

**ELEKTRİK PİYASALARINDA
SPOT FİYAT MODELLERİ: TÜRKİYE ÖRNEĞİ**

**Pamukkale Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü
Doktora Tezi
İşletme Anabilim Dalı
Genel İşletme Doktora Programı**

Ali Ulvi ÖZGÜL

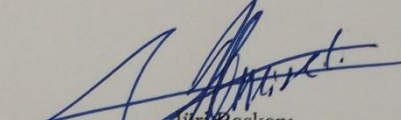
Danışman: Doç. Dr. Dündar KÖK

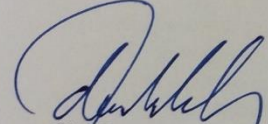
Eylül 2018

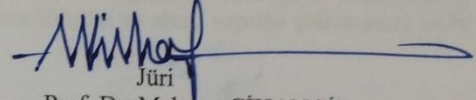
DENİZLİ

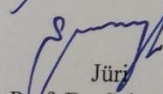
DOKTORA TEZİ ONAY FORMU

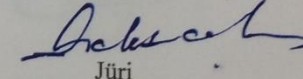
İşletme Anabilim Dalı, Genel İşletme Bilim Dalı doktora programı öğrencisi Ali Ulvi ÖZGÜL tarafından Doç. Dr. Dündar KÖK yönetiminde hazırlanan “**Elektrik Piyasalarında Spot Fiyat Modelleri: Türkiye Örneği**” başlıklı tez aşağıdaki jüri üyeleri tarafından 11.09.2018 tarihinde yapılan tez savunma sınavında başarılı bulunmuş ve Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.


Jüri Başkanı
Prof. Dr. Erhan DEMİRELİ


Jüri-Danışman
Doç. Dr. DÜNDAR KÖK

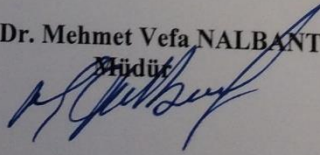

Jüri
Prof. Dr. Mehmet CİHANGİR


Jüri
Prof. Dr. Şaban NAZLIOĞLU

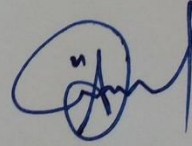

Jüri
Doç. Dr. Ender COŞKUN

24/09/2018 tarih ve 40.12 sayılı kararıyla onaylanmıştır.
Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

Prof. Dr. Mehmet Vefa NALBANT
Müdür



Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atıfta bulunulduğunu beyan ederim.



Ali Ulvi ÖZGÜL

ÖN SÖZ

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında hepsini burada sayamayacağım pek çok kişi ve kurumun katkısı olmuştur. Öncelikle, öğrenim hayatım boyunca, başta ilk öğretmenim Sayın Şerife AYDIN olmak üzere, beni eğiten, bilgilendiren, ve yetişmeme katkıda bulunan tüm öğretmen ve hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Doktora programım sırasında kendilerinden ders alarak ya da istişarede bulunarak bilgilendiğim Pamukkale Üniversitesi, İ.İ.B.F. İşletme Bölümündeki tüm hocalarıma, programa başlamamdan itibaren sınırsız desteğini esirgemeyen, süreçte önemli katkıları olan danışman hocam Doç. Dr. Dünder KÖK'e, izleme aşamalarında yönlendirmeleri ile beni destekleyen hocalarım Doç. Dr. Ender COŞKUN'a ve Prof. Dr. Şaban NAZLIOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmamın nihayetinde yapıcı önerileri ile çalışmama katkıda bulunan kıymetli hocalarım Prof. Dr. Hakan SARITAŞ'a, Prof. Dr. Erhan DEMİRELİ'ye ve Prof. Dr. Mehmet CİHANGİR'e şükranlarımı sunarım.

Konu seçiminde yönlendirici olan Dr. Nihat GÜMÜŞ'e, Türkiye piyasası ve işleyişine yönelik bilgilerini paylaşan Sayın Umut EKİZTEPE'ye ve Sayın Abdullah GÖL'e, makalesi ile ilgili bilgilendirmede bulunan Sayın Travis KAVULLA'ya ve desteklerinden dolayı değerli arkadaşlarım İbrahim Korkmaz KAHRAMAN'a, Habib KÜÇÜKŞAHİN'e ve Muhammed MAR'a ayrıca teşekkür ederim.

Maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili anneme ve kardeşlerime, çalışmam sırasında gerektiğinde sorumluluklarımı üstlenen sevgili eşim Emel'e, oğullarım Yusuf Ziya ve Abdullah'a ve burada kendisinden bahsetmemi dört gözle bekleyen kızım Zehra Nur'a sabır, anlayış ve sevgileri için teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, her zaman doktor olmamı isteyen sevgili babamın aziz hatırasına ...

ÖZET

ELEKTRİK PİYASALARINDA SPOT FİYAT MODELLERİ: TÜRKİYE ÖRNEĞİ

Özgül, Ali Ulvi

Doktora Tezi

İşletme Anabilim Dalı

Genel İşletme Doktora Programı

Tez Yöneticisi: Doç. Dr. Dündar KÖK

Eylül 2018, xiii + 177 sayfa

Enerji piyasaları içerisinde toplumun tüm kesimine kesintisiz hizmet sunabilme niteliği ile öne çıkan elektrik piyasaları, 1980’li yıllardan itibaren diğer kamusal hizmet sektörlerinde olduğu gibi yeniden yapılanma süreci ile önemli bir dönüşüm geçirmiştir. Gelişmiş örnekleri incelendiğinde, bu dönüşüm sürecinin ürünleri olan liberal elektrik piyasalarının giderek finansallaştığı gözlenmektedir. Yapısal özelliklerinin üretim ve tedarik zinciri üzerindeki etkisi nedeniyle piyasasında riskler oluşturan elektrik, piyasa işletmecilerini “finansallaşma” trendine uyumlu şekilde türev araçlar geliştirmeye ve yaygınlaştırmaya itmektedir.

Bu çalışma, gelişmiş örneklerinden öğrenme yoluyla Türkiye Elektrik Piyasası’nın da liberalleşme sürecinde önemli mesafe kaydettiğini ortaya koymaktadır. Türkiye Gün Öncesi Piyasası’nda oluşan referans fiyat niteliğini haiz spot fiyat, bu piyasalarda gözlenen tipik zaman serisi özelliklerini içermektedir. Çalışma, her piyasanın bulunduğu ortamın şartlarına bağlı olarak kendine özgü nitelikler taşımasından hareketle, bu özelliklerdeki farklılaşma ile bunun piyasaya bakan yönünün araştırılmasını ve spot fiyatın modellenmesini hedeflemiştir. Bu uğraşta ana akım referans modellerin fikri altyapısı ve ağırlıklı olarak finans yazınından seçilen araştırmaların pratik çözümleri ufuk açıcı olmuştur.

Türkiye özelinde uygulanan kırılmalı mevsimsellik modeli ile farklı bir yaklaşım önerilmiştir. Mevsimselliğe yönelik çeşitli modeller uygulanarak kırılmanın model seçimine bağlı kalmaksızın anlamlı olduğu saptanmıştır. Kırılma yılı olduğu tespit edilen 2015, fiyatın çoğunlukla tabi olduğu baz rejimden aşağıya doğru sıçramaların artarak görüldüğü dönemin başlangıcına da tekabül etmektedir. Son yıllarda Avrupa piyasalarında da görülen bu olguya yönelik olarak Mayer, Schmid ve Weber (2015) tarafından önerilen model (MSW Modeli), spot fiyat verileri (2012-2017) ile kalibre edilmiştir.

Kalibre edilen MSW Modelinin simülasyonlarda serinin momentlerini yakalamada yetersiz kalmasından dolayı ikinci ve dördüncü momentlerin risk yönetimi açısından önemi dikkate alınarak model geliştirilmiştir. Lognormal-Üstel sıçrama dağılım ikilisi ve 2,75 eşik değeri ile geliştirilmiş modelin Türkiye spot fiyat serisi için uygun olduğu bulunmuştur. Simülasyonlarla türetilmiş serilerle tahmin edilen parametrelerin istikrarlılığı tatmin edici bulunmuş, iyileştirme ve alternatif model önerileri tartışılmış, sonuç bölümünde kırılma yılı olan 2015 ve sonrasındaki gelişmelerin fiyat sürecine ve piyasaya olası etkileri değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektrik Piyasaları, Spot Fiyat Modelleri, Risk Yönetimi, Mevsimsellik Modellemesi, Sıçrama Modellemesi.

ABSTRACT

SPOT PRICE MODELS

IN ELECTRICITY MARKETS: THE CASE OF TURKEY

Özgül, Ali Ulvi

Doctoral Thesis

Business Administration Department

Business Administration PhD Programme

Adviser of Thesis: Assoc. Prof. Dr. Dündar KÖK

September 2018, xiii + 177 pages

Prominent among energy markets with their capacity to render uninterrupted and pervasive services to society, electricity markets have experienced substantial transformation within market restructuring processes since 1980s like their counterparts in public services businesses. An examination of a well-developed market reveals that financialization is under way in liberal electricity markets, which are the outputs of such transformations. Electricity, which brings about risks in markets through the effects of its idiosyncrasies on generation and supply chain, directs market operators to devise and expand derivative instruments in line with this “financialization” trend.

This study demonstrates that Turkish Electricity Market has taken big steps on liberalization process by learning from the more matured models. Spot price generated in Turkish Day Ahead Market and featured as a reference price encompasses typical time series properties as observed in comparable markets. Considering each market has distinctive characteristics conditional on the settings of the surrounding environment, the study has intended to research possible differentiation in such properties with a view towards market and in turn to model spot price. The reasoning behind main stream models and practical solutions in researches, mainly from finance literature have been stimulating this endeavour.

A different approach has been proposed with the seasonality model allowing for structural breaks. Various seasonality models have been implemented and the break has been found to be significant irrespective of the model selection. The break year, 2015 also marks the beginning of the period in which downward jumps, which originate from the base regime within which the price usually resides, are increasingly observed. Recently, this phenomenon is also prevalent in European markets, the model (MSW) suggested by Mayer, Schmid and Weber (2015) taking this feature into account has been calibrated with spot price data (2012-2017).

Considering the significance of the second and fourth moments in terms of risk management, the model has been improved further since the simulation studies depict MSW Model is inadequate in capturing observed moments. Improved model is found compatible with Turkish spot price series when jump distribution pair is Lognormal-Exponential and threshold is 2.75. Parameter stability has been found satisfactory, further improvements and alternative suggestions are discussed next. Probable effects of developments in 2015 and after on the price process and market are evaluated in conclusion.

Keywords: Electricity Markets, Spot Price Models, Risk Management, Seasonality Modelling, Jump Modelling.

İÇİNDEKİLER

ÖN SÖZ	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
TABLOLAR DİZİNİ	ix
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

ELEKTRİK VE ELEKTRİK PİYASALARI

1.1. Enerji Emtiası Sınıfında Ayırt Edici Özellikleri ile Elektrik	6
1.1.1. Elektriğin Nitelikleri	6
1.1.1.1. Yapısal Özellikler	6
1.1.1.2. Talep Özellikleri	8
1.1.1.3. Tedarik Zinciri Yapısı.....	14
1.1.2. Elektrik Kaynakları ve Üretimi.....	23
1.2. Elektrik Piyasaları	32
1.2.1. Piyasanın Yapısı ve Liberalleşme Akımı.....	33
1.2.1.1. Liberalleşme Öncesi Monopol Yapı	34
1.2.1.2. Liberalleşme Akımı	35
1.2.1.3. Piyasa Modelleri Işığında Ülkemizde Serbest Piyasa Gelişim Süreci.....	40
1.2.2. Spot Elektrik Piyasaları.....	45
1.2.2.1. Gün Öncesi Piyasası	47
1.2.2.2. Gün İçi Piyasası	48
1.2.2.3. Dengeleme Güç (Gerçek Zamanlı) Piyasası.....	51
1.2.2.4. Spot Piyasaların Gelişimi.....	54

İKİNCİ BÖLÜM

ELEKTRİK FİYAT DİNAMİKLERİ VE MODELLERİ

2.1. Spot Elektrik Fiyatı	58
---------------------------------	----

2.2. Spot Elektrik Fiyat Süreci ve Unsurları	63
2.2.1. Mevsimsellik	63
2.2.2. Ortalamaya Dönme	64
2.2.3. Çoklu Rejime Neden Olan Sıçramalar	68
2.2.4. Çoklu Otokorelasyon	72
2.3. Fiyat Süreci Unsurlarına Yönelik Modelleme Yöntemleri	73
2.3.1. Mevsimsellik Modelleri	73
2.3.1.1. Dalgacık Analizi	74
2.3.1.2. Sinüzoidal Fonksiyonlar	75
2.3.1.3. Kukla Değişkenler ve Mevsimsellik Bazında Fark Alma	77
2.3.1.4. Diğer Yöntemler	78
2.3.2. Ornstein-Uhlenbeck (OU) Süreci	79
2.3.3. Sıçramaların (Jump) Modellenmesi	81
2.3.3.1. Sıçramaların Sıklığı ve Büyüklüğü	81
2.3.3.2. Sıçramaların Tespiti	83
2.3.4. Çoklu Otokorelasyonun Modele Yansımaları	84
2.4. Spot Fiyat Modelleri	85
2.4.1. Modelleme Amaçları	85
2.4.2. Model Sınıflamaları	87
2.4.3. Fiyat Modellerine İlişkin Literatür Özeti	91
2.4.4. Referans Modeller	101
2.4.4.1. Schwartz'ın Tek Faktörlü Modeli	102
2.4.4.2. Ortalamaya-Dönen Sıçrama-Yayınım Modelleri	102
2.4.4.3. Lucia ve Schwartz'ın İki Faktörlü Modeli	103
2.4.4.4. Geman ve Roncoroni (GR) Modeli	104
2.4.4.5. Benth, Kallsen ve Meyer-Brandis (BKM) Modeli	107

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

SPOT FİYAT MODEL UYGULAMALARI: TÜRKİYE PİYASASI

3.1. Veri Seti ve Zaman Serileri Özellikleri	112
3.1.1. Fiyat Serisi ve İstatistikleri	112
3.1.2. Getiri Serisi ve İstatistikleri	117
3.1.3. Fiyat Serilerinin Durağanlığı	119
3.2. Mevsimsellik Modeli Uygulaması	120

3.2.1. Mevsimsellikte Haftalık Etkiler	122
3.2.1.1. Sinüzoidal Fonksiyon Yaklaşımı	122
3.2.1.2. Fark Alma Yaklaşımı	122
3.2.1.3. Kukla Değişken Yaklaşımı	124
3.2.2. Mevsimsellik Modelinin Tahmin Edilmesi	125
3.3. Stokastik Bileşenin Modellenmesi	131
3.3.1. Geman-Roncoroni (GR) Modeli	132
3.3.2. Mayer-Schmid-Weber (MSW) Modeli Uygulaması	135
3.3.2.1. Teorik Çerçeve	135
3.3.2.2. Model Kalibrasyonu	137
3.3.2.3. Türkiye Elektrik Piyasası Uygulaması	140
3.3.3. MSW Modelinin Geliştirilmesi	142
3.3.3.1. Simülasyon Yöntemi	146
3.3.3.2. Alternatif Modellerin Değerlendirilmesi	150
3.3.3.3. Model Uyumunun Test Edilmesi	152
3.3.3.4. Parametre İstikrarlılığının Test Edilmesi	154
3.3.4. MSW'nin Diğer Fiyat Modelleri ile Birlikte Değerlendirilmesi	156
SONUÇ	159
KAYNAKLAR	164
ÖZGEÇMİŞ	177

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1. Elektrik Talebini Etkileyen Faktörler	9
Şekil 2. Dünya Elektrik Tüketimi ve Bölgelere Dağılımı (1990-2016).....	12
Şekil 3. Elektrik Tüketimi Gelişimi - Dünya ve Türkiye (1990-2016).....	13
Şekil 4. Kullanım Alanlarına Göre Türkiye Net Elektrik Tüketimi.....	15
Şekil 5. Elektrik Tedarik Zinciri	17
Şekil 6. 08.01.15- 07.05.16- 13.09.16 ve 16.08.17 gün içi yük profilleri (Türkiye)	20
Şekil 7. Dağıtım Tanımı Kapsamı.....	21
Şekil 8. Birincil ve İkincil Enerji Kaynakları.....	25
Şekil 9. Türkiye Elektrik Piyasası Tertiplenmiş Yük Eğrisi (2016)	27
Şekil 10. Üretim (Öncelik Sırası) Yığının ve Güç Yığının Fonksiyonu	29
Şekil 11. Enerji Öz Yeterliliği ve Tüketim İçinde Elektriğin Payı (1971-2016)	31
Şekil 12. Kaynaklara Göre Türkiye Elektrik Enerjisi Üretimi Gelişimi.....	32
Şekil 13. Rekabetçi Piyasa Yapısı.....	36
Şekil 14. Sistem İşletimine İlişkin Yapılanma Biçimleri.....	37
Şekil 15. Türkiye Elektrik Piyasası Serbest Piyasa Gelişim Süreci.....	41
Şekil 16. Türkiye'nin Kamu-Özel Kesim Karşılaştırmalı Elektrik Üretimi Gelişimi	42
Şekil 17. Elektrik Piyasa Modelleri	44
Şekil 18. Fiziksel Teslimata Dayalı Elektrik Piyasaları.....	45
Şekil 19. Türkiye Fiziksel Elektrik Piyasaları Gelişimi.....	50
Şekil 20. ENTSO-E Sistem Kontrol Faaliyetleri	52
Şekil 21. YEKDEM Kapsamında Yıllık Üretim Miktarları (2012-2017).....	55
Şekil 22. Türkiye GÖP saatlik fiyat serileri (2012-2017)	60
Şekil 23. Türkiye GÖP saatlik PTF korelasyonları (2012-2017).....	61
Şekil 24. Fiyat Sıçramaları Sınıflandırması	69
Şekil 25. Elektrik Fiyat Modelleri Sınıflandırması	88
Şekil 26. Türkiye Elektrik Piyasası Fiyat ve Getiri Serileri (2012-2017).....	113
Şekil 27. Spot ve Logaritmik Spot Fiyat Serileri Histogramları	114
Şekil 28. Logaritmik Dönüşümün Fiyat Serisi Üzerindeki Etkisi	115
Şekil 29. Logaritmik Spot Serisi Bihistogramı	116
Şekil 30. Logaritmik Getiri Serisi Histeriagramı	118
Şekil 31. Spot Fiyat Serisinde Haftalık (Gün Tipi) Etkiler	123

Şekil 32. Sinüzoidal Model Kalıntı Serisi Otokorelasyon Diyagramı	128
Şekil 33. Logaritmik Fiyat Mevsim ve Kalıntı Serileri.....	129
Şekil 34. Logaritmik Fiyat Çarpımsal Mevsim ve Kalıntı Serileri	131
Şekil 35. Mevsim Etkilerinden Arındırılmış (Stokastik) Seri.....	132
Şekil 36. Stokastik Bileşen Birinci Fark Dağılımı	138
Şekil 37. MSW Modelinde Eşik Seçimine Göre Sıçrama Sayıları	142
Şekil 38. Simülasyonla Elde Edilen Serilerin Ortalama Basıklık Değerleri	144
Şekil 39. Simülasyonla Elde Edilen Serilerin Basıklık Kontur Grafiği I.....	145
Şekil 40. Sıçrama Örüntü Fonksiyonu	146
Şekil 41. Sıçrama İşaret Olasılık Matrisi / Isı Diyagramı	148
Şekil 42. Olasılık Matrisi Fiyat Dilim Sayısının Seri Basıklık Değeri ile İlişkisi	149
Şekil 43. Simülasyonla Elde Edilen Serilerin Basıklık Kontur Grafiği II	150
Şekil 44. Simülasyonla Elde Edilen Serilerin Varyans Kontur Grafiği.....	151
Şekil 45. Stokastik Bileşenin Otokorelasyon Fonksiyonu	157

TABLOLAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 1. Elektrik Talebinin Fiyat Esnekliğine İlişkin Örnek Çalışma Bulguları.....	11
Tablo 2. Elektrik Enerjisi İletim ve Dağıtım Kayıpları [Kayıp / Çıktı (%)]	23
Tablo 3: Spot Elektrik Fiyatlarının Modellenmesine Yönelik Literatür Özeti	92
Tablo 4. Fiyat Serileri Tanımlayıcı İstatistikleri	114
Tablo 5. Getiri Serisi Tanımlayıcı İstatistikleri.....	117
Tablo 6. Fiyat ve Logaritmik Fiyat Serileri Durağanlık Test Sonuçları	119
Tablo 7. Kukla Değişkenli Model Yapıları.....	125
Tablo 8. Logaritmik Fiyat Serisi Mevsim Modelleri Seçim İstatistikleri	127
Tablo 9. Seçilen Mevsim Modeli Çıktısı (Logaritmik Fiyat Serisi)	130
Tablo 10. Logaritmik Fiyat ve Stokastik Bileşen Serilerinin En Yüksek ve En Düşük Değerlerinin Gün Tiplerine Göre Dağılımı	134
Tablo 11. MSW Modeli Tahmin Edilen Parametreleri	140
Tablo 12. Stokastik Bileşen Serisi Tanımlayıcı İstatistikleri	144
Tablo 13. Geliştirilmiş MSW Modelinin Parametreleri.....	152
Tablo 14. Stokastik Bileşen Serisi ile Geliştirilmiş Modelden Simülasyonla Elde Edilen Serilerin Karşılaştırmalı Momentleri, IQR ve IDR İstatistikleri	154
Tablo 15. Geliştirilmiş MSW Modeli Parametre Kararlılığı İstatistikleri.....	155

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AC	Alternating Current (Alternatif Akım)
ADF	Augmented Dickey-Fuller Test (Genişletilmiş Dickey-Fuller Testi)
BİST	Borsa İstanbul
BKM	Benth, Kallsen ve Meyer-Brandis
BM	Birleşmiş Milletler
BSMM	Black-Scholes-Merton Modeli
BYBO	Bileşik Yıllık Büyüme Oranı
CDD	Cooling Degree Days (Serinletme Gün-Derecesi)
cet. par.	ceteris paribus (Diğer tüm etkenler aynı kalmak üzere)
CSP	Concentrated Solar Power (Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi)
DC	Direct Current (Doğru Akım)
DGP	Dengeleme Güç Piyasası
DUY	Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği
ECAR	East Central Area Reliability
EEX	European Energy Exchange AG (Avrupa Enerji Borsası)
EGARCH	Exponential Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity (Üstel Genelleştirilmiş Kendine Bağlaşımli Koşullu Değişen Varyans)
EKK	En Küçük Kareler
ENTSO-E	European Network of Transmission System Operators for Electricity (Avrupa Elektrik İletim Sistemi İşletmecileri Ağı)
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EPİAŞ	Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi
EPİD	Elektrik Piyasaları İşletme Dairesi Başkanlığı
EPK	Enerji Piyasası Kanunu
EPS	Electric Power System (Elektrik Enerjisi (Güç) Sistemi)
ETKB	T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EWMA	Exponentially Weighted Moving Average Model (Üstel Ağırlıklı Yürüyen Ortalama Modeli)
GARCH	Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity (Genelleştirilmiş Kendine Bağlaşımli Koşullu Değişen Varyans)
GBM	Geometric Brownian Motion (Geometrik Brown Hareketi)
GİP	Gün İçi Piyasası
GÖP	Gün Öncesi Piyasası

GR	Geman ve Roncoroni
HDD	Heating Degree Days (Isıtma Gün-Derecesi)
HJM	Heath-Jarrow-Morton
IDR	Inter-Decile-Range (Ondabirlikler Arası Açıklık)
IEA	International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
IER	Institute for Energy Research (Enerji Araştırma Enstitüsü)
IQR	Inter-Quartile-Range (Çeyrekler Arası Açıklık)
ISO/RTO	Independent System Operator/Regional System Operator (Bağımsız Sistem İşletmecisi/Bölgesel Sistem İşletmecisi)
KPSS	Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin Testi
KPTF	Kısıtsız Piyasa Takas Fiyatı
LIBOR	London Inter-bank Offered Rate (Londra Bankalararası Faiz Oranı)
LL	Log Likelihood (Logaritmik Olabilirlik)
MCMC	Markov Chain Monte Carlo (Markov Zincirli Monte Carlo)
MRB	Mean Relative Bias (Ortalama Göreceli Sapma)
MRJD	Mean-Reverting Jump-Diffusion (Ortalamaya-Dönen Sıçrama-Yayınım)
MRS	Markov Regime Switching (Markov Rejim Değişim)
MSE	Mean Squared Error (Ortalama Karesel Hata)
MSW	Mayer, Schmid ve Weber
MTM	Mark-To-Market (<i>Finansal araçlarla ilgili olmak üzere, Gerçeğe Uygun Değere Getirme</i>)
MYTM	Milli Yük Tevzi Merkezi
NETA	New Electricity Trading Arrangements (Yeni Elektrik Ticaret Düzenlemeleri)
NPTF	Nihai Piyasa Takas Fiyatı
NSW	New South Wales
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development (İktisadi İşbirliği ve Gelişme Teşkilatı)
OU	Ornstein-Uhlenbeck
ör.	Örnek, örneğin
PJM	Pennsylvania-New Jersey-Maryland
PP	Phillips-Perron Testi
PTF	Piyasa Takas Fiyatı
RMSE	Root Mean Squared Error (Kök Ortalama Karesel Hata)
SDD	Stokastik Diferansiyel Denklem
SGÖF	Sistem Gün Öncesi Fiyatı

SMF	Sistem Marjinal Fiyatı
TCMB	Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TEK	Türkiye Elektrik Kurumu
TL	Türk Lirası
USD	Amerikan Doları
vb.	Ve benzeri
vd.	Ve diğerleri
WTI	West Texas Intermediate
YEKDEM	Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Destekleme Mekanizması
YG	Yüksek Gerilim
YPK	Yüksek Planlama Kurulu

Simgeler

$1_{\{a\}}$	İşaret fonksiyonu
$\forall \bullet$	\bullet ile belirtilen bütün değerler (elemanlar) için
$: =$	Şeklinde tanımlanır.
\cong	Yaklaşık olarak eşittir.
$[a,b]$	a, b kapalı aralığı
$\bullet \sim N(\mu, \sigma)$	\bullet ile belirtilen rassal değişken; μ ortalama, σ standart sapma parametreleri ile Normal dağılır.
$\bullet \sim NID(\mu, \sigma)$	\bullet ile belirtilen rassal değişken; μ ortalama, σ standart sapma parametreleri ile bağımsız Normal dağılıma sahiptir.
$AR(\bullet)$	(\bullet ile belirtilen dereceden) Kendine Bağımlı Model
$arg \min_a \{b\}$	b ile verilen a değişkenine/değişkenlerine bağlı fonksiyonu en az (minimum) kılan a değişkeni/değişkenleri değerleri
$ay(\bullet)$	Ay fonksiyonu
β	Beta katsayısı (katsayı vektörü)
B_t, W_t	Brown (Wiener) süreci
CO_2	Karbondioksit
$cos(\bullet)$	Kosinüs fonksiyonu
$dx, d(\bullet)$	x 'in değişimi, \bullet fonksiyonunun türevi
$\Delta \bullet$	Fark operatörü (Delta)
$e^{(\bullet)}, exp(\bullet)$	Üstel fonksiyon
$E(\bullet)$	Beklenen değer operatörü
$E(a b)$	a 'nın b 'ye koşullu beklenen değeri

$f(\bullet)$	f fonksiyonu
\mathcal{F}_t	t zamanı itibariyle mevcut bilgi seti (filtrasyon)
$g\ddot{u}n(\bullet)$	Gün tipi fonksiyonu
<i>h. h. k.</i>	Hemen hemen kesin
Hz.	Hertz (Devir/saniye cinsinden frekans)
km.	Kilometre
$\log(\bullet)$	Doğal logaritma fonksiyonu
logSpot	Logaritmik spot fiyat serisi
MVA	Megawatt-amper
\mathbb{N}	Doğal sayılar kümesi
N_t	Sayma süreci
P_{t-}	Fiyatın (P) t anında soldan limiti
π	Pi sayısı
$\Pr\{a b\}$	a 'nın b 'ye koşullu (bağlı) olasılığı
$\rho(\bullet)$	Otokorelasyon fonksiyonu
Σ	Toplam sembolü
$\sin(\bullet)$	Sinüs fonksiyonu
Spot	Spot fiyat serisi
v, kV	Volt, kilovolt
$Var(\bullet)$	Varyans operatörü
W	Watt
Ws	Watt saat
$\{X_i\}_{i=1}^{\infty}$	X serisi

GİRİŞ

Geride bıraktığımız yüzyıl, özellikle son çeyreği itibariyle, geleneksel finans piyasalarına benzer, ancak değişen ölçekte yapısal farklılıklar barındıran piyasaların doğmasını ve gelişmesini beraberinde getirmiştir. Günümüzde anlaşıldığı şekliyle, herhangi bir piyasanın “piyasa” tanımlamasını hak etmesi, çok fazla sayıda, hatta küresel ölçekte katılımcıların mevcudiyetine ve yüksek hacimlerde işlemlerin gerçekleşmesine bağlıdır. Ekonomik faaliyetlerin çok büyük bir kısmının gerçekleştiği piyasaların etkin ve verimli işleyişi, piyasa oyuncularının kendi aralarında ve piyasa işletmecisi ile olan ilişkilerinin adil, şeffaf ve sağlam bir zemin üzerinde yürütülmesine bağlıdır. Bu altyapıyı da içine alan piyasa yapısı kavramı, farklı piyasaları da anlamamıza imkân tanımaktadır. Kavram, aynı zamanda ilgili piyasada işlem gören varlıkların spesifik özelliklerini ve bunların gerçekleşen işlemler üzerine yansımalarını da içerecek şekilde geniş ölçekte değerlendirilmelidir.

Elektrik de kendine has özellikleri ile ticareti yapıldığı ortamın piyasalaşması, ya da liberalleşmesi sürecini yönlendirici olmuştur. Buna istinaden çalışmanın birinci bölümü, piyasa yapısı ve tasarımı üzerinde önemli etkileri olan bu özelliklerin tespiti ve incelenmesi ile başlamaktadır. Ele alınan nitelikler, elektriğin yapısından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla liberalleşme akımı öncesinde de bu nitelikler geçerli olmakla beraber, bu akımla birlikte yoğun olarak ele alınmaya başlanmıştır. Diğer taraftan bu özellikler, devletlerin tek elden elektrik üretim, iletim ve dağıtımını gerçekleştirdikleri dönemden günümüze geçişte tedarik zincirinin tüm öğelerinin liberalleştirilmesine de olanak tanımamaktadır.

Tedarik zincirinin önemli unsurları olan iletim ve dağıtım faaliyetleri doğal tekel konumundadır. Bunun önemli bir nedeni, her iki faaliyet için de ölçek ekonomisinin getirdiği maliyet avantajıdır. Bu bağlamda, iletim faaliyetinin devletler açısından stratejik öneminin de vurgulanması gerekir. İletim, aynı zamanda fiziksel ticaretin gerçekleşmesi için elzemdir ve tüm sistemin çok boyutlu verilerini barındırmaktadır. Bu faaliyet(ler)in Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ve bazı Avrupa ülkelerinde özel şirketler tarafından yürütülüyor olması, bu ülkelerin özel teşebbüse dayalı ekonomi modellerinin önceden beri hâkim olmasına bağlanabilir. Ne var ki, bu iki temel faaliyet özel teşebbüsler tarafından yürütülse bile daha yoğun düzeyde devlet regülasyonlarına tabidir. Elektriğin verimli bir şekilde depolanamıyor olması ve tüketicilere ürünü arzu ettikleri zaman ve

konumda, bundan da ötesi kesintisiz ulaştırma gerekliliği, iletim ve dağıtımın doğal tekel olmasının arkasında yatan temel nedenler arasındadır.

Tarifelerle gelirleri garanti edilmiş olması nedeniyle rekabetin neredeyse geçerli olmadığı dağıtım ve iletim faaliyetlerinin aksine elektrik üretim faaliyeti, özel sektör rekabetine daha elverişlidir. Faaliyet, bir ağ ya da şebeke yapısı gerektirmeksizin üretim kaynağının bulunduğu ya da kullanılabilirdiği coğrafi noktada yürütülebilir. Ülkemizdeki serbestleşme sürecinin ele alındığı bölümde de ortaya konulduğu gibi piyasalaşma, üretim santrallerinin özelleştirilmesi ile başlamıştır. Devlet, sürecin ilk yıllarında ve kısmen günümüze kadar özel teşebbüslere tanıdığı (çoğu zaman üretim kaynağına da bağlı olarak ve yine çoğunlukla dövize endeksli olmak üzere avantajlı fiyattan) alım garantisi, vergisel teşvikler vs. ile yatırımların hızlanarak artmasını sağlamıştır. Elektriğin kalkınma için sürükleyici güç olması, artan nüfusa bağlı artan talep, bu bağlamda yapılacak yatırımlar için devlet kaynaklarının sınırlı olması ve özel sektörden beklenen verimlilik artışı üretim faaliyeti ile başlayan liberalleşmenin önemli gerekçeleri olmuştur.

Üretimde kullanılan kaynak ve teknoloji kalitesinin, üretim şirketlerine rekabet avantajı sağlaması beklenir. Ancak, elektrik için bu kuralı geçersiz kılan dışsallıklar söz konusu olabilmektedir. Uluslararası kuruluşlar tarafından hem küresel ölçekte hem de ülkeler ölçeğinde enerji bilançoları çıkarılmakta, tükenen kaynakların sınırlılığı nedeniyle denge hesapları gözden geçirilmektedir. Bu denge hesaplarının getirdiği makro politikalar çerçevesinde yenilenebilir kaynaklara sağlanan teşvikler, yer yer piyasa mekanizmasının aleyhine işlemektedir. Bu yüzden makro politikaların ve yeni teknolojilerin getireceği olası etkiler sektöre yapılacak yeni yatırımların planlanmasında hayati önem taşımaktadır.

Genel olarak başka piyasaların deneyimlerini izleyerek gelişen piyasamızda fiziksel ticaretin gerçekleştiği, değişen vade yapıları ile farklılaşan üç temel piyasa, birinci bölümün son kısmında ele alınmıştır. Planlama aşaması ile faaliyete başlayan, bu şekliyle tam bir piyasa hüviyetinde olmayan gün öncesi piyasamız, izleyen süreçte birincil piyasa kimliğine kavuşmuştur. Dengeleme güç piyasası ise, dengesizliklerin giderilmesi ve uzlaştırılması bakımından bu piyasanın bir uzantısıdır. Daha tecrübe kazanmış ve gelişmiş örneklerinde olduğu gibi piyasamız da izleyen süreçte gün içi piyasasının kurulması ile katılımcılarına ilave dengeleme fırsatı sunmuştur. Bu noktaya ulaşılmasını sağlayan önemli etken, hedeflenen ayırık piyasa yapısına kavuşulmuş olmasıdır. Bu açıdan piyasa – sistem işletmecisi ayrımı boyutunda farklılık arz eden

piyasa yapılanma biçimleri ve bunların göreceli olumlu ve olumsuz özellikleri, birinci bölümde irdelenmiştir. Üç temel piyasanın işleyişi bakımından diğer önemli bir özellik, piyasa işletmecisinin yönetimindeki sisteme girilen emir tiplerinin, uzlaşma esaslarının ve genel kuralların finansal piyasaların ayak izinde geliştirilmiş olmasıdır.

Elektrik piyasalarında spot fiyat, diğer piyasalara göre bazı farklılıklar taşımaktadır. Elektriğin temel nitelikleri ile yakından bağlantılı olan bu hususa istinaden ikinci bölümün girişinde “spot fiyat” kavramı ele alınmıştır. Çalışmada ele alınan (günlük) spot fiyat yerine model amacına bağlı olarak daha dar zaman aralığında oluşan fiyat serilerinden de yararlanmak mümkündür. Spot fiyat, piyasa dinamiklerini kavramada daha genel ve kuşbakışı bir yaklaşıma imkân vermektedir. Bunun yanında, vadeli işlemlerin çok büyük kısmı için kullanışlı zaman birimi olan “gün”ü kapsayıcı mahiyettedir. Tanımlanan spot fiyat serileri, genel olarak finansal varlık, özelde türev ürünlerin fiyatlama modellerinden esinlenerek geliştirilen ve kaynak çalışmalarda incelenen modeller için de uygun düşmektedir.

Fiyatı üreten sürecin ana unsurları ve bunların modellenmesine dönük yaklaşımlar, uygulama bölümü için teorik altyapının oluşturulmasını teminen alt başlıklar halinde incelenmiştir. Birçok ekonomik, finansal değişkenin tek başına ya da birkaçı ile birlikte zaman boyutundaki hareketleri, uzun dönemde bir denge noktasına doğru sürüklenme eğilimindedir. Başka disiplinler tarafından fiziksel olaylarla bağlantılı ele alınan sürekli zaman formundaki Ornstein-Uhlenbeck süreci, anılan değişkenlerin denge noktasına dönüş hızını ya da bazı çalışmalara istinaden gücünü açıklamakta oldukça kullanışlı bir araçtır. Spot fiyat modelleri, en başından beri bu sürece dayanmaktadır. Yeni modelleme yaklaşımları, elektrik fiyatlarında sadece bir değil, birkaç Ornstein-Uhlenbeck süreçlerinin mevcudiyetini de ortaya koymaktadır. Birbirinden farklı hızlarda dengeye, ya da ortalamaya dönen alt süreçler, çoklu otokorelasyon yapısının varlığı ile teşhis edilebilmektedir. Modellerin bu unsurları yanında, spot elektrik fiyatlarında gözlenen mevsimsellik ve bunun neden olduğu etkilerin modellenmesine dönük yaklaşımlar da ikinci bölümün önemli bir kısmını oluşturmaktadır.

Fiyat sürecinin unsurları model geliştirme sürecini de yönlendirmiştir. Ancak, her unsurun modellerde aynı ya da birbirlerine yakın düzeyde yer alması beklenemez. Geliştirilen modelin kullanım alanı ve bu alana bağlı olarak ön plana alınan model nitelikleri farklı sınıflarda modellerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Diğer taraftan

modellemeye konu ürünün/malın hassasiyeti ve stratejik önemi, dahası çok fazla sayıda disiplini ilgilendirmesi, model sınıfları arasında da çeşitlilik zenginliği getirmiştir. Çalışmada sunulan ve bu zenginliği gösterir sınıflandırma, model tercihi noktasında sınırlamayı gerekli kılmaktadır. Bu çerçevede ekonomi, daha özelinde varlık fiyatlamaya dönük yöntem ve modellerle ilerleyen finans bilimi dahilindeki çalışmalar, bizim çalışmamızın sınırlarını tayin eder mahiyettedir.

Gelişen piyasaların beraberinde getirdiği artan risk ve buna bağlı olarak risk yönetim araç ve ortamlarının akademik yazında fazlaca inceleniyor olması, model tercihine dönük yaklaşımımızı da şekillendirmektedir. Dahası elektrik, yapısal olarak daha riskli bir piyasa ortamına neden olmaktadır. Bu bağlamda elektriğe dayalı türev enstrümanların modellenmesine yönelik çalışmalara öncelik verilmiştir. Spot ve vadeli piyasalar, genel itibarıyla birbirini tamamlayıcı ve katılımcılar kanalıyla da birbirleri ile etkileşim halinde olan piyasalardır. Küresel ölçekte liberal elektrik piyasaları önemli ölçüde mesafe katetmiş olsa da elektriğe dayalı türevlerin modellenmesinin henüz emekleme döneminde olduğu söylenebilir. Bu nedenle, literatürde türev ürünlere yönelik çalışmalar da çoğu zaman spot fiyat temelli yaklaşımı benimsemektedir. Spot fiyat modellerinin geliştirilmeye başlanmasından itibaren literatürde öne çıkan ve çalışmamıza yön veren modeller, ana hatlarıyla “Referans Modeller” alt başlığı altında incelenmiştir. Referans modellerin yanı sıra farklı yaklaşımları da dikkate alan çalışmalar ise tablo halinde özetlenmiştir.

Uygulamayı konu edinen son bölümde ise, piyasamız verilerinin genel zaman serileri özellikleri ele alınmış, mevsimselliğin modellenmesine yönelik yaklaşımlar farklı boyutları ile tartışılmıştır. Referans modellerin daha gelişmiş örneklerinin piyasamız verilerine kalibrasyonu açısından zaman serileri özelliklerinin ve mevsimselliğin spot fiyat üzerindeki etkileri irdelenmiştir. Daha güncel ve ufuk açıcı bu modellerin arka planındaki fikri temeller, ülkemiz elektrik spot fiyatları için uygunluğu öne sürülen modelin geliştirilmesine olanak tanımıştır. Elektrik ticaretine yönelik pratik uygulamalar içeren, piyasamıza odaklı yürütülen çalışmamızın gelişmekte olan piyasamıza ve ülkemiz özelinde kısıtlı olan yazına katkı sağlaması beklenmektedir. Gelişme potansiyeli taşıyan vadeli piyasamızın işlerliği açısından da önerilen model ve özet halinde sunulan ana akım modeller, ayrıca yol gösterici olacaktır.

BİRİNCİ BÖLÜM

ELEKTRİK VE ELEKTRİK PİYASALARI

“Rekabetçi özelliklerin bulunduğu yerlerde bile piyasa, hala hükümet tarafından tasarlanmakta ve sübvansiyonlarla ilerletilmektedir. Bugün elektrik için gerçekten serbest bir piyasa yoktur. Son on yılların ideolojilerle yönlendirilmiş birçok piyasa odaklı reformları, çözmeye niyetlendikleri tekel probleminin ironik bir şekilde yerleşmesine neden oldular. Yine de böylesi temel tüketici ürünü için piyasayı yeniden yapılandırmak imkânsız değildir.”

T. Kavulla¹ (2017)

Bir ürünün “doğru” fiyatlanabilmesinin, öncelikle ürüne ait fiziksel ve ekonomik özelliklerin, bunun yanında el değiştirdiği çevreyi etkileyen fiziki ve sosyoekonomik gelişmeler ile düzenlemelerin ele alınmasını gerektirmesinden hareketle bu bölümde elektriğin karakteristik özellikleri ve ilgili piyasalar ele alınacaktır. Doğru fiyat, rasyonel beklentiler hipotezini benimseyen neo-klasik ve yeni klasik iktisat okullarına göre arz-talep yasası gereği liberal piyasalarda oluşmaktadır. Fama (1970), rasyonel beklentilere dayalı bu yaklaşımın ayrı bir bilim dalı olarak gelişen finans biliminde de geçerliliğini fiyat hareketlerinden yola çıkarak “Etkin Piyasalar Hipotezi” ile ortaya koymuştur. Sözü edilen anlayış, fiziki varlığı ile değer taşıyan ve temel tüketim ya da sanayi malı olması nedeniyle hisse senedi, tahvil vb. finansal varlıklardan ayrıışan emtia üzerinde de finansallaşma yolu ile pratik karşılığını bulmuştur. Ne var ki, “Tüm güç ve canlılıklarına karşın piyasalar sadece araçtır. İyi bir hizmetçi; fakat kötü bir efendi ve de daha kötü bir din olurlar.” (Hawken vd., 2010:261). Birçok çalışmada (Nazlıoğlu ve Soytaş, 2012, Gökmenoğlu ve Fazlollahi, 2015, Diebold vd., 2017) ortaya konulduğu gibi hem kendi içerisindeki farklı emtia grupları ile, hem de finansal varlıklarla artan etkileşim içerisinde olduğundan emtia da piyasaların bu çift yönlü davranışının etkilerine maruz kalmaktadır.

¹ ABD Montana Eyaleti Kamu Hizmetleri Komisyonu Üyesi

Piyasasının liberalleştiği gerçeğini dikkate alarak yapısı gereği hassas bir mal² olan elektrik, diğer piyasaların risklerine açık olmanın yanında, daha da önemlisi kendine özgü nitelikleri nedeniyle politika yapıcılar için sağlam kurgulanmış bir piyasa modeli, piyasa oyuncuları için de etkin ve verimli risk yönetimi ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Bu bağlamda bölüm, elektriği ve piyasa modellerini genel anlamda ele almakta, çalışmanın uygulama bölümünün odaklandığı Türkiye piyasasına dönük bilgiler ve pratik örnekler sunmaktadır.

1.1. Enerji Emtiası Sınıfında Ayırt Edici Özellikleri ile Elektrik

Elektrik kelimesi, en önemli yapıtı “De Magnete” olan, Encyclopaedia Britannica tarafından elektrikle ilgili çalışmaların babası olarak kabul edildiği belirtilen William Gilbert’e (1544-1603) dayandırılmaktadır. Barouti ve Hoang (2011), manyetizma ve elektrik konusunda titiz çalışmalar yapan bu araştırmacının Latince temelli “electricus” kelimesini ortaya attığını belirtmektedirler. Kelime, teknik anlamda elektrik yüklerini ve bunların hareketlerini ifade etmektedir. Ancak bu hareketten titreşim anlaşılmalıdır ve elektriği, elektronların titreşimlerinin neden olduğu enerji akımı olarak tanımlamak daha doğru bir yaklaşımdır (Casazza ve Delea, 2010:28).

Elektrik, doğrudan ve doğal kaynaklardan elde edilen birincil enerji kaynaklarının farklı teknik ve araçlarla dönüştürülmesi sonucu elde edilen, günlük yaşantımızın vazgeçilmez temel bir tüketim malı, diğer yandan sanayi işletmeleri için ise önemli bir üretim faktörüdür.

1.1.1. Elektriğin Nitelikleri

Fiyat dinamikleri üzerindeki etkileri göz önünde bulundurularak elektriğin karakteristik özellikleri alt başlıklar halinde ele alınacaktır, çünkü bu niteliklerin fiyat modellerine ayrı ayrı yansımaları önemli olgulardır.

1.1.1.1. Yapısal Özellikler

Stoft’un da (2002) belirttiği gibi elektrik tuhaf bir üründür³, aynı zamanda zaruri olarak tüm tüketiciler tarafından sürekli kullanılan yegâne üründür. Fiziksel bir yapısı bulunmamakta, ancak etkileri ile varlığı bilinmektedir. Bu etkiler, gelişmiş toplumlarda sıradanlaşmıştır, insanoğlunun günlük ihtiyaçlarını karşıladığı neredeyse tüm araçları

² Elektriğin tarım, metal vb. emtiası gibi bir mal mı, yoksa bir hizmet mi olduğu fazlasıyla tartışılmalıdır, bu konu bölümün ilerleyen kısmında ele alınacaktır.

³ Çalışmada elektriğin ürün ya da mal olarak belirtilmesi ile; ilkinde tüketiciye bakan yönü, diğerinde ise emtia piyasalarının bir parçası olduğu vurgulanmaya çalışılmıştır.

çalıştıran bu kaynak, çoğunlukla kesintisiz sağlandığından yokluğu akla dahi gelmemektedir.

Elektrik, nadiren rastlanan ve çok kısıtlı miktarların⁴ söz konusu olduğu durumlar haricinde depolanamaz, dolayısıyla stokta tutma maliyeti ve avantajından söz edilememektedir. Caldana vd. (2015), stoklanabilir bir mal olmayan elektriğin, akım mal⁵ olarak nitelendirildiğini belirtmektedir. Bu şekilde bir niteleme, elektriğin üretim kaynaklarından olan rüzgâr için de geçerlidir; bunun yanında doğal gaz ve su kaynaklarının akım oranları da teknik boyutta önem kazanmaktadır. Akım mal olması nedeniyle elektriğin tüketimi, zaman boyutunda alt ve üstten sınırlandırılarak ifade bulan dönemler itibariyle geçerli olmaktadır. Bu boyut, dayanak varlığı enerji ve akım emtiası olan futures ve forward sözleşmeler ile kullanım hakkını elinde tutan tarafa alım/satım hakkı veren swing opsiyon sözleşmelerinin en önemli parçasıdır.

Elektriğin depolanamamasının önemli bir sonucu, üretiminin tüketimini gerektirmesi; diğer yandan tüketilmesi arzu edildiğinde üretilmiş olması, diğer ifadeyle emre amade tutulma zorunluluğudur. Bunn (2004), kitabında bu ikinci gerekliliği tüketici açısından değerlendirmiş ve finans teorisindeki opsiyonlarla benzeşim kurarak tüketicinin, sigorta kutusunun elverdiği miktar ile sınırlı olmak üzere esasen bir opsiyon sözleşmesine sahip bulunduğunu ifade etmiştir.

Tüketimi zaman boyutunda ölçülen, bunun yanında kesintisiz ve güvenli temini gereken elektrik, bu nitelikleri ile bir hizmeti andırmaktadır. Nitekim, kamu hizmeti veren kuruluşlar niteliğinde olan, ürünün tedarik zincirinin vazgeçilmez halkaları iletim ve dağıtım şirketlerinin esas faaliyet konuları hizmet kapsamında değerlendirilmekte, tüketiciye yansıyan ilgili faaliyet kalemleri de hizmet olarak vasıflandırılmaktadır. Elektriği, benzer birkaç ögesi (doğal gaz gibi) dışında alışılabilir emtiadan ayıran da bu hizmetle ilgili boyutudur, çünkü yine zincirde ayrı bir hizmeti üstlenen perakende şirketi için ürünün özüne ilişkin bir kalite⁶ unsurundan söz etmek mümkün değildir. Emtiaya

⁴ İş yapma kapasitesini ifade eden güç, metrik (uluslararası) sistemde Watt (W), ve bunun 1000'lik katları olan kW, MW, GW, TW, PW ... birimleri ile ifade edilmektedir. Gücün harekete geçerek elektrik enerjisine dönüştüğü durumlarda, elektrik enerjisini ifade etmek için genelde güç birimlerinin sonuna kilovatsaat (kWh) örneğinde olduğu gibi "h" eklenmekte ve bu ifade bir saat boyunca sabit kullanımı ifade etmektedir.

⁵ Eserde geçen "flow commodity" yerine kullanılmıştır. Tekil olarak ifade edilen "commodity" kelimesinin karşılığı olan "meta" yerine ekonomi yazınında da kullanılagelen "mal" sözcüğü tercih edilmiştir.

⁶ Yürürlükteki 30/03/2013 tarih 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu'nda kanun koyucu, kaliteyi hem hizmet kalitesini hem de gerilim, frekans ve hat akış standartlarına uygunluğu içeren biçimde geniş kapsamlı ele almıştır.

dayalı vadeli işlem sözleşmelerinde değişim konusu malı betimleyen kalite standartları, dereceler vb., elektrik için geçerli olmamaktadır. Sektörün düzenleyicisi Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından çıkarılan “Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliği”, 4. maddesinde normal işletme koşullarını tanımlarken gerilim, frekans ve hat akışlarının belirlenen sınırlar⁷ içinde tutulmasını öncelemiştir; bu bağlamda sınırlar içinde kalan ürün, kabul edilebilir üründür.

Elektrik homojen bir maldır, bu yüzden borsalarda işlem görmeye uygundur (Burger vd., 2014:32). Üst paragrafta belirtilen kalite standartları ile yakından ilgili olan bu husus, aynı miktar elektriğin her piyasa oyuncusu açısından aynı anlama gelmesini ifade etmektedir. Bir şirketin ihraç ettiği bir adet hisse senedi, aynı şirketin başka hisse senedi ile, aynı grupta kalmak ve hakları sağlamak şartıyla, eşdeğerdir, yatırımcı açısından aynı varlıktır (Edwards, 2010:65). Elektrik için de homojenlikten⁸ kaynaklanan bu durum finansallaşmanın temelini oluşturmuştur.

Elektriğin homojenlik özelliği, finansal piyasalar ve fiyat modelleri ile yakından ilişkili olup, emtia sınıfında ele alınmasının temel gerekçesidir. Elektrik, üretimini ve ticaretini yapan açısından, homojenlik gereği bir maldır. Liberalleşen piyasalar ile beraber elektriğe ilişkin ilk fiyatlama modelleri de Kaldor (1939) ile başlayan Working’in (1948,1949) taşıma ve depolama maliyetlerini dikkate alarak teorik altyapısını kurduğu, sonrasında vadeli işlem piyasalarının da kapsama alınmasıyla daha da ileri noktaya gelen emtia modellerinin izinde geliştirilmiştir.

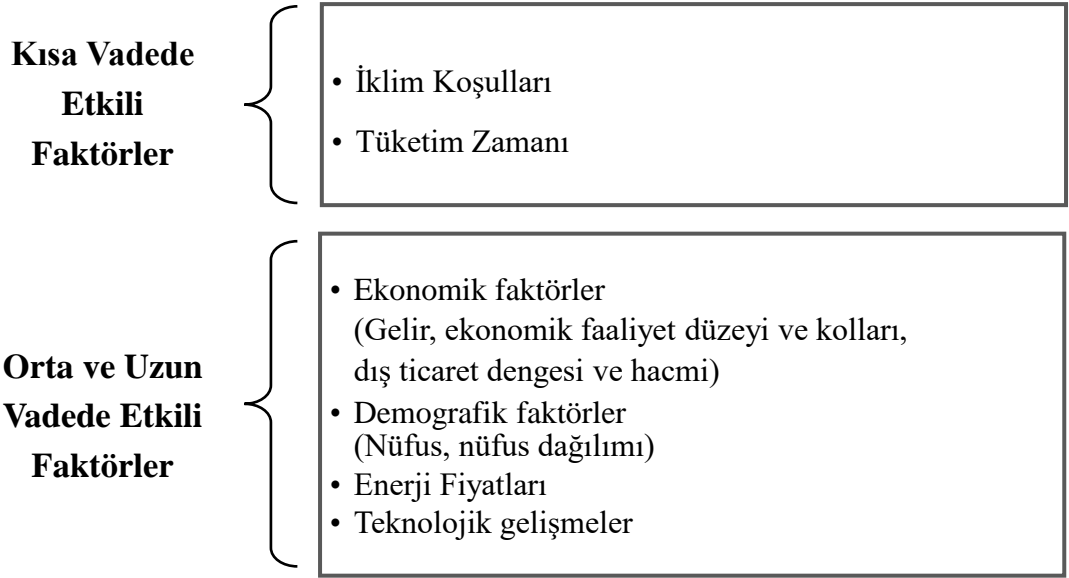
1.1.1.2. Talep Özellikleri

Yapısal özellikler alt bölümünde de değinildiği gibi elektrik sürekli talep edilen, kullanılan bir üründür. Zaman ve mekân, tüketimin, dolayısıyla talebin değişmesine neden olmaktadır. Opsiyonu elinde tutan tüketicilerin bunu ne zaman kullanacağı tam olarak bilinemeyeceğinden tüketimin kontrolü sınırlıdır, tüketimdeki sapmalar stoklar vasıtasıyla yönetilemeyeceğinden piyasayı dengede tutmanın ilk adımı, talep tahminleri ve etkin planlamadır.

⁷ Sistem nominal frekansının, iletimden sorumlu Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) tarafından 50 Hz. \pm %4 aralığında kontrol edileceği 7. maddede hüküm altına alınmış, benzer şekilde gerilim ve hat akış tolerans sınırları da çizilmiştir.

⁸ Edwards, hisse senetlerinin homojenliği ile ilgili yaptığı değerlendirme cümlesinde elektriğin homojen olmadığını da ifade etmiştir, bu konuya ilerleyen bölümde değinilecektir.

Elektrik talebini etkileyen faktörler, literatürde talep esnekliğini konu edinen çalışmalarda olduğu gibi kısa ve uzun vade için ayrı ayrı ele alınmaktadır. Finansal yönetim çerçevesinde, kısa ve nispeten orta dönemde talep üzerinde etkili olan faktörler bu çalışmaya konu piyasalar için daha öncelikli iken, uzun döneme ilişkin faktörler makro iktisadi politikaların şekillendirilmesinde ve sektöre yapılacak sermaye yatırımlarının değerlendirilmesinde temel girdi sağlamaktadır. Kısa ve uzun vadede talebi etkileyen faktörler Şekil 1’de sunulmuştur.



Şekil 1. Elektrik Talebini Etkileyen Faktörler

Ekonomik faktörler genel itibariyle, ekonomik faaliyetin enerji yoğunluğu ile doğru orantılı olarak ticari ve sınai talep için geçerli iken diğer tüm faktörler genel talep üzerinde etkilidir. İklim koşulları ve tüketim zamanı bazen birlikte (genelde daha kuvvetli olmak üzere) etkili olurken, ayrı olarak da talep miktarını değiştirme gücüne sahiptir. Mevsime bağlı olmaksızın gece talep düşüktür, bunda ekonomik faaliyetin payı olsa da durum hane halkları için de geçerlidir. Tüketim zamanına bağlı olmaksızın ısıtma ve serinletme⁹ gerektiren iklim koşulları da benzer etkiyi doğurur. Tüketim zamanı yukarıda

⁹ Isıtma ve serinletme, enerji türev ürünleri açısından önemli iki kelimedir. Isıtma gün-derecesi (Heating Degree Days - HDD) ve serinletme gün-derecesi (Cooling Degree Days - CDD), önceden tanımlanmış bir sıcaklık değerinin üstünü ve altını dikkate almak üzere belirli bir zaman diliminde, tanımlı koşulları sağlayan saatlere bağlı olarak fiyat riskini yönetmek üzere tasarlanmış özel enstrümanlar için kullanılan terimlerdir.

değınildiği gibi gün içi bazında etkili olduğu gibi haftanın farklı günlerinde, ayrıca resmi, yarı resmî tatil günlerinde de talepte belirgin farklılıkları beraberinde getirir.

Çalışmanın ana konusu olan elektrik piyasası fiyatlama modelleri, yapısal modeller hariç tutulursa talebe etki eden yukarıdaki faktörlerden iklim koşulları ve tüketim zamanını, zaman serileri ekonometrisi kapsamında dikkate almaktadır. Yük miktarını, yani talebi bağımsız değişken olarak alan yapısal modeller için talebin tahmini de modelin işlerliği açısından ayrıca önem arz etmektedir. Psiloglou vd. (2009), Atina ve Londra’da elektrik talebini etkileyen faktörleri konu edindikleri çalışmalarında, iklimsel ve iklimle ilgili olmayan faktörleri ayırmışlar, daha önce yapılan araştırmalardan da yararlanarak ekonomik faktörleri oluşturan temel değişkenlerin enerji fiyatları, gelir, ithalat ve ihracat olduğunu ifade etmişlerdir. Başka çalışmalarda elektrik tüketimi üzerinde etkisi araştırılan değişkenler arasında, iklim koşullarını niteleyen ya da yakından ilgili hava sıcaklığı, bağıl nem, berraklık endeksi, bulut yoğunluğu, yağış miktarı, güneş ışması, rüzgâr hızı ve bunlardan türetilme diğerlerinin bulunduğu kaydedilen bu çalışmada talep üzerinde en önemli role sahip değişkenin sıcaklık olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bunun yanı sıra çalışmada zaman boyutunda farklı ölçeklerde (hafta, ay, mevsim) raporlanan talep trendleri, spot fiyat modellerinin mevsimselliğe dönük bileşenini ortaya çıkarmaktadır. Sektörde “yük profili” olarak adlandırılan tüketim trendleri (rneğin, gün içi ve/veya hafta içi bazında olmak üzere), fiyat tahmini ve piyasa işlemlerinin planlanması açısından çok önemlidir (Kaminski, 2012:763).

Fiyattaki yüzde cinsinden değişimin (cet. par.) talep miktarında neden olduğu yüzde değişim olarak tanımlanan talebin fiyat esnekliğinin politika ve iş karar süreçlerinde önemli bir araç olması, araştırmalara da konu olması sonucunu doğurmuştur. Bu ve benzer şekilde tanımlanan elektrik talebinin gelir esnekliği, literatürde yer alan hemen hemen tüm çalışmalarda kısa ve uzun vadede ayrı ele alınmıştır. Elektriğin esnek olmayan talebe sahip olduğu, günlük hayatta vazgeçilmez olduğundan hareketle söylenbilir. Gelişmişlik düzeyi, demografik ve coğrafi özellikleri farklı birçok le için yapılan çalışmaların bulguları Tablo 1’de özetlenmiştir. Mutlak değer ile ifade edildiğinde kısa döneme ilişkin hesaplanan esneklik değerlerinin ortalamasının 0.15 olduğu ve bira uç değer haricinde 0-0.30 aralığında değiştiği görülmektedir.

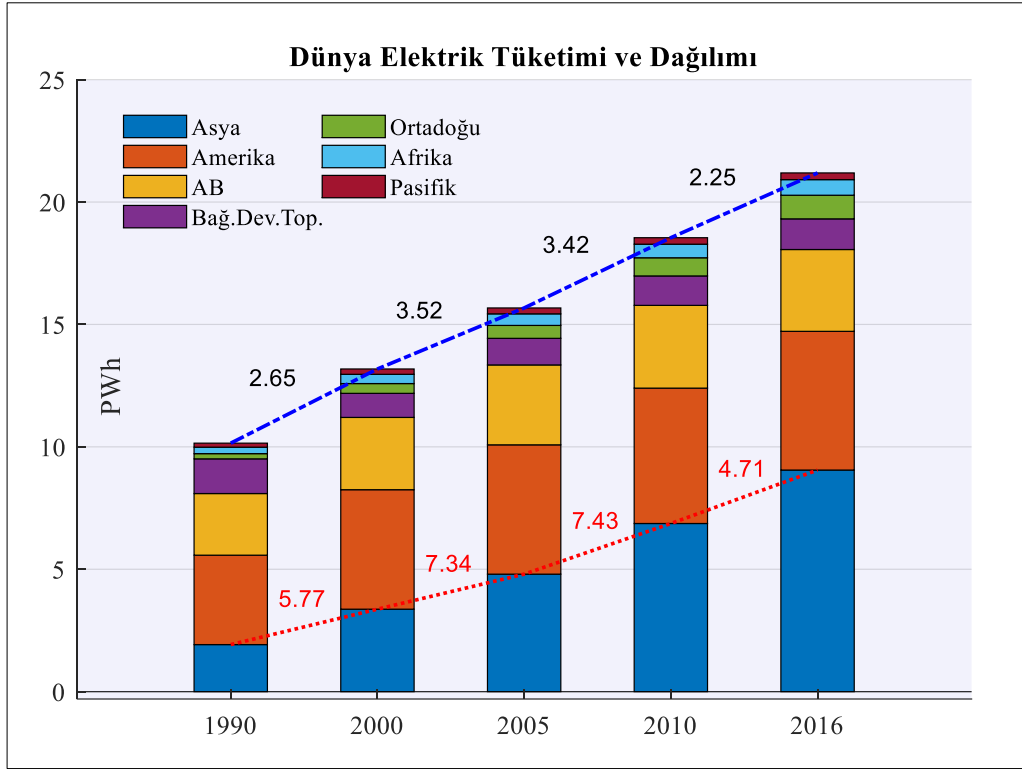
Tablo 1. Elektrik Talebinin Fiyat Esnekliğine İlişkin Örnek Çalışma Bulguları

Ülke (Bölge)	Kapsam	Çalışma Dönemi	Kısa Dönem Esneklik	Uzun Dönem Esneklik	Referans çalışma
Türkiye	Mesken	1968-2005	-0.33	-0.52	Halıcıoğlu (2007)
Türkiye	Genel	1984-2004	-0.041	-0.297	Erdoğan (2007)
Türkiye	Genel	1960-2008	-0.11	-	Dilaver ve Hunt (2011)
Türkiye	Mesken	1960-2008	-0.38	-0.09	Dilaver ve Hunt (2011)
Türkiye	Sanayi	1960-2008	-0.16	-	Dilaver ve Hunt (2011)
Türkiye	Mesken	1960-2008	-	-0.022	Arısoy ve Öztürk (2014)
Türkiye	Sanayi	1960-2008	-	-0.014	Arısoy ve Öztürk (2014)
Türkiye	Genel	1990-2001	-0.126	-0.51	Akarsu (2017)
Danimarka	Mesken	1981-2008	-0.19	-0.80	Madlaner vd. (2011)
Almanya	Mesken	1981-2008	-0.05*	-0.16	Madlaner vd. (2011)
Yunanistan	Mesken	1981-2008	-0.07*	-0.56	Madlaner vd. (2011)
Japonya	Mesken	1981-2008	-0.30*	-1.37	Madlaner vd. (2011)
Meksika	Mesken	1981-2008	0.09*	-1.16	Madlaner vd. (2011)
Portekiz	Mesken	1981-2008	0.16*	-0.67	Madlaner vd. (2011)
G. Kore	Mesken	1981-2008	-0.29	-0.66	Madlaner vd. (2011)
İspanya	Mesken	1981-2008	-0.14	-0.30	Madlaner vd. (2011)
İngiltere	Mesken	1981-2008	-0.15	-0.14	Madlaner vd. (2011)
ABD	Mesken	1981-2008	-0.23	-0.21	Madlaner vd. (2011)
Kaliforniya (ABD)	Mesken	1999-2007	-0.07~-0.09	-	Ito (2014)
Illinois (ABD)	Mesken	2007-2014	-0.14	-0.29	Deryugina vd. (2017)

Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

Tüketicilerin kısa dönemde daha fazla olmak üzere fiyat değişimine karşı duyarsız oldukları ve elektriğin zaruri bir ürün olduğu, çalışmalardan çıkan ortak sonuçtur. Piyasalar açısından esnek olmayan talep, monopol ya da oligopol piyasalarda pazar gücünün tüketicilere karşı kullanılmasına neden olabilecektir. Erdoğan (2007), fiyat esnekliği ile ilgili çalışmasında bu noktayı gözeterek Türkiye Elektrik Piyasası'nın regülasyona ihtiyaç duyduğunu vurgulamıştır. Artan tüketim, sınırlı ve ihmal edilebilir düzeyde depolama imkanları dolayısıyla tüketime yaklaşık olarak eşit olan canlı talep, serbestleşme ortamında piyasa gücünün katılımcılar bazında yoğunlaşma derecesinin

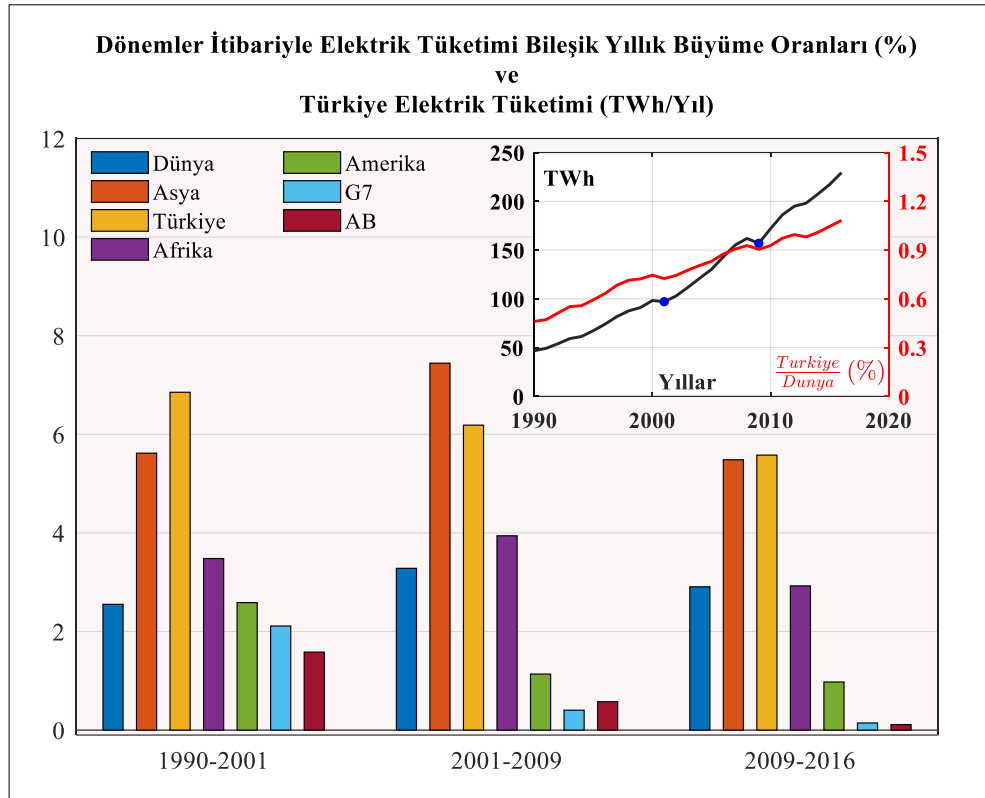
kontrol edilmesini ayrıca gerekli kılmaktadır. Elektrik tüketim miktarları Şekil 2’de sunulduğu gibi dünya genelinde; coğrafi bölgelere göre dağılım ciddi anlamda değişse de istikrarlı bir şekilde artmaktadır.



Şekil 2. Dünya Elektrik Tüketimi ve Bölgelere Dağılımı (1990-2016)

Kaynak: Enerdata S.A.’nın “Global Energy Statistical Yearbook 2017” verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

1990-2016 döneminde dünya elektrik tüketiminin Bileşik Yıllık Büyüme Oranı (BYBO), %2,87 olarak gerçekleşmiştir, bileşik bazda tüketim yılda yaklaşık %3 büyümektedir. Şekilde parçalı doğrusal olarak ele alınan Dünya tüketim eğrisi üzerinde gösterilen dönemler arası BYBO’lardan 2000-2010 döneminde tüketimin hızlı bir şekilde, yıllık %3,5’e yakın büyüdüğü görülmektedir. Bu dönemde yıllık %7-7,50 büyüyen Asya, tüketimde ABD’yi geçmiştir. Küresel krizin de etkisiyle 2010 sonrasında büyümede görülen yavaşlama, ağırlıklı olarak Amerika ve Avrupa Birliği’nin (AB) tüketimlerinin yatay seyretmesi ile bağlantılıdır. Asya’nın 2005’ten sonraki dönemde tüketimde ilk sırayı ele geçirmiş olması, aynı dönemde Çin başta olmak üzere bu coğrafyada Hindistan, Endonezya, Malezya ekonomilerinin de yüksek oranlarda büyümesi ile birlikte değerlendirildiğinde Soytaş ve Sarı’nın (2007) Türkiye için saptadığı elektrik tüketiminden katma değerli üretime doğru nedenselliğin, küresel boyutta da geçerli olduğunu salık vermektedir.



Şekil 3. Elektrik Tüketimi Gelişimi - Dünya ve Türkiye (1990-2016)

Kaynak: Enerdata S.A.'nın "Global Energy Statistical Yearbook 2017" verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

Ülkemiz elektrik tüketimi de aynı dönemde dünya genelinden daha yüksek oranda büyüme göstermiştir. Elektrik tüketimimizde 2001 ve 2009 yıllarında gerileme söz konusudur, bu kırılma noktalarını alarak 1990-2016 dönemi, Şekil 3'te üç alt dönem halinde incelenmiştir. 2001'de çok sınırlı olan tüketimdeki daralma, 2009 yılında daha belirgin hissedilmiştir. Enerdata (2017) verilerine göre 2008 küresel krizinin tüketim üzerindeki etkisi, birçok ülkede 2009 yılında kendisini göstermiştir. Tüketimdeki gerileme 2008'e göre Avrupa ve G7 ülkelerinde %4,70, Amerika'da %4.12, dünya genelinde ise %0,66'dır. Tam tersine Asya'da tüketim %4,93 artmıştır, bu kıtada Malezya %10,81 artışla öne çıkarken, Hindistan ve Çin de tüketimlerini %8 civarında artırmıştır. Tüketimi en fazla daralan ülke %10,92 ile Romanya olurken ülkemizdeki azalış %3,12 olarak gerçekleşmiştir. Daralmayı takip eden 2010 yılında dünya geneli itibariyle %6,95 büyüme ile toparlanma ve sonrasında yukarı yönlü istikrarlı hareket devam etmektedir. Şekil 3'te sağ üst köşede ülkemizin TWh cinsinden tüketimi ve dünya tüketimi içerisinde yüzdelik payının gelişimi izlenmektedir. 1990'larda %4-5 seviyelerinde olan dünya elektrik tüketimindeki payımız, yine yukarıda belirtilen kriz etkilerinin hissedildiği yıllar haricinde bar grafikte görülen BYBO'ları teyit eder şekilde artarak 2016 itibariyle %1,08

değerine ulaşmıştır. Bu artışın katma değerli üretime yönelip yönelmediği ve bu bağlamda enerji verimliliği ayrıca incelemeye değer konulardır.

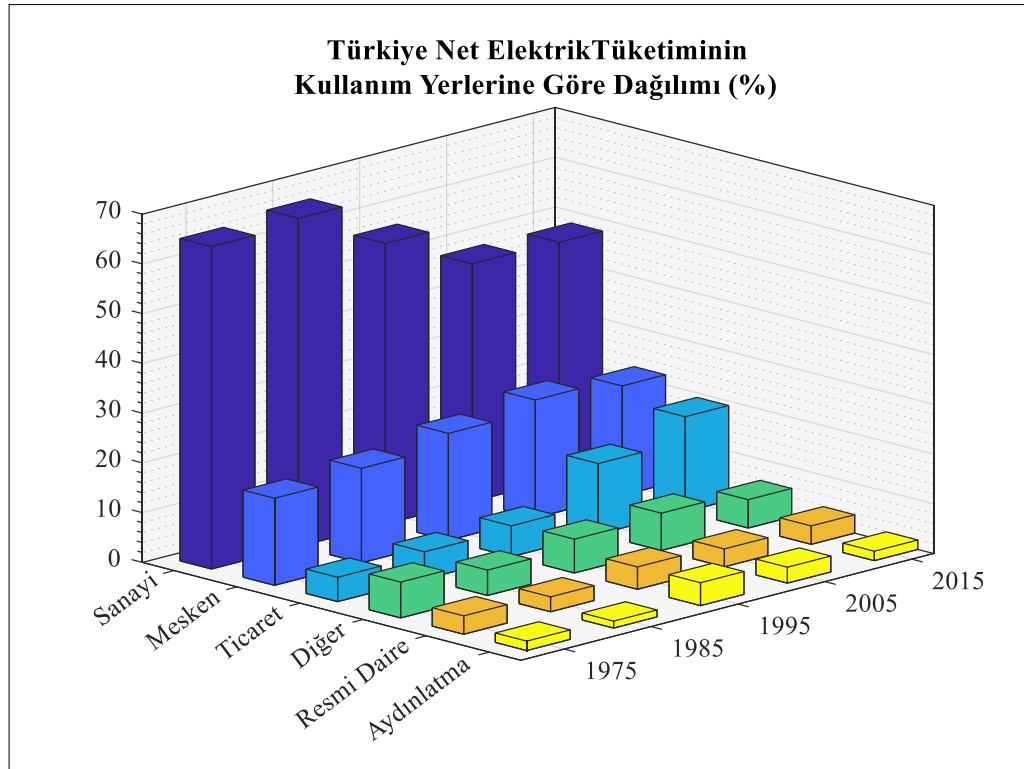
Dünya Bankası, Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency - IEA) gibi uluslararası kuruluşlar, çeşitli düşünce kuruluşları, enstitüler ve özel şirketler dönemler itibariyle yayınlamakta oldukları rapor ve istatistikler ile hem tüketimdeki bu trendi hem de elektrik teknolojisindeki yenilikleri gözeterek ileriye dönük senaryoları gündeme taşımaktadırlar. Makro ölçekteki bu bakış açısı, bir taraftan çevresel etkiler ve kıt enerji kaynakları düşünüldüğünde tüm insanlığın kaderine odaklanırken, diğer taraftan gelişme ve refah için itici güç olan enerjiye yönelik ülkeler arası politik çekişmeleri ve ince hesapları akla getirmektedir. Elektrik piyasaları açısından yaklaşıldığında demografik, ekonomik, siyasi ve teknolojik gelişmeleri barındıran bu gelecek senaryoları, büyükten küçüğe doğru olmak üzere uzun dönemli yatırımları nedeniyle tedarik zincirinin önemli halkaları olan elektrik üreticilerinin, iletim ve dağıtım şirketlerinin odağında olmalıdır.

1.1.1.3. Tedarik Zinciri Yapısı

Elektrik Enerjisi Sistemini¹⁰ ana bileşenlerine ayırarak ele alan araştırmacılar, kaynak temininden son kullanıcının sayacına kadar uzanan zinciri farklı detayları ile incelemişlerdir. Sistemin ana öğeleri, bizim çalışmamızda piyasalara dönük genel bakış açısıyla özetlenecektir. Ancak, Casazza ve Delea (2010)'nın diğer araştırmacılardan farklı olarak sistemi müşterilerden başlatması gelecek senaryolarında talebin sisteme entegre olacağı öngörüsü bağlamında son derece anlamlıdır. Piyasaların serbestleştiği gerçeğini de göz önüne alan bu araştırmacılar, tüketim alışkanlıklarının sermaye ve işletme maliyetlerine farklılaşan etkileri olduğundan müşterileri bu ekseninde gruplamanın sektör uygulaması haline geldiğini ifade etmişlerdir (Casazza ve Delea, 2010:16). Sistemin olası maksimum yükü kaldırabilecek şekilde tasarlanması gereği açısından da tüketimin en yoğun olduğu pik dönem ve bölgelerin tespiti, tüketim alışkanlıklarının etkin modellenmesine bağlıdır. 1975'ten başlayarak onar yıllık aralıklarla ülkemiz net tüketiminin kullanım alanlarına dağılımını gösteren Şekil 4, zaman ekseninde toplam

¹⁰ Kaynaklarda EPS (Electric Power System) şeklinde kısaltılarak ele alınan Elektrik Enerjisi Sistemi, gerek ürünün dışarıdan görünen basitliğini çürüten karmaşıklığı, gerekse tedarikinin tüm bileşenlerin koordineli çalışmasını gerektirmesi nedeniyle sistem yaklaşımı ile ele alınmaktadır. Girdi ve çıktı noktalarının fazlalığı ve ağdaki düğümlerin çeşitliliği bu yaklaşımı gerektirmektedir.

kullanım içinde sanayiden ticarethane ve meskenlere doğru bir yönelimi ortaya koymaktadır.



