

## Türkiye Elektrik Fiyatlarındaki Ani Sıçramaların Markov Rejim Değişim Modelleriyle Analizi

Osman TÜZÜN\* Ramazan EKİNCİ\*\* Fatih CEYLAN\*\*\*  
Hakan KAHYAĞLU\*\*\*\*

### ÖZ

*Bu çalışmanın amacı, Türkiye elektrik piyasasında gerçekleşen sistem marjinal fiyatlarındaki (spot elektrik fiyatları) ani fiyat artış (spike) etkilerini analiz etmektir. Ele alınan zaman aralığında piyasa fiyatlarını temsil eden zaman serisinde söz konusu etkilerin varlığı Markov-Değişim Genelleştirilmiş Kendisiyle Bağlılaşım Koşullu Değişen Varyans (MS-GARCH) tekniği kullanılarak test edilmiştir. Söz konusu model düşük ve yüksek oynaklık dönemlerini temsil eden iki farklı rejimle tanımlanmıştır.*

*Elde edilen sonuçlara göre ani fiyat artışlarının (spike), ortalama fiyat düzeyinden sapma yaratan tesadüfi (stokastik) bir etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bununla birlikte elektrik piyasasında genellikle normal fiyat rejimleri geçerli olmakla birlikte, normal fiyat rejimlerinden ani fiyat yükseliş rejimine geçiş olasılığının yüksek olduğu da görülmektedir. Ayrıca elektrik fiyatları yüksek bir oynaklıkla birlikte güçlü bir rejim bağımlılığı da göstermektedir.*

**Anahtar Kelimeler:** Elektrik piyasası, Spike, Markov Rejim Değişim Tekniği, MS-GARCH  
**Jel Sınıflandırması:** Q43, C24, C58

## Modelling the Sudden Jumps (Spike) In Turkish Electricity Prices with Markov Regime Switching Models

### ABSTRACT

*The object of this study is to analyze the effects of sudden rises (price spikes) on the actual system marginal prices (spot prices) of electricity in Turkey. The presence of these effects in the time series of market prices within the study period is investigated by using Markov-Switching Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity (MS-GARCH) method. The so-called model is identified with two different regimes of low and high volatility levels.*

*The results show that the deviation from average prices caused by price spikes has a stochastic nature. Additionally, it is seen that normal price regimes are generally valid in the electricity market and that there is a high probability of transition from normal price regimes to sudden price rising regime. Finally the findings show that the electricity prices have a high volatility as well as a strong regime dependency.*

**Keywords:** Electricity market, Price Spike, Markov Regime Switching, MS-GARCH  
**Jel Classification:** Q43, C24, C58

\* Araş. Gör., Dokuz Eylül Üniversitesi, İ.İ.B.F., İktisat Bölümü, osman.tuzun@deu.edu.tr

\*\* Araş. Gör. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, İ.İ.B.F., İktisat Bölümü, ramazan.ekinci@deu.edu.tr

\*\*\* Araş. Gör., Dokuz Eylül Üniversitesi, İ.İ.B.F., İktisat Bölümü, fatih.ceylan@deu.edu.tr

\*\*\*\* Prof. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, İ.İ.B.F., İktisat Bölümü, hakan.kahyaoglu@deu.edu.tr

## GİRİŞ VE LİTERATÜR

Üretilmiş bir enerji malı olan elektrik stoklanamayacak olmasından dolayı diğer mallardan ayrılmaktadır. Bu açıdan elektriği üretenlerin, ileride oluşacak fiyatları bilmeleri kâr maksimizasyonu açısından önemlidir. Bu özelliğe bağlı olarak hava koşulları, mevsimsel, gün ve hafta etkileri ile birlikte ekonomik konjonktürün durumuna bağlı olarak elektrik fiyatlarında önemli değişimler ortaya çıkmaktadır. Elektrik fiyatlarındaki bu dalgalanmaların dışında ani fiyat değişimleri de fiyatların ortalamaya dönme eğiliminde sapmaya yol açmaktadır. Bu fiyat değişimleri aşırı derecede artış yönünde olursa, sıçrama (jump) veya ani fiyat değişimleri (spike) olarak tanımlanmaktadır (Janczura vd., 2012). Bu iki önemli etki sürekli düzenlenen bir piyasa olan elektrik piyasasında arz ve talebin oluşumunda bir sürtünmeye neden olarak üreticilerin risk almalarına yol açmaktadır. Nitekim ani fiyat değişimleri veya sıçramalar risk düzeyinin derecesinin yüksekliğini göstermektedir (Ullrich, 2012). Bu açıdan elektrik piyasasında sıçrama ve ani fiyat artışlarının olmasına yönelik bulgular, üreticilerin risk yönetimi yapmalarının gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır (De Jong ve Huisman, 2002).

Sıçramalar veya ani fiyat hareketlerinin olduğu piyasalar, düzenlemelerin olmaması durumunda, elektrik fiyatları dağılımının pozitif bir çarpıklık katsayısına sahip olduğunu gösterir. Bu durum elektrik fiyatlarının belirli değerler veya ortalama etrafında bir eğiliminin olduğu yönünde bir bulgu sağlamaktadır. Ancak pozitif bir çarpıklıkla birlikte aşırı bir basıklık (kurtosisin 3'ten büyük olması, dik bir dağılıma sahip olması) belirli fiyatlarda, ortalamadan çok büyük bir sapmaya yol açarken; fiyat hareketlerinin ortalamaya dönme eğilimini de bozmaktadır (De Sanctis, Mari 2007). Bu sonuç portföy teorisi çerçevesinde bir risk yönteminin yapılması gerektiğini göstermektedir (Huisman vd., 2007). Bu çalışmada Türkiye elektrik piyasasında ani fiyat değişimlerinin varlığı Markov rejim değişim tekniği kullanılarak analiz edilmektedir. Literatüre bakıldığında elektrik piyasalarında meydana gelen ani fiyat değişimleri genellikle rejim değişim teknikleriyle analiz edilmektedir. Bunun yanında farklı yaklaşımlar da söz konusudur. Bu bağlamda literatürde söz konusu etkiyi dikkate alan çalışmalar Tablo 1'de özetlenmiştir.

