

T.C.  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ  
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
İKTİSAT ANABİLİM DALI

ELEKTRİK PİYASASINDA FİYATLANDIRMA VE  
TÜRKİYE ELEKTRİK PİYASASINDA FİYAT TAHMİNİ

DOKTORA TEZİ

İbrahim Murat BİCİL

BALIKESİR, 2015

T.C.  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ  
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
İKTİSAT ANABİLİM DALI

ELEKTRİK PİYASASINDA FİYATLANDIRMA VE  
TÜRKİYE ELEKTRİK PİYASASINDA FİYAT TAHMİNİ

DOKTORA TEZİ

TEZ DANIŞMANI  
Prof. Dr. Hakan ÇETİNTAŞ

İbrahim Murat BİCİL  
BALIKESİR, 2015

T.C.  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ  
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
TEZ ONAYI

Enstitümüzün İktisat Anabilim Dalı'nda 201112506001 numaralı İbrahim Murat BİCİL'in hazırladığı

“Elektrik Piyasasında Fiyatlandırma ve Türkiye Elektrik Piyasasında Fiyat Tahmini” konulu DOKTORA tezi ile ilgili TEZ SAVUNMA SINAVI, Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği uyarınca 16.01.2015 tarihinde yapılmış, sorulan sorulara alınan cevaplar sonunda tezin onayına OY BİRLİĞİ ile karar verilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Kerim ÖZDEMİR

İmza.....

Üye: Prof. Dr. Hakan ÇETİNTAŞ (Danışman)

İmza.....

Üye: Prof. Dr. Recep TARI

İmza.....

Üye: Prof. Dr. Şakir SAKARYA

İmza.....

Üye: Prof. Dr. Alpaslan SEREL

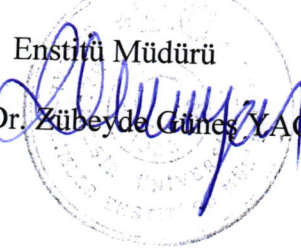
İmza.....

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduklarını onaylıyorum.

27.01/2015

Enstitü Müdürü

Doç. Dr. Zübeyde Güneş YAĞCI



## ÖNSÖZ

Elektrik piyasaları geçmişte dikey bütünleşik yapıda olan elektrik enerjisi üretimi, iletimi ve dağıtım faaliyetlerini kapsayan piyasalardır. 1970 sonrası iktisat biliminin endüstri iktisadı dalında literatürde yaşanan gelişmeler ekonomide daha piyasa temelli çözüm önerileri getirmektedir. Nitekim 1980 sonrası dönemde dünyada bir çok ekonomide doğal monopol niteliği taşıyan endüstrilerde yaşanan serbestleşme süreci elektrik piyasalarında da gerçekleşmiştir. Türkiye 'de de bu süreç ilk aşamada yap işlet devret, işletme hakkı devri gibi modellerle başlayarak 2001 yılında çıkarılan 4628 sayılı elektrik piyasası kanunuyla yeni bir piyasa tasarımıyla sonuçlanmıştır. Türkiye elektrik piyasasında yaşanan dönüşüm sonrası elektrik fiyatlarının belirlendiği piyasa yapısı da değişmiştir. Elektrik üretim faaliyetlerinde yaşanan serbestleşme ve elektrik piyasasında gün öncesi piyasasına geçiş elektrik fiyatlarının tahminiyle ilgili çalışmaları beraberinde getirmiştir. Gerek elektrik piyasası katılımcıları gerekse bu piyasada düzenleyici rol oynayan kurumlar elektrik toptan satış fiyatlarının özellikleri ve izleyeceği seyirle ilgilenmektedirler. Bunun yanında elektrik enerjisinin üretim sürecinde önemli bir girdi olması, yaşamımızın önemli bir bölümünde ihtiyaç duyulan ve birçok alanda ikamesi olmayan bir kaynak olması nedeniyle, elektrik fiyatları ekonomideki tüm kesimleri ilgilendiren bir değişken olarak karşımıza çıkmaktadır. Dolayısıyla elektrik fiyatları tahmini üzerine farklı modellerin performanslarını karşılaştıran bu çalışmanın akademisyenlere, enerji sektöründe faaliyet gösteren girişimcilere, düzenleyici kurumlarda görev alan araştırmacı ve uzmanlara ve enerji sektörüyle ilgilenen okuyuculara yararlı olacağı umulmaktadır.

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında daha doğrusu bu çalışmayı gerçekleştirecek bilgi seviyesine ulaşmamı sağlayan ve günümüzün en değerli kaynağı olan zamanı hiç esirgmeden ben ve benim gibi öğrencileri için kullanan tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Hakan ÇETİNTAŞ'a, çalışmanın devam ettiği süreçte her konuda düşünce ve görüşlerini benimle paylaşan ve sorularımı cevapsız bırakmayan, Sayın Prof. Dr. Şakir SAKARYA'ya ve Sayın Prof. Dr. Alpaslan SEREL'e, ve bugünlere gelmemde emeği bulunan tüm akademisyenlere teşekkür ederim.

Ayrıca doktora tez yazım sürecinde dünyaya gelen ve yeterince zaman ayıramadığım oğlum Deniz Tufan BİCİL'e ve bu zor süreçte beni hiçbir an yalnız bırakmayan, her zaman destek olan eşim Zeynep BİCİL'e, bana dürüstlüğü en

büyük erdem olduğunu aşıl原因 ve bilginin en büyük güç olduğunu öğütleyen rahmetli babam Basri Tufan BİCİL'e, sevgisini ve dualarını hiç eksik etmeyen annem Ülgen BİCİL'e, zor zamanlarımda hep yanımda olan ağabeyim Mehmet BİCİL'e sonsuz teşekkürler.

İbrahim Murat BİCİL  
BALIKESİR, 2015

**ÖZET**  
**ELEKTRİK PİYASASINDA FİYATLANDIRMA VE TÜRKİYE ELEKTRİK**  
**PİYASASINDA FİYAT TAHMİNİ**

BİCİL, İbrahim Murat

Doktora Tezi, İktisat Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hakan ÇETİNTAŞ

2015, 125 sayfa

2001 yılında yürürlüğe giren 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunuyla Türkiye elektrik piyasasında yeni bir dönem başlamıştır. Bu tez çalışmasında serbestleşme sürecinde olan Türkiye elektrik piyasasında farklı fiyat tahmin yöntemleri kullanılarak Türkiye elektrik piyasasında saatlik fiyat tahminleri gerçekleştirilmiştir. Fiyat tahmininde mevsimsel otoregresif hareketli ortalama modeli ile farklı ağ mimarileri ile tasarlanmış çok katmanlı algılayıcılar kullanılmıştır. Çalışmada Türkiye elektrik piyasası için önemli bir değişiklik olan gün öncesi piyasasına geçiş dikkate alınarak 2012 Ocak - 2014 Nisan dönemini kapsayan saatlik piyasa takas fiyatları ve hava sıcaklığı değişkenleri kullanılmıştır. Tahmin modellerinin performansı, ortalama mutlak hata, ortalama mutlak yüzde hata, karekök ortalama hata ve Theil's eşitsizlik katsayısı ölçütlerine göre değerlendirilmiştir. Tahmin sonuçları Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu ve Levenberg Marquardt algoritması ile eğitilen çok katmanlı algılayıcının en yüksek tahmin performansı sağladığını göstermiştir. Ampirik bulgular, literatürle uyumlu olarak yapay sinir ağı modellerinin otoregresif hareketli ortalama modellerine göre daha yüksek performansa sahip olduğunu göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Elektrik Piyasası, Fiyat Tahmini, Zaman Serisi Analizi, Yapay Sinir Ağları

**ABSTRACT**  
**PRICING IN ELECTRICITY MARKET AND PRICE FORECASTING IN**  
**TURKISH ELECTRICITY MARKET**

BİCİL, İbrahim Murat

PhD Thesis, Department of Economics

Advisor of Thesis: Prof. Dr. Hakan ÇETİNTAŞ

2015, 125 pages

In Turkish Electricity Market a new period has begun with the Electricity Law numbered 4628 which came into force in year 2001. In this thesis hourly price forecasting is performed by using different price forecasting techniques for the Turkish Electricity Market which is in the liberalization process. For price forecasting, seasonal autoregressive moving average and designed with different network architectures multilayer perceptrons are used. In this study, transition to the system day a head market which is important evolution for Turkish Electricity Market is taken into account and system day a head price is forecasted by using open air temperature and system day a head price variables for January 2012-April 2014 period. The performance of forecasting models is evaluated with mean absolute error, mean absolute percentage error, and Theil's inefficiency coefficient criterias. Forecasting results presented that multilayer perceptron which trained with sigmoid transfer function and Levenberg Marquardt algorithm gave the highest forecasting performance. Empirical evidences consistent with the literature showed that artificial neural network models performances are higher than autoregressive moving average models.

**Key Words:** Electricity Market, Price Forecasting, Time Series Analysis, Artificial Neural Networks.

## İÇİNDEKİLER

|                          |      |
|--------------------------|------|
| Önsöz .....              | iii  |
| Özet.....                | v    |
| Abstract .....           | vi   |
| Tablolar Listesi.....    | xi   |
| Şekiller Listesi.....    | xiii |
| Grafikler Listesi.....   | xiv  |
| Kısaltmalar Listesi..... | xvii |

## BİRİNCİ BÖLÜM

### GİRİŞ

|   |   |
|---|---|
| 1.1 Problemin Tespiti.....                        | 1 |
| 1.2.Çalışmanın Amacı.....                         | 2 |
| 1.3.Çalışmanın Önemi ve Literatüre Katkısı.....   | 3 |
| 1.4.Araştırmanın Sınırlılıkları (Kısıtları) ..... | 3 |
| 1.5.Tanımlar .....                                | 4 |

## İKİNCİ BÖLÜM

### DOĞAL MONOPOL VE ELEKTRİK PİYASALARINDA YAPILANMA

#### (TEORİK ÇERÇEVE)

|   |    |
|---|----|
| 2.1 Doğal Monopol Teorisinin Gelişimi.....        | 5  |
| 2.1.1 Tek Ürünlü Bir Piyasada Doğal Monopol.....  | 7  |
| 2.1.2 Çok Ürünlü Bir Piyasada Doğal Monopol ..... | 9  |
| 2.2 Doğal Monopolün Regülasyonu .....             | 11 |
| 2.2.1 Getiri Oranı Regülasyonu.....               | 12 |
| 2.2.2 Tavan Fiyat Regülasyonu .....               | 13 |



|   |    |
|---|----|
| 2.2.3 Görelî Rekabet Yöntemi.....                               | 14 |
| 2.3 Doğal Monopol Piyasaları İçin Regülasyon Dışı Öneriler..... | 15 |
| 2.3.1 Demsetz Rekabet Teorisi.....                              | 15 |
| 2.3.2 Yarışabilir Piyasalar Teorisi .....                       | 16 |
| 2. 4. Elektrik Piyasaları ve Özellikleri.....                   | 17 |
| 2.4.1 Elektrik Piyasasının Yapısı ve İşleyişi.....              | 19 |
| 2.4.1.1 Elektrik Piyasalarının Yapılanması.....                 | 20 |
| 2.4.1.1.1 Monopol.....  | 20 |
| 2.4.1.1.2. Tek Alıcı .....                                      | 20 |
| 2.4.1.1.3. Toptan Satış Rekabeti.....                           | 21 |
| 2.4.1.1.4 Perakende Satış Rekabeti.....                         | 22 |
| 2.5 Elektrik Piyasasında Reform .....                           | 23 |
| 2.6. Elektrik Toptan Satış ve Perakende Satış Piyasaları.....   | 25 |

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### TÜRKİYE ELEKTRİK PİYASASI

|   |    |
|---|----|
| 3.1. Türkiye Elektrik Piyasasının Tarihsel Gelişimi.....        | 27 |
| 3.2 Türkiye Elektrik Piyasasında Reform.....                    | 29 |
| 3.3 Türkiye Elektrik Piyasasında Üretim, İletim ve Dağıtım..... | 31 |
| 3.3.1 Üretim.....   | 31 |
| 3.3.2 İletim .....  | 33 |
| 3.3.3 Dağıtım.....  | 34 |
| 3.4 Türkiye Elektrik Toptan Satış Piyasası.....                 | 35 |
| 3.4.1 Gün Öncesi Piyasası.....                                  | 38 |
| 3.4.1.1 Saatlik Teklifler .....                                 | 39 |
| 3.4.1.2Blok Teklifler.....                                      | 40 |
| 3.4.1.3 Esnek Teklifler.....                                    | 41 |

|   |    |
|---|----|
| 3.4.2 Sistem Gün Öncesi Fiyatının (Piyasa Takas Fiyatı) Belirlenmesi..... | 41 |
|---|----|

## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

### ARAŞTIRMA YÖNTEMİ VE ANALİZ

|   |    |
|---|----|
| 4.1 Elektrik Fiyat Tahmin Modelleri .....   | 43 |
| 4.1.1 Zaman Serisine Dayalı Modeller .....  | 45 |
| 4.1.1.1 Otoresif (AR) ve Hareketli Ortalama (MA) .....  | 45 |
| 4.1.1.2 Otoresif Hareketli Ortalama (ARMA) .....  | 46 |
| 4.1.1.3 Mevsimsel Otoresif Hareketli Ortalama (SARMA) .....   | 47 |
| 4.1.2 Yapay Sinir Ağları .....  | 47 |
| 4.1.2.1 Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri, Sınıflandırılması ve Uygulama Alanları .....                     | 49 |
| 4.1.2.2 Çok Katmanlı Algılayıcı.....  | 49 |
| 4.1.3 Elektrik Fiyatlarının Özellikleri.....  | 52 |
| 4.1.4 Elektrik Piyasasında Fiyat Tahmini ile İlgili Çalışmalar .....  | 53 |
| 4.2 Türkiye Elektrik Piyasasında Fiyat Tahmini.....   | 62 |
| 4.2.1 Birim Kök Testi Sonuçları.....  | 66 |
| 4.2.2 Türkiye Elektrik Piyasasında Piyasa Takas Fiyatının Mevsimsel ARMA Modeli ile Tahmini .....           | 68 |
| 4.2.2.1 Piyasa Takas Fiyatının Mevsimsel ARMA Modeli ile Tahmini .....                                      | 68 |
| 4.2.2.2 Kırılmış Piyasa Takas Fiyatının ARMA Modeli ile Tahmini .....                                       | 73 |
| 4.2.3 Türkiye Elektrik Piyasasında Piyasa Takas Fiyatının Çok Katmanlı Algılayıcı ile Tahmini .....         | 77 |
| 4.2.3.1 Piyasa Takas Fiyatı Çok Katmanlı Algılayıcı Tahmin Sonuçları.....                                   | 77 |
| 4.2.3.1.1 Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu Momentumlu Geri Yayılım Algoritması için PTF Tahmin Sonuçları ..... | 79 |
| 4.2.3.1.2 Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu Levenberg-Marquardt Algoritması için PTF Tahmin Sonuçları.....      | 83 |

|  |            |
|--|------------|
| 4.2.3.1.3 Hiperbolik Tanjant Aktivasyon Fonksiyonu Momentumlu Geri Yayılım Algoritması İçin PTF Tahmin Sonuçları.....            | 87         |
| 4.2.3.1.4 Hiperbolik Tanjant Aktivasyon Fonksiyonu Levenberg Marquardt Algoritması İçin PTF Tahmin Sonuçları.....                | 91         |
| 4.2.3.2 Kırpılmış Piyasa Takas Fiyatı Çok Katmanlı Algılayıcı Tahmin Sonuçları ..  | 95         |
| 4.2.3.2.1 Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu Momentumlu Geri Yayılım Algoritması için Kırpılmış PTF Tahmin Sonuçları .....            | 95         |
| 4.2.3.2.2 Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu Levenberg-marquardt Algoritması için Kırpılmış PTF Tahmin Sonuçları .....                | 99         |
| 4.2.3.2.3 Hiperbolik Tanjant Aktivasyon Fonksiyonu Momentumlu Geri Yayılım Algoritması için Kırpılmış PTF Tahmin Sonuçları ..... | 103        |
| 4.2.3.2.4 Hiperbolik Tanjant Aktivasyon Fonksiyonu Levenberg Marquardt Algoritması İçin Kırpılmış PTF Tahmin Sonuçları.....      | 107        |
| 4.2.4 Mevsimsel ARMA modeli ile Çok Katmanlı Algılayıcı Tahmin Performanslarının Karşılaştırılması.....                          | 111        |
| 4.3 Sonuç ve Öneriler .....  | 114        |
| <b>KAYNAKÇA .....</b>  | <b>118</b> |

## Tablolar Listesi

|  |    |
|--|----|
| Tablo 2.1 Elektrik Reformunun Temel Aşamaları .....  | 24 |
| Tablo 3.1. Gün Öncesi Piyasası Saatlik Teklif Örneği .....   | 40 |
| Tablo 3.2 Gün Öncesi Piyasası Blok Teklif Örneği .....   | 40 |
| Tablo 3.3 Gün Öncesi Piyasası Esnek Teklif Örneği .....  | 41 |
| Tablo 3.4 Sistem Gün Öncesi Fiyatının Oluşumu.....   | 42 |
| Tablo 4.1 Piyasa Takas Fiyatı Otokorelasyon ve Kısmi Otokorelasyon Değerleri....                                       | 64 |
| Tablo 4.2 Kırılmış Piyasa Takas Fiyatı Otokorelasyon ve Kısmi Otokorelasyon Değerleri.....                             | 65 |
| Tablo 4.3 Piyasa Takas Fiyatı ADF Test Sonuçları .....   | 66 |
| Tablo 4.4 Piyasa Takas Fiyatı Philips Perron Test Sonuçları .....  | 66 |
| Tablo 4.5 Kırılmış Piyasa Takas Fiyatı ADF Test Sonuçları.....   | 67 |
| Tablo 4.6 Kırılmış Piyasa Takas Fiyatı Philips Perron Test Sonuçları .....   | 67 |
| Tablo 4.7 Piyasa Takas Fiyatı ARMA Model Seçim Kriterleri .....  | 69 |
| Tablo 4.8 $ARMA(1,1)(2,1)_{24}(3,1)_{168}$ Modeli Tahmin Sonuçları.....  | 69 |
| Tablo 4.9 $ARMA(1,1)(2,1)_{24}(3,1)_{168}$ Modeli Piyasa Takas Fiyatı Tahmin Performansı .....                         | 70 |
| Tablo 4.10 Kırılmış Piyasa Takas Fiyatı ARMA Model Seçim Kriterleri .....  | 73 |
| Tablo 4.11 $ARMA(1,1)(3,1)_{24}(3,1)_{168}$ Modeli Tahmin Sonuçları .....  | 74 |
| Tablo 4.12 $ARMA(1,1)(3,1)_{24}(3,1)_{168}$ Modeli Kırılmış Piyasa Takas Fiyatı Tahmin Performansı .....               | 74 |
| Tablo 4.13 Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu ve Momentumlu Geri Yayılım Algoritması PTF Tahmin Performansı.....            | 80 |
| Tablo 4.14 Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu ve Levenberg-Marquardt Eğitim Algoritması PTF Tahmin Performansı.....         | 84 |
| Tablo 4.15 Hiperbolik Tanjant Aktivasyon Fonksiyonu ve Momentumlu Geri Yayılım Algoritması PTF Tahmin Performansı..... | 88 |

|  |     |
|--|-----|
| Tablo 4.16 Hiperbolik Tanjant Aktivasyon Fonksiyonu ve Levenberg Marquart Algoritması PTF Tahmin Performansı.....                    | 92  |
| Tablo 4-17 Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu ve Momentumlu Geri Yayılım Algoritması Kırpılmış PTF Tahmin Performansı.....                | 96  |
| Tablo 4.18 Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu ve Levenberg- Marquardt Eğitim Algoritması kırpılmış PTF Tahmin Performansı.....            | 100 |
| Tablo 4.19 Hiperbolik Tanjant Aktivasyon Fonksiyonu ve Momentumlu Geri Yayılım Algoritması kırpılmış PTF Tahmin Performansı .....    | 104 |
| Tablo 4.20 Hiperbolik Tanjant Aktivasyon Fonksiyonu ve Levenberg Marquardt Eğitim Algoritması kırpılmış PTF Tahmin Performansı ..... | 108 |
| Tablo 4.21 Piyasa Takas Fiyatı Verilerini Kırpmanın Model Performanslarına Etkisi (% Değişme).....                                   | 113 |

## Şekiller Listesi

|  |    |
|--|----|
| Şekil -2.1 Toplanabilirlik ve Negatif Ölçek Ekonomisi .....                    | 8  |
| Şekil 2.2 Elektrik Endüstrisinin Fiziki Yapısı.....                            | 18 |
| Şekil 2.3 Elektrik piyasasında Dikey Bütünleşik Yapı.....                      | 20 |
| Şekil 2-4 Tek Alıcı Modeli .....   | 21 |
| Şekil 2-5 Toptan Satış Rekabeti .....  | 22 |
| Şekil 2-6 Perakende Satış Rekabeti .....                                       | 23 |
| Şekil 3.1. Türkiye Elektrik Piyasasında Reform Süreci .....                    | 30 |
| Şekil 4.1 Elektrik Fiyat Modellerinin Sınıflandırılması .....                  | 43 |
| Şekil 4.2 Sinir Hücresinin Yapısı .....  | 48 |
| Şekil 4.3 Yapay Sinir Hücresi .....  | 48 |
| Şekil 4.4 Çok Katmanlı Algılayıcı .....  | 50 |
| Şekil 4.5 Rekabetçi Elektrik Piyasalarında Fiyatları Etkileyen Faktörler ..... | 53 |
| Şekil 4.6 Piyasa Takas Fiyatı Tahmininde Kullanılan ÇKA Yapısı .....           | 78 |

## Grafikler Listesi

|  |    |
|--|----|
| Grafik 3.1 Kurulu Gücün Kaynaklara Göre Dağılımı (Nisan 2013) .....  | 31 |
| Grafik 3.2 Kurulu Gücün Üretici Kuruluşlara Göre Dağılımı (Nisan 2013) .....   | 32 |
| Grafik 3.3 Türkiye’de Yıllar İtibariyle Elektrik Üretiminin Kaynaklara Göre Dağılımı 1984-2011 .....   | 32 |
| Grafik 3.4 Türkiye’de Kurulu Gücün 2006-2011 Döneminde Üretici Kuruluşlara Göre Dağılımı .....   | 33 |
| Grafik 3.5 Sistem Gün öncesi Fiyatının Oluşumu (Arz – Talep) .....   | 42 |
| Grafik 4.1 Türkiye Elektrik Piyasasında Sistem Gün Öncesi Fiyatı (Piyasa Takas Fiyatı, PTF) (TL/MWh) .....   | 62 |
| Grafik 4.2 Piyasa Takas Fiyatı Tanımlayıcı İstatistikleri .....  | 63 |
| Grafik 4.3 Kırılmış Sistem Marjinal Fiyatı (Kırılmış Piyasa Takas Fiyatı PTFK) (TL/MWH) .....  | 64 |
| Grafik 4.4 Kırılmış Piyasa Takas Fiyatı Tanımlayıcı İstatistikleri .....   | 65 |
| Grafik 4.5 01/11/2013-17/04/2014 Piyasa Takas Fiyatı ve Tahmin Edilen Piyasa Takas Fiyatı ( $ARMA (1,1) (2,1)_{24} (3,1)_{168}$ Modeli) .....  | 70 |
| Grafik 4.6 01/11/2013-17/04/2014 Kırılmış Piyasa Takas Fiyatı ve Tahmin Edilen Piyasa Takas Fiyatı ( $ARMA (1,1) (3,1)_{24} (3,1)_{168}$ Modeli) .....                               | 75 |
| Grafik 4.7 Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu ve Momentumlu Geri Yayılım Algoritması Kullanılan ÇKA için Ortalama Karesel Hata ve Proses Elemanı Sayısı .....                             | 79 |
| Grafik 4.8 01/11/2013-17/04/2014 Dönemi Piyasa Takas Fiyatı ve Tahmin Edilen Piyasa Takas Fiyatı (Aktivasyon Fonksiyonu: Sigmoid, Eğitim Algoritması: Momentumlu Geri Yayılım) ..... | 80 |
| Grafik 4.9 Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu ve Levenberg Marquardt Eğitim Algoritması Kullanılan ÇKA için Ortalama Karesel Hata ve Proses Elemanı Sayısı .....                          | 83 |
| Grafik 4.10. 01/11/2013-17/04/2014 Dönemi Piyasa Takas Fiyatı ve Tahmin Edilen Piyasa Takas Fiyatı (Aktivasyon Fonksiyonu: Sigmoid, Eğitim Algoritması: Levenberg-Marquardt) .....   | 85 |

|   |     |
|---|-----|
| Grafik 4.11 Hiperbolik Tanjant Aktivasyon Fonksiyonu ve Momentumlu Geri Yayılım Algoritması kullanılan ÇKA için Ortalama Karesel Hata ve Proses Elemanı Sayısı.....   | 87  |
| Grafik 4.12 01/11/2013-17/04/2014 Dönemi Piyasa Takas Fiyatı ve Tahmin Edilen Piyasa Takas Fiyatı (Aktivasyon Fonksiyonu: Hiperbolik Tanjant, Eğitim Algoritması:Momentumlu Geri Yayılım).....                    | 89  |
| Grafik 4.13 Hiperbolik Tanjant Aktivasyon Fonksiyonu ve Levenberg Marquardt Eğitim Algoritması Kullanılan ÇKA için Ortalama Karesel Hata ve Proses Elemanı Sayısı.....  | 91  |
| Grafik 4.14 01/11/2013-17/04/2014 Dönemi Piyasa Takas Fiyatı ve Tahmin Edilen Piyasa Takas Fiyatı (Aktivasyon Fonksiyonu: Hiperbolik Tanjant, Eğitim Algoritması:Levenberg Marquardt).....                        | 92  |
| Grafik 4.15 Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu ve Momentumlu Geri Yayılım Algoritması Kullanılan ÇKA için Ortalama Karesel Hata ve Proses Elemanı Sayısı. ....   | 95  |
| Grafik 4.16 01/11/2013-17/04/2014 Dönemi Kırılmış Piyasa Takas Fiyatı ve Tahmin Edilen Kırılmış Piyasa Takas Fiyatı (Aktivasyon Fonksiyonu: Sigmoid, Eğitim Algoritması: Momentumlu Geri Yayılım).....            | 97  |
| Grafik 4.17 Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu ve Levenmerberg Marquardt Eğitim Algoritması Kullanılan ÇKA için Ortalama Karesel Hata ile Proses Elemanı Sayısı .....  | 99  |
| Grafik 4.18 01/11/2013-17/04/2014 Dönemi Kırılmış Piyasa Takas Fiyatı ve Tahmin Edilen Kırılmış Piyasa Takas Fiyatı (Aktivasyon Fonksiyonu: Sigmoid, Eğitim Algoritması: Levenberg Marquardt) .....               | 100 |
| Grafik 4.19 Hiperbolik Tanjant Aktivasyon Fonksiyonu ve Momentumlu Geri Yayılım Algoritması Kullanılan ÇKA için Ortalama Karesel Hata ile Proses Elmanı Sayısı.....   | 103 |
| Grafik 4.20 01/11/2013-17/04/2014 Dönemi Kırılmış Piyasa Takas Fiyatı ve Tahmin Edilen Kırılmış Piyasa Takas Fiyatı (Aktivasyon Fonksiyonu: Hiperbolik Tanjant Eğitim Algoritması: Momentumlu Geri Yayılım) ..... | 104 |



|  |     |
|--|-----|
| Grafik 4.21 Hiperbolik Tanjant Aktivasyon Fonksiyonu ve Levenberg Marquardt Algoritması kullanılan ÇKA için Ortalama Karesel Hata ile Proses Elemanı Sayısı .....  | 107 |
| Grafik 4.22 01/11/2013-17/04/2014 Dönemi Kırpılmış Piyasa Takas Fiyatı ve Tahmin Edilen Kırpılmış Piyasa Takas Fiyatı (Aktivasyon Fonksiyonu: Hiperbolik Tanjant Eğitim Algoritması: Levenberg Marquardt)..... | 108 |
| Grafik 4.23 OMYH Kriterine Göre Tahmin Modellerinin Piyasa Takas Fiyatı Tahmin Performansları .....  | 111 |
| Grafik 4.24 OMYH Kriterine Göre Tahmin Modellerinin Kırpılmış Piyasa Takas Fiyatı Tahmin Performansları.....   | 112 |

## **Kısaltmalar Listesi**

**ABD:** Amerika Birleşik Devletleri

**ÇKA:** Çok Katmanlı Algılayıcı

**EPDK:** Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu

**EPIAŞ:** Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi.

**EÜAŞ:** Elektrik Üretim Anonim Şirketini.

**GÜP:** Gün Öncesi Planlama

**İHD:** İşletme Hakkı Devri

**KOH:** Karekök Ortalama Hata

**MYTM:** Milli Yük Tevzi Merkezi

**OMH:** Ortalama Mutlak Hata

**OMYH:** Ortalama Mutlak Yüzde Hata

**PTF:** Piyasa Takas Fiyatı

**PTFT:** Tahmin Edilen Piyasa Takas Fiyatı

**SMF:** Sistem Marjinal Fiyatı

**TCMB:** Türkiye Cumhuriyet merkez Bankası

**TEAŞ:** Türkiye Elektrik Üretim A.Ş.

**TEİAŞ:** Türkiye Elektrik İletim A.Ş.

**TETAŞ:** Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt A.Ş.

**TEK:** Theil's Eşitsizlik Katsayısı

**TÜFE:** Tüketici fiyat endeksi.

**PMUM:** Piyasa Mali Uzlaştırma Merkezi

**PTFK:** Kırpılmış Piyasa Takas Fiyatı

**PYS:** Piyasa Yönetim Sistemi

**YSA:** Yapay Sinir Ağı

**YİD:** Yap İşlet Devret

**Yİ:** Yap İşlet

# BİRİNCİ BÖLÜM

## GİRİŞ

Çalışmanın bu bölümünde, araştırmanın problemi, amacı, önemi ve sınırlılıkları yer almaktadır.

### 1.1 Problemin Tespiti

Elektrik piyasaları dikey bütünleşik yapıdan rekabetçi piyasa yapısına geçen piyasalardır. Birçok ülkede 1980 sonrası reform süreci olarak nitelendirilen dönemde gerçekleştirilen yapısal düzenleme ve özelleştirme uygulamaları ile elektrik piyasalarında liberal yapıya geçiş gerçekleştirmiştir. Bu dönüşüm sürecinde ülkemizde 2001 yılında yürürlüğe giren 4628 sayılı Elektrik piyasası kanunuyla elektrik piyasası açısından yeni bir dönem başlamıştır. Yeni elektrik piyasası kanunuyla birlikte elektrik piyasasının dikey bütünleşik yapısı değişime uğramıştır. Elektrik fiyatlarının piyasa katılımcılarına bağlı olarak oluştuğu yeni elektrik piyasası yapısı ortaya çıkmıştır.

Elektrik piyasalarının yapısı üretim, nakil ve yük olarak üç kısımdan oluşmaktadır. Üretim santrallerde gerçekleştirilen üretimi, nakil iletim ve dağıtım faaliyetlerini, yük ise nihai tüketimi ifade eder (Camadan, 2010, s.30). Bunun yanında elektrik piyasasını diğer piyasalardan ayıran bir takım özellikler bulunmaktadır. Elektrik enerjisi depolanamadığından dolayı arz ve talebin sürekli olarak dengede tutulması gerekmektedir. Elektrik piyasalarında talep esnekliği düşüktür. Elektrik fiyatlarında meydana gelen değişmelere kısa vadede tüketicilerin tepkisi düşük olmaktadır. Elektrik talebinin yıl içinde mevsimler, günler arasında ve gün içinde değişiklik göstermesi söz konusudur. Bu nedenle elektrik piyasasında üretim ayağında sürekli bir yedek kapasite bulundurulması gerekmektedir. Elektrik piyasasını diğer piyasalardan ayıran bu özellikler ile piyasa yapısına bağlı olarak elektrik fiyatları oluşmaktadır. Dikey bütünleşik piyasa yapısında, elektrik enerjisi fiyatı doğal tekel konumunda olan düzenleyici tarafından üretim, iletim ve dağıtım maliyetlerinin fonksiyonu olarak belirlenmektedir. Bu yapı içinde elektrik fiyatlarının belirsizliği düşüktür. Ancak birçok ülkede başlatılan reform süreci üretim

faaliyetlerinin rekabete açılması ile sonuçlanınca elektrik üretim maliyetleri ve elektrik fiyatları ile ilgili belirsizlik artmıştır (Escribano, Pena ve Villaplana, 2011).

Elektrik fiyatlarının oluşumuna etki eden dinamiklerin belirlenmesi ve fiyatın oluşumunu açıklayabilen bir sistem veya model oluşturulması, üreticiler, tüketiciler ve politika yapıcılar açısından büyük önem taşımaktadır (Catalao, Mariano, Mendes ve Ferreira, 2007, s. 1298). Bu nedenle elektrik fiyatlarının oluşumu, elektrik fiyatlarındaki değişkenlik ve belirsizliğin açıklanması akademik tartışmalara da konu olmaktadır. Günümüzde elektrik fiyatları ile ilgili belirsizliği ve fiyatlardaki değişmeyi tahmin etmeye yönelik modeller uygulayan birçok çalışma yapılmaktadır. Elektrik fiyatlarının tahmin modellerinde literatürde simülasyon, zaman serisi ve piyasa dengesi modellerine rastlanmaktadır.

Türkiye Elektrik Piyasasında fiyat oluşumu hakkında tahmin gücü ve tutarlılığı yüksek bir fiyat tahmin modeli araştıran bu çalışmanın hipotezleri;

H1- Elektrik piyasasında üretim, iletim ve dağıtım faaliyetleri ile ilgili özelleştirmeler piyasa yapısını değiştirmekte ve elektrik fiyatlarını etkilemektedir.

H2- Elektrik fiyatlarının tahmin edilmesinde kullanılan tahmin modeli ve veri setine bağlı olarak farklı sonuçlar ortaya çıkmaktadır.

şeklinde belirlenmiştir.

## **1.2. Çalışmanın Amacı**

Bu çalışmada 2001 yılında yürürlüğe giren 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ile elektrik piyasası reform sürecini başlatan Türkiye'nin reform süreci sonrası değişen piyasa yapısı içinde elektrik fiyatlarının tahminine yönelik farklı yöntemlerin performansları araştırılmaktadır. Elektrik enerjisinin bir çok sektörde üretim sürecinde önemli bir girdi olması ( önemli bir maliyet kalemi olması), üretildiği anda tüketilmesi gereken bir mal olması ve kısa dönemde fiyat değişikliklerine tepki verilemeyen, fiyat esnekliği katı olan bir mal olması gibi faktörler elektrik fiyatlarının izleyeceği seyrin belirlenmesini önemli kılmaktadır.

Elektrik fiyatlarının tahminine yönelik model tahmini ya da çeşitli modellerin tahmin gücünün araştırılması üreticiler, tüketiciler ve politika yapıcılar açısından çeşitli yararlı sonuçlar doğuracaktır. Bu nedenle bu tez çalışması Türkiye'de elektrik fiyatlarının oluşumunda etkili olan faktörlerle birlikte çeşitli fiyat tahmin modellerini

kullanarak en tutarlı elektrik fiyat tahmin modelini araştırmaktadır. Çalışmada elektrik piyasasının işleyişini açıklamak için öncelikle doğal monopol teorisinin gelişimi sunulmuş ardından elektrik piyasasının yapısı ve özellikleri açıklanmıştır. Takip eden bölümde elektrik piyasasında reform sürecine değinilmiştir. Reform süreci öncesi ve sonrasında elektrik piyasasında fiyat oluşumunun arkasında yer olan faktörler değerlendirildikten sonra günümüzde elektrik piyasalarında fiyat oluşumunu konu alan modeller ele alınmıştır. Ardından Türkiye elektrik piyasasında piyasa takas fiyatı mevsimsel otopregresif hareketli ortalama ve çok katmanlı algılayıcı ile tahmin edilerek, tahmin performansları karşılaştırılmıştır.

### **1.3. Çalışmanın nemi ve Literatüre Katkısı**

Literatür incelendiğinde Türkiye’de elektrik piyasasına ilişkin reform sürecini konu alan ve elektrik piyasası reformu sonrası piyasa yapısını araştıran çalışmalara rastlanmaktadır. Bu alışmalar reform sürecinin piyasanın performansı üzerindeki etkisini ölçmektedir. Bunun yanında elektrik talebini belirleyen faktörler, elektrik talebinin fiyat ve gelir esnekliğini araştıran çalışmalar bulunmaktadır. Ancak elektrik piyasasında yeniden yapılandırma sonrası elektrik fiyatının oluşumu ve elektrik fiyatlarının belirlenmesine yönelik literatür çok gelişmemiştir. Bu alışma ile Türkiye elektrik piyasasında fiyat oluşumu, piyasa yapısı ve reform süreci dikkate alınarak incelenmiş ve piyasa fiyatının tahminine yönelik farklı modeller karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmanın Türkiye elektrik piyasasında reform süreci sonrası elektrik fiyatlarının oluşumunda etkili olan faktörlerin belirlenmesi ve farklı fiyat tahmin modellerinin vereceği sonuçların ortaya konması bakımından literatüre katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

### **1.4. Araştırmanın Sınırlılıkları (Kısıtları)**

Yapılan alışma açısından önemli bir kısıt Türkiye elektrik piyasasında reform sürecinin halen devam ediyor olması ve araştırmanın devam ettiği sürede mevzuatta ve piyasa yapısında meydana gelebilecek olan değişiklerdir.

## 1.5. Tanımlar

Çalışmada elektrik piyasalarına ilişkin açıklamalar yapılırken sık kullanılan kavramlar ve bunlara ilişkin açıklamalar bu başlık altında sunulmaktadır. Bu kavramlardan bazıları literatürde kullanıldığı şekliyle sunulurken Türkiye Elektrik Piyasası ile ilgili olan kavramlar ise elektrik piyasası kanununda belirtildiği şekliyle açıklanmıştır.

**Dağıtım şirketi:** Belirlenen bir bölgede elektrik dağıtımı ile iştigal eden tüzel kişiyi ifade etmektedir.

**İkili anlaşma:** Gerçek ve tüzel kişiler arasında özel hukuk hükümlerine tabi olarak, elektrik enerjisi ve/veya kapasitenin alınıp satılmasına dair yapılan ve Kurul onayına tabi olmayan ticari anlaşmalardır.

**İletim sistemi:** Elektrik iletim tesisleri ve şebekesidir.

**Kurul:** Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu.

**Kurum:** Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu.

**Perakende satış:** Elektriğin tüketicilere satışlarıdır.

**Lisans:** Tüzel kişilere piyasada faaliyet gösterebilmeleri için 6446 sayılı elektrik piyasası kanunu uyarınca verilen izindir.

**Serbest tüketici:** Enerji piyasası düzenleme kurulu tarafından belirlenen elektrik enerjisi miktarından daha fazla tüketimi bulunduğu veya iletim sistemine doğrudan bağlı olduğu veya organize sanayi bölgesi tüzel kişiliğini haiz olduğu için tedarikçisini seçme hakkına sahip gerçek veya tüzel kişidir.

**Toptan satış:** Elektrik enerjisinin ve/veya kapasitesinin tekrar satışı için satışlarıdır.

## İKİNCİ BÖLÜM

### DOĞAL MONOPOL VE ELEKTRİK PİYASALARINDA YAPILANMA

#### (TEORİK ÇERÇEVE)

Elektrik piyasasının işleyişini ve tarihsel süreçte dikey bütünleşik yapısının ayrıştırılarak bir takım faaliyetlerin rekabetçi yapıya dönüştürülmesi sürecinin teorik boyutunu ortaya koymak için çalışmaya doğal tekel teorisinin açıklanmasıyla başlanmıştır. Bu bölümde doğal tekel teorisinin tarihsel gelişimi, tek ürünlü ve çok ürünlü piyasada doğal tekel yapısı ve doğal tekelin düzenlenmesi konuları tartışılacaktır. Ardından elektrik piyasalarının işleyişi ele alınacaktır.

#### 2.1 Doğal Monopol Teorisinin Gelişimi

Monopol tek bir firmanın yakın ikamesi bulunmayan bir malı sattığı piyasa olarak nitelendirilmektedir. Yani tek bir firmanın yakın ikamesi olmayan bir malı ürettiği ve diğer firmaların piyasaya girişinin mümkün olmadığı piyasa yapısıdır.

Monopolle ilgili olarak iktisat teorisinde negatif eğimli talep eğrisiyle karşılaşan satıcı tanımıyla Augustin Cournot (1838) monopolün piyasa fiyatını kabul etmek yerine fiyatı belirleyebilme serbestliğine vurgu yapmıştır. Ardından Dupuit (1844) monopolün farklı alıcılara farklı fiyatlar uygulayabileceğini ifade etmiştir (Sharkey, 1982,s.13).

John Stuart Mill 1848’de doğal monopolden söz eden ilk ekonomisttir. Doğal monopole ilişkin bir tanımlama getirmese de, Mill; belirli kamu hizmetlerinin rekabetçi olarak sağlanamayacağını ifade etmiş ve bu çerçevede Londradaki su ve gaz hizmetlerinin tek bir firma tarafından sağlanmasının daha avantajlı olacağını belirtmiştir. Henry Carter Adams 1887’de doğal monopolle ilgili olarak yaptığı değerlendirmede endüstrileri üç sınıfa ayırmıştır. Ölçeğe göre sabit, azalan ve artan getirinin olduğu bu sınıflamada, sabit ve azalan getirili endüstrilerde rekabetin çalışabileceğini, fakat ölçeğe göre artan getirinin bulunduğu endüstrinin devlet tarafından düzenlenmesi gerektiği ifade edilmiştir. Adams; doğal monopolün tanımını basitleştirerek, bir endüstrideki teknik koşul olan ölçek ekonomisine dayandırmış ve doğal monopolün regülasyonundan ilk defa bahsetmiştir. Doğal monopolün rekabetin denenmediği ya da rekabetin denense de başarısız olduğu durum olarak nitelendiren Thomas Farrer (1902) doğal monopolle ilgili beş özellik



sıralamıştır. Bunlar; 1) Endüstri temel bir ürün ya da hizmet arz ediyor olmalıdır. 2) Endüstri üretim için elverişli bir konumda olmalıdır. 3) Endüstrinin çıktısı depolanamaz olmalıdır. 4) Üretim ölçek ekonomisi özelliği taşımalıdır. 5) Tek bir tedarikçi tarafından sunulan arzın kesinliği ve iyi düzenlenmesi müşteriler tarafından istenmelidir. Doğal monopol teorisinde farklı bir görüş de Richard T. Ely (1937) tarafından ortaya konmuştur. Ely; doğal monopoller, sınırlı doğal zenginliklerin arzına dayalı, ticari gizlilik ya da özel haklara (patent) dayalı, faaliyetlerinin çok özel niteliklerine dayalı olmak üzere üç şekilde sınıflandırmıştır (Sharkey, 1982, s.14-18).

Farrer, Adams ve Ely'nin doğal monopolü ölçek ekonomisine dayandırdıkları açıklamalar, doğal monopol konusundaki yeni çalışmalara temel oluşturmuş ve doğal monopol için ölçek ekonomisinin gerekli ve yeterli bir koşul olup olmadığına ilişkin çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda doğal monopolün yalnızca uzun dönemde azalan maliyetlerle açıklanmasının doğru olmadığı, bazı durumlarda negatif ölçek ekonomisi geçerli olsa dahi üretimin tek bir firma tarafından yapılmasının daha düşük maliyetle gerçekleştirilebileceği ortaya konmuştur. Kaysen ve Turner, doğal monopolü rekabetin çalışmadığı çeşitli durumlardan biri olarak nitelendirmiş ve ölçek ekonomisinin pazarın doğru tanımlanmasına bağlı olduğunu öne sürmüşlerdir. Yazarlar doğal monopolün ölçek ekonomisine dayandırılmasını eleştirirken, doğal tekelin her endüstri kolunda ülke geneline yayılmadığını belirtmişler ve bunun yanında bölgesel monopollerin ortaya çıktığını ifade etmişlerdir. Kaysen ve Turner'ın doğal tekel teorisiyle ilgili bir başka görüşü de sabit ve batık maliyetler yoluyla açıkladıkları yıkıcı rekabet olmuştur. Yıkıcı rekabet üretim faktörlerinin fazla kullanımına yol açmaktadır. Sonraki yıllarda Posner (1969) ve Kahn (1971) doğal monopolün ölçek ekonomisi ile ilişkisi dışındaki yaklaşımlara katkıda bulunmuşlardır. Posner doğal monopolün talep ile arz teknolojisi arasındaki ilişkiye bağlı olduğunu ifade etmiştir. Kahn ise doğal monopolün en önemli özelliğinin pazarın tamamında görülen azalan maliyet eğilimi olduğunu vurgulamıştır (Sharkey,1982, Paşaoğlu, 2003 ve Gök, 2006).

Sharkey (1982) "The Theory of Natural Monopoly" çalışmasında doğal monopol teorisinin gelişimine katkısı olan görüşleri aşağıdaki biçimde özetlemiştir:

- 1) Doğal monopoller özellikle ölçek ekonomilerinin olduğu endüstrilerde ortaya çıkarlar. Bunun yanı sıra ölçek ekonomisi geçerli olmasa da bir firmanın iki firmaya göre daha etkin üretim yapması mümkündür.
- 2) Literatürde yıkıcı rekabetin monopolün koşullarıyla ilgili olduğu kabul edilmektedir.
- 3) Bir endüstrinin sadece ölçek ekonomisine bakılarak doğal monopol olarak nitelendirilmesi zordur. Pazarın iyi tanımlanması ve endüstri talebinin niteliği gibi konuların dikkate alınması gereklidir.

Doğal monopol teorisinde yukarıda özetlendiği üzere, geleneksel yaklaşıma göre doğal monopol ölçek ekonomisi ya da kapsam ekonomisinden dolayı ortaya çıkmaktadır. Baumol (1977), Baumol, Bailey ve Willig (1977) ve Panzar ve Willig (1977) çalışmaları ile doğal monopol teorisi “subadditivity of costs”<sup>1</sup> toplanabilir maliyetler olarak nitelendirilen bir kavramla tanışmıştır. Maliyetlerin toplanabilirliği kavramı ile birlikte doğal monopolün tanımı “bütün üretim aralığı boyunca bir firmanın maliyet fonksiyonunun, birden fazla firmanın maliyet fonksiyonları toplamından daha az olması” şeklinde ifade edilmiştir. Doğal monopolün maliyetlerin toplanabilirliği ile ifade edilmesi, monopolün ölçek ekonomisine sahip olmadığı. durumda bile, birden fazla firmadan daha düşük maliyetle üretim yapabileceğini göstermektedir

### 2.1.1 Tek Ürünlü Bir Piyasada Doğal Monopol

Bir firma tek bir homojen ürünü birden daha fazla firmadan daha düşük maliyetle üretiyorsa yani maliyet üstünlüğüne sahipse piyasadaki tüm talebi elinde tutar.  $Q=D(p)$ .