Şekil 4. Kullanım Alanlarına Göre Türkiye Net Elektrik Tüketimi

Kaynak: Türkiye İstatistik Kurumu verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

Yaklaşık yarım asırlık gelişim, elektriğin memleketin ücra köşelerine ulaştırılmasına dönük yatırımların yapıldığı dönemlere de tekabül etmektedir. Grafik, sanayi, inşaat ve diğer grubu altında sınıflanan tarım, hayvancılık ve balıkçılık sektörlerini de ihtiva ettiğinden ekonominin genel eğilimi, sosyoekonomik politikalar ve hane halklarının tüketim davranışlarına dair bilgiler de içermektedir.

Elektriğin yaşam döngüsünü dokuz başlıkta ele alarak bütüncül bir bakış açısı sunan Harris (2006), bu döngüde tedarik zincirinin en önemli üç halkasının,

- i) Sistem işletimi
- ii) Piyasa işletimi
- iii) Sayaç okuma (ölçme)

olduğunu belirterek elektriğin bu üçünden de geçerek tüketicilere ulaştığını vurgulamıştır. Bu ifade her üç faaliyetin ehemmiyetine dayanmaktadır. Piyasaya dönük ikinci halka üzerinden fiziksel bir akım söz konusu değildir, ancak sistem ve piyasa işletimi birbirini

tamamlayarak birlikte tüm sistemi komuta eden bir beyne benzetilebilir. Mer'i 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ("Kanun") da piyasayı tanımlarken "üretim, iletim, dağıtım, piyasa işletimi, toptan satış, perakende satış, ithalat ve ihracat faaliyetleri ile bu faaliyetlere ilişkin iş ve işlemler" ifadesiyle piyasanın işlerliği için gerekli üç fiziki süreci piyasadan önce sıralamıştır (Elektrik Piyasası Kanunu, 2013).

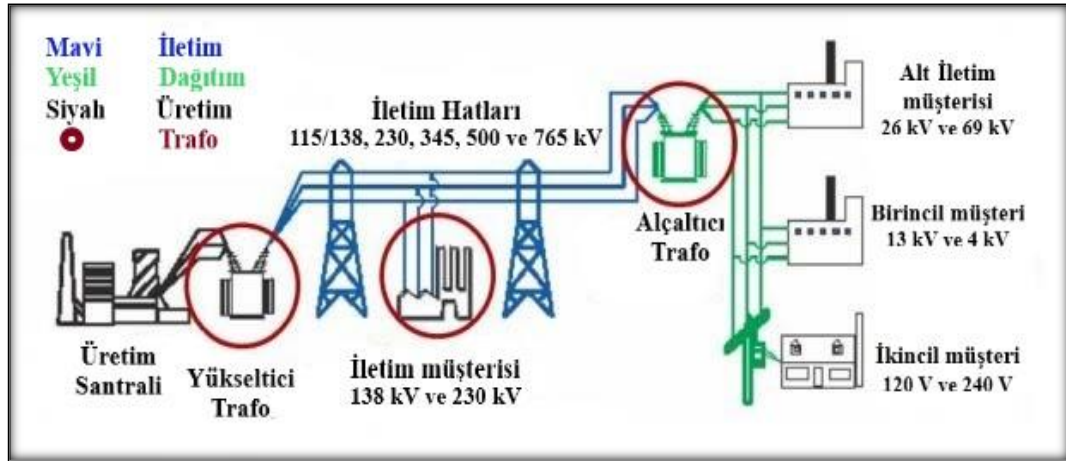
Kabaca elektrik santrallerinde üretilen elektriğin tüketicinin bina ya da tesislerine ulaştırılması süreçlerini içeren sistem işletimi, elektrik naklinin fizik yasalarına bağlı özellik ve kısıtları nedeniyle iletim ve dağıtım sistemleri bazında ayrı ele alınmaktadır. Her iki sistem de birçok kaynakta ele alındığı gibi doğal monopoldür (Harris, 2006:72, Belyaev, 2011:1, Biggar ve Hesanzadeh, 2014:59). Elektriğin tüketicilerine temini bakımından piyasanın birer parçası olan iletim ve dağıtım sistemlerinin yapısı ve işletmecilerinin görev ve sorumlulukları düzenleme ve denetlemeye tabidir.

İletim sistemi, elektrik ticareti için ortaklaşa kullanılan bir otobana benzetilebilir, bu yüzden piyasaya elzem bir altyapı sağlayan iletim şebekesi, serbest piyasalar için çok daha önemli hale gelmiştir (Chao vd. 2008:49). İletim, santrallerde üretilen elektriğin uzun mesafelere, kullanılacağı dağıtım bölgesinin sistemine kadar ulaştırılmasını kapsar. Bu ulaşım elektriğin teknik özelliklerinden dolayı alternatif akım (Alternating Current - AC) şeklinde ve yüksek voltajlarda gerçekleşmektedir. Birimi Volt (V) olan voltaj ya da diğer ismiyle gerilim, akımın hareket (elektromotiv) gücünü, eşdeğer bir ifadeyle elektrik basıncını ifade eden bir kavramdır (ABD Enerji Bakanlığı, 2015:91). Akım ise elektrik enerjisinin aktarım hızını ifade eder ve birimi Ampere (A)'dir. Ne gerilim ne de akım tek başlarına bir şey ifade etmez, iş yapmazlar, ancak birlikte bulduklarında¹¹ iş yapar gücü oluştururlar, gücün birimi ise Watt (W)'tır (Blume, 2017:6). AC sistemi Nikola Tesla tarafından icat edilmiş olup elektrik enerjisinin 1880'li yıllarda ilk ele alınmasında Edison, nakil için doğru akımın (Direct Current - DC), Westinghouse ise AC'nin savunucuları olmuştur (Casazza ve Delea, 2010:2-3, Edwards, 2010:151). Enerjinin tek bir yönde, yani doğrusal aktığı ve gerilimin sabit kaldığı DC, elektrik enerjisinin nakli için uygun değildir. AC'de ise gerilim sinüzoidal bir eğri çizerek pozitif ve negatif değerler arasında belirli periyotlarda salınır. Yukarıda bizim sistemimiz için normal değeri 50 Hz. (Devir/Sn.) olarak verilen frekans, bu akım türü için geçerlidir. Avrupa 50 Hz., ABD ise 60 Hz. frekansını standart olarak benimsemişlerdir (Blume, 2016:7-8). Her

¹¹ I, P ve V, sırasıyla akım, güç ve gerilimi göstermek üzere gücün tanımı, $P = I \times V$ şeklindedir, dolayısıyla çarpımsal bir etki söz konusudur.

iki sistem için de nakil esnasındaki kayıp, gerilim ile ters orantılıdır. AC, DC'ye göre daha karmaşık olmakla beraber gerilimi kolayca değiştirilebilmektedir, bu da uzun mesafelere iletimde büyük avantajlar getirmektedir. Bunun yanında yüksek gerilimli DC güç hatlarına dönük yeni teknolojiler de geliştirilmektedir (Stoft, 2002:375).

Elektrik genel olarak 5 – 34,5 kV aralığında, türbin teknolojisine dayalı üretim sistemlerinde AC olarak üretilmekte, 15 – 34,5 kV aralığında dağıtılmakta, 69 – 765 kV aralığında iletilmektedir (ABD Enerji Bakanlığı, 2015:12). Üretim santrali çıkışında bulunan şalt sahalılarında yükseltici trafo vasıtasıyla gerilim, iletim seviyesi gerilim değerlerine çıkarılmaktadır. Böylece tüketimin yoğunlaştığı uzak bölgelere enerji nakledilebilir hale getirilmektedir. Şekil 5, santralden tüketime elektriğin izlediği yolu basitleştirilmiş hali ve öğeleriyle göstermektedir.



Şekil 5. Elektrik Tedarik Zinciri

Kaynak: ABD Enerji Bakanlığı (2015, 13)

Enerji yoğun bazı sanayi tesisleri daha yüksek gerilimle, yine başkaca fabrika ve alışveriş merkezleri daha düşük gerilimle olmak üzere iletim sisteminden yük çekebilmektedir. Hatlarla iletilen elektriğin gerilimi¹² ara istasyonlarda kademeli olarak alçaltıcı trafolar yardımıyla dağıtım sistemi seviyelerine düşürülmektedir. Elektrik enerjisi, akım halinde binlerce kilometre hat üzerinden ışık hızınının 2/3'üne eşit hızda yol alabildiğinden (Harris, 2006) iletim sistemi, uçtan uca nakle imkân tanıyan çok daha

¹² Elektrik Piyasası Bağlantı ve Sistem Kullanım Yönetmeliği, gerilimi şiddetine göre zımnem üçe ayırmıştır. Etkin şiddeti 1000 V ve altı gerilim alçak, 36 kV'ye (dahil) kadar üzeri gerilim orta olarak sınıflandırılmıştır. Bu durumda 36 kV üzeri gerilim yüksek gerilim olarak ifade edilebilir. Elektrik Piyasası Dağıtım Yönetmeliği ise 1000 V ve altını alçak gerilim olarak kabul ederken, üzerini Yüksek Gerilim (YG) olarak tanımlamaktadır. İletimi tanımlarken 36 kV değerini ayırım sınırı kabul eden Kanun ve diğer yönetmelikler ile birlikte ele alındığında sözü edilen YG tanımı, dağıtım sistemi içerisinde “yüksek” olarak değerlendirilebilir.

karmaşık bir şebeke yapısındadır. Ülkemiz elektrik iletim sistemi işletmecisi Türkiye Elektrik İletim A.Ş.'nin (TEİAŞ) de Ocak 2016 itibariyle gözlemci üyesi olduğu 43 üyeli Avrupa Elektrik İletim Sistemi İşletmecileri Ağı (European Network of Transmission System Operators for Electricity - ENTSO-E) geçici istatistiki özet raporuna göre, 2016 yılsonu itibariyle ENTSO-E bölgesi iletim hattı 478.132 km uzunluğundadır (ENTSO-E, 2017:17). Hat çekip uzatılarak düz hale getirilebilse bu uzunluk, dünyanın çevresini neredeyse 12 kez kat edecek mesafeye tekabül etmektedir. TEİAŞ resmî web sitesi güncel verilerine göre ülkemiz iletim şebekesi ise, 66.453 km uzunluğunda iletim hattı, 729 trafo merkezi, 163.849 MVA trafo gücü ve komşu ülkelerle 12 adet enterkonneksiyon¹³ hattından oluşmaktadır.

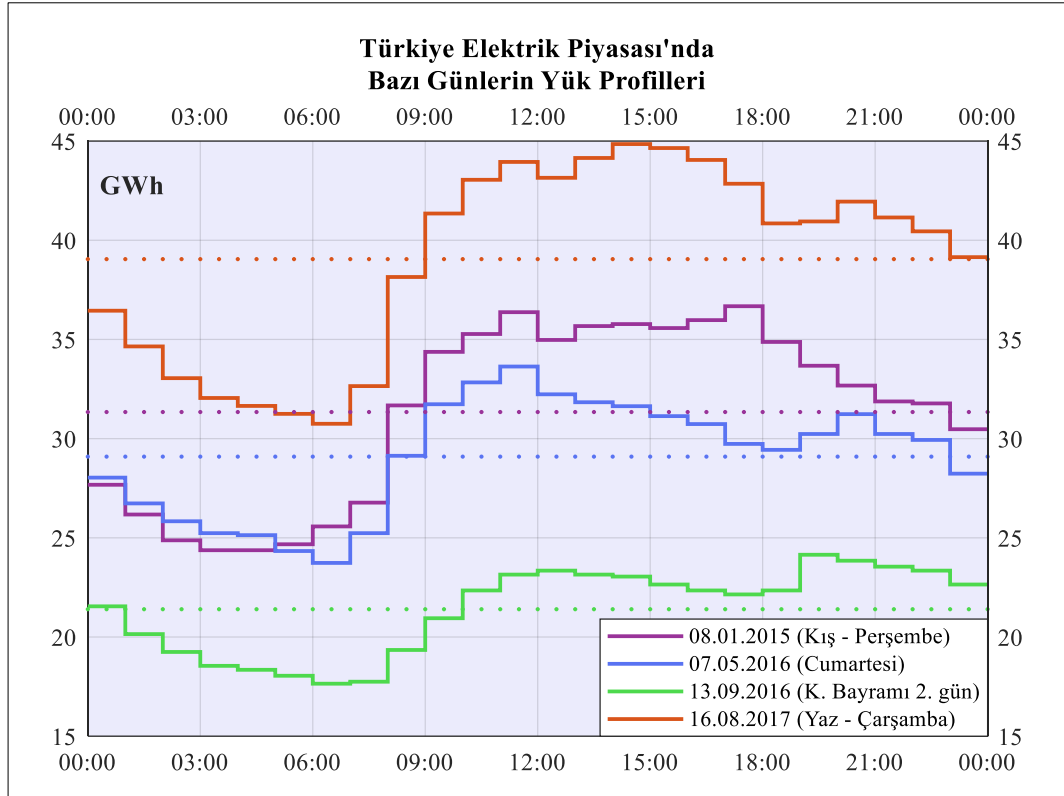
Elektrik nakil hatlarını etkileyen termal, kararlılık, güvenlik ve reaktif limitler olmak üzere dört kısıtlama mevcuttur (Harris, 2006:63-64). Çoğu teknik ve detaylı olan bu limitlerin yanı sıra trafo merkezleri, baralar ve hatlar, birbirleri ile döngüsel bağlantıya sahiptir. Santralden çıkan elektrik, bağımsız bir biçimde doğrudan dağıtım barasına ulaşmamaktadır. Sistem işletmecisi, hat limitleri ile birlikte döngüsel bağlantılar nedeniyle akım ve gerilimin tabi olduğu Kirchhoff yasalarının getirdiği teknik sınırlamaları da dikkate alarak iletimi en güvenli, verimli ve az maliyetle gerçekleştirmelidir. Önemli bir diğer konu da enerjinin yukarıda belirtilen yüksek akım hızı nedeniyle sistemin herhangi bir noktasındaki yükün tüm santraller üzerindeki anlık etkisidir. Bunun anlamı, AC'nin tüm sistem içerisinde senkron olduğudur, bu durum şebekede yüksek derecede eylemsizliğe neden olur (Harris, 2006:63). Eylemsizlik ile belirtilmek istenen santrallerin sistemdeki dengesizlik durumuna verdiği tepkidir. Casazza ve Delea (2010) sistemin geçici kararsızlık durumunu anlatırken sistemdeki bir bozulmanın sistemi asenkron ya da dengesiz hale getirebileceğini belirtir. Normal şartlar altında santrallerde mekanik enerji girdisi ile elektrik enerjisi çıktısı, çevrimdeki kayıplar da dikkate alındığında eşittir, yani enerji korunmaktadır. Santral, çıkış noktasında istenen yükün ya da talebin, girdi olarak aldığı mekanik enerjiden fazla olduğunu fark ettiğinde yavaşlayarak tepki verir. Tersine çıkış yükü santralin mekanik enerji girdisinden az ise, ani enerji dengesizliği nedeniyle hızını artırma eğilimine girer (Casazza ve Delea, 2010:46). Maddenin temel özelliklerinden olan eylemsizlik momenti, hareketlilik

¹³ Adından da anlaşılacağı gibi enterkonneksiyon iletim sistemleri arasında elektriğin dış ticaretini sağlayan gümrük kapılarına benzetilebilir. Akımın sistemler arası uyumu bu bağlantı merkezlerinde sağlanmaktadır. Federal sistemle yönetim ya da coğrafi büyüklük nedeniyle aynı ülke içerisindeki sistemler arasında da bağlantı merkezleri bulunabilmektedir.

durumdaki değişiklikte önceki halini muhafaza yönündeki tepki olarak tanımlanır. Elektrik enerjisi akışında da gözlenen ve aynı kavramla ifade edilen bu durumla baş edebilmek için türbin esaslı santraller hız regülatörleri ile donatılmıştır. Sistemi dengesizliğe iten kararsızlık durumları düşük ve yüksek frekanslı bölgelere neden olabilir, santrallerdeki koruyucu sistemler düşük frekansta görev alarak santrali devre dışı bırakırlar. Her halükârda sistem işletmecisi, sistem güvenliği ve yeterliliğini sağlamak için yük verici ve alıcı unsurları sürekli izler ve yönetir.

Sistemin dengesizliğinin ve sonrasında başvuru dengeleme faaliyetlerinin finansal yönüyle ve dar anlamıyla ele aldığımız piyasaya önemli yansımaları olmaktadır. Arz güvenliğini iki boyutuyla ele alan Kaminski, yeterlilik boyutunu, pik yük talebini kaynakları iyi mobilize ederek karşılama; güvenlik boyutunu ise büyük bir üretim santrali ya da iletim hattı gibi bir ya da daha fazla sayıda önemli sistem bileşen(ler)inin kaybı halinde ani şoku atlatma becerisi olarak tanımlamıştır (Kaminski, 2012:758). Dengeleme, elektriğin niteliği gereği zaman ve mekân boyutlarında üretimi ile tüketimini eşit tutmaya yönelik faaliyetlerdir. Şebekenin teknik, ürünün kendine has özellikleri öncelikle iyi planlamayı gerekli kılar. Gün öncesi planlama, ülkemizde olduğu gibi ayrı bir piyasa işletmecisi varsa piyasa işletmecisi tarafından koordine edilir. Bu koordinasyon kapsamında sistem işletmecisinin talep tahminleri, sistemdeki planlı ya da plansız olası bakım ve arızalar ile genel kısıtlar gözetilerek oluşturulan planlar, gerçek zamanlı enerji alışverişinde oluşabilecek sapmaları en aza indirmeyi amaçlar.

Önceki bölümde sözü edilen yük profilleri, gerçekleşmiş veri setine dayandığından sistem işletmecisine ilgili zaman diliminin olası sapmaları, ayrıca planlama hataları konusunda bilgi sağlar. Türkiye Piyasası için genel ve farklı özellikler taşıyan seçilmiş dört gün için Şekil 6'da verilen gün içi yük profilleri, yükün, yani talebin noktalı doğrularla gösterilen ortalama etrafındaki varyansının gün tipine göre değişkenliğini, saatlik bazda gün içi sıçramaları ve ortak trendlerinin değişken seviyelerini, buna mukabil sistem işletmecisinin karşılaştığı planlama, sevk ve idare zorluklarını gözler önüne sermektedir.



Şekil 6. 08.01.15- 07.05.16- 13.09.16 ve 16.08.17 gün içi yük profilleri (Türkiye)

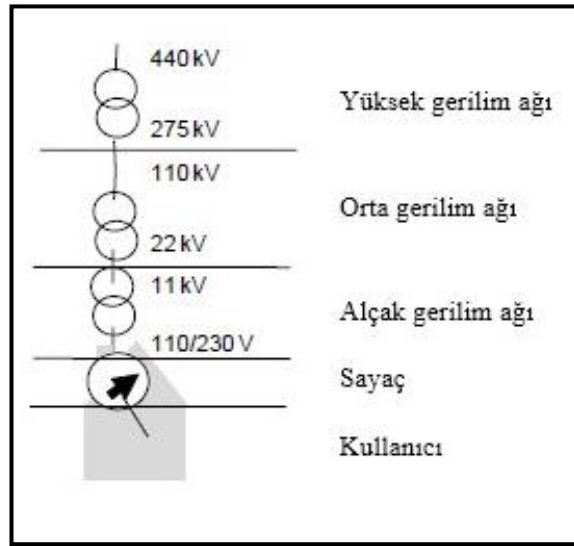
Kaynak: Enerji Piyasaları İşletme A.Ş. (EPIAŞ) verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

Grafikte bir önceki bölümde sözü edilen sıcaklığın ve ekonomik aktivite düzeyinin yük üzerindeki etkisi izlenebilmekte, özellikle seçilen örnek bir cumartesi gününde öğleden sonraki trend dikkat çekmektedir. Büyüklükler konusunda fikir edinmek için TEİAŞ'ın 2011 yılı araştırmasına başvurulabilir. Bu araştırmaya göre dört kişilik bir ailenin günlük ortalama tüketim miktarı 8,32 kWh 'tır (gazelektrik.com web sitesi). ABD'de bir ailenin ortalama tüketimi ise 30 kWh / gündür (Energy Initiative MIT, 2015:271). Daha uzun bir süreyi kapsayan zaman birimleri esas alındığında verilerdeki oynaklığın azalacağı ve verinin düzleşeceği olgusu ile birlikte değerlendirildiğinde yük profili, Harris'in (2006) sistem işletiminin özellikle kısa döneme¹⁴ (bir güne kadar) yönelik sistemin elektriksel yönetimi olduğu vurgusunu güçlendirmektedir. Ne var ki, iletim işletmecisinin, ayrı bir dağıtım işletmecisi varsa onunla koordineli, yoksa tek

¹⁴ Grafiğe esas veri saatliktir, dolayısıyla parçalı doğrusal yapıda profil elde edilebilmektedir. Kaminski (2012), PJM (Pennsylvania-New Jersey-Maryland) Doğu pazarı için sürekli formda gün içi yük profili vermiştir. Bu grafik, zaman farkı mümkün olduğunca azaltıldığında anlık yük akışına yakınsadığından sistem işletmecisinin karşılaştığı dengeleme problemini daha çarpıcı göstermektedir, aynı zamanda yük yönetimi açısından kullanışlı bir araçtır.

başına gelecekte sürdürülebilir, güvenli ve temiz enerji için uzun dönemli faaliyetleri de bulunmaktadır.

Dağıtım, iletim hattının nihayet bulmasından sonra nihai tüketiciye, kanın vücuttaki dağılımı ile benzetildiğinde, kılcallara uzanan süreçtir. Kanun’umuzda dağıtım ve iletim faaliyetleri, 36 kV gerilim seviyesi esas alınarak tanımlanmıştır. Dağıtımın elektrik enerjisi yönetiminde ve tedarik zincirinde çok pasif rolüne vurgu yapan Harris (2006), gerilim tipine göre yaptığı ve Şekil 7’de görülen tasnife dayanarak dağıtımın kapsamının değişkenlik gösterdiğini ifade etmiştir (Harris, 2006:82). Buna göre dağıtım, en geniş tanımı ile, orta gerilim ağından kullanıcıya uzanmakta, en dar tanımla ise alçak gerilim ağından başlamaktadır. Diğer taraftan, hangi gerilim seviyelerinin iletim hattını oluşturduğuna dair üzerinde mutabık kalınmış genel bir tanımlama da bulunmamaktadır (Casazza ve Delea, 2010:21).



Şekil 7. Dağıtım Tanımı Kapsamı

Kaynak: Harris (2006, 82)

Dağıtım sistemi işletmecileri, sınırları düzenlemelerle tanımlanmış dağıtım hat ve tesislerinin işletilmesinden, bakımından, yeni yatırımların yapılmasından ve dağıtım sistemi dahilindeki sayaçların okunarak verilerin temininden sorumludur. Telemetri olarak da bilinen ve uzaktan otomatik sayaç okumaya yarayan sistemler hem çekiş hem de veri birimlerinin kullanımlarını kayıt altına alarak piyasa uzlaştırma mekanizmasında rol oynarken aynı zamanda sistem üzerindeki güç ve gerilim kontrollerine yardımcı olmaktadır.

Dağıtımın dört ana bileşeni, dağıtım istasyonları (trafo merkezleri), birincil dağıtım fiderleri, dağıtım trafoları ve ikincil öğeler (pano sistemleri, kablolar vb.) ile hizmetlerdir (Casazza ve Delea, 2010:115). İletime kıyasla daha düşük gerilim, birim enerji akımı başına daha uzun hat uzunlukları, yüksek dirençli ince kabloların varlığı ve artan trafo sayısı nedeniyle dağıtım, daha çok enerji kaybı ile sonuçlanmakta, yine farklı olarak ticari kayıpları da barındırmaktadır (Harris, 2006:81). ENTSO-E'nin Mayıs aylarında bir önceki yıla ait geçici değerleri esas alarak hazırladığı istatistiki özet raporlarında, üye ülkelerin ortalama iletim şebekesi kayıpları 2015 ve 2016 yılları için tüketime oranla sırasıyla, %1,65 ve %1,62 olarak verilmiştir. TEİAŞ'ın Türkiye için Elektrik Piyasaları İşletme Dairesi Başkanlığı (EPİD) verilerine istinaden aynı dönemlerde verdiği iletim kaybı oranları %2,21 ve %2,25'tir. Warwick vd. (2016), ABD Enerji Bakanlığı için hazırlamış oldukları "Elektrik Dağıtım Sistemi Referans Raporu" başlıklı çalışmada ABD elektrik dağıtım ve iletim sistemlerinin üretilen elektriğe oranla kabaca %6 kayıpla dünyada en verimliler arasında olduğunu, bu kaybın 1/3'ünün sistemlerde en fazla kayba neden olan dağıtım trafolarından kaynaklandığını belirtmektedirler. Kayıp hesaplama metodolojisinde, özellikle kaybın üretim/tüketim değişkenleri bazlı hesaplanmasındaki değişiklikler nedeniyle rakamlarda farklar söz konusu olabilmektedir. Nitekim ABD Enerji Enformasyon İdaresi, web sitesinde iletim ve dağıtım kayıplarının ortalama %5 olduğu bilgisini vermektedir. En son 2014 yılı verilerini içerir Dünya Banka'sının iletim ve dağıtım kayıp istatistikleri bazı bölge ve ülkeler için Tablo 2'de görülmektedir. Bu istatistik ile ilgili açıklamada, verilen rakamların bir dönem ülkemizde gündemi meşgul eden ve zaman zaman medyada yer bulan aşırma ya da kaçak miktarlarını içerdiği ifade edilmiştir. Gelişmiş bölge/ülkelerdeki sistemler, genel olarak gerileyen kayıp/kaçak oranları ile daha verimli hale gelmiştir. Ortadoğu ve Afrika'da tersine trend geçerlidir. Ülkemizle ilgili veri, konunun neden fazlasıyla tartışıldığı, gündemde kaldığı ve kaçığın piyasamızın önemli bir sorunu olduğunu açıkça göstermektedir.

Tablo 2. Elektrik Enerjisi İletim ve Dağıtım Kayıpları [Kayıp / Çıktı (%)]

Bölge / Ülke	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2014	Trend
Doğu Asya ve Pasifik	6.432	6.424	6.162	6.556	6.253	6.249	5.824	5.422	
Avrupa Birliği	6.981	7.211	6.804	7.366	7.222	6.691	6.361	6.444	
Japonya	4.435	4.288	4.672	4.555	4.315	4.267	4.138	4.386	
Ortadoğu ve Kuzey Afrika	8.870	11.430	9.377	10.249	11.713	12.874	12.692	13.581	
Sahraaltı Afrika	9.164	8.418	8.873	9.148	11.217	11.343	12.040	11.699	
Türkiye	12.133	11.529	11.610	15.965	19.017	14.846	14.309	14.816	
Birleşik Devletler	8.778	7.059	9.263	6.991	5.691	6.305	5.994	5.911	
Dünya	8.261	7.849	8.476	8.568	8.854	8.865	8.268	8.264	

Kaynak: Dünya Bankası Elektrik Enerjisi İletim ve Dağıtım Kayıpları verilerinden (Güncelleme, 22.12.2017) yararlanılarak hazırlanmıştır.

İletim ve dağıtım hizmetleri ile ilgili önemli bir diğer husus ise tarife düzenlemeleridir. Tarife, her iki faaliyetin doğal tekelleri yapısından ötürü düzenlemeye tabi olmasının bir sonucudur. Düzenleyici, kamu hizmeti sağlayan şirketin yatırımcılarının sağladığı sermayenin maliyetini tespit ederek ne eksik ne de fazla olmak üzere sermaye maliyetini karşılamaya yetecek düzeyde tarifenin uygulanmasını sağlamalıdır (Ehrhardt ve Brigham, 2011:336). Ülkemizde beşer yıllık uygulama dönemleri itibarıyla belirlenen dağıtım tarifelerine ilişkin hesaplamalarda hedef kayıp/kaçak oranları da dikkate alınmaktadır.

1.1.2. Elektrik Kaynakları ve Üretimi

Bölüm girişinde belirtilen emtia piyasalarının kendi içerisindeki artan etkileşimini elektrik üzerinden ele alan Kaminski, enerji emtiaları için eskiden hâkim olan piyasaların ayrık olduğu dönemin bittiğine, kömür ve doğal gaz tacirinin elektrik piyasasını iyi anlayarak, hem elektrik üretiminde bu iki kaynağın rekabetinin hem de pik yük santrallerinin doğal gaz talebinin getirdiği belirsizliklerle baş etmek durumunda olduğuna dikkat çekmiştir (Kaminski, 2012:756). Elektriğin üretilmekte olduğu kaynaklar ile bu kaynakların elektriğe dönüşüm süreçleri fiyat süreci üzerinde etkilidir. Ürünün sisteme dahil olma yeri ve süresi bakımından görülen bu etki, liberal elektrik piyasalarında piyasa katılımcıları ile sistem ve piyasa işletmecilerinin kaynakları, varsa bu kaynaklarla ilgili

piyasaları, gelişmeleri ve elektriğe dönüşüm süreçlerini dikkate almalarını gerekli kılmaktadır. EPDK'nın (2017) piyasa gelişim raporunda yer verdiği 2016 Aralık ayında görülen doğal gaz kısıntısı, neden olduğu elektrik fiyatlarındaki sıçramalar ile bu karşılıklı etkileşimin en güncel örneklerindedir.

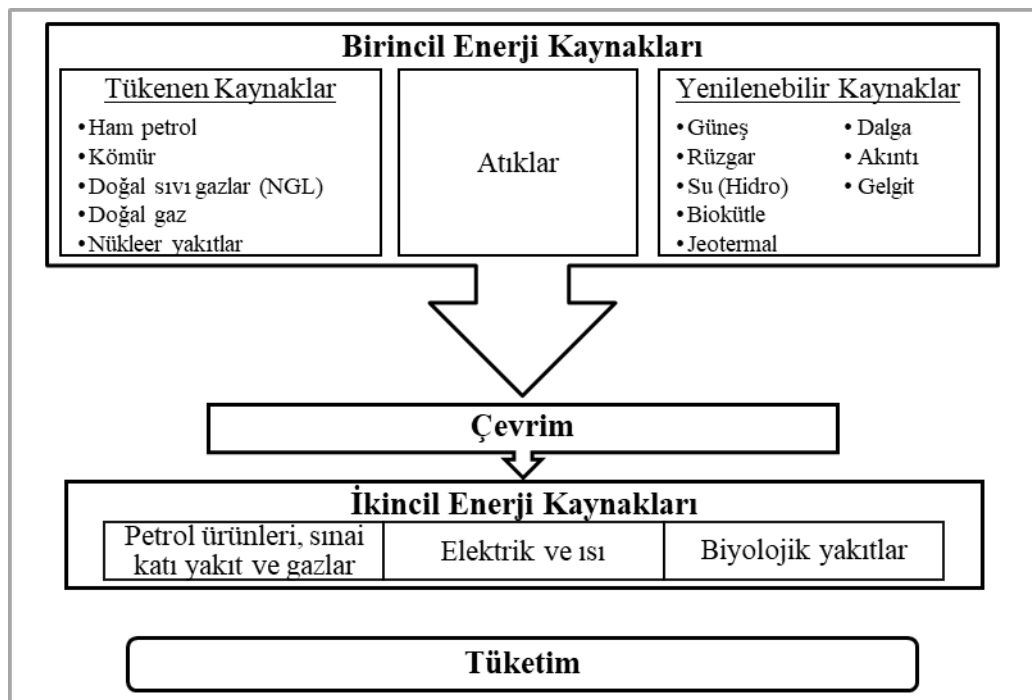
Enerji çeşitlerinin enerjinin korunumu prensibi dahilinde birbirine dönüşebilmesi, farklı kullanım amaç ve araçları için insanoğluna alternatifler tanır. Elektriğin keşfi ile de bu dönüşüm, hayatımızı kolaylaştıran ve toplumların gelişmesini sağlayan itici güç olmuştur. Ancak elektrik başkaca enerji kaynaklarına da ihtiyaç duymaktadır. Enerji kaynakları birincil ve ikincil kaynaklar olmak üzere ele alınmakta ve bu klasik tasnife göre ilgili grupta sıralanmaktadır, fakat kaynakların kıtlığı üzerine kurulu iktisat bilimi, daha spesifik olarak enerji iktisadının ilgili istatistik terminolojisinde durum biraz farklıdır. Øvergaard (2009), Birleşmiş Milletler'in (BM) "Enerji İstatistiklerinde Kavramlar ve Yöntemler" kısaltılmış başlıklı yayınındaki birincil/ikincil enerji tanımı ile 2005'te yayımlanan "Enerji İstatistikleri El Kitabı" isimli İktisadi İşbirliği ve Gelişme Teşkilatı (Organisation for Economic Co-operation and Development - OECD), IEA ve Eurostat'ın ortak yayınında geçen yaklaşımı kıyaslayarak kavramsal boyuttaki karışıklığa dikkat çekmiştir. Ortak yayında yer alan kavramsal çerçeve emtia esaslı bir yol izlerken BM'nin kaynak odaklı formel tanımını aşağıdaki şekildedir:

"Birincil enerji (kavramı), ihtiva ettiği enerjinin mekanik işe ya da ısıya dönüştürülmesi açısından bütünleşik olduğu maddeden ayrılması, temizlenmesi ya da kalite derecelendirmesi bir anlam ifade etmeyen, sadece çıkarma ya da muhafaza altına alma yoluyla elde edilebilen kaynaklardan gelen enerjiyi belirtmek için kullanılmalıdır.

İkincil enerji (kavramı), birincil kaynakların dönüştürülmesinin sonucu olan tüm enerji kaynaklarının enerjisini belirtmek için kullanılmalıdır." (BM: 1982:9).

BM, bu tanımda belirtilen derecelendirme ile ilgili yorumunda "ikincil" olmanın düşük kaliteli olma anlamına gelmediğini, tersine ikincil enerjinin çoğu zaman dönüştüğü birincil enerjiden daha kullanışlı olduğunu ifade etmektedir. Elektrik, bunun en iyi örneklerinden biridir. Bu ayrımın enerji sürdürülebilirliği açısından çeşitli kuruluşlarca çokça ele alınan enerji dengesi istatistiklerinde çifte hesaplamayı önlemek amacıyla

yapıldığını belirten Øvergaard (2009), nükleer füzyonun, jeotermal ve güneş termalin¹⁵ BM'nin tanım ve el kitaplarına göre birincil enerji, yukarıda değinilen ortak yayına göre ise ikincil enerji olarak sınıflandığını ortaya koymuştur. Elektrik üretiminde de kullanılan bu üç kaynağın toplam denge hesaplarındaki payının küçük olması da ayrı bir tartışma konusu olabilir, ancak uluslararası kuruluşların üzerinde mutabık kalabileceği ortak bir dil geliştirilmesi gelecek projeksiyonları, dolayısıyla makro politikalar açısından önem arz etmektedir. BM, bu konuda 2016 yılında ikinci düzeltmesini yaptığı, ancak henüz yayınlamadığı “Enerji İstatistikleri için Beynelmilel Tavsiyeler” başlıklı çalışma yürütmektedir.



Şekil 8. Birincil ve İkincil Enerji Kaynakları

Kaynak: Demirel (2016, 36), 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun

Şekil 8’de yapılan sınıflama genel bir sınıflama olup yukarıda değinilen tartışmanın odaklandığı yenilenebilir kaynaklar, Türkiye Piyasası Enerji Mevzuatı ile uyumludur, sağ sütunda belirtilen üç sıra dışı kaynak yenilenebilir enerjiye yönelik

¹⁵ Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi (Concentrated Solar Power - CSP) olarak da bilinen güneş termal enerji, ülkemizde son dönemde yaygınlaşan, fotovoltaik teknolojiye, basitleştirilmiş ifadeyle güneş ışımına dayalı panel sistemlerinden farklıdır. Güneş ışığından yararlanan fotovoltaik panellerin aksine CSP sistemleri, türbin esaslıdır. Aynalar yardımıyla güneş ışığını yönlendirerek bir noktaya toplayan yapısıyla bu sistem, içerisindeki sıvıyı ısıtarak buhara dönüştürmekte, buhar ise türbinleri harekete geçirerek fosil bazlı sistemlerdeki gibi elektrik üretmektedir (Energy Initiative MIT, 2015). Isı bazlı olduğu için yenilenebilir enerji mevzuatımızda da yer aldığı gibi konutların ısıtılmasında da kullanımı mümkündür.

düzenlemelerimize dayanarak eklenmiştir. Belirtilen kaynaklar, bazı istisnalar dışında türbin teknolojisi kullanılarak elektriğe dönüştürülmektedir. Tüm tükenen kaynaklar termal proses sonucu buhara dönüşmekte, buhar ise türbinleri harekete geçirerek mekanik enerji sağlamaktadır. Jeneratörde elektromanyetik alana neden olan bu enerji, elektrik akımının oluşmasını sağlamaktadır. Yenilenebilir kaynaklardan biokütle ve jeotermal de termal proses esastır. Rüzgâr teknolojisinde kanatları çeviren hava akımı, hidrolik sistemlerde suyun yüksekten düşürülmesi ya da hızlı akımı elektrik üretimi için gereken mekanik enerjiyi sağlamaktadır.

Elektrik piyasalarının serbestleşmesinden önce devlet eliyle işletilen daha çok tükenen kaynaklara ve suya dayalı tüm santraller, talebi etkileyen faktörler göz önünde bulundurularak portföy mantığı içerisinde tek bir elden yönetilmekte idi. Liberalleşme süreci ile birlikte her ne kadar sistem işletmecisi benzer görevi ifa etse de teklifler, gün öncesinde piyasa işletmecisinde toplanmakta, arz ve talep eğrileri ile fiyat ve günlük planların oluşumunu sağlamaktadır. Tüketilen son birim enerjinin fiyatı, diğer ifadeyle marjinal fiyat esas olduğundan bu son birimin üretildiği santral, sistemdeki enerjinin fiyatında belirleyici olmaktadır.

Sistemi dengede tutmanın yanında sistem işletmecisinin diğer bir önemli görevi, yükün optimal kaynaklardan teminini sağlamaktır. Üretim birimleri; kapasite, birim maliyet, çevrim teknolojisi ve çevrime başlama ile sisteme yükü yollama süreleri bakımından değişkenlik göstermektedirler (Kaminski, 2012:723). Bu değişkenlik nedeniyle yük veriş birimleri öncelik sırasına¹⁶ tabidirler. Sıralama, piyasa ölçeğinde birim santraller bazında gerçekleşse de makro ölçekte santral grupları bazında sıralama esastır. Öncelik sırası kavramı, yük faktörü kavramına dayanmaktadır. Hem üretim hem de tüketim boyutunda ele alınabilen yük faktörü aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır (Kaminski, 2012:719):

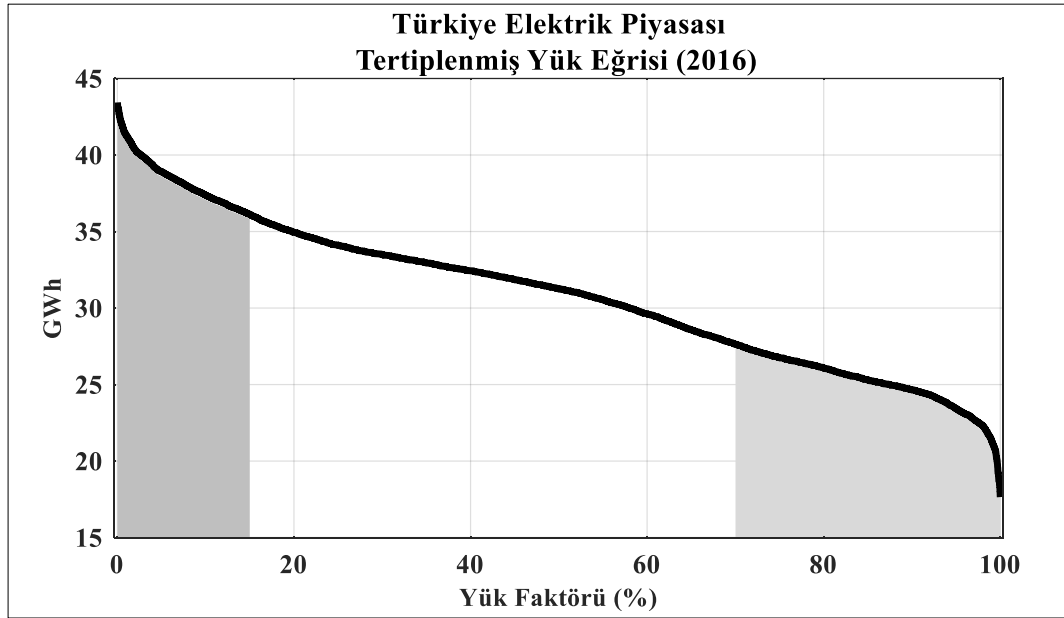
$$\text{Yük Faktörü} = \frac{\text{Ortalama Yük}}{\text{Maksimum Yük}} \quad (1.1)$$

Elektriğin akım mal olması nedeniyle tanım, zaman aralığı gerektirmekte, aynı zamanda analiz hassasiyetine göre zamana bağlı ölçü birimi, faktörün hesaplanmasında önem arz

¹⁶ Literatürde ve sektörde yerleşmiş haliyle “merit order” olarak bilinen kavram için kullanılmıştır. “Merit” kelimesinin liyakat, hak sahibi olma anlamlarına geldiği dikkate alınırsa bu kavram, santrallerin kaynak yeterliliği, kapasite, maliyet, hız, teknoloji bazında üretime dahil olma sıralamasını ifade etmektedir. Harris (2006) vb. kaynaklarda geçen “high merit”, “mid merit” kavramları da yüksek öncelikli, orta-derecede öncelikli santralleri ifade etmektedir.

etmektedir. Yük faktörü, yük profili ile yakından ilişkilidir. Kirschen ve Strbac (2004), Şekil 6’da örneği verilen yük profilinin yanına, talebi azalan sıralamaya tabi tutarak hazırladıkları tertiplenmiş yük eğrisini ilave etmişlerdir.

En yüksek talepten en düşüğe doğru yük sıralamasını, sürelerini¹⁷ de gösterir şekilde ele alan tertiplenmiş yük eğrisi, sistem işletmecisine olası maksimum talep ve bu talebin süre olarak uzunluğu, takip eden talep seviyelerindeki olası sapmalar konularında bilgi sağlamaktadır. Bu eğride yatay eksen, ilgili yüklerin süre olarak uzunluğunu göstermektedir. Eksen, bu sürelerin ele alınan toplam süreye oranı cinsinden yeniden ölçeklendirildiğinde yük faktörünü vermektedir. 2016 yılının saatlik yük seviyeleri dikkate alınarak Türkiye piyasası için Şekil 9’da verilen tertiplenmiş yük eğrisi, saatlik yükün belirli bir seviyeyi geçme oranını yüzde cinsinden göstermektedir. Buna göre, örneğin yılın %19,8’inde yük 35 GWh ve üzerinde gerçekleşmiştir. Bunn (2004), Birleşik Krallık için hazırladığı bu eğri ile, çeşitli türden santrallerin varsayıma dayalı maliyet eğrileri birlikte ele alınarak santral türlerine göre başa baş yük faktörünün hesaplanabileceğini ve öncelik sırasının tespit edilebileceğini göstermiştir. Eğrinin diğer bir özelliği, yük sıralamasının yönü ve eksenlerin yerleri değiştiğinde ampirik kümülatif olasılık dağılımını vermesidir.



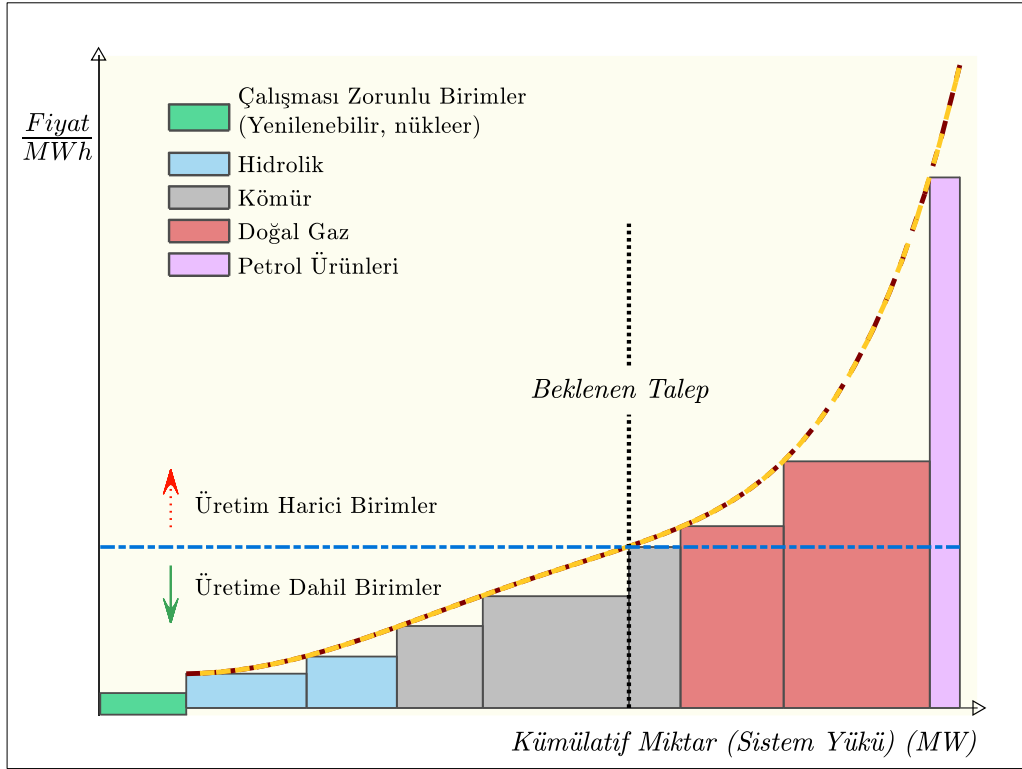
Şekil 9. Türkiye Elektrik Piyasası Tertiplenmiş Yük Eğrisi (2016)

Kaynak: Bunn (2006, 6) ve EPIAŞ verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

¹⁷ TEİAŞ’ın raporlarında da yer verilen tertiplenmiş yük eğrisi kavramı, yararlanılan kaynakta “load duration curve” olarak yer almaktadır. Süreyi de öne çıkaran “yük süreleri eğrisi” yerine sektörde yerleşik karşılığı tercih edilmiştir.

En düşük marjinal maliyete sahip, yıl boyunca sürekli ve düzenli yük sağlayan santraller yüksek önceliklidir ve baz yük santraller olarak bilinir (Harris: 2006:21). Yük faktörü bazında düşük, orta ve yüksek öncelik tanımları birbirine yakın olmakla birlikte kaynaklara göre değişmektedir. Harris (2006), sırasıyla bu tanıma esas faktörleri %15 altı, %15-%70 ve %70 üzeri olarak vererek pik yük santrallerin yük faktörlerinin %1 seviyesinin altında bile kalabildiğini belirtmiştir. Yıl boyunca sadece bir günün 1/3'üne tekabül eden bu sürede bu uç örnek için maliyet açısından avantajlı fiyat oluşması gerekmektedir. Yatırımın kalıcılığı için yüksek kâr marjı gerektiren pik yük santralleri, fiyatlardaki sıçramaların en önemli nedenlerindedir (Bunn, 2004:6). Harris'in tanımına uyan bölgeler Şekil 9'da koyu ve açık gri ile işaretlenmiş olup, bu tanıma istinaden ve 2016 yılı tarihi verilerine dayanarak 36.1 GWh ve 27.6 GWh saatlik yük değerleri düşük ve orta öncelikli birimler için kesim noktalarıdır. Oluşan piyasa fiyatı ve başkaca faktörler ile birlikte bu değerlerin geçerliliğinin ayrıca sınanması gerekmektedir.

Diğer taraftan her ne kadar yük faktörünün arka planında maliyet temelli yaklaşım yer alsa da piyasalarda oluşan fiyatı açıklamak üzere doğrudan üretim santrallerini maliyetlerine göre sıralamak daha kullanışlı olmaktadır. Santrallerin fiziksel kapasitelerinin fiyat teklif stratejileri için ana etken olduğunu belirten Edwards, bu sıralamayı "üretim yığını" olarak nitelendirmiştir (Edwards, 2010:259). Üretimin düşük maliyetli santralden başlayarak sıralanması fikri, Barlow (2002), Geman ve Roncoroni (2006), Harris (2006), Weron ve Misiorek (2008), Bunn ve Chen (2013) vb. çalışmalarda "öncelik sırası yığını", "arz yığını", "yığın yapısı", "üretim teknolojileri yığını" kavramları ile literatürde yer bulmuştur. Tüm bu kavramları fonksiyonel formda ifade eden ve fiyat oluşum mekanizmasında yer bulan "güç yığın fonksiyonu", Eydeland ve Geman (1999) tarafından ortaya atılmıştır. Bu fonksiyonun örneği, ABD'nin orta-batı eyaletlerini içine alan "East Central Area Reliability" (ECAR) bölgesi için bu yazarlar ve Geman ve Roncoroni (2006) tarafından görsel olarak ele alınmıştır. Dikey ekseninde birim maliyetin alındığı bu örneğin aksine Şekil 10, yararlanılan kaynağa istinaden dikey ekseninde fiyata yer vermiştir. Rekabetçi piyasalarda marjinal maliyet ile fiyat arasındaki ilişkinin aynı sonucu doğuracağı göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 10. Üretim (Öncelik Sırası) Yığını ve Güç Yığın Fonksiyonu

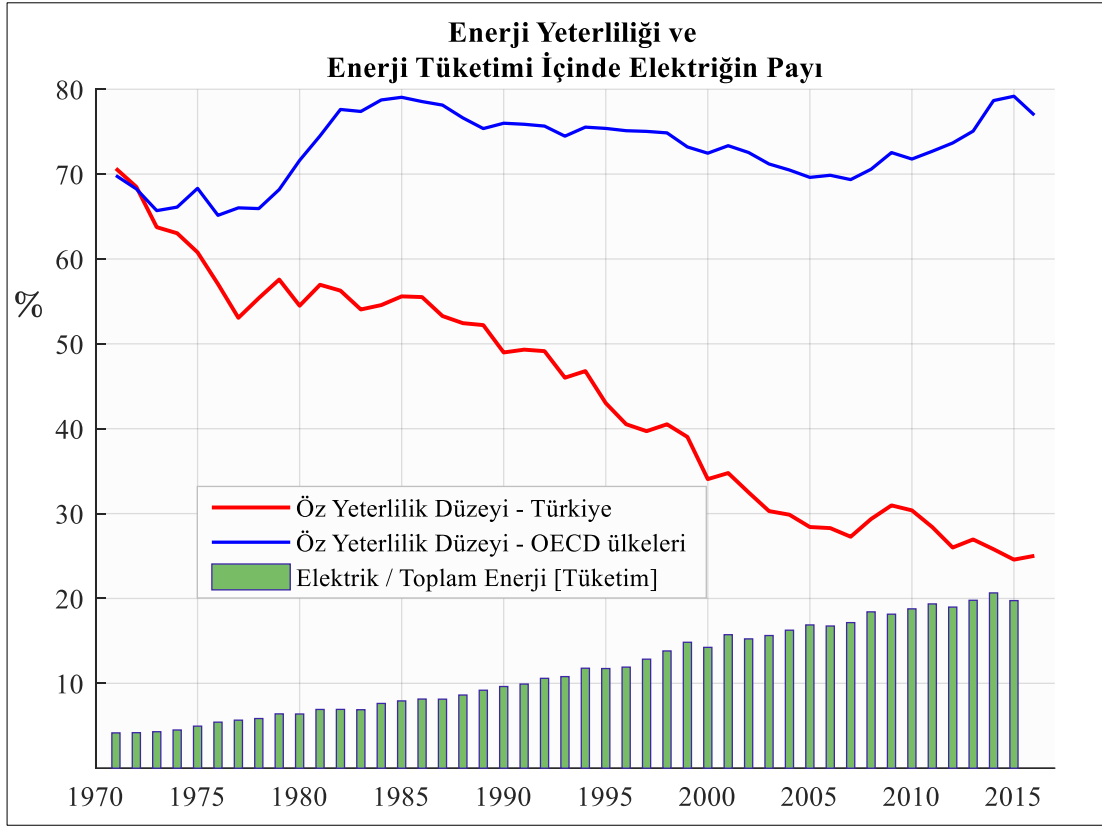
Kaynak: Harris (2006,150) ve TEİAŞ verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

Tokyay ve Özdemir (2013), Türkiye piyasasına yönelik raporlarında üretim önceliği açısından santrallerin, kaynak bazında yenilenebilir enerji, hidroelektrik, kömür ve doğal gaz şeklinde sıralandığını belirtmektedirler. Türkiye'nin 2016 yılındaki yaklaşık elektrik üretim kaynak dağılımı, bu sıralamayı takiben Şekil 10'da yansıtılmaya çalışılmıştır. Grafiğe yararlanılan kaynaktan farklı olmak üzere güç yığın fonksiyonu da uyarlanmıştır. Fonksiyonun yüksek yük seviyelerinde gözlenen konveksiyonunu ortaya çıkarmak ve grafiği daha belirgin hale getirmek için petrol ürünlerinin toplam üretimdeki payı biraz artırılmıştır. Yük miktarı arttıkça gittikçe dikleşen ve fiyat sıçramalarını açıklayıcı güç yığın fonksiyonunu ele alan grafik, yararlanılan kaynağa istinaden elektrik piyasalarında fiyatın, diğer piyasalardan farklı olarak sıfır, hatta negatif değer alabildiği gerçeğini de dikkate almaktadır. Yüksek başlatma maliyetleri gerektiren santraller için piyasanın koşulları gereği durmaktansa geçici bir süre zarara katlanma daha avantajlı olabilmektedir. Hızlı devreye girebilme özelliği de dengeleme açısından elzemdir ve ilgili mevzuatımızda bu faaliyete katılabilecek katılımcılar için düzenleme getirilmiştir.

Üretim ve kaynaklar ile ilgili diğer bir önemli nokta, daha önce de değinilen tükenen kaynakların çevresel etkileri ve gelecek senaryolarında belirginleşen kıtlığa çözüm getirmek üzere KPMG'nin (2015) sektör geleceğine yönelik raporunda ele aldığı

insan vücudundan, giysilerden elektrik üretimi örneklerinde olduğu gibi sıra dışı, inanılması güç alternatiflerin gündeme getirilmesidir. Çevresel etkiler, bir yandan temiz, yenilenebilir kaynaklara yönelik politikalara yön verirken, diğer taraftan emisyon derecelerine göre fosil bazlı birimler için ilave maliyetlere neden olmaktadır. Bu bağlamda emisyon sertifikalarının el değiştirdiği piyasalar da gelişmektedir. Konunun fiyat sürecine etki eden diğer bir boyutu ise ülkemizde olduğu gibi hükümetlerin yenilenebilir kaynaklara dayalı elektriğe sağladıkları avantajlı fiyat ve alım garantisidir.

Piyasada mevzuattaki kısaltılmış hali ile bilinen Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Destekleme Mekanizması (YEKDEM), yukarıda sözü edilen fosil bazlı kaynakların kıtlık ve çevresel etkilerinden öte, enerji maliyetlerinin ödemeler dengesine getirdiği ekonomik fatura bağlamında da incelenmeye değerdir. Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası'nın (TCMB) periyodik olarak hazırlamakta olduğu “Ödemeler Dengesi ve Uluslararası Yatırım Pozisyonu” başlıklı raporlarında cari denge hesapları, altın ve enerji ile altın ayrı tutularak ayrıca ele alınmaktadır. Cari işlemler dengesine ilişkin bu üç istatistik genel olarak birbirlerine paralel seyir izlese de altın hariç ve enerji ile altın hariç genel denge rakamları ile tüm genel denge rakamları arasındaki ortalama makas, 2007 yılı 2. çeyreğinden itibaren birincisinde sıfıra yakın, diğerinde ise yaklaşık 30 milyar Amerikan Doları (USD) seviyesindedir. Bu dönem zarfında genel dengeye kıyasla en yüksek fark, altın ve enerji hariç 60, sadece altın hariç 10 milyar USD mesabesinde 2013 yılı son çeyreğinde gerçekleşmiştir. Tek başına altının hesap üzerindeki sınırlı etkisi ve enerji ile birlikte hariç tutulduğunda sıfıra yakın seyreden denge rakamları enerji faturasının ülkemiz cari dengesi üzerinde belirleyiciliğini ortaya koymaktadır (TCMB, 2017:3). Bu kapsamda YEKDEM'i, Şekil 11'de verilen Türkiye'nin yıllar bazında IEA'nın metodolojisine göre hesaplanmış kendine yeterlilik düzeyinin ve toplam enerji tüketimi içerisinde elektriğin payının gelişimi çerçevesinde ele almak gerekmektedir. Enerji açığımızın yıllar içinde ciddi boyutlara ulaşması, benzer şekilde elektriğin de toplam nihai tüketimde payının artış trendi, elektrik üretiminde birincil kaynakların kullanımına yönelik politikalara da yön vermektedir. Spot piyasalardaki fiyat dinamiklerine doğrudan etkisi olmasa da YEKDEM ile somutlaşan enerji açığını hafifletmeye dönük politikalar bazı piyasa oyuncularına ek maliyet getirerek piyasayı dışsal etkilemektedir.



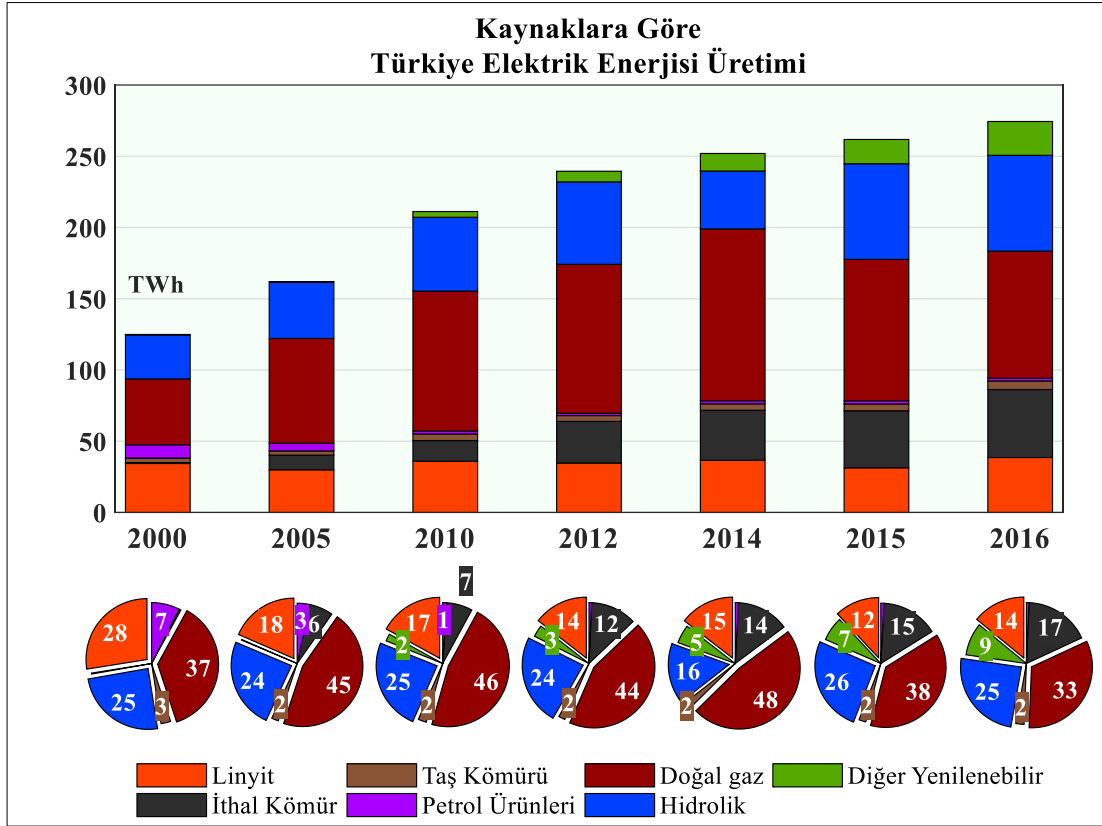
Şekil 11. Enerji Öz Yeterliliği ve Tüketim İçinde Elektriğin Payı (1971-2016)

Kaynak: Uluslararası Enerji Ajansı verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

Yenilenebilir kaynaklara dönük politikaların etkinliği, farklı boyutlar ve birçok değişken dikkate alarak değerlendirilebilir. Toplam üretim içerisinde yenilenebilir payı, ülkelerin bu tip kaynaklar açısından zenginliğinin sağladığı avantaj bir yana bırakılırsa ülke grupları bazında kıyaslanabilir. Kaldı ki, ülkemiz yenilenebilir kaynak bakımından zengin bir coğrafyaya sahiptir. IEA'nın enerji dengelerine ilişkin 2017 yılı raporuna göre 2016 yılı için elektrik üretiminde yenilenebilir pay, OECD ülkeleri genelinde %24,5 seviyesindedir (IEA, 2017:10). Bu oran, OECD Avrupa ülkeleri için %33,5 iken ülkemiz için Şekil 12'den yaklaşık görülebileceği gibi %33,14'tür. IEA'nın aynı raporunda verilen bilgiye göre, OECD Avrupa için hidrolik, rüzgâr, güneş, biokütle kaynaklarının üretim payları yüzdelik cinsinden sırasıyla 16; 8,50; 3,50; 4 olarak gerçekleşmiştir. Ülkemizde aynı sırayla 24,50; 7,40¹⁸; 0,38; 0,86 olan değerler, yenilenebilir kaynak kullanımımızın OECD Avrupa ile aynı seviyelerde olmasını hidrolik kaynakların sağladığını, bu yönüyle kuraklığın dengeler üzerindeki olumsuz potansiyel etkisini göstermektedir. Ayrıca, özellikle güneş öncelikli olmak üzere su harici yenilenebilir kaynaklarda da alınacak mesafe olduğu görülmektedir. Son dönemlerde ithal kömür kullanımındaki artışa karşılık

¹⁸ TEİAŞ'ın rüzgâr için verdiği oran, jeotermal kaynaklar da dahil edilerek raporlanmıştır.

elektrik üretiminde yerli kömür kullanımını desteği de genel ekonomik denge hesapları kapsamında değerlendirilebilir.



Şekil 12. Kaynaklara Göre Türkiye Elektrik Enerjisi Üretimi Gelişimi

Kaynak: TEİAŞ verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

1.2. Elektrik Piyasaları

Geçmişte genelde devletler eliyle yürütülen, üretiminden abonelere dağıtımına, satış sonrası sayaç okuma ve faturalandırma süreçleri ile bir bütün olarak dikey entegre olan elektrik sanayi¹⁹, 1980'lerden itibaren gelişmiş ülkelerden başlayarak serbestleşme akımının etkisinde üretim, iletim, dağıtım ve satış faaliyetlerinin ayrıştırılması sonucu çok katılımcılı ve kendine özgü piyasaları ile daha rekabetçi bir yapıya kavuşmuştur. Tedarik zinciri ile ilgili bölümde ele alındığı gibi elektriğin ulaştırılması ile ilgili olan iletim ve dağıtım süreçleri doğal tekeli yapıdadır. Liberalleşme²⁰, genel trend ve gelenen

¹⁹ Kaynaklarda da sıkça “sanayi” vurgusuna rastlanmaktadır. Bazen sektör, bazen sanayi şeklinde ele alınan bu iş kolu, önceki bölümlerde de ele alındığı gibi doğal kaynakları kullanarak tüm toplumun faydalandığı çıktıyı üretmekte, diğer sanayi kollarına da önemli bir üretim faktörü sunmaktadır.

²⁰ Fiyat modellerini konu edinen çalışmalarda elektrik piyasalarının yeniden yapılandırılması “liberalleşme” sözcüğü ile ifade edilmiştir. Ancak piyasa yapısını konu edinen çalışmalarda çoğunlukla iletim ve dağıtım faaliyetlerinin yukarıda da belirtilen doğal monopol özelliğinden dolayı, “yeniden yapılandırma”, “yeniden düzenleme” kelimeleri kullanılmaktadır.

nokta dikkate alındığında toptan satışın gerçekleştiği piyasalarda yer bulmuştur. Bu akımla birlikte belirgin hale gelen ve izleyen bölümde daha detaylı ele alınan fiyat süreci, emtia ve finans piyasalarında olduğu gibi riskler içermektedir. ABD ve Avrupa’da spot piyasaların gelişmesiyle elektriğe dayalı vadeli işlem piyasaları da hızla gelişmektedir. Avrupa’da birçok ülke pazarına yönelik spot ve vadeli piyasa faaliyeti yürüten Avrupa Enerji Borsa Grubu (European Energy Exchange - EEX) verilerine göre futures ve opsiyonlardan oluşan vadeli ürünlerin işlem hacmi 2012 yılından itibaren tırmanışa geçmiştir. Spot piyasa hacimleri 2012-2016 döneminde bileşik bazda yıllık ortalama %12 büyüme gösterirken vadeli piyasa için bu oran %43 olarak gerçekleşmiştir ve 2016 verilerine göre vadeli piyasa, spot piyasanın yedi katını aşan bir hacme sahiptir (EEX AG, 2014:3; 2015:C4; 2017:U8). Elektrik piyasaları bu açıdan giderek finansal piyasalara yakınsamaya başlamıştır.

1.2.1. Piyasanın Yapısı ve Liberalleşme Akımı

Tedarik zincirinin ana öğeleri olan üretim, iletim, dağıtım ve perakende satış faaliyetlerinin ne şekilde, kimler tarafından yürütüleceği, zincirdeki aksamaların nasıl düzeltilileceği, bunların neden olduğu olumsuzluk ve maliyetlerin ilgililere ne şekilde yansıtılacağı ve oluşan katma değerlerin nasıl paylaşılacağı, liberalleşme akımının başlangıcından itibaren yoğun olarak tartışılmaktadır. Bu soruların yanında enerji kaynaklarına ilişkin gelecek senaryoları, çevresel etkiler ile teknolojik gelişmelerin piyasaya olası yansımalarına cevap arayan bu alan, her piyasanın kendine özgü şartları da dikkate alındığında son derece kapsamlı ve dinamiklidir. Liberalleşme derecesi, reformların ilerleyişi ve etkinliği ülkeden ülkeye değişmekle beraber elektrik sanayinin ilk oluşumu ve gelişimi tüm faaliyetlerin tek bir elden yürütüldüğü monopol yapı ile gerçekleşmiştir. Bu yapı halen birçok piyasada geçerlidir. Nazarian (2012), ABD elektrik piyasaları ile ilgili olarak dikey entegre, regülasyona tabi elektrik şirketlerinin, (liberalleşme sonucu) yeniden yapılandırılmış, ayrıştırılmış fonksiyonlara dayalı şirketlere kıyasla çok daha fazla olduğunu belirtmektedir. Bu araştırmada reformların hiç başlamadığı ya da askıya alındığı harita üzerinde belirtilen bölgeler, federal ölçekte enerji düzenlemelerinden sorumlu Federal Enerji Düzenleme Kurulu’nun web sitesinde de belirtildiği gibi sıklıkla dikey entegre yapıdaki geleneksel toptan satış piyasalarının egemen olduğu ABD’nin güneybatı, güneydoğu ve kuzeybatısında yer almaktadır. Dikey entegre monopol yapı, tarihsel olarak başlangıçta yoğun olarak ve hâlihazırda kısmen geçerli en temel piyasa modelidir.

1.2.1.1. Liberalleşme Öncesi Monopol Yapı

Elektrik piyasalarının yapılanmasında dört modelin geçerli olduğunu belirten Belyaev (2011), Üretim – İletim – Dağıtım – Satış – Müşteri aşamalarını dikey olarak sıralayarak şematik gösterimini yaptığı regülasyona tabi doğal monopol modelinin en önemli avantajlarını vurgulamıştır. Bunlar sırasıyla dikey entegrasyonun ölçek ekonomisinin gerçekleştirilmesi için en elverişli yapı olması, dolayısıyla son tüketiciye en düşük tarife sunması ile santral ve şebekeden oluşan elektrik sisteminin büyütülmesinin sorunsuz olmasıdır (Belyaev, 2011:53).

Tarifenin, tüm santrallerin üretim maliyetlerinin ortalaması dikkate alınarak oluşturulduğunu belirten Belyaev (2011), bu durumun yüksek maliyetli, verimsiz birimlerin neden olacağı tüketici aleyhine olumsuz fiyatlamanın, düşük maliyetli ve daha verimli çalışan birimlerce giderilmesi anlamına geldiğini; serbest piyasada ise en verimsiz birimin maliyetinin dikkate alındığı bilgisi ile birlikte vurgulamıştır. Talep düzeyi ile birlikte talebin yüksek maliyetli birimlerce karşılanan oranı da bu açıdan önemlidir. Yüksek maliyete sahip birimler, ekonomik faaliyetin yoğun olduğu, çok sıcak ya da soğuk hava şartlarında yüksek talebi karşılamak için devreye girmek durumundadır. Bu şartların geçerli olduğu zamanlarda düşük tüketimli birimler de yüksek tüketime sahip birimlerin neden olduğu ilave maliyete katlanmaktadır. Kopsakangas-Savolainen ve Svento (2012), ilk gerçek zamanlı fiyatlama dayalı sözleşmelerin yapıldığını ve bu yöndeki gelişmelerin yakın gelecekte fasıllarla ilerleyeceğini belirtmektedir. Son zamanlarda buna paralel olarak çokça ele alınan, akıllı sayaçların yaygınlaşması ile uygulama alanı bulabilecek gerçek zamanlı fiyatlama, beraberinde tüketicinin talep tepkisinin dikkate alındığı model tasarımları vasıtasıyla tüketiciyi de piyasada daha aktif kılmayı amaçlamaktadır.

Belyaev'in işaret ettiği gibi monopol yapı, tüm unsurları ile elektrik sisteminin ilk baştan kurulması, genişletilmesi ve yeni yatırımların planlanması açısından avantajlıdır, hatta burada ölçek ekonomisinin geçerliliğinden söz edilebilir. Spontane gelişen elektrik piyasaları, yirminci yüzyılın başlarında giderek daha teknelci bir yapıya bürünmüşlerdir. Sürecin yerleşmesi ve teknelci yapının avantajlarının fark edilmesiyle monopol şirketler devlet düzenlemelerine tabi olarak kurumsal kimlik kazanmışlardır (Belyaev, 2011:51). Enerji Araştırma Enstitüsü (Institute for Energy Research - IER) web sitesine göre Edison ile birlikte çalışan ve işlerinin idari kısmına odaklanan Insull, 1892'de çalışmaya başladığı Chicago Edison Şirketi'ni yüksek ölçeğin sağladığı maliyet avantajlarından

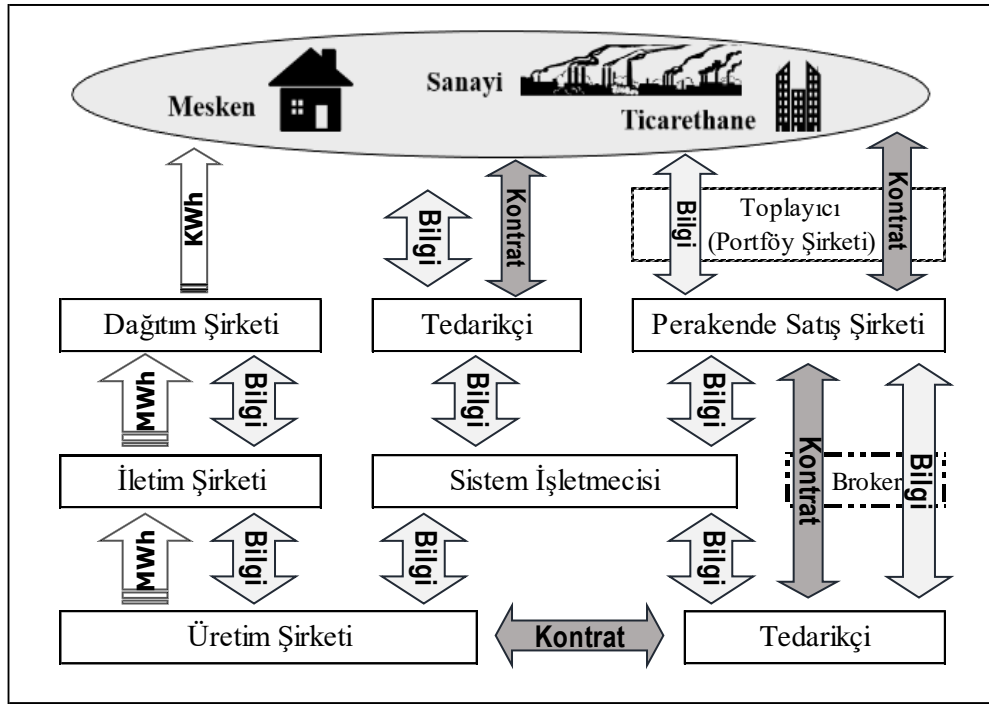
yararlanarak büyütmüş ve modern anlamda elektrik şebekesini Chicago’da kurmuştur. Bu ve buna benzer dikey entegre şirketlerin yaygın olduğu ABD için makul kâr marjının en başından beri doğru saptanması, yukarıda sözü edilen maliyet avantajı açısından ayrıca önemlidir.

Ülkemizde ise ilk santral, 1913 yılında İstanbul Silahtarağa’da Belçikalı bir şirket tarafından kurulmuş, Cumhuriyet’in ilanına kadarki sürede devlet tarafından verilen ayrıcalıklarla kurulan ve elektrikle ilgili faaliyetleri yürüten özel ortaklıklar, sonrasında Türkiye Cumhuriyeti’ne devredilmiştir (Güvenek, 2009:76). 1938’de tamamen devletleştirilene kadar elektrik sanayii, Cumhuriyet’in ilk yıllarında benimsenen liberal ekonomi modeli çerçevesinde yoğun bir şekilde yabancı yatırıma bağımlı halde gelişmiştir (Erdoğan, 2005:5). 1970 yılında Türkiye Elektrik Kurumu’nun (TEK) kurulmasına kadar olan dönemde bazı sanayi kuruluşlarına kendi tüketimleri için elektrik üretme izni verilmekle birlikte sektör devlet kontrolünde ilerlemiştir. TEK, 1982 yılına kadar dağıtım faaliyeti yerel idarelerde bırakılmak kaydıyla, sonrasında bu faaliyeti de kontrolüne alarak (Erdoğan, 2005) bölünmesi ile başlayan reformların gerçekleşmesine dek dikey entegre yapıda sektörün tekeli konumunda olmuştur.

1.2.1.2. Liberalleşme Akımı

Elektrik fiyatının piyasa güçleri tarafından belirlenmesi sonucunda oluşan rekabetçi fiyat ile sosyal refahın artırılmasını hedefleyen yeniden yapılanma, ya da serbestleşme akımı, temelde dikey zincirdeki üretim, iletim ve dağıtım faaliyetlerinin ayrıştırılması üzerine kuruludur. Bu akımın dünyanın farklı coğrafyalarındaki düşünce önderleri, toptan piyasalarda alım ve satımın rekabete açılmasını, elektrik şebekelerinin kullanımında da açık erişim rejimini benimsemişlerdir (Cheung vd., 2010:55). Bankacılık, telekomünikasyon, havacılık gibi sektörlerde özel teşebbüslere dayalı rekabetçi piyasa modeli genel itibarıyla küresel ölçekte elektrik piyasalarını da etkisi altına almıştır. 1980’lerde Güney Amerika ülkelerinde başlayan ve sınırlı başarı sağlayan serbestleşme akımı, borsalarda toptan alım satım, ticaret anlaşmalarına uzanan önemli adımların atıldığı 1990’lı yıllarda Avrupa, Avustralya, Yeni Zelanda ve kısmen ABD’de etkili olmuştur. İzleyen bölümde ana hatlarıyla ele alınacak olan ülkemizdeki sürecin yavaş ve inkıtalarla ilerlemesi, hukuki, siyasi ve bürokratik nedenler yanında yeni liberal yapıyı başarı ile uygulamış, dolayısıyla bu yönde gelişme kaydetmiş bir piyasayı örnek alma stratejisine bağlanabilir. Atiyas vd. (2012), 4628 sayılı ilk Enerji Piyasası Kanunu’nda (EPK) benimsenen piyasa modelinin, bu kanun ile aynı yılda, 2001’de

yapılmış olan İngiltere ve Galler'in kısa adıyla NETA olarak bilinen, "Yeni Elektrik Ticaret Düzenlemeleri"nden esinlendiğini belirtmişlerdir. İngiltere ve Galler'de daha önce geçerli olan merkezi, toptan ticaretin gerçekleştiği ve katılımın zorunlu olduğu havuz sisteminin yerine getirilen bu yeni model, ikili anlaşmalara ve gerçek zamanda talep ve arzı eşitlemeye yönelik dengeleme mekanizmasına dayanmaktadır (Atiyas vd., 2012:24).

