlere göre şokların etkilerinin simetrik varsayıldığı FIGARCH modeli seri için daha uygun bir model olarak seçilmiştir.

IV. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Türkiye’ de rüzgâr enerjisi potansiyeli yüksek olan bölgeler arasından seçilen Bartın ili Amasra ilçesindeki rüzgâr hızlarının ortalama ve oynaklığındaki uzun hafıza özelliği araştırılarak seri için en uygun model belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, Amasra bölgesine ait günlük rüzgâr hızı (m/s) verileri kullanılarak öncelikle seriye ilişkin tanımlayıcı istatistikler elde edilmiştir. Rüzgâr hızları serisinin tanımlayıcı istatistikleri ile birlikte görsel bir değerlendirme olarak orjinal grafiği, ACF ve PACF fonksiyonları incelendiğinde seride oynaklığın ve uzun hafıza özelliğinin kanıtları görülmüştür. Model tahminleri öncesinde durağanlık koşulu için ADF, PP ve KPSS birim kök testleri uygulanmış ve serinin ortalama durağan olduğu belirlenmiştir. Rüzgâr hızı serisinin oynaklığı için ayrıca ortalaması ve koşullu varyansındaki uzun hafıza süreci için tüm modeller Normal, Student-t, Skewed Student-t ve GED dağılımlı p,q=0,1,2 gecikmeli olarak farklı kombinasyonlarda tahmin edilmiştir. Söz konusu modeller arasından parametreleri %5 anlamlılık düzeyinde istatistiksel anlamlı olan model sonuçlarına yer verilmiştir. Amasra bölgesi rüzgâr hızları için koşullu değişen varyans modellerinden asimetrik etkileri göz önünde bulunduran EGARCH(1,1) modeli uygun model olarak seçilmiştir. Modelin kaldıraç etki parametresi istatistiksel anlamlı ve (Egarch) $\gamma_2 > 0$ olduğundan asimetrik etkiler söz konusudur ve negatif şoklar serinin oynaklığını daha fazla arttırmaktadır. Rüzgâr hızı serisinin ortalamasındaki uzun hafıza süreci için ise en uygun model Skewed student-t dağılımlı ARFIMA(0,ξ,1) modeli olarak tahmin edilmiştir. Modelin kesirli

bütünleşme parametresi istatistiksel anlamlıdır ve $\xi=0,114436$ olarak elde edilmiştir. Benzer biçimde serinin koşullu değişen varyansındaki (oyunaklılığı) uzun hafıza süreci için en uygun model ise Skewed student-t dağılımlı FIGARCH(1,d,1) modeli olarak elde edilmiştir. Modelin kesirli bütünleşme parametresi $d=0,151712$ ile istatistiksel anlamlı bulunmuştur. Buna göre, rüzgâr hızı serisinin ortalaması ve koşullu varyansındaki uzun hafıza kesirli bütünleşme parametreleri %5 anlamlılık düzeyinde istatistiksel anlamlıdır ve her iki parametre de $(0<\xi<0,5)$, $(0<d<0,5)$ aralığındadır. Sonuç olarak kesirli bütünleşme parametrelerinin değerleri çok yüksek olmasa da rüzgâr hızı serisi durağan fakat uzun hafızalı olup bu durum geçmiş gözlem değerleriyle güçlü bir bağıllığın göstergesidir. Otokorelasyonlar pozitif ve gecikme uzunluğu arttıkça ACF fonksiyonu hiperbolik ve uzun dönemde yavaş olarak azalmaktadır. Bu sebeple uzun hafıza modelleri, klasik ARIMA modelleri gibi kısa hafıza yaklaşımlarına göre serideki yapıyı daha iyi modelleyebilmektedir. Çalışma bulgularına göre, Amasra bölgesi rüzgâr hızları için koşullu varyansla birlikte uzun hafıza sürecinin de değerlendirilmesinin uygun olduğunu ve seri için ARFIMA(0, ξ ,1)-FIGARCH (1,d,1) modelinin en uygun model olarak önerildiğini söylemek mümkündür. Rüzgâr hızlarının doğrusal olmayan kaotik karakteristikleri sebebiyle şüphesiz ki bir bölge için önerilen enerji potansiyel analizleri bir başka bölge için farklılık gösterebilmektedir. Bu çalışmada Bartın ili Amasra bölgesinin bir zaman serisi yaklaşımı ile rüzgâr enerjisi potansiyeli analiz edilmiştir. Özellikle Bartın ili Amasra bölgesinin seçilmesinin ilk sebebi rüzgâr hızı potansiyeli açısından iyi bir bölge olmasıdır. Bölgenin seçilmesindeki diğer bir sebep ise kıyıya yakın bir bölge olması dolayısıyla son yıllarda Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı' nın yakın dönem stratejilerinde gözönünde bulundurulmuş deniz üstü(off-shore) rüzgâr enerjisi sistemlerinin gelecek çalışmalarına da teorik bir katkı sağlaması düşüncesidir. Ayrıca bulgulara göre; Bartın ili Amasra bölgesi rüzgâr hızlarının ortalama ve varyansındaki uzun hafıza özelliğinin istatistiksel olarak anlamlı bulunması ($\xi=0,114436$ ve $d=0,151712$) değerleri ile $0<d<0,5$ olması uzun hafıza sürecini desteklemektedir. Bir başka ifade ile zaman serisi hem ortalamaya dönmektedir hem de kovaryans durağandır anlamına gelmektedir. Bu durum ise bir bölgede rüzgâr enerjisi kurulumu sonrası o bölgeden elde edilecek elektrik enerjisinin talep tarafına kararlı, güvenilir bir şekilde iletimi ile ilgili ve şebeke yönetimine de katkı sağlayabilecek bir ipucu niteliğinde değerlendirilebilir. Çalışmanın Türkiye'deki rüzgâr hızları ve tahminine yönelik derin öğrenme algoritmalarının, yapay sinir ağları gibi yöntemlerin kullanıldığı çalışmalardan farklı olarak rüzgâr hızlarının ortalama ve varyansındaki kesirli dinamiklerin değerlendirilmesi ile uzun hafıza özelliğinin incelenmesi ve tahmin edilen uygun model performanslarının karşılaştırılması açısından literatüre katkı sunması beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Shen, Z. & Ritter, M. (2015). Forecasting volatility of wind power production. *SFB 649 Discussion Paper-026*, 1-32.
- [2] Caporin, M. & Preš, J. (2012). Modelling and forecasting wind speed intensity for weather risk management. *Computational Statistics and Data Analysis*, 56, 3459-3476.
- [3] Bouette, J.C., Chassagneux, J.F., Sibai, D., Terron R., & Charpentier, A. (2006). Wind in Ireland: long memory or seasonal effect?, *Stoch Environ Res Risk Assess*, 20, 141-151.
- [4] Liu, X. & Wang, Y. (2013). Wind speed forecasting based on ARFIMA-EGARCH model. *BTAIJ*, 8(4), 559-562.
- [5] Özen, C., Kaplan, O., Özcan, C. & Dinç, U. (2019). Short Term Wind Speed Forecast By Using Long Short Term Memory. *ATMOS 2019*, İstanbul, 1-7.
- [6] Malinda, M. & Hui, C. J. The Study of the Long Memory in Volatility of Renewable Energy Exchange-Traded Funds (ETFs). *Journal of Economics, Business and Management*, 4(4), 252-257.
- [7] Haddad, M., Nicod, J., Mainassara, Y.B., Rabehasaina, L., Masry, Z. A., & Péra, M. (2019). Wind and solar Forecasting for Renewable Energy System using SARIMA-based Model. *International Conference on Time Series and Forecasting, Sep 2019*, Gran Canaria, Spain, 1-15.
- [8] Emami, P.S. B., Rafei, M. & Shahrabi, H. (2020). Forecasting the wind direction by using time series models with long-term memory (case study: Nayer region). *International Journal of Energy Sector Management*, 1-12.
- [9] Taylor, J.W., McSharry, P. E. & Buizza, R. (2008). Wind Power Density Forecasting Using Ensemble Predictions and Time Series Models. *Series: ECMWF Technical Memoranda*, 553, 1-17.
- [10] Dong, Y., Zhang, L., Liu, Z. & Wang J. (2020). Integrated Forecasting Method for Wind Energy Management: A Case Study in China. *Processes*, 8(35), 1-26.
- [11] Prabha P.P., Vanitha, V. & Resmi R. (2019). Wind Speed Forecasting using Long Short Term Memory Networks. *2nd International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies (ICICT)*, 1310-1314.