**Tablo 1.** Elektrik Piyasalarında Ani Fiyat Değişimleri (Spike) Üzerine Uygulamalı Literatür

Yazarlar	Ülke ve	Yöntem	Bulgular
Xin Lua, Zhao Yang Dong, Xue Li (2005)	Queensland Elektrik Piyasası (Ocak-Eylül 2003)	Veri Madenciliği Tekniğine Dayalı Tahmin Yöntemi, Bayesyen Yöntemler	Elektrik piyasasını etkileyen temel faktörün arz-talep ilişkisi olduğu ortaya konan çalışmada normal fiyatlar dalgacık sinir ağı (wavelet neural network) temelli tahmin yöntemi ve fiyatlardaki ani değişimler (spike) Bayesyen yöntemler kullanılarak tahmin edilmiştir. Çalışmanın temel katkısı elektrik fiyatlarındaki ani değişimler (price spike) veri madenciliği tekniği kullanılarak tahmin edilmiş olmasıdır.

Timothy D. Mount, Yumei Ning, Xiaobin Cai (2005)	Pennsylvania-New Jersey-Maryland (PJM) (Mayıs 1999-Mayıs 2000)	Zaman Göre Değişen Parametrelili Markov Rejim Değişim Modeli	Çalışmada elektrik fiyatlarında ani fiyat değişimleri (spike) tespit edilmiştir. Ayrıca elektrik piyasasında rezerv haddinin ani fiyat değişimi (spike) oluşumunda belirleyici olduğu ortaya konmuştur. Bulgulara göre rezerv haddi % 20'nin altına indiğinde elektrik fiyatlarında ani fiyat (spike) oluşumu muhtemel olmaktadır.
Niels Haldrup, Morten Ørregaard Nielsen (2006a)	Nordic Ülkeleri (3 Ocak 2000-25 Ekim 2003)	Markov Switching Fraksiyonel Bütünleşme Modeli	Ortak pazarlar için fiyat davranışlarının elektrik iletiminde darboğazların olup olmamasına bağlı olarak farklılık gösterdiğini bulmuşlardır.
Cyriel De Jong (2006)	Avrupa Ülkeleri, ABD	GARCH Stokastik Sıçrama (Jump) ve Rejim Değişim Modeli	Çalışmada elektrik piyasalarında ani fiyat değişmelerinin tespitine yönelik farklı yöntemler karşılaştırılmıştır. Çalışmanın bulgularına göre rejim değişimi tekniği ani fiyat değişimlerinin (spike) tespit edilmesinde daha etkin sonuçlar ortaya koymuştur.
Angela De Sanctis, Carlo Mari (2007)	Avrupa ve Kuzey Amerika Piyasaları (2001-2004 ve 2003-2006)	Markov Rejim Değişim Modeli	Serbestleştirilmiş (dereğüle edilmiş) elektrik piyasalarında fiyatların zıplama (jump), ani değişme (spike) ve ortalamaya dönme eğilimleri çoklu rejimler çerçevesinde araştırılmıştır. Çalışmanın bulgularına göre elektrik fiyatları pozitif çarpıklık (skewness) ve yüksek basıklık (kurtosis) özelliği sergilemektedir.
Ralf Becker, Stan Hurn, Vlad Pavlov (2007)	Avustralya (Queensland) 1998-2005	Zaman Göre Değişen Parametrelili Markov Rejim Değişim Modeli	Çalışmada Avustralya/Queensland elektrik fiyatlarında ani fiyat değişimlerinin (spike) özelliği araştırılmıştır. Uygulama sonuçlarına göre Queensland'da meteorolojik olaylar elektrik fiyatlarındaki anormal hareketlerin ana nedenidir.
Thorsten Schmidt (2008)	Almanya (2002-2007)	EM- Algoritması	Elektrik fiyatlarının mevsimsellik ve ortalamaya dönme eğilimleri elektrik fiyatlarının vade yapısı ile birlikte ele alınmıştır. Çalışmada EM-algoritmasının elektrik spot piyasasının ani fiyat değişim hareketlerinin analizi için etkin sonuç verdiği ortaya konmuştur.
Helen Higgs, Andrew Worthington (2008)	Avustralya (1999-2004)	Stokastik Rejim Değişimi Modeli	Çalışmada ani fiyat değişimleri (spike) üç farklı model ile tahmin edilmiştir. . Bu modeller; stokastik, ortalamaya dönen ve rejim değişim modelleridir. Uygulama sonuçlarına göre elektrik piyasasında ani fiyat değişmelerinin (spike) tahmin edilmesinde rejim değişim modeli daha etkin sonuçlar üretmiştir.
Niels Haldrup, Frank S.	Nordic Ülkeleri (3 Ocak 2000-25	Rejime Dayalı VAR Modeli	Ampirik sonuçlar elektrik fiyatlarının yüksek derecede uzun hafıza özelliğine eğilimli olduğunu

