

**Makale Türü:** Araştırma Makalesi/Research Article

## TÜRKİYE ENERJİ PİYASASINDA YAPISAL KIRILMALAR VE OYNAKLIK MODELLEMESİ

Erhan Demireli<sup>1</sup>  
Engin Gerek<sup>2</sup>  
Mert Ural<sup>3</sup>

### Öz

Bu çalışmada, 01.07.2015 - 31.12.2022 tarihleri arasındaki günlük elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatlarını (2.741 gözlem) kullanarak yapısal kırılmaların varlığında Asimetrik GARCH modelleri yardımıyla oynaklığın modellenmesi amaçlanmıştır. Sonuç olarak, elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatının Student-t dağılımına sahip olan ARMA(7,7)-EGARCH(1,1) modeli ile en iyi şekilde tahminlendiği belirlenmiştir. Elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisi (REAOPTF) üzerinde ICSS algoritmasıyla belirlenen 5 yapısal kırılma tarihi modele dahil edildiğinde, piyasaya gelen şokların sönme yani ortalamaya dönüş süresinin 10 günden 7 güne düştüğü anlaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Elektrik Piyasası, Asimetrik GARCH, Yapısal Kırılma, ICSS

## STRUCTURAL BREAKS AND VOLATILITY MODELING IN TURKISH ENERGY MARKET

### Abstract

This study aims to model volatility in the presence of structural breaks using Asymmetric GARCH models using daily weighted average market clearing prices of electricity (2,741 observations) between 01.07.2015 and 31.12.2022. As a result, electricity weighted average market clearing price is best predicted by the ARMA(7,7)-EGARCH(1,1) model with Student-t distribution. When the 5 structural break dates determined by the ICSS algorithm on the electricity weighted average market clearing price return series (REAOPTF) are included in the model, it was observed that the half-life of shocks decreases from 10 days to 7 days.

**Keywords:** Electricity Market, Asymmetric GARCH, Structural Break, ICSS

<sup>1</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, e-posta: [demireli.erhan@gmail.com](mailto:demireli.erhan@gmail.com), ORCID: 0000-0002-3457-0699

<sup>2</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, e-posta: [engingerek@gmail.com](mailto:engingerek@gmail.com), ORCID: 0009-0004-9288-6167

<sup>3</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, e-posta: [mert.ural@deu.edu.tr](mailto:mert.ural@deu.edu.tr), ORCID: 0000-0003-3252-846X

## 1. Giriş

Enerji, sosyal gelişim ve ekonomik büyümenin belirleyici unsurlarından biri olarak öne çıkmaktadır (Gülay, 2008). Enerji, dünya genelinde nüfus artışı, endüstriyel gelişim, kentsel dönüşüm, üretim artışları ve küreselleşme ile paralel olarak artan bir güç ve talep olarak karşımıza çıkmakta; bu durum ülkelerin ekonomik ve sosyal ilerlemesine önemli katkılarda bulunmaktadır.

Ekonomik ve yapısal değişimlerden daha az etkilenebilmek için enerji kaynaklarına erişim sağlamak zorunludur. Elektrik, kendine özgü nitelikleri ile en önemli enerji kaynaklarından biridir. Ekonominin büyümesi, yatırımların artması ve sanayinin gelişmesi ile aydınlatma ve ısınma ihtiyacı artmakta, bu da ülkelerin gelişmişlik düzeylerini artırma çabalarını hızlandırmakta ve dolayısıyla elektrik talebini artırmaktadır. Elektrik, teknoloji, ulaşım, sağlık ve eğitim gibi birçok alanda ihtiyaç duyulan kritik bir enerji türüdür. Elektrik üretimi, iletimi ve dağıtımını geliştirmiş ve geliştirmekte olan ülkeler açısından vazgeçilmez stratejik unsurlar arasında yer almaktadır.

Türkiye'deki elektrik piyasaları, fiziksel ve fiziksel olmayan şeklinde iki ana kategoriye ayrılmaktadır. Türkiye'nin fiziksel elektrik piyasasının mevcut yapısı, ikili anlaşmalar piyasası modeline dayanan bir dengeleme mekanizması ile desteklenmektedir. Piyasa düzenlemesi, Enerji Piyasaları İşletme A.Ş. (EPIAŞ) tarafından gerçekleştirilmekte ve bu piyasalar Gün Öncesi Piyasası (GÖP) ile Gün İçi Piyasası (GİP) olarak adlandırılmaktadır. Mevzuata göre, EPIAŞ, Türkiye'deki elektrik piyasasının yapısı ve aktörleri doğrultusunda, Gün Öncesi ve Gün İçi piyasalarının işleyişini, işlemlerin gerçekleştirilmesini ve piyasa katılımcılarının alacak ve borçlarının bildirimini sağlamakla yükümlüdür.

Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ), Dengeleme Güç Piyasası (DGP) ve Yan Hizmetler Piyasası (YHP) gibi piyasalara yönetimini üstlenmiştir. Bu piyasalar, gerçek zamanlı denge sağlamak için kaliteli bir arzın oluşturulmasını temin etmekte ve yan hizmetler ile dengeleme mekanizmalarının bu süreci destekleyici şekilde işlenmesini sağlamaktadır. Ayrıca, iletim hattı kaynaklarının satın alınması da TEİAŞ'ın sorumluluğundadır.

Vadeli işlem (futures) ve opsiyon sözleşmeleri, EPIAŞ tarafından sunulan hizmetler arasında yer almakta olup, elektrik fiyatlarındaki değişikliklere yönelik risk yönetimi sağlamak ve piyasada likidite oluşturmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu sözleşmeler, ileri tarihli piyasa katılımcılarını karşı taraf riskinden koruma işlevi görmektedir ve fiziksel teslimat söz konusu olmaktadır.

Türkiye elektrik piyasasında Gün Öncesi Piyasa, fiyatların oluşumunda kritik bir rol oynamaktadır. Gün Öncesi piyasalarda, elektrik piyasalarının tüm katılımcıları yer alabilmekte ve fiyatlar arz ve talebin kesiştiği noktada oluşmaktadır. Oluşan bu fiyat, Piyasa Takas Fiyatı (PTF) olarak adlandırılmakta ve elektrik piyasasında referans bir değer teşkil etmektedir.

Elektrik piyasa takas fiyatlarının analizi, ekonomik aktörler tarafından sıkça talep edilen ve veri kaynağı olarak kullanılan önemli bir süreçtir. Bu analiz, piyasa dinamiklerini anlamak, fiyat tahminlerini iyileştirmek ve stratejik karar alma süreçlerine destek sağlamak amacıyla yürütülmektedir.

Bu çalışmada, Türkiye elektrik piyasasında referans olarak kabul edilen piyasa takas fiyatındaki asimetrik etkilerin dikkate alınması ve yapısal kırılmaların oynaklık üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca piyasa şoklarının yarılanma ömrünün (half-life) hesaplanması, elektrik piyasasındaki fiyat şoklarının getiri serisinin ortalamaya dönme süresinin belirlenmesine olanak tanımaktadır. Bu tür bir analiz, piyasa dinamiklerini anlamak ve gelecekteki fiyat hareketlerini tahmin etmek açısından önem arz etmektedir. Türkiye özelinde bu kapsamda yapılmış bir çalışmaya ulaşılamamıştır. Bu bağlamda çalışmanın literatüre katkı yapacağı düşünülmektedir.

## 2. Literatür İncelemesi

Yurt dışında alana ilişkin araştırmalar çok sayıda olmasına karşın Türkiye'de elektrik fiyatlarının oynaklığı üzerine gerçekleştirilmiş çok sayıda çalışma olmadığı gözlenmektedir. Bu çerçevede, elektrik fiyatlarının dinamiklerini ve etkileyen faktörleri iyi anlayabilmek için daha fazla araştırma yapılması gerektiği söylenebilir. Elektrik piyasasına ilişkin çalışmalar genel olarak, elektrik fiyatlarındaki oynaklığı etkileyen karmaşık dinamikleri sergilemekte ve özellikle piyasa yapısının, arz-talep dengesinin ve iklim koşullarının etkilerini vurgulamaktadır.