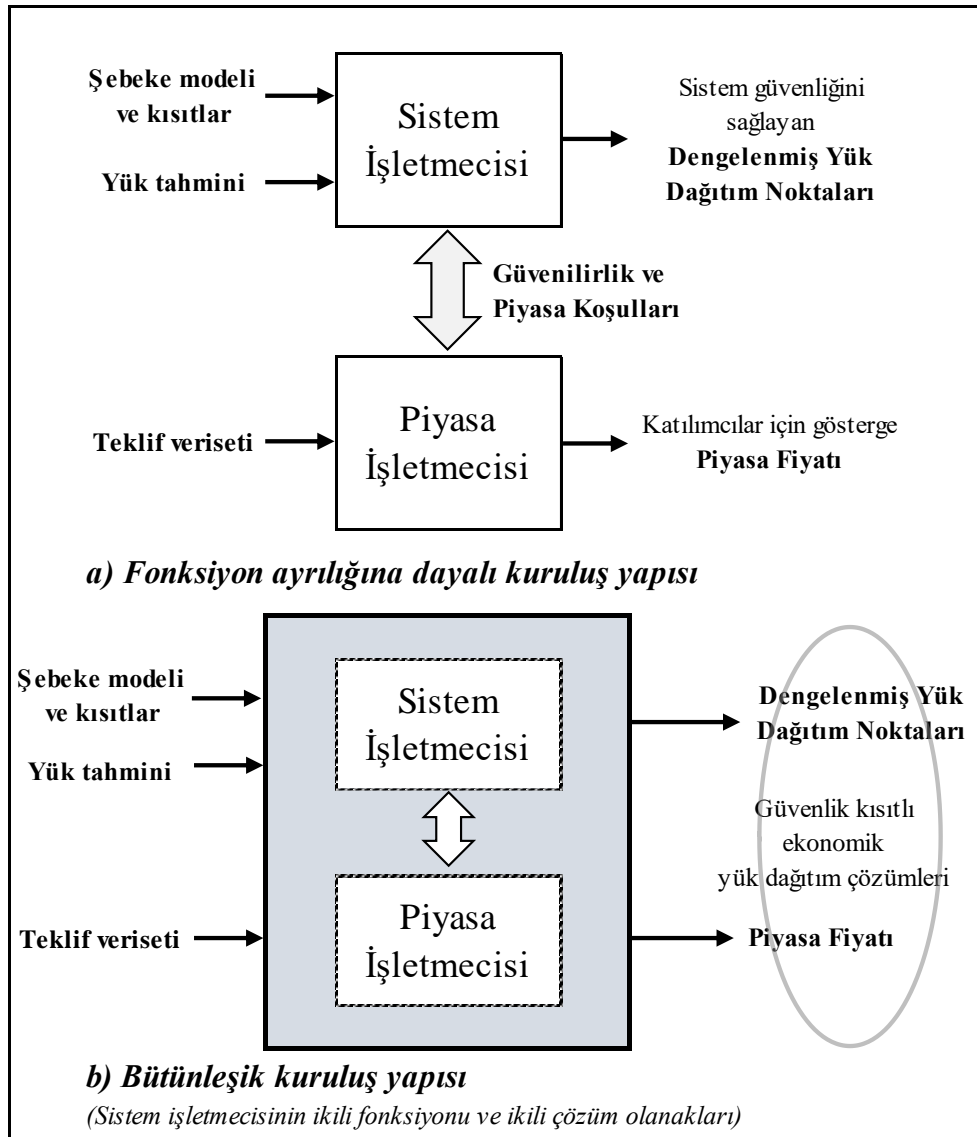


Şekil 13. Rekabetçi Piyasa Yapısı

Kaynak: Cheung vd. (2010, 59)

IEA'nın 2005 yılında yayımladığı ve elektrik piyasalarındaki liberalleşmenin sonuçlarını değerlendirdiği raporunda, her piyasaya uyan, başarı getirecek tek bir model olmadığı, ancak piyasaların geliştirilmesi için teknolojik trendlerden faydalanma ve daha fazla talep katılımına olan gereksinim boyutlarında artan baskının ortak payda olduğu belirtilmektedir. Bu manada piyasa tasarımlarında belli derecede yakınsama olabileceği kaydedilmiştir (IEA, 2005:97). Bu konuda Cheung vd. (2010), yıllar içerisinde başarılı piyasalardan diğer piyasaların öğrenmesi yoluyla genel piyasa tasarım ilkelerinin yakınsama eğiliminde olduğunu ifade etmektedirler. Bu araştırmacıların verdiği rekabetçi bir piyasa yapısının şematik gösterimi Şekil 13'te görülmektedir. Fiziksel ürün, bilgi ve sözleşme akışlarını da ele alan bu gösterim, ABD piyasalarına dönük hazırlanmış olsa da küçük sayılabilecek farklarla liberal piyasalarda görülen yapıyı özetlemektedir. Fiziksel ürünün akışını, entegre halde iken üçe ayrılan temel faaliyetleri yürüten şirketler

üzerinden gösteren sol taraf, elektrik piyasalarındaki liberalleşmenin özünü yansıtmaktadır. Dağıtım ve iletim hizmetleri fiyat düzenlemesine tabi iken dikey entegre yapıdan en önemli fark, üretim şirketleri için herhangi bir fiyat düzenlemesi bulunmamasıdır (Cheung vd., 2010:58-59). Rekabetle birlikte sistemin güvenilir ve ekonomik olarak yönetimi, sağ taraftaki unsurlara bağlıdır. Bu gösterimde ortada bulunan ve piyasanın rekabet kurallarına göre işlemlerini sağlayan sistem işletmecisine Şekil 14 ışığında bakmak daha uygundur.



Şekil 14. Sistem İşletimine İlişkin Yapılanma Biçimleri

Kaynak: Cheung vd. (2010, 63)

ABD’de ISO/RTO (Independent System Operator / Regional System Operator) kısaltma isimleri ile bilinen, bağımsız/bölgesel sistem işletmecisi şeklin alt kısmında

verilen bütünleşik kuruluş yapısındadır. Dolayısıyla Şekil 14'ün ortasında bulunan ve sistemi komuta eden beyin konumundaki yapı, finans bilimi çerçevesinde odaklandığımız piyasayı, ya da elektrik borsasını da işletmektedir. Burada sözü edilen piyasadan en fazla bir gün vadeli ve gerçek zamanlı, tüm katılımcılara piyasanın genel durumu hakkında gerekli sinyalleri sağlayan piyasayı anlamak gerekir. Uzun vadeli ikili anlaşmalar, taraflarca serbestçe akdedilmekte; fiziksel teslimat, yani iletim/dağıtım sisteminin kullanımı söz konusu ise sistem işletmecisine bilgi akışı sağlanmaktadır. Tedarik zincirini ele alan alt bölümde de değinilen kısıtlar, hatların kapasite, bakım durumu ya da olağanüstü gelişmeler (büyük bir birimin devre dışı kalması, yazılım kaynaklı sorunlar vb.) ile bağlantılıdır. Yük tahminleri, kısıtlar dikkate alınarak sistem güvenliğinin korunması, aynı zamanda optimal yük dağıtımını sağlayan noktaların tespit edilmesi için gereklidir. Bu yapı, Kuzey Amerika'da pazar tasarımına yönelik mükemmeliyetçi örneklerin genellemesi sonucu oluşan standart piyasa tasarımı kapsamında ele alınmıştır. Bütünleşik yapı, iletim kısıtlarının fazlaca olduğu bu geniş coğrafya için ikili çözüm, yani hem güvenlik kısıtlarına yönelik optimum açılımı hem de sistemde en ekonomik yükü sunmaktadır.

Yeniden yapılanma, iletim ve yan hizmetlere adil ve ayrıcalıksız erişimi güvence altına almak üzere iletim mülkiyeti ile iletimin kontrolünün farklı kuruluşlarda olmasını gerektirmektedir (Cheung vd., 2010:58). Burada, Joskow'un (2008) ABD'deki liberalleşme uygulamalarının sonuçlarını konu edindiği çalışmasında vurgu yaptığı "yeniden yapılanma" ifadesi dikkat çekicidir. Reform kararlarının eyaletlere bırakılması ve sektördeki Kaliforniya krizi²¹ gibi kötü örnekler, liberalleşme sürecini yavaşlatmış, hatta durdurmuştur. 2001'den sonra reformların tekrar yoğun bir şekilde ele alınması, yeniden yapılanma şeklinde nitelendirilmiştir (Joskow, 2008:10). Yukarıda sözü edilen standart piyasa tasarımı yaklaşımı, bu yeniden yapılanmadan çıkarılan derslerin neticesi

²¹ Sektörün liberalleşme sürecinde başarısızlık örneği olarak çokça ön plana çıkan Kaliforniya krizi, piyasa gücünün bir ya da ortak hareket eden birkaç katılımcıda toplanmaması gereğini, bu amaçla piyasa gözetiminin hayatiyetini ortaya koymuştur. 1998 Nisan'ında açılan piyasa, 2000 yılı Haziran ayından başlayarak, krizin en yoğun olduğu zamanda öncesinin 10 misline ulaşan yüksek fiyatlara sahne olmuştur (Borenstein, 2002:191). Önceki dönemlerden aktarılan nükleer santrallerin batık maliyetlerinin yeni modelde yükümlenilen maliyet ("stranded costs") olarak elektrik hizmeti sunan özel teşebbüslere bırakılması, bunun yanında regülasyona tabi olmayan üretici ve satıcıların gizli anlaşmalarla fiyatları fahiş seviyelere çekmesi, eyaletin en büyük hizmet şirketi Pacific Gas & Electric'in 2001 Mart'ında iflasına neden olmuştur. Kesintilerin çokça yaşandığı bu kriz dönemi, ağır sosyal ve ekonomik maliyetlere neden olmuştur.

olarak değerlendirilebilir. İletimde mülkiyet ve kontrol ayrımı gerekliliği de bu düzlemin bir parçasıdır.

ABD’de iletim kısıtlarının yoğunluğunun neden olduğu bu ayrımı, özellikle finansal piyasalardaki krizleri açıklayıcı niteliği ile finans teorisinde önemli yeri olan vekalet teorisi kapsamında değerlendirmek gerekir. İletim boyutundan bakıldığında, Cheung vd.’nin (2010) ortaya koyduğu gibi, güvenilir piyasa tasarımının özünde sınırlı iletim kapasitesinin tayinlanması yatmaktadır. Katılımcılara iletim sistemi ile ilgili olarak sunulan bilgi ve piyasa işletmecisi ile koordineli çalışma sonucu oluşan ve sistemin durumunu yansıtan fiyat, şeffaflık ve eşitlik prensiplerine dayanmalıdır. Kanun’umuzda da yer bulan bu ilkeler ve T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın (ETKB) haftalık olarak yayınladığı “Piyasa Gözlem Raporu” bu yönde atılan adımlardır. Piyasanın etkinliği ve krizlere dayanıklı olması noktasında, genelde enerji emtiasının, özelde elektriğin politik emtia olduğu gerçeği de göz ardı edilmemelidir. IER web sitesine göre ABD’de sektör, en başından beri siyasetle içli dışlıdır ve Edison, işinin temellerini kurmak için New York’lu politikacılara rüşvet vermek zorunda kalmıştır. Diğer taraftan, tam bilgilendirilmiş düzenleyicilerin olmadığını dağıtım şirketleri açısından ele alan Kopsakangas-Savolainen ve Svento (2012), maliyetlerine ve pazar faktörlerine ilişkin düzenleyici otoriteden daha fazla bilgiye sahip olan şirketlerin; tarifelerin düzenlenmesi sürecinde bunu tüketicilerin aleyhine kullanabileceğini belirtmektedirler. Araştırmacılar, bilgi asimetrisinin neden olduğu ek maliyetin azaltılmasına yönelik Finlandiya’daki dağıtım şirketleri üzerinde yaptıkları stokastik sınır analizi ile tarife düzenleme seçeneklerini toplam refah açısından ele almışlar; sonucunda hizmet maliyeti temelli regülasyonun, hedef bazlı diğer yöntemlere göre en verimsiz yöntem olduğunu ortaya koymuşlardır. Ülkemizde iletim ve dağıtım yatırım maliyetleri ve önemli gider kalemleri Ağırlıklı Ortalama Sermaye Maliyeti de dikkate alınarak tarifeler yoluyla karşılanmaktadır. Dağıtımda ayrıca kayıp kaçak oranları boyutunda hedef bazlı regülasyondan söz edilebilir.

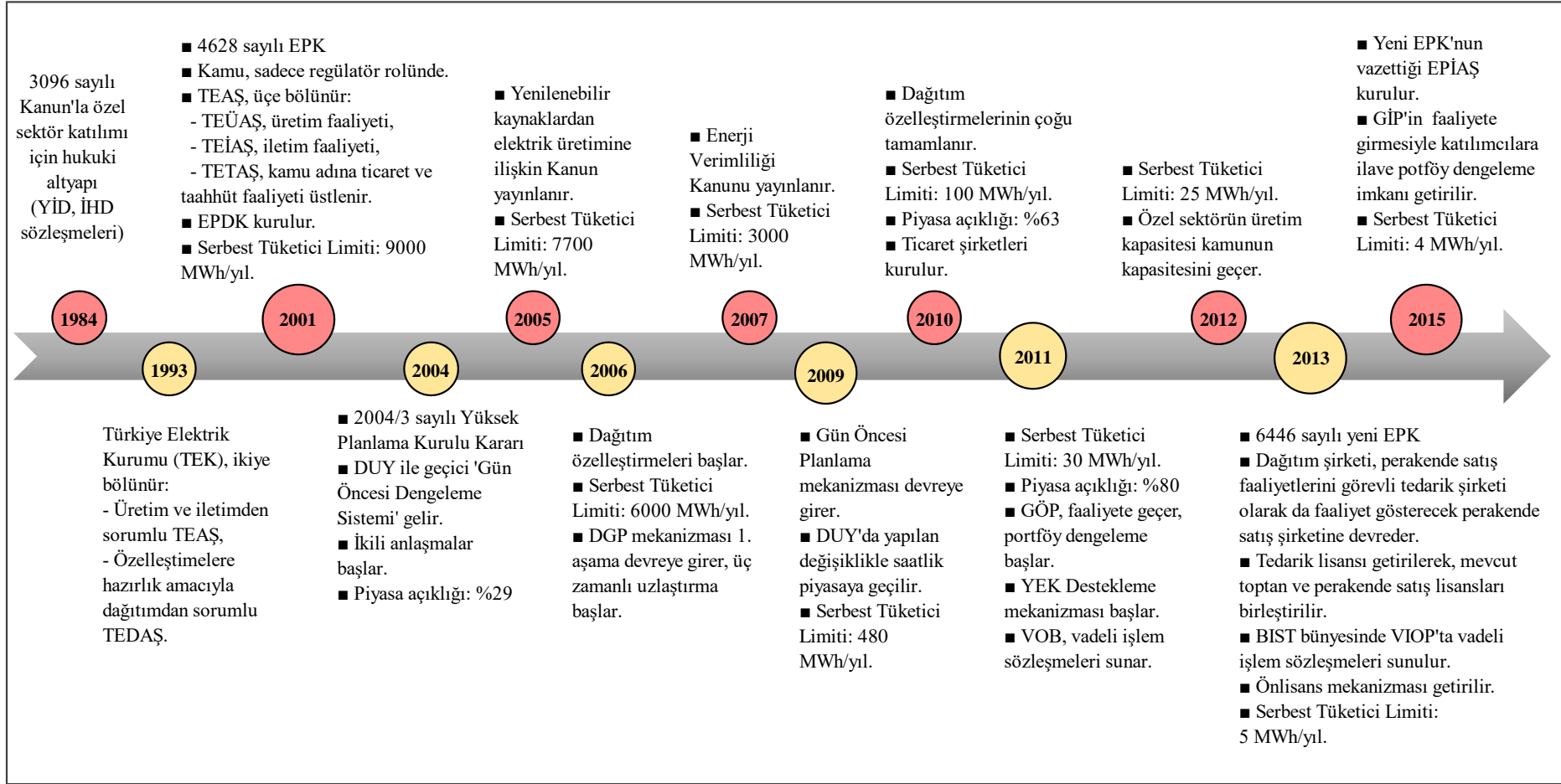
Her ne kadar liberalleşen piyasalar önemli mesafe kaydetmiş olsa da uygulama alanı bulan reformların hedefleri ne ölçüde karşıladığı da sıkça gündeme getirilmektedir. Kwoka (2008), çokça müdafisi olmasına karşın ABD elektrik endüstrisinin tüketiciler için daha fazla refah getirdiğine dair güvenilir ve ikna edici kanıtların az olduğunu belirtmektedir. Benzer şekilde, 20 yıllık reformları değerlendiren Borenstein ve Bushnell’in (2015) tespitleri ABD dışındaki piyasalar tarafından da dikkate alınmalıdır.

Bu bilim adamları, yeniden yapılanmanın ardındaki siyasi motivasyonun verimlilik iyileştirmeleri olmadığını, rant değişimi olduğunu iddia etmişler, bu açıklamalarının da elektrik reformlarına yönelik siyasi heyecanın bir artıp bir azalması ile desteklendiğini savunmuşlardır. Yeniden yapılanma, üretim verimliliğinde önemli iyileştirmeler getirmekle birlikte fiyatın geri geleceğine dair sözlerin yerine getirilmemesi, araştırmacılara göre hayal kırıklığı ile sonuçlanmıştır. Ayrıca sosyal açıdan maliyetli niteliğine karşın rant transferine imkân tanınması nedeniyle ayrıcalıklı taraflarca ekonomik olarak değerlendirilen dağıtımın hemen dahil olma özelliği taşıyan üretimde (güneş sistemleri) de, mevcut politik anlayışın zemin oluşturduğu dinamiklerin geçerli olduğu vurgulanmıştır (Borenstein ve Bushnell, 2015:1). Yenilenebilir kaynaklardan üretime verilen destekler, enerjide dışa bağımlılık ve çevresel etkiler boyutlarında önemli olsa da getirdikleri ilave maliyetlerin diğer katılımcılara ve topluma yansımaları ile beraber değerlendirilmesi gerekmektedir.

1.2.1.3. Piyasa Modelleri Işığında Ülkemizde Serbest Piyasa Gelişim Süreci

Yukarıda örnekleri verilen çalışmalar liberalleşmenin henüz beklenen sosyal faydayı sağlayamadığını ortaya koymaktadır. Belyaev (2011), reformların nedenlerinin ve amaçlarının ülkeye özgü olduğunu belirtirken, aynı zamanda genelleme yaparak gelişmiş ülkelerde reformların hedefinin yüksek fiyatları düşürmek olduğunu belirtmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde ise büyüyen talebe cevap verecek yatırımların yapılmasında hükümetlerin fonlarının yetersiz kalması reformların nedeni olarak gösterilmiştir (Belyaev, 2011:2).

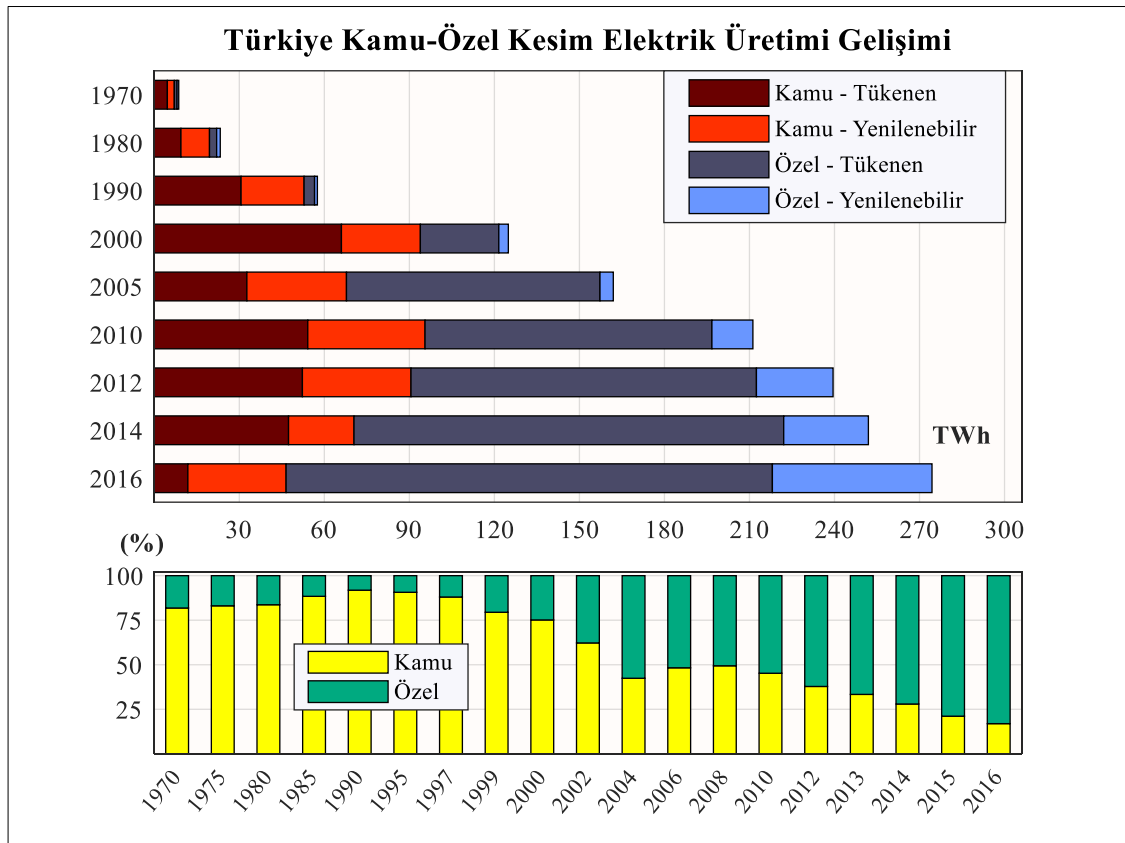
Ülkemizdeki reformları, 1982 sonrası dışa açık, kalkınmayı önceleyen ekonomik politikalar çerçevesinde değerlendirmek gerekir. Yakın tarihe kadar olan en önemli gelişmeler, Şekil 15'teki zaman çizelgesinde özetlenmiştir.



Şekil 15. Türkiye Elektrik Piyasası Serbest Piyasa Gelişim Süreci

Kaynak: Atiyas vd. (2012), EPDK, TEİAŞ, Tokyay ve Özdemir (2013)

Düzenleyici kurum olan EPDK'nın da kuruluşuna esas EPK'nın yayımlandığı 2001 yılına kadar üretim odaklı gelişmeler söz konusudur. Özel sektörü rekabete en açık faaliyet olan üretime yatırım yapmaya çekmek için gerekli zemin de 1984'ten itibaren oluşturulmaya başlanmıştır. Ancak, tartışmalar, itirazlar ve yargı süreci ile geçen bir dönem söz konusu olmuş, üretime özel sektörün dahil olma derecesi Şekil 16'dan da izlenebileceği 1999 yılından itibaren artarak 2016 yılında %83'e ulaşmıştır. Grafiğin üst kısmından özel sektörün üretimdeki pay artışının tükenen kaynaklara dayalı geliştiği görülmektedir. Sağladığı alım garantisi ile birlikte bu durum, Devletin, yine grafikten görüldüğü gibi, tükenen kaynaklara dayalı birimleri öncelikle elden çıkarma politikasına bağlanabilir. Yenilenebilir üretime yönelik destek mekanizmasının da bu tutum üzerinde etkisi dikkate alınmalıdır.



Şekil 16. Türkiye'nin Kamu-Özel Kesim Karşılaştırmalı Elektrik Üretimi Gelişimi

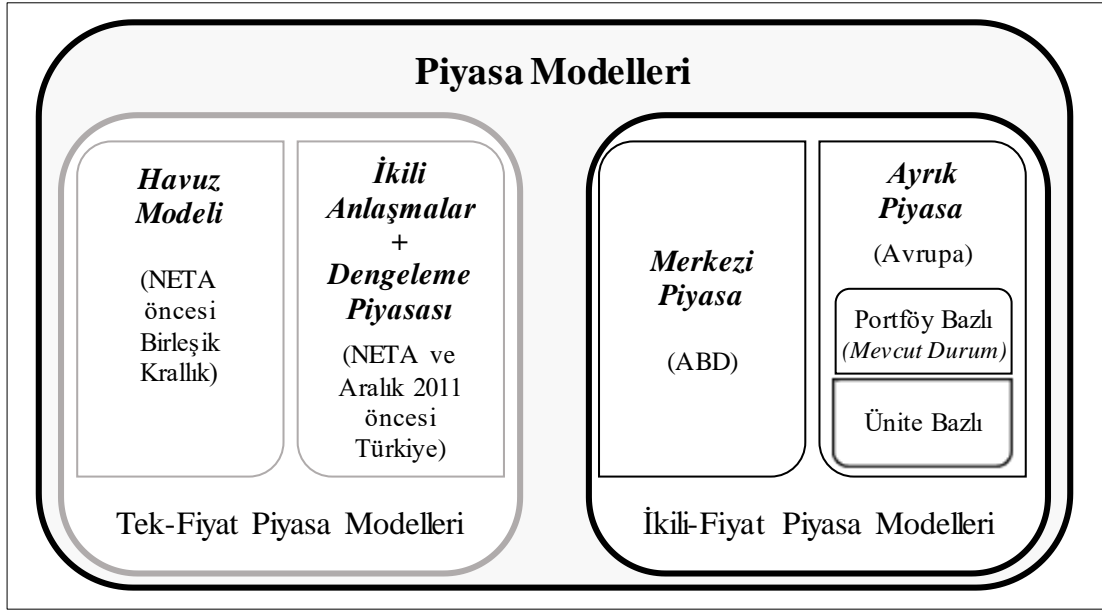
Kaynak: TEİAŞ verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

2004 yılından itibaren elektriğin serbestçe el değiştirmesine olanak tanıyan piyasaların işlerliği, artarak devam etmiştir. EPK'nın yürürlüğe girmesinden sonra geçen üç yıla piyasa modeline ilişkin arayışların yoğunlaştığı dönem olarak bakmak gerekir. Bu yılda yayınlanan Yüksek Planlama Kurulu'nun (YPK) 2004/3 sayılı "Elektrik Enerjisi

Sektörü Reformu Ve Özelleştirme Strateji Belgesi”, liberal piyasa yapısının ana hatlarını belirlemiştir. Belgenin “Piyasa Uygulaması” başlıklı altıncı bölümünün ilk cümlesinde, dengeleme ve uzlaştırma mekanizması ile bütünlenen, alıcılar ve satıcılar arasındaki ikili anlaşmalara dayalı bir serbest piyasa yapısı uygulanacağı ifade edilmektedir. Yine, aynı belgede ülke genelinde 21 dağıtım bölgesi kapsadığı iller ile birlikte ele alınmıştır (YPK, 2004:2-4). 2009 yılında devreye giren gün öncesi planlamaya kadar geçen süre hazırlık süresidir, ihtiyatlı bir politikayla bir önceki bölümde değinilen Cheung vd.’nin (2010) sözünü ettiği diğer piyasalardan öğrenme yaklaşımının izlendiği söylenebilir.

Talep tarafında tüketici katılımını sağlamak üzere ihdas edilen, tüketiciye tedarikçisini seçme olanağı getiren serbest tüketici kavramı, ilgili limitler giderek düşürülerek hayata geçirilmeye çalışılmıştır. Bu yolla tüketici yanında işlemin karşı tarafı tedarik firmalarının da piyasaya çekilmesi hedeflenmiştir. Tokyay ve Özdemir’in (2013) bu limitin 2015 yılında kaldırılacağına yönelik verdiği ön bilgiye karşın, limit halen oldukça düşük seviyelerde devam etmektedir. Tedarik zinciri ile ilgili bölümde belirtilen ortalama tüketim miktarı ve 2018 yılı itibarıyla 2 MWh/yıl (2018 yılbaşı itibarıyla ortalama 77 Türk Lirası (TL)/ay fatura tutarına tekabül etmektedir) olan serbest tüketici limiti kapsamında tüketicilerin tamamına yakını serbest tüketici mahiyetindedir. Teorik piyasa açıklığı, 2016 yılı limiti dahilinde %85,8’e ulaşmıştır (EPDK, 2017:52). EPDK, piyasa raporlarında yüksek teorik piyasa açıklığı oranlarına rağmen tedarikçisini değiştirme hakkını kullanan serbest tüketicilerin düşük düzeyde seyrettiğini de vurgulamaktadır. Piyasada rekabetin yıkıcı olmamak üzere yaygınlaşması gerekliliği ya da dağıtım şirketinden ayrılarak limit altında kalan tüketicilerin tedarikini üstlenen, yani görevli tedarik şirketi hüviyetini haiz perakende satış şirketlerinin tarife düzenlemeleri, limitin henüz kaldırılmamış olmasının nedenleri olarak değerlendirilebilir.

İzleyen bölümlerde fiyat hareketlerini ele alacağımız Gün Öncesi Piyasası (GÖP), Temmuz 2009’da uygulamaya konulan gün öncesi planlama mekanizmasının devamı niteliğindedir. Katılımın zorunlu olduğu bir piyasa olarak faaliyete geçen gün öncesi planlama, beraberinde daha istikrarlı bir fiyat yapısına sahip olan ikili anlaşmaların sayısı ve hacminde artış getirmiş; iki kez ertelemeden sonra, Aralık 2011’de yerini GÖP’e bırakmıştır (Tokyay ve Özdemir, 2013:5-9). Erdoğan (2010), GÖP’ü de içine alan ve fiyat oluşumunu sağlayan piyasalara yönelik modellerin genel bir tasnifini içeren Şekil 17 üzerinde, Türkiye’nin hedeflediği, bugün geçerli olan modeli de ele almıştır.



Şekil 17. Elektrik Piyasa Modelleri

Kaynak: Erdoğan (2010, 253)

Tek-fiyat piyasa modellerinde işleme konu elektriğin fiyatı, sistem işletme maliyetlerini de içerek şekilde elektrik değiş-tokuş fiyatı ve iletim fiyatından oluşmaktadır. İkili-fiyat modellerinde ise değişim konusu elektriğin fiyatı, iletim fiyatı ve sistem işletme maliyetlerinden ayrıştırılmıştır (Erdoğan, 2010:252). Doğası gereği merkezi ve ünite bazlı olan tek-fiyat modellerinde sadece gerçek zamanlı dengeleme piyasası mevcut olup nadiren ikili anlaşmalar pazarı bulunmaktadır. Bu modelde sistem işletmecisinin gün öncesinden yaptığı, genelde saatlik dilimlerde geçerli talep tahmini, dikey (doğrusal) talep eğrisini, üretim/satış teklifleri ise arz eğrisini oluşturmaktadır. Kesişim noktası, Sistem Gün Öncesi Fiyatını (SGÖF) ve ilgili dilim için geçerli üretim planını vermektedir. Yegâne piyasa olan ve ilerleyen alt bölümde ayrıca ele alınacak dengeleme piyasası, gerçek zamanda oluşan sapmaların neden olduğu dengesizliği sistem güvenliğini gözeterek en ekonomik şekilde gidermek üzere tasarlanmıştır.

GÖP, ikili-fiyat modellerinde söz konusu olmaktadır ve yukarıda ifade edildiği gibi bu piyasada işlem gören birim elektriğin fiyatı, iletim, sistem kullanım vb. unsurları içermemektedir. Erdoğan'nun (2010) da temas ettiği gibi bu piyasa, katılımcılara ve ilgililere fiyat sinyali vermektedir. Bu görevi de alım yönlü tekliflerle talebin de piyasa sürecine dahil olmasıyla yerine getirmektedir. Mevcut ayrık piyasa yapısından önce, GÖP'ün işlerlik kazandığı Aralık 2011'den Enerji Piyasaları İşletme A.Ş.'nin (EPIAŞ) kurularak Eylül 2015'te faaliyete geçtiği süre zarfında Şekil 14'te verilen ABD'de hâkim

Riskten kaçınma davranışı gösteren, dolayısıyla daha istikrarlı ticaret koşulları ve nakit akışı arayan katılımcılar, özel hukuk kurallarına tabi ikili anlaşmaları yeğlemektedir. İkili anlaşmalar, bu yönüyle dış ticaret firmalarının kur riskinden korunmak üzere finansal kuruluşlar ile akdettikleri kur forward sözleşmelerine benzemektedir. Yalnız bu forward sözleşmeler, iki farklı döviz cinsinin göreceli hareketinden kaynaklı riske odaklı iken, ikili anlaşma değişim konusu elektriğe dair unsurları da içermektedir. Bu unsurlardan biri olan teslimatın gerçekleşmesi iletim hattının kullanımını gerekli kıldığından, ilgili piyasa/sistem işletmecisine gerekli bildirim, ikili anlaşma taraflarınca birbirini ile uyumlu (toplamı sıfır) olmak üzere alım ve satım yönlü miktarlar girilerek yapılmalıdır. Herhangi bir g gününün 24 saatlik her bir birimi için bu bildirim, piyasa işletmecisi olan EPIAŞ'ın sistemine dahil olmak üzere en erken 60 gün önce, en geç bir gün önce (g-1 günü) saat 17:00'ye kadar "Piyasa Yönetim Sistemi" aracılığı ile gerçekleştirilmektedir (EPIAŞ, 2016:8,10). Şekil 18'deki gösterimde anlaşmanın gerçekleşmesi ile bildirim neredeyse eş zamanda yapılabileceği dikkate alınarak aradaki süre ihmal edilmiştir. Uygulamada vadesi çoğunlukla bir yılı geçmemekle birlikte ikili anlaşmaların yapılması, teslim zamanından iki yıl öncesine kadar uzanabilmektedir.

İkili anlaşmalar gibi fiyat riskinin yönetilmesine odaklı, ancak fiziksel teslimatın söz konusu olmadığı finansal uzlaşmaya dayalı sözleşmeler de piyasanın vadeli işlemler uzayının bir parçasıdır ve burada ele alınan spot piyasalardan GÖP ile yakın etkileşim içerisindedir. Giderek teslim zamanına, yani gerçek zamana yaklaşma sırasına göre ülkemiz özelinde ele alınınca EPIAŞ tarafından işletilmekte olan Gün Öncesi Piyasası (GÖP), Gün İçi Piyasası (GİP) ve sistem işletmecisi olan TEİAŞ'a bağlı Milli Yük Tevzi Merkezi (MYTM) tarafından işletilen Dengeleme Güç Piyasası (DGP) spot elektrik piyasasını oluşturmaktadır. Her üç piyasa da güvenlik koşulları ve teknik kalite standartları korunmak kaydıyla elektrik üretim ve tüketimini eşit tutarak dengelenmiş piyasanın ve ticaretin gerçekleşmesini sağlamaktadır. Yine her üç piyasa için bir gün, 00:00'dan başlamak üzere ertesi gün 00:00'da sona eren saatlik dilimlerden oluşmakta, teklifler bu dilimler bazında verilmekte ve kabul edilen teklifler fiziksel elektrik arz ya da talebi yükümlüğü doğurmakta, edimdeki noksanlıklar genel dengesizlik durumuna göre değişen ölçülerde katılımcılara maliyet getirmektedir.

1.2.2.1. Gün Öncesi Piyasası

İkili anlaşmalar, futures vb. türev araçlar için de referans fiyat oluşumunu sağlayan GÖP hem bu yönüyle hem de gün öncesi planlama ile sistem işletmecisine bir gün önceden dengelenmiş piyasa sunmasıyla literatürde en fazla öne çıkan spot piyasadır. Bu piyasaya katılım için yukarıda değinilen diğer spot piyasalarda olduğu ve DUY'da belirtildiği gibi lisans sahibi olmak gerekmektedir. Bu şart, Belyaev'in (2011) işaret ettiği gibi serbest piyasanın temel koşullarından olan pazara isteyen herkesin serbestçe girişine engel teşkil etmektedir. Ne var ki, finansal piyasalarda da serbest giriş koşullarının tam olarak sağlandığı söylenemez. Mishkin (2004), işlem maliyetlerinden dolayı bireysel yatırımcının dezavantajını öne çıkararak aracı kurumların ölçek ekonomisi sayesinde birim maliyetleri düşürebildiklerini belirtmektedir. Aynı durum burada da geçerli olmakla birlikte sistemde elektriğin anlık dengelenmesi gereği ve dengesizliğin doğurduğu maliyetler, abone bazında katılımı daha da zorlaştırmaktadır. Bu yüzden Şekil 13'te gösterilen tüketim taleplerini portföy halinde toplayan ticaret şirketleri talep yönlü katılımı sağlamaktadır. Akıllı sistemler ve tüketimi modelleyerek ticareti sağlayacak algoritmaların geliştirilmesi ile hem gerçek zamanlı hem de çok katılımcılı piyasalar gündeme gelebilecektir. Üretim tarafında pazara giriş koşulları yatırımın büyüklüğü ve hatların kısıtlılığı ölçüsünde daha ağırdır.

Beher katılımcı için en fazla 32 adet alış (+) ve 32 adet satış (-) yönünde olmak üzere miktar ve fiyat bilgilerini içerir saatlik teklifler toplanarak, arz-talep eğrisinin ve EPIAŞ'ın Piyasa Takas Fiyatı (PTF) belirleme yöntemine göre referans fiyatın oluşması GÖP ile sağlanmaktadır. Satış yönlü teklifler, fiyatlar miktar ekseninde artar, miktar ise bir önceki miktara göre marjinal üretim artışını gösterir şekilde yapılmalıdır. Alış teklifleri için tersi geçerli olmaktadır. Katılımcı bazında satış yönlü (-) teklifler, bir araya getirildiğinde Şekil 10'da verilen üretim yığımına benzemektedir. Alım yönlü (+) teklifler ile birlikte oluşan denge fiyatı her bir saat dilimi ve tüm katılımcılar için geçerli fiyatı (PTF) vermektedir. Nitekim bu fiyatın belirlenmesine yönelik optimizasyon probleminin teklifler ile oluşturulan arz-talep eğrisinde üretici ve tüketici artıklarının toplamı olan piyasa artığının en çoklanmasına dayandığı belirtilmektedir (EPIAŞ, 2016:7). Bir lotun 0,1 MWh elektrik enerjisine eşit olduğu bu piyasada finansal piyasalara benzer şekilde farklı teklif türleri bulunmaktadır. Saatlik tekliflerin yaygın olduğu piyasada diğer teklif türleri olan ardışık saatleri kapsayan blok ve saatten bağımsız esnek teklifler nedeniyle arz-talep eğrisinin kesim noktasından farklı PTF'ye ulaşmak olasıdır (EPIAŞ, 2016:3-7).

PTF için fiyat aralığı $[0,2000]$ TL /MWh olup enerji (arz) fazlasında alt limit, enerji eksikliği (talep fazlası) durumunda üst limit geçerli olmakta ve teklifler eğrilerin fiyat sınırlarında oluşan miktarların farkı ölçüsünde kesintiye uğratılmaktadır.

Genel olarak piyasalarda teklifi kabul edilmek şartıyla her katılımcıya uygulanmak üzere tek tip (yeknesak) ve katılımcı bazında teklife göre fiyatlandırma olmak üzere iki tür fiyat belirleme yöntemi bulunmaktadır (Shahidehpour vd., 2002:336). GÖP'te oluşan PTF, yukarıda belirtildiği gibi her katılımcıya aynı fiyatın uygulandığı yöntemle dayanmaktadır. Bu yöntem, üreticilerin marjinal maliyeti konusunda da piyasa işletmecisine bilgi sağlar mahiyettedir. Bu iki yöntemi Kaliforniya krizi özelinde ve krizin hemen akabinde ele alan Kahn vd. (2001), tek tip fiyatlandırmadan teklife göre fiyatlandırmaya geçişin tedarikçileri yüksek fiyatların olumsuzluklarından kurtaracağına dair beklentileri mercek altına almışlardır. Araştırmacılar, dönüşümden beklenen tasarrufa ket vurulacağını, bu dönüşümün sisteme yük temininde verimsizliklere neden olarak üreticilere ilave maliyetler getireceğini, rekabeti zayıflatacağını ve yeni kapasite yatırımlarını engelleyeceğini belirterek tüketiciler açısından da dönüşümün fayda yerine zararlarla sonuçlanacağını belirtmişlerdir (Kahn vd., 2001:2). Teklife göre fiyatlandırma, fiziksel teslimatla sonuçlanmayan, dolayısıyla finansal yönü ağır basan türev enstrümanlar için referans fiyat oluşumuna, dolayısıyla bu araçlarla ilgili işlemlerin uzlaştırılmasına ve uzun vadeli olanlarının gerçeğe uygun değer (Marked-to-Market-MTM) düzeltilmesine imkân vermemektedir (Kaminski, 2012:771). Liberalleşmiş elektrik piyasalarında gün öncesi piyasalar, finansal uzlaştırmalar ve hesaplamalar için referans fiyat sağlamasıyla öne çıkan ve en geniş hacme sahip piyasalardır.

1.2.2.2. Gün İçi Piyasası

Gün İçi Piyasası (GİP), GÖP'ü tamamlayıcı nitelikte bir elektrik spot piyasasıdır. Ülkemizde 01.07.2015 itibariyle faaliyete geçen GİP, daha şeffaf ve etkin, mali açıdan güçlü, Avrupa elektrik piyasaları ile entegre yapıda Türkiye Elektrik Piyasası hedefinin bir uzantısıdır (EPIAŞ, 2017:3). Herhangi bir g gününün herhangi bir saat dilimi için GÖP, $\mathcal{F}_{g-1, 12:30}$ filtrasyonuna (bilgi setine) dayalı iken GİP, GÖP'te fiyat kesinleştikten ($g-1, 14:00$) ve katılımcılara ilan edildikten sonra $g-1$ gününde saat 18:00'de açılmaktadır. Bu piyasa için son teklif verme, yani kapı kapanış zamanı teslimatın yapılacağı saat diliminin 1,5 saat öncesidir. Dolayısıyla GİP, piyasa katılımcısına g gününde s ile başlayan saatlik dilime ilişkin ticaretinde $\mathcal{F}_{g, s-01:30}$ filtrasyonunu kullanma olanağı tanımaktadır. Her iki piyasa için sözü edilen

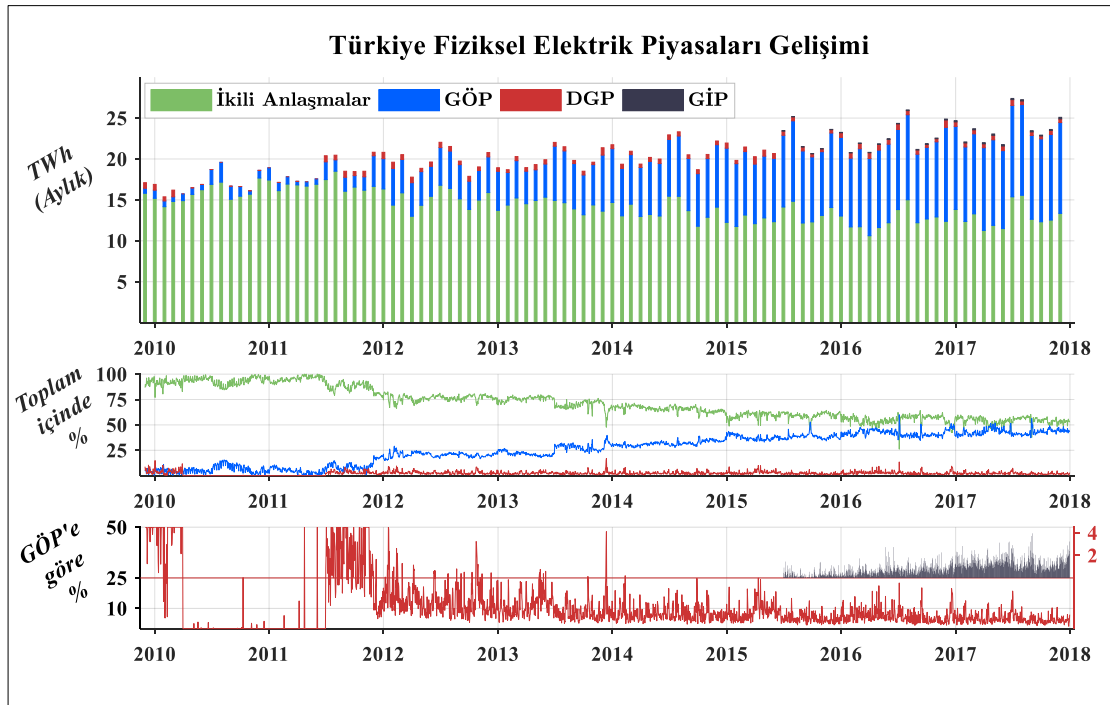
filtrasyonların sadece fiyata yönelik faktörleri içerdiği düşünülmemelidir. Fiziksel teslimat yükümlülüğü bulunduğu için ticarete konu miktar da önemlidir. Üretim ve tüketim tahminlerindeki hatalar gerçek zamanda piyasa dengesizliğine yol açtığından sapmalar, DUY'un 110. maddesinde formüle edilen dengesizlik tutarının oluşmasına neden olmaktadır. Birden fazla katılımcının dengesizliklerinin zıt yönde birbirini nötrleyici etkisi söz konusu olacağından düzenleyici otorite olan EPDK, katılımcılara grup oluşturarak portföylerini daha etkin dengeleme fırsatı getirmiştir. Bu uygulama ile düzenleyicinin spot elektrik piyasalarının işlerliğinin ve toplam hacminin artırılmasını amaçladığı düşünülmelidir.

Dengesizliğin ve katılımcılara getirdiği bedelin bu alt bölümde ele alınmasının nedeni, GİP'in yukarıda sözü edilen yeni bilgileri içerir filtrasyon ile ek dengeleme ve ticaret alanı sağlamasıdır. Üretici ya da tüketicinin gün öncesi programı kesinleştikten sonra ortaya çıkabilecek, değişen şartların (arıza, iklim şartları, rezerv durumu vb.) getirdiği dengesizlik, GİP ile bir ölçüde giderilebilmektedir. Ancak bunun gerçekleşmesi, söz konusu dengesizlik ile zıt yönde ve tutarını azaltıcı teklifin varlığına bağlıdır. Dengesizlik riskinin yönetiminde teklif türüne bağlı olarak miktar eşleşmesi de önem kazanmaktadır.

GİP'e verilen teklifler, GÖP'te olduğu gibi tek oturumda değil anlık değerlendirilmekte ve tekliflerin eşleşme kuralları sağlanıyorsa ticaret gerçekleşmektedir (EPIAŞ, 2017:4). Diğer bir ifadeyle borsalarda işlem gören hisse senedi işlemlerinde geçerli sürekli müzayede yöntemi GİP'te de geçerli olmaktadır. GÖP'te geçerli lot büyüklüğünün benimsendiği bu piyasada da (1 lot = 0,1 MWh) saatlik ve blok olmak üzere iki teklif türü bulunmaktadır. Tek bir saatlik dilim için geçerli olan saatlik teklifler de kendi içinde varsayılan tür olan Aktif, Olanı Eşle ve Yok Et, Süreli ve Tamamını Eşle veya Yok Et olmak üzere dört türe ayrılmaktadır. Bölünemez nitelikte olan blok teklifler, aynı günde kalmak şartıyla en az bir, en fazla yirmi dört saatlik dilimler için verilir ve bu tekliflerde Aktif ile Süreli olmak üzere iki tür geçerlidir. Sistem için maliyeti azaltacak şekilde alış teklifleri en yüksekten, satış teklifleri en düşükten başlamak üzere sıralanmakta ve eşleşmelerde önce fiyat, sonra teklif zamanı önceliği esas alınmaktadır (EPIAŞ, 2017:5-8).

Önceki bölümlerde değinilen Avrupa ortak elektrik pazarı hedefi doğrultusunda başta Almanya, İngiltere, Fransa olmak üzere birçok Avrupa ülkesinin spot elektrik

piyasalarını bünyesine alan EEX Group'un spot piyasaların işletilmesinden sorumlu iştiraki Epex Spot SE'nin 2017 yılı ilk beş ayına ilişkin verilerini içerir sunumuna göre miktar cinsinden gün içi piyasaların toplam hacmi, gün öncesi piyasaların toplam hacminin %15'ine ulaşmıştır (Epex Spot SE, 2017:8-9). Ayrıca, güneşe dayalı fotovoltaik sistemler ve rüzgâr santrallerinde oldukça ileri olan Almanya'da her iki kaynağın değişken yapısından dolayı fiili güneş ve rüzgâr üretimlerinin ticaretinde gün içi piyasaların elverişli olduğu belirtilmektedir (Judisch, 2014:18). Ülkemiz elektrik piyasalarının toplam fiziksel hacim içerisindeki payını ve GİP'in kuruluşundan 2017 yılı sonuna kadar hacmini gösteren Şekil 19 ve yenilenebilir üretimdeki artış trendi birlikte değerlendirildiğinde bu piyasanın gelişime açık olduğu görülmektedir. Piyasanın girişte belirtilen ek dengeleme ve ticaret alanı sağlamasının getirebileceği fayda, gerçek zamana yönelik doğru ve kullanışlı, öngörüne elverişli ilave bilgi setine ve bunun etkin kullanımına bağlı kalmaktadır. Bu alanda spekülative ya da arbitraja yönelik işlem yapmak katılımcı açısından büyük risk taşımaktadır, tahmine dayalı ticaretin ilk adresi gün öncesi piyasalar olmalıdır. Bu bağlamda katılımcıların her iki piyasadaki faaliyetleri ve göreceli hacimler, piyasa gözetimini gerekli kılmaktadır.



Şekil 19. Türkiye Fiziksel Elektrik Piyasaları Gelişimi

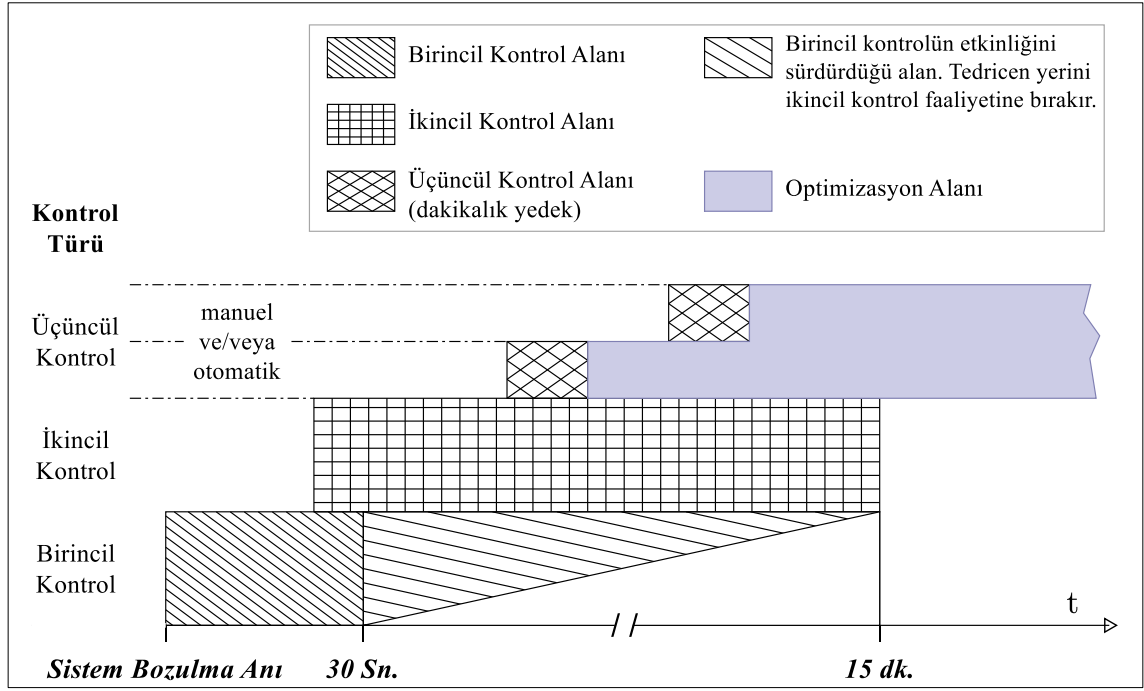
Kaynak: EPİAŞ verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

1.2.2.3. Dengeleme Güç (Gerçek Zamanlı) Piyasası

Gerçek zamana en yakın ticaretin gerçekleştiği piyasa olan DGP'de teklifler gün öncesinden (g-1,16:00; kesinleşmesi 17:00²²) verilmekte, ancak bunların talimata dönüşmesi gerçek zamandaki dengesizlik beklentisi ve durumuna göre ilgili saat dilimine yakınsamaktadır. Daha özellikli bir piyasa olan DGP, diğer iki piyasadan önemli ölçüde ayrılmaktadır. ENTSO-E web sitesindeki bilgilere göre dengeleme, piyasalar (kapı) kapandıktan sonra iletim sistemi işletmecisinin gerçek ya da gerçeğe yakın zamanda talep ve arzın eşit tutulmasını sağlamaya yönelik işlemlerini içine alan faaliyetler bütününe karşılık gelmektedir. GÖP'ün gün öncesinden, GİP'in birkaç saat öncesinden değişen ölçekte dengeleme fonksiyonları olsa da bu ifade, dengelemenin gerçek zamandaki zorluğuna ve öne çıkışına dikkat çekmektedir.

Normal şartlarda şebeke boyunca, depolama imkânı bırakmayacak şekilde üretim ve tüketim kusursuzca senkronizedir. Bu ikili kısa bir zaman için bile olsa denge dışına çıkarsa elektriğin frekans ve gerilimi dalgalanmaya başlar (Bunn, 2004:3). Yapısal özelliklerle ilgili alt bölümde değinilen frekans limitleri bu açıdan önem kazanmaktadır. Frekansın ideal değeri olan 50 Hz.in altında olması, sistemde çekiş yönünde enerji fazlalığı anlamına gelir, yani üretim eksikliği sinyalini verir. Hassas olan sapma toleransı (%4), hem sürekli takibi hem de buradaki durumda sapma derecesine bağlı olarak sisteme enerji, yani yük almayı gerekli kılmaktadır. Yük alma, DUY'da da hüküm altına alındığı üzere talimata istinaden üretimi artırma ya da tüketimi azaltma yoluyla sisteme enerji satışını ifade etmektedir. Yük atma ise tersi durumdur ve frekansın normal değerler üzerinde bulunması sinyaline karşılık sistemde enerji fazlasını gidermeye yöneliktir. Yük alma ve yük atma faaliyetlerinin sistem bütünlüğü ve arz güvenilirliği kapsamında kısa sürelerde gerçekleştirilmesi gerektiğinden bu piyasaya katılım için üretim/tüketimini çabukça değiştirme kabiliyeti esastır.

²² Gerçek zamanlı dengeleme söz konusu olduğu için süre sınırlamaları diğer iki spot piyasada olduğu gibi katı değildir. GİP'te yapılan işlemler nedeniyle ya da buna bakılmaksızın GİP kapı kapanış zamanını takip eden yarım saat sonrasına kadar talimat miktarlarında güncelleme yapılabilmektedir.



Şekil 20. ENTSO-E Sistem Kontrol Faaliyetleri

Kaynak: UCTE²³ (2004, A1-23)

Sistemdeki dengenin bozulmasını takiben yerine getirilecek kontrol faaliyetleri, ENTSO-E sistemi özelinde Şekil 20’de görülmektedir. Elektrik Şebeke Yönetmeliği’nde benzeri verilerden daha kapsamlı olan bu şekilde kontrol alanlarının denge için gerekli değişen miktarda yedek kapasite barındırdıkları göz önünde bulundurulmalıdır. Elektrik Piyasası Yan Hizmetler Yönetmeliği, birincil frekans kontrol yedeğinin dengeleme kapsamında başka bir piyasaya teklif edilemeyeceğini, ikili anlaşmalara da konu olamayacağını hüküm altına almıştır. Adından ve Şekil 20’den de görüldüğü gibi dengenin bozulması anında sistemi; ilk etapta 30 saniye, sonrasında ikincil kontrol görevi alana kadar, tedrici azalmak suretiyle 15 dakikaya kadar idare edecek ilk kaynak birincil rezerv olmaktadır. Adı geçen yönetmelik ve Elektrik Şebeke Yönetmeliği’ne göre birincil ve ikincil rezervler DGP’nin alt kolu olan yan hizmetler kapsamındadır. Bu kapsamda sistem işletmecisi TEİAŞ (MYTM aracılığıyla), her iki tür yedek kapasitenin kiralanmasını teminen ihaleler düzenlemektedir. Elektrik Şebeke Yönetmeliği, her iki yedek kaynağa ilişkin düzenlemelerinde ENTSO-E gereksinimlerine, bu devasa ağa bağlı

²³ Kıta Avrupasının elektrik iletim şebekesinin işletimi ve geliştirilmesini koordine eden “Union for the Coordination of the Transmission of Electricity”, 2009 yılında dağılmış, bütün operasyonları ENTSO-E’ye devredilmiştir (ENTSO-E web sitesi).

olan ya da olmayan komşu dış enterkonneksiyon bağlantılarına uygunluğa ve iç enterkonnekte sistemin bütünlüğüne vurgu yapmaktadır.

Spot piyasalar kapsamında DGP’de katılımcıların ferdi ya da grup halinde dengesizlik bedellerinin hesaplanmasında da kullanılan sistemdeki son yükün gerçek zamandaki maliyeti, bilinen ismiyle Sistem Marjinal Fiyatı (SMF) oluşmaktadır. Herhangi bir saat diliminde üretim ve tüketim dengesinde²⁴ bozulma yaşanmazsa SMF, PTF’ye eşit olmaktadır. Dengesizlik halinde DGP’de verilen yük alma teklifleri sistemin ilave enerji ihtiyacını en az maliyetle karşılamak üzere en düşükten başlayarak sıralanmakta ve değerlendirilmektedir. Teklif en fazla 15 miktar seviyesinde verilebilmekte; ilk seviye için kesinleşmiş günlük üretim/tüketim programına göre, diğer seviyeler içinse bir öncekine göre üretim artış/tüketim azalış miktarı ve karşılığında talep edilen monoton artan fiyat ikililerinden oluşmaktadır. Yük alma teklifleri de enerji fazlasına ilişkindir ve yük alma teklif kurallarının tersi geçerlidir. Elektrik Şebeke Yönetmeliği’nde tanımlandığı gibi her iki talimat türü aracılığıyla dengeleme birimlerinin 15 dakika içinde gerçekleştirebildikleri çıkış gücü üçüncül frekans kontrol yedeğini oluşturmaktadır. Güvenlik koşulları ve eşit işlem ilkesi göz ardı edilmeksizin DGP’ye verilen teklifleri değerlendirerek talimatlar yoluyla toplam maliyeti azaltma, sosyal faydayı maksimum kılma hedefine yönelik olarak sistem işletmecisi Şekil 20’de üçüncül kontrol alanında belirtilen gerçek zamanlı optimizasyon problemi ile karşılaşmaktadır.

Piyasa, bağımsız olarak 15 dakika içerisinde 10 MW yük alabilen veya atabilen dengeleme birimleri ile işlerlik kazanır. Bu şartı sağlayan birimler DGP’ye katılmakla yükümlü tutulmuştur. DGP’nin gerçek zamanlı dengeleme faaliyeti, etkin ve kesintisiz iletişimi gerekli kıldığından ilgili mevzuat bu konuda düzenlemeler getirmiştir. Yerine getirilmeyen yük alma/atma talimatlarına ilişkin DUY’a konulan ilave maddelerle talimata uymayan katılımcıların ikame edilen yeni talimatların getirdiği ek maliyeti yüklenmeleri hüküm altına alınmıştır. Bu kapsamda, talimatların değerlendirilmesinde üretim faaliyeti gösteren dengeleme biriminin geçmiş performansının da dikkate alınan kriterler arasında olduğu ilgili prosedürde belirtilmiştir (EPDK, 2011:5). Bahsi geçen düzenlemeler, uzlaştırma hesaplamalarında önemli yeri olan ve tüm fiziksel piyasa katılımcılarını etkileyen dengesizlik tutarlarında kullanılan SMF’nin şeffaf ve adil bir şekilde belirlenmesine yöneliktir. Sistem işletmecisi tarafından ilgili dilimin sona

²⁴ DUY’da ve diğer düzenlemelerde ayrıntılı ele alındığı gibi bu dengede iletim kayıpları da devreye girmektedir.

ermesinden itibaren dört saat içinde belirlenerek katılımcılara ilanı gereken SMF'yi barındıran dengesizlik tutarına ilişkin formül, toplam sistem ile aynı yönde dengesizliğe düşmüş tarafları daha fazla olmak üzere, miktar farklarını cezalandıran yapıdadır.

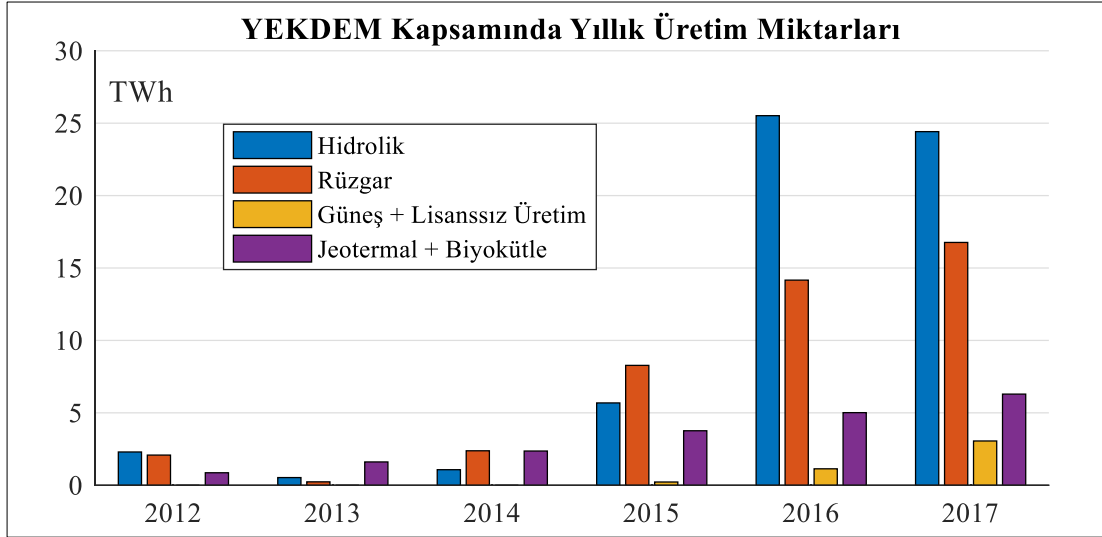
1.2.2.4. Spot Piyasaların Gelişimi

Gün öncesi piyasalar, elektrik piyasalarının serbestleşme sürecinde öncelikle tasarlanan ve işlerlik kazanan spot piyasalardır. Diğer spot piyasalardaki işlemleri de yönlendirici olan PTF, GÖP'te oluşmaktadır. Bu nedenle GÖP, elektrik spot piyasalarında merkezi konuma sahiptir. Bu bağlamda Aralık 2009'dan 2017 yıl sonuna kadar piyasa hacimleri (miktar) üzerinden fiziksel elektrik piyasalarının gelişimini ele alan Şekil 19'da gözlenen önemli bir kırılma noktası, Aralık 2011'e denk düşmektedir. Bu zaman dilimi, planlama faaliyeti ile başlayan GÖP'ün piyasaya dönüştüğünü, piyasa toplam payındaki artış ile perçinlemektedir. Zaman içerisinde ikili anlaşmalardan GÖP'e doğru kayış bu iki piyasanın yaklaşık olarak eşitlenmesini beraberinde getirmiştir. Bu gelişmeyi piyasa henüz yeni faaliyete geçerken, Akkemik ve Oğuz'un (2011) sistemin esasen ikili anlaşmalara dayandığı ve spot piyasanın ikincil bir rolü olduğuna dair bilgilendirmeleri ile birlikte okumak gerekir. Bu anlamda GÖP artarak spot elektrik piyasalarını temsil etme özelliği taşımakta, bunun ötesinde oluşan spot fiyat olan PTF gerek ikili anlaşmalar gerekse türev ürünler için anlamlı bir referans fiyat niteliği kazanmaktadır. Üçüncü alt grafikte GÖP'e göre normalleştirilmiş hacimleri verilen DGP ve GİP, kendilerine özgü amaç ve fonksiyonları, ilaveten farklılaşan riskleri ölçüsünde daha sığ piyasalardır.

Piyasa gelişim sürecini kronolojik olarak ele alan Şekil 15'ten izlenebileceği gibi spot piyasaların yapısal kurgusu, piyasa işletmeciliğinin 2015 yılında EPİAŞ'a devredilmesi ve GİP'in ek bir piyasa olarak işlerlik kazanması ile tamamlanmıştır. EPİAŞ'ın ortaklık yapısında piyasa oyuncularının yer bulması, işletmeciye ve spot piyasalara güvenin oluşturulmasına ve piyasaların sağlıklı bir şekilde gelişebilmesine yönelik önemli bir adımdır. 2015 yılı sonrasındaki piyasa gelişmelerini yönlendiren ana unsurlar, elektrik piyasasına yönelik mevzuat değişiklikleri ile bu piyasa ve yakın etkileşim içerisinde bulunduğu piyasalardaki gelişmelerdir.

Enerji öz yetersizliğimizin neden olduğu olumsuzlukları kısmen gidermek üzere tasarlanan YEKDEM'in piyasa gelişimi üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. EPDK'nın raporlarına göre 2014 ve sonraki yıllarda YEKDEM kapsamında

gerçekleştirilen üretimin toplam üretimdeki payı yüzde cinsinden sırayla 2,3; 6,8; 16,8 ve 17,26 olarak gerçekleşmiştir (EPDK, 2015; 2016; 2017; 2018). Bu raporlarda yer alan bilgilere göre yenilenebilir kaynaklara göre miktar cinsinden YEKDEM üretimlerinin seyri Şekil 21’de sunulmuştur.



Şekil 21. YEKDEM Kapsamında Yıllık Üretim Miktarları (2012-2017)

Kaynak: EPDK Elektrik Piyasası Piyasa Gelişim Raporlarından yararlanılarak hazırlanmıştır.

YEKDEM, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan üretim şirketlerinin kaynak cinsine bağlı olarak üretimlerini, belirli bir dönem boyunca, USD’ye endeksli olarak satmalarına imkân tanıyan bir destekleme mekanizmasıdır. Piyasa katılımcıları YEKDEM’e tabi olacakları takvim yılı öncesinde gerekli müracaatları belirlenen süre dahilinde yapmakla bu mekanizmaya dahil olmaktadır. Mekanizmaya izleyen yıl için dahil olma, üreticiler açısından bir nevi opsiyondur. Opsiyonu kullanan üretici yıl boyunca mekanizmaya bağlı kalmaktadır²⁵.

2014 yılından sonra üreticilerin YEKDEM mekanizmasına yönelmelerinin en önemli nedeni, USD kurundaki artıştır. Bir önceki yıla oranla ve yüzde cinsinden olmak üzere 2014 - 2017 yıllarında USD kurundaki artışlar, 15,07; 24,32; 11,07 ve 20,73 olarak gerçekleşmiştir. Finansal açıdan değerlendirildiğinde söz konusu yönelim, üretim

²⁵ Mayıs 2016 itibarıyla YEKDEM opsiyonunu kullanan üreticiler, ürettikleri enerjiyi piyasaya (GÖP) ya da arzu ettikleri katılımcıya satabilmektedirler. Getirilen düzenleme ile destekleme mekanizması devam etmekle birlikte dengeleme boyutunda ilave koşullar getirilmiştir.

şirketlerinin yatırımlarından kaynaklanan ve döviz cinsinden olan yükümlülüklerinin finansal tablolar üzerindeki olumsuz etkisinden kaynaklanmaktadır.

Diğer taraftan, USD kuru üzerinden hesaplanan elektrik enerjisi bedeli ile PTF arasında oluşan fark, “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmelik” ile tanımlanan formüller kullanılarak tedarikçiler tarafından karşılanmaktadır. Nihayetinde tarifeler yoluyla tüketiciye aktarılan bu maliyet bileşeni, tedarikçiler açısından büyük bir risk unsurudur. Zira elektriği satacağı müşterisi ile önceden sözleşme akdeden tedarikçi için hem USD kuru hem de PTF düzeyine bağlı olan ilave bileşenin öngörülmesi oldukça güçtür.

Yukarıda değinilen Devletin özelleştirmelerde tükenen kaynaklara dayalı üretim birimlerini öncelikle elden çıkarma politikasını da bu mekanizma kapsamında değerlendirmek gerekir. EEX AG’nin (2014) 2013 yılına ilişkin raporunda belirtildiği gibi Almanya’da hızla artış gösteren yenilebilir üretime ilişkin kanuni düzenlemeler ve piyasa yapısına etkileri, tüm piyasa oyuncularının ilgi odağındadır. Yenilebilir enerji üretiminin sisteme entegrasyonuna ilişkin olarak piyasa temelli bir yaklaşım izlenmesi, bu piyasa işletmecisi tarafından politika önerisi olarak sunulmuştur (EEX AG, 2014:29). Bir taraftan enerji yeterliliği ve çevresel etkilere yönelik iyileştirici yönleri ile ön plana çıkan, diğer taraftan serbest piyasa yapısına yönelik olumsuz etkileri bulunan destekleme mekanizması, önümüzdeki yıllarda ülkemiz piyasasının gelişimini önemli ölçüde yönlendirme potansiyeline sahiptir.

İKİNCİ BÖLÜM

ELEKTRİK FİYAT DİNAMİKLERİ VE MODELLERİ

Esnek olmayan talepten ve (çıktı miktarı tam kapasiteye yaklaşırken) esnek olmayan arzdan kaynaklanan fiyat oynaklığı, elektrik üretiminin yüksek sermaye yoğunluğu nedeniyle daha da şiddetli bir hal almaktadır.

S. Borenstein (2002)

Fiyat modelleri, finansal varlıkların fiyatlarını etkileyen faktörlerden yola çıkarak fiyat oluşum mekanizmasını ekonometrik, matematiksel yöntem ve araçlar yardımıyla gerçekleştirmelere mümkün olduğunca yakın şekilde tasvir etme çabasından doğmuştur. Tarihi verilerden hareket eden modellerden bazıları, piyasa ve varlığa özgü dinamikleri, Sermaye Varlıkları Fiyatlama Modeli (Capital Asset Pricing Model), Arbitraj Fiyatlama Modeli (Arbitrage Pricing Model) ve Black-Scholes-Merton Modeli (BSMM) örneklerinde olduğu gibi sistematik hale getirerek referans fiyatlama modelleri haline gelmiştir. Ancak fiyatlama pratiği açısından kullanışlı ve kolay uygulanabilir bu modeller, piyasanın bazı gerçeklerini yakalayamamaktadır. Örneğin; BSMM, volatilité yüzeyinde bazen asimetrik olmak üzere gözlemlenen sert kavisleri (kıvrımları) açıklayamamakta (Austing, 2014:58), dolayısıyla daha ileri modeller için stokastik kalkülüsteki gelişmelere başvurmayı gerektirmektedir.

Stokastik kalkülüs, uygulamaları sadece finansla sınırlı olmayan, sosyal bilimlerde çokça karşılaşılan rassal süreçleri de ihtiva edecek şekilde; deterministik problemlere odaklı klasik kalkülüsten genişletilmiş, uygulamalı matematiğin bir koludur. Finans teorisinin piyasaların nasıl çalıştığını, etkinliğini ve nasıl düzenlenmesi gerektiğini kavrama çabalarına vurgu yapan Shreve (2004), finans çalışmaları ile stokastik kalkülüsü 1969 yılında Merton'un tanıştırdığını belirtmektedir. Finansal piyasaların mekaniğine yönelik BSMM'nin, bu yıllarda, 1973'te ortaya atılması ile hem piyasalar hem de uygulamalı matematiğin bu kolu birbiri ile yakın etkileşim içerisinde hızla gelişmiştir. Shiryaev vd. (2006), "Stokastik Finans" isimli eserlerinin giriş bölümünde stokastik kalkülüsün finans teorisinin güçlü bir aracı haline gelmiş olmasının nedenini, "Kısa

zamanda zengin matematiksel yapısıyla – martengal²⁶ teorisi, Itô kalkülüsü, stokastik integral ve kısmi diferansiyel denklemler – stokastik kalkülüsün; bir kimseyi (sehven) araçlarının zihinde finansa uygulanmak hedefiyle keşfedildiğine inanmaya itecek derecede günümüz finansının derinlemesine analizi için uygun olduğu fark edilmiştir.” cümlesiyle açıklamışlardır. Bu uygunluk, her iki disiplinin hızla ilerlemesine, hatta bir önceki cümlede sözü edilen eserin isminde görüldüğü gibi “Stokastik Finans”, “Matematiksel Finans, “Kantitatif Finans” kavramları ile ifade edilen alt dalın doğmasına neden olmuştur. Finans teorisinin, artarak daha matematiksel hale geldiğini, hatta finans problemlerinin matematik araştırmaları için itici güç olduğunu belirten Shreve (2004), bu savını belirtirken finansal ticaretin ve düzenlemelerin pratik yönlerine ilişkin uygulamaları göz ardı etmeyen teorik çerçeveyi öncelemiştir. Bu öncelik, son küresel krizde görüldüğü gibi ileri matematik modellerle beslenen finansal mühendislik eseri ürünlerin, düzenleme boyutunun da göz ardı edilmesiyle tüm sistemi çökertme tehlikesini salık vermektedir.

Elektrik fiyat modelleri de bir yandan ekonometrik yöntemler, diğer yandan matematiksel finans alanında hisse senedi, tahvil vb. finansal varlıklar ve bunlara dayalı türevlerin fiyatlanmasına yönelik tasarlanan ileri modeller ışığında geliştirilmiştir. Genel olarak enerji piyasalarında vadeli işlemler çok önemlidir, çünkü yüklü miktardaki finansal işlemler yıllara yaygın fiyat riskine maruzdur (Swindle, 2014:5). Bunun yanında birinci bölümde ele alınan, zaman ve mekân boyutlarında elektriğin “özel” bir ürün olması gerçeği de spot piyasa fiyat modellerinin türev ürün fiyatlamaya odaklı ilerlemesine neden olmuştur. Bu bölümde hem fiyat modelleri ile ilgili literatürde yer alan tasnifleri hem de öne çıkan modelleri daha iyi açıklamak üzere spot elektrik fiyatı ve zaman serileri özelliklerine öncelik verilecektir.

2.1. Spot Elektrik Fiyatı

Gün öncesi piyasalarda saatlik (EPEX Spot UK, Yeni Zelanda Spot için yarım saatlik) bazda oluşan takas fiyatlar, bu çalışma kapsamında incelenen ve yararlanılan hemen hemen tüm çalışmalarda spot elektrik fiyatı olarak kabul edilmiştir. Saatlik yük ve

²⁶ Çapar’ın (2013) Türkçe’de yerleşik bir karşılığı olmadığını belirterek söyleyişe daha uygun Fransızca karşılığını esas aldığı şekliyle martengal (martingale) kelimesi kullanılmıştır. Etkin Piyasalar Hipotezi’ne esas teşkil eden makalesinde Fama’nın (1970) da rassal yürüyüş sürecini ifade etmek üzere kullandığı martengal, bir stokastik süreci ifade eder. Martengalin belirleyici özelliği,

$$0 \leq s < t \text{ için } \mathbb{E}(X_t | \mathcal{F}_s) = X_s \text{ (h. h. k.)}$$

şeklinde tanımlanmaktadır (Çapar, 2013:281). Bu özellik, mevcut bilgi setiyle rassal sürecin ileriye dönük beklenen değerinin bugünkü değerine eşit olduğunu, tahmin edilebilirliğinin güç olduğunu ifade eder.

GÖP fiyat tahminlerini konu edinen çalışmalar hariç 24 saat (ya da 48 saat) dilime ait fiyatların ortalaması günlük spot fiyat olarak alınmaktadır. Günlük spot fiyat veri seti, bazen günü oluşturan dilimlerin ortalamasının alındığı açıkça ifade edilerek tanımlanmakta, diğerlerinde ise doğrudan veri sağlayıcı kuruluşların hazırladığı endeks olarak kabul edilmektedir. EEX Group altında faaliyet gösteren EPEX Spot SE'nin Almanya ve Avusturya'ya yönelik elektrik spot piyasası için günlük spot fiyat endeksi hazırlayan Bloomberg, bunun tanımını, "1'den 24'e kadar saatlik takas fiyatlarının basit ortalaması" şeklinde yapmıştır.