Nielsen, Morten Ørregaard Nielsen (2010)	Ekim 2003)		göstermekte ve böylece elektrik fiyatlarının fraksiyonel entegre olabileceğini göstermektedir.
Nima Amjady, Farshid Keynia (2011)	Pennsylvania– New Jersey– Maryland (saatlik 2008 yılı elektrik fiyatları)	Olasılıklı Sınır Ağları (PNN) ve Hibrid Sınır-Evrım Sistemi (HNES)	Çalışmada elektrik piyasasında fiyatlarda ortaya çıkan ani değişimlerin (spike) hem ortaya çıkışı hem de değerlerini hesaplamaya yönelik yeni öngörü yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar gelişmiş yaklaşımların geçerliliğini doğrulamaktadır.
A. E. Clements, J. E. Fuller, A. S. Hurn (2012)	Avustralya (2001-2007)	Yarı-Parametrik Öngörüleme	Bu çalışma literatürden farklı olarak, elektrik piyasasında ani fiyat değişimlerinin (spike) öngörülmesinde yarı-parametrik bir yöntem önermektedir. Öngörüleme süreci elektrik fiyatları verisinin ağırlıklandırılarak yapılmaktadır. Bu sayede kısa ve uzun vade için elektrik piyasasında ani fiyat değişimleri değerlendirilebilmektedir.
T.M. Christensen, A.S. Hurnb, K.A. Lindsay (2012)	Avustralya (1 Mart 2001-30 Haziran 2007/30 Eylül 2007 Yarıım saatlik veriler)	Otoregresif Koşullu Risk Modeli	Çalışma, elektrik fiyatlarındaki ani fiyat değişimlerine (price spike) odaklanmıştır. Ani fiyat artışları (price spike) zaman serisinde ayrık zamanlı süreç olarak kabul edilir ve bu çalışmada doğrusal olmayan değişim otoregresif koşullu risk modelleri kullanılarak tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre yaygın olarak kullanılan elektrik fiyatlama modelleri ile tutarlı sonuçlar elde edilmiştir.
Joanna Janczura, Stefan Trüek, Rafał Weron, Rodney C. Wolff (2012)	Avrupa Enerji Borsası (EEX) ve Güney Doğu Avustralya Bölgesi (NSW) 2 Ocak2006-2 Ocak 2011)	Robust Modelleme	Çalışmada elektrik spot piyasasında gözlemlenen ani artışlar (spike) tahmin edilmiştir. Elektrik spot fiyatları hem orijinal hem de filtrelenerek rassal ve mevsimsel bileşenlerin tahmin sonuçları karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre elektrik fiyatlarında ani değişimleri mevsimsel ve rassal süreci dikkate alarak yeni yaklaşım geliştirmişlerdir.
Atilla Çifter (2013)	Nordic Ülkeleri Elektrik Piyasası Günlük Veriler (1 Ocak 2008-18 Haziran 2011)	Markov-Switching GARCH Modeli	Çalışmada, elektrik fiyatlarında oynaklıklar sadece yüksek oynaklıklara bağlı değil aynı zamanda güçlü rejimlere de bağlıdır. Ampirik sonuçlar MS-GARCH Modelinin GARCH modeline göre daha doğru tahminler yaptığını ortaya koymaktadır. Dolayısıyla elektrik üreten şirketler ve tüketiciler MS-GARCH modeli kullanarak elektrik fiyatlarını daha doğru tahmin edebileceğini ifade etmişlerdir.
Michael Eichlera Oliver Grotheb Hans Mannerb Dennis Türk (2013)	Avustralya (2003-2012)	Otoregresif Koşullu Risk Modeli (ACH)	Söz konusu çalışmada elektrik piyasasındaki ani fiyat hareketleri için öngörüleme (forecast) ortaya konmuştur. Bu öngörülemeden hareketle elektrik kullanıcılarının tüketim davranışları için bir ışık tutulmuştur.
Marwan Marwan,	Avustralya(Queensland-Brisbane)	Talep Yanlı Tepki Modeli	Çalışmada tüketicilerin elektrik fiyatlarında ani fiyat değişimleri (spike), normal fiyatlar ve ani

Gerard Ledwich, Arindam Ghosh (2014)	(2011-2012)		fiyat değişimi olasılığı (probability of price spike) durumunda, maliyetleri nasıl optimize edeceklerini belirlemeye yöneliktir. Sonuçlar potansiyel planın tüketiciler için finansal faydalar elde etmek ve elektrik üretimi, dağıtım ve iletiminde en iyi ekonomik performansı belirlemeye yöneliktir.
Florentina Paraschiv, Stein-Erik Fleten, Michael Schürle (2015)	EEX Phelix-Saatlik İleri Fiyatlama Eğrisi (1 Ocak 2009-14 Mart 2013)	Yeni Rejim-Switching Yöntemi	Çalışmada özgün bir rejim-switching yöntemi kullanılarak kısa ve orta dönemde elektrik spot fiyatları öngörülenmiş ve simülasyon uygulanmıştır. Ek olarak model elektrik fiyatlarında ani fiyat değişimlerinin (spike) ve fiyat değişimlerini üretebilmektedir. Testler klasik zaman serisi yaklaşımlarından daha iyi performans göstermektedir.
Eyüp Doğan (2016)	Türkiye 12 Bölgeye Ayrılmıştır. (1995-2013)	Birim Kök Testleri	Çalışmada Türkiye’de 12 bölgede elektrik tüketiminde meydana gelen şokların geçici mi yoksa kalıcı mı olduğu belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen bulgulara göre Türkiye’de %80 oranında elektrik tüketiminde fiyat değişimlerinin kalıcı olduğu bulunmuştur.

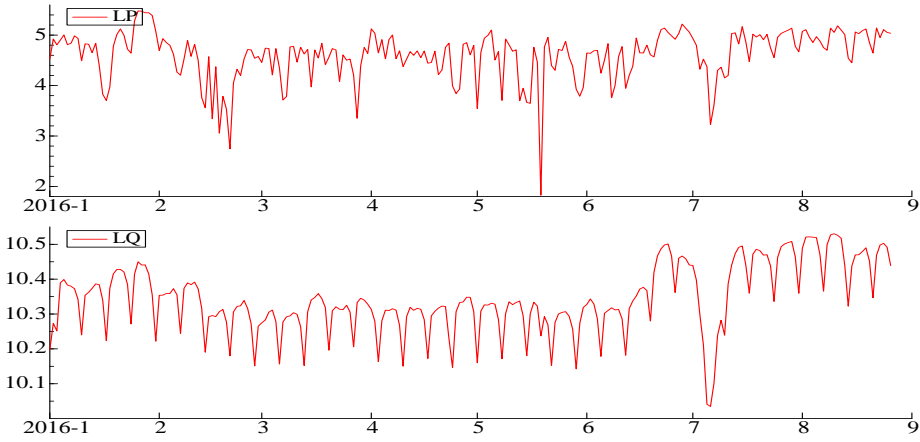
## I. VERİ SETİ

Çalışmada kullanılan veriler Türkiye Elektrik Piyasaları İşletmeleri Anonim Şirketi (EPIAŞ) ve EPIAŞ şeffaflık platformu veri tabanından elde edilmiştir. 1/1/2016 ile 26/8/2016 dönemine ait günlük veriler logaritmaları alınarak modele dâhil edilmiştir. Değişkenlere ilişkin tanımlamalar aşağıdaki gibidir.

**Tablo 2.** Modelde Kullanılan Değişkenlerin Tanımlanması

Değişkenler	Açıklama
LP	Logaritmik Elektrik Spot Piyasa Fiyatı
LQ	Logaritmik Toplam Elektrik Talebi

Şekil 1. Modelde Kullanılan Değişkenlerin Zaman Grafiği



Elektrik piyasalarının en önemli özelliklerinden birisi genellikle spot fiyatlardaki ani ve beklenmedik aşırı değişimlerdir. Sıçrama (spike) veya zıplama (jump) olarak bilinen bu durum, fiyatlardaki ani yükseliş ve düşüşler karşısında kısa dönemli fiyat hareketleri olarak tanımlanmaktadır (Janczura vd., 2012). Elektrik fiyatları genellikle fiyatların düşük oynaklık dinamikleri izlediği normal oynaklık rejimi ve yüksek oynaklık dinamikleri izlediği sıçrama rejimi olmak üzere iki farklı rejimle tanımlanmaktadır (Çifter, 2013). Bu çalışmada Türkiye elektrik piyasasında elektrik fiyatlarının yapısı Markov-Değişim Genelleştirilmiş Kendisiyle Bağlı Koşullu Değişen Varyans (MS-GARCH) tekniği yardımıyla incelenmiştir. MS-GARCH modeli düşük ve yüksek oynaklık dönemleri olmak üzere iki farklı rejimle tahmin edilmektedir. Bu rejimler çalışmanın temel hipotezi açısından elektrik fiyatlarındaki normal fiyat rejimleri ve ani yükseliş rejimleri olarak sınıflandırılmaktadır (Garcia vd.,2005).