Elektrik talebinin iklim koşulları, ekonomik faaliyetler gibi birçok faktörden etkilendiği ancak esnek olmayan bir niteliğe sahip olduğu bilinmektedir. Talep düşük seviyelerdeyken, üreticiler düşük marjinal maliyetlerle çalışan santralleri kullanarak enerji üretmektedirler. Ancak yaz ve kış mevsimlerinde, haftanın belirli günlerinde veya gün içinde belli saatlerde talep artış gösterdiğinde, yüksek marjinal maliyetle çalışan santraller devreye girmekte ve bu durum fiyatların yükselmesine sebep olmaktadır. Knittel ve Roberts (2001), Escribano ve diğ. (2002), Guthrie ve Videbeck (2002), Lucia ve Schwartz (2002), Robinson ve Baniak (2002), Goto ve Korolyi (2003) çalışmalarında elektrik talebi, maliyetleri ve fiyatları üzerinde mevsimsel etkileri derinlemesine incelemiştir.

Talep artışı ile yüksek maliyetli santrallerin devreye girmesi, elektrik fiyatlarının yükselmesine neden olur. Ancak bu tür santrallerin çalışmaması durumunda fiyatlar, genellikle eski düzeylerine dönme eğilimindedir. Bu durum, fiyatların uzun vadede ortalama değerine yakınsama eğilimini gösterir. Robinson (2000), Deng (2000), Knittel ve Roberts (2001) ile Escribano ve diğ. (2002) gibi çalışmalar ortalamaya dönüş modellerine odaklanarak bu eğilimi incelemiştir. Bazı araştırmalar, fiyat oluşumunda ortalamaya dönüş eğilimini ani fiyat artışları ve zamana bağlı koşullu oynaklık üzerinden açıklamaya çalışmıştır.

Wolak (2000) tarafından gerçekleştirilen bir araştırma, Galler, İngiltere, Yeni Zelanda, Nord Pool ve Avustralya gibi elektrik piyasalarında, üretim tarafının büyük ölçüde özelleştirildiğini ve bunun yanı sıra fiyatların yüksek oynaklıkla ilişkilendirildiğini belirtmiştir. Bu çalışmada, zorunlu katılımın olduğu piyasalarda daha yüksek fiyat oynaklıklarının gözlemlendiği de vurgulanmıştır. Bu durum, piyasa yapısının ve katılımcıların davranışlarının fiyat dinamikleri üzerindeki etkisini ortaya koymaktadır.

Mount (2001) ise İngiltere'de ani fiyat artışlarının, iki önemli üreticinin piyasa güçleriyle ilişkili olduğunu ifade etmiştir. Bu bulgu, piyasa güçleri ve rekabet koşullarının elektrik fiyatları üzerindeki etkisini vurgulamakta ve fiyat oynaklığının nedenlerinin daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunmaktadır.

Knittel ve Roberts (2001) tarafından yapılan çalışma, elektrik fiyatlarındaki ters kaldıraç etkisini ortaya koyarak, pozitif fiyat şoklarının negatif şoklara göre daha yüksek oynaklığa yol açtığını göstermiştir. Bu durum, yüksek marjinal maliyetlerin etkisiyle ilişkilidir ve elektrik piyasalarının dinamiklerini anlamada kritik bir rol oynamaktadır.

Solibakke (2002) tarafından yapılan bir çalışmada, spot fiyatların oynaklığındaki asimetrik yani kötü ve iyi haberlerin etkileri incelenmiştir. Kötü haberler karşısında piyasanın daha yüksek oynaklık gösterdiği, iyi haberler karşısında ise daha düşük oynaklık gösterdiği ifade edilmiştir.

### 3. Veri

Türkiye'deki elektrik piyasası için önemli bir milat olan 1 Aralık 2011'de Gün Öncesi Piyasası sistemi yürürlüğe girmiştir. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu (EPDK) tarafından 11.06.2015 tarihinde gün öncesi piyasası ve dengeleme güç piyasası için belirlenen asgari ve azami fiyat limitlerine ilişkin yönetmelik gündeme gelmiştir. Bu yönetmelik 21.06.2015 tarihli resmi gazetede yayımlanmış ve 01.07.2015 itibarıyla uygulamaya konulmuştur. Ayrıca, Enerji Piyasaları İşletme A.Ş. (EPIAŞ) aynı yıl lisans alarak faaliyetlerine başlamıştır. Aynı zamanda, günlük işlemlerin yapılmasını sağlayan gün içi piyasa da 01.07.2015'te devreye girmiştir.

Buradan hareketle analizlerin başlangıç tarihi olarak 01.07.2015 tarihi belirlenmiştir. Nitekim bu tarih, piyasa verilerinin analizindeki sağlıklı bir başlangıç noktası olarak kabul edilmektedir. Analizler, Türkiye Elektrik Piyasası için 01. 07.2015 ile 31.12. 2022 tarihleri arasındaki günlük ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatları (2.741 gözlem) üzerinden gerçekleştirilmiştir.

### 4. Bulgular

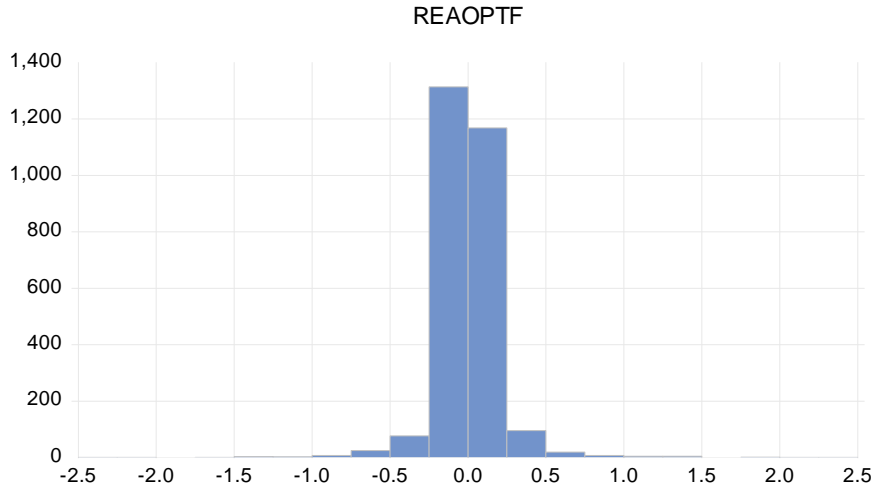
Öncelikle logaritmik birinci dereceden farkları alınan elektrik piyasası günlük ağırlıklı ortalama takas fiyatları (EAOPTF) ile günlük getiri serileri (REAOPTF) hesaplanmıştır  $R_t = \ln(P_t / P_{t-1})$ . Buradan hareketle, 2.740 adet getiri serisine (REAOPTF) ait tanımlayıcı istatistikler, Tablo 1'de detaylı olarak sunulmuştur.

**Tablo 1:** Tanımlayıcı İstatistikler

	<b>REAOPTF</b>
<b>Gözlem Sayısı</b>	2.740
<b>Ortalama</b>	0,001259
<b>Standart Sapma</b>	0,213841
<b>Minimum</b>	-2,262510
<b>Maksimum</b>	2,433042
<b>Kurtosis</b>	35,13293
<b>Skewness</b>	0,61508
<b>Jarque-Bera Test İstatistiği (Olasılık)</b>	118.052,70 (0,0000)