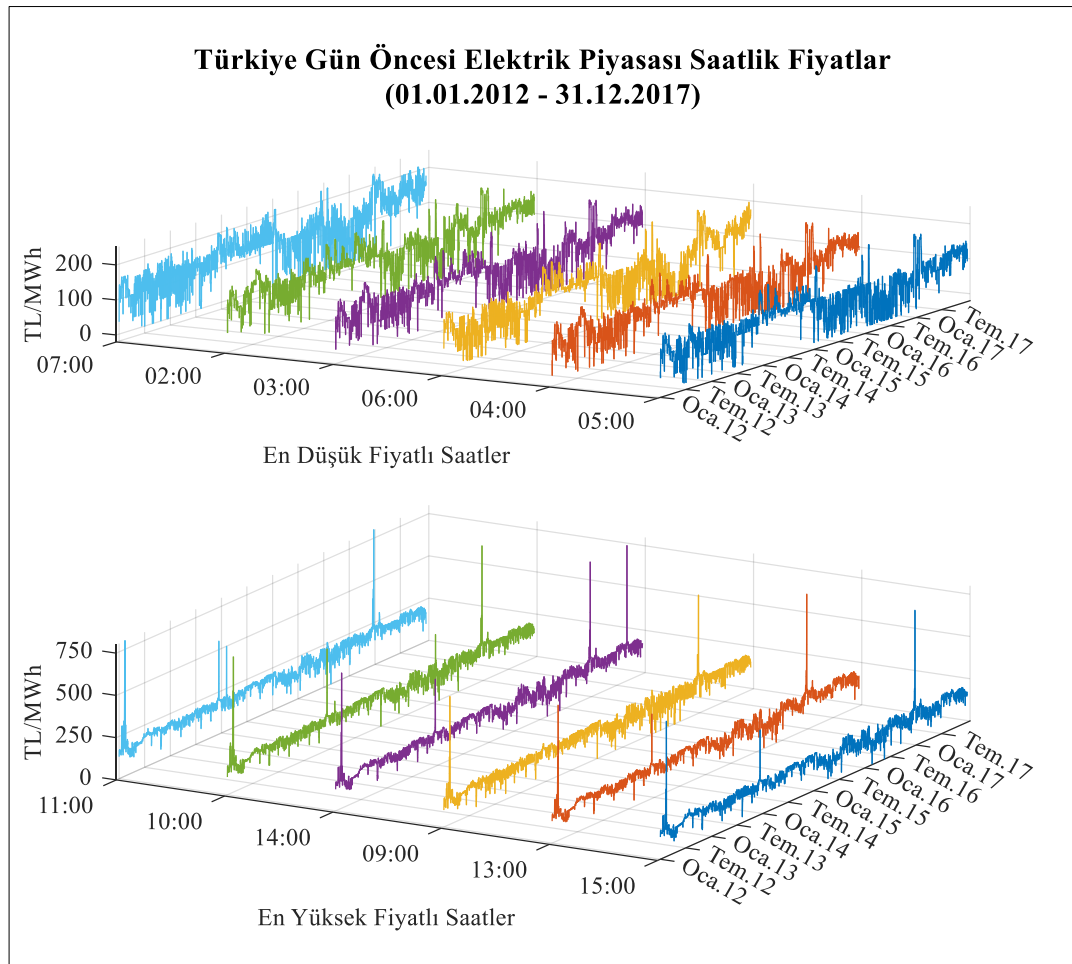
Ancak, bu kabulün bazı istisnaları da söz konusu olabilmektedir. Longstaff ve Wang (2004), Pennsylvania-New Jersey-Maryland (PJM) elektrik piyasası verileri ile yapmış oldukları ampirik analizde spot ve forward fiyatları farklı şekilde ele almışlardır. ABD'de farklı eyaletlere hizmet sunan diğer piyasalar gibi, PJM de kapsadığı coğrafyada birden fazla bölgeye hitap etmekte ve bölgesel marjinal fiyatları belirlemektedir. Araştırmacılar, iki temel pazar türüne sahip olan Pennsylvania-New Jersey-Maryland (PJM) enterkonnekte sisteminin gerçek zamanlı piyasasının spot piyasa fonksiyonu gördüğünü öne sürmüş, gün öncesi piyasasını ise forward piyasa olarak kabul etmişlerdir (Longstaff ve Wang, 2004:1881-2).

Türkiye pazarına yönelik bu çalışmada da elektrik spot fiyatı olarak literatürdeki genel eğilime paralel şekilde GÖP takas fiyatları benimsenmiştir. GİP, piyasa katılımcılarının portföylerini dengelemesini sağlayan, henüz yeni kurulmuş ve Şekil 19'da da ele alındığı gibi daha sığ bir pazardır. Dolayısıyla literatüre uygun olarak GÖP takas fiyatı (PTF), spot fiyat kabul edilmelidir. Her iki piyasamız da derinlik kazandıkça Longstaff ve Wang'ın analizine benzer çalışmalar da şüphesiz fiyat dinamiklerini ve piyasalar arası etkileşimi kavramada daha yol gösterici olacaktır.

Diğer taraftan bir günü oluşturan saatlik dilimlere ait fiyatların ortalamasının fiyat dinamiklerini açıklamada yetersiz kaldığı da iddia edilmektedir. Elektrik piyasasına yönelik ilk yapısal modellerden birini geliştiren Barlow (2002), gün içi etkileri giderme külfetinden kaçınmak için spot elektriği, günün her saati için birer, toplamda 24 ayrı emtia olarak dikkate alınmasını yararlı olacağını belirterek ampirik çalışmada yükün fazla olduğu saatlere ait fiyatları esas almıştır.

Barlow'un ve benzer yaklaşımı benimseyen diğer araştırmacıların temel dayanağı elektriğin, genel itibarıyla enerji emtiasının birinci bölümde ele alınan ayırt edici

özellikleri ile ilgilidir. Bazı tahviller, tahvile dayalı türevlere ilişkin yükümlülüklerin yerine getirilmesinde en ucuz maliyet avantajı (Cheapest to Deliver) sağladıklarından piyasada daha fazla ilgi görmektedir (Tuckman ve Serrat, 2012:376). Bu yönelimden dolayı en ucuz teslimat sağlayan tahvilleri özel (spesiyal) olarak niteleyen Swindle (2014), enerji emtiasının finansal piyasalardaki bu ve buna benzer araçlara kıyasla çok daha özel olduğunu ifade etmektedir. Aniden gerçekleşen fiziksel depolama ve ulaştırma kısıtları mekânsal ve geçici fiyat dalgalanmalarına neden olduğundan aynı enerji malı, zaman ya da mekân boyutlarından biri değiştiğinde işlevsel olarak iki farklı emtia olmaktadır (Swindle, 2014:9). Türkiye Gün Öncesi Elektrik Piyasası'nda en düşük ve en yüksek ortalama fiyatlara sahip saatlik dilimlerin 2012-2017 dönemi fiyat hareketlerini gösterir Şekil 22'den de zaman boyutunda oluşan farklılıklar açıkça gözlenebilmektedir.

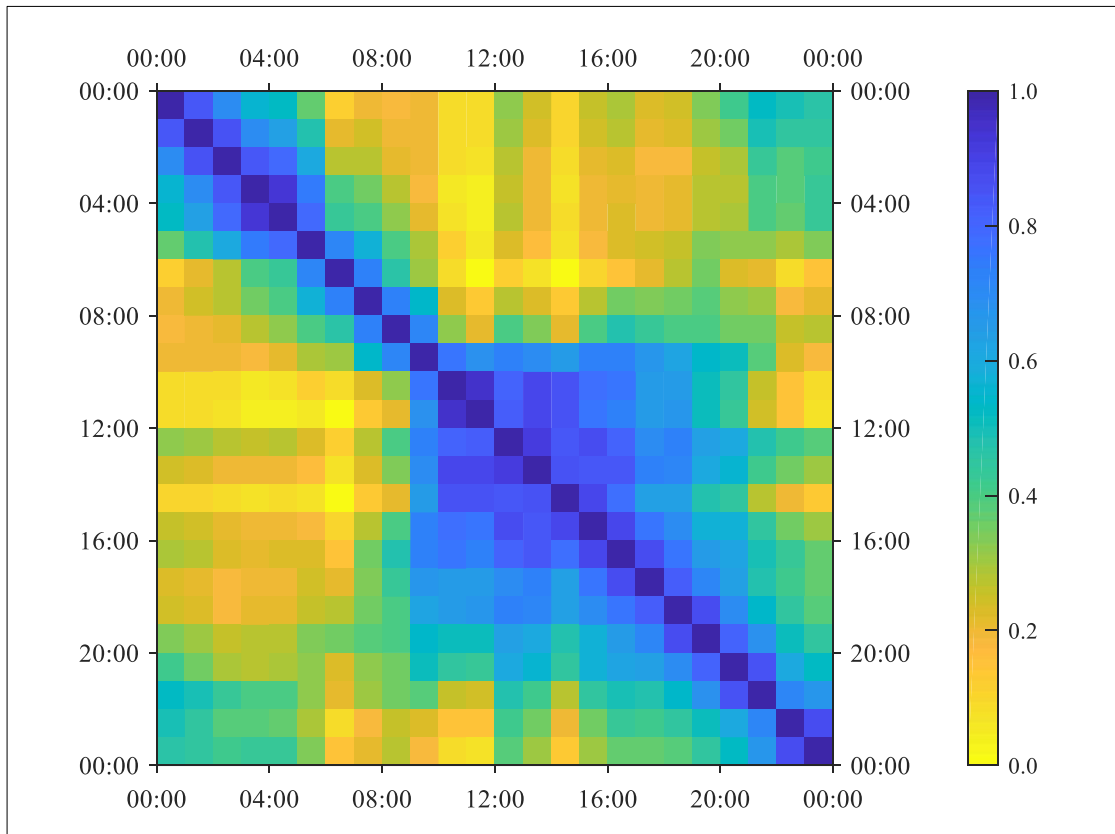


Şekil 22. Türkiye GÖP saatlik fiyat serileri (2012-2017)

(En düşük ve yüksek 6 dilim- sağdan sola)

Kaynak: EPIAŞ verileri kullanılarak hazırlanmıştır.

Ortalamada en yüksek fiyata sahip olan 6 saatin (sırasıyla 15:00, 13:00, 09:00, 14:00, 10:00 ve 11:00 ile başlayan dilimler) volatilitésinin daha iyi izlenebilmesi için seriler 800 TL/MWh seviyesinde kesilmiştir. Saatlik seriler hem dağılım özellikleri hem de aşağı ve yukarı yönlü sıçramaların yoğunluğu ve ölçęęi bakımından farklılık göstermektedir. Bu farklı yapıya vurgu yapan Guthrie ve Videbeck (2007), fiyatların davranışını spot piyasadaki (GÖP) işlemler için geçerli en kısa zaman boyutunda (saatlik / yarım saatlik) analiz etmeyi tercih etmişlerdir. Yeni Zelanda elektrik piyasasında oluşan üç farklı fiyatı da dikkate alarak 8 yılı kapsayan yarım saatlik serilerin kendi aralarındaki korelasyonunu hem genel hem de yıl bazında ele alan bu araştırmacılar, gün içi serilerin doğal bir şekilde 5 gruba dağıldığını saptamışlardır. Ülkemizde GÖP’te oluşan saatlik fiyatların 6 yıllık seriler üzerinden birbirleri ile birlikte hareket düzeyi Şekil 23’te özetlenmiştir. Benzer birçok piyasada olduğu gibi saatlik dilimleri 5 ya da 6 grup halinde ele almak mümkündür. Korelasyon yapısından görülebileceği gibi ele alınan bu dönemde ülkemiz spot elektrik fiyatları için 00:00-05:00, 06:00-08:00, 08:00-10:00, 10:00-17:00, 17:00-21:00 ve 21:00-00:00 dilimleri olmak üzere 6 grup geçerlidir.



Şekil 23. Türkiye GÖP saatlik PTF korelasyonları (2012-2017)

Kaynak: EPIAŞ verileri kullanılarak hazırlanmıştır.

Saatlik fiyat serileri, modelleme açısından birtakım avantajlar sunsa da akademik çalışmalarda günlük fiyatların kullanımı ağırlık kazanmıştır. Bu çalışmada da günü oluşturan 24 saatlik eşit dilimlere ait fiyatların (PTF) aritmetik ortalaması spot elektrik fiyatı olarak kabul edilmiştir. Uygulamanın benimsenerek yaygınlık kazanmasının nedenlerini aşağıdaki şekilde özetleyebiliriz:

- Spot elektrik fiyatı, yapılandırılmış vadeli işlem sözleşmeleri bakımından baz yük sözleşmelere karşılık olan fiyattır. $[T_1, T_2]$ döneminde teslim edilen elektrik miktarının sabit kaldığı sözleşmeyi baz yük sözleşme olarak tanımlayan Burger vd. (2014:34) tanımda herhangi bir saat dilimine işaret etmemiştir. Oysa “pik yük” ve “pik dışı yük”²⁷ sözleşmeler tanımlanırken, saat ön plana çıkmaktadır. Borsa İstanbul’da (BİST) işlem gören baz yük elektrik vadeli işlem sözleşmesinin dayanak varlığı, “VIOP Enerji ve Emtia Sözleşmeleri” kitapçığında, ilgili vade ayının her bir saatine ait Kısıtsız Piyasa Takas Fiyatlarının²⁸ (KPTF) basit aritmetik ortalaması olarak tanımlanmıştır (Borsa İstanbul A.Ş. (BİST), 2018:20). Benzer şekilde Kuzey ülkelerine hitap eden elektrik piyasa işletmecisi Nord Pool AS’nin (NordPool) de günlük nakdi uzlaşmalar için yukarıda tanımlanan spot fiyatı kullandığı belirtilmiştir (Lucia ve Schwartz, 2002:9).
- Daha önce de belirtildiği gibi elektrik, dayanak varlığı olduğu fiziksel ya da finansal uzlaşmaya tabi tüm varlıklarla birlikte ele alındığında vade itibarıyla geniş spektrumlu bir varlıktır. Gerek kurumsallaşmış piyasalarda gerekse ikili anlaşmalarla şekillenen tezgahüstü piyasalarda birkaç saatten birkaç yıla uzanan vadeler söz konusu olmaktadır. Özel hukuk kurallarına tabiiyeti nedeniyle ikili anlaşmalarda teknik olarak herhangi bir vade kısıtlaması bulunmasa da uygulamada haftalık, aylık, yıllık, ayın/yılın kalanı şeklinde ardışık ve bir günü aşan dönemleri ihtiva eden sözleşmeler yaygındır. Sözleşme spesifik bir fiyat içerebileceği gibi uygulamada günlük ortalama PTF, çıpa olarak kullanılmaktadır. Tezgahüstü piyasalar için de temel fiyatlandırma aracı spot fiyattır.

²⁷ Pik yük, elektriğin en fazla kullanıldığı zaman dilimindeki yükü belirtmek için kullanılan bir terimdir. Baz yükten farkı alındığında en az kullanıma tekabül eden pik dışı yük bulunmaktadır.

²⁸ KPTF, mevcut uygulamamızda EPIAŞ’ın ilan ettiği PTF’ye eşittir. KPTF, belli bir saat dilimi için tüm teklif bölgeleri için sunulan tekliflerin eşleştirilmesi suretiyle bulunan takas fiyatıdır (DUY, Md. 4). İfadeden anlaşılacağı üzere DUY ve EPIAŞ alt yapısı, farklı bölgeler için bölge bazlı fiyat oluşumuna izin verir yapıdadır. Bölgelerin iletim hatlarındaki kapasiteye bağlı olan ya da olmayan tüm kısıtlar dikkate alındığında oluşan teklif bölgesi bazlı fiyat, Nihai Piyasa Takas Fiyatı (NPTF) olarak tanımlanmaktadır. KPTF’yi ilk bölümde de belirtilen elektriğin ışık hızının 2/3’üne yakın süratte yol alabilmesi çerçevesinde düşünmek gerekir.

- Ortalama alma, fiyatlardaki sıçramaların etkisini düzleştirir ve opsiyon gibi türev ürünler için riskin, elektriğin belirli bir dönemdeki ortalama maliyetine dayandırılmasını sağlar (Eydeland ve Geman, 1999:7).
- Bizim piyasamızda oluşmasına izin verilmese de bazı piyasalarda negatif saatlik fiyatlar görülebilmektedir. Negatif fiyatların bazı stokastik modellerde neden olduğu sorun, günlük ortalama spot fiyat ile aşılabilmektedir (Mack, 2014:27).

2.2. Spot Elektrik Fiyat Süreci ve Unsurları

Model seçim kriterinin tutarlılığına ilişkin koşulları sıralarken Diebold, veri üreten süreci, gerçek model olarak tanımlamıştır (Diebold, 2006:85). Ne yazık ki, gerçek veri üreten süreç hiçbir zaman bilinmeyeceğinden bütün modeller gerçek, fakat bilinmeyen modele doğru bir yakınsamadır (Diebold, 2006:97). İlk bölümde ele alınan elektriğe has özellikler, elektrik fiyat sürecini daha karmaşık ve dolayısıyla veri üreten sürece yakınsamayı hedefleyen modelleri, alışlagelmiş ekonometrik modellere göre daha farklı kılmaktadır. Bu özelliklerin fiyat sürecine yansımaları, ileride ele alınacak çözüm yöntemlerinin ve başlıca modellerin de bileşenlerini oluşturduğundan bu unsurlara kısaca değinmek uygun olacaktır.

2.2.1. Mevsimsellik

Elektriğin talep özelliklerine ilişkin alt bölümde talebi etkileyen faktörler arasında ele alınan ve daha fazla kısa dönemde olmak kaydıyla etkisini gösteren iklim şartları ve tüketim zamanı, talep-fiyat nedenselliği kapsamında fiyat serileri üzerinde mevsimsel etkiye neden olmaktadır. Tsay (2010), bazı uygulamalarda mevsimselliğin ikinci dereceden önemli olduğunu, veriden ayrıştırılarak elde edilen mevsimsellik düzeltilmesi yapılmış serinin çıkarımlar için kullanıldığını ifade etmektedir. Büyüme ve işsizlik oranları gibi makroekonomik değişkenlerin örnek teşkil ettiği bu serilere kıyasla öngörüyü önceleyen finansal zaman serileri için mevsimsellik, verinin diğer karakteristik özellikleri kadar önemlidir ve ayrıca ele alınmalıdır (Tsay, 2010:82). Elektrik spot fiyat serileri için de finansal zaman serilerindeki yaklaşım geçerlidir. Her ne kadar mevsimsellikten arındırılmış serilerin modellenmesi zor öğeleri, literatürde daha ağırlıklı yer alsada özellikle gün tipi başta olmak üzere sadece mevsim etkilerini ele alan modeller, ticaret platformlarında kullanışlı olmaktadır. Deterministik fonksiyonlar yardımıyla mevsimselliğin modellenmesi, sonrasında kalan stokastik kısmın

modellenebilmesi için de hemen hemen bütün modellerde ilk adım olarak belirtilmektedir.

Hisse senedi piyasalarında gözlenen ve Etkin Piyasalar Hipotezi'nden sapmayı ifade etmek üzere anomali olarak nitelendirilen “takvim etkileri”, mevsimsellik kapsamında değerlendirilmektedir (Brooks, 2014:492). Getiri serilerinde kendini gösteren haftanın günü etkisi, ocak ayı etkisi bu kapsamdadır. Mevsimsellik taşıyan emtia fiyat serilerinde de özellikle ürün olmaktan ya da hasat zamanından kaynaklanan yıl bazlı etkiler söz konusu olmaktadır. Doğal gazın kış ve yaz aylarını içeren aylık kontratları, yılın diğer aylarını da içeren kontratlara göre likidite artışları ile ön plana çıkmaktadır (Swindle, 2014:21). Yazar, kontratlarda gözlenen bu etkinin doğal gaz forward fiyatlarına yansımaları görsel olarak ele almıştır. Sözleşme tarihine yakın olmamak kaydıyla ocak vadeli forward fiyatları tepe yapmakta; geri dönüş, yaz aylarında tersine dönerek bir sonraki ocak ayına kadar yerini yükselişe bırakmaktadır. Bu döngü, vade yılları boyunca kendini tekrarlar (Swindle, 2014:24). Mack (2014), gün içi, haftalık, aylık ve yıllık olmak üzere elektrik fiyat sürecindeki mevsimselliğin çok boyutluluğuna dikkat çekmiştir. Yukarıda tanımlanan spot fiyat serisi üzerindeki haftalık ve yıl boyu etkiler literatürde daha geniş yer bulmuştur.

2.2.2. Ortalamaya Dönme

Ortalamaya dönme, literatürde finansal varlık ve emtia fiyatlarında, faiz oranı, volatilité ve makroekonomik değişkenlere ilişkin serilerde geçerliliği araştırılan, zaman serileri ekonometrisi kapsamında da birçok gelişmeye kapı aralamış önemli bir olgudur. Ortalamaya dönme davranışına bağlı olarak durağan bir süreç, kusursuzca değil, ancak belli ölçüde tahmin edilebilirlik özelliğini barındırır (Alexander, 2008:201). Bu olgunun değişen derecelerde tahmin edilebilirliğe imkân tanınması, durağanlığa ilişkin birim kök ve kırılma testlerinin zaman serileri analizinde vazgeçilmez şekilde yer edinmesini de açıklamaktadır. İleri elektrik fiyat modelleri, ortalamaya dönme içeren sürekli zaman modelleri sınıfındadır. Bu sınıftaki modellerin bölüm girişinde belirtilen varlıklar için uygunluğu, ortalamaya dönme özelliğinin bazı durumlarda belirgin olmamasından dolayı literatürde tartışmalıdır. Ancak ortalamaya dönme olgusu, elektrik fiyat serilerine yönelik çalışmalarda bir norm halini almıştır.

Geman ve Ohana (2008), 1990'larda emtia fiyatlarının davranışından esinlenerek Schwartz'ın ortalamaya dönüş sürecini petrol fiyatları için kullanmaya karar verdiğini

belirtirler (Geman ve Ohana, 2008:183). Schwartz (1997), sözü edilen çalışmasında ortalamaya dönüşü fiyat dengesi kapsamında ele almıştır. Fiyatların yüksek olduğu ortam, yüksek maliyetli üreticilerin pazara girişini teşvik eder, toplam üretim artışı ise fiyatlar üzerinde aşağı yönlü baskıya neden olur. Fiyatların göreceli olarak düşük olduğu tersi ortamda, yüksek maliyetli üreticilerin pazarı terk etmesiyle arz azalır, beraberinde yukarı yönlü baskı getirir. Fiyatların mal arzı üzerindeki nispi etkisi fiyatlarda ortalamaya dönüşe neden olmaktadır. (Schwartz, 1997:923-4). Nazlıoğlu (2010), aynı olguyu fiyat teorisi kapsamında değerlendirmiş, mal fiyatlarının belirli bir ortalamaya döndüğünü, düzeyde durağan olduğunu ifade etmiştir. Bessembinder vd. (1995), zirai emtia, ham petrol ve metallerde, ilk ikisinde fazla, üçüncüsünde düşük olmak üzere, ortalamaya dönüşün varlığını tespit etmişlerdir. Finansal varlık fiyatlarında ise ortalamaya dönüşe dair bulgu zayıf kalmaktadır. Bu çalışma, çeşitli vadelerdeki futures fiyatlarına odaklıdır. Yatırımcıların emtia fiyatlarının ortalamaya döneceği beklentisini yansıtan sonuç, ortalamaya dönme etkisinin sermaye bütçeleme kararlarına ve türev fiyatlama modellerine dahil edilmemesinin sistematik hatalara neden olacağını ortaya koymaktadır (Bessembinder vd., 1995:375).

Schwartz'ın ortalamaya dönüşü arz talep dengesi kapsamında ele aldığı çalışmasında önerdiği model, "sürekli zaman model"dir ve ortalamaya dönüş bileşeni içerir. Bessembinder vd.'nin (1995) ortalamaya dönüş bulgusu ise ileriye dönük bakış açısını yansıtmaktadır. Kesikli zamana dayalı ekonometrik yöntemlerle spot emtia fiyatları alınarak yapılan çalışmalarda ulaşılan sonuçlar ise daha karmaşıktır. Geman (2005), üretici ülkelerdeki iklim ve siyasi şartlar gibi belirli olaylar nedeniyle kısa dönemde keskin yükselmeler gözlenirse de emtia fiyatlarının uzun dönemler boyunca "normal" seviyelerine dönme eğiliminde olduğunu belirtir (Geman, 2005:52). Yazarın ortalama yerine normal kelimesini tercih etmesi manidardır, ayrıca uzun dönem için herhangi bir ölçü verilmemiştir. Yazarın, aynı yıl yayımlanan "Enerji Emtiası Fiyatları: Ortalamaya Dönüş Öl(d)ü mü?" başlıklı makalesi, geçmiş veriye dayalı olarak uzun dönemdeki model değişimine ilişkin ipuçları vermektedir. Çalışmanın başlığı, 2002'den sonra daha fazla olmak üzere 2000'li yılların başından itibaren talep artışına bağlı olarak ham petrol fiyatlarındaki istikrarlı yükselişe dayanmaktadır. Hisse senedi fiyatlarını açıklamak üzere geliştirilen ve BSMM'nin de (1973) üzerine kurulu olduğu Geometrik

Brown Hareketi (Geometric Brownian Motion - GBM), 1990'lara kadar emtia fiyat modellerinin de temeli olmuştur. 1990'larda hisse senetleri gibi ortalama büyümediği gözlenen enerji emtiası fiyatları, Vasicek'in (1977) ortalamaya dönüşü esas alan ve faiz oranları için geliştirdiği modele kaymaya neden olmuştur (Geman, 2005:41). Günümüze kadarki petrol fiyatlarının oluşum sürecine bakıldığında dönemler itibariyle farklı rejimlerin geçerli olduğu, bu bağlamda kırılma noktalarının ve trendlerin tespitinin önem taşıdığı söylenebilir. Bu düşünceye paralel olarak Geman ve Ohana (2008), West Texas Intermediate (WTI) (01/1983-04/2008), bakır (07/1993-04/2008) ve navlun fiyat (05/1985-04/2008) serilerinde kırılma ve trendler dikkate alındıktan sonra standart birim kök testlerinin, WTI için Ocak 1983 – Ocak 1986 ile Şubat 1986 – Mart 2003 alt dönemleri hariç, birim kökün varlığını reddedebilecek sonuçlar vermediğini tespit etmişlerdir. Hull (2014), daha makro bir bakış açısıyla enerji emtia (petrol, doğal gaz ve elektrik) ve bir yere kadar zirai emtia fiyatlarında ortalamaya dönüşün geçerli olduğunu, metal fiyatlarının ise ortalamaya dönmediğini belirtmiştir. Alexander'ın (2008) sürekli zaman emtia fiyat modellerinin ortalamaya dönüş bileşeni içerip içermemesinin cevap bekleyen bir soru olduğuna yönelik değerlendirmesi de bu tespitler ışığında dikkat çekicidir.

Volatilitenin ortalamaya dönüş özelliği ile ilgili olarak Hull (2014), pratikte volatilitenin karesi olarak tanımlanan varyansın, ortalamaya dönme eğilimi gösterdiğini; GARCH (1,1) modelinin bu özelliği içermesinden dolayı Üstel Ağırlıklı Yürüyen Ortalama (Exponentially Weighted Moving Average Model - EWMA) Modeline göre teorik yönden daha cazip olduğunu belirtmiştir. En popüler Genelleştirilmiş Kendine Bağlı Koşullu Değişen Varyans (Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity - GARCH) modellerinden GARCH (1,1) modeli, uzun dönem varyansa yakınsamakta ve yeni bilgi setinin neden olduğu uzaklaşmalar sonrası uzun dönemli değere çekilmektedir. Bu sürecin ilerleyen bölümde ele alınacak sürekli zaman ortalamaya dönen stokastik sürece eşdeğerliği bulunmaktadır (Hull, 2014:526). Francq ve Zakoian (2010), sürecin finans uygulamalarında gerekli kararlılık koşullarını, mutlak durağanlık çerçevesinde ele alarak teorik ispatıyla birlikte göstermişlerdir. Uygulamada da yeni bilgi seti ile volatilitenin güncellenmesine izin veren yapısıyla GARCH (1,1), kullanışlı bir araçtır.

Faiz oranlarına yönelik modelleri incelerken Hull (2014), hisse senedi fiyatları ile faiz oranları arasındaki ayırt edici özelliğin, ortalamaya dönüş olduğunu vurgulamaktadır.

Yazarın ortalamaya dönüşe dair zorlayıcı sebeplerin olduğuna dair ifadesini, emtiada olduğu gibi arz-talep yasası kapsamında değerlendirmek gerekir. Faiz oranları yüksek iken ekonomi yavaşlama eğilimindedir ve fonlara olan talep azalır, oranlar düşer. Oranlar düşükken fonlara yönelik artan talep, oranların yükselme eğilimi ile sonuçlanır (Hull, 2014:708). Bu yüzden, dayanak varlığı faiz oranı olan türev enstrümanların fiyatlanması açısından önem arz eden faiz oranı modellerinden ortalamaya dönüş içeren Vasicek (1976), Cox, Ingersoll ve Ross (1985) ve bunları takiben geliştirilen sürekli zaman modelleri literatürde ağırlık kazanmıştır. Hırta ve Neftçi (2014), ortalamaya dönen sürecin bir trende sahip olduğunu ve trend etrafındaki sapmaların tamamıyla rassal olmadığını kaydetmişlerdir. Süreç, uzun dönem ortalamasından uzaklaşabilir, ancak nihayetinde trende geri döner, bu dönüş bazen uzun sürebilmektedir (Hırta ve Neftçi, 2014:190). Değerlendirmenin trendle ilgili kısmı mevsimselliği, ortalamaya dönüşün uzun zaman alabileceğine dair kısmı ise faiz oranlarındaki durumu yansıtmaktadır. Sürekli zamanda anlık faiz oranı,²⁹ ortalamaya-dönen stokastik süreç olarak modellenir, ancak çok uzun vadeli ortalama faiz oranı kullanılırsa ortalamaya dönüş hızı oldukça yavaştır (Alexander, 2008:17). Eserlerinin Londra Bankalararası Faiz Oranı (London Inter-bank Offered Rate – LIBOR) ve swap piyasalarını ele aldıkları bölümünde Brigo ve Mercurio (2006), ortalamaya dönüşün, genellikle etkisini bu piyasalardaki tipik vade olan altı ayı aşan sürelerde gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Spot elektrik fiyatları ise literatürdeki hemen hemen tüm çalışmalarda ortaya konulduğu gibi ortalamaya dönme özelliğine sahiptir. Enerji türev ürünleri ile ilgili ilk kitaplardan birini kaleme alan Clewlow ve Strickland'ın (2000) enerji emtia fiyatlarındaki geri dönüş hızının yavaş olduğuna dair cümlelerinde yer alan “bariz istisna elektrik haricinde” ifadesi, elektrik fiyatlarındaki geri dönüşün geçerliliğinin en başından beri tescil edildiğini göstermektedir. Geman ve Roncoroni (2006), elektriğin ilk karakteristik özelliği olarak nitelendirdikleri ortalamaya dönüşün, marjinal maliyeti temsil eden seviyeye doğru olduğunu belirterek, bu seviyenin sabit, periyodik ya da trend içeren periyodik yapıda olabileceğine dikkat çekmişlerdir. Bu düşünceyi destekleyen önemli bir görüş de talebin, yani yükün ortalamaya dönüşünün fiyatlarda ortalamaya dönüşe neden

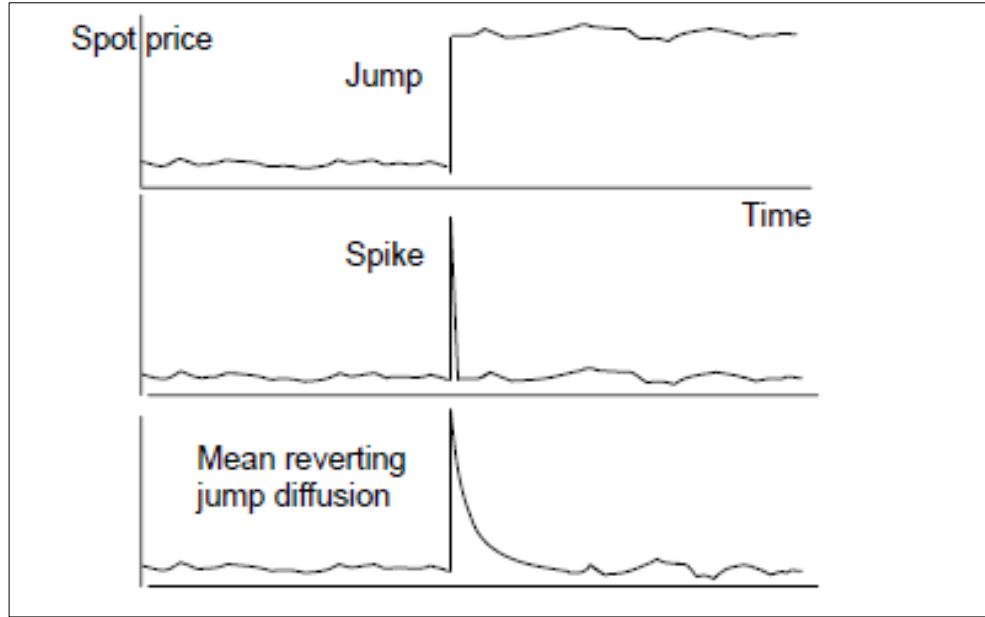
²⁹ Brigo ve Mercurio (2006), faiz oranı modellerini ele aldıkları eserlerinde kısa vadeli faiz oranını (“short rate”) anlık spot faiz oranına referansla tanımlamışlardır (Brigo ve Mercurio, 2006:2). Tanımlamada geçen ve banka hesabının birikimini açıklayan integralde geçen ds çok kısa zaman dilimini, r_s anlık oranı göstermektedir. Zaman aralığının sifıra yakınsadığını benimseyen sürekli zaman modelleri çerçevesinde “anlık faiz oranı” ifadesi daha anlamlıdır.

olmasına yöneliktir. Yükün ortalama dönüşü de hava sıcaklığı ile açıklanabilir (Eydeland ve Wolyniec, 2003:296). Kaliforniya krizi ile açığa çıkan fiyat dinamiklerinin en önemlilerinden olan fiyat sıçramaları, ortalama dönüş ile yakından ilgilidir. Sıçramaların geri dönüş hızı oldukça yüksektir, mevsimsellik filtresi uygulandıktan sonra kalan serinin normal koşullarını açıklayan stokastik sürecin ortalama dönüş hızı ise çok daha düşüktür. Fiyat süreci içerisinde farklı faktörlerle sürüklenen bileşenlerin değişen ortalama dönüş hızları, bazı modellerin yetersiz kalmasını ve yeni model arayışlarını da beraberinde getirmiştir. Elektrik fiyat serilerinin ayırt edici özelliklerinden olan fiyat sıçramalarının bir ya da iki günde normal fiyat seviyelerine gerilemesi, ortalama dönüşü daha görünür kılmaktadır.

2.2.3. Çoklu Rejime Neden Olan Sıçramalar

Borenstein'in (2002) Kaliforniya krizi özelinde elektrik piyasalarını masaya yatırdığı makalesinde fiyatların neden aşırı oynak olduğunu açıklayan cümlesi, fiyat sıçramalarının nedenlerini kısa ve öz biçimde ortaya koymaktadır. Şekil 10'da verilen grafikte görsel olarak ele alınan, aynı zamanda arz eğrisini de temsil eden üretim yığın fonksiyonu, yüksek sermaye yoğunluğu olan birimler nedeniyle eğrinin artan yük doğrultusunda yatay eksene neredeyse dik hale gelmesini simgelemektedir. Üretim yığın fonksiyonuna dayalı modelleme girişimleri, üretici tarafında marjinal maliyetleri yansıtan teklif setlerinden oluşan veri setinin ulaşılabilir olmasını gerekli kılmaktadır. Diğer taraftan düşük fiyat esnekliğine bağlı olarak neredeyse dik olan talep fonksiyonuna, ya da alternatifi olarak yük tahminine erişim böylesi yapısal modelleme için elzem olmaktadır. Literatürde yalnızca fiyat sürecine odaklı modellerin öne çıkmış olması, teklif seti verilerinin hassasiyetine, dolayısıyla gizliliğine ve talebe yönelik ikinci bir tahmin gereğine bağlanabilir.

Literatürde fiyat sıçramalarını ifade etmek üzere, yer yer karışıklığa da yol açacak şekilde, farklı kelimeler kullanılmaktadır. Harris'in (2006) sunduğu Şekil 24'te verilen ayırım, farklılaşan kelimelerle ilgili bir bakış açısı sunmaktadır.



Şekil 24. Fiyat Sıçramaları Sınıflandırması

Kaynak: Harris (2006, 307)

Burger vd.'nin (2014) ani fiyat yükselmesi ve gerilemesini³⁰, eserlerinin fiyata dair nitelermelerle ilgili bölümlerinde “spike” kelimesi ile, matematiksel modellerle ilgili kısmında ise “jump” kelimesi ile tanımlamaları bu açıdan manidardır. Ancak çoğu çalışmada bu ikili arasındaki ayrıma vurgu yapılmamaktadır. Bunun nedenini, elektrik fiyat modellerinin finansal varlık modellerinin izinde geliştirilmiş olmasında aramak gerekir. Bizim çalışmamızda da “jump” karşılığı olarak sıçrama kelimesinin kullanılması tercih edilmiştir.

Sıçramalar, fiyat sürecinde farklı rejimlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Ortalamaya-dönen sıçrama-yayınım süreci³¹ ifadesi de sürecin farklı unsurlarını ifade etmektedir. Yayınım (difüzyon), diğer varlık fiyatlarında da gözlenen, rassal hareketi simgeleyen Wiener³² (Brown) sürecine karşılık gelmektedir. Gözlenen bileşik sürecin farklı rejimleri karakterize eden unsurlarının birlikte hareket ediyor olması, modellemede

³⁰ Oxford ve Merriam-Webster online sözlüklerinde “spike” karşılığı bu şekilde verilmiştir. Webster, medikal tanımını verdiği kısımda elektrik voltajındaki ani yükselme ve alçalmaya işaret etmiştir.

³¹ Çapar’a (2013) istinaden “diffusion” yerine “yayınım” kelimesi kullanılmıştır. Dolayısıyla literatürde geniş yer tutan süreç ve bu süreçleri içeren modelleri nitelermek için kullanılan “Mean-reverting jump-diffusion” kavramı, ortalamaya-dönen sıçrama-yayınım olarak alınmıştır. Süreç hem yayınım hem de sıçrama öğeleri içermektedir.

³² Robert Brown’a dayanan Brown hareketi (süreci), küçük parçacıkların içine batırıldıkları sıvı içerisindeki durmak bilmeyen düzensiz hareketlerine verilen isimdir (Karlin ve Taylor, 1975:340). Birçok kaynakta [ör. Bingham ve Kiesel (2004), Musiela ve Rutkowski (2009), Gallager (2013)] Brown hareketin, Wiener süreçle aynı olduğu belirtilmiştir. Wiener süreci tanımlamasının yaygınlaşması, hareketi sağlam matematik temeller üzerine oturtan Norbert Wiener’e dayanmaktadır (Mikosch, 1998:33).

önemli zorlukları beraberinde getirmektedir. Son dönemlerde yüksek frekanslı serilerin kullanılabilir hale gelmesi, sürekli zamana yakınsamaya ve neticesinde yeni geliştirilen yöntemlerle sıçramaların genel stokastik süreçten ayrıştırılmasına olanak tanımaktadır. Bu yöndeki çalışmalar [ör. Ait-Sahalia ve Jacod (2009), Tauchen ve Zhou (2011) ve Christensen vd. (2014)] genel olarak hisse senedi piyasalarına odaklıdır ve önerilen uygulamalar, en fazla 10-15 dakikalık periyotlarla kaydedilmiş veriye ihtiyaç duymaktadır. Elektrik piyasalarında ise ilk bölümde ele alındığı gibi tek oturumda belirlenen ve farklı karakterlerdeki saatlik spot fiyatlar söz konusu olmaktadır.

Finans literatüründe sıçramalarla ilgili ilk çalışma Merton'a (1976) dayanmaktadır (Tankov ve Voltchkova, 2009:1). BSMM'nin önerdiği opsiyon fiyatlama formülünün dinamik portföy stratejisi gerektirdiğini belirten Merton'a göre bunun koşulu, dayandığı hisse senedi getiri dinamiğinin kesintisiz yörüngeli³³ stokastik süreçle betimlenebilir olmasıdır. Ancak, hisse senedi fiyat serilerinin ampirik çalışmalarının sabit varyanslı basit lognormal dağılım altında fazlaca uç değer varlığını gösterme eğiliminde olması, ilk kertede sıçramaların varlığına delil teşkil etmektedir (Merton, 1976:127). Yapısından dolayı fiyatları etkileyebilecek önemli bilgi, zaman ekseninde ayırık noktalarda gelmekte ve getiri sıçramalarına neden olmaktadır. Bu yüzden opsiyon fiyatlama modeli, sıçrama bileşeni içerecek şekilde ele alınmalıdır. Sürekli zaman sürecini varsayan dinamikler için fiyat değişiminin prototip sürecinin Wiener süreci olduğu gibi sıçrama bileşenlerinin prototip süreci ise "Poisson-yönlendirmeli" süreçtir (Merton, 1976:128). Merton'un tanımını verdiği, belli bir zaman aralığında vuku bulan olay sayısını modellemek için kullanışlı bir araç olan ve geliştirdiği modeli farklı kılan Poisson rassal süreci, izleyen yıllarda finansal varlık ve emtia fiyat modellerinde önemli yer edinmiştir.

Kesikli zamanda ulaşılan yeni bilginin neden olduğu sıçramalar, hisse senedi fiyatları odaklı birçok çalışmaya konu olduğu gibi bunların volatiliteye etkileri de finans literatüründe ayrıca araştırılmıştır. Sidorov vd. (2014), sürekli (logaritmik) getiri serilerinin ardışık bağımlılığı, zamanla değişen volatilité, dağılımlarında gözlenen kalın

³³ Kabaca rassallığı içeren değişken ile zamanın fonksiyonu olarak tanımlanabilecek stokastik sürecin verili (ya da gerçekleşmiş) rassal değişkene karşılık zaman boyutunda izlediği yolu ifade eden "sample path" karşılığı kullanılmıştır. Kayran ve Yücel (2016), stokastik süreci ve özelliklerini ele alırken "sürecin örnek fonksiyonu" terimini tercih etmişlerdir. Fiyatla ilgili finansal serilerin izlediği yolu ifade etmek için fonksiyon yerine, Hanson (2007) ve Gusak vd.'nin (2010) aynı kavram için kullandıkları "trajectory" kelimesi esas alınmıştır. Matematiksel süreklilik için de yörünge ile daha uyumlu olan kesintisiz kelimesi tercih edilmiştir.

kuyruklar ve asimetri özelliklerinden dolayı finansal zaman serileri için Gauss (normal) artışlı rassal yürüyüşün gerçekçi olmadığından bahisle volatilité modellemesinde çığır açan ARCH ve GARCH modellerinin geliştirildiğini belirtmektedir. Sidorov vd. (2014), varlık fiyatlarındaki sıçrama dinamiklerinin mevcudiyetinin modern zaman serilerinin ayırt edici özelliği haline geldiğini ifade ederek bunu dikkate alan modellerden sıçramalı GARCH modelini öneren iki araştırmanın Jorion (1988) ile Maheu ve McCurdy (2004) çalışmaları olduğunu kaydetmiştir (Sidorov vd.,2014:212). Jorion (1988), karma sıçrama-yayınım süreci olarak isimlendirdiği sürecin yönlendirdiği modelin maksimum olabilirlik yöntemine göre hesaplanan sonuçlarının, yayınım sürecindeki koşullu varyansın etkisi giderildikten sonra bile, döviz kurlarında sistematik süreksizliği açığa çıkardığını belirlemiştir. Değer-ağırlıklı borsa endeksinin de kullanıldığı çalışmada, sıçramaların hisse senetleri fiyatları üzerindeki etkisinin kur üzerindeki oranla daha az anlamlı olduğunu belirten Jorion, bunu iki piyasanın yapısındaki önemli farklılıklara bağlamıştır (Jorion, 1988:442). Bu çalışmasında sürekli getiriye modelleyen ortalama denkleme Poisson süreci dahil eden Jorion, kalıntı serisi üzerinden ARCH (koşullu varyans) serisini elde etmiştir. Sıçramaların logaritmik-olabilirlik fonksiyonuna etkisinin de ele alındığı çalışma, sıçramaların varyansı şişirdiğini göstermektedir ki, bu durum elektrik spot fiyat serileri için de geçerlidir. Çalışma haftalık veriye dayanmaktadır ve aylık veride etkinin daha az görüldüğü ifade edilmiştir. Bu çıkarım, verinin uzayan dönemlerde düzleşmesi ile ilgilidir.

Bu noktada daha yüksek frekanslı (elektrik spot fiyat serisi gibi günlük) seriler ile yapılan, elektrik spot fiyatı modellerine yansması bakımından dikkat çekici iki çalışmayı kısaca ele almak ufuk açıcı olacaktır. Eraker vd.'nin (2003), S&P 500 ve Nasdaq 100 endeks getirileri ile uyguladıkları, sıçramaların neden olduğu varyansın toplam varyans içindeki payını da ele aldıkları modellerinin temel sonucu, volatilitéde sıçramaları dikkate almayan modellerin başından yanlış belirlenmiş olduğudur. Bu sonuç, hem yayınımlı (diffusive) stokastik volatilité hem de getiride sıçramalar içeren modellerin hisse senedi endeks getirileri ve opsiyon fiyatlarındaki ampirik özellikleri tam olarak yakalamakta yetersiz kaldıklarının tespitidir. Sıçrama riski ister getiri ister volatilitéde olsun giderilemez ve yatırımcılar bu riski üstlenmek için yüksek prim talep ederler (Eraker vd., 2003:1270). Çalışmanın elektrik fiyat modellerine ilerleyen dönemde dahil edilen diğer bir bulgusu ise, sıçrama zamanlarının, sabit geliş yoğunluğu varsayımının aksine, kümelenmiş olarak geliyor olduğudur.

Fiyat hareketlerini etkileyen en önemli sürecin haber geliş süreci olduğunu belirten Maheu ve McCurdy (2004), getiri dağılımı bileşenlerinin, normal ve beklenmedik haber olaylarından oluşan saklı haber süreci ile yönlendirildiğini ortaya atmışlardır. Haberin açığa çıkardığı bilginin tipi³⁴ ve önemine bağlı olarak, stokastik sıçrama büyüklüğü pozitif ya da negatif; büyük ya da küçük olabilmektedir (Maheu ve McCurdy, 2004:758). Bu çalışmada önerilen modele göre zamanla-değişen koşullu yoğunluk parametrelerine sahip heterojen Poisson süreci, sıçramaların olabilirliğini yönetmektedir. Haber sürecine dayalı bir model olduğu için spesifik hisse senedi getiri serileri ile çalışılmıştır. Önerdikleri modeli, kendine bağımlı sıçrama yoğunluklu GARCH-Jump (Sıçrama içeren GARCH), kısaltılmış haliyle GARJI olarak isimlendirmişlerdir. Modelde dikkat çeken Eraker vd.'nin (2003) de tespit ettiği sıçrama kümelenmesinin, birim zamanda sıçrama sayısını gösterir sıçrama yoğunluk fonksiyonunun AR (1) süreci ile modellenmiş olmasıdır. Dolayısıyla GARJI ismindeki AR kısaltması, yoğunluğun kendine bağımlı olmasını simgelemektedir.

Elektrik spot fiyatlarında gözlenen sıçramaların modellenmesinde ufuk açıcı ve yol gösterici olan örnek çalışmalarda ele alınan hisse senedi ve kur getiri serilerindeki sıçramalar yeni bilgi içeren haberler ve ekonomi-politik değişkenler ile tetiklenmektedir. Elektrik piyasalarında ise sıçramalar, tam işler piyasa varsayımı altında, sıcaklık, su rezervleri, rüzgâr, güneş vb. değişkenleri içeren mevsim koşullarına, arz taraflı darboğazlara ve diğer etkenlere bağlıdır. Bu etkenler zaman içerisinde bilgi seti içine dahil olsa bile doğal faktörler, sıçramalar ve benzer şekilde mevsimsellik üzerinde fazlaca etkilidir.

2.2.4. Çoklu Otokorelasyon

Çoklu otokorelasyon (“Multiscale autocorrelation”), elektrik piyasaları fiyat serilerinde karşılaşılan istatistiksel bir özelliktir. Elektrik ve elektrikle ilgili piyasaların stokastik modellemesine ilişkin eserlerinde Benth vd. (2008), bu olgunun teorik temelini, çok faktörlü modellerin otokorelasyon yapısını incelerken genel olarak enerji fiyatlarına atfen ortaya koymuşlardır.

Terim olarak çoklu otokorelasyon ise, Meyer-Brandis ve Tankov'un (2008) çalışmasında geçmektedir. Yazarlar, ele aldıkları altı elektrik piyasasının iki grup halinde

³⁴ Yazarlar, Engle ve Ng'yi (1993) takiben getiriyi olumlu yönde etkileyen haberleri iyi, olumsuz etkileyenleri ise kötü olarak sınıflandırmışlardır (Maheu ve McCurdy, 2004:764).

farklılaşan otokorelasyon yapısına dikkat çekmektedir. Üç piyasada otokorelasyon yavaşça azalarak sönmekte iken, diğer üç piyasada otokorelasyonun biri hızla, diğeri yavaş azalan iki bileşeni söz konusudur (Meyer-Brandis ve Tankov, 2008:509). İki farklı otokorelasyon bileşeninin varlığından hareketle, birebir Türkçe karşılığı “Çok-ölçekli otokorelasyon” yerine “Çoklu otokorelasyon” terimi tercih edilmiştir. Bileşenlerin sönümlenme hızı anlamında ölçekleri farklıdır, ancak bir bütün içerisinde birden fazla olmaları ön plandadır. Bu “çok” olma, modellerdeki faktör sayısı açısından da önem taşımaktadır.

Çoklu otokorelasyon, Meyer-Brandis ve Tankov’a (2008) göre elektrik piyasalarının düzenlenme biçimlerindeki farklılıklarından kaynaklanıyor olabilir. Bazı piyasalarda raporlanan fiyat; bütün işlemlerin ortalama fiyatı iken, diğerlerinde son işlemin gerçekleştiği fiyattır. İkinci grupta fiyatlar daha oynak ve ortalamaya dönüş daha hızlı olacaktır (Meyer-Brandis ve Tankov, 2008:509). Bu tespit, çalışmada da yer alan ifadesi ile kesin değildir, değişen piyasa yapılarının farklı yönleriyle ayrıca ele alınmasını gerektirmektedir. Olgu, saatlik ölçekte farklılaşan seri davranışlarından da kaynaklanıyor olabilir.

Çoklu otokorelasyon ile ilgili diğer bir husus da Benth, Kallsen ve Meyer-Brandis (BKM) Modelini ele alan uygulama çalışmalarında karşılık buluyor olmasıdır. Modelleme yöntemleri ile ilgili bölümde uygulamaya dönük olarak ayrıca ele alınacaktır.

2.3. Fiyat Süreci Unsurlarına Yönelik Modelleme Yöntemleri

Literatürde öne çıkarak popülerlik kazanan referans modelleri ele almadan önce, her biri modelleme çabalarının ayrı bir aşamasını oluşturan ve fiyat sürecinin farklı unsurlarına çözüm getiren yaklaşımlar incelenecektir. Ele alınan yöntemler literatürü oluşturan çalışmalarda ve referans modellerde yer bulma yoğunluğu ölçüsünde, ancak pratiğe dönük kısmıyla kısaca ele alınacaktır. Teorik temelleri ve uygulama örnekleri ile önerilen yöntemler şüphesiz başlı başına ayrı bir inceleme ve değerlendirmeyi hak etmektedir.

2.3.1. Mevsimsellik Modelleri

Filtreleme, veri üreten sürecin bir tezahürü olan zaman serisinin deterministik ve stokastik kısımlarının birbirinden ayrıştırılmasıdır. Kalan stokastik kısmın ortalama ve varyansının tahmin açısından sınırlı etkisinin olması, beyaz gürültü sürecine yakınsaması istenir. Elektrik fiyat serilerinin çok bileşenli olması, bileşenlerin ayrı filtre ya da

yöntemlerden süzülerek modellenmesini gerekli kılmaktadır. Literatürde deterministik kısım ile stokastik kısmın ayrıştırılması olarak da ifade edilen mevsimsellik filtrelemesi, bu yöndeki ilk adımdır. Ayrıştırılmış kalıntı seri, sürecin kendi dinamikleri ile tekrar işlem gerektirse de bu şekildeki vasıflandırmanın nedenini uygulamada mevsimselliğin çoğunlukla zamana bağlı deterministik bir fonksiyon yardımıyla ele alınmasında aramak gerekir.

$$P_t = f(t) + X_t \quad (2.1)$$

Mevsimsellik, ağırlıklı olarak Denklem (2.1)'de verildiği şekilde toplamsal biçimde ele alınmaktadır. Zamana bağlı $f(t)$ fonksiyonunun hesaplanmasına ilişkin kullanılan yöntemler ve araçlar alt bölümlerde ele alınacaktır.

2.3.1.1. Dalgacık Analizi

Zaman serilerinde tekrarlanan döngüleri, bu döngülerin tekrarlanma sıklığı ve ölçeğini tespit etme spektral analizin konusunu oluşturmaktadır. Dalgacık analizi de bu kapsamda uygulanan bir metottür. Kabaca seriyi ya da teknik uygulamalardaki nitelemeyle sinyali dalgacıklar ile tasvir etme olarak ifade edilebilecek dalgacık dönüşümünü, Çolak (2006), sismik sinyallerin analizinde; Partal (2007), Türkiye yağış miktarlarının tahmininde; Alp (2009), Doğu Akdeniz Bölgesi tektonik yapısının araştırılmasında kullanmışlardır. Belirtilen her üç araştırma da doğal olaylarla ilgilidir. Elektrik fiyat serilerindeki mevsimsellik üzerinde hem üretim hem de tüketim kanalıyla etkili olan iklim koşulları ve yerkürenin hareketlerinden kaynaklanan farklılaşmalar bağlamında bu yöntemin önerilmesi manidardır.

Weron (2006), çok bilinen “Fourier Dönüşümü”ne bir alternatif teşkil eden dalgacık dönüşümünün durağan olmayan zaman serilerinin analizine uygun olduğunu belirtmiştir. Uygulamada Ayrık Dalgacık Dönüşümü ile sinyal, alçak ve yüksek frekans bileşenlerine ayrıştırılmaktadır. Birinci tip bileşenler yüksek ölçekli olup yaklaşım olarak bilinirken ikinci tip bileşenler alçak ölçekli detay bileşenler şeklinde tanımlanmaktadır (Çolak, 2006:32). Herhangi bir sinyal, Denklem (2.2)'de belirtildiği gibi bir yaklaşım dalgacığı (S) ve bir dizi detay dalgacığı (D) üzerine izdüşümlerin bileşimi olarak ifade edilebilir (Trück vd., 2007:6):

$$f_t = S_J + D_J + D_{J-1} + \dots + D_1 \quad (2.2)$$

Alçak ölçekli, dolayısıyla yüksek frekanslı ilave dalgacıklar ile sinyali daha hassas bileşenlerine ayırmak mümkündür. Böylelikle daha detaylı bir dönüşüme ulaşılmış olur. Burada tek kısıt, gözlem sayısı ile ulaşılabilir maksimum ölçeğin 2^J ile sınırlı olmasıdır. Daha fazla detay içeren dönüşüm, sıçramaların tespiti için de alternatif bir yöntemdir, teknik ismi ile alçak geçiren filtre olarak bilinir. Trück vd.'nin (2007) çalışması EEX Phelix Base³⁵ fiyat endeksindeki (GÖP, günlük ortalama) aykırı gözlem ve sıçrama tespitine yönelik bir örnektir. Benzer şekilde bu yöntemi Özkan (2016), yapısal kırılmaları test etmek, Evgülü (2016) ham petrol fiyatlarını incelemek üzere kullanmışlardır.

Yöntem, elektrik piyasalarının mevsimsellik modellemesinde yaygın kullanım alanı bulamamıştır. Janczura ve Weron (2010), inceledikleri spot piyasalarda yıllık etkiler için bir yıldaki gözlem sayısını gözleterek, en iyi alternatif olan S_8 yaklaşım dalgacığını (pencere genişliği, $2^8 = 256$) benimsemişlerdir. Dalgacıkların veri için çok iyi örneklem içi uygunluk sunduğunu belirten araştırmacılar Ramsey (2002)'e istinaden öngörü performansının nispeten kötü olduğunu da vurgulamışlardır. Buna karşın trigonometrik fonksiyonlar, zayıf örneklem içi performansı pahasına öngörü için daha uygundur (Janczura ve Weron, 2010:1062).

2.3.1.2. Sinüzoidal Fonksiyonlar

Fiyatların özellikle yıllık ölçekte izlediği tepe ve çukurlardan oluşan sinüzoidal örüntü, trigonometrik fonksiyonları mevsimsellik modellemesinde doğal tercih konumuna getirmiştir. Yıllık ve haftalık etkilerin periyodunu gösteren Denklem (2.3)'de verilen doğrusal olmayan formdaki mevsimsellik fonksiyonu, mevsimsellik frekansı bazında 1/4 faz farkı ile hareket eden sinüs ve kosinüs dalgaları içermektedir. Aynı işaretli iken birbiri ile zıt yönde, ters işaretli iken aynı yönde hareket eden dalgalar hesaplanan katsayılar yardımıyla sinyaldeki döngüsellığı yakalamaktadır. Bu noktada ortalamadan ve doğrusal yönelimden arındırma işlevi gören sabit ve trend terimlerinin etkisi de göz ardı edilmemelidir. Janczura ve Weron (2010), bir önceki alt bölümde değinilen çalışmalarında dalgacık analizinden önce seriyi haftalık ve uzun dönemli etkilerden arındırdıklarını belirtmişlerdir. İki terim bu uzun dönemli etkiye tekabül etmektedir. Periyodik hareket etmeyen yakıt fiyat bileşenleri, yıllar boyunca değişen iklim/tüketim

³⁵ Phelix Base Endeksi, EEX'in Almanya ve Avusturya pazarı için günlük ilan ettiği referans fiyat endeksidir. "Phelix", fiziksel elektrik endeksini; "Base" ise baz yükü ifade eder. Benzer şekilde "Phelix Peak" endeksi de yayınlanmaktadır (EEX Web Sitesi).

koşulları ve stratejik teklif yapıları uzun dönemli mevsimsellik bileşeni içerisindedir (Janczura ve Weron, 2010:1061-2). Bu açıklama trend bileşenine dönüktür, maliyetin enflasyonla artan kısmının trend ile giderileceği dikkate alınırsa sabit terim, literatürde yer bulan en önemli modellerden birini geliştiren Geman ve Roncoroni'nin (2006) belirttiği gibi elektrik üretiminin sabit maliyet bileşeni ile ilgilidir.

$$f(t) = c_1 + c_2 t + c_3 \cos\left(\frac{2\pi t}{365}\right) + c_4 \sin\left(\frac{2\pi t}{365}\right) + c_5 \cos\left(\frac{2\pi t}{7}\right) + c_6 \sin\left(\frac{2\pi t}{7}\right) \quad (2.3)$$

Fonksiyonun tek bir sinüzoidal ile ifade edildiği örneklere rastlamak mümkündür. Geman ve Roncoroni (2006), yıllık etkiye tekabül eden üçüncü ve dördüncü terimleri tek bir terime indirgeyerek Denklem (2.4)'te verilen fonksiyonu kullanmışlardır. Periyot bazında hesaplanacak parametre sayısı değişmemekte olup iki adettir. Bu fonksiyon, aynı zamanda yarı-yıl etkilerini de ihtiva eden dördüncü terimi içermektedir. Yazarlar, hafta boyu (günlük) etkiler ile ilgili herhangi bir bilgi vermemiştir.

$$f(t) = \alpha + \beta t + \gamma \cos(\varepsilon + 2\pi t) + \delta \cos(\xi + 4\pi t) \quad (2.4)$$

Her iki fonksiyonun hesaplanmasında da Denklem (2.5) ve Denklem (2.6)'dan görülebileceği gibi En Küçük Kareler (EKK) yöntemi kullanılmaktadır. Hesaplanan parametreler farklı olmakla birlikte uyarlanan deterministik mevsimsellik fonksiyonları aynı kalmaktadır. Bu eşitlik, Langton ve Levin'in (2016) ortaya koyduğu gibi faz kayması kavramı ile ilgilidir. Yazarlar, $\theta = \omega t$ olmak üzere $\sin(\theta + \varphi)$ fonksiyonunun φ sabiti olmayan fonksiyona göre zaman boyutunda φ kadar kaydırılmış olduğundan hareketle sinüs fonksiyonunun faz kayması ile kosinüs fonksiyonuna dönüştüğünü göstermişlerdir (Langton ve Levin, 2016:8). Uygulaması pratik olan yöntemi, Seifert ve Uhrig-Homburg (2007) gibi, artık yılları da dikkate alacak şekilde paydada 365.25 terimi ile ele alan araştırmalar da bulunmaktadır.

$$f(t) = \alpha \cos\left(\frac{2\pi t}{365}\right) + \beta \sin\left(\frac{2\pi t}{365}\right), [\hat{\alpha}, \hat{\beta}] = \arg \min_{\alpha, \beta} \{P_t - f(t)\}^2 \quad (2.5)$$

$$g(t) = \gamma \cos\left(\delta + \frac{2\pi t}{365}\right), [\hat{\gamma}, \hat{\delta}] = \arg \min_{\gamma, \delta} \{P_t - g(t)\}^2 \quad (2.6)$$

$$f(t; \hat{\alpha}, \hat{\beta}) \cong g(t; \hat{\gamma}, \hat{\delta}) \quad (2.7)$$

Weron vd. (2004), elektrik fiyat modellerine ilişkin literatürde sinüzoidal fonksiyonların kullanımını Pilipovic'e (1998) dayandırmaktadır. Mevsimsellik üzerinde önemli etkisi olan sıcaklık değişimlerinin stokastik modellemesine ilişkin çalışmasında Benth ve Šaltytė-Benth (2005) de benzer şekilde trigonometrik fonksiyonları kullanmışlardır. Bu çalışmanın diğer bir özelliği de elektrik fiyat riski yönetimi açısından da anlamlı olan iklim türevlerine yönelik olmasıdır.

2.3.1.3. Kukla Değişkenler ve Mevsimsellik Bazında Fark Alma

Sabit ve trend terimlerini, yukarıda değinilen ekonomik anlamlarını da göz önüne alarak temel mevsimsellik öğeleri kabul etmek gerekir. Bu öğeleri dikkate aldıktan sonra Mayer vd.nin (2015) yaptığı mevsimselliğe yönelik çalışma, bu yönetime bir örnektir. Çalışmada biraz karmaşık olan notasyon, Denklem (2.8)'de sadeleştirilerek verilmiştir.

$$f(t) = \sum_{j=1}^{12} 1_{\{ay(t)=j\}} a(j) + \sum_{k=1}^7 1_{\{gün(t)=k\}} g(k) \quad (2.8)$$

Denklemden görüldüğü gibi haftalık etkiler, gün; yıllık etkiler ise ay bazında ele alınabilir. İşaret fonksiyonu, alt indisteki parantez içi ibarenin doğru olması durumunda bir, aksi takdirde sıfır değeri alır. Örnek olarak $j = 3$ olması durumunda kukla değişken görevi gören işaret fonksiyonu sayesinde mart aylarına ilişkin $a(3)$ katsayısına ulaşılabilecektir. Denklem ortalama ve trendden arındırılmış seri üzerinden ele alındığında mart aylarına ait aylık sapmalar bulunacaktır. Haftanın yedi gününün göreceli değişkenliğini de ikinci toplam terimi ile ele almak mümkündür. Bütün zaman dilimini ileri ya da geri kaydırmanın fiyat süreci üzerinde etkisiz olması, mevsimsellik fonksiyonunun temel şartıdır ve bu iki şart $h_i(j)$, i yılındaki j ayına ait gözlem sayısını göstermek üzere Denklem (2.9)'da verilmiştir (Mayer vd., 2015:299).

$$\sum_{k=1}^7 g(k) = 0 \quad \wedge \quad \sum_{j=1}^{12} a(j) \cdot h_i(j) = 0 \quad (2.9)$$

Denklem (2.9)'da verilen kısıtları dikkate alıp gün tipi bazında hesaplanan ortalamaları genel ortalamadan çıkarmak suretiyle haftalık bazda etkili olan günlük fiyat farklılaşmalarının etkisini gideren çalışmalara rastlamak mümkündür. Temelde kukla değişken mantığına dayanan bu uygulamada tüm gün tiplerinin sapmasının toplamı sıfır olacak şekilde ilgili koşul sağlanmaktadır. Sapmalar, ortalamadan farklar alınarak bulunduğundan yöntem, fark alma metodu olarak nitelendirilmektedir. De Jong'un (2007) çalışmasında olduğu gibi tatilleri de bir gün tipi olarak ayrı ele alıp sapmaları hesaplamak mümkündür. Bu yöntemle, Denklem ((2.9) gereği suni bir ekleme/çıkarma olmaksızın, hafta içi etkiler aynı düzleme getirilmiş olmaktadır. Seifert ve Uhrig-Homburg'un (2007) ekonomik faaliyetin oldukça düştüğü Christmas tatilini içeren günleri kukla değişken ile ele aldıkları çalışmasında olduğu gibi belirli tatilleri dikkate almak da mümkündür.

2.3.1.4. Diğer Yöntemler

Bir pencere büyüklüğü belirleyerek yürüyen ortalama ya da medyandan gün tipine göre fark alma diğer yöntemler arasında gösterilebilir. Talaşlı (2012), herhangi bir günün haftalık periyotta etkilerini giderirken günün kendisi, üç gün öncesi ve sonrası olmak üzere yürüyen yedi günlük ortalamaları hesaplamış, gözlemin ilgili ortalamasından farkını alarak gün bazlı sapmalara ulaşmıştır. Bu sapmaların gün tipi bazında tekrar ortalaması alınarak Denklem (2.9)'da verilen birinci koşulun da sağlanması ile nihai günlük sapmalara ulaşılmıştır. Bu yöntemde yürüyen ortalama söz konusu olduğu için kısmen daha düzleştirilmiş mevsimsellikten arındırılmış seri elde edilebilmektedir.

Yürüyen ortalama/medyanda daha fazla olmak üzere kukla değişken ya da fark alma yöntemlerinde serinin kendi dinamikleri de mevsimsellik modeline dahil olmaktadır. Dolayısıyla başlangıçta ve çoğu çalışmada belirtilen mevsimsellikteki determinizmden uzaklaşmış olmaktadır. Meyer-Brandis ve Tankov (2008), Nazarova (2014) ve Gonzalez vd. (2017) gibi genellikle ileri ve daha incelikli matematiksel yaklaşımı benimseyen çalışmalarda deterministik mevsimselliğe vurgu yapılmıştır. Bahsi geçen ve benzeri çalışmalarda mesai ile hafta sonu günlerinin farklı fiyat dinamiklerine sahip olması nedeniyle çalışma kapsamı dışında bırakılmasını bu kapsamda

değerlendirmek gereklidir. Diğer taraftan mevcut haliyle futures sözleşmelerde kesintisiz olarak tüm ayı oluşturan saatlerin fiyatları uzlaştırmada dikkate alınmaktadır. Fiziksel teslimata konu ikili anlaşmalarda, finansal adıyla forward işlemlerde de uygulamada çoğunlukla hafta sonlarını da içerir vade yapıları söz konusu olmaktadır. Bu modeller, bölüm girişinde ifade edilen ve diğer enerji emtiası için de geçerli geniş spektrumlu vade yapısı nedeniyle vadeli sözleşmelerin doğru fiyatlanmasına odaklı olduğu için hafta sonu etkileri ayrıca dikkate alınmalıdır.

Diğer yöntemler arasında karma yöntemleri de sayabiliriz. Bu yöntemler, birden fazla yöntemi kullanarak mevsimselliği gidermeye yöneliktir. Bu yüzden farklı mevsim boyutlarında farklı yöntemler uygulanabilmektedir. Bu grupta, çoğunlukla gün tipine bağlı haftalık etkiler kukla değişken ya da fark alma ile ele alınırken, daha büyük ölçekli yarıyıl ya da yıl etkileri için sinüzoidal fonksiyonlar kullanılmaktadır.

2.3.2. Ornstein-Uhlenbeck (OU) Süreci

Enerji emtiasının spot fiyat hareketlerini modellemede kullanılan en temel süreç, OU sürecidir. Bu süreç aynı zamanda sıcaklık dinamikleri için de en temel süreçtir (Benth vd., 2008:60). Kaynaklarda Ornstein-Uhlenbeck sürecinin matematiksel tanımı, ortalamaya dönüşü tasvir eden stokastik diferansiyel denkleme referansla verilir. Süreci modelleyen bilim adamlarına ithafen “OU Süreci” kısaltması yaygınlık kazanmıştır. Uhlenbeck ve Ornstein (1930), Brown hareketine tabi serbest bir parçacığın ilk hızına göre hız değişimi ve yer değiştirmesinin sürtünme ile ilişkisini kurdukları denklemin normal Gauss dağılımı izlediğini göstermişlerdir. Benth vd.nin (2008) OU süreci tanımı da orijinal makalede olduğu gibi fizik bilimi kapsamında parçacığın tuhaf hareketlerini ifade eden üssel ve integral ifadeler içeren formdadır. Sürecin tanımına ilişkin sezgisel olarak daha anlamlı olan Denklem (2.10)’daki ifade verilir (Mastro, 2013:15):

$$dX_t = \lambda (\mu - X_t) dt + \sigma dW_t \quad (2.10)$$

Aritmetik formda verilen ifadenin farklı versiyonları bulunmakta olup μ , sürecin yakınsadığı ortalama seviyeyi simgelemektedir. dW_t , Wiener (Brownian) sürecin artışlarıdır. Dolayısıyla volatilité parametresi olan σ , zaman biriminin karekökü başına rassal hareketlerin büyüklüğünü göstermektedir. Bir x_t değeri, ortalamadan uzaklaşması ile orantılı olarak λ ile belirlenen hızda ortalamaya geri çekilmektedir. Bazı kaynaklarda, ör. Austing (2014), parantez içi ifade ters sırada verilir, bu tarz gösterimde geri dönüş hızı parametresinin başına (-) işareti getirilmektedir. Herhangi bir zamanda x_t , ortalama

seviye μ 'dan fazla ise parantez içi ifade (-) değer alacaktır, süreci ortalamaya çekmek için (-) değişim gereklidir. Ters durumda parantez içi pozitifdir, (+) değişim gerekli olmaktadır, Denklem (2.10)'daki gösterimde λ pozitif olmalıdır.

$$dX_t = -\lambda X_t dt + dz_t \quad (2.11)$$

Barndorff-Nielsen ve Shephard (2001), OU süreci, Denklem (2.11)'de verilen Stokastik Diferansiyel Denklemin (SDD) çözümü olan x_t süreci olarak tanımlamaktadırlar. Araştırmacılar, SDD'de verilen z 'nin başlangıç değeri sıfır olan, bağımsız ve durağan artışlı Lévy süreci olduğundan hareketle tanımın genel olduğuna vurgu yapmışlardır. Brown hareket, Lévy sınıfındaki süreçlerin sıçrama içermeyen tek üyesidir. Denklem (2.11)'deki dz_t volatilité/rassallık bileşeni normal dağılıma (Gaussian) tabi olmayan OU süreçleri, Gaussian olmayan OU süreçleri olarak bilinmektedir. Normallikten uzaklaşmaları yakalamaları ve bağımlı yapıların esnek modellenmesine imkân tanımları ile finansal ekonomide geniş uygulama alanları bulmuşlardır (Barndorff-Nielsen ve Shephard, 2001:167-8). Bu özelliklerinden dolayı elektrik piyasaları fiyat modelleri arasında yer alan çok faktörlü modellerin ilerlemesinde önemli katkıları olmuştur.

Denklem (2.11)'de verilen SDD'nin diğer bir farkı ilk terimin denge seviyeyi temsil eder ortalama bileşenini içermemesidir. Matematiksel finans ile ilgili birçok kaynakta; Cont ve Tankov (2004), Çınlar (2011), Chung ve Williams (2014); ikinci gösterim hakimdir. Rassal terimi Wiener sürecinin artışları olan şekliyle SDD, fiyat hareketleri sıfır etrafında dalgalanan varlıkların modellenmesine elverişlidir (Hirsa ve Neftçi, 2014:191). Teorik olarak başka özellikleri ile de incelenen sürecin sıfır ortalamaya sahip olması öne çıkarılmıştır (Pavliotis, 2014:43). Mevsimsellik düzeltmesindeki sabit, bu açıdan da anlamlıdır. Mikosch (1999), başlangıç noktası sabit olmak üzere yine Brown hareketin modellenmesi çerçevesinde öne sürülen Langevin eşitliğinin çözümünün OU süreci olduğunu göstermiştir. Bu gösterim, aynı zamanda OU sürecinin sürekli zamandaki çözümünü içermektedir. Denklem (2.11)'i, $c = -\lambda$ ve $dz_t = \sigma dW_t$ olmak üzere değiştirir ve zaman farkı, dt 'yi bir birim kabul ederek ayırklaştırsak Denklem (2.12)'de verilen zaman serileri analizindeki AR (1) sürecine ulaşmış oluruz. AR (1) süreci, OU sürecinin ayırk zamandaki karşılığıdır (Mikosch, 1999:141).

$$\phi = c + 1 \text{ sabit ve } Z_t = \sigma (W_{t+1} - W_t) \sim NID(0, \sigma^2) \text{ olmak üzere,} \quad (2.12)$$

$$X_{t+1} = \phi X_t + Z_t$$

OU süreci, finasta emtia, volatilité ve faiz oranı modellenmesinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Süreç, sürekli-zaman formunda olduğu ve ortalamaya dönüşü açıkladığı için sayılan varlıklar üzerine yazılı türev enstrümanların fiyatlandırılması için uygundur. Sürecin finans literatüründeki ilk kullanımı da BSMM'nin çıktığı ve yaygınlaştığı dönemlere rast gelmektedir. Faiz oranları için Vasicek'e ait olan bu kullanımın yaygınlaşarak daha ileri modellere öncülük etmesi, Baxter ve Rennie (2012)'nin de nitelendirdiğı gibi sürecin "Vasicek Modeli" olarak da tanınmasına neden olmuştur. Geri dönüş hızı yukarıda verildiğı gibi pozitif olmak kaydıyla süreç, bazen "esnek rassal yürüyüş" olarak da ifade edilmektedir (Vasicek, 1977:185). Dönüş hızı parametresi sıfıra yaklaştıkça süreç, Wiener sürecine, yani rassal yürüyüşe yakınsayacaktır, dolayısıyla esneklik, bu parametre üzerinden sürecin kontrol edilebilirliğinden gelmektedir. Stokastik bileşeni Wiener artışları olmak üzere sürecin diğer çarpıcı yanı ise, normal dağılımlı, Markov ve durağan özellikleri birlikte taşımasıdır. Üç özelliğın birlikte bulunması ender olup, Capasso ve Bakstein (2012) olasılıkta süreklilik şartını sağlayan ve anılan üç özelliğe sahip olan herhangi bir X_t sürecinin, bir sabit ve OU sürecinin toplamı biçiminde ifade edilebileceğine dair önermeye yer vermişlerdir.

2.3.3. Sıçramaların (Jump) Modellenmesi

Sıçramaların geliş sıklığı ve büyüklüklerinin dağılımları ile sürecin herhangi bir tezahüründe vuku bulan sıçramaların tespiti, modellemenin farklı boyutlarını oluşturmaktadır. Birinci boyutla ilgili ortalamaya dönüşte OU sürecinin konumuna yakın şekilde literatürde yerleşmiş yöntemler bulunmakla birlikte, sıçramaların tespitine dönük farklı yaklaşımlar söz konusudur.

2.3.3.1. Sıçramaların Sıklığı ve Büyüklüğü

Ele alınan modelin sıçramalara yönelik kısmı, sıçramaların oluşma zamanını ve beklenen büyüklüğünü matematiksel olarak tasvir edebilmelidir. Cont ve Tankov (2004), sıçramalı finansal modelleri, sıçrama-yayınım ve sonsuz aktivite modelleri olmak üzere iki kategoride değerlendirmişlerdir. Sonsuz aktivite modelleri, temelde sıçramalarla

ilerler ve dolayısıyla Wiener süreç içermek zorunda değildirler. Tarihsel veriyi daha gerçekçi açıklayabilen bu modellerde sıçramalar sonsuz sıklıkta geldiği için büyüklükleri bir dağılıma sahip değildir. Sıçrama-yayınım modellerinde ise sıçramalar ender görülen olaylardır ve büyüklük dağılımları bilinir (Cont ve Tankov, 2004:106).

Cont ve Tankov (2004), ayrıca fiyat süreci ayrık düzlemde gözleendiğinden ampirik olarak sürecin hangi kategoriye ait olduğunu saptamanın imkânsız olmasa da zor olduğunu vurgulamışlardır. Elektrik fiyat modelleme uygulamalarında ana akım, bileşik Poisson sürecinin kullanımınıdır. Bileşik Poisson süreci, $\{X_i\}_{i=1}^{\infty}$ bağımsız ve özdeş dağılımlı rassal değişkenlerin oluşturduğu bir dizi olmak üzere Denklem (2.13)'de tanımlanmıştır. N_t , üstel dağılıma tabi sıçrama zamanlarında bir birim büyüklüğünde sıçrayan, sıçrama gerçekleşmeyen aralıklarda sabit kalan, sıçrama büyüklüklerini ifade eden X_i 'lerden bağımsız λ yoğunluğuna sahip Poisson sürecidir. Bileşik Poisson süreci tanımdaki gösterimde de ima edildiği gibi bir Lévy sürecidir (Benth vd., 2008:49-50).

$$L_t = \sum_{i=1}^{N_t} X_i \quad (2.13)$$

Denklemde toplamın üst sınırını belirleyen Poisson süreci N_t , t zamanına kadar gerçekleşen olay sayısını gösterdiğinden sayma süreci³⁶ olarak da anılmaktadır. Sıçrama yoğunluğunu gösterir λ parametresine sahip Poisson sürecin Denklem (2.14)'de verilen dağılım fonksiyonu, belli bir zaman diliminde verili sayıda gözlenebilecek sıçrama olayını modellemek için elverişlidir. Gündelik hayatta rastlanabilecek farklı türden olayların sıklığını modellemek için de kullanılan bu sürecin finanstaki diğer bir kullanımı, belirli bir dönemde herhangi bir büyük portföyde oluşabilecek temerrüt sayısıdır (Miller, 2014:69). Sıklığın, ya da yoğunluğun ifade edildiği zaman birimi modelleme açısından ayrıca önem taşımaktadır.

$$\forall n \in \mathbb{N}, \quad \Pr(N = n) = e^{-\lambda} \frac{\lambda^n}{n!} \quad (2.14)$$

³⁶ Her Poisson süreci bir sayma sürecidir, ancak tersi doğru değildir. Bir sayma sürecinin Poisson olabilmesi için ilk değerinin sıfır, sürecin durağan ve bağımsız artışlara sahip olması gerekir. Ayrıca, h gibi ölçüsü sifira yakınsayan küçük bir aralıkta tek bir olay gerçekleşme olasılığının yaklaşık λh 'e eşit ve iki ya da daha fazla olay gerçekleşme olasılığının ihmal edilebilir olması da ilave koşullardır. Poisson süreci ile ilgili önemli bir ayrıntı da sürecin stokastik sürekli olması, ancak rassal değişkenlerinin ayrık olmasıdır (Cont ve Tankov, 2004:49; Çapar, 2013:253-4).