Çalışmanın temel hipotezi ve söz konusu hipotezin testine yönelik MS-GARCH tekniği elektrik fiyatlarındaki normal değişim rejimlerinin yanı sıra ani yükseliş (spike) rejimlerini de tespit etmek amacıyla seçilmiştir (Janczura ve Weron, 2010; Haldrup ve Nielsen, 2006b). Ayrıca elektrik fiyatlarının (LP) temel belirleyeni olarak kabul edilen toplam elektrik talebinin (LQ) elektrik fiyatlarındaki ani yükselişleri hangi yönde ve nasıl etkilediği ortaya konmaktadır (Huisman, 2008; Kanamura ve Ohashi, 2008; Karakatsani ve Bunn, 2008).

Çalışmada öncelikle kullanılan değişkenlerin durağan olup olmadıkları test edilmiştir. Tablo 3'te yer alan ADF birim kök test sonuçlarına göre hem LP hem de LQ değişkenleri sabitte durağan olduğu (birim kök içermediği) görülmektedir. Dolayısıyla değişkenlerimiz doğrusal olmayan yöntemlerin kullanılması için gerekli olan durağanlık koşulunu sağlamaktadır.

**Tablo 3.** Serilere Ait ADF Birim Kök Testi

Değişkenler	t-istatistiği	Olasılık
LP	-8.876***	0.000
LQ	-5.678***	0.000

Kritik Değerler: % 1\*\*\*: -3.45, % 5\*\* : -2.87, % 10\* : -2.55

## II. DOĞRUSALLIK SINAMALARI

Literatürde doğrusallığın testine yönelik yaklaşımlar genel olarak parametrik ve parametrik olmayan şeklinde iki grupta incelenmektedir. Parametrik yöntemlerden bazıları RESET, Tsay'in F sınaması, Keenan Testi, Lagrange çarpanı yaklaşımları olarak sıralanabilir. Parametrik olmayan yaklaşımlara da hata karelerin analizine dayalı Ljung-Box istatistiği (Q sınaması), bispektral ile BDS testleri örnek verilebilir. Bu yaklaşımların açıklandığı önemli bir çalışma Tong (1990) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmanın özelliği belirtilen testlerle ilgili literatürü geniş bir şekilde sunmasıdır.

Bu çalışmada değişkenlerin doğrusal bir yapıya uyup uymadıklarını belirlemek üzere parametrik yaklaşımlardan Keenan, Terasvirta, Tsay, Linearity LR-testleri kullanılmış ve sonuçları aşağıdaki Tablo 4'te verilmiştir.

**Tablo 4.** Doğrusallığı Sınayan Testler

Keenan Testi	t-istatistiği	Olasılık	Gecikme
LP	20.6733	8.791793e-06***	3
LQ	2.40586	0.1224241	16
<b>Terasvirta Testi</b>			
LP	25.317	3.181e-06***	3
LQ	25.963	2.303e-06***	16
<b>Tsay Testi</b>			
LP	4.325	0.0003754***	3
LQ	1.67	0.009128***	16
<b>White Yapay Sinir Ağı Testi</b>			
LP	20.403	3.711e-05***	3
LQ	35.625	1.837e-08***	16
<b>Linearity LR Testi (Rejim modeli için)</b>	146.57	0.0000***	8

\*\*\* % 1'de anlamlılığı, \*\* % 5'te anlamlılığı ifade etmektedir. Gecikme uzunluklarının belirlenmesinde AIC bilgi kriteri dikkate alınmıştır.

Tablo 4'te elektrik spot fiyatları ve toplam elektrik talebi serilerine ait doğrusallığı sınayan test sonuçları yer almaktadır. Elde edilen doğrusallığı sınayan test sonuçlarına göre elektrik fiyatlarının doğrusal olduğunu ileri süren  $H_0$  hipotezi bütün test istatistikleri için reddedilmektedir. Elektrik talebi değişkeninin ise Keenan testine göre doğrusal, diğer test istatistiklerine göre ise doğrusal olmayan bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Dolayısıyla söz konusu değişkenlerin doğrusal olmaması değişkenlerin doğrusal olmayan yapılarını

dikkate alan Markov rejim değişim tekniğinin kullanılması için gerekli bir koşulu da yerine getirmektedir.

### III. GARCH (P,Q) MODELİ

Engle (1982)'in Kendisiyle Bağlılaşım Koşullu Değişen Varyans (ARCH) modelinin genişletilmiş hali olan Genelleştirilmiş Kendisiyle Bağlılaşım Koşullu Değişen Varyans (GARCH) modeli, Bollerslev (1986) tarafından geliştirilmiş ve zamana göre değişen oynaklığı modellemek amacıyla literatüre kazandırılmıştır. Model aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$h_t = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \beta_1 h_{t-1}$$

Burada  $\alpha_0$  sabit terimi,  $\varepsilon/\psi_{t-1} \sim N(0, \sqrt{h_t})$  olarak  $N(\cdot)$  sıfır ortalamaya sahip olasılık yoğunluk fonksiyonu ve koşullu varyansı ( $h_t$ ), ve  $\sqrt{h_t}$ ;  $\alpha, \beta > 1$  ve  $\alpha_0 > 1$  koşuluyla  $\varepsilon_t$ 'nin koşullu oynaklığını göstermektedir. Modelde  $h_t$ , hata karelerinin ve koşullu varyansın geçmiş değerlerinin doğrusal fonksiyonudur.

Bu çalışmada GARCH (1,1) modeli kullanılmaktadır. Parantez içindeki değerler bir gecikmeli ARCH (p=1) ve bir gecikmeli GARCH (q=1) parametrelerini ifade etmektedir.

