

KADİR HAS ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME MBA PROGRAMI



ELEKTRİK PİYASALARINDA RİSK YÖNETİMİ İÇİN FİYAT TAHMİN
MODELİ: TÜRKİYE UYGULAMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ABDULLAH DOĞAN

Mayıs, 2013

Abdullah Doğan

Yüksek Lisans Tezi

2013

ELEKTRİK PİYASALARINDA RİSK YÖNETİMİ İÇİN ELEKTRİK FİYAT TAHMİN
MODELİ: TÜRKİYE UYGULAMASI

ABDULLAH DOĞAN

İşletme MBA Programı'nda Yüksek Lisans derecesi
için gerekli kısmi şartların yerine getirilmesi amacıyla
Sosyal Bilimler Enstitüsü'ne
teslim edilmiştir.

KADİR HAS ÜNİVERSİTESİ

Mayıs, 2013

KADİR HAS ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK PİYASALARINDA RİSK YÖNETİMİ İÇİN FİYAT TAHMİN MODELİ:
TÜRKİYE UYGULAMASI

ABDULLAH DOĞAN

ONAYLAYANLAR:

Prof Dr. Volkan Ş. EDİGER

Yard. Doç. Dr. Gökhan KIRKIL

Yard. Doç. Dr. Emre ÇELEBİ

ONAY TARİHİ: 01/08/2013

“Ben, Abdullah Doğan, bu Yüksek Lisans Tezinde sunulan çalışmanın şahsıma ait olduğunu ve başka çalışmalardan yaptığım alıntılarını kaynaklarını kurallara uygun biçimde tez içerisinde belirttiğimi onaylıyorum.”

Abdullah Doğan

ÖZET

Elektrik üretiminde verimliliği arttırmak ve elektrik fiyatlarını düşürmek için, dünyadaki çoğu elektrik piyasasında ve çeşitli Avrupa yönergelerini takiben ülkemizde liberal elektrik piyasasına geçiş süreci başlamıştır. Elektrik tedariki hizmetinin kamu hizmeti olduğu fikri tamamen terk edilmiş; sektörün üretim, dağıtım, toptan satış ve perakende satış aşamaları rekabete açılmıştır. Hatta bu aşamalar birçok ülkede rekabete açılmakla kalmamış, elektriğin ticari bir mal gibi alınıp satıldığı organize elektrik ticaret piyasaları da oluşturulmuştur. Liberalleşmenin elektrik endüstrisinde yaygınlaşmasıyla, elektrik fiyatı elektrik pazarındaki tüm katılımcıların odak noktası haline gelmiştir. Fiyat öngörme teknikleri, elektrik piyasasındaki risklerin minimize edilmesi ve elektrik fiyatlarındaki yüksek volatilitelere karşı önlem alınması için kullanılır. Başarılı bir fiyat öngörüsüyle piyasa katılımcıları daha iyi finansal kararlara imza atabilmektedir. Bu çalışma, elektrik piyasasında risk yönetimi için orta vadeli fiyat tahmin gereksinimlerine cevap verebilecek bir model üzerinde yürütülmüştür. Fiyat tahmin modeli, Lucia ve Schwartz (2002) tarafından önerilen tek faktör modeli baz alınarak oluşturulmuştur. Tek faktör modelinde haftalık mevsimsellik temsiline, hafta içi ve hafta sonu için ayrı katsayılar kullanılırken, bu çalışmadaki modelde haftanın her günü için farklı katsayılar kullanılmıştır. Ayrıca, tek faktör modelinden farklı olarak bu çalışmada modelin stokastik ve deterministik parametreleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Model daha sonra, Türkiye elektrik pazarında spot piyasa işlevi gören Gün Öncesi Piyasasında (GÖP) oluşan fiyatlar için test edilmiştir. Analiz sonuçları göstermiştir ki, model nicel olarak elektrik fiyatlarını tahmin etmeyi başarmaktadır. Model tüm spot elektrik piyasalarında uygulamaya elverişlidir.

Anahtar Kelimeler: Elektrik Fiyat Tahmini, Mevsimsellik, PMUM, Oralamaya Dönme

ABSTRACT

In recent years, electricity markets are being transformed from a highly regulated government controlled system into deregulated local markets around the world and Turkey. The deregulation of the electricity market brings competition to the previously monopolistic market. Under deregulated electric market, electricity price is no longer set by the monopoly utility company rather it responds to the market and operating conditions. Under restructuring of electric power industry, different participants namely generation companies and consumers of electricity need to meet in a marketplace to decide on the electricity price. Under the market environment, electricity spot prices are highly volatile and difficult to model due to non-storability, strong seasonal fluctuations and price spikes. Because of those facts, forecasting of electricity price in this competitive power market has become very important for the market participants in order to support their planning and operations activities. In this thesis, we introduce a model for electricity spot market prices that includes both seasonality and mean reversion of the electricity price. The model is based on one factor model that is superimposed on a mean reverting Ornstein-Uhlenbeck model. The parameters of the model are calibrated with Turkish day-ahead electricity market daily price series using a least square approach. The analysis starts by examining the seasonal behavior of the spot electricity prices such as intra-daily, weekly and monthly then, tested by one-factor mean-reverting stochastic model. The simulated price series thus obtained very closely follows the statistical characteristics of the real price series.

Key Words: One Factor Model, Mean Reverting, Daily Electricity Spot Price

Başta, tez yazım aşamasında bana yol gösteren ve hiçbir konuda yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Volkan Ş. Ediger'e; finans konusunda yardıma her ihtiyaç duyduğumda bana vakit ayıran ve desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Ayşe Hümeysra Bilge' ye ve e-mail'leriyle bana destek olan tezde kullandığım modelin sahibi Prof. Dr. Eduardo S. Schwartz ile sorularımı içtenlikle cevaplayan Prof. Dr. Stefan Trueck' e teşekkür ederim.

İçindekiler

Özet	
Abstract	
Teşekkür Notu	
Tablo Listesi	v
Şekil Listesi	vi
Kısaltmalar	vii
1 Giriş	1
2 Elektrik Enerjisi Piyasaları	4
2.1 Emtia Piyasaları	4
2.1.1 Spot Piyasalar.....	4
2.1.2 Türev Piyasalar	6
2.1.3 Spot ve Türev Piyasalar Arasındaki İlişki.....	8
2.2 Elektrik Enerjisi Piyasaları.....	10
2.2.1 Spot Elektrik Piyasaları.....	10
2.4.1 Türev Elektrik Piyasaları	18
3 Risk ve Elektrik Fiyatı	22
3.1 Elektrik Piyasasındaki Risk Çeşitleri.....	23
3.2 Elektrik Fiyatının Önemi	24
3.3 Elektrik Fiyatının Karakteristiği	26
3.3.1 Depolanamayan Bir Ürün Olması.....	26
3.3.2 Mevsimsel Olması.....	28
3.3.3 Ortalamaya Dönme (<i>Mean Reverting</i>) Özelliği	29
3.3.4 Volatilité.....	31
3.3.5 Ani Sıçramalar (<i>Price Spikes and Jumps</i>).....	32
4 Elektrik Fiyat Tahmin Modelleri	33
4.1 Oyun Teorisi Modelleri.....	36
4.2 Simülasyon - Yapısal Modeller.....	37
4.3 İstatiksel Modeller.....	38
4.3.1 Zaman Serileri Modelleri	39

4.3.2	<i>Regime – Switching</i> Modeli	40
4.3.3	<i>GARCH</i> Modeli.....	41
4.3.4	Transfer Fonksiyon Modelleri	41
4.3.5	Sinirsel Ağ Yaklaşımı	42
4.3.6	Finansal Süreç Tahmin Modelleri.....	45
5	Elektrik Fiyat Tahmin Modeli ve Türkiye Uygulaması	47
5.1	Türkiye Elektrik Piyasası	48
5.1.1	Gün Öncesi Piyasa	51
5.1.2	GÖP’ ün İşleyişi.....	51
5.2	Veri Analizi.....	56
5.3	Elektrik Fiyat Tahmin Modeli.....	59
5.4	Tahmin Modeliyle Elektrik Spot Fiyatının Simülasyonu	61
6	Sonuç	65
	Kaynaklar	67
	Ekler	74

Tablo Listesi

Tablo 4.1	<i>Forward Curve</i> İle Fiyat Tahmini Karşılaştırması	35
Tablo 5.1	Net Elektrik Tüketiminin Sektörlere Göre Dağılımı.....	49
Tablo 5.2	Enerji Kaynaklarına Göre Elektrik Enerjisi Üretimi Ve Payları	49
Tablo 5.3	Elektrik Piyasası Kanunu ve İlgili Ana Değişiklikler	50
Tablo 5.4	Fiyat Serisine Ait İstatistikî Veriler	56
Tablo 5.5	Günlük Fiyat Ortalamaları	56
Tablo 5.6	Aylık Fiyat Ortalamaları	56
Tablo 5.7	Model Parametreleri.....	59
Tablo 5.8	Modele Ait İstatistikî Veriler	60
Tablo 5.9	Modelin Dört Aylık Tahminine Ait İstatistikî Veriler	61

(Dip not: Tablo 1.1 birinci bölümdeki ilk tabloyu, Tablo 10.1 onuncu bölümdeki ilk tabloyu ve Tablo A.1 Ek A'daki ilk tabloyu belirtmektedir.)

Şekil Listesi

Şekil 3.1	Marjinal Üretim Maliyeti Grafiği	26
Şekil 3.2	Yıllık Dönemsellik	28
Şekil 3.3	Haftalık Dönemsellik	28
Şekil 3.4	Günlük Dönemsellik	28
Şekil 4.1	Elektrik Fiyat Tahmin Modelleri	35
Şekil 4.2	Nöronun İç Yapısı.....	43
Şekil 4.3	Üç Katmanlı Tek Çıkış Birimli, İleri Beslemeli Sinirsel Ağ Model Örneği.....	44
Şekil 5.1	Üretimin Kuruluşlara Dağılımı	49
Şekil 5.2	Türkiye Elektrik Piyasası Reform Süreci.....	50
Şekil 5.3	1 Ocak 2010 – 31 Aralık 2012 Tarihleri Arası Günlük Elektrik Tüketim ve Fiyat Değerleri	56
Şekil 5.4	Veri Setine Ait 12.Dereceden Hareketli Ortalama.....	57
Şekil 5.5	Gerçek Fiyat ve Simülasyon Fiyat Grafiği.....	60
Şekil 5.6	2013'ün İlk Çeyreğine Ait Gerçek ve Simülasyon Fiyatları..	61

(Dip not: Şekil 1.1 birinci bölümdeki ilk şekli, Şekil 10.1 onuncu bölümdeki ilk şekli belirtmektedir.)

KISALTMALAR

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
DUY	Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EPK	Elektrik Piyasası Kanunu
EPİAŞ	Enerji Piyasaları İşletme A.Ş.
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EÜAŞ	Elektrik Üretim A.Ş.
GSYİH	Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
GÖP	Gün Öncesi Piyasası
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency)
KİT	Kamu İktisadi Teşebbüsü
kWh	Kilovatsaat
ÖİB	Özelleştirme İdaresi Başkanlığı
PI	Piyasa İşletmecisi
PMUM	Piyasa Mali Uzlaştırma Merkezi
SEKK(OLS)	Sıradan En Küçük Kareler (Ordinary Least Squares)
TEAŞ	Türkiye Elektrik Üretim, İletim Anonim Şirketi
TEDAŞ	Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
TEK	Türkiye Elektrik Kurumu
TETAŞ	Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt A.Ş.
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu

1. BÖLÜM

GİRİŞ

Elektrik üretiminde verimliliği artırmak ve elektrik fiyatlarını düşürmek için, dünyadaki çoğu elektrik piyasasında ve çeşitli Avrupa yönergelerini takiben ülkemizde liberal elektrik piyasasına geçiş süreci başlamıştır. Elektrik piyasaları 1980’lerde dünya genelinde benimsenen liberalleşme politikası ile hızla değişerek; özelleştirme, serbestleştirme ve yeniden yapılandırma çalışmalarına sahne olmuştur. Bu süreçte, elektrik tedariki hizmetinin kamu hizmeti olduğu fikri tamamen terk edilmiş; sektörün üretim, dağıtım, toptan satış ve perakende satış aşamaları rekabete açılmıştır. Hatta bu aşamalar birçok ülkede rekabete açılmakla kalmamış, elektriğin ticari bir mal gibi alınıp satıldığı organize ticaret piyasaları da oluşturulmuştur. Öyle ki, elektrik artık başlı başına bir ticari faaliyet konusu olmuş, piyasalaşmıştır. Ekonomik kısıtlardan, yeni yapılar ve yasal düzenlemeler gerektirmesinden ve elektrik pazarını işletme niyeti olanların çok yüksek sabit maliyetlerle karşılaşmasından dolayı oldukça yavaş işleyen bu süreç, çoğu ülkede tamamlansa da bazı ülkelerde daha başlangıç seviyesinde bulunmaktadır (Ulusoy 2012).

Liberal elektrik piyasalarında elektrik fiyatı, piyasanın tüm katılımcılarının odak noktası haline gelmiştir. Liberalleştirilmiş elektrik sektöründe, üretici şirketler ile

tüketiciler piyasada bir araya gelerek elektrik fiyatlarını belirlemeleri gerekmektedir (Schweppe, Caraminis, Tablors ve Bohn 2008). Bu noktada yük ve spot fiyat tahminleri büyük önem kazanmakta olup, birçok araştırmacı ve akademisyen bu amaçla çeşitli model ve algoritmalar geliştirmektedir. Yük tahmin yöntemleri, ortalama %3 mutlak hata payıyla işleyecek kadar gelişmişken; fiyat tahmin yöntemleri henüz yeterince olgunlaşmamıştır (Mandal, Senjyu, Urasaki ve Funabashi 2006:73). Fiyat öngörme teknikleri, elektrik piyasasındaki risklerin minimize edilmesi ve elektrik fiyatlarındaki yüksek volatilitelere karşı önlem alınması için kullanılmaktadır. Başarılı bir gelecek zaman fiyat öngörüsüyle, piyasa katılımcıları daha iyi finansal kararlara imza atabilme, böylece elektrik üreticileri kârını artırmak için daha uygun stratejiler geliştirebilirken, müşteriler de kullanım giderlerini minimize edebilmektedir (Shahidehpour ve Yamin 2002).

Elektrik fiyatı tahmin modelleri, farklı uygulamalar için çok kısa (birkaç dakikadan birkaç saate kadar), kısa (birkaç gün), orta (birkaç ay) ve uzun (birkaç yıl) dönem olarak kategorize edilebilir (Wu ve Shahidehpour, 2010). Uzun vadeli elektrik fiyat tahminleri, yeni bir üretim tesisi kurulmasında kâr analizi ve güç planlaması yapılırken önemlidir. Orta vadeli fiyat tahmin modelleri de, daha çok türev sözleşmelerinde kullanılır. Kısa dönem de ise, üretim operatörünün piyasaya teklif verme stratejisini oluşturması ve elektrik enerji kaynaklarını en ideal şekilde programlaması için kullanılmaktadır (Catalao vd. 2007:1297).

Bu çalışma, elektrik piyasasında fiyat risklerini öngörmek için orta vadeli fiyat tahmin gereksinimlerine cevap verebilecek bir model üzerinde yürütülmüştür. Çalışmada kullanılan fiyat tahmin modeli, Lucia ve Schwartz (2002) tarafından önerilen tek faktör

modeli baz alınarak oluşturulmuştur. Tek faktör modelinde, haftalık mevsimsellik (*seasonality*) temsilinde, hafta içi ve hafta sonu için ayrı katsayılar kullanılırken, bu çalışmadaki modelde haftanın her günü için farklı katsayılar kullanılmıştır. Ayrıca, tek faktör modelinden farklı olarak bu çalışmada modelin stokastik ve deterministik parametreleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Model, daha sonra, Türkiye elektrik pazarında spot piyasa işlevi gören Gün Öncesi Piyasasında (GÖP) test edilmiştir. Model, Türkiye Elektrik İletim A. Ş. nin (TEİAŞ) denetimindeki Piyasa Mali Uzlaştırma Merkezi' nin (PMUM) internet sitesinde yayınlanan, 1 Ocak 2010 – 31 Aralık 2012 tarihleri arasındaki döneme ait 26304 adet saatlik fiyat seti ile kalibre edilmiştir.

Bu çerçevede tezin ilk bölümünde, genel anlamda emtia, spot piyasa ve türev piyasa konularından bahsedilerek elektrik piyasalarının yapısı ve işleyişiyle ilgili temel bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde, elektrik piyasalarındaki risk çeşitlerine değinilerek; elektrik fiyatının, risk yönetimi bakımından önemi anlatılmıştır. Üçüncü bölümde, literatürde kullanılan elektrik fiyat tahmin modelleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Dördüncü bölümde ise, Türkiye elektrik piyasasının işleyişine değinilerek Türkiye elektrik piyasası için orta vadeli fiyat tahmin modeli çalışması yapılmış, modelin kendisi, girdileri ve çıktıları ayrıntılı olarak irdelenmiştir.

2. BÖLÜM

ELEKTRİK ENERJİSİ (GÜÇ) PIYASALARI

2.1 Emtia Piyasaları

Birçok Batı dilinde kullanılan Fransızca kökenli “*commodite*” sözcüğü, Türkçede “mallar” anlamına gelen Arapça “meta” sözcüğünün çoğulu olan “emtia” olarak kullanılır. Emtia; kolaylık, fayda sağlayan şey ya da hizmet anlamına gelmektedir. Genel olarak emtia, “Belirli bir talebe sahip, her hangi bir farklılaştırma geçirmemiş ve tamamen aynı özellik ve aynı işleve sahip ürünler” olarak tanımlanmaktadır (Chatnani 2010, 2-3). Emtia daha önceleri, homojen yapıda, depolanabilir ve ticarete konu olan maddi ürünler için kullanılırken, günümüzde bu kavramın daha çok, türev ve rekabetçi spot piyasalarda standartlaşmış bir şekilde alınıp satılabilmeye ilişkilendirilmektedir (Lesourd 2011).

Klasik emtia piyasalarında satılıp alınan ürünlere, tarımsal ürünlerden şeker, kahve; enerji ürünlerinden petrol, doğalgaz; metallere çelik ve demir örnek olarak gösterilebilir. İlk olarak tarım ürünleri için kurulan emtia piyasaları daha önceleri sadece maddi ürünlerin fiziksel ticaretinin yapıldığı alanlar olsa da günümüzde, enerji ve benzeri ürünlerin de dâhil olduğu, finansal işlemlerin gerçekleştiği daha karmaşık alanlar haline gelmiştir. Hatta günümüzde finansal işlemlerin hacmi fiziksel ticaretin hacmini

geçmiş olup her geçen gün daha da artmaktadır. Emtia ticaretinin yapıldığı piyasalar “spot piyasalar” ve “türev piyasalar” olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

2.1.1 Spot Piyasalar

Emtiaların daha çok fiziksel ticaretinin gerçekleştirildiği piyasalar olup genel olarak toptan satış seviyesindeki ürün tedarik zinciri işlemlerini içermektedir. Söz konusu emtianın bu piyasadaki satış işlemleri, alıcı ve satıcı arasında aracısız gerçekleştirilebileceği gibi, bir aracı kuruluş veya broker aracılığıyla da gerçekleştirilebilmektedir (Chatnani 2010,4-5). Her ne kadar önceleri salt fiziksel piyasalar olarak kurulmuş olsalar da ticaretin gelişmesiyle birlikte bu piyasalara, finansal bir boyut da eklenmiştir. Buna ek olarak, spot piyasaların artık finansal piyasalarla da sürekli bir etkileşimi bulunmaktadır.

2.1.2 Türev Piyasalar

Daha çok “vadeli işlem (*futures*)” ve “alivire (*forward*)” piyasalar olmak üzere iki grupta tanımlanmakla birlikte “opsiyon piyasasını” da içerecek üçlü bir ayırma da gidilebilmektedir. Fakat genellikle opsiyon sözleşmeleri vadeli işlem sözleşmelerinin bir çeşidi olarak görüldüğünden, vadeli işlem piyasalarının altında işlem görmektedir. Vadeli işlem sözleşmeleri ile opsiyon sözleşmeleri arasındaki tek fark opsiyon sözleşmelerinde sözleşme konusu herhangi bir ürünün ileri bir tarihte alınıp satılmasını değil, ürünün daha çok belirlenen fiyattan alım satım hakkını oluşturmasıdır. Vadeli

işlem sözleşmelerinde taraflar yerine getirme yükümlülüğü altına girerken, opsiyon sözleşmelerinde yükümlülük sadece bu opsiyonun, yani hakkın kullanılması durumunda geçerlidir. Bu hakkı kullanma da opsiyon alıcısına aittir (Sağlam 2012).

Türev piyasalarda, geleceğe yönelik yapılan emtia alım satımına ilişkin ticaret bugünden yapılmaktadır. Bu piyasalarda, emtia ticaretinin türü, cinsi, fiyatı ve miktarı gibi unsurlar sözleşmenin imzalandığı tarihte belirlenmektedir. Emtianın fiziken teslimi ise, sözleşmede belirtilen ileri bir tarihte gerçekleşir. Bunun sebebi, zaman içerisinde ortaya çıkabilecek fiyat farkı riskinden korunmaktır (*hedging*). Taraflar türev piyasalarda daha sonra teslim edilecek emtia ürününün değerini ve türünü bugünden belirleyerek kendilerine koruma altına almaktadırlar. Türev piyasaları riskleri azaltmasından ve vadeli işlem sözleşmelerinin el değiştirmesine olanak sağlamasından dolayı finansal emtia piyasaları olarak da anılmaktadır (Sağlam 2012).

2.1.3 Spot Piyasalar ve Türev Piyasalar Arasındaki İlişki

Her ne kadar spot piyasalar ile türev piyasalar birbirinden ayrı olarak tanımlanmış olsalar da bu iki piyasa arasında her zaman bir ilişki bulunmaktadır. Emtianın spot piyasada oluşan fiyatı ile türev piyasada oluşan fiyatı arasında her zaman bir etkileşim bulunmaktadır. Chatnani'nin (2010, 118) belirttiği üzere: "Paranın zaman değeri modelinin bir başka şekli olan taşıma maliyeti modeline göre; depolanabilir bir emtianın spot fiyatı ile türev fiyatı, söz konusu emtianın bu süre boyunca taşımak ve depolamak için katlanması gereken maliyetin bir fonksiyonudur." Taşıma maliyet modeli türev piyasalardaki çoğu emtianın ürününün fiyatlandırılmasında kullanılmaktadır. Bu model

her ne kadar elektriğin depolanamaz bir emtia olmasından dolayı direk olarak kullanılamasa da, elektriğe ilişkin alivre ve vadeli işlem sözleşmelerinin fiyatlandırılması için kullanılan ileriye dönük tüketim ve hava tahminleri gibi unsurlar spot piyasalar ile türev piyasaların fiyatları arasında ister istemez bir etkileşimin olduğunu göstermektedir. Ayrıca Avrupa Komisyonu da elektriğin spot fiyatlarında kalıcı bir artışın alivre sözleşmelerinin fiyatlarını etkileyeceğini belirtmektedir (Sağlam 2012).

Özet olarak, emtia borsalarının asıl işlevinin spot ve vadeli piyasaları daha organize şekilde bir araya getirmek ve tarafların borçlarını yerine getirmeme risklerine karşı kendi bünyesinde kurulmuş takas merkezi gibi yapılar ile daha güvenli bir emtia ticareti gerçekleştirmelerine yardımcı olmak olduğu söylenebilir. (Chatnani 2010, 54).

2.2 Elektrik Enerjisi Piyasaları

Elektrik borsaları (*power exchange*) da emtia borsalarının elektrik piyasasındaki karşılığıdır. Elektrik genellikle bir “meta” olarak görülse de, depolanamıyor oluşu, elektrik piyasalarının diğer piyasalara kıyasla altyapı ve organizasyon yönünden önemli ölçüde farklı olmasına yol açmıştır. Elektrik enerjisi, belirli bir zaman aralığında teslim edildiğinden “akıcı meta” olarak adlandırılmaktadır.