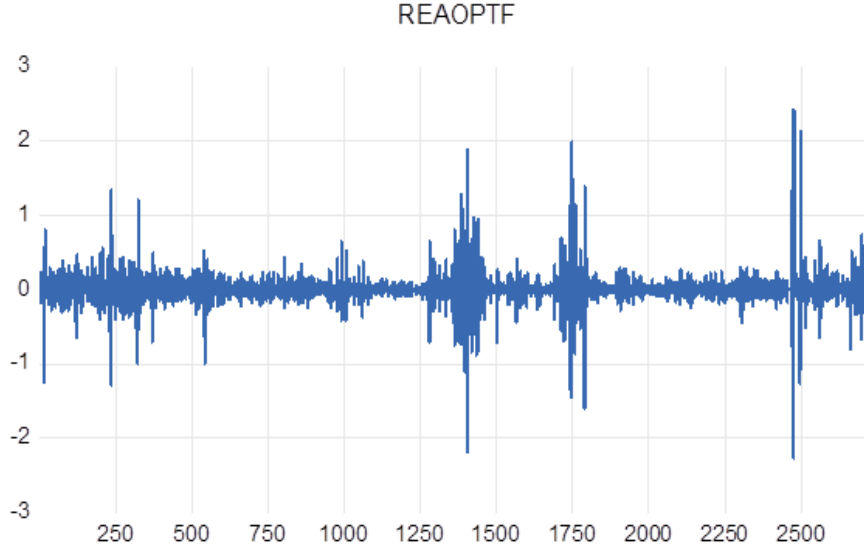
Tablo 1 incelendiğinde, elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisinin dikkate değer istatistiksel özellikleri belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Ortalama getiri, 0,001259 değeriyle pozitif bir eğilim sergileyerek, elektrik piyasasındaki genel getirilerin olumlu bir yönde seyretmekte olduğunu göstermektedir. Ayrıca, 0,213841 olarak hesaplanan standart sapma, piyasanın yüksek bir oynaklığa sahip olduğunu ve bu durumun belirsizliğin

arttığını işaret etmektedir. En düşük değer olan -2,262510 ve en yüksek değer olan 2,433042, piyasanın aşırı dalgalanmalara maruz kaldığını göstermektedir. Normal dağılım beklentisi göz önünde bulundurulduğunda, analizin sonuçları bazı çarpıklıkları ortaya koymaktadır. Basıklık (kurtosis) değeri 35,13293 ile aşırı basıklık (excess kurtosis) gösterirken, çarpıklık (skewness) değeri 0,61508 ile pozitif bir eğilim sergilemektedir. Bu durum, dağılımın sağ kuyruğunun daha uzun olduğunu ve negatif getirilerin daha sık gerçekleştiğini ifade etmektedir. Jarque-Bera (JB) testi sonuçları, sıfır hipotezi ( $H_0$ ) olan normal dağılım varsayımının reddedilmesine neden olmaktadır; böylece değişkenin normal dağılım göstermediği sonucuna ulaşılmaktadır. Şekil 1'deki histogram grafiği, bu bulguları destekler nitelikte olup, elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisinin normal dağılımdan sapma gösterdiğini net bir biçimde ortaya koymaktadır.



Şekil 1: EAOPTF Getiri Serisine Ait Histogram

Elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisinin zaman yolunu gösteren grafik Şekil 2'de bulunmaktadır. Bu grafikte, belirli dönemlerde oynaklık kümelenmeleri (volatility clustering) gözlemlenmektedir. Küçük fiyat hareketlerinin, küçük fiyat hareketleriyle, büyük fiyat hareketlerinin ise diğer büyük fiyat hareketleriyle takip edildiği anlaşılmaktadır. Oynaklık kümelenmesi, getiri serisinin varyansının zamanla değişiklik gösterdiğini ifade etmektedir. Bu durum, getiri serisinin sabit varyans (homoskedasticity) özelliğinden ziyade, koşullu değişken varyans modellerine (özellikle GARCH tipindeki modeller) dayanarak incelenmesi gerektiğine işaret etmektedir.



**Şekil 2:** EAOPTF Getiri Serisi Grafiği

Tanımlayıcı istatistikler, histogram ve zaman yoluyla ilgili grafikler incelendiğinde, elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisinin asimetrik bir yapı, şişman kuyruk (fat tail) ve oynaklık kümelenmesi gibi finansal zaman serilerinin temel özelliklerini taşıdığı görülmektedir. Finansal zaman serilerinin yanıtıcı sonuçlara ve sahte regresyona neden olmaması için, serilerin birim kök içermemesi, yani durağan olması önemlidir. Bununla birlikte, getiri serilerinin logaritmik birinci dereceden farklar alınarak oluşturulması nedeniyle, durağan olmama olasılığı oldukça düşüktür.

Getiri serisinin (REAOPTF) durağanlığını belirleyebilmek için ADF (Augmented Dickey-Fuller), PP (Phillips-Perron) ve KPSS (Kwiatkowski, Phillips, Schmidt, Shin) birim kök testleri gerçekleştirilmiştir. Sıfır hipotezi ( $H_0$ ), ADF ve PP testlerinde serinin durağan olmadığını, KPSS testinde ise serinin durağan olduğunu ifade etmektedir. Modelleme amacıyla ADF ile PP için sıfır hipotezin reddedilmesi, buna karşın KPSS için sıfır hipotezinin kabul edilmesi gerekmektedir (Ural, Demireli ve Aydın, 2022). Tablo 2’de görüldüğü üzere, tüm birim kök testleri için elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisi (REAOPTF) %1 anlamlılık düzeyinde durağan olarak kabul edilmiştir.

**Tablo 2:** Birim Kök Testlerine İlişkin Sonuçlar

Test	Sabitli	Düzye	Kritik Değerler	Sabitli ve Trendli	Düzye	Kritik Değerler	Durağanlık Düzeyi
ADF	-15,42493 (0,0000)	% 1	-3,432568	-15,54189 (0,0000)	% 1	-3,961426	I(0)
		% 5	-2,862406		% 5	-3,411464	
		% 10	-2,567276		% 10	-3,127588	
PP	-131,5174 (0,0001)	% 1	-3,432546	-131,8667 (0,0001)	% 1	-3,961393	I(0)
		% 5	-2,862396		% 5	-3,411448	
		% 10	-2,567270		% 10	-3,127579	
KPSS	0,173077 (0,0000)	% 1	0,739000	0,036691 (0,0000)	% 1	0,216000	I(0)
		% 5	0,463000		% 5	0,146000	
		% 10	0,347000		% 10	0,119000	

**Not:** Parantez içindeki değerler olasılığı göstermektedir.

ARCH modelinin öngörülünebilmesi için öncelikle ARCH etkisinin varlığının araştırılması gerekmektedir. ARCH etkisinin varlığını sınamak için genel olarak iki test

kullanılmaktadır. Getiri serisinde otokorelasyon ve dolayısıyla değişen varyans yapısı hem Ljung-Box  $Q$  ve  $Q^2$  istatistikleriyle hem de ARCH-LM testi ile incelenmiştir. Günlük getiri serileri kullanıldığından Ljung-Box  $Q$  ve  $Q^2$  istatistikleri ve ARCH-LM testi için 1, 5, 10 ve 20 gecikme değerlerine bakılmıştır. Ulaşılan test istatistikleri Tablo 3'te verilmiştir.

**Tablo 3:** REAOPTF Getiri Serisi Ljung-Box  $Q$  ile  $Q^2$  ve ARCH-LM Test İstatistikleri

Test	Katsayı	Test	Katsayı	Test	Katsayı
Ljung-Box Q(1)	256,33 (0,000)	Ljung-Box Q <sup>2</sup> (1)	503,70 (0,000)	ARCH-LM (1)	502,98 (0,000)
Ljung-Box Q(5)	290,38 (0,000)	Ljung-Box Q <sup>2</sup> (5)	543,33 (0,000)	ARCH-LM (5)	550,27 (0,000)
Ljung-Box Q(10)	818,92 (0,000)	Ljung-Box Q <sup>2</sup> (10)	723,43 (0,000)	ARCH-LM (10)	625,21 (0,000)
Ljung-Box Q(20)	1.265,50 (0,000)	Ljung-Box Q <sup>2</sup> (20)	822,14 (0,000)	ARCH-LM (20)	668,76 (0,000)

**Not:** Parantez içindeki değerler olasılığı göstermektedir.

Tablodan görüldüğü üzere, Ljung-Box  $Q$  ve  $Q^2$  ile ARCH-LM testlerinin sonuçları %95 güven düzeyinde  $\chi^2$  tablo değerinden büyük çıkmış ve ayrıca olasılık değerleri 0,05'ten küçük olduğundan  $H_1$  hipotezleri kabul edilmiştir. Bu bulgular, elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisinde (REAOPTF) hata terimlerinin otokorelasyon ve değişen varyans içerdiğini ortaya koymaktadır.