### IV. MS-GARCH (P,Q) MODELİ

Zaman serilerinin “dönüm noktalarının” istatistiksel tespitinde kullanılan Markov-değişim yaklaşımı Hamilton (1989, 1990, 1994) tarafından geliştirilmiş ve literatüre kazandırılmıştır. Rejimlerdeki değişimler  $s_k$  durum değişkenine bağlı olarak çoklu rejim olarak tahmin edilebilmektedir. İki rejimli bir Markov zinciri aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$P\{s_k = j | s_{k-1} = i, s_{k-2} = k, \dots\} = P\{s_k = j | s_{k-1} = i\} = p_{ij},$$

Burada  $p_{ij}$  rejim  $i$ 'den rejim  $j$ 'ye geçme olasılığını ve  $i \neq j$  iken  $p_{ij} = 1 - p_{ii}$  olarak tanımlanmaktadır. Geçiş olasılıklı ve iki-rejimli bir Markov zinciri izlediği varsayılırsa altında bir  $s_k$  durum değişkeni aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$\begin{aligned} \Pr[s_k = 0 | s_{k-1} = 0] &= p \\ \Pr[s_k = 1 | s_{k-1} = 0] &= 1 - p \\ \Pr[s_k = 1 | s_{k-1} = 1] &= q \\ \Pr[s_k = 0 | s_{k-1} = 1] &= 1 - q \end{aligned}$$



Burada  $s_k = 0$  normal oynaklık rejimini,  $s_k = 1$  ise sıçrama (spike) rejimini ifade etmektedir. Markov değişim yaklaşımı Hamilton ve Sustel (1994), ve Cai (1994) tarafından ARCH yaklaşımını da içerecek şekilde genişletilebilir:

$$h_t = \alpha_{0s_t} + \alpha_{1s_t} \varepsilon_{t-1}^2$$

Burada  $s_t$  yüksek veya düşük oynaklık rejimlerini ifade etmektedir. Gray (1996) ve Klaassen (2002) standart GARCH modelini genişleterek iki-rejimli MS-GARCH modelini elde etmişlerdir. Bu çalışmada kullanılan ve Gray (1996)'ın yaklaşımına dayanan model aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

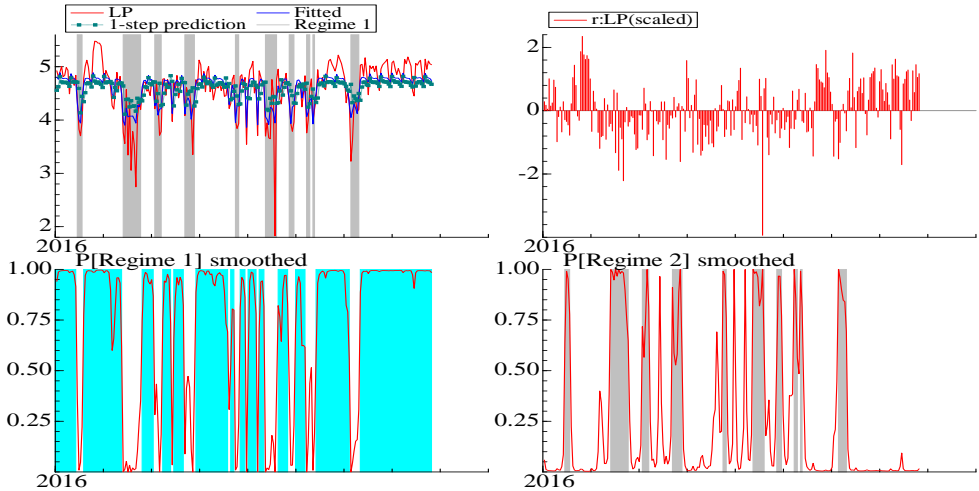
$$h_t = \left[ \alpha_0 + \alpha_{1(s_t)} \varepsilon_{t-1}^2 + \beta_{1(s_t)} h_{t-1} \right] I[s_t = 0] + \left[ \alpha_0 + \alpha_{1(s_t)} \varepsilon_{t-1}^2 + \beta_{1(s_t)} h_{t-1} \right] I[s_t = 1]$$

Burada  $s=0$  düşük oynaklık rejimini,  $s=1$  ise yüksek oynaklık rejimini göstermektedir. MS-GARCH yaklaşımı elektrik fiyatlarının yüksek ve düşük oynaklık yapılarının tahminine olanak tanımaktadır. GARCH modeli gibi MS-GARCH modeli de Gaussian, Student-t ve Skewed Student-t dağılımlarıyla tahmin edilmektedir.

### A. Analitik Bulgular

Çalışmanın analitik bulgular kısmında *elektrik talebindeki artış ve azalışların* elektrik fiyat rejimleri üzerindeki etkisi ve *rejim bağımlılık* yapıları araştırılmakta ve rejimler arası geçiş olasılıkları MS-GARCH yaklaşımıyla tahmin edilerek tahmin sonuçları Şekil 2, Tablo 5, Tablo 6 ve Tablo 7'de sunulmuştur.

Şekil 2. Rejim Geçiş Olasılıklarına Ait Yumuşatılmış Grafikler



Şekil 2'ye göre normal fiyat dönemleri rejim 1 ile, ani fiyat artış (spike) dönemleri ise rejim 2 ile gösterilmektedir. Şekil 2 incelendiğinde, ele alınan dönem boyunca genellikle normal fiyat hareketlerinin gözlemlendiği görülmektedir. Dolayısıyla elektrik fiyatlarının daha çok birinci rejimin ifade ettiği normal fiyat rejimlerinde açıklandığı görülmektedir. Fiyatlardaki ani yükselişleri ifade eden ikinci rejimin ise daha çok ani yükselişlere yol açan belli zaman dönemlerinde ortaya çıktığı görülmektedir.