Liberalleştirilmiş enerji piyasalarında elektrik, standart sözleşmelerin oluşturulduğu bir açık artırma sistemiyle alınıp satılmaktadır. Bu sözleşmelerde, belirli bir miktar elektriğin, belirli bir süre zarfında teslim edilmesi taahhüt edilmektedir. Bazı sözleşmeler fiziksel teslim öngörürken bazıları da sadece finansal sözleşmelerdir.

Finansal sözleşmeler, spot elektrik fiyatına bağlı olup ve nakit para ile alım-satımı gerçekleşir. Bu tip sözleşmelerin piyasası, spekülâtorlere de açıktır zira piyasaya katılım için elektriği üretmek veya tüketmek gerekmemektedir.

Elektriği diğer emtialardan ayıran kendine has özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Elektrik depolanamayan bir enerji çeşidi olduğu için üretildiği anda tüketilmesi gerekmektedir. Bu yüzden elektriğin anlık arzını ve talebini sürekli denetleyen, gözetleyen ve bu arz – talebi dengede tutan bir merkezin ya da sistem operatörünün olması gerekmektedir.

- Elektriğin talep esnekliği çok düşüktür. Örneğin, herhangi bir hane halkının elektrik ihtiyacının esnekliği uzun dönemde dahi -0,15 ile -0,25 arasında bulunmaktadır (Hope 2005). Elektriğin bu kadar düşük esneklikte olmasının sebebi elektriğin tüketici için alternatifi olmayan ve vazgeçilemeyecek bir emtia olmasından kaynaklanmaktadır. Talep esnekliğinin düşük olmasını etkileyen diğer unsur ise perakende seviyesindeki tüketicinin elektrik fiyatının gerçek zamanlı dalgalanmasından haberdar olamamasıdır. Mevcut teknoloji ile tüketiciler için gerçek zamanlı elektrik fiyatlarının sağlanabilmesi mümkün değildir. (Giulietti, Grossi, Watersen 2009,8). Bu sektörün pahalı bir alt yapı gerektirmesi de esnekliğin düşük olmasında rol oynamaktadır (Rothwell ve Gomez 2003,120).

• Elektrik tüketiciye iletim hatları vasıtasıyla nakledilmektedir. İletim hatlarının taşıyabileceği belirli bir üst limit bulunduğundan üst limitin aşılması durumunda hatlarda fazla yüklenmeden dolayı arıza çıkabileceği gibi sistemin çökmesine de sebep olunabilmektedir. Bu durum üreticiye iletim maliyeti tüketiciye de ek fatura maliyetine neden olmaktadır. Bu risklerin azaltılması için gerekli önlemleri sistem operatörü almaktadır (Kölmek 2009).

Elektrik piyasalarının diğer emtia piyasalarından farklı olması yeni piyasa katılımcılarını da zorunlu kılmıştır. Elektrik piyasasındaki katılımcıları şöyle özetleyebiliriz;

- 1) Çeşitli kaynaklarla elektrik üreten üreticiler (nükleer, doğal gaz, kömür, nükleer vb.),
- 2) Elektriği tekrar satmak amacıyla üreticiden alan toptan satış şirketler ve dağıtım şirketleri,
- 3) Serbest tüketici konumundaki büyük endüstriyel tüketiciler,
- 4) Elektriği alıp satan traderlar,
- 5) Sistem operatörleri.

Elektriğin üretimi ve tüketimi arasındaki dengenin sağlanmasından ve iletim hatlarında bir tıkanıklık meydana gelmeden elektriğin üreticiler ile tüketiciler arasında sorunsuz bir şekilde iletilmesinden sistem operatörü sorumludur. Ayrıca sistem operatörü sistemin mali uzlaştırmasından da sorumludur. Sistem operatörünün yaptığı

uzlaştırma işlemi gelişmiş sistemlerde, yani elektrik borsası yapılanmasını tamamlamış sistemlerde, yerini piyasa (borsa) operatörüne bırakmaktadır.

Sistem operatörü dışında kalan piyasa katılımcıları, çeşitli amaçlarla spot elektrik piyasasını kullanmaktadırlar. Örneğin, üreticiler fazla kapasitelerinden dolayı elektriği sunmak için kullanabilir. Ayrıca ikili anlaşmalarla büyük tüketicilere elektrik sunabileceği gibi kapasitelerinin yetmediği durumlarda eksik kalan kısmı piyasadan satın alabilmektedirler. Ayrıca, piyasada oluşan fiyatlar kendi üretim fiyatlarından düşük olduğu takdirde piyasadan elektrik alarak spot elektrik piyasalarını kullanabilmektedirler. Büyük endüstriyel tüketiciler de yaptıkları ikili anlaşmalarla elektrik ihtiyacını tamamlayamamışlarsa spot piyasada elektriği alış yönünde kullanabilecekleri gibi eğer ikili anlaşmalarla çok fazla elektrik sağlama anlaşması yapmışlarsa veya piyasada oluşan fiyat tüketicinin aldığı fiyattan fazla ise fazla olan elektriği piyasada satım yönünde de kullanabilmektedirler. Traderlar, daha çok, çeşitli elektrik piyasalarında oluşan arbitraj olanaklarından yararlanmak ve özellikle fiyat dalgalanmalarından faydalanmak amacıyla spot elektrik piyasalarında yer almaktadırlar. Ayrıca, katılımcılar dalgalanmalardan faydalanmak ve riskten korunmak amacıyla türev elektrik piyasalarını da kullanmaktadırlar (Boisseleau 2004, 146-151).

2.2.1 Spot Elektrik Piyasaları

Spot elektrik piyasasının tanımında ve alt piyasalara ayırımında ciddi karışıklıklar mevcuttur. Örneğin, Avrupa'da spot elektrik piyasaları gün öncesi piyasasını ifade ederken Amerika'da gerçek zamanlı elektrik piyasasına karşılık gelmektedir

(Bouisseleau 2004, 61). Bazı uzmanlar da spot elektrik piyasasını Amerika'daki sisteme daha yakın olarak, gerçek zamanlı piyasa olarak tanımlamaktadır (Stoft 2002, 204). Dolayısıyla genel olarak, spot elektrik piyasalarının gün öncesi ve dengeleme piyasası olarak iki şekilde tanımlamak mümkündür. Sözleşmenin ifasının elektriğin üretimine veya tüketimine bağlı olduğu sözleşmeler olan fiziksel teslimli sözleşmeler genellikle bu iki piyasada gerçekleşir. Ayrıca, kapasitenin sınırlı olması ve arz ile talebin dengeye ulaşmak zorunda olması sebebiyle, bu piyasalar bir iletim operatörü (TSO: Transmission system operator) tarafından idare edilir.

Dengeleme piyasası ile genel olarak gerçek zamanlı piyasa olarak ifade edilmektedir. Dengeleme piyasası işlevsel olarak gün öncesi piyasada hesap edilemeyen üretim ve tüketime ilişkin dengesizliklerin, sapmaların veya öngörülemeyen koşulların gün içerisinde düzeltilmesini sağlamaktadır (Camadan 2009,18). Elektriğin talep esnekliği çok düşük bir emtia olduğu belirtilmişti. Bu durum, elektrik talebinde daha önceden hesaplanamayan bazı sapma ve riskleri meydana çıkarabilmektedir. Tüketimde ortaya çıkan sapmalara benzer üretimde de teknik arıza ve aksaklıklardan dolayı hesaplanamayan bazı problemlerin ortaya çıkması mümkündür. Üretim ve tüketim tarafındaki gün öncesi hesaplanma ihtimali olmayan sapmaların, arızaların ve dengesizliklerin sisteme zarar vermeden en aza indirgenebilmesi için bu piyasa kullanılmaktadır.

Dengeleme piyasasında, kısa süreli yukarı aşağı dengeleme iletim operatörü tarafından düzenlenmektedir. Teklifler, piyasa işletmecisine sunulur. Üzerinde anlaşılmalı kurallara uygun bir şekilde teklifler sunulabilir veya sunulmuş teklifler üzerinde değişiklikler yapılabilir. Piyasaya hem arz, hem de talep tarafından, fiyatın

miktarın ve zaman aralığının belirtildiği teklifler yapılır. Bu teklifler, yukarı dengeleme (artan üretim veya azalan tüketim) ya da aşağı dengeleme (azalan üretim veya artan tüketim) için yapılabilir. Piyasa işletmecisi her saat için teklifleri önem sırasına ve fiyata göre listeler. Bu listeler, her saatte güç sistemini dengelemek için kullanılırlar. Yukarı dengeleme, şebekedeki enerji eksikliğini çözmek için uygulanır. Bu durumda piyasa fiyatı, değer sırasındaki en üst miktardan belirlenir. Şebekedeki enerji fazlalığında ise, aşağı dengeleme uygulanır ve katılım listesindeki en düşük fiyat, piyasa fiyatı olarak belirlenir. Her ülkedeki açık artırmalar, “Walrasian” açık artırmalarıdır. Fakat gün dengesizliklerindeki saatlik fiyatlara dair kurallar, operatörden operatöre değişiklik göstermektedir. Gerçek zamanlı piyasanın dışında, operatörler, enerjiyi dengelemek ve bu dengeleme için gerekli rezervleri sağlamak amacıyla ikincil hizmetler için yeni piyasalar da oluşturmaktadırlar.

Elektrik üretim ve tüketiminin bir sonraki güne ilişkin verilerinin bir gün önceden hesaplandığı ve planlandığı piyasaya gün öncesi piyasa denmektedir. Bir tanımda gün öncesi piyasa “ *her bir piyasa katılımcısının bir sonraki günün her bir saatine ilişkin olarak standart ve önceden tanımlanmış kurallar çerçevesinde fiyat-miktar olarak alış-satış teklifleri verdiği, oluşan arz-talep eğrilerinin kesiştirilmesiyle de piyasa takas fiyatının belirlendiği piyasa*” olarak açıklanmıştır (Yücel 2011, 20).

Serbest elektrik piyasalarının çoğunda gün öncesi piyasaları da bulunmaktadır. İskandinav bölgesinde faaliyet gösteren ve Nord Pool tarafından düzenlenen Elspot piyasası, zorunlu olmayan bir gün öncesi piyasasıdır. United Kingdom Power Exchange (UKPX), Powernext ve EEX piyasaları da, zorunlu olmayan gün öncesi piyasaları arasındadır. İspanya’da faaliyet gösteren Omel ise, zorunlu bir gün öncesi piyasasıdır.

Elsport' da, saatlik güç sözleşmeleri, bir sonraki 24 saat içerisinde (gece yarısından gece yarısına) fiziksel teslim yapılacak şekilde, gün içerisinde alınıp satılmaktadır. Örneğin Nord Pool Spot Piyasasında; Norveçli, İsveçli, Finlandiyalı ve Danimarkalı aktörler ertesi günün her saati için saatlik sözleşmeler alıp satarlar. Her sabah bu aktörler, belirli bir miktar elektriğin belirli saatler içerisinde alımına veya satımına dair tekliflerini sunarlar. Öğle vakti piyasaların kapanmasından sonra, ertesi gün piyasa fiyatları belirlenir. Bu fiyata “sistem fiyatı” adı verilir ve bütün İskandinav ülkelerinde uygulanır. Kapasite sorunları sebebiyle bir tıkanıklık oluşması durumunda, İskandinav piyasası bölgesel olarak bölünür ve bölgesel fiyatlar ortaya çıkar. Her sözleşmede belirli bir yük ve zaman dilimi öngörülmektedir. Yani, gün öncesi piyasasında, bir sonraki günün belirli saatinde elektrik teslimi yapılmasıyla ilgili, ileriye dönük sözleşmeler kurulmaktadır (Espen vd. 2007).

2.2.2 Türev Elektrik Piyasaları

Elektrik piyasası katılımcıları, türev elektrik piyasalardaki sözleşme yöntemlerini kullanmaktadırlar. Bu sözleşmeler, belli miktar elektriğin, belli bir bedel karşılığında, ileriye dönük belli bir tarihte alım veya satım işlerini gerçekleştirmek üzere imzalanır. Taraflar bu sözleşmeler ile elektriğin fiziki teslimi anında oluşacak dalgalanma veya risklerden sözleşmenin imzalanma anı itibariyle korunmaya çalışırlar. Ayrıca taraflar bu sözleşmeler ile ileriye dönük elektrik emtiası alım satımını gerçekleştirirken fiziki teslim anında alıcı veya satıcı bulamama gibi karşılaşılabilecek risklerden de korunmaya çalışırlar. Her emtia piyasasında olduğu gibi türev elektrik piyasasında da ne üretici ne

de tüketici tarafında yer almayan, elektrik piyasalarındaki dalgalanmalardan ve piyasalar arası fiyat farklarından yararlanmaya çalışarak kar elde etmek amacıyla işlem yapan ve piyasaya belli likidite sağlayan traderlar da bulunmaktadır.

Finansal elektrik sözleşmelerinin alım satım kuralları ve özellikleri, borsadan borsaya değişiklik göstermektedir. Bu kısımda, dünyanın en eski türev elektrik piyasası olan Nord Pool' da işlem gören sözleşmeler üzerinden türev elektrik piyasalarının işleyişi anlatılmıştır.

Nord Pool, 1995 yılından bu yana finansal elektrik sözleşmeleri alım satımına olanak tanımaktadır. Sözleşmeler saatlik gün öncesi fiyatlarına (Nord Pool sistem fiyatı) göre düzenlendiğinden, toplam elektrik enerjisi miktarı;

$$DP \times 24 \text{ MWh},$$

formülüyle bulunabilmektedir. DP (*delivery period*), teslim zaman dilimi anlamına gelmektedir ve burada gün ile ölçülmektedir. Bunlar, ana yük sözleşmeleridir. Farklı teslim zaman dilimi içeren sözleşmelerle kıyaslayabilmek için, fiyatlar sabit akışla teslim edilen 1MWh gücün Euro cinsinden fiyatları olarak listelenir.

Nord Pool'da 1995 yılından bu yana, sözleşme özellikleri defalarca değiştirilmiştir. Azami yük sözleşmeleri ilk iki yıl mevcutken, düşük likidite sebebiyle daha sonra piyasadan çekilmişlerdir. 2007 yazında ise, tekrar piyasaya sürülmüşlerdir. Ayrıca aylık ve mevsimlik sözleşmelerin, teslim zaman dilimleri de değişikliğe uğramıştır. Dört haftalık zaman dilimli blok sözleşmelerin yerini, takvim aylarına göre düzenlenen aylık sözleşmeler almıştır. Üç aylık sözleşmelerin yerini ise, çeyrek yıl

sözleşmeleri almıştır. Bu çeyrek yıl sözleşmeleri ilk defa, 2005 yılında piyasaya sürülmüştür.

Her yıl Ocak ayının ilk alım satım dönemi (sözleşmelerin alım satıma açık olduğu zaman aralığı anlamına gelmektedir), dört yeni çeyrek yıl sözleşmeleri (Q1, Q2, Q3 ve Q4) listelenir. Yeni Q1 sözleşmeleri iki yıl, Q2 sözleşmeleri iki yıl ve üç ay vs. için işlem görürler. Üç yıl işlem gören yeni yıllık sözleşmeler de piyasaya sürülür. Böylece, elektrik fiyat rizikosunu üç ile dört yıl arası bir süre için “hedge” etmek mümkündür. Her ay, bir aylık sözleşme listeden kaldırılır ve yerine altı ay boyunca işlem göreceği yeni bir aylık sözleşme piyasaya sürülür. Her hafta, bir haftalık sözleşme listeden kaldırılır ve sekiz hafta boyunca işlem göreceği yeni bir haftalık sözleşme piyasaya sürülür. Günlük sözleşmeler her Perşembe açıklanır. Cuma sözleşmesi sadece bir gün alınıp satılabilirler. Bütün sözleşmeler, teslim dönemi öncesi son işlem gününe kadar alınıp satılabilirler.

Sözleşmeler, işlem döneminde nasıl ifa edildiklerine göre değişiklik arz ederler. Günlük ve haftalık sözleşmeler “*futures*” (vadeli) sözleşmelerdir. Bu tür sözleşmelerin değerleri günlük olarak hesaplanır ve piyasadaki değişimleri yansıtır. Bu farklar, her katılımcının marj hesabını etkiler. Aylık, çeyrek yıllık veya yıllık teslim sözleşmeleri ise “*forward*” (ileri) sözleşmelerdir.

Nord Pool’ un finans piyasası aynı zamanda opsiyon sözleşmeleri ve fark sözleşmelerinin alım satımına da imkan tanımaktadır. Alım ve satım opsiyonları, vadeli (futures) elektrik sözleşmelerine yazılır ve bu opsiyonlar Avrupa tiplidir. Uygulama günü, sözleşmede belirtilen teslim döneminden önceki ayın üçüncü Perşembe’sidir.

Opsiyonlar eyrek yıllık ve yıllık sözleşmeler üzerinde alınıp satılır. EEX (European Energy Exchange) piyasası da vadeli elektrik sözleşmeleri üzerinde opsiyon alım satımına imkan tanımaktadır. Asya opsiyonları, borsa dışı çift taraflı alım satım işlemlerinin sistem fiyatı üzerinden yazılır (Eспен vd. 2007).

Günümüzde türev sözleşmeleri; alivre sözleşme, vadeli işlem sözleşmeleri ve vadeli işlem sözleşmelerinin bir şekli olan opsiyon sözleşmelerini kapsayacak şekilde genişlemiştir. Ayrıca elektrik piyasasında alivre sözleşmeler ile vadeli işlem sözleşmeleri dışında bazı türev sözleşmeleri de bulunmaktadır.

Bu sözleşmeler:

- **Elektrik Takas Sözleşmeleri (*Electricity Swaps*):** bu sözleşmeler ile taraflar arasında belirlenmiş olan MWh başına sabit fiyat ile, elektrik borsasındaki spot fiyatı referans olarak oluşan değişken fiyat arasındaki farkın taraflar arasında el değiştirmesini öngören sözleşme çeşididir. Bu tarz sözleşmeler genel olarak sabit ve değişken tarifeye sahip iki taraf arasında, elektriğin gelecekteki fiyatına ilişkin farklı beklentiler sebebiyle, karşılıklı yükümlülüklerin üstlenmesi üzerine kurulmaktadır.

- **Elektrik Opsiyonları (*Electricity Options*):** Elektrik piyasalarında kullanılan opsiyon sözleşmeleri finansal piyasalarda kullanılan opsiyon sözleşmelerinin benzeridir. Bu sözleşmeler, opsiyon alıcısına opsiyonda belirlenen şekilde belli miktardaki elektriği belli bir fiyattan alma veya satma *hakkı* tanıyan sözleşmelerdir ve satım opsiyonları (*put options*) ve alım

opsiyonları (*call options*) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Satış yönündeki opsiyonlara satım opsiyonları, alım yönündeki opsiyonlara alım opsiyonları denilmektedir. Opsiyon sözleşmeleri bir prim karşılığında alıcılara belli bir hakkı kullanmaları için satılmaktadır. Elektrik piyasasında kullanılan değişik opsiyon sözleşmeleri bulunmaktadır. Bunlardan tavan fiyat opsiyonu (*cap*); perakende veya dağıtım seviyesinde bulunan işletmelere elektrik alımı için bir tavan fiyat belirleme olanağı sunmaktadır. Diğer opsiyon sözleşmesi ise taban fiyat opsiyonu (*floor*); genel olarak üretim seviyesinde bulunan işletmelere elektrik satışı için bir taban fiyat belirleyebilme olanağı sunmaktadır. Yaka Opsiyonu (*Collar*): Yaka opsiyonu sözleşmesinde ise opsiyon alıcısına tavan fiyat opsiyonu ile taban fiyat opsiyonu arasında bir hesaplama yapılarak elektrik fiyatının belirli bir aralık arasında kalmasını garanti verilmektedir.

• **Spark Spread Opsiyonları:** Üretim için kullanılan yakıt ile elektrik fiyatı arasındaki farkı ifade etmek için *spark spread* terimi kullanılmaktadır. Bu opsiyon türü de alıcısına bu aradaki farkın kendisine ödenmesi hakkını tanımaktadır. Bu sözleşmede, opsiyon alıcısı elektrik üretiminde kullandığı yakıtın bedel değişim riskini ortadan kaldırmış olur. Ayrıca elektrik satışından elde edeceği geliri, yakıtsal maliyetleri çıkardıktan sonra sabitlemiş olmaktadır (Deng ve Oren 2006, 945).

• **Finansal İletim Hakkı Sözleşmesi (FTR):** Diğer sözleşmelerden farklı olan finansal iletim hakkı sözleşmesi iletim seviyesine ilişkin bir sözleşme

çeşididir. Bu sözleşmeler, iletilmesi planlanan elektriğin iki nokta arasındaki konumsal fiyatlarında iletim kısıtları sonucu ortaya çıkacak farklılıklar neticesinde oluşabilecek ticari riskleri ortadan kaldırmak amacıyla yapılmaktadır.

3. BÖLÜM

RİSK VE ELEKTRİK FİYATI

1990 lı yılların başında elektrik ve gaz piyasalarının serbestleşmeye başlaması, dünyanın dört bir yanında spot ve türevsel ürünler için yeni piyasaların açılmasına vesile olmuştur. Hava, taşıma ve sera gaz salınım haklarının menkul kıymetleştirilmesi, enerji piyasalarında aktif olan üreticilerin ve tüketicilerin daha etkin ve esnek bir şekilde risk kontrolünde bulunmasına imkân sağlamıştır (Espen vd. 2007). Elektrik pazarlarının serbestleşmesiyle oluşan elektrik borsaları, spot elektriğin ve elektrik türevlerinin ticaretinin, diğer menkul ve teminatların finansal pazardaki borsalarda ticaretinin yapılmasını benzer şekilde olanaklı hale getirmiştir (Vehvilainen ve Keppo 2003:136). Bunun yanında, elektrik pazarındaki kısıtlayıcı düzenlerin kaldırılması, eskiden tekele ait olan kaybetme riskinin küçük olduğu pazarlarda rekabet ortamının oluşmasını sağlamıştır. Oluşan bu rekabet ortamı yeni riskleri de beraberinde getirmiştir.

Elektrik depolanamaz ve temel olarak tüketim için satın alınır. Liberal elektrik pazarları, diğer teminat ya da ticari mal pazarlarına göre çok daha volatilitate bir yapıya sahiptir. Bu sebeple, pazarın aktörleri, değişken pazar şartlarından kaynaklanan önemli risklere maruz kalırlar. Bu durum, gittikçe artan rekabet ortamında oluşan risklerin idaresini; dünyanın her yerinde, piyasa katılımcılarının odak noktası haline getirmiştir.

3.1 Elektrik Piyasasında Risk Çeşitleri

Elektrik piyasalarındaki riskin farklı sebepleri vardır. Wangensteen (2001) göre, İskandinav elektrik pazarında üç ana risk kaynağı vardır, bu risk kaynakları aynı zamanda tüm liberal piyasalarda da görülmektedir. Bu riskler:

1. Piyasa riski: Bu risk, arz ve talep değişikliklerinden kaynaklanan fiyat dalgalanmalarına bağlıdır. Bu risk dâhilinde;

- Fiyat riski: Bu future spot fiyatlarındaki belirsizlikle ilişkilidir.
- Hacim riski: Bu risk elektriğin future hacmi ile ilgilidir ve havaya bağlı tüketimden kaynaklanır.
- Karşı taraf riski: Bu risk sözleşme taraflarının ödeme yapmaması veya elektriği teslim etmemesi riskidir.
- Likidite riski: Bu risk bazı pazarlarda dönemsel olarak düşük likidite tecrübesi yaşanmasından kaynaklanır. Bu durum istenilen zamanda kapatma veya pozisyon değiştirme hareketlerini kısıtlar.

Hacim riski ve fiyat riski tamamen bağımsız değildir. Çünkü talep arttıkça fiyat da artma eğilimindedir.

2. Stratejik risk: Politik kararlarla bağlantılıdır ve dış değişiklikleri kapsar. Örneğin, enerji yasa değişiklikleri, tavizler, güç değişimi için kurallar, emisyon ticari tanıtımı, faiz oranları ve döviz girişi gibi.