Koşullu değişen varyans modellemesine geçmeden önce, ortalama denkleminin belirlenmesi için 10. gecikmeye kadar tüm Box-Jenkins (ARIMA) modelleri değerlendirilmiştir. Box-Jenkins yöntemi, zaman serilerinin belirli bir dönemdeki değerini geçmiş değerler ve hata terimlerinin doğrusal kombinasyonu ile açıklama olanağı sunar; bu da zaman serisi verilerinin yapısını anlamada önemli bir araçtır. (Sevüktekin ve Nargeleçekenler, 2007). Analiz sonuçları, ortalama denklemi için en uygun modelin ARMA (7,7) olduğunu göstermiştir. ARCH etkisinin de varlığı belirlendikten sonra farklı olasılık dağılımları (Normal, Student-t, Genelleştirilmiş Hata (GED)) dikkate alınarak analizler gerçekleştirilmiştir. Tanımlayıcı istatistiklerin de gösterdiği üzere elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisi (REAOPTF) asimetrik yapı sergilediğinden (çarpıklık  $\neq 0$ ) çeşitli olasılık dağılımları farklı (p,q) gecikme değerleri kullanılarak asimetrik etkileri dikkate alan GARCH tipi modellerden TGARCH, EGARCH ve APGARCH modelleri kullanılarak oynaklık modellenmiştir.

Sırasıyla üç farklı model için Tablo 4'te;  $\mu$  ortalama denkleminin sabit terimi,  $w$  varyans denkleminin sabit terimi,  $\alpha$  ARCH katsayısı,  $\beta$  GARCH katsayısı,  $\gamma$  kaldıraç katsayısı ve  $\delta$  uzun dönem hafıza katsayısını ifade etmektedir. Makale içerisinde sayfa tasarrufu sağlamak amacıyla her model için sadece anlamlı çıkan olasılık dağılımı sonuçlarına yer verilmiştir.

**Tablo 4:** Model Sonuçları

	Katsayı	ARMA(7,7)-TGARCH(1,1)	ARMA(7,7)-EGARCH(1,1)	ARMA(7,7)-APGARCH(1,1)
<b>Ortalama Denklemi</b>	$\mu$	0,001043 (0,00047) [0,0264]	0,001269 (0,00051) [0,0129]	0,000954 (0,000467) [0,041]
	AR(1)	-0,525987 (0,03587) [0,0000]	-0,570075 (0,010858) [0,0000]	-0,51162 (0,034642) [0,0000]
	AR(2)	-0,528613 (0,034074) [0,0000]	-0,569218 (0,010842) [0,0000]	-0,513975 (0,032862) [0,0000]
	AR(3)	-0,539292 (0,033641) [0,0000]	-0,569198 (0,010837) [0,0000]	-0,525508 (0,032428) [0,0000]
	AR(4)	-0,546899 (0,03423) [0,0000]	-0,567863 (0,010815) [0,0000]	-0,53308 (0,033015) [0,0000]
	AR(5)	-0,536932 (0,034723) [0,0000]	-0,567837 (0,010786) [0,0000]	-0,522504 (0,0335) [0,0000]
	AR(6)	-0,505365 (0,034255) [0,0000]	-0,565623 (0,010792) [0,0000]	-0,490842 (0,033021) [0,0000]
	AR(7)	0,421408 (0,032562) [0,0000]	0,425738 (0,010769) [0,0000]	0,434535 (0,031371) [0,0000]
	MA(1)	0,162317 (0,027742) [0,0000]	0,247113 (0,012879) [0,0000]	0,154361 (0,02675) [0,0000]
	MA(2)	0,172416 (0,023632) [0,0000]	0,244602 (0,012874) [0,0000]	0,163731 (0,022913) [0,0000]
	MA(3)	0,228184 (0,022651) [0,0000]	0,245473 (0,012874) [0,0000]	0,221426 (0,021863) [0,0000]
	MA(4)	0,244356 (0,024188) [0,0000]	0,243638 (0,012806) [0,0000]	0,23306 (0,023395) [0,0000]
	MA(5)	0,194902 (0,024967) [0,0000]	0,244647 (0,012755) [0,0000]	0,187903 (0,024027) [0,0000]
	MA(6)	0,122814 (0,023144) [0,0000]	0,242014 (0,012749) [0,0000]	0,115579 (0,02235) [0,0000]
	MA(7)	-0,656084 (0,020611) [0,0000]	-0,741568 (0,01269) [0,0000]	-0,666309 (0,019925) [0,0000]
	<b>Varyans Denklemi</b>	$\omega$	0,000579 (0,0000963) [0,0000]	-0,549952 (0,048211) [0,0000]
$\alpha$		0,207406 (0,046689) [0,0000]	0,401668 (0,039131) [0,0000]	0,261581 (0,027842) [0,0000]
$\gamma$		0,239472 (0,063443) [0,0002]	-0,119502 (0,025851) [0,0000]	0,308805 (0,0669) [0,0000]
$\beta$		0,717902 (0,020269) [0,0000]	0,934722 (0,008163) [0,0000]	0,783718 (0,018385) [0,0000]
$\delta$		-	-	1,276297 (0,152958) [0,0000]
<i>t-Dist / GED p.</i>		3,294092 (0,210592) [0,0000]	2,939739 (0,174624) [0,0000]	3,302865 (0,210238) [0,0000]
<b>Model Seçim Kriterleri</b>	<b>LogLikelihood</b>	<b>2.661,81</b>	<b>2.731,77</b>	<b>2.668,15</b>
	<b>AIC</b>	<b>-1,933270</b>	<b>-1,984462</b>	<b>-1,937175</b>
	<b>SIC</b>	<b>-1,889998</b>	<b>-1,941189</b>	<b>-1,891739</b>
	<b>HQC</b>	<b>-1,917631</b>	<b>-1,968823</b>	<b>-1,920754</b>
	<b>ARCH-LM</b>	0,395276 [0,5295]	1,395893 [0,2374]	2,669421 [0,1023]

**Not:** Standart hatalar (.) ile olasılık değerleri [.] ile gösterilmiştir. *t-Dist* Student-t dağılımı serbestlik derecesi, *GED p.* GED dağılımı sivrilik değerini ifade etmektedir. *LogOlabilirlik* maksimum logaritmik olabilirliği, *AIC*, *SIC* ve *HQC* sırasıyla Akaike, Schwarz ve Hannan-Quinn bilgi kriterini, *ARCH-LM* ise1 gecikme için ARCH-LM test istatistiğini göstermektedir.



Tablo 4'ten elde edilen bulgulara göre, asimetrik GARCH-tipi modeller arasında yapılan karşılaştırmalar sonucunda, model seçim kriterleri (maksimum Log Olabilirlik ve minimum AIC, SIC, HQC) temel alındığında, istatistiksel olarak en uygun modelin Student-t dağılımına sahip ARMA(7,7)-EGARCH(1,1) modeli olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç doğrultusunda, sonraki analizlere ARMA(7,7)-EGARCH(1,1) modeli kullanılarak devam edilmiştir.

Piyasada yaşanan şokların etkisine bağlı olarak analiz dönemi içinde getiri serilerinin varyansında yapısal kırılmalar ortaya çıkabilir. Burada, analiz döneminde elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisinde (REAOPTF) yapısal kırılmaların etkisi araştırılmıştır. Burada amaç, elektrik piyasasında ciddi boyuttaki fiyat dalgalanmalarını belirlemek ve bu fiyat dalgalanmalarının oynaklık üzerindeki etkilerini analiz edebilmektir. Buradan hareketle, getiri serilerinin varyansında yapısal kırılmaların varlığı, Inclan ve Tiao (1994) tarafından geliştirilen Iterated Cumulative Sums of Squares Method (ICSS) algoritması esas alınarak araştırılmıştır.

Algoritma, hata terimine ait koşulsuz varyansta içsel olarak belirlenmiş kırılma noktalarını oynaklık modellerine kukla değişkenler yoluyla eklemek suretiyle, şokların oynaklık sürekliliğine etkisini açıklamaktadır. Böylece, ulusal veya uluslararası ekonomik ve/veya politik olayların piyasalarda oluşturduğu kırılmaların oynaklık sürekliliğini azalttığı yönündedir.