Homojen bir ürünün üretildiği bir piyasada n firmanın  $q^i$  ürününü ürettiğini düşünelim. Toplam ürün,  $Q = \sum n.q^i$  olacaktır. Tüm firmaların özdeş maliyet fonksiyonları  $C(q^i)$  olduğunu kabul ettiğimizde  $C(Q) < C(q^1) + C(q^2) + \dots + C(q^n)$  olur. Bu durumda firmanın maliyet fonksiyonunun Q üretim düzeyi için subadditive (toplanabilir) olduğu söylenir. Firmanın maliyet fonksiyonunun tüm Q düzeyleri için toplanabilir özellikte olması toplanabilirliğin genelleşmesi anlamına gelir. Sonuç

---

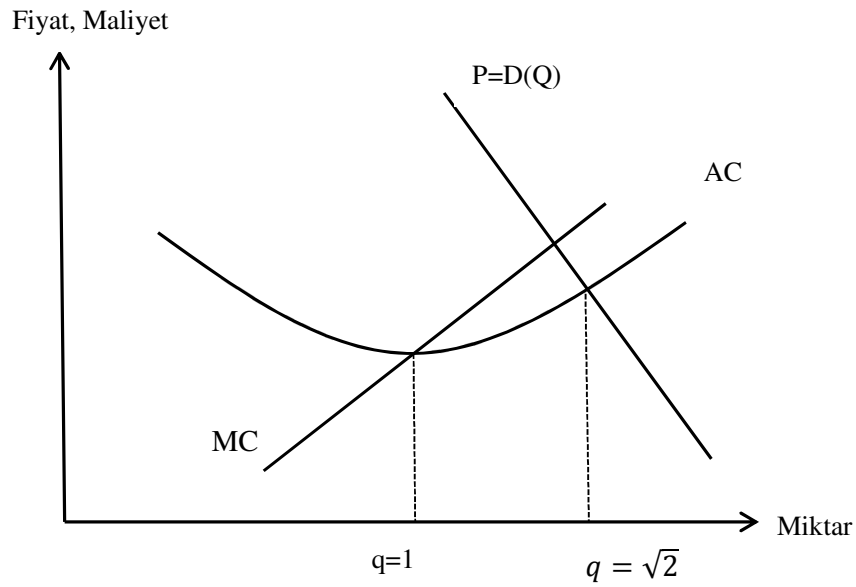
<sup>1</sup> n firmanın  $q^i$  ürününü ürettiğini düşünelim. Toplam ürün,  $Q = \sum n.q^i$  olacaktır. Tüm firmaların özdeş maliyet fonksiyonları  $C(q^i)$  olduğunu kabul ettiğimizde  $C(Q) < C(q^1) + C(q^2) + \dots + C(q^n)$  olur. Bu durumda firmanın maliyet fonksiyonunun Q üretim düzeyi için subadditive (toplanabilir) olduğu söylenir.

olarak doğal monopolün teknolojik tanımı gereği monopolün ortaya çıkması için gerekli koşul malın üretim maliyetinin Q düzeyinde toplanabilir olmasıdır (Sharkey, 1982 ve Joskow, 2005).

Firma i'nin maliyet fonksiyonunun  $C^i = F + cq^i$  biçiminde olduğunu düşünelim. Bu durumda firmanın ortalama maliyeti  $AC^i = F/q^i + c$  olacak ve firmanın çıktı miktarındaki artışa bağlı olarak sürekli azalacaktır. Bu durum ölçek ekonomisi ile açıklanmaktadır. Tek çıktı üreten bir firmanın maliyet fonksiyonu, endüstri için  $0 - q^i = Q$  çıktı aralığında ortalama toplam maliyetin azalması şeklinde ifade edilir. Tek ürün durumunda doğal monopolün teknolojik tanımı için ilgili çıktı aralığında ölçek ekonomisinin geçerli olması yeterlidir. Tek çıktı durumunda toplanabilirliğin sağlanması için ölçek ekonomisi  $q^i = Q$  yeterli ancak gerekli bir koşul değildir (Joskow, 2005).

Tek ürünlü bir piyasada ölçek ekonomisinin geçerli olmadığı yani negatif ölçek ekonomisinin olduğu durumda tek bir firmanın üretimi birden fazla firmaya göre daha düşük maliyetle gerçekleştirebileceğini Joskow (2005) çalışması aşağıda yer alan örnekle açıklamaktadır. Bir firmanın toplam maliyet fonksiyonunun  $C = 1 + q^2$  düşünelim. Bu firmanın ortalama maliyeti  $AC = q + 1/q$  olacaktır.

### Şekil -2.1 Toplanabilirlik ve Negatif Ölçek Ekonomisi



Şekil 2.1'de görüldüğü gibi  $q < 1$  iken ölçek ekonomisi mevcuttur ancak bu üretim düzeyinden sonra negatif ölçek ekonomisi geçerlidir. Buna karşılık şekildeki maliyet fonksiyonu, piyasa talebinin iki firmayı destekleyecek büyüklükte olmadığı durumlarda,  $q > 1$  olduğunda da bazı üretim değerlerinde toplanabilirlik koşulunu sağlamaktadır. Bu örnekte 1. firmanın minimum etkin ölçekte  $q^1 = 1$  kadarlık üretim yaptığını düşünelim. İkinci bir firmanın da aynı maliyet fonksiyonuyla üretim yaptığını düşündüğümüzde minimum etkin ölçekte  $q^2 = 1$  kadar üretim gerçekleştirecektir. Her iki firmanın toplam ürünü 2 ve toplam maliyetleri dört olacaktır. Eğer tek bir firma  $q=2$  kadarlık üretim yaparsa toplam maliyet 5 olacaktır. Buna karşılık toplam ürün düzeyi 1 ile  $\sqrt{2}$  arasında negatif ölçek ekonomisi geçerli olmasına karşılık tek firmanın üretim yapması iki firmanın üretim yapmasından daha düşük maliyetli olacaktır.

### 2.1.2 Çok Ürünlü Bir Piyasada Doğal Monopol

Çok ürünlü monopolün açıklanmasında toplanabilirlik daha fazla önem kazanmaktadır. Bunun en önemli nedeni çok ürünlü doğal monopol için ölçek ekonomileri ne gerekli ne de yeterli bir koşuldur (Sharkey, 1982). Baumol (1977) çalışmasında çok ürünlü bir piyasa için maliyetlerin toplanabilirliğinin kesin ve genel koşulunu şu şekilde tanımlamıştır;

Maliyet fonksiyonu  $C(q)$ 'nin  $N = 1, \dots, n$  mal kümesinde kesin ve genel toplanabilir olması için,  $N$ 'deki her  $(m)$  ürün (çıktı) vektörünün  $q^1, \dots, q^m$  ;

$C(q^1 + \dots + q^m) < C(q^1) + \dots + C(q^m)$  olmalıdır. Bu durum  $N$  içinde yer alan tüm mallar için herhangi bir ürün kombinasyonunda doğal monopolün gerekli ve yeterli koşuldur. Toplanabilirlik tek bir firmanın çok ürünlü piyasada her türlü ürün bileşimini her zaman daha ucuza üretebileceği anlamına gelir.

Baumol (1977)'e göre çok ürünlü maliyet fonksiyonlarında:

- 1) Azalan ırsın ortalama maliyet<sup>2</sup> kesin toplanabilirlik için gerekli değildir.
- 2) Maliyet fonksiyonunun kesin konkavlığı toplanabilirlik için yeterli değildir.

<sup>2</sup> Azalan ırsın ortalama maliyet “ Declining Ray Avarage Cost” teriminin karşılığı olarak kullanılmaktadır.

$v$  ve  $w$   $q = (q_1, \dots, q_n)$  ırsını boyunca çıktının (ürünün) ölçeğini göstermek üzere;

$v > w$  iken,  $\frac{C(vq_1, \dots, vq_n)}{v} < C(wq_1, \dots, wq_n)/w$  'dir.

- 3) Ölçek ekonomisi toplanabilirlik için ne gerekli ne de yeterli koşuldur
- 4) Eğer maliyet fonksiyonu kesin azalan ışın maliyetli ise ve maliyet fonksiyonu herhangi bir düzlemin üzerinde ışın ötesi konveks ise, maliyet fonksiyonu  $q$  üretim düzeyi için toplanabilir.

Çok ürünlü bir piyasada maliyet fonksiyonunun toplanabilirliği, maliyet tamamlayıcılığına, ürün bazlı ölçek ve alan ekonomisine, trans ışın konveksliğine bağlıdır (Joskow, 2005 ve Senyücel, 2012).

Maliyet tamamlayıcılığı herhangi bir ürünün üretimindeki artışın, tüm ürünlerin marjinal maliyetini arttırmamasıdır. Joskow (2005)'te iki ürünün bulunduğu bir piyasa için bu durum azalan (incremental cost) artırımlı maliyet kavramıyla açıklanmıştır.  $q_1$  ve  $q_2$ 'nin iki farklı ürünü ifade ettiğini düşünelim.  $q_2$ 'nin üretimini sabit tuttuğumuzda;  $q_1$ 'in artırımlı maliyetini şu şekilde ifade edebiliriz:

$$IC = (q_1|q_2) = c(q_1, q_2) - c(0, q_2)$$

$q_1$  üretmenin ortalama artırımlı maliyeti (average incremental cost) :

$$AIC(q_1|q_2) = [c(q_1, q_2) - c(0, q_2)]/q_1 \text{ olur.}$$

$q_2$ 'i üretimini sabit tuttuğumuzda ve  $q_1$ 'in üretimini arttırdığımızda AIC azalıyorsa  $q_1$  azalan artırımlı maliyete sahiptir. Bu aynı zamanda çok ürünlü durumda tek ürün ölçek ekonomisinin ölçüsüdür.

Bir maliyet fonksiyonu  $q^* = (q_1^*, \dots, q_n^*)$  her iki çıktı vektörü  $q^a = (q_1^a, \dots, q_n^a)$ ,  $q^b = (q_1^b, \dots, q_n^b)$  için  $w_1, \dots, w_n$  gibi pozitif sabitlerin bulunduğu durumda  $q^*$  boyunca aynı düzlemde yer alır.

Herhangi bir  $k$ ,  $0 < k < 1$  için;

$$C(q^*) = C(kq^a + (1 - k)q^b) \leq kC(kq^a) + (1 - k)C(q^b)$$

Işın ötesi konveksliği  $q^a$  ve  $q^b$ 'nin tek bir firma tarafından üretmenin  $q^a$  ve  $q^b$ 'yi üretmenin maliyetinin doğrusal bileşiminin,  $q^a$  ve  $q^b$ 'nin farklı firmalar tarafından üretilmesinde  $q^a$  ve  $q^b$ 'yi üretmenin maliyetinin doğrusal bileşiminden daha küçük olacağını ifade etmektedir.

## 2.2 Doğal Monopolün Regülasyonu

Bir önceki bölümde doğal monopol teorisinin gelişimi, tek ürünlü piyasalarda doğal monopol ve çok ürünlü piyasalarda doğal monopol kavramaları açıklandı. Doğal monopole ilişkin bu açıklamalar çerçevesinde bu bölümde doğal monopolün neden regülasyona tabi tutulması gerektiği ve nasıl regüle edildiği tartışılarak, regülasyon dışında doğal monopolün yarattığı aksaklıkları ortadan kaldırmaya yönelik uygulamalara değinilecektir.

Doğal monopol piyasalarının regülasyona tabi tutulmasının en önemli gerekçesi toplumsal refahı olumsuz etkilemesi yönündedir. Ölçek ve alan ekonomileri ve yüksek miktarda batık maliyetler içeren doğal monopol piyasası giriş engeli taşımaktadır. Bu piyasalarda rekabetçi denge durumunun tüketicilere sağlamış olduğu refah düzeyine ulaşamamaktadır. Bunun yanı sıra doğal monopolün ortaya çıktığı sektörlerde üretilen mal ve hizmetlerin kolay ikame edilemeyen ve temel ihtiyaç niteliği taşıyan mal ve hizmetler (Elektrik, gaz, telekomünikasyon vb) olması nedeniyle talep esnekliklerinin düşük oluşu, monopolün yüksek fiyat uygulamasına neden olmaktadır. Ya da monopolün ürettiği mal ve hizmetlerin tüketiciler üzerinde fiziki olarak bağıllık yaratması, monopolün fiyat farklılaştırması yapmasına neden olabilmektedir. Dolayısıyla doğal monopolün rekabetçi fiyat düzeyinin üzerinde fiyat belirleyebilme gücü ve yukarıda ifade ettiğimiz özellikler dikkate alındığında, monopolün regülasyona tabi tutulması gerekliliği ortaya çıkmaktadır (Akça, 2007).

Doğal monopolün regülasyonunda fiyatlandırma önemli bir yer tutmaktadır. Uygun bir fiyat regülasyonunun yapılabilmesi için;

- Uygulanan fiyat regülasyonunun, firmaların maliyetleri hakkında yanlış bilgiler vermeye teşvik etmeyecek şekilde cezai uygulamalar içermesi gereklidir.
- Firmaların regülasyondan sonra talepte ya da teknolojik gelişmelere bağlı olarak yarar ya da zarar görmesinin önüne geçilmelidir.
- Fiyat regülasyonu uygulanırken üretici ve tüketici rantının dengesinin sağlanması dikkate alınmalıdır.

Doğal tekellerle ilgili olarak en çok kullanılan fiyat regülasyonları getiri oranı regülasyonu, tavan fiyat regülasyonu ve göreceli rekabet yöntemidir

(Ardıyok, 2002). Çalışmanın devamında regülasyon yöntemleri ve regülasyon dışı çözüm önerileri açıklanacaktır.

### 2.2.1 Getiri Oranı Regülasyonu

Getiri oranı regülasyonu doğal monopol tarafından mal ve hizmetlerin fiyatları belirlenirken, önceden belirlenmiş adil bir karlılık düzeyini sağlayacak şekilde, fiyatların düzenleyici onayı ile belirlenmesini yani monopolün karının sınırlandırılmasını ifade eder (Akça, 2007 ve Ardıyok, 2002).

Getiri oranı regülasyonunda sermayenin karlılığı (geri dönüşü) sermaye dışı faktörlerin maliyetlerinin hasılatтан çıkarılıp, sermaye yatırımı düzeyine bölünmesiyle bulunur. Sermaye dışı girdi olarak sadece emek,  $L$ , kullanan bir firma için geri dönüş  $(PQ - wL)/K$  olur. Getiri oranı regülasyonunda bu oran düzenleyici tarafından belirlenen,  $f$ , gibi bir sınırın ötesine geçemez. Firma sermaye  $K$ , emek  $L$ , üretim miktarı,  $Q$  ve fiyat,  $P$  değerlerini  $f \geq (PQ - wL)/K$  koşulunu sağlayacak şekilde istediği gibi belirleyebilir (Train, 1991).

Firmanın tüm girdi maliyetleri dikkate alındığında kârı  $\pi = PQ - wL - rK$  şeklinde ifade edilir. Buradan

$$f - r \geq \left( \frac{PQ - wL}{K} \right) - r$$

$$f - r \geq (P \cdot Q - wL - rK)/K$$

$$f - r \geq \pi/K$$

$$\pi \leq (f - r)K \text{ olur.}$$

Firmanın kazanmasına izin verilen maksimum ekonomik kâr;  $(f - r)K$ 'dır.

Getiri oranı regülasyonu firmayı üretimi artırma yönünde teşvik eden ve belirlenen kar oranına bağlı olarak firmayı dağılımda etkinliği sağlamaya yönelmektedir. Bu yöntem verimlilik sorununun olmadığı durumlarda iyi sonuç vermekte ancak maliyetleri düşürmeye ve etkinliği artırmaya yönelik doğal monopolü baskılamadığı gerekçeleriyle eleştirilmektedir (Ardıyok, 2002).

### 2.2.2 Tavan Fiyat Regülasyonu

Tavan fiyat regülasyonu, getiri oranına alternatif olarak geliştirilmiş bir yöntem olup, monopolün maliyetlerinden bağımsız olarak belirlenen fiyat yoluyla monopolcünün maliyetlerini düşürmesi yönünde baskılanmasını sağlar. Bu regülasyondan beklentiler etkinlik ve yeniliğin teşvik edilmesi, regülasyon maliyetinin azaltılması, rekabetin özendirilmesi ve monopole karşı koruma şeklindedir (Akça,2007)

Tavan fiyat uygulaması, firmanın karının kamu otoritesi tarafından belirlenen fiyatlar ile firmanın maliyetleri arasındaki farktan oluşmasından dolayı, yüksek kar elde etmeyen firmanın maliyetlerini azaltmasını yani etkin üretim gerçekleştirmesini teşvik etmektedir. Bu yöntem İngiltere’de telekomünikasyon, gaz, havayolu, demiryolları ve elektrik sektöründe uygulanmıştır. ABD’de ise telekomünikasyon sektöründe uygulama alanı bulmuş ve giderek yaygın hale gelmiştir (Ardıyok, 2002).

Bu regülasyon yönteminin uygulandığı örnek alanlar dikkate alındığında çok ürünlü monopol piyasalarının bu örnekler içinde yer alabildiği görülür. Tavan fiyat regülasyonunun çok mallı endüstri durumunda uygulanmasında bu endüstride üretilen mal ve hizmetlerin önemli kalemlerinden oluşan bir sepet için ağırlıklı ortalama fiyat verilmektedir. Firmanın yapabileceği fiyat artışı hizmetlerin fiyatlarının yıllık ağırlıklı ortalaması olan baz fiyatların, tüketici fiyat endeksi ile verimlilik katsayısının (X) arasındaki farkla çarpımından fazla olamaz (Ardıyok, 2002).

$$\text{Fiyat Artışı} = \text{Baz Fiyat} \times (\text{TÜFE} - X)$$

Vogelsang (1999)’ a göre;

- Enflasyon ayarlaması firmanın belirtilmemiş girdi fiyatları veya daha büyük olasılıkla, tüketicilerin enflasyonist kaybının temsili olarak görülebilir.

- Spesifik girdi veya maliyet kalemleri için bir veya daha fazla ayarlama faktörü tüketicilere aktarılabilir.



- Verimlilik katsayısı ise verimlilik artışı için çabalanmasını, ölçek ekonomisini ve maliyetlerin düşürülmesini teşvik eder.

Tavan fiyat uygulamasının maliyetleri düşürme baskısı yaratması eksik bilgi ortamında, yani düzenleyicinin firmanın maliyet yapısı hakkında yeterli bilgiye sahip olmaması durumunda, doğal monopol yöneticilerini ahlaki çöküntüye götürecektir. Bu da düzenleyicinin ters seçim problemiyle karşılaşmasına neden olabilir. Düzenleyici, firmanın minimum maliyetini kestiremeyeceği için, doğal monopol gelecek dönemde daha yüksek fiyat belirlenmesi için etkinliğini gizleyecektir (Akça, 2007).

### **2.2.3 Görelî Rekabet Yöntemi**

Maliyetleri dikkate alarak yapılan regülasyonlarda, fiyatın maliyeti içine alacak şekilde belirlenmesi, doğal monopolü maliyet azaltma konusunda yeterince teşvik etmemektedir. Görelî rekabet yöntemi bu sorunu çözmek için maliyetten bağımsız geliştirilmiş bir yöntemdir. Rekabetin olmadığı piyasalarda üretimin etkinliğinin artmasını sağlayacak faaliyetler gerçekleşmemektedir.

Bu yöntem Shleifer (1985) tarafından ortaya konmuştur. Shleifer (1985)' e göre görelî rekabet özdeş veya benzer firmaların aynı anda regüle edilmesi anlamına gelmekte ve regüle edilen firmanın benzer piyasalarda faaliyet gösteren firmalarla karşılaştırılmasına dayanmaktadır. Bu yöntemde düzenleyici, fiyatları belirlerken maliyetlerin ne olduğu üzerine değil ne olması gerektiği üzerine hareket etme şansına sahiptir.

Görelî rekabet uygulamasının maliyetleri azaltma konusunda başarı sağlamasına karşılık, maliyetleri düşürme baskısının mal ve hizmet kalitesi üzerinde olumsuz etkilere yol açması durumu ortaya çıkabilmektedir. Bunun önlenmesi için de kalite denetimi gerekmektedir (Akça, 2007).

### **2.3 Doğal Monopol Piyasaları İçin Regülasyon Dışı Öneriler**

Doğal monopolün yarattığı sorunların çözümünde kamu otoritesinin farklı yollardan müdahalelerinin optimal çözüme ulaşmada yeterince etkili olmadığı düşüncesi regülasyonun dışında yöntem arayışına neden olmuştur. Regülasyon dışında doğal monopol piyasasının yarattığı sorunların çözümü için Demsetz Rekabet Teorisi ve Yarışabilir Piyasalar Teorisi geliştirilmiştir.

#### **2.3.1 Demsetz Rekabet Teorisi**

Doğal monopolle ilgili olarak üretimde ölçek ekonomisinin varlığından dolayı tek bir firma tarafından malların üretilmesi gerektiği sonucu çıkarılmaktadır. Bu çıkarımın nedeni yoğunlaşma ile rekabet arasındaki ilişkinin yanlış anlaşılmasından ileri gelmektedir (Demsetz, 1968). Demsetz tarafından önerilen çözüm ölçek ekonomisi nedeniyle rekabetin mümkün olmadığı durumda piyasada faaliyet gösterme ayrıcalığının ihale edilmesi yoluyla rakabet oluşturulabileceği şeklindedir. Bu yaklaşım rekabetçi bir ihale sisteminin, aşırı kar imkanını ortadan kaldırarak monopol gücünü azaltacağı ve optimal çözüme yaklaşılabileceğini ileri sürmektedir (Çakal, 1996).

Doğal monopolün düzenlemesiyle ilgili Demsetz rekabet teorisinin uygulamaları, kamusal bir hizmetin, hizmet kalitesinin ve fiyat oranının belirlendiği sözleşmeler kullanılarak düzenlenen ihaleler sonucu, özel kesime devredilmesi şeklinde görülmüştür. Yani kamu otoritesi tarafından kamusal bir hizmetle ilgili ayrıcalık tanımak üzere ihale ve sözleşmeye dayalı bir uygulama gerçekleştirilmektedir.

Bu yöntemde;

-Ayrıcalığı veren otorite ile ayrıcalığı elde eden firma arasında bir sözleşme vardır.

-Ayrıcalık belirli süre için verilmekte ve koşullara bağlı olarak yenilenmektedir.

- Ayrıcalığa sahip olan girişim, hizmetlerin gerçekleştirilmesi ile ilgili tesis ve hakların mülkiyetinden daha çok hizmeti sağlamak üzere tesis ve hakları kullanır.

-Ayrıcalığın sahibi olan yeni tesis kurma ve yatırım yapma ile ilgili planlama yapmak ve kaynak bulmaktan sorumlu olup, süresi dolduğunda çoğu zaman bunları ayrıcalığı verene devretmek durumundadır.

-Ayrıcalığa sahip olanın sözleşme ile belirlenen hizmetleri yürütecek olması tesislerin işletilmesi ve müşterilere hizmet sağlanmasıyla ilgili faaliyetleri garanti altına almaktadır (Ardıyok, 2002).

Yöntemin yukarıda ifade edilen yararlarının yanı sıra mal ve hizmet kalitesinin denetlenememesi ve yapılan sözleşmelerde bütün şartların belirtilmesinin mümkün olmaması gibi sakıncaları vardır. Ayrıca rekabetçi ihaleler uzun vadeli ayrıcalık gerektiren doğal monopoller için yeterli çözümü ortaya koyamamaktadır (Çakal, 1996).

### **2.3.2 Yarışabilir Piyasalar Teorisi**

Yarışılabilir piyasalar, Baumol (1982) tarafından *girişin tamamen serbest ve çıkışın tamamen maliyetsiz olduğu piyasalar* olarak tanımlanmaktadır.

Shepherd (1984), yarışabilir piyasalar tanımında yer alan rekabetin doğasıyla ilgili kavramsal geçerliliği değerlendirdiği çalışmasında Baumol'ün yarışılabilirlik kavramını eleştirerek "ultra serbest giriş" kavramından söz etmiştir. Shepherd, yarışılabilirlik kavramı tartışılırken piyasa girişin çeşitli yönleri üzerinde durulduğunu ancak konuyla ilgili elde edilen sonuçların ultra serbest girişle ilgili olduğunu vurgulamıştır. Shepherd'a göre giriş serbest ve sınırsız, giriş sonsuz ve tamamıyla çift taraflıdır. Yani çıkış da tam serbest ve maliyetsizdir.

Yarışılabilir piyasalar teorisine göre bir piyasada mal ve hizmet üretimi tam rekabette olduğu gibi çok sayıda firma tarafından değil tek bir firma tarafından dahi karşılanmakta olsa bile piyasaya girme potansiyeli olan firmaların tehdidi ile rekabetçi bir çözüm elde edilebilmektedir. Dolayısıyla birden fazla firmanın faaliyette bulunduğu tam yarışılabilir bir piyasada fiyat hem ortalama hem de marjinal maliyete eşit olmalıdır. Bu da fiyat marjinal maliyet eşitliğine dayanan Pareto optimal fiyatlamının geçerli olması anlamına gelir. Piyasada faaliyet gösteren yerleşik firma marjinal maliyetin üzerinde bir fiyat uygulamayı denediğinde potansiyel rakiplerin tehdidi ile karşı karşıya kalacaktır (Ardıyok, 2002 ve Günalp,2002).

Bu teoriye yönelik gerçekleştirilen eleştiriler teorinin varsayımlarına yöneliktir. Tam yarışabilir piyasalarda giriş ve çıkışın maliyetsiz olması ölçüğe göre artan getiri olmaması ve batık maliyetlerin olmamasını gerektirmektedir. Bu nedenle ölçüğe göre artan getiri durumunda yarışılabilirliğin geçerli olduğunu ortaya koymak bir çelişki yaratmaktadır (Davut,1996). Ayrıca tam yarışılabilirlik ya da Shepherd (1984) tarafından dile getirilen ultra serbest giriş kavramları değerlendirildiğinde piyasaya giriş esnasında piyasada mevcut firmanın girişe tepki vermeyeceğinin varsayılması bir başka çelişki olarak değerlendirilmektedir.

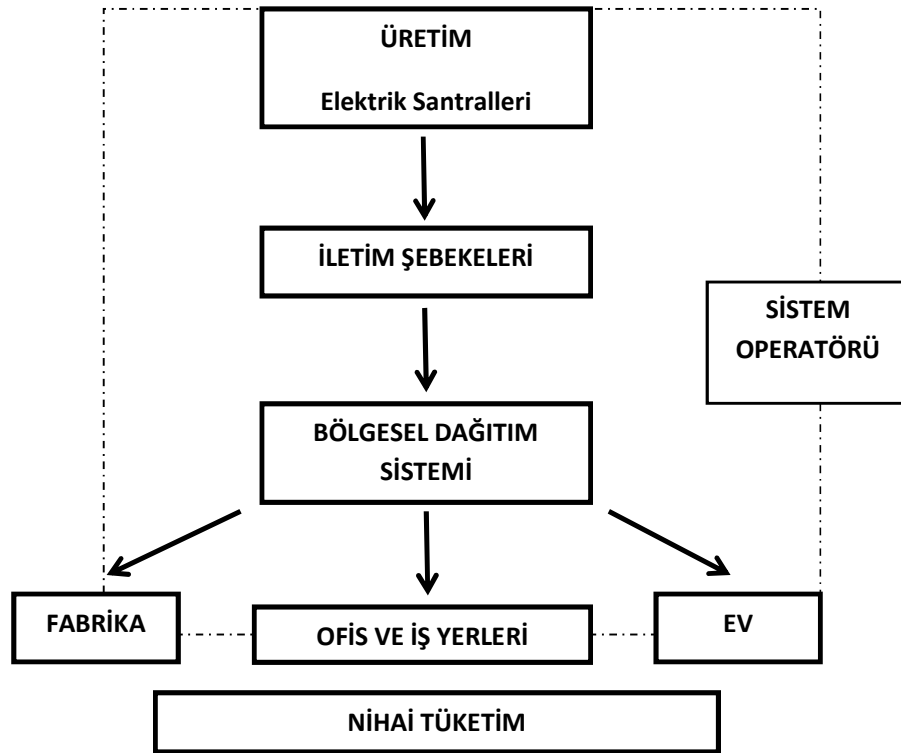
#### **2. 4. Elektrik Piyasaları ve Özellikleri**

Teknik boyutuyla elektrik endüstrisi üretim, nakil ve yük (arz) olmak üzere üç kısımda ele alınmaktadır. Elektrik üretimi elektrik santrallerinde gerçekleştirilmekte, nakil; iletim, dağıtım ve sistem yönetimi şeklinde üç bileşenden oluşmaktadır. Yük ise nihai kullanıcıların tüketimini ifade etmektedir (Boisseleau,2004, s.2).

Elektrik endüstrisinde nihai ürün olan elektrik enerjisi üretilirken çeşitli kaynaklar kullanılır. Dağıtım yapılan elektrik enerjisinin nihai maliyetinin yaklaşık %35- %50'si üretimden kaynaklanmaktadır. Elektrik iletken bir telin manyetik alan içerisinde dönmesiyle üretilir. Bu dönme için gerekli itici güç buhar, akar su, yel değirmenleri, gelgit enerjisi veya bazı durumlarda bir yakıtın yanması ile sağlanır. Ticari santrallerin büyük çoğunluğunda elektrik üretimi için gerekli itici güç çeşitli yakıtlardan sağlanmaktadır. Yakıtlar arasında kömür ilk sırada yer alırken, önemli ölçüde kullanılan diğer yakıtlar petrol, doğal gaz ve uranyumdur. Elektrik santrallerinde genellikle tek tür yakıt kullanılmakta bunun yanında bazı üreticiler çeşitli yakıtları farklı santrallerde kullanabilmektedir. Elektrik üretim sürecinde maliyetleri ve etkinlikleri birbirinden farklı santraller faaliyet göstermektedir. Üretim sürecinde maliyetler ve etkinlik kullanılan yakıtın türüne değişmektedir. Etkin olan santraller baz yük birimi olarak sürekli çalışırken, inşası az maliyetli olan ve düşük etkinlikteki santraller ise enerji kullanımının yoğun olduğu durumlarda devreye girmektedirler (Hunt,2002, s.18-20). Sabit maliyetleri yüksek değişken maliyetleri düşük olan hidroelektrik santralleri ve nükleer santraller baz yük için devreye alınırlar. Bunun yanı sıra üretime hazır duruma gelmesi hidroelektrik santralleri ve nükleer santrallere göre daha kolay olan termik santraller pik yük için devreye sokulmaktadır (Aydın, 2010 s.37).

1980’li yıllarda üretimde santrallerin etkinliği %18 ile %36 arasında değişirken ölçek ekonomisi avantajı nedeniyle büyük santraller daha etkindi. Bu nedenle santraller büyük inşa edilmekte ancak planlama ve inşa süreci uzun zaman almaktaydı. Teknolojideki gelişmelerle birlikte buharlı jeneratörü doğrudan yanma ile birleştiren sistem ile birlikte ortaya çıkan santrallerin etkinliği %60-%65 düzeylerine yükselmiştir. Yakıt olarak doğal gaz kullanan bu yeni santraller gaz türbinli kombine çevrim santrali adını almış ve bu teknoloji günümüzde halen kullanılmaktadır. Bunun en önemli nedenleri arasında katı yakıt kullanan santrallerden daha temiz olması ve diğer santrallere nazaran daha kolay kurulmasıdır (Colprier ve Cornlan, 2002, s. 309-311, Hunt, 2002, 19).

**Şekil 2.2 Elektrik Endüstrisinin Fiziki Yapısı**



**Kaynak: Hunt (2002), s.18.**

Elektrik endüstrisinde iletim nihai elektrik enerjisi maliyetinin %5 ile %15’ini oluşturur. Elektrik enerjisi nihai kullanıcılar için bölgesel dağıtım sistemlerine, iletim sistemi olarak adlandırılan bakır ve alüminyum tellerden oluşan şebeke üzerinden taşınır. Elektrik enerjisinin üretildikten sonra depolanamayan yapıya sahip olması nakil sürecinde sistem operatörünün santrallerle nakil sistemi arasındaki bağlantıyı

sürekli olarak kontrol altında tutmasını gerektirmektedir. Elektriğin nihai fiyatı açısından üretim kadar iletim esnasında ortaya çıkan maliyetler de bu nedenle önem kazanır. İletim esnasında yaşanacak koordinasyon problemlerinin yaratacağı elektrik enerjisi kaybı üretilenden daha az elektrik tüketilmesi anlamına gelir. Üretilen enerji ile tüketilen arasındaki kayıptan kaynaklanan bu fark bir maliyet yaratmaktadır (Hunt, 2002, s.20)

Elektrik endüstrisinde iletim faaliyetleri yüksek gerilimli elektriğin taşınması anlamına gelmektedir. Yüksek gerilimli elektriğin farklı noktalarda yer alan santrallerden şebekeye aktarılması süreci ve elektriğin depolanamama özelliği dikkate alındığında iletim faaliyetleri elektrik arz güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır. Elektriğin nakil bileşeninin ilk basamağını oluşturan iletim, yeni iletim hatlarının yaratacağı maliyet ve koordinasyon sorunları nedeni ile doğal tekel özelliği taşımaktadır. İletim faaliyetlerinde ölçek ekonomisinin geçerli olması da bu durumu açıklamaktadır (Aydın, 2010, s.37).

Nakil faaliyetlerinin iletimden sonra gelen basamağı olan dağıtım elektriğin nihai maliyetinin %30 ile %50'sini oluşturmaktadır. Dağıtım faaliyeti elektriğin iletim sisteminden nihai kullanıcılara ulaştırılmasını ifade eder. Yani alçak gerilimli elektriğin taşınmasıdır. İletim ve dağıtım faaliyetleri elektrik endüstrisinde nakil bileşeninin içinde yer almalarına karşılık, iletim üretim ile çalışırken, dağıtım nihai tüketiciyle çalışmaktadır. Dağıtım faaliyetlerinin gerçekleştirildiği hatlara da yeni bir hattın eklenmesinin yüksek yatırım maliyeti gerektirmesi ve fiziksel olarak zor olması nedeniyle dağıtım bileşeni de doğal tekel özelliği taşımaktadır.

Elektrik endüstrisinde dağıtım ve iletim rekabet edilebilecek ikinci bir nakil hattının kurulmasının rasyonel olmaması nedeniyle rekabete açılmamakta ancak üretim ve nakil sürecinde taşınan elektrikle ilgili (elektrik arzı) verilen hizmetlerde (Ölçüm, faturalama ve pazarlama gibi) rekabetçi yapı oluşturulması mümkündür.

#### **2.4.1 Elektrik Piyasasının Yapısı ve İşleyişi**

Elektrik piyasası üreticiler, elektriği tekrar satmak için üreticilerden alan toptan satış şirketleri, serbest tüketici konumunda olan büyük endüstriyel tüketiciler, dağıtım şirketleri ve düzenleyici kurumların bulunduğu bir piyasadır. Üreticiler, tacirler ve dağıtım şirketleri piyasa katılımcılarını oluştururken, düzenleyici

kurumlar, kanuni ve hukuki kurallar piyasanın yasal çerçevesini teşkil eder. Elektrik piyasasında gerçekleştirilen faaliyetler ise üretim, iletim, dağıtım, toptan satış, perakende satış, perakende satış hizmeti, ithalat ve ihracattır.

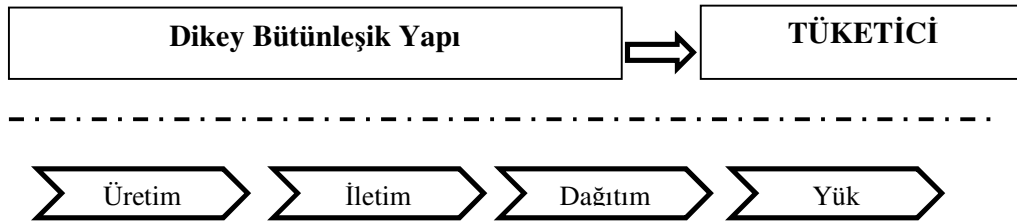
#### 2.4.1.1 Elektrik Piyasalarının Yapılanması

Elektrik piyasaları için Hunt ve Shuttleworth (1996) dört model tanımlamaktadırlar. Bunlar monopol, tek alıcı, toptan satış rekabeti ve perakende satış rekabeti modelleridir. (Hunt, 2002, s.41). Elektrik piyasalarında serbestleşme sürecinde bazı ülkeler üretimden bazıları ise perakende satış faaliyetlerinden başlayarak monopolistik yapıdan rekabetçi yapıya geçiş çalışmaları başlatmıştır. Bu nedenle elektrik piyasalarının işleyişine ilişkin sınıflama ya da piyasa tasarımı konusu elektrik piyasalarında serbestleşme ile tartışma konusu haline gelmiştir.

##### 2.4.1.1.1 Monopol

Elektrik piyasalarında geleneksel dikey bütünleşik yapıyı ifade eden modeldir. Bu modelde üreticiler arasında rekabet yoktur. Elektrik endüstrisinde, elektriğin üretim sürecinden nihai tüketiciye ulaşıncaya dek gerçekleştirilen üretim, iletim ve dağıtım faaliyetlerinin tamamı tek bir otorite (kamu otoritesi ya da özel bir şirket) tarafından yürütülmektedir (Hunt, 2002 ve Boisselau,2004).

#### Şekil 2.3 Elektrik Piyasasında Dikey Bütünleşik Yapı



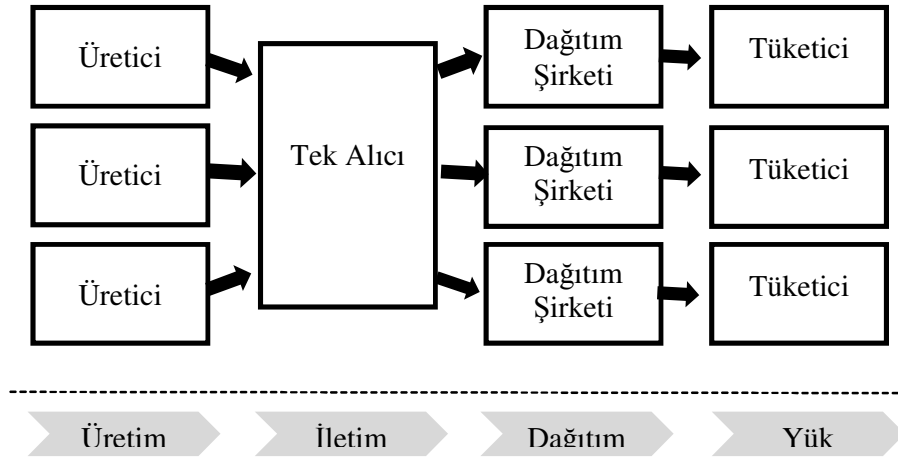
**Kaynak: Boisselau (2004), s.65**

##### 2.4.1.1.2. Tek Alıcı

Elektrik piyasasında tek alıcı modeli üretimde rekabete olanak tanıyan bir piyasa modelidir. Bu modelde bir otorite üreticilerle enerji alımı ile ilgili müzakerelerde bulunur. Üreticiler yetkili otoriteye arz sağlamak için rekabet ederler. Tek alıcı modelinde dağıtım şirketlerine üreticiden alınan elektrik önceden ayarlanan tarifeye göre satılmaktadır. Bu model perakende düzeyinde küçük tüketicilerin

üretici seçme şansının bulunmadığı bir yapıdır. Bu bağlamda tek alıcı modelinde dağıtım şirketleri küçük kullanıcılar için monopol konumundadır. Tek alıcı modelinin önemli bir özelliği ve avantajı bu modele geçişin kolay olmasıdır. Modelin önemli bir dezavantajı ise bu modelde yer alan tek alıcı pozisyonundaki otoritenin piyasa güçlerine tabi olmamasıdır. Bunun yanında tek alıcı modelinde alım garantisi bulunmadığında üreticilerin risk almak istememeleri bu modelde uzun süreli sözleşmeleri gerekli kılmaktadır (Boisselau,2004, s.66 ve Hunt,2002, s.42-43).

**Şekil 2-4 Tek Alıcı Modeli**



**Kaynak: Boisselau, 2004, s.66**

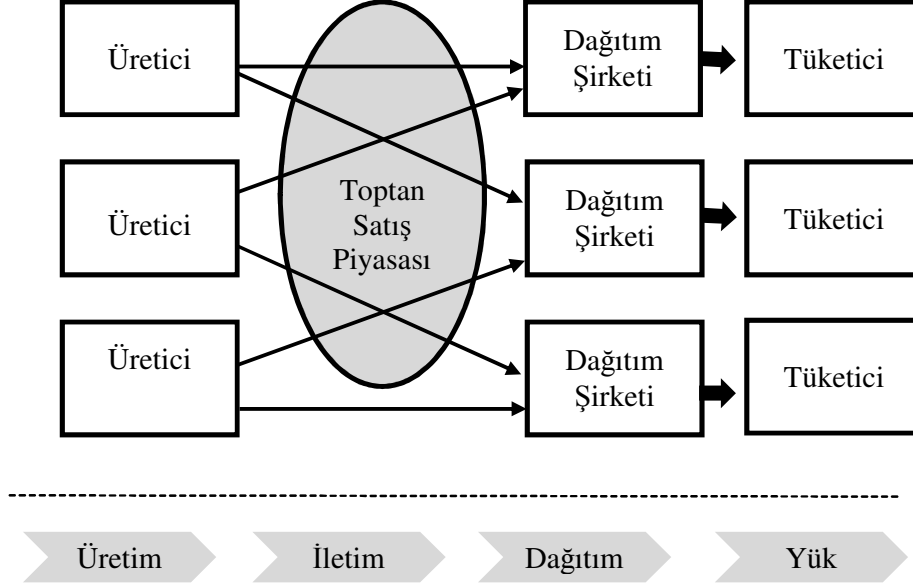
Şekil 2-4'de tek alıcı modelinin işleyişi gösterilmektedir. Birbirleri ile rekabet içindeki üreticiler ürettikleri elektriği tek alıcıya satmakta, tek alıcı ise almış olduğu elektriği dağıtım şirketlerine satmaktadır. Dağıtım şirketleri de tek alıcıdan aldıkları elektriği tüketicilere ulaştırmaktadır

#### **2.4.1.1.3. Toptan Satış Rekabeti**

Bu modelde üretim faaliyetlerinin yanı sıra toptan satış faaliyetleri de rekabetçi hale gelmektedir. Bu modelde dağıtım şirketleri ve büyük tüketiciler alıcı konumunda iken dağıtım şirketleri halen nihai tüketiciler üzerindeki monopol gücünü kaybetmemiştir (Hunt,2002, s.46).



**Şekil 2-5 Toptan Satış Rekabeti**



**Kaynak: Boisselau, 2004, s.67.**

Şekil 2-5’de toptan satış rekabeti gösterilmektedir. Bu modelde üreticiler dağıtım şirketlerine, bağımsız büyük tüketicilere ve toptan satış şirketlerine herhangi bir aracı bulunmaksızın satış yapabilmektedir. Bu modelde perakende satış aşamasında herhangi bir rekabetçi yapı bulunmamaktadır. Düşük tüketim seviyesine sahip olan küçük nihai kullanıcılar tedarikçi seçme özgürlüğüne sahip değildirler.

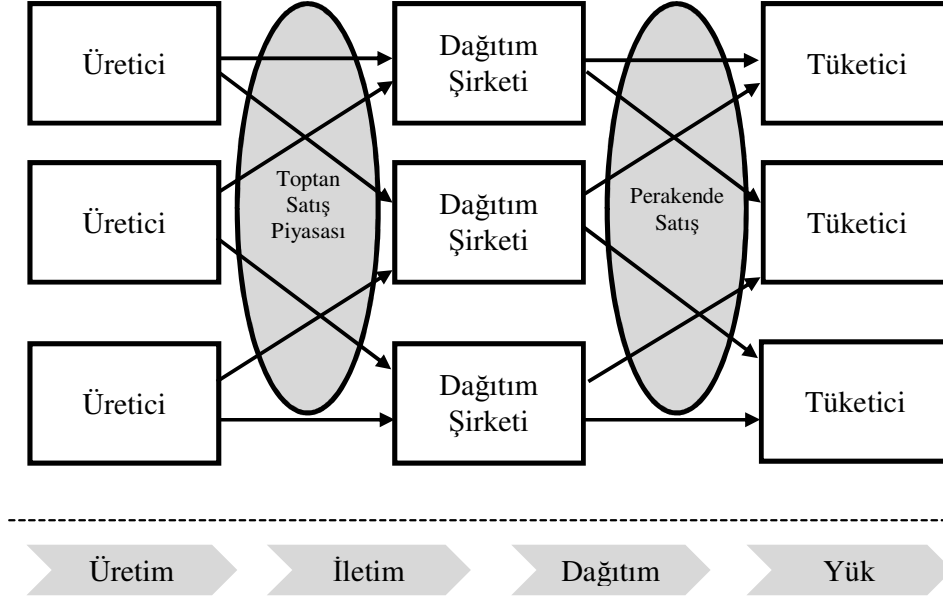
Toptan satış rekabeti modeli rekabetçi bir toptan satış piyasası oluşturmak için tasarlanmıştır. Bu modelde elektrik piyasasının üretim bileşeni rekabetçi yapıdadır ve ürettiği elektriği toptan satış piyasasında satmaktadır. Dağıtım şirketleri ve büyük tüketiciler toptan satış piyasasında rekabet etmektedirler ( Hunt, 2002, s. 46-47).

#### **2.4.1.1.4 Perakende Satış Rekabeti**

Nihai kullanıcıların tedarikçilerini seçebildikleri model perakende satış rekabeti modelidir. Nihai tüketicilerin elektrik enerjisi ihtiyaçlarını perakende satış şirketlerinden karşıladıkları düşünüldüğünde bu modelde perakende satış şirketleri de birbirleriyle rekabet etmektedir. Toptan satış piyasasında rekabeti de içeren bu modelde perakende satış rekabeti sonucu üretim şirketleri üzerinde fiyatlarla ilgili bir baskı oluşabilmektedir. Ancak bu modelde dezavantaj yaratan durum dağıtım

şirketlerinin regülasyona tabi olmadığı bir sistemde nihai tüketimin düşük olduğu bölgelere dağıtım hizmetinin yüksek fiyatla götürülme olasılığıdır.

**Şekil 2-6 Perakende Satış Rekabeti**



**Kaynak: Boisselau, 2004, s.68.**

Perakende satış rekabeti elektrik piyasasında reform süreci sonrası Yeni Zelanda, Avustralya, Arjantin, Norveç, İsveç, İspanya ve ABD'nin çeşitli eyaletlerinde uygulama alanı bulmuştur (Hunt, 2002, s. 54).

## 2.5 Elektrik Piyasasında Reform

Dünya genelinde 1980 öncesi dikey bütünlük yapıda olan elektrik endüstrisi, 1980 sonrası dönemde birçok ülke tarafından benimsenen özelleştirme hamleleri ile yeniden yapılandırılmaktadır (Çetintaş ve Çetin, 2004, s. 1). 1982 yılında Şili ardından İngiltere, Galler, Norveç, Arjantin, Avustralya, İspanya ve ABD'nin Çeşitli eyaletlerinde elektrik endüstrisinde piyasa odaklı yaklaşımlara geçiş yaşanmıştır (Catalao vd., 2007, s.1297).

**Tablo 2.1 Elektrik Reformunun Temel Aşamaları**

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| <b>Yeniden Yapılanma</b>    | Üretim, iletim, dağıtım ve tedarik faaliyetlerinin dikey ayrışması<br>Üretim ve tedarik bileşenlerinin yatay bölünmesi |
| <b>Rekabet ve Piyasalar</b> | Toptan Satış ve Perakende Satış piyasaları<br>Üretim ve tedarik süreçlerine yeni girişlere izin verilmesi              |
| <b>Regulasyon</b>           | Bağımsız bir düzenleyici kurulması<br>İletim ve dağıtım şebekelerinde teşvik edici düzenleme                           |
| <b>Mülkiyet</b>             | Yeni özel aktörlere izin verilmesi<br>Mevcut kamuya ait işletmelerin özelleştirilmesi                                  |

**Kaynak: Jamasb ve Pollitt (2005),s. 2**

Elektrik piyasalarında reformun uygulanmasında piyasaların rekabetçi yapıya kavuşturularak ekonomik etkinliğin artması amaçlanmıştır (Ventosa, Baillo, Ramos ve Rivier., 2005, s.897). Reform politikalarının oluşumunda temelde ekonomik etkinsizlik üzerinde durulurken, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeleri elektrik piyasalarında yeniden yapılandırmaya iten faktörler arasında farklılıklar bulunmaktadır. Gelişmiş ülkelerde elektrik piyasası reformu piyasanın ekonomik ve finansal performansını arttırmayı amaçlamıştır. Gelişmekte olan ülkelerde ise, ülkeleri elektrik reformuna götüren etkenler; elektrik sektöründe maliyetlerin yüksek olması, arz güvenliğinin tehlikede olması, kamu kesiminin artan enerji talebini karşılayacak yatırımları gerçekleştirmede sorunlar yaşaması, reform sürecini başlatmış bazı ülkelerin başarı sağlamış olmaları, reform sonrası maliyet ve fiyatları düşürücü etkilerin varlığı olmuştur (Bölük, 2010, s.2).