3. Teknik risk, üretim ve depolama tesislerinin kesintileri ile ilişkilidir.

3.2 Elektrik Fiyatının Önemi

Elektrik endüstrisinin liberalleşmesiyle meydana gelen, yeni rekabetçi yapının temel amacı şirketler arası rekabeti teşvik ederek elektrik fiyatlarını düşürmektir. Bununla birlikte, liberalleşme elektrik fiyatlarında kısmi bir belirsizlik de oluşturmuştur. Bu da yeni sistemde fiyat tahminlerini daha önemli kılmıştır. Bu tahminlerdeki doğruluk, piyasa katılımcılarının sağlıklı risk yönetim stratejileri oluşturmaları açısından çok kritiktir.

Elektrik üreticilerinin, yatırımcıların ve enerji tüccarlarının elektrik fiyatlarının eğiliminin hangi yönde olduğunu bilmek istemeleri kaçınılmazdır. Söz konusu tarafların stratejileri ve kârları pazarın hangi yönde ilerleyeceğinin doğru tahmin edilmesine bağlıdır. Fiyat tahmininin, kâr/kazanç, pazar payı ve hissedar değerleri üzerinde kayda değer etkisi vardır. Bununla birlikte, fiyatları doğru bir şekilde öngörmek sadece pazar katılımcılarının ilgilendiği bir konu değildir(Eggen, Magne ve Grøntvedt 2005).

- Kredi derecelendirme ajansları, pazardaki farklı oyuncuların fiyat dalgalanmaları ve risklere maruziyetlerini izleme ihtiyacı hissetmektedir.
- Dağıtım şirketleri, müşterilerinin ne kadar elektrik kullanabileceğini bilmek zorundadır ve fiyat, tüketim seviyesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Beklenen arzın güvenilir bir şekilde tahmin

edilmesiyle, dağıtım şirketleri kısa ve/veya uzun dönem anlaşmaların gerekliliklerini temin edebilmek için daha iyi stratejiler tasarlayabilmektedir.

- İletim şirketleri ya da işletmecileri fiyatların bölgeye göre nasıl değişeceğini bilmek zorundadırlar çünkü; her hangi bir boşluğa karşı pazar tepkisi bölgeler arası ticarete bir yükselişe sebep olacaktır. Kendi bölgelerinde fiyatların öngörülmesi, ağ işletmecilerine belirli seviye ve tiplerde sevklerin hazırlanmasında ve planlanmasında yardımcı olacaktır.

- Büyük endüstriyel müşteriler fiyat volatilitelerinin etkilerini belirlemek için öngörülere ihtiyaç duyarlar. Güvenebildikleri bir öngörüyle bu kişiler risklerini kontrol altında tutabilirler. Bunun için kullanabilecekleri araçlar; uzun dönem, sabit fiyatlı sözleşmeler, arz tepkili programlara katılım ve kesintisiz arz sözleşmeleridir.

3.3 Elektrik Fiyatının Karakteristiği

Elektriğe ekonomik açıdan baktığımızda, elektriğin depolanamayan bir emtia olması, arz ve talep dengesinin bıçak sırtında olmasına neden olmaktadır. Yüklemedeki veya üretimdeki küçük değişiklikler birkaç saat içinde elektrik fiyatında büyük oynamalara sebep olabilmektedir. Elektrik fiyatını diğer emtialardan ayıran karakteristik özellikleri kısaca aşağıdaki başlıklar altında toplayabiliriz.

3.3.1 Depolanamayan Bir Ürün Olması

Elektrik, çok sınırlı olan saklanabilirliği ve taşınabilirliğinden dolayı akış emtiası (*flow commodity*) olarak kabul edilir. Bu iki durum da elektriğin zaman içinde iletilme olasılığını kısıtlayan ve elektriğin spot ve türev fiyatının diğer emtia ürünlerine nazaran farklı şekilde açıklanmasını sağlayan önemli özelliklerdir. Elektrik emtiası için arbitraj olanakları, taşınabilirliği ve saklanabilirliği giderilememesi halinde sınırlıdır(Lucia ve Schwartz 2002).

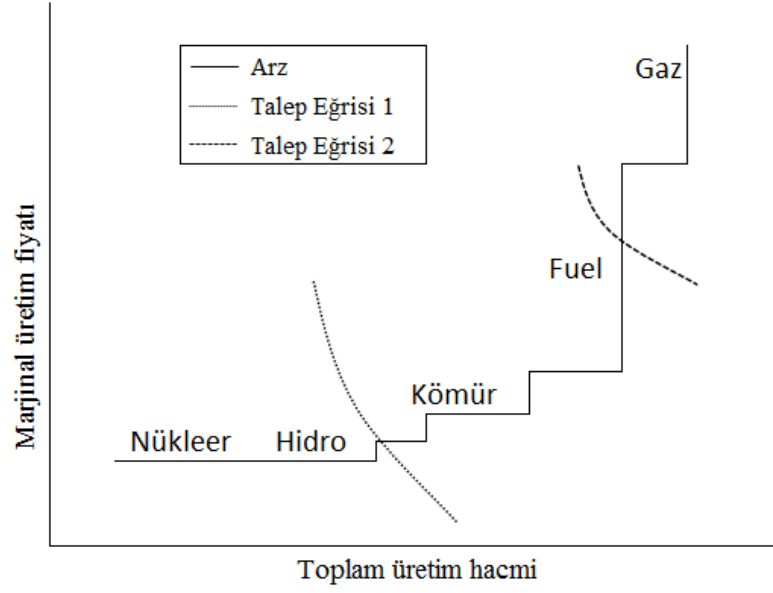
Nord Pool gibi hidroelektrik santral ağırlığının fazla olduğu piyasalarda üreticiler su depolarında elektriği dolaylı olarak saklayabilirler ancak; Almanya veya Türkiye gibi termal tabanlı sistemlerde üreticilerin yakıt depolama olasılığı dışında depolama olanakları kısıtlıdır.

Elektrik yüksek değişkenliği ile karakterize edilen özel bir emtiadır ve bu değişkenlik temel olarak elektrik enerjisinin depolanamamasından kaynaklanır. Elektrik enerjisi çok masraflı ve ekonomik olarak sürdürülemez yollar kullanılmadan depolanamaz. Sadece su stokları, elektriğin oluşumunu idare için alternatif depolama metodu olabilir. Çeşitli çalışmaların sonuçlarına göre, bu kaynakların çok olduğu İskandinav ülkelerinde ya da Amerika'da, elektrik fiyatları daha az *spike*' a sahiptir; çünkü hidroelektrik santraller, üretim aşamasında daha çok esneklik imkânı sağlar. Bu nedenlerden dolayı, elektrik anlık tüketim emtiası olarak düşünülmelidir. Fiyatları etkileyebilecek ikinci faktör ise iletim ağlarının kısıtlı yapısıdır. Farklı alanlar arasındaki fiyat değişimleri iletimden, bakım-onarımdan ve fabrika/işletme masraflarından kaynaklanır. Bunun dışında elektrik kesintisine yol açabilecek olası aşırı yüklemeler,

santrallerin devre dışı kalması ve teknik ağ hataları da elektrik fiyatını etkileyen önemli etkenlerdir.

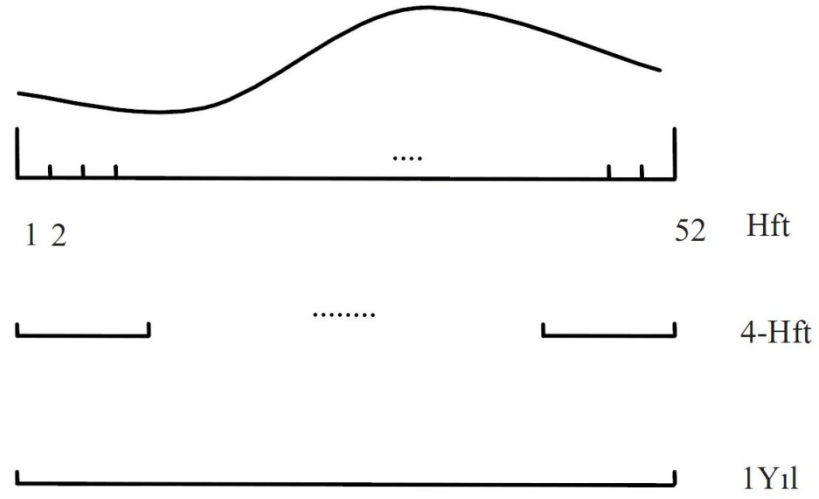
3.3.2 Mevsimsel Olması

Elektriğin depolanamaması, elektriğin talep edildiği zaman ve yer için anlık üretilmesini gerektirir. Diğer bir deyişle fiyatlar yüksek derecede elektrik talebine bağlıdır. Böyle kompleks bir sistemde, fiyat ve tüketim arasındaki bağlantıyı analiz etmek çok zordur. Tüketim, spot fiyatlarla karşılaştırıldığında çok daha az değişken bir eğilim göstermesine rağmen, aynı devirli değişimi gösterir. Bu nedenle talep esnekliğinin çok düşük olduğunu söylenebilir; fakat fiyatlar tüketim seviyesinden büyük oranda etkilenir. Yüksek miktarlarda olan tüketim aslında fiyatlardaki zirveleri belirler. Talepteki artış, elektrik üretiminde daha pahalı enerji kaynaklarının kullanılmasını belirler. Diğer bir deyişle, tüketimin büyümesi ve bu yüzden üretim miktarının artması, üretimin marjinal maliyetini arttırır. Üretimin marjinal maliyetleri, nükleer, hidrojen, kömür, yağ yada gaz kullanımına bağlı olarak eksponansiyel artarak yükselir (Şekil 3.1 de belirtildiği gibi). Elektrik fiyatının döngüsellığı ve elektrik talebi kompleks bir durumu ifade eder. Elektrik piyasaları üç farklı türde mevsimsellik gösterir. Birincisi, kış mevsiminde yapay ışığın ve ısıtmanın fazla kullanılmasına ve yaz mevsiminde artan havalandırma/klima kullanılmasına bağlıdır (Şekil 3.2). Mevsimselliğin ikinci türü haftalıktır ve hafta içi ile hafta sonu günleri arasındaki farklılığa bağlıdır (Şekil 3.3). Son olarak, gün içerisinde gece ve gündüz arasındaki değişimlere bağlı olarak günün farklı valitleri boyunca bir periyodik tekrarlama görülür (Şekil 3.4).

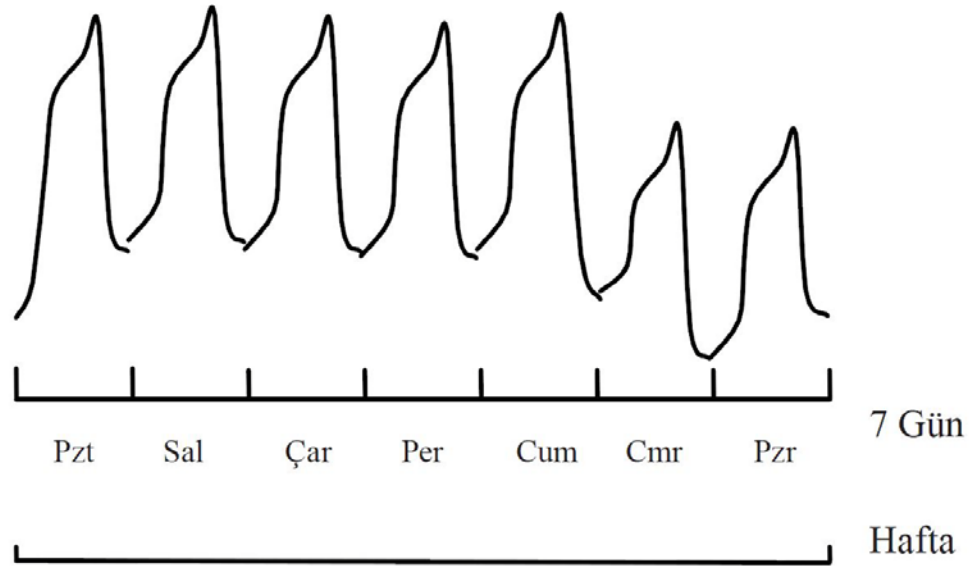


Şekil 3.1: Marjinal Üretim Maliyeti

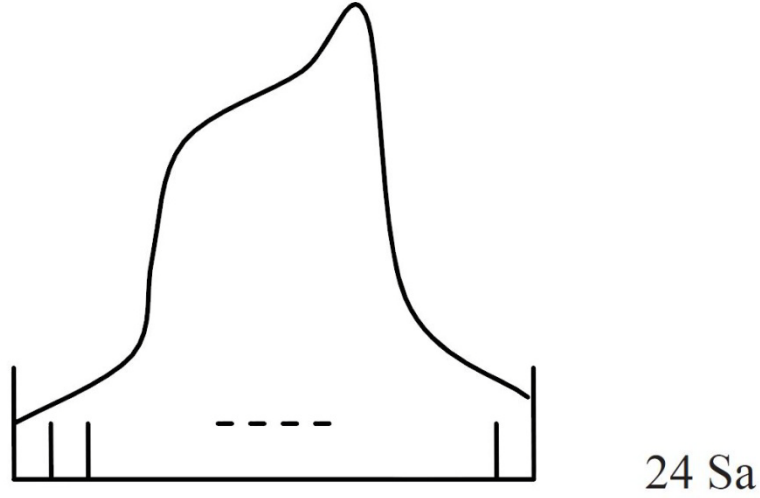
Bununla birlikte, alışkanlıkların ve iklim şartlarının farklı ülkeler arasında değişeceği göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle, mevsimsellik her pazara göre ayrı analiz edilmesi gereken bir olgudur. Bunlara ek olarak, aşırı sıcaklar ve soğuklar, çevresel felaketler, belirli sosyal olaylar ve teknik problemler (jeneratörlerdeki hatalar gibi) elektrik fiyatını önemli derecede etkileyen istisnai unsurlardır (Serati, Manera ve Plotegher 2008).



Şekil 3.2: Yıllık dönemsellik



Şekil 3.3: Haftalık dönemsellik



Şekil 3.4: Günlük dönemsellik

3.3.3 Ortalamaya Dönme (*Mean Reverting*) Özelliği

Mevsimselliğinin yanında, elektrik spot fiyatlarının diğer emtia fiyatlarından daha belirgin şekilde *mean reverting* yapısına sahip olduğu kabul edilmektedir. Elektrik piyasasında gözlemlenen bu “*mean reversion*” yapı, elektrik piyasalarını diğer finansal piyasalardan farklı kılan önemli bir özelliktir.

Örneğin, faiz piyasaları zayıf bir formda “*mean reversion*” yapı sergiler. “*Reversion*” in mutlak oranı ekonomik döngüyle ilişkilidir ve bu sebeple yavaştır. Buna karşın, elektrik piyasasında “reversion” hızı oldukça güçlüdür. Bu durum elektrik piyasasının yapısından kaynaklanan bir durumdur. Talepte bir artış olduğunda, arz tarafında daha yüksek marjinal maliyetli üretim kazancıyla piyasaya bir giriş olur. Bu durum, fiyatların daha da yukarı çekilmesine neden olur. Talep normal seviyelere döndüğünde, söz konusu yüksek marjinal maliyetlerle orantılı olarak üretim kazancı kesilecek ve fiyatlarda normal seviyesine dönecektir. Üretim kazancının işleyişi için

gerekli olan bu rasyonel işletme politikası, elektrik spot fiyatlarındaki mean reversion düşüncesini desteklemektedir. Üstelik hava ve iklim gibi, talebin belirleyici faktörleri de döngüseldir ve mean reverting yapısının oluşmasında önemli etkenlerdir.

3.3.4 Volatilité

Çoğu emtia piyasalarında, üretim ya da talep-zinciri problemlerinin fiyat etkileri fazla stok yardımıyla azaltılabilir. Buna karşın, çoğu elektrik sistemleri pratik kullanımlı depolamadan mahrumdur. Arz ve talebin sürekli dengelenmesi ihtiyacından dolayı, elektrik piyasaları belirgin şekilde kısa dönemli ani değişimler (volatilité) gösterir. Petrol ve gaz emtialarının volatilitesi sırasıyla %3 ile % 5 arasında değişirken, elektrik spot fiyatları çok yüksek günlük ortalama volatilité (10% ile 50% arasında) gösterir. Bu durum, değerlendirilen pazarlara ve fiyat seviyelerine bağılı olarak değişmektedir (Serati, Manera ve Plotegher 2008).

Model girdilerinin değişkenliği ve elektrik piyasasının fiziksel özellikleri, geleneksel emtia piyasalarındaki kısa dönemli ani değişimler bilinmezinin temel sebepleridir. Fiyat modelinde kullanılan sürücülerin gerçek değerlerinde küçük bir sapma, elektrik fiyatının tahminde çok daha büyük sapmalara neden olabilir.

Elektrik piyasasındaki bu ani değişimler saatlik, günlük ve mevsimlik belirsizliklerden kaynaklanır ve bu belirsizlikler temel piyasa sürücüleri ile elektriğin üretim-dağıtım fiziğiyle alakalıdır. Santraller beklenmedik ani yoğunluklara ve değişen emisyon kısıtlarına maruz kaldığında ya da iletim hatlarında tıkanıklık yaşandığında elektrik fiyatlarında dengesizlikler oluşur. Örneğin, ani bir sıcak hava dalgası, artan

talebi saatlik karşılamak için kurulu yedek jeneratör kapasitesinin bile yeteneğini kısıtlayabilir.

3.3.5 Sıçramalar ve Ani Artışlar (*Jumps and Spikes*)

Otalamaya dönme eğilimi, güçlü mevsimselliğe ve volatiliteye ek olarak, elektrik spot fiyatları sık olmayan fakat büyük, ani sıçrama ve artışlar sergiler. Fiyat sıçramaları, enerji şebekesindeki kesintilerden ya da iletim yetersizliklerinden kaynaklanmaktadır ve bu sıkıntılar kısa bir zaman için fiyatlarda büyük artışlara sebep olabilmektedir. Modelleme perspektifinden bakıldığında, fiyat prosesindeki ani fiyat artışları önceden öngörülemez kesintiler ve devamsızlıklardır. Sıçrayışlar (*Spikes*), talepteki ani artışın sonucu olarak yorumlanır ve “talep” mevcut kapasite sınırına ulaştığında elektrik fiyatları pozitif fiyat sıçrayışları gösterir. Daha az talep dönemlerinde ise fiyatlar düşer. Santrallerin işletme maliyetlerinden veya kısıtlamalarından dolayı yeni talep seviyelerine uyum sağlayamadığında negatif fiyat sıçrayışları da meydana gelebilmektedir. Modelleme açısından, fiyat sıçramaları kısa zamanlı aralıklardır ve *Markovian* davranışı göstermezler, fiyatlar büyük oranda ve sürekli bir şekilde iner ya da çıkarlar. Bu olguların oluşmasının temel nedeni, lineer olmayan arz – talep eğrisinin, elektriğin depolanamayan bir ürün olmasıyla kombinasyonudur (Deb vd. 2000).

4. BÖLÜM

ELEKTRİK FİYAT TAHMİN MODELLERİ

Günümüzde birçok ticari fiyat öngörü modeli vardır ve hepsi temelde birbirinden farklı iki yaklaşımdan birini kullanmaktadır. Öz tahmin yaklaşımı, fiyatları elektrik yüklerinin, üreticilerin ve pazar katılımcılarının aylar ve yıllar boyunca saatlik davranışlarını gösteren bir yapısal modelden almaktadır. *Forward curve* yaklaşımı ise gelecekteki fiyatları pazardaki gözlemlenen ticari faaliyetlerden çıkarmaktadır. Bu modelleme gelişmiş pazarların daha çok ilgisini çekmektedir. Bu gelişmiş pazarların bir örneği, erken liberalizasyon sürecinde finansal riskten korunma araçlarını tanıtan Avustralya'daki The Nordic and Victoria piyasasıdır. Clewlow ve Strickland (1999), Cortazar ve Schwartz (1994)'in multi-faktörlü modelini adapte ederek bu piyasaya uyarlamışlardır. Genel olarak, *Forward curve*'ler tüccarların ve son kullanıcıların gelecekte iletilecek elektrik için bugün ne kadar ödemeye niyetli olduklarını yansıtan ileri yönlü fiyatlardan oluşur. İleri yönlü fiyat eğrilerinin geçerliliklerinin altında yatan varsayımlar insanların ileriye dönük işlem yapacakları ve pazarın bu işlemleri karşılayabilecek kapasiteye sahip olması durumudur. Spot elektrik fiyatı tahmin modelleri, bunun aksine gelecekte belirli bir zamanda elektriğin gidiş yönünün tahmin edilmesidir (Ku 2002).

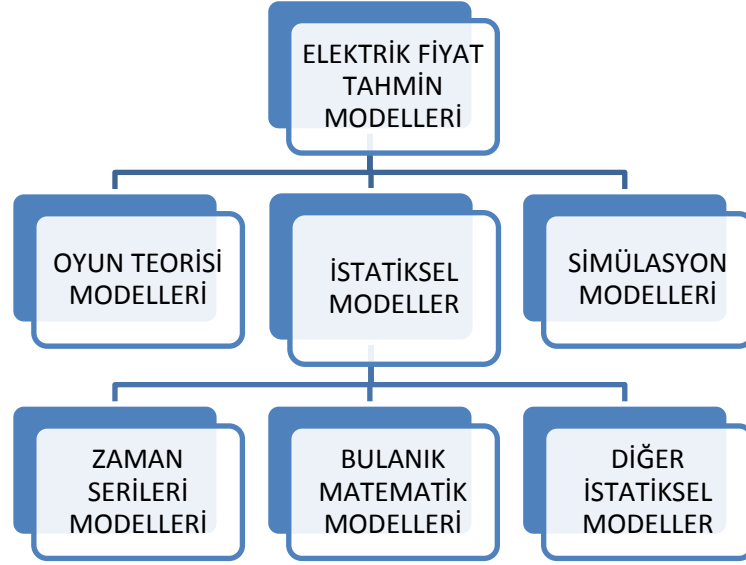
Forward curve'ler ticari faaliyetleri pazara göstermek için kullanılır. Likit ve derin pazarlarda *Forward curve*'ler kolayca ulaşılabilir ve türetilebilirler. Fakat olgunlaşmamış elektrik pazarlarında, ileri eğrilerin neyi tahmin ettiği fazla açık değildir. Bu durumlarda, genellikle fiyat öngörülerinin bir çizelgesinden türetme yapılır. Buradan, ileri fiyat eğrilerinin gelecekte çeşitli yıllardaki olası anlık elektrik fiyatlarının tahminleri olduğu yorumu çıkarılabilir (Bunn ve Karakatsani 2003).

Tablo 4.1: *Forward Curve* ile Fiyat Tahmini Karşılaştırması

Forward Curve	Fiyat Tahmini
Pazar katılımcılarının şu anki faaliyetleriyle ilgilenir	Gelecekte ne olabileceği ile ilgili tahmindir
Pazar her zaman haklıdır. İleri eğrilerin üretilmesinin amacı pazarın nereye gittiğini göstermektir.	Pazar yanılabilir. Öngöründe bulunan pazardaki diğer katılımcılardan daha iyi bir bilgiye sahip olduğuna inanır. Bu bilgiyi “pazarı yenmek” için kullanır.
Bilgi, amaçları planlamak için kullanılmaz.	Bilgi, amaçları planlamak için kullanılır.
Pazara pozisyonları işaretlemek ve likidite değerini belirlemek için kullanılır	Pazara amaçları işaretlemek için kullanılmamalıdır
İlerideki fiyatlar bugün çıkmaza girebilir	İlerideki fiyat öngörülerini bugünle çelişmeyebilir.

Fiyat tahmininde, arz ve talebin aynı anda öngörüsü gerektiği için talep tahminine göre daha fazla belirsizlikler vardır. Bu sebeple mühendislik dışında finans gibi daha farklı tür bilim dallarının kullanılmasına da ihtiyaç duyulmaktadır. Üzerinde tahminde bulunulan zaman aralığı önümüzdeki bir saat olabileceği gibi, yıllar da olabilir. Fiyat

tahmin modelleri genel olarak üç gruba ayrılmakta ve bu başlıklar da Şekil 4.1’ de gösterildiği üzere alt gruplara ayrılmaktadır.



