

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TÜRKİYE ELEKTRİK PİYASASINDA FİYAT OLUŞUMUNUN
ANALİZİ, FİYAT TAHMİN MODELLERİ:
TÜRKİYE UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TUĞÇE DİKBAŞ

DENİZLİ, KASIM - 2019

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**TÜRKİYE ELEKTRİK PİYASASINDA FİYAT OLUŞUMUNUN
ANALİZİ, FİYAT TAHMİN MODELLERİ:
TÜRKİYE UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TUĞÇE DİKBAŞ

DENİZLİ, KASIM - 2019

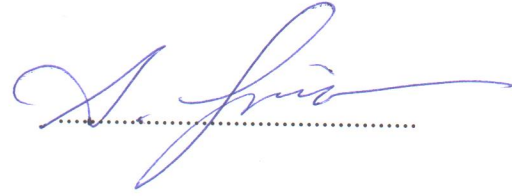
KABUL VE ONAY SAYFASI

TUĞÇE DİKBAŞ tarafından hazırlanan “TÜRKİYE ELEKTRİK PİYASASINDA FİYAT OLUŞUMUNUN ANALİZİ, FİYAT TAHMİN MODELLERİ: TÜRKİYE UYGULAMASI” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 20.11.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

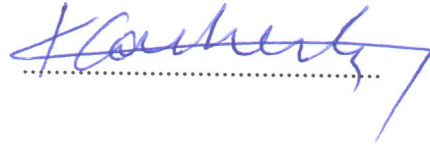
Jüri Üyeleri

İmza

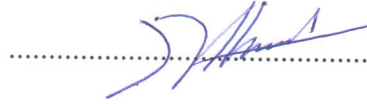
Danışman
Prof. Dr. Aşkıner GÜNGÖR



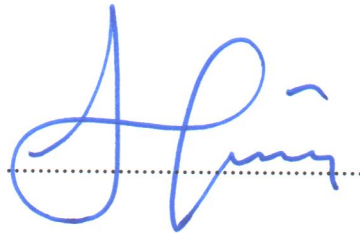
Üye
Doç. Dr. Can Berk KALAYCI
Pamukkale Üniversitesi



Üye
Doç. Dr. Aslan Deniz KARAOĞLAN
Balıkesir Üniversitesi



Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
18/12/2019 tarih ve ...50/16... sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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



TUĞÇE DİKBAŞ

ÖZET

**TÜRKİYE ELEKTRİK PİYASASINDA FİYAT OLUŞUMUNUN ANALİZİ,
FİYAT TAHMİN MODELLERİ: TÜRKİYE UYGULAMASI**
YÜKSEK LİSANS TEZİ
TUĞÇE DİKBAŞ
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. AŞKİNER GÜNGÖR)
DENİZLİ, KASIM - 2019

Elektrik üretiminde verimlilik artışını sağlamak ve elektrik fiyatlarını düşürmek amacıyla pek çok ülkede olduğu gibi Türkiye’de de serbest elektrik piyasasına geçilmiştir. Bu serbestleşmenin doğal bir sonucu olarak, günümüzdeki gelişmiş elektrik piyasalarında olduğu gibi, tamamen arz-talep dengesine göre gün içerisindeki farklı zamanlarda farklı seviyelerde belirlenen fiyatlar söz konusu olmuştur. Fiyatlarda ortaya çıkan bu oynaklık, bir taraftan piyasada faaliyet gösteren aktörler önde olmak üzere diğer ilişkili kişi, kurum ve kuruluşları ileri vadede güvenilir fiyat tahminlerine sahip olmaya, diğer taraftan ise ilgilileri ve araştırmacıları bu yönde çalışmaya yöneltmiştir. Bu çalışmada, gün öncesi piyasasına sunulan tekliflerin arz ve talebe göre eşleşmesiyle oluşan saatlik elektrik enerjisi fiyatı olarak tanımlanan Piyasa Takas Fiyatları (PTF) günlük olarak tahmin edilmiştir. Çalışma süresince 2016 ve 2017 yıllarına ait değişkenler kullanılmış, tahmin yöntemi olarak yapay sinir ağı seçilmiştir. Tahmin edilen fiyatlar ve gerçekleşen fiyatların karşılaştırılmasında, ortalama mutlak yüzde hata başarı (MAPE) ölçütü kullanılmıştır. Önceki çalışmalar incelendiğinde yapay sinir ağı ile yapılan birçok elektrik fiyat tahmin çalışmasında girdi parametresi olarak geçmiş dönem fiyatlarının seçildiği görülmüştür. Bu çalışmada Piyasa Takas Fiyatının geçmiş dönem fiyatlarının yanısıra farklı dinamiklere de bağlı olduğu düşüncesinden yola çıkılarak, girdi parametrelerinin zenginleştirilmesi ile PTF tahmininde öngörü doğruluğunun artırılması hedeflenmiştir. Bu bağlamda çalışmanın elektrik fiyat tahmini üzerinde çalışan araştırmacılara faydalı olacağı düşünülmektedir.