Elektrik piyasalarında reform süreci devlet mülkiyetindeki hizmetlerin özelleştirme yoluyla şirketleştirilmesi, elektrik reform yasalarının çıkarılması, üretim, iletim ve dağıtım aşamalarının dikey bütünleşik yapıdan ayrıştırılması, bağımsız bir düzenleyicinin kurulması, rekabetçi bir toptan satış piyasasının kurulması ve perakende satış piyasasında serbestleşmenin gerçekleşmesi şeklinde işlemektedir ( Jamasb, Mota, Newbery ve Pollitt, 2005, s.7 ve Joskow, 2008, s.12-13).

Avrupa birliğinde elektrik piyasasının serbestleşmesine yönelik ilk düzenleme 1997 yılında yürürlüğe giren 96/92/EC sayılı Avrupa Elektrik İç Pazar Direktifidir

(Internal Market in Electricity Directive). Bu direktif üretim, iletim ve dağıtım faaliyetleriyle ilgili ortak kurallar belirlemektedir. 96/92/EC sayılı direktifle üretim rekabete açılırken, iletim ve dağıtım faaliyetleri doğal tekel olarak öngörülmüştür. Ancak iletim ve dağıtım faaliyetlerinde üreticilerin ve tüketicilerin nakil hatlarını kullanabilmelerine olanak sağlayan bir takım düzenlemeler yapılmıştır. AB üye devletleri açısından genel çerçevesi 96/92/EC sayılı direktifle belirlenen ayrıntısı ise üye devletlerin düzenlemelerine bırakılan bir serbestleşme süreci ortaya konmuştur (Özcan, 2010, s.127-131).

Elektrik piyasasının serbestleşmesi ile ilgili olarak 96/92/EC sayılı direktifin yetersiz kalması nedeniyle bu direktifi yürürlükten kaldıracak olan 2003/54/EC sayılı direktif uygulamaya konmuştur. Bu direktifle kısa sürede mesken dışındaki tüketicilerin, 2007 yılı itibariyle ise tüm tüketicilerin tedarikçilerini serbest olarak seçebilecekleri bir sistem öngörülmüştür. Ayrıca direktifle elektrik sektörünün dikey bütünleşik yapıdan, üretim, iletim, dağıtım ve ticaret fonksiyonlarının ayrıştırıldığı bir yapıya geçişi önerilmiş ancak bu yapı bir zorunluluk olarak ifade edilmemiştir (Erdem ve Yürekli, 2006).

Avrupa Birliği'nde elektrik piyasası ile ilgili son düzenleme günümüzde de geçerliliği olan 2009/72/EC sayılı direktifle gerçekleştirilmiştir. Bu direktifle Avrupa Birliği vatandaşlarının tamamının tam rekabetçi bir enerji piyasasından faydalanabilmeleri için yeni kurallar ortaya konmuştur. Arz güvenliği, tedarikçi seçme serbestliği, temiz enerji ve adil fiyatlar yeni direktifin amaçlarını oluşturmaktadır. Bu amaçlara ulaşılması için üretim ve arzın iletim şebekelerinden ayrılması, sınır ötesi enerji ticaretinin kolaylaştırılması, ulusal enerji düzenleyicilerinin daha etkin hale getirilmesi, sınır ötesi işbirliği ve yatırımların teşvik edilmesi, şebeke işletiminde ve arz faaliyetlerinde şeffaflığın artırılması, AB ülkeleri arasında dayanışmanın ilerletilmesi önerilmektedir (EPDK,2010,s.8).

## **2.6. Elektrik Toptan Satış ve Perakende Satış Piyasaları**

Perakende satış şirketleri, sanayi üretimi gerçekleştiren büyük tüketiciler ve toptan satış şirketlerinin elektrik ticareti gerçekleştirdikleri piyasa toptan satış piyasaları olarak tanımlanmaktadır. Elektrik toptan satış piyasaları üreticiler ile tüketicilerin rekabetçi bir piyasada faaliyet göstermeleri için oldukça önem taşıyan

bir yapıdır. Perakende satış piyasası ise elektrik enerjisinin nihai kullanıcıya satılmasını ifade etmektedir.

Elektrik piyasalarında serbest piyasaya geçiş olarak biçimlenen reform süreci açısından toptan satış ve perakende satış piyasalarının işleyişi ile ilgili kurallar ve piyasada faaliyet gösteren aktörlerin piyasa içerisindeki faaliyetleriyle ilgili düzenlemeler piyasanın sağlıklı işlemesinde önem taşımaktadır.

Toptan satış piyasalarının işleyişiyle ilgili yapılanma üç grupta toplanabilir. Bunlar ikili anlaşmalar modeli, organize piyasa modeli ve bu ikisinin birleşiminden oluşan karma modellerdir. İkili anlaşmalar modelinde elektrik ticareti doğrudan alıcılarla satıcılar arasında gerçekleşmektedir. İkili anlaşmalar modelinde alıcı ve satıcıların elektrik ticareti ile ilgili teklifleri ilan ve bültenler aracılığıyla oluşmaktadır. Bu modelde taraflar elektrik ticareti konusunda her türlü koşulu içeren sözleşmeler yapabilmektedirler. İkili anlaşmalar modelinin eksiklikleri Boisselau 2004'e göre fiyat ayrımcılığı, işlem maliyeti gibi konularda ortaya çıkmaktadır. Ayrıca ikili anlaşmanın tarafı olanların dışında kalan piyasa aktörleri fiyat hakkında yeterli bilgiye sahip olamamaktadır.

Organize piyasa modeli ise toptan satış piyasalarında havuz modelleri ve enerji borsaları biçiminde sınıflandırılmaktadır. Havuz piyasalarında üreticilerin ürettiği tüm elektrik enerjisi bir havuzda toplanmakta ve tüketiciler elektriği bu havuzdan satın almaktadırlar. Havuz modelinde elektriğin toplandığı havuz genellikle kamu otoritesi tarafından yönetilmektedir. Havuz modelinde üreticilerin havuza enerji aktarmak için verdikleri fiyat teklifleri artan fiyatlara göre sıralanmakta ve kabul edilmiş olan son teklifin piyasa fiyatı olarak belirlendiği bir mekanizma çalışmaktadır. Piyasa fiyatı olarak belirlenen son fiyata ise "sistem marjinal fiyatı" denilmektedir. Enerji borsaları ise elektrik enerjisinin gün öncesi ve spot piyasalarda ticaretinin yapılmasını sağlayan organize bir piyasa olarak tanımlanmaktadır. Enerji borsalarında arz ve talep her saat için eşitlenerek bir fiyat endeksi oluşturulmaktadır. Enerji borsalarında üreticiler, dağıtıcılar, tedarikçiler ve büyük tüketiciler rekabet etmektedir (Camadan, 2010, s.39-41).

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### TÜRKİYE ELEKTRİK PİYASASI

#### 3.1 Türkiye Elektrik Piyasasının Tarihsel Gelişimi

Elektrik enerjisi günlük yaşama 19. Yüzyılın sonlarında girmiştir. Türkiye’de ilk elektrik santrali 1902 yılında Tarsus’ta özel sektör eliyle kurulmuştur. Takip eden yıllarda İstanbul Silahtarağa’da ilk termik santral devreye girmiştir. Osmanlı Elektrik Anonim Şirketi adı altında faaliyet gösteren Avusturya Macaristan sermayeli Ganz Anonim şirketi tarafından Silahtarağa santralinde elektrik üretimi gerçekleştirilmiştir. 1923-1945 yılları arasında Ankara, İzmir, Adana, Bursa, Gaziantep ve Tekirdağ gibi illerin elektrik ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla bazı şirketlere yetkiler verilmiş ancak bu şirketler zaman içinde kamulaştırılmıştır. 1935 yılında Etibank, Maden Tetkik ve Arama, Elektrik İşleri Etüt İdaresi, 1945 yılında İller Bankası ve 1953 yılında Devlet Su İşleri elektrik sektöründe faaliyet göstermeye başlamıştır. Bu dönemde Devlet Su İşleri İller Bankasının katkıları ile çok sayıda hidroelektrik ve termik santralin inşasını tamamlamış ve Türkiye elektrik sistemine katılmasını sağlamıştır (Aydın, 2010, s.6-7 ve Karamustafaoğlu, 2007, s.28-29).

Türkiye’de 30 Eylül 1960 döneminde Devlet Planlama Teşkilatının kurulması ve planlı kalkınma döneminin başlaması ile kalkınma planları hazırlanmıştır. Birinci beş yıllık kalkınma planı (1963-1967) ve İkinci Beş Yıllık Kalkınma Planı dönemlerinde Türkiye’de elektrik sektörü ile ilgili gerçekleştirilen üretim, iletim, dağıtım ve ticaret faaliyetlerinin bir bütün olarak kamu otoritesi kontrolüne alınması hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda 15.07. 1970 tarih ve 1312 sayılı kanunla Türkiye’de ihtiyaç duyulan elektriğin üretimi, dağıtımını ve ticaretini gerçekleştirmek amacıyla Türkiye Elektrik Kurumu (TEK) kurulmuştur. Kamu İktisadi kuruluşu statüsünde bulunan Türkiye Elektrik Kurumunun elektrik piyasasında gerçekleştirilen tüm faaliyetleri denetimi altında bulundurduğu bu yapı Türkiye Elektrik piyasasında dikey bütünleşik yapıyı oluşturmuştur.

Türkiye elektrik piyasasında dikey bütünleşik yapıda meydana gelen ilk değişiklik 3 Eylül 1982 tarih ve 2705 sayılı Kanun ile gerçekleşmiştir. Bu kanun ile Türkiye’de elektrik santrali kurma yetkisine sahip olan Türkiye Elektrik Kurumu ve Devlet Su İşleri’nin dışında özel sektörün elektrik santrali kurmasına ve ürettiği

elektriği Türkiye Elektrik Kurumuna satmasına olanak sağlanmıştır. Türkiye’de elektrik piyasasında, dikey bütünleşik yapıdan rekabetçi yapıya geçişle ilgili ilk adım, üretim sürecinde gerçekleştirilen bu değişikle başlamıştır. Türkiye elektrik piyasasında serbestleşme süreci 1984 yılında çıkarılan 3096 sayılı Türkiye Elektrik Kurumu Dışındaki Kuruluşların Elektrik retimi, İletimi, Dağıtımı ve Ticareti ile Görevlendirilmesi hakkında kanun ile devam etmiştir. 1993 yılında Türkiye Elektrik Kurumu Bakanlar Kurulu Kararı ile ikiye bölünerek elektrik piyasasında iletimden sorumlu Türkiye Elektrik retim A.ř. (TEAş) ve dağıtımdan sorumlu Türkiye Elektrik Dağıtım A.ř. (TEDAş) kurulmuştur.

3096 sayılı kanunla özel sektörün elektrik piyasasında faaliyet göstermesi yönünde atılan adımları pekiştirmek ve kamu kesiminin kaynak yetersizliği nedeniyle gerçekleştiremediği yeni yatırımları gerçekleştirmek üzere 1994, 1996, 1997 ve 1999 yıllarında yeni yasal düzenlemelere gidilmiştir (Karamustafaoğlu, 2007, s.30). Bu yasal düzenlemelerde yap işlet devret, yap işlet ve işletme hakkı devri modellerine ilişkin düzenlemeler yapılmıştır. Anılan dönemde; 1994 yılında 3996 sayılı “Bazı Yatırım ve Hizmetlerin Yap İşlet Devret Modeli erevesinde Yapılması Hakkında Kanun”, 1994’te 4047 sayılı ve 1996’da 4180 sayılı “Bazı Yatırım ve Hizmetlerin Yap İşlet Devret Modeli erevesinde Yapılması Hakkında Kanunda Değişiklik Yapılmasına İlişkin Kanun, 1997’de 4283 sayılı “Yap-İşlet Modeli ile Elektrik Enerjisi retim Tesislerinin Kurulması ve İşletilmesi ile Enerjinin Satışının Düzenlenmesi Hakkında Kanun, ve 1999’da 4493 sayılı 3996 sayılı kanunda değişikliği ngren “3996 sayılı Bazı Yatırım ve Hizmetlerin Yap İşlet Devret Modeli erevesinde Yapıtırılması Hakkında Kanun’da Değişiklik Yapılması Hakkında Kanun” yürürlüğe girmiştir.

5 şubat 2001 tarihli bakanlar kurulu kararı ile Türkiye Elektrik retim A.ř (TEAş), üç bağımsız kısma ayrılmıştır. Bunlar, Türkiye Elektrik İletim A.ř (TEİAş), Türkiye Elektrik retim A.ř. (EAş) ve Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt A.ř (TETAş)’tır. Takip eden süreçte Türkiye Elektrik Piyasasının rekabete açılmasını amaçlayan 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu yürürlüğe girmiştir. 4628 sayılı kanunun ilk maddesinde kanunun amacı; *“Elektriğin yeterli, kaliteli, sürekli, düşük maliyetli ve çevreyle uyumlu bir şekilde tüketicilerin kullanımına sunulması için, rekabet ortamında özel hukuk hükümlerine göre faaliyet gösterebilecek, mali açıdan güçlü, istikrarlı ve şeffaf bir elektrik enerjisi piyasasının oluşturulması ve bu*

*piyasada bağımsız bir düzenleme ve denetimin sağlanmasıdır” şeklinde ifade edilmiştir. 4628 sayılı kanun ile Türkiye Elektrik Piyasası dikey bütünleşik yapıdan üretim ve satış faaliyetlerinin rekabete açıldığı, doğal tekel niteliği taşıyan nakil (dağıtım ve iletim) faaliyetlerinin düzenlemeye tabi tutulduğu bir yapıya dönüştürülmesi öngörülmüştür. Kanunda piyasa faaliyetleri; piyasada faaliyet gösterecek tüzel kişilerin üretim, iletim, dağıtım, toptan satış, perakende satış, perakende satış hizmeti, ticaret, ithalat ve ihracat faaliyetleri olarak nitelendirilmiştir.*

Türkiye Elektrik Piyasasında mevcut durum itibariyle elektrik enerjisi ticareti 6446 sayılı kanunla düzenlenmektedir. Üretim faaliyetleri lisans kapsamında kamu ve özel sektör üretim şirketleri ve organize sanayi bölgeleri tarafından gerçekleştirilmektedir. İletim faaliyeti Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) tarafından gerçekleştirilmektedir. Dağıtım faaliyetleri ise lisans kapsamında dağıtım şirketleri tarafından lisansında belirtilen bölgede gerçekleştirilmektedir. Toptan satış ve perakende satış faaliyetleri ise üretim şirketleri ile tedarik lisansı kapsamında kamu ve özel sektör tedarik şirketleri tarafından 6446 sayılı kanun ve kanuna göre çıkarılmış olan yönetmelikler uyarınca yürütülmektedir.

### **3.2. Türkiye Elektrik Piyasasında Reform**

Türkiye’de elektrik piyasasında yapılanmayla ilgili radikal bir değişim süreci 4628 sayılı elektrik piyasası kanunuyla hedeflenmiştir (Atiyas, 2006). 4628 sayılı kanun öncesinde 1984 yılında 3096 sayılı yasa ile Türkiye Elektrik Kurumu dışında elektrik üretimine izin verilmiş olsa da dikey bütünleşik yapıyı çok fazla etkilememiştir. 3096 sayılı yasadaki sonra Yap İşlet Devret, Yap İşlet ve İşletme Hakkı Devri modelleri çerçevesinde elektrik üretimi konusunda özel kesimi özendirici yasalar çıkarılmış olsa da reform niteliği taşıyan yasa 2001 yılında yürürlüğe giren 4628 sayılı kanun ile olmuştur (Atiyas, 2006, s. 25-26).

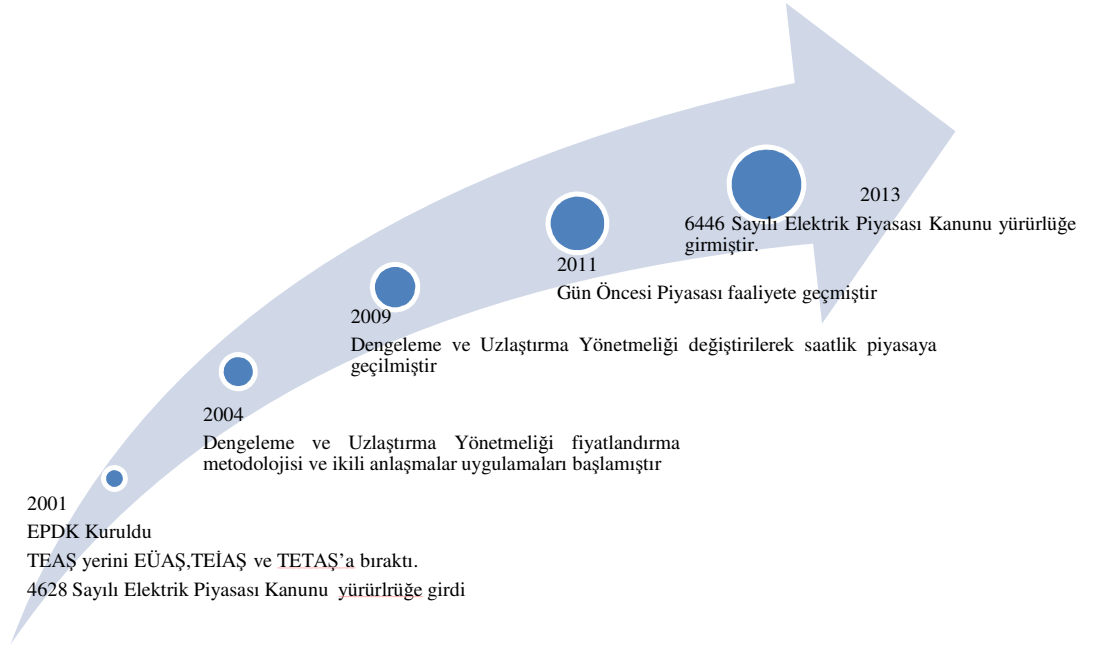
Rekabetçi bir elektrik piyasası oluşturmak için tasarlanan 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu dikey bütünleşik piyasa yapısının ayrıştırılarak elektrik üretimi ve satış faaliyetlerinin rekabete açılmasını, doğal tekel niteliği taşıyan iletim ve dağıtım faaliyetlerinin düzenlenmeye tabi olmasını öngörmüştür (Özercan, 2007, s.58).

4628 sayılı Enerji Piyasası Kanunu ile birlikte düzenleyici bir kurum olarak piyasa kurallarını belirleme yetkisi Enerji Piyasası Düzenleme Kurumuna (EPDK) verilirken kamuya ait elektrik varlıkları Türkiye Elektrik İletim A.Ş (TEİAŞ),



Türkiye Elektrik Üretim A.Ş. (EÜAŞ) ve Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt A.Ş (TETAŞ) olmak üzere üçe ayrılmıştır. Mevcut yapı içerisinde EPDK tarafından lisans verilen şirketler dağıtım faaliyetlerini yürütürlerken, piyasada sistem operatörü olarak TEİAŞ görev yapmaktadır.

### Şekil 3-1. Türkiye Elektrik Piyasasında Reform Süreci



Türkiye Elektrik Piyasasının işleyişi ile ilgili son düzenleme 30 Mart 2013 tarihli Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ile gerçekleştirilmiştir. Bu kanun ile organize toptan elektrik piyasalarının işletilmesi ve bu piyasalarda gerçekleştirilen mali uzlaştırma işlemleri ile bu faaliyetlere ilişkin diğer mali işlemler piyasa işletim faaliyeti olarak tanımlanmıştır. Bu kanun kapsamında Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi (EPIAŞ) kurulmuştur. EPIAŞ, piyasa işletim lisansı kapsamında, Borsa İstanbul Anonim Şirketi ile TEİAŞ tarafından Elektrik Piyasası Kanunu kapsamında işletilen piyasalar dışında kalan organize toptan elektrik piyasalarının işletim faaliyetini yürütür. Ayrıca EPIAŞ 6446 sayılı kanuna göre TEİAŞ tarafından piyasa işletim lisansı kapsamında işletilen organize toptan elektrik piyasalarının mali uzlaştırma işlemlerini ve diğer mali işlemlerini yürütür. 6446 sayılı kanunun 11. Maddesinde EPIAŞ'ın hak ve yükümlülükleri aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır;

\*Piyasanın gelişimi doğrultusunda görev alanına giren organize toptan elektrik piyasalarında yeni piyasalar kurulmasına yönelik çalışmaları yapmak ve Enerji Piyasası Düzenleme Kurumuna sunmak.

\*Bakanlıkça uygun görülmesi hâlinde; görev alanına giren organize toptan elektrik piyasalarının işletilmesi amacıyla oluşturulan veya ileride oluşturulabilecek uluslararası elektrik piyasalarına taraf olarak katılmak, bu amaçla kurulan uluslararası elektrik piyasası işletmecisi kuruluşlara ortak veya üye olmak.

\*Enerji Piyasası Düzenleme Kurumunun belirlediği usul ve esaslar çerçevesinde piyasa işletim tarifelerini belirleyerek Enerji Piyasası Düzenleme Kurumuna sunmak.

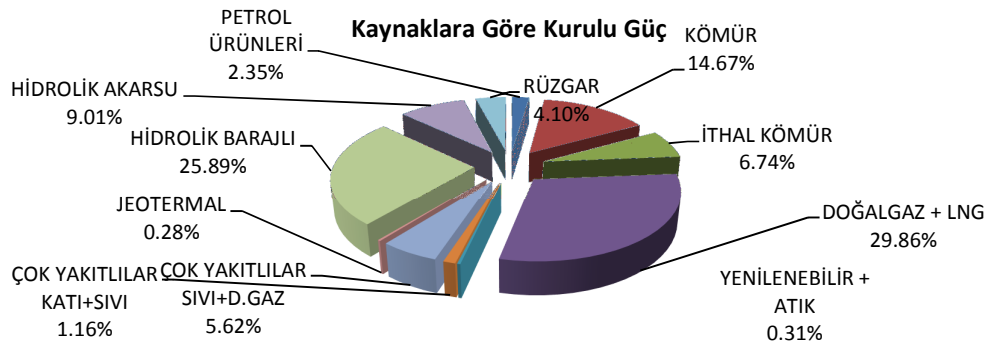
### 3.3. Türkiye Elektrik Piyasasında Üretim, İletim ve Dağıtım

Bu başlıkta Türkiye Elektrik Piyasasında Üretim, İletim ve Dağıtım faaliyetlerinin nasıl yürütüldüğü başlıklar halinde açıklanmıştır.

#### 3.3.1 Üretim

Türkiye Elektrik Piyasasında üretim faaliyetinde bulunabilmek için Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu EPDK'dan üretim lisansı alınması gerekmektedir. Türkiye'de Elektrik Üretim Anonim Şirketi, bağlı ortaklıklar ve kamu şirketleri ve özel sektör üretim şirketleri üretim lisansı sahibidir.

**Grafik 3.1 Türkiye'de Kurulu Gücün Kaynaklara Göre Dağılımı (Nisan 2013)**

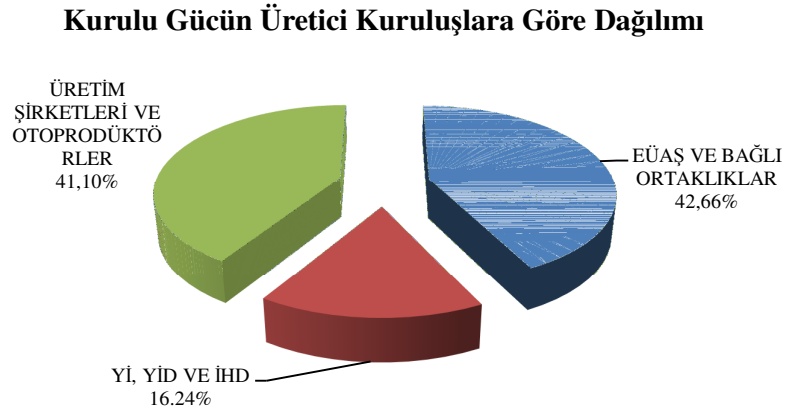


**Kaynak: (TEİAŞ) <http://www.teias.gov.tr>**

Günümüzde Türkiye'de devlete ait olan Elektrik Üretim Anonim Şirketi varlıkları ile ilgili özelleştirme süreci devam etmektedir. Türkiye Elektrik Piyasasında kamu ve özel sektörün (özel sektör üretim faaliyetlerinin bir kısmı YİD, İHD ve Yİ kapsamında) elektrik üretimi gerçekleştirdiği bir yapı mevcuttur (EPDK,2012).

Nisan 2013 itibariyle Türkiye kurulu gücü 58.042,5 MW'dır. Kurulu gücün kaynaklara göre dağılımına bakıldığında doğalgazın %29,86 ile ilk sırada yer aldığı görülmektedir. Doğalgaz Türkiye'de %25,89 ile hidroelektrik santralleri izlerken, üçüncü sırada, kömür santralleri yer almaktadır.

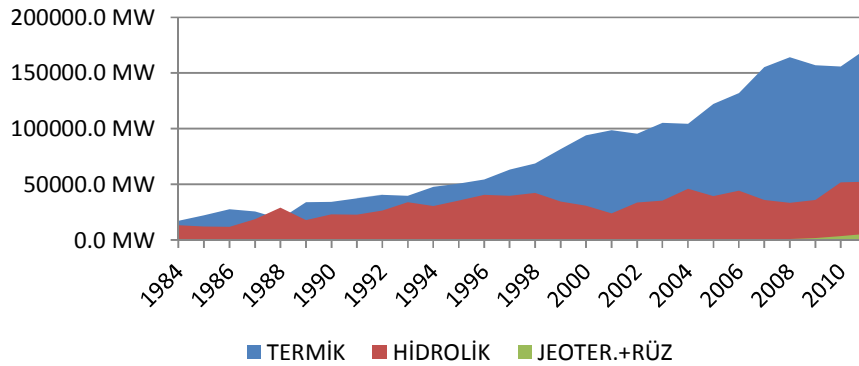
**Grafik 3.2 Kurulu Gücün Üretici Kuruluşlara Göre Dağılımı (Nisan 2013)**



**Kaynak: (TEİAŞ) <http://www.teias.gov.tr>**

Nisan 2013 itibariyle Elektrik Üretim A.Ş ve bağı ortaklıklarının kurulu güç içindeki payı %42,6, özel sektör üretim şirketleri ve otoprodüktörlerin payı %41,10 ve Yap İşlet, Yap İşlet Devret ve İşletme Hakkı Devri kapsamındaki santrallerin payı %16,24'tür. Mevcut piyasa yapısında 2013 yılı itibariyle kurulu gücün %58,9'u özel sektörün elinde bulunurken, %41,1'i EÜAŞ ve bağı ortaklıklara aittir.

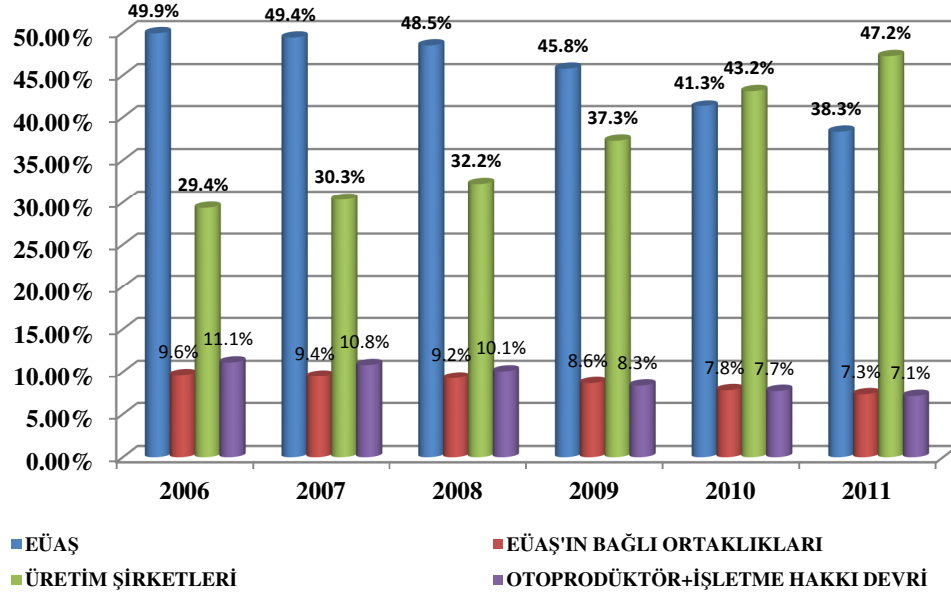
**Grafik-3.3 Türkiye'de Yıllar İtibariyle Elektrik Üretim Kaynaklarına Göre Dağılımı 1984-2011**



**Kaynak: (TEİAŞ) <http://www.teias.gov.tr>**

Türkiye Elektrik Sektöründe 1980 sonrasında başlayan ve günümüzde devam eden reform sürecinde gerçekleştirilen serbestleşme elektrik üretiminde kaynaklara göre ve üretici kuruluşlara göre dağılımın kompozisyonunu değiştirmiştir.

**Grafik 3.4 Türkiye’de Kurulu Gücün 2006-2011 Döneminde Üretici Kuruluşlara Göre Dağılımı**



**Kaynak: (TEİAŞ) <http://www.teias.gov.tr>**

Yıllar itibariyle Türkiye’de elektrik üretiminde termik santrallerin payında önemli ölçüde bir artış gerçekleşirken hidroelektrik santrallerinin üretim içindeki payı değişmemiştir. Üretici kuruluşlara göre dağılıma bakıldığında ise özel kesimin üretim içindeki payının yıllar itibariyle artış gösterdiği gözlenmektedir. Yıllar itibariyle elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımını gösteren Grafik 3.3 ve kurulu gücün üretici kuruluşlara göre dağılımını gösteren Grafik 3.4 incelendiğinde Türkiye’de elektrik piyasası reform sürecinde üretimde termik santrallerin payının ve kurulu güç içinde özel kesimin payının arttığı görülmektedir.

### 3.3.2. İletim

İletim faaliyetleri Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi tarafından gerçekleştirilmektedir. TEİAŞ’da var olan ve yeni inşa edilecek tüm iletim tesisleri üzerinden iletim faaliyeti yürütebilmek için EPDK’dan lisans almak durumundadır. Bu lisansa iletim lisansı denir (EPDK, 2012).

6446 sayılı kanuna TEİAŞ'ın görev ve sorumlulukları:

- Kurulması öngörülen yeni iletim tesisleri için iletim yatırım planı yapmak, yeni iletim tesislerini kurmak ve iletim sistemini elektrik enerjisi üretimi ve tedarikinde rekabet ortamına uygun şekilde işletmek ve gerektiğinde iletim sisteminde ikame ve kapasite artırımı yatırımı yapmak.
- 6446 sayılı kanun kapsamında yürüttüğü faaliyetlere ilişkin tarife tekliflerini Kurumun belirlediği ilke ve standartlar çerçevesinde hazırlamak ve EPDK'nın onayına sunmak.
- Şebeke, dengeleme ve uzlaştırma ve yan hizmetler hakkındaki yönetmeliklerin uygulanmasını gözetmek, bu amaçla gerekli incelemeleri yapmak, sonuçları hakkında Kuruma rapor sunmak ve gerekli tedbirlerin alınmasını talep etmek.
- Yük dağıtımı ve frekans kontrolünü gerçekleştirmek, piyasa işletim lisansı kapsamında yan hizmetler piyasasını ve dengeleme güç piyasasını işletmek, gerçek zamanlı sistem güvenilirliğini izlemek, sistem güvenilirliğini ve elektrik enerjisinin öngörülen kalite koşullarında sunulmasını sağlamak üzere gerekli yan hizmetleri belirlemek ve bu hizmetleri ilgili yönetmelik hükümleri doğrultusunda sağlamak.
- İletim sisteminde ikame ve kapasite artırımı yapmak.
- Bakanlığın kararı doğrultusunda uluslararası enterkonneksiyon çalışmalarını yapmak, iletim sistemine bağlı veya bağlanacak olan serbest tüketiciler dâhil tüm sistem kullanıcılarına şebeke işleyişine ilişkin mevzuat hükümleri doğrultusunda eşit taraflar arasında ayırım gözetmeksizin iletim ve bağlantı hizmeti sunmak.

### 3.3.3. Dağıtım

Türkiye'de dağıtım şirketleri bölgeler itibariyle faaliyet göstermektedir. Dağıtım şirketleri belirli bir bölgede dağıtım faaliyeti gösterebilmek için EPDK'dan dağıtım lisansı almak zorundadırlar (EPDK, 2012).

6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanununa göre;

- *Dağıtım şirketi, lisansında belirlenen bölgede sayaçların okunması, bakımı ve işletilmesi hizmetlerinin yerine getirilmesinden sorumludur.*

- *Piyasa faaliyeti gösteren tüzel kişiler bir dağıtım şirketine ve dağıtım şirketi piyasa faaliyeti gösteren tüzel kişilere doğrudan ortak olamaz.*
- *Dağıtım şirketi, dağıtım faaliyeti dışında bir faaliyetle iştigal edemez.*
- *Dağıtım faaliyetiyle birlikte yürütülmesi verimlilik artışı sağlayacak nitelikteki piyasa dışı bir faaliyetin yürütülmesine ilişkin usul ve esaslar EPDK tarafından çıkarılan yönetmelikle düzenlenir.*
- *Dağıtım şirketi, lisansında belirtilen bölgedeki dağıtım sistemini elektrik enerjisi üretimi ve satışında rekabet ortamına uygun şekilde işletmek, bu tesisleri yenilemek, kapasite ikame ve artırım yatırımlarını yapmak, dağıtım sistemine bağlı ve/veya bağlanacak olan tüm dağıtım sistemi kullanıcılarına ilgili mevzuat hükümleri doğrultusunda eşit taraflar arasında ayırım gözetmeksizin hizmet sunmakla yükümlüdür.*
- *Dağıtım lisansında belirlenen bölgelerde talep tahminlerinin hazırlanması ve TEİAŞ'a bildirilmesi görevi dağıtım şirketine aittir.*

### **3.4 Türkiye Elektrik Toptan Satış Piyasası**

Türkiye elektrik piyasasında 4628 Sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ile TEAŞ yerini EÜAŞ, TEİAŞ ve TETAŞ'a bırakınca bu dönemde elektrik ticareti, arz güvenliğini hedefleyen bir sistem içerisinde ikili anlaşmalar ile yürütülmüştür. 2004 kasım ayında yayınlanan dengeleme ve uzlaştırma yönetmeliği ile Gün Öncesi Dengeleme sistemine geçilmiştir. Bu sisteme geçilmesindeki temel amaç gerçek zamanlı dengelemeyi kolaylaştırmak ve sistem güvenliğini iyileştirmek olmuştur. Dengeleme ve uzlaştırma yönetmeliğiyle öncelikle (06:00-17:00 gündüz, 17:00-22:00 puant ve 22:00-06:00 arası gece) olmak üzere üç zamanlı yapıya sahip olan bir uzlaştırmaya gidilmiştir. Dengeleme ve uzlaştırma yönetmeliği elektrik piyasasında gerçek zamanlı dengelemenin sağlıklı yürütülmesini sağlamak ve piyasa katılımcılarının ihtiyaçlarına tam anlamıyla cevap verebilmek amacıyla piyasa katılımcılarının talepleri doğrultusunda yürütülen çalışmalar neticesinde 2004, 2007, 2009 ve 2011 yıllarında çeşitli değişikliklere uğramıştır (Tokyay ve Özdemir, 2013).

2009 yılında Dengeleme Uzlaştırma Yönetmeliğinde yapılan değişiklikle gün öncesi planlama olarak adlandırılan ve saatlik olarak uygulanan yeni bir sisteme geçilmiştir. Piyasa katılımcısı olan bir üretim şirketi ürettiği elektriği bir başka üreticiye ikili anlaşma ile satabilmektedir. Bu sistem piyasa katılımcılarına ikili

anlaşmaların yanı sıra bir sonraki gün için enerji alış-satışı ile ilgili planlama yapma olanağı sağladığından sözleşmeye bağlanmış yükümlülüklerini gün öncesinde dengeleme olanağı sağlayan bir sistemdir. Yeni yönetmelikle uygulanacak olan gün öncesi planlama sistem işletmecisinin işini kolaylaştırmakta ve gerçek zamanlı dengelemenin kolay sağlanmasına katkı sağlamaktadır. Ayrıca yönetmeliğin bir amacı da teklif bölgeleri oluşturarak sistem işletmecisine gün öncesinden kısıt yönetimi yapabilme imkanı sağlamaktır. Gün öncesi planlamanın işleyişinde piyasa katılımcılarının gün öncesi planlamaya katılmaları zorunluluğu ve piyasa katılım anlaşması imzalamaları gerekliliği bulunmaktadır.

Gün öncesi planlamada her sabah sistem işletmecisi, milli yük tevzi merkezi (MYTM)'den gelen bir sonraki güne ilişkin tüketilmesi öngörülen elektrik enerjisi miktarına bağlı olarak piyasa katılımcılarından topladığı teklifleri değerlendirmektedir. Burada en ucuzdan en pahalıya sıralanan teklifler ertesi günün üretim planına alınmakta ve öngörülen tüketimin karşılanmasında değerlendirmeye alınan son teklif o saatin fiyatı olmaktadır. Tüm üreticilere ilgili saat için bu fiyattan işlem yapılmaktadır.

Gün öncesi planlama 14/04/2009 tarih ve 27200 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren Elektrik Piyasası Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği'nin 36. maddesine göre;

Gün öncesi planlama, günlük olarak yürütülür ve aşağıda belirtilen adımlardan meydana gelir:

a) Her gün saat 11:30 itibarı ile, Sistem İşletmecisi tarafından, bir sonraki güne ait talep tahmini, PYS aracılığıyla duyurulur.

b) Her gün saat 11:30'a kadar, Sistem İşletmecisi tarafından, bir sonraki güne ait kuvvetle muhtemel sistem kısıtları PYS'nin gün öncesi planlama modülüne girilir.

c) Her gün saat 11:30'a kadar, gün öncesi planlamaya katılan piyasa katılımcıları tarafından, ilgili her bir dengeleme birimi için denge sorumlulukları doğrultusunda belirlenen GÜP'ler ve gün öncesi sistem satış, sistem alış teklifleri, PYS aracılığıyla Piyasa İşletmecisine bildirilir.

ç) Her gün saat 11:30'a kadar, tüm piyasa katılımcıları tarafından, her bir piyasa katılımcısının adına kayıtlı tüketim birimleri için takip eden günün her bir saati için toplam tüketim tahminleri PYS aracılığıyla Piyasa İşletmecisine bildirilir.

d) Her gün saat 11:30-13:00 arasında;

1) Piyasa İşletmecisi, bir sonraki güne ait her bir saat için, öngörülen saatlik talebi dengeleyecek kısıtsız üretim/tüketim programını PYS'nin gün öncesi planlama modülü aracılığıyla oluşturur,

2) Piyasa İşletmecisi, kısıtsız üretim/tüketim programının oluşturulması için kullanılan saatlik, blok ve esnek tekliflere ilişkin fiyatları dikkate alarak, bir sonraki günün her bir saati için, gün öncesi planlama kapsamındaki sistem marjinal fiyatlarını PYS'nin gün öncesi planlama modülü aracılığıyla belirler,

3) Piyasa İşletmecisi gün öncesi sistem satış, sistem alış tekliflerini Sistem İşletmecisi tarafından gün öncesi planlama modülüne girilmiş olan sistem kısıtlarını da dikkate alarak gün öncesi planlama modülü aracılığıyla değerlendirir. Piyasa İşletmecisi kabul edilmiş olan tüm tekliflere ilişkin gün öncesi planlama kapsamındaki sistem satış, sistem alış talimatlarını PYS aracılığıyla oluşturur ve talimatları ilgili piyasa katılımcılarına bildirir. Piyasa İşletmecisi, PYS aracılığıyla Sistem Gün Öncesi Fiyatı ile sistem alış ve satış talimatlarının belirlenmesinde; Kurum tarafından Başkan oluru ile yayınlanan Gün Öncesi Planlamada Sistem Marjinal Fiyatının Belirlenmesi ile Sistem Satış ve Sistem Alış Talimatlarının Oluşmasına İlişkin Metodoloji'yi esas alır.

e) Her gün saat 13:00-13:30 arasında; gün öncesi planlamaya katılan piyasa katılımcıları Piyasa İşletmecisi tarafından kendilerine bildirilen gün öncesi planlama kapsamındaki sistem satış, sistem alış talimatlarının, ilgili sistem satış, sistem alış teklifleri ile tutarlı olup olmadıklarını kontrol ederek tutarlı olmayan talimatlar ile ilgili olarak Piyasa İşletmecisine itirazda bulunabilirler.

f) Her gün saat 13:30-14:00 arasında; Piyasa İşletmecisi itirazları değerlendirerek gerekirse gün öncesi planlama kapsamındaki sistem marjinal fiyatlarını yeniden belirler, ilgili piyasa katılımcılarına kabul edilmiş olan tüm tekliflere ilişkin gün öncesi planlama kapsamındaki sistem satış, sistem alış talimatlarını bildirir ve gün öncesi planlama kapsamındaki sistem marjinal fiyatlarını yayımlar. Herhangi bir itiraz olmaması durumunda, daha önce hesaplanmış olan sistem marjinal fiyatları Piyasa İşletmecisi tarafından hiçbir suretle değiştirilemez.

g) Her gün saat 14:00'a kadar Piyasa işletmecisi tüm sistem için gün öncesi programını sonuçlandırır.



### 3.4.1 Gün Öncesi Piyasası

Türkiye Elektrik Piyasasında sistem marjinal fiyatının belirlenmesi, sistem satış ve sistem alış talimatlarının oluşturulması ile ilgili yöntem Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliğinin 36. maddesine dayanılarak Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu tarafından oluşturulmuştur. Buna göre gün öncesi piyasasında gün öncesi planlamaya dayanılarak sistem gün öncesi fiyatının hesaplanması ve talimat alacak olan tekliflerin tespit edilmesi işlemi elektronik ortamda bir optimizasyon aracı kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Optimizasyon aracının çalışma prensibi her bir gün için 24 saatin toplamını göz önüne alarak, üretim ve sistem kısıtları da hesaba katılarak günün her saati için kabul edilecek teklif setlerinin belirlenmesidir.

Türkiye Elektrik Piyasasında gün öncesi 2009 yılında çalışmaya başlayan gün öncesi planlama sisteminin ardından 1 Aralık 2011 tarihinde gün öncesi piyasası sistemine geçilmiştir. Gün öncesi piyasası ile talep tarafı tüketeceği yükü fiyat seviyelerine göre ayarlayabilme imkanı kazanmıştır. Gün öncesi piyasasında katılım zorunluluğu yoktur ve uzlaştırmanın günlük yapılması piyasa katılımcılarının yaptıkları ticari işlemlerden doğan alacaklarının günlük olarak uzlaştırılmasını sağlamıştır. Böylece piyasa katılımcıları ürettikleri elektriğin bedelini günlük olarak almaktadır. Bunun yanında gün öncesi piyasasında teminat mekanizması çalıştırılarak piyasa katılımcıları güvence altına alınmıştır (PMUM, 2013).

Gün Öncesi Piyasasına ilişkin piyasa katılımcılarının yükümlülüklerini içeren Gün Öncesi Piyasası Katılım Anlaşması'nı imzalayarak piyasa katılımcısı olan tüm lisans sahibi tüzel kişiler Gün Öncesi Piyasasına katılabilmektedir. Gün Öncesi Piyasası işlemleri günlük olarak, saatlik bazda gerçekleştirilmekte ve her bir gün, 00:00'dan başlayıp, ertesi gün 00:00'da sona eren saatlik zaman dilimlerinden oluşmaktadır. Gün öncesi piyasası teklifleri bir sonraki günden başlanarak 5 gün sonraya kadar verilebilmektedir. Gün Öncesi Piyasasının uzlaştırmasında uygulanan fiyat ve miktarlar günlük bazda ve her bir saat için belirlenmektedir. Teminat mektupları her gün saat 10:30' a kadar Piyasa İşletmecisine, teminat mektubu dışındaki diğer teminatlar ise saat 11:00'a kadar merkezi uzlaştırma bankasına, piyasa katılımcısı tarafından sunulmaktadır. Bir piyasa katılımcısının hafta sonu veya resmi tatil boyunca Gün Öncesi Piyasası faaliyetine devam edebilmesi için, hafta sonu veya resmi tatil gününden bir önceki iş günü en geç saat 10:30' a kadar teminat mektuplarını, 11:00'a kadar ise teminat mektubu dışındaki diğer teminatlarını

sunması gerekmektedir. Her gün saat 11:30' a kadar, gün öncesi piyasasına katılan piyasa katılımcıları bir sonraki güne ait gün öncesi piyasası tekliflerini piyasa yönetim sistemi aracılığıyla Piyasa İşletmecisine bildirmektedirler. Gün Öncesi Piyasasına teklif verilip verilemeyeceğinin belirlenmesi için piyasası açılış zamanından önce saat 11:30-12:00 arasında teminat kontrolü yapılmaktadır. Bildirilen her bir gün öncesi piyasası teklifi Piyasa İşletmecisi tarafından saat 11:30-12:00 arasında değerlendirilerek doğrulanmakta ve teyit edilen teklifler saat 12:00 - 13:00 arasında, optimizasyon aracı ile değerlendirilmekte ve ilgili günün her bir saatine ilişkin piyasa takas fiyatları ve piyasa takas miktarları belirlenmektedir. Her gün 13:00' de onaylanmış alış-satış miktarlarını içeren ticari işlem onayları ilgili piyasa katılımcısına bildirilmektedir. Bu bildirimlerin içeriğinde hata bulunması durumunda piyasa katılımcısı saat 13:00-13:30 arasında itiraz edebilmekte ve itirazların sonucu saat 13:00 - 13:30 arasında katılımcıya bildirilmektedir. Saat 14:00'da ertesi günün 24 saatine ilişkin fiyat ve eşleşmeler nihai olarak duyurulmaktadır. Her gün saat 00:00 - 16:00 arasında piyasa katılımcıları tarafından ikili anlaşma bildirimleri piyasa yönetim sistemine girilmektedir. Gün öncesi piyasasında teklifler saatlik, blok ve esnek teklifler olmak üzere verilebilmektedir. Teklifler farklı saatler için değişiklik gösterebilen miktar ve fiyat bilgilerinden oluşmaktadır. Bildirilen tüm teklif fiyatları yüzde birlik hassasiyete sahiptir. Teklifler Türk Lirası, ABD doları, Euro para birimlerinde yapılmaktadır. Türk Lirası haricindeki para birimlerinde yapılan teklifler TCMB günlük döviz alış kuruna göre Türk Lirasına çevrilmekte ve kullanılmaktadır. Teklif miktarları Lot olarak tam sayı olarak bildirilmekte ve 1 Lot= 0,1 MWh'tir. Teklifler alış ya da satış yönünde verilebilmekte ve hangi yönde teklif verileceği teklife ait miktarın önündeki işaret ile belirlenmektedir. (Örn: Alış Teklifi 100 LOT , Satış Teklifi – 100 LOT) Piyasa işletmecisi tarafından asgari fiyat teklif sınırı 0 TL, azami teklif fiyatı sınırı 2000 TL olarak belirlenmiştir. Değişen piyasa koşullarına göre Piyasa İşletmecisi, asgari ve azami fiyat limitlerini güncelleyerek, PYS aracılığıyla piyasa katılımcılarına duyurur. Piyasa İşletmecisi tarafından asgari miktar teklif sınırı 0 LOT, azami teklif miktar sınırı ise  $\pm 100.000$  LOT olarak belirlenmiştir (PMUM, 2013).

#### **3.4.1.1 Saatlik Teklifler**

Gün öncesi piyasasında saatlik teklifler alış ve satış yönünde 32 seviye olmak üzere en fazla 64 seviyeden oluşmaktadır. Saatlik teklifler seviyelere göre artan

biçimde sıralanmakta ve aynı fiyat seviyesinde geçerli hem alış hem de satış yönünde teklif bulunmamaktadır (PMUM, 2013).