T gözlem sayısı,  $N_T$  varyanstaki toplam kırılma sayısı,  $j = 0, 1, \dots, N_T$  olmak koşuluyla her aralık varyansı ve  $1 < K_1 < K_2 < \dots < K_{N_T} < T$  varyanstaki kırılma noktaları olmak üzere varyans ( $\sigma_t^2$ ) aşağıdaki gibi belirlenmektedir (Malik ve Hassan, 2004:213):

$$\sigma_t^2 = \begin{cases} \sigma_0^2, & 1 < t < K_1 \\ \sigma_1^2, & K_1 < t < K_2 \\ \vdots \\ \sigma_{N_T}^2, & K_{N_T} < t < T \end{cases}$$

İlk gözlem ile k kırılma noktasındaki gözleme kadar hata terimlerinin toplamı  $C_k$  şöyle gösterilir (Malik ve Hassan, 2004):

$$C_k = \sum_{t=1}^k \varepsilon_t^2, \quad k = 1, 2, \dots, T \quad (1)$$

Hata terimleri karelerinin birikimli toplamının merkezi değerini gösteren  $D_k$  test istatistiği aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Malik ve Hassan, 2004):

$$D_k = \left( \frac{C_k}{C_T} \right) - \frac{k}{T}, \quad k = 1, 2, \dots, T \text{ ve } D_0 = D_T = 0 \quad (2)$$

Sabit varyans geçerli iken  $D_k$  test istatistiği 0'a yakın değer alır. Farklı k değerlerine karşı çizilen  $D_k$  test istatistiğine ilişkin grafik yatay bir doğru biçiminde olur. İlaveten varyansta bir veya daha çok ani değişiklikler olması halinde  $D_k$  test istatistiği 0'dan uzaklaşır ve grafik belirli bir güven aralığında dalgalanmalar gösterir.  $D_k$  istatistiğinin dağılımından ulaşılan kritik değerler, varyanstaki değişim sınırlarını belirler.  $D_k$  istatistiğinin mutlak ifadeyle en yüksek olduğu değer ( $\max_k |D_k|$ ) kritik değerden büyük olursa sabit varyansı ifade eden sıfır hipotezi reddedilir ve varyansın değiştiği anlaşılır.  $\max_k |D_k|$  noktasında k'nın değeri  $k^*$  olarak kabul edilirse ve eğer  $\max_k \sqrt{(T/2)} |D_k|$  önceden belirlenen sınırları aşarsa varyansın değişimi  $k^*$ 'a

yakın bir noktada gerçekleşir. Sonuç olarak  $k^*$  kırılma tarihini ifade eder. Dağılımı standartlaştırmak üzere  $\sqrt{(T/2)}$  ifadesi kullanılır.  $\max_k \sqrt{(T/2)} |D_k|$  değerinin asimptotik dağılımının %95'ini gösteren kritik değeri 1,358 olarak belirlenmiştir (Aggarwal, Inclan ve Leal, 1999). Bu durumda  $\pm 1,358$  değeri  $D_k$  test istatistiği grafiğinin alt ve üst sınırlarını gösterir.  $D_k$  test istatistiğinin bu sınırlar dışına çıktığı durumda ise varyansın değiştiği veya kırılma olduğu ifade edilebilir. Çoklu kırılma durumunda "gizleme etkisi" (masking effect) sorunu ortaya çıkabileceğinden, getiri serisi farklı zaman dilimlerine ayrılarak varyanstaki kırılma noktaları tespit edilebilir (Inclan ve Tiao, 1994). Bu yaklaşım, kırılma noktalarının daha net bir şekilde belirlenmesine olanak tanır ve analizlerin doğruluğunu artırır. Kırılma tarihlerini temsil eden kukla değişkenler ilgili kırılma tarihine kadar 0, kırılma tarihi ve sonrasında 1 değerini alır.

Analiz dönemi boyunca, elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisi (REAOPTF) varyansında ICSS algoritmasıyla %95 güven düzeyinde 47 kırılma noktası tespit edilmiştir. Ancak, Pooter ve Dijk (2004), günlük veriler kullanıldığında iki kırılma noktası arasında 63 ile 126 işgünü (sırasıyla üç veya altı ay) geçmesi gerektiğini vurgulanmaktadır. Bu bağlamda, günlük verilerin kullanıldığı durumlarda, kırılma noktaları arasında en az 90 gün (üç ay) geçmesi gerektiği vurgulanmıştır. Bu öneri doğrultusunda, birçok kırılma noktası elenmiş ve sonuç olarak getiri serisinde 14 geçerli kırılma noktası belirlenmiştir. Bu kırılma noktalarıyla ilgili veriler, tarihleri, kırılma tarihleri arasındaki gün sayıları, ilgili tarihlerdeki ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatları ve bir gün öncesine göre % değişim oranlarıyla birlikte Tablo 5'te sunulmuştur.

**Tablo 5:** REAOPTF Getiri Serisi Kırılma Tarihleri ve Fiyat Değişim Oranları

Kırılma Noktası	Kırılma Tarihi	Kırılma Tarihleri Arasında Geçen Gün Sayısı	Elektrik Ağırlıklı Ortalama Piyasa Takas Fiyatı	Bir Gün Önceye Göre Değişim Oranı
228	14.02.2016	228	57,35	-%42,81
<b>323</b>	<b>19.05.2016</b>	<b>95</b>	<b>41,01</b>	<b>-%63,26</b>
537	19.12.2016	214	267,15	%27,08
949	04.02.2018	412	147,95	-%16,44
<b>1047</b>	<b>13.05.2018</b>	<b>98</b>	<b>133,05</b>	<b>-%18,26</b>
<b>1278</b>	<b>30.12.2018</b>	<b>231</b>	<b>215,70</b>	<b>-%15,24</b>
<b>1441</b>	<b>11.06.2019</b>	<b>163</b>	<b>302,85</b>	<b>%22,84</b>
1537	15.09.2019	96	246,88	-%17,13
1645	01.01.2020	108	286,85	%0,38
1798	02.06.2020	153	298,18	%7,36
<b>2301</b>	<b>18.10.2021</b>	<b>503</b>	<b>829,39</b>	<b>%35,91</b>
2467	02.04.2022	166	1.193,93	-%33,29
2573	17.07.2022	106	2.023,96	-%13,25
2720	11.12.2022	147	1.280,81	-%59,49

Tablo 5'teki sonuçlar değerlendirildiğinde; elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisi (REAOPTF) varyansında 2016 ve 2018 yıllarında üçer tane, 2019 ve 2020 yıllarında ikişer tane, 2021 yılında 1 tane ve 2022 yılında 3 tane kırılma olduğu anlaşılmaktadır. Söz

konusu toplam 14 kırılma noktasının 9 tanesinde negatif yani fiyat düşüşü, 5 tanesinde ise pozitif yani fiyat yükselişi şoku yaşandığı görülmektedir. Bunun yanında, ilgili kırılma tarihlerinden bir gün öncesine göre % değişim oranları dikkate alındığında en büyük ilk üç fiyat değişiminin 19.05.2016 tarihinde -%63,26, 11.12.2022 tarihinde -%59,49 ve 14.02.2016 tarihinde -%42,81 olduğu anlaşılmaktadır. Yıllık bazda kırılma noktaları itibarıyla en büyük dalgalanmaların 2016 ve 2022 yılında gerçekleştiği söylenebilir.

Kullanılmasına karar verilen 14 tane kırılma tarihi ARMA(7,7)-EGARCH(1,1) modeline kukla değişkenler olarak eklenmiş ve model yeniden tahminlenmiştir. Modellemede olasılık değeri 0,05'ten büyük olup anlamsız çıkan kırılma tarihleri elenmiş ve Student-t dağılımlı en iyi ARMA(7,7)-EGARCH (1,1) modeline ulaşılmıştır. Modellerin karşılaştırmalı tahmin sonuçları Tablo 6'da sunulmuştur.