2.3.3.2. Sıçramaların Tespiti

Clelow ve Strickland'ın (2000) sıçrama tespiti için kullandığı özyinelemeli filtre (“recursive filter”) sonraki çalışmalarda da popülerlik kazanmıştır. Sıçramaların meydana geldiği zamanlara dair tam olarak bilgi sahibi olamayacağımızı belirten araştırmacılar, gözlenen çok büyük fiyat değişimlerinin Brown hareketle gerçekleşme ihtimalinin neredeyse sıfır olmasından hareketle bu değişimlerin sıçramalara atfedilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Seride sıçramaların seyrek olduğu varsayımı altında yayılım sürecinin volatilitesi, getiri standart sapması bulunarak yaklaşık olarak hesaplanabilir ve seçili bir olasılığa koşullu olarak beklenmesi gereken getiri aralığının dışındaki değerler sıçrama olarak ele alınabilir. Bu değerler çıkarılarak, oluşturulan serinin volatilitesi hesaplanır ve aynı işlem sıçrama sayısı sabitlenene, dolayısıyla volatilitenin yakınsayana kadar tekrarlanır. Yazarlar, Avustralya New South Wales (NSW) eyaleti elektrik piyasası yarım-saatlik verileri ile yaptıkları analizde olağan getiri limitini, getirilerin standart sapmasının üç katı olarak belirlemişlerdir. Kullandıkları veri seti ile getirinin bu limitin üzerinde gerçekleşme olasılığı %3'ün altındadır (Clelow ve Strickland, 2000:31). Örnekte 10 yineleme ile sıçrama sayısı ve yayılım volatilitesinin yakınsadığı gösterilmiştir.

Eşik yöntemi neredeyse tüm çalışmalarda, bazen zımnî olmak üzere kullanılmaktadır. Zımnî kullanım, sıçrama-yayılım, Markov Rejim Değişim (Markov Regime Switching – MRS) modellerinde ya da Markov Zincirli Monte Carlo (Markov Chain Monte Carlo – MCMC) yöntemleri kullanıldığında olabilirlik fonksiyonunun başlangıç değerleri için söz konusu olmaktadır. Sabit eşik yerine, Mayer vd.nin (2015) çalışmalarında filtreleme için kullandıkları Üstel Genelleştirilmiş Kendine Bağlı Koşullu Değişen Varyans (Exponential Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity – EGARCH) modelinden elde edilen volatilitenin serisi gibi hareketli eşikler de tercih edilebilmektedir. Janczura ve Weron (2012), önerdikleri MRS modelinde rejimler için yaptıkları öncül ayırma medyan değere (log)fiyat değişimlerinin standart sapmasını ilave ederek buldukları eşik üzerinde kalan gözlemleri sıçrama olarak kabul etmişlerdir. Yöntem özünde değişmemekle birlikte bu örneklerde olduğu gibi eşik değerinin tayininde farklı yaklaşımlar izlenebilmektedir.

Sıçramaların ele alındığı alt bölümde de değinildiği gibi terim, literatürde farklı anlamlara gelebilecek şekilde kullanılmaktadır. Deng'in (2000) elektrik piyasalarındaki sıçramaya (“spike”) ilişkin yaptığı tanım, akabinde hemen aşağı yönlü sıçramanın takip ettiği yukarı yönlü sıçrama şeklindedir. İlgili bölümde de benzer şekilde ele alınan bu

farklılığa odaklanan Meyer-Brandis ve Tankov (2008), sıçramayı hem yükselme hem de takip eden alçalmanın izlediği yol anlamında değerlendirmişlerdir. Eşik yöntemi ile sıçramaların neden olduğu aykırı noktalar tespit edilebilmekte, ancak araştırmacıların kastettiği sıçramanın tamamı elde edilememektedir. İlerleyen bölümlerde ele alınacak 2OU³⁷ modelin bir uygulaması olan çalışma farklı ortalamaya dönüş hızına sahip sıçramaların takip ettiği yolun tamamına ulaşmayı gerekli hale getirmiştir. Araştırmacılar, stokastik filtreleme gerektiren bu durum karşısında parametrik olmayan istatistik yöntemleri arasından seçim yapmışlardır. Ele aldıkları iki yöntem de yukarı yönlü hedef sıçrama sayısı gerektirdiğinden baz rejimde hedef gürültü seviyesi belirlemek durumunda kalmışlardır. Getirilerin %5'inin çıkarılmasıyla hedef standart sapmaya ulaşılmıştır (Meyer-Brandis ve Tankov, 2008:525). Dolayısıyla araştırmacıların geri dönüşleri ile birlikte sıçramaları filtreleme girişiminde başvurdukları farklı yöntemler de yukarıda ele alınan eşik metoduna bağlı olarak sonuç vermiştir.

Yine aynı modelin 3OU versiyonu uygulama çalışmasında Klüppelberg vd. (2010), eşik yöntemine bağlı kalmadan Davis-McCormick tahmincisi ve uç değer teorisi kapsamındaki bazı yöntemleri kullanarak sıçramalara tekabül eden yüksek dönüş hızına sahip bileşen süreci modellemişlerdir.

2.3.4. Çoklu Otokorelasyonun Modele Yansımaları

Elektriğin karakteristik özelliklerini sıralarken çoklu otokorelasyonu da ele alan Klüppelberg vd. (2010), üstel fonksiyonların ağırlıklandırılmış toplamı şeklinde ifade edilen Denklem (2.15)'in, Avrupa fiyat serilerinin çoğunda geçerli olan bu olguyu açıklayabildiğini belirtmişlerdir:

$$\hat{\rho}(h) = \sum_{i=1}^n w_i e^{-h\lambda_i} \quad (2.15)$$

Denklemde $\hat{\rho}(h)$, h ile ifade edilen gecikme değeri için hesaplanan otokorelasyon fonksiyonunu, w_i ise toplamları bire eşit olan ağırlık katsayılarını göstermektedir. İyi bir uyarılama için gereken üstel terim ya da çalışmalarda yerleşik ifadesiyle faktör sayısı n , iki ya da üç olmaktadır (Klüppelberg vd., 2010:965).

³⁷ Kısaltma, literatürü takiben iki Ornstein-Uhlenbeck süreç içeren modeli ifade etmek üzere kullanılmıştır. Benzer şekilde literatürde 3OU modellere de rastlanmaktadır.

Bazı şartlar altında, her biri Denklem (2.11) ile tanımlı n adet OU sürecin toplamı şeklinde tasvir edilebilen bir stokastik sürecin (tanımlı olmak kaydıyla) otokorelasyon fonksiyonu, Denklem (2.15) ile ifade edilebilmektedir. Bu durumda OU süreçlerin ortalamaya dönme parametreleri de denklemdeki λ_i sabitlerine eşit olmaktadır. Benth vd.'nin (2008) daha genel ve kapsayıcı şekilde ispatını verdikleri OU süreçlerine yönelik bu önermenin iki geçerlilik koşulundan birincisi OU süreçlerin durağan olmasıdır. İkinci koşul ise ortalamaya dönme parametreleri ile ilgilidir. OU sürecinin rassallık bileşeni Brown hareketin artışları ile ifade ediliyorsa volatilité parametresi; sıçrama içeriyorsa sıçrama yoğunluk parametreleri zamandan bağımsız olmalıdır. Önermenin diğer bir sonucu da bileşke bir sürece ilişkin ağırlık katsayısının (w_i); sürecin varyansının, süreçlerin toplamından oluşan stokastik sürecin varyansına oranı şeklinde ifade edilebilmesidir (Benth vd., 2008:78-9).

Çoklu otokorelasyon özelliği, önermede sunulan özdeşlikler ile BEK Modeli uygulamasında faktör sayısının belirlenmesi ve bileşen OU süreçlerin geri dönme hızlarının tahmininde çok kullanışlı bir araç haline gelmektedir.

2.4. Spot Fiyat Modelleri

Liberalleşme akımının başlangıcından bugüne, yirmi seneyi aşan zaman diliminde farklı coğrafyalara hitap eden elektrik piyasaları ilgi odağı olmuş ve olmaya devam etmektedir. 1989-2013 dönemini kapsayan piyasaya yönelik anahtar kelimeleri ve Web of Science ile Scopus veri tabanlarını kullanarak yapılan bir bibliometrik analiz, bu iki köklü veri tabanında 800'ün üzerinde çalışma yapıldığını göstermektedir. Kullanılan anahtar kelimeler, doğrudan piyasaya ve fiyat tahminlerine odaklı olup analize metin dili İngilizce olmayan çalışmalar dahil edilmemiş; analiz, spesifik doküman türleri ile sınırlandırılmıştır (Weron, 2014:1032-3). Bu durumda farklı disiplinlerden akademisyenlerin gerçekleştirdikleri çalışmaları belli bir sınıflandırmaya tabi tutmak gerekli hale gelmiştir. Bunun yanı sıra finansal ürünlere yönelik modelleme amaçlarını göz önünde tutarak genelden özele doğru bir yaklaşım yol gösterici olacaktır. Sınıflandırmaya yönelik bu yaklaşım, vadeli işlem piyasaları odaklı geliştirilen spot fiyat modellerini kapsama alarak çalışmaya yön verecektir.

2.4.1. Modelleme Amaçları

Kabaca fiyat oluşumunu gerçekleştirmelere en yakın şekilde tasvir etme genel amacı olan modelleme, ideal bir modelin taşınması gereken özellikler perspektifinden

incelenebilir. Elektrik piyasasındaki türev ürünleri ele aldığı eserin spot ve futures fiyat modellerini incelediği bölümünde Aïd (2015), modelin sahip olması gereken özellikleri aşağıdaki şekilde sıralamıştır (Aïd, 2015:27):

1. Gerçekçilik: Zaman serilerinin istatistiksel özelliklerini tekrar üretebilme ya da yansıtılabilmeye karşılık gelmektedir.
2. Tutarlılık: Model, spot ve forward fiyatların arbitraja fırsat vermeyecek şekilde belirlenmesini sağlamalıdır.
3. Verimlilik: Hızlı hesaplama karşılık gelir ve ticaret için ana unsurdur.
4. İstikrarlılık: Modelin sağlamlığını ifade eder. Hesaplanan parametrelerin veri ve model çıktısı fiyatlar bakımından sürekliliğinin göstergesidir. Daha açık ifadeyle, veri ya da parametrelerdeki küçük bir değişim modellenen fiyatlarda büyük değişime neden olmamalıdır.
5. Genellik: Farklı elektrik piyasaları için kalibrasyonu ve hesaplamayı mümkün kılacak yeterliliği ifade etmektedir.

Sıralanan özelliklerin birçoğu ekonometrik bir modelde aranan özellikler ile aynıdır, ancak ticarete dönük vurgu ağır basmaktadır. Tüm nitelikler uygulama yönünden önemli olup tutarlılık özelliği işlemlerin sonuç hesaplarına etkisi bakımından öne çıkmaktadır. Zira, elektrik fiyat modellerinin arbitraja dönük kurgulanması, diğer emtia fiyat modellerine oranla daha karmaşıktır. Taşıma maliyetleri ve elde tutma getirisi (hisse senetlerinde temettü, emtiada stokta bulunduranın sağlayabildiği fırsatlar) söz konusu olmadığı için spot ve forward/futures fiyatları arasındaki teorik bağlantı kopmaktadır. Bu, depolanamamanın getirdiği bir zorluktur ve bu nedenle spot ve vadeli piyasalardaki fiyat etkileşimleri elektrikte daha ön plana çıkmaktadır.

Verimlilik, burada ele alındığı haliyle iş fırsatının değerlendirilmesi boyutuna odaklıdır. Diğer model özelliklerini de göz ardı etmeksizin günümüzde büyük veriyi hızlı işleyen algoritmalar ticareti yönlendirmektedir. Bu noktada istikrarlılıkla da yakından ilgili olmak üzere uygulamada kendini daha çabuk güncelleyemeye izin veren yapıya sahip olması da modelin verimliliği kapsamında değerlendirilebilir. Genellik özelliği, modelin yapı taşları olan fiyat süreç unsurlarına dönük yaklaşımlar ölçüsünde anlamlıdır. Geman ve Roncoroni'nin (2006) sıçramalarda oluşan fiyatların yüksekliğine dayalı olarak tasnif ettiği gibi piyasaları düşük-baskılı, orta-baskılı ve yüksek-baskılı piyasalar şeklinde ele almak mümkündür. Piyasanın yerleşik olduğu ülkenin coğrafi konumuna

bağlı olarak iklim, yer altı ve yer üstü zenginlikler ve iletimi etkileyebilecek fiziki şartlar sıçramalar üzerinde, dolayısıyla bu tasnifte doğrudan etkilidir. Bunun dışında, enerjide dışa bağımlılık, ekonomik faktörler ve arz yığın eğrisi üzerinden üretim filosunun çeşitliliği de göz önünde bulundurulmalıdır. Farklı piyasa, bahsi geçen kanallar üzerinden model üzerinde değişiklikler gerektireceğinden genellik ulaşılmaması biraz daha zor bir özelliktir.

2.4.2. Model Sınıflamaları

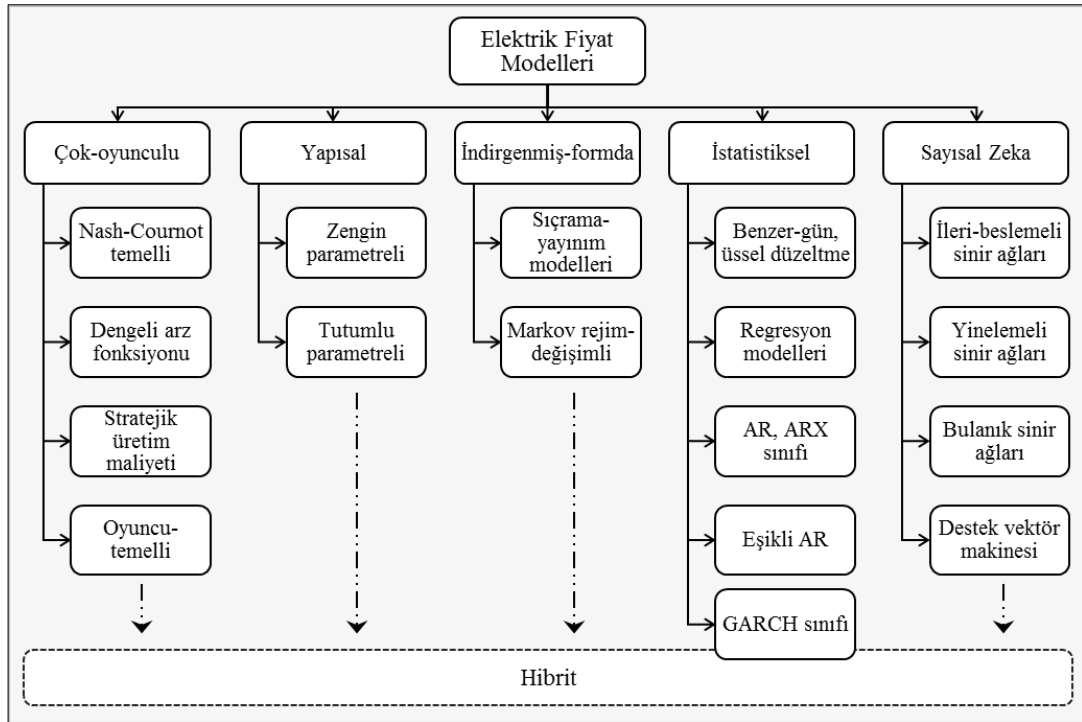
1990'lı yıllarda başlayan liberalleşme akımı ile birlikte elektrik piyasalarındaki fiyat hareketlerini açıklamak üzere mevcut finansal varlık ve emtia modellerinden; ekonometri, stokastik matematik ve bilişimdeki ilerlemelerden de yararlanılarak çok fazla çeşit ve sayıda çalışma yapılmıştır. Bu birikime istinaden literatürde benzer özellikli modelleri aynı grupta değerlendirebilmek ve araştırmacılara da yol haritası sunabilmek adına sınıflandırmaya dönük faaliyetler de yürütülmüştür. Öne çıkan birkaç tasnifi kronolojik sırayla ele almak model gruplarının kendine has özelliklerini ve hedefteki farklılıklarını ortaya çıkaracaktır.

Fiorenzani (2006), ekonometrik ve olasılığa dayalı (stokastik) modelleme yaklaşımları arasında süregelen geleneksel çekişmenin enerji alanında da geçerliliğinden bahisle ilk ayrımı bu yönde yapmıştır. Her iki yaklaşım da teorik güce ve uygulama alanına sahiptir (Fiorenzani, 2006:40). Ekonometrik model, yazarın da belirttiği gibi daha çok bir ekonomi teorisinin incelenmesi ve geliştirilmesine dönüktür. Elektrik gibi hassas spot piyasaya ve geniş spektrumlu vadeli piyasalara sahip malın fiyat dinamikleri de karmaşıktır. Matematiksel finans temelli stokastik modelleme de karmaşıklığa ve vadeli piyasalara dönük güçlü bir çözüm önerisidir. Akım mal olan, yani başlangıç ve bitiş zamanları ile tanımlı bir aralıkta teslimata/uzlaşmaya dayanan elektrik için sürekli-zaman formundaki modeller ayrıca anlamlıdır. Sürekli-zaman modeller, matematikteki ilerlemelere bağlı olarak yeni çözümler ve yaklaşımlar sunmaktadır. Diğer yandan, Fiorenzani'nin de (2006) belirttiği gibi ekonometrik modeller de genel anlamda ayrık-zaman stokastik modellerdir.

Fiorenzani (2006) ekonometrik modelleri, geleneksel dinamik regresyon, transfer-fonksiyon, GARCH, kesirli bütünleşik modeller olmak üzere dört grupta ele almış, doğrusal olmayan dinamikleri içeren daha komplike modellerin de mümkün olduğunu eklemiştir. Olasılık esaslı modelleri ise geleneksel stokastik modeller ile daha gelişmiş ve

gerçekçi modeller başlığı altında inceleyen yazara göre birinci grup modeller; klasik ortalamaya-dönen model, Ortalamaya-Dönen Sıçrama-Yayınım (Mean-Reverting Jump-Diffusion - MRJD) modeli, MRS ve stokastik volatiliteler modellerinden oluşmaktadır. Daha gelişmiş ve gerçekçi başlığı altında sunulan iki model ise talep dinamiklerini içerdiği için yapısal model olarak vasıflandırılan Barlow modeli ile referans modeller bölümünde incelenecek Geman ve Roncoroni (GM) modelidir.

Fiorenzani'den sekiz yıl sonra elektrik fiyat modellerine yönelik yoğun bir değerlendirme makalesi yayımlayan Weron'un (2014) tasnifi, aradan geçen zaman diliminde araştırmalarda kullanılan farklı metotları ve bunların oluşturdukları grupları da içerecek şekilde oldukça kapsamlıdır. Bu çalışma, yayımlandığı derginin isminden ve çalışma başlığından da anlaşılacağı gibi öngörü odaklıdır. Araştırmacı, kantitatif yönü ağır basan stokastik modelleri Şekil 25'te görülen sınıflandırmasında indirgenmiş-formda modeller grubuna dahil etmiştir. Aynı zamanda, bu tarz modellerin nihai amacının türev ürün değerlendirme ve ilintili olarak risk yönetimi olduğunu belirtmektedir (Weron, 2014:1039).



Şekil 25. Elektrik Fiyat Modelleri Sınıflandırması

Kaynak: Weron (2014, 1041)

Piyasa katılımcıları açısından bakıldığında modeller, gün öncesinden saatlik yük ve fiyat tahminleri sağlayabilmelidir. Zira dengesizlik, ilave maliyet getirmektedir. Hatta

daha güncel veri seti ile hatası en aza indirilmiş yük tahmini, uygun fiyat koşulları sağlanması koşuluyla, GİP’te dengesizlik maliyetini daha da düşürme olanağı tanınmalıdır. Bu açıdan yapay zekaya, gün itibariyle popülerliği artan makine öğrenmesine dayalı modellerin kurgulanması da önemli bir gelişmedir ve araştırmacılara alternatifler sunmaktadır.

Weron’un (2014) makalesinde de çokça değindiği gibi çoğu model hibrit yapıdadır. İstatistiksel modellerin ilk iki ögesi mevsimselliğin modellenmesinde baskındır. Mevsim etkilerini birinci aşamada gideren modeller bu anlamda birer hibrit modeldirler. GARCH sınıfındaki modeller de çoğu zaman başkaca modeller ile birlikte ele alınmaktadır. Ancak, burada GARCH bileşeninin zamanla-değişen varyansa odaklı olduğu da dikkate alınmalıdır.

Yukarıda değinilen saatlik yük ve fiyat tahminleri çok kısa vadeye dönüktür ve daha çok piyasa katılımcısı odaklıdır. Risk yönetimi, türev ürün odaklı bir yaklaşım ve daha geniş vade perspektifi gerektirmektedir. Sınıflandırmayı bu kapsama göre koşullandırarak Aïd’in (2015) türevlerle ilgili eserindeki tasnife de bakılabilir. Aïd, hiçbir sınıflandırmanın kusursuz olmadığını vurgulayarak modelleri dört sınıfta derlerken fonksiyonel esaslı bir yol izlemiş, türev fiyatlamaya dönük farklı yaklaşımlar konusunda da bilgi sunmuştur.

Birinci kategorideki modeller Heath-Jarrow-Morton (HJM) yaklaşımını esas almaktadır. Heath, Jarrow ve Morton (1992), tahvil fiyatlama ve faiz oranlarının vade yapısına ilişkin çalışmalarında forward oranları kullanmışlardır. Vade yapısını oluşturan forward verisi yardımıyla zaman boyutundaki stokastik değişimleri matematiksel olarak modelleyen araştırmacılar, eşdeğer martengal ölçüsünün varlığını ve tekliğini göstermişlerdir. Bu ölçü, hem dayanak varlığı faiz oranı olan türevlerin fiyatlanmasını hem de vade sıfıra yakınsayınca forward ve spot oranları birbirleri ile ilişkilendirmeyi sağlamaktadır. Verim eğrisi modellerine dayanan bu model, günlük bazda fiyatların ve modelin uyumunu temin ettiğinden ticaret ve risk yönetim birimleri tarafından tercih edilmektedir. Elektrik türevleri vadede noktasal değil, bir aralıkta teslimata/uzlaştırmaya tabi olduklarından arbitrajı önleme koşulu korunacaksa bu model fazlaca ilave kısıtlar gerektirmekte ve uygulanması zorlaşmaktadır (Aïd, 2015:28). Yine de forward fiyatların içerdiği bilginin spot fiyatların gelecekteki seyri konusunda aydınlatıcı olabileceğinden hareketle Weron (2010), henüz yaklaşımın doğru olup olmadığı test edilmiş olmasa da

uzun vadeli mevsim bileşeninin öngörüsü için forward fiyat eğrisi modelleme tekniklerinin kullanılabileceğini belirtmiştir.

HJM modelinin aksine ikinci kategorideki modeller, elektrik spot fiyatından vadeli fiyata, diğer bir ifadeyle bugünden geleceğe doğru yol izlerler. Ancak Markov özelliğini koruma, sıçramaları yakalama ve forward eğrisinin dinamiklerini bulma bu modellerin getirdiği zorluklardandır. Bu nedenle spot fiyatı modellemek için daha karmaşık yöntemler gerekmektedir (Aïd, 2015:28).

Markov özelliği, hafızasızlık özelliği olarak da anılmaktadır. Günlük değişime tabi herhangi bir X_t sürecinin bugünden önce aldığı hiçbir değer gelecekte beklenen değerine etkisi yoksa, ancak bu beklentide bugünkü gerçekleşen değer bir anlamı varsa bu süreç Markov özelliğine sahiptir. İfade edilen özelliğin, yine ayrık zamanda kalmak şartıyla matematiksel ifadesi Denklem (2.16)'da verilmiştir.

$$\begin{aligned} \Pr\{X_{t+1} = j | X_0 = i_0, \dots, X_{t-1} = i_{t-1}, X_t = i_t\} \\ = \Pr\{X_{t+1} = j | X_t = i_t\} \quad \forall t, i_0, i_1, \dots, i_t, j \end{aligned} \quad (2.16)$$

İkinci gruptaki modellerin yukarıda sözü edilen Markov özelliği koruyamama tehlikesini, literatürde önemli yeri olan MRS modelleri kapsamında değerlendirmek gerekir. Sıçramalar, daha önce de belirtildiği gibi gerek büyüklük gerekse de geri dönüş hızı bakımından farklı bir rejimi temsil etmektedir. Gerçekleştiklerinde daha yavaş dönüş hızına sahip baz, ya da normal sürece ait öge baskılanmakta, gözlenememektedir. Baz ögenin Markov özelliğini yitirmesine neden olan bu soruna karşı De Jong (2007), sıçramadan önce egemen olan son baz rejim gerçekleşmesine (geriye dönük en fazla 10 gözlemi alarak) koşullu olarak ilgili geri dönüş döneminde beklenen baz rejimin beklenen değeri ve varyansını yinelemeli olarak hesaplamayı önermiştir. Janczura ve Weron (2012), son on gözlemin işgal edeceği hafıza ve yöntemin getirdiği kısıtlardan kaynaklanan verimsizliği gidermek üzere farklı bir algoritma geliştirmişlerdir.

Üçüncü kategoriye çok faktörlü spot fiyat modelleri oluşturmaktadır. Literatürde öne çıkan çalışmaları özetleyen Tablo 3 ve referans modeller ile ilgili bölümde de çokça geçen önemli bir ayırım, modele ait faktör sayısıdır. Weron vd.'ne (2004) göre bazı olgular, bir takım ilintili stokastik diferansiyel denklemler ile modellenir, bu da çok faktörlü niteliğini getirmiştir. Buradaki ilintili olma, diferansiyel denklemlerin mutlak surette birbiri ile ilişkili olması anlamına gelmemektedir. Fiyat sürecini özetleyen temel eşitlikte yer bulan ve diferansiyel formda ele alınan herhangi bir alt süreç, diğer alt

süreçlerden bağımsız olabilir. İlerleyen bölümlerde de ele alındığı gibi esas olan, temel fiyat eşitliğine dahil olan ve değişimi ayrıca ele alınan alt süreçlerin, diğer ifadesiyle faktörlerin sayısıdır. Gözlemlenebilir olan ya da olmayan faktörlerin dahil edilmesiyle boyutu arttırabilen bu modeller spot ve forward fiyatların ortak dinamiklerine yönelik daha gerçekçi bir tutum sergilemektedirler. Yine Markov özelliği yitirildiği için faktörlerin doğurduğu rejimlerin filtrelenmesi ve gözlenemeyen durum değişkenlerinin parametrelerinin hesaplanması ihtiyacı doğmaktadır. (Aïd, 2015:28). Bu yüzden Meyer-Brandis ve Tankov (2008) çalışmasında olduğu gibi farklı disiplinlerde kullanılan yöntemler de filtrelemeye yönelik olarak ele alınabilmektedir.

Maliyet (güç yığın) ile talep eğrilerinin etkileşimi ile oluşan denge fiyatını basitleştirilmiş olarak modelleyen yapısal modeller dördüncü grupta ele alınmıştır. Gözlemlenemeyen faktörlerin aksine yakıt fiyatları, tüketim, devre dışı kalan santraller gibi spot fiyat üzerinde etkili somut değişkenleri dikkate alan bu modeller, bu tercihten dolayı filtreleme tekniklerini tercih etmezler. Spot genelde gözlenen faktörlerin doğrusal olmayan bir fonksiyonu olduğundan futures ya da forward fiyatlara uygulanması güçtür (Aïd, 2015:28).

2.4.3. Fiyat Modellerine İlişkin Literatür Özeti

Bölüm girişinde de belirtilen fazlaca çalışma arasından spot fiyat dinamiklerini ve vadeli piyasalara yansımalarını uygulama örnekleri ile konu edinen ve finans disiplini çerçevesinde yapılan araştırmalar Tablo 3'te özet olarak sunulmuştur. Çalışma seçiminde titiz davranılarak belirlenen amaca matuf ve öne çıkan çalışmalar alınmıştır. Bunların da biri dışında, tamamı daha olgun yabancı piyasaları konu edinmiştir. Piyasaların değişik dönemlerini içeren veri setleri de bu bakımdan anlamlıdır ve ayrı bir incelemeyi hak etmektedir. İncelenen çalışmaların bazılarında gözlenen bir husus da veri dönemi ile yayın tarihi arasında geçen zamanın uzun olabilmesidir. Bu durum, çalışmaların yoğun olarak matematiksel finanstaki gelişmelere, yeni yöntemlere dayanmasına bağlı olarak zaman alması ve bilgi alışverişi gerektirmesi ile açıklanabilir.

Tablo 3: Spot Elektrik Fiyatlarının Modellenmesine Yönelik Literatür Özeti

Çalışma	İlgili Piyasa	Veri	Model Sınıfı/Tanımı	Mevsimsellik Düzeltme Yöntemi	Sıçrama Ayırma Yöntemi	Özet Sonuç
Barlow (2002)	Alberta (Kanada) Kaliforniya (ABD)	01/1996-08/2001 Pik yük saatlerin ortalaması (Dönem 3 ayrı pencerede ele alınmıştır).	Yapısal model	Talep sürecine etkisi muhtemel sinüzoidal fonksiyonlar önerilmiştir.	Arz-talep dengesi üzerine geliştirilen model sıçrama bileşeni içermeksizin sıçramaları yakalayabilmektedir.	Arz-talep dengesi kapsamında türetilen “Doğrusal Olmayan OU” model, sıçramaları piyasanın yapısal özelliklerini yansıtan konveks fonksiyonla modelleyebilmektedir. Basit OU süreci ve Schwartz modeline göre iyi uyum sağlayan modelin uyarlanması zordur.
Huisman ve Mahieu (2003)	APX (Hollanda) LPX (Almanya) Telerate Endeks (İngiltere)	01/2001-11/2002 06/2000-11/2002 08/2000-11/2002 Günlük spot fiyat	Rejim-değişim modeli	Hafta sonu fiyatlarının nispeten daha düşük gerçekleşmesinden hareketle ayrı ayrı olmak üzere cumartesi ve pazar günleri için kukla değişkenler kullanılmıştır.	Kurgulanan MRS modeli kapsamında sıçramaları içerir rejim ayrıştırılmıştır.	Stokastik sıçrama süreci içeren önceki çalışmaların kısa süreli sıçrama olgusunu modelleyemediklerine karşın, önerilen MRS modelinin fiyat dinamiklerindeki ortalamaya dönme ve sıçramaları eş zamanlı modelleyebildiği vurgulanmıştır.
Cuaresma vd. (2004)	LPX (EEX-Almanya)	06/2000-10/2001 Saatlik spot fiyatlar	AR, ARMA, Sıçramalı ARMA	Haftalık mevsimsellik: Kukla değişken Yıllık mevsimsellik: Ay bazlı kukla değişken (Saat için de kukla kullanılmıştır).	Özyinelemeli filtreleme (Eşik yöntemi)	Doğrusal modellerle tahminin iyi sonuçlar verdiği, sıçrama bileşeni de eklenince daha gerçekçi tahminlere ulaşıldığı raporlanmıştır. Veri üreten sürecin soyut bileşenler olarak nitelendirilen doğrusal olmayan öğeleri ve volatilité kümelenmesinin modele dahil edilmesinden kaçınıldığı ifade edilmiş, ilerleyen çalışmalar için bu öğeleri içerir daha gelişmiş modeller önerilmiştir.

Çalışma	İlgili Piyasa	Veri	Model Sınıfı/Tanımı	Mevsimsellik Düzeltme Yöntemi	Sıçrama Ayırma Yöntemi	Özet Sonuç
Cartea ve Figueroa (2005)	İngiltere ve Galler	Günlük ortalama fiyatlar (02.04.01-03.03.04)	Spot fiyatlar için Ortalamaya-dönen sıçrama-yayınım modeli kullanılmıştır.	Haftalık mevsimselliğe odaklanılmış, haftanın günleri bazında hesaplanan ortalamalar seri değerinden, gün tipi dikkate alınarak çıkarılmıştır. Bu işlem, getiri serisine uygulanmıştır.	Mutlak değer olarak getirinin üç standart sapmasından büyük getiriler, öz yinelemeli filtre ile sıçrama olarak ayrıştırılmıştır.	Araştırmacılar, önerdikleri spot fiyat modeli ile kapalı formda ³⁸ forward eğrisini elde etmişlerdir. Modelin bazı parametrelerini tarihi spot, bazılarını forward fiyatlarla tahmin eden hibrit yöntem benimsenmiştir. Nedeni, ilk yıllarında piyasanın verilerinin yeterli olmamasıdır. Yöntemin sakıncaları olsa da dinamik risk dengeleme (“dynamic hedging”) stratejisi izlenmesi durumunda model, piyasanın değişen unsurlarını ele alacak şekilde tekrarlı olarak yeniden kalibre edilebilir. Normal dağılımdan sapmaları daha iyi açıklamak üzere ileride yapılacak çalışmalarda Lévy süreçleri de ayrıca önerilmiştir.
Conejo vd. (2005)	PJM (ABD)	2002 yılı GÖP saatlik fiyat serileri kullanılmıştır. Modeller 4 mevsimi içerecek şekilde birer haftalık dönemler halinde 4 farklı pencerede kurgulanmıştır.	ARIMA, Dinamik regresyon, Transfer fonksiyonu olmak üzere zaman serileri yöntemleri ile Yapay sinir ağları ve Dalgacıklar kullanılmıştır.	Saatlik verilerle çalışıldığı için mevsim etkileri, genel olarak 24 ve 168. gecikmeli değerler dikkate alınarak giderilmiştir. Birincisi günlük, ikincisi haftalık mevsimselliğe yöneliktir. Model bazında farklılaşan ek gecikmeli terimler de kullanılmıştır.	Çalışmada sıçramalara, tahmin edilmesinin zor olduğuna dair açıklama dışında değinilmemiştir. Bunun yerine karşılaşılan olağandışı gözlemleri, ya da aykırı değerleri tespit etmek ve bunların etkilerini en aza indirmek üzere bir yazılımdan faydalanıldığı belirtilmiştir.	Uygulaması yapılan modeller, gün öncesi piyasalarında teklif performansını geliştirmek üzere kısa dönemli öngörü yapmaya odaklıdır. Dört mevsimi simgeleyen ve yazarlar tarafından seçilen birer haftalık dönemlerin sıçrama yoğunluğu ve büyüklüğü açısından ayrıca ele alınması gerekebilir. Örneklem içi performans bakımından transfer fonksiyonu içeren model ve dinamik regresyon modeli en iyi modellerdir. Bu sonuçtan hareketle yazarlar, zaman serileri tekniklerinin yapay sinir ağları ve dalgacık yöntemlerine göre amaca daha uygun olduğunu vurgulamışlardır. En iyi iki model, aynı zamanda talebin geciktirilmiş değerlerini de açıklayıcı olarak içermektedir.

³⁸ Kapalı form (“closed form”), çalışmada da yer aldığı gibi türev ürün fiyatlama terminolojisinde çokça yer bulan matematiksel bir kavramdır. Yazarlar, opsiyon fiyatlama ile ilgili Black’in (1976) önerdiği popüler formülü, bu forma örnek olarak göstermektedir (Cartea ve Figueroa, 2005:327). Çalışmamızın başka bölümlerinde de yer bulan kavram, bir denklemin matematiksel işlem ve fonksiyonlarla (uygun, kabul gören kümede bulunmak kaydıyla) bir problemi çözmesini ifade etmektedir (WolframAlpha).

Çalışma	İlgili Piyasa	Veri	Model Sınıfı/Tanımı	Mevsimsellik Düzeltme Yöntemi	Sıçrama Ayırma Yöntemi	Özet Sonuç
Borovkova ve Permana (2006)	APX (Hollanda) UKPX (Birleşik Krallık) EEX (Almanya)	01/2001-02/2004 04/2001-03/2004 01/2002-05/2004	Potansiyel fonksiyonlu sıçrama-yayınım modeli	Yıllık trend, 12 aylık yürüyen ortalama; yıllık mevsimsellik hem tam hem de yarıyıl etkilerini kapsayacak biçimde sinüzoidal fonksiyonlar; haftalık etkiler, fark alma yöntemiyle modellenmiştir.	Eşik yöntemi, 30 günlük pencerede ve yürüyen ortalama ile uygulanmıştır. Sıçramalar, 2 standart sapma eşiğine göre tespit edilmiştir.	Kullanılan potansiyel fonksiyon, zaman boyutunda farklılaşan ortalama fiyata dönme hızını modelleyebilmektedir. Bu özelliğinden dolayı model, sıçramaların davranışını daha geniş yelpazede türetebilmektedir. Yazarlar, modelin klasik MRJD modeline göre elektrik fiyatlarını daha iyi açıklayabildiğini vurgulamışlardır. Çalışmada sıçrama eşiği için belirlenen standart sapma ölçüsünün 2'den 3'e çıkarılmasının frekansı %10'dan %7'ye geriletildiği bulunmuştur. Piyasa algısına göre %10 frekansının temsili bir ölçü olarak belirtilmesi de dikkat çekicidir.
Mount vd. (2006)	PJM (ABD)	Pik saatlere ait (Fiyat ve yükün en yüksek olduğu 16 saat) günlük ortalama spot fiyatlar ve yük miktarları (01.05.99-31.05.00)	Zamanla değişen parametreler içeren rejim-değişim modeli	Fiyat denklemi, AR(1) bileşenine ilaveten yük ve rezerve yük oranını dışsal değişkenler olarak içermektedir. Yük düzeyinin mevsimselliği açıklayacağı öngörülmüş olup, model alternatiflerinde hafta sonu için kukla değişkenler ilave edilmiştir.	Sıçramalar, lojistik fonksiyona dayalı zamanla değişen rejim geçiş olasılık fonksiyonu içeren model ile ayrıştırılmıştır.	Rezerve yük oranı, teklif edilen kapasitenin gerçekleşen yüke oranla, gerçekleşen yükün üzerinde kalan kısmı olarak tanımlanmıştır. Hem yükün yalnız başına hem de rezerve yük oranı ile birlikte AR(1) bileşenli fiyat denklemine ve geçiş olasılıklarını tayin eden lojistik fonksiyonda kullanıldığı 5 alternatif model değerlendirilmiştir. Gerçekleşen yük ve rezerve yük oranını birlikte içeren model en iyi performansa sahiptir. Öngörülen ve gerçekleşen değerlerin ortalaması alınarak tahmin edilen model de buna yakın sonuçlar vermiştir. GOP fiyatının bir gün sonrasına ait olan yük ve rezerve yük oranına dair ilave bilgi, sıçrama tahmini bakımından daha anlamlıdır.
De Jong (2007)	Muhtelif Avrupa piyasaları	01/2001-03/2004 01/2002-03/2004 04/2002-03/2004 Pik yük günlük ortalama fiyatları	Rejim-değişim modeli	Haftalık mevsimsellik: Fark alma Yıllık mevsimsellik: Sinüzoidal fonksiyon	OU süreci, OU süreci + Poisson-Normal sıçramalar, MRS modeli	Değişen varyans için GARCH modelinin de test edildiği çalışmada, varyanstaki değişim tedrici olmadığından sıçramalı OU sürecinin daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir. Sıçramalı modele yakın sonuç veren MRS modeli, çalışmanın en iyi modelidir.

Çalışma	İlgili Piyasa	Veri	Model Sınıfı/Tanımı	Mevsimsellik Düzeltme Yöntemi	Sıçrama Ayırma Yöntemi	Özet Sonuç
Seifert ve Uhrig-Homburg (2007)	EEX	01/2003-04/2006 Günlük spot fiyatlar	Lucia ve Schwartz'ın iki faktörlü temel modelinden başlayarak sabit/değişken yoğunlukta sıçramalar içeren MRJD modelleri	Yıllık etkiler: Tam ve yarıyıl bazında sinüzoidal fonksiyonlar Haftalık etkiler: Kukla değişken Yılbaşı (Christmas) tatili etkileri: Kukla değişken Serinin bütünü bazında trend de ilave edilmiştir.	MCMC yöntemi ile sıçrama olasılık, yoğunluk ve dağılım parametreleri hesaplanmıştır.	Tedricen ve hızla ortalamaya dönen ve küme halinde (zamana göre değişken yoğunlukta) gelen sıçramalar için 3 grup model öneren araştırmacılar, normal ve lognormal sıçrama dağılımlarının seriyile uyumlu basıklık değeri üretmediği sonucuna ulaşmışlardır. Bu yüzden sıçramalar için üstel dağılım daha uygundur. Yoğunluğun değişken seçilmesi de model performansını artırmaktadır. Sıçrama kümelenmesine odaklı bu yaklaşım, swing opsiyonlar açısından ayrıca anlamlıdır.
Meyer-Brandis ve Tankov (2008)	COB (ABD) MEAD (ABD) EEX (Phelix-Almanya) APX (Hollanda) UKPX (İngiltere) NordPool (Norveç)	05/1997-11/2006 08/2000-11/2006 06/2000-11/2006 05/1999-11/2006 03/2001-11/2006 01/1994-11/2006 Günlük endeks ve spot fiyatlar	İki faktörlü (2OU) Model	Haftalık mevsimsellik: Hafta sonu fiyatları dahil edilmemiş, çalışma günleri için bir düzeltme yapılmamıştır. Yıllık mevsimsellik: Yarıyıl etkileri de dahil edilerek sinüzoidal fonksiyon kullanılmıştır.	“Sert eşik” ile görüntü işleme tekniklerinin arasında yer alan ve kenar tespitine dayanan yöntemlerden “Uyarlanmış Potts Filtresi” kullanılmıştır.	Benth, Kallsen ve Meyer-Brandis (BKM) Modelinin bir uygulaması olan çalışma, modelin yapısı gereği sıçramaları doğrudan modellemek üzere yeni yaklaşımlar getirmiştir. Çalışma, çoklu otokorelasyon yapısının ve çarpımsal mevsimselliğin model tahmininde ne şekilde uygulanacağını ele alması bakımından ufuk açıcudur. Spot fiyatın izlediği yörüngeye yakın patikalar elde edilmesini sağlayan uygulama, sıçrama büyüklükleri için Pareto dağılımını kullanmıştır.
Erlwein vd. (2010)	NordPool (Norveç)	12/1998-08/2002 Günlük spot fiyat	Ortalamaya-dönen sıçrama-yayınım (MRJD) Modeli	Haftalık mevsimsellik: Sinüzoidal fonksiyon Yıllık mevsimsellik: Sinüzoidal fonksiyon (Yarı yıllık ve daha kısa zaman aralıkları da dikkate alınmıştır).	Rejim-değişim modellerinin daha geneli olan HMM (Saklı Markov Modeli) önerilmiş ve EM algoritması ile uyarlanmıştır.	Beklenti-Maksimizasyon (EM- Expectation-Maximization) algoritmasına dayalı model, yeni veri ulaşması ile parametreleri güncelleyerek kendini uyarlayabilen yapıda olduğundan öngörü açısından kullanışlıdır. Ayrıca 2 ya da 3 rejime imkân veren modeller tek rejimli olana göre sıçramaları daha iyi yakalayabilmektedir.

Çalışma	İlgili Piyasa	Veri	Model Sınıfı/Tanımı	Mevsimsellik Düzeltme Yöntemi	Sıçrama Ayırma Yöntemi	Özet Sonuç
Janczura ve Weron (2010)	EEX (Almanya) PJM (ABD) NEP (ABD)	01/2001-01/2009 Günlük ortalama PTF (2 ayrı alt dönemde incelenmiştir.)	Rejim-Değişim Modeli	Haftalık mevsimsellik: Yürüyen ortalama Yıllık mevsimsellik: Dalgacık filtresi - S ₈	Markov rejim-değişim kapsamında 2 ve 3 farklı rejim [yukarı sıçrama-baz-(aşağı sıçrama)] olasılıkları hesaplanarak zaman boyutunda hâkim rejimler tespit edilmiştir.	Literatürdeki farklı sınıftaki modeller ile MRS modellerine dayalı diğer çalışmalar birlikte değerlendirilmiştir. Dikkat çeken bazı ileri modellerin kompleksliğine karşın veriye uyumunun zayıf olduğundan hareketle ele alınan MRS modelinin uyum iyiliği bakımından daha iyi sonuç verdiği vurgulanmıştır.
Pirino ve Renò (2010)	EEX (Almanya) Power Next (Fransa) APX (Hollanda) OMEL (İspanya) SP 15 (Kaliforniya) ERCOT (Texas) Cinergy (Ohio) PJM (Pennsylvania-Jersey-Maryland)	01/2001-07/2005 11/2001-07/2005 01/2001-08/2005 01/2001-05/2005 01/2002-02/2007 01/2002-03/2007 01/2001-05/2007 01/2002-05/2007 Günlük spot fiyatlar	Önerilen parametrik olmayan model, farklı piyasalara uygulanmıştır.	Haftalık mevsimsellik: Hafta sonu fiyatları dahil edilmemiştir. Getiri serisi odaklı yürütülen çalışmada sıçramalardaki mevsimselliğin, getirinin sabit ve volatilité terimlerine göre daha önemli ve baskın olduğu öne sürülmüştür.	Clellow ve Strickland'ın (2000) önerdiği eşik yönteminin farklılaştırılmış versiyonu kullanılmıştır. Bu amaçla zamanla değiştiği kabul edilen varyans için parametrik olmayan özyinelemeli düzeltici filtreden yararlanılmıştır. Filtrede Gauss çekirdeği kullanılmış olup, pencere genişliğinin sıçrama sayısı üzerindeki etkisi de değerlendirilmiştir.	Model, parametrik olan alternatiflerine göre, sıçrama büyüklüğünün dağılımına ilişkin varsayım haricinde, hiçbir ön kabul gerektirmemektedir. Yazarlar, bu özelliğe dayanarak, getirinin deterministik ve stokastik bileşenlerini açıklayan fonksiyonları verinin kendisinin belirlediğini öne sürmektedir. Doğrudan fiyatı esas alan elektrik spot fiyat modellerinin aksine, finansal varlıklara yönelik temel modellere uyumlu şekilde getiri serilerine odaklı bir yaklaşım benimsenmiştir. Yazarlara göre, bu yaklaşım eleştiri konusu edilse de model ile günlük fiyatların doğru şekilde tasvir edilmesi mümkün olmaktadır. Çalışmanın önemli bir bulgusu, 4 Avrupa piyasasının farklı dinamik özellikler göstermemesidir. Diğer 4 ABD piyasası için de aynı bulgu geçerlidir. Avrupa piyasaları ABD'dekilere kıyasla daha yüksek ortalamaya dönme hızlarına sahiptir ve hem baz hem de sıçrama rejimlerinde daha oynaktır.

Çalışma	İlgili Piyasa	Veri	Model Sınıfı/Tanımı	Mevsimsellik Düzeltme Yöntemi	Sıçrama Ayırma Yöntemi	Özet Sonuç
Klüppelberg vd. (2010)	EEX	06/2000-11/2006 Phelix Base Elektrik fiyat endeksi	Üç faktörlü (3OU) model	Haftalık mevsimsellik: Hafta sonu fiyatları dahil edilmemiştir. Çalışma günleri için sinüzoidal fonksiyon kullanılmıştır. Yıllık mevsimsellik: Sinüzoidal fonksiyondan yararlanılmıştır.	En hızlı ortalamaya dönen sıçrama bileşenine, Davis-McCormick tahmincisinden ve Uç Değer Teoreminin bazı sonuçlarından yararlanılarak ulaşılmıştır.	Yazarlar, fiyat sürecinin iyi betimlenmesi için 3 faktörün yeterli olduğunu öne sürmüşlerdir. Birincisi, yüksek dönüş hızına sahip kısa-dönemli sıçrama davranışını; ikincisi, fiyatın orta-vadedeki davranışını ve üçüncüsü, düşük geri dönüş hızına sahip uzun-dönemli değişimleri açıklamaktadır. Uç değer teoremi kapsamında Genelleştirilmiş Pareto Dağılımı (GPD) uyarlanan sıçramalar için biçim parametresi 0,47 olarak tahmin edilmiştir. Bu değer, sıçramaların sonlu varyansa, ancak sonsuz üçüncü momente sahip olduğunu göstermektedir. Diğer 2 faktör için hesaplanan Gamma dağılımı parametreleri de alınarak simülasyonlarla modelin EEX için uygun olduğu gösterilmiştir.
Janczura ve Weron (2012)	EEX (Almanya) NSW (Avustralya)	01/2006-12/2010 01/2006-09/2010 Günlük spot fiyat	Rejim-değişim modeli	Haftalık mevsimsellik: Medyandan fark alma Yıllık mevsimsellik: Dalgacık filtresi- S_6	MRS modeli ile 3 rejim ayırt edilmiştir.	Baz rejimin AR (1) spesifikasyonuna yönelik olarak, önceki MRS modellerine göre hesaplama verimliliği ve hız getiren yeni bir MRS modeli önerilmiştir. Model baz rejimde değişen varyansı da dikkate almaktadır.
Bhar vd. (2013)	PJM (ABD)	01/2004-12/2009 Günlük gerçek-zamanlı fiyat (Yazarlar bu piyasanın en likit piyasa olduğunu belirtmiş, fiyat tanımında detay vermemiştir.)	Ortalamaya-dönen sıçrama-yayınım (MRJD) modeli (Model, değişen varyans için ilave terim içermektedir).	Haftalık mevsimsellik: Kukla değişken Yıllık mevsimsellik: Sinüzoidal fonksiyon (Yarıyıl etkileri de dikkate alınmış, sıçrama yoğunluğu için zamana bağlı deterministik kukla değişken ilave edilmiştir).	Önerdikleri yöntemde Kalman filtresi yardımıyla hesapladıkları rejim olasılıklarını maksimum olabilirlik fonksiyonuna dahil etmişlerdir.	Güçlü mevsimsellik etkisi ve yine mevsime bağlı sıçrama yoğunluğu, kalıcı ve zamanla-değişen volatilité rapor edilmiştir. Kurulan model, kapalı formda futures fiyatlamaya izin verir yapıdadır. Araştırmacılar, yayınının negatif, sıçramaların pozitif piyasa risk fiyatı olduğunu tespit etmişlerdir. Yatırımcılar ya da piyasa katılımcıları, sıçramalar nedeniyle ortaya çıkan riskten korunma baskısı altında, fiyatı sabitlemek için ilave prim ödemeye razıdırlar.

Çalışma	İlgili Piyasa	Veri	Model Sınıfı/Tanımı	Mevsimsellik Düzeltme Yöntemi	Sıçrama Ayırma Yöntemi	Özet Sonuç
Liu ve Shi (2013)	ISO New England (ABD)	01/2008-02/2010 Saatlik spot fiyatlar	ARMA-GARCH ve ARMA-GARCH-M	Oto-korelasyon yapısı dikkate alınarak ARMA terimleri ile mevsim etkileri giderilmiştir.	Farklı versiyonlardaki GARCH ve ortalamada GARCH modelleri tahmin edildiği için herhangi bir sıçrama ayırma yöntemi kullanılmamıştır.	Liberal piyasalarda katılımcılar için saatlik fiyat tahminlerinin kritik hale gelmesine ve elektrik fiyatlarında değişen varyansın fazlaca ele alınmamasına dayanarak yapılan çalışmada ortalamada GARCH modellerinin, klasik (ortalama denkleminde heteroskedastiklik terimi içermeyen) GARCH modellerine göre daha üstün olduğu gösterilmiştir. Son 2 aya tekabül eden verinin örneklem dışı tahmin performansı için kullanıldığı çalışmada, ARMA-SGARCH-M ve ARMA-GJRGARCH-M modellerinin öne çıkan modeller olduğu raporlanmıştır.
Hayfavi ve Talaşlı (2014)	Türkiye	12/2009-07/2012 Günlük spot fiyatlar	Çok faktörlü model (Baz rejim, tam sıçrama (jump), sıçrama ve yarı-sıçrama (semi-spike) süreçleri bulunmaktadır. ³⁹⁾	Haftalık etkiler: Fark alma. Haftanın günleri bazında uygulanmıştır. Yıllık etkiler: Sinüzoidal fonksiyonlar kullanılmıştır.	Pirino ve Reno'nun (2010) kullandıkları yöntem, volatilité için GARCH(1,1) benimsenerek uygulanmıştır.	Önerdikleri ortalamaya dönme içeren ve içermeyen sıçrama bileşenlerinden oluşan çok faktörlü model yanında klasik MRJD ve Janczura-Weron'un MRS modelleri de tahmin edilmiştir. Ampirik seriye göre klasik MRJD modelinden elde edilen patikalarda ortalamaya dönmenin daha yavaş olduğu, sıçrama yoğunluğunun da daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Model, geri dönüşleri de sıçrama olarak değerlendirmektedir. Markov rejim değişim modeline göre de baz rejimde kalma olasılığının yüksek olmasından dolayı seri değerleri sıfır etrafında kümelenmektedir. Önerilen çok faktörlü modelin, bu nedenle iyi bir alternatif olabileceği ifade edilmiştir.

³⁹ Normal fiyat hareketlerini içerir baz rejim ve tam sıçrama (jump) için OU süreci bileşeni ilave edilmemiştir. Ortalamaya dönme etkisi, baz rejime daha yavaş dönen sıçrama (spike) ve yarı-sıçrama (semi-spike) süreçleri için geçerlidir.

Çalışma	İlgili Piyasa	Veri	Model Sınıfı/Tanımı	Mevsimsellik Düzeltme Yöntemi	Sıçrama Ayırma Yöntemi	Özet Sonuç
Nazarova (2014)	EEX	07/2000-08/2008 Phelix Base Elektrik fiyat endeksi	Ortalamaya-dönen sıçrama-yayınım (MRJD-Cartea ve Figueroa) modeli Eşik (Geman- Roncoroni) modeli Faktör (Benth- Kallsen ve Meyer- Brandis) modeli	Hafta sonları seriden çıkarılmıştır. Yıl ve yarıyıl boyunca gözlenen mevsim etkileri sinüzoidal fonksiyonlarla giderilmiştir.	İlk iki modelde baz alınan çalışmalarda yaklaşım izlenmiştir. Faktör modelinde sıçramalar ayrıştırılırken Meyer- Brandis ve Tankov'un (2008) önerdiği sert eşik yöntemi kullanılmıştır.	Çalışmamızda özel bir bölüm olarak yer alan referans modellerin kalibre edildiği çalışmada ilk iki modelin ortalamaya dönme hızı bakımından tatminkâr sonuçlar vermediği belirtilmiştir. Baz rejim için daha hızlı, sıçramalar için daha yavaş ortalamaya dönme hızları ortaya çıkmaktadır. Türev ürün fiyatlamaya yönelik uygulanabilirliğin de tartışıldığı çalışmaya göre, faktör ve MRJD modelleri analitik izlenebilirlik özellikleri ile kullanışlıdır. Faktör modeli, çalışmada belirtilen bazı eksikleri olsa da en iyi model olarak öne çıkmaktadır.
Veraart ve Veraart (2014)	EEX	01/2005-06/2011 Saatlik spot fiyatlar	İki faktörlü model	Haftalık mevsimsellik: Aykırı değerlerden arındırılmış seriye kukla değişken uygulanmıştır. Yıllık mevsimsellik: İhmal edilebilir olarak değerlendirilmiştir.	Klüppelberg vd.'nin (2010) önerdiği yönteme göre sıçramalar ayrıştırılmıştır.	GÖP fiyatları, herhangi bir günün her 24 saatlik dilimi için eşzamanlı belirlendiğinden aynı filtrasyona dayanmaktadır. Diğer bir ifadeyle fiyatlar, anlık spot fiyat sürecinden gelen gün içi fiyatlar değildir. Buradan hareketle saatlik fiyatlar yazarların tanımını verdiği çok-değişkenli Lévy yarı-durağan süreçlerle modellenmiştir. Model sonuçlarına göre 2009'a kadar pik saatlerde görülen yukarı yönlü sıçramalar, bu yıldan sonraki dönemde izlenmemektedir. Bunun yerine baz fiyat hareketlerinden aşağı doğru negatif sıçramalar, sabahın erken saatlerinde görülmeye başlanmıştır. Bu olgunun model kurgusuna dahil edilmesi gereklidir. Ayrıca, izleyen çalışmalar için pik saatlerde gözlenen volatilité kümelenmesi için stokastik volatilitenin dikkate alınması önerilmiştir.

Çalışma	İlgili Piyasa	Veri	Model Sınıfı/Tanımı	Mevsimsellik Düzeltme Yöntemi	Sıçrama Ayırma Yöntemi	Özet Sonuç
Mayer vd. (2015)	EPEX Spot (Almanya) EPEX Spot (Fransa) Nord Pool (İskandinav ülkeleri) ELEXON (Birleşik Krallık)	01/2004-12/2009 Günlük spot fiyatlar	İki faktörlü model	Haftalık mevsimsellik: Kukla değişken Yıllık mevsimsellik: Aylık bazda kukla değişken Ayrıca, yıllık bazda sabit ve trend katsayılarını elde etmek için kuklalar kullanılmıştır.	Eşik yöntemi, farklı bir versiyonu ile, kullanılmış olup yöntem uygulama bölümünde açıklanacaktır.	Çalışma, son yıllarda Avrupa piyasalarında fazlaca gözlenen baz rejiminden aşağı doğru sıçramaları da içerecek model önerisi sunmaktadır. Uygulama bölümünde detaylı ele alınacak model, opsiyon fiyatlama pratiğine yönelik olarak geliştirilmiş olup, pratik bir alternatif sunmakta ve spot fiyat özelliklerini yakalayabilmektedir.
Gonzalez vd. (2017)	APX (Birleşik Krallık) EEX (Almanya-Avusturya)	2000 – 2006 ve 2011 – 2015 (Günlük UK Spot baz endeksi ve Phelix baz endeksi için iki farklı pencerede model tahmin edilmiştir.	İki ve üç faktörlü (2OU ve 3OU) modeller	Hafta sonları seriden çıkarılmıştır. Yıl ve yarıyıl boyunca gözlenen mevsim etkileri sinüzoidal fonksiyonlarla giderilmiştir. Mevsimsellik, çarpımsal formda dikkate alınmıştır.	Model, MCMC yöntemi ile kalibre edilmiştir. Yöntemde rassal-yürüyüş Metropolis-Hastings prosedürüne dayalı Gibbs örnekleme yöntemi kullanılmıştır.	Önerilen model, Benth, Kallsen ve Meyer-Brandis (BKM) Model'inden türetilmiştir. BKM Modelinde geliştirilerek n tane olabileceği belirtilen süreçlerden birinin (ya da teorik olarak birkaçının) -1 katsayısı alması durumunda, modelin (-) işaretli sıçramaları dikkate alabileceği öngörülmüştür. Çalışma sonucunda her 2 piyasa için fiyat serilerinin istatistiksel yapılarının 2007-2010 dönemi öncesi ve sonrası değiştiği, ikinci dönemde pozitif sıçrama bileşen sayısının eksildiği, yayılımı içeren sürecin ortalamaya dönüş hızının arttığı raporlanmıştır. Bir kısmı 2007-2008 finansal krizi ile ilişkilendirilen bu bulgu, aynı zamanda ikinci dönemde üretim/iletim kapasitesindeki sınırlamaların elektrik sistemleri üzerinde azalan baskısını da göstermektedir.

Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

2.4.4. Referans Modeller

Benth vd.'nin (2008), elektrik ve ilintili piyasaların stokastik modellenmesini ele aldıkları eserlerinde spot modeller için yaptıkları ikili ayrıma göre, Denklem (2.17)'de kısaltılmış formda tanımlanan modeller geometrik modellerdir.

$$\ln S(t) = \ln f(t) + X(t) + Y(t) \quad (2.17)$$

Burada S , spot fiyatı; f , deterministik mevsimsellik fonksiyonunu; X , baz ya da normal rejime ait süreci; Y ise sıçramalara ilişkin süreci temsil etmektedir. X ve Y toplamı, fiyat sürecinin stokastik kısmıdır ve mevsimsellikten arındırılmış seri, e^{X+Y} şeklinde yazılabilir. Geometrik nitelendirmesi bu ifadenin finasta hisse senedine yönelik en temel model olan ve aynı şekilde üssel büyümeye dayalı GBM'ye benzerliğinden gelmektedir. Stokastik kısım ile ilgili X ve/veya Y süreçleri toplamda birden fazla olabilir. Benth vd. (2008), içerdikleri stokastik süreç sayısı birden çok olan, bu nedenle çok faktörlü olarak tanımlanan modellerde bulunan stokastik süreçlerin zaman içerisindeki gelişimine yönelik verdikleri SDD ile literatürde yer alan çalışmaların neredeyse tamamını kapsayan bir çerçeve sunmuşlardır.

Klasik modeller, finansal varlık ve emtia fiyat modellerine paralel olarak geometrik formdadır. Aritmetik modeller ise, Denklem (2.18)'de görüldüğü gibi doğrusal ve toplamsal biçimdedir. Elektrik fiyat modellerinde son yıllarda kullanımı yaygınlaşan bu formdaki modeller, günlük sıcaklık modellemeleri için doğal tercihtir (Benth vd., 2008:74).

$$S(t) = f(t) + X(t) + Y(t) \quad (2.18)$$

Geometrik modellerin literatürde fazlaca yer bulmasının nedeni, (-) fiyata izin vermemesidir. Sıcaklık için geçerli olan (-) değerlere nadir de olsa elektrik fiyatlarında da rastlanabilmektedir. Aritmetik modellerin önerilmesinin ardında yatan esas neden ise akım mal niteliğinden dolayı elektrik forward sözleşmelerinin teslimat dönemi içermesi ve buna dönük fiyatlamada aritmetik formun analitik olarak çözümlenebilir olmasıdır (Benth vd., 2008:59). Referans model örneklerinde de görülebileceği gibi her iki formdaki modeller aslında eskiden beri kullanılmakta, ancak fiyat verisi için geometrik form ağır basmaktadır. Bunda logaritmik dönüşümün serileri normalleştirilmesi, dolayısıyla çözümü kolaylaştırması da etkili olmuştur. Ancak, logaritmik dönüşüm de

yapılsa elektrik fiyat serilerinin tipik bileşeni olan sıçramaların serileri normallikten ciddi anlamda uzaklaştırdığı önemli bir olgudur.

2.4.4.1. Schwartz'ın Tek Faktörlü Modeli

Schwartz'ın (1997) yaptığı yıllarda oldukça ilgi gören çalışması, aslında sadece tek değil, iki ve üç faktörlü model önerileri de sunmaktadır. Klasik emtiaya dönük olan çalışmanın elektrik fiyat modelleri literatüründe tek faktör model kapsamında tanınması iki ve üç faktörlü modellerin ilave faktörlerinin fırsat verimi⁴⁰ ve faiz oranı bileşenlerine yönelik olmasıdır. Önerilen her üç model de vadeli piyasa odaklıdır, futures ve forward sözleşmelerin fiyatlarına yönelik kapalı formda çözüm sunmaktadır.

$$dS = \kappa (\mu - \ln S) S dt + \sigma S dz \quad (2.19)$$

Tek faktörlü ilk modelde spot fiyat değişimini açıklayan Denklem (2.19), OU süreci ile ilgili bölümde ele alınan Denklem (2.10)'un farklı bir versiyonu olup dW yerine orijinal makaleyi takiben dz kullanılmıştır. Mevcut fiyat düzeyinin hem ortalama hem de varyans yoluyla fiyat değişiminde etkili olacağı kabul edilmektedir. Çözümü üstel şekilde olan süreç GBM'ye benzetmekle beraber birinci bileşen ortalamaya dönüş içermektedir. Schwartz (1997), forward dinamiklerini matematiksel olarak ifade etmiş, spot emtia fiyatı ve fırsat veriminin, ilkinin çoğu zaman ikincisinin ise hiçbir zaman için gözlemlenemez olmasından hareketle çözüm aşamasını Kalman filtresine dayandırmıştır. Emtia için klasik bir model olan Schwartz (1997) modeli, diğer emtiadan ayrılan özelliklerinden dolayı elektrik için uygun değildir.

2.4.4.2. Ortalamaya-Dönen Sıçrama-Yayınım Modelleri

Tek faktörlü model, sıçrama bileşeni içermemektedir. Bu modele sıçrama sürecini de ilave eden ilk çalışmalar, elektrik piyasalarındaki liberalleşme akımının başlarında görülmüş ve sonrasında sıçramalı modeller yaygınlık kazanmıştır. Kısaltılmış olarak MRJD nitelendirmesi ile tanınan modeli, Clewlow ve Strickland (2000) enerji emtiası türevlerini ve risk yönetimini ele aldıkları eserlerinde Denklem (2.20) formunda ele almış, bu formun ayırıklaştırılmış karşılığını ve seçili parametreler üzerinden simülasyonunu vermişlerdir.

⁴⁰ "Convenience yield" yerine kullanılmıştır. Spot piyasada emtiayı alarak uzun pozisyon sağlayan tacir/yatırımcı, vadeli işlem yaparak uzun pozisyon sağlayana göre üretim, talep, stok değişimlerinin ve beklentilerin neden olacağı fiyat artışında ilave getiri imkanına sahip olmaktadır. Schwartz, elde tutmanın sağladığı bu avantajı ikinci faktör ve ortalamaya-dönen süreç olarak modele dahil etmiştir.

$$dS = \alpha (\mu - \ln S) S dt + \sigma S dz + \kappa S dq \quad (2.20)$$

Clewlow vd. (2001), üç ayı kapsayan Yeni Zelanda yarım saatlik spot elektrik fiyatlarını dikkate alarak modelin parametrelerini hesaplamışlar, MC simülasyonları ile modelin Avrupa tipi alım opsiyonlarının fiyatlandırılmasında kullanılabilir olduğunu göstermişlerdir. Model, basitliğine ve söz edilen çalışmadaki uygulama döneminin kısıtlılığına rağmen içerdiği temel öğeler ile gelişmiş modellerin de önemli bir parçası olmuştur.

2.4.4.3. Lucia ve Schwartz'ın İki Faktörlü Modeli

Genel bir model olan Schwartz (1997) modelinin aksine Lucia ve Schwartz (2002) modeli, elektrik piyasalarına özel bir modeldir. Araştırmacıların bakır ve petrol piyasalarında çok faktörlü modellerin daha iyi performans gösterdiğine dair bulgulara dayanarak önerdikleri iki faktörlü modelde spot elektrik fiyatının gelişimi Denklem (2.21) - Denklem (2.24)'e dayanmaktadır. Fiyat süreci, Denklem (2.21)'deki sıralamaya göre deterministik mevsimsellik fonksiyonu ve iki durum değişkeninin toplamından oluşmaktadır. Durum değişkeni, stokastik sürecin görüntü kümesi olarak ifade edebileceğimiz durum uzayında aldığı değerleri ifade eder (Karatzas ve Shreve, 1998:1).

$$P_t = f(t) + X_t + \varepsilon_t \quad (2.21)$$

$$dX_t = -\kappa X_t dt + \sigma_X dZ_X \quad (2.22)$$

$$d\varepsilon_t = \mu_\varepsilon dt + \sigma_\varepsilon dZ_\varepsilon \quad (2.23)$$

$$dZ_X dZ_\varepsilon = \rho dt \quad (2.24)$$

Birinci durum değişkenini ifade eden stokastik süreç, emtia fiyat modellerinin standart ögesi olan OU sürecidir ve sıfır ortalamaya dönmektedir. Tek faktörlü modellerin açmazı, farklı vadelerdeki futures kontratlarının fiyat değişimleri arasında tam korelasyon olduğunu kabul etmeleridir, piyasa gerçekleri ise ikinci bir faktörü gerektirmektedir (Lucia ve Schwartz, 2002:22). Verilen denklemlerde dZ , Brown hareketin artışlarını simgelemektedir. Dolayısıyla modelde Denklem (2.23) ile verilen ikinci durum değişkeni, aritmetik Brown hareketi ile yönlendirilmektedir. Bu süreç, Schwartz ve Smith'in (2000) petrol fiyatlarındaki stokastik hareketlere yönelik olarak OU sürecine ilave ettikleri uzun dönemli denge fiyat seviyesini ifade eden sürece karşılık gelmektedir.

Sürüklenme faktörüne (μ_ε) bağlı olarak deterministik trend ile ölçek faktörüne bağlı olarak (σ_ε) bunun etrafındaki salınımların toplamı ile ilerleyen süreç elektrik piyasalarında hızla geriye dönen sıçrama süreci için uygun değildir. Dolayısıyla vadeli ürünler için kapalı formda sunduğu fiyatlandırma çözümü de eksik kalmaktadır.

2.4.4.4. Geman ve Roncoroni (GR) Modeli

Geman ve Roncoroni'nin (2006) geliştirdiği model, tek faktörlü olmasına karşın sıçramaları modellemek üzere getirdiği farklı yaklaşım ile öne çıkan bir modeldir. Bu modele kadar başta Deng (2000), Carlea ve Figueroa (2005) çalışmaları olmak üzere MRJD spesifikasyonu taşıyan modellerden söz edilebilir. Bu modeller spot fiyatı tasvir etse de yine türev odaklıdır. Spot merkezli yaklaşımın önemli bir nedeni, liberalleşmenin ilk yıllarında vadeli piyasaların yeterli likiditeye ulaşmaması ve dolayısıyla forward eğrisini modellemek için gerekli verinin noksanlığıdır (Carlea ve Figueroa, 2005:320). Geman ve Roncoroni modelinin diğer önemli özelliği ise vadeli piyasalardan çok spot fiyat serilerinin ampirik özelliklerinin analizine odaklı olmasıdır. Araştırmacılar, buna yönelik olarak diğer çalışmaların dikkate aldığı risk-nötr olasılık ölçüsü yerine sadece gerçek olasılık ölçüsü altında modeli kurgulamışlardır (Geman ve Roncoroni, 2006:1226).

Fazla sayıda denklemlerle şekillenen modelin temel eşitliği Denklem (2.25)'de görüldüğü gibidir.⁴¹ Sinüzoidal fonksiyonlarla şekillenen deterministik mevsim fonksiyonu $\mu(t)$ ile gösterilmiş olup, D , birinci dereceden türevi; P_{t-} ise fiyatın t zamanında soldan limitini ifade etmektedir. Bu gösterimde mevsimselliğin dt zaman aralığındaki değişimi, doğrudan fiyat değişimi ile ilişkilendirilmiştir. Sıçramalar sürekliliği bozduğu ve sıçrama zamanında süreç süreksizliğe neden olan sıçramanın aldığı değerden etkilendiği için, ortalamaya dönme bileşeninde soldan limit dikkate alınmaktadır. Pozitif θ_1 parametresi, $\mu(t)$ ile ifade edilen trendden birim sapma başına fiyatta gözlenen birim zamandaki ortalama değişimi temsil etmektedir (Geman ve Roncoroni, 2006:1230). Değişken, alışlageldik ismiyle ortalamaya dönme hızını ya da kuvvetini gösterir.

$$dP_t = D\mu(t) dt + \theta_1 [\mu(t) - P_{t-}]dt + \sigma dW_t + h(P_{t-}) dJ_t \quad (2.25)$$

⁴¹ Teorik kaynaklarda benimsenen stokastik süreçlerin alt indisli, deterministik süreçlerin klasik fonksiyon gösterimi esas alındığından orijinal makaleden farklı notasyon kullanılmıştır. Bu yaklaşım çalışmanın genelinde benimsenmiştir.

Modelin diğer eşitlikleri sıçramalara dönüktür. Sıçramaların aniden oluşup hızla normal fiyat seviyelerine gerilemesi ya da çekilmesi, araştırmacıları sıçrama bileşenleri için düzey-bağımlı işaret fonksiyonu kullanmaya sevk etmiştir. Mevsim fonksiyonu üzerine bir sabitin eklenmesi ile $(\mu(t) + \Delta)$ şeklinde belirlenen eşğin altında kalan fiyatlar normal rejimdedir, oluşabilecek bir sıçrama yukarı yönlü olacaktır, dolayısıyla sıçrama yönünü tayin eden h fonksiyonu Denklem (2.28)'de görüldüğü gibi +1 değerini almalıdır. Araştırmacılar eşği belirleyen sabitin yüksek seçilmesi halinde piyasa baskısının olduğu dönemlerde fiyat seviyelerinin daha yüksek seviyelere çıkacağını, küçük olması durumunda ise aşağı yönlü hareketin hızla sönümleneceğini belirterek bu seçimin getirdiği ödünleşmeyi ortaya koymuşlardır. Fiyat değişimlerinin momentlerini de etkileyecek seçim için başvurulacak yol, ampirik maksimum sıçramaları ortalamada yakalayacak bir sabit, dolayısıyla eşik tayinidir (Geman ve Roncoroni, 2006:1238).

$$l(t) = \theta_2 \times s(t) \quad (2.26)$$

$$p(x; \theta_3, \psi) = c(\theta_3) \times \exp[\theta_3 f(x)], \quad 0 \leq x \leq \psi \quad (2.27)$$

$$h(P_t) = \begin{cases} +1, & P_t < \tau(t) \\ -1, & P_t \geq \tau(t) \end{cases} \quad (2.28)$$

Bağımsız ve özdeş dağılımlı sıçrama büyüklükleri için genel anlamda olasılık yoğunluk fonksiyonu (2.27)'de verilmiştir. $c(\theta_3)$, olasılık fonksiyonunun taşıması gereken özellikleri sağlayan bir sabit; ψ , maksimum sıçrama büyüklüğü olmak üzere eksponansiyel dağılım ailesinden seçilecek üstten kesik bir dağılım, bu çalışmada üst mertebedeki ampirik momentleri üretmede başarılı olmuştur (Geman ve Roncoroni, 2006:1232). Özelde seçilen ve belirtilen şartları sağlayan dağılım fonksiyonu daha yalındır ve Denklem (2.29)'da gösterilmiştir.

$$p(x; \theta_3, \psi) = \frac{\theta_3 \exp(-\theta_3 x)}{1 - \exp(-\theta_3 \psi)}, \quad 0 \leq x \leq \psi \quad (2.29)$$

Modelin getirdiği önemli bir yenilik, sıçrama yoğunluğunda izlenebilecek olası bir örüntüdür. Yoğunluk süreci, deterministiktir ve $s(t)$, normalleştirilmiş (muhtemelen periyodik) sıçrama yoğunluk eğrisini; θ_2 , birim zamanda beklenen maksimum sıçrama sayısını ifade etmektedir (Geman ve Roncoroni, 2006:1232). Araştırmacıların tasarladığı sıçrama yoğunluk eğrisi, güç yığın eğrisine benzer şekilde konveks yapıdadır.

$$s(t) = \left\{ \frac{2}{1 + |\sin[\pi(t - \varphi)/k]|} - 1 \right\}^d \quad (2.30)$$

Bu eğriye ilişkin verilen Denklem (2.30)'da k parametresi, periyodu, somut ifadeyle ardışık pik düzeylerde gerçekleşen sıçrama kümelerinin aralarındaki yıl cinsinden zaman aralığını gösterir. Parametrenin iki olması, iki yılda bir pik düzeylere ulaşılacağı anlamına gelir. Piyasanın çevresel şartları parametre seçimini etkiler. Yaz ve kış mevsimlerinde görülen pik düzeyler için doğal seçim $1/2$, sadece birinde izlenen yoğunlaşmalar için ise birdir. Diğer taraftan φ parametresi faz farkını ifade eder ve pik düzeyin gerçekleşme zamanlarının kontrolünü sağlar. Örneğin $1/2$ değeri, pik düzeyin yılın ortasında, temmuz başında görülmesini modellemek için uygundur. Yazarların kümelenme endeksi olarak nitelendirdikleri d parametresi sıçramaların pik frekans (zaman) çevresinde yoğunlaşmasını ifade etmektedir (Geman ve Roncoroni, 2006:1237). Değer yükseldikçe sıçramalar birbirine yakınlaşmakta, kümelenme derecesi artmaktadır. Sıçrama yoğunluğunun tamamen rassal belirlenmesinden buraya verildiği gibi matematiksel formda uyarlanması hem daha gerçekçi modellere hem de pratikte daha iyi tahminlere imkân tanıyacaktır.

Araştırmacılar tarafından sunulan model kalibrasyonu, iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada yapısal öğeler olan nitelendirilen μ , s , τ ve p tayin edilmektedir. İkinci aşama, çalışmanın ilgili kısmında ve ekinde ispatıyla sunulan yaklaşık logaritmik-olabilirlik fonksiyonunu maksimum kılan parametre setini, $\hat{\theta} = (\hat{\theta}_1, \hat{\theta}_2, \hat{\theta}_3)$, hesaplamaya yöneliktir. Yukarıda bahsedilen eşik (τ), modeli klasik MRJD modellerinden ayıran en önemli özellik olan sıçrama işaretlerinin tespitine yarar. Sıçramalar, fiyat sürecinde süreksizliğe neden olan noktalardır, bunları sürekli kısımdan ayırtmak için farklı bir eşığe ihtiyaç duyulur. Ayırtmayı sağlayan fiyat değişim eşığı (Γ) de kalibrasyonun ikinci aşamasında optimize edilmektedir.