**Tablo 3.1 Gün Öncesi Piyasası Saatlik Teklif Örneği**

| SAAT                 | FİYAT (TL/MWh) |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                      | 0              | 20  | 40  | 60  | 80  | 100 | 120  | 140  | 160  | 180  | 200  | 220  | 240  | 300  | 400  | 500  |
| <b>0 ile 1 (LOT)</b> | 500            | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500  | -100 | -200 | -300 | -300 | -400 | -500 | -500 | -500 | -500 |
| <b>1 ile 2 (LOT)</b> | 600            | 400 | 300 | 300 | 200 | 200 | -100 | -200 | -400 | -450 | -450 | -500 | -500 | -500 | -600 | -600 |

Tablo 3.1’de temsili bir piyasa katılımcısının saatlik teklif örneği verilmiştir. Buna göre piyasa katılımcısı sistem gün öncesi fiyatı 0, 20, 40,60,80,120 olduğunda 50 MWh elektrik alacağını, fiyat 140 TL/MWh’i geçtiğinde ise fiyat seviyesine bağlı olarak elektrik satacağını ifade etmektedir. Gün öncesi piyasasında örnekte belirtilen katılımcı gibi diğer katılımcılar da saatlik tekliflerini oluşturmaktadırlar.

### 3.4.1.2 Blok Teklifler

Saatlik tekliflerin yanı sıra, Sistem Gün Öncesi Fiyatının belirlenmesi sürecinde blok teklifler de değerlendirmeye alınmaktadır. Blok teklifler belirli bir zaman dilimini kapsayan fiyat ve miktar bilgilerinden oluşurlar. Blok teklifler minimum 4 maksimum 24 saati kapsayan ardışık ve tam saat dilimleri olarak belirlenmektedirler. Blok teklifler, kapsadığı zaman diliminin tamamı için değerlendirilmekte (kapsadığı zaman tüm dilimi için kabul edilir ya da edilmez) ve bir güne ilişkin 50 adetle sınırlandırılmışlardır.

**Tablo 3.2 Gün Öncesi Piyasası Blok Teklif Örneği**

| SAAT          | Fiyat (TL/MWh) | Miktar |
|---------------|----------------|--------|
| 0 ile 4 (LOT) | 120            | -800   |
| 4 ile 9 (LOT) | 80             | 900    |

Tablo 3.2’de bir blok teklif örneği verilmiştir. Bu örnekte temsili piyasa katılımcısı fiyat 120 TL/ MWh iken 0-4 arasında 80MWh elektrik satacağını, fiyat 80TL/MWh iken 90MWh elektrik alacağını ifade etmektedir.

### 3.4.1.3 Esnek Teklifler

Esnek teklifler saatlik ve blok tekliflerden sonra dikkate alınan, sadece sistem satış yönünde verilebilen tekliflerdir. Esnek teklifler bir saat için yalnızca miktar ve fiyat bilgilerinden oluşmaktadır. Esnek teklif 10 adet ile sınırlandırılmıştır (PMUM, 2013).

**Tablo 3.3 Gün Öncesi Piyasası Esnek Teklif Örneği**

| Piyasa Katılımcısı | Fiyat (TL/MWh) | Miktar |
|--------------------|----------------|--------|
| A                  | 150            | -600   |
| B                  | 180            | -700   |
| C                  | 210            | -800   |
| D                  | 250            | -800   |

Tablo 3.3’de bir esnek teklif örneği verilmektedir. Burada piyasa katılımcılarının belirli bir saate ilişkin fiyat düzeylerine bağlı olarak satmak istedikleri elektrik enerjisi miktarları yer almaktadır. Örneğin piyasa katılımcısı A fiyat 150TL/MWh olduğunda 60MWh elektrik enerjisi satmak istemektedir.

### 3.4.2 Sistem Gün Öncesi Fiyatının (Piyasa Takas Fiyatı) Belirlenmesi

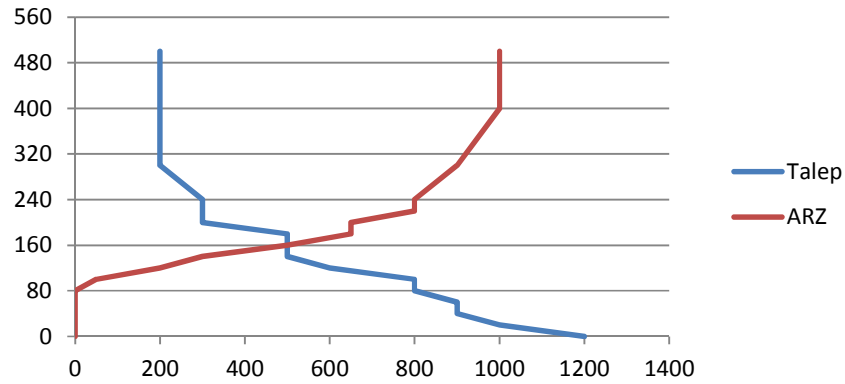
Gün öncesi piyasasında piyasa katılımcıları tarafından verilen saatlik, blok ve esnek teklifler dikkate alınarak 24 saat için teklifler optimizasyon aracı ile değerlendirilir. Bu noktada yapılan değerlendirme ile arz- talep eğrileri oluşturulmuş olur. Alış ve satış tekliflerinin eşleştirilmesi olarak değerlendirilen bu süreçte öncelikle piyasa katılımcıları tarafından verilen saatlik teklifler dikkate alınarak arz ve talep eğrileri oluşturulur. Arz ve talep eğrilerinin kesiştiği noktada piyasa takas fiyatı ve piyasa takas miktarı belirlenir. Bunu takiben blok tekliflerin optimizasyon aracı ile değerlendirilmesi sürecine geçilir. Eğer değerlendirme yapılan ilgili günün maliyetini düşüren bir blok teklif söz konusu ise blok teklifler sürece dahil edilerek yeni arz ve talep eğrileri elde edilir. Daha sonra varsa esnek teklifler dikkate alınarak her bir saat için nihai piyasa takas fiyatı ve miktarı belirlenir (PMUM, 2013).

**Tablo 3.4 Sistem Gün Öncesi Fiyatının Oluşumu**

| Fiyat TL/MWh         | 0    | 20   | 40  | 60  | 80  | 100 | 120  | 140  | 160  | 180  | 200  | 220  | 240  | 300  | 400  | 500  |
|----------------------|------|------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Piyasa Katılımcısı A | 500  | 500  | 500 | 500 | 500 | 500 | 500  | 400  | 400  | 400  | 200  | 200  | 200  | 100  | 100  | 100  |
| Piyasa Katılımcısı B | 600  | 400  | 300 | 300 | 200 | 200 | -100 | -200 | -400 | -450 | -450 | -500 | -500 | -500 | -600 | -600 |
| Piyasa Katılımcısı C | 100  | 100  | 100 | 100 | 100 | 100 | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  |
| Piyasa Katılımcısı D | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | -50 | -100 | -100 | -100 | -200 | -200 | -300 | -300 | -400 | -400 | -400 |
| Toplam Alış (Lot)    | 1200 | 1000 | 900 | 900 | 800 | 800 | 600  | 500  | 500  | 500  | 300  | 300  | 300  | 200  | 200  | 200  |
| Toplam Satış (Lot)   | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 50  | 200  | 300  | 500  | 650  | 650  | 800  | 800  | 900  | 1000 | 1000 |

Tablo 3.4'te blok ve esnek tekliflerin bulunmadığı bir saat için sistem gün öncesi fiyatının oluşumunu açıklayan temsili piyasa katılımcı teklifleri gösterilmektedir.

**Grafik 3.5 Sistem Gün öncesi Fiyatının Oluşumu (Arz – Talep)**



Bu örneğe göre ilgili saat için piyasa takas fiyatı (sistem gün öncesi fiyatı) 160 TL/MWh'tir. Fiyat 160TL/MWh olduğunda toplam alış (Talep) ve toplam satış (Arz) birbirine eşitlenmektedir. Grafik 3.5'te bu durum arz ve talep eğrileri yardımıyla gösterilmektedir.

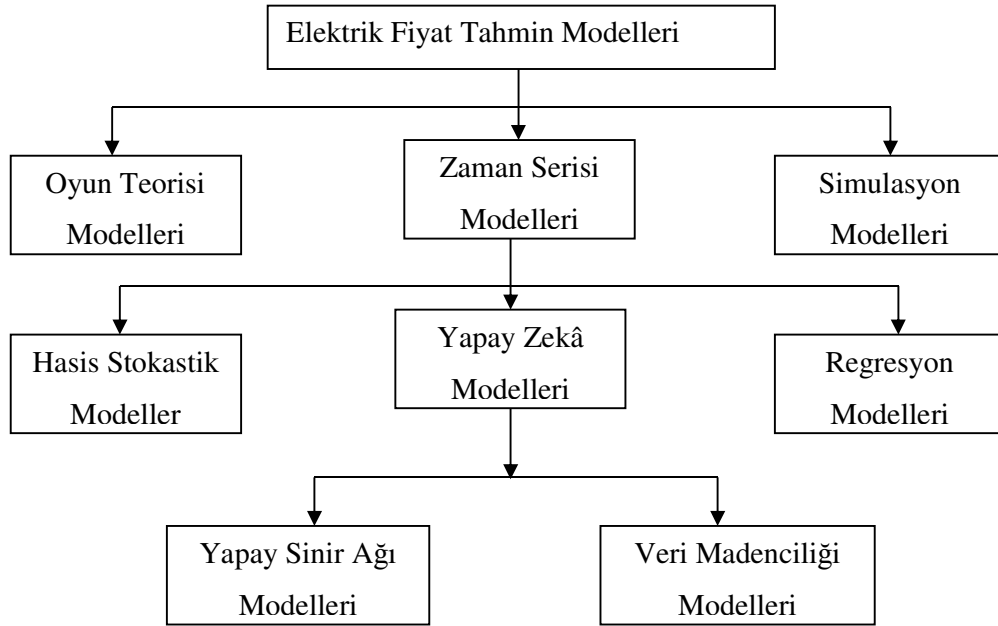
## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

### ARAŞTIRMA YÖNTEMİ VE ANALİZ

#### 4.1 Elektrik Fiyat Tahmin Modelleri

Elektrik fiyatlarının modellenmesinde oyun teorisine, simülasyona ve zaman serisi tahminlerine dayalı yöntemler kullanılmaktadır. Oyun teorisine dayalı modellerde Nash dengesi, Cournot modeli ve Bertrand modeli gibi modeller kullanılmakta ve bu modeller optimal çözümler için piyasa katılımcılarının stratejilerini modellemektedir (Liu ve Shi, 2013 ).

Şekil 4.1 Elektrik Fiyat Modellerinin Sınıflandırılması



**Kaynak: Aggarwal, Saini ve Kumar, 2009, s.14.**

Simülasyon modelleri bir süreci yönlendiren fiziksel olguları değerlendiren algoritmaları kullanarak model sonuçlarına ulaşmaktadır. Simülasyon modelleri fiyatlarla ilgili detaylı bilgiler (üretim birimleri verileri, yakıt fiyatları, talep tahminleri, fiyat teklif stratejileri vb.) gerektirmesi ve hesaplama maliyetlerinin yüksekliği gibi dezavantajlara sahiptir. Elektrik fiyat tahmininde zaman serisi analizine dayanan stokastik modeller, yapay sinir ağı modelleri ve veri madenciliği

modelleri olmak üzere üç tip model kullanılmaktadır. Stokastik modellere örnek olarak otoregresif, hareketli ortalama, otoregresif hareketli ortalama, otoregresif koşullu heteroskedastisite, genelleştirilmiş otoregresif koşullu heteroskedastisite modelleri verilebilir. Bu modeller durağan ve durağan olmayan süreçler olarak ikiye ayrılmaktadır Bunun yanı sıra elektrik fiyatlarının sıçrama ve ortalamaya dönme eğilimlerini modellemede doğrusal olmayan (rejim geçişi vb.) zaman serisi modelleri kullanılmaktadır. Ayrıca fiyatı etkileyen diğer değişkenlerin modellere eklenmesi ile transfer fonksiyonu, dışsal değişkenli otoregresif hareketli ortalama (ARMAX) modelleri gibi modeller de stokastik zaman serisi modelleri içinde yer almaktadır (Aggarwal, Saini ve Kumar, 2009, s.14).

Literatürde elektrik fiyatlarının tahmini ile ilgili çalışmalar, farklı ekonometrik tahmin yöntemlerini performansları bakımından karekök ortalama hata (Root Mean Square Error, RMSE), ortalama mutlak hata (Mean Absolute Error, MAE), ortalama mutlak yüzde hata (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) ve Theil's eşitsizlik katsayısı (Theil's inequality coefficient TIC), istatistiki ölçüm değerlerine göre karşılaştırılmaktadır.

MAE, MAPE, RMSE ve TIC değerleri,  $n$ : gözlem sayısı,  $y_{ai}$  = Gerçek değerler,  $y_{pi}$  = Tahmin Değerleri olmak üzere;

$$\text{Ortalama Mutlak Hata (MAE)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_{pi} - y_{ai}|,$$

$$\text{Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_{pi} - y_{ai}}{y_{ai}} \right|$$

$$\text{Karekök Ortalama Hata (RMSE)} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{pi} - y_{ai})^2}$$

$$\text{Theil's Eşitsizlik Katsayısı (TIC)} = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{pi} - y_{ai})^2}}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{pi}^2 + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{ai}^2}}$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

#### 4.1.1 Zaman Serisine Dayalı Modeller

Elektrik fiyatlarının modellenmesinde zaman serisi tahmin yöntemleri elektrik fiyatlarının geçmişteki davranışları ve çeşitli dışsal değişkenler yardımıyla elektrik fiyatlarının tahminine dayanmaktadır.

Otoregresif (AR), hareketli ortalama (MA) ve otoregresif hareketli ortalama (ARMA) süreçleri ile öngörü Box-Jenkins yöntemi olarak bilinmektedir. Bu süreçler durağan ise ARMA, durağan olmayan süreçler ise ARIMA (Otoregresif Bütünleşik Hareketli Ortalama) süreci olarak adlandırılır. ARIMA modelinde I bütünleşme derecesini ifade etmektedir (Bozkurt, 2007). Box- Jenkins (1976) bu modellerin seçimi ile ilgili kriterleri göstermiştir. Buna göre ilk aşama tanımlama (belirleme) aşaması, ikinci aşama tahmin aşaması ve üçüncü aşama ileriye dönük tahmin aşamasıdır. Belirleme aşamasında kullanılan değişkenin zaman yolu grafiği çizilmekte, otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonları incelenerek uygun ARMA yapısı belirlenmektedir. Daha sonra tahmin aşamasına geçilmektedir. Tahmin aşamasında katsayılar tahmin edilerek, katsayıların anlamlılığı, model belirleme katsayısı (R2), F-istatistiği, Akaike ve Schwarz bilgi kriterlerine göre uygun model seçilmektedir. Son olarak seçilen model ile ön raporlama (ileriye dönük tahmin) gerçekleştirilmektedir (Enders, 2003, Sevüktekin ve Nargeleçekenler, 2010).

##### 4.1.1.1 Otoregresif (AR) ve Hareketli Ortalama (MA)

Zaman serilerinde otoregresif modeller  $y_t$  gibi bir değişkenin kendi gecikmeli değerleri ve hata teriminden oluşmaktadır. Hata terimi rassaldır, sıfır ortalama ve sabit varyanslıdır. p'inci dereceden bir otoregresif süreç aşağıda denklem (4.1)'deki biçimde gösterilmektedir.

$$y_t = \alpha + \sum_{i=1}^p \beta_i y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (4.1)$$

Denklem (4.1)'de  $y_t$  değişkeni kendi gecikmeli değerleri ve hata terimiyle ilişkili olarak ifade edilmiştir. AR(p) sürecinde p'nin yani gecikme sayısının ne olacağının belirlenmesinde değişkene ilişkin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonlarının görünümünden ve Akaike ve Schwarz bilgi kriterlerinden yararlanılmaktadır (Bozkurt, 2007). Otokorelasyon fonksiyonu örneklem ortak varyansının örneklem varyansına oranlanmasıyla hesaplanır. Kısmi otokorelasyon



katsayısı ise bir otoregresif modelde k'inci otoregresif katsayısı, diğer tüm açıklayıcı değişkenlerin etkisi aynıken, k'inci açıklayıcı değişkende meydana gelen bir birimlik değişmeye karşılık bağımlı değişkenin ortalama değerindeki değişmeyi göstermektedir. Yani kısmi otokorelasyon birbirinden k dönem uzaktaki gözlemler arasındaki ilişkiyi k'dan küçük gecikmelerdeki ilişkiyi sabit tutarak ölçmektedir (Gujarati ve Porter, 2012).

Hareketli ortalama modelleri ise  $y_t$  gibi bir değişkenin rassal yürüyüş sürecine sahip hata terimleri ile ilişkilendirilmesidir. q'uncu dereceden bir hareketli ortalama süreci aşağıda denklem (4.2)'de gösterilmektedir.

$$y_t = \mu + \sum_{i=1}^p \beta_i \varepsilon_{t-i} \quad (4.2)$$

Hareketli ortalama sürecinin derecesi otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonlarına bakılarak kısmi otokorelasyon fonksiyonundaki geometrik azalmalar ve otokorelasyon fonksiyonundaki anlamlı çıkışlar izlenerek belirlenir.

#### 4.1.1.2 Otoregresif Hareketli Ortalama (ARMA)

Zaman serileri yalnızca otoregresif ya da yalnızca hareketli ortalama bileşenleri içerebileceği gibi her ikisinin bir arada gözlenebildiği durumlar ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle birçok durağan süreç yalnızca otoregresif ya da yalnızca hareketli ortalama modelleri ile açıklanamayabilir. Bu gibi durumlarda zaman serisi modeli p'inci dereceden AR(p) otoregresif ve q'uncu dereceden MA(q) bileşenleri ile p ve q'uncu dereceden ARMA(p,q) biçiminde ifade edilebilir. p ve q'uncu dereceden bir otoregresif hareketli ortalama modeli denklem (4.3)'te gösterilmektedir.

$$y_t = \alpha + \sum_{i=1}^p \beta_i y_{t-i} + \sum_{i=1}^q \beta_i \varepsilon_{t-i} + \varepsilon_t \quad (4.3)$$

Denklem (3.3)'te gösterilen  $y_t$  değişkenine ilişkin otoregresif hareketli ortalama modelinin derecesine (p ve q) otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonlarının korelogramlarına bakılarak karar verilmektedir. Korelogramda yer alan anlamlı p ve q'lar belirlenerek tahmin aşamasına geçilmektedir. Tahmin edilen

ARMA(p,q) modeli için hata terimlerinin normalliği, sabit varyanslılığı ve doğrusal bağımsızlığı önem taşımaktadır.

#### 4.1.1.3 Mevsimsel Otoregresif Hareketli Ortalama (SARMA)

ARMA modelleri (Box-Jenkins) yöntemi ile mevsimsel özellik taşıyan zaman serileri de modellenebilmektedir. ARMA modeli ile mevsimsel verileri modelleme mevsimsel olmayan verileri modellemeden farkı yoktur. Bir çok iktisadi değişken mevsimsel özellikler taşımakta ve bu özellikleri ARMA modeline dahil edilebilmektedir (Enders, 2003).

Box, Jenkins ve Reinsel 1994'e göre standart ARMA modeli tek bir mevsimsellik için yazılabileceği gibi çoklu mevsimsel dalgalanmalar içinde yazılabilmektedir. Yani ARMA modeli hem gün içinde hem de hafta içindeki mevsimsel dalgalanmaları içerecek şekilde yazılabilir (Taylor, 2010). Buna göre birden fazla mevsimsellik barındıran ARMA modeli denklem 3.4'teki şekilde ifade edilebilir.

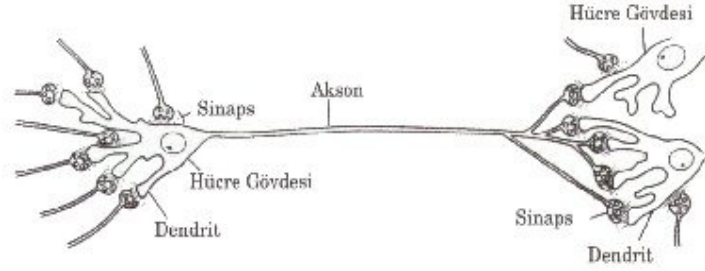
$$\phi_p(L) \phi_{P_1}(L^{S_1}) \Omega_{P_2}(L^{S_2})(y_t - a - bt) = \theta_q(L) \Theta_{Q_1}(L^{S_1}) \psi_{Q_2}(L^{S_2}) \varepsilon_t \quad (4.4)$$

Denklem 4.4'te ifade edilen ARMA modeli tek mevsimsel bileşen içeren modelden farklı olarak  $P_1$  ve  $Q_1$  derecesinden polinom fonksiyonlar olan  $\phi_{P_1}$  ve  $\Theta_{Q_1}$  terimleridir. Bu ilave polinom fonksiyonlar ARMA modelleriyle gün içi dalgalanmaları modellemeye imkân tanımaktadır.

#### 4.1.2 Yapay Sinir Ağları

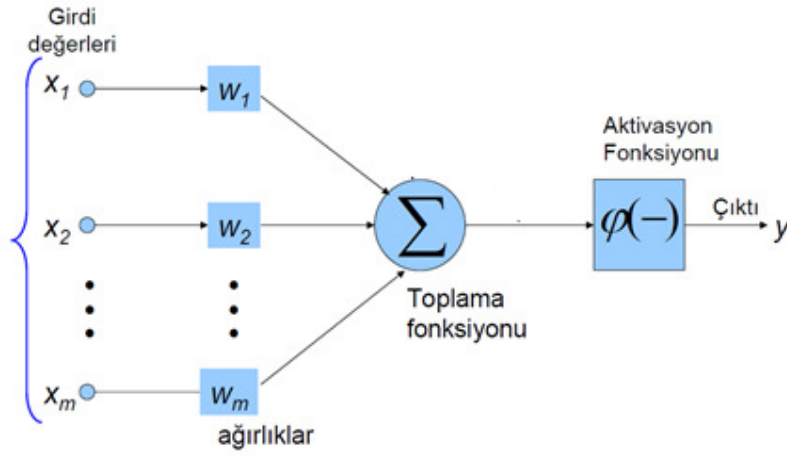
Yapay sinir ağları biyolojik sinir sistemlerinin çalışmasına benzer yapıda bir sistemin bilgisayar ortamında oluşturulması olarak ifade edilebilir. Bir başka tanımla yapay sinir ağları insan beyninin öğrenme işlevinin bilgisayar yoluyla gerçekleştirilen şeklidir (Öztemel, 2012). Biyolojik bir sinir hücresi çekirdek gövde akson ve dentrit olmak üzere iki uzantıdan oluşmaktadır. Dentritler kısa, akson ise uzun olan uzantıdır. Dentritler çok sayıda dala ayrılmıştır ve görevleri sinir hücresine giriş bilgilerini aktarmaktır. Aksonlar ise çıkış bilgilerini diğer sinir hücrelerine taşımaktadır. Akson ve dentritler sinaps adı verilen noktada birleşmektedirler.

**Şekil 4.2 Sinir Hücresinin Yapısı**



Yapay sinir ağları da sinir hücresine benzer özellikler taşıyan bir yapıdır. Yapay sinir hücresinde girdiler belirli ağırlıklarla çarpılarak birleştirme fonksiyonu ile birleştirildikten sonra nöronun net girdisi elde edilir. Net girdi aktivasyon fonksiyonu aracılığıyla net çıktıyı belirler.

**Şekil 4.3 Yapay Sinir Hücresi**



Yapay sinir ağları birbirlerine bağlı yapay sinir hücrelerinden (Proses elemanları) oluşur. Yapay sinir hücrelerinin her bağlantıda bir ağırlık değeri vardır ve ağırlık değeriyle bilgi ağırlık değerleriyle ağa yayılmaktadır (Öztemel, 2012).

#### **4.1.2.1 Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri, Sınıflandırılması ve Uygulama Alanları**

Yapay sinir ağları katman sayılarına, yapılarına, öğrenme algoritmalarına ve nöronlar arasındaki bağlantı yapılarına göre sınıflandırılabilir. Yapay sinir ağları katman sayılarına göre tek katmanlı ve çok katmanlı, yapılarına göre otoasosyatif ve heteroasosyatif, öğrenme yöntemine göre öğretmenli, öğretmensiz ve destekleyici, nöronlar arası bağlantı yapılarına göre ileri beslemeli ve geri beslemeli olarak sınıflandırılırlar (Hamzaçebi, 2011).

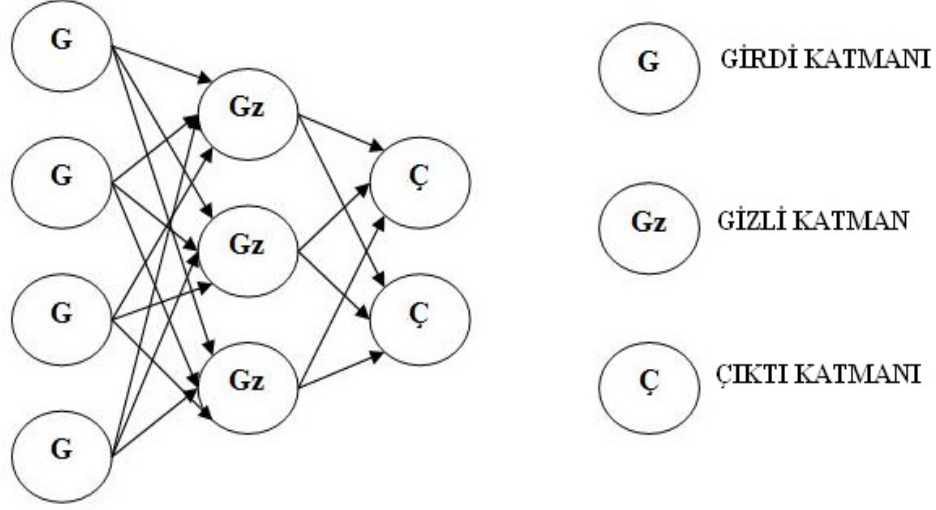
Yapay sinir ağları doğrusal olmayan yapıları modelleyebilme, öğrenme ve genelleme yapabilme ve farklı problemlere uygulanabilme gibi özelliklere sahip olduğundan fen bilimleri, matematik, işletme, finans, tıp, istatistik vb. alanlarda uygulamada tercih edilmektedir. Yapay sinir ağları sınıflandırma, kümeleme, tahmin ve optimizasyon problemlerinde kullanılabilir. (Mehrotra, Mohan ve Ranka, 1996, 25-34, Hamzaçebi, 2011).

Yapay sinir ağlarının bilinen hesaplama yöntemlerinden farklı olarak buldukları ortama uyum sağlama, eksik bilgi ile çalışabilme, belirsizlik altında karar verebilme, hata toleransına sahip olma gibi özellikleri vardır. Avantaj olarak nitelendirilebilecek bu özelliklerin yanı sıra uygun ağ yapısının belirlenmesinde belirli bir kural olmaması, öğrenme katsayısı, yapay sinir hücresi sayılarının belirlenmesinde bir kural olmaması yapay sinir ağlarının dezavantaj sayılabilecek yönleridir. Ancak yapay sinir ağları bir takım dezavantajlar taşımasına karşılık günümüzde farklı bilim dallarında bir çok problem için çözüm üretmektedir. Bir problemin yapay sinir ağları ile başarılı çözümlere ulaşması için çözülecek problem ve yapay sinir ağları hakkında gerekli bilgiye sahip olmanın yanı sıra titiz bir çalışma yürütmek gerekmektedir. Doğru tanımlanmış bir problem ve uygun tasarlanmış bir ağ yapısıyla problemlere çözüm üretilebilmekte aksi halde sonuçlar başarısız olmaktadır (Öztemel, 2012).

#### **41.2.2 Çok Katmanlı Algılayıcı**

Çok katmanlı algılayıcı verileri alan nöronların bulunduğu girdi sonuçları dışarı aktaran çıktı ve bunların arasında yer alan gizli katman ya da katmanlardan oluşmaktadır.

**Şekil 4.4 Çok Katmanlı Algılayıcı**



Girdi katmanı dışarıdan gelen bilgileri alarak gizli katmana göndermektedir. Girdi katmanındaki her bir proses elemanı (yapay sinir hücresi), gizli katmandaki proses elemanlarının tümüne bağlıdır. Gizli katman (ara katman) girdi katmanından gelen bilgileri işleyerek bir sonraki katmana göndermektedir. Çok katmanlı algılayıcı da birden fazla gizli katman ve her katmanda birden fazla proses elemanı bulunabilmektedir. Gizli katmandaki tüm proses elemanları bir sonraki katmanda yer alan tüm proses elemanlarına bağlıdır. Çıktı katmanı gizli katmandan gelen bilgileri işleyerek girdi katmanından verilen girdilere karşılık gelen ağ çıktılarını dışarıya ulaştıran katmandır. Çıktı katmanında da birden fazla proses elemanı bulunabilmekte ve kendinden önceki tüm proses elemanlarına bağlantısı bulunmaktadır (Öztemel, 2012).

Çok katmanlı algılayıcı yapay sinir hücreleri ve katmanlar, birleştirme fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu, hata fonksiyonu ve öğrenme algoritması bileşenlerine sahiptir. Yapay sinir ağlarında girdi değerleri bağlantı ağırlıkları ile çarpılır ve birleştirme fonksiyonu ile birleştirilerek ağın net girdisi ortaya çıkar. Net girdi, aktivasyon fonksiyonunda işlem gördükten sonra ağın net çıktısı elde edilmiş olur (Hamzaçebi, 2011).

Yapay sinir ağlarında birleştirme fonksiyonu olarak genellikle toplama fonksiyonu kullanılmaktadır. Toplama fonksiyonu ;

$netgirdi_j = \sum_i w_{ij} x_i$  , şeklinde ifade edilmektedir. Burada

$x_i = i$  nöronunun çıktısı

$w_{ij} = i$  ve  $j$  nöronları arasındaki bağlantı ağırlığı

$netgirdi_j = j$  nöronunun net girdisi'dir.

Çok katmanlı algılayıcıların tahmin amaçlı kullanımında aktivasyon fonksiyonu olarak genellikle sigmoid, hiperbolik tanjant ve doğrusal fonksiyon kullanılmaktadır.

Sigmoid fonksiyonu sürekli, türevi alınabilen fonksiyondur. Yapay sinir ağı uygulamalarında geri yayılım tekniği ile eğitilen ağlarda avantaj sağlayan bir fonksiyondur. Bu fonksiyon girdi değerlerinin her biri için [0,1] arasında bir değer üretir. Sigmoid fonksiyonunun matematiksel ifadesi;

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \text{ şeklindedir.}$$

Hiperbolik tanjant fonksiyonu çıktı değerleri [-1,1] arasında değişen bir fonksiyondur. Matematiksel ifadesi:

$$f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \text{ şeklindedir.}$$

Tahmin problemlerinde kullanılan aktivasyon fonksiyonlarının çıktı değerlerine göre veri kümesinin dönüştürülmesi gerekmektedir. bu işlem normalizasyon işlemi olarak ifade edilir. Veri normalleştirme işlemlerinde aşağıdaki yollar izlenmektedir;

[0,1] aralığında doğrusal dönüşüm :

$$x_n = \frac{x_0 - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

[a,b] aralığında doğrusal dönüşüm:

$$x_n = (b - a) \frac{x_0 - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} + a$$

Basit normalizasyon:

$$x_n = \frac{x_0}{x_{\max}}$$

İstatistiksel normalizasyon:

$$x_n = \frac{x_0 - \bar{x}}{s}$$

Burada  $x_n$ , normalleştirilmiş veriyi,  $x_0$ , orijinal veriyi,  $x_{\min}$ , veri kümesindeki minimum değeri,  $x_{\max}$  veri kümesindeki maksimum değeri,  $\bar{x}$ , ortalamayı ve  $s$ , standart sapmayı ifade etmektedir.

Çok katmanlı algılayıcı ile problem çözümünde verilerin toplanması, ağ yapısının belirlenmesi (girdi, gizli katman, proses elemanı ve çıktı sayıları), öğrenme parametrelerinin belirlenmesi (birleştirme ve aktivasyon fonksiyonunun belirlenmesi), başlangıç ağırlıklarının belirlenmesi, girdilerin ağa gösterilmesi, çıktı değerlerinin beklenen çıktı ile karşılaştırılması, hatanın hesaplanması şeklinde bir süreç izlenir. Hatalar istenilen düzeye ulaşınca yani ağın öğrenmesi tamamlanınca kadar yukarıdaki süreç devam eder (Öztemel, 2012).

#### 4.1.3 Elektrik Fiyatlarının Özellikleri

Elektrik günümüz şartlarında dünya genelinde alınan, satılan ve çeşitli piyasalarda ticareti yapılan bir mal konumuna gelmiştir. Elektrik bir mal olarak depolanamaması yani üretildiği anda tüketilmesi gerekliliği nedeniyle diğer mallardan ayrılmaktadır. Depolanamama özelliğinden dolayı elektrik fiyatları mevsimsellik, ortalamaya dönme eğilimi, volatilité, ani fiyat artışları gibi özellikler sergilemektedir. Sıcaklık, yağış, su rezervlerindeki değişimler gibi hava koşullarındaki değişimler ve nihai kullanıcının talebinin değişkenlik göstermesi elektrik fiyat davranışlarının değişmesinde önemli bir rol oynar (Girish ve Vijayalakshmi, 2013, s.70, Escibano, Pena ve Villaplana, 2011).

**Şekil 4.5 Rekabetçi Elektrik Piyasalarında Fiyatları Etkileyen Faktörler**



**Kaynak: Girish ve Vijayalakshmi,2013,s.71**

Girish ve Vijayalakshmi (2013) çalışmasında elektrik fiyatlarını etkileyen faktörleri Şekil 4.5’deki biçimde sınıflandırmışlardır. Elektrik fiyatları üretimde kullanılan girdi fiyatlarına, üretimden nihai kullanıcıya kadar devam eden süreçte elektrik piyasasında ortaya çıkabilecek operasyonel faktörlere, piyasa katılımcıları arasındaki ilişkiden ve talepten etkilenmektedir. Bu faktörlerin elektrik fiyatları üzerindeki etkisi elektrik piyasasının yapılanmasına, ekonominin kaynak yapısına, coğrafi özelliklerine ve iklim koşullarına, teknoloji düzeyine göre farklılık göstermektedir.

#### **4.1.4 Elektrik Piyasasında Fiyat Tahmini ile İlgili Çalışmalar**

Literatürde elektrik piyasalarında fiyat tahminine yönelik çalışmalar elektrik piyasasında serbestleşme süreci sonra ortaya çıkan rekabetçi piyasa yapılarıyla birlikte ilgi konusu olmuştur. Elektrik piyasalarında fiyat tahmini ile ilgili doğrusal zaman serisi (ARMA, ARIMA, ARMAX ve ARIMAX) modelleri, doğrusal olmayan zaman serisi modelleri, yapay sinir ağı modelleri ve bu modellerin dalgacık dönüşümlü türleri farklı ülke piyasaları için uygulama alanı bulmaktadır. Farklı yöntemlerle fiyat tahmini yapan çalışmaların ortak özelliklerinden bazıları, çalışılan piyasaya ve döneme bağlı olarak tahmin performansını kıyaslayabilmek, düşük tahmin hatası veren modelleri belirleyebilmek, farklı modellerin farklı piyasalarda benzer sonuçlar verip vermediğini tespit etmek, aynı yöntemin çeşitli elektrik piyasalarında neden farklı sonuçlar üretebildiğini açıklamak şeklinde sıralanabilir.



Elektrik piyasalarında fiyat tahmini ve performansı üzerine yapılan çalışmalar taşıdıkları bu ortak özelliklerin yanı sıra piyasa katılımcıları, reform sürecini yürüten politika yapıcılar, reform sürecinde rol alan kurumlar ve elektrik piyasasında yatırım yapmayı düşünen iktisadi aktörler için fiyatları etkileyen faktörlerin belirlenmesi ve fiyatların izleyeceği seyir açısından bilgi üretmektedir. Literatürde yapılan fiyat tahminin gerekçesi olarak piyasa katılımcılarının fiyat tekliflerini oluştururken karlılıklarını arttırmaları ve daha kolay risk yönetimi yapabilmeleri olguları tahmin çalışmalarına yön vermektedir. Bu nedenle literatürde bir veya birden daha fazla yöntem ile bir veya birden daha fazla elektrik piyasasında fiyat tahmini konu alan günlük, haftalık, aylık, farklı mevsimlerin günleri, haftaları ve aylarına yönelik tahminler içeren çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmada Türkiye Elektrik Piyasasında çok katmanlı algılayıcı ve mevsimsel ARMA modelleri ile fiyat tahmini yapıldığından literatürde yer alan benzer nitelikteki çalışmalarda kullanılan yöntem, çalışılan piyasa, kullanılan verilerin özellikleri, tahmin dönemi ve tahmin performansı ayrıntılarına değinilmiştir.

Literatürde doğrusal zaman serisi ve doğrusal olmayan zaman serisi modellerinin bir veya bir kaçını kullanan çalışmalardan bazıları Cuaresma, Hlouskova, Kossmeier ve Obersteiner (2004), Liu ve Shi (2013), Diongue, Guegan ve Vignal (2009), Carpio, Go ve Roncal (2012), Bowden ve Payne (2008), Hickey, Loomis ve Mohammadi (2012), Contreas, Espinola, Nogales ve Conejo (2003), Nogales, Contreas, Conejo ve Espinola (2002), Zhou, Yan, Ni ve Li (2004) ve Weron ve Misiorek (2005) çalışmalarıdır.

Cuaresma, Hlouskova, Kossmeier ve Obersteiner (2004) çalışmasında Alman Leipzig Power Exchange elektrik piyasasında spot elektrik fiyatları tahmini için tek değişkenli zaman serisi modellerinin performanslarını karşılaştırmışlardır. Çalışmada 16 Haziran 2000- 15 Ocak 2001 zaman aralığında 11688 gözlemden oluşan saatlik elektrik spot fiyatı (Euro/MWh) verileri kullanılmıştır. Veriler tahmin performansını ölçmek için ikiye ayrılmıştır. Örneklem dönemi 16 Haziran 2000 saat 01:00 – 31 Ağustos 2001 saat 24:00 arasında 10607 gözlemden, örneklem dönemi dışı 1 Eylül 2001 01:00- 15 Ekim 2001 24:00 arasında 1080 gözlemden oluşmaktadır. Model performanslarının karşılaştırılmasında Root Mean Square Error (RMSE) ve Mean Absolute Error (MAE) değerleri kullanılmıştır. Çalışmada otoregresif, logaritmik data ile otoregresif, otoregresif hareketli ortalama modelleri ile tahminler yapılmış ve bu modeller tahmin performanslarına göre karşılaştırılmıştır.

Liu ve Shi (2013) elektrik fiyatlarının ortalama ve volatilitelerini modellemek üzere 10 farklı ARMA-GARCH yaklaşımı kullanmışlardır. Çalışmada New England elektrik piyasasına ilişkin Ocak 2008 ile Şubat 2010 dönemini kapsayan 18960 gözlemden oluşan saatlik spot elektrik fiyatı verileri kullanılmıştır. Çalışmada 10 farklı tahmin (ARMA-SGARCH, ARMAQGARCH, ARMA-GJRGARCH, ARMA-EGARCH, ARMA-NGARCH, ARMA-SGARCH-M, ARMA-QGARCH-M, ARMA-GJRGARCH-M, ARMA-EGARCH-M, ARMA-NGARCH-M) yapılmış ve tahminler karekök ortalama hata (RMSE), ortalama mutlak hata (MAE), ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) ve Theil's eşitsizlik katsayısı Theil's inequality coefficient (TIC), kriterlerine göre performansları bakımından karşılaştırılmıştır. Hata kriterleri bakımından 5 ARMA-GARCH modeli içerisinde ARMA-SGARCH modeli 14,6838 ortalama mutlak yüzde hata ve 0.1172 Theil's eşitsizlik katsayısı değerleri ile diğer dört ARMA-GARCH modelinden daha yüksek performans göstermiştir. Ortalama karekök hata (RMSE) ve ortalama mutlak hata (MAE) değerlerine göre ise ARMA-GJRGARCH modeli en düşük hata değerini almıştır. Bu nedenle 5 farklı ARMA-GARCH modeli içerisinde ARMA-GJRGARCH ile ARMA-SGARCH modelleri daha iyi performansa sahip modeller olarak tespit edilmiştir. ARMA-GARCH-M modelleri içinde ise performans kriterlerine göre en başarılı iki model ARMA-SGARCH-M ve ARMA-GJRGARCH-M modelleri olmuştur.

Diongue, Guegan ve Vignal (2009), Alman elektrik piyasasında 15 Ağustos 2000 – 31 Aralık 2002 dönemi için saatlik verilerle SARIMA-GARCH, 1-Factor GIGARCH ve 3FACTOR GIGARCH modellerinin spot fiyat tahminindeki performanslarını karşılaştırmışlardır. Model performanslarının karşılaştırılmasında karekök ortalama hata (RMSE) hesaplamaları kullanılmıştır. Karekök ortalama hata kriterine göre 3-factor GIGARCH modelinin fiyat tahmin performansı bakımından daha yüksek tahmin performansı sağladığı tespit edilmiştir.

Carpio, Go ve Roncal (2012) Singapur elektrik piyasası için Otoresif Bütünleşik Hareketli Ortalama (ARIMA) ve wavelet ARIMA modelleri ile yarım saatlik verilerle Mayıs ve Haziran 2005 için fiyat tahmini yaparak her iki tahmini performansları bakımından karşılaştırmışlardır. Model performanslarının karşılaştırılmasında ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) ve karekök ortalama hata değerleri (RMSE) kullanılmıştır. MAPE ve RMSE değerlerine göre mayıs ayı fiyat tahmininde ARIMA modeli daha yüksek performans gösterirken Haziran ayı için wavelet ARIMA nodeli daha yüksek performans göstermiştir.

Bowden ve Payne (2008), ABD'nin Midwest eyaletleri bağımsız sistem operatörüne bağlı 5 farklı merkez (Cinergy, First Energy, Illionis, Michigan, Minnesota) için 9 Temmuz 2007- 6 Ağustos 2007 döneminde saatlik veriler kullanarak ARIMA, ARIMA-EGARCH ve ARIMA-EGARCH-M modelleri ile fiyat tahminleri yaptıkları çalışmada beş farklı merkez için karekök ortalama hata (RMSE), ortalama mutlak hata (MAE), ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) ve Theil's eşitsizlik katsayısı (Theil's inequality coefficient (TIC)), kriterlerine göre tahmin ettikleri modelleri karşılaştırmışlardır. Elde edilen bulgulara göre Cinergy, First Energy, Illionis ve Minnesota merkezleri için ARIMA-EGARCH-M modeli, Michigan merkezi için ARIMA modeli daha yüksek tahmin performansına sahiptir.

Hickey, Loomis ve Mohammadi (2012), ABD'nin Midwest eyaletleri bağımsız sistem operatörüne bağlı 5 farklı merkez (Cinergy, First Energy, Illionis, Michigan, Minnesota) için 1 Haziran 2006-6 Ekim 2007 döneminde saatlik verilerle GARCH, EGARCH, APARCH ve CGARCH modelleri tahmini yapmışlardır. Tahmin performansları bakımından ortalama mutlak hat (MAE) ve ortalama karekök hata (RMSE) kriterlerine göre Cinergy, First Energy, Illionis ve Michigan merkezlerinde APARCH modeli daha yüksek performans gösterirken Minnesota merkezinde GARCH modeli daha yüksek performans göstermiştir. Çalışmada elektrik fiyatlarının volatilitésinin tahmin edilen merkezin konumuna, tahmin döneminin uzunluğuna ve piyasasının regülasyona tabi olup olmamasına bağlı olduğu, deregülasyonun var olduğu merkezlerde APARCH tahminlerinin, regülasyona tabi olan merkezlerde ise GARCH modelinin daha iyi tahmin sonuçları verdiği bulgusuna ulaşılmıştır.

Contreas, Espinola, Nogales ve Conejo (2003), İspanya ve Kaliforniya Elektrik piyasalarında saatlik elektrik fiyatlarının öngörüsü için ARIMA modellerini kullandıkları çalışmada İspanya elektrik piyasasında 2000 yılı Mayıs ve Ağustos aylarının son haftası, Kasım ayının üçüncü haftası için, Kaliforniya elektrik piyasasında Nisan ayının ilk haftası için saatlik fiyat öngörüsü gerçekleştirmişlerdir. İspanya Elektrik Piyasası için ortalama hata %10 düzeyinde, Kaliforniya elektrik piyasası için ise ortalama hata %5 düzeyinde gerçekleşmiştir.

Nogales, Contreas, Conejo ve Espinola (2002) İspanya elektrik piyasasında 2000 yılı Ağustos ve Kasım aylarının üçüncü haftası ve Kaliforniya elektrik piyasasında Nisan ayının ilk haftası saatlik verilerle dinamik regresyon ve aktivasyon fonksiyonu yöntemlerini kullanarak elektrik fiyatı öngörüsü gerçekleştirmişlerdir.

İspanya elektrik piyasasında fiyat tahmini için haftalık ortalama hata %5 düzeyinde, Kaliforniya elektrik piyasası için haftalık ortalama hata %3 düzeyinde gerçekleşmiştir. İspanya elektrik piyasasında tahmin hatasının yüksek çıkması İspanya piyasasında fiyatların daha yüksek volatiliteye sahip olmasından kaynaklanmıştır.

Zhou, Yan, Ni ve Li (2004) Kaliforniya elektrik piyasasında ARIMA modelleri ile günlük veriler kullanarak iki farklı dönem için fiyat tahmini gerçekleştirmişlerdir. Fiyat tahmini için seçilen ilk dönem 1 Ocak 1999 – 19 Şubat 1999 dönemidir ve bu verilerle 10 gün sonrası için tahmin yapılmıştır. Seçilen ikinci dönem ise 1 Ekim 2000 – 19 Kasım 2000 dönemidir ve yine bu veriler 10 gün sonrası için tahmin yapılmıştır. Seçilen ikinci dönem Kaliforniya elektrik piyasası için kriz yaşanan dönemdir. İlk dönem için ortalama karesel hata 3.42 iken ikinci dönemde ortalama karesel hata 580.42'ye yükselmiştir.

Elektrik piyasasında fiyat tahminine yönelik yapay sinir ağı modelleri elektrik fiyatlarının modellenmesinde kendi geçmiş değerleri dışında, elektrik yükü, hava sıcaklığı, gün tipi, sistem güç rezervi ve talep gibi ilave değişkenleri de girdi değişkeni olarak kullanmaktadır. Ayrıca literatürde yapay sinir ağlarının çeşitli ağ yapılarını kullanan örnekleri otoregresif hareketli ortalama, mevsimsel otoregresif hareketli ortalama, dışsal değişken içeren otoregresif hareketli ortalama gibi doğrusal zaman serisi modellerine kıyasla daha başarılı tahmin performansı sergilemektedir. Ancak yapay sinir ağları öğrenen süreçler olmakla birlikte tasarımı oldukça uzun çalışma süreleri gerektirmektedir. Yapay sinir ağlarının performansı girdi değişkenlerinin belirlenmesine, aktivasyon fonksiyonu ve öğrenme algoritmasının seçimine ve ağ mimarisine oldukça duyarlıdır.

Elektrik fiyatlarını farklı ülke piyasaları için çeşitli girdi değişkenleri kullanarak yapay sinir ağları ile modelleyen çalışmalardan bazıları; Wang ve Ramsay (1997), Szkuta, Sanabria ve Dillon (1998), Pindoriya, Singh ve Singh (2008), Vahidinasab, Jadid ve Kazemi (2008), Ranjbar, Soleymani, Sadati ve Ranjbar (2006), Georgilakis (2007), Mandal, Senjyu, Urasaki, Funabashi ve Srivastava (2007), Zhang ve Cheng (2008), Pao (2007), Catalao, Mariano, Mendes ve Ferreira (2007), Özgüner (2012) ve Kölmek (2012) çalışmalarıdır.

Wang ve Ramsay (1997) Birleşik Krallık Havuz piyasası için çok katmanlı ileri beslemeli geri yayılım algoritmali yapay sinir ağları ile tahmin ettikleri çalışmada 12 girdi nöronundan oluşan farklı topolojilere sahip ağlarla sistem marjinal

fiyatını tahmin etmişlerdir. Girdi değişkenleri olarak tahmini yük, gün tipi, sistem marjinal fiyatı geçmiş değerleri kullanılarak 17 Nisan 1995- 2 Temmuz 1995 dönemi eğitim kümesi, 17 Temmuz 1995- 13 Ağustos 1995 test kümesini oluşturacak şekilde tahminler gerçekleştirilmiştir. Bir ve iki gizli katman ve farklı proses elemanı sayılarına sahip ağ yapılarıyla sistem marjinal fiyatı tahminleri ve tahminlere ilişkin ortalama mutlak yüzde hataları hesaplanmıştır. Çalışmada birinci gizli katmanda 8 proses elemanı, ikinci gizli katmanda 5 proses elemanı bulunan ağ yapısıyla en düşük %12.87 ortalama mutlak yüzde hata değeri elde edilmiştir.