**Tablo 6:** ARMA(7,7)-EGARCH (1,1) Student-t Model Karşılaştırmalı Sonuçları

	Katsayı	Yapısal Kırılma Yok	Yapısal Kırılma Var	
<b>Ortalama Denklemi</b>	$\mu$	0,001269 (0,00051) [0,0129]	0,001259 (0,000513) [0,0142]	
	AR(1)	-0,570075 (0,010858) [0,0000]	-0,574449 (0,009373) [0,0000]	
	AR(2)	-0,569218 (0,010842) [0,0000]	-0,573388 (0,009396) [0,0000]	
	AR(3)	-0,569198 (0,010837) [0,0000]	-0,57339 (0,009365) [0,0000]	
	AR(4)	-0,567863 (0,010815) [0,0000]	-0,571989 (0,009336) [0,0000]	
	AR(5)	-0,567837 (0,010786) [0,0000]	-0,572199 (0,00932) [0,0000]	
	AR(6)	-0,565623 (0,010792) [0,0000]	-0,570134 (0,00933) [0,0000]	
	AR(7)	0,425738 (0,010769) [0,0000]	0,421143 (0,009291) [0,0000]	
	MA(1)	0,247113 (0,012879) [0,0000]	0,256201 (0,013519) [0,0000]	
	MA(2)	0,244602 (0,012874) [0,0000]	0,253463 (0,013539) [0,0000]	
	MA(3)	0,245473 (0,012874) [0,0000]	0,254508 (0,013507) [0,0000]	
	MA(4)	0,243638 (0,012806) [0,0000]	0,252677 (0,013434) [0,0000]	
	MA(5)	0,244647 (0,012755) [0,0000]	0,254267 (0,01339) [0,0000]	
	MA(6)	0,242014 (0,012749) [0,0000]	0,251761 (0,013373) [0,0000]	
	MA(7)	-0,741568 (0,01269) [0,0000]	-0,732151 (0,013328) [0,0000]	
	<b>Varyans Denklemi</b>	$\omega$	-0,549952 (0,048211) [0,0000]	-0,600627 (0,061194) [0,0000]
		$\alpha$	0,401668 (0,039131) [0,0000]	0,392898 (0,038867) [0,0000]
$\gamma$		-0,119502 (0,025851) [0,0000]	-0,129044 (0,026847) [0,0000]	
$\beta$		0,934722 (0,008163) [0,0000]	0,899546 (0,012303) [0,0000]	
$D_{323}$		-	-0,113487 (0,034755) [0,0011]	
$D_{1047}$		-	-0,105099 (0,036604) [0,0041]	
$D_{1278}$		-	0,251693 (0,05778) [0,0000]	
$D_{1441}$		-	-0,191856 (0,045583) [0,0000]	
$D_{2301}$		-	0,077229 (0,027806) [0,0055]	
$t\text{-Dist} / GED p.$		2,939739 (0,174624) [0,0000]	3,035737 (0,185949) [0,0000]	
<b>Model Seçim Kriterleri</b>	<b>LogLikelihood</b>	<b>2.731,77</b>	<b>2.751,91</b>	
	<b>AIC</b>	<b>-1,984462</b>	<b>-1,995546</b>	
	<b>SIC</b>	<b>-1,941189</b>	<b>-1,941456</b>	
	<b>HQC</b>	<b>-1,968823</b>	<b>-1,975998</b>	
	<b>ARCH-LM</b>	1,395893 [0,2374]	1,544632 [0,2139]	

**Not:** Standart hatalar (.) ile olasılık değerleri [.] ile gösterilmiştir.  $t\text{-Dist}$  Student-t dağılımı serbestlik derecesi,  $GED p.$  GED dağılımı sıvırlık değerini ifade etmektedir.  $LogOlabilirlik$  maksimum logaritmik olabilirliği,  $AIC$ ,  $SIC$  ve  $HQC$  sırasıyla Akaike, Schwarz ve Hannan-Quinn bilgi kriterini,  $ARCH-LM$  ise 1 gecikme için ARCH-LM test istatistiğini göstermektedir.

Tablo 6 incelendiğinde; model seçim kriterlerine (maksimum Log Olabilirlik ve minimum AIC, SIC, HQC) göre istatistiksel olarak en anlamlı modelin yapısal kırılmaların dikkate alındığı Student-t dağılımlı ARMA(7,7)-EGARCH(1,1) modeli olduğu anlaşılmaktadır. Modelde elde edilen tüm katsayılar istatistiksel olarak anlamlıdır. 19.05.2016 tarihindeki (D323), 13.05.2018 tarihindeki (D1047) ve 11.06.2019 tarihindeki (D1441) kırılmaların varyansı negatif, azalış yönünde buna karşın, 30.12.2018 tarihindeki (D1278) ve 18.10.2021 tarihindeki (D2301) kırılmaların varyansı pozitif, artış yönünde etkilediği görülmektedir. Oysa kırılma tarihlerinden bir gün öncesine göre % değişim oranları dikkate alındığında D1278 fiyat düşüşü, D1441 ise fiyat yükselişi yaşanan kırılma tarihlerini ifade etmektedir. Bu durum aşağıda yer alan Tablo 7’de gösterilmektedir. Elbette ilgili kırılma tarihlerinin modelleme sonucunda anlamlı çıkmasında söz konusu kırılma tarihleri öncesi günlerde gerçekleşen haberler ve geleceğe yönelik beklentilerin de etkisinin olabileceği unutulmamalıdır.

**Tablo 7:** Modellemede Anlamlı Çıkan Kırılma Tarihlerine İlişkin Bilgiler

Kırılma Noktası	Kırılma Tarihi	Kırılma Tarihleri Arasında Geçen Gün Sayısı	Elektrik Ağırlıklı Ortalama Piyasa Takas Fiyatı	Bir Gün Önceye Göre Değişim Oranı	Varyans Üzerine Etkisinin Yönü
323	19.05.2016	323	41,01	-%63,26	-
1047	13.05.2018	724	133,05	-%18,26	-
1278	30.12.2018	231	215,70	-%15,24	+
1441	11.06.2019	163	302,85	%22,84	-
2301	18.10.2021	860	829,39	%35,91	+

Bu tarihlerde Türkiye’de gündem olan olaylar şu şekilde derlenmiştir:

- 19.05.2016: 19 Mayıs özel gününün hafta içi olması nedeniyle, hafta sonu ve tatil trendlerine benzer bir talep-arz dinamiği yaşanmış olabilir. Bu tarihlerde Binali Yıldırım’ın Başbakan olma haberleri gündemdeydi. Siyasi istikrar veya istikrarsızlıkların enerji fiyatlarını etkilediği bilindiğinden, bu durum piyasada dalgalanmalara yol açmış olabilir.

- 13.05.2018: Nisan ayındaki doğal gaz tarifesini, Mart ayına göre %9,7 oranında artırıldı. Organize sanayi bölgelerinde elektrik üretimi için kullanılan doğal gazın maliyeti 796 TL’den 873,21 TL’ye yükseldi. Ayrıca, EPDK tarafından 1 Nisan’dan itibaren elektriğe %2,89 zam yapıldı. Bu fiyat artışları, elektrik talebinde dalgalanmalara neden olmuş olabilir (Sputnik, 2023).

- 30.12.2018: Yurt içi üretici fiyat endeksinde, ham petrol ve doğal gaz gibi kalemlerde %22,56 oranında bir düşüş gerçekleşti. Buna rağmen, yılbaşı öncesi talep artışı sebebiyle PTF’de dalgalanma yaşanması kuvvetle muhtemeldir. Elektrik, gaz üretimi ve dağıtımını gibi sektörlerde de düşüş gözlemlenmiştir (Dünya Gazetesi, 2023).

- 11.06.2019: Rusya’dan Türkiye’ye giden Türk Akım boru hattının bağlantısının tamamlanması, Karadeniz’de doğal gaz arzını artırma potansiyeli taşımaktadır. Bu durum, Türkiye’nin enerji güvenliği açısından önemli bir gelişme olarak değerlendirilebilir (Anadolu Ajansı, 2023).

• 18.10.2021: Küresel enerji krizinin etkisiyle, Türkiye'nin gaz alım maliyetlerinin %30-35 artacağı öngörülmüştür. Bu artış, elektrik fiyatları üzerinde de olumsuz etkilere yol açabilir (BBC News, 2023).

Yapısal kırılmaların dikkate alındığı Student-t dağılımlı ARMA(7,7)-EGARCH(1,1) Modeli tahminlendikten sonra halen ARCH etkisinin kalıp kalmadığı ARCH-LM testiyle 1 gecikme için sınanmış, test istatistiği %95 güven seviyesinde  $\chi^2$  tablo değerinden küçük ( $1,544632 < 3,842$ ) ve ayrıca olasılık değeri 0,05'ten büyük (0,2239) olduğundan  $H_0$  hipotezleri kabul edilmiş, elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisinde (REAOPTF) hata terimlerinde otokorelasyon ve değişen varyans kalmadığı anlaşılmıştır.