Üç farklı Amerika piyasasının (ECAR, PJM ve COB) 06/01/1997 – 30/12/1999 dönemi spot fiyatlarından oluşan veri seti ile kalibre edilen modelin tahmin edilen parametreleri ile yapılan simülasyonlar, çarpıklık değerlerinin pozitif yönde daha büyük olması dışında, ampirik momentleri yakalamada başarılı olmuştur. Çarpıklık değerlerindeki fazlalık, yazarlar tarafından modelde ortalamaya-dönme etkisinin biraz daha baskın hale getirilmesi gerektiği şeklinde yorumlanmıştır. Bu yöndeki en çarpıcı

sonuç ECAR piyasası modelinde gözlenmiş olup simülasyonlarının verdiği çarpıklık değeri ampirik değerden anlamlı bir şekilde yüksektir (sırasıyla 2,1686 ve -0,5575). Araştırmacıların sundukları fiyat düzeyine bağımlı, dolayısıyla stokastik sıçrama yoğunluk fonksiyonu içeren alternatif model, ampirik basıklık değerine yakınsamayı sağlasa da (-0.0119) basıklık değerinden ciddi sapma ile sonuçlanmaktadır. Dördüncü derece moment olan basıklık, doğrudan elektrik piyasalarını diğer piyasalardan ciddi anlamda ayıran sıçrama riskine yöneliktir, bu yüzden araştırmacılar modelin ilk haliyle (deterministik sıçrama yoğunluk fonksiyonlu) daha anlamlı olduğunu savunmuş, sabit kabul edilen volatilitenin zamanla değişir hale getirilmesinin de önemli bir katkı sağlamadığını kaydetmişlerdir.

Rejim değişim modellerindeki en önemli sıkıntılar, yukarı sıçramaların ardışık halde gerçekleşmesine imkân tanımayan yapı ve normal rejime aşağı yönlü keskin sıçramayla gerçekleşen dönüşün neden olduğu Markov özelliğinin kaybıdır (Geman ve Roncoroni, 2006:1232). Yukarıda özetlenen model bu sıkıntıları aşmaya yöneliktir. Diğer taraftan Meyer-Brandis ve Tankov (2008), Markov modellerini ele aldığı bölümde modeli tek faktörlü Markov sıçrama-yayınım modeli olarak nitelendirmişlerdir. Sıçrama rejimi ile baz rejim birbirinden kalibre edilmesi zor olan deterministik bir eşik ile ayrılmaktadır. Sıçrama rejiminden dönüşler stokastik bir düzeye değil, deterministik ortalamaya olmaktadır, ayrıca bu fiyat eşliğinin önceden tayin edilmesi, gerçekçi değildir (Meyer-Brandis ve Tankov, 2008:514). Ancak, stokastik matematikteki ilerlemeleri kullanarak kurgulanan sürekli zaman modellerinin ayrık zamanda gözlemlenebilen gerçek veri seti ile kalibre edilmesinde yaşanan zorluk derecesi de göz önünde tutulmalıdır.

2.4.4.5. Benth, Kallsen ve Meyer-Brandis (BKM) Modeli

Çok faktörlü modellerin en gelişmiş örneklerinden olan BKM modeli de türev ürün fiyatlama hedefi doğrultusunda öncelikle spot fiyat dinamikleri üzerinde yoğunlaşmıştır. Meyer-Brandis ve Tankov (2008), birçok yazarın, ortalamaya dönmenin stokastik baz düzeye doğru gerçekleşmesini sağlamak üzere, fiyatın muhtelif faktörlerin toplamı olarak modellenmesini önerdiklerini belirtirler. Araştırmacılar, bu yöndeki ilk çalışmalar arasında Barlow vd.'nin (2004) çalışmasını öne çıkarırlar. Çalışmada öne sürülen modellerden ikincisi Meyer-Brandis ve Tankov (2008)'un da belirttiği gibi iki Gauss dağılımlı OU süreci içermektedir. Ancak bu modelde fiyat sürecine ait SDD'de verilen OU sürecinin ortalama değeri de ayrı bir SDD ile ikinci faktör olarak modellenmiştir. İkinci faktörü niteleyen bu SDD ise uzun dönemli bir ortalamaya

dönmeyi tasvir eden OU sürecine ilişkindir. Kısacası fiyat süreci iki OU sürecin toplamı olmaktan ziyade başka bir OU süreç ile hareket eden ikinci faktöre bağlıdır. Villaplana'nın (2003) çalışmasındaki benzer modeller ise burada sözü edilen iki OU süreç yaklaşımına daha uygundur. Villaplana (2003), 2.4.4.3. alt bölümünde verilen iki faktörlü modelin birinci faktörüne ait SDD'ye sıçrama bileşeni ilave etmiş, ikinci faktörün SDD'sini OU süreci olarak tasarlamıştır. Her iki OU süreci de Gauss dağılımlıdır. Bu çalışmaların bir devamı olarak geliştirildiğini ifade edebileceğimiz BKM modeli, dayandığı çalışmanın başlığından da anlaşılacağı gibi, fiyat sürecinin, Gauss dağılımlı olmayan OU süreçlerinin toplamından oluştuğunu kabul eder.

$$S(t) = \mu(t) + X(t) \quad (2.31)$$

$$X(t) = \sum_{i=1}^n w_i Y_i(t) \quad (2.32)$$

$$dY_i(t) = -\lambda_i Y_i(t)dt + \sigma_i(t)dL_i(t), \quad Y_i(0) = y_i, \quad i = 1, \dots, n \quad (2.33)$$

Benth vd. (2007), modeli öne sürdükleri çalışmalarında OU süreçlerin rassallık terimleri olarak pozitif değerler alan sıçrama süreçleri içerdiklerini ve farklı hızlarda ortalamalarına döndüklerini belirtirler. Modelin (2.31) - (2.33)'de⁴² verilen denklemlerinden sonuncusunda bu durum ifade edilmiştir. Denklem setinde w_i , pozitif ağırlık fonksiyonlarını; λ_i , pozitif sabitleri ve $\sigma_i(t)$ ise pozitif sınırlı fonksiyonları göstermektedir. $L_i(t), i = 1, \dots, n$ süreçlerinin bağımsız artan càdlàg sıçrama süreçleri olduğu kabul edilmiştir (Benth vd., 2007:156). Fransızca kaynaklı càdlàg, tam da sıçrama süreçlerini ifade eden matematiksel finans terimi olup sağdan sürekli ve soldan limitli olma anlamına gelir. Càdlàg sürecin Lévy süreci olması için gereken üç temel şart, bağımsız artışı, durağan artışı ve stokastik sürekliliğe⁴³ sahip olmasıdır (Cont ve Tankov, 2004:70). Araştırmacılar, modelin teorisine dönük açıklamalarında $L_i(t)$ sembolü ile gösterdikleri sürecin Lévy süreci olduğuna dair herhangi bir açıklama yapmamışlardır. Hatta bu durumla tutarlı olmak üzere ele aldıkları sürecin bağımsız artışlara sahip olduğunu, ancak mutlaka durağan artışı olması gerektiği belirtilerek

⁴² Model çok faktörlü olduğu için stokastik süreçler için yazarların kullandığı gösterim tercih edilmiştir. Alt indisler stokastik faktörleri birbirinden ayırmak üzere süreç numarasını göstermekte, zaman ise karışıklığa yol açmamak için fonksiyon değişkeni olarak yer almaktadır. Aynı durum 2.4.4. Referans Modeller bölümü girişinde yer alan Benth vd.'nin (2008) genelleştirilmiş denklemlerinde de geçerlidir.

⁴³ Stokastik süreklilik, klasik süreklilikten farklı olup yararlanılan kaynakta da belirtildiği gibi Poisson gibi sıçramalı süreçler stokastik süreklilik koşulunu sağlamaktadır.

anılan süreçlerin toplamsal ya da Sato süreçleri olarak da bilindiği ifade edilmiştir (Benth vd., 2007:156).

Modelin parametrelerinin hesaplanmasına yönelik somut bir uygulama içermeyen çalışmada simülasyon örneği ile NordPool spot fiyatlarına yakın patikalar elde edilmiştir. Örnek modelde üç OU süreci olup, ağırlıklar eşit alınmıştır. Normal fiyat değişimlerini ele alan birinci OU süreci Gamma dağılımlıdır ve en yavaş dönüş hızına ($\lambda_1 = 0.06$) sahiptir. İkinci ve üçüncü OU süreçleri ise sıçramalı olup sıçrama büyüklükleri üstel dağılıma tabidir. İkinci OU süreci, daha seyrek görülen ve daha az büyüklüğe sahip sıçramalara yöneliktir. Sıçrama yoğunluğu homojen⁴⁴ seçilen süreç, arz ve talepte değişime neden olan piyasa haberleri ile ilişkilendirilmiştir ve dönüş hızı üçüncü OU sürecine göre yavaştır. Bu süreç, çalışmada örneklendirilmese de gözlenmesi zor olan piyasa müdahalelerinin neden olduğu dalgalanmalara yönelik kullanılabilir. Üçüncü OU süreci ise, mevsim kaynaklı sıçramaları modeller, en hızlı dönüş hızına ve homojen olmayan sıçrama yoğunluğuna sahiptir (Benth vd., 2007:157). Örnekte verilen süreçler (Gamma ve bileşik Poisson süreçleri) durağan artışıdır ve yukarıdaki paragrafta değinilen notasyona ve uygulamadaki sıklığa uygun olarak Lévy süreçleri arasından seçilmiştir.

BKM modelinde aritmetik formun tercih edilme nedeni, çalışmanın spot fiyat simülasyonundan sonraki önemli bir kısmının kapalı formda forward ve futures fonksiyonlarının çıkarımına ayrılmasıdır. Yukarıda da belirtildiği gibi aritmetik form bu amaca daha uygundur. Ayrıca çalışmada ele alındığı gibi Fourier teknikleri ile forward/futures kontratlar üzerine yazılı alım/satım opsiyonları analiz edilebilmektedir. Diğer taraftan aritmetik formun fiyatların negatif gerçekleşmesine izin veren yapısına karşı pozitif artışı $L_i(t)$ süreçleri önerilmiştir.

Vadeli piyasalara dönük tarafı ile kullanışlı olan model, nihayetinde bu kullanım için de parametrelere ihtiyaç duyacaktır. Parametreler ise inceleme konusu spot piyasa verileri ile modelin kalibrasyonunu gerektirir. Benth vd. (2007), bu konuya da kısaca değinmişlerdir. Mevsimsellikten arındırılmış X_t süreci, ayrık zamanlarda gözlenmektedir; sürecin Markov özelliğinden ve modelin parametre çıkarımlarını sağlayacak açık bir olabilirlik fonksiyonundan mahrum olmasından dolayı modelin ne

⁴⁴ Homojenlik zaman boyutunda olup, sıçramaların belirli bir örüntü izlemediği, tekdüze dağıldığı anlamına gelmektedir.

şekilde tahmin edileceği net değildir. Yine de araştırmacılara göre umut verici iki yaklaşımdan ilki, kısmen gözlemlenen kendine bağımlı modelin MC metotları ve parçacık filtresi kullanılarak hesaplanmasıdır. İkinci ve muhtemelen daha verimli yaklaşım ise Sorensen'in (2000) önerdiği tahmine dayalı hesaplama fonksiyonlarına (prediction-based estimating functions) dayanmaktadır (Benth vd., 2007:159).

Bölüm girişinde verilen Denklem (2.18), BKM modelinin daha geliştirilmiş temel denklemidir ve Benth vd.'nin (2008) eserlerinde verdiklerinin basitleştirilmiş halidir. Anılan eserdeki formülde ise m adet X_t ile simgelenen ve olağan, günlük, ortalamaya en yavaş dönen hareketleri modelleyen Wiener artışı süreç; n adet de farklı hızlarda ortalamalarına dönen sıçramalara yönelik Y_t simgeli OU süreçleri bulunmaktadır. Modelin öne çıkan somut üç uygulamasında ise, yukarıda değinilen kalibrasyon zorluklarından dolayı en fazla üç OU (literatürdeki gösterimi ile 3OU) süreçli yapı söz konusu olmaktadır. Üç uygulama, Meyer-Brandis ve Tankov (2008), Klüppelberg vd. (2010) ile daha yakın zamanda yapılan Gonzalez vd.'nin (2017) çalışmaları olup ana hatlarıyla Tablo 3'te özetlenmiştir. Uygulama çalışmaları farklı teknikler ile sıçramaları filtrelemeye ve matematiksel modellemeye dayalıdır. Sözü edilen çalışmalardan ilk ikisinin bazı yaklaşımlarından uygulama bölümünde yararlanılmıştır. Ayrıca mevsimsellikten arındırılmış Türkiye spot elektrik fiyat serisinin üç OU sürecinin toplamı şeklinde modellenebileceği değerlendirilmiştir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

SPOT FİYAT MODEL UYGULAMALARI: TÜRKİYE PİYASASI

Sadelik, karmaşıklıktan önce gelmez, ancak onu takip eder.

A. Perlis (1982)

Gelişmiş ülkelerdeki örneklerinin aksine daha genç olan ülkemiz elektrik spot piyasası, bir önceki bölümde ele alınan modeller ve uygulama örnekleri çerçevesinde incelenmeyi hak etmektedir. Bu yöndeki çalışmalar, katılımcıların bir taraftan piyasa gözetimi kapsamında piyasa işletmecisine ve birbirlerine karşı sorumluluklarının dinamik bir şekilde düzenlenmesine hizmet ederken, diğer taraftan farklılaşan risk toleranslarına cevap verir risk yönetimi ürünlerinin geliştirilmesi ve yaygınlaşmasına da yardımcı olur. Modeller, aynı zamanda finansal piyasalardaki anomalilere benzer şekilde piyasa üzerinde dönemsellik arz eden fiyat baskılarının, sosyal ve siyasi amaçlı düzenleme ile müdahalelerin izlenmesi ve kavranmasına, döngüsel olarak iyileştirmelerle daha şeffaf ve etkin bir piyasanın oluşumuna imkân tanır.

Bu amaçlara yönelik olarak liberalleşme adımlarının önemli bir kısmını geride bırakan piyasamızın fiyat hareketlerinin analizi ve ileri modellerin piyasamıza uygulanması, bu bölümün konusudur. ABD ve Avrupa piyasaları için tasarlanan modeller, piyasanın tipik özelliklerini yansıtması bakımından ülkemiz piyasası açısından da anlamlıdır. Bunun yanında ülkemize ve bazı dönemlere özgü gelişmeler konusunda da ipucu veren modeller, piyasamızla ilgili spesifik hususların ve dönemsel politikaların daha detaylı ele alınmasına önyak olacaktır. Bu maksatla çalışmanın ikinci bölümünde özetlenen modeller, uygulanabilirliği ölçüsünde ülkemiz elektrik piyasasına dönük olarak incelenecek, fiyat serilerinin özelliklerini daha iyi yansıtır modeller uygulama alanı bulacaktır. EEX özelinde değinildiği gibi elektrik türev ürünleri ticareti hızla artmaktadır. Buna bağlı olarak araştırmacılar, EEX ve benzeri piyasalar için bu ürünleri önceleyen modellerin geliştirilmesini ve model özellikleri de göz önüne alınarak bu modellerin

uygulama alanı bulmasını amaçlamaktadırlar. Ülkemizde genel olarak türev ürün kullanımını gelişmiş piyasalara oranla sınırlı kalsa da model uygulamasının risk ürünlerinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılmasına imkân tanıyacağı beklenmektedir.

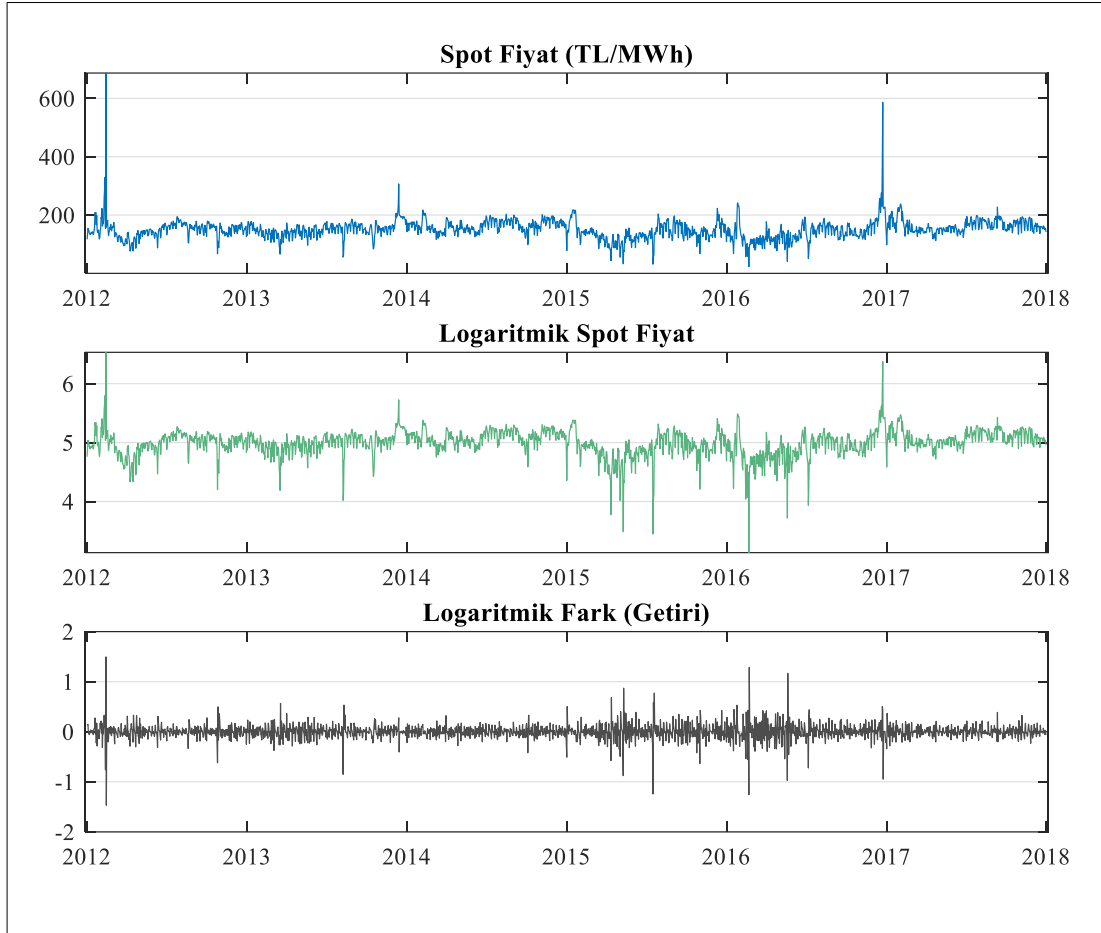
3.1. Veri Seti ve Zaman Serileri Özellikleri

2015 yılı Eylül ayından itibaren piyasa işletmecisi görevini üstlenen EPIAŞ'ın TL/MWh cinsinden açıkladığı saatlik GÖP takas fiyatları veri setini oluşturmaktadır. Referans modellerde günlük takas fiyatları tercih edilmektedir. Bu tercihe ilişkin ikinci bölümün girişinde belirtilen gerekçeler de göz önünde bulundurularak bir günü oluşturan birer saatlik 24 dilimin takas fiyatlarının aritmetik ortalaması alınarak veri seti oluşturulmuştur. Günlük ölçekte baz yük ortalama fiyatına da tekabül eden bu fiyat serisi oluşturulurken yaz ve kış saati dönüşümlerinin geçerli olduğu yıllarda dönüşümlerin gerektirdiği düzeltmeler yapılmıştır.

Fiyat serisi, 01.01.2012 – 31.12.2017 dönemini kapsamaktadır. Dönem seçiminde GÖP'ün piyasa olarak işlerlik kazanmasına ilişkin birinci bölümde değinilen süreç yönlendirici olmuştur. Planlama faaliyeti odaklı başlayan serbest piyasamız, Aralık 2011'den itibaren elektrik ticaretini de kapsayacak şekilde genişlemiştir. Sözü edilen geçiş dönemi ile birlikte GÖP'ün piyasa hacmindeki payında Şekil 19'da gözlenen yukarı yönlü kırılma piyasa faaliyetinin başlangıcına işaret etmektedir. Yine aynı şeklin en alt kısmında bulunan grafikten, piyasa faaliyeti ile birlikte DGP hacminde gözlenen aşırı değişkenliğin geçiş süreci ile birlikte törpülendiğini ve hacmin giderek daralan bir bantla sınırlandığını izlemek mümkündür. Dengesizliğin getirdiği ilave maliyetin DGP'de ortaya çıkıyor olması da dikkate alınırsa bu trend, piyasa süreci ile birlikte katılımcıların piyasaya uyumuna da ışık tutmaktadır. Mevsimselliğin modellenmesi açısından birçok çalışmada serilerin yılbaşından başlatılmasından ve geçiş döneminin yılın son ayına rastlamasından hareketle 2012 yılbaşı, serinin başlangıç noktası olarak kabul edilmiştir.

3.1.1. Fiyat Serisi ve İstatistikleri

Fiyat, logaritmik fiyat ve sürekli getiriye tekabül eden logaritmik fark serilerinin seçilen dönem için izlediği yol, Şekil 26'da görülmektedir.



Şekil 26. Türkiye Elektrik Piyasası Fiyat ve Getiri Serileri (2012-2017)

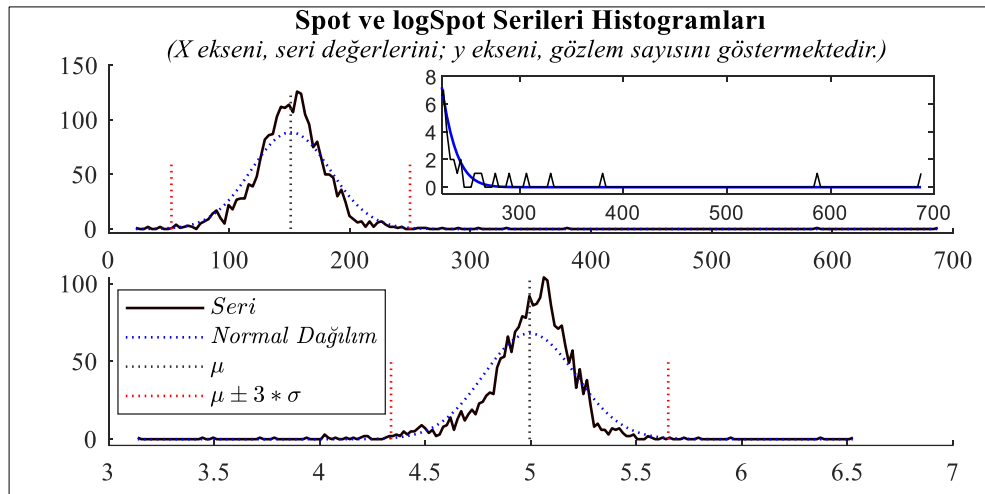
Kaynak: EPIAŞ verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

Fiyat serisi (Spot), TL/MWh cinsinden açıklanmaktadır. Bu fiyat, aynı zamanda 10 lot büyüklüğündeki sözleşmenin fiyatına tekabül etmektedir. Serinin doğal logaritması alınarak elde edilen ve finansal zaman serileri analizi kapsamında sürekli zaman modellerinde kullanılan logaritmik fiyat serisi (logSpot), takip eden analizlerin temel girdisini oluşturmaktadır. Bu serilerin Tablo 4’te sunulan tanımlayıcı istatistiklerinden diğer finansal serilere benzer şekilde normal dağılım göstermedikleri izlenmektedir.

Tablo 4. Fiyat Serileri Tanımlayıcı İstatistikleri

	Spot	logSpot
Gözlem Sayısı	2192	2192
Ortalama	151.02	4.99
Medyan	151.20	5.02
Minimum	22.93	3.13
Maksimum	687.00	6.53
Standart Sapma	32.96	0.22
Çarpıklık	3.16	-1.13
Basıklık	50.09	11.50
Jarque-Bera (JB) İst.	206196.62	7061.99
Prob. (JB)	0.001	0.001

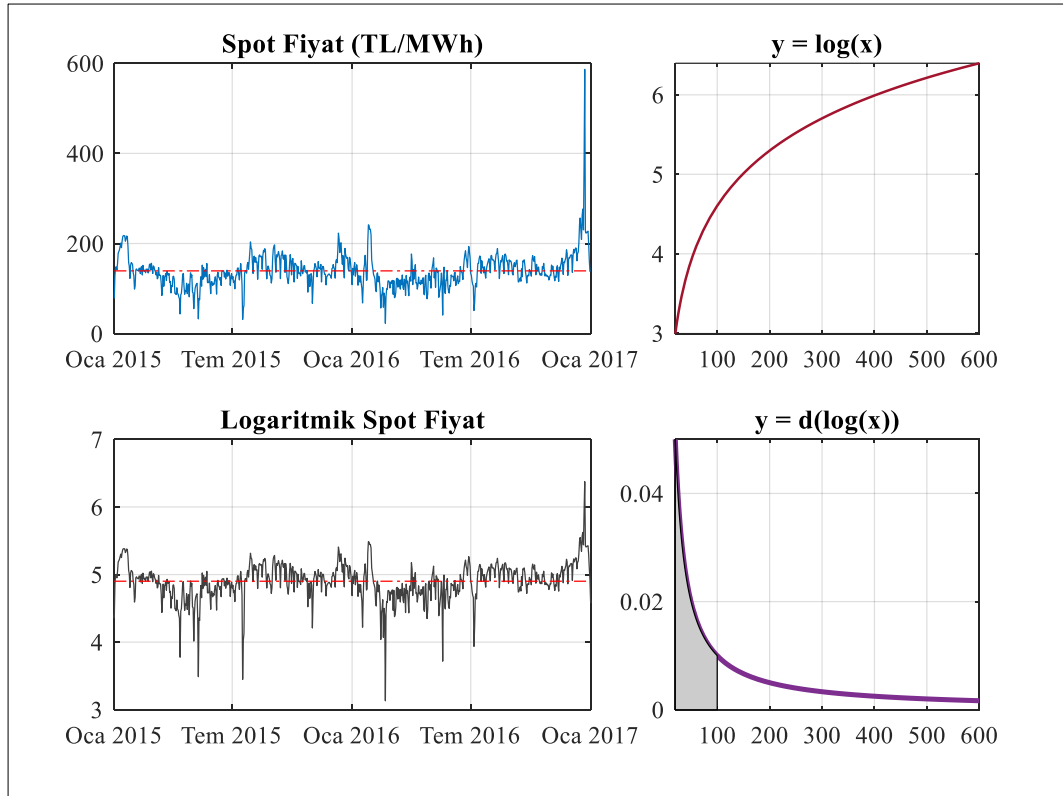
Elektrik fiyat serilerinin önemli bir bileşeni olan sıçramalar, serilerin kuyruklarının kalınlaşmasına ve basıklık değerlerinin aşırı yükselmesine neden olmaktadır. Logaritmik fiyat serisi, dayandığı dönüşümün etkisi nedeniyle fiyat serisine göre normal dağılıma daha yakın bir seridir. Dağılımların uç noktaları arasındaki uzaklık standartlaştırılmış ölçekte fiyat serisi için 20,15 iken, logSpot serisinde 15,54'tür. Bu durum, Şekil 27'de serilerle aynı ortalama ve varyansa sahip normal dağılım ile kıyaslamalı verilen çizgi histogram ile de teyit edilmektedir.

**Şekil 27. Spot ve Logaritmik Spot Fiyat Serileri Histogramları**

Spot fiyat serisi ile ilgili üst grafikte seri dağılımının uç değerler nedeniyle sağa doğru uzayarak kalın kuyruk oluşturduğu ve sağa çarpık olduğu görülmektedir. Logaritmik dönüşümün seriyi normalleştirici etkisi yanında elektrik fiyat serilerinin

önemli bir bileşeni olan sıçramalar üzerinde olumsuz etkisi de bulunmaktadır. Meyer-Brandis ve Tankov (2008), dönüşümün getirdiği yapay aşağı yönlü sıçramaları⁴⁵ önlemek için spot fiyat serisi ile çalışmayı tercih ettiklerini belirtmektedir. Bu tercihe istinaden izlenen yöntem, mevsimselliğin çarpımsal olarak ele alınmasına yönelik olup, yöntemde logaritmik dönüşümden de yararlanılmaktadır. Mevsimsellik kapsamında ilgili bölümde ayrıca ele alınacaktır.

Logaritmik dönüşümün oluşturduğu yukarıda değinilen olumsuz etki, Türkiye fiyat serisi için de geçerlidir. Şekil 27’de verilen iki histogram kıyaslandığında dönüşümün dağılımda kaymaya neden olduğu; sağdaki kuyruğun kısalarak solda kalın kuyruğun baskın hale geldiği görülmektedir. Türkiye fiyat serisinde Meyer-Brandis ve Tankov’un (2008) sözünü ettiği yapay sıçramalara ağırlıklı olarak 2015 ve 2016 yıllarında rastlanmaktadır. Bu yıllarda her iki serinin izlediği yol karşılaştırmalı olarak Şekil 28’de sunulmuştur.

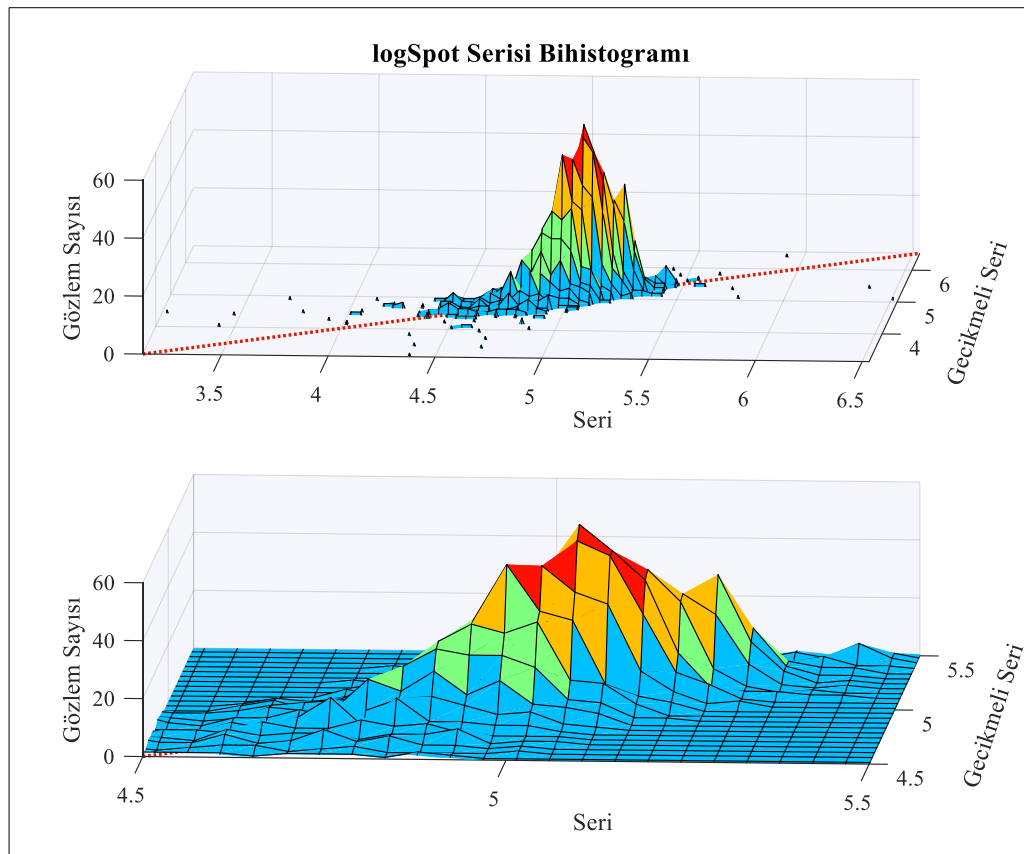


Şekil 28. Logaritmik Dönüşümün Fiyat Serisi Üzerindeki Etkisi

⁴⁵ Burada ve çalışmanın izleyen kısmında aşağı yönlü sıçrama ile anlatılmak istenen, öncesinde gelen yukarı yönlü sıçramanın dönüşü mahiyetinde olmayan; normal rejimden aşağı yönlü fiyat hareketleridir. Diğer bir ifadeyle normal fiyat seyrini ifade eden sürecin rassal bileşeninin belirlediği sınırlar içerisindeki bir noktadan başlayan (-) yönlü fiyat değişimleri, bu sıçramalara neden olmaktadır.

Üst kısımda bulunan Spot serisinin aşağı yönlü fiyat hareketlerinin bir kısmının sıçrama olarak değerlendirilip değerlendirilmeyeceği ayrı bir inceleme gerektirse de logaritmik dönüşümün yapay sıçramalara neden olduğu; aşağı yönlü hareketlerde kesikli çizgi ile gösterilen genel ortalamadan sapmayı, sıçrama olarak değerlendirilebilecek noktalarda sıçrama büyüklüğünü artırdığı gözlenmektedir. Serinin minimum değeri, bu dönemde gerçekleşmiştir. Bu değer ve dönemin maksimum değeri dikkate alınarak şekil üzerinde grafiği verilen doğal logaritma fonksiyonunun [20,100] aralığında en hızlı oranda artış gösterdiği izlenebilmektedir. Tersine fiyatın 100 TL/MWh altına düştüğü durumlarda fonksiyonun birinci türevinin grafiğinin de gösterdiği gibi değişim oranının yüksek olmasından dolayı azalışlar daha büyük ölçekte gerçekleşmektedir.

İkinci bölümde ele alınan ve finans yazınında yer edinen modeller, genel olarak serileri kendi dinamikleri ile ve OU süreçleri kapsamında analiz etmektedir. Dolayısıyla bir gecikmeli değerler alınarak doğrusal analizin öne çıktığı ifade edilebilir. Sezgisel olarak sıçramaların serinin doğrusallıktan sapmasına neden olduğu ifade edilebilir. Formel bir doğrusallık testinden ziyade görsel bir analiz ile logSpot serisinin doğrusallığı Şekil 29'da ele alınmıştır.



Şekil 29. Logaritmik Spot Serisi Bihistogramı

Balcılar (2014), bihistogramı (ikili-histogram) doğrusallığın test edilmesine yönelik görsel metotlar arasında sıralamıştır. Veri setinin kendisi ve k gecikmeli değerinin ortak histogramı olarak tanımlanan bihistogram, doğrusal süreçlerde çana benzer şekil almaktadır (Balcılar, 2014:8). Şekilde “Gecikmeli Seri” eksen etiketi ile bir gecikmeli seriye yer verilmiştir. Üst kısımda bulunan grafikte sıçramaları da ifade eden uç değerler izlenebilmektedir. Daha dar bir bantta ele alınan alt kısımdaki bihistogram, merkez odaklıdır. Merkezde doğrusallık durumunda beklenen şekle yaklaşma olsa da ortak dağılımın normalliğini de temsil eden çan şeklinden açık bir farklılaşma söz konusudur. Mevsimselliğin modellenmesinde daha önce de ifade edildiği gibi sinüzoidal fonksiyonlardan yararlanılmaktadır. Doğrusal olmayan formdaki bu fonksiyonlar, bihistogramda görülen doğrusallıktan sapmayı belli ölçülerde ele almaya ve serilerdeki değişimi açıklamaya yardımcı olmaktadır.

3.1.2. Getiri Serisi ve İstatistikleri

Bu bölümde ele alınan getiri serisi, logaritmik fiyat serisinin birinci fark serisidir, aynı zamanda sürekli zamanda getiriye eşittir (logGetiri). OU sürecinin tanımında da yer aldığı gibi spot fiyat modelleri değişimin modellenmesine yöneliktir. OU denkleminin solunda yer alan türevsel ifade birinci farkı, yani getiriye simgelemekte olduğundan getiri serisinin özelliklerinin modellerin geliştirilmesine önemli yansımaları olmaktadır. Şekil 26'nın alt kısmında grafiği verilen bu serinin, Tablo 5'te verilen tanımlayıcı istatistiklerinden normal dağılım göstermediği izlenmektedir.

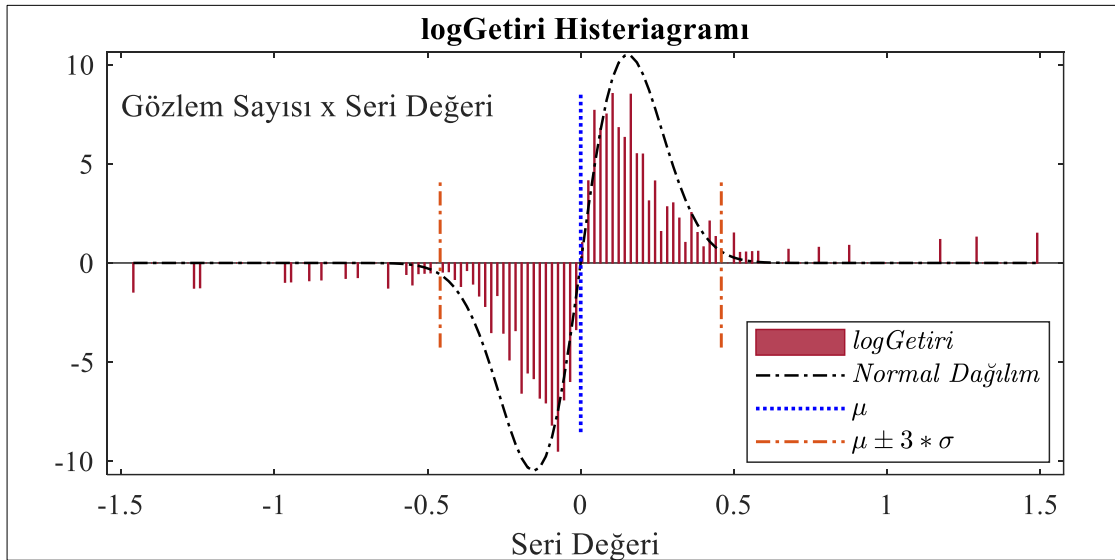
Tablo 5. Getiri Serisi Tanımlayıcı İstatistikleri

	logGetiri		logGetiri
Gözlem Sayısı	2191	Std. Sapma	0.1529
Ortalama	0.0001	Çarpıklık	-0.2702
Medyan	-0.0021	Basıklık	22.4525
Minimum	-1.4666	Jarque-Bera (JB) İst.	34571.52
Maksimum	1.4943	Prob. (JB)	0.001

Karakteristik olarak büyük fiyat değişimlerini ifade eden sıçramalar, serinin minimum ve maksimum değerlerinde kendini göstermektedir. Günlük bazda %150'ye yakın maksimum değişimi getiriden ziyade fiyat değişimi olarak ele almak daha doğru bir yaklaşımdır. Zira piyasalarda işlem gören diğer finansal varlıklar gibi elektriği elde tutmak söz konusu olmamaktadır. Birinci bölümde ele alındığı gibi elektriğin ekonomik bir şekilde depolanamıyor olması ve GÖP'ün fiziki teslimata dayanması bunun en önemli

nedenleri arasındadır. Serinin basıklık değeri Spot serisinin basıklık değerinin oldukça altında, logSpot serisinin basıklık değerinin üzerindedir. Sıçramalar, küçük ölçekli ve esnek yapıdaki pik yük üreticileri için ayrı bir anlam ifade eder, çünkü bu oyuncuların varlığının gerekçesi, talebin aşırı arttığı dönemlerde görülen sıçramalardır. Bu çerçevede basıklık, kuyruk riski ile yakından ilgili olmasından dolayı modelleme açısından kilit parametre konumundadır (Geman ve Roncoroni, 2006:1255). GR modelinde günlük logaritmik getiri dağılımının dördüncü momenti olan basıklık değeri ile uyumlu modelin ortaya çıkması hedeflenmiştir. Bu hedefe en uygun sıçrama eşiğinin seçimi modelin kalibrasyonu açısından son derece önemlidir. Anılan eşik ise, bir fiyat eşiği değil, fiyat değişim eşiğidir.

Logaritmik fiyat değişimlerinin dağılım olarak daha iyi analiz edilmesine yönelik olarak Hanson ve Zhu (2004), sıçramaları daha görünür kılan histeriagramı önermiştir. Histogram aralıklarının orta noktalarının dikey ekseninde bulunan gözlem sayısı ile çarpılması sonucu elde edilen histeriagram, uç değerleri dikkate aldığı için sıçramaları belirginleştirmektedir (Hanson ve Zhu, 2004:4). Logaritmik fark serisinde \pm yönde kuyruk değerlerini daha net ortaya çıkaran histeriagram, aynı ilk 2 moment değerlerine sahip normal dağılımın histeriagramı ile birlikte Şekil 30'da verilmiştir. Seri ortalamasının sıfıra çok yakın olmasından dolayı merkezde pik değerlerin ortadan kalktığı görülmektedir.



Şekil 30. Logaritmik Getiri Serisi Histeriagramı

3.1.3. Fiyat Serilerinin Durağanlığı

Literatürde spot elektrik fiyatının durağanlığını ele alan az sayıda çalışma bulunmaktadır. Temel özellik olan ortalamaya dönme, serilerin grafikler yardımıyla incelenmesi ile de teyit edilmektedir. Baskın olan ortalamaya dönme davranışı veri olarak alınarak formel durağanlık testleri uygulamak yerine modellemenin daha karmaşık aşamalarına odaklı bir yaklaşım benimsenmiştir. Meyer-Brandis ve Tankov (2008), standart Dickey-Fuller testiyle elektrik spot fiyat sürecinin durağanlığını göstermekle birlikte, sıçramaları sürecin durağan-olmayan kısımları şeklinde vasıflandırmışlardır. Sıçramalar, zaman boyutunda sürecin genelinin dağılım özelliklerini bozmaktadır. Durağanlığı bu yönüyle zedeleyen sıçramalar filtrelendikten sonra kalan stokastik baz sürecin durağanlığı ise, Meyer-Brandis ve Tankov (2008) ile Klüppelberg vd. (2010) çalışmalarında vurgulandığı gibi durağanlığa dayalı bazı matematiksel çıkarımlarla uygulamanın ilerlemesine katkı sağlamaktadır. Serilerin özelliklerine yönelik bütünsel bir bakış sunmak amacıyla Tablo 6'da Genişletilmiş Dickey-Fuller (Augmented Dickey-Fuller; ADF), Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS) ve Phillips-Perron (PP) durağanlık test sonuçları raporlanmıştır.

Tablo 6. Fiyat ve Logaritmik Fiyat Serileri Durağanlık Test Sonuçları

Seri	ADF Testi Sonuçları				KPSS Testi Sonuçları				PP Testi Sonuçları			
	Spot		logSpot		Spot		logSpot		Spot		logSpot	
	Sabitli	Sabitli ve Trendli	Sabitli	Sabitli ve Trendli	Sabitli	Sabitli ve Trendli	Sabitli	Sabitli ve Trendli	Sabitli	Sabitli ve Trendli	Sabitli	Sabitli ve Trendli
Gecikme Uzunluğu*	21	21	21	21	32	32	33	33	30	30	30	30
İstatistik	-5.0881	-5.1159	-4.9367	-4.9578	0.2438	0.2299	0.2618	0.2654	-28.089	-28.128	-23.559	-23.585
Kritik Değerler												
% 1	-3.4369	-3.9679	-3.4369	-3.9679	0.7390	0.2160	0.7390	0.2160	-3.4331	-3.9622	-3.4331	-3.9622
% 5	-2.8643	-3.4142	-2.8643	-3.4142	0.4630	0.1460	0.4630	0.1460	-2.8627	-3.4119	-2.8627	-3.4119
% 10	-2.5683	-3.1283	-2.5683	-3.1283	0.3470	0.1190	0.3470	0.1190	-2.5674	-3.1278	-2.5674	-3.1278

* ADF için en uygun gecikme uzunluğu Schwarz Bilgi Kriteri'ne (SC) göre belirlenmiştir.
KPSS ve PP için Bartlett çekirdeği ve Newey-West otomatik seçim modeli kullanılmıştır.

ADF testi sonuçlarına göre %1 anlamlılık düzeyinde her iki seri için birim kökün varlığı (sıfır hipotezi) reddedilebilmektedir. Bu sonuç, ortalamaya dönme etkisinin geçerliliğini de göstermektedir. KPSS testi ise, durağanlığın düzeyde geçerli olduğunu ortaya koymaktadır. Bunun yanında, testin sabit ve trend bileşenleri içeren versiyonuna göre serinin trendde durağan olduğunu ifade eden sıfır hipotezi reddedilmektedir.⁴⁶

⁴⁶ Mevsimsellik modeli uygulaması sonucu elde edilen seri, sabit ve trend terimleri içeren KPSS testi sonuçlarına göre de durağandır.

Den Haan ve Levin, KPSS test çıkarımının doğruluğunun, seçilen varyans tahmincisine duyarlı olduğunu öne sürmektedirler (Popova, 2008:67). Elektrik piyasalarının etkinliğini saatlik Gün Öncesi ve Gerçek Zamanlı Güç Piyasaları fiyat verileri ile ele alan Popova (2008), saat (seri) ve test bazında farklılaşan sonuçlar elde etmiştir. KPSS'nin kullanışlı bir teyit testi olduğunu belirten yazar, yararının diğer testlerle birlikte kullanıldığında ortaya çıktığını vurgulamaktadır. Testler arasındaki çelişkili sonuçlar, ilave inceleme gerektirir (Popova, 2008:67). PP testi, bu bağlamda ADF testini doğrular niteliktedir. Test sonuçlarının genel değerlendirmesi, fiyat serilerinin durağan olduğunu ortaya koymaktadır.

Gün Öncesi Piyasa modellemesi kapsamında saatlik fiyat serileri ile yapılan güncel bir çalışma, çok-değişkenli Lévy yarı-durağan süreçlere dayanmaktadır. “Yarı-durağan” ifadesi, saatlik bazda süreçlere ait stokastik kovaryans bileşeninin (matrisinin) durağan olduğu zamanlarda, sürecin genelinin durağan hale gelmesinden kaynaklanmaktadır (Veraart ve Veraart, 2014:161). Bu niteleme, elektrik fiyat serilerinin hem durağanlık testlerinde karşılaşılan sonuç farklılıklarını yansıtması hem de yukarıda belirtildiği gibi model bileşenlerini durağanlık bağlamında ayrıştırması açısından anlamlıdır.

3.2. Mevsimsellik Modeli Uygulaması

Zaman serilerine ait özellikler, modellemenin farklı aşamalarında yöntem belirlemeye, pratik varsayımlar yapmaya imkân tanıyan ilk adımdır. BKM modeli uygulamasında Klüppelberg vd. (2010), model kestirimini üç aşamada ele almışlardır. İlk aşama serilerin mevsimsellikten arındırılmasıdır. Çalışmamızın ikinci bölümünün mevsimsellik modelleri ile ilgili alt bölümünde ele alınan deterministik fonksiyonların farklı varyasyonları modellemenin ilk aşamasında ele alınacaktır. Deterministik ve stokastik kısımları ayıran Denklem (2.1), fiyatı herhangi bir dönüşüme uğramaksızın ele alacak şekilde basit formda verilmiştir. Logaritmik fiyat temelli bir yaklaşım izleneceğinden aritmetik formda mevsimsellik, Denklem (3.1) ile ele alınacaktır. Tek bir deterministik $f(t)$ fonksiyonunun aksine X_t , stokastik kısmı sürükleyebilecek bir ya da daha fazla sürecin bileşkesidir. Denklem logaritmik dönüşüme tabi tutulduğunda uyarlanacak $f(t)$ fonksiyonunun logaritmik fiyat serisini girdi olarak alacağı görülmektedir.

$$P_t = e^{f(t)+X_t} \quad (3.1)$$

Logaritmik dönüşümün bir önceki bölümde sözü edilen olumsuzluklarını bertaraf etmeye yönelik Meyer-Brandis ve Tankov (2008) ve Klüppelberg vd. (2010) tarafından önerilen çarpımsal mevsimsellik modeli, Denklem (3.2) kullanılarak uygulanmaktadır. Denklemden görülebileceği gibi $f(t)$ fonksiyonu, yine doğal logaritması alınmış fiyat serisine uyarlanmaktadır. Stokastik seri bulunurken ise Denklem (3.3) kullanılmaktadır (Klüppelberg vd. 2010:968). Alternatif olarak deterministik mevsimsellik denklemi ile yapılan regresyon analizinin kalıntısı kullanılabilir. Kalıntı serisi, Denklem (3.3)'te verilen stokastik serinin logaritmik dönüşüme uğramış halidir. Seriyeye üstel dönüşüm yapılmak suretiyle mevsimsellik, çarpımsal formda uygulanmış olur. Her iki yöntemde de çift dönüşüm söz konusu olmaktadır.

$$P_t = e^{f(t)} \times X_t \quad (3.2)$$

$$X_t := \frac{P_t}{e^{f(t)}} \quad t \geq 0 \quad (3.3)$$

Öncü çalışmalarda olduğu gibi yıllık ve yarı yıllık etkiler için sinüzoidal fonksiyonlar kullanılmıştır. Çalışma konusu Türkiye serisi için dört mevsim dönüşümü açısından da ayrıca anlamlı olan çeyreklik etki de dikkate alınmıştır. Haftalık etkiler için fark alma, kukla değişkenler ve sinüzoidal fonksiyonlar olmak üzere daha fazla alternatif değerlendirilmiştir. Mevsimsellik fonksiyonunun, sadece yıllık etkiler dikkate alınırsa, temel yapısı Denklem (3.4)'de verilmiştir. Denklem, sabit ve trend terimlerini de içermekte; N , gözlem sayısını göstermektedir.

$$f(t) = c + \beta_2 t + \beta_3 \cos\left(\frac{2\pi t}{365}\right) + \beta_4 \sin\left(\frac{2\pi t}{365}\right) \quad t = 1, \dots, N \quad (3.4)$$

Ele alınacak fonksiyonları kısaltılmış halde ifade etmek için vektörel formda gösterim tercih edilmiştir. Yıllık etkilere yönelik ifade, (3.5) ile verilen denklemlerin üst kısmında S ile gösterildiği gibi iki sinüzoidal ifadeyi içerecek şekilde $N \times 2$ matris

formunda gösterilebilir. Benzer şekilde aynı denklemde yarıyıllık (Y), çeyreklik (\mathcal{C}) ve haftalık (H) etkileri gidermeye yönelik bileşenler vektörel formda verilmiştir.

$$\begin{aligned}
 S &= \left[\cos\left(\frac{2\pi t}{365}\right) \quad \sin\left(\frac{2\pi t}{365}\right) \right] \\
 Y &= \left[\cos\left(\frac{4\pi t}{365}\right) \quad \sin\left(\frac{4\pi t}{365}\right) \right] & t = 1, \dots, N \\
 \mathcal{C} &= \left[\cos\left(\frac{8\pi t}{365}\right) \quad \sin\left(\frac{8\pi t}{365}\right) \right] \\
 H &= \left[\cos\left(\frac{2\pi t}{7}\right) \quad \sin\left(\frac{2\pi t}{7}\right) \right]
 \end{aligned} \tag{3.5}$$

Yukarıda verilen gösterime dayalı olarak mevsimsellik için 3 temel model söz konusu olmaktadır⁴⁷. Haftalık etkiler için sinüzoidal fonksiyonlar dikkate alınmak kaydıyla, I ve t sırasıyla birim ve trend vektörlerini göstermek üzere Model 1, Model 2 ve Model 3 sırasıyla Denklem (3.6), Denklem (3.7) ve Denklem (3.8)'de ifade edilmiştir.

$$f(t) = [I \quad t \quad S \quad H] \times \beta' \tag{3.6}$$

$$f(t) = [I \quad t \quad S \quad Y \quad H] \times \beta' \tag{3.7}$$

$$f(t) = [I \quad t \quad S \quad Y \quad \mathcal{C} \quad H] \times \beta' \tag{3.8}$$

3.2.1. Mevsimsellikte Haftalık Etkiler

3.2.1.1. Sinüzoidal Fonksiyon Yaklaşımı

Haftanın yedi gününde geçerli döngüsellığı Denklem (3.5)'in en altında yer alan fonksiyonlarla gidermek mümkündür. Ele alınan 3 modele ilişkin denklemlerde H ifadesi ile de bu yaklaşım dikkate alınmıştır.

3.2.1.2. Fark Alma Yaklaşımı

Haftalık etkiler, gün tipine göre serilerde dalgalanmaya neden olan farklılaşmalar şeklinde ifade edilebilir. Bu farklılaşmaları analiz etmek için De Jong'u (2007) takiben serideki gün tipleri haftanın günleri olmak üzere seri,1'den 7'ye tasnif edilmiştir. Daha sonra veri seti döneminde Türkiye'de geçerli olan resmî tatil günleri alınarak 8. bir grup eklenmiştir. Bu şekilde tasnif edilen her bir grubun (toplam 8 seri) ortalamaları

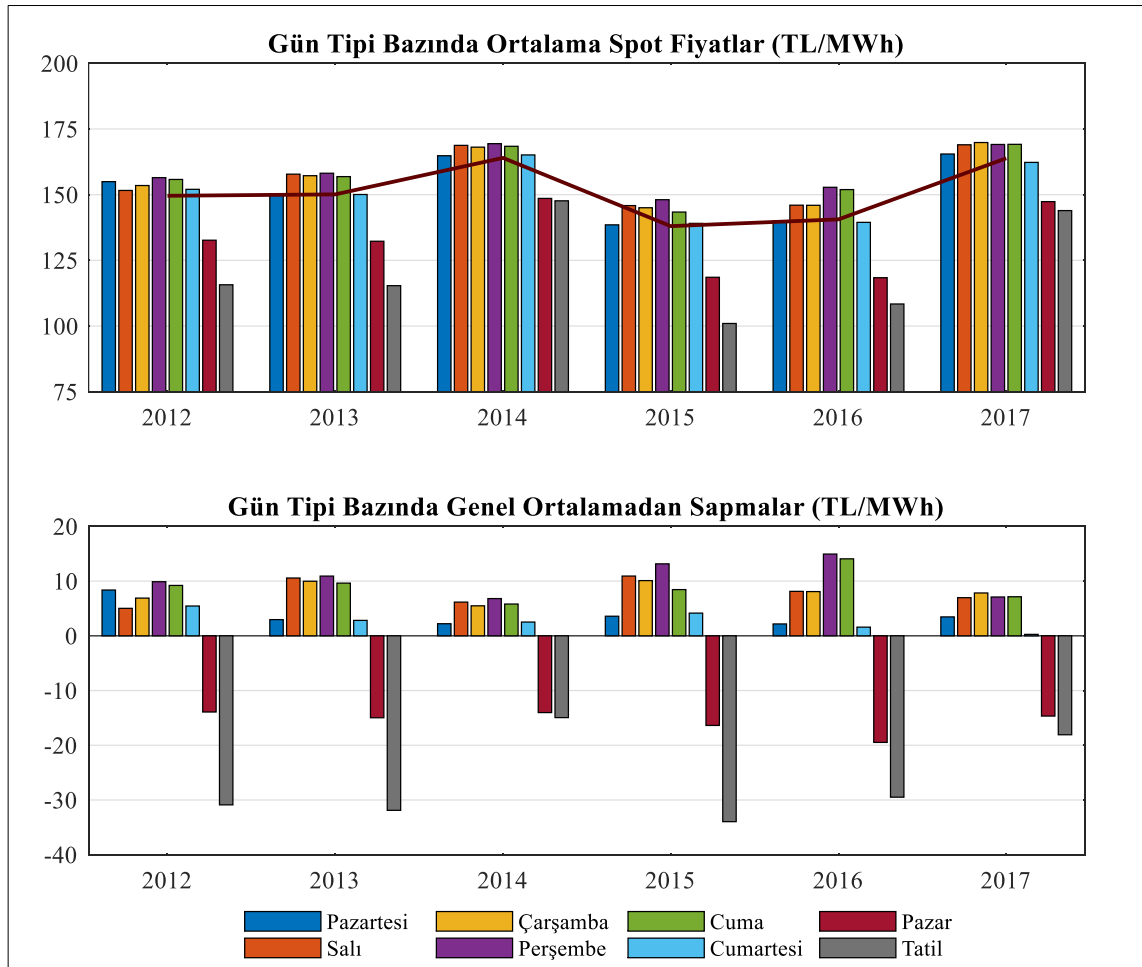
⁴⁷ Sadece sabit ve trend bileşenlerini içeren ve bu bileşenlerin tutarlılığını ele alan dördüncü bir kontrol modeli de hesaplanmıştır.

bulunduktan sonra Denklem (3.9) yardımıyla serinin genel ortalamasından (μ_G) farkları hesaplanmıştır. Fiyat verisindeki olası yapay etkiyi önlemek amacıyla Mayer vd.'nin (2015) ikinci bölümde değinilen yöntemi izlenmiştir. Yöntemin gerektirdiği, farkların toplamının sifira eşit olmasına dair kısıt, Denklem (3.10) ile sağlanmaktadır. Bu yöntem ile gün tipleri arasındaki farklılıkları gidermeye yönelik katsayılar (w_k) hesaplanmakta ve suni bir fark oluşumu da önlenmektedir.

$$F_k = \mu_k - \mu_G \quad k = 1, \dots, 8 \quad (3.9)$$

$$w_k = F_k - \frac{\sum_{i=1}^k F_i}{k} \quad k = 1, \dots, 8 \quad (3.10)$$

Spot serisi için yıllık bazda yapılan hesaplamaların sonucu Şekil 31'de izlenmektedir.



Şekil 31. Spot Fiyat Serisinde Haftalık (Gün Tipi) Etkiler

Aynı hesaplama logSpot serisi için de yapılmış olup, doğrudan piyasada geçerli fiyat biriminden farkların ele alınmasına fırsat tanınması nedeniyle Spot için yapılan analiz sunulmuştur. Şekil 31'in alt kısmındaki grafik w_k ($k = 1, \dots, 8$) sapma serilerini göstermektedir. İki temel referans model olan Geman-Roncoroni (GR) ve Benth-Kallsen-Meyer-Brandis (BKM) modellerine yönelik uygulamalarda araştırmacılar, hafta sonunun farklı karakterinden dolayı sadece hafta içi günleri çalışmalarına dahil etmişlerdir. Bazı çalışmalar, tatil günlerine dair herhangi bir açıklama da getirmemektedir. Klüppelberg vd. (2010), bu tercihe uygun olarak kullandıkları sinüzoidal fonksiyonların paydalarını 260 olarak almışlardır. Türkiye için resmî tatil günlerinde elektrik, MWh başına serinin geneline göre 26,50 TL daha düşüktür, yıllar bazında 30 TL'yi aştığı görülmektedir. Pazar gününün genel tatil olması ve (-) yöndeki anlamlı fark, yukarıda belirtilen tercih ile uyumludur. Ancak şekildeki grafiklerden de görüldüğü üzere cumartesi günleri genel fiyat ortalamasına en yakın günlerden biridir. Yıllar itibariyle pazartesi ve cumartesi günleri ortalama fiyatlarının kırmızı çizgi ile gösterilen yıl ortalamalarını temsil edici özelliği bulunduğu söylenebilir. Dolayısıyla cumartesi; pazar gibi tatil karakterinde değildir ve incelenen seride tutmak daha anlamlıdır.

Fark alma yaklaşımı ile elde edilen w_k serileri kullanılarak (3.6) - (3.8) denklemleri ile verilen 3 temel modeli revize etmek mümkündür. Bunun için pratikte öncelikle seri değerinin dahil olduğu gruba ait w_k değeri seriden çıkarılmaktadır. H bileşeni çıkarılarak yapılan (3.11) - (3.13) denklemlerindeki güncellemede bileşen eşitliğin sağ tarafında gösterilmiştir.

$$\text{gün}(t) = k \Leftrightarrow w_t = w_k \text{ olmak üzere,}$$

$$f(t) = w_t + [I \quad t \quad S] \times \beta' \quad (3.11)$$

$$f(t) = w_t + [I \quad t \quad S \quad Y] \times \beta' \quad (3.12)$$

$$f(t) = w_t + [I \quad t \quad S \quad Y \quad \zeta] \times \beta' \quad (3.13)$$

3.2.1.3. Kukla Değişken Yaklaşımı

Önceki bölümde yapılan analiz birbirine yakın gün tiplerini salık vermektedir. Benzer günleri konsolide edip kukla değişkenler ile ele almak daha pratik ve tutumlu modellere ulaşmaya yardımcı olacaktır. Uygulama, logSpot serisi üzerinden

ilerleyeceğinden bu serideki⁴⁸ gün tiplerine göre dört farklı kukla değişken yapısı dikkate alınabilir. En tutumludan başlamak üzere bu modeller Tablo 7’de gösterilmiştir.

Tablo 7. Kukla Değişkenli Model Yapıları

Kukla No	Model İfadesi	Kukla Değişken Sayısı
1	$D_{PZ} D_{S\check{C}PeC} D_T$	3
2	$D_{PZ} D_{S\check{C}C} D_{Pe} D_T$	4
3	$D_{PZ} D_{SC} D_{\check{C}} D_{Pe} D_T$	5
4	$D_{PZ} D_{Pzt} D_S D_{\check{C}} D_{Pe} D_C D_T$	7

Pzt: Pazartesi; S: Salı; Ç: Çarşamba; Pe: Perşembe; C: Cuma; Pz: Pazar; T:Tatil

Dört farklı kukla yapısı, (3.6) - (3.8) denklemlerinde yine H bileşeni çıkarıldıktan sonra birim ve trend vektörü arasına dahil edilerek alternatif modelleme imkânı sağlamıştır.

3.2.2. Mevsimsellik Modelinin Tahmin Edilmesi

Mevsimsellik modelinin hesaplanmasında ikinci bölümde belirtildiği gibi EKK yöntemi kullanılmıştır. Uç değerlerin bozucu etkisini en aza indirmek için sağlam tahminler tercih edilmiş, buna yönelik olarak Klüppelberg vd.’nin (2010) uyguladığı yöntem benimsenmiştir. Tahminlerdeki sağlamlık, yazarların ifade ettiği gibi aykırı değerlerin etkisinin önemsiz hale getirilmesine yöneliktir (Klüppelberg vd. 2010:968).

Yönteme göre model ilk kez tahmin edildikten sonra ortaya çıkan \hat{f} mevsimsellik fonksiyon değeri ile seri değeri belli bir eşliğe dayalı olarak kıyaslanmaktadır. Kalıntıların standart sapması s ile gösterilirse, $\pm 1.5s$ bandında kalan seri değerleri aynen bırakılmakta, aksi takdirde seri değeri bandın sınırlarından kendisine yakın olanı ile değiştirilmektedir. Yinelemeli prosedür, birbirini takip eden iki hesaplamada mevsimsellik fonksiyonlarının yeterince birbirine yakınsaması ile son bulmaktadır. Buna dair ölçü, serinin her değeri için hesaplanan ardışık yinelemedeki mevsimsellik

⁴⁸ 3. kukla model yapısında logaritmik dönüşüm nedeniyle iki seri arasında farklılık söz konusu olmaktadır. Spot serisinde salı ve çarşamba günleri birbirine yakın iken logSpot serisinde salı ve cuma birbirine daha yakın düşmektedir.

fonksiyonlarının farklarının kareleri toplamının 0,001'den⁴⁹ küçük olması şeklinde belirlenmiştir.

Model tahmini ile ilgili diğer bir nokta, her ne kadar deterministik olarak ele alınsa da mevsimsellikte kırılmanın dikkate alınabileceğidir. Nazarova (2014), EEX logaritmik fiyat serisi ile yaptığı analizde, uyarladığı mevsim fonksiyonunun 2000-2006 dönemi için fiyat serisi ile uyumlu olduğunu, ancak yapısal kırılma nedeniyle 2006-2008 dönemi için uyumun bozulduğuna dikkat çekmiştir. Yazar, buradan hareketle mevsimselliğin serinin bu iki ayrı dönemi için bağımsız hesaplanmasıyla fiyat serisinin izlediği yolun daha iyi modellenebileceğinin mümkün olduğunu belirtmektedir (Nazarova, 2014:17). Buna benzer bir yaklaşıma Seifert ve Uhrig-Homburg'un (2007) çalışmalarında farklı bir şekilde rastlamak mümkündür. Yazarlar, mevsimselliği tahmin ederken Avrupa'da Ocak 2005'te emisyon ticaretinin başlamasıyla CO₂ emisyon sertifikalarının olası etkisini modele dahil etmek için kukla değişken kullanmışlardır. Ancak bu değişken sabit olarak tanımlanmıştır ve sinüzoidal fonksiyona bir etkisi bulunmamaktadır.

Mevsimsellikteki kırılmanın iklim şartlarındaki değişimlerden öte politika değişimlerinden kaynaklanıp kaynaklanmadığı ayrı bir araştırma konusudur. Bunun için mevzuat kaynaklı ticaret rejim değişiklikleri, sosyal politikalar ve katılımcıların ticaret şekilleri gözden geçirilmelidir. Analizin sağlayacağı olası kırılma noktalarını belirlemek bu yönde bir adım olarak değerlendirilmelidir. Nazarova'nın (2014) önerisini takiben serideki olası bir ya da iki kırılma noktasını tespit etmek üzere tüm alternatifler gözden geçirilmiştir.⁵⁰ Tek kırılma noktası durumunda kırılma için 5 olası yıl söz konusu olmaktadır. İki kırılma noktasında ise ikili yıllardan oluşan 10 farklı durum ele alınmalıdır. Kırılma noktalarında modellerde de değişiklik ihtimali düşünülürse haftalık etkiler için sinüzoidal fonksiyon yaklaşımı benimsendiğinde tek kırılma için 45, iki kırılma için 270 model kurulabilir.⁵¹ Ayrıca, fark alma yaklaşımında w_k serisi kırılma noktalarında ayrı hesaplanabileceği gibi daha parametre tutumlu alternatif olan genel w_k

⁴⁹ Klüppelberg vd. (2010), çalışmalarında bu ölçüyü 0,01 olarak almışlardır. Yapılan hesaplamalarda 0,001 değerinin yakınsamada problem çıkarmadığı, yakınsama zamanını uzatmadığı ve az da olsa gelişme sağladığı görülmüştür.

⁵⁰ Sinüzoidal trend en geniş ölçekte yıllık bazda alındığından yıl başları doğal kırılma noktaları olarak ortaya çıkmaktadır.

⁵¹ Kukla değişken yaklaşımında ise model sayısı, kukla model alternatiflerinin sayısı ve bunun çarpımsal etkisi ile daha da artmaktadır. Tek kırılmada 720, iki kırılmada 17280 olası model bulunmaktadır. Sonuçlara ilişkin tablodan görülebileceği gibi model uzayında temel model için 2 ve 3, kukla model için 1 ve 2 numaralı modeller öne çıkmaktadır. Kırılma noktaları için de benzer durum geçerlidir. Çözümü ilgili bölgelerle sınırlandırarak kukla değişken yaklaşımına ilişkin en iyi modeller tahmin edilmiştir.

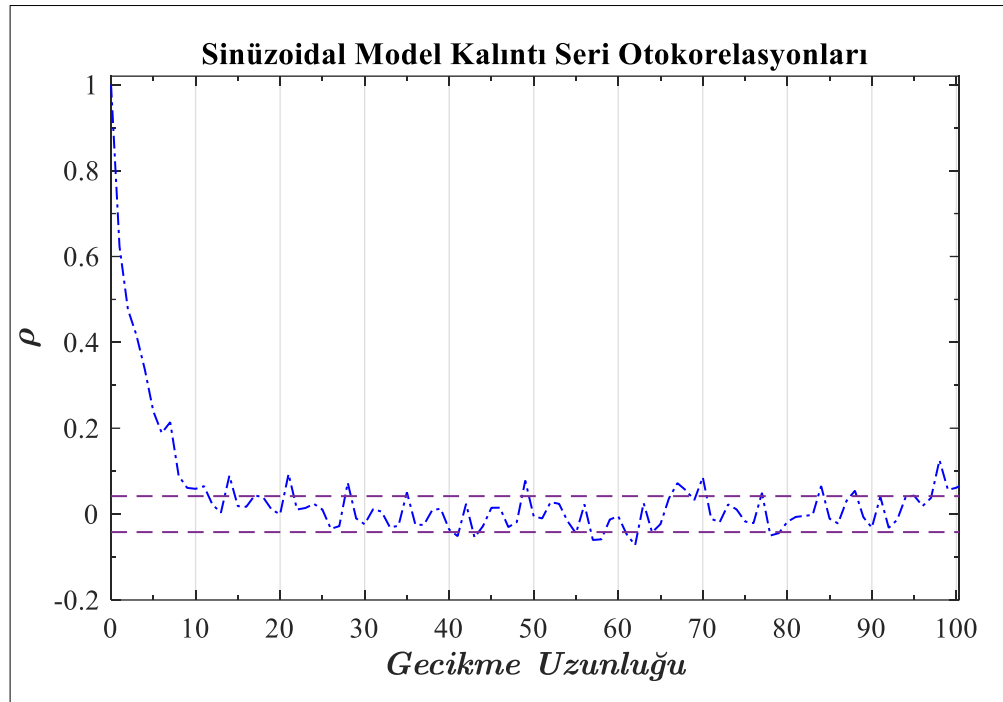
serisi tercih edilebilir. Bütün alternatifler dikkate alınarak hesaplanan modellerden haftalık etkiye yönelik 3 yaklaşımın en iyi modelleri ve seçim istatistikleri Tablo 8’de görülmektedir.

Tablo 8. Logaritmik Fiyat Serisi Mevsim Modelleri Seçim İstatistikleri

Model Açıklaması	K1	K2	M1	M2	M3	D1	D2	D3	Düz. R ²	RMSE	AIC	SC	HQ
<i>Yapısal kırılma içermeyen modeller</i>													
Sinüzoidal	-	-	2	-	-	-	-	-	0.2205	0.1940	-0.4382	-0.4174	-0.4306
Fark alma, yıllık	-	-	2	-	-	-	-	-	0.2869	0.1854	-0.5052	-0.3494	-0.4483
Fark alma, genel	-	-	2	-	-	-	-	-	0.3025	0.1834	-0.5477	-0.5087	-0.5334
Kukla değişken	-	-	2	-	-	1	-	-	0.3057	0.1830	-0.5551	-0.5317	-0.5466
Kukla değişken	-	-	2	-	-	2	-	-	0.3058	0.1829	-0.5549	-0.5289	-0.5454
<i>Tek kırılma içeren modeller</i>													
Sinüzoidal	2015	-	3	2	-	-	-	-	0.3411	0.1782	-0.6037	-0.5570	-0.5866
Fark alma	2015	-	3	2	-	-	-	-	0.4214	0.1669	-0.7282	-0.6451	-0.6979
Kukla değişken	2015	-	3	2	-	1	1	-	0.4263	0.1662	-0.7424	-0.6905	-0.7234
Kukla değişken	2015	-	3	2	-	1	2	-	0.4264	0.1662	-0.7421	-0.6876	-0.7222
<i>İki kırılma içeren modeller</i>													
Sinüzoidal	2015	2016	3	3	3	-	-	-	0.3834	0.1723	-0.6655	-0.5876	-0.6371
Fark alma	2015	2017	3	3	3	-	-	-	0.4669	0.1601	-0.8029	-0.6705	-0.7545
Kukla değişken	2015	2017	3	3	3	1	2	1	0.4743	0.1590	-0.8246	-0.7363	-0.7923
<i>Ki: i. kırılma noktası; Mi: i. dönem mevsimsellik (temel) model no; Di: i. dönem kukla model no</i>													
<i>Düz. R²: Düzeltilmiş R² istatistiği; RMSE: Kök Ortalama Kare Hata</i>													
<i>AIC: Akaike Bilgi Kriteri; SC: Schwarz Bilgi Kriteri; HQ: Hannan-Quinn Bilgi Kriteri</i>													
<i>Tüm değerler sağlam tahmincilerle yapılan EKK modellerinden elde edilmiştir.</i>													

Spot fiyat serisi için de yapılan aynı analiz, model logSpot üzerinden ilerleyeceğinden ayrıca sunulmamıştır, ancak logSpot serisinde elde edilen mevsimsellik model bulguları, büyük ölçüde Spot serisi için de geçerlidir. Tablodan ve hesaplamaların genelinden elde edilen sonuçlar aşağıda kısaca özetlenmiştir:

- Sinüzoidal fonksiyon yaklaşımı mevsimsellikteki haftalık etkileri, dolayısıyla geneli iyi yakalayamamaktadır. Bu yaklaşıma dayalı modellerin açıklama gücünün zayıflığı yanında, elde edilen kalıntı serisine (stokastik kısma) ait Şekil 32’de verilen otokorelasyon diyagramı dikkat çekicidir. Belli bir gecikmeden sonra sönümlense de yedi ve yedinin katları gecikmelerde otokorelasyon (ρ) değerlerinin yukarı yönlü hareketleri, haftalık etkilerin sağlıklı bir biçimde giderilemediğini göstermektedir. Grafik iki kırılmalı en iyi modelin kalıntılarına dayanmaktadır, diğer sinüzoidal modellerde de aynı durum geçerlidir.



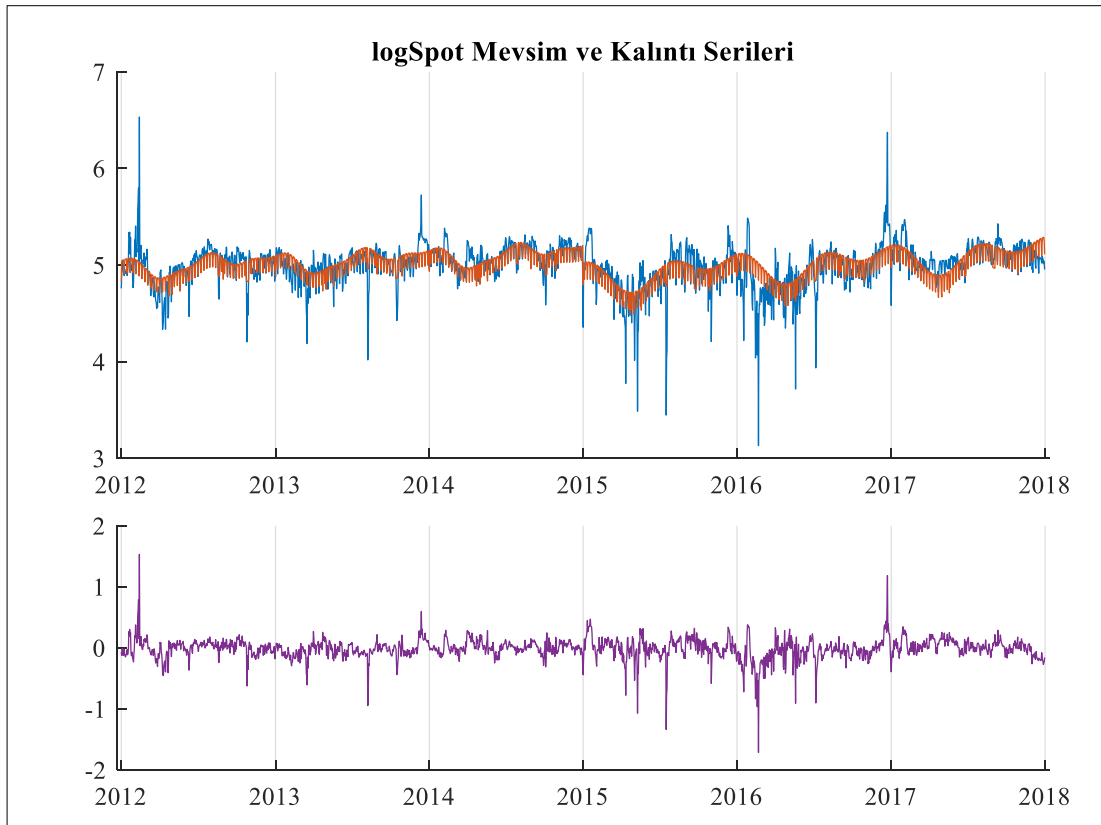
Şekil 32. Sinüzoidal Model Kalıntı Serisi Otokorelasyon Diyagramı

- Muhtemel kırılma noktalarının modele dahil edilmesi yapısal kırılma içermeyen modellere göre modelin açıklama gücünü yaklaşık %40 olumlu etkilemiştir. Burada raporlanmayan diğer model alternatiflerinde de olduğu gibi tek kırılmalı modelde kırılma noktası tutarlı bir şekilde 2015 yılı olmaktadır. Yukarıda belirtildiği gibi aşağı yönlü fiyat hareketlerinin fazlasıyla görülmeye başlandığı dönem, mevsimsellik modeli ile de teyit edilmektedir. İlave bir kırılma, tek kırılmaya göre %10 iyileştirme sağlasa da ilk kırılma noktası olan 2015 yılını takip eden iki yıl kalmaktadır. Model seçim kriterlerine göre en iyi modeller ikinci kırılma yılını 2017 olarak vermektedir. Bu yılın gerek serinin son yılına rastlaması gerekse getirdiği marjinal iyileştirme birlikte değerlendirilerek tek kırılmalı modellere ağırlık verilmiştir.
- Hafta etkilerini gidermek için yapılan fark alma işleminin seri genelinde yapılması daha iyi sonuç vermektedir ve parametre tutumlu modele ulaştırmaktadır⁵².

⁵² Hesaplamalarda bu tercih de dikkate alınmış olup genel w_k serisinin kırılma bazlı olana göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Kukla değişken yaklaşımı, hem daha kısa hesaplama zamanı sunma, hem de mevsimselliği daha iyi açıklama özellikleri ile her ikisine göre daha üstündür. Bu nedenle genel w_k serisi kullanılarak elde edilen sonuç tabloda sunulmamıştır.