Şekil 4.1: Elektrik Fiyat Tahmin Modelleri

4.1 Oyun Teorisi Modelleri

İlk model grubu, oyun teorisi üzerine kurulmuştur. Piyasa katılımcılarının oyun stratejilerini ve bu stratejilerin sonuçlarını modellemek büyük bir önem arz etmektedir. Mevcut oligopol piyasaların katılımcıları, kârlarını arttırmak amacıyla marjinal maliyetlerine göre teklif (*bidding*) eğrisinden saptıklarından, bu modeller katılımcıların oyunlarının matematik sonuçlarıyla ilgilenmektedir. Böylece, fiyat değişimleri de enerji alım-satım oyununun bir sonucu olacaktır. Bu grubun içerisindeki denge modelleri, piyasa dengelerinin analizi üzerine kurulmaktadır. Nash dengesi, Cournot modeli, Bertrand modeli ve Arz Dengesi (*Supply function equilibrium*) modeli, bu modellerden

birkaçıdır. Oyun teorisi modellerinin incelenmesi başlı başına önemli bir araştırma alanı teşkil ettiğinden, burda ayrıntılı şekilde incelenmemiştir (Deb vd. 2000).

4.2 Simülasyon - Yapısal Modeller

Fiyat tahmin teknolojilerinin ikinci bölümünü oluşturan simülasyon modelleri, sistemin aslına sadık bir kopyasının inşası ve sisteme hakim olan sürece etki eden faktörlerin algoritmalarla takip edilmesi yöntemini benimsemiştir. Yani, sistem ve süreci temel alarak kurulan matematiksel modellerle fiyat tahminlerinde bulunmaktadır. Yapısal yaklaşım elektrik spot fiyatlarını da dolaylı olarak modeller. İlk olarak modelleri oluşturan birkaç bileşenlerle elektrik spot fiyatlarının temelinde yatan fiziki güçleri modeller; sonra, modelleri oluşturan bu alt modelleri, tamamlanmış elektrik spot fiyat modeli haline getirir. Yapısal yaklaşım, elektrik pazarları üzerine daha temel bilgi kullandığı için, istatistiksel yaklaşımın yaptığından daha uzun zamanlı elektrik spot fiyatları modelleyebilmektedir.

Temel-Yapısal Yaklaşım diğer fiyat tahmin modellerine nazaran çok daha fazla detaylıdır. Simülasyon modeli, sistemin işleyişine ve kısıtlamalarına sadık kalmaktadır. Amacı, sistem içindeki güvenlik kısıtlanmalı optimal güç akışını (*security constrained optimal power flow – SCOPF*) çözmektir. Her bir generatör birimini, her pazar oyuncusunun davranışını, sezonsal üretim bakımını ve mevcut üretim kapasitesini, elektrik yük talebinin dinamiklerini, iletim ağlarını, elektrik pazarının kurallarını, elektrik güç sektörünün yatırım döngülerini vb. modelleyebilmektedir. Sonrasında, elektrik spot fiyatlarını inşa etmek için bu detaylı modelleri kullanır. Bu detaylara

rağmen genellikle bir temel yaklaşım için analitik sonuç yoktur (Serati, Manera ve Plotegher 2008).

Simülasyon yöntemleri, sistemdeki fiyatlarla ilgili detaylı analizler yapma amacını gütmektedir. Fakat bu yöntemlerin iki temel sorunu vardır: Birincisi, fazlasıyla detaylı verilere ihtiyaç duymaları, ikincisi ise uygulamalarının fazlasıyla karmaşık ve masraflı olmalarıdır.

4.3 İstatiksel Modeller

Özel bir uygulama için uygun bir fiyat modeli en az 5 gerekliliği sağlamalıdır. Elektrik spot fiyatlarının hareketlerini uygun bir şekilde yakalamalıdır. Öngörülen spot fiyatlarının beklenen değerini vermelidir. Spot fiyatlarının belirsizliğini ölçmelidir. Özel bir uygulama için uygun olan bir zaman biriminin fiyatlarını tanımlamalıdır ve özel bir uygulamanın ilgilendiği zaman periyodunu kapsamalıdır (He 2008). Elektrik fiyatlarını modellemek ve analiz etmek için bazı istatiksel araçlar vardır: Zaman Serileri Modelleri, Finansal/Tahmini Süreç Modelleri, Ayrışma Teknikleri ve Bulanık Mantık gibi.

Zaman serileri modelleri ve finansal modeller istatistiksel modellere aittir. Her ikisi de tarihi veriyi, modelleri kalibre etmek ve deneyden geçirmek için kullanır. Zaman serileri modelleri, fiyat verisiyle başlar ve önceki periyotlardaki fiyatlar ile bir zaman periyodundaki fiyatlar arasındaki bağıntıları yakalamak için bir model tanımlar. Kısa dönemli uygulamalar için zaman serileri modeli genellikle uygun seçeneklerdir, bir

sonraki günün 24 saatinin tahmini ve bir sonraki haftanın 168 saatinin fiyatlarının tahmini gibi.

Finansal/Tahmini Süreç Modelleri, finansal, emtia ve enerji pazarlarını modellemedeki başarılı uygulamalarını göz önüne alır. Finansal modeller, tahmini diferansiyel denklemlerle tanımlanır. Finansal modeller ilk bakışta karışık olmasına rağmen, matematiksel olarak basit sonuçlar verir. Matematiksel olarak mükemmel final sonuçları veren finansal modeller; en az hesaplamayı ve en fazla hızı isteyen elektriğin ileri bir zamandaki fiyatlandırması için ve sözleşmeler ile diğer yan ürünler için elverişli bir modeldir. Bu tezde kullanılan fiyat tahmin modeli finansal tahmin modellerinden uyarlanmış bir modeldir (He 2008).

İstatistiksel modeller içinde ayrıştırma teknikleri elektrik fiyatlarını analiz etmede ve modellemede büyük bir potansiyele sahiptir. Elektrik fiyatlarının kompleks bir doğası vardır: hafta içi saatlik spot fiyatları hafta günü ve hafta sonu düzenine sahiptir; yıl içi haftalık fiyatlar mevsimsel bir düzene sahiptir ve farklı sezonların fiyatlarında farklı biçimde davranır ve kısa ömürlü hızlı fiyat yükselişleri bütün dünyadaki elektrik pazarlarında görünen bir durumdur. Elektrik fiyatlarının bu kompleks doğası elektrik spot fiyatlarının temelinde yatan çeşitli fiziki güçlerden dolayıdır. Eğer elektrik spot fiyatlarının temelinde yatan farklı ve bağımsız fiziki güçler, birkaç fiyat bileşenine ayrıştırılabilirse çözülmesi daha kolay birkaç alt probleme bölünür. Ayrıştırma tekniklerine, *Fourier Analizi*, *Wavelet Analizi* ve *Principal Component analizi* gibi çeşitli ayrıştırma metotları örnek verilebilir.

İstatistiksel modellerin bu kısa özeti ardından, sonraki bölümde literatürde yer edinmiş önemli istatistiksel fiyat tahmin modelleri başlıklar halinde işlenecektir.

4.3.1 Zaman Serileri Modelleri

Stokastik zaman serileri, durağan ve durağan olmayan süreçler olarak ikiye ayrılır. Durağanlığın temel özellikleri, sıfır ortalama ve sabit değişim oranıdır. AR (*Autoregressive*), MA (*Moving Average*) ve ARMA (*Autoregressive Moving Average*) modellerinde bu özellikler mevcut olduğundan, sadece durağan serilere uygulanabilmektedirler. ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Average*) modeli fiyat değeri yerine fiyattaki artımlı değişimi incelemektedir. Fark operatörü kullanılarak, durağan olmayan süreç, durağan bir sürece dönüştürülür.

Bu modeller matematiksel modeller olup iyi davranışlı verinin kısa vadeli tahmini ve tahmin almak amacıyla zaman serilerinin en uygununu bulmak için kullanılır. Box-Jenkins yaklaşımı dört aşamadan oluşan tekrarlı bir model kurma stratejisi kullanır. İlk aşamada model belirlenir veya kullanılan modelin sırası bulunur ve ikinci aşamada model katsayılarının tahmini yapılır. Daha sonra model kontrolü yapılır ve sonunda bu model ile tahmin elde edilir (Zhou vd. 2006).

4.3.2 Regime – Switching Modeli

Bu modele göre; spot elektrik fiyatlarının ani değişen yapısı şunu söyler: normal ve yüksek fiyatlı durumlar ya da rejimler arasında gidip gelen lineer olmayan bir

mekanizma vardır. Yani, bu çeşit prosesler, bilinen rejim değiştiren modellerle modellenmeye meyillidir. Rejim değiştiren modellerin mevcut tanımlamaları rejimin zamanla başkalaşma biçimine göre değişiklik gösterir. Genel olarak, iki temel sınıf ayrımı yapılabilir. Birincisi, gözlemlenebilen değişkenler tarafından tespit edilebilen rejimlerdir. Yani geçmişte ve gelecekte olan rejimler kesinlikle bilinebilir. İkincisi de gözlemlenemeyen, gizli değişkenler tarafından tespit edilen rejimlerdir. Bu şu demektir: Hiç bir zaman kesin olarak, bir rejim tam şu noktada ve tam şu zamanda oluşmuştur diye emin olunamaz ama; bu oluşumlara ihtimaller tayin edebilir (Bunn ve Karakatsani 2003).

Elektrik spot fiyatları, yüklemeler ve iletim kısıtlamaları gibi temelleri içeren çok fazla değişkenin bir sonucudur. Bunun yanında, spot fiyatlar, hesaplanamaz fizyolojik ve sosyolojik faktörlerden de etkilenir ve bu faktörler beklenmedik ve rasyonel olmayan emtia alımlarına sebep olur. Bu da belirgin fiyat artışlarını meydana getirir. Bu sebeple, rejimlerinin gözlemlenemeyen ve gizli değişkenlerle saptanabildiği Markov rejim değişimi ya da basit ifadesiyle rejim değişim modelleri ilgi çekicidir. Buna rağmen, bu modellerin tahmin için yeterliliği sorgulanmaktadır (Bunn ve Karakatsani 2003).

4.3.3 GARCH Modeli

GARCH (*Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity*) modeli ekonomik modellemenin bir parçasıdır. Genel mühendislik modeline zıt olarak, ekonometrik amaç, geçmiş verilere dayanarak, kâr ortalaması ve değişimini tahmin

etmektedir. Dahası, ekonomik faaliyetlere (örneğin borsa işlemleri) ilişkin verilerin önemli bir kısmı, araştırmacılara finansal zaman serileri üzerinde araştırma yapabilecekleri bol malzeme sağlamıştır.

Bollerslev (1986) Engel'in çalışmalarını geliştirerek Genelleşmiş ARCH'ı (*Autoregressive Conditional Heteroskedasticity*) ortaya koyduğundan beri, GARCH modeli, finansal zaman serileri üzerinde sık sık kullanılmaktadır. Sabit değişim varsayımının uygulanmasını gerektirmeyen model grubuna heteroskedastik modeller adı verilir. GARCH modeli, şartlı değişimi zamana bağlı olarak görür. Bütün bu modellerde, fiyat, fiyat geçmişine bakılarak beyaz gürültü süreciyle açıklanır. Fiyat üzerinde diğer değişkenlerin etkisi mevcutsa, bu etki TF (transfer işlevi) ve dış yapılı değişkenli ARMA modeli gibi çok değişkenli modellerde birlikte uygulanabilir. Elektrik fiyatı; günlük, haftalık, yıllık veya farklı periyodisitelere sahip durağan olmayan bir süreçtir. Bu yüzden, bu özelliğe sahip olan mevsimlik süreç modeli kullanılmaktadır (Hua & Li 2003).

GARCH modeli, heteroskedastisitenin(değişen varyansın) bayağı en küçük kare analizlerinde sorun çıkaracağına dair uzun zamandır kabul gören bir teoriye dayanmaktadır. Bu tip modellerin amacı, risk analizi, portfolyo seçimi ve türevsel fiyatlandırma gibi finansal konularda uygulanabilecek bir volatilité ölçęęi sağlamaktır. Son yıllarda, GARCH modelleri heteroskedastik zaman seri modellerine sıkça uygulanan bir araç haline gelmiştir (Hua & Li 2003).

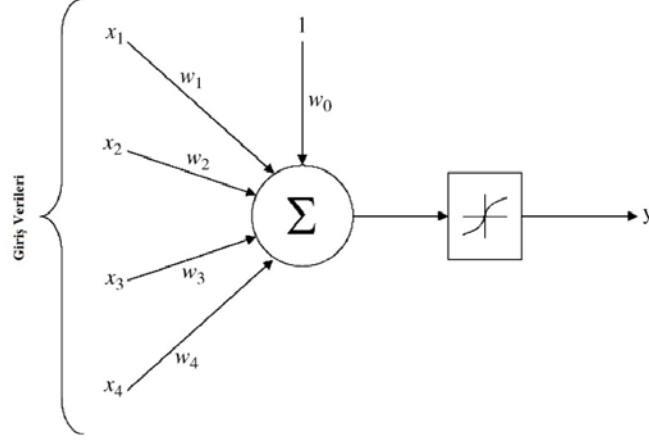
4.3.4 Transfer Fonksiyon Modelleri

Bu modeller mühendislik literatüründe transfer fonksiyon modelleri olarak bilinir, ancak ekonomi literatüründe dinamik ekonometrik modeller olarak adlandırılır. Bu modellerin tahminlerle ilgisi, talep ve fiyat arasındaki anlık ya da anlık olmayan ilişkiye dayanır. Eğer bu ilişki anlaksa, tahmin fiyatları talep bilgisi gerektirir. Fakat talep bilinmediğinden, bunun için talep bilgisinin alakasını azaltan tek değişkenli bir modele ihtiyaç duyulur. Diğer yandan, eğer fiyat-talep ilişkisi anlık değilse ve talepteki bir değişim, fiyatı b saat sonra etkiliyorsa, o zaman talep fiyatın ileri indikatörüdür. Bu durumda, talebin bilinmesi fiyat tahminini oldukça geliştirebilir (Nogales ve Conejo 2006:350).

4.3.5 Sinirsel Ağ Yaklaşımı

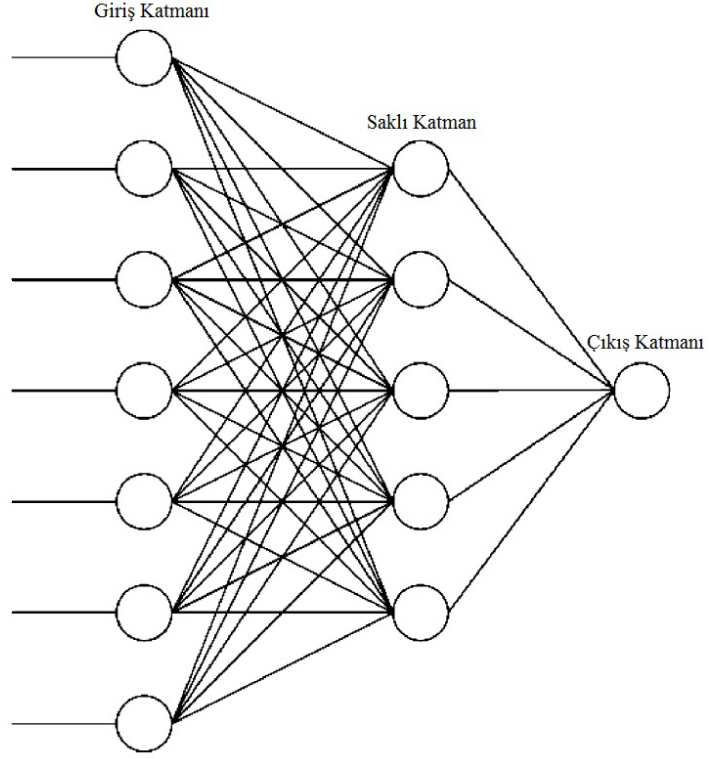
Sinirsel ağlar (neural networks), büyük miktarda birbirine bağlanarak, ara bağlantılarla oluşturulmuş basit işlem birimleridir. Nöron adı da verilen bu birimlerin her biri, inputlarının (verilerinin) ağırlıklı toplamını oluşturur ve buna önyargı (bias) adı verilen bir sabiti ekler. Bu toplam daha sonra bir transfer fonksiyonu (lineer, sigmoid ya da hiperbolik) ile aktarılır. Şekil 4.2 de bir nöronun içyapısı gösterilmiştir. Yapay Sinir Ağları (YSA), insan beyninin öğrenme şeklini taklit ederek sistem modellemesi ve gerektiğinde ileriye dönük kestirimler yapmak üzere kullanılan bir modelleme yöntemidir. Bu yöntemde beynin temel işlem birimleri olan nöronlardan kurulu bir ağ oluşturularak bu ağın küçük bir beyin gibi davranması ve öğrenmesi sağlanır. Tipik

olarak bu ağ, bir eğitim seti ile öğrenmeye tabi tutulur ve sonrasında daha önce görmediği benzer bir şeyi tanınması beklenir.



Şekil 4.2: Nöronun İç Yapısı

Çok tabakalı geriye yayılma algoritmaları (perceptron) en iyi bilinen ve en yaygın kullanılan sinirsel ağ çeşididir. Ara bağlantısı olan ve döngü oluşturmayan ağlar ileri besleme (feedforward) olarak adlandırılır. İçinde ara bağlantıların oluşturduğu birkaç döngü bulunan tekrarlı geri donen ya da ileri besleme olmayan ağlar (non-feedforward) bazı tür uygulamalar için kullanılır. Birimler ağ yapısını tanımlayacak şekilde organize edilmiştir. İleri beslemeli ağlarda, birimler katmalar halinde organize edilir: bir veri katmanı (*input*), bir ya da daha fazla gizli katmanlar ve bir çıktı (*output*) katmanı. Her katmandaki birimler aynı verileri paylaşabilir fakat bu birimler birbirlerine bağlı değildir. Genel olarak *input* katmanındaki birimler, *input* motifinin işlenmeden geri kalan ağa transferini sağlar. Bilgi gizli katmanlardaki ve çıktı katmanındaki birimler tarafından işlenir (Catalao vd. 2007:1297).



Şekil 4.3: Üç Katmanlı Tek Çıkış Birimli İleri Beslemeli Sinirsel Ağ Model Örneği

Şekil 4.3 de klasik sinir ağ özellikleri olan 3 katmanlı ileri beslemeli bir sinirsel ağ yapısı gösterilmiştir. Sinirsel ağ tamamen bağlanmış olarak düşünülür çünkü her katmana ait her birim, bitişik komsu katmandaki her birime bağlıdır.

Sinir ağlarıyla elektrik fiyat tahmini, oluşturulan bir ağ yapısının, geçmiş dönemlere ait elektrik fiyat veri setiyle eğitilmesiyle yapılabilir. Bu yöntem daha çok günlük elektrik fiyatı tahmini gereksinimlerinde kullanılır.

4.3.6 Finansal Süreç Tahmin Modelleri

4.3.6.1 Çoklu Mevsimselliği Modelleme

Elektrik yükünün geçici değişimi ile periyodik davranış gösteren elektrik spot fiyatları üç çeşit mevsimselliğe sahiptir. Gün boyu; gün içindeki yüksek elektrik talebi ve gece zamanındaki düşük talep, fiyatların günlük zaman süresince daha yüksek ve geceleyin daha düşük; bir hafta boyunca, hafta içi günlerde daha yüksek talep varken hafta sonu günlerinde daha düşük talep; dolayısıyla hafta içi fiyatlar daha yüksek iken hafta sonu fiyatlar daha düşük; bir yıl boyunca elektrik yükünün mevsimsel değişim kontrolörünün yüksek olduğu müddetçe fiyatlarda genellikle yüksektir aksi durumda düşük talep sezonları boyunca da daha düşüktür. Bu üç tür mevsimselliği modellemede en sık kullanılan yöntem, Lucia ve Schwartz önerdiği değişken değerler yöntemidir (2010).

4.3.6.2 Ortalama-Geri Dönüşümlü Fiyat Doğasını Modelleme

Elektrik spot fiyatları ortalama-geri dönüşümlüdür (*Mean-Reverting*). Ortalama-Geri Dönüş ile şu anlatılmak istenir: Fiyatlar denge seviyelerinden uzaklaştığında geri dönme eğilimindedirler. Bu Ortalama-Geri Dönüş'ün sebebi arz ve talep taraflarından temel sürücü güçlerin dengeleyici etkisidir. Eğer elektrik spot fiyatlarına, bir haftalık perspektif içinden bakarsak, elektrik spot fiyatları bir gün içi örneğini ve bir hafta içi-hafta sonu örneğini takip eder ve bu hafta içi - hafta sonu ve gün içi örnekleri kısa vadede elektrik üretiminin marjinal maliyetini yansıtır. Eğer bir yıllık perspektif içinden fiyatları incelersek, fiyatlar yüksek derecede tahmin edilebilir mevsimsel örnek etrafında

döner. Benzer olarak çok yıllık perspektifle, fiyatlar uzun vadede elektrik üretiminin marjinal maliyetiyle belirlenen uzun dönemli bir trend etrafında değişiklik gösterir. Kısacası, kısa vadeli saatler, orta-dönemli haftalar veya uzun vadeli yıllardaki elektrik spot fiyatları, elektrik tedarikinin marjinal maliyetini yansıtır ve ne zaman marjinal maliyetin denge seviyesinden uzaklaşırsa eski denge seviyelerine dönme eğilimindedir.

Elektrik spot fiyatlarının ortalamaya geri dönüşüm doğasını modellemek için, *OU (Ornstein–Uhlenbeck) prosesi* olarak da adlandırılan ortalama-geri dönüşüm prosesi (*Mean-reversion process*) iyi bir seçenektir. OU prosesinin en basit x_t yapısı,

$$dX_t = -kx_t dt + \sigma dz \quad k > 0$$

Şeklinindedir. Denklemden; dz , standart *brownian* hareketini; k , ortalamaya dönme oranını ve σ da volatilitiyi göstermektedir. Stokastik diferansiyel denkleme baktığımızda rastgele ses ifadesi σdz , sürekli olarak $x_t(t)$ yi 0 denge seviyesinden uzaklaştırır ve geri dönüşüm ifadesi $-kx_t dt$ her zaman $x_t(t)$ yi denge seviyesi 0 ' a geri çeker. Model katsayıları k ve σ bulmak için denklem ayrık zamanda tekrar düzenlenmelidir (EK 2). Denklem ayrık formda yazıldıktan sonra denklem parametreleri En Küçük Kareler Yöntemi veya Maksimum Olasılık Metodu ile rahatlıkla bulunabilir. OU prosesi, elektriğin *mean-reverting* yapısını açıklayan iyi bir modeldir ve literatürde emtia pazarlarının modellenmesinde sıklıkla kullanılır.

4.3.6.3 Zamanla Değişen İstikrarsızlığı Modellemek

Elektrik spot fiyatlarının istikrarsızlığı zamanla değişir. Bir gün boyunca saatlik fiyatlara bakıldığında, fiyatların yüksek olduğu gece saatleri genellikle daha istikrarsızdır. Bir hafta boyunca fiyatlara bakıldığında, hafta sonu fiyatları daha yüksek ve daha istikrarsızdır. Yüksek talep sezonları, bir yıl boyunca fiyatlara bakıldığında düşük talep sezonları boyunca olanlardan daha yüksek ve daha istikrarsızdır. Fiyatların zamanla-değişen istikrarsızlığı gözlemlendiğinde fiyatların istikrarsızlığı fiyatların seviyesiyle orantılıdır, diğer deyişle, fiyatlar daha yüksek olduğunda genellikle daha istikrarsız; fiyatlar daha düşük olduğunda daha ılımlıdır.

Elektrik spot fiyatlarının bu fiyata-bağlı istikrarsızlığını da kapsayan bir fiyat modeli inşa etmek için zamanla-değişen ortalama prosesi ile aritmetik-ortalama geri dönüşüm prosesi kullanılabilir. Zamanla-değişen ortalama prosesi ile aritmetik-ortalama geri dönüşüm prosesi fiyatların çoklu-sezonluluk ve ortalama-geri dönüşen doğasını iyi bir şekilde kapsamasına rağmen fiyata-bağlı istikrarsızlığını modelleyememektedir.