**Tablo 5.** Rejim Geçiş Olasılıkları

	Rejim 1	Rejim 2	Gözlem Sayısı	Süre
Rejim 1	0.8466	0.3106	73.64%	176 gün
Rejim 2	0.1534	0.6893	26.36%	63 gün

Tablo 5'te normal fiyat rejimleri ve ani fiyat artış rejimleri arasındaki geçişi gösteren rejim geçiş olasılıkları yer almaktadır. Buna göre ani fiyat yükselişlerini takip eden dönemde (Rejim 2) elektrik fiyatlarının tekrar ani yükseliş dönemlerinde olma olasılığı % 68,9 iken, normal fiyat hareketlerini takip eden dönemde (Rejim 1) elektrik fiyatlarının tekrar normal fiyat düzeylerinde kalma olasılığı ise % 84,6 olarak bulunmuştur. Elektrik fiyatlarının birinci rejimden (normal) ikinci rejime (spike) geçme olasılığının % 31, benzer şekilde ikinci rejimdeyken de birinci rejime geçme olasılığının %15,3 olduğu görülmektedir. Buna göre elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde; elektrik fiyatlarının daha çok normal fiyat düzeylerini ifade eden birinci rejimde kalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Ancak elektrik fiyatlarının normal fiyat rejimlerinden ani fiyat yükseliş rejimlerine geçiş olasılığının daha yüksek olduğu görülmektedir. Diğer bir ifadeyle elektrik fiyatları ani fiyat artış rejimlerine kıyasla daha fazla normal fiyat rejimlerinde belirlenmekle birlikte elektrik fiyatları normal yükselişleri ifade eden rejim 1'de olsa dahi ani yükselişleri ifade eden rejim 2'ye geçme eğilimindedir. Diğer yandan elektrik fiyatlarının 176 gün normal fiyat rejiminde, 63 gün de ani fiyat artış rejiminde kaldığı söylenebilir.

**Tablo 6.** MS-GARCH Modeli Tahmin Sonuçları

	Katsayılar	Std. Hata	t-ist.
Sabit(1)	-13.389	1.410	-9.50***
Sabit(2)	-40.973	7.776	-5.26***
LQ(1)	1.753	0.135	12.9***
LQ(2)	4.381	0.754	5.81***
ARCH	0.030	0.028	1.07
GARCH	0.566	0.155	3.65***
sigma(1)	0.082	0.022	3.72***
sigma(2)	0.318	0.065	4.89***
p_{1 1}	0.846	0.039	21.69***
p_{2 2}	0.689	0.082	8.40***

LQ (1): Normal fiyat artış/azalış rejiminde elektrik talebinin elektrik fiyatları üzerindeki etkisini, LQ(2): Aşırı fiyat artış (spike) rejiminde elektrik talebinin elektrik fiyatları üzerindeki etkisini, sigma (1): Normal fiyat rejiminin varyansını, sigma(2):Aşırı fiyat artışları rejimin varyansını göstermektedir. \*\*\*, \*\*, \* sırasıyla %1,%5 ve %10 önem düzeyinde anlamlılıkları ifade etmektedir.

Tablo 6’da, Markov rejim değişim geçiş olasılıkları verilmiştir. Buna göre hem normal fiyat değişim dönemlerinde (rejim 1) hem de ani fiyat artışları (rejim 2) dönemindeyken toplam elektrik talebindeki bir artış elektrik fiyatlarında bir artışa yol açmakta ancak ani fiyat rejimlerinde (rejim 2) bu etki daha büyük (4.381) olmaktadır. Diğer bir ifadeyle elektrik talebindeki artış elektrik fiyatları ani yükseliş eğilimindeyken fiyatların daha da artmasına yol açarak elektrik fiyatlarının ani yükseliş rejimine doğru geçiş olasılığını arttıran önemli bir etken olmaktadır. Bunda özellikle elektrik talebindeki aşırı artış dönemlerinin etkili olduğu söylenebilir. Literatürde *mevsimsellik*, *uzun hafıza* ve *oynaklık kümelenmesi* olmak üzere 3 faktörün elektrik fiyatlarında değişen varyansa neden olduğu görülmektedir (Marossy, 2010).

Mevsimsel bileşenler serinin deterministik kısmını ifade ederken, uzun hafıza ve oynaklık kümelenmesi stokastik kısmı açıklamaktadır. Çalışmada elektrik fiyatlarındaki oynaklık kümelenmeleri, Markov değişim modelinin ARCH/GARCH etkisini de dikkate alacak şekilde genişletilmesiyle modellenmektedir. Buna göre tabloda şokların varlığını gösteren ARCH parametresinin istatistikî olarak anlamsız olduğu görülmektedir. Bu durum elektrik piyasasında anlık bir şok etkisinin olmadığı yönünden bilgi sağlamaktadır. Ancak piyasada bir şok etkisi olmamakla birlikte şokların sürekliliğini ifade eden GARCH parametresinin anlamlı olması piyasadaki kaynaklanan bir şokun sistem üzerinde sürekli bir etki yarattığı anlamına gelmektedir. Diğer bir ifadeyle piyasada sürekli bir şok etkisi olmamakla birlikte mevcut şoklar piyasa üzerinde süreklilik göstermektedir.

Normal ve ani fiyat artış rejimlerine ait varyans katsayıları incelendiğinde ani fiyat artış dönemlerinde varyansın normal dönemlere göre oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Tabloda yer alan normal ve ani fiyat yükseliş geçiş olasılığının katsayılarının da anlamlı olduğu görülmektedir. Bu sonuç, serilerin iki rejimli doğrusal olmayan bir yapı sergilediği yönünde bir bilgi sağlamaktadır. Söz konusu tahmin sonuçlarının güvenilirliğine yönelik temel tanımlayıcı istatistikler Tablo 7’de verilmektedir.

**Tablo 7.** Modele Ait Tanımlayıcı İstatistikler

<b>Log Olabilirlik</b>	-43.482
<b>Normallik Testi</b>	15.162 [0.0005]***
<b>Portmanteau (15)</b>	8.3929 [0.9071]
<b>ARCH LM (5-10) Testi</b>	0.1389 [0.7096]

Buna göre modelin temel istikrar koşullarını sağladığı görülmektedir. Modelin hata teriminin normal dağılmamakla birlikte, ele alınan modelin güvenilirliğinin temel belirleyenlerinden birisi olan ARCH etkisinin olmadığı

görülmektedir. Ayrıca Portmanteau test istatistiği sonucuna göre modelin hata terimleri arasında bir otokorelasyon sorununun olmadığı görülmektedir.