- Kukla değişken yaklaşımı, en az parametrelili, dolayısıyla yalın haliyle en iyi sonuçları sağlamaktadır. Model kıyaslaması açısından fark alma yöntemi uygulanırken hesaplanan grup ortalamaları ve genel ortalama tabloda verilen seçim istatistiklerinin hesaplanmasında dikkate alınmıştır. Gözlem sayısının büyüklüğü yanında serbestlik derecesi ile ilgili yapılan bu düzeltmenin etkisi sınırlı olsa da model seçimi açısından yönlendiricidir.
- Kırılmalı modellerde Türkiye serisi için çeyreklik etkilerin modelin açıklama gücünü artırdığı görülmektedir. İlk kırılma yılı öncesi bu etki daha belirgin ve anlamlıdır. Bu bağlamda önemli bir bulgu da çeyreklik etkilerin kırılmalı modellerde kendini göstermesidir. Kırılma ve çeyreklik dönem etkileri, birlikte modelin açıklama gücünü artırmaktadır.
- Analiz sonucu, Tablo 8’de koyu olarak belirtilen model, en iyi mevsimsellik modelidir. Model, serideki mevsimselliği açıklama gücünün yüksekliği yanında bilgi kriterlerine göre de diğer alternatiflerden üstündür.

Kırılma yılı, piyasa gelişmeleri ışığında sonuç bölümünde değerlendirilmiş olup model sonucu uyarlanan mevsim ve kalıntı serileri Şekil 33’te birlikte sunulmuştur.



Şekil 33. Logaritmik Fiyat Mevsim ve Kalıntı Serileri

Üst kısımda yer alan sinüzoidal mevsim serisi, 2015 yılından sonra değişime uğrayan mevsim dinamiklerini daha belirgin olarak göstermektedir. Altta grafikte stokastik bileşen olan X_t serisinin izlediği yörünge bulunmaktadır. Bu modele ait hesaplanan parametreler ve istatistikler Tablo 9’da sunulmuştur.

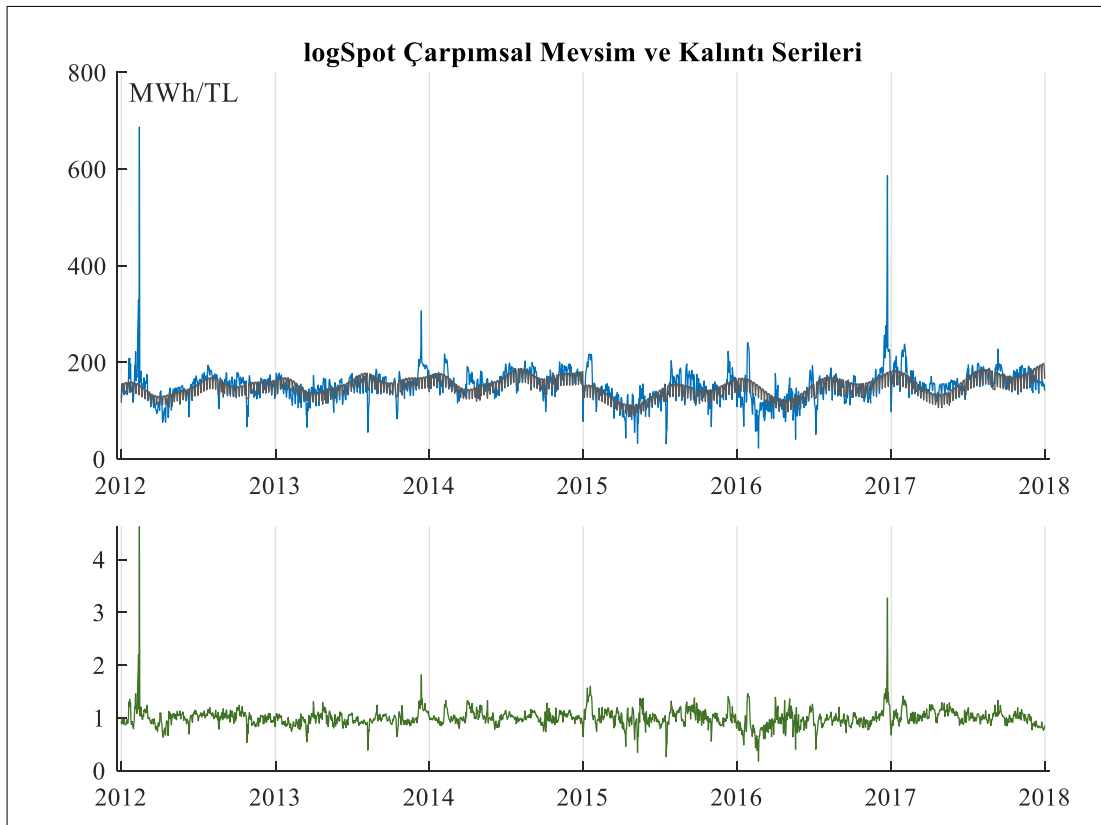
Tablo 9. Seçilen Mevsim Modeli Çıktısı (Logaritmik Fiyat Serisi)

<i>Model 1 (2012-2014)</i>												
Denklemler	$f = \beta_1 + \beta_2 D_{Pz} + \beta_3 D_{SÇpec} + \beta_4 D_T + \beta_5 t + \beta_6 \cos\left(\frac{2\pi t}{365}\right) + \beta_7 \sin\left(\frac{2\pi t}{365}\right) + \beta_8 \cos\left(\frac{4\pi t}{365}\right) + \beta_9 \sin\left(\frac{4\pi t}{365}\right) + \beta_{10} \cos\left(\frac{8\pi t}{365}\right) + \beta_{11} \sin\left(\frac{8\pi t}{365}\right)$											
Katsayı Değerleri t İstatistikleri	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	β_7	β_8	β_9	β_{10}	β_{11}	
	4.9585	-0.1157	0.0330	-0.1829	0.0001	0.0142	-0.0579	0.0601	0.0388	-0.0213	0.0175	
	524.83	-9.79	3.93	-9.61	12.19	2.80	-10.96	11.83	7.61	-4.21	3.41	
	R²	Düz. R²	MSE	RMSE	LL	AIC	SC	HQ				
	0.4093	0.4039	0.0185	0.1361	635.98	-1.1405	-1.0903	-1.1215				
<i>Model 2 (2015 - 2017)</i>												
Denklemler	$f = \beta_1 + \beta_2 D_{Pz} + \beta_3 D_{SÇpec} + \beta_4 D_T + \beta_5 t + \beta_6 \cos\left(\frac{2\pi t}{365}\right) + \beta_7 \sin\left(\frac{2\pi t}{365}\right) + \beta_8 \cos\left(\frac{4\pi t}{365}\right) + \beta_9 \sin\left(\frac{4\pi t}{365}\right)$											
Katsayılar t İstatistikleri	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	β_7	β_8	β_9			
	4.8499	-0.1334	0.0447	-0.1834	0.0002	0.0554	-0.0842	0.0745	0.0741			
	426.49	-9.25	4.41	-8.13	16.93	8.98	-13.18	12.13	11.96			
	R²	Düz. R²	MSE	RMSE	LL	AIC	SC	HQ				
	0.4264	0.4221	0.0367	0.1915	260.73	-0.4594	-0.4183	-0.4438				
<i>Genel Model</i>												
	R²	Düz. R²	MSE	RMSE	LL	AIC	SC	HQ				
	0.4313	0.4263	0.0276	0.1662	833.69	-0.7424	-0.6905	-0.7234				
<i>R²: R² istatistiği; Düz. R²: Düzeltilmiş R² istatistiği; RMSE: Kök Ortalama Karesel Hata AIC: Akaike Bilgi Kriteri; SC: Schwarz Bilgi Kriteri; HQ: Hannan-Quinn Bilgi Kriteri</i>												

Hesaplanan tüm katsayılar %1 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır. Sabit üretim maliyeti ve seri ortalamasına yakın olan cumartesi ve pazartesi günlerinin marjinal etkisini birlikte temsil eden sabite göre; hafta içi, pazar ve tatil günlerinin logaritmik fiyat farklarını, kukla değişkenlere ait katsayılar göstermektedir. ABD piyasaları ile ilgili yapılan çalışmalara benzer şekilde trend etkisinin çok düşük kaldığı görülmektedir. İzleyen kısımdaki model adımları için temel girdi, tahmin edilen modelin kalıntı serisi X_t olacaktır.

Logaritmik dönüşümün aşağı yönlü fiyat değişimlerini göreceli olarak büyütmesine çözüm olarak önerilen çarpımsal mevsim fonksiyonundan elde edilen seri ve bu seriden kalan stokastik kısım ise Şekil 34’te sunulmuştur. Mevsimselliğin çarpımsal

formda ele alınması, Meyer-Brandis ve Tankov (2008) ile Klüppelberg vd.'nin (2010) çalışmalarına benzer şekilde Türkiye elektrik fiyat serisi üzerinde de yapay fiyat farklılıklarının oluşumunu önlemeyi büyük ölçüde sağlamaktadır. Adı geçen ikinci çalışmada gösterimi yapılan, mevsimsellik etkisi giderilmiş EEX fiyat endeks serisine kıyasla, aşağı yönlü bazı hareketlerin daha sert olduğu da gözlenebilmektedir. Bu bağlamda her 2 çalışmanın da BKM Modeli kapsamında çarpımsal mevsimsellik formunu kullanmış olmaları da kayda değerdir.



Şekil 34. Logaritmik Fiyat Çarpımsal Mevsim ve Kalıntı Serileri

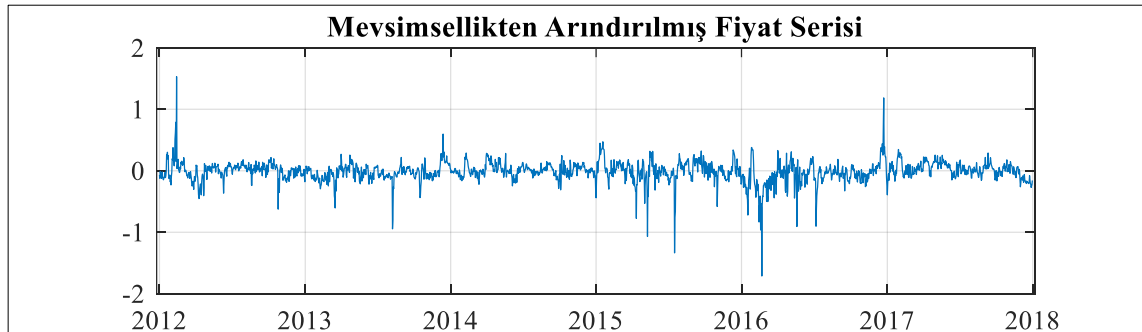
3.3. Stokastik Bileşenin Modellenmesi

Çalışmanın referans modellerle ilgili bölümünde liberalleşmenin ilk yıllarında finansal modelleme kapsamında geliştirilen ve sonraki modeller için yol gösterici nitelikte olan temel modellerin elektrik fiyat serileri için eksik yönleri ele alınmıştır. Bu temel modeller yerine, ana akım modeller ve Tablo 3'te özetlenen modellerden daha güncel olanları, önceki bölümde türetilen stokastik serinin özellikleri de göz önünde bulundurularak değerlendirilecek ve uygulama alanı bulacaktır.

3.3.1. Geman-Roncoroni (GR) Modeli

Nazarova (2014), bu modeli EEX'e yönelik çalışmasında "Eşik Modeli" olarak adlandırmıştır. İlgili alt bölümde de değinildiği gibi fiyat değişimleri için tayin edilecek eşik seçiminin sıçramaları belirleyici olması ve ampirik momentler üzerindeki doğrudan etkisi, bu adlandırmaya neden olmuştur. Yazarlar, model tahmini için maksimum olabilirlik yöntemine odaklanmışlardır. Yöntemin gerektirdiği rejim geçiş yoğunluk fonksiyonları, analitik olarak nadiren çözümlenebilmektedir. Diğer taraftan stokastik sürecin sürekli kısmı ile sıçramalarla ortaya çıkan kesikli kısmının karma etkisi çözümü daha müşkül hale getirmektedir. Bu zorluklara karşın araştırmacılar, parametre tahmini yapılacak süreçle aynı sınıftan seçilecek bir öncül referans sürece dayalı tahminci önermişler ve referans sürece dayalı yaklaşık olabilirlik fonksiyonunun analitik çıkarımını çalışmalarının ekinde vermişlerdir. Model parametreleri, logaritmik halde sunulan bu yaklaşık olabilirlik fonksiyonunu maksimum kılan parametrelerdir (Geman ve Roncoroni, 2006: 1239-40).

GR Modeli, sıçrama yoğunluğunu zamana bağlı bir fonksiyon kullanarak ele alması ve ayrıca sürecin sürekli kısmının modellenmesine yönelik yaklaşımı ile ufuk açıcudur. Diğer yandan modelin yaklaşık olabilirlik fonksiyonu, yukarı yönlü pozitif sıçramalar ile bunların geri dönüşleri olan aşağı yönlü sıçramaları dikkate alacak şekilde çözümlenmiştir. Sıçrama hareketinin yayılımı içeren süreçten, ya da rejim değişim modellerindeki karşılığı ile baz rejimden aşağı yönlü olabileceği model kurgusunda bulunmamaktadır. Önceki bölümde ulaşılan mevsim etkileri giderilmiş Şekil 35'teki seride açıkça gözlenen aşağı yönlü sıçramalar, GR Modeli uygulamasında önemli bir engel teşkil etmektedir.



Şekil 35. Mevsim Etkilerinden Arındırılmış (Stokastik) Seri

Literatürde önemli yer bulan modelin uygulanmasına ilişkin serimizin yapısı gereği açığa çıkan bu sınırlamayı bertaraf etmek için üç alternatif düşünülebilir. Bunlardan birincisi, Şekil 34’te yer alan çarpımsal formda mevsimsellik modelinden gelen kalıntı serilerinin kullanımınıdır. Ancak, yaklaşık olabilirlik fonksiyonunun yayılımı içeren sürece dönük ifadesi⁵³ buna imkân tanımamaktadır. İfadede yer alan $[\Delta E_i^c - D\mu(t_i)\Delta t]$ terimi, birim zaman aralığında sürekli sürecin değişiminin, mevsim fonksiyonunun değişiminden farkı göstermektedir. Dolayısıyla toplamsal mevsimsellikten gelen bir kısıt söz konusudur. Değişim bazında olmak üzere, çarpımsal mevsimsellikte bölüm halinde ifade edilebilmesi gereken yayılım – mevsim ilişkisi GR Modelinin matematiksel çıkarımına uygun düşmemektedir. Nazarova (2014), çalışmasında mevsimselliği aritmetik formda dikkate almıştır ve dipnotta belirtildiği gibi bu hususu vurgulamıştır. Bu yaklaşım, düşünülen alternatifin geçersizliğini teyit etmektedir.

Aşağı yönlü sıçramalar üzerindeki muhtemel etkisini görmek üzere hem GR hem de BKM modellerinde benimsenen hafta sonu günlerinin seriden çıkarılması, ikinci bir alternatiftir. Bunu değerlendirebilmek için öncelikle logaritmik fiyat serisinden, tahmin edilen mevsim serisinin çıkarılması ile elde edilen stokastik bileşenin sıra istatistiklerinden yararlanılmıştır. En yüksek ve en düşük 50 değerın gün tiplerine göre dağılımı Tablo 10’da görülmektedir.

⁵³ Yazarların sürekli yarı-martengal süreçleri ifade eden Doléans-Dade eksponansiyelinin ayrıklaştırılmış versiyonu olarak belirttikleri ifade,

$$\sum_{i=0}^{n-1} \frac{[\mu(t_i) - E_i]\theta_1}{\sigma^2} [\Delta E_i^c - D\mu(t_i)\Delta t] - \frac{\Delta t}{2} \sum_{i=0}^{n-1} \left\{ \frac{[\mu(t_i) - E_i]\theta_1}{\sigma} \right\}^2$$

biçimindedir (Geman ve Roncoroni, 2006:1240). Geri dönüş kuvveti (hızı) parametresi θ_1 ’in önündeki terim, stokastik seri elemanlarının (-) işaretlisidir. Ancak yukarıda belirtilen değişim farklarını gösteren terim, çarpımsal yapıya uygun değildir. Nazarova (2014), olabilirlik fonksiyonunu verirken orijinal makalede bulunan $D\mu(t_i)\Delta t$ ifadesini göstermemiştir. Yazar, “Faktör (BKM) Modeli”nde çarpımsal mevsimsellikten yararlanırken, eşik modelinde aritmetik mevsimselliği benimsediğini vurgulamaktadır (Nazarova, 2014:17). Dolayısıyla yazarın Geman ve Roncoroni’ye atıfla verdiği fonksiyonun mevsimselliğin türevini simgeleyen teriminin sehven yazılmadığı kanaatindeyiz.

Tablo 10. Logaritmik Fiyat ve Stokastik Bileşen Serilerinin En Yüksek ve En Düşük Değerlerinin Gün Tiplerine Göre Dağılımı

Gün Tipi	En Düşük		En Yüksek	
	logSpot	Stokastik Bileşen (X_t)	logSpot	Stokastik Bileşen (X_t)
Pazartesi	10	6	7	4
Salı	2	5	5	5
Çarşamba	1	3	7	4
Perşembe	2	1	9	8
Cuma	3	6	10	8
Cumartesi	5	6	9	10
Pazar	15	10	3	8
Tatil	12	13	0	3

Mevsimsellik modeli uygulamasına ilişkin bölümde değinildiği gibi cumartesi günlerinin seriden çıkarılması, büyük miktardaki yüksek gözlemin analiz dışı bırakılması anlamına gelmektedir. Alternatifin pratikte benimsendiği şekliyle uygulanması, farklı fiyat davranışının egemen olduğu tatil ve pazar günlerinin seriden çıkarılması ile mümkün olabilir. Tatil ve pazar günlerinin çıkarılması, yıllık bazda yaklaşık 65 veri kaybına neden olmaktadır. Bu yol izlenirse⁵⁴, kalan seri uzunluğu, literatürdeki çalışmalar ile kıyaslandığında yeterli kalmaktadır. Ancak Weron (2006) ve diğer birçok araştırmacının da belirttiği gibi elektrik, diğer varlıklardan farklı olarak saat bazında kesintisiz ticareti yapılan bir maldır. Ticaretteki bu süreklilik diğer piyasaların aksine bazı avantajlar sağlamaktadır. Zaman serileri analizi, veri dosyasında birbirini izleyen gözlemlerin eşit zaman aralığında alınmış olduğu varsayımına dayanmaktadır. Bu varsayım finansal veri setlerinin çoğu için karşılanamazken bu kabul, elektrik için geçerli olmaktadır (Weron, 2006:25). Ayrıca, Tablo 10'dan mevsimsellik etkisi giderildikten sonra pazar günlerinin uç değerler arasında yoğunluğunun arttığı da gözlenmektedir. Bu bulgu, Klüppelberg vd.'nin (2010) hafta sonlarının dikkat çeken istatistiksel özellikler üretmediği⁵⁵ görüşünün Türkiye piyasası için geçerli olmadığını da ortaya çıkarmaktadır.

Üçüncü alternatif ise Denklem (2.28) ile verilen sıçrama işaret fonksiyonunu baz rejimden aşağı yönlü sıçramaları da içerecek şekilde genişletmektir. Aşağı yönlü bu hareketler için başlangıç eşiği tayin edilerek, yeni bir işaret fonksiyonu tanımlanabilir. Ancak bu yolla oluşacak modelin yaklaşık olabilirlik fonksiyonu, sıçrama sürecinin

⁵⁴ Tatil ve pazar günlerinin seriden çıkarılması sonrası uygulanan mevsimsellik modeli de aşağı yönlü sıçramaların etkisini gidermemektedir. Bu sonuç, Tablo 10'da görülen pazar günlerinin uç değerler arasındaki yoğunluğunu teyit eder niteliktedir.

⁵⁵ Dikkat çeken istatistiksel özellikler için verilen örnek, sıçramalardır (Klüppelberg vd., 2010:967).

karmaşık yapısı nedeniyle yeniden gözden geçirilmelidir. Geman ve Roncoroni (2006) tarafından kurgulanan model, ilgili çalışmalarında aşağı yönlü fiyat hareketi gözlenmeyen üç ABD elektrik piyasasına uygulanmıştır. Matematiksel finans kapsamında aşağı yönlü sıçramaların modele ne şekilde uyarlanacağı teorik yönleriyle ayrıca ele alınmalıdır.

Türkiye Piyasasının bir olgusu olan aşağı yönlü sıçramalara yakın zaman dilimini kapsayan Avrupa piyasaları serilerinde de rastlanmaktadır. Bu hareketler, arz tarafında beklenmeyen artıştan kaynaklanabilmektedir. Güneş ve rüzgâr kaynaklarının değişken yapısı nedeniyle bunlar ve benzeri yenilenebilir kaynakların üretimdeki payının artmasıyla birlikte bu tipteki sıçramaların da yoğunluğu artmaktadır. Güncel bazı çalışmalar, piyasanın bu gerçeğini dikkate almakta ve model kurgusuna dahil etmektedirler. Stokastik bileşenin modellenmesinde bu çalışmalardan GR Modelindeki önemli bazı varsayımları ve pratik uygulamaları benimseyen Mayer vd.'nin (2015) ele aldıkları model esas alınacaktır.

3.3.2. Mayer-Schmid-Weber (MSW) Modeli Uygulaması

Araştırmacılar ve uygulamacılar açısından elektrik fiyat sürecinin bilinmezleri nedeniyle piyasada opsiyon ticaretinin sınırlı olmasından hareketle Mayer vd. (2015), opsiyon ticaret pratiği ile de uyumlu bir spot elektrik modeli önermişlerdir. Model uygulaması; Almanya, Fransa, Kuzey ülkeleri ve Büyük Britanya elektrik piyasaları spot veri seti ile yapılmıştır. Ele alınan piyasalar, piyasamız sistem işletmecisi TEİAŞ'ın da üyesi olduğu, kısaca Avrupa Elektrik Ağı olarak ifade edebileceğimiz ENTSO-E'nin kapsadığı coğrafi bölgede bulunmaktadır. Bu yönüyle Avrupa kıtasındaki ülkelere dönük model çalışmaları ayrıca anlamlıdır.

3.3.2.1. Teorik Çerçeve

Model, Avrupa piyasalarında zaman zaman gözlenen ve geometrik model uygulaması açısından problem oluşturan negatif fiyatları da dikkate almaktadır (Mayer vd., 2015:298). Mevcut fiyat serimizde negatif fiyat gözlenmediğinden, negatif fiyat bileşeni ihmal edilecektir.

Yazarlar, stokastik modellerin standart varsayımlarının geçerli olduğunu kabul ettiklerini belirterek, Denklem (3.14) ile spot fiyatı tanımlamışlardır. $\Lambda(t)$, deterministik mevsimselliği; X_t , normal fiyat hareketlerini; Y_t ise aşırı fiyat hareketlerini, yani sıçramaları gösterir süreçleri temsil etmektedir. Birbirinden bağımsız olan X_t ve Y_t , iki Lévy sürecinin t zamanındaki değerini göstermektedir (Mayer vd., 2015:299).

$$S_t = e^{(\Lambda(t)+X_t+Y_t)} \quad (3.14)$$

$$dX_t = -\alpha_X X_t dt + \sigma(t) dB_t \quad (3.15)$$

$$dY_t = -\alpha_Y Y_t dt + dI_t \quad (3.16)$$

Fiyat hareketlerini belirleyen bu iki süreç hem normal rejimde hem de sıçramalarda, ortalamaya dönüşü sağlayan (3.15) ve (3.16) stokastik diferansiyel denklemlerine tabi olarak ilerlemektedir. Zamanla değişmediği varsayılan α_X ve α_Y , ortalamaya dönüş parametreleridir. Normal rejimdeki yayılım sürecinin artışları dB_t ile gösterilmiş olup, yayılım sürecindeki $\sigma(t)$ terimi, olası değişen varyansı (heteroskedastiklik) da kapsayacak şekilde, yayılımın volatilitelerini simgelemektedir. Yayılım sürecinin artışlarını sürükleyen, Brown (Wiener) hareketidir. Sıçramalara yönelik Y_t sürecinin değişimi, önceki dönem sıçramalarının ortalamaya dönüşünün yanında stokastik sıçrama bileşeninin artışları olan dI_t 'ye bağlıdır.

Stokastik sıçrama bileşeni I_t , pozitif ve negatif sıçramaları farklı ele alacak şekilde Denklem (3.18)'de gösterildiği gibi iki ayrı bileşik Poisson süreci ile modellenmiştir. Lognormal dağılıma tabi olduğu Denklem (3.19)'da belirtilen J_t^\pm terimleri, \pm sıçrama büyüklüklerini göstermektedir. Dolayısıyla negatif sıçramaları ele almak için, I_t 'ye ilişkin olan Denklem (3.17)'de belirtilen çıkarma işlemi gerekmektedir. N^\pm süreçleri, \pm sıçramalar için Poisson sayma süreçleri, λ^\pm ise aynı sırayla sıçrama yoğunluklarıdır (Mayer vd., 2015:300).

$$I_t = I_t^+ - I_t^- \quad (3.17)$$

$$I_t^\pm = \sum_{i=1}^{N_t^\pm} J_i^\pm \quad (3.18)$$

$$N^\pm(0) = 0,$$

$$E(N_t^\pm) = \lambda^\pm \times t,$$

$$Var(N_t^\pm) = \lambda^\pm \times t, \quad (3.19)$$

$$\ln(J_i^\pm) \sim N(\mu^\pm, \sigma^\pm)$$

Mevsimsellik uygulaması önceki bölümde yapıldığı için modelin mevsimsellik ile ilgili teorik çerçevesi ve izleyen bölümde mevsim modeli kalibrasyonu ele alınmayacaktır. Mevsimsellikte sinüzoidal fonksiyon kullanmayan yazarlar; gün, ay ve yıl için kukla değişkenleri tercih etmişlerdir.

3.3.2.2. Model Kalibrasyonu

Stokastik bileşenin modellenmesinde ilk adım, X ve Y bileşenlerinin ayrıştırılmasıdır. Mevsim modeli uygulandıktan sonra ulaşılan seri, bu iki bileşenin toplamıdır ve Denklem (3.20)'de tanımlandığı şekilde Z_t ile gösterilmiştir. Benth vd.'ni (2008) takiben öncelikle serideki ortalamaya dönme etkisi giderilmiştir. Bu işlem, Geman ve Roncoroni'nin (2006) yaklaşık olabilirlik fonksiyonunda yer alan Brown hareketin volatilité terimini hesaplarken izledikleri yöntemle benzerdir.

$$Z_t = X_t + Y_t \quad (3.20)$$

$$\Delta Z_t = \Delta X_t + \Delta Y_t \quad (3.21)$$

(3.15) ve (3.16) denklemleri ayrıklaştırılarak yazılır ve ΔX_t ile ΔY_t 'nin karşılıkları Denklem (3.21)'de yerlerine konursa Denklem (3.22)'de verilen eşitliğe ulaşılmaktadır. Buna göre mevsimsellik modeli sonrası kalan Z_t , OU sürecine tabidir ve ilgili OU stokastik diferansiyel denkleminde rassallığı ifade eden terim, bileşen süreçlerin rassal terimlerinin toplamına eşit olmaktadır.

$$\Delta Z_t = -\alpha_Z Z_t \Delta t + (\sigma \Delta B_t + \Delta I_t), \quad (3.22)$$

$$\alpha_Z = \alpha_X \frac{X_t}{Z_t} + \alpha_Y \frac{Y_t}{Z_t}$$

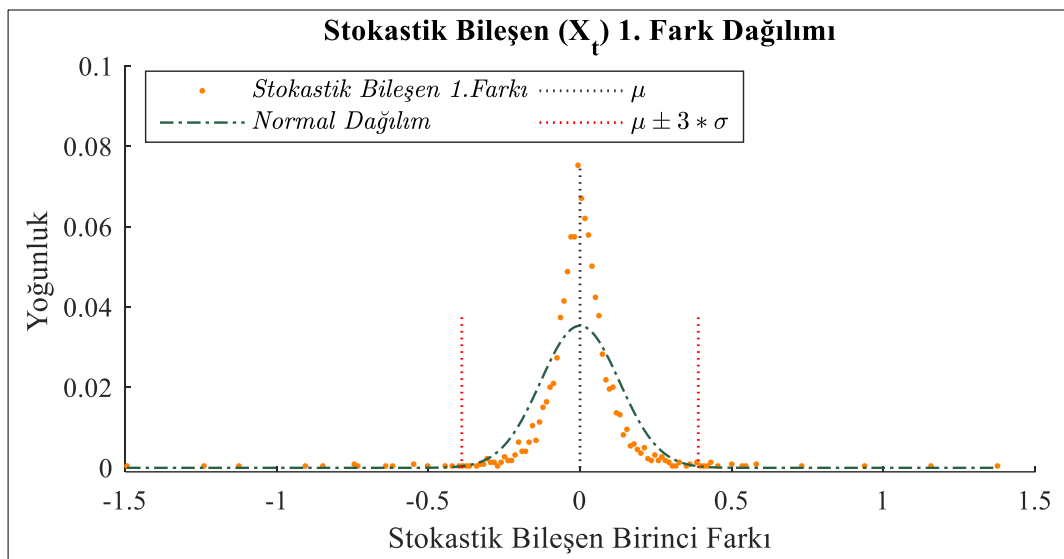
Yayınım ve sıçrama bileşenlerinin ayrıştırılmasına yönelik ilk işlem, α_Z dönüş parametresi ve rassal terimler toplamı ε_t 'nin tahmin edilmesidir. Regresyon analizi ile yapılacak tahmin için Denklem (3.22)'den hareketle elde edilen Denklem (3.23) kullanılacaktır.

$$\Delta Z_t = -\alpha_Z Z_t + \varepsilon_t \quad (3.23)$$

Tahmin edilen $\hat{\varepsilon}_t$ kalıntılarının ortalaması ve standart sapması dikkate alınarak, ortalamadan \pm yönde standart sapmanın 2,57 katından daha uzağa düşen kalıntı değerleri,

sıçrama olarak kabul edilmektedir. Bu değerler çıkarıldıktan sonra kalan seri için sınırlar, güncellenen ortalama ve standart sapma ile bulunmaktadır. Sınır dışı değerler, yeni sıçramalar olarak ayrıştırılmakta ve bu işlem yinelemeli olarak yeni sıçrama kalmayana kadar sürdürülmektedir. Yöntem, çalışmanın ikinci bölümünde ele alınan Clewlow ve Strickland'ın (2000) önerdiği özyinelemeli filtrenin ortalamaya-dönme düzeltmesini de içeren versiyonudur.

Sıçramalardan oluşan vektör ($\hat{\xi}$) ve tahmin edilen $\hat{\alpha}_Z$, kalibrasyonun X ve Y süreçleri ile α_X ve α_Y dönüş parametrelerinin tahmin edileceği ikinci aşamasının girdileridir. Bu aşamada öncelikle regresyon kalıntısı $\hat{\varepsilon}_t$ serisi, σdB ve dI bileşenlerine ayrıştırılmalıdır. Önceki aşamada olduğu gibi yinelemeli olan bu ayrıştırma, indislerinden görüleceği üzere ilk adım süreçler olan σdB_0 ve dI_0 'ın tahmini ile başlamaktadır. Bu tahmin ise GR Modelinde esas alınan varsayıma dayanmaktadır. Sıçramalar haricinde yayılım sürecine ait σdB_0 vektörü dZ vektörüne, sıçrama noktalarında ise sıfıra eşitlenir. Sıçrama sürecine ait dI_0 vektörü ise, sıçramalarda dZ vektörünün karşılık gelen değerini, diğer noktalarda sıfır değerini alır (Mayer vd., 2015:303). Geman ve Roncoroni (2006), logaritmik getiri dağılımına bakarak fiyat değişiminin uç noktalar ya da ortalama civarında kümelendiğine dikkat çekmişlerdir. Buna dayanarak sıçrama zamanında sürecin sürekli kesiminden gelen değişim, ihmal edilebilir ve sıçrama sürecine atfedilebilir. Sıçrama gerçekleşmeyen zamanlarda ise değişimin tamamı, sürekli süreçle ilintilidir (Geman ve Roncoroni, 2006:1235).



Şekil 36. Stokastik Bileşen Birinci Fark Dağılımı

Varsayımın geçerliliği, stokastik bileşen serimizin birinci farkının, yani değişiminin Şekil 36’da sunulan dağılımını gözlemleyerek sınanabilir. GR Modelinde sunulan dağılım grafikleri ile benzer şekilde seri değerlerinin büyük ölçüde ortada ve uçlarda kümелendiği izlenmektedir.

Başlangıç stokastik süreçleri, σdB_0 ve dI_0 oluşturulduktan sonra özyinelemeli olarak X ve Y süreçleri ile σdB ve dI süreçleri tahmin edilecektir. X ve Y süreçlerinin başlangıç değerleri, sıfır olarak alınacaktır. Stokastik bileşenlerden kaynaklanan geri dönme etkisi, Denklem (3.24) ve Denklem (3.25) kullanılarak düzeltililecektir.

$$\sigma dB_t = \sigma dB_0(t) - (-\alpha_X X_t - \alpha_Y Y_t) \quad (3.24)$$

$$dI_t = dI_0(t) - (-\alpha_X X_t - \alpha_Y Y_t) \quad (3.25)$$

Sıçrama olayları nadiren görüldüğünden, geri dönüşün önemli bir kısmı baz rejimle ilgilidir, dolayısıyla σdB_0 sürecinden çıkarılmaktadır. İstisnalar σdB ile etkileşim içerisinde sıçramalara yol açan hareketlerdir, bunların geri dönüş etkisinin giderilmesi Denklem (3.25) ile gerçekleşmektedir. Böylece dZ sürecindeki hareket yoğunluğu korunmuş olmaktadır (Mayer vd., 2015:303).

X ve Y süreçleri, σdB ve dI süreçlerine bağlı olarak yinelemeli şekilde Denklem (3.26) ve Denklem (3.27) yardımıyla güncellenerek bulunacaktır.

$$X_{t+1} = (1 - \alpha_X)X_t + \sigma dB_t \quad (3.26)$$

$$Y_{t+1} = (1 - \alpha_Y)Y_t + dI_t \quad (3.27)$$

Yinelemeli prosedür sona erdiğinde X ve Y süreçleri, başlangıçta varsayılandan farklı sıçrama noktaları içerebilecektir. Bu yüzden ikinci bir algoritma ile $\sigma dB + dI$ serisindeki sıçramalar tekrar belirlenmelidir. Bu algoritma, ilk sıçrama ayrıştırmasından farklılaşmaktadır. Birinci farklılık, sıçramaların sadece σdB serisinin ortalama ve standart sapmasına dayalı olarak ayrıştırılmasıdır. Yine 2.57 değeri, eşik olarak alınmaktadır. Diğer farklılık ise ilk algoritmanın tersine bu algoritmada yineleme yapılmamasıdır. Dolayısıyla sıçrama ayrımı, sadece belirlenen volatiliteye göre yapılmaktadır. Bu fark, stokastik volatilitenin de dikkate alınmasına imkân tanımaktadır (Mayer vd., 2015:304).

Uygulamanın diğer aşamasında ise elde edilen X ve Y süreçleri kullanılarak $\hat{\alpha}_X$ ve $\hat{\alpha}_Y$ ortalamaya dönme hızları hesaplanmaktadır. Bu maksatla Denklem (3.23) esas alınarak, benzer şekilde regresyon analizi yapılmaktadır. Sonrasında ilk etapta alınan ortalamaya dönme parametreleri, yeni hesaplananlar ile değiştirilerek tekrar X ve Y süreçleri tahmin edilmektedir. Yinelemeli işleme, yakınsamaya değin devam edilecektir. Yakınsama, $\hat{\alpha}_X$ ve $\hat{\alpha}_Y$ parametrelerinin yinelemeler sonrası bir önceki yinelemedeki değerlerine göre değişimlerinin sıfıra yakınması, eşdeğer ifadeyle parametrelerin sabit kalması ile gerçekleşmektedir. Yakınsama sonrası \hat{X} ve \hat{Y} süreçleri; bunlara ait stokastik bileşen süreçler $\overline{\sigma dB}$ ve \overline{dI} ; $\hat{\alpha}_X$ ve $\hat{\alpha}_Y$ dönme hızları ve $\hat{\xi}$ sıçrama vektörü bulunmuş olacaktır.

Son aşamada ise \pm sıçramalar ayrıştırılarak sıçramalara ait Denklem (3.19)'da tanımlanan yoğunluklar bulunmakta, maksimum olabilirlik yöntemi ile dağılım parametreleri hesaplanmaktadır.

3.3.2.3. Türkiye Elektrik Piyasası Uygulaması

Mevsimsellik modeli sonrası ulaşılmış olduğumuz X_t ile gösterilen stokastik bileşen serimiz, bir önceki alt bölümde X_t ve Y_t toplamı olarak tanımlanan Z_t serisine [Denklem (3.20)] karşılık gelmektedir. Tanımlamalara uyum açısından uygulama aşamasında bu seri, Z_t olarak gösterilecektir.

Önceki alt bölümde verilen kalibrasyon aşamaları uygulamaya konularak hesaplanan parametreler ve modelin diğer sonuçları Tablo 11'de sunulmuştur.

Tablo 11. MSW Modeli Tahmin Edilen Parametreleri

<i>Geri Dönüş Hızları</i>		<i>Yayınım Süreci Dağılım Parametreleri</i>	
α_X	α_Y	Ortalama (μ)	Std. Sapma (σ)
0.1886	0.4304	0.0000	0.0611
		Eğiklik	Basıklık
		-0.0469	2.9910
<i>Sıçrama Dağılım Parametreleri</i>			
μ^+	-1.5002	μ^-	-1.3570
σ^+	0.3630	σ^-	0.4659
λ^+	0.0415	λ^-	0.0516
Sıçrama Sayısı :		204	
(+ Sıçrama Sayısı :		91	
(- Sıçrama Sayısı :		113	

Serinin genel analizini doğrular şekilde negatif sıçramaların yoğunluğu pozitif karşılıklarına göre daha yüksektir. Aynı zamanda bu sıçramaların ortalama büyüklüklerinin pozitif olanların ortalama büyüklüğüne göre logaritmik ölçekte yaklaşık %10 daha fazla olduğu görülmektedir. Ters dönüşüm yapıldığında gerçek ölçekte negatif sıçramalar, pozitif sıçramalara göre yaklaşık %15 daha büyüktür. Bu modelde sıçramalar zamandan bağımsız (time-homogenous) olarak ele alınmaktadır. Bu nedenle yoğunluk parametreleri, yılda yaklaşık 15 pozitif, 19 negatif sıçrama beklenebileceğini belirtmektedir.

Klüppelberg vd. (2010), BEK modeli uygulamasında Denklem (2.33)'deki OU diferansiyel denkleminin sürekli zamandaki, yani zaman dilimi sifıra yakınsayacak şekilde, açık çözümünü alarak anlık geri dönüş hızına tekabül eden λ dönüş parametrelerini tahmin etmişlerdir. Bu uygulamada 3OU Modelinin kalibre edilmesi için gereken dönüş parametreleri, Davis-McCormick tahmincisi ve çoklu otokorelasyon ile ilgili Denklem (2.15) kullanılarak tahmin edilmektedir. Kalibrasyon işlemi, günlük veriye dayanmaktadır. Dolayısıyla sonsuz zaman çözümüne uyarlama yapılarak anlık geri dönüş hızını tahmin etmek mümkündür. Clewlow ve Strickland (2000) de, OU denklemin aynı çözümüne dayanarak OU sürecinin yarı ömrünü ele almışlardır. Gerekli dönüşüm yapıldığında X_t ve Y_t süreçlerinin yarı ömürleri, yaklaşık 3,32 ve 1,23 gün olarak bulunabilmektedir. Spot fiyata gelen bir şokun neden olduğu uzun dönem ortalamadan uzaklaşmanın yarısının telafisi için gereken sürenin sadece çok uzun bir dönem boyunca ve ortalamada geçerli olduğu dikkate alınmalıdır (Clewlow ve Strickland, 2000:21). Tablo 11'de sunulan dönüş hızı parametrelerinden, baz ya da normal fiyatın geçerli olduğu rejimde bir önceki dönem fiyatının yaklaşık %19'unun ortalamaya dönme etkisi kapsamında sönümlendiği görülmektedir. Bir önceki cümlede belirtildiği gibi ortalamada geçerli olan bu durum, fiyatın ortalamadan her iki yönde uzaklaşmasının nispeten daha büyük olduğu dönemlerde daha kuvvetli etkiye sahip olacaktır. Modelin dayandığı çalışma sonuçları ile kıyaslandığında Türkiye spot piyasası için elde edilen α_X , Almanya spot piyasası; α_Y ise İngiltere spot piyasası ile uyumludur. Farklı piyasa özellikleri geçerli olsa da her ikisi ile yapılan kıyaslama, sıçrama dönüş hızının baz fiyat dönüş hızına göre düşük, ya da sıçrama dönüş hızına göre baz fiyat dönüş hızının yüksek olduğunu göstermektedir.

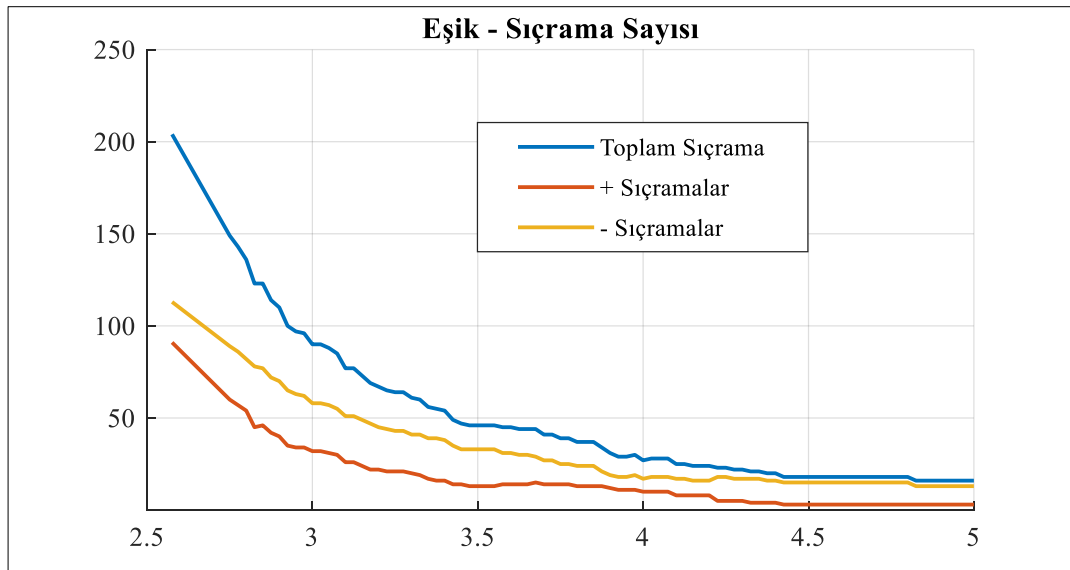
Kalibrasyondan elde edilen Wiener sürecine tabi yayılım sürecinin momentleri de Normal Dağılım ile uyum halindedir. Mayer vd. (2015), inceledikleri dört piyasanın

her biri için elde ettikleri kalıntı yayılım süreçlerinin normal dağılıma uyumunu, normal olasılık grafikleri ve histogramlar ile göstermişlerdir. Jarque-Bera testi, yayılım sürecinin normalligine dair sıfır hipotezinin reddedilemeyeceğini ortaya koymaktadır.

3.3.3. MSW Modelinin Geliştirilmesi

Mayer vd. (2015), kurguladıkları modelde uygulama bölümünde ele alındığı gibi eşik değerini 2,57 olarak belirlemişlerdir. Bu değer, normal dağılıma göre fiyat değişim serisinin her iki kuyruktan olmak üzere toplamda %1'inin uç değer, ya da sıçrama olarak sınıflandırılmasını sağlamaktadır (Mayer vd., 2015:303). Eşik değeri, çalışmalara göre farklılaşabilmektedir. Clewlow ve Strickland (2000), ikinci bölümde değinildiği gibi değeri 3 olarak almışlardır. Pirino ve Reno (2010), Gauss çekirdeğine (kernel) dayalı, bu nedenle farklılaşan parametrik olmayan varyans tahmincisi ile yaptıkları ayrıştırmada eşik değeri, çalışmalarda mutad hale geldiğini belirterek aynı şekilde 3 olarak kabul etmişlerdir. Talaşlı'nın (2012) bu tahmincinin farklılaştırılmış versiyonunda kullandığı eşik değeri, Türkiye için 2,3'tür.

Eşik değer tayini, sıçrama sayısını, dolayısıyla yoğunluğunu doğrudan etkilemektedir. Model kalibrasyonunda alınan 2.57'den başlanarak 5'e kadar kademeli artırılan eşik değerleri için tahmin edilen sıçrama sayıları Şekil 37'de sunulmuştur. Eşik değeri ile sıçrama sayıları arasında doğrusal olmayan negatif ilişki grafikten izlenmektedir.



Şekil 37. MSW Modelinde Eşik Seçimine Göre Sıçrama Sayıları

Eşik değerinin 5'e kadar götürülmesi, yüksek frekanslı finansal serilerde Lee ve Mykland'ın (2008) sıçrama tespitinde önerdiği parametrik olmayan teste dayanmaktadır. Ardışık getirilerin çarpımına dayalı (ikili-çarpım varyansı – bipower variation) varyans tahmincisi içeren testin önerdiği eşik değeri, serimizin gözlem sayısına göre 5,13 olarak hesaplanmaktadır⁵⁶. Bu test, finansal piyasalardaki veri frekansının yüksekliği nispetinde sıçrama dinamiklerini açıklamaya yardımcı olmaktadır. Ancak, elektrik spot fiyat serimiz günlükdür. Yüksek eşik değerleri de sıçrama sayısını oldukça azaltmaktadır.

Diğer yandan, GR ve BEK Modeli uygulamaları ile kıyaslandığında MSW Modeli ile tahmin edilen sıçrama sayısının da yüksek olması dikkat çekicidir. Anılan uygulamaların aşağı yönlü sıçrama bileşeni içermemesi, bunun bir nedeni olabilir. Bu noktada, uygun eşik değerin tayini de son derece önemli hale gelmektedir. GR Modeli, eşik için belirli bir değer önermemektedir. Bunun yerine, yukarıda getiri serilerinin basıklık değerlerine ilişkin değerlendirmede ve ikinci bölümde vurgulandığı gibi, eşik-basıklık değeri ilişkisine odaklanan bir yaklaşım hakimdir. Modelde tahmin edilen parametrelerle elde edilen yeni süreçlerin basıklık değerlerinin serinin gerçek değerine yakınsaması önceliklidir. Yakınsamaya yönelik olarak parametrelerde değişimi sağlayan ise fiyat değişim eşikidir.

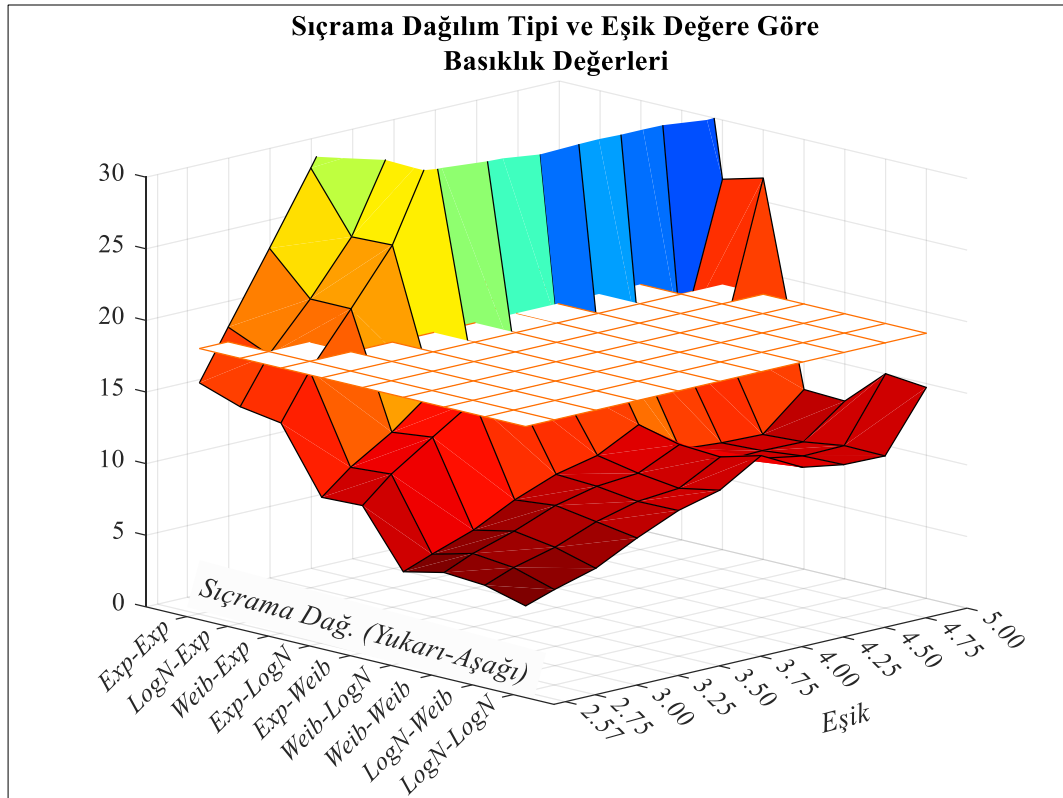
GR Modelinin bu temel düşüncesini esas alarak, farklı eşik değerleri ile tahmin edilen modellerden her biri için simülasyonla 5000'er adet stokastik seri türetilmiştir. Sıçrama riskini ifade eden basıklık ile varyans öncelikli olmak üzere serilerin istatistikleri hesaplanmıştır. İkinci ve dördüncü momentleri ifade eden bu istatistikler, finansal zaman serilerinin ayırt edici niteliklerinin öncül göstergeleri olmaları bakımından ayrıca anlamlıdır. Bu analize geçmeden önce Tablo 12'de stokastik bileşen serimiz, Z_t 'nin tanımlayıcı istatistikleri sunulmuştur.

⁵⁶ Wiener süreçlerle ilgili teori kapsamında sıçramaların yürüyen bir pencereye dayalı olarak ikili-çarpım varyansları esas alınarak ayırt edilmesini sağlayan testin istatistikleri ve yardımcı denklemleri, konuyla dolaylı ilgili olmasından hareketle verilmemiştir. Veri setimize göre önerilen pencere genişliği 47 gündür. Günlük gözlemlerde de kullanılabilmesi ifade edilen test, benzer çalışmalarda da ortaya konulduğu gibi veri frekansının artırılması ile çok yüksek sıçrama tespit gücü kazanmaktadır (Lee ve Mykland, 2008: 2547). Metinde verilen eşik değeri %90 güven aralığı için hesaplanmış olup, daha yüksek düzeylerde eşik değeri artmaktadır.

Tablo 12. Stokastik Bileşen Serisi Tanımlayıcı İstatistikleri

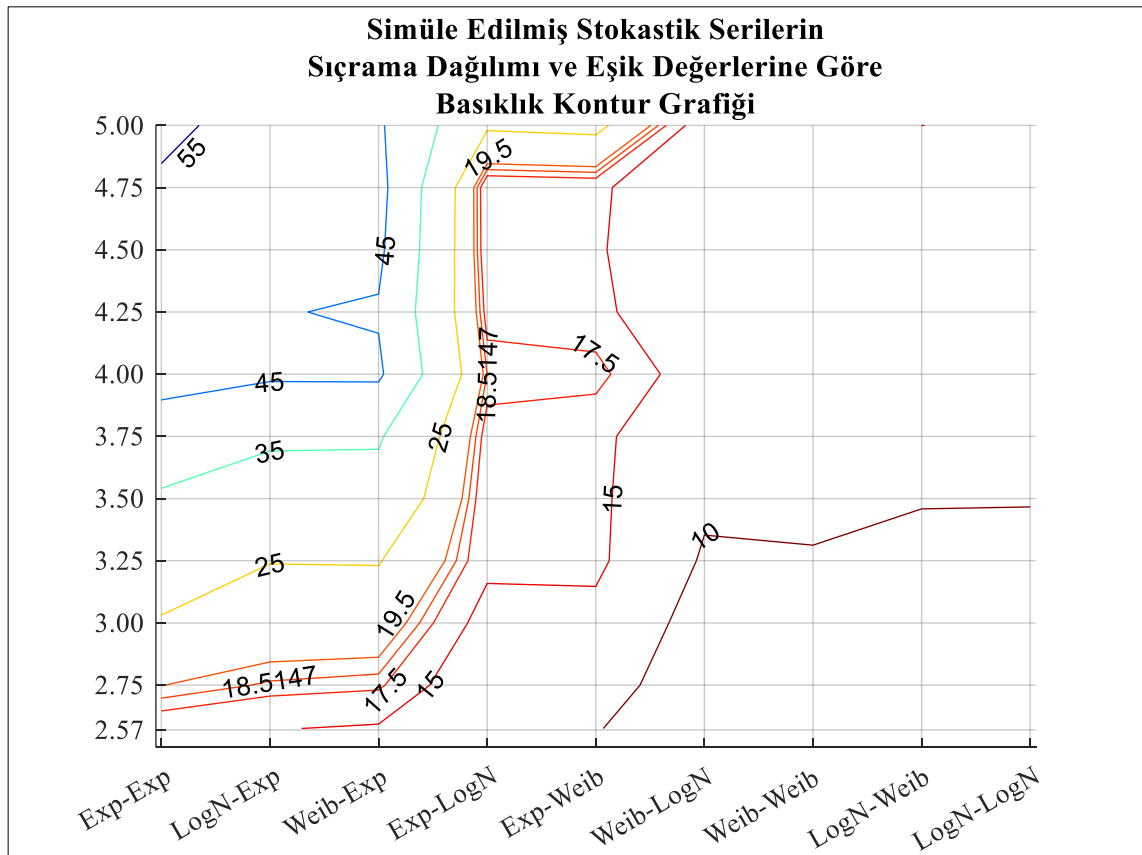
Ortalama	-0.0120	Standart Sapma	0.1650
Medyan	-0.0060	Varyans	0.0272
Minimum	-1.7119	Çarpıklık	-0.9365
Maksimum	1.5317	Basıklık	18.5147

MSW Modeli hem pozitif hem de negatif sıçramalar için Lognormal dağılımı benimsemektedir. Kalibre edilen modellerin çıktılarında olan sıçrama vektörleri incelenerek, üstel (eksponansiyel) ve Weibull dağılımları olmak üzere iki farklı dağılımın da dikkate alınabileceği tespit edilmiştir. Eşik ve dağılım tipine göre serilerden elde edilen ortalama basıklık değerleri Şekil 38’de izlenmektedir.

**Şekil 38. Simülasyonla Elde Edilen Serilerin Ortalama Basıklık Değerleri**

Dağılım eksen açıklamasında Exp, Üstel; LogN, Lognormal ve Weib, Weibull dağılımı ifade etmektedir. İkili kısaltmalardan ilki (+), diğeri (-) sıçramalar için kullanılmıştır. Eşiğe bağlı kalmaksızın sıçrama dağılım ekseninin solunda yer alan dağılımlar yüksek basıklık değerlerine yol açmaktadır. Basıklık değeri 50’yi aşan ikili kombinasyonlardan dolayı, daha net bir gözlem açısından basıklık eksenini, 30 değerinde kesilmiştir. Grafik, Geman ve Roncoroni’nin (2006) ECAR ve PJM gibi yüksek-baskılı

ve orta-baskılı piyasalar için üstel dağılım tercihinin daha doğru olduğunu da ortaya çıkarmaktadır. Stokastik serinin basıklık değerini gösteren düzlemin altında basıklık değerleri üreten süreçlerin tabii olduğu dağılım ikilileri, izleyen çalışmada kapsam dışı bırakılacaktır. Dağılım ekseninin sağ kısmına düşen bu dağılımlardan en dikkat çekenini uç kısımdaki Lognormal dağılımdır. MSW Modelinin orijinal kurgusunda yer alan bu dağılım, Türkiye spot elektrik piyasası için gözlenen basıklık değerini yakalayamamaktadır. Dağılım ve eşik belirleme açısından aynı veriye dayalı Şekil 39, daha anlaşılır ve yol gösterici olacaktır. Eksen kısaltmaları ile ilgili bir önceki grafik için yapılan açıklama geçerlidir.



Şekil 39. Simülasyonla Elde Edilen Serilerin Basıklık Kontur Grafiği I

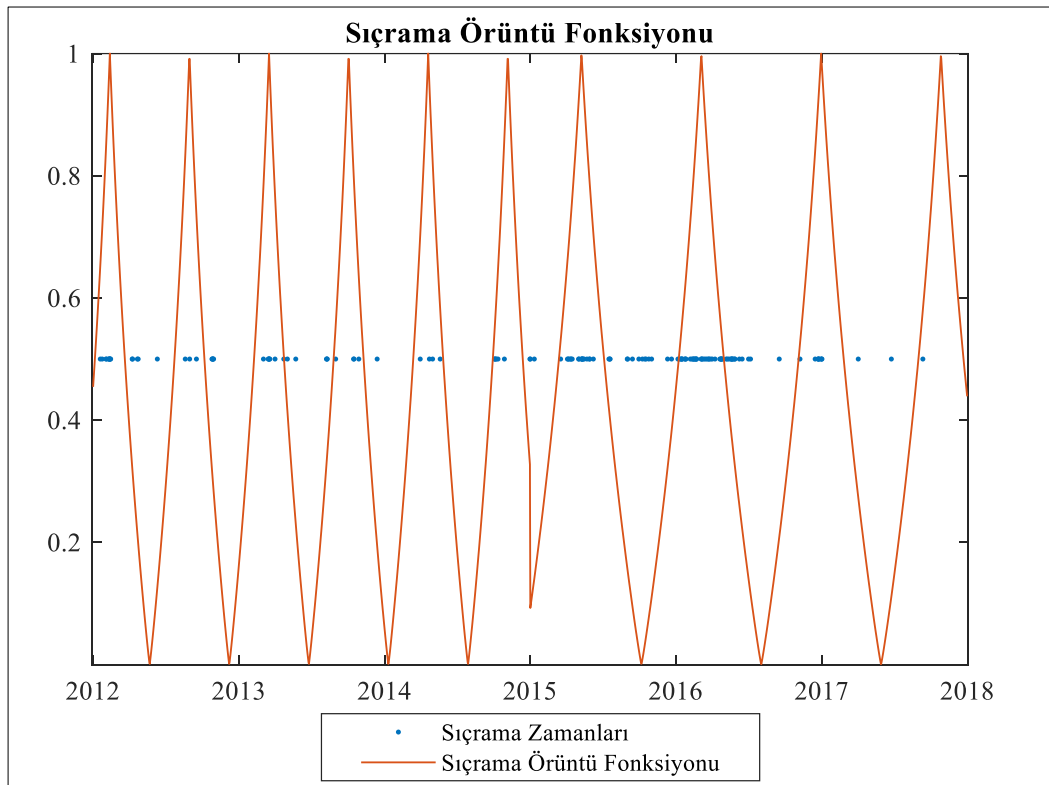
Modelin geliştirilmesi açısından Üstel-Üstel, Lognormal-Üstel, Weibull-Üstel ve Üstel-Lognormal olmak üzere dört alternatif öne çıkmaktadır. Daha kararlı basıklık değerleri veren Üstel-Lognormal dağılım önceliklidir. Ancak bu alternatif, yaklaşık 3,85 eşik değerinden sonra hedeflenen basıklık değerlerini üretmektedir. Tablo 3'te sunulan literatür özetinden de görülebileceği gibi sıçramaların modellenmesinde Pareto dağılımı da dikkate alınmaktadır. Grafiğin dağılım ekseninin en solunda yer alan beş dağılım

çıkarılıp Pareto alternatifi değerlendirilerek ve eşik değeri 4'te kesilerek stokastik seriye en uyumlu modele ulaşılması hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda yürütülen çalışma sonuçlarını sunmadan önce uygulanan simülasyon yöntemine kısaca değinilecektir.

3.3.3.1. Simülasyon Yöntemi

Geman ve Roncoroni (2006), Monte Carlo simülasyonları için takip ettikleri yöntemi, çalışmalarının ekinde özetlemişlerdir. Temelde bu yöntemden hareket ederek ayırık zamanda veri üretmek için MSW Modelinin denklemleri dikkate alınmış, ayrıca sıçrama yönünü belirlemek üzere simülasyon yöntemi genişletilmiştir.

Uygulanan simülasyon işleminde, sıçrama zamanının ve bundan daha karmaşık olan sıçrama yönünün tayini önem taşımaktadır. Sıçrama zamanları, klasik MRJD modellerinde olduğu gibi tamamen zamandan bağımsız şekilde Poisson rassal değişkenler yardımıyla ve sıçrama yoğunluğu dikkate alınarak tayin edilebilir. GR Modelinde önerilen zamana bağlı sıçrama yoğunluk fonksiyonunun da kullanılması mümkündür. Simülasyon için ikinci yöntem tercih edilerek ilgili bölümde verilen Denklem (2.26) ve Denklem (2.30) yardımı ile en uygun parametreler tahmin edilmiştir. Elde edilen sıçrama örüntü fonksiyonu, ("jump shape function") Şekil 40'da sunulmuştur.

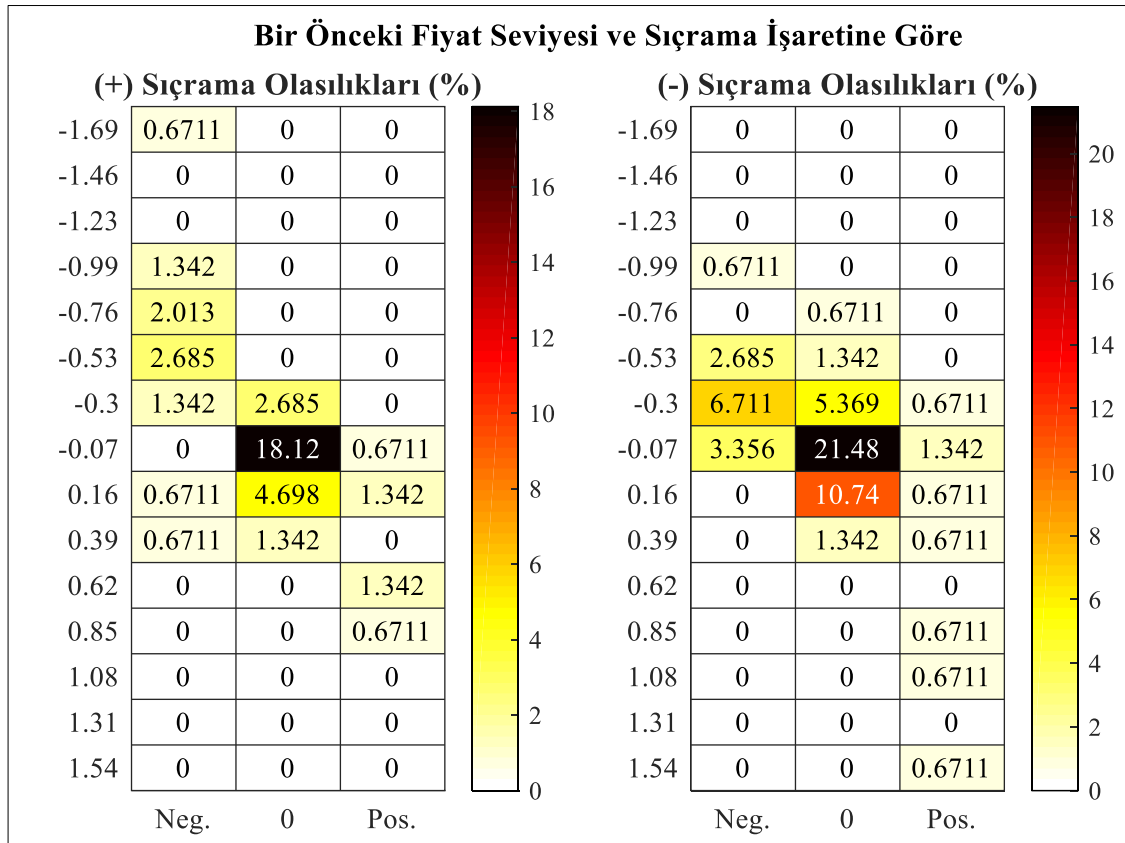


Şekil 40. Sıçrama Örüntü Fonksiyonu

Fonksiyon, mevsimsellikteki uygulamaya paralel olarak 2015 yılı öncesi ve sonrası için ayrı hesaplanmıştır. Şekil 40’da sunulan grafik, bu bölümde tahmin edilen en uyumlu modelin sıçrama örüntü fonksiyonuna aittir. Fonksiyonun simülasyonda kullanılabilmesi için GR Modeli çalışmasının ekinde verilen algoritmanın gerektirdiği θ_2 parametresi hesaplanmalıdır. Bu parametre, birim zamanda beklenen maksimum sıçrama sayısını ifade etmektedir. Her iki dönem için maksimum olabilirlik fonksiyonunun ilgili kısmı alınarak bu parametreler tahmin edilmiştir. Parametrelerin Denklem (2.26)’da ifade edildiği gibi karşılık gelen örüntü fonksiyonu ile çarpılması sonucunda sıçrama yoğunluk fonksiyonu elde edilmiş olmaktadır.

Sıçrama zamanlarının simülasyonla türetilbilmesi için kaynak çalışma ekinde açıklandığı üzere öncelikle ilgili $[0, T]$ aralığında sıçramalar arası zamanın (“interarrival time”) rassal modellenmesi gerekmektedir. Sıçramalar arasında geçen bu süre, Poisson sayma sürecine istinaden üstel dağılıma tabidir. Buradan hareketle, yoğunluk fonksiyonunun maksimum değeri (t^*) parametre olarak alınarak toplamları T ’ye eşit olana dek üstel dağılımda rassal değişkenler üretilmektedir. Aday sıçrama zamanları, sıçramalar arası zamanların (“interarrival”) sırayla kümülatif toplamlarını, gerçekte oluşan sıçrama zamanlarına yaklaştırmalıdır (Geman ve Roncoroni, 2006:1260). Bu yakınsamada herhangi bir rassal değişken çekmek için simülasyonlarda çokça başvurulan kabul-ret metodu kullanılmıştır. Türetilen her geliş zamanı için $[0, t^*]$ aralığından tekdüze (“uniform”) rassal değişken çekilerek karşılık gelen yoğunluk fonksiyon değeri ile kıyaslama yapılmaktadır. Rassal değişken, fonksiyon değerinden küçük ya da eşitse, sıçrama zamanı kümesine dahil edilir, aksi takdirde reddedilir.

Açıklanan yöntemle simülasyonu yapılan sıçrama zamanları yanında sıçrama yön tayininin belirlenmesi de son derece önemli olmaktadır. Aşağı yönlü sıçramaların da geçerli olması, durumu daha da zor hale getirmektedir. Bunun için sıçrama gerçekleştiği koşulu altında bir önceki dönem fiyat seviyesi ve sıçrama işaretine bakılabilir. Pratik olan bu yöntemi daha iyi açıklayabilmek üzere bölüm devamında değinilecek en uyumlu model için hesaplanan sıçrama olasılıklarının yer aldığı ısı diyagramı Şekil 41’de sunulmuştur.



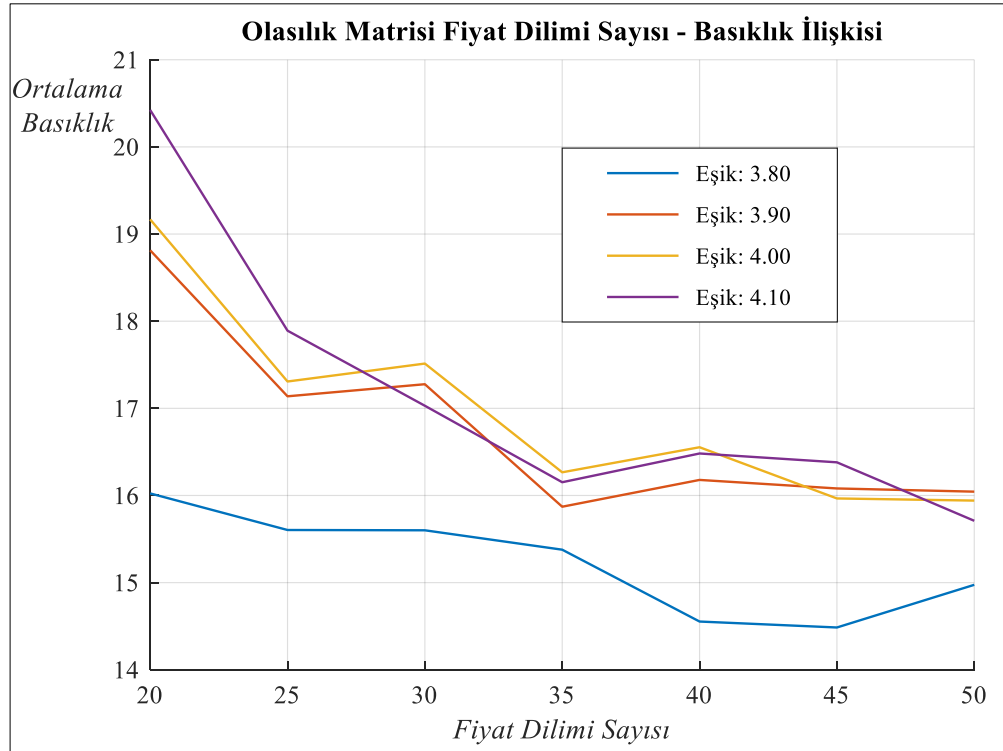
Şekil 41. Sıçrama İşaret Olasılık Matrisi / Isı Diyagramı

Grafikte dikey eksen bir önceki dönemdeki fiyat seviyesini, yatay eksen ise yine bir önceki dönemdeki sıçrama işaretini göstermektedir. Sıçrama gerçekleşmemiş olması durumu, sıfır ile belirtilmiştir. Diğer bir ifadeyle eksen değerleri, kalibrasyonla ilgili bölümde dI ile belirtilen sıçrama vektörünün bir gecikmeli değerinin işaret fonksiyonu olmaktadır. Sıçrama zamanları yukarıda belirtildiği şekilde, sıçrama büyüklükleri ise tabii olduğu dağılımla ayrıca türetildiği için, matriste verilen olasılıklar sıçrama işaretine yöneliktir. Bir önceki dönemde gerçekleşen fiyat aralığı ve sıçrama işaretlerine göre matrislerden alınan değerler, işarete ilişkin koşullu olasılıkları sağlamaktadır. Matris, sıçrama örüntü fonksiyonuna benzer şekilde 2015 yılı öncesi ve sonrası için model bazında ayrı ayrı oluşturulmuştur.

Simülasyonla ilgili olarak yukarıda yarı ayrık⁵⁷ halde verilen Denklem (3.26) ve Denklem (3.27)'den yararlanılmıştır. Brown hareketin artışlarını modellemek üzere standart normal dağılımdan rassal değişkenler türetilmiştir.

Şekil 41'de sunulan olasılık matrisi, bir önceki döneme ait olmak üzere 15 fiyat dilimi esas alınarak hazırlanmıştır. Sıçramanın hangi fiyat seviyesini takiben ne yönde gerçekleşeceğini tahmin etmek, modelin gerçek seriye uyumu ve kullanılabilirliği açısından önemlidir. Bu tahminin modellenmesindeki zorluk derecesi, MRS modellerinin uygulanmasında karşılaşılan güçlükleri salık vermektedir. Yukarıda dağılım-eşik ve basıklık arasındaki ilişkiyi gösterir Şekil 38 ve Şekil 39'da verilen grafiklere esas seriler, sıçrama işareti için 15 fiyat dilimi geçerli olmak üzere türetilmiştir.

Sıçrama işaretini daha hassas bir şekilde tahmin edebilmek için fiyat dilimleri artırılabilir. Çalışmamızda sıçrama yönü bazında olasılık dağılımını değiştirme esnekliği öngörüldüğünden daha dar fiyat aralıklarına dayanarak yön tayin etmek ayrıca anlamlıdır. Fiyat dilimi sayısı ile simülasyonla türetilen serilerin ortalama basıklık değerleri arasındaki ilişki, farklı sıçrama eşikleri için Şekil 42'de görülmektedir.



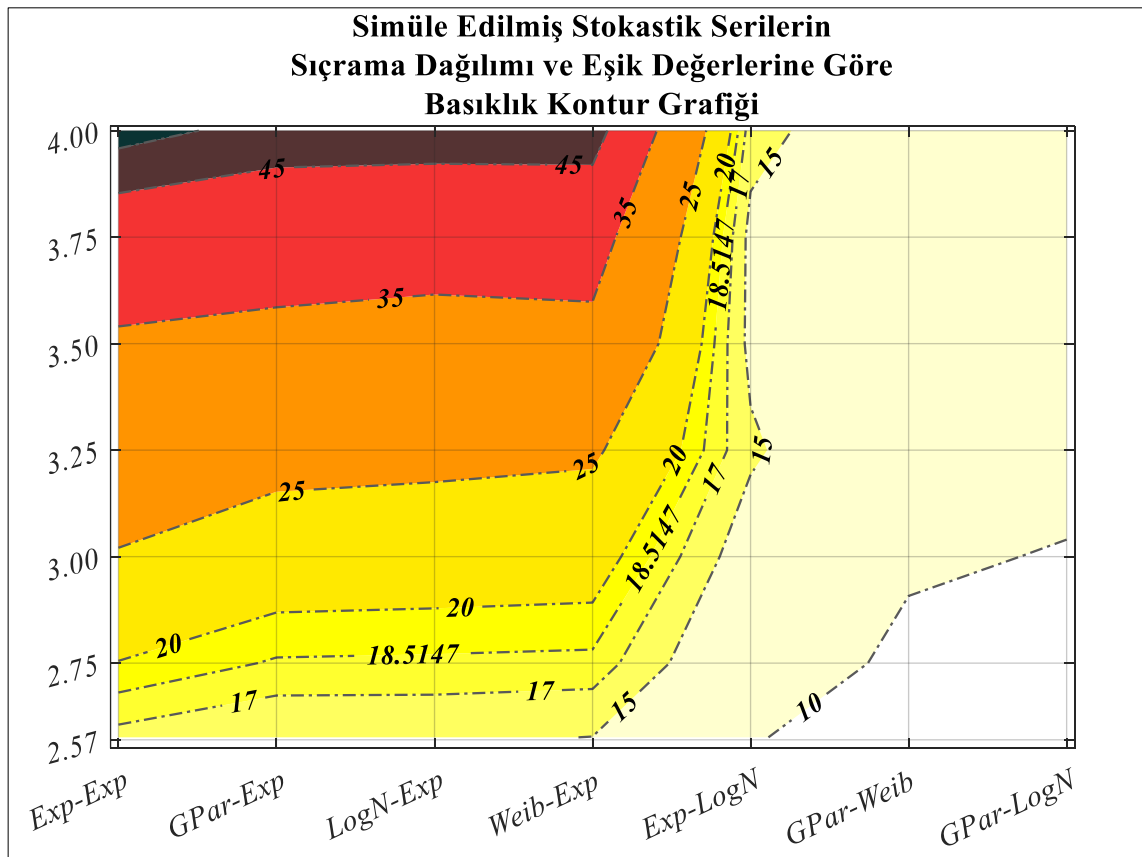
Şekil 42. Olasılık Matrisi Fiyat Dilim Sayısının Seri Basıklık Değeri ile İlişkisi

⁵⁷ “Yarı ayrık ifadesi”, rassal bileşenlerin türevsel gösterimi nedeniyle kullanılmıştır. Bu gösterim, esasen sonsuz zaman gösteriminden ziyade, kalibrasyonda ortaya çıkan yayılım ve sıçrama süreç serilerini temsil eder mahiyettedir.

Grafikte görülen zıt yönlü ilişki, Üstel-Lognormal dağılım ikilisi için verilmiştir. Bu ikili, Şekil 39'daki grafiğe göre öne çıkan dört dağılım ikilisi içerisinde, fiyat dilim sayısı ve türetilen serilerin ortalama basıklık değeri arasında gözlenen en sert ilişkiyi yansıttığı için seçilmiştir.