Szkuta, Sanabria ve Dillon (1998), çalışmasında Avustralya Viktorya Güç sisteminde 23 ekim 1996- 13 mayıs 1997 dönemi için yarım saatlik periyotlardan oluşan sistem güç rezervi, sistem potansiyel talebi ve sistem marjinal fiyatı verilerini kullanarak 15x15x1'lik yapay sinir ağı modeliyle 14-20 Mayıs 1997 dönemine ilişkin sistem marjinal fiyatı tahmini gerçekleştirmişlerdir. Tahmin edilen haftada karekök ortalama hata 1,3 düzeyinde gerçekleşmiştir.

Pindoriya, Singh ve Singh (2008), çalışmasında Dalgacık dönüşümlü Yapay Sinir Ağı (AWNN), radyal tabanlı fonksiyon yapay sinir ağları (RBF), çok katmanlı algılayıcı (MLP) ve bulanık sinir ağı (FNN) yöntemleriyle İspanya elektrik piyasası için 2002,PJM (Pennsylvania-New Jersey-Maryland) piyasası için 2004 yılı kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar dönemleri için fiyat tahmini yapılmıştır. Ortalama mutlak yüzde hata kriterine göre İspanya elektrik piyasası için AWNN modeli %6,863 ortalama ile en düşük hata ile birinci sırada yer alırken, bu modeli %7,8, %10,6 ve %10,97 ile sırasıyla FNN, RBF ve MLP modelleri takip etmiştir. PJM (Pennsylvania-New Jersey-Maryland) piyasası içinde AWMN modelinden en iyi tahmin performansı elde edilmiştir.

Vahidinasab, Jadid ve Kazemi (2008) PJM (Pennsylvania-New Jersey-Maryland) piyasasında saatlik veri kullanarak 2002 yılı için 48 günlük periyodu eğitim takip eden 1 haftalık süreci test için kullandıkları çalışmada, yapay sinir ağları, dinamik regresyon, dalgacık dönüşümlü ARIMA, aktivasyon fonksiyonu ve ARIMA modellerini tahmin performansları bakımından karşılaştırmışlardır. Çalışmada tahminler kış, bahar, yaz ve son bahar mevsimlerindeki birer haftalık dönemlere göre karşılaştırılmıştır. Buna göre kış döneminde aktivasyon fonksiyonu, bahar döneminde yapay sinir ağları, yaz döneminde dinamik regresyon, sonbahar

döneminde ise yapay sinir ağı yöntemi daha yüksek tahmin performansı sağlamıştır.

Ranjbar, Soleymani, Sadati ve Ranjbar (2006) Kanada Ontario Eyaleti Ontario elektrik piyasası için dört katmandan oluşan çok katmanlı algılayıcı kullanılarak 01/01/2003-12/31/2003 geçmiş elektrik fiyatları ve elektrik yükü verileri 2004 yılı için fiyat tahmini gerçekleştirmiştir. Çalışmada bir girdi, iki gizli katman ve bir çıktı katmanından oluşan dört katmanlı ağ yapısı ile hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu ve Levenberg Marquardt öğrenme kuralı kullanılarak orijinal veri ve fiyat sıçramalarının olmadığı verilerle tahminler yapılmıştır. Tahmin performansları ortalama mutlak yüzde hata kriterine göre 2-9 Haziran 2004 için %12,68, 28 Temmuz-4 Ağustos 2004 için %11,36 ve 7-14 Eylül 2004 için %11,22 olarak hesaplanmıştır. Fiyat sıçramalarının elimine edildiği verilerle yapılan tahminde tahmin performansları ortalama mutlak yüzde hata kriterine göre 2-9 Haziran 2004 için %9,51, 28 Temmuz-4 Ağustos 2004 için %8,1 ve 7-14 Eylül 2004 için %7,52 şeklinde gerçekleşmiştir. Elde edilen bulgular fiyat sıçramalarının elimine edilmesinin çok katmanlı algılayıcının performansını arttırdığını göstermiştir.

Georgilakis (2007) Kaliforniya elektrik piyasasında 1999 yılı için persistence metodu ile yapay sinir ağı elektrik yükü ve fiyat tahmini için kullanarak tahmin performanslarını ortalama mutlak yüzde hata kriterine göre karşılaştırmıştır. Bir girdi katmanı, iki gizli katman ve bir çıktı katmanından oluşan yapay sinir ağında sigmoid aktivasyon fonksiyonu ve Polak-Ribiere geri yayılım algoritması kullanılmıştır. Çalışmada yapay sinir ağı ile tahmin ortalama %6 ortalama mutlak yüzde hata ile persistence metottan daha yüksek performans göstermiştir. Her iki tahmin yöntemi fiyat sıçramaları dikkate alınarak uygulandığında yapay sinir ağlarının persistence metoda göre yine daha yüksek performans sağladığı görülmüştür. Elde edilen bulgular, yapay sinir ağlarının elektrik piyasasında fiyat tahmini için etkin ve pratik bir yöntem olduğunu göstermiştir.

Mandal, Senjyu, Urasaki, Funabashi ve Srivastava (2007) PJM (Pennsylvania-New Jersey-Maryland) elektrik piyasası için 1/1/2004-3/31/2006 dönemi için saatlik yük ve fiyat verileri ile 2006 yılı Ocak, Şubat, Mart, Nisan ve Mayıs ayları için günlük ve haftalık fiyat tahmini gerçekleştirmişlerdir. Fiyat tahmininde Öklit normuna dayanan benzer günler tekniği ile yapay sinir ağı

tahmin performansları bakımından karşılaştırılmıştır. Çalışmada bir girdi katmanı, bir gizli katman ve bir çıktı katmanından oluşan çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı kullanılmıştır. Günlük ve haftalık fiyat tahminlerinde ortalama mutlak yüzde hata ve ortalama mutlak hata kriterlerine göre yapay sinir ağlarının benzer günler yaklaşımına kıyasla daha yüksek performans gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Zhang ve Cheng (2008), Nord Pool elektrik piyasası için 1/1/2006-05/31/2007 dönemi günlük veriler ile 06/01/2007-05/31/2008 dönemi için çok katmanlı algılayıcı ve otoregresif bütünlük hareketli ortalama (ARIMA) modeli ile elektrik fiyat tahmini gerçekleştirmişlerdir. Çok katmanlı algılayıcı ile tahminde 12 farklı ağ mimarisi sistem fiyatı, sistem hacmi, bölgesel fiyat ve rezerv değişkenleri ve gecikmeleri kullanılmıştır. Çalışmada çok katmanlı algılayıcı ile elde edilen tahminlerin ortalama mutlak yüzde hatası %5,85 iken ARIMA modeli tahmininin ortalama mutlak yüzde hatası %6,37 olarak hesaplanmıştır.

Pao (2007), EEX (European Energy Exchange) elektrik piyasasında Kasım 2002-Ekim 2005 dönemi için günlük veriler kullanarak bir, iki, üç ve dört hafta ve üç ay için yapay sinir ağları ve otoregresif model ile tahmin gerçekleştirmiştir. Çalışmada elektrik fiyat tahmin sonuçları karekök ortalama hata, ortalama mutlak hata ve ortalama mutlak yüzde hata kriterlerine göre karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgular her üç hata kriterine göre yapay sinir ağları ile elektrik fiyatı tahminin otoregresif modelden daha yüksek performansa sahip olduğu yönündedir.

Catalao, Mariano, Mendes ve Ferreira (2007), İspanya ve Kaliforniya elektrik piyasaları için farklı dönemlerde haftalık fiyat tahmini için çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı ve otoregresif bütünlük hareketli ortalama modellerini tahmin performansları bakımından karşılaştırmışlardır. İspanya elektrik piyasasında 2002 yılının şubat, mayıs, ağustos ve kasım aylarından seçilen birer hafta ve Kaliforniya elektrik piyasası için 2000 yılının nisan ayından seçilen bir hafta için fiyat tahmini yapılmıştır. Fiyat tahminleri ortalama mutlak yüzde hata kriterine göre karşılaştırılmış her iki piyasa için de yapay sinir ağları ile yapılan tahminler otoregresif bütünlük hareketli ortalama modeli tahminlerinden yüksek performans göstermiştir.

Özgüner (2012) Türkiye elektrik piyasası için saatlik yük, sistem gün öncesi fiyatı ve sistem marjinal fiyatı verilerini kullanarak çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı ve çoklu doğrusal regresyon metotlarını kullanarak fiyat tahmini gerçekleştirmiştir. Fiyat tahmini için farklı yapay sinir ağı modelleri oluşturulmuştur.

Çalışmada 01/01/2011-31/12/2011 dönemi verileri kullanılarak 2011 Ocak, Nisan, Temmuz ve Eylül ayları için haftalık tahminler gerçekleştirilmiştir. Yapay sinir ağları ile yapılan tahminde Ocak ayında seçilen hafta için ortalama mutlak yüzde hata %8,12, şubat ayında %12,08, Temmuz ayında %4,77 ve Eylül ayında %7,69'dur. Çoklu doğrusal regresyon modeli ile yapılan tahminde ise Ocak ayında seçilen hafta için ortalama mutlak yüzde hata %9,14, şubat ayında %12,88, Temmuz ayında %5,32 ve Eylül ayında %7,82 olarak hesaplanmıştır.

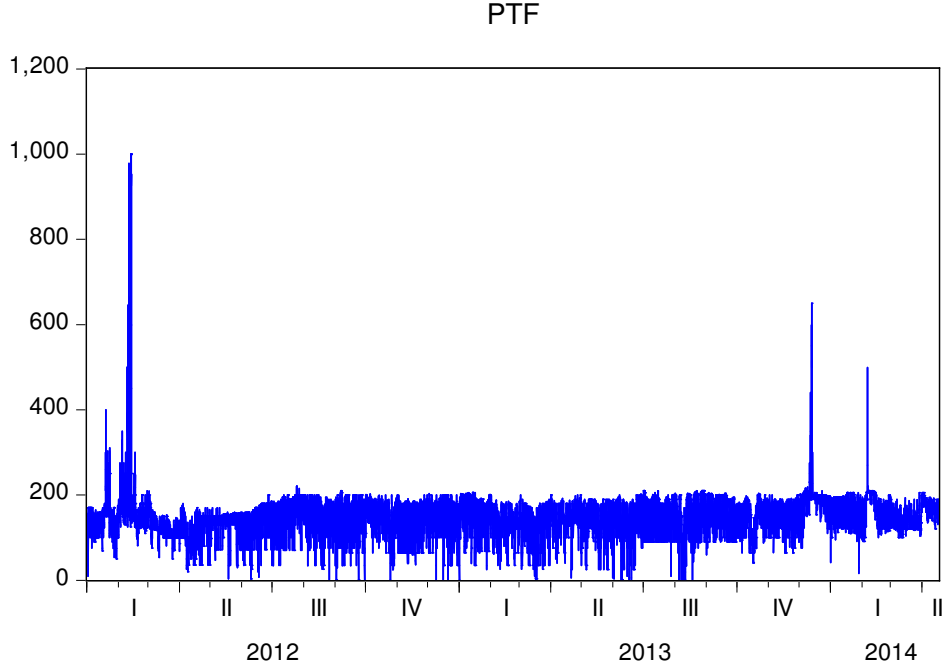
Kölmek (2012), Türkiye elektrik piyasasında 12/01/2009-12/31/2010 dönemine ilişkin 9504 saatlik veri kullanarak sistem gün öncesi fiyatını yapay sinir ağları ve otoregresif bütünleşik hareketli ortalama modeli ile tahmin etmiştir. Tahminlerde verilerin %75'i eğitim ve %25'i test için kullanılmıştır. Çalışmada ortalama mutlak yüzde hata kriterine göre yapay sinir ağı ile yapılan tahminlerin otoregresif bütünleşik hareketli ortalama modeli ile yapılan tahminlerden daha yüksek performans gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.



## 4.2 Türkiye Elektrik Piyasasında Fiyat Tahmini

Bu bölümde Türkiye Elektrik Piyasasında saatlik sistem gün öncesi fiyatları (Piyasa Takas Fiyatı PTF) ile Piyasa Takas Fiyatının uç değerlerinin kırılması<sup>3</sup> ile elde edilen kırılmış piyasa takas fiyatı için mevsimsel Otoresif Hareketli Ortalama (ARMA) modeli ve çok katmanlı algılayıcı ile fiyat tahminleri yapılmıştır<sup>4</sup>. Yapılan tahminler performansları bakımından Karekök Ortalama Hata (Root Mean Square Error), Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error), Ortalama Mutlak Yüzde Hata (Mean Absolute Percentage Error) ve Theils Eşitsizlik Katsayısı (Theils Inequality Coefficient) değerleri kullanılarak karşılaştırılmıştır.

**Grafik 4.1 Türkiye Elektrik Piyasasında Sistem Gün Öncesi Fiyatı  
(Piyasa Takas Fiyatı, PTF) (TL/MWh)**



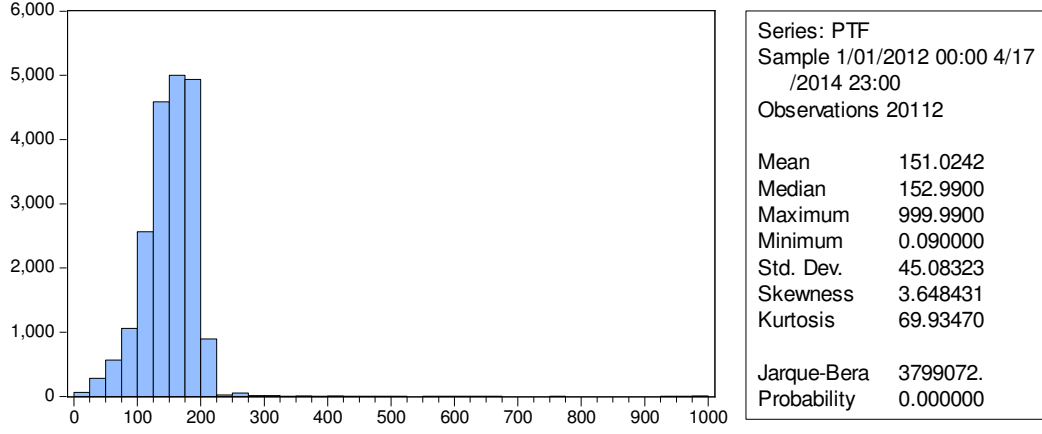
Çalışmada Türkiye Elektrik Piyasasında gün öncesi piyasada belirlenen sistem gün öncesi fiyatı (Piyasa Takas Fiyatı (PTF)) verileri kullanılmaktadır. Veriler Piyasa Mali Uzlaştırma Merkezi web sayfası ve Turkish Electricity Market Intelligence (TEMI)'den temin edilmiş olup 01.01.2012 ile 17.04.2014 tarihleri arasındaki 20.112

<sup>3</sup> Piyasa takas fiyatı tahmin performansına etkisini görmek amacıyla bir eşik değeri belirlenerek tahmin edilecek zaman serisinin aşırı uç değerleri bu eşik değerine göre düzeltilmiştir. Çalışmada piyasa takas fiyatı eşik değeri 210 TL/MWH olarak belirlenmiş ve kırılmış piyasa takas fiyatı serisinde piyasa takas fiyatının 210TL/MWH'i aştığı değerler 210 olarak kabul edilmiştir.

<sup>4</sup> Çalışmada fiyat tahminlerinde E-views8 ve Neurosolutions5 programları kullanılmıştır.

saatlik veriyi kapsamaktadır.<sup>5</sup> Çok katmanlı algılayıcı ile yapılan tahminde aynı döneme ilişkin İstanbul ili hava sıcaklığı değerleri kullanılmıştır. Elektrik fiyat tahmininde verilerin 01/01/2012 00:00 ile 01/11/2013 09:00 tarihlerini kapsayan 16080'i tahmin, 01/11/2013 10:00 ile 17/04/2014 23:00 tarihlerini kapsayan 4032'si öngörü için kullanılmıştır<sup>6</sup>. Sistem Gün Öncesi Fiyatı (Piyasa Takas Fiyatı (PTF)) serisi Grafik 4.1'de gösterilmiştir.

**Grafik 4.2 Piyasa Takas Fiyatı Tanımlayıcı İstatistikleri**



Grafik 4.2'de piyasa takas fiyatı serisinin tanımlayıcı istatistikleri gösterilmektedir. Buna göre serinin ortalaması 152.02 maksimum değeri 999.99 ve minimum değeri 0.09'dur.

<sup>5</sup> Piyasa takas fiyatı zaman serisi verisinde eksik olan saatlik veriler ilgili saatte geçmişte gerçekleşen fiyatların ortalamaları kullanılarak tamamlanmıştır.

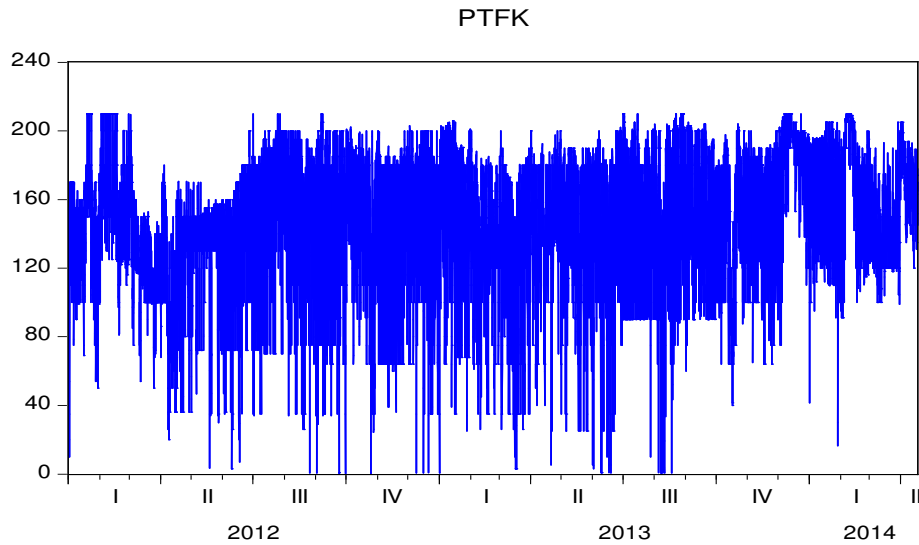
<sup>6</sup> Türkiye Elektrik Piyasasında gün öncesi 2009 yılında çalışmaya başlayan gün öncesi planlama sisteminin ardından 1 Aralık 2011 tarihinde gün öncesi piyasası sistemine geçilmiştir. Gün öncesi piyasasının devreye girmesi dikkate alınarak tahminlerde kullanılacak veri seti 2012 yılı Ocak ayından başlayarak 2014 Nisan ayını kapsayacak şekilde hazırlanmıştır.

**Tablo 4.1 Piyasa Takas Fiyatı Otokorelasyon ve Kısmi Otokorelasyon Değerleri**

|    | Autocorrelation | Partial Correlation | AC    | PAC    | Q-Stat  | Prob  |
|----|-----------------|---------------------|-------|--------|---------|-------|
| 1  |                 |                     | 0.881 | 0.881  | 15279.  | 0.000 |
| 2  |                 |                     | 0.769 | -0.031 | 26926.  | 0.000 |
| 3  |                 |                     | 0.675 | 0.017  | 35902.  | 0.000 |
| 4  |                 |                     | 0.592 | -0.003 | 42807.  | 0.000 |
| 5  |                 |                     | 0.523 | 0.015  | 48187.  | 0.000 |
| 6  |                 |                     | 0.467 | 0.026  | 52488.  | 0.000 |
| 7  |                 |                     | 0.421 | 0.014  | 55979.  | 0.000 |
| 8  |                 |                     | 0.377 | -0.009 | 58777.  | 0.000 |
| 9  |                 |                     | 0.339 | 0.007  | 61037.  | 0.000 |
| 10 |                 |                     | 0.310 | 0.026  | 62928.  | 0.000 |
| 11 |                 |                     | 0.296 | 0.057  | 64654.  | 0.000 |
| 12 |                 |                     | 0.286 | 0.020  | 66265.  | 0.000 |
| 13 |                 |                     | 0.278 | 0.019  | 67788.  | 0.000 |
| 14 |                 |                     | 0.273 | 0.022  | 69253.  | 0.000 |
| 15 |                 |                     | 0.281 | 0.076  | 70807.  | 0.000 |
| 16 |                 |                     | 0.298 | 0.068  | 72559.  | 0.000 |
| 17 |                 |                     | 0.321 | 0.063  | 74585.  | 0.000 |
| 18 |                 |                     | 0.350 | 0.077  | 76998.  | 0.000 |
| 19 |                 |                     | 0.385 | 0.086  | 79921.  | 0.000 |
| 20 |                 |                     | 0.428 | 0.110  | 83528.  | 0.000 |
| 21 |                 |                     | 0.478 | 0.128  | 88035.  | 0.000 |
| 22 |                 |                     | 0.529 | 0.109  | 93541.  | 0.000 |
| 23 |                 |                     | 0.580 | 0.131  | 100178. | 0.000 |
| 24 |                 |                     | 0.610 | 0.036  | 107507. | 0.000 |

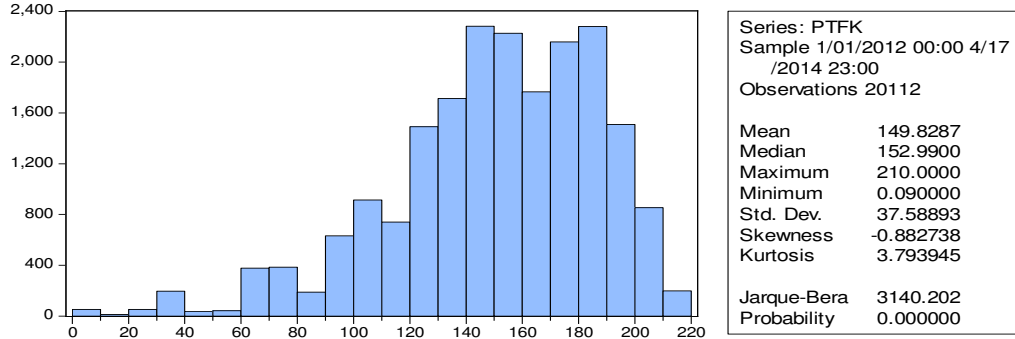
Tahmin aşamasına geçilmeden önce sistem marjinal fiyatı serisinin grafiği, otokorelasyon, kısmi otokorelasyon fonksiyonları dikkate alınarak ve tahmin edilen modellerin belirlilik katsayıları, Akaike ve Schwarz bilgi kriterleri ve katsayıların istatistiksel olarak anlamlılığına bakılarak modeller arasından seçim yapılmıştır.

**Grafik 4.3 Kırpılmış Sistem Marjinal Fiyatı  
(Kırpılmış Piyasa Takas Fiyatı PTFK) (TL/MWH)**



Grafik 4.3'te kırılmış piyasa takas fiyatı (PTFK) verilerine ilişkin grafik yer almaktadır. Kırılmış piyasa takas fiyatı maksimum değeri 210 TL/MWH'tir.

**Grafik 4.4 Kırılmış Piyasa Takas Fiyatı Tanımlayıcı İstatistikleri**



Grafik 4.4'te kırılmış piyasa takas fiyatı serisinin tanımlayıcı istatistikleri gösterilmektedir. Buna göre serinin ortalaması 149.82, maksimum değeri 210 ve minimum değeri 0.09'dur.

**Tablo 4.2 Kırılmış Piyasa Takas Fiyatı Otokorelasyon ve Kısmi Otokorelasyon Değerleri**

| Autocorrelation | Partial Correlation | AC | PAC   | Q-Stat | Prob   |       |
|-----------------|---------------------|----|-------|--------|--------|-------|
|                 |                     | 1  | 0.890 | 0.890  | 15939. | 0.000 |
|                 |                     | 2  | 0.746 | -0.225 | 27125. | 0.000 |
|                 |                     | 3  | 0.590 | -0.114 | 34136. | 0.000 |
|                 |                     | 4  | 0.440 | -0.061 | 38034. | 0.000 |
|                 |                     | 5  | 0.316 | 0.020  | 40039. | 0.000 |
|                 |                     | 6  | 0.227 | 0.055  | 41078. | 0.000 |
|                 |                     | 7  | 0.167 | 0.016  | 41641. | 0.000 |
|                 |                     | 8  | 0.136 | 0.038  | 42012. | 0.000 |
|                 |                     | 9  | 0.126 | 0.036  | 42330. | 0.000 |
|                 |                     | 10 | 0.123 | -0.009 | 42633. | 0.000 |
|                 |                     | 11 | 0.125 | 0.018  | 42946. | 0.000 |
|                 |                     | 12 | 0.121 | -0.023 | 43238. | 0.000 |
|                 |                     | 13 | 0.118 | 0.031  | 43516. | 0.000 |
|                 |                     | 14 | 0.108 | -0.015 | 43752. | 0.000 |
|                 |                     | 15 | 0.107 | 0.061  | 43984. | 0.000 |
|                 |                     | 16 | 0.112 | 0.032  | 44238. | 0.000 |
|                 |                     | 17 | 0.140 | 0.121  | 44634. | 0.000 |
|                 |                     | 18 | 0.194 | 0.134  | 45393. | 0.000 |
|                 |                     | 19 | 0.272 | 0.146  | 46886. | 0.000 |
|                 |                     | 20 | 0.380 | 0.221  | 49796. | 0.000 |
|                 |                     | 21 | 0.507 | 0.229  | 54968. | 0.000 |
|                 |                     | 22 | 0.632 | 0.215  | 63000. | 0.000 |
|                 |                     | 23 | 0.739 | 0.235  | 74007. | 0.000 |
|                 |                     | 24 | 0.798 | 0.124  | 86830. | 0.000 |

#### 4.2.1 Birim Kök Testi Sonuçları

Piyasa takas fiyatı zaman serisi, grafiği, otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonu incelendikten sonra durağanlığın test edilmesi amacıyla birim kök testine tabi tutulmuştur. Augmented Dickey Fuller test sonuçları tablo 4.3’de gösterilmektedir.

**Tablo 4.3 Piyasa Takas Fiyatı ADF Test Sonuçları**

| ADF-t İstatistiği |         |                | Mac.Kinon Kritik Değer |         |                |
|-------------------|---------|----------------|------------------------|---------|----------------|
| Değişken          | Sabitli | Sabit ve Trend | Önem Düzeyi            | Sabitli | Sabit ve Trend |
| PTF               | -7,6014 | -7,6941        | 1%                     | -3.4305 | -3.9585        |
|                   |         |                | 5%                     | -2.8615 | -3.4100        |
|                   |         |                | 10%                    | -2.5668 | -3.1267        |

Piyasa Takas Fiyatı (PTF) için sabitli, sabit ve trendli model için ADF-t istatistiği değerleri %1,%5 ve %10 önem düzeylerinde mutlak değerde Mac. Kinon kritik değerlerinin üzerinde değerler almıştır. Bu sonuçlara göre piyasa takas fiyatı serisi (PTF) birim kök içermektedir hipotezi reddedilerek serinin düzeyde durağan olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

**Tablo 4.4 Piyasa Takas Fiyatı Philips Perron Test Sonuçları**

| Philips Perron Test İstatistiği |         |                | Kritik Değerler |         |                |
|---------------------------------|---------|----------------|-----------------|---------|----------------|
| Değişken                        | Sabitli | Sabit ve Trend | Önem Düzeyi     | Sabitli | Sabit ve Trend |
| PTF                             | -46,010 | -45,939        | 1%              | -3.4305 | -3.9585        |
|                                 |         |                | 5%              | -2.8615 | -3.41          |
|                                 |         |                | 10%             | -2.5668 | -3.1267        |

Piyasa Takas Fiyatı için Philips Perron birim kök testi sonuçları tablo 4.4’de verilmiştir. Buna göre PTF için sabitli modelde test istatistiği (-46,010), sabitli ve trendli modelde test istatistiği (-45,939) değerleri %1, %5 ve %10 önem

düzeylerinde mutlak olarak kritik değerlerin üzerinde olduğundan piyasa takas fiyatı serisi düzeyde durağandır.

**Tablo 4.5 Kırılmış Piyasa Takas Fiyatı ADF Test Sonuçları**

| ADF-t İstatistiği |         |                | Mac.Kinnon Kritik Değer |         |                |
|-------------------|---------|----------------|-------------------------|---------|----------------|
| Değişken          | Sabitli | Sabit ve Trend | Önem Düzeyi             | Sabitli | Sabit ve Trend |
| PTFK              | -8,5813 | -8,8736        | 1%                      | -3.4305 | -3.9585        |
|                   |         |                | 5%                      | -2.8615 | -3.41          |
|                   |         |                | 10%                     | -2.5668 | -3.1267        |

Kırılmış Piyasa Takas Fiyatı (PTFK) için sabitli, sabit ve trendli model için ADF-t istatistiği değerleri %1,%5 ve %10 önem düzeylerinde mutlak değerde Mac. Kinnon kritik değerlerinin üzerinde değerler almıştır. Bu sonuçlara göre kırılmış piyasa takas fiyatı serisi (PTFK) birim kök içermektedir hipotezi reddedilerek serinin düzeyde durağan olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

**Tablo 4.6 Kırılmış Piyasa Takas Fiyatı Philips Perron Test Sonuçları**

| Philips Perron Test İstatistiği |         |                | Kritik Değerler |         |                |
|---------------------------------|---------|----------------|-----------------|---------|----------------|
| Değişken                        | Sabitli | Sabit ve Trend | Önem Düzeyi     | Sabitli | Sabit ve Trend |
| PTFK                            | -48,401 | -48,374        | 1%              | -3.4305 | -3.9585        |
|                                 |         |                | 5%              | -2.8615 | -3.41          |
|                                 |         |                | 10%             | -2.5668 | -3.1267        |

Kırılmış Piyasa Takas Fiyatı için Philips Perron birim kök testi sonuçları tablo 4.6'da verilmiştir. Buna göre PTFK için sabitli modelde (-48,401), sabitli ve trendli modelde (-48,374) değerleri %1, %5 ve %10 önem düzeylerinde mutlak olarak kritik değerlerin üzerinde olduğundan kırılmış piyasa takas fiyatı serisi düzeyde durağandır.

## **4.2.2 Türkiye Elektrik Piyasasında Piyasa Takas Fiyatının Mevsimsel ARMA Modeli ile Tahmini**

Piyasa takas fiyatı için otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonlarına bakıldığında piyasa takas fiyatının kendinden önceki saat ile 24 saat önceki fiyat ve katları ile yüksek ilişkili olduğu görülmektedir. Elektrik fiyatlarının tahminine ilişkin literatürde de elektrik fiyatları benzer özellikler göstermektedir. Bu nedenle çalışmada otokorelasyon fonksiyonunda gözlenen bu durum ve literatürdeki diğer çalışmalar dikkate alınarak piyasa takas fiyatını otoregresif hareketli ortalama modelleri ile tahmin ederken piyasa takas fiyatının gün, hafta ve ay içerisindeki mevsimsel yapısı dikkate alınmıştır. ARMA modellerinde mevsimsel tahmin çarpımsal model olarak bilinmektedir. Buna göre ARMA süreci, ARMA sürecine ilişkin modeller arasından belirlenim katsayısı  $R^2$  ve Akaike ve Schwarz Bilgi Kriterleri kullanılarak seçim yapılmış ve öngörü aşamasına geçilmiştir. En yüksek  $R^2$  ile en düşük Akaike ve Schwarz bilgi kriteri değerlerine sahip mevsimsel ARMA modeli ile piyasa takas fiyatı ve kırılmış piyasa takas fiyatı tahmini (öngörüsü) yapılmış, öngörü için ortalama mutlak hata, karekök ortalama hata, ortalama mutlak yüzde hata ve Theil's eşitsizlik katsayıları hesaplanmıştır.

### **4.2.2.1 Piyasa Takas Fiyatının Mevsimsel ARMA Modeli ile Tahmini**

Piyasa takas fiyatı tahmininde piyasa takas fiyatına ilişkin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonlarının yapısı ve fiyat serisinin gün içi, hafta içi mevsimsel özellikleri dikkate alınarak tablo 4.7'de yer alan mevsimsel ARMA modelleri tahmin edilmiş ve bu modeller arasından model katsayılarının istatistiksel olarak anlamlılığı, Akaike ve Schwarz bilgi kriterleri, model  $R^2$  değeri, F-istatistiği değerleri karşılaştırılarak en uygun model ile piyasa takas fiyatı öngörüsü gerçekleştirilmiştir.

Model tahminleri 01/01/2012 00:00 – 01/11/2013 09:00 dönemi için yapılmış ve 01/11/2013 10:00 – 04/17/2014 23:00 dönemi için ise öngörü yapılarak, öngörü performansı ortalama mutlak hata, ortalama mutlak yüzde hata, karekök ortalama hata ve Theil's eşitsizlik katsayılarına göre değerlendirilmiştir.

**Tablo 4.7 Piyasa Takas Fiyatı Mevsimsel ARMA Model Seçim Kriterleri**

| MODEL   | Akaike Bilgi Kriteri | Schwarz Bilgi Kriteri | $R^2$    | F İstatistiği |
|---|----------------------|-----------------------|----------|---------------|
| ARMA (1,1) (1,1) <sub>24</sub> (1,1) <sub>168</sub> | 8.587267             | 8.590642              | 0.854443 | 15570.57      |
| ARMA (1,1) (2,1) <sub>24</sub> (2,1) <sub>168</sub> | 8.535756             | 8.540135              | 0.862838 | 12388.02      |
| ARMA (1,1) (3,1) <sub>24</sub> (3,1) <sub>168</sub> | 8.503504             | 8.508906              | 0.866746 | 10138.20      |
| ARMA (1,1) (1,1) <sub>24</sub> (2,1) <sub>168</sub> | 8.573898             | 8.577790              | 0.857496 | 13542.59      |
| ARMA (1,1) (1,1) <sub>24</sub> (3,1) <sub>168</sub> | 8.546550             | 8.550970              | 0.860867 | 12054.74      |
| ARMA (1,1) (2,1) <sub>24</sub> (1,1) <sub>168</sub> | 8.543895             | 8.547752              | 0.860577 | 14039.75      |
| ARMA (1,1) (2,1) <sub>24</sub> (3,1) <sub>168</sub> | 8.516604             | 8.511693              | 0.865642 | 11157.75      |
| ARMA (1,1) (3,1) <sub>24</sub> (1,1) <sub>168</sub> | 8.533796             | 8.538135              | 0.861987 | 12430.69      |
| ARMA (1,1) (3,1) <sub>24</sub> (2,1) <sub>168</sub> | 8.527572             | 8.532437              | 0.863964 | 11117.37      |

$$PTF_t = \alpha_0 + \alpha_1 PTF_{t-1} + \alpha_2 \varepsilon_{t-1} + \alpha_3 PTF_{t-24} + \alpha_4 PTF_{t-48} + \alpha_5 \varepsilon_{t-24} + \alpha_6 PTF_{t-168} + \alpha_7 PTF_{t-336} + \alpha_8 PTF_{t-504} + \alpha_9 \varepsilon_{t-168} + \mu \quad (4.5)$$

Tablo 4.7'e göre en düşük Akaike ve Schwarz bilgi kriteri ve en yüksek  $R^2$  değerini gösteren mevsimsel ARMA yapısı  $ARMA(1,1)(3,1)_{24}(3,1)_{168}$  modelidir. Ancak bu modelin tahmin sonuçlarına göre katsayılarından ikisinin anlamsız olması nedeniyle bu modelin dışında en düşük Akaike ve Schwarz bilgi kriteri ve en yüksek  $R^2$  değerini veren  $ARMA(1,1)(2,1)_{24}(3,1)_{168}$  modeli öngörü için kullanılmıştır. Öngörü için seçilen  $ARMA(1,1)(2,1)_{24}(3,1)_{168}$  modeli denklem 4.5'de görülmektedir.

**Tablo 4.8  $ARMA(1,1)(2,1)_{24}(3,1)_{168}$  Modeli Tahmin Sonuçları**

| Değişken              | Katsayı  | Standart Hata                | t-istatistiği | Prob.    |
|-----------------------|----------|------------------------------|---------------|----------|
| C                     | 149.0600 | 7.460382                     | 19.98022      | 0.0000   |
| AR(1)                 | 0.744569 | 0.005474                     | 136.0117      | 0.0000   |
| AR(24)                | 0.024375 | 0.005171                     | 4.713866      | 0.0000   |
| AR(48)                | 0.110593 | 0.004748                     | 23.29248      | 0.0000   |
| AR(168)               | 0.015389 | 0.005131                     | 2.999388      | 0.0027   |
| AR(336)               | 0.059827 | 0.004439                     | 13.47641      | 0.0000   |
| AR(504)               | 0.074231 | 0.004527                     | 16.39599      | 0.0000   |
| MA(1)                 | 0.151974 | 0.008789                     | 17.29144      | 0.0000   |
| MA(24)                | 0.234086 | 0.008934                     | 26.20057      | 0.0000   |
| MA(168)               | 0.197189 | 0.008962                     | 22.00374      | 0.0000   |
| $R^2$                 | 0.865642 | <b>Akaike Bilgi Kriteri</b>  |               | 8.511693 |
| <b>F- İstatistiği</b> | 11157.75 | <b>Schwarz Bilgi Kriteri</b> |               | 8.516604 |



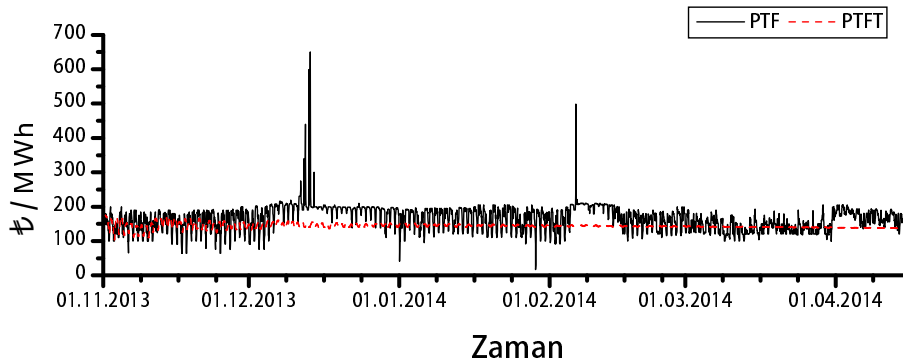
Tahmin edilen  $ARMA(1,1)(2,1)_{24}(3,1)_{168}$  modeli tahmin sonuçları Tablo 4.8’de verilmektedir. Modelin katsayılarının tamamı istatistiksel olarak anlamlıdır. Modelin  $R^2$  değeri 0,86 ve F-istatistiği 11157.75’dir.  $ARMA(1,1)(2,1)_{24}(3,1)_{168}$  modelinin öngörü sonuçları 01/11/2013 10:00 – 04/17/2014 23:00 dönemi ve alt dönemler için tablo 4.9’da sunulmaktadır.

**Tablo 4.9**  $ARMA(1,1)(2,1)_{24}(3,1)_{168}$  Modeli Piyasa Takas Fiyatı Tahmin Performansı

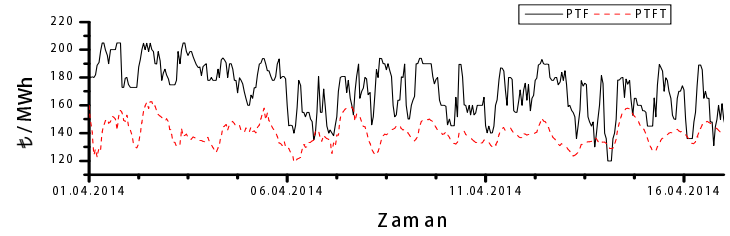
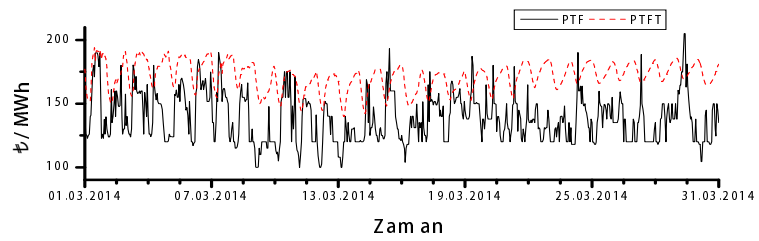
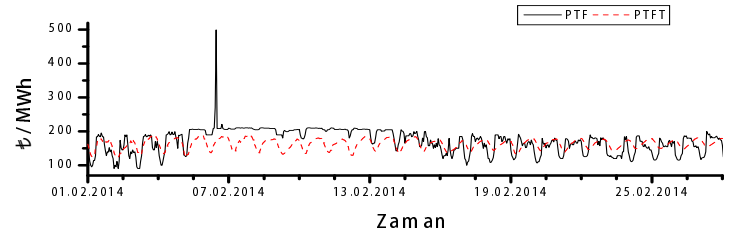
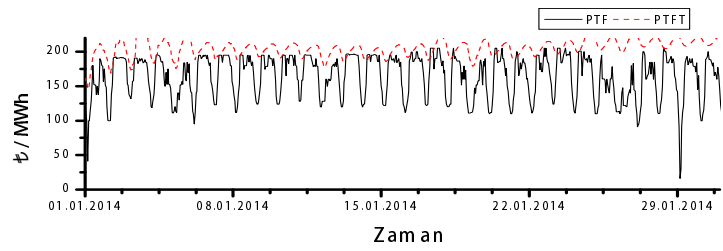
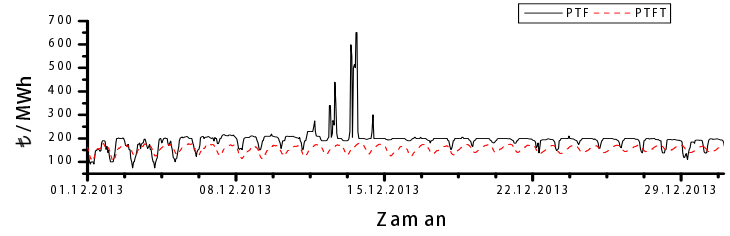
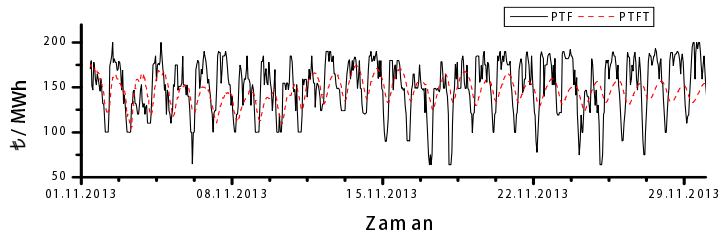
| Tahmin Dönemi         | OMH    | OMYH   | KOH    | TEK   |
|-----------------------|--------|--------|--------|-------|
| 01/11/2013-17/04/2014 | 32.472 | 19.338 | 42.288 | 0.135 |
| 01/11/2013-30/11/2013 | 24.451 | 17.843 | 29.941 | 0.099 |
| 01/12/2013-31/12/2013 | 41.528 | 20.239 | 59.109 | 0.167 |
| 01/01/2014-31/01/2014 | 43.112 | 33.301 | 52.659 | 0.141 |
| 01/02/2014-28/02/2014 | 27.467 | 16.461 | 34.359 | 0.101 |
| 01/03/2014-31/03/2014 | 34.299 | 26.476 | 38.624 | 0.123 |
| 01/04/2014-17/04/2014 | 31.357 | 17.669 | 35.277 | 0.113 |

Tablo 4.9’da  $ARMA(1,1)(2,1)_{24}(3,1)_{168}$  modeli tahmin sonuçlarının performansına ilişkin ortalama mutlak hata, ortalama mutlak yüzde hata, karekök ortalama hata ve Theil’s eşitsizlik katsayısı değerleri yer almaktadır. Model tahminin tüm tahmin dönemi için ortalama mutlak hatası 32.472, ortalama mutlak yüzde hatası 19.338, karekök ortalama hatası 42.288 ve Theil’s eşitsizlik katsayısı 0.135’dir.

**Grafik 4.5** 01/11/2013-17/04/2014 Piyasa Takas Fiyatı ve Tahmin Edilen Piyasa Takas Fiyatı ( $ARMA(1,1)(2,1)_{24}(3,1)_{168}$  Modeli)



Grafik 4.5'te  $ARMA(1,1)(2,1)_{24}(3,1)_{168}$  modeli tahmininden elde edilen piyasa takas fiyatı tahmini gösterilmektedir. 01/11/2013-17/04/2014 dönemi için Türkiye Elektrik Piyasasında ARMA yapısı kullanılarak gerçekleştirilen tahmin sonuçları çok katmanlı algılayıcı ile elde edilenler kadar başarılı değildir. ARMA modellerinin tahmin performansı, tahmin dönemi uzadığında ve fiyatlarda meydana gelen oynaklık arttıkça azalmaktadır. Bu durum grafik 3.5'ten ve tablo 3.9'da görüldüğü gibi tahmin performansı ile ilgili ortalama mutlak hata, ortalama mutlak yüzde hata, karekök ortalama hata ve Theil's eşitsizlik katsayısının aldığı değerlerden de anlaşılmaktadır. Sayfa 72'de  $ARMA(1,1)(2,1)_{24}(3,1)_{168}$  modeli ile tahmin edilen piyasa takas fiyatı tahmin değerleri (PTFT) ile orijinal piyasa takas fiyatı değerlerine ilişkin grafikler Kasım 2013, Aralık 2013, Ocak 2014, Şubat 2014 ve Nisan 2014 alt dönemleri için verilmiştir.  $ARMA(1,1)(2,1)_{24}(3,1)_{168}$  modeli 16,461 ortalama mutlak yüzde hata ile en yüksek tahmin performansını Şubat 2014'te göstermiştir.



#### 4.2.2.2 Kırpılmış Piyasa Takas Fiyatının Mevsimsel ARMA Modeli ile Tahmini

Kırpılmış Piyasa takas fiyatı tahmininde de piyasa takas fiyatına ilişkin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonlarının yapısı dikkate alınarak tablo 4.10'da yer alan ARMA modelleri tahmin edilmiş ve bu modeller arasından model katsayılarının istatistiksel olarak anlamlılığı, Akaike ve Schwarz bilgi kriterleri, model  $R^2$  değeri, F-istatistiği değerleri karşılaştırılarak en uygun model ile piyasa takas fiyatı öngörüsü gerçekleştirilmiştir.

Model tahminleri 01/01/2012 00:00 – 01/11/2013 09:00 dönemi için yapılmış ve 01/11/2013 10:00 – 04/17/2014 23:00 dönemi için ise öngörü yapılarak, öngörü performansı ortalama mutlak hata, ortalama mutlak yüzde hata, karekök ortalama hat ve Theil's eşitsizlik katsayılarına göre değerlendirilmiştir.