## **SONUÇ**

Bu çalışmada elektrik fiyatlarındaki ani yükselişler Markov Rejim Değişimi yaklaşımıyla test edilmektedir. Buna yönelik olarak elektrik spot fiyatlarındaki hareketler normal fiyat hareketleri ve ani fiyat yükselişleri olmak üzere iki rejimli bir modelle tanımlanmıştır. Elektrik fiyatlarındaki artışa yol açan önemli bir faktör olarak toplam elektrik talebi modele, elektrik fiyat rejimlerinin önemli bir belirleyicisi ve geçiş değişkeni olarak dâhil edilmiştir. Diğer yandan elektrik piyasasındaki şoklar ve bu şokların sürekliliğinin testine yönelik olarak model GARCH temelli Rejim Değişim Tekniği (MS-GARCH) kullanılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre Türkiye’de elektrik piyasasında genellikle normal fiyat rejimleri geçerli olmakla birlikte elektrik talebindeki artış ve diğer faktörlerin de etkisiyle elektrik spot fiyatlarında ani fiyat yükseliş rejimleri görülmektedir. Ayrıca elde edilen sonuçlardan, elektrik fiyatlarının normal fiyat rejimlerinden ani fiyat yükseliş rejimine geçiş olasılığının daha yüksek olduğu sonucuna varılmaktadır. Bu durum elektrik fiyatları üzerinde arz ve talebe dayalı ani değişimlerin etkili olduğu anlamına gelmektedir. Bununla birlikte Türkiye’de elektrik piyasası düzenlenmiş bir piyasa olmasına karşın arz ve talep arasında bir sürtünmenin olduğu ve bu durumun üreticilerin risk almalarına yol açtığı anlaşılmaktadır. Söz konusu bulgulara göre elektrik piyasası üzerinde Türkiye’de mevsimsellik, gün ve hafta etkileri ile özel zamanların etkilerinin olabileceği anlaşılmaktadır.

Diğer taraftan elektrik piyasasında bir şok etkisinin olmadığı buna karşın yüksek bir rejim bağımlılığı ile birlikte piyasadan kaynaklanan bir şokun sistem üzerinde sürekli bir etkiye sahip olduğu ifade edebilir. Bu açıdan değerlendirildiğinde elektrik piyasasında türev araçların kullanımı ile buna yönelik bir araç çeşitliliğine yönelik uygulamalara öncelik verilmelidir. Fiyatların daha iyi öngörülebilir olmasına dayalı üretim ve tüketim simülasyonları ile planlamalar yapılmalıdır.

## **KAYNAKÇA**

- Adam, C., Joanne, F., ve Stan, H. (2013), “Semi-parametric Forecasting of Spikes in Electricity Prices.” *The Economic Record*, (287), 508.
- Amjady, N., ve Keynia, F. (2011), “A new prediction strategy for price spike forecasting of day-ahead electricity markets.” *Applied Soft Computing Journal*, 114246-4256. doi:10.1016/j.asoc.2011.03.024.
- Becker, R., Hurn, S., ve Pavlov, V. (2007), “Modelling Spikes in Electricity Prices.” *Economic Record*, (263), 371.
- Cai, J. (1994), “A Markov Model of Unconditional Variance in ARCH”, *Journal of Business and Economics Statistics* 12 (3) ,309–316.
- Christensen, T., Hurn, A., ve Lindsay, K. (2012), “Forecasting Spikes in Electricity Prices.” *International Journal of Forecasting*, 28400-411. doi:10.1016/j.ijforecast.2011.02.019
- Cifter, A. (2013), “Forecasting Electricity Price Volatility with The Markov-Switching GARCH Model: Evidence From The Nordic Electric Power Market.” *Electric Power Systems Research*, 10261-67. doi:10.1016/j.epr.2013.04.007.

- Davies, N., & Joseph D. P. (1986), "Detecting Non-Linearity in Time Series," *The Statistician*, C. XXXV, No:2, s. 274.
- De Jong, C. (2006), "The Nature of Power Spikes: A Regime-Switch Approach." *Studies in Nonlinear Dynamics and Econometrics*, 10(3).
- De Jong, C. ve Huisman, R. (2002), "Option Formulas for Mean-Reverting Power Prices with Spikes", *Energy Global Research Paper*; and *ERIM Report Series Reference No. ERS 2002 96 F&A*. <http://ssrn.com/abstract=324520> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.324520>
- De Sanctis, A., ve Mari, C. (2007), "Modelling Spikes in Electricity Markets Using Excitable Dynamics. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*," 384457-467. doi:10.1016/j.physa.2007.05.015.
- Doğan, E. (2016), "Are Shocks to Electricity Consumption Transitory or Permanent? Sub-National Evidence From Turkey." *Utilities Policy*, doi:10.1016/j.jup.2016.06.007.
- Eichler, M., Grothe, O., Manner, H. ve Türk, D. (2013), "Models for Short-Term Forecasting of Spike Occurrences in Australian Electricity Markets: A Comparative Study." *Journal of Energy Markets* 7(1).
- Engle, R.F. (1982), "Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimate of The Variance of United Kingdom Inflation", *Econometrica* 50 (1982) 987–1007.
- Granger, C. W. J. & Teräsvirta, T. (1993), "Modelling Nonlinear Economic Relationships." Oxford University Pres.
- Gray, S.F. (1996), "Modeling the Conditional Distribution of Interest Rates As A Regime Switching Process", *Journal of Financial Economics* 42 (1) ,27–62.
- Haldrup, N. ve Nielsen, M. Ø. (2006a), "A Regime Switching Long Memory Model for Electricity Prices." *Journal Of Econometrics*,135349-376.doi:10.1016/j.jeconom.2005.07.021.
- Haldrup, N. ve Nielsen, M. Ø. (2006b), "Directional congestion and regime switching in a long memory model for electricity prices." *Studies in Nonlinear Dynamics & Econometrics*, 10:1–24.
- Haldrup, N., Nielsen, F. S., ve Nielsen, M. Ø. (2010), "A Vector Autoregressive Model for Electricity Prices Subject to Long Memory and Regime Switching." *Energy Economics*, 321044-1058. doi:10.1016/j.eneco.2010.02.012.
- Hamilton, J.D. (1989), "A New Approach to The Economic Analysis of Nonstationary Time Series and The Business Cycle", *Econometrica* 57 (2), 357–384.
- Hamilton, J.D. (1990), "Analysis of Time Series Subject to Changes in Regimes", *Journal of Econometrics* 45, 39–70.
- Hamilton, J.D. (1994), "Time Series Analysis," 1st ed., Princeton University Press, Princeton
- Hamilton, J.D. ve Susmel, R. (1994), "Autoregressive Conditional Heteroskedasticity and Changes in Regime", *Journal of Econometrics* 64 (1/2) ,307–333.
- Higgs, H., ve Worthington, A. (2008), "Full Length Article: Stochastic Price Modeling of High Volatility, Mean-Reverting, Spike-Prone Commodities: The Australian Wholesale Spot Electricity Market." *Energy Economics*, 30 (Technological Change and the Environment), 3172-3185. doi:10.1016/j.eneco.2008.04.006.
- Huisman, R. (2008), "The influence of temperature on spike probability in day-ahead power prices." *Energy Economics*, 30:2697–2704
- Huisman, R., Mahieu, R. J., ve Schlichter, F. (2009), "Electricity Portfolio Management: Optimal Peak/Off-Peak Allocations", *Energy Economics*, Vol:31, Issue 1,pp169–174.
- Huisman, R., ve Mahieu, R. (2003), "Regime Jumps in Electricity Prices." *Energy Economics*, 25425-434. doi:10.1016/S0140-9883(03)00041-0.
- Janczura ve R. Weron. (2010), "An empirical comparison of alternate regime-switching models for electricity spot prices." *Energy Economics*, 32:1059–1073.
- Janczura, J., Trück, S., Weron, R., ve Wolff, R. C. (2012), "Identifying Spikes and Seasonal Components in Electricity Spot Price Data: A Guide To Robust Modeling" , *MPRA Paper No. 39277*, posted 6. June 2012, <http://mpra.ub.uni-muenchen.de/39277/>
- Kanamura, T. ve Ohashi, K. (2008), "On transition probabilities of regime switching in electricity prices." *Energy Economics*, 30:1158–1172