4.3.6.4 Çoklu Risk-Faktörlerini Modellemek

Elektrik spot fiyatları farklı zaman skalalarında rol oynayan çeşitli temel fiziki güçler tarafından güdümlüdür. Bir hafta boyunca saatlik fiyatlara bakıldığında; fiyatlar elektrik yükünün, üretim sevkiyatlarının ve kesintiye zorlanmış üretimin gün içi ve hafta sonu varyasyonları tarafından güdümlüdür. Bir yıl boyunca günlük ve aylık fiyatlara bakıldığında, elektrik fiyatları sezonsal olan hava durumu, hidroelektrik üretim kapasitesi, yıl içindeki ekonomik gelişme ve ekonomik döngüler, yeni üretim tesislerinin

yatırımı ve üretim santralının ömrünü tamamlaması gibi uzun dönemli güçlerce güdümlüdür. Bu risk-faktörleri fiziksel olarak bağımsız ve farklı zaman skalalarında rol oynayan güç faktörleridir ve ayrı ayrı modellerle tanımlanmalıdır.

5. BÖLÜM

ELEKTRİK FİYAT TAHMİN MODELİ: TÜRKİYE UYGULAMASI

Fiyat tahmini, elektrik pazarındaki risklerin planlanmasında ve idaresinde önemli rol oynamaktadır. Fiyat değişimlerinin uygun bir şekilde modellenmesi fiyatların volatilitelerinden kaynaklanan risklerle başa çıkmak için yapılmaktadır. Son yıllarda, geçmiş fiyat verilerine dayalı birçok elektrik fiyat tahmin yaklaşımı geliştirilmiştir fakat bu çalışmaların çoğu temel olarak kısa dönem elektrik fiyat tahmini odaklı olmuştur. Kısa dönem fiyat tahmin aralığı bir saat ile birkaç hafta ilerisine yönelik olduğundan bu tarz tahmin modelleri, kısa dönem fiyat verme/teklif verme stratejisinde önemli rol oynar.

Kısa dönem elektrik fiyat tahminlerinin aksine, orta vadeli fiyat tahminleri üzerine çok araştırma yapılmamıştır. Orta vadeli fiyat tahmin aralığı birkaç hafta ile bir yıl arasındadır. Orta vadeli fiyat tahminleri, üretim artış planlamaları, ikili anlaşmalar, yakıt temini, gelişen yatırım ve önlem stratejileri gibi elektrik pazarındaki birçok orta vadeli aktiviteler için gereklidir. Kısa vadeli tahminlerle kıyaslandığında, orta vadeli elektrik fiyat tahmini daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Bunun temel nedeni tahmin zaman aralığının çok daha uzun olmasıdır. Elektrik fiyatlarının değişken hali düşünüldüğünde uzun bir zaman aralığı için tahmin yapmak çok daha karmaşıktır (Torbaghan vd. 2000).

Bu karmaşıklığa bir çözüm getirme adına, bu tezde orta vadeli elektrik fiyat tahmin gereksinimlerine cevap veren bir model üzerinde çalışılmıştır. Bu çerçevede, ilk kısımda modelin test edildiği Türkiye Elektrik Piyasasının gelişimi ve işleyişi ana hatlarıyla anlatılmıştır; ikinci kısımda modelde kullanılan fiyat verilerinin analizi yapılmıştır; üçüncü kısımda fiyat tahmin modeli ayrıntılı şekilde anlatılmıştır ve son kısımda model çıktıları istatistiksel olarak incelenmiştir.

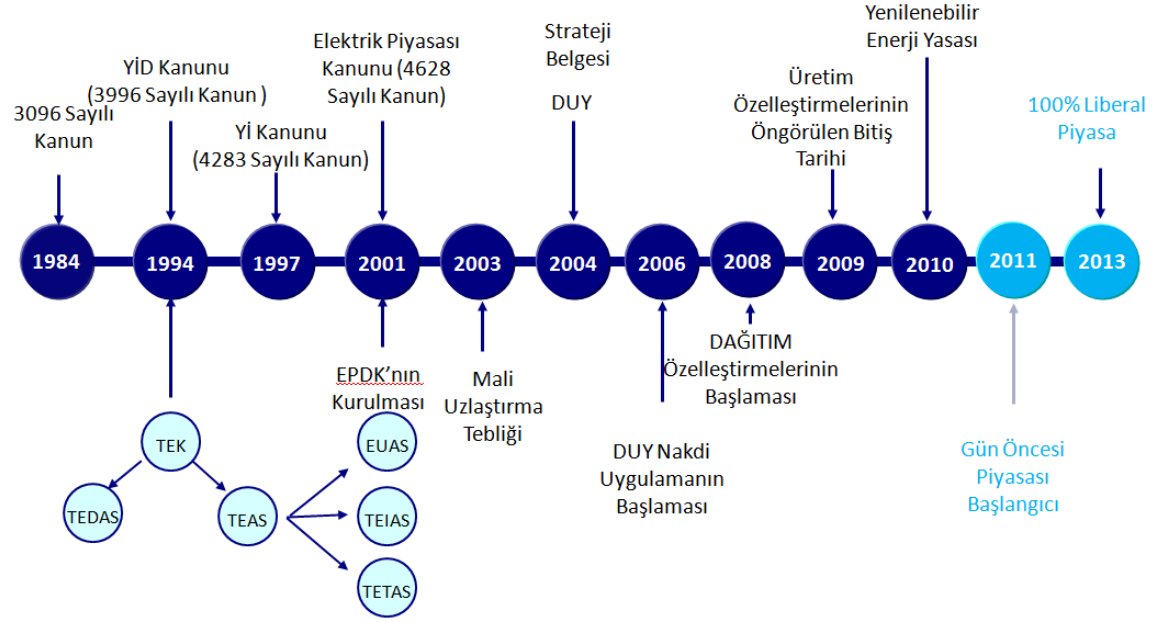
5.1 Türkiye Elektrik Piyasası

Ülkemizde ilk elektrik üretimi, 1902 yılında Tarsus'ta tesis edilen 2 kW gücündeki küçük bir su türbini ile gerçekleşmiştir. İlk büyük santral ise 1913 yılında özel sektör tarafından İstanbul Silahtarağa' da kurulan 15 MW güce sahip termik santral olmuştur.

1935 yılına gelindiğinde, devlet tarafından Etibank, Maden Tetkik ve Arama (MTA), Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) kurulmuş, daha sonra İller Bankası ve Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlükleri devreye girmiştir. Bu tarihte kurulu güç 126,2 MW, üretim 213 milyon kWh, elektrikleştirilmiş il merkezi sayısı da 43 dür (EÜAŞ 2012).

1970 yılına gelindiğinde; artan üretim, dağıtım ve tüketim miktarı ve hizmetin yaygınlaşması, kurumsal bir yapıyı zorunlu kılmış ve 1312 Sayılı Yasa ile Türkiye Elektrik Kurumu (TEK) kurulmuştur. Etibank enerji grubunun intikal eden işleriyle göreve başlayan TEK, termik santrallerin yapılması ve işletilmesi, DSİ tarafından kurulan hidroelektrik santrallerinin işletmesi ve elektrik iletimi ve ticareti görevlerini üstlenmiştir (EÜAŞ 2012).

1980' li yıllardan itibaren Türkiye, özel sektörün elektrik endüstrisine girmesi için değişik alternatifler ve teşvikler oluşturmaya başlamıştır (Bağdadioğlu ve Odyakmaz 2009). 1984 yılında çıkarılan 3096 sayılı yasa ile TEK'in elektrik sektöründeki tekeli sona erdirilmiş ve özel sektörün Yap İşlet Devret (YİD) sistemiyle elektrik üretme yolları geliştirilmiştir. Ayrıca kanun kapsamında çıkarılan yönetmeliklerle, sanayi kuruluşlarının ihtiyaçları olan enerjiyi kendi kaynakları ile üretmelerine imkân sağlayan “otoprodüktörlük” uygulaması da başlatılmıştır (EÜAŞ 2012).



Şekil 5.2 : Türkiye Elektrik Piyasası 1980 Sonrası Reform Süreci

TEK, 1994 yılında elektrik enerjisini üretmek ve iletişimi faaliyetini yürütmek üzere Türkiye Elektrik Üretim Ve İletişim Anonim Şirketi (TEAŞ) ve dağıtım faaliyetlerini sağlama için ise Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi (TEDAŞ) olmak

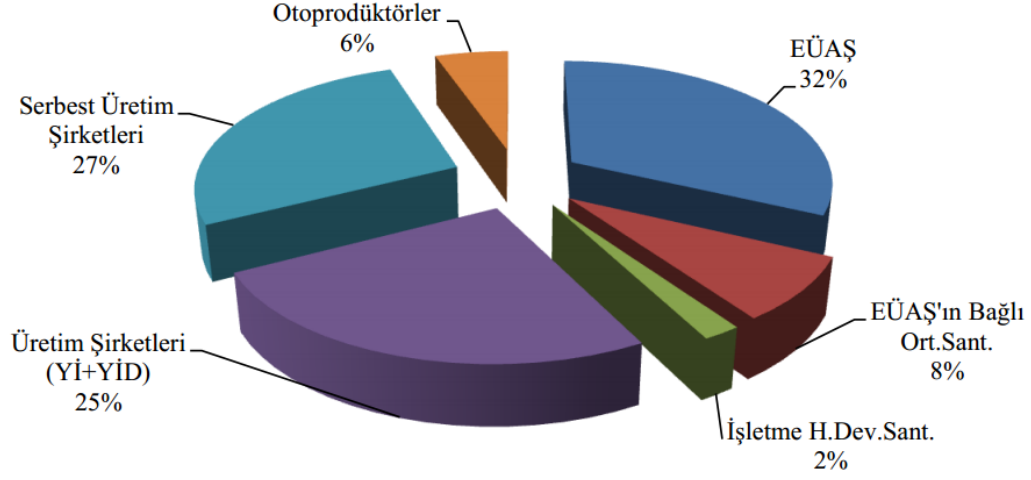
üzere ikiye bölünmüştür. Ayrıca 1997 yılında, 4283 sayılı “Yap-İşlet (Yİ) Modeli ile Elektrik Enerjisi Üretim Tesislerinin Kurulması ve İşletilmesi ile Enerji Satışının Düzenlenmesi Hakkında Kanun” hazırlanmıştır. Bu kanun ile hidroelektrik, jeotermal, nükleer santraller ve diğer yenilenebilir enerji kaynakları ile çalıştırılacak santraller kapsam dışında bırakılarak; yalnızca termik santraller için, Yİ modeli ile, üretim şirketlerine, mülkiyetleri kendilerine ait olmak üzere, tesis kurma ve işletme izni verilmesi ile enerji satışına dair esas ve usuller düzenlenmiştir (EÜAŞ 2012).

2001 yılına gelindiğinde, yürürlüğe giren 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu (EPK) ile Türkiye Elektrik piyasası yeni bir döneme girmiştir. Bu kanun, elektrik üretimi, iletimi, dağıtımı, toptan satışı ve perakende satışı, perakende satış hizmeti, ithalat ve ihracatı ile bu faaliyetlerle ilişkili tüm gerçek ve tüzel kişilerin hak ve yükümlülüklerini, Elektrik Piyasası Düzenleme Kurumunun kurulması ile çalışma usul ve esaslarını ve elektrik üretim ve dağıtım varlıklarının özelleştirilmesinde izlenecek usulü kapsamaktadır. Kanun kapsamında TEAŞ üçe bölünmüş, tüm elektrik üretim faaliyetlerini gerçekleştirmek üzere Elektrik Üretim Anonim Şirketi (EÜAŞ), iletişim faaliyetlerini gerçekleştirmek üzere Türkiye Elektrik İletişim Anonim Şirketi (TEİAŞ) ve elektrik ticareti faaliyetlerini geliştirmek üzere Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt Anonim Şirketi (TETAŞ) kurulmuştur (TEİAŞ 2012).

30 Mart 2003 tarihinde yayımlanan Elektrik Piyasasında Mali Uzlaştırma Yapılmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Tebliğ (Mali Uzlaştırma Tebliğ) ile birlikte Türkiye elektrik piyasası tek-alıcı/satıcı yapıdan dengesizliklerin uzlaştırılmasının yapıldığı kısmi açık piyasa yapısına geçmiştir. Elektrik Piyasası Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği (DUY) 3 Kasım 2004 tarihli ve 25632 sayılı

Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmesiyle Dengeleme Güç Piyasası (DGP) kurulmuştur. DUY' la birlikte gün öncesinde ve Dengeleme Güç Piyasası'nda verilen yük alma ve yük atma talimatları için fiyatlar serbest piyasada, piyasa katılımcılarının teklifleri üzerinden belirlenmeye başlanmıştır. Bu yeni yapıyla birlikte rekabete dayalı, sistemdeki arz ve talep dengesini yansıtan fiyat sinyalleri üreten ve gelişime açık bir elektrik toptan satış piyasasının tesis edilmesi hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda nihai piyasa yapısına kademeli olarak geçişi öngören Dengeleme Güç Piyasası, Gün Öncesi Piyasası, Gün içi (*intraday*) Piyasası ve Vadeli İşlemler Piyasası'nın kurulmasına yönelik olarak kısa-orta-uzun vadeli hedefler belirlenmiştir (TEİAŞ 2012).

14 Nisan 2009 tarih, 27200 Sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan yeni Elektrik Piyasası Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği ile ikinci asamaya geçilmiştir. 1 Aralık 2009 tarihi itibariyle nakdi olarak uygulanmaya başlanan ve halen yürürlükte olan bu aşamada, ilk DUY da yer alan "İkili Anlaşmalar" ve "Gerçek Zamanlı Dengeleme" piyasalarına ek olarak "Gün Öncesi Planlama" ile piyasa katılımcılarının gün öncesinde portföylerini dengelemesine, ülke genelinde üretim optimizasyonun yapılmasına, arz-talep dengesini yansıtan spot fiyat sinyalinin oluşmasına olanak sağlanarak, Milli Yük Tevzi Merkezinin gerçek zamanlı sistem işletiminin yükü azaltılmış, sistem stabilitesi ve güvenliği artırılmıştır. 1 Aralık 2011 tarihinde de Gün Öncesi Planlama aşaması tamamlanmış olup, hedef mekanizma olan Gün Öncesi Piyasasına geçiş yapılmıştır (TEİAŞ 2012). Böylece liberal piyasanın en önemli ayağı olan spot elektrik piyasası oluşmuştur. Mevcut durumda Türkiye'deki elektrik üretiminin kuruluşlara ve kaynaklara göre dağılımı ile elektrik kullanımının sektörlere göre dağılımı aşağıdaki gibidir.



Şekil 5.1 : Üretimin Kuruluşlara Dağıtımı(EPDK, 2011)

Tablo 5.1: Net Elektrik Tüketiminin Sektörlere Göre Dağılımı (Kaynak: TEDAŞ, Türkiye Elektrik Dağıtım ve Tüketim İstatistikleri, 2011)

Toplam	Mesken	Ticaret	Resmi daire	Sanayi	Aydınlatma	Diğer
186.100(Gwh)	%23,8	% 16,4	%3,9	%47,3	%2,1	% 6,5

Tablo 5.2: Enerji Kaynaklarına Göre Elektrik Enerjisi Üretimi Ve Payları(Kaynak: TEİAŞ, Türkiye Elektrik Üretim - İletim İstatistikleri,2011)

Toplam	Kömür	Sıvı yakıtlar	Doğal gaz	Hidrolik	Yenilenebilir Enerji ve Atıklar
229.395(Gwh)	%28,9	%0,4	%45,4	%22,8	%2,6

5.1.1 Gün Öncesi Piyasa

GÖP ertesi gün tüketilecek olan elektrik enerjisinin alım satımının gerçekleştiği piyasadır. Serbest piyasa koşullarında fiyat ve miktarın dengelenmesi için kurulmuş bir piyasadır. GÖP' ün faydalarından birisi de ertesi günün fiyatlarının dengelenmesini sağlıyor olmasıdır. Böyle bir piyasada alıcı ve satıcı alış satış programlarını önceden görebilmektedir.

1 Aralık 2011 den önce yürürlükte olan "Gün öncesi Planlamadan sonra hayata geçen GÖP' de katılım isteğe bağlı olarak yapılmaktadır ve üretilen tüm enerjinin teklif yapılmaması mümkündür. Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği'nde lisan almış tüzel kişiler piyasada katılımcı olabilmektedir. Bu tüzel kişiler üretim lisansı, otoprodüktör lisansı, otoprodüktör grubu lisansı, toptan satış lisansı ve perakende satış lisansına sahip tüzel kişilerdir. GÖP' e ait olan Gün Öncesi Piyasası Katılım Anlaşması bütün katılımcılar tarafından imzalanmak zorundadır ve tüketici tüketileceği elektrik miktarını ve fiyat aralığını bildirmek zorundadır. GÖP' de belirlenen fiyat " Kısıtsız Piyasa Takas Fiyatı" dır.

5.1.2 GÖP' ün İşleyişi

GÖP Türkiye Elektrik İletim A.Ş (TEİAŞ) bünyesinde bulunan Elektrik Piyasaları İşletme Dairesi Başkanlığı eski adı ile Piyasa Mali Uzlaştırma Merkezi (PMUM) tarafından yönetilmektedir. GÖP' de işlemler her saat gerçekleşmekte ve 00:00 da başlayıp 24:00'da sona ermektedir.

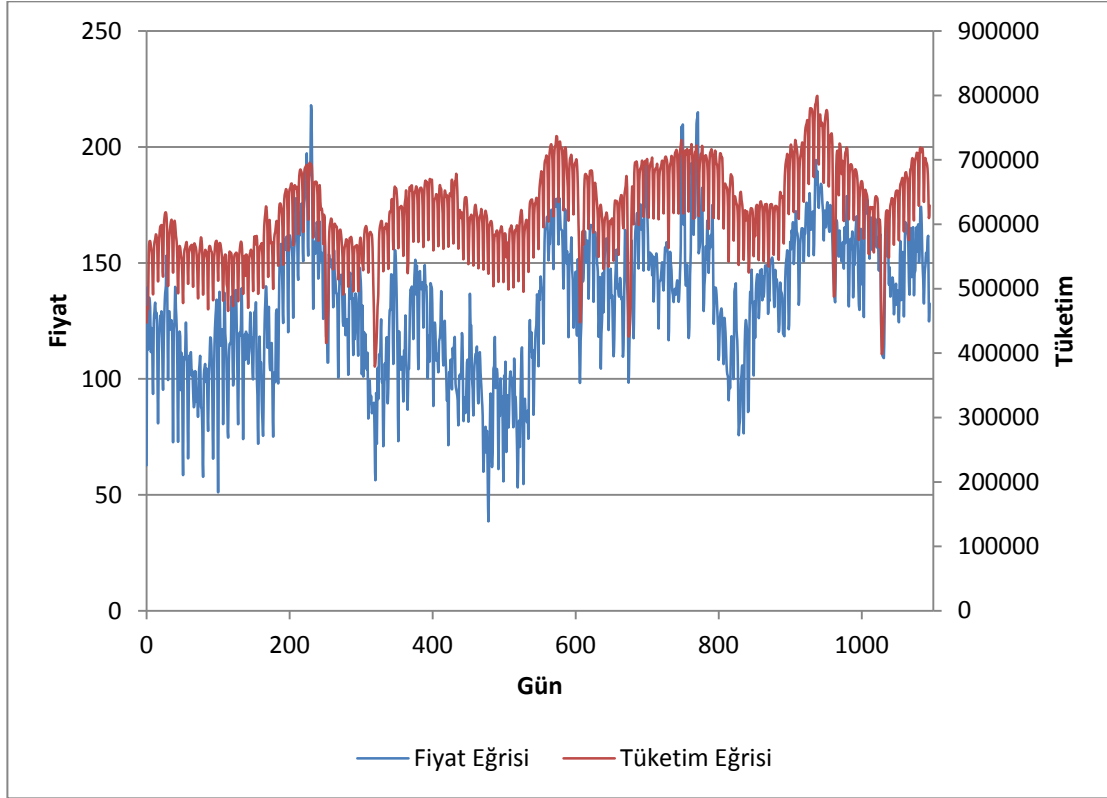
GÖP de fiyat tekliflerini saatlik, blok ve esnek olarak üç kısımda ele alabiliriz. Saatlik teklif, tüketicilerin bir gün sonraki gün için her saatlik diliminde sunmuş oldukları fiyat-miktar seti; blok teklif, bir sonraki günün ardışık saat dilimleri için ortalama bir fiyat-miktar setidir. Esnek teklif ise belirli bir saat ile ilişkili olmayan sadece elektrik satışına ilişkin sunulan fiyat-miktar setidir. Teklifler lot olarak adlandırılır ve bir lot 0.1 MWh değeridir.

GÖP de alış satış teklifleri belirli bir gün ve belirli bir zaman dilimi içinde ve belirli bir teklif bölgesi içerisinde verilir ve verilen bu teklifler Piyasa Yönetimine(PYS) kayıt edilir. Milli Yük Tevzi Merkezi bu konuda büyük rol üstlenir ve bu birim elektrik enerjisinde arz ve talebin teslimat gününde anlık olarak dengelenmesinden sorumludur.

GÖP de mali işlemler İstanbul Menkul Kıymetler Borsası Takas ve Saklama Bankası A.Ş. ve aracı bankalar tarafından yapılmaktadır. Pİ yapılan bu işlemlerin faturalama işlemleri kısmını yürütür ve Takasbank piyasa katılımcıları arasındaki ödeme ve teminata ilişkin işlerde Pİ' nin muhatabı bankadır. Takasbank, 2010 yılından bu yana “*Elektrik Piyasası Merkezi Uzlaştırma Bankası*” olarak faaliyet göstermektedir. Takas odası tarafların yükümlülüklerini yerine getirdikleri bağımsız bir kuruluş olup alıcı ve satıcı arasında bir araçtır. Alıcı ve satıcıyı birbirine bağlayan takas odasıdır. Bu yüzden takas odasına alıcı ve satıcı üye olur bu şekilde satıcı ve alıcı takas odasının bir üyesi olur ve onlar adına işlemleri takas odası gerçekleştirir (Ulusoy 2012).

5.2 Veri Analizi

Modelin oluşturulması için gerekli veriler, PMUM un resmi internet sitesinden elde edilmiştir. PMUM bünyesinde gün öncesi piyasa ve dengeleme piyasası olmak üzere iki yapı mevcuttur. Bu piyasalardan Gün Öncesi Piyasa (GÖP), spot piyasa işlevi görmektedir. Modelde kullanılan veri setini, 01.01.2010 tarihinden 01.01.2013 tarihine kadar ki GÖP fiyatları oluşturmaktadır. GÖP de fiyatlar saatlik olarak yayınlanmaktadır. Günlük elektrik fiyatı, o güne ait 24 saatlik GÖP fiyatlarının ortalaması alınarak belirlenmiştir (EK1). GÖP den elde edilen 1096 adetlik veri setinin zamana göre dağılımı şekilde gösterildiği gibidir. Şekilde ayrıca, aynı zaman dilimine ait tüketilen elektrik miktarı da belirtilmiştir.



Şekil 5.3: 1 Ocak 2010 – 31 Aralık 2012 Tarihleri Arası Günlük Elektrik Tüketim ve Fiyat Değerleri (EK1)

Grafiğe baktığımızda, tüketim ile fiyat arasında kayda değer bir paralellik ve elektrik fiyatlarındaki aşırı volatilité göze çarpmaktadır. Verilerle ilgili açıklayıcı istatistikler Tablo 5.3 de belirtilmiştir.