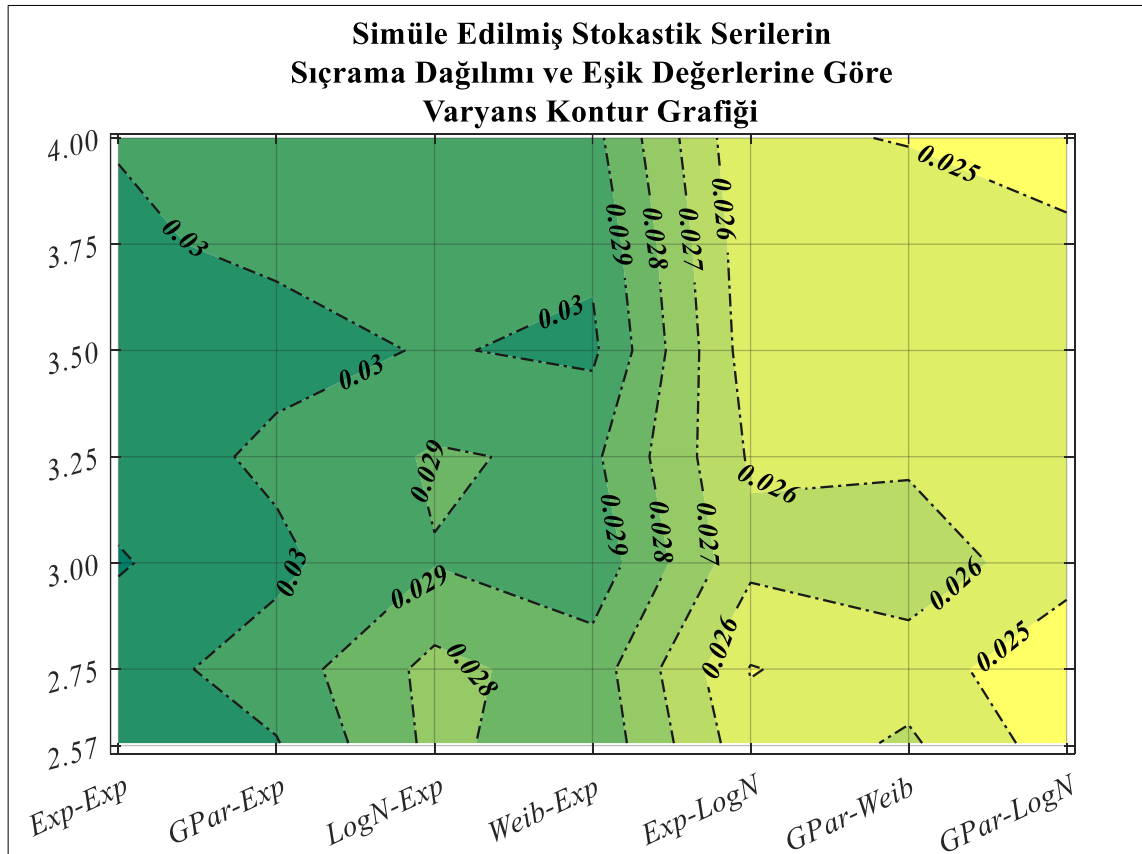
3.3.3.2. Alternatif Modellerin Değerlendirilmesi

Fiyat dilim sayısı 40 olarak seçilerek muhtemel dağılım ikilileri ve eşik değerleri ile model alternatifleri araştırılmıştır. Dilim sayısının seçilen 40 değerinin üzerindeki artışlarının etkisinin sınırlı kaldığı Şekil 42'den izlenebilmektedir. Alternatif dağılım kümesine dahil edilen Genelleştirilmiş Pareto Dağılımı ve [2.57,4.00] eşik aralığı dikkate alınarak simülasyonla türetilen 5000'er adet serinin ortalama basıklık değerleri genel itibariyle Şekil 43'ten izlenebilmektedir.



Şekil 43. Simülasyonla Elde Edilen Serilerin Basıklık Kontur Grafiği II

Ayrıca simülasyonla türetilen serilerin ortalama varyanslarının, stokastik Z_t serisinin varyans değeri ile uyumu gözetilmiştir. Düşünülen alternatiflerin varyans bakımından uyumu, Şekil 44'te verilen kontur grafiğinde görsel olarak ele alınmıştır. Düşünülen alternatif dağılımlar arasında 0,0272 olan varyans değerine en uyumlu seriler, Lognormal-Üstel dağılım ikilisi ve 2,75 ve yakınındaki eşik değerleri seçilerek elde edilmektedir. Basıklık değerleri ile birlikte değerlendirildiğinde de bu seçenek öne çıkmaktadır.



Şekil 44. Simülasyonla Elde Edilen Serilerin Varyans Kontur Grafiği

Genelleştirilmiş Pareto-Üstel, Lognormal-Üstel, Weibull-Üstel ve Üstel-Lognormal dağılım ikilileri ve bunların stokastik serinin basıklık değerine yakınsamayı sağlayan eşikleri ile bu eşiklere komşu alternatif değerler dikkate alınarak simülasyonla 10000'er adet seri üretilmiştir⁵⁸. Üstel-Lognormal dağılımda sıçrama işaret matrisini etkileyen fiyat dilim sayısı 20 olarak alınmıştır. Bu ikili, yüksek eşik değerlerinin model uyumu ile kalibrasyon ve simülasyon üzerindeki etkisini de ele almak için kontrol amaçlı

⁵⁸ Yukarıda verilen sırayla dağılım ikilileri için en uygun eşik değerleri, 2,75; 2,75; 2,78 ve 3,89 olarak bulunmuştur.

olarak seçilmiştir. Hem türetilen yeni serilerin genel moment değerleri hem de bir sonraki bölümde değinilecek model uyumu bakımından Lognormal-Üstel dağılım ikilisinden yukarıda verilen görsel analizi teyit eder sonuçlar elde edilmiştir. Tahmin edilen parametreler ve diğer bulgular Tablo 13'te görülmektedir.

Tablo 13. Geliştirilmiş MSW Modelinin Parametreleri

<i>Geri Dönüş Hızları</i>		<i>Yayınım Süreci Dağılım Parametreleri</i>	
α_X	α_Y	Ortalama (μ) 0.0002	Std. Sapma (σ) 0.0667
0.2176	0.4448	Çarpıklık -0.0091	Basıklık 3.1792
<i>Sıçrama Dağılım Parametreleri</i>			
μ^+	-1.3515	μ^-	0.3316
σ^+	0.3726	λ^-	0.0406
λ^+	0.0274		
Sıçrama Sayısı :	149	Eşik Değeri :	2.75
(+) Sıçrama Sayısı :	60	(+) Sıçrama Dağ. :	Lognormal Dağılım
(-) Sıçrama Sayısı :	89	(-) Sıçrama Dağ. :	Üstel Dağılım

Beklenildiği üzere eşik artırımından dolayı sıçrama sayıları azalmaktadır. Ancak bu azalış, daha yüksek eşikli alternatiflere göre sınırlı kalmaktadır. Yine bu olguyla bağlantılı olarak geri dönüş hızları da artmaktadır. Sıçrama yoğunluğu, GR ve BKM gibi ileri modellerin uygulamalarına yakın olarak tahmin edilmiştir. Model ile Geman ve Roncoroni (2006) tarafından düşük ve orta baskılı piyasalar (COB ve PJM) için tahmin edilen Brownian (yayınım sürecine ait) volatilité değerleri arasında kalan bir volatilité değeri tahmin edilmiştir. Bu yazarlar, kalibrasyon sonrası kalan Brown bileşeninin normalliğine dair herhangi bir açıklama yapmamaktadır. Tablodan görüldüğü üzere revize modelin yayınım süreci, normal dağılım özelliğini korumaktadır. Bu sonuç, ekonometrik analizin sonucunda ulaşılması hedeflenen kalıntı kriterine (özdeş ve bağımsız dağılımlı) de uyumlu olması açısından ayrıca anlamlıdır. Üstel-Lognormal dağılım ikilisi alternatifinde olduğu gibi, yüksek eşik değerleri seçildiğinde elde edilen yayınım sürecinin normallikten uzaklaştığı da ayrıca tespit edilmiştir.

3.3.3.3. Model Uyumunun Test Edilmesi

Fiyat dağılımının, opsiyon fiyatlama pratiği açısından fiyat tahminlerinden çok daha önemli bir ölçü olmasından hareketle Mayer vd. (2015), kalibre edilen modelin performansını, dağılımı analiz ederek test etmişlerdir. Model testlerinde sıklıkla öne çıkan

hata terimlerine dayalı Kök Ortalama Karesel Hata (Root Mean Squared Error - RMSE) ölçüsü, sıçramaların tahmin edilen sıçrama günlerinden farklı günlerde gerçekleşmiş olmasından dolayı ciddi sapmalara neden olmaktadır. Bu nedenle yazarlar, dağılım esaslı bir test olan Ansari-Bradley (1960) testini tercih etmiş ve uygulamışlardır (Mayer vd., 2015:306). Yazarların da belirttiği üzere, bu testin elektrik fiyat serilerinde uygulanmasının önündeki önemli bir engel, serilerin diğer finansal serilere göre kısa olmasıdır.

Sıçramaların zaman boyutunda kesin ya da kesine yakın tahmininin güçlüğü, zaman-homojen varsayımlarına neden olmaktadır. Tahminle ilgili kısıttan kaynaklanan bu varsayım, Mayer vd.'nin (2015) yukarıda belirtilen tercihinde görüldüğü gibi dağılıma dayalı yöntem ve testlerin literatürde ağırlık kazanmasına neden olmuştur. Janczura ve Weron (2010, 2014), dördlük dilim (“quartile”) ve onluk dilimlerin (“decile”) en alt ve en üstleri dikkate alınarak hesaplanan farka dayalı Çeyrekler Arası Açıklık (Inter-Quartile-Range; IQR) ve Ondabirlikler Arası Açıklık (Inter-Decile-Range; IDR) ölçülerini dikkate almıştır. Bunun yanı sıra yazarlar, model performansının değerlendirilmesi kapsamında ampirik dağılımla teorik dağılımın uyumunu ele alan Kolmogorov-Smirnov Testi’ni, MRS modellerinin uyumu bağlamında farklılaştırdıkları versiyonları ile kullanmışlardır (Janczura ve Weron, 2014:145).

Yüzdeler dilim cinsinden ifade edilirse IQR, dağılımın 75. yüzdeler dilimi (persantil) ile 25. yüzdeler dilimi (persantil) arasındaki farktır. Benzer şekilde IDR, 90. persantil değeri ile 10. persantil değeri arasındaki farkı ifade etmektedir. Janczura ve Weron (2010), simülasyonla türetilmiş seriler ile gerçek veri setinin yüzde cinsinden IQR ve IDR farklarını, uyum iyiliği istatistikleri arasında sıralamışlardır. Simülasyonla türetilmiş serilerde her iki istatistik, ortalama alınarak hesaplanmaktadır. Pozitif IQR (IDR) farkı, tahmin edilen modelin belirttiği IQR (IDR) değerinin mevsimsellikten arındırılmış serinin IQR (IDR) değerinden, hesaplanan fark nispetinde yüksek olduğunu göstermektedir (Janczura ve Weron, 2010:1066).

Model uyumu kapsamında serinin ampirik momentleri ile geliştirilmiş modelden simülasyonla türetilen patikaların ortalama momentleri, Geman ve Roncoroni (2006) ve Klüppelberg vd. (2010) tarafından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Momentlerin karşılaştırılması, gerçek ve ampirik dağılımın uyumu açısından da anlamlıdır. Mevsimsellik giderildikten sonra elde edilen stokastik bileşen Z_t ile modelin simülasyonu

sonucu elde edilen patikaların momentleri, IQR ve IDR istatistikleri (patikalar için ortalama) ile yüzde cinsinden farkları Tablo 14’te sunulmuştur.

Tablo 14. Stokastik Bileşen Serisi ile Geliştirilmiş Modelden Simülasyonla Elde Edilen Serilerin Karşılaştırmalı Momentleri, IQR ve IDR İstatistikleri

	Basıklık	Çarpıklık	Varyans	Ortalama	IQR	IDR
Ampirik Değerler	18.5147	-0.9365	0.0272	-0.0120	0.1575	0.3179
Simülasyon Değerleri	18.5189	-2.0353	0.0278	-0.0146	0.1651	0.3288
Fark (%)	0.02	(117.34)	1.93	(22.20)	4.81	3.46

Negatif değerler için (.) gösterimi tercih edilmiştir.

Geliştirilmiş MSW modeli, çarpıklık değeri haricinde Türkiye serisi için mevsim etkileri giderildikten sonra kalan serinin ampirik momentlerini yakalamada başarılıdır. Gerek GR gerekse BKM modelleri uygulamalarında da simülasyonlardan türetilen serilerin, üçüncü moment olan basıklığı yakalamakta zorlandıkları görülebilir. Yine bu uygulamaların sonuçlarına kıyasla diğer momentlerde elde edilen daha iyi derecede yakınsama, modelin gerçek serinin istatistiksel özelliklerini yinelemeye etkin olduğunu göstermektedir.

IQR ve IDR farkları, simülasyonlarla türetilmiş patikalarda ortalama daha fazla olmak üzere Janczura ve Weron (2010) çalışması ile kıyaslandığında kabul edilebilir düzeydedir. Sözü edilen ve alternatif MRS modellerini kıyaslayan çalışmada fiyatın düzeyde alınması durumunda fark değerleri -%6 - %13 aralığında değişirken logaritmik fiyat üzerinden tahmin edilen modeller için bu farklar %0 - %30 aralığındadır. Yazarlar, modellerin logaritmik fiyatlarda fiyat sürecinin kuantillerini yakalamada zayıf kaldığını belirtmektedir. Geliştirilmiş MSW Modeli, logaritmik fiyat sürecinde kuantilleri IQR ve IDR ölçülerine göre iyi yansıtabilmektedir.

3.3.3.4. Parametre İstikrarlılığının Test Edilmesi

Çalışmada ileri modeller vurgusuyla ağırlıklı olarak yer alan GR ve BEK Modelleri uygulamalarında modelin tahmin kalitesinin test edilmesi kapsamında parametrelerin istikrarlılığını sınamak üzere simülasyonla türetilen örnek seriler (patika) üzerinden model tekrar tahmin edilmektedir. Klüppelberg vd. (2010) bu amaçla 100 patika üretirken Geman ve Roncoroni (2006), 300 patika ile model kararlılığını test etmişlerdir.

Geman ve Roncoroni (2006), parametre istikrarlılığı yanında bir önceki bölümde ele alınan moment uyumunu da tahmin edilen süreçlerin kalitesinin değerlendirilmesi kapsamında yararlanılan kriterler arasında sıralamıştır. Moment ve kuantillerin uyumu, modelin gerçek veriye yakın patikalar türetebilme gücünü gösterirken parametre istikrarlılığı da modelin yeniden hesaplamalardaki sağlamlığı ile ilişkilidir.

Geliştirilmiş modelin parametre istikrarlılığını, diğer bir ifadeyle model sağlamlığını test etmek amacıyla yukarıda açıklanan simülasyon yöntemi ile türetilmiş olan 10000 seriden, birbirinin aynı olmamak kaydıyla, rassal olarak 500 tanesi alınarak model, tekrar kalibre edilmiştir. Elde edilen parametrelerin model tarafından hesaplanana uyumluluğu, Tablo 15’te sunulan Klüppelberg vd.’nin (2010) kullandığı istatistikler dikkate alınarak analiz edilmiştir.

Tablo 15. Geliştirilmiş MSW Modeli Parametre Kararlılığı İstatistikleri

<i>Parametre Kararlılığı İstatistikleri</i>					
	$\widehat{\alpha}_X$	$\widehat{\alpha}_Y$	$\widehat{\mu}^+$	$\widehat{\sigma}^+$	$\widehat{\mu}^-$
<i>Model Değerleri</i>	0.2176	0.4448	-1.3515	0.3726	0.3316
<i>Ortalama</i>	0.2204	0.3965	-1.2540	0.3290	0.4745
	(0.0157)	(0.0804)	(0.0482)	(0.0307)	(0.0443)
<i>MSE</i>	0.0003	0.0088	0.0118	0.0028	0.0224
	(0.0004)	(0.0079)	(0.0098)	(0.0028)	(0.0134)
<i>MRB</i>	0.0126	-0.1085	-0.0721	-0.1170	0.4309
MSE : Karesel ortalama hata MRB: Ortalama göreceli sapma			<i>Parantez içi değerler, ortalama ve MSE için hesaplanan standart sapmaları göstermektedir.</i>		

Serilerden tahmin edilen model parametrelerinin, negatif sıçramaların üstel dağılım parametresi dışında, gerçek seriden tahmin edilenlere yakın olduğu tablodan görülmektedir. Genel anlamda parametre değerlerinin standart sapması düşük düzeydedir. Bu bulgu, tahmin edilen parametre değerlerinin ortalamalara yakınsamasının iyi düzeyde olduğunu göstermektedir. Simülasyon sonucunda üretilen serilerden tahmin edilen parametrelerin, gerçek seri kaynaklı parametreden farkları alındıktan sonra yine gerçek seri parametresi alınarak normalleştirilmesi sonucu hesaplanan Ortalama Göreceli Sapmalardan (Mean Relative Bias - MRB) ilk geri dönüş parametresi için olanı, pozitif yönde olmak üzere oldukça düşük düzeydedir. Parametrenin, çoğunlukla sıçrama dönüşü ile ilgili olana kıyasla kalibrasyonda daha önce yakınsaması, bu bulgu ile yakından

ilişkilidir. Sıçrama dönüş hızı ve pozitif sıçrama dağılımının ortalama ve standart sapma parametrelerinin ortalama göreceli sapmaları da daha yüksek olmakla birlikte literatürdeki çalışmalara kıyasla kabul edilebilir düzeydedir. Her üçünün de negatif olması, modelin bu parametreleri gerçek değerlerinden aşağı yönlü tahmin ettiğini göstermektedir. %7-10 seviyelerinde görülen negatif sapmanın yanında, negatif sıçramaların dağılım parametresi %43 daha yüksek tahmin edilmektedir. Sıçrama dağılım ve sıçrama geri dönüş hızı parametrelerindeki \pm yönde MRB istatistikleri birlikte değerlendirildiğinde, pozitif ve negatif sıçramalar arasında geçişme olabileceği akla gelmektedir. Klüppelberg vd.'nin (2010) BEK Modeli uygulaması sonucunda da yüksek göreceli sapmalar elde edilmiş olsa da özellikle üstel sıçramalarla ilgili model iyileştirmeleri göz ardı edilmemelidir.

3.3.4. MSW'nin Diğer Fiyat Modelleri ile Birlikte Değerlendirilmesi

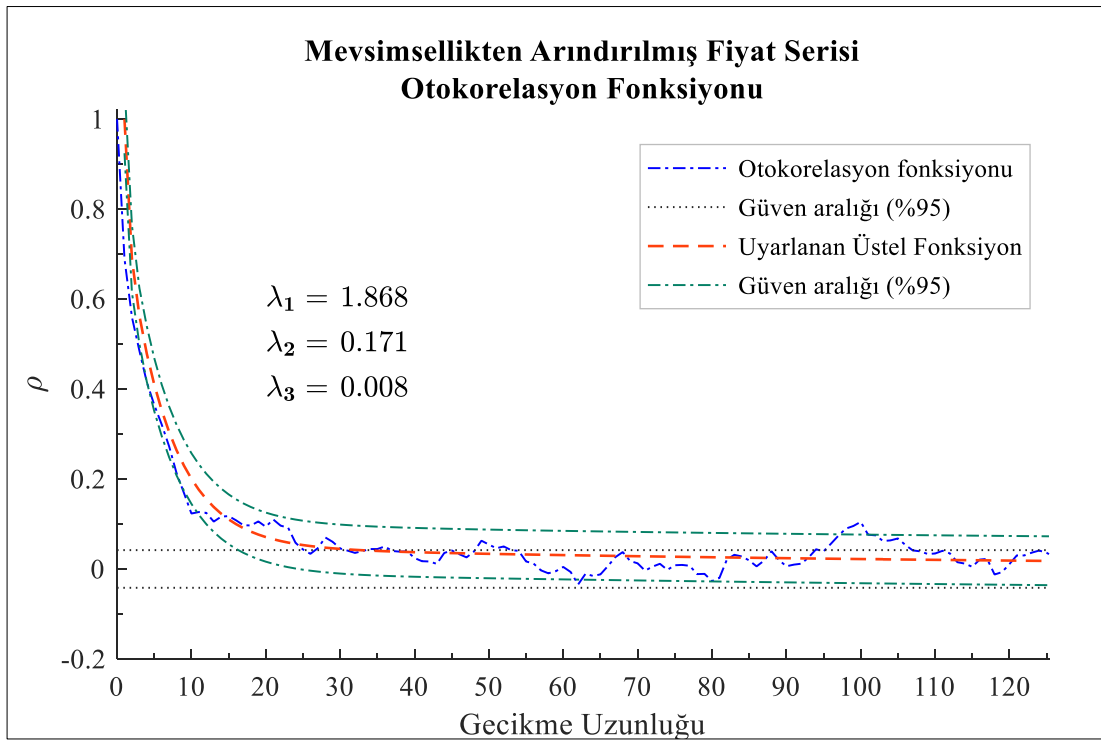
Çalışma kapsamında diğer modellerin yaklaşımları dikkate alınarak revize edilerek geliştirilen MSW Modelinde daha istikrarlı parametrelere ulaşmak üzere iyileştirmeler yapmak mümkündür. Bu bağlamda uygulamada dikkat çeken altta özetlenen hususlar, bu yönde adım atılmasına olanak sağlayacaktır.

Üstel dağılımın daha gerçekçi sıçrama büyüklükleri türetebilmesi için Geman ve Roncoroni'yi (2006) takiben bu ve bu sınıftan dağılımların kesikli versiyonları ele alınabilir. Özellikle üstten kesik dağılımların iyileştirme sağlaması beklenebilir, çünkü üstel dağılım sıçrama büyüklüklerini, sapma yukarı yönlü olacak şekilde türetmektedir. Bunun yanı sıra uygulamamızda Genelleştirilmiş Pareto Dağılımının üçüncü parametresi (lokasyon-merkez), sıfır kabul edilmiştir. Simülasyon işlemi sırasında, nadir olmakla birlikte, bu dağılımın maksimum olabilirlik tahminlerinde parametrelerin güvenilir olmadığına dair aldığımız uyarılar, üçüncü parametrenin değiştirilmesi, hatta farklı bir dağılım alternatifinin araştırılması gerektiğini göstermektedir.

Diğer taraftan, olasılık matrisinde fiyat daha hassas dilimlendirilebilir, ancak çalışma kapsamında yapılan denemeler bu uygulamanın getireceği iyileştirmenin kısıtlı olacağını salık vermektedir. GR Modeli ve MRS modellerinin uygulanabilirliklerine yönelik çalışmada da çift fiyat değişim eşliğinin kurgulanmasının güç olduğu gözlenmiştir. Bu bağlamda, serinin Markov özelliği, birden çok gecikmeli değerler de dikkate alınarak analiz edilebilir.

Kalibrasyon sonucu elde edilen Y_t serisi, Hayfavi ve Talaşı'nın (2014) çalışmasına benzer şekilde tam sıçramaları ve daha yavaş ortalamaya dönen sıçrama bileşenlerini içermektedir. Bu seri üzerinden yürütülecek analiz, farklı karakterdeki sıçramaların özelliklerine dair ilave bilgi sağlayacaktır.

Çalışmada ileri modeller arasında olduğu çokça vurgulanan BKM Modelinin çoklu otokorelasyona dönük uygulaması, gelecekte yapılacak çalışmalara ışık tutmaktadır. Türkiye spot elektrik fiyat serisinde de literatüre uygun olarak mevsim etkisi giderilmiş haliyle, çoklu otokorelasyon yapısı geçerlidir. Bu olgu, Şekil 45'te verilen stokastik bileşen serisinin (Z_t) otokorelasyon fonksiyonunun grafiği ile teyit edilmektedir.



Şekil 45. Stokastik Bileşenin Otokorelasyon Fonksiyonu

Fonksiyona Denklem (2.15) yardımıyla uyarlanan 3 terimli üstel fonksiyon, 2 terimli alternatifine göre daha iyi uyuma sahiptir. Denklemle dayanarak tahmin edilen geri dönüş parametreleri, farklı hızlarda ortalamaya dönen 3 bileşen (faktör) nedeniyle 3OU model alternatifini akla getirmektedir. Uyarlanan fonksiyon, OU denkleminin sonsuz zamandaki çözümünün ayrıklaştırılmış hali ile birlikte değerlendirilirse üç OU sürecinin dönüş hızları tahmin edilebilir. Bu tahminle ilgili olarak, ele alınan serinin referans model

uygulamalarında dikkate alınanların aksine aşağı yönlü sıçramalar içerdiği de göz önünde bulundurulmalıdır. Türkiye elektrik serilerinde Avrupa'dakilere benzer şekilde gözlenen bu sıçramaların çoklu otokorelasyon üzerindeki etkisi de ayrıca araştırmaya değer konular arasındadır.

Çalışma, literatürde yer bulan türev ürün fiyatlamaya yönelik modelleri incelemiştir. Bu modellerin kurgusu gereği fiyatlara günlük bazda ve genel bir bakış hakimdir. Piyasa katılımcıları için kısa vadeli tahminlerin daha yararlı olduğu açıktır. Saatlik fiyatlarla yapılacak analiz hem bu amaca yaklaşmaya hem de çalışmada ele alınan modellerin arka planına ışık tutarak geliştirilmesine yardımcı olacaktır. Ayrıca, veri zenginliği ölçüsünde literatürde yer bulan oyun teorisinin yaklaşımlarına dayalı çalışmaların önerdiği uygulamalar da piyasamızın modellenmesine katkı sağlayacaktır. Bununla bağlantılı olarak hem mevzuat hem de üretim/tüketim dinamiklerinin kurguya dahil edildiği yapısal modeller de piyasayı daha iyi kavramanın ve politika belirlemenin ufuklarını açacaktır.

SONUÇ

İlk bölümünde ülkemiz elektrik piyasalarının liberalleşme sürecindeki gelişiminin ele alındığı bu çalışmada, ülkemizde fiziksel elektrik ticaretinin 1 Aralık 2011'den beri ağırlıklı olarak gerçekleştiği Gün Öncesi Piyasası'nın (GÖP) modellenmesi amaçlanmıştır. GÖP, vadeli piyasalardaki sözleşmelerin hem yapılmasında hem de vadelerinde uzlaştırılmasında referans fiyat niteliğini haiz Piyasa Takas Fiyatının (PTF) olduğu, spot piyasalar içerisinde en büyük hacme sahip piyasadır. Bu piyasanın gerçeğe yakın, tutarlı ve verimli bir şekilde modellenmesi, forward boyutuna tekabül eden ikili anlaşmaların ve borsalarda işlem gören futures sözleşmelerin doğru fiyatlanabilmesine imkân tanıyacaktır. Elektrik piyasası katılımcılarının risk yönetimi bağlamında başvurduğu bu temel enstrümanların doğru bir şekilde fiyatlanması ise fiyat riskinin etkin yönetilmesini sağlayacak, piyasaların sürekliliğine ve hassas olan ürünün tüketiciye kesintisiz teminine katkıda bulunacaktır.

Spot fiyat esaslı modellemenin gerekçesi, henüz futures ve forward sözleşmelerinin yaygınlaşmamış olmasıdır. Tezgahestü piyasada gerçekleşen forward işlemlere ilişkin veri temini zorluğu da vadeli piyasanın doğrudan ya da spotla birlikte hibrit modellenmesinin önünde şimdilik bir engeldir. Piyasa kaynaklı bu kısıtlar olmaksızın vadeli sözleşmelere ilişkin yapılan çalışmaların büyük kısmı da spot fiyat merkezlidir. Spot fiyatı etkin modellemenin vadeli piyasaların gelişimine ve risk yönetimine önemli katkıları olacaktır. Bu bağlamda uygulamanın ele alındığı son bölümde ana akım modeller ile uyumlu şekilde spot fiyat olarak tanımlanan günlük PTF verisi kullanılmıştır.

Çalışma sonucunda elektrik fiyatlarının hassas yapısını dikkate alan ana akım modellerden Geman-Roncoroni (GR) Modelinin Türkiye spot elektrik piyasası için uygun olmadığı tespit edilmiştir. Çalışmanın kapsadığı dönem itibariyle gözlenen bazı sıçramalar, fiyatların çoğu zaman tabi olduğu baz (normal) rejimden aşağı yönlüdür. Bu bileşeni dikkate almamak, yanlış spot modelinin kurgulanmasına, dolayısıyla vadeli işlemlerde hatalı fiyatlamaya ve benzer şekilde GÖP'te teklif hatalarına neden olabilecektir. Sözü edilen olası hataların önüne geçebilmek amacıyla piyasanın bir olgusu haline gelen aşağı yönlü sıçramaları dikkate alan Mayer-Schmid-Weber (MSW) Modeli, uygulamaya dönük önemli bir alternatif olarak değerlendirilmiştir.

MSW Modelinin tahmin edilen parametreleri, normal fiyat hareketlerinin ve sıçramaların farklı ortalamaya dönüş hızlarına sahip olduğunu göstermektedir. İki faktörlü olan bu modelin sıçramalar için daha fazla olmak üzere farklı dönüş hızları içermesi piyasa gerçekleri ile daha uyumludur. Fiyatın aniden yükseldiği ve sonrasında çoğu zaman yüksek olmak üzere değişen hızlarda geri geldiği dönemlerde volatilité artmaktadır. Sıçramaların ortalamaya dönme hızı ve herhangi bir sıçrama sonrası fiyatı baz rejime döndüren tersine yönlü sıçramanın büyüklüğü, bu açıdan ayrıca önem kazanmaktadır. Volatilitenin, dolayısıyla riskin daha doğru ölçülmesine olanak tanıyan model parametreleri bu açıdan ayrıca anlamlıdır.

Model sonucu tahmin edilen parametreler, mevsimsellik etkilerinden arındırılmış logaritmik spot fiyatın ortalamaya geri dönme hızına ve sıçramaların işaretleri bazında yoğunluğuna ve büyüklüklerine dair piyasaya dönük bilgiler sunmaktadır. Çalışma kapsamında MSW Modeline yönelik geliştirmeler sonrası elde edilen baz rejim geri dönüş parametresi, ortalamadan sapmaların %21,76'sının izleyen dönemde tersine döneceğini, sapmaların yarı ömrünün yaklaşık 2,8 gün olduğunu göstermektedir. Kalibrasyon sonucu elde edilen kalıntı serisinin tahmin edilen ortalama ve standart sapma parametreleri ile normal dağılım göstermesi, elde edilen parametrelerin öngörülerde ve türev ürünlerin fiyatlamasında kullanılması açısından ayrıca anlamlıdır.

Pozitif ve negatif yönde sıçrama yoğunlukları günlük bazda 0,027 ve 0,040 olarak tahmin edilmiştir. Sıçramaların gerçekleşme olasılığını da veren bu parametreler, yatırımcılar ve üretim firmalarının karar alma süreçlerinde dikkate alınabilir. Birinci parametre, yılda yaklaşık 10 pozitif sıçramaya, ikincisi ise 14-15 sıçramaya denk düşmektedir. Yığın fonksiyon grafiğinin sağında yer alan, marjinal üretim maliyeti yüksek birimlere yatırım yapmayı planlayan müteşebbis için yıl bazında olası üretim süresi, sıçrama sıklığı ile doğrudan ilişkilidir. Aynı şekilde sıçramaların beklenen büyüklüğü ve değişkenliği bütçeleme kararları için önemli girdi sağlayabilecektir. Mevcut yatırımcı açısından düşünüldüğünde ise tesisle ilgili ileriye yönelik modernizasyon, işletmeyi devam ettirme ya da elden çıkarma kararları bu parametreler ile desteklenebilir. Modelin bir çıktısı olarak ayrıştırılan süreçlerin ayrıntılı olarak ele alınması, kararların isabet derecesinin artmasına katkı sağlayacaktır.

Pik yük üreticileri için anlamlı olduğu ifade edilen sıçrama büyüklüklerinin, serinin ayırt edici istatistiksel özellikleri ile de ilişkili olduğu tespit edilmiştir. MSW

Modeli, orijinal kurgusu ile, Türkiye spot elektrik fiyat serisinden mevsimsel etkilerin giderilmesi sonrası elde edilen stokastik serinin ampirik momentlerini tekrarlamakta yetersiz kalmaktadır. Sıçrama büyüklükleri için literatürde öne çıkan dağılım alternatifleri dikkate alınarak varyans ve basıklık merkezli bir yaklaşımla seri özelliklerinin tahmin edilen modele dayalı olarak türetilebileceği görülmüştür. Bu noktada sıçrama ile ilgili eşiğin seçiminin seri özellikleri ile yakından ilişkili olduğu da saptanmıştır.

Stokastik seriye yönelik modelleme, yukarıda ele alındığı gibi elektrik fiyat serilerinde gözlenen ortalamaya dönme ve sıçrama unsurlarını gerçeğe yakın biçimde tasvir etme ve anlamlandırmaya yöneliktir. Elektrik fiyat serilerinin bu baskın öğeleri dışında, mevsimsel özelliklerine yönelik model uygulaması, hem sözleşmelerin vazgeçilmez unsuru olan fiyata hem de piyasa gelişmelerine ilişkin önemli bilgiler sağlamıştır. Zaman boyutunu ifade eden ve modelin deterministik olarak nitelenmesine neden olan trend bileşeni, sinüzoidal fonksiyonlar yardımıyla talebin, dolayısıyla fiyatın, farklı iklim şartlarından etkilenen mevsim bazlı örüntüsünün matematiksel olarak ifade edilmesine imkân tanımaktadır. Uygulama ile tahmin edilen parametrelerin belirlediği matematiksel ifade, yıl boyunca farklı ölçeklerde gözlenen mevsim etkilerinin fiyatlama süreçlerine dahil edilmesine yardımcı olacaktır.

Mevsimsellik, daha mikro ölçeğe inildiğinde haftalık bazda dikkate alınmaktadır. Çalışma, hafta ölçeğinde mevsimselliğin modellenmesinde sinüzoidal fonksiyonların yetersiz kaldığını göstermektedir. Ekonomik faaliyetin azaldığı pazar ve resmî tatil günleri ile, yoğunlaştığı hafta içi günleri arasındaki fiyat farkının büyük olması, bu yetersizliğin ana nedenidir. Piyasa katılımcılarının gün tipleri bazında oluşan bu farklılığı fiyatlamalarında dikkate almalarının sonuç hesaplarına olumlu yansımaları olacaktır. Bu bağlamda kukla değişkenlerin kullanıldığı model alternatifi, hafta boyu izlenen farklılaşmanın dört grup halinde analiz edilebileceğini ortaya koymaktadır. Talep ile fiyat arasındaki ilişki dikkate alındığında GÖP'e sunulan tekliflerin oluşturulmasında da farklılaşan gün gruplarından yararlanılabilir.

Daha çok iklimle ilgili değişkenlerden kaynaklanan mevsim etkileri, bir trende tabi olsa da yıllar itibariyle değişiklik gösterebilir. Nazarova (2014)'nin Avrupa Enerji Borsasında (European Energy Exchange – EEX) oluşan Almanya spot fiyat verisine uyarladığı mevsim fonksiyonunun görsel analizi neticesinde ortaya attığı bu önermenin, Türkiye piyasası için geçerli olduğu belirlenmiştir. Mevsimsellikteki kırılmanın dikkate

alınması, yukarıda sözü edilen fiyatlamaların daha doğru bir şekilde yapılmasını sağlayacaktır. Dolayısıyla kırılmayı dikkate alarak tahmin edilen ve açıklama gücünü %40 artıran model daha anlamlıdır. Kırılma, sadece iklim değişiklikleri ile ilgili olmayıp piyasada baskı oluşturan başkaca etkenlerden kaynaklanabilir.

Çalışma kapsamında tek kırılmayı dikkate alan farklı mevsim modellerinde istikrarlı şekilde 2015 yılı kırılma yılı olarak tespit edilmiştir. 2015 yılı, Şekil 12’den de görüleceği gibi bir önceki yıl ile kıyaslandığında hidrolik kaynaklı üretimin ciddi ölçüde arttığı yıldır. EPDK, genel bir piyasa gerçeğini yansıtmak üzere, piyasa gelişim raporlarında bahar aylarında gerçekleşen yağışlar ile birlikte hidrolik üretimlerde artış görüldüğü ve fiyatların bu aylarda düşük seyrettiği bilgisine yer vermektedir. Hidrolik üretimlerin artmasına neden olan yağışlardaki artış, kırılmanın iklim değişikliği boyutu ile ilgilidir. Hidrolik kaynaklar, düşük marjinal maliyetleri ile öncelik sırasını esas alan üretim yığın fonksiyonu grafiğinin solunda yer almaktadır, dolayısıyla üretim artışının fiyatı azaltıcı etkisi söz konusu olmaktadır.

Ne var ki, hidrolik üretimdeki artış, 2015 yılında gözlenen kırılmayı tek başına açıklamaktan uzaktır. Şekil 12’ye esas TEİAŞ verilerine göre 2013 yılında kaynakların elektrik üretimindeki payları hemen hemen 2012 yılına yakın olarak gerçekleşmiştir. Kırılma yılı olan 2015 yılı öncesi ve sonrası ile ilgili dikkat çeken en önemli farklılık, doğalgaz kaynaklı üretimdeki azalmadır. Yüksek marjinal maliyetleri nedeniyle talebin belli bir düzeye ulaşmasından sonra devreye giren bu birimlerin toplam üretimdeki payı, 2015 ve sonrasında %10-15 düzeyinde gerilemiştir. Bu gerileme neticesinde 2015 ve 2016 yıllarında spot fiyatlar, Şekil 31’de ele alındığı gibi önemli ölçüde azalmıştır. Üretim karmasında görülen bu değişimin yanı sıra, 2015 yılında gözlenen kırılmanın arkasında yatan diğer önemli etken ise çalışmanın birinci bölümünde değinilen ve diğer piyasalarda da yoğun şekilde tartışılan yenilenebilir üretimin piyasaya entegrasyonudur. Entegrasyon, sadece düşük maliyetli birimlerin üretime dahil olması neticesinde yığın fonksiyonunda değişime neden olmakla kalmayıp, yenilenebilir enerjiye dönük politikalarla da piyasada baskı oluşmasını beraberinde getirmektedir.

Nitekim Grossi vd. (2018), Almanya’daki enerji reformlarını konu edindikleri çalışmalarında yenilenebilir enerjinin öncelik sırasında neden olduğu değişimin, sıfır marjinal maliyetli yenilenebilir üretim nedeniyle talebin karşılanmasında konvansiyonel kaynaklara kalan payın azalmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Sıfır marjinal

maliyet, yenilenebilir kaynaklara yönelik avantajlı fiyattan alım garantisinin piyasa önemli bir yansımasıdır. Kaynak için belirlenen tarife, üreticinin fiyat teklifini önemli ölçüde işlevsiz bırakmaktadır. Yatırımların döviz cinsinden gerçekleşmesine bağlı olarak Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Destekleme Mekanizması (YEKDEM) tarifelerinin USD cinsinden belirlenmesi, entegrasyonun piyasaya etkilerinin daha da büyümesine neden olmaktadır. 2015 yılından itibaren Şekil 21’de ele alınan yönelim, üreticilerin USD kuruna yönelik artış beklentisini de yansıtmaktadır. Bu noktada üretici olan piyasa katılımcılarının rasyonel beklentilerinin piyasa dinamiklerini değiştirdiğinden söz edilebilir. Yenilenebilir enerji üretimin hızla artış gösterdiği Almanya’da da uygulanan benzer destekleme mekanizmasının yerel para birimi cinsinden olması, bu açıdan dikkate alınmalıdır.

2015 yılındaki kırılma ile belirgin olarak kendini gösteren yenilenebilir üretimin piyasaya entegrasyonu, fiyat sinyali üzerindeki bozucu etkisinden dolayısıyla GÖP başta olmak üzere spot piyasaları tehdit eder niteliktedir. Taleple bağı kopmasına neden olan bu olgu karşısında, ilgili Alman mevzuatında garanti edilmiş fiyatın kanun koyucu tarafından belirlenmesi yerine daha rekabetçi biçimde ihale yoluyla oluşması hüküm altına alınmıştır (EEX AG, 2017:82). Piyasamızda yenilenebilir kaynakların payının büyüme trendi dikkate alınarak, benzer tedbirler ile piyasa mekanizması güçlendirilmelidir. Zira, 2015 sonrası gelişmeler, hızlı devreye girme yetileri sayesinde pik talebi karşılama özelliği ile diğerlerinden ayrılan konvansiyonel üreticiler aleyhine gerçekleşmiştir. Konunun talep tarafına bakan yönü ise tedarikçilerin, nihayetinde tüketicilerin YEKDEM kaynaklı maliyete katlanıyor olmasıdır. Tedarikçilerin mekanizma nedeniyle karşıladığı bedele yönelik öngörü güçlüğü, talebin piyasaya katılımında önemli bir engel olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yeni gelişmelere açık olan elektrik piyasasında, EPK’da belirtilen en önemli amaçlardan biri olan mali açıdan güçlü, istikrarlı ve şeffaf piyasanın gerçekleşmesi piyasaya yönelik suni baskıların mümkün olduğunca azaltılması ile gerçekleşebilecektir. Piyasanın istikrara kavuşması ve bu yönde güç kazanması, piyasa katılımcılarına doğru fiyat sinyalleri göndermesine bağlıdır. Doğru sinyaller, spot ve beraberinde vadeli piyasalara güvenin artmasına, piyasaların gelişmesine ve reformlardan beklenen toplumsal faydanın gerçekleşmesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Kitap, Tez ve Makaleler

- Aïd, R. (2015). *Electricity Derivatives*, Springer Science+Business Media.
- Aït-Sahalia, Y. and Jacod, J. (2009). “Testing for Jumps in a Discretely Observed Process”, *The Annals of Statistics*, 37:1, 184-222.
- Akarsu, G. (2017). “Analysis of regional electricity demand for Turkey”, *Regional Studies, Regional Science*, 4:1, 32-41.
- Alexander, C. (2008). *Market Risk Analysis Vol. 2- Practical Financial Econometrics*, John Wiley & Sons Ltd, West Sussex.
- Alexander, C. (2008). *Market Risk Analysis Vol. 3- Pricing, Hedging and Trading Financial Instruments*, John Wiley & Sons Ltd., West Sussex.
- Alp, H. (2009). *Doğu Akdeniz Bölgesi Jeofizik Verilerine Dalgacık Analiz Yöntemi Uygulanarak Bölgenin Tektonik Yapısının Araştırılması*, (Basılmamış Doktora Tezi), İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Arısoy, İ. and Öztürk, İ. (2014). “Estimating industrial and residential electricity demand in Turkey”, *Energy*, 66, 959-964.
- Atiyas, I., Çetin, T. and Gülen, G. (2012). *Reforming Turkish Energy Markets- Political Economy, Regulation and Competition in the Search for Energy Policy*, Springer Science+Business Media, New York.
- Austing, P. (2014). *Smile Pricing Explained*, Palgrave Macmillan, Hampshire.
- Barlow, M.T. (2002). “A Diffusion Model for Electricity Prices”, *Mathematical Finance*, 12:4, 287-298.
- Barndorff-Nielsen, O.E. and Shephard, N. (2001). “Non-Gaussian Ornstein-Uhlenbeck-based models and some of their uses in Financial Economics”, *Journal of the Royal Statistical Society*, 63:2, 167-241.
- Barouti, M. and Hoang, D. (2011). “Electricity as a Commodity”, Essec Business School. <http://www.essectransac.com/wp-content/themes/arthemisia/images/2011/04/Electricity-as-a-Commodity-M.Barouti-and-D.Hoang.pdf> (11.12.2017).
- Baxter, M., Rennie, A. (2012). *Financial Calculus- An Introduction to Derivative Pricing*, Cambridge University Press, New York.
- Belyaev, L.S. (2011). *Electricity Market Reforms: Economics and Policy Challenges*, Springer Science+Business Media, New York.
- Benth, F.E. and Šaltyte-Benth, J. (2005). “Stochastic Modelling of Temperature Variations with a View Towards Weather Derivatives”, *Applied Mathematical Finance*, 12:1, 53-85.
- Benth, F.E., Kallsen, J. and Meyer-Brandis, T. (2007). “A Non-Gaussian Ornstein-Uhlenbeck Process for Electricity Spot Price Modeling and Derivatives Pricing”, *Applied Mathematical Finance*, 14:2, 153-169.

- Benth, F.E., Šaltyte Benth, J. and Koekebakker, S. (2008). *Stochastic Modeling of Electricity and Related Markets*, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore.
- Bessembinder, H., Coughenour, J.F., Seguin, P.J. et al. (1995). “Mean Reversion in Equilibrium Asset Prices: Evidence from the Futures Term Structure”, *The Journal of Finance*, 50:1, 361-375.
- Bhar, R., Colwell, D.B. and Xiao, Y. (2013). “A Jump Diffusion Model for Spot Electricity Prices and Market Price of Risk”, *Physica A*, 392, 3213–3222.
- Biggar, D.R., Hesamzadeh, M.R. (2014). *The Economics of Electricity Markets*, John Wiley & Sons Ltd., West Sussex.
- Bingham, N.H., Kiesel, R. (2004). *Risk-Neutral Valuation Pricing and Hedging of Financial Derivatives*, Springer-Verlag, London.
- Blume, S. W. (2017). *Electric Power System Basics for the Nonelectrical Professional*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- Borenstein, S. (2002). “The Trouble with Electricity Markets: Understanding California’s Restructuring Disaster”, *Journal of Economic Perspectives*, 16:1, 191-211.
- Borenstein, S. and Bushnell, J. (2015). “The U.S. Electricity Industry after 20 Years of Restructuring”, Energy Institute at Haas.
<https://ei.haas.berkeley.edu/research/papers/WP252.pdf> (18.01.2018).
- Borovkova, S. and Permana, F.J. (2006). “Modelling electricity prices by the potential jump-diffusion”. *Stochastic Finance*, Ed. Shiryaev, A.N., Grossinho, M.R., Oliveira, P.E. et al., Springer Science+Business Media, Inc., New York, 239-263.
- Brigo, D. and Mercurio, F. (2006). *Interest Rate Models- Theory and Practice*, Springer-Verlag, Berlin.
- Brooks, C. (2014). *Introductory Econometrics for Finance*, Cambridge University Press, New York.
- Bunn, D.W. (2004) “Structural and Behavioural Foundations of Competitive Electricity Prices”. *Modelling Prices in Competitive Electricity Markets*, Ed. Bunn, D.W., John Wiley & Sons Ltd., West Sussex, 1-17.
- Bunn, D.W. and Chen, D. (2013). “The Forward Premium in Electricity Futures”, *Journal of Empirical Finance*, 23, 173–186.
- Burger, M., Graeber, B. and Schindlmayr, G. (2014). *Managing Energy Risk: A Practical Guide for Risk Management in Power, Gas and other Energy Markets*, John Wiley & Sons Ltd., West Sussex.
- Caldana, R., Fusai, G. and Roncoroni, A. “How to Build Electricity Forward Curves”. *Handbook of Multi-Commodity Markets and Products Structuring, Trading and Risk Management*, Ed. Roncoroni, A., Fusai, G., Cummins, M., John Wiley & Sons Ltd., West Sussex, 673-685.
- Capasso, V. and Bakstein, D. (2012). *An Introduction to Continuous-Time Stochastic Processes*, Birkhaeuser, Boston.

- Cartea, A. and Figueroa, M.G. (2005). "Pricing in Electricity Markets: A Mean Reverting Jump Diffusion Model with Seasonality", *Applied Mathematical Finance*, 12:4, 313-335.
- Casazza, J. and Delea, F. (2010). *Understanding Electric Power Systems: An Overview of the Technology, the Marketplace, and Government Regulation*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- Chao, H., Oren, S., Wilson, R. (2008). "Reevaluation of Vertical Integration and Unbundling in Restructured Electricity Markets". *Competitive Electricity Markets Design, Implementation, Performance*, Ed. Sioshansi, F.P., Elsevier Ltd., Oxford, 27-64.
- Cheung, K.W., Rosenwald, G.W., Wang, X. et al. (2010). "Restructured Electric Power Systems and Electricity Markets". *Restructured Electric Power Systems: Analysis of Electricity Markets with Equilibrium Models*, Ed. Zhang, X., John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 53-97.
- Christensen, K., Oomen, R.C.A. and Podolskij, M. (2014). "Fact or friction? Jumps at ultra high frequency", *Journal of Financial Economics*, 114, 576–599.
- Chung, K.L. and Williams, R.J. (2014). *Introduction to Stochastic Integration*, Springer Science+Business Media, New York.
- Clewlow, L. and Strickland C. (2000). *Energy Derivatives Pricing and Risk Management*, Lacima Publications, London.
- Conejo, A.J., Contreras, J., Espínola, R. et al. (2005). "Forecasting Electricity Prices for a Day-ahead Pool-based Electric Energy Market", *International Journal of Forecasting*, 21, 435–462.
- Cont, R. and Tankov P. (2004). *Financial Modelling with Jump Processes*, CRC Press LLC, Florida.
- Cuaresma, J.C., Hlouskova, J., Kossmeier, S. et al., (2004). "Forecasting Electricity Spot-prices Using Linear Univariate Time-series Models", *Applied Energy*, 77, 87–106.
- Çapar, U. (2013). *Ölçü Kuramsal Olasılık ve Stokastik Kalkülüse Giriş*, ODTÜ Yayıncılık, Ankara.
- Çınlar, E. (2011). *Probability and Stochastics*, Springer Science+Business Media, New York.
- Çolak, Ö.H. (2006). *Dalgacık Dönüşümü Kullanılarak Sismik Sinyallerin Analizi*, (Basılmamış Doktora Tezi), Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- De Jong, C. (2006). "The Nature of Power Spikes: A Regime-Switch Approach", *Studies in Nonlinear Dynamics & Econometrics*, 10:3.
- Demirel, Y. (2016). *Energy: Production, Conversion, Storage, Conservation, and Coupling*, Springer International Publishing, Switzerland.

- Deng, S. (2000). “Stochastic Models of Energy Commodity Prices and Their Applications”, University of California Energy Institute.
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.16.1116&rep=rep1&type=pdf> (26.03.2018).
- Deryugina, T. et al. (2017). “The Long-Run Elasticity of Electricity Demand: Evidence from Municipal Electric Aggregation”
<https://www.econ.pitt.edu/sites/default/files/Deryugina.Electricity%20Aggregation.pdf> (21.12.2017).
- Diebold, F.X. (2006). *Elements of Forecasting*, Thomson South-Western, Mason.
- Diebold, F.X., Liu, L. and Yilmaz, K. (2017). “Commodity Connectedness”, NBER Working Paper Series.
<http://www.nber.org/papers/w23685.pdf> (02.12.2017).
- Dilaver, Z. and Hunt, L.C. (2011). “Industrial electricity demand for Turkey: A structural time series analysis”, *Energy Economics*, 33, 426-436.
- Dilaver, Z. and Hunt, L.C. (2011). “Turkish aggregate electricity demand: An outlook to 2020”, *Energy*, 36, 6686-6696.
- Edwards, D.W. (2010). *Energy Trading and Investing Trading, Risk Management and Structuring Deals in the Energy Markets*, McGraw-Hill.
- Ehrhardt, M.C., Brigham, E.F. (2011). *Financial Management Theory and Practice*, South-Western Cengage Learning, Mason.
- Eraker, B., Johannes, M., Polson, N. (2003). “The Impact of Jumps in Volatility and Returns”, *The Journal of Finance*, 57:3, 1269-1300.
- Erdoğan, E. (2005). *Energy market reforms in Turkey: An economic analysis*, (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), University of Surrey, School of Human Sciences, Surrey.
<https://mpra.ub.uni-muenchen.de/26929/> (12.01.2018).
- Erdoğan, E. (2007). “Electricity demand analysis using cointegration and ARIMA modelling: A case study of Turkey”, *Energy Policy*, 35, 1129–1146.
- Erlwein, C., Benth, F.E. and Mamon, R. (2010). “HMM Filtering and Parameter Estimation of an Electricity Spot Price Model”, *Energy Economics*, 32, 1034–1043.
- Evgülü, E. (2016). *Wavelet Analysis of Crude Oil Prices*, (Basılmamış Doktora Tezi), Bahçeşehir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Eydeland, A. and Geman, H. (1999). *Fundamentals of Electricity Derivatives*, Risk Books (ed.), Energy Modelling and the Management of Uncertainty, Risk Books.
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.460.9993&rep=rep1&type=pdf> (03.04.2018).
- Eydeland, A. and Wolyniec, K. (2003). *Energy and Power Risk Management New Developments in Modeling, Pricing, and Hedging*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.

- Fama, E.F. (1970). "Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work", *The Journal of Finance*, 25:2, 383-417.
- Fiorenzani, S. (2006). *Quantitative Methods for Electricity Trading and Risk Management Advanced Mathematical and Statistical Methods for Energy Finance*, Palgrave Macmillan, Hampshire.
- Francq, C. and Zakoian, J. (2010). *GARCH Models- Structure, Statistical Inference and Financial Applications*, John Wiley & Sons Ltd, West Sussex.
- Gallager, R.G. (2013). *Stochastic Processes: Theory for Application*, Cambridge University Press
- Geman, H. (2005). "Energy Commodity Prices: Is Mean-Reversion Dead?", *The Journal of Alternative Investments*, 8:2, 31-45.
- Geman, H. (2005). *Commodities and Commodity Derivatives: Modelling and Pricing for Agriculturals, Metals and Energy*, John Wiley & Sons Ltd., West Sussex.
- Geman, H. and Ohana, S. (2008). "Mean-Reversion and Structural Breaks in Crude Oil, Copper, and Shipping". *Risk Management in Commodity Markets from Shipping to Agriculturals and Energy*, Ed. Geman, H., John Wiley & Sons Ltd., West Sussex, 183-205.
- Geman, H. and Roncoroni, A. (2006). "Understanding the Fine Structure of Electricity Prices", *The Journal of Business*, 79:3, 1225-1261.
- Gonzalez, J., Moriarty, J. and Palczewski, J. (2017). "Bayesian calibration and number of jump components in electricity spot price models", *Energy Economics*, 65, 375–388.
- Gökmenoğlu, K.K. and Fazlollahi, N. (2015). "The Interactions among Gold, Oil, and Stock Market: Evidence from S&P500", *Procedia Economics and Finance*, 25, 478-488.
- Grossi, L., Heim, S., Hüschelrath, K. et al. (2018). "Electricity market integration and the impact of unilateral policy reforms", *Oxford Economic Papers*, 70:3, 799-820.
- Gusak, D., Kukush, A., Kulik, A. et al. (2010). *Theory of Stochastic Processes with Applications to Financial Mathematics and Risk Theory*, Springer Science+Business Media, New York.
- Guthrie, G. and Videbeck, S. (2007). "Electricity spot price dynamics: Beyond financial models", *Energy Policy*, 35, 5614–5621.
- Güvenek, B. (2009). *Enerji Piyasası Reformları ve Bu Reformların Elektrik Enerjisi Piyasası Üzerine Etkisi: Elektrik Enerjisi Üreten Kuruluşlar Üzerine Bir Uygulama*, (Basılmamış Doktora Tezi), Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya.
- Halıcıoğlu, F. (2007). "Residential electricity demand dynamics in Turkey", *Energy Economics*, 29, 199–210.
- Hanson, F.B. (2007). *Applied Stochastic Processes and Control for Jump-Diffusions*, Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia.

- Hanson, F.B. and Zhu, Z. (2004). “Comparison of Market Parameters for Jump-Diffusion Distributions Using Multinomial Maximum Likelihood Estimation”, *2004 43rd IEEE Conference on Decision and Control*, 4, 3919-3924.
- Harris, C. (2006). *Electricity Markets Pricing, Structures and Economics*, John Wiley & Sons Ltd., West Sussex.
- Hawken, P., Lovins, A.B. and Lovins, L.H. (2010). *Natural Capitalism: The Next Industrial Revolution*, Earthscan.
- Hayfavi A. and Talaşlı İ. (2014). “Stochastic multifactor modeling of spot electricity prices”, *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 259, 434–442.
- Heath, D., Jarrow, R., and Morton, A. (1992). “Bond Pricing and the Term Structure of Interest Rates: A New Methodology for Contingent Claims Valuation”, *Econometrica*, 60:1, 77-105.
- Hirsa, A. and Neftçi S.N. (2014). *An Introduction to the Mathematics of Financial Derivatives*, Academic Press.
- Huisman, R. and Mahieu, R. (2003). “Regime jumps in electricity prices”, *Energy Economics*, 25, 425–434.
- Hull, J.C. (2014). *Options, Futures, and Other Derivatives*, Pearson Education, Inc., New Jersey.
- Ito, K. (2014). “Do Consumers Respond to Marginal or Average Price? Evidence from Nonlinear Electricity Pricing”, *American Economic Review*, 104:2, 537–563.
- Janczura, J. and Weron, R. (2010). “An Empirical Comparison of Alternate Regime-switching Models”, *Energy Economics*, 32, 1059–1073.
- Janczura, J. and Weron, R. (2012). “Efficient estimation of Markov regime-switching models: An application to electricity spot prices”, *AStA Advances in Statistical Analysis*, 96:3, 385-407.
- Jorion, P. (1988). “On Jump Processes in the Foreign Exchange and Stock Markets”, *The Review of Financial Studies*, 4:1, 427-445.
- Joskow, P. (2008). “Lessons Learned from Electricity Market Liberalization”, *The Energy Journal*, 29: Special Issue, 9-42.
- Kahn, A.E., Cramton, P.C., Porter, R.H. et al. (2001). “Pricing in the California Power Exchange Electricity Market: Should California Switch from Uniform Pricing to Pay-as-Bid Pricing”, Blue Ribbon Panel Report, California Power Exchange. <https://works.bepress.com/cramton/52/> (19.02.2018).
- Kaldor N. (1939). “Speculation and Economic Stability”, *The Review of Economic Studies*, 7:1, 1-27.
- Kaminski, V. (2012). *Energy Markets*, Incisive Media, London.
- Karatzas, I. and Shreve, S.E. (1998). *Brownian Motion and Stochastic Calculus*, Springer Science+Business Media, New York.
- Karlin, S. and Taylor, H.M. (1975). *A First Course in Stochastic Processes*, Academic Press, New York.

- Kavulla, T. (2017). “There Is No Free Market for Electricity: Can There Ever Be?” *American Affairs Journal*, 1:2.
<https://americanaffairsjournal.org/2017/05/no-free-market-electricity-can-ever/>
 (19.01.2018).
- Kayran, A.H. ve Yücel, M.N. (2016). *Olasılık Teorisi ve Stokastik Süreçler*, Papatya Yayıncılık Eğitim, İstanbul.
- Kirschen, D.S., Strbac, G. (2004). *Fundamentals of Power System Economics*, John Wiley & Sons Ltd., West Sussex.
- Kluppelberg, C., Meyer-Brandis, T. and Schmidt, A. (2010). “Electricity Spot Price Modelling with a View Towards Extreme Spike Risk”, *Quantitative Finance*, 10:9, 963–974.
- Kopsakangas-Savolainen, M. and Svento, R. (2012). *Modern Energy Markets: Real-Time Pricing, Renewable Resources and Efficient Distribution*, Springer-Verlag, London.
- Kwoka, J. (2008). “Restructuring the U.S. Electric Power Sector: A Review of Recent Studies”, *Review of Industrial Organization*, 32, 165–196.
- Langton, C. and Levin, V. (2016). *The Intuitive Guide to Fourier Analysis and Spectral Estimation*, Mountcastle Academic.
- Liu, H. and Shi, J. (2013). “Applying ARMA–GARCH approaches to forecasting short-term electricity prices”, *Energy Economics*, 37, 152-166.
- Longstaff, F.A. and Wang, A.W. (2004). “Electricity Forward Prices: A High-Frequency Empirical Analysis”, *The Journal of Finance*, 59:4, 1877-1900.
- Lucia, J.J. and Schwartz, E.S. (2002). “Electricity Prices and Power Derivatives: Evidence from the Nordic Power Exchange”, *Review of Derivatives Research*, 5, 5-50.
- Mack, I.M. (2014). *Energy Trading and Risk Management A Practical Approach to Hedging, Trading and Portfolio Diversification*, John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd., Singapore.
- Madlaner, R., Bernstein, R. and González, M.A.A. (2011). “Econometric Estimation of Energy Demand Elasticities”, *E.ON Energy Research Center Series*, 3:8.
- Maheu, J.M. and McCurdy, T.H. (2004). “News Arrival, Jump Dynamics, and Volatility Components for Individual Stock Returns”, *The Journal of Finance*, 59:2, 755-793.
- Mastro, M. (2013). *Financial Derivative and Energy Market Valuation Theory and Implementation in Matlab®*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- Mayer, K., Schmid, T. and Weber, F. (2015). “Modeling electricity spot prices: combining mean reversion, spikes, and stochastic volatility”, *The European Journal of Finance*, 21:4, 292-315.
- Merton, R.C. (1976). “Option pricing when underlying stock returns are discontinuous”, *Journal of Financial Economics*, 3, 125-144.

- Meyer-Brandis, T. and Tankov, P. (2008). “Multi-factor Jump-diffusion Models of Electricity Prices”, *International Journal of Theoretical and Applied Finance*, 11:5, 503–528.
- Mikosch, T. (1999). *Elementary Stochastic Calculus with Finance in View*, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore.
- Miller, M.B. (2014). *Mathematics and Statistics for Financial Risk Management*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- Mishkin, F. (2004). *The Economics of Money, Banking and Financial Markets*, Pearson Education, Inc.
- Mount, T.D., Ning, Y. and Cai, X. (2006). “Predicting price spikes in electricity markets using a regime-switching model with time-varying parameters”, *Energy Economics*, 28, 62–80.
- Musiela, M. and Rutkowski, M. (2009). *Martingale Methods in Financial Modelling*, Springer-Verlag, Heidelberg.
- Nazarova, A. (2014). *Stochastic Models for Energy Markets*, (Basılmamış Doktora Tezi), Duisburg-Essen University Mathematics Faculty, Essen.
https://duepublico.uni-duisburg-essen.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-36391/nazarova_thesis.pdf (03.12.2017).
- Nazlıoğlu, Ş. (2010). *Makro İktisat Politikalarının Tarım Sektörü Üzerindeki Etkileri: Gelişmiş ve Gelişmekte olan Ülkeler için bir Karşılaştırma*, (Basılmamış Doktora Tezi), Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kayseri.
- Nazlıoğlu, Ş. and Soytaş, U. (2012). “Oil price, agricultural commodity prices, and the dollar: A panel cointegration and causality analysis”, *Energy Economics*, 34, 1098–1104.
- Özkan, H. (2016). *Essays on Time Series Analysis of Forecasting, Structural Breaks, and Convergence*, (Basılmamış Doktora Tezi), Bilgi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Partal, T. (2007). *Türkiye Yağış Miktarlarının Yapay Sinir Ağları ve Dalgacık Dönüşümü Yöntemleri ile Tahmini*, (Basılmamış Doktora Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Pavliotis, G.A. (2014). *Stochastic Processes and Applications*, Springer Science+Business Media, New York.
- Perlis, A.J. (1982). “Epigrams on Programming”, *Sigplan Notices*, 17:9, 7-13.
- Pirino, D. and Reno, R. (2010). “Electricity Prices: A Nonparametric Approach”, *International Journal of Theoretical and Applied Finance*, 13:2, 285-299.
- Popova, J. (2008). *Essays on Pricing Electricity and Electricity Derivatives in Deregulated Markets*, (Basılmamış Doktora Tezi), College of Business and Economics at West Virginia University, Morgantown.
- Psiloglou, B.E., Giannakopoulos, C., Majithia, S. et al. (2009). “Factors affecting electricity demand in Athens, Greece and London, UK: A comparative assessment”, *Energy*, 34, 1855–1863.

- Schwartz, E.S. (1997). "The Stochastic Behavior of Commodity Prices: Implications for Valuation and Hedging", *The Journal of Finance*, 52:3, 923-973.
- Seifert, J. and Uhrig-Homburg, M. (2007). "Modelling jumps in electricity prices: theory and empirical evidence", *Review of Derivatives Research*, 10, 59-85.
- Shahidehpour, M., Yamin, H. and Li, Z. (2002). *Market Operations in Electric Power Systems: Forecasting, Scheduling, and Risk Management*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Shiryayev, A.N., Grossinho, M.R., Oliveira, P.E. et al. (ed.), (2006). *Stochastic Finance*, Springer Science+Business Media, Inc., New York.
- Shreve, S.E. (2004). *Stochastic Calculus for Finance I - The Binomial Asset Pricing Model*, Springer-Verlag, New York.
- Sidorov, S.P., Revutskiy, A., Faizliev, A. et al. (2014). "Stock Volatility Modelling with Augmented GARCH Model with Jumps", *IAENG International Journal of Applied Mathematics*, 44:4, 212-220.
- Soytaş, U. and Sarı, R. (2007). "The relationship between energy and production: Evidence from Turkish manufacturing industry", *Energy Economics*, 29, 1151–1165.
- Stoft, S. (2002). *Power System Economics: Designing Markets for Electricity*, IEEE Press, New Jersey.
- Swindle, G. (2014). *Valuation and Risk Management in Energy Markets*, Cambridge University Press, New Jersey.
- Talaşlı, İ. (2012). *Stochastic Modeling of Electricity Markets*, (Basılmamış Doktora Tezi), Orta Doğu Teknik Üniversitesi Uygulamalı Matematik Enstitüsü, Ankara.
- Tankov, P. and Voltchkova, E. (2009). "Jump-diffusion models: a practitioner's guide", *Banque et Marchés*, 99:1.
- Tauchen, G. and Zhou, H. (2011). "Realized jumps on financial markets and predicting credit spreads", *Journal of Econometrics*, 160, 102–118.
- Trück, S., Weron, R. and Wolff, R. (2007). "Outlier Treatment and Robust Approaches for Modeling Electricity Spot Prices", MPRA Paper. <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/4711/> (08.03.2018).
- Tsay, R.S. (2010). *Analysis of Financial Time Series*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- Tuckman, B. and Serrat, A. (2012). *Fixed Income Securities: Tools for Today's Markets*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- Uhlenbeck, G.E. and Ornstein, L.S. (1930). "On the Theory of The Brownian Motion", *Physical Review*, 36, 823-841.
- Vasicek, O. (1977). "An Equilibrium Characterization of The Term Structure", *Journal of Financial Economics*, 5, 177-188.

- Veraart, A.E.D. and Veraart, L.A.M. (2014). “Modelling Electricity Day-Ahead Prices by Multivariate Lévy Semistationary Processes”. *Quantitative Energy Finance Modeling, Pricing, and Hedging in Energy and Commodity Markets*, Ed. Benth, F.E., Kholodnyi, V.A., Laurence, P., Springer Science+Business Media, New York, 157-188.
- Villaplana, P. (2003). “Pricing Power Derivatives: A Two-Factor Jump-Diffusion Approach”, EFMA 2004 Basel Meetings Paper.
https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=493943 (13.03.2018).
- Weron R. and Misiorek A. (2008). “Forecasting Spot Electricity Prices: A Comparison of Parametric and Semiparametric Time Series Models”, *International Journal of Forecasting*, 24, 744–763.
- Weron, R. (2006). *Modeling and Forecasting Electricity Loads and Prices: A Statistical Approach*, John Wiley & Sons Ltd, West Sussex.
- Weron, R. (2014). “Electricity price forecasting: A review of the state-of-the-art with a look into the future”, *International Journal of Forecasting*, 30, 1030–1081.
- Weron, R., Bierbrauer, M. and Trück, S. (2004). “Modeling Electricity Prices: Jump Diffusion and Regime Switching”, *Physica A*, 336, 39–48.
- Working, H. (1948). “Theory of the Inverse Carrying Charge in Futures Markets”, *Journal of Farm Economics*, 30:1, 1-28.
- Working, H. (1949). “The Theory of Price of Storage”, *The American Economic Review*, 39:6, 1254-1262.

Diğer Kaynaklar

- “Elektrik Piyasası Bağlantı ve Sistem Kullanım Yönetmeliği”, 28.01.2014 tarih ve 28896 sayılı Resmî Gazete.
- “Elektrik Piyasası Dağıtım Yönetmeliği”, 02.01.2014 tarih 28870 sayılı Resmî Gazete.
- “Elektrik Piyasası Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği”, 14.04.2009 tarih ve 27200 sayılı Resmî Gazete.
- “Elektrik Piyasası Kanunu”, Kanun No: 6446, 30.03.2013 tarih ve 28603 sayılı Resmî Gazete.
- “Elektrik Şebeke Yönetmeliği”, 28.05.2014 tarih 29013 sayılı Resmî Gazete.
- “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmelik”, 01.10.2013 tarih 28782 sayılı Resmî Gazete.
- “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun”, Kanun No: 5346, 18.05.2005 tarih ve 25819 sayılı Resmî Gazete.
- Balcılar, M. (2014). *Doğrusal Olmayan Zaman Serileri Analizi Ders Notları*, Pamukkale Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Ekonomi Yaz Seminerleri.
- Borsa İstanbul A.Ş. (2018). *VIOP Enerji ve Emtia Sözleşmeleri*, İstanbul.
http://www.borsaistanbul.com/data/kilavuzlar/VIOP_Enerji_Emtia_Sozlesmeleri.pdf (25.07.2018).

- Energy Initiative- Massachusetts Institute of Technology (2015). *Future of Solar Energy*. <http://energy.mit.edu/research/future-solar-energy/> (03.01.2018).
- Enerji Piyasaları İşletme A.Ş. (2017). *Gün İçi Piyasası Kullanıcı Kılavuzu (09.08.2017)*, İstanbul. https://www.epias.com.tr/wp-content/uploads/2017/10/GIP-KULLANICI-KILAVUZU_09.08.2017.pdf (22.02.2018).
- Enerji Piyasaları İşletme A.Ş. (2016). *Yeni Gün Öncesi Piyasası Kullanıcı Kılavuzu (V.1.6)*, İstanbul. https://www.epias.com.tr/wp-content/uploads/2016/03/G%C3%96P-KULLANICI-KILAVUZU_V.1.6.pdf (13.12.2017).
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (2011). *Dengeleme Güç Piyasası Kapsamında Etiket Değerlerinin Belirlenmesi ve Sistem Marjinal Fiyatının Hesaplanması Prosedürü*, Ankara. <http://eskiweb.epdk.org.tr/TR/Dokuman/2913> (20.02.2018).
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (2015). *Elektrik Piyasası 2014 Yılı Piyasa Gelişim Raporu*, Ankara.
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (2016). *Elektrik Piyasası 2015 Yılı Piyasa Gelişim Raporu*, Ankara.
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (2017). *Elektrik Piyasası 2016 Yılı Piyasa Gelişim Raporu*, Ankara.
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (2018). *Elektrik Piyasası Piyasa Gelişim Raporu 2017*, Ankara.
- Epex Spot SE (2017). *EPEX Spot Workshop Presentation*, Leipzig. <https://www.eex.com/blob/69994/8cb156bdac2390b1243100dee8b6383c/europe-an-power-spot-data.pdf> (22.02.2018).
- European Energy Exchange AG (2014). *Annual Report 2013*, Leipzig. <https://www.eex.com/blob/30630/06c68199951eaea397b978d1435f006e/eex-gb-2013-en-pdf-data.pdf> (11.08.2015).
- European Energy Exchange AG (2015). *Annual Report 2014*, Leipzig. <https://www.eex.com/blob/30436/e6367fe0b346385f1008aa944bc1d1d6/eex-gb-2014-en-data.pdf> (10.08.2015).
- European Energy Exchange AG (2017). *Annual Report 2016*, Leipzig. <https://www.eex.com/blob/66620/17cc36f9c69c14467c7827576dd68db7/eex-gb-2016-en-viewer-data.pdf> (10.01.2018).
- European Network of Transmission System Operators for Electricity (ENTSO-E) (2016). *Statistical Factsheet 2015*, Brussels. https://docstore.entsoe.eu/Documents/Publications/Statistics/Factsheet/entsoe_sf_s2015_web.pdf (30.12.2017).
- European Network of Transmission System Operators for Electricity (ENTSO-E) (2017). *Statistical Factsheet 2016*, Brussels. https://docstore.entsoe.eu/Documents/Publications/Statistics/Factsheet/entsoe_sf_s_2016_web.pdf (27.12.2017).

- International Energy Agency (2005). *Lessons from Liberalised Electricity Markets*, Paris. <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/LessonsNet.pdf> (14.01.2018).
- International Energy Agency (2017). *World Energy Balances: Overview 2017*. <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WorldEnergyBalances2017Overview.pdf> (01.01.2018).
- Judisch, S. (2014). *Volatility, risk, and risk-premium in German and Continental power markets*, RWE Supply & Trading GmbH Presentation. <https://www.rwe.com/web/cms/mediablob/en/2628512/data/2495764/2/rwe/investor-relations/videos/2014/Further-information-Volatility-risk-and-risk-premium-in-German-and-Continental-power-markets-presentation-by-Stefan-Judisch-CEO-of-RWE-Supply-Trading.pdf> (22.02.2018).
- KPMG Global Energy Institute EMA. (2015). *Energy – Quo vadis?*, Brussels. <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/pdf/2015/06/energy-quo-vadis-summary-eng.pdf> (19.01.2016).
- Nazarian, D. (2012). *Introduction to U.S. Electricity Markets*, NARUC:CAMPUT Bilateral Roundtable, Portland. http://www.camput.org/wp-content/uploads/2013/09/2012-07-21_-_Nazarian_US_Electricity_Markets.pdf (12.01.2018).
- Øvergaard, S. (2009) *Definition of Primary and Secondary Energy*, Statistics Norway. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKewjb_LXVg-LcAhUGZVAKHRHZCLAQFjAAegQICBAC&url=https%3A%2F%2Funstats.un.org%2Foslogroup%2Fmeetings%2Fog-04%2Fdocs%2Foslo-group-meeting-04--presentation-definition-of-primary-and-secondary-energy.ppt&usg=AOvVaw116SuA-yQKgHwA07raTF_u (02.01.2018).
- Tokyay, M.B. ve Özdemir, I.S. (2013). *Türkiye Elektrik Piyasası'nda Elektrik Ticareti*, Accenture Türkiye, Enerji ve Tabii Kaynaklar Birimi. http://www.topraksuenerji.com/Turkey_in_the_electricity_market_Electricity_Trading.pdf (18.01.2018).
- Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası (2017). *Ödemeler Dengesi ve Uluslararası Yatırım Pozisyonu Raporu 2017-III*.
- Union for the Coordination of the Transmission of Electricity (UCTE) (2004). *Operation Handbook Policy 1 Appendix*. https://www.entsoe.eu/fileadmin/user_upload/library/publications/entsoe/Operation_Handbook/Policy_1_Appendix%20_final.pdf (23.02.2018).
- United Nations (1982). *Concepts and Methods in Energy Statistics, With Special Reference to Energy Accounts and Balances*, New York. https://unstats.un.org/unsd/publication/SeriesF/SeriesF_29E.pdf (03.01.2018).
- United States Department of Energy (2015). *United States Electricity Industry Primer*. <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/12/f28/united-states-electricity-industry-primer.pdf> (30.12.2017).

- Warwick, W.M., Hardy, T.D., Hoffman, M.G. et al. (2016). *Electricity Distribution System Baseline Report*, Pacific Northwest National Laboratory.
<https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/01/f34/Electricity%20Distribution%20System%20Baseline%20Report.pdf> (01.01.2018).
- WEB_1. HAKKIMIZDA | TÜRKİYE ELEKTRİK İLETİM A.Ş.
<https://www.teias.gov.tr/tr/hakkimizda> (11.08.2018).
- WEB_2. Türkiye'de Hane Başına Düşen Ortalama Elektrik Tüketimi Ne Kadar?
<https://gazelektrik.com/faydali-bilgiler/elektrik-tuketimi> (25.12.2017).
- WEB_3. History of Electricity - IER
<https://www.instituteforenergyresearch.org/history-electricity/> (12.01.2018).
- WEB_4. Balancing and Ancillary Services Markets
<https://www.entsoe.eu/about/market/#balancing-and-ancillary-services-markets> (20.02.2018).
- WEB_5. Union for the Coordination of the Transmission of Electricity (UCTE)
<https://www.entsoe.eu/news-events/former-associations/ucte/Pages/default> (25.02.2018).
- WEB_6. spike | Definition of spike in English by Oxford Dictionaries.
<https://en.oxforddictionaries.com/definition/spike> (14.03.2018).
- WEB_7. Spike | Definition of Spike by Merriam-Webster.
<https://www.merriam-webster.com/dictionary/spike> (14.03.2018).
- WEB_8. Indices.
<https://www.eex.com/en/trading/indices> (27.06.2018).
- WEB_9. Closed-Form Solution -- from Wolfram MathWorld
<http://mathworld.wolfram.com/Closed-FormSolution.html> (20.07.2018).
- Yüksek Planlama Kurulu. (2004). *Elektrik Enerjisi Sektörü Reformu ve Özelleştirme Strateji Belgesi*, 17.03.2004 tarih ve 2004-3 sayılı Karar.
http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FBelge%2FElektrik_Enerjisi_Sektoru_Reformu_ve_Ozellestirme_Strateji_Belgesi.pdf (19.01.2018).

ÖZGEÇMİŞ

KİMLİK BİLGİLERİ

Adı Soyadı : Ali Ulvi ÖZGÜL
Doğum Yeri : Uluborlu / Isparta
Doğum Tarihi : 09.03.1974
E-posta : ulviozgul@uydunet.net; auezgul@outlook.com

EĞİTİM BİLGİLERİ

Lise : Denizli Anadolu Lisesi - 1992
Lisans : Boğaziçi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi
 İşletme Bölümü – 1997 (3,31/4,00 – Onur Derecesi)
Yüksek Lisans : -
Doktora : Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü
 İşletme Anabilim Dalı Genel İşletme (Bütünleşik) Doktora
 Programı – 2018
 Elektrik Piyasalarında Spot Fiyat Modelleri: Türkiye Örneği
 Danışman: Doç. Dr. Dündar KÖK
Yabancı Dil ve Düzeyi: İngilizce – Çok iyi (Nisan 2018 YDS – A Seviye)
 Almanca – Orta

İŞ DENEYİMİ

Yönetici Adayı	Dost Tekstil A.Ş., Denizli	1997-1998
İhracat Müşteri Temsilcisi, Yurtdışı Pazarlama Uzmanı	Dost Tekstil A.Ş., Denizli	1999-2002
Muhasebe ve Finans Müdürü	Dost Tekstil A.Ş., Denizli	2002-2013
Mali İşler Müdürü	Bereket Enerji Grubu, Denizli	2013-2018

ARAŞTIRMA ALANLARI: Finans Teorisi, Kurumsal Finans, Finansal Ekonometri, Enerji/Finans Piyasaları, Kantitatif Finans, Risk Yönetimi, Programlama (MATLAB, VBA vb.), Finansal Modelleme

ÜYELİKLER : Denizli S.M.M.M. Odası
 Global Association of Risk Professionals (GARP)
 Türkiye Sermaye Piyasaları Birliği (TSPB)
 The CQF Institute

TEZDEN ÜRETİLEN TEBLİĞ VE YAYINLAR: -