- Karakatsani, N. ve Bunn, D. (2008), "Intra-day and regime-switching dynamics in electricity price formation." *Energy Economics*, 30:1776–1797
- Keenan, D. M. (1985), "A Tukey Nonadditivity-Type Test for Time Series Nonlinearity." *Biometrika*, C. LXXII, No:1, s. 39–44.
- Klaassen, F. (202), "Improving GARCH Volatility Forecasts with Regime-Switching GARCH", *Empirical Economics* 27 (2) ,363–394.
- Lu, X., Dong, Z. Y., ve Li, X. (2005), "Electricity Market Price Spike Forecast with Data Mining Techniques." *Electric Power Systems Research*, 73:19-29. doi:10.1016/j.epsr.2004.06.002.
- Marwan, M., Ledwich, G., ve Ghosh, A. (2014), "Demand-Side Response Model to Avoid Spike of Electricity Price." *Journal Of Process Control*, 24(Energy Efficient Buildings Special Issue), 782-789. doi:10.1016/j.jprocont.2014.01.009.
- Masorry, Z. (2010), "Sources of Heteroscedasticity in The Spot Electricity Price Time Series" *Energy Market (EEM)*, 7th International Conference on the European, doi: 10.1109/EEM.2010.5558781
- Mauritzen, J. (2015), "How Price Spikes Can Help Overcome The Energy Efficiency Gap." *Economics Letters*, 114. doi:10.1016/j.econlet.2015.07.008.
- Mount, T. D., Ning, Y., ve Cai, X. (2006), "Predicting Price Spikes in Electricity Markets Using A Regime-Switching Model with Time-Varying Parameters." *Energy Economics*, 28:62-80. doi:10.1016/j.eneco.2005.09.008.
- Nelson, D. (1991), "Conditional Heteroscedasticity in Asset Returns: A New Approach", *Econometrica*. 59, 347–370.
- Paraschiv, F., Fleten, S., ve Schürle, M. (2015), "A Spot-Forward Model for Electricity Prices with Regime Shifts. *Energy Economics*," 47:142-153. doi:10.1016/j.eneco.2014.11.003.
- R.J. Garcia, J. Contreras, M.V. Akkeren, J.B.C. Garcia. (2005). "A GARCH forecasting model to predict day-ahead electricity prices," *IEEE Transactions on Power Systems*, 20 (2) 867–874
- Schmidt, T. (2008), "Modelling Energy Markets with Extreme Spikes." *Mathematical Control Theory & Finance*, 359. doi:10.1007/978-3-540-69532-5\_20.

## **EXTENDED SUMMARY**

Electricity being a manufactured energy product differs from the other products because it is impossible to stock up. Thus, predicting the long-term electricity price movements is significant with regards to profit maximization. Electricity prices show a change depending upon weather conditions, economic conjuncture and seasonal, daily-weekly effects. Apart from these fluctuations in electricity prices, sudden price changes (spike) also lead to deviations in the tendency of prices to return to the average. This is also the main reason why electricity producers need to manage the risk actively. Because spikes lead to both asymmetrical movements in electricity prices and estimated parameters to vary with time. In this paper, frequency domain techniques have been used as an analysis tool due to the high frequency of the data.

There are a number of studies in the literature to determine the magnitude and direction of the above-mentioned effects. These studies are generally concentrated at the point of regime switching models and examine the price movements in electricity market in the dimension of regimes. The findings of studies on the electricity market are indicative of market participants. In this study, the data obtained from the Energy Exchange Istanbul (EXIST) and EXIST transparency platform database have been used. Electricity prices (LP)

and electricity demand (LQ) data have been generated from daily data of 1/1/2016 to 26/8/2016 and their logarithms have been taken into account.

In the study, it has been first tested whether the variables used are stationary. According to ADF unit root test results, LP and LQ variables are both stationary. At the same time, the variables have been subjected to the linearity test through Keenan, Terasvirta, Tsay, Linearity LR test. According to the test results obtained, the H0 hypothesis, which suggests that the electricity prices are linear, is rejected for all test statistics. The electric demand variable is linear according to Keenan test, and it is seen that it has a nonlinear structure according to other test statistics.

In the following section, the effects of the increases and decreases in electricity demand on electricity price regimes and regime dependency have been investigated and the transition probabilities between regimens have been estimated with MS-GARCH approach. The model is described in two different regimes, representing periods of low and high volatility.

According to analytical findings; it is seen that the likelihood of sudden price increases (regime 2) being in the period of sudden uprisings is 68.9 %, while the likelihood of normal price movements (regime 1) remaining at normal price levels again in the following period is 84.6%. It is seen that the probability of electricity prices passing the second regime (normal) from the first regime (spike) is 31%, and the probability of passing the first regime in the second regime is 15.3%. When the results obtained are evaluated, it is seen that electricity prices tend to remain in the first regime, which means more normal price levels. However, it is seen that electricity prices are more likely to switch from normal price regimes to sudden price increase regimes. In other words, electricity prices are determined by normal price regimes more than sudden price increase regimes, but electricity prices tend to go beyond regime 2, which is a sudden rise even if it is in regime 1, which means normal increases. On the other hand, electricity prices have remained at normal price regime of 176 days and sudden price increase regime at 63 days.

The results show that the deviation from average prices caused by price spikes has a stochastic nature. Additionally, it is seen that normal price regimes are generally valid in the electricity market and that there is a high probability of transition from normal price regimes to sudden price rising regime. Finally the findings show that the electricity prices have a high volatility as well as a strong regime dependency.