Tablo 5.3: Fiyat Serisine Ait İstatistikî Veriler

Min.	Medyan	Ortalama	Mak.	Varyans	S. S.	Çarpıklık	Basıklık
38,58	134,59	131,67	218,02	861,44	29,35	-0,20	-0,32

Elektrik fiyatının en yüksek olduğu değer iletim ve üretim kaynaklı aksaklıkların beraber olduğu tarihte gerçekleşmiştir. Elektrik fiyatının en düşük olduğu değer ise YİD ve Yİ santrallerinin talep fazlası üretim yapması sonucu arz ve talep eğrisinin kesişmediği 24 Nisan 2011 tarihinde gerçekleşmiştir. Bu durum Türkiye Elektrik Piyasasının tam olarak serbest piyasaya geçmediğinin göstergesidir. Ayrıca çarpıklığın ve basıklığın kuvvetli şekilde negatif değerler olması da Türkiye elektrik pazarının tam bir serbest piyasa olmamasının bir sonucudur. Örnek olarak Avusturya spot piyasasının aynı tarihler arası istatistikî değerleri incelediğinde bu durum açıkça gözükmemektedir (Tablo 5.4). İstatistikî verileri karşılaştırdığımızda, Türkiye elektrik piyasasına nazaran liberal yapının tamamen hâkim olduğu Avusturya Elektrik Pazarının daha istikrarlı olduğu gözükmemektedir. Özellikle iki piyasanın varyans ve standart sapma değerlerindeki belirgin fark göze çarpmaktadır.

Tablo 5.4: Avusturya Spot Piyasası Fiyatlarına Ait İstatistik Veriler

Min.	Medyan	Ortalama	Mak.	Varyans	S. S.	Çarpıklık	Basıklık
5,07	47,23	46,61	85,66	92,47	9,62	-0,30	1,10

Bölüm 3.3 de ayrıntılı olarak incelediğimiz spot elektrik fiyatının temel iki özelliği olan mevsimsellik ve ortalamaya dönme (*mean reverting*) spot fiyat tahmini için önemli argümanlardır.

GÖP fiyatlarını mevsimsel açıdan baktığımızda haftalık ve aylık olmak üzere iki çeşit mevsimsellik içerdiği gözükmektedir. Tablo 5.5 ve Tablo 5.6 de sırasıyla günlere ve aylara ait fiyat ortalamaları verilmiştir. Tablo 5.5 görüldüğü üzere, fiyat ortalamaları; hafta içi, Cumartesi veya Pazar ve Tatil günü olmasına göre farklılık göstermektedir. Ayrıca aylık ortalamalara bakıldığında, ay bazında da bir mevsimsellik olduğu gözükmektedir. Ayrıca standart sapma değerlerine bakıldığında; günlük mevsimselliğin, aylık mevsimselliğe nazaran daha değişken olduğu anlaşılmaktadır. Bunun temel sebebi mevsim değişikliğine bağlı etmenlerin yıl boyunca günlük fiyatlarda değişime sebep olmasıdır.

Tablo 5.5: Günlük İstatistikler

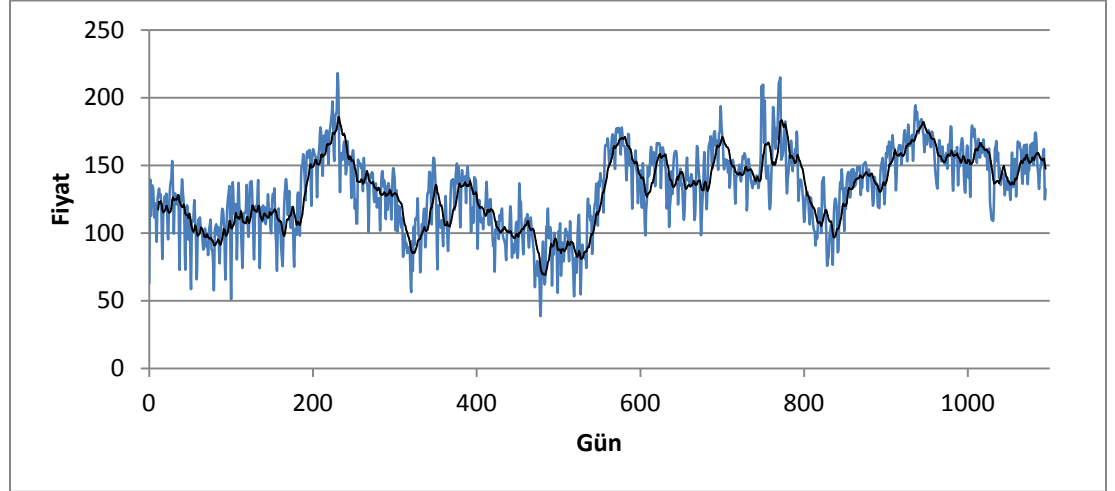
Günler	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar	Tatil
Ortalama	130,63	138,14	138,44	138,27	137,36	129,73	115,13	125,12
S.S.	24,80	25,70	25,13	26,26	26,45	27,13	26,11	15,31

Tablo 5.6: Aylık İstatistikler

Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
Ortalama	132,70	140,32	107,10	102,46	116,08	115,85
S.S.	16,32	26,93	18,07	18,83	22,10	26,69

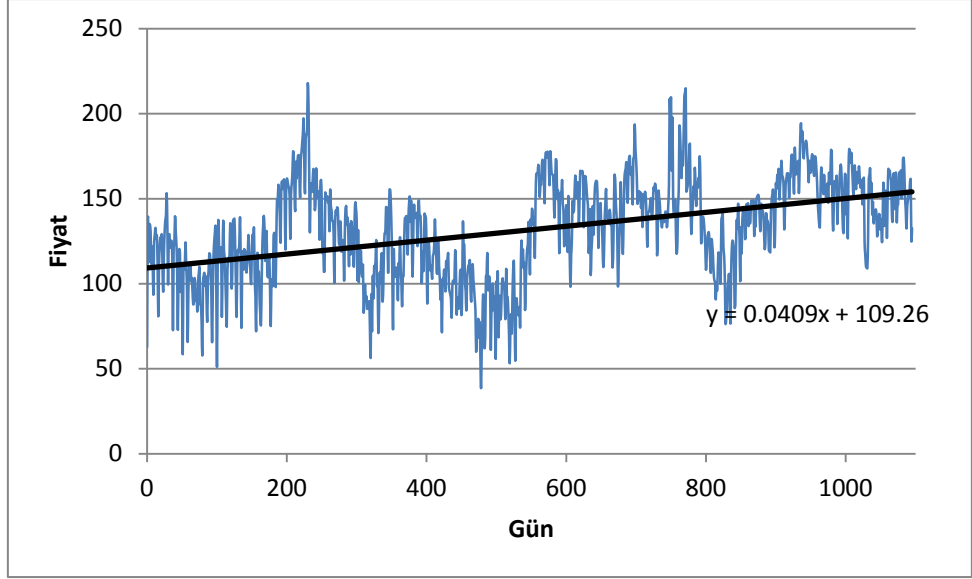
Aylar	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ortalama	157,19	158,53	147,75	139,34	130,76	139,81
S.S.	18,85	17,76	16,37	19,26	27,01	21,94

GÖP fiyat serisi büyük zıplamalar ve sıçramalar içerse de, Şekil 5.4 den görüldüğü üzere, her zaman uzun dönemli ortalamaya bir geri dönüş söz konusudur. Bu durum fiyat serisinin ortalamaya dönme(*mean reverting*) eğiliminde olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.4: Veri Setine Ait 7.Dereceden Hareketli Ortalaması

Ayrıca fiyat serisinde az da olsa bir lineer eğilim olduğu görülmektedir (Şekil 5.5). Türkiye Elektrik Piyasasının tam liberal yapıya geçmesiyle, hali hazırda pozitif olan bu lineer trendin, ileriki yıllarda negatif yönde olması beklenmektedir.



Şekil 5.5: Linear Trend

5.3 Elektrik Fiyat Tahmin Modeli

Veriler ışığında elektrik fiyatının davranışını incelediğimizde iki önemli özellik göze çarpmaktadır. Bunlardan birincisi, elektrik fiyatının mevsimsel davranışını ve lineer trendini temsil eden deterministik kısım, ikincisi elektrik fiyatının tahminini zorlaştıran ve özel bir sürekli zaman fonksiyonu tarafından temsil edilmesi gereken olasılıksal kısımdır.

Lucia & Schwartz (2002) önerdiği tek faktör modeli bu iki özelliği finansal olarak en iyi şekilde temsil eder. Tek faktör modeli elektriğin karakteristiği ile ölçülen iyi bir modeldir ve elektriğin temel karakteristikleri olan mevsimsellik ve ortalamaya dönmeye eğilimiyle uyumludur. Matematiksel olarak girdileri ve çıktıları anlaşılır, hızlı, kullanışı kolay bir modeldir ve birçok spot elektrik piyasasında farklı akademisyenler

tarafından test edilmiştir. Almanya EEX (European Energy Exchange) (Nampala 2009), Avusturya EXAA (Energy Exchange Austria) (Higgs 2006), Amerika PJM (Pennsylvania-New Jersey-Maryland) (He 2010), İskandinavya Nord Pool Spot (Jablonska ve Nampala 2011) ve İngiltere Spot Elektrik Piyasası (Cartea ve Figueroa 2005) bunlardan birkaçıdır.

Model, deterministik ve stokastik olmak üzere iki kısma ayrılır.

$$P_t = f(t) + X_t$$

Deterministik kısım $f(t)$, elektrik fiyatındaki lineer trend ile haftalık ve aylık dönemsellik davranışı temsil eder. Lineer trend, “ $y=at + b$ ” zamana bağlı doğrusal denklemlerle ifade edilebilir. Haftalık ve aylık dönemsellik etkiyi modellemek için ise, Lucia & Schwartz (2002) önerdiği değişken değerler metodu kullanışlı ve pratik bir yöntemdir. Bu teoriye göre her ay ve günün elektrik fiyatına etkisi farklı katsayılarla ifade edilir.

Bölüm 5.2 de yapılan veri analizi sonucunda, her aya ait fiyat ortalamalarının farklı olduğu görülmüştür bu sebeple; her ayın elektrik fiyatına etkisi farklı katsayılarla temsil edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca; veri setinin günlük ortalamalarını incelediğimizde, Salı, Çarşamba, Perşembe ve Cuma Günlerine ait günlük ortalamaların birbirine yakın değerler olduğu görülmektedir. Aynı durum, Pazartesi ve Cumartesi günleri için de geçerlidir. Bu durumda; Salı, Çarşamba, Perşembe, Cuma günleri ile Pazartesi ve Cumartesi günlerinin elektrik fiyatına etkisi, tek bir değişkenle ifade edebilir. Son durumda, elektrik fiyatının deterministik kısmı aşağıdaki denklemde belirtildiği gibidir;

$$f(t) = a.t + b + d_1.G_{P,C} + d_2.G_{S,C,P,C} + d_3.G_P + d_4.G_T + \sum_{i=1}^{12} (A_i \times m_i)$$

Bu değerler veri seti yardımıyla, istenilen güne veya ay ait ortalamalar alınarak kolaylıkla bulunabilir. Denklemdaki “ d_i ” ve “ m_i ” katsayıları, belirtilen fiyat tarihinin o aya ve güne ait olması durumunda “1”, aksi durumda “0” dır.

Denkleminin ikinci bölümü olan stokastik kısım, elektriğin ortalamaya dönme özelliğini ve volatiliteli yapısını temsil eder. Finansal ürünlerde ortalamaya dönme davranışı, *Brownian* hareketi (*brownian motion*) ya da diğer adıyla *The Ornstein-Uhlenbeck Süreci* ile temsil edilir ve aşağıdaki stokastik diferansiyel denklemlerle ifade edilir.

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

Bu denklemlerde; λ ortalamaya dönmenin oranını, μ ortalamayı, σ volatiliteli ve W da standart tek boyutlu *Brownian* Hareketini temsil eder. Denklemin σdW_t kısmı dX_t yi sürekli denge değerinden uzaklaştırmaya çalışır, $\lambda(\mu - X_t)dt$ kısmı da dX_t denge değerine geri getirmeye çalışır. Bu durum, elektrik fiyatının ortalamaya dönme davranışıyla uyumludur.

5.4 Tahmin Modeliyle Elektrik Spot Fiyatının Simülasyonu

Elektrik fiyatı setinde, tahmin edilemeyen üretim ve iletim kesintilerinin veya olumsuz hava koşullarının yol açtığı aşırı sıçramalar ve zıplamalar görülmektedir. Veri

setinin genel ortalamasından, standart sapmanın iki katı kadar fazla veya az olan değerler aşırı sıçrama ve zıplama olarak alınmıştır. Ve bu değerler, daha gerçekçi bir sonuç için model oluşturulmadan önce, o güne komşu olan günlere ait elektrik fiyatlarının ortalamasıyla değiştirilmiştir.

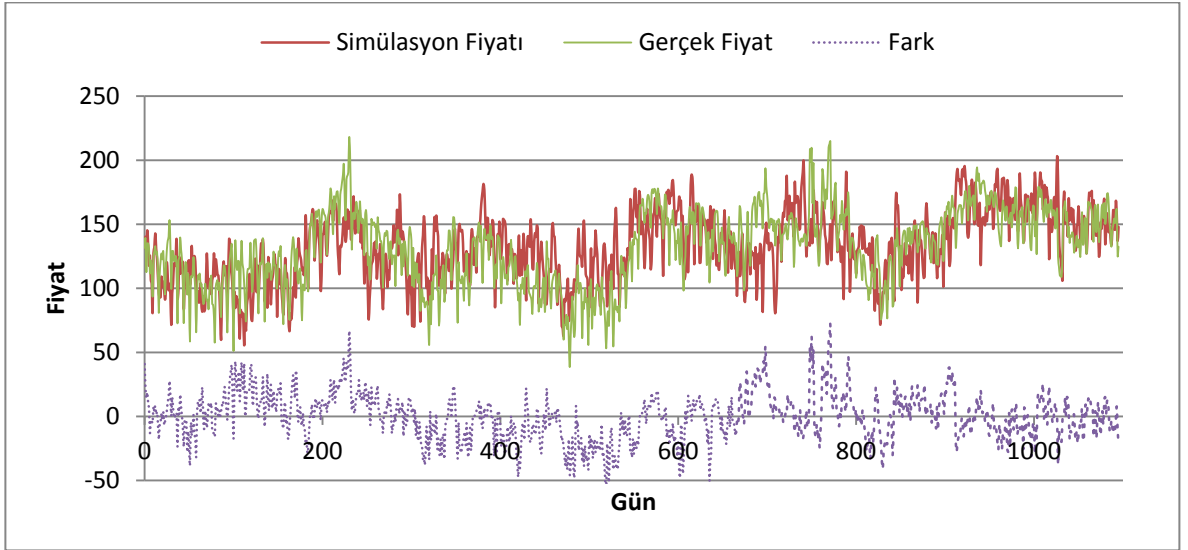
Revize edilen fiyat veri setiyle öncelikle modelin deterministik kısım parametreleri bulunmuştur. Fiyat veri setinin lineer trendi alınarak 'a' ve 'b' katsayıları belirlenmiştir. Veri setinden lineer etki kaldırıldıktan sonra her aya ait ortalamalar alınarak modelin aylara ait katsayıları belirlenmiştir. Günlere ait katsayılar da veri setinden lineer trend ve aylık ortalamalar çıkarıldıktan sonra belirlenmiştir. Söz konusu tüm işlemler MS Excel yardımıyla gerçekleştirilmiştir (EK 2).

Modelin stokastik kısım parametreleri, Lineer trend ve mevsimsel etkiden arındırılmış fiyat seti kullanılarak elde edilmiştir. Stokastik denklemin parametrelerini bulmak için, denklem öncelikle sürekli formdan ayrık forma çevrilmiştir (EK 3). Sonra, Matlab programı yardımıyla En Küçük Kareler Yöntemi (EK 4) kullanılarak denklemin katsayıları belirlenmiştir (EK 5).

Simülasyon sonucunda bulunan denklem katsayıları Tablo 5.7 de belirtilmiştir. Tabloda ayrıca, deterministik kısma ait parametrelerin t- istatistiği de gösterilmiştir. Aylık ve günlük parametreler için bağımsız t- testi uygulanmıştır. Bu amaçla, 2011 yılı ile 2012 yılına ait fiyat verilerinin aylık ve günlük ortalamaları karşılaştırılmış ve test sonucunda mevsim anormalliklerinin ve doğalgaz sıkıntısının yaşandığı Kasım ve Aralık ayları dışında, p değerlerinin %5 in altında kaldığı görülmüştür. Bu sonuç, model parametrelerinin anlamlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca stokastik kısma ait

uyarlanmış R^2 değerinin 0.98'den büyük olması uyumun iyi olduğunu göstermektedir. “Modelin Ortalama Mutlak Hata” ve “Ortalama Yüzde Mutlak Hata” değerleri de, Türkiye Elektrik Piyasasının karmaşıklığına rağmen modelin sağlıklı çalıştığının göstergesidir.

Kalibrasyon sonucunda bulunan parametrelerle oluşturulan modele ait fiyat grafiği ile gerçek fiyata ait grafik Şekil 5.5 de belirtilmiştir. Simülasyon fiyat değerleri grafikten de görüleceği üzere gerçek fiyat değerleriyle örtüşmektedir. Aralarındaki benzerlik istatistiki olarak da Tablo 5.8 de belirtilmiştir.



Şekil 5.5: Gerçek Fiyat ve Simülasyon Fiyat Grafiği

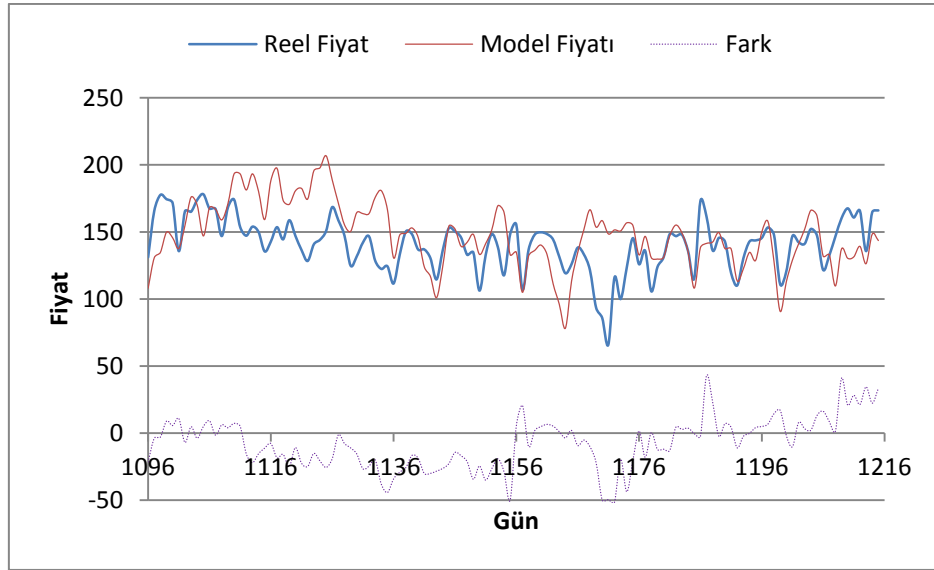
Tablo 5.7: Model Çıktıları

Parametreler	Değerler	p- değerleri
a	0.04	-
b	109.26	-
Gp,c	-1.18	0.00028655
Gs,ç,p,c	7.03	0.00011932
Gp	-19.13	6.5989E-06
Gt	-26.59	0.01330835
A1	8.05	0.0055252
A2	4.69	7.292E-18
A3	-19.91	9.9511E-06
A4	-25.78	0.00026224
A5	-13.39	1.1387E-27
A6	-15	1.1355E-16
A7	24.98	0.00102723
A8	26.05	8.136E-05
A9	12.72	0.05042321
A10	4.53	0.00025373
A11	-5.67	0.10383256
A12	1.7	0.11057178
mu	0.061	-
sigma	12.612	-
lambda	0.289	-
Uyarlanmış R ² Değeri	0.9856	
Ortalama Mutlak Hata	17.687	
Ortalama Yüzde Mutlak Hata	14.623	

Tablo 5.8: Modele Ait İstatistiki Veriler

	Medyan	Ortalama	Varyans	S. S.
Gerçek Fiyat	134,59	131,67	861,44	29,35
Simülasyon Fiyat	133,07	132,21	733,40	27,08
Hata	1,13%	-0,41%	14,86%	7,73%

Oluşturulan model, orta vadeli fiyat tahmini için uygun bir modeldir. Orta vadeli fiyat tahmin modelleri genellikle, finansal sözleşmelerin baz aldığı 1-4 aylık bir süreyi tahmin etmek için kullanılır. Model Türkiye Elektrik Piyasasının 01 Ocak 2010 – 31 Aralık 2012 tarihleri arasındaki ortalama günlük fiyatları ile oluşturulmuştur. Bu tarihlerden sonraki dört aya ait elektrik fiyatları, modelle tahmin edilebilir. Modelin doğruluğunu göstermek için bu dört aya ait elektrik fiyatları da tahmin edilmiştir ve 2013 yılının ilk çeyreğine ait PMUM internet sitesinden elde edilen spot elektrik fiyatları ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmaya ait istatistikî veri tablosu ve grafik aşağıdadır. Grafikten de görüleceği üzere; simülasyon fiyatları, mevsim anormalliklerin yaşandığı günler dışında gerçek fiyatları takip etmektedir.



Şekil 5.6: 2013'ün İlk Çeyreğine Ait Gerçek ve Simülasyon Fiyatları

Tablo 5.9: Modelin Dört Aylık Tahminine Ait İstatistiki Veriler

	Medyan	Ortalama
Gerçek Fiyat	143,25	140,75
Simülasyon Fiyat	145,62	145,57
Hata	1,66%	3,42%
Ortalama Mutlak Hata		19.18
Ortalama Yüzde Mutlak Hata		15.02

6. BÖLÜM

SONUÇ

Bu tezde, elektrik enerji piyasasındaki riskleri asgari düzeye indirebilmek amacıyla dört aylık süre için orta vadeli fiyat tahmin çalışması yapılmıştır. Bu amaçla, Lucia ve Schwartz (2010) tarafından önerilen tek faktör modeli uygulanmış, modelde hafta sonu ve hafta içi günleri için iki ayrı katsayı ile haftalık mevsimsellik belirlenirken, bu çalışmada günlerin fiyatlara etkisine göre her gün için ayrı katsayı belirlenmiştir. Ayrıca, bu çalışmada deterministik kısım ile stokastik kısım parametreleri ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Model parametrelerini belirlemek amacıyla, önce veriler ayrıntılı şekilde analiz edilmiştir. TEİAŞ' in denetimindeki PMUM da yayınlanan, 1 Ocak 2010 – 31 Aralık 2012 tarihleri arasındaki 1095x24 adet saatlik fiyatlardan, günlük ortalama fiyatlar bulunmuştur. Ardından, haftanın her günü (Pazartesi, Salı, Çarşamba... Pazar, Tatil günleri) ve yılın her ayı (Ocak, Şubat, Mart... Aralık) için üç yıllık ortalamalar alınarak, her gün ve ayın elektrik fiyatına etkisi hesaplanmıştır. Mevcut veri setinin mevsimsel etkilerden kurtarılması için; hesaplanan aylık ve günlük ortalamalar, ait olduğu aya ve güne ait reel fiyat verilerinden çıkarılmıştır. Mevsimsel etkiden arınmış veri setinden de en küçük kareler yöntemi ile modelin stokastik kısım parametreleri bulunmuştur. Yukarıdaki tüm işlemler Matlab ve MS Excel programlarının yardımı ile

gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan modelle elde edilen simülasyon fiyatları, gerçek fiyatlarla kıyaslandığında %15 hata payı ile gerçek fiyatları yakalamıştır.

Çalışmalar sonunda elde edilen en önemli sonuç, revize edilen tek faktör modelinin, orta vadeli elektrik fiyatlarını güvenli bir şekilde tahmin etmesidir. Yapılan üç yıllık test neticesinde bu çalışmada oluşturulan model ile gerçekleşen fiyatlar arasında bulunan %15'lik hata payının benzer çalışmalara nazaran oldukça makul olduğu anlaşılmıştır.

Modelin en önemli dezavantajı, mevsim anormallikleri ile üretim ve iletimdeki aksamalardan kaynaklanan ani fiyat sıçramaları ve zıplamalarını tahmin etmekten yoksun oluşudur. Bu çalışmada kullanılan tek faktör modelinin ani sıçrama ve zıplamaları tahmin edecek şekilde geliştirilmesi halinde tahminlerdeki başarı oranı daha da arttırılabilir.

Modelin diğer zayıf yanları ise hava koşulları, üretimin hidrolik veya termik olup olmaması ve diğer ekonomik ve fiziksel analiz edememesidir. Bu faktörlerin de modele dâhil edilmesi gerekmektedir.