**Tablo 4.10 Kırpılmış Piyasa Takas Fiyatı Mevsimsel ARMA Model Seçim Kriterleri**

| MODEL                            | Akaike Bilgi Kriteri | Schwarz Bilgi Kriteri | $R^2$    | F İstatistiği |
|----------------------------------|----------------------|-----------------------|----------|---------------|
| $ARMA(1,1)(1,1)_{24}(1,1)_{168}$ | 8.12841              | 8.131785              | 0.864637 | 16950.36      |
| $ARMA(1,1)(2,1)_{24}(2,1)_{168}$ | 8.057496             | 8.061874              | 0.874816 | 13761.73      |
| $ARMA(1,1)(3,1)_{24}(3,1)_{168}$ | 8.042742             | 8.048144              | 0.876837 | 11096.44      |
| $ARMA(1,1)(1,1)_{24}(2,1)_{168}$ | 8.08243              | 8.086322              | 0.871647 | 15283.74      |
| $ARMA(1,1)(1,1)_{24}(3,1)_{168}$ | 8.068041             | 8.072461              | 0.873665 | 13473.19      |
| $ARMA(1,1)(2,1)_{24}(1,1)_{168}$ | 8.095427             | 8.099283              | 0.869037 | 15093.56      |
| $ARMA(1,1)(2,1)_{24}(3,1)_{168}$ | 8.044407             | 8.049318              | 0.876624 | 12304.99      |
| $ARMA(1,1)(3,1)_{24}(1,1)_{168}$ | 8.091993             | 8.096332              | 0.869494 | 13260.21      |
| $ARMA(1,1)(3,1)_{24}(2,1)_{168}$ | 8.055776             | 8.060641              | 0.875039 | 12257.72      |

Tablo 4.10'a göre en düşük Akaike ve Schwarz bilgi kriteri ve en yüksek  $R^2$  değerini gösteren mevsimsel ARMA yapısı  $ARMA(1,1)(3,1)_{24}(3,1)_{168}$  modelidir. Öngörü için seçilen  $ARMA(1,1)(3,1)_{24}(3,1)_{168}$  modeli denklem 4.6'da görülmektedir.

$$PTFK_t = \alpha_0 + \alpha_1 PTFK_{t-1} + \alpha_2 \varepsilon_{t-1} + \alpha_3 PTFK_{t-24} + \alpha_4 PTFK_{t-48} + \alpha_5 PTFK_{t-72} + \alpha_6 \varepsilon_{t-24} + \alpha_7 PTF_{t-168} + \alpha_8 PTF_{t-336} + \alpha_9 PTF_{t-504} + \alpha_{10} \varepsilon_{t-168} + \mu$$

(4.6).

**Tablo 4.11**  $ARMA(1,1)(3,1)_{24}(3,1)_{168}$  Modeli Tahmin Sonuçları

| Değişken              | Katsayı  | Standart Hata                | t-istatistiği | Prob.    |
|-----------------------|----------|------------------------------|---------------|----------|
| C                     | 147.0912 | 4.064108                     | 36.19275      | 0.0000   |
| AR(1)                 | 0.561066 | 0.007068                     | 79.37756      | 0.0000   |
| AR(24)                | 0.083698 | 0.008333                     | 10.04475      | 0.0000   |
| AR(48)                | 0.109286 | 0.006405                     | 17.06292      | 0.0000   |
| AR(72)                | 0.030130 | 0.005718                     | 5.268891      | 0.0000   |
| AR(168)               | 0.034138 | 0.007218                     | 4.729834      | 0.0000   |
| AR(336)               | 0.126066 | 0.005703                     | 22.10572      | 0.0000   |
| AR(504)               | 0.097726 | 0.005741                     | 17.02350      | 0.0000   |
| MA(1)                 | 0.168607 | 0.009798                     | 17.20790      | 0.0000   |
| MA(24)                | 0.234723 | 0.010819                     | 21.69525      | 0.0000   |
| MA(168)               | 0.181635 | 0.009899                     | 18.34848      | 0.0000   |
| $R^2$                 | 0.876837 | <b>Akaike Bilgi Kriteri</b>  |               | 8.042742 |
| <b>F- İstatistiği</b> | 11096.44 | <b>Schwarz Bilgi Kriteri</b> |               | 8.048144 |

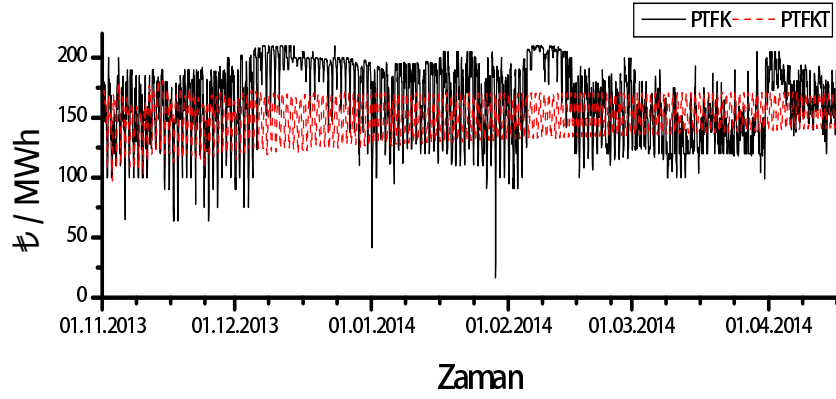
Tahmin edilen  $ARMA(1,1)(3,1)_{24}(3,1)_{168}$  modeli tahmin sonuçları Tablo 4.11’de verilmektedir. Modelin katsayılarının tamamı istatistiksel olarak anlamlıdır. Modelin  $R^2$  değeri 0,876 ve F-istatistiği 11096.44’tür.  $ARMA(1,1)(3,1)_{24}(3,1)_{168}$  modelinin öngörü sonuçları 01/11/2013 10:00 – 04/17/2014 23:00 dönemi ve alt dönemler için tablo 4.12’de sunulmaktadır.

**Tablo 4.12**  $ARMA(1,1)(3,1)_{24}(3,1)_{168}$  Modeli Kırpılmış Piyasa Takas Fiyatı Tahmin Performansı

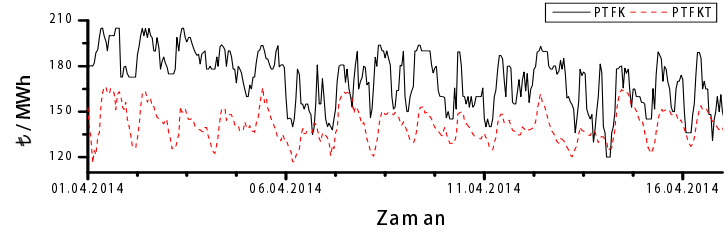
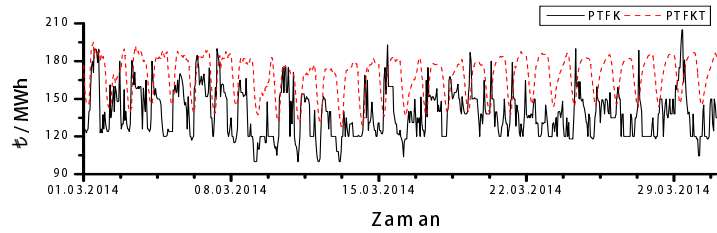
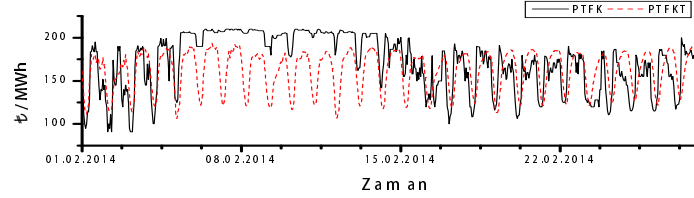
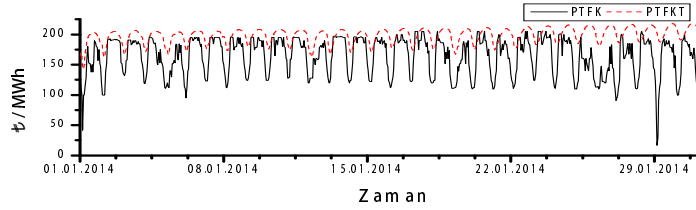
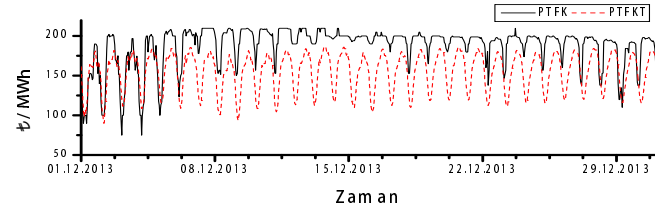
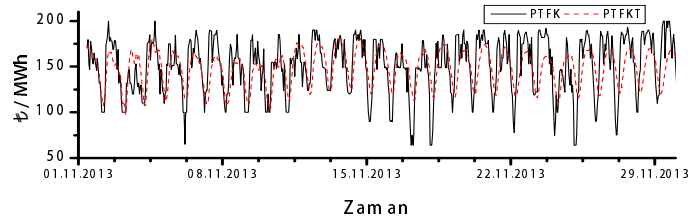
| Tahmin Dönemi         | OMH    | OMYH   | KOH    | TEK   |
|-----------------------|--------|--------|--------|-------|
| 01/11/2013-17/04/2014 | 30.658 | 19.510 | 36.799 | 0.099 |
| 01/11/2013-30/11/2013 | 19.953 | 14.575 | 25.428 | 0.084 |
| 01/12/2013-31/12/2013 | 34.473 | 18.254 | 40.336 | 0.117 |
| 01/01/2014-31/01/2014 | 36.087 | 28.134 | 44.382 | 0.122 |
| 01/02/2014-28/02/2014 | 26.459 | 15.666 | 32.482 | 0.096 |
| 01/03/2014-31/03/2014 | 32.505 | 24.798 | 36.968 | 0.119 |
| 01/04/2014-17/04/2014 | 29.891 | 16.935 | 33.430 | 0.107 |

Tablo 4.12’de  $ARMA(1,1)(3,1)_{24}(3,1)_{168}$  modeli tahmin sonuçlarının performansına ilişkin ortalama mutlak hata, ortalama mutlak yüzde hata, karekök ortalama hata ve Theil’s eşitsizlik katsayısı değerleri yer almaktadır. Model tahminin tüm tahmin dönemi için ortalama mutlak hatası 30.658, ortalama mutlak yüzde hatası 19.510, karekök ortalama hatası 36.799 ve Theil’s eşitsizlik katsayısı 0.099’dur.

**Grafik 4.6 01/11/2013-17/04/2014 Kırpılmış Piyasa Takas Fiyatı ve Tahmin Edilen Piyasa Takas Fiyatı (Mevsimsel  $ARMA(1,1)(3,1)_{24}(3,1)_{168}$  Modeli )**



Kırpılmış piyasa takas fiyatı  $ARMA(1,1)(3,1)_{24}(3,1)_{168}$  modeli tahmininden elde edilen kırpılmış piyasa takas fiyatı tahmin değerleri (PTFKT) ile orijinal değerlere ilişkin grafikler Kasım 2013, Aralık 2013, Ocak 2014, Şubat 2014 ve Nisan 2014 alt dönemleri için sayfa 76’da gösterilmiştir. Kırpılmış piyasa taka fiyatı için  $ARMA(1,1)(3,1)_{24}(3,1)_{168}$  modeli 14,575 ortalama mutlak yüzde hata ile en yüksek tahmin performansını Ocak 2014 döneminde göstermiştir.



### **4.2.3 Türkiye Elektrik Piyasasında Piyasa Takas Fiyatının Çok Katmanlı Algılayıcı ile Tahmini**

Bu bölümde Türkiye Elektrik Piyasasında piyasa takas fiyatı ve kırılmış piyasa takas fiyatı çok katmanlı algılayıcı ile Piyasa Takas Fiyatı geçmiş değerleri ve hava sıcaklığı girdi değişkeni, piyasa takas fiyatı çıktı değişkeni şeklinde ifade edilerek tahmin edilmiş ve tahmin performansları hesaplanmıştır. PTF verilerinin %80'i (01/01/2012 00:00 – 01/11/2013 09:00 dönemi) ağıın eğitiminde, %20'si ağıın test edilmesinde (11/01/2013 10:00 – 17/04/2014 23:00 dönemi) kullanılmıştır. Piyasa takas fiyatı tahminlerinde kullanılan çok katmanlı algılayıcı yapısı öğrenme algoritması ve aktivasyon fonksiyonları değiştirilerek eğitime ve teste tabi tutulmuştur. Çok katmanlı algılayıcı için sigmoid aktivasyon fonksiyonu ile momentumlu geri yayılım ve Levenberg-Marquardt öğrenme algoritmaları, hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu ile momentumlu geri yayılım ve Levenberg-Marquardt öğrenme algoritmaları ile eğitim ve test işlemleri gerçekleştirilmiştir. Eğitim ve test aşamasına geçilmeden önce girdi ve çıktı değişkenlerine ilişkin veriler bölüm üçte ifade edilen normalizasyon yöntemleri ile normalize edildikten sonra eğitim ve test işlemleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen tahmin sonuçları renormalizasyon işlemi gerçekleştirilerek verilmiş, tahmin performansları ortalama mutlak hata (OMH), karekök ortalama hata (KOH), ortalama mutlak yüzde hata (OMYH) ve Theil's eşitsizlik katsayısı (TEK) kriterlerine göre değerlendirilmiştir.

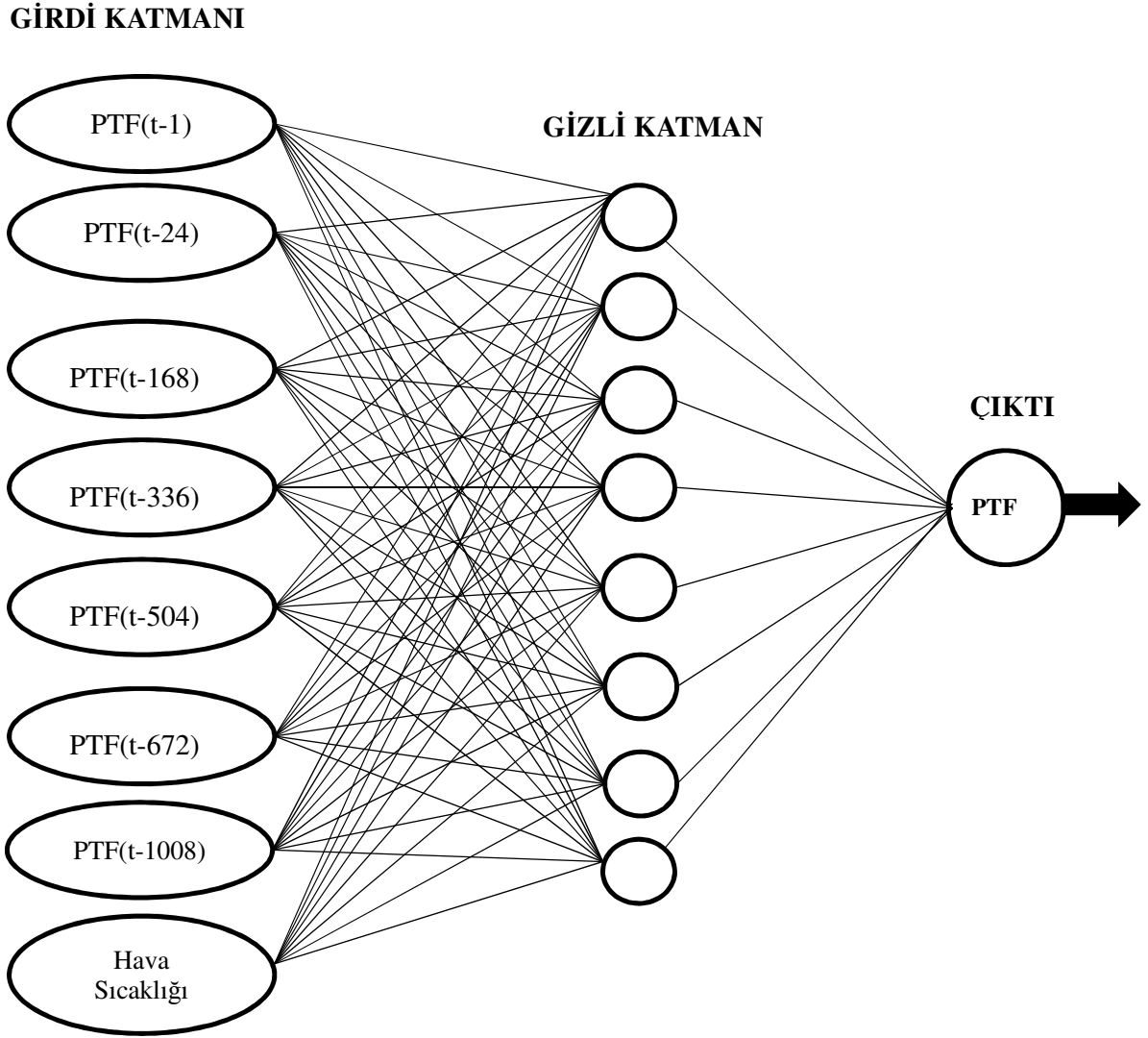
#### **4.2.3.1 Piyasa Takas Fiyatı Çok Katmanlı Algılayıcı Tahmin Sonuçları**

Saatlik piyasa takas fiyatlarının gecikmeli değerlerinin (1 saat, 1 gün, 1-5 hafta) ve hava sıcaklığının girdi değişkeni, piyasa takas fiyatı ise çıktı değişkeni olarak belirlendiği çok katmanlı algılayıcının yapısı şekil 4,6'daki gibidir. Çok katmanlı algılayıcı için girdi ve çıktı değişkenleri belirlendikten sonra veriler sigmoid aktivasyon fonksiyonu için (0,1) aralığında normalize edilmiş ve sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılarak çok katmanlı algılayıcı önce momentumlu geri yayılım algoritması ile daha sonra Levenberg-Marquardt algoritması ile eğitilmiş ve test edilmiştir. Ardından veriler hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu için (-1,+1) aralığında normalize edilmiş ve hiperbolik tanjant fonksiyonu kullanılarak çok



katmanlı algılayıcı önce momentumlu geri yayılım algoritması ile daha sonra Levenberg-Marquardt algoritması ile eğitilmiş ve test edilmiştir.

**Şekil 4.6 Piyasa Takas Fiyatı Tahmininde Kullanılan ÇKA Yapısı**



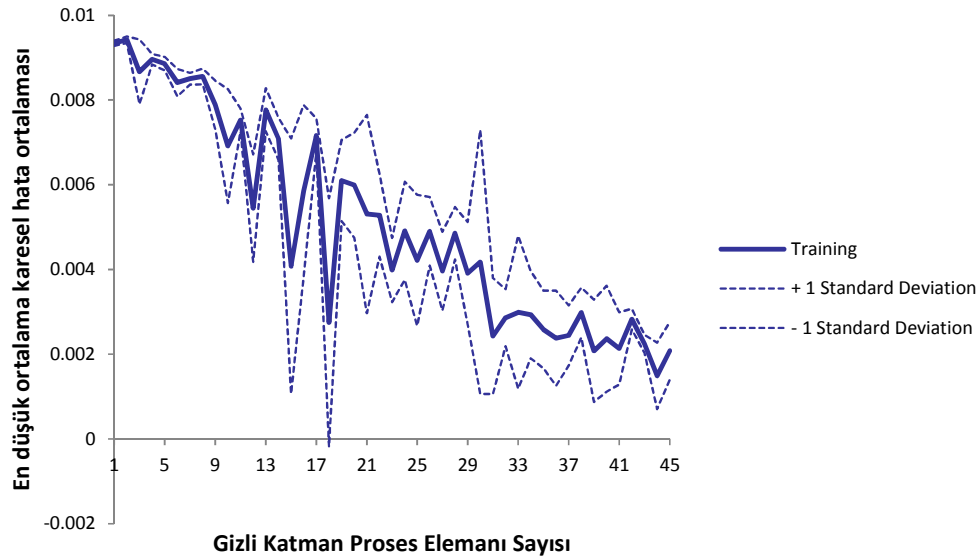
Çok katmanlı algılayıcı eğitim ve test sonuçları ile tahmin performansları Sigmoid aktivasyon fonksiyonu momentumlu geri yayılım eğitim algoritması, sigmoid aktivasyon fonksiyonu Levenberg-Marquardt eğitim algoritması, hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu momentumlu geri yayılım eğitim algoritması ve hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu Levenberg-Marquardt eğitim algoritması için verilmektedir. Çok katmanlı algılayıcıda gizli katman proses elemanı (gizli

katman nöron) sayısı minimum hatayı veren proses elemanı sayısı elde edilecek biçimde belirlenmiştir. Her bir aktivasyon fonksiyonu ve eğitim algoritması için tahmin edilen piyasa takas fiyatları, gerçek fiyat değerleri ile tahmin performansları hesaplanarak çalışmanın takip eden kısmında yer almaktadır.

#### 4.2.3.1.1 Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu Momentumlu Geri Yayılım Algoritması için PTF Tahmin Sonuçları

Piyasa Takas Fiyatı çok katmanlı algılayıcı ile tahmininde sigmoid aktivasyon fonksiyonu, momentumlu geri yayılım algoritması kullanıldığında girdi değişkenleri ile çıktı değişkenleri arasındaki ilişkiyi gösteren korelasyon katsayısı 0,83'tür. Çok katmanlı algılayıcının girdi değişkeni sayısı sekiz, gizli katman proses elemanı sayısı 18'dir.

**Grafik 4.7 Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu ve Momentumlu Geri Yayılım Algoritması Kullanılan ÇKA için Ortalama Karese Hata ve Proses Elemanı Sayısı**



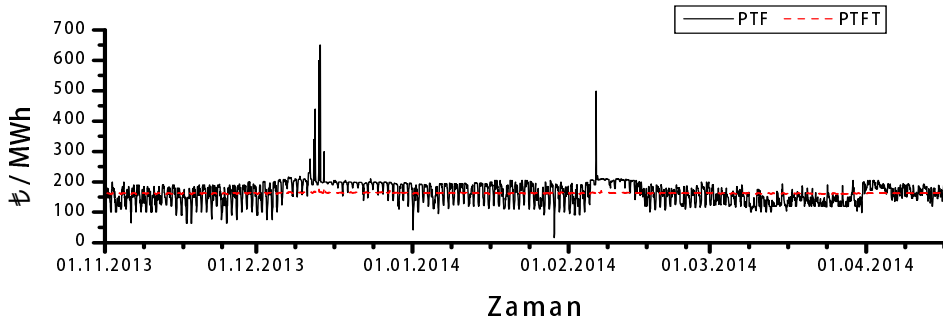
Grafik 4.7'de sigmoid aktivasyon fonksiyonu ve momentum algoritmasıyla eğitilen yapay sinir ağı için minimum hatayı veren gizli katman proses elemanı sayısını göstermektedir. Ağın eğitiminde 1-45 proses elemanı için deneme yapılmış ve minimum hata 18 proses elemanında elde edilmiştir. Bu nedenle çok katmanlı algılayıcı 8x18x1 şeklinde bir yapı seçilmiştir.

**Tablo 4.13 Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu ve Momentumlu Geri Yayılım Algoritması PTF Tahmin Performansı**

| Tahmin Dönemi         | OMH    | OMYH   | KOH    | TEK   |
|-----------------------|--------|--------|--------|-------|
| 01/11/2013-17/04/2014 | 27.014 | 18.109 | 35.678 | 0.108 |
| 01/11/2013-30/11/2013 | 24.650 | 20.304 | 31.211 | 0.099 |
| 01/12/2013-31/12/2013 | 35.769 | 17.956 | 53.601 | 0.147 |
| 01/01/2014-31/01/2014 | 26.139 | 19.380 | 30.240 | 0.092 |
| 01/02/2014-28/02/2014 | 28.460 | 17.480 | 35.520 | 0.100 |
| 01/03/2014-31/03/2014 | 25.780 | 20.110 | 29.650 | 0.090 |
| 01/04/2014-17/04/2014 | 16.631 | 9.630  | 19.500 | 0.058 |

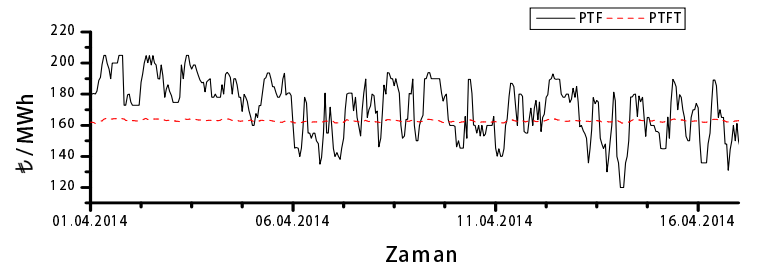
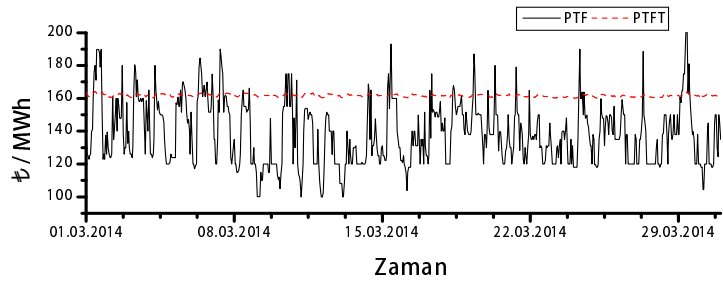
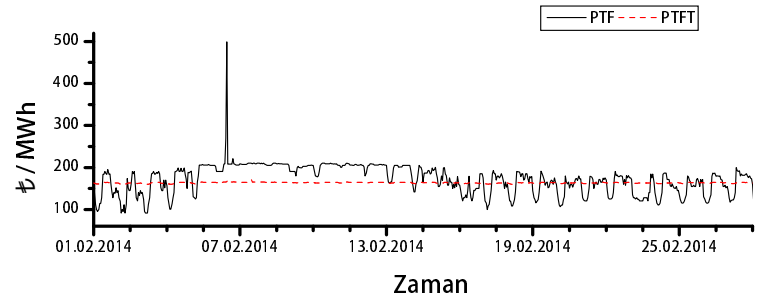
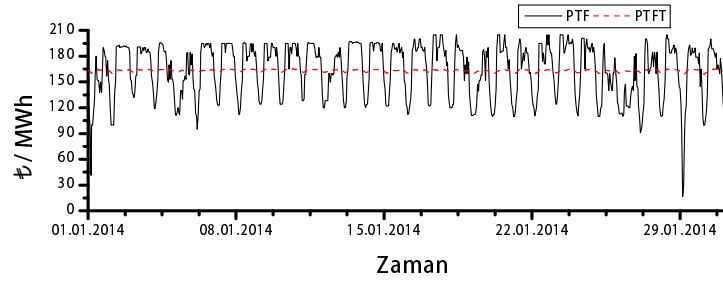
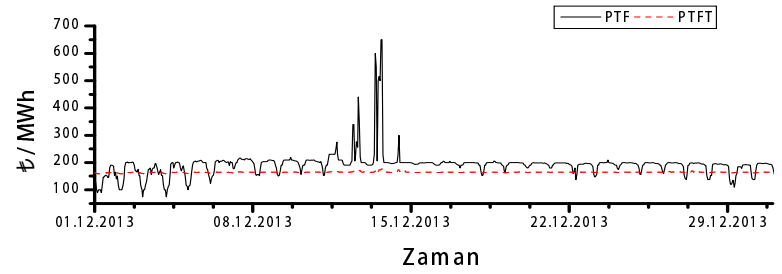
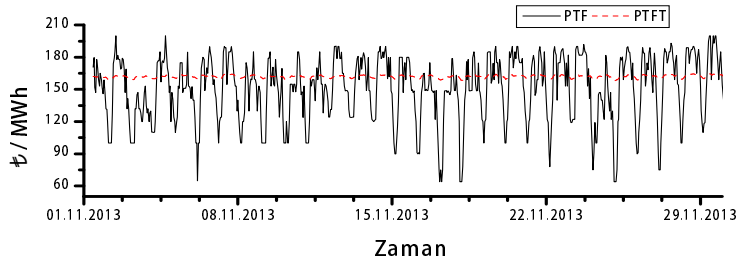
Tablo 4.13’de aktivasyon fonksiyonu sigmoid eğitim algoritması momentumlu geri yayılım algoritması seçildiği durumda tahmin sonuçlarının performansına ilişkin ortalama mutlak hata, ortalama mutlak yüzde hata, karekök ortalama hata ve Theil’s eşitsizlik katsayısı değerleri yer almaktadır. Piyasa takas fiyatı gecikmeli değerleri ve hava sıcaklığı girdi değişkenleri kullanılarak, sigmoid aktivasyon fonksiyonu ve momentum algoritması ile eğitimi tamamlanan ve test edilen çok katmanlı algılayıcının tüm tahmin dönemi için ortalama mutlak hatası 27.014, ortalama mutlak yüzde hatası 18.109, karekök ortalama hatası 35.678 ve Theil’s eşitsizlik katsayısı 0.108’dir.

**Grafik 4.8 01/11/2013-17/04/2014 Dönemi Piyasa Takas Fiyatı ve Tahmin Edilen Piyasa Takas Fiyatı (Aktivasyon Fonksiyonu: Sigmoid, Eğitim Algoritması: Momentumlu Geri Yayılım)**



Grafik 4.8’de 01/11/2013-17/04/2014 dönemi için Piyasa Takas Fiyatının tahmin değerleri (PTFT) ve gerçekleşen değerleri (PTF) görülmektedir. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu ve momentumlu geri yayılım algoritmasının kullanıldığı çok katmanlı algılayıcının fiyatlarda meydana gelen aşırı dalgalanmaları tahmin etmekte diğer tahmin yöntemlerine ve farklı aktivasyon fonksiyonu ile eğitim algoritmaları kullanılan çok katmanlı algılayıcılara göre başarılı olmadığı tüm tahmin dönemine ve alt dönemlere ilişkin tahmin grafiklerinde gözlenmektedir. Aşağıda (sayfa 82’de) alt dönemlere ilişkin piyasa takas fiyatı tahmin değerleri ve gerçekleşen piyasa takas fiyatı değerlerini gösteren grafiklere yer verilmiştir.

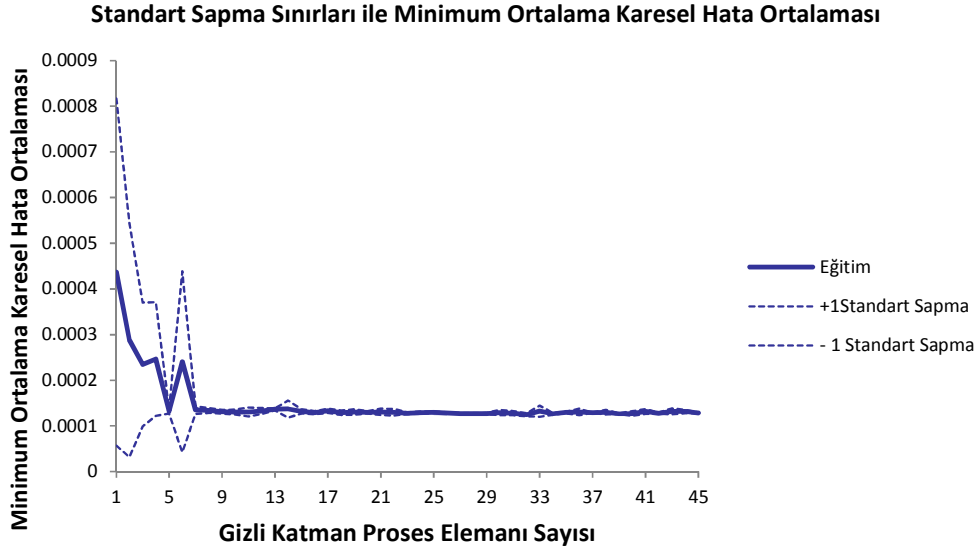
Sigmoid aktivasyon fonksiyonu ve momentum algoritması ile yapılan tahminlerde tahmin performansının en yüksek olduğu ay nisan, en düşük olduğu ay ise kasım olarak gerçekleşmiştir.



#### 4.2.3.1.2 Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu Levenberg-Marquardt Algoritması için PTF Tahmin Sonuçları

Piyasa Takas Fiyatının çok katmanlı algılayıcı ile tahmininde sigmoid aktivasyon fonksiyonu, Levenberg-Marquardt eğitim algoritması kullanıldığında girdi değişkenleri ile çıktı değişkenleri arasındaki ilişkiyi gösteren korelasyon katsayısı 0,88 olarak hesaplanmıştır. Çok katmanlı algılayıcının girdi değişkeni sayısı sekiz, gizli katman proses elemanı sayısı 33'tür.

**Grafik 4.9 Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu ve Levenberg Marquardt Eğitim Algoritması Kullanılan ÇKA için Ortalama Karesel Hata ve Proses Elemanı Sayısı**



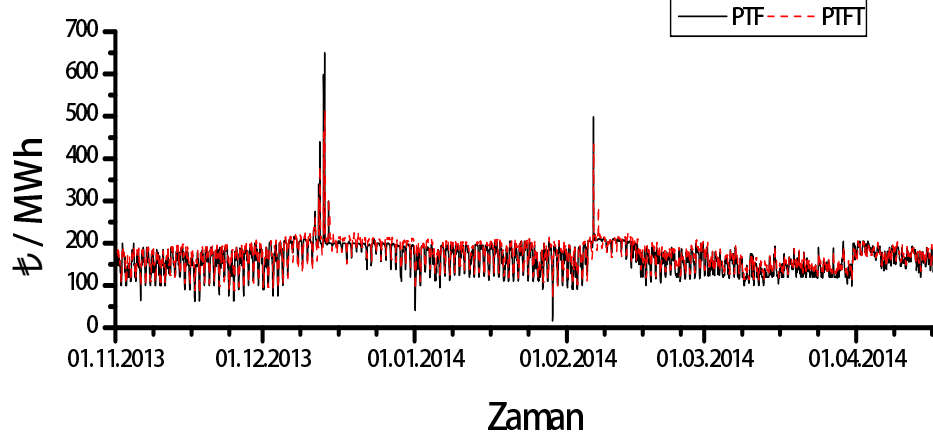
Grafik 4.9'da Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu ve Levenberg Marquardt Algoritmasıyla eğitilen yapay sinir ağı için minimum hatayı veren gizli katman proses elemanı sayısını göstermektedir. Ağın eğitiminde 1-45 proses elemanı için deneme yapılmış ve minimum hata 33 proses elemanında elde edilmiştir. Bu nedenle çok katmanlı algılayıcı 8x33x1 şeklinde bir yapı seçilmiştir.

**Tablo 4.14 Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu ve Levenberg-Marquardt Eğitim Algoritması PTF Tahmin Performansı**

| <b>Tahmin Dönemi</b>  | <b>MAE</b> | <b>MAPE</b> | <b>RMSE</b> | <b>TIC</b> |
|-----------------------|------------|-------------|-------------|------------|
| 01/11/2013-17/04/2014 | 12.426     | 8.228       | 18.974      | 0.055      |
| 01/11/2013-30/11/2013 | 11.633     | 8.590       | 14.405      | 0.046      |
| 01/12/2013-31/12/2013 | 14.394     | 7.254       | 28.949      | 0.073      |
| 01/01/2014-31/01/2014 | 13.179     | 9.742       | 16.580      | 0.048      |
| 01/02/2014-28/02/2014 | 12.776     | 8.048       | 19.740      | 0.055      |
| 01/03/2014-31/03/2014 | 12.445     | 9.226       | 14.880      | 0.051      |
| 01/04/2014-17/04/2014 | 8.228      | 5.089       | 10.610      | 0.031      |

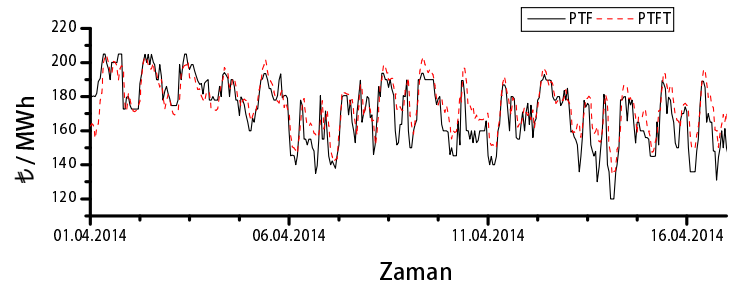
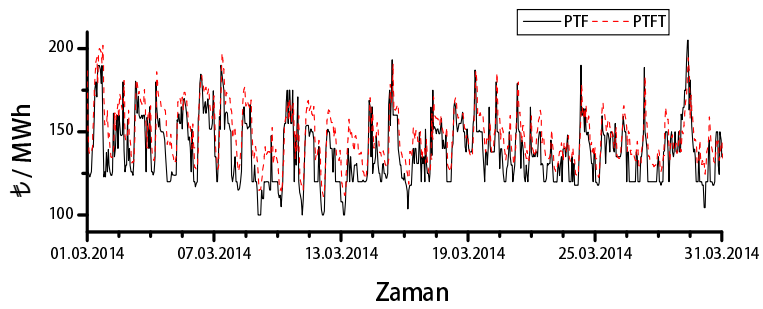
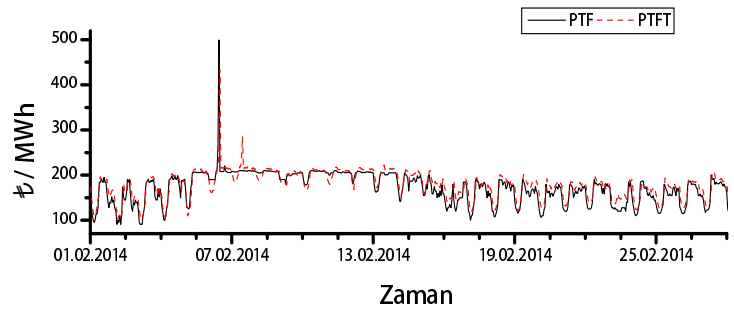
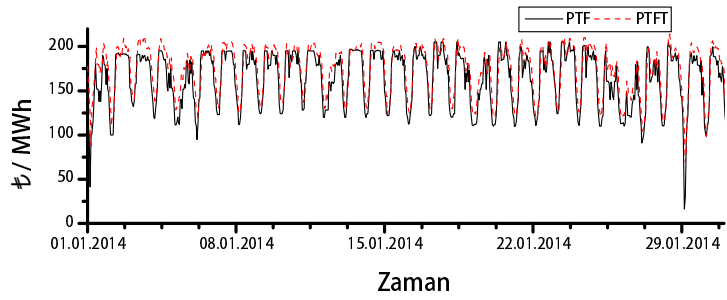
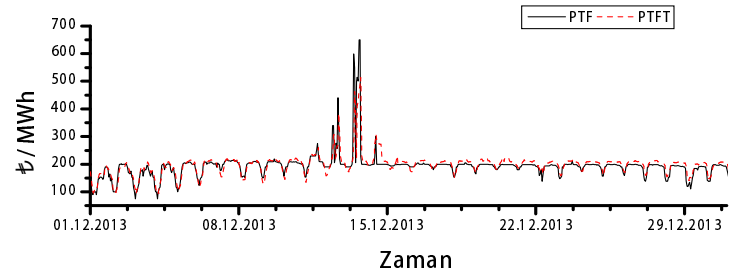
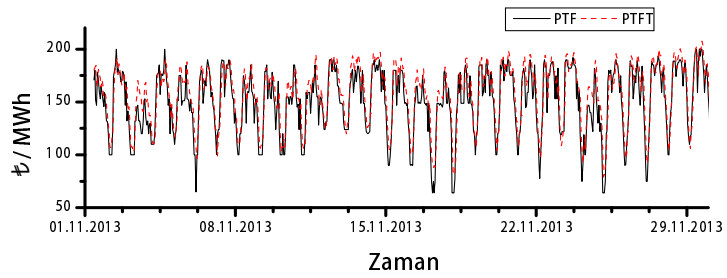
Tablo 4.14’de aktivasyon fonksiyonu sigmoid eğitim algoritması Levenberg-Marquardt seçildiği durumda tahmin sonuçlarının performansına ilişkin ortalama mutlak hata, ortalama mutlak yüzde hata, karekök ortalama hata ve Theil’s eşitsizlik katsayısı değerleri yer almaktadır. Piyasa takas fiyatı gecikmeli değerleri ve hava sıcaklığı giridi değişkenleri kullanılarak sigmoid aktivasyon fonksiyonu ve Levenberg-Marquardt algoritması ile eğitilen ve test edilen çok katmanlı algılayıcının tüm tahmin dönemi için ortalama mutlak hatası 12,426, ortalama mutlak yüzde hatası 8,228, karekök ortalama hatası 18,974 ve Theil’s eşitsizlik katsayısı 0.055’dir. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu ve Levenberg-Marquardt algoritması ile eğitilen çok katmanlı algılayıcı 5,089 ortalama mutlak yüzde hata ile en yüksek tahmin performansını Nisan 2014 döneminde gösterirken, en düşük tahmin performansını 9,742 ortalama mutlak yüzde hata değeri ile Ocak 2014 döneminde göstermiştir.

**Grafik 4.10 01/11/2013-17/04/2014 Dönemi Piyasa Takas Fiyatı ve Tahmin Edilen Piyasa Takas Fiyatı** (Aktivasyon Fonksiyonu: Sigmoid, Eğitim Algoritması: Levenberg-Marquardt)



Grafik 4.10'da 01/11/2013-17/04/2014 dönemi için Piyasa Takas Fiyatının tahmin değerleri (PTFT) ve gerçekleşen değerleri (PTF) görülmektedir. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu ve Levenberg-Marquardt eğitim algoritmasının kullanıldığı çok katmanlı algılayıcının fiyatlarda meydana gelen aşırı dalgalanmaları tahmin etmekte Sigmoid aktivasyon fonksiyonu ve momentum algoritması kullanılan çok katmanlı algılayıcılara göre daha başarılı olduğu tüm tahmin dönemine ve alt dönemlere ilişkin tahmin grafiklerinde gözlenmektedir. Aşağıda alt dönemlere ilişkin piyasa takas fiyatı tahmin değerleri ve gerçekleşen piyasa takas fiyatı değerlerini gösteren grafiklere yer verilmiştir.



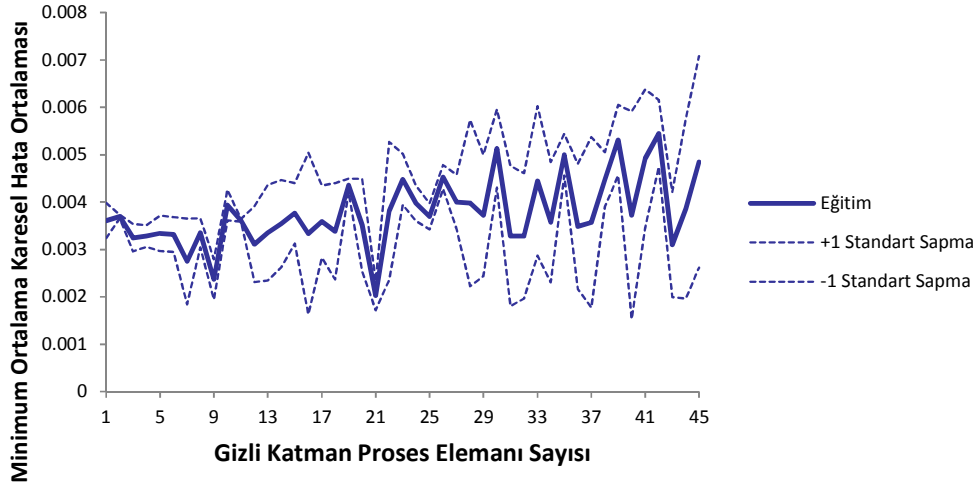


#### 4.2.3.1.3 Hiperbolik Tanjant Aktivasyon Fonksiyonu Momentumlu Geri Yayılım Algoritması İçin PTF Tahmin Sonuçları

Piyasa Takas Fiyatının çok katmanlı algılayıcı ile tahmininde hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu, momentumlu geri yayılım algoritması kullanıldığında girdi değişkenleri ile çıktı değişkenleri arasındaki ilişkiyi gösteren korelasyon katsayısı 0,81'dir. Çok katmanlı algılayıcının girdi değişkeni sayısı sekiz, gizli katman proses elemanı sayısı 16'dır.

#### 4.11 Hiperbolik Tanjant Aktivasyon Fonksiyonu ve Momentumlu Geri Yayılım Algoritması kullanılan ÇKA için Ortalama Karesel Hata ve Proses Elemanı Sayısı

Standart Sapma Sınırları ile Minimum Ortalama Karesel Hata Ortalaması



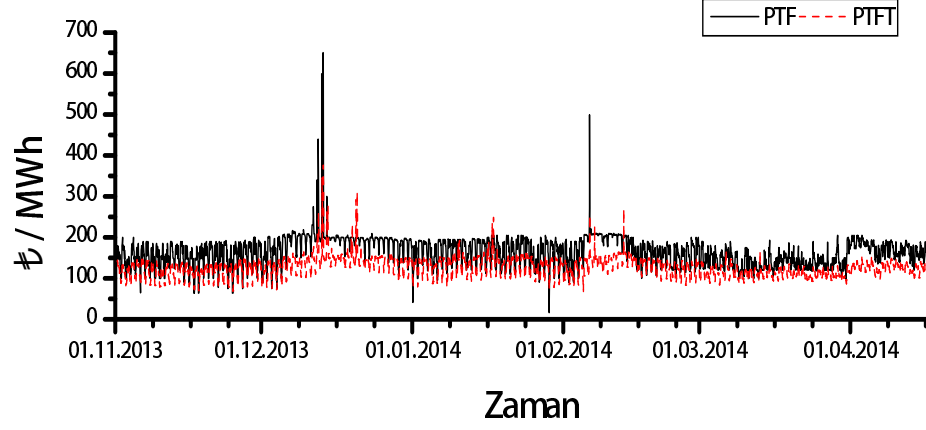
Grafik 4.11'de Hiperbolik Tanjant Aktivasyon Fonksiyonu ve Momentumlu Geri Yayılım Algoritmasıyla eğitilen yapay sinir ağı için minimum hatayı veren gizli katman proses elemanı sayısını göstermektedir. Ağın eğitiminde 1-45 proses elemanı için deneme yapılmış ve minimum hata 16 proses elemanında elde edilmiştir. Bu nedenle çok katmanlı algılayıcı 8x16x1 şeklinde bir yapı seçilmiştir.