Yapısal kırılmaların dikkate alındığı ARMA(7,7)-EGARCH(1,1) modeli ile bu kırılmaların göz ardı edildiği aynı model arasındaki fark, özellikle  $\beta$  katsayısı üzerinden belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Varyans kırılmaları eklendiğinde, REAOPTF serisindeki  $\beta$  katsayısının 0,934722'den %3,76 oranında azalarak 0,899546 seviyesine düştüğü görülmüştür. Bu değişim, ulusal veya uluslararası ekonomik ve siyasi olayların piyasalarda yarattığı kırılmaların, oynaklık sürekliliğini azalttığı yönündeki hipotezi desteklemektedir.

Ortalamaya geri dönüş, uzun dönemli oynaklık tahminlerinin mevcut bilgilerden etkilenmediğini gösterir. Durağan modeller için ARCH ve GARCH parametrelerinin toplamının 1'e yakın olması, EGARCH modelinde ise GARCH parametresinin 1'e yakın olması, oynaklığın uzun dönem ortalama seviyesine geri dönmesini işaret eder. Oynaklığın bu ortalama düzeye dönüş süresi, yarılanma ömrü (half-life) şok değeri ile ölçülmekte ve ortalama ömür olarak tanımlanmaktadır (Engle ve Patton, 2001). Bu çerçevede, modelin yapısal kırılmalara karşı duyarlılığı ve piyasa dinamiklerine olan etkisi önemli bir analiz konusunu oluşturmaktadır.

EGARCH(1,1) modeli için GARCH katsayısının  $\beta_j < 1$  olması getiri serisinin ortalamaya döndüğünü ifade eder. Bu durumda half-life şok değeri aşağıdaki denklemle hesaplanabilir (Gbenro ve Moussa, 2019):

$$HL = \frac{-\ln(2)}{\ln(P)} \quad (3)$$

Yapısal kırılmalar dikkate alınarak oluşturulan ARMA(7,7)-EGARCH (1,1) modeli ile yapısal kırılmalar dikkate alınmaksızın oluşturulan ARMA(7,7)-EGARCH (1,1) modeli için  $\beta$  katsayıları, oynaklık katsayıları ve şokların yarılanma ömürleri hesaplanarak Tablo 8'de sunulmuştur. EGARCH modeli oynaklık katsayıları aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır (Ural, Demireli ve Aydın):

$$\sigma = \sqrt{\exp \left\{ \omega_0 + \left( \sum_{i=1}^p \alpha_i \sqrt{\frac{2}{\pi}} \right) / \left( 1 - \sum_{i=1}^q \beta_j \right) \right\}} \quad (4)$$

Tablo 8'e göre,  $\beta$  katsayıları birden küçük ( $\beta_j < 1$ ) olup oynaklığın uzun dönem ortalama düzeyine geri döndüğünü göstermektedir. Oynaklık katsayıları, yapısal kırılmaların dikkate alındığı modelde daha yüksek hesaplanmıştır. Buna karşın, elektrik ağırlıklı ortalama piyasa takas fiyatı getiri serisi (REAOPTF) yaşanan şoklardan sonra yapısal kırılmaların dikkate

alınmadığı modelde 10 gün, yapısal kırılmaların dikkate alındığı modelde ise 7 gün içinde ortalamaya döndüğü (şokların söndüğü) anlaşılmıştır.

**Tablo 8:** Şokların Yarılanma Ömrü

	Yapısal Kırılma Yok	Yapısal Kırılma Var
Beta ( $\beta$ ) Katsayısı	0,934722	0,899546
EGARCH Oynaklık Katsayısı	0,172456	0,239498
Şokların Yarılanma Ömrü (Gün)	10	7

Bu durum, daha önce vurgulandığı üzere, yapısal kırılmaların dikkate alındığı modelde oynaklık sürekliliğini ifade eden  $\beta$  katsayısı daha düşük (0,899546) çıktığından, ulusal ve uluslararası ekonomik ve/veya politik olayların piyasalarda neden olduğu kırılmaların oynaklık sürekliliğini ( $\beta$ ) azalttığı ve oynaklığın daha kısa sürede ortalamaya dönme eğiliminde olduğunu bir kez daha doğrulamaktadır.

### 5. Sonuç ve Öneriler

Elektrik fiyatlarının oynaklığı, diğer emtia fiyatlarından farklı olarak yüksek bir süreklilik göstermektedir. Bu çalışmanın amacı, Weron (2006)'ya paralel olarak elektrik piyasa takas fiyatlarının, üretim ve tüketim süreçlerinde yoğun talep görmesi nedeniyle ortaya çıkan dalgalanmaları incelemektir.

Modelleme sürecinde, 01.07.2015 – 31.12.2022 tarihleri arasındaki günlük ağırlıklı ortalama takas fiyatları (EAOPTF) kullanılarak günlük getiri serileri (REAOPTF) oluşturulmuş, Student-t dağılımlı ARMA(7,7)-EGARCH(1,1) modelinin günlük ağırlıklı ortalama takas fiyatları için en uygun model olduğu belirlenmiştir. Analiz sürecinde Inclan ve Tiao (1994) tarafından geliştirilen ICSS yöntemi ile REAOPTF serisinde 14 yapısal kırılma noktası saptanmış, bunlardan 9'u fiyat düşüşü, 5'i ise fiyat artışı ile sonuçlanmıştır. Kırılma noktaları arasında en büyük dalgalanmaların 2016 ve 2022 yıllarında yaşandığı tespit edilmiştir. Bu sonuç elektrik fiyatlarının; -özellikle de tüketici taleplerinin- döviz bazında değerlendirilmesi ve 2016 yılından itibaren sinyalleri görülmeye başlanan, 2018 yılında ise belirginleşen TL/\$ paritesindeki düşüş nedenleriyle piyasa takas fiyatının oynaklığının arttığını göstermektedir. Oynaklıkta görülen bu artış, elektrik fiyatlarındaki dalgalanmaların sürekliliğini gösteren De Vany ve Walls (1999) çalışması ile uyumludur. Öyle ki ortaya çıkan dalgalanmalar, perakende şirketlerinin çoğunun gün öncesi piyasasından elektrik satın almasına yol açmış ve maliyetleri yükseltmiştir. 2018 yılından itibaren tedarikçilerin, artan elektrik fiyatları nedeniyle müşterilerine karşı yükümlülüklerini yerine getiremediği böylece elektrik fiyatlarında oynaklıkların arttığı analiz sürecinde bulgulanmıştır. Sonuçlar Solibakke (2002) ile paralel olarak Ocak 2022 – 2023 dönemindeki fiyat artışlarını açıklar nitelikte olup bu dönemde EPDK tarafından geliştirilen kademeli tarife süreçlerinin nedenlerini açıklar niteliktedir. 2023 yılından itibaren ise uluslararası enerji piyasalarının normal seyrine dönmesi nedeniyle hem piyasa takas fiyatları hem de perakende elektrik fiyatları düşüş eğilimine girmiştir. Özellikle piyasalardaki ekonomik ve siyasi olayların oynaklık sürekliliğini azalttığı çalışmanın ilgi çekici sonuçlarındandır.

Çalışmada ayrıca yaşanan şokların yani piyasaya gelen haber etkilerinin ardından getiri serisinin ortalamaya dönüş süresinin 10 gün olduğu buna karşın, yapısal kırılmalar dikkate

alındığında ise ortalamaya dönüş süresinin 7 güne düştüğü de belirlenmiştir. Bu bulgular ise Deng (2000), Robinson (2000), Knittel ve Roberts (2001), Escibano vd. (2002) ile uyumlu olup ortalamaya dönüş modellerinin piyasa dinamikleri üzerindeki etkisini doğrulamaktadır. Tüm bunlardan hareketle, çalışma sonuçları Covid-19 pandemisi nedeniyle ortaya çıkan talep düşüşünün, pandemi sonrası ortaya çıkan talep artışının, mevsimsellik etkisi nedeniyle düşük yağış miktarına bağlı olarak hidroelektrik üretiminin arzında meydana gelen azalmaların, devlete ait üretimdeki artış miktarlarının, uluslararası piyasalarda doğalgaza olan ilginin artmasının, Rusya-Ukrayna savaşı kaynaklı olarak doğalgaz arzında ortaya çıkan kısıtlamanın düşük üretime yol açmasının piyasa takas fiyatında ortaya çıkan oynaklığın temel nedenleri olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlara dayanılarak çalışma sonucunda elektrik fiyatlarının piyasadaki dalgalanmalara oldukça duyarlı olduğu, ekonomik, siyasi ve sosyal olayların elektrik fiyatlarının belirlenmesinde önemli rol oynadığı, üretici tarafın piyasa dinamiklerini sürekli olarak takip etmesi ve devletin de bu süreçte etkin rol oynaması gerektiği söylenebilir. Gelecek çalışmalarda zamana dayalı nedensellik analizleri ile dinamik modelleme süreçlerinin ortaya konulması piyasa takas fiyatlarının nitelikli, doğru ve zamanında değerlendirilmesini sağlayacak, piyasa takas fiyatlarındaki dalgalanmaların nedenlerinin detaylı olarak anlaşılmasını sağlayacaktır.