İlerideki çalışmalarda dikkate alınması gereken diğer bir önemli konu da elektrik üretimi esnasında yapılan CO₂ ve diğer sera gazı salınımlarının elektrik fiyatları üzerindeki etkisidir. Ülkemizde bu konuda henüz herhangi bir uygulama bulunmamasına rağmen birçok Batı ülkesinde elektrik üretimi esnasında ortaya çıkan zararlı gaz emisyonu fiyatlara bir şekilde dâhil edilmelidir. Dolayısıyla söz konusu emisyonların elektrik fiyat tahmin modellerine nasıl dâhil edileceği, araştırmacılar için önemli bir çalışma alanı olarak bilinmektedir.

KAYNAKÇA

Atiyas İ., *Elektrik Sektöründe Serbestleşme ve Düzenleyici Reform*, Tesev

Yayınları, İstanbul, 2006.

Bağdadioğlu, N. and Odyakmaz, N. *Turkish Electricity Reform, Utilities Policy*,

2009, 144-152.

Bierbrauer, Michael, Menn, Christian, Rachev, Svetlozar T., Trück, Stefan, *Spot and*

derivative pricing in the EEX power market, Journal of Banking & Finance 31,

2007, 3462–3485.

www.elsevier.com/locate/jbf.

Bunn, Derek W.ve Karakatsani, Nektaria, *Forecasting Electricity Prices*, London

Business School 2003 v1.

Boisseleau, F. (2004), “*The Role of Power Exchanges for the Creation of a Single*

European Electricity Market: Market Design and Market Regulation”, PhD

Thesis, University of Paris IX Dauphine, Delft University Press.

Catalao, J.P.S. , Mariano S.J.P.S., Mendes, V.M.F. ve Ferreira, L.A.F.M., *Short-term*

electricity prices forecasting in a competitive market: A neural network approach,

Electric Power Systems Research 77, 2007, 1297–1304.

www.elsevier.com/locate/epsr.

- Chatnani, N.N., “*Commodity Markets – Operations, Instruments and Applications*”, Tata McGraw Hill Education Private Limited Publication, New Delhi, 2010.
- Deb,Rajat, Albert,Richard, Hsue, Lie-Long ve Brown, Nicholas, “*How to Incorporate Volatility and Risk In Electricity Price Forecasting*”, LCG Consulting, 2000.
- Eggen,Sæming ve Magne Grøntvedt,Odd, *Analysis of the efficiency of the German Electricity Market*, 2005.
- Espen Benth, Fred, Saltyte Benth, Jürate, Koekebakker, Steen, *A Survey of Electricity and Related Markets*, Stochastic Modelling of Electricity and Related Markets, <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10255573&ppg=16>
- Enerji Uzmanları Derneği, Enerji Piyasası Bülteni, Nisan 2012.
- FC., Schweppe, MC., Caraminis, RD., Tablors, RE., Bohn, “*Spot pricing of electricity*”, Kluwer Academic Publisher, 1988.
- Giulietti, M., L. Grossi ve M. Waterson (2009), “*Price Transmission in the UK Electricity Market: Was Neta Beneficial?*”, Warwick Economic Research Papers No: 913, The University of Warwick. http://wrap.warwick.ac.uk/3558/1/WRAP_Giulietti_twerp_913.pdf
- He, Yang, *Modeling “Electricity Prices for Generation Investment and Scheduling analysis*”, The University of Hong Kong, 2008.

Hua, ZHENG, Li, XIE, Li-zi, ZHANG, “*Electricity Price Forecasting based on GARCH Model in Deregulated Market*”.

Özmen, Ayşe , Hanım, Yıldırım Miray , Türker Bayrak, Özlem ve Weber, Gerhard Wilhelm , “*Electricity Price Modelling for Turkey*”.

Kölmek, F. (2009), “*Serbest Elektrik Piyasalarında Kısıt Yönetimi*”, EPDK Uzmanlık Tezi.

Ku, Anne, *Forecasting to understand uncertainty in electricity prices*, Platts Energy Business & Technology, May/June 2002.

Nogales, FJ ve Conejo, AJ, “*Electricity price forecasting through transfer function models*”, Journal of the Operational Research Society, 2006: 350-356.

Lucia, Julio J., Schwartz, Eduardo, “*Electricity prices and power derivatives: Evidence from the Nordic Power Exchange*”, Anderson Graduate School of Management – Finance UC Los Angeles, <http://www.escholarship.org/uc/item/12w8v7jj>

M. Shahidehpour, H. Yamin, and Z. Y. Li, *Market Operations in Electric Power Systems*. New York: Wiley, 2002.

P., Mandal, T., Senjyu, N., Urasaki, T., Funabashi, “*A neural network based several-hour-ahead electric load forecasting using similar days approach*”, Electric Power Energy Syst, 2006; 28: 73-367.

RE., Abdel-Aal, “*Modeling and forecasting electric daily peak loads using abductive*

networks”, Electric Power Energy Syst, 2006; 28: 41-133.

Rothwell, G. ve T. Gomez (2003), “*Electricity Economics: Regulation and Deregulation*”, IEEE Press Power Engineering Series, Wiley Interscience, John Wiley & Sons Publication.

Shariat Torbaghan, Shahab, Motamedi, Amir, Zareipour, Hamidreza ve Anh Tuan, Le, “*Medium-term Electricity Price Forecasting*”.

Sangö, Henrik, “*Modeling Electricity prices in the German market*”, Ağustos, 2008.

Sağlam, Burak, “*Monopolden Emtia Piyasasına: Emtia Piyasası Yaklaşımıyla Elektrik Piyasalarındaki Dönüşüm Sürecinin Rekabetçi Analizi*”, Rekabet Kurumu, Ankara, 2012.

Serati,Massimiliano, Manera,Matteo ve Plotegher, Michele, *Modeling Electricity Prices: From the State of the Art to a Draft of a New Proposal*, The Fondazione Eni Enrico, Mattei Note di Lavoro 9.2008,
<http://www.feem.it/Feem/Pub/Publications/WPapers/default.htm>

Shrestha, G.B., Qiao, Songbo, “*Statistical Characterization of Electricity Price in Competitive Power Markets*”, PMAPS, 2010.

Stoft, S. (2002), “*Power System Economics: Designing Markets for Electricity*”, IEEE Pres & Wiley-Interscience, John Wiley & Sons Publication.

Ulusoy Yılmaz, Rabia, *TÜRKİYE ELEKTRİK PİYASASINDA BORSA YGULAMASI: Düzenleyici Çerçeve ve Organizasyon Açısından Analiz*, T.C. ENERJİ PİYASASI ÜZENLEME KURUMU, ANKARA 2012.

Wu, Lei ve Shahidehpour, Mohammad, “*A Hybrid Model for Day-Ahead Price Forecasting*”, Ieee Transactions On Power Systems, Vol. 25, No. 3, Ağustos 2010.

Vehvilainen, Livo, Keppo, Jussi, “*Managing electricity market price risk*”, European Journal of Operational Research 145, 2003, 136–147.
www.elsevier.com/locate/dsw.

YÜCEL C.Ö. (2011), “*Elektrik Üretiminde Hakim Durumun Tespiti*”, Rekabet Kurumu Yayınlanmamış Uzmanlık Tezi, 2011, Ankara.

Zhou, M., Yan,Z., Ni, Y.X., Li, G. ve Nie, Y., “*Electricity price forecasting with confidence-interval estimation through an extended ARIMA approach*”, IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., Vol. 153, No. 2, Mart 2006.

EKLER

TÜRKİYEDEKİ 01.01.2010- 31.12.2012 TARİHLERİ ARASINA AİT GÜNLÜK

TÜKETİM VE SPOT ELEKTRİK FİYATLARI (EK1)

TARİH	Yük (MWh)	Fiyat (TL/kWh)									
01.01.10	447325	63	29.01.10	609526	153	28.02.10	507437	66	30.03.10	566213	108
02.01.10	471985	139	30.01.10	565662	134	01.03.10	553419	94	31.03.10	565222	118
03.01.10	468666	113	31.01.10	504065	100	02.03.10	559395	110	01.04.10	558839	117
04.01.10	554685	135	01.02.10	559442	129	03.03.10	565199	107	02.04.10	557106	108
05.01.10	573444	135	02.02.10	584353	129	04.03.10	566107	112	03.04.10	538019	92
06.01.10	573909	131	03.02.10	595362	121	05.03.10	568016	102	04.04.10	481995	66
07.01.10	566095	112	04.02.10	604024	121	06.03.10	553367	103	05.04.10	540222	94
08.01.10	557395	122	05.02.10	606745	125	07.03.10	502861	95	06.04.10	555065	116
09.01.10	537228	113	06.02.10	576482	116	08.03.10	568048	88	07.04.10	569221	124
10.01.10	491110	94	07.02.10	524897	73	09.03.10	570385	89	08.04.10	573695	130
11.01.10	552035	124	08.02.10	588925	121	10.03.10	566716	103	09.04.10	574203	134
12.01.10	571846	129	09.02.10	605181	124	11.03.10	563061	97	10.04.10	554358	99
13.01.10	576396	133	10.02.10	598677	140	12.03.10	551544	90	11.04.10	512331	51
14.01.10	584398	126	11.02.10	582742	130	13.03.10	526399	91	12.04.10	560643	109
15.01.10	580783	128	12.02.10	573192	123	14.03.10	484809	84	13.04.10	570748	138
16.01.10	563096	111	13.02.10	545795	106	15.03.10	543107	101	14.04.10	570353	121
17.01.10	511233	81	14.02.10	492701	73	16.03.10	556636	106	15.04.10	563620	114
18.01.10	566097	111	15.02.10	545531	110	17.03.10	568118	110	16.04.10	553312	121
19.01.10	583474	121	16.02.10	566016	120	18.03.10	579750	88	17.04.10	532342	121
20.01.10	595707	127	17.02.10	563604	118	19.03.10	574148	87	18.04.10	481255	81
21.01.10	597814	123	18.02.10	552819	95	20.03.10	550760	78	19.04.10	536234	114
22.01.10	598852	129	19.02.10	544643	111	21.03.10	490692	58	20.04.10	549510	137
23.01.10	554708	111	20.02.10	521620	92	22.03.10	543530	101	21.04.10	553091	120
24.01.10	518637	95	21.02.10	477625	59	23.03.10	551041	105	22.04.10	551872	115
25.01.10	593278	117	22.02.10	541710	109	24.03.10	560078	106	23.04.10	506740	103
26.01.10	610104	130	23.02.10	560043	108	25.03.10	557869	99	24.04.10	501354	87
27.01.10	617814	137	24.02.10	563281	111	26.03.10	555607	104	25.04.10	465357	75
28.01.10	618336	140	25.02.10	569354	124	27.03.10	538128	92	26.04.10	535449	107
			26.02.10	572142	110	28.03.10	467914	78	27.04.10	557327	115
			27.02.10	553827	98	29.03.10	559701	101	28.04.10	554889	115

29.04.10	555754	117
30.04.10	550547	136
01.05.10	501439	115
02.05.10	472870	97
03.05.10	536272	108
04.05.10	552515	137
05.05.10	553592	138
06.05.10	555786	138
07.05.10	555578	123
08.05.10	537728	102
09.05.10	480465	80
10.05.10	541653	110
11.05.10	556541	120
12.05.10	567181	119
13.05.10	573068	123
14.05.10	569524	139
15.05.10	546221	112
16.05.10	491826	74
17.05.10	542945	107
18.05.10	551001	119
19.05.10	519858	108
20.05.10	552746	120
21.05.10	552509	113
22.05.10	528604	119
23.05.10	470174	107
24.05.10	537035	110
25.05.10	551858	115
26.05.10	556057	129
27.05.10	560578	118
28.05.10	553118	118
29.05.10	544164	104
30.05.10	496251	100
31.05.10	562925	121
01.06.10	581396	129
02.06.10	568818	125
03.06.10	578087	132
04.06.10	581486	102
05.06.10	559993	93
06.06.10	491877	72
07.06.10	542676	106
08.06.10	561518	118

09.06.10	566940	101
10.06.10	567161	107
11.06.10	570313	91
12.06.10	549710	82
13.06.10	501075	76
14.06.10	580896	102
15.06.10	605200	124
16.06.10	616434	133
17.06.10	627845	140
18.06.10	620268	133
19.06.10	588240	114
20.06.10	518236	118
21.06.10	600051	131
22.06.10	606768	107
23.06.10	583710	104
24.06.10	570619	113
25.06.10	572036	115
26.06.10	549726	95
27.06.10	499578	75
28.06.10	566510	103
29.06.10	583991	100
30.06.10	588658	99
01.07.10	600164	128
02.07.10	604781	130
03.07.10	588455	112
04.07.10	535529	98
05.07.10	612468	129
06.07.10	631107	150
07.07.10	632389	149
08.07.10	628729	158
09.07.10	616634	150
10.07.10	595932	138
11.07.10	537136	124
12.07.10	623807	155
13.07.10	644847	160
14.07.10	649657	156
15.07.10	654668	161
16.07.10	650986	161
17.07.10	620477	149
18.07.10	558994	120
19.07.10	640888	153

20.07.10	654304	162
21.07.10	656546	161
22.07.10	662830	158
23.07.10	663250	157
24.07.10	628704	151
25.07.10	567226	126
26.07.10	646790	152
27.07.10	660425	159
28.07.10	656108	166
29.07.10	656574	178
30.07.10	658296	174
31.07.10	643271	154
01.08.10	584522	143
02.08.10	663470	171
03.08.10	680421	162
04.08.10	685182	170
05.08.10	682728	175
06.08.10	678866	176
07.08.10	650024	164
08.08.10	587959	151
09.08.10	666316	173
10.08.10	685537	177
11.08.10	688521	183
12.08.10	690789	189
13.08.10	692322	197
14.08.10	666636	171
15.08.10	606980	153
16.08.10	679011	185
17.08.10	695335	188
18.08.10	692405	190
19.08.10	693116	218
20.08.10	688962	206
21.08.10	647181	166
22.08.10	579192	130
23.08.10	648814	157
24.08.10	665292	159
25.08.10	666044	154
26.08.10	666121	160
27.08.10	664525	168
28.08.10	643985	162
29.08.10	574091	144

30.08.10	611540	147
31.08.10	660800	168
01.09.10	635100	157
02.09.10	622783	151
03.09.10	624319	154
04.09.10	611897	149
05.09.10	569284	126
06.09.10	614528	157
07.09.10	608099	161
08.09.10	520878	148
09.09.10	415640	118
10.09.10	419247	125
11.09.10	451552	107
12.09.10	472664	107
13.09.10	570056	154
14.09.10	596269	150
15.09.10	602427	150
16.09.10	608924	151
17.09.10	606381	148
18.09.10	582895	149
19.09.10	529926	131
20.09.10	592435	155
21.09.10	600657	146
22.09.10	598804	143
23.09.10	596841	137
24.09.10	595710	137
25.09.10	566076	129
26.09.10	514483	101
27.09.10	580645	134
28.09.10	590582	143
29.09.10	591565	141
30.09.10	583918	145
01.10.10	569035	144
02.10.10	548459	131
03.10.10	490772	123
04.10.10	548203	136
05.10.10	564760	137
06.10.10	569211	119
07.10.10	576575	126
08.10.10	575623	125
09.10.10	561054	126

10.10.10	503008	102
11.10.10	558689	130
12.10.10	578620	144
13.10.10	577895	146
14.10.10	580349	135
15.10.10	574295	139
16.10.10	553263	129
17.10.10	495858	110
18.10.10	551759	135
19.10.10	564650	117
20.10.10	565961	137
21.10.10	566239	134
22.10.10	567788	126
23.10.10	553026	118
24.10.10	496032	111
25.10.10	555323	138
26.10.10	568977	148
27.10.10	579290	144
28.10.10	570763	138
29.10.10	540882	102
30.10.10	538914	132
31.10.10	529748	101
01.11.10	572175	120
02.11.10	590881	108
03.11.10	595218	119
04.11.10	597170	106
05.11.10	591931	104
06.11.10	573637	110
07.11.10	524887	83
08.11.10	580371	93
09.11.10	585780	99
10.11.10	588220	90
11.11.10	585417	93
12.11.10	583466	85
13.11.10	562782	88
14.11.10	507168	90
15.11.10	457975	90
16.11.10	379023	72
17.11.10	384578	56
18.11.10	405882	94
19.11.10	431382	72

20.11.10	472151	105
21.11.10	490902	91
22.11.10	574076	111
23.11.10	594025	110
24.11.10	599732	113
25.11.10	605095	126
26.11.10	604715	99
27.11.10	583288	98
28.11.10	527004	71
29.11.10	582064	86
30.11.10	594846	106
01.12.10	593615	100
02.12.10	601284	115
03.12.10	598373	118
04.12.10	580318	90
05.12.10	530632	96
06.12.10	602460	120
07.12.10	619512	130
08.12.10	619175	130
09.12.10	622538	145
10.12.10	639242	145
11.12.10	609849	132
12.12.10	561276	106
13.12.10	644017	135
14.12.10	658230	155
15.12.10	655801	155
16.12.10	655660	146
17.12.10	644175	129
18.12.10	620854	106
19.12.10	562822	73
20.12.10	620194	119
21.12.10	626046	107
22.12.10	626630	106
23.12.10	628505	104
24.12.10	626523	110
25.12.10	604709	105
26.12.10	550831	90
27.12.10	611033	112
28.12.10	631267	110
29.12.10	639553	127
30.12.10	651844	108

31.12.10	613694	101
01.01.11	525596	87
02.01.11	545615	104
03.01.11	638127	104
04.01.11	657490	126
05.01.11	652099	139
06.01.11	659547	138
07.01.11	660399	140
08.01.11	635260	133
09.01.11	572886	117
10.01.11	639269	138
11.01.11	649793	147
12.01.11	652723	151
13.01.11	658910	136
14.01.11	653943	149
15.01.11	628507	125
16.01.11	572457	104
17.01.11	646015	129
18.01.11	655136	146
19.01.11	656325	140
20.01.11	656771	139
21.01.11	652535	139
22.01.11	626701	142
23.01.11	564594	122
24.01.11	639516	143
25.01.11	661854	149
26.01.11	667903	139
27.01.11	662416	140
28.01.11	665550	132
29.01.11	642646	101
30.01.11	575396	111
31.01.11	650900	119
01.02.11	670011	108
02.02.11	667182	141
03.02.11	667117	140
04.02.11	669293	139
05.02.11	632059	121
06.02.11	559396	88
07.02.11	632668	112
08.02.11	639547	124
09.02.11	640750	119

10.02.11	646801	108
11.02.11	645331	111
12.02.11	623301	109
13.02.11	565915	103
14.02.11	643568	116
15.02.11	660439	118
16.02.11	656668	124
17.02.11	654317	138
18.02.11	634822	123
19.02.11	616568	115
20.02.11	561715	106
21.02.11	632113	124
22.02.11	651980	125
23.02.11	648310	110
24.02.11	642444	102
25.02.11	644897	91
26.02.11	624629	96
27.02.11	565054	71
28.02.11	633243	103
01.03.11	647878	100
02.03.11	647736	108
03.03.11	644391	106
04.03.11	669293	95
05.03.11	620224	113
06.03.11	570140	109
07.03.11	642564	115
08.03.11	665997	118
09.03.11	664897	98
10.03.11	678454	96
11.03.11	665084	94
12.03.11	630592	91
13.03.11	562073	80
14.03.11	619045	100
15.03.11	622227	102
16.03.11	614407	100
17.03.11	609382	103
18.03.11	618177	120
19.03.11	596499	112
20.03.11	545592	82
21.03.11	621349	92
22.03.11	640095	87

23.03.11	642072	85
24.03.11	641842	94
25.03.11	630202	107
26.03.11	596540	108
27.03.11	538053	82
28.03.11	577821	96
29.03.11	609776	136
30.03.11	610764	123
31.03.11	614867	123
01.04.11	611698	101
02.04.11	597104	96
03.04.11	535816	84
04.04.11	608697	103
05.04.11	627389	107
06.04.11	630244	111
07.04.11	621345	111
08.04.11	610984	114
09.04.11	587527	96
10.04.11	531631	89
11.04.11	601115	105
12.04.11	612863	112
13.04.11	612798	103
14.04.11	623826	97
15.04.11	611256	91
16.04.11	586455	84
17.04.11	529634	60
18.04.11	603133	71
19.04.11	616350	71
20.04.11	621090	79
21.04.11	615772	68
22.04.11	609186	78
23.04.11	556290	58
24.04.11	523127	39
25.04.11	594791	62
26.04.11	600139	78
27.04.11	603957	94
28.04.11	604836	74
29.04.11	599114	62
30.04.11	573105	68
01.05.11	503708	104
02.05.11	570406	105

03.05.11	583745	118
04.05.11	583052	97
05.05.11	587050	103
06.05.11	590379	104
07.05.11	567853	97
08.05.11	510512	61
09.05.11	574088	89
10.05.11	589132	84
11.05.11	591099	100
12.05.11	596844	89
13.05.11	593132	92
14.05.11	571214	79
15.05.11	510237	56
16.05.11	573701	101
17.05.11	585997	98
18.05.11	583720	106
19.05.11	548876	68
20.05.11	571746	91
21.05.11	553446	93
22.05.11	498762	79
23.05.11	571422	87
24.05.11	592729	101
25.05.11	592710	103
26.05.11	598241	98
27.05.11	592556	100
28.05.11	567595	89
29.05.11	502026	80
30.05.11	567955	109
31.05.11	589850	92
01.06.11	591438	92
02.06.11	591375	84
03.06.11	597979	71
04.06.11	577366	53
05.06.11	511604	73
06.06.11	584755	82
07.06.11	604864	71
08.06.11	614831	93
09.06.11	622258	109
10.06.11	614732	113
11.06.11	577341	85
12.06.11	495105	55

13.06.11	577598	82
14.06.11	593924	91
15.06.11	601826	84
16.06.11	606912	85
17.06.11	605348	81
18.06.11	584155	86
19.06.11	525989	75
20.06.11	604502	112
21.06.11	632592	125
22.06.11	636447	112
23.06.11	638093	120
24.06.11	638455	109
25.06.11	621978	112
26.06.11	548392	85
27.06.11	614447	99
28.06.11	631463	112
29.06.11	633980	121
30.06.11	641077	123
01.07.11	639473	136
02.07.11	618125	129
03.07.11	561399	105
04.07.11	642789	138
05.07.11	662763	134
06.07.11	672208	144
07.07.11	682314	140
08.07.11	676868	139
09.07.11	655150	137
10.07.11	595296	115
11.07.11	681830	148
12.07.11	698256	165
13.07.11	700490	165
14.07.11	706839	165
15.07.11	704159	170
16.07.11	668686	162
17.07.11	604130	151
18.07.11	698899	159
19.07.11	715051	158
20.07.11	722320	170
21.07.11	724030	173
22.07.11	713384	171
23.07.11	677431	162

24.07.11	612247	147
25.07.11	704998	174
26.07.11	720763	177
27.07.11	722705	174
28.07.11	736836	178
29.07.11	735700	177
30.07.11	706992	172
31.07.11	634407	158
01.08.11	712627	177
02.08.11	728562	173
03.08.11	719097	165
04.08.11	719487	164
05.08.11	715423	164
06.08.11	685638	154
07.08.11	621699	139
08.08.11	699604	156
09.08.11	718228	173
10.08.11	719237	172
11.08.11	701312	150
12.08.11	676395	155
13.08.11	656499	147
14.08.11	605529	118
15.08.11	680932	148
16.08.11	700867	154
17.08.11	704370	152
18.08.11	707482	161
19.08.11	693506	147
20.08.11	668388	143
21.08.11	615286	122
22.08.11	686199	137
23.08.11	694979	135
24.08.11	696468	146
25.08.11	700955	125
26.08.11	691021	120
27.08.11	660658	152
28.08.11	600287	130
29.08.11	550285	115
30.08.11	448697	98
31.08.11	456706	117
01.09.11	493326	125
02.09.11	565309	148