**Tablo 4.15 Hiperbolik Tanjant Aktivasyon Fonksiyonu ve Momentumlu Geri Yayılım Algoritması PTF Tahmin Performansı**

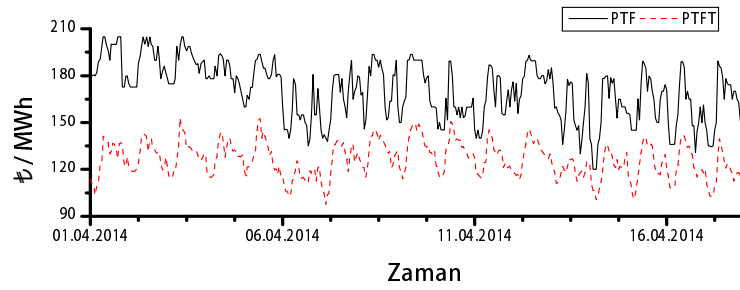
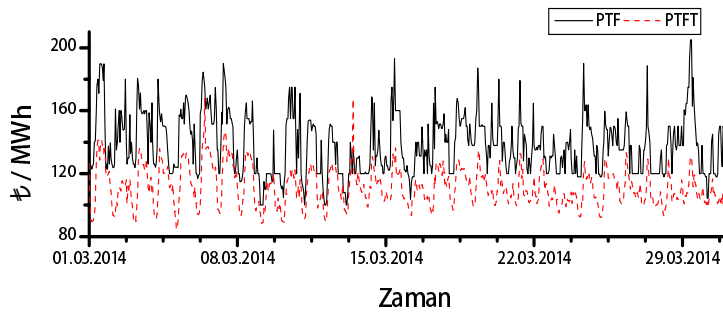
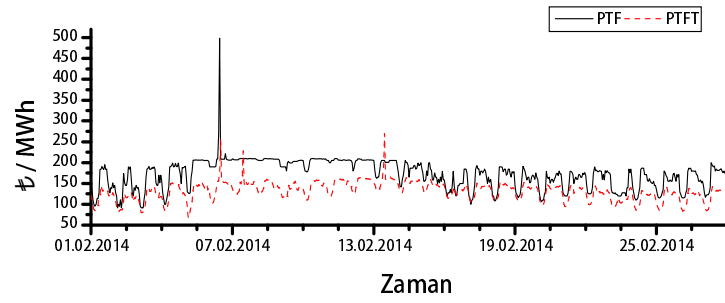
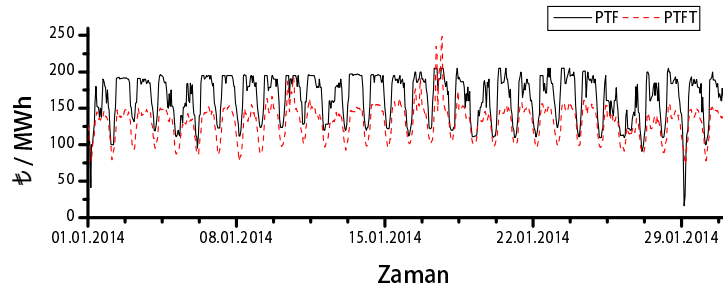
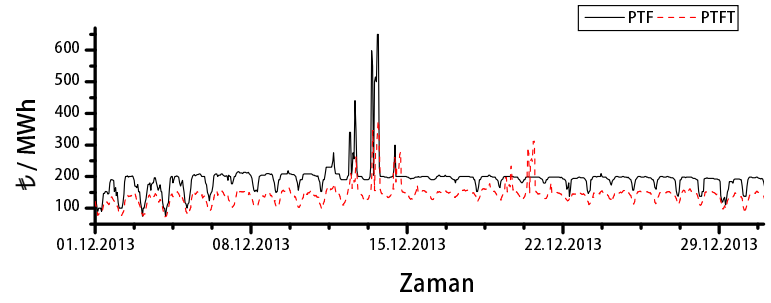
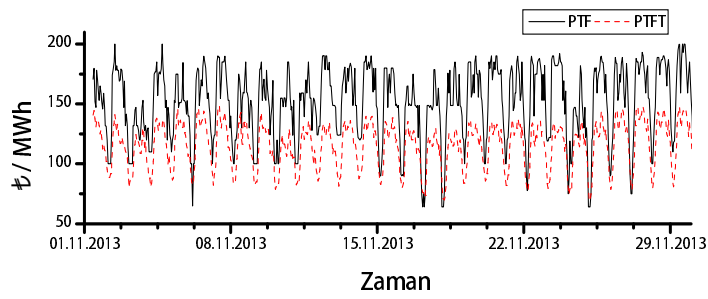
| <b>Tahmin Dönemi</b>  | <b>MAE</b> | <b>MAPE</b> | <b>RMSE</b> | <b>TIC</b> |
|-----------------------|------------|-------------|-------------|------------|
| 01/11/2013-17/04/2014 | 38.483     | 30.179      | 43.794      | 0.147      |
| 01/11/2013-30/11/2013 | 35.411     | 30.228      | 38.365      | 0.141      |
| 01/12/2013-31/12/2013 | 52.163     | 36.568      | 59.777      | 0.174      |
| 01/01/2014-31/01/2014 | 32.737     | 24.925      | 35.682      | 0.119      |
| 01/02/2014-28/02/2014 | 40.755     | 31.085      | 46.358      | 0.151      |
| 01/03/2014-31/03/2014 | 28.136     | 25.301      | 31.549      | 0.125      |
| 01/04/2014-17/04/2014 | 44.492     | 35.426      | 46.404      | 0.156      |

Tablo 4.15’de aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant ve eğitim algoritması momentumlu geri yayılım seçildiği durumda tahmin sonuçlarının performansına ilişkin ortalama mutlak hata, ortalama mutlak yüzde hata, karekök ortalama hata ve Theil’s eşitsizlik katsayısı değerleri yer almaktadır. Piyasa takas fiyatı gecikmeli değerleri ve hava sıcaklığı girdi değişkenleri kullanılarak hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu ve momentumlu geri yayılım algoritması ile eğitimi tamamlanan ve test edilen çok katmanlı algılayıcının tüm tahmin dönemi için ortalama mutlak hatası 38.483, ortalama mutlak yüzde hatası 30.179, karekök ortalama hatası 43.794 ve Theil’s eşitsizlik katsayısı 0.147’dir. Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu ve momentumlu geri yayılım algoritması ile eğitilen çok katmanlı algılayıcı en yüksek tahmin performansını Mart 2014 döneminde, en düşük tahmin performansını Ocak 2014 döneminde göstermiştir.

**Grafik 4.12 01/11/2013-17/04/2014 Dönemi Piyasa Takas Fiyatı ve Tahmin Edilen Piyasa Takas Fiyatı** (Aktivasyon Fonksiyonu: Hiperbolik Tanjant, Eğitim Algoritması: Momentumlu Geri Yayılım)



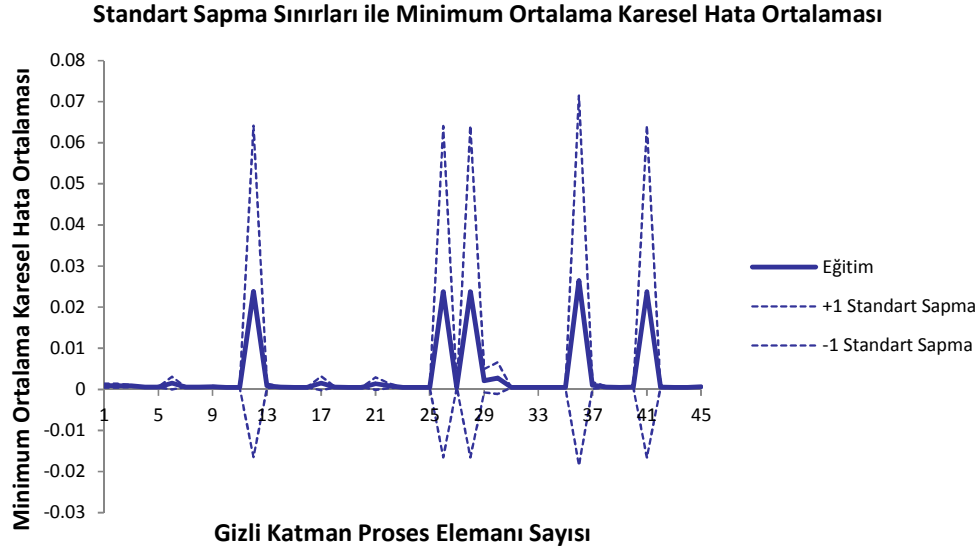
Grafik 4.12’de 01/11/2013-17/04/2014 dönemi için Hiperbolik Tanjant aktivasyon fonksiyonu ve momentumlu geri yayılım algoritmasının kullanıldığı çok katmanlı algılayıcının Piyasa Takas Fiyatının tahmin değerleri (PTFT) ve gerçekleşen değerleri (PTF) görülmektedir. Aşağıda hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu ve momentumlu geri yayılım algoritmasının kullanıldığı çok katmanlı algılayıcı ile yapılan tahminlerin alt dönemlere ilişkin piyasa takas fiyatı tahmin değerleri ve gerçekleşen piyasa takas fiyatı değerlerini gösteren grafiklere yer verilmiştir.



#### 4.2.3.1.4 Hiperbolik Tanjant Aktivasyon Fonksiyonu Levenberg Marquardt Algoritması İçin PTF Tahmin Sonuçları

Piyasa Takas Fiyatının çok katmanlı algılayıcı ile tahmininde hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu, Levenberg-Marquardt algoritması kullanıldığında girdi değişkenleri ile çıktı değişkenleri arasındaki ilişkiyi gösteren korelasyon katsayısı 0,83 olarak hesaplanmıştır. Çok katmanlı algılayıcının girdi değişkeni sayısı sekiz, gizli katman proses elemanı sayısı 28'dir.

#### 4.13 Hiperbolik Tanjant Aktivasyon Fonksiyonu ve Levenberg Marquardt Eğitim Algoritması Kullanılan ÇKA için Ortalama Karesel Hata ve Proses Elemanı Sayısı



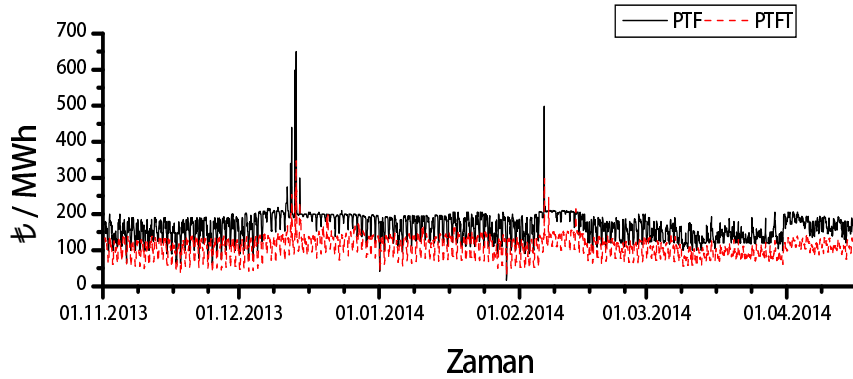
Grafik 4.13'de Hiperbolik Tanjant Aktivasyon Fonksiyonu ve Levenberg Marquardt eğitim algoritması ile eğitilen yapay sinir ağı için minimum hatayı veren gizli katman proses elemanı sayısını göstermektedir. Ağın eğitiminde 1-45 proses elemanı için deneme yapılmış ve minimum hata 28 proses elemanında elde edilmiştir. Bu nedenle çok katmanlı algılayıcı 8x28x1 şeklinde bir yapı seçilmiştir.

**Tablo 4.16 Hiperbolik Tanjant Aktivasyon Fonksiyonu ve Levenberg Marquardt Algoritması PTF Tahmin Performansı**

| Tahmin Dönemi         | OMH    | OMYH   | KOH    | TEK   |
|-----------------------|--------|--------|--------|-------|
| 01/11/2013-17/04/2014 | 54.298 | 33.161 | 57.998 | 0.206 |
| 01/11/2013-30/11/2013 | 48.128 | 32.227 | 50.088 | 0.193 |
| 01/12/2013-31/12/2013 | 68.125 | 35.304 | 75.378 | 0.232 |
| 01/01/2014-31/01/2014 | 49.144 | 30.789 | 50.64  | 0.179 |
| 01/02/2014-28/02/2014 | 56.842 | 33.148 | 59.772 | 0.204 |
| 01/03/2014-31/03/2014 | 47.442 | 33.995 | 49.091 | 0.209 |
| 01/04/2014-17/04/2014 | 57.532 | 33.543 | 58.969 | 0.207 |

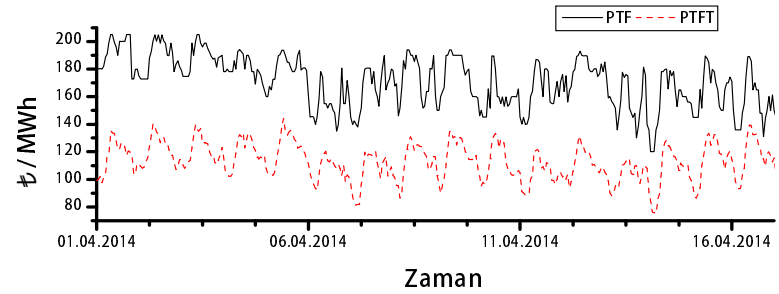
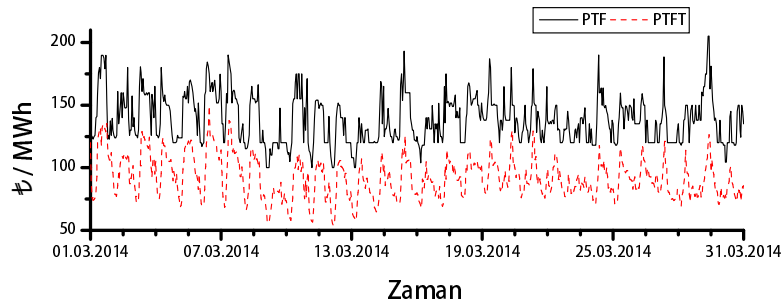
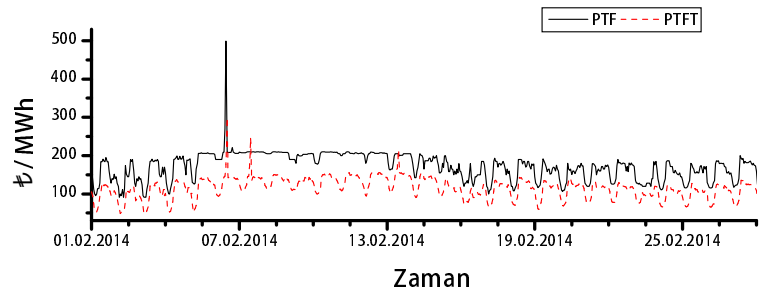
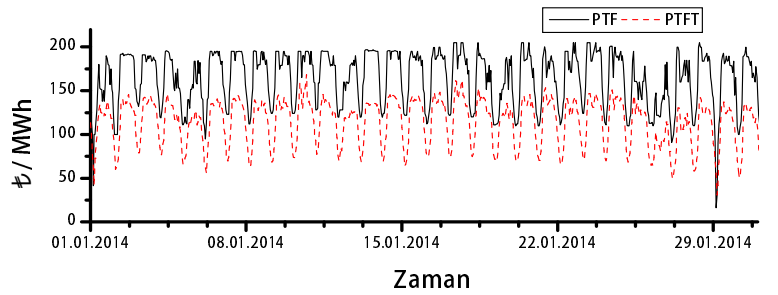
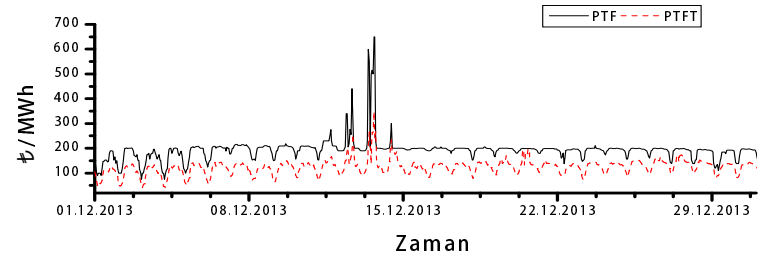
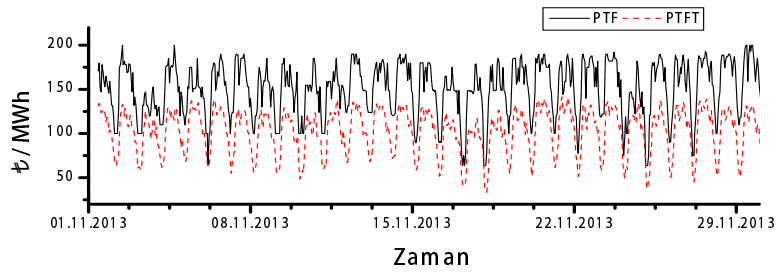
Tablo 4.16’da hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu ve Levenberg Marquardt eğitim algoritması kullanılarak eğitilen ve test edilen çok katmanlı algılayıcının piyasa takas fiyatına ilişkin tahmin performansları yer almaktadır. Buna göre tahminin tüm dönem için ortalama mutlak yüzde hatası %33,16, kasım ayı için %32,22, aralık ayı için %35,30, ocak ayı için 30,78, şubat ayı için 33,14, mart ayı için %33,99 ve nisan ayı için %33,54 olarak hesaplanmıştır.

**Grafik 4.14 01/11/2013-17/04/2014 Dönemi Piyasa Takas Fiyatı ve Tahmin Edilen Piyasa Takas Fiyatı (Aktivasyon Fonksiyonu: Hiperbolik Tanjant, Eğitim Algoritması:Levenberg Marquardt)**



Grafik 4.14'de 01/11/2013-17/04/2014 dönemi için Hiperbolik Tanjant aktivasyon fonksiyonu ve Levenberg Marquardt eğitim algoritmasının kullanıldığı çok katmanlı algılayıcının Piyasa Takas Fiyatının tahmin değerleri (PTFT) ve gerçekleşen değerleri (PTF) görülmektedir. Bir sonraki sayfada Hiperbolik Tanjant aktivasyon fonksiyonu ve Levenberg Marquardt eğitim algoritmasının kullanıldığı çok katmanlı algılayıcı ile yapılan tahminlerin alt dönemlere ilişkin piyasa takas fiyatı tahmin değerleri ve gerçekleşen piyasa takas fiyatı değerlere yer verilmiştir.





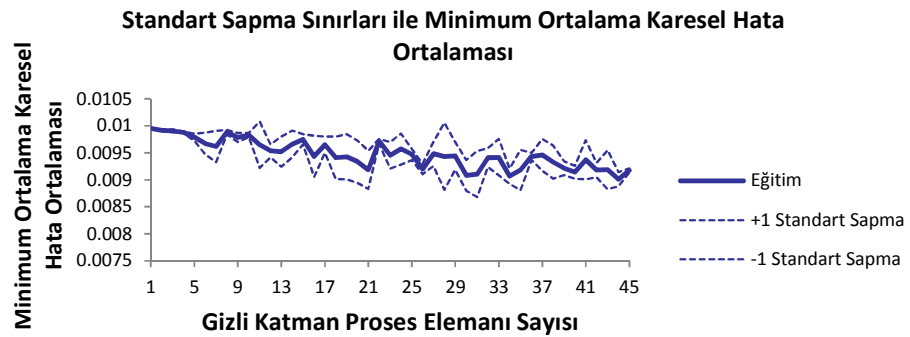
#### 4.2.3.2 Kırpılmış Piyasa Takas Fiyatı Çok Katmanlı Algılayıcı Tahmin Sonuçları

Piyasa takas fiyatı verileri içinde 210 TL/MWh'in üzerindeki saatlik fiyatları 210TL/MWh olarak kabul ederek kırpılmış piyasa takas fiyatı verileri elde edilmiştir. Saatlik kırpılmış piyasa takas fiyatlarının gecikmeli değerleri (1 saat, 1 gün, 1-5 hafta) ve hava sıcaklığı girdi değişkeni, kırpılmış piyasa takas fiyatı ise çıktı değişkeni olarak belirlenmiştir. Çok katmanlı algılayıcı için girdi ve çıktı değişkenleri belirlendikten sonra veriler sigmoid aktivasyon fonksiyonu için (0,1) aralığında normalize edilmiş ve sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılarak çok katmanlı algılayıcı önce momentumlu geri yayılım algoritması ile daha sonra Levenberg-Marquardt algoritması ile eğitilmiş ve test edilmiştir. Ardından veriler hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu için (-1,+1) aralığında normalize edilmiş ve hiperbolik tanjant fonksiyonu kullanılarak çok katmanlı algılayıcı önce momentumlu geri yayılım algoritması ile daha sonra Levenberg-Marquardt algoritması ile eğitilmiş ve test edilmiştir.

##### 4.2.3.2.1 Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu Momentumlu Geri Yayılım Algoritması için Kırpılmış PTF Tahmin Sonuçları

Piyasa Takas Fiyatı çok katmanlı algılayıcı ile tahmininde sigmoid aktivasyon fonksiyonu, momentumlu geri yayılım algoritması kullanıldığında girdi değişkenleri ile çıktı değişkenleri arasındaki ilişkiyi gösteren korelasyon katsayısı 0,91 olarak hesaplanmıştır. Çok katmanlı algılayıcının girdi değişkeni sayısı sekiz, gizli katman proses elemanı sayısı 28'dir.

**Grafik 4.15 Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu ve Momentumlu Geri Yayılım Algoritması Kullanılan ÇKA için Ortalama Karese Hata ve Proses Elemanı Sayısı**



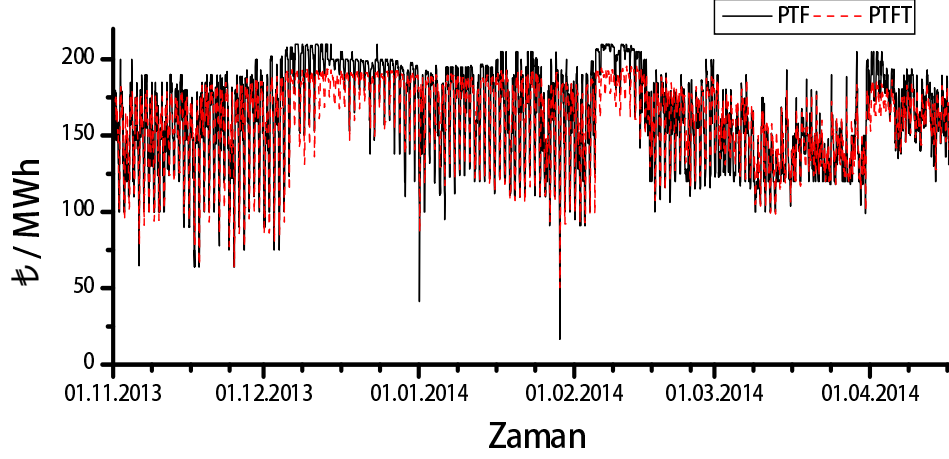
Grafik 4.15’de sigmoid aktivasyon fonksiyonu ve momentumlu geri yayılım algoritması ile eğitilen yapay sinir ağı için minimum hatayı veren gizli katman proses elemanı sayısını göstermektedir. Ağın eğitiminde 1-45 proses elemanı için deneme yapılmış ve minimum hata 28 proses elemanında elde edilmiştir. Bu nedenle çok katmanlı algılayıcı 8x28x1 şeklinde bir yapı seçilmiştir.

**Tablo 4-17 Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu ve Momentumlu Geri Yayılım Algoritması Kırpılmış PTF Tahmin Performansı**

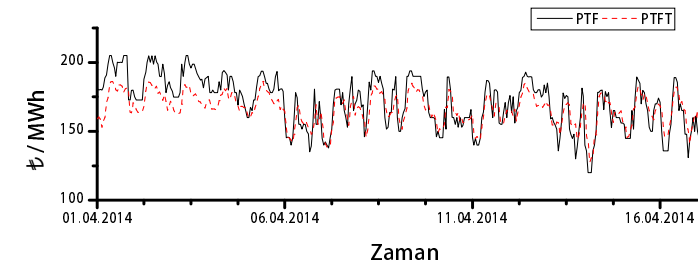
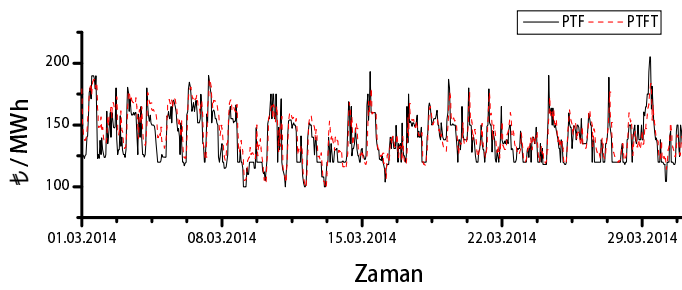
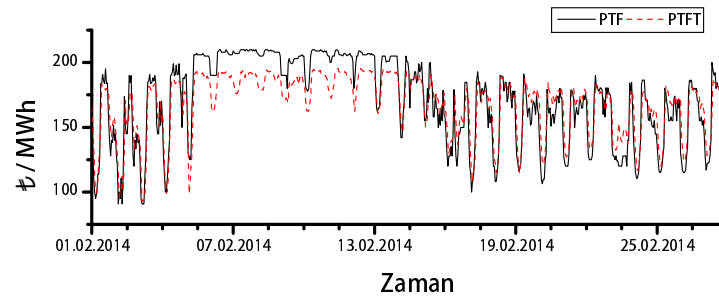
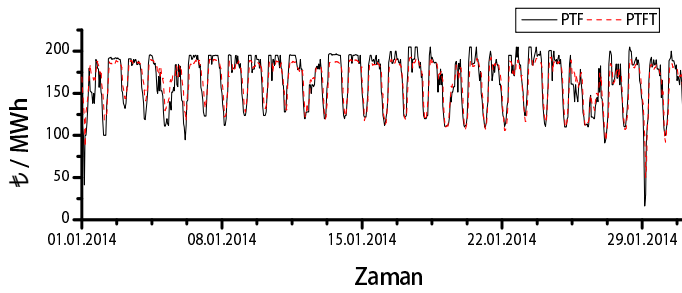
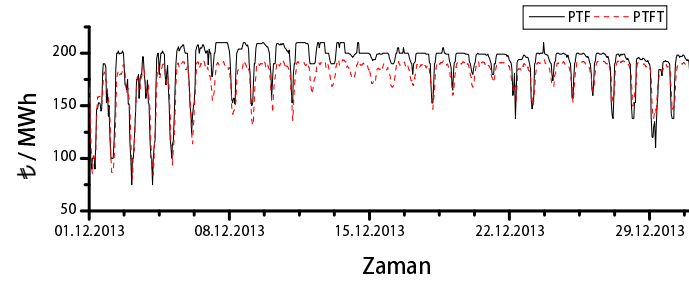
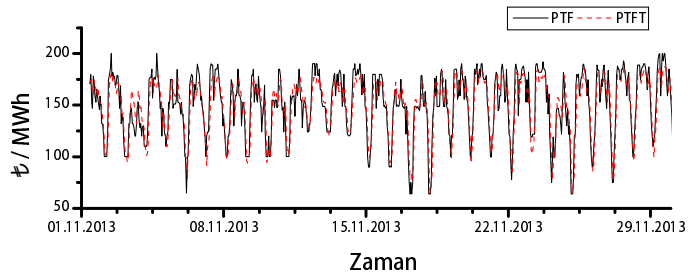
| <b>Tahmin Dönemi</b>  | <b>OMH</b> | <b>OMYH</b> | <b>KOH</b> | <b>TEK</b> |
|-----------------------|------------|-------------|------------|------------|
| 01/11/2013-17/04/2014 | 10.966     | 7.133       | 13.533     | 0.041      |
| 01/11/2013-30/11/2013 | 10.736     | 7.63        | 13.38      | 0.043      |
| 01/12/2013-31/12/2013 | 12.532     | 6.874       | 14.203     | 0.039      |
| 01/01/2014-31/01/2014 | 10.225     | 7.594       | 13.701     | 0.041      |
| 01/02/2014-28/02/2014 | 12.505     | 7.502       | 14.844     | 0.043      |
| 01/03/2014-31/03/2014 | 9.739      | 7.007       | 12.582     | 0.044      |
| 01/04/2014-17/04/2014 | 9.561      | 5.521       | 11.494     | 0.034      |

Tablo 4.17’de aktivasyon fonksiyonu sigmoid eğitim algoritması momentumlu geri yayılım seçildiği durumda kırpılmış piyasa takas fiyatı tahmin sonuçlarının performansına ilişkin ortalama mutlak hata, ortalama mutlak yüzde hata, karekök ortalama hata ve Theil’s eşitsizlik katsayısı değerleri yer almaktadır. Kırpılmış piyasa takas fiyatı gecikmeli değerleri ve hava sıcaklığı girdi değişkenleri kullanılarak sigmoid aktivasyon fonksiyonu ve momentumlu geri yayılım algoritması ile eğitimi tamamlanan ve test edilen çok katmanlı algılayıcının tüm tahmin dönemi için ortalama mutlak hatası 10,996, ortalama mutlak yüzde hatası 7,133, karekök ortalama hatası 13,533 ve Theil’s eşitsizlik katsayısı 0.041’dir.

**Grafik 4.16 01/11/2013-17/04/2014 Dönemi Kırpılmış Piyasa Takas Fiyatı ve Tahmin Edilen Kırpılmış Piyasa Takas Fiyatı** (Aktivasyon Fonksiyonu: Sigmoid, Eğitim Algoritması: Momentumlu Geri Yayılım)



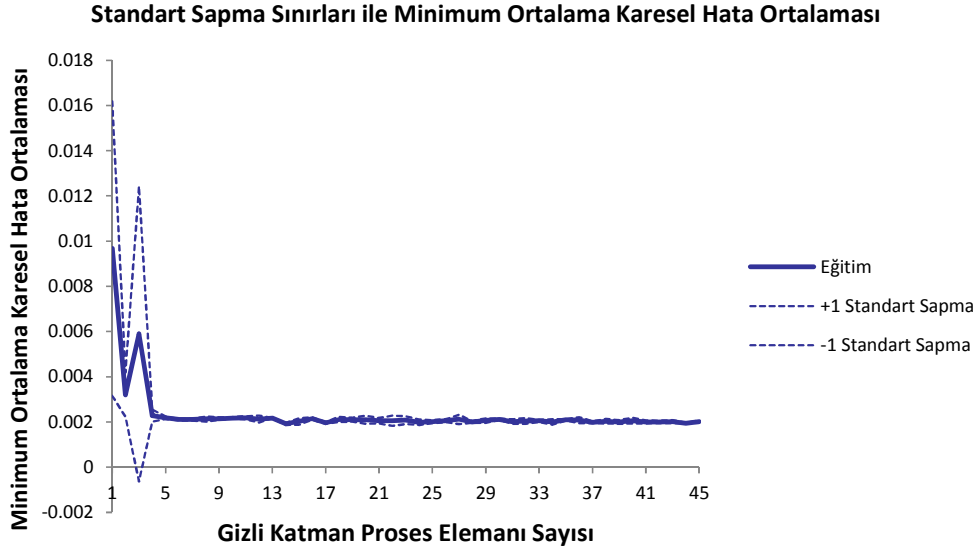
Grafik 4.16’da 01/11/2013-17/04/2014 dönemi için Kırpılmış Piyasa Takas Fiyatının tahmin değerleri (PTFT) ve gerçekleşen değerleri (PTF) görülmektedir. Aşağıda alt dönemlere ilişkin piyasa takas fiyatı tahmin değerleri ve gerçekleşen piyasa takas fiyatı değerlerini gösteren grafiklere yer verilmiştir.



#### 4.2.3.1.2 Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu Levenberg-Marquardt Algoritması için Kırpılmış PTF Tahmin Sonuçları

Kırpılmış Piyasa Takas Fiyatı çok katmanlı algılayıcı ile tahmininde sigmoid aktivasyon fonksiyonu, Levenberg-Marquardt eğitim algoritması kullanıldığında girdi değişkenleri ile çıktı değişkenleri arasındaki ilişkiyi gösteren korelasyon katsayısı 0,93 olarak hesaplanmıştır. Çok katmanlı algılayıcının girdi değişkeni sayısı sekiz, gizli katman proses elemanı sayısı 22'dir.

**Grafik 4.17 Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu ve Levenmerberg Marquardt Eğitim Algoritması Kullanılan ÇKA için Ortalama Karesel Hata ile Proses Elemanı Sayısı**



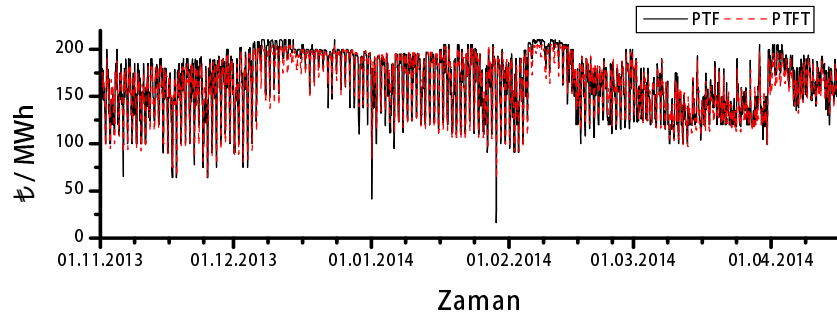
Grafik 4.17'de Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu ve Levenberg Marquardt eğitim algoritması ile eğitilen yapay sinir ağı için minimum hatayı veren gizli katman proses elemanı sayısını göstermektedir. Ağın eğitiminde 1-45 proses elemanı için deneme yapılmış ve minimum hata 22 proses elemanında elde edilmiştir. Bu nedenle çok katmanlı algılayıcı 8x22x1 şeklinde bir yapı seçilmiştir.

**Tablo 4.18 Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu ve Levenberg- Marquardt Eğitim Algoritması kırılmış PTF Tahmin Performansı**

| Tahmin Dönemi         | OMH   | OMYH  | KOH    | TEK   |
|-----------------------|-------|-------|--------|-------|
| 01/11/2013-17/04/2014 | 8.954 | 6.017 | 11.906 | 0.036 |
| 01/11/2013-30/11/2013 | 9.681 | 6.783 | 12.435 | 0.041 |
| 01/12/2013-31/12/2013 | 7.631 | 4.44  | 10.271 | 0.028 |
| 01/01/2014-31/01/2014 | 8.997 | 6.858 | 13.012 | 0.039 |
| 01/02/2014-28/02/2014 | 9.464 | 6.009 | 12.103 | 0.035 |
| 01/03/2014-31/03/2014 | 9.243 | 6.573 | 12.284 | 0.044 |
| 01/04/2014-17/04/2014 | 8.659 | 5.088 | 10.524 | 0.031 |

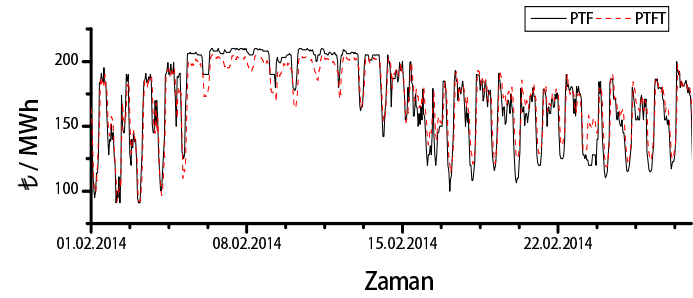
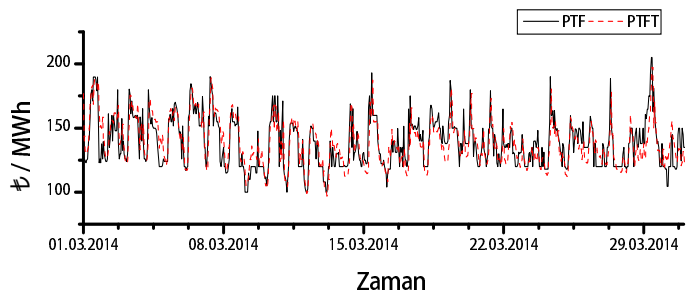
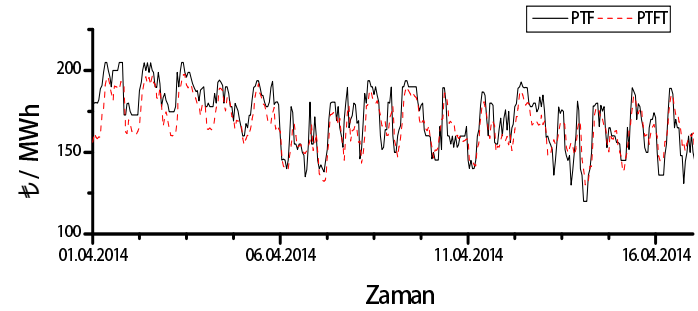
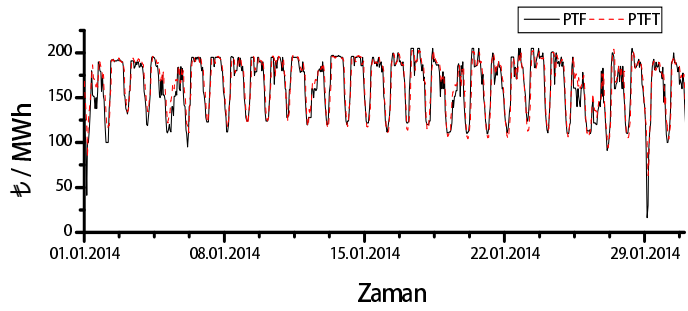
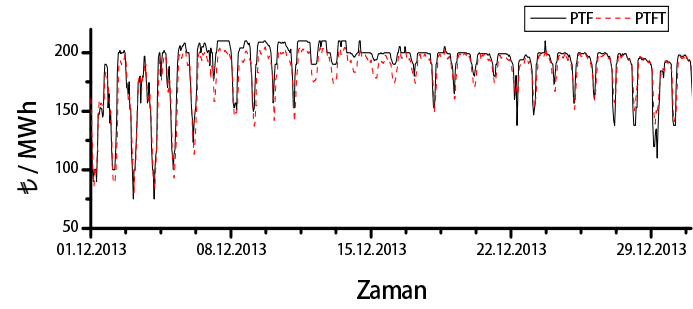
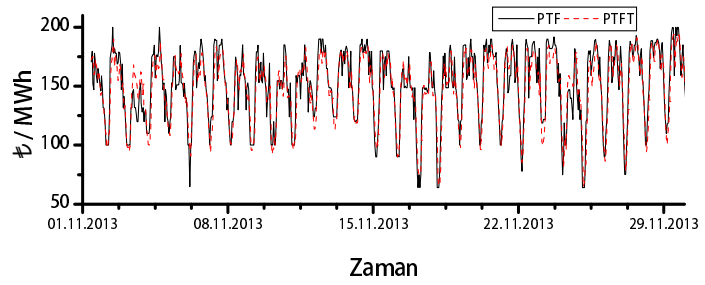
Tablo 4.18’de aktivasyon fonksiyonu sigmoid eğitim algoritması Levenberg-Marquardt seçildiği durumda kırılmış piyasa takas fiyatı tahmin sonuçlarının performansına ilişkin ortalama mutlak hata, ortalama mutlak yüzde hata, karekök ortalama hata ve Theil’s eşitsizlik katsayısı değerleri yer almaktadır. Kırılmış Piyasa Takas Fiyatı gecikmeli değerleri ve hava sıcaklığı girdi değişkenleri kullanılarak sigmoid aktivasyon fonksiyonu ve Levenberg-Marquardt algoritması ile eğitilen ve test edilen çok katmanlı algılayıcının tüm tahmin dönemi için ortalama mutlak hatası 8,954, ortalama mutlak yüzde hatası 6,017, karekök ortalama hatası 11,906 ve Theil’s eşitsizlik katsayısı 0.036’dır.

**Grafik 4.18 01/11/2013-17/04/2014 Dönemi Kırılmış Piyasa Takas Fiyatı ve Tahmin Edilen Kırılmış Piyasa Takas Fiyatı (Aktivasyon Fonksiyonu: Sigmoid, Eğitim Algoritması: Levenberg Marquardt)**



Grafik 4.18'de 01/11/2013-17/04/2014 dönemi için Kırpılmış Piyasa Takas Fiyatının tahmin değerleri (PTFT) ve gerçekleşen değerleri (PTF) görülmektedir. Aşağıda alt dönemlere ilişkin piyasa takas fiyatı tahmin değerleri ve gerçekleşen piyasa takas fiyatı değerlerini gösteren grafiklere yer verilmiştir.

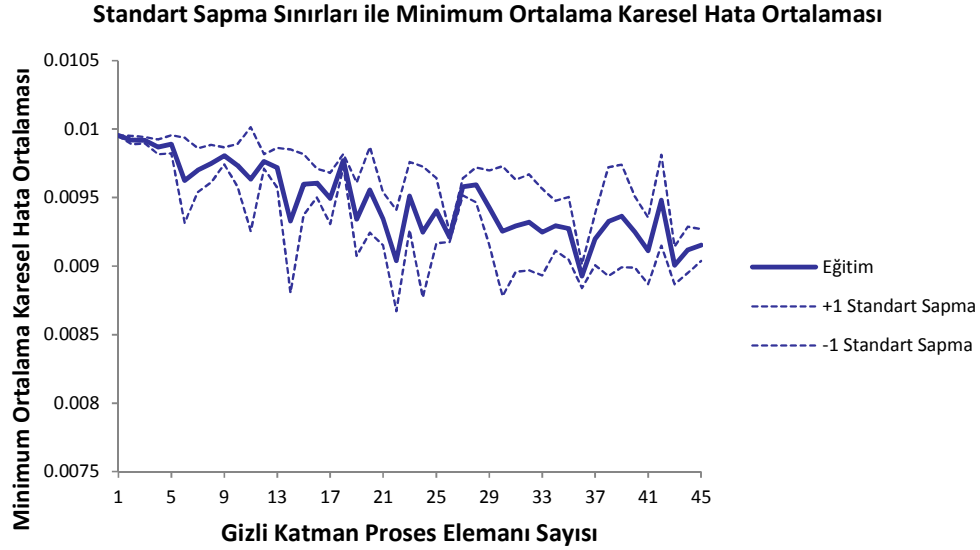




#### 4.2.3.1.3 Hiperbolik Tanjant Aktivasyon Fonksiyonu Momentumlu Geri Yayılım Algoritması için Kırpılmış PTF Tahmin Sonuçları

Kırpılmış Piyasa Takas Fiyatı çok katmanlı algılayıcı ile tahmininde hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu, momentumlu geri yayılım algoritması kullanıldığında girdi değişkenleri ile çıktı değişkenleri arasındaki ilişkiyi gösteren korelasyon katsayısı 0,92 olarak hesaplanmıştır. Çok katmanlı algılayıcının girdi değişkeni sayısı sekiz, gizli katman proses elemanı sayısı 22'dir.

**Grafik 4.19 Hiperbolik Tanjant Aktivasyon Fonksiyonu ve Momentumlu Geri Yayılım Algoritması Kullanılan ÇKA için Ortalama Karesel Hata ile Proses Elemanı Sayısı**



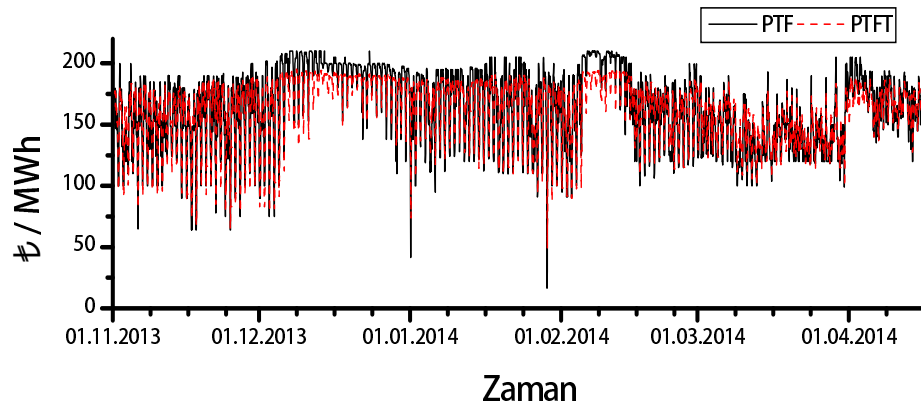
Grafik 4.19'da hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu ve momentumlu geri yayılım algoritması ile eğitilen yapay sinir ağı için minimum hatayı veren gizli katman proses elemanı sayısını göstermektedir. Ağın eğitiminde 1-45 proses elemanı için deneme yapılmış ve minimum hata 22 proses elemanında elde edilmiştir. Bu nedenle çok katmanlı algılayıcı 8x22x1 şeklinde bir yapı seçilmiştir.

**Tablo 4.19 Hiperbolik Tanjant Aktivasyon Fonksiyonu ve Momentumlu Geri Yayılım Algoritması kırılmış PTF Tahmin Performansı**

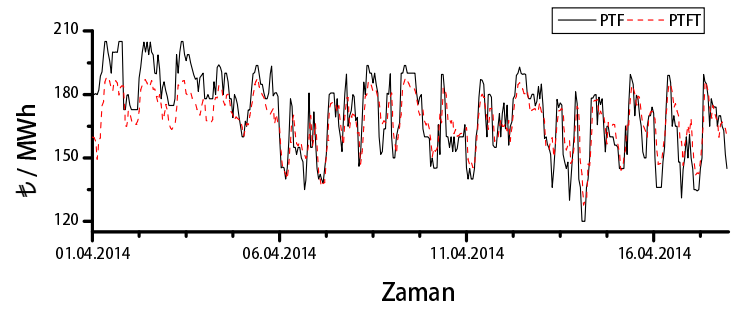
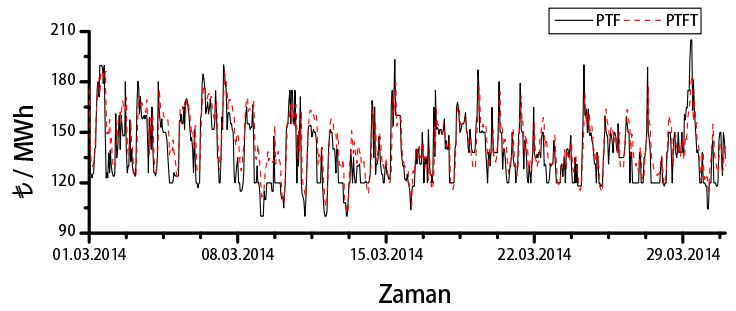
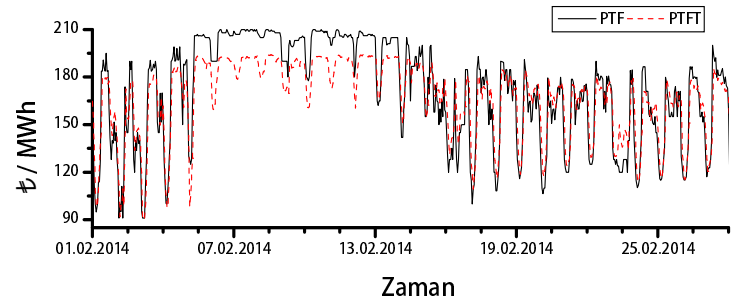
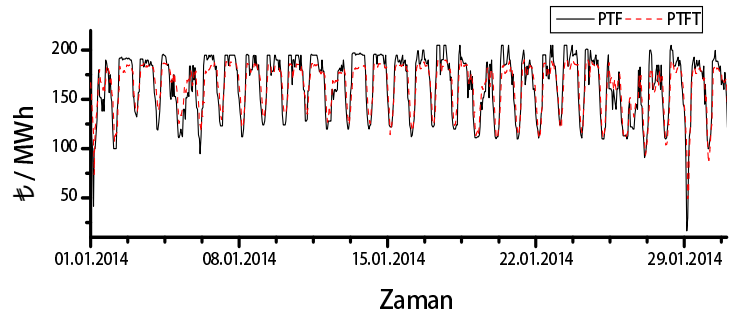
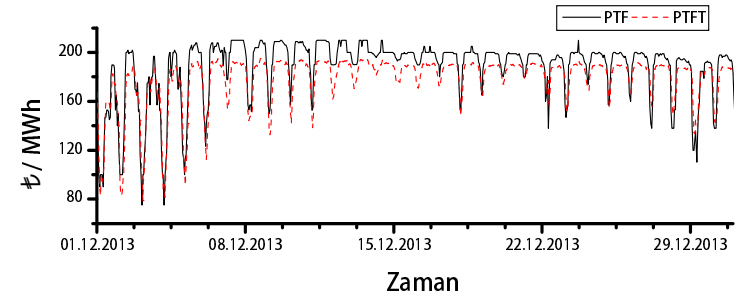
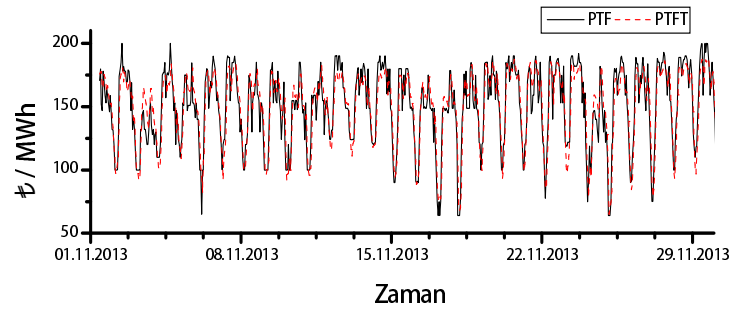
| Tahmin Dönemi         | OMH    | OMYH  | KOH    | TEK   |
|-----------------------|--------|-------|--------|-------|
| 01/11/2013-17/04/2014 | 10.778 | 7.017 | 13.250 | 0.040 |
| 01/11/2013-30/11/2013 | 10.358 | 7.361 | 12.975 | 0.042 |
| 01/12/2013-31/12/2013 | 11.644 | 6.422 | 13.271 | 0.036 |
| 01/01/2014-31/01/2014 | 11.112 | 7.976 | 14.149 | 0.043 |
| 01/02/2014-28/02/2014 | 11.952 | 7.083 | 14.306 | 0.042 |
| 01/03/2014-31/03/2014 | 9.987  | 7.266 | 12.764 | 0.045 |
| 01/04/2014-17/04/2014 | 8.832  | 5.193 | 10.831 | 0.032 |

Tablo 4.19’da aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant eğitim algoritması momentumlu geri yayılım seçildiği durumda kırılmış piyasa takas fiyatı tahmin sonuçlarının performansına ilişkin ortalama mutlak hata, ortalama mutlak yüzde hata, karekök ortalama hata ve Theil’s eşitsizlik katsayısı değerleri yer almaktadır. Kırılmış piyasa takas fiyatı gecikmeli değerleri ve hava sıcaklığı girdi değişkenleri kullanılarak sigmoid aktivasyon fonksiyonu ve momentum algoritması ile eğitimi tamamlanan ve test edilen çok katmanlı algılayıcının tüm tahmin dönemi için ortalama mutlak hatası 10.778, ortalama mutlak yüzde hatası 7.017, karekök ortalama hatası 13,250 ve Theil’s eşitsizlik katsayısı 0.040’dır.