ANAHTAR KELİMELELER: Elektrik Fiyat tahmini; yapay sinir ağı; piyasa takas fiyatı

ABSTRACT

ANALYSIS OF PRICING IN ELECTRICITY MARKET IN TURKEY, PRICE FORECAST MODELS: IMPLEMENTATION ON TURKEY

MSC THESIS

TUĞÇE DİKBAŞ

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

INDUSTRIAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: PROF. DR. AŞKINER GÜNGÖR)

DENİZLİ, NOVEMBER 2019

Turkey has also liberalize the electricity market as in many countries in order to increase productivity and reduce electricity prices in electricity production. As a natural consequence of this liberalization process, as in today's developed electricity markets, there are prices which are determined at different levels throughout the day according to the supply-demand balance. This volatility in prices has led other related individuals, institutions and organizations, including actors in the market, to make reliable price estimation in the long term and to work with those concerned and researchers. In this master thesis, market clearing prices are estimated daily. In this study, variable set for 2016 and 2017 were used neural networks have been used as a prediction method. Estimated prices and reel prices were compared and deviations were reached. Mean Absolute Percentage Error (MAPE) success criteria were used to compare estimated prices and actual prices. When the previous studies are examined, it is seen that the prices of the previous period have been selected as input parameters in many electricity price estimation studies made with artificial neural networks. In this study, it is aimed to increase the predictive accuracy in Market Clearing Price (MCP) estimation by enriching the input parameters, considering that the MCP is dependent on different dynamics as well as the past period prices. This study will benefit researchers working on electricity price estimation.

KEYWORDS: Electricity price forecasting; artificial neural networks; market clearing price

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
TABLO LİSTESİ	vii
KISALTMALAR LİSTESİ.....	viii
ÖNSÖZ.....	ix
1. GİRİŞ	10
2. TÜRKİYE’DE ELEKTRİK SEKTÖRÜ.....	12
2.1 Türkiye’de Elektrik Sektörünün Tarihsel Gelişimi	12
2.2 Türkiye Elektrik Sektöründe Reform	16
2.3 Piyasa Aktörleri	20
2.4 Elektrik Piyasasına Genel Bakış.....	21
3. ELEKTRİK PİYASASINDA FİYAT KAVRAMI.....	29
4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	32
5. MATERYAL - METOT	35
5.1 Tezde Kullanılan Temel Yaklaşım.....	35
5.2 Yapay Sinir Ağları.....	36
6. PİYASA TAKAS FİYATININ OLUŞUMUNA ETKİ EDEN FAKTÖRLER	42
6.1 Piyasa Takas Fiyatına Etki Eden Faktörlerin (F) İncelenmesi ve Parametrelerin Belirlenmesi	42
6.2 Uygulama Modeline Ait Veri Gruplarının Oluşturulması	55
7. TAHMİN ÇALIŞMASI	64
7.1 Yapay Sinir Ağları ile Tahmin Çalışması	64
7.2 Yapay Sinir Ağları Model Eğitim Aşamaları ve Bulgular	68
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	72
9. KAYNAKÇA	74
10. ÖZGEÇMİŞ.....	78

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Türkiye Elektrik Sektörünün Organizasyon Tarihi (Erten, 2012).	15
Şekil 2.2: Türkiye Elektrik Piyasası İşleyişi (Yücel, 2012).	19
Şekil 2.3: Türkiye Elektrik Piyasası Aktörleri.	20
Şekil 2.4: DUY Sonrası Oluşan Piyasa Yapısı (EPDK 2018).	21
Şekil 2.5: Türkiye Elektrik Piyasasının Yapısı (Camadan ve Erten 2010).	22
Şekil 2.6: Gün İçi Piyasası Süreçleri (TEİAŞ, 2019).	24
Şekil 2.7: Gün Öncesi Piyasası Süreçleri (TEİAŞ, 2019).	26
Şekil 5.1: İki Katmanlı Yapay Sinir Ağı Yapısı	40
Şekil 6.1: 2009-2018 Dolar Kuru ve PTF İlişkisi.	44
Şekil 6.2: Ortalama Emre Amade Kapasite Miktarları (EPIAŞ, 2019).	45
Şekil 6.3: Henry Hub Doğalgaz Spot Fiyatı (Dolar/Btu).	47
Şekil 6.4: 2016-2017 Yılları Gün Öncesi Piyasa Takas Fiyatları (EPIAŞ, 2019).	47
Şekil 6.5: Brüt Elektrik Enerjisi Üretimi Talep Gelişimi (TEİAŞ Sektör Raporu, 2017).	48
Şekil 6.6: 2012-2018 Yılları Arası Türkiye Elektrik Tüketim Verileri (EPIAŞ, 2018).	49
Şekil 6.7: 2016 ve 2017 Yılı Türkiye Toplam Elektrik Tüketimi (EPIAŞ, 2017).	50
Şekil 6.8: Günlük Sıcaklık Değerleri (°C) ve Elektrik Tüketimi (MWh) Dağılım Grafiği (MGM, 2018).	51
Şekil 6.9: Nominal Elektrik Piyasa Fiyatları.	52
Şekil 6.10: 2017 Ağırlıklı Ortalama Piyasa Takas Fiyatı Saatlik Değişim (TL/MWh).	52
Şekil 6.11: 2016 - 2017 Aylık Ortalama Piyasa Takas Fiyatı.	53
Şekil 6.12: Normalize Edilmiş PTF Grafiği Serisi (731 adet veri).	56