## Kaynakça

- Aggarwal, R., Inclan, C. ve Leal, R. (1999). Volatility in Emerging Stock Markets. *The Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 34(1): 33-55.
- Anadolu Ajansı. <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/enerjide-2019-boyle-gecti/1676866>, (03.07.2023).
- BBC (British Broadcasting Corporation) News. <https://www.bbc.com/turkce/haberler-dunya-58933489>, (03.07.2023).
- Deng, S. (2000). Stochastic Models of Energy Commodity Prices and Their Applications: Mean-reversion with Jumps and Spikes, University of California Energy Institute, Working Paper PWP-73.
- Dünya Gazetesi. <https://www.dunya.com/ekonomik-veriler/2018-enflasyonu-yuzde-2030-haberi-436328>, (03.07.2023).
- Elektrik Piyasası Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği. Resmi Gazete 27200 (2009). <https://www.mevzuat.gov.tr/File/GeneratePdf?mevzuatNo=12985&mevzuatTur=Kuru mVeKuruluyonetmeliği&mevzuatTertip=5>, (20.06.2022).
- Elektrik Piyasası Kanunu. Resmi Gazete 28603 (2013). Kanun No. 6446. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.5.6446.pdf>, (20.06.2023)
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK). (2021). EPDK Doğal Gaz Piyasası 2020 Yılı Sektör Raporu.
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK). (2023). EPDK Doğal Gaz Piyasası 2022 Yılı Sektör Raporu.
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK). (2023). EPDK Elektrik Piyasası 2022 Yılı Piyasa Gelişim Raporu.
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK). (2023). EPDK Petrol Piyasası 2022 Yılı Sektör Raporu.
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK). <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/23-2-3/mevzuat>, (15.05.2023).
- Enerji Piyasaları İşletme A. Ş. (EPIAŞ). <https://www.epias.com.tr/epias-kurumsal/tarihce/>, (20.06.2023).
- Enerji Piyasaları İşletme A. Ş. (EPIAŞ). <https://www.epias.com.tr/gun-ici-piyasasi/giris/>, (18.06.2023).
- Enerji Piyasaları İşletme A. Ş. (EPIAŞ). <https://www.epias.com.tr/genel-esaslar/>, (21.06.2022).
- Enerji Piyasaları İşletme A. Ş. (EPIAŞ). <https://www.epias.com.tr/gun-ici-piyasasi/genel-esaslar/>, (18.06.2023).
- Enerji Piyasaları İşletme A. Ş. (EPIAŞ). <https://www.epias.com.tr/gun-oncesi-piyasasi/genel-esaslar/>, (21.06.2023).

- Engle, R. F. ve Patton, A. J. (2001). What Good Is a Volatility Model?. *Quantitative Finance*, 1(2): 237-245.
- Escribano, A., Pena, J. I. ve Villaplana P. (2002), Modeling Electricity Prices: International Evidence. *Departamento de Economia, Universidad Carlos III de Madrid*. Working Paper 02-27, Economics Series 08,.
- Gbenro, N. ve Moussa, R. K. (2019). Asymmetric Mean Reversion in Low Liquid Markets: Evidence from BRVM. *Journal of Risk and Financial Management*. 12(38): 1-19.
- Goto, M. ve Karolyi, A. G. (2003), Understanding Electricity Price Volatility Within and Across Markets, *Dice Center Working Paper No: 2004-12*.
- Guthrie, G. ve Videbeck, S. (2002), High Frequency Electricity Spot Price Dynamics: An Intra-Day Markets Approach, *New Zealand Institute for the Study of Competition and Regulation Inc*. Working Paper Series 18989.
- Gülay, A. N. (2008). *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Açısından Türkiye' nin Geleceği ve Avrupa Birliği ile Karşılaştırılması*. (Yayınlanmamış Doktora Tezi). İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü.
- Inclan, C. ve Tiao, G.C. (1994). Use of Cumulative Sum of Squares for Retrospective Detection of Change of Variance. *Journal of the American Statistical Association*, 89 (427): 913-923.
- Knittel, R. C. ve Roberts, M. R. (2001), An Empirical Examination of Deregulated Electricity Prices, *University of California Energy Institute*, Working Paper.
- Lucia, J. J., ve Schwartz, E. S. (2002). Electricity Prices and Power Derivatives: Evidence from the Nordic Power Exchange. *Review of Derivatives Research*, 5(1): 5-50.
- Malik, F. ve Hassan, S.A. (2004). Modeling Volatility in Sector Index Returns with GARCH Models Using an Iterated Algorithm. *Journal of Economics and Finance*, 28(2): 211-225.
- Mount, T. (2001). Market Power and Price Volatility in Restructured Markets for Electricity, *Decision Support Systems*, 30(3): 311-325.
- Pooter, M. ve Dijk, D. V. (2004). Testing for Changes in Volatility in Heteroskedastic Time Series - A Further Examination. *Econometric Institute Report EI 2004-38*: 1-39.
- Robinson, T. A. ve Baniak A. (2002). The volatility of prices in the English and Welsh electricity pool, *Applied Economics*, 34(12): 1487-1495.
- Sevüktekin, M. ve Nargeleçekenler, M. (2007). *Ekonometrik Zaman Serileri Analizi*. Geliştirilmiş 2. Baskı, Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.
- Solibakke, P. B. (2002). Efficiently estimated mean and volatility characteristics for the Nordic spot electricity power market, *International Journal of Business*, 7(2): 17-35.
- Sputnik. <https://sputniknews.com.tr/20180402/botas-dogalgaz-zam-1032873350.html>, (03.07.2023).

- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-biyokutle>, (27.06.2023).
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-hidrolik>, (02.09.2022).
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-jeotermal>, (27.06.2023).
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. <https://enerji.gov.tr/neupgm-nukleer-enerji>, (14.05.2023).
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes>, (02.09.2022).
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-ruzgar>, (18.09.2022).
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik#:~:text=2023%20y%C4%B1l%C4%B1%20May%C4%B1s%20ay%C4%B1%20sonu%20itibar%C4%B1yla%20kurulu%20g%C3%BCc%C3%BCm%C3%BCz%C3%BCn%20kaynaklara%20g%C3%B6re,i%20ise%20di%C4%9Fer%20kaynaklar%20%C5%9Feklindedir>, (16.06.2023).
- Türkiye Elektrik İletim A. Ş. (TEİAŞ) Piyasa Yönetim Sistemi <https://tpys.teias.gov.tr/tpys/app/login.htm#> (21.06.2023).
- Türkiye Elektrik İletim A. Ş. (TEİAŞ) Yük Tevzi Dairesi Başkanlığı. (2023). Kurulu Güç Raporu - Aralık 2022. <https://www.teias.gov.tr/kurulu-guc-raporlari> (19.06.2023).
- Türkiye Taşkömürü Kurumu. (2023). 2022 yılı Taşkömürü Sektör Raporu. <http://taskomuru.net/tr/whiseezu/2023/05/2022YiliTaskomuruSektorRaporu..pdf>, (18.06.2023).
- Ural, M., Demireli, E. ve Aydın, Ü. (2022). *Finansal Yatırımlarda Riske Maruz Değer Analizi*. Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Wolak, F. A. (2000). Market Design and Price Behavior in Restructured Electricity Markets: An International Comparison, *Working Paper, Department of Economics Stanford University*, 79-137.