**Grafik 4.20 01/11/2013-17/04/2014 Dönemi Kırılmış Piyasa Takas Fiyatı ve Tahmin Edilen Kırılmış Piyasa Takas Fiyatı (Aktivasyon Fonksiyonu: Hiperbolik Tanjant Eğitim Algoritması: Momentumlu Geri Yayılım)**



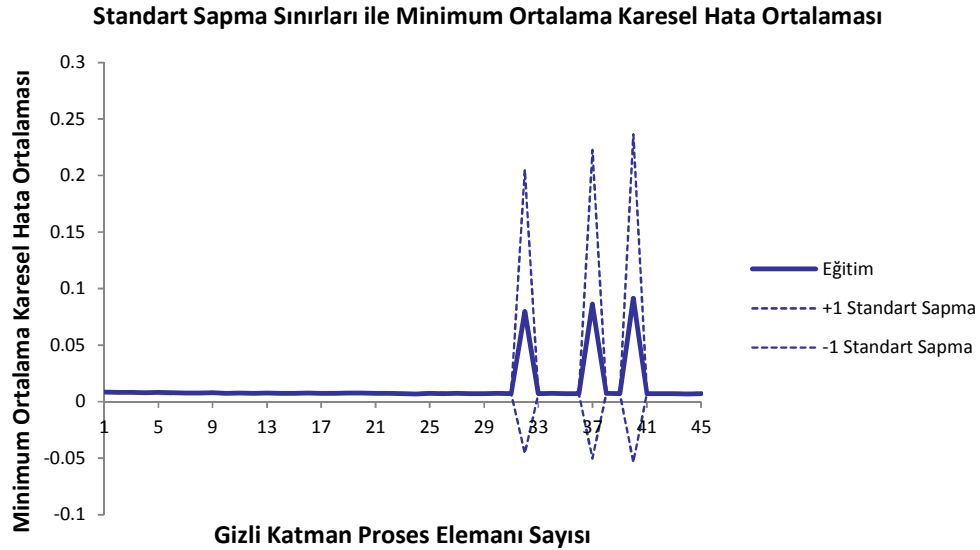
Grafik 4.20'de aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant eğitim algoritması momentum seçildiği durumda kırılmış piyasa takas fiyatı tahminine ilişkin 01/11/2013-17/04/2014 dönemi için Kırılmış Piyasa Takas Fiyatının tahmin değerleri (PTFT) ve gerçekleşen değerleri (PTF) görülmektedir. Aşağıda alt dönemlere ilişkin piyasa takas fiyatı tahmin değerleri ve gerçekleşen piyasa takas fiyatı değerlerini gösteren grafiklere yer verilmiştir.



#### 4.2.3.1.4 Hiperbolik Tanjant Aktivasyon Fonksiyonu Levenberg-Marquardt Algoritması İçin Kırpılmış PTF Tahmin Sonuçları

Kırpılmış Piyasa Takas Fiyatı çok katmanlı algılayıcı ile tahmininde hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu, Levenberg-Marquardt eğitim algoritması kullanıldığında girdi değişkenleri ile çıktı değişkenleri arasındaki ilişkiyi gösteren korelasyon katsayısı 0,90 olarak hesaplanmıştır. Çok katmanlı algılayıcının girdi değişkeni sayısı sekiz, gizli katman proses elemanı sayısı 44'tür.

**Grafik 4.21 Hiperbolik Tanjant Aktivasyon Fonksiyonu ve Levenberg Marquardt Algoritması kullanılan ÇKA için Ortalama Karesel Hata ile Proses Elemanı Sayısı**



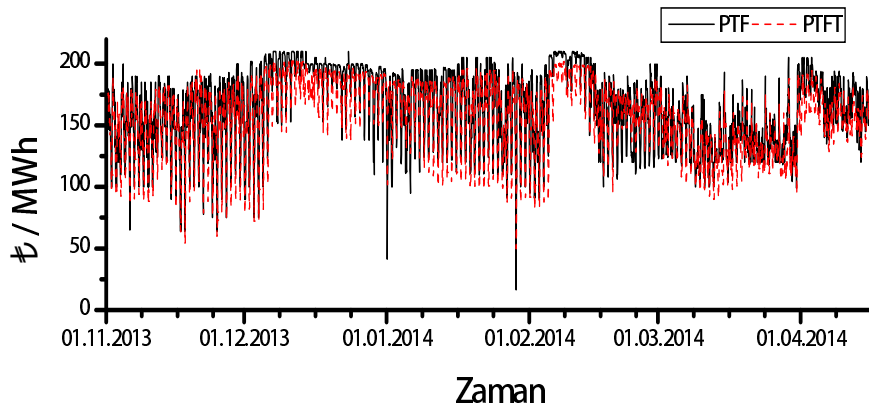
Grafik 4.21'de Hiperbolik Tanjant Aktivasyon Fonksiyonu ve Levenberg Marquardt eğitim algoritması ile eğitilen yapay sinir ağı için minimum hatayı veren gizli katman proses elemanı sayısını göstermektedir. Ağın eğitiminde 1-45 proses elemanı için deneme yapılmış ve minimum hata 44 proses elemanında elde edilmiştir. Bu nedenle çok katmanlı algılayıcı 8x44x1 şeklinde bir yapı seçilmiştir.

**Tablo 4.20 Hiperbolik Tanjant Aktivasyon Fonksiyonu ve Levenberg Marquardt Eğitim Algoritması Kırpılmış PTF Tahmin Performansı**

| Tahmin Dönemi         | OMH    | OMYH  | KOH    | TEK   |
|-----------------------|--------|-------|--------|-------|
| 01/11/2013-17/04/2014 | 11.901 | 7.724 | 14.897 | 0.045 |
| 01/11/2013-30/11/2013 | 10.949 | 7.54  | 13.96  | 0.046 |
| 01/12/2013-31/12/2013 | 12.798 | 7.155 | 15.503 | 0.042 |
| 01/01/2014-31/01/2014 | 11.559 | 8.411 | 14.959 | 0.046 |
| 01/02/2014-28/02/2014 | 12.312 | 7.628 | 14.938 | 0.044 |
| 01/03/2014-31/03/2014 | 11.666 | 8.209 | 15.221 | 0.055 |
| 01/04/2014-17/04/2014 | 12.293 | 7.098 | 14.572 | 0.044 |

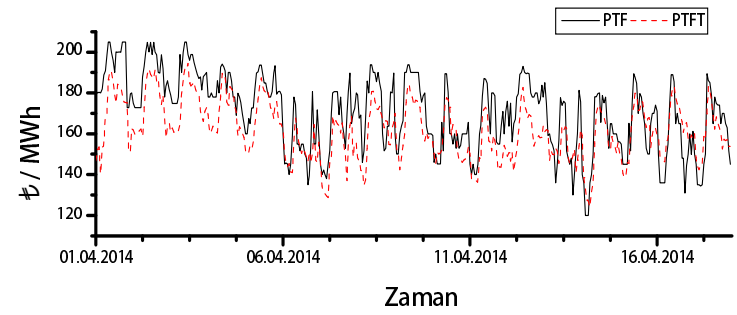
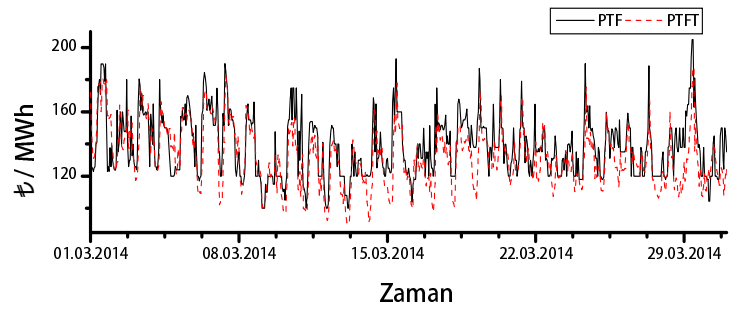
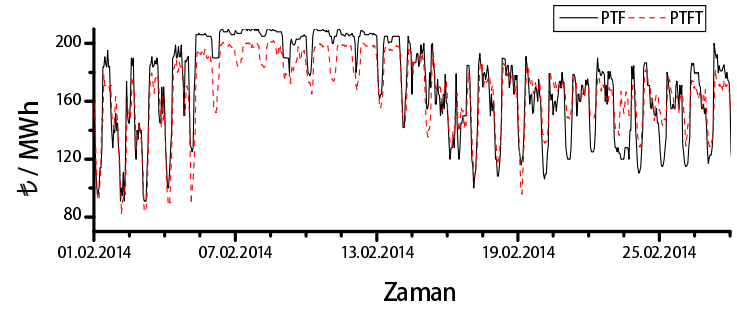
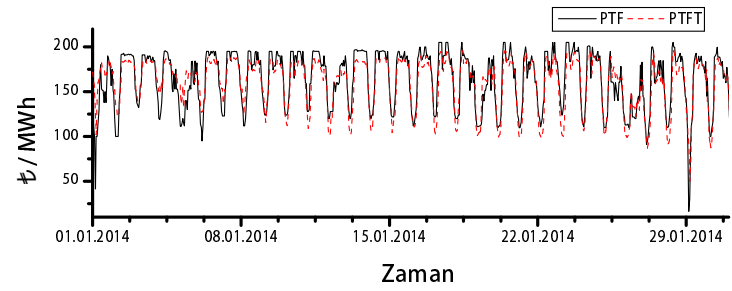
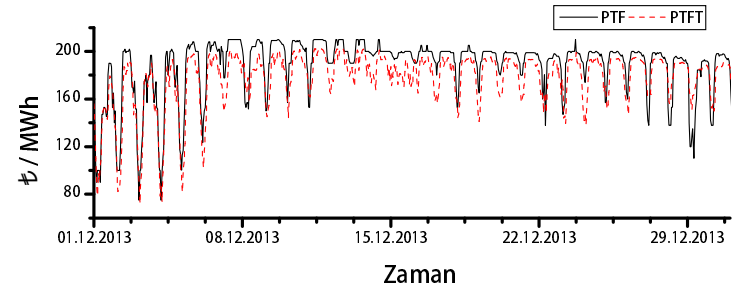
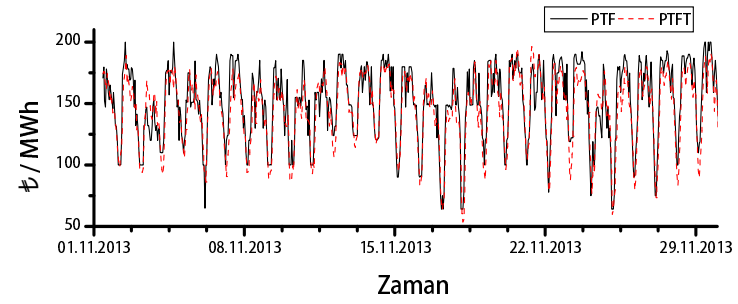
Tablo 4.20’de aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant eğitim algoritması Levenberg Marquardt seçildiği durumda kırpılmış piyasa takas fiyatı tahmin sonuçlarının performansına ilişkin ortalama mutlak hata, ortalama mutlak yüzde hata, karekök ortalama hata ve Theil’s eşitsizlik katsayısı değerleri yer almaktadır. Kırpılmış piyasa takas fiyatı gecikmeli değerleri ve hava sıcaklığı girdi değişkenleri kullanılarak Hiperbolik Tanjant aktivasyon fonksiyonu ve Levenberg Marquardt algoritması ile eğitimi tamamlanan ve test edilen çok katmanlı algılayıcının tüm tahmin dönemi için ortalama mutlak hatası 11.901, ortalama mutlak yüzde hatası 7.724, karekök ortalama hatası 14,897 ve Theil’s eşitsizlik katsayısı 0.045’dir.

**Grafik 4.22 01/11/2013-17/04/2014 Dönemi Kırpılmış Piyasa Takas Fiyatı ve Tahmin Edilen Kırpılmış Piyasa Takas Fiyatı (Aktivasyon Fonksiyonu: Hiperbolik Tanjant Eğitim Algoritması: Levenberg Marquardt)**



Grafik 4.22’de aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant eğitim algoritması Levenberg Marquardt seçildiği durumda kırılmış piyasa takas fiyatı tahminine ilişkin 01/11/2013-17/04/2014 dönemi için Kırılmış Piyasa Takas Fiyatının tahmin değerleri (PTFT) ve gerçekleşen değerleri (PTF) görülmektedir. Aşağıda alt dönemlere ilişkin piyasa takas fiyatı tahmin değerleri ve gerçekleşen piyasa takas fiyatı değerlerini gösteren grafiklere yer verilmiştir.

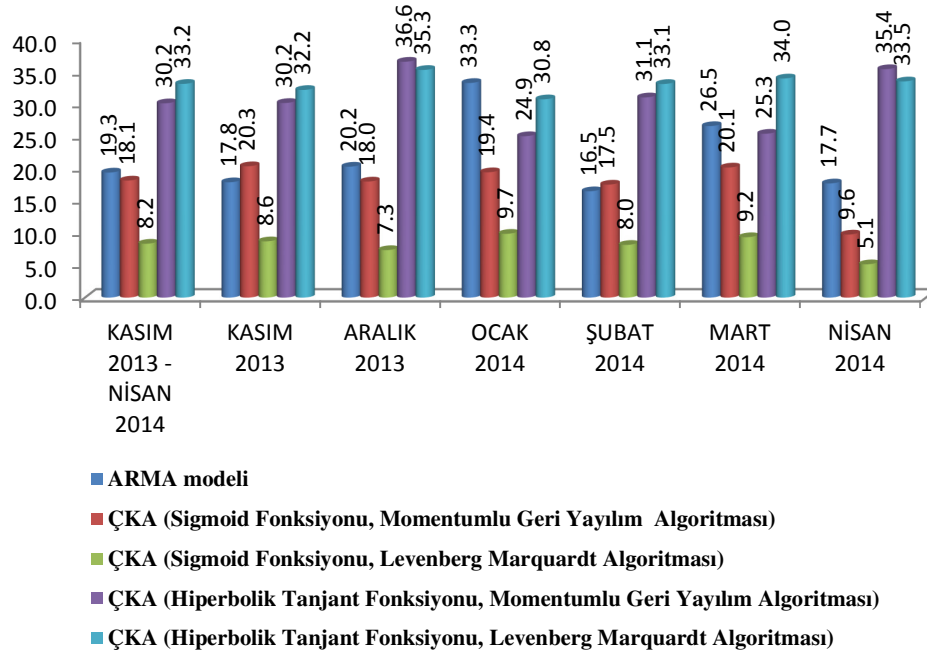




#### 4.2.4 Mevsimsel ARMA modeli ile Çok Katmanlı Algılayıcı Tahmin Performanslarının Karşılaştırılması

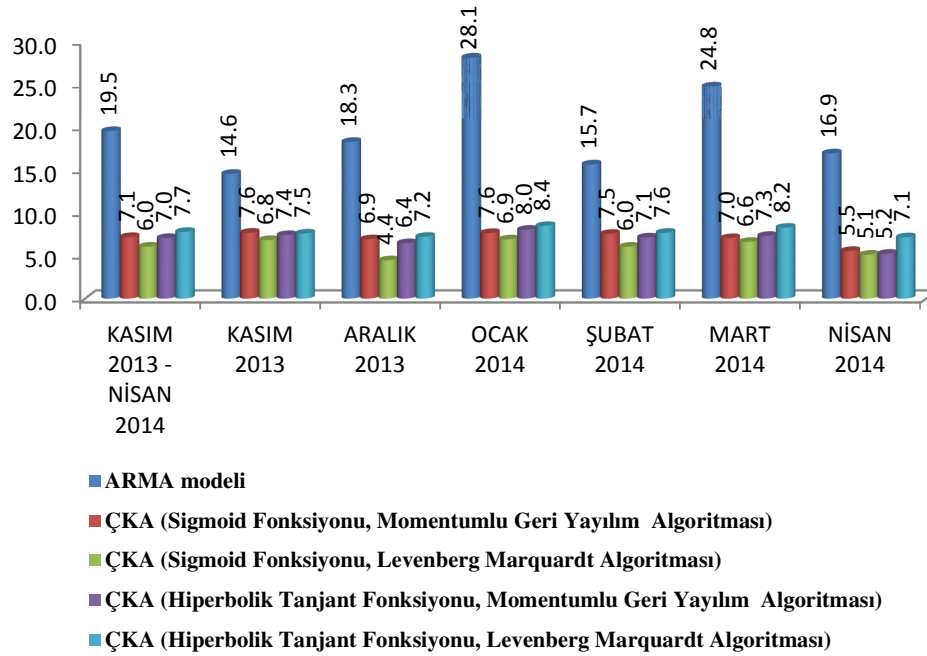
Fiyat tahmin performansları incelendiğinde %8,2 ortalama mutlak yüzde hata ile sigmoid aktivasyon fonksiyonu ve Levenberg- Marquardt algoritması ile eğitilen çok katmanlı algılayıcı piyasa takas fiyatı tahmininde en yüksek performansı sağlamıştır.

**Grafik 4.23 OMYH Kriterine Göre Tahmin Modellerinin Piyasa Takas Fiyatı Tahmin Performansları**



Grafik 4.23'e göre hiperbolik tanjant fonksiyonu ile farklı geri yayılım algoritmalarının kullanıldığı çok katmanlı algılayıcı tahminlerinin performanslarının düşük olduğu görülmektedir. Bunun yanında piyasa takas fiyatı tahmin performansı en düşük model mevsimsel ARMA modeli olmuştur.

**Grafik 4.24 Ortalama Mutlak Yüzde Hata Kriterine Göre Tahmin Modellerinin Kırpılmış Piyasa Takas Fiyatı Tahmin Performansları**



Kırpılmış piyasa takas fiyatı ile yapılan tahminlerin ortalama mutlak yüzde hata kriterine göre performansları grafik 4.24'te görülmektedir. Buna göre piyasa takas fiyatı verilerinde yer alan uç değerlerin model dışına çıkarılması model performanslarını arttırmıştır. Kırpılmış piyasa takas fiyatı için de Kasım 2014- Nisan 2014 dönemi için %6 ortalama mutlak yüzde hata ile en yüksek tahmin performansını sigmoid aktivasyon fonksiyonu ve Levenberg- Marquardt algoritması ile eğitilen çok katmanlı algılayıcı göstermiştir.

Aylara göre tahmin performanslarında meydana gelen yüzde değişimler tablo 4.21'de verilmiştir. Tablo 4.21'de yer alan performans değişimleri, verilerin kırılmasının mevsimsel ARMA modelinin performansını Kasım 2013 için %18,32, Aralık 2013 için %9,81, Ocak 2014 için %15,52, Şubat 2014 için %4,83, Mart 2014 için %6,34 ve Nisan 2014 için %4,15 arttırdığını göstermektedir. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu ile momentumlu geri yayılım algoritması kullanılan çok katmanlı algılayıcının tahmin performansı verilerin kırılması ile Kasım 2013'de %62,42, Aralık 2013'de %61,72, Ocak 2014 de %60,82, Şubat 2014'de %57,08, Mart 2014 de %65,16 ve Nisan 2014 de %42,67 artmıştır.

**Tablo 4.21 Piyasa Takas Fiyatı Verilerini Kırpmanın Model Performanslarına Etkisi (% Değişme)**

|   | <b>KASIM<br/>2013</b> | <b>ARALIK<br/>2013</b> | <b>OCAK<br/>2014</b> | <b>ŞUBAT<br/>2014</b> | <b>MART<br/>2014</b> | <b>NİSAN<br/>2014</b> |
|---|-----------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| <b>Mevsimsel ARMA Modeli</b>  | 18.32                 | 9.81                   | 15.52                | 4.83                  | 6.34                 | 4.15                  |
| <b>ÇKA (Sigmoid Fonksiyonu,<br/>Momentumlu Geri Yayılım<br/>Algoritması)</b>            | 62.42                 | 61.72                  | 60.82                | 57.08                 | 65.16                | 42.67                 |
| <b>ÇKA (Sigmoid Fonksiyonu,<br/>Levenberg-Marquardt<br/>Algoritması)</b>                | 21.04                 | 38.79                  | 29.60                | 25.34                 | 28.76                | 0.02                  |
| <b>ÇKA (Hiperbolik Tanjant<br/>Fonksiyonu, Momentumlu Geri<br/>Yayılım Algoritması)</b> | 75.65                 | 82.44                  | 68.00                | 77.21                 | 71.28                | 85.34                 |
| <b>ÇKA (Hiperbolik Tanjant<br/>Fonksiyonu,Levenberg-Marquardt<br/>Algoritması)</b>      | 76.60                 | 79.73                  | 72.68                | 76.99                 | 75.85                | 78.84                 |

Sigmoid aktivasyon fonksiyonu ile Levenberg-Marquardt algoritması kullanılan çok katmanlı algılayıcının tahmin performansı verilerin kırılması ile Kasım 2013'de %21,04, Aralık 2013'de %38,79, Ocak 2014'de %29,60, Şubat 2014'de %25,34, Mart 2014 de %28,76 ve Nisan 2014 de %0,02 artmıştır. Hiperbolik tanjant fonksiyonu ile momentumlu geri yayılım algoritması kullanılan çok katmanlı algılayıcının performansı verilerin kırılması ile Kasım 2013'de %75,65, Aralık 2013'de %82,44, Ocak 2014'de %68,00, Şubat 2014'de %77,21 Mart 2014 de %71,28 ve Nisan 2014 de %85,34 artmıştır. Hiperbolik tanjant fonksiyonu ile Levenberg-Marquardt algoritması kullanılan çok katmanlı algılayıcının performansı verilerin kırılması ile Kasım 2013'de %76,60, Aralık 2013'de %79,73, Ocak 2014'de %72,68, Şubat 2014'de %76,99 Mart 2014 de %75,85 ve Nisan 2014 de %78,84 artmıştır. Piyasa takas verilerinin kırılması tahmin performansını artırıcı yönde etkili olmuştur.

### 4.3 Sonuç ve Öneriler

Elektrik fiyatlarının tahmininde, elektrik fiyat verileri, üzerinde çalışılan elektrik piyasasının yapısına (özellikle piyasa reform sürecine bağlı olarak piyasadaki rekabet düzeyine) ilişkin özellikler taşımaktadır. Bunun yanı sıra elektriğin diğer mal ve hizmetlerden farklı bir takım özelliklere sahip olması (depolanamama, üretildiği anda tüketilmesi gerekliliği yani arz ile talebinin sürekli dengede tutulması gerekliliği, ekonomik yaşamın her alanında zorunlu bir ihtiyaç olması) da elektrik fiyatlarının zaman içerisinde izleyeceği seyri etkilemektedir.

Günümüzde elektrik piyasalarındaki reform süreci ve elektrik enerjisinin kendine has özellikleri ile birleştirildiğinde, mevcut piyasa yapıları içerisinde elektrik fiyatlarının belirlenmesinde gerçekleştirilen uygulamalar elektrik enerjisi üreten ve tüketen kesimleri yakından ilgilendirmektedir. Özellikle reform süreci sonrası toptan ve perakende elektrik piyasalarında yaşanan serbestleşme, enerji borsaları ve enerji vadeli işlem borsalarının ortaya çıkışı elektrik enerjisi fiyatlarının tahmini konusunu gündeme getirmiştir. Daha önceki bölümde değinildiği üzere literatürde elektrik fiyatlarının tahminine yönelik çeşitli yöntemler kullanılmakta ve bu yöntemler performansları bakımından karşılaştırılmaktadır. Elektrik fiyatlarının tahminine (öngörüsüne) yönelik çalışmaların temel amacı elektrik fiyatlarının izleyeceği seyir hakkında bilgi edinmek, öngörü performansı yüksek olan yöntemleri tespit etmek ve bu yöntemlerle ilgili karşılaştırmalar sunarak piyasa katılımcılarına ve elektrik piyasalarını takip eden aktörlere elektrik fiyatlarının yapısı konusunda bilgi sunmaktır. Bu çalışmada da elektrik fiyatlarının tahmininde tek değişkenli doğrusal zaman serisi tekniği olan Otoregresif Hareketli Ortalama Modelleri ile zaman serileri ile öngörüde kullanılan yapay sinir ağı modellerinden Çok Katmanlı Algılayıcının Ocak 2012- Nisan 2014 dönemi için Türkiye’de gün öncesi piyasada oluşan saatlik elektrik fiyatlarının öngörüsü konusundaki performansları karşılaştırılmıştır. Türkiye Elektrik Piyasası için Sistem Gün Öncesi Fiyatı (Piyasa Takas Fiyatı) öncelikle bir mevsimsel ARMA süreci olarak tanımlanarak öngörü gerçekleştirilmiştir. Ardından piyasa takas fiyatı verilerindeki uç değerler kırılarak mevsimsel ARMA süreci yeniden tanımlanmış ve öngörü gerçekleştirilmiştir. Benzer şekilde çok katmanlı algılayıcı ile piyasa takas fiyatı ve uç değerlerin olmadığı kırılmış piyasa takas fiyatı öngörülleri gerçekleştirilmiştir. Çok katmanlı algılayıcı ile öngörüde farklı aktivasyon fonksiyonu ve öğrenme algoritmaları ile çalışılarak öngörü

performansının değişimi incelenmiştir. Öngörü performansları bakımından kırılmış piyasa takas fiyatı verileri ile öngörü performansının arttığı, tahmin döneminin içine aldığı Kasım 2013 –Nisan 2014 döneminde alt dönemler itibariyle öngörü performanslarının farklılaştığı, oynaklığın düşük olduğu dönemlerde doğrusal ARMA modellerinin performansının yükseldiği, oynaklığın yüksek olduğu dönemlerde çok katmanlı algılayıcının performansının yükseldiği gözlemlenmiştir. Ayrıca çok katmanlı algılayıcı ile öngörüde çok katmanlı algılayıcının tasarımında kullanılan aktivasyon fonksiyonu ve öğrenme algoritmasına göre öngörü performansında farklılıklar ortaya çıkmıştır.

Elektrik fiyatlarının modellenmesi üzerine bir çok piyasa için çalışmalar yapılmakta ve tahmin modelleri uygulanan piyasalar farklı yapılara sahiptir. Bu nedenle piyasanın özelliği, ilgili piyasanın faaliyet gösterdiği ülkenin ya da bölgenin coğrafi konumu, kaynak yapısı, iklim koşulları ve elektrik piyasası reform uygulamalarının hangi safhasında olduğu gibi etkenler fiyat modellemesi üzerinde etkili olmaktadır.

Piyasa takas fiyatı tahmin sonuçları incelendiğinde tüm tahmin dönemi ve alt dönemler için en yüksek tahmin performansı sigmoid aktivasyon fonksiyonu ve Levenberg- Marquardt eğitim algoritmasının kullanıldığı çok katmanlı algılayıcı ile elde edilmiştir. Literatürde Ranjbar, Soleymani, Sadati ve Ranjbar (2006) Kanada Ontario eyaleti için yapmış oldukları çalışmada Levenberg-Marquardt algoritması ile benzer sonuçlara ulaşmışlardır. Kölmek (2012) Türkiye elektrik piyasası için yapmış olduğu fiyat tahminlerinde sigmoid transer fonksiyonu ve Levenberg Marquardt algoritması kullanarak oteregresif bütünleşik hareketli ortalama modelinden daha yüksek tahmin performansı elde etmiştir. Hamzaçebi (2011)'e göre çok katmanlı algılayıcı ile tahminlerde problemin türüne göre farklı türde aktivasyon fonksiyonları kullanılabilir. Çalışmada Türkiye elektrik piyasası verileri ile yapılan tahminlerde hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonunun kullanımının sigmoid fonksiyonuna göre tahmin performansını olumsuz etkilediği görülmüştür.

Tahmin performansları alt dönemler için incelendiğinde mevsimsel ARMA ve çok katmanlı algılayıcı için en yüksek tahmin performansının nisan ayında gerçekleştiği görülmektedir. Literatürde Catalao, Mariano, Mendes ve Ferreira

(2007) ve Vahidinasab, Jadid ve Kazemi (2007) çalışmalarında İspanya, Kaliforniya ve PJM elektrik piyasaları için benzer bulgulara ulaşılmıştır.

Elektrik fiyatları tahmininde, tahmin performansını arttırmak için doğrusal ve doğrusal olmayan zaman serisi modelleri, farklı ağ mimarisine sahip yapay sinir ağı modelleri, hibrit modeller, simulasyon modellerinin kullanılmasının yanı sıra tahmin performansını arttırmak için elektrik fiyat verileri ile ilgili düzenlemeler de yapılmaktadır. Literatürde elektrik fiyatlarının yüksek oynaklığa sahip olması yani fiyatlarda zaman zaman meydana gelen sıçramaları dikkate alarak model tanımlaması yapan çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalarda fiyatlarda meydana gelen bu aşırı uç değerlerin normalleştirilmesine ilişkin çeşitli uygulamalara yer verilmektedir. Carpio, Go ve Roncal (2012), Georgilakis (2007), Ranjbar, Soleymani, Sadati ve Ranjbar (2006) ve Kölmek (2012) çalışmaları verilerle ilgili bahsedilen uygulamalara yer verilen çalışmalardan bazılarıdır.

Bu çalışmada da tahmin metodunun tahmin performansına etkisinin yanı sıra veri özelliklerine yönelik yapılacak olan bir çalışmanın tahmin performansına etkisi değerlendirilmiştir. Türkiye elektrik piyasasına ilişkin veri setinde yer alan aşırı uç değerler fiyat modellemesinden önce elimine edilerek elde edilen kırılmış piyasa takas fiyatı verileriyle çok katmanlı algılayıcı ve mevsimsel ARMA modelleri ile fiyat tahminleri tekrarlanmıştır. Türkiye elektrik piyasası piyasa takas verileri için gerçekleştirilen bu yeni düzenleme tahmin performanslarını tüm tahmin dönemi ve alt dönemler için olumlu etkilemiştir.

Tahminlerde kullanılan verilerin kırılması ile model tahmin performanslarında meydana gelen artışlar literatürde ulaşılan sonuçlarla benzerlik göstermektedir. Literatürde de fiyat oynaklığıyla ilgili gerçekleştirilen veri dönüşümleri model performansını arttırmaktadır. Fiyat sıçramalarının ortadan kaldırıldığı durumda da yapay sinir ağları ile yapılan tahminler daha yüksek performans sağlamaktadır.

Bu çalışmada uygulanan yöntem ve bulgular ışığında bu alanda yürütülecek yeni çalışmalar için aşağıdaki öneriler dikkate alınabilir:

- 1- Tahmin performansının artırılmasında YSA ile yapılan tahminlerde farklı aktivasyon fonksiyonu ve eğitim algoritmaları kullanılmalıdır.

- 2- Elektrik saatlik fiyat tahmininde verilerin gün içi, haftanın günü ve ayın belirli günlerinde mevsimsel özellikler taşımasından dolayı elektrik fiyatları modellemelerinde bu mevsimsel özellikler dikkate alınmalıdır.
- 3- Elektrik fiyat tahmininde YSA'nın tek değişkenli doğrusal zaman serisi tekniklerine kıyasla daha yüksek performans sağlayacağı literatüre paralel olarak çalışmamızda da tespit edilmiştir. Bu nedenle konu hakkında çalışma yapacak olan araştırmacıların tahmin yöntemi seçiminde bu durumu dikkate almaları önerilebilir.
- 4- Fiyat tahmininde tahmin performansının sadece model seçimine değil; veri özelliklerini tanımakla da yakından ilişkili olduğu unutulmamalıdır. Özellikle elektrik piyasasında veri setinde aşırı uç değerler bulunabilmektedir. Bu değerlerin model dışına çıkarılması, literatürde olduğu gibi tahmin performansını arttırmıştır. Bu nedenle elektrik fiyatlarının tahmin edileceği çalışmalarda da bu uç değerlerin model dışı bırakılması önerilebilir.



## KAYNAKÇA

- Aggarwal S. K., Saini L. M. ve Kumar A. (2009). "Electricity price forecasting in deregulated markets: A review and evaluation", *Electrical Power and Energy Systems*, 31 (1) pp. 13-22
- Akça, H. (2007). Regülasyon Ekonomisi, *Nobel Kitabevi*, Adana.
- Ardıyok, Ş. (2002). Doğal Tekeller ve Düzenleyici Kurumlar, Türkiye için Düzenleyici Kurum Modeli, Rekabet Kurumu, Lisansüstü Tez Serisi No:9, Yayın No:77, ANKARA.
- Atıyas İ. (2006). "Elektrik Sektöründe Serbestleşme ve Düzenleyici Reform", *Tesev Yayınları*, ISBN 975-8112-69-4 [http://www.tesev.org.tr/assets/publications/file/Elektrik%20Sekt%C3%B6r%C3%BCnde%20Serbestle%C5%9Fme%20ve%20D%C3%BCzenleyici%20Reform\\_02.01.2006.pdf](http://www.tesev.org.tr/assets/publications/file/Elektrik%20Sekt%C3%B6r%C3%BCnde%20Serbestle%C5%9Fme%20ve%20D%C3%BCzenleyici%20Reform_02.01.2006.pdf) (Erişim Tarihi: 22.09.2013)
- Aydın K. (2010). "Türkiye Elektrik Piyasasında Fiyat Değişimlerinin Analizi", *Sakarya Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Doktora Tezi*, Sakarya.
- Baumol, W.J. (1977). "On the Proper Cost Tests for Natural Monopoly in a Multiproduct Industry", *The American Economic Review*, Vol.67, No.5, pp. 809-822.
- Baumol, W. J. (1982). "An Uprising in the Theory of Industry Structure", *The American Economic Review*, Vol.72, No.1, pp.1-15.
- Baumol, W.J., Bailey, E. E. and Willig, R.D. (1977). Weak Invisible Hand Theorems on the Sustainability of Multiproduct Natural Monopoly, *The American Economic Review*, Vol.67, No.3, pp.350-365.
- 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*.

- Bölük G. (2010). “Türkiye Elektrik Piyasasında Düzenleyici Reform ve Performans”, *Rekabet Ekonomisi ve Politikası Sempozyumu-III, Türkiye Rekabet Kurumu ve Pamukkale Üniversitesi İİBF*, Denizli.
- Bowden N., Payne J.E. (2008). Short Term Forecasting of Electricity Prices for MISO hubs: Evidence from ARIMA- EGARCH models, *Energy Economics*, 30 3186-3197.
- Bozkurt H., (2007). Zaman Serileri Analizi, Ekin Basım Yayın, BURSA.
- Camadan E. (2010). “Türkiye’de Elektrik Toptan Ticaret Piyasası ve Fiyat Oluşumu”, *Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*.
- Carpio K.J.E, Go A.M.L., Roncal C.K.M. (2012). “Forecasting Day- Ahead Electricity Prices of Singapore through ARIMA and Wavelet- ARIMA”, *DLSU Business&Economics Review*, 22.1, s. 97-118.
- Catalao J. P. S., Pousinho H. M. I. ve Mendes V. M. F. (2011). “Short-term electricity prices forecasting in a competitive market by a hybrid intelligent approach”, *Energy Conversion and Management*, Vol. 52 Iss. 2 pp. 1061-1065
- Catalao J. P. S., Mariano S. J. P. S., Mendes V. M. F. ve Ferreira L. A. F. M. (2007). “Short-term electricity prices forecasting in a competitive market: A neural network approach”, *Electric Power Systems Research*, , Vol. 77 Iss. 10 pp. 1297-1304
- Colpier U. C. ve Cornland D. (2002). “The economics of the combined cycle gas turbine – an experience curve analysis”, *Energy Policy*, Vol. 30 Iss. 4. pp. 309-316
- Contreras J., Espinola R., Nogales F. J. ve Conejo A. J. (2003). “ARIMA Models to Predict Next-Day Electricity Prices”, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 18 Iss. 3 pp. 1014-1020

- Cuaresma J.C., Hlouskova J., Kossmeier S., Obersteiner M. (2004). "Forecasting Electricity Spot-Prices Using Linear univariate Time-Series Models", *Applied Energy*, 77, pp. 87-106.
- Çakal, R. (1996). "Doğal Tekellerde Özelleştirme ve Regülasyon", *DPT Uzmanlık Tezi*, DPT Yayın No: 2455, Ankara.
- Çetintaş H. ve Çetin T. (2004). "Elektrik Piyasasında Rekabetçi Uygulamalar", *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi*, Cilt 9 Sayı 1 ss 111-137.
- Davut, L. (1996). "Yarışılabilir Piyasalar", *Ankara Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi*, Cilt.51, Sayı.1.
- Demsetz, H. (1968). "Why Regulate Utilities?", *Journal of Law and Economics*, Vol. 11, pp.55-65.
- Diongue, A.K., Guegan, D., Vignal B. (2009). "Forecasting electricity Spot Market Prices with k-factor GIGARCH Process", *Applied Energy*, 86, pp.505-510.
- Elektrik Piyasası Dengeleme Uzlaştırma Yönetmeliği (14.04.2009) Resmi Gazete, 27200.
- Enders W. (2003), *Applied Econometric Time Series*, 2nd. Eddition, Wiley Series in Probability and Statistics.
- Erdem F. Ş., Yürekli, Z. (2006). "AB Enerji Politikalarına Genel Bir Bakış", Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, *TÜRKİYE 10. ENERJİ KONGRESİ*  
[http://www.dektmk.org.tr/pdf/enerji\\_kongresi\\_10/FSuleErdemTeias.pdf](http://www.dektmk.org.tr/pdf/enerji_kongresi_10/FSuleErdemTeias.pdf)  
(Erişim Tarihi, 15.11.2013).
- Escribano A., Pena J. I. ve Villaplana P. (2011). "Modelling Electricity Prices: International Evidence", *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, Vol. 73 Iss. 5 pp. 622-650
- EPDK, (2010). Elektrik Piyasası Raporu, [http://www.epdk.gov.tr/documents/elektrik/rapor\\_yayin/ElektrikPiyasasiRaporu2010.pdf](http://www.epdk.gov.tr/documents/elektrik/rapor_yayin/ElektrikPiyasasiRaporu2010.pdf), (Erişim Tarihi: 20.11.2013).

- EPDK (2012). Enerji Yatırımcısı El Kitabı. [http://www.epdk.org.tr/documents/strateji/rapor\\_yayin/yatirimciel\\_kitabi/Sgb\\_Rapor\\_Yayin\\_Yatirimciel\\_Kitabi\\_Tr\\_2012\\_y6Xj7FNVt7F6.pdf](http://www.epdk.org.tr/documents/strateji/rapor_yayin/yatirimciel_kitabi/Sgb_Rapor_Yayin_Yatirimciel_Kitabi_Tr_2012_y6Xj7FNVt7F6.pdf) (Erişim Tarihi: 12.01.2014)
- Georgialakis P.S. (2007). “Artificial Intelligence Solution to electricity Price Forecasting Problem”, *Applied Artificial Intelligence: An international Journal*, 21:8, 707-727.
- Girish, G.P. ve Vijayalakshmi, S. (2013). Determinants of Electricity Price in Competitive Power Market, *International Journal of Business and Management*, Vol.8, No.21.
- Gök, M. (2006). “Kamu Ekonomisinde Doğal Tekeller Kentsel Su Hizmetleri (İSKİ Örneği)”, *Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Maliye Anabilim Dalı, Maliye Teorisi Bilim Dalı, Doktora Tezi, İstanbul*.
- Gujarati D. N., Porter D. (2012). “Temel Ekonometri”, Beşinci Basımdan Çeviri, (Çev. Şenesen Ü., Şenesen G.G.), İstanbul, Literatür Yayıncılık.
- Günalp, B. (2002). “Yarışılabilir Piyasalar Yaklaşımı ve Rekabet Politikaları”, Gazi Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 3/2002, s. 49-66.
- Hamzaçebi C. (2011). “Yapay Sinir Ağları (Tahmin Amaçlı Kullanımı Matlab ve Neurosolutions Uygulamalı)”, *Ekin Yayınevi, BURSA*.
- Hickey E., Loomis D.G., Mohammadi H. (2012). “Forecasting Hourly Electricity Prices Using ARMAX-GARCH Models: An Application to MISO Hubs”, *Energy Economics*, 34, pp.307-315.
- Hunt S. (2002). “Making Competition Work in Electricity”, *John Wiley & Sons Ltd*, ISBN 0-471-22098-1
- Jamasb T. ve Pollitt M. (2005). “Electricity Market Reform in the European Union: Review of Progress toward Liberalization & Integration”, *Center for Energy and Environmental Policy Research*, 05-003 WP.

- Jamasb T., Mota R., Newbery D. ve Pollitt M. (2005). “Electricity Sector Reform in Developing Countries: A Survey of Empirical Evidence on Determinants and performance”, *World Bank Policy Research Working Paper 3549*.
- Joskow, P. L. (2005). “Regulation of Natural Monopolies”, *Center for Energy and Environmental Policy Research, Working Paper, 05-008*.
- Joskow P. L. (2008), “Lessons Learned From Electricity Market Liberalization”, *Energy Journal, Vol. 29 Iss. 2 pp. 9-42*
- Karamustafaoğlu M. (2007). “Elektrik Üretimi Pazarındaki Mevcut Sözleşmelerin Pazarın Rekabetçi Yapısı Üzerindeki Etkileri”, *Rekabet Kurumu Uzmanlık Tezleri Serisi 5. Dönem*.
- Kölmek, M. A. (2012). Türkiye Elektrik Dengeleme ve Uzlaştırma Piyasasındaki Sistem Gün Öncesi Fiyatının Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Modellenmesi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*.
- Liu H., Shi J. (2013). “Applying ARMA-GARCH Approaches to Forecasting Short Term Electricity Prices”, *Energy Economics, 37*, pp.152-166.
- Mandal P., Senjyu T., Urasaki N., Funabashi T., Srivastava A.K. (2007). “A Novel Approach to Forecast Electricity price for PJM Using Neural Network and Similar Days Method”, *IEEE Transactions on power systems, Vol22, No.4*, 2058-2065.
- Mehrotra K., Mohan C.K., Ranka S. (1996). “Elements of Artificial Neural Networks”, Bradford Books.
- Nogales F. J., Contreas J., Conejo A. J., Espinola R. (2002). “Forecasting Next-Day Electricity Prices by Time Series Models”, *IEEE Transactions on Power Systems, Vol 17*, p. 342-348.
- Özcan E.E. (2010), “İdare Hukuku açısından Türkiye’de Elektrik Sektörünün Regülasyonu ve Avrupa Birliği, Rusya, Çin ve Güney Amerika Uygulamaları”, *Turhan kitabevi, ANKARA*.

- Özercan M. (2007). “Elektrik Endüstrisinin Yeniden Yapılandırılması ve Deregülasyonu Sürecinde Perakende Satış Rekabeti”, *Rekabet Kurumu Uzmanlık Tezleri Serisi 5. Dönem*.
- Özgüner, E. (2012). “Short Term Electricity Price Forecasting In Turkish Electricity Market”, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, Ankara*.
- Öztemel, E. (2012). *Yapay Sinir Ağları*, Papatya Yayıncılık, İSTANBUL.
- Pao H. (2007). “Forecasting electricity market pricing using artificial neural networks”, *Energy Conversion and Management, Vol. 48 Iss. 3 pp. 907-912*
- Panzar, J. C. and Willig, R. D. (1977). “Free Entry and The Sustainability of Natural Monopoly”, *The Bell Journal of Economics, Vol.8, No.1*, pp. 1-22.
- Paşaoğlu, Ö. (2003). “Doğal Tekellerde Regülasyon ve Rekabet Bir Örnek: İngiliz Elektrik Sektörünün Yeniden Yapılandırılması”, *Rekabet Kurumu Uzmanlık Tezi, Yayın No:96*.
- Pindoriya N.M., Singh S.N., Singh S.K. (2008). “An Adaptive Wavelet Neural Network-Based Energy Price Forecasting in Electricity Markets”, *IEEE Transactions on Power Systems, Vol 23*, 1423-1432.
- PMUM, (2013). “Gün Öncesi Piyasası Kullanıcı Kılavuzu”, Elektrik Piyasaları İşletme Dairesi Başkanlığı,  
[https://www.pmum.gov.tr/pmumportal/belgeler/gop/GOP\\_KULLANICI\\_KILAVUZ\\_U\\_v1.1.1.pdf](https://www.pmum.gov.tr/pmumportal/belgeler/gop/GOP_KULLANICI_KILAVUZ_U_v1.1.1.pdf) (Erişim Tarihi: 15.07.2014).
- Ranjbar M., Soleymani S., Sadati N., Ranjbar A.M. (2006). “Electricity Price Forecasting Using Artificial Neural Network”,  
<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4148001> (Erişim Tarihi: 20.06.2014).
- Senyücel, O. (2012). Türkiye’de Elektrik Dağıtımında Hizmet Kalitesi ve Etkinlik Ölçümü, Rekabet Kurumu, Yayın No: 0274.

- Sevüktekin, M., ve M. Nargeleçekenler (2010). “Ekonometik Zaman Serileri Analiz: E-views Uygulamalı”, *Geliştirilmiş Üçüncü Baskı*, Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.
- Sharkey, W. W. (1982). “The Theory of Natural Monopoly”, Cambridge University Press.
- Sheleifer, A. (1985). A Theory of Yardstick Competition, *Rand Journal of Economics*, Vol.16, No.3, pp. 319-327.
- Shepherd, W. G. (1984). “Contestability vs. Competition”, *The American Economic Review*, Vol.74, No.4, pp. 572-587.
- Szkuta B.R., Sanabria L.A., Dillon T.S. (1999). “Electricity Price Short-Term forecasting Using Artificial Neural Networks”, *IEEE Transactions on power Systems*, vol.14, s.851-857.
- Taylor J.W. (2010). “Triple Seasonal Methods for Short-Term Electricity Demand Forecasting”, *European Journal of Operational Research*, 204, 139-152.
- Tokyay, M. B., Özdemir, I.S., (2013). “Türkiye Elektrik Piyasası, Türkiye Elektrik Piyasası’nda Elektrik Ticareti”, Accenture Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Birimi  
[http://www.accenture.com/SiteCollectionDocuments/Local\\_Turkey/PDF/Accenture-Turkiye-Enerji-Piyasasi-Rapor.pdf](http://www.accenture.com/SiteCollectionDocuments/Local_Turkey/PDF/Accenture-Turkiye-Enerji-Piyasasi-Rapor.pdf) (Erişim Tarihi: 25.10.2014)
- Train, K. E. (1991). “Optimal Regulation The Economic Theory of Natural Monopoly”, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England.
- Vahidinasab V., Jadid S., Kazemi A. (2008). Day-ahead Price Forecasting in Restructured Power Systems using Artificial Neural Networks, *Electric Power Systems Research*,78, s. 1332-1342.
- Ventosa M., Baillo A., Ramos A. ve Rivier M. (2005). “Electricity market modeling trends”, *Energy Policy*, Vol. 33 Iss. 7 pp. 897-913.
- Vogelsang, I. (1999). “Optimal Price Regulation for Natural and Legal Monopolies”, *Economia Mexicana, Nueva Epoca*, Vol. VIII, Issue 1, pages 5-43.

Wang, A., Ramsay B. (1997). “Prediction of System marginal price in the UK Power pool Using Neural Networks”, <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=614232> (Erişim Tarihi: 20.06.2014).

Weron R., Misiorek A. (2005), “Forecasting Spot Electricity Prices With Time Series Models”, International Conference, The European Electricity Market EEM-05, Lodz, Poland, Proceedings Volume.

Zhang J., Cheng c. (2008). “Day-Ahead Electricity price Forecasting Using Artificial Intelligence”, IEEE Electrical power&Energy Conference.

Zhou M., Yan Z., Ni Y., Li G, (2004), An ARIMA Approach to Forecasting Electricity Price with Accuracy Improvement by Predicted Errors, Power Engineering Society General Meeting, 6-10 June 2004, vol.1, pp.233-238.

3096 Sayılı Türkiye Elektrik Kurumu Dışındaki Kuruluşların Elektrik retimi, İletimi ve Ticareti ile Görevlendirilmesi Hakkında Kanun, Resmi Gazete Sayı: 18610 (19.12.1984).

4628 Sayılı Elektrik Piyasası Kanunu, Resmi Gazete Sayı:24335( 03.03.2001).

6446 Sayılı Elektrik Piyasası Kanunu, Resmi Gazete sayı: 28603 (30.03.2013).

<http://www.temidata.com/tr/733/Enerji-Piyasasi-Verileri> (Erişim Tarihi: 25.04.2014)

<https://rapor.pmum.gov.tr/rapor/xhtml/ptfSmfListeleme.xhtml> (Erişim Tarihi: 25.04.2014).