03.09.11	589446	142
04.09.11	570291	143
05.09.11	653500	155
06.09.11	676693	164
07.09.11	678172	157
08.09.11	675919	150
09.09.11	673519	160
10.09.11	653926	159
11.09.11	592597	135
12.09.11	659804	151
13.09.11	682665	166
14.09.11	680651	166
15.09.11	683726	166
16.09.11	680908	166
17.09.11	654071	163
18.09.11	586958	133
19.09.11	653156	156
20.09.11	664481	163
21.09.11	657877	161
22.09.11	643945	156
23.09.11	629536	150
24.09.11	609431	146
25.09.11	549357	119
26.09.11	609469	125
27.09.11	625567	144
28.09.11	630333	105
29.09.11	621642	119
30.09.11	608036	126
01.10.11	585527	146
02.10.11	530413	129
03.10.11	593664	145
04.10.11	609960	157
05.10.11	611640	160
06.10.11	618280	161
07.10.11	613625	160
08.10.11	593841	146
09.10.11	534080	121
10.10.11	590286	138
11.10.11	604735	135
12.10.11	605540	148
13.10.11	600495	135

14.10.11	609053	136
15.10.11	592674	122
16.10.11	543382	110
17.10.11	617190	117
18.10.11	636622	138
19.10.11	634233	147
20.10.11	636336	156
21.10.11	634473	139
22.10.11	614092	141
23.10.11	552456	136
24.10.11	619279	136
25.10.11	636047	143
26.10.11	642510	141
27.10.11	645059	134
28.10.11	633842	135
29.10.11	600610	110
30.10.11	594499	115
31.10.11	641108	139
01.11.11	652439	164
02.11.11	660183	162
03.11.11	675030	147
04.11.11	655607	140
05.11.11	527556	129
06.11.11	425528	98
07.11.11	430578	113
08.11.11	453007	127
09.11.11	488998	139
10.11.11	608328	160
11.11.11	657750	137
12.11.11	646028	130
13.11.11	599905	118
14.11.11	678993	136
15.11.11	695815	160
16.11.11	694163	166
17.11.11	697652	168
18.11.11	692410	171
19.11.11	664950	154
20.11.11	598899	148
21.11.11	667286	168
22.11.11	685000	174
23.11.11	687579	175

24.11.11	691535	164
25.11.11	698331	169
26.11.11	676664	161
27.11.11	611660	147
28.11.11	686633	174
29.11.11	698195	175
30.11.11	694141	194
01.12.11	695846	180
02.12.11	700726	172
03.12.11	678167	162
04.12.11	610194	147
05.12.11	680179	150
06.12.11	689855	154
07.12.11	695513	152
08.12.11	697218	154
09.12.11	702887	145
10.12.11	665296	153
11.12.11	608969	133
12.12.11	676967	144
13.12.11	684460	152
14.12.11	687160	152
15.12.11	688172	154
16.12.11	693314	149
17.12.11	668868	138
18.12.11	607679	122
19.12.11	672364	142
20.12.11	684153	142
21.12.11	688770	143
22.12.11	693156	147
23.12.11	698839	150
24.12.11	682727	141
25.12.11	616787	138
26.12.11	690960	148
27.12.11	703205	157
28.12.11	705181	155
29.12.11	701739	159
30.12.11	695937	157
31.12.11	640028	150
01.01.12	563171	117
02.01.12	677832	133
03.01.12	692956	154

04.01.12	695869	150
05.01.12	706199	147
06.01.12	703349	138
07.01.12	670380	136
08.01.12	617388	133
09.01.12	693249	138
10.01.12	710743	139
11.01.12	712592	136
12.01.12	715673	140
13.01.12	708182	143
14.01.12	662238	141
15.01.12	616626	133
16.01.12	695493	138
17.01.12	713462	147
18.01.12	721757	158
19.01.12	730868	208
20.01.12	718024	199
21.01.12	692346	209
22.01.12	616735	166
23.01.12	696435	198
24.01.12	714290	149
25.01.12	713401	140
26.01.12	708783	143
27.01.12	715929	149
28.01.12	681596	129
29.01.12	619703	118
30.01.12	710342	122
31.01.12	715286	145
01.02.12	709865	156
02.02.12	724507	193
03.02.12	704857	188
04.02.12	674203	174
05.02.12	608338	162
06.02.12	696802	177
07.02.12	712275	170
08.02.12	711442	187
09.02.12	722299	210
10.02.12	705789	213
11.02.12	676446	215
12.02.12	612666	154
13.02.12	679824	156

14.02.12	699105	159
15.02.12	709244	166
16.02.12	707086	178
17.02.12	721492	182
18.02.12	684889	148
19.02.12	620954	129
20.02.12	699646	140
21.02.12	705878	145
22.02.12	707241	157
23.02.12	703300	152
24.02.12	693839	168
25.02.12	663271	158
26.02.12	592569	146
27.02.12	689930	158
28.02.12	710476	156
29.02.12	712967	162
01.03.12	716513	158
02.03.12	708729	175
03.03.12	682548	159
04.03.12	609561	125
05.03.12	689974	133
06.03.12	713805	139
07.03.12	705451	139
08.03.12	693373	136
09.03.12	691938	130
10.03.12	667353	121
11.03.12	608216	108
12.03.12	692960	116
13.03.12	710228	127
14.03.12	709447	129
15.03.12	703633	130
16.03.12	703351	125
17.03.12	656011	113
18.03.12	593361	107
19.03.12	658795	126
20.03.12	663232	123
21.03.12	659573	116
22.03.12	658081	106
23.03.12	653022	102
24.03.12	624908	101
25.03.12	541952	91

26.03.12	642963	101
27.03.12	662274	96
28.03.12	677281	110
29.03.12	674599	118
30.03.12	673378	109
31.03.12	647672	111
01.04.12	574639	101
02.04.12	643584	138
03.04.12	642942	139
04.04.12	636404	141
05.04.12	631735	121
06.04.12	627920	117
07.04.12	601477	102
08.04.12	536782	76
09.04.12	617835	80
10.04.12	647093	83
11.04.12	650396	98
12.04.12	637495	102
13.04.12	629988	106
14.04.12	607928	94
15.04.12	544857	77
16.04.12	602641	106
17.04.12	621832	121
18.04.12	606039	125
19.04.12	619856	123
20.04.12	619508	116
21.04.12	596254	86
22.04.12	526258	88
23.04.12	551941	121
24.04.12	614137	137
25.04.12	624931	133
26.04.12	624732	147
27.04.12	623164	134
28.04.12	609804	128
29.04.12	550395	101
30.04.12	607217	133
01.05.12	581532	118
02.05.12	623962	137
03.05.12	629742	143
04.05.12	629807	145
05.05.12	611582	144

06.05.12	544360	127
07.05.12	617232	132
08.05.12	633222	147
09.05.12	635617	137
10.05.12	630457	147
11.05.12	627389	134
12.05.12	604580	144
13.05.12	542498	135
14.05.12	614424	142
15.05.12	631109	149
16.05.12	629666	147
17.05.12	631330	148
18.05.12	618151	149
19.05.12	565550	128
20.05.12	534265	135
21.05.12	604962	134
22.05.12	630489	149
23.05.12	629431	151
24.05.12	631358	152
25.05.12	626718	152
26.05.12	612908	149
27.05.12	552613	136
28.05.12	615703	131
29.05.12	628231	147
30.05.12	628283	143
31.05.12	628111	143
01.06.12	623512	141
02.06.12	605728	132
03.06.12	544771	120
04.06.12	626656	124
05.06.12	649668	141
06.06.12	645511	138
07.06.12	641531	137
08.06.12	643481	135
09.06.12	625659	120
10.06.12	570124	119
11.06.12	656530	118
12.06.12	685109	142
13.06.12	696746	149
14.06.12	702599	153
15.06.12	708564	155

16.06.12	685627	144
17.06.12	615798	121
18.06.12	680331	132
19.06.12	710293	159
20.06.12	723826	156
21.06.12	716323	164
22.06.12	710096	162
23.06.12	684477	167
24.06.12	618874	150
25.06.12	704522	157
26.06.12	730340	164
27.06.12	725510	172
28.06.12	719165	164
29.06.12	709328	163
30.06.12	680103	159
01.07.12	608275	132
02.07.12	684737	142
03.07.12	703559	158
04.07.12	709684	162
05.07.12	721226	165
06.07.12	726389	165
07.07.12	698746	165
08.07.12	634893	151
09.07.12	718123	162
10.07.12	744751	163
11.07.12	752782	173
12.07.12	756436	176
13.07.12	761248	170
14.07.12	731211	166
15.07.12	662472	153
16.07.12	764476	179
17.07.12	779971	172
18.07.12	777603	164
19.07.12	779439	169
20.07.12	773158	170
21.07.12	746400	172
22.07.12	673265	153
23.07.12	758700	168
24.07.12	785446	187
25.07.12	788276	194
26.07.12	797417	184

27.07.12	799365	190
28.07.12	763834	178
29.07.12	692819	174
30.07.12	766836	182
31.07.12	770476	182
01.08.12	753755	184
02.08.12	758240	183
03.08.12	754942	176
04.08.12	726343	171
05.08.12	664429	160
06.08.12	747710	172
07.08.12	764682	168
08.08.12	772661	166
09.08.12	777415	173
10.08.12	772525	176
11.08.12	739739	173
12.08.12	658672	165
13.08.12	722143	164
14.08.12	737155	175
15.08.12	739287	174
16.08.12	741173	168
17.08.12	722630	160
18.08.12	606536	148
19.08.12	487821	141
20.08.12	489573	135
21.08.12	520619	133
22.08.12	656563	156
23.08.12	707225	168
24.08.12	714379	164
25.08.12	696060	159
26.08.12	645037	153
27.08.12	725392	164
28.08.12	723050	156
29.08.12	707590	154
30.08.12	677944	151
31.08.12	698515	157
01.09.12	670107	159
02.09.12	604992	148
03.09.12	688192	165
04.09.12	710376	159
05.09.12	713493	163

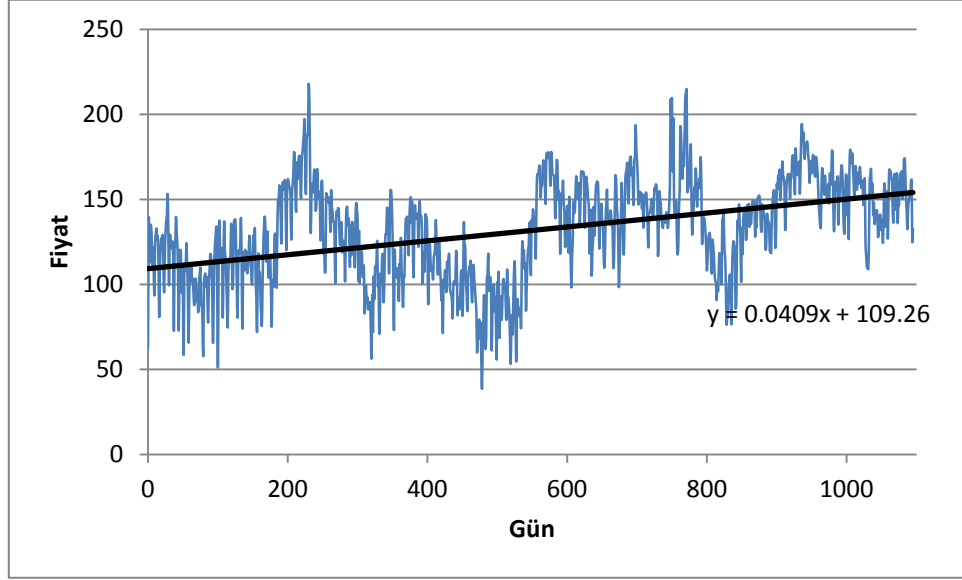
06.09.12	719166	179
07.09.12	715573	178
08.09.12	676509	147
09.09.12	607586	131
10.09.12	677511	148
11.09.12	691531	160
12.09.12	693301	156
13.09.12	691596	159
14.09.12	684699	163
15.09.12	666845	135
16.09.12	606255	150
17.09.12	675993	149
18.09.12	685260	160
19.09.12	683931	166
20.09.12	679018	170
21.09.12	669012	164
22.09.12	637037	147
23.09.12	575745	132
24.09.12	640567	130
25.09.12	656532	153
26.09.12	665301	165
27.09.12	667071	163
28.09.12	663680	141
29.09.12	641055	152
30.09.12	577493	127
01.10.12	643693	167
02.10.12	653706	179
03.10.12	650026	174
04.10.12	646704	171
05.10.12	639615	177
06.10.12	612021	170
07.10.12	553618	161
08.10.12	614441	152
09.10.12	626554	163
10.10.12	624810	170
11.10.12	626095	158
12.10.12	626603	156
13.10.12	613991	166
14.10.12	556268	159
15.10.12	622713	163
16.10.12	641413	169

17.10.12	643698	163
18.10.12	641851	157
19.10.12	639771	161
20.10.12	615478	159
21.10.12	564440	147
22.10.12	607316	158
23.10.12	594764	162
24.10.12	487639	125
25.10.12	398344	117
26.10.12	403149	110
27.10.12	421987	110
28.10.12	460040	109
29.10.12	507272	127
30.10.12	589732	162
31.10.12	618122	164
01.11.12	621628	168
02.11.12	621020	153
03.11.12	607573	159
04.11.12	548352	141
05.11.12	608501	148
06.11.12	628517	136
07.11.12	633476	141
08.11.12	640460	140
09.11.12	639847	144
10.11.12	628816	141
11.11.12	568208	128
12.11.12	628329	132
13.11.12	644833	135
14.11.12	651182	141
15.11.12	652282	132
16.11.12	652070	138
17.11.12	632473	134
18.11.12	574992	124
19.11.12	642492	141
20.11.12	661267	159
21.11.12	664441	134
22.11.12	668471	135
23.11.12	671615	155
24.11.12	651071	154
25.11.12	588768	127
26.11.12	661945	152

27.11.12	678916	167
28.11.12	680942	165
29.11.12	674661	167
30.11.12	670487	163
01.12.12	642287	160
02.12.12	575503	143
03.12.12	648397	137
04.12.12	685006	162
05.12.12	686248	165
06.12.12	697692	144
07.12.12	702203	157
08.12.12	667366	165
09.12.12	605910	137
10.12.12	690230	146
11.12.12	701345	147
12.12.12	704249	163
13.12.12	711081	165
14.12.12	709969	155
15.12.12	688600	167
16.12.12	628587	150
17.12.12	710086	155
18.12.12	719432	173
19.12.12	711890	174
20.12.12	717533	165
21.12.12	718070	151
22.12.12	699427	143
23.12.12	634718	133
24.12.12	698430	145
25.12.12	702926	149
26.12.12	696931	154
27.12.12	694537	151
28.12.12	686686	160
29.12.12	660563	162
30.12.12	609585	126
31.12.12	629161	133

DETERMİNİSTİK KISIM PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ (EK2)

Linear Trend Parametrelerinin Belirlenmesi ile İlgili MS Excel Görseli



Aylık ve Günlük Parametrelerin Belirlenmesi ile İlgili MS Excel Görseli

		Fiyat	(Fiyat)-(Lineer Trend)	(Fiyat)-(Lineer Trend)-(Aylık Etki)	(Fiyat)-(Lineer Trend)-(Aylık Etki)-(Günlük Etki)
0	01 Ocak 2010 Cuma	132	22,41	14,36	41
1	02 Ocak 2010 Cumartesi	139	29,24	21,19	22
2	03 Ocak 2010 Pazar	113	3,32	-4,73	14
3	04 Ocak 2010 Pazartesi	135	25,70	17,65	19
4	05 Ocak 2010 Salı	135	25,58	17,53	10
5	06 Ocak 2010 Çarşamba	131	21,28	13,23	6
6	07 Ocak 2010 Perşembe	112	2,07	-5,98	-13
7	08 Ocak 2010 Cuma	122	12,41	4,36	-3
8	09 Ocak 2010 Cumartesi	113	3,35	-4,70	-4
9	10 Ocak 2010 Pazar	94	-16,10	-24,15	-5
10	11 Ocak 2010 Pazartesi	124	14,35	6,30	7
11	12 Ocak 2010 Salı	129	19,27	11,22	4
12	13 Ocak 2010 Çarşamba	133	23,17	15,12	8
13	14 Ocak 2010 Perşembe	126	16,66	8,61	2
14	15 Ocak 2010 Cuma	128	18,52	10,47	3
15	16 Ocak 2010 Cumartesi	111	1,23	-6,82	-6
16	17 Ocak 2010 Pazar	81	-29,06	-37,11	-18
17	18 Ocak 2010 Pazartesi	111	1,25	-6,80	-6

WIENER SÜRECİ (EK3)

Diferansiyel Çözümü

$$dx_t = \theta(\mu - x_t) dt + \sigma dW_t$$

$$f(x_t, t) = x_t e^{\theta t}$$

ve

$$\begin{aligned} df(x_t, t) &= \theta x_t e^{\theta t} dt + e^{\theta t} dx_t \\ &= e^{\theta t} \theta \mu dt + \sigma e^{\theta t} dW_t. \end{aligned}$$

0 dan t ye integrale edilirse,

$$x_t e^{\theta t} = x_0 + \int_0^t e^{\theta s} \theta \mu ds + \int_0^t \sigma e^{\theta s} dW_s$$

Tekrar düzenlediğimizde:

$$x_t = x_0 e^{-\theta t} + \mu(1 - e^{-\theta t}) + \int_0^t \sigma e^{\theta(s-t)} dW_s.$$

Şeklinde ayrık formda yazabiliriz.

EN KÜÇÜK KARELER YÖNTEMİ (EK4)

En küçük kareler tekniği günümüzde en yaygın kullanılan regresyon tekniğidir. Bu teknik 1795 yılında Alman Carl Frederich Gauss ve 1805 yılında Fransız Adrien Marie Legendre tarafından birbirinden habersiz olarak geliştirdikleri bir tekniktir. Tekniğe ilişkin ilk uygulamalar astronomi ve yerbilim verilerinin analizinde kullanılmıştır. En küçük kareler tekniği ilk olarak 1805 yılında Legendre tarafından yayınlanan bir kitapta kuyruklu yıldızların yörüngelerinin hesaplanmasında kullanılmıştır.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$$

doğrusal ilişkisi X ve Y değişkenlerinin anakütleleri için geçerlidir. İstatistiksel çalışmaların çoğunda olduğu gibi regresyon analizinde de anakütleye ait verilerin tümüne ulaşılamadığından bu ana kütlede seçilen örneklem verileriyle analiz yapılır. Örneklem verileri kullanılarak ana kütle parametreleri olan β_0 ve β_1 'in kestirimleri elde edilebilmek için en küçük kareler tekniğinden yararlanır. X ve Y değerleri için $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_k, Y_k)$ ikili gözlemleri bir örneklem oluşturur. Bunlar yardımıyla $Y = \beta_0 + \beta_1 X_i$ denkleminin katsayılarını bulma olanağımız vardır.

Regresyon modelin yer alan β_0 ve β_1 terimlerinin regresyon denklemindeki karşılıkları $\hat{\beta}_0$ ve $\hat{\beta}_1$ olarak ele alındığında, regresyon doğrusunun denklemi; $\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X$ şeklinde olacaktır. Denkleminde yer alan $\hat{\beta}_0$ ve $\hat{\beta}_1$ terimlerinin değerlerini bulmak için en küçük kareler tekniği kullanılır. Bu tekniğin temelinde, toplam sapmaların karelerinin toplamını en küçük yapacak değerlerin bulunması yatmaktadır. Burada \hat{Y} , X değişkeninin bir X değerine karşılık gelen Y değişkeni hesaplanan değerini; $\hat{\beta}_0$ ve $\hat{\beta}_1$ ise β_0 ve β_1 için hesaplanan kestirim

değerlerini göstermektedir. \hat{Y} teorik değeriyle Y gözlem değerleri arasındaki farklar hata terimlerini oluşturur.

$$e = Y - \hat{Y}$$

şeklinde hesaplanan hata terimleri ‘pozitif’, ‘negatif’ veya ‘sıfır’ değerine sahip olurken bu farkların toplamı sıfıra eşittir.

$$\sum_{i=1}^k e_i = \sum_{i=1}^k (Y_i - \hat{Y}_i) = 0$$

En küçük kareler yönteminin esası; β_0 ve β_1 'in kestirimleri olan $\hat{\beta}_0$ ve $\hat{\beta}_1$ 'yi söz konusu farkı en küçük yapacak şekilde belirlemektir. Yani,

$$\sum_{i=1}^k e_i^2 = \sum_{i=1}^k (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = \text{en küçük}$$

olacak şekilde belirlemektir. Burada regresyon katsayılarının en küçük kareler tahminlerini elde edebilmek için,

$$\sum_{i=1}^k (Y_i - (\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_i))^2 = q$$

eşitliğinde $\hat{\beta}_0$ ve $\hat{\beta}_1$ 'ya göre kısmi türevler alınıp sıfıra eşitlendiğinde;

$$\frac{\partial q}{\partial \hat{\beta}_0} = \sum_{i=1}^k (-2)[Y_i - (\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_i)] = 0$$

ve

$$\frac{\partial q}{\partial \hat{\beta}_1} = \sum_{i=1}^k (-2)X_i[Y_i - (\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_i)] = 0$$

eşitlikleri ve buradan da;

$$\sum_{i=1}^k Y_i = \hat{\beta}_0 n + \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^k X_i$$

ve

$$\sum_{i=1}^k X_i Y_i = \hat{\beta}_0 \sum_{i=1}^k X_i + \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^k X_i^2$$

normal denklemler olarak isimlendirilen eşitliklere ulaşılır.

$\hat{\beta}_0$ ve $\hat{\beta}_1$ formülleri ise;

$$\hat{\beta}_1 = \frac{n \left[\sum_{i=1}^k X_i Y_i \right] - \left(\sum_{i=1}^k X_i \right) \left(\sum_{i=1}^k Y_i \right)}{n \left(\sum_{i=1}^k X_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^k X_i \right)^2} = \frac{\sum_{i=1}^k (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^k (X_i - \bar{X})^2}$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^k Y_i + \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^k X_i}{n} = \bar{Y} - \hat{\beta}_1 \bar{X}$$

olarak bulunur. Burada \bar{X} ve \bar{Y} sırasıyla X_i ve Y_i değerlerinin ortalamalarını göstermektedir.

STOKASTİK KISIM KATSAYILARININ BELİRLENMESİ (EK 5)

Denklemin;

$$dx_t = \theta(\mu - x_t) dt + \sigma dW_t$$

Denklemin ayrık formdaki hali;

$$x_t = x_0 e^{-\theta t} + \mu(1 - e^{-\theta t}) + \int_0^t \sigma e^{\theta(s-t)} dW_s.$$

Denklemin En Küçük Kareler Yöntemi ile çözmek için,

$$Y = b + aX + \varepsilon$$

formunda tekrar düzenlediğimizde,

$$X_{i+1} = X_i e^{-\Delta t \theta} + \mu(1 - e^{-\Delta t \theta}) + \sigma \sqrt{\frac{1 - e^{-2\theta \Delta t}}{2\theta}}$$

denklemini elde ederiz. Lineer denklemin a ve b katsayıları,

$$X_x = \sum_{i=1}^n X_{i-1}$$

$$X_y = \sum_{i=1}^n X_i$$

$$X_{xx} = \sum_{i=1}^n X_{i-1}^2$$

$$X_{xy} = \sum_{i=1}^n X_{i-1} S_i$$

$$X_{yy} = \sum_{i=1}^n X_i^2$$

ifadeleri kullanılarak aşağıdaki denklemlerle bulunabilir.

$$a = \frac{nX_{xx} - X_{xy}}{nX_{xx} - X_x^2}$$

$$b = \frac{X_y - aX_x}{n}$$

$$sd(\epsilon) = \sqrt{\frac{nX_{xy} - X_y^2 - a(nX_{xy} - X_x X_y)}{n(n-2)}}$$

Stokastik denklemin katsayılarının, lineer denklem katsayıları ile ifade eden,

$$\theta = -\frac{\ln a}{\Delta t}$$

$$\mu = \frac{b}{1-a}$$

$$\sigma = sd(\epsilon) \sqrt{\frac{-2\ln a}{\Delta t(1 - a^2)}}$$

Denklemler yardımıyla da stokastik denkleme ait parametreler elde edilir.