- [12] Balcı, M., Yüzgeç, U. & Dokur, E. (2022). Rüzgâr Hızı Tahmini İçin Ayırıştırılmaya Dayalı Hibrit Yöntemlerin Karşılaştırmalı Bir Çalışması. *International Conference On Emerging Sources In Science May 26-27*, 118-135.
- [13] Altınsoy, M. & Bal, G. (2019). Uzun Dönem Rüzgâr Hızı Tahmininde Yapay Sinir Ağlarının Kullanımı ve Performans İncelemesi. *Mesleki Bilimler Dergisi (MBD)*, 8(1), 21-28.
- [14] Kurban, M. Hocaoglu, F.O. & Mert Kantar, Y. (2007). Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin Tahmininde Kullanılan İki Farklı İstatistiksel Dağılımın Karşılaştırmalı Analizi. *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(1), 103-109.
- [15] Çağlar, A. (2017). Antalya Bölgesi İçin Rüzgâr Karakteristiğinin Weibull Dağılımı Kullanılarak İncelenmesi. *Cumhuriyet Sci. J.*, 38(4), 156-164.
- [16] Görgülü, S. (2019). Atatürk Havalimanı Verileri Kullanılarak Rayleigh Dağılım Yöntemiyle İstanbul'un Rüzgâr Karakteristiğinin Tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*. 17, 103-108.
- [17] Yanıktepe, B. & Kara, O. (2021). Üç Farklı İstatistiksel Dağılım Yöntemleri Kullanarak Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin Tahmin Edilmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 36(2), 359-368.
- [18] Engle, R. F. (1982). Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation. *Econometrica*, 50(4), 987-1007.
- [19] Bollerslev, T. (1986). Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity. *Journal of Econometrics*, 31 (3), 307-327.
- [20] Nelson, D.B. (1991). Conditional Heteroskedasticity in Asset Returns: A New Approach. *Econometrica* (59), 347-370.
- [21] Granger, C.W.J. & Joyeux, R. (1980). An Introduction to Long-Memory Time Series Models and Fractional Differencing. *Journal of Time Series Analysis*, (1), 15-39.
- [22] Hosking, J. R. M. (1981). Fractional Differencing. *Biometrika*, 68 (1), 165-176.
- [23] Baillie, R. T., Bollerslev, T. & Mikkelsen, H. O. (1996). Fractionally Integrated Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity. *Journal of Econometrics*, 74 (1), 3-30.
- [24] Bollerslev, T. & Mikkelsen, H.O. (1996). Modeling and Pricing Long-Memory in Stock Market Volatility. *Journal of Econometrics*, 73(1), 151-184.
- [25] Türkyılmaz, S. & Balıbey, M. (2014). Türkiye Hisse Senedi Piyasası Getiri ve Oynaklığındaki Uzun Dönem Bağımlılık için Ampirik Bir Analiz. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 16(2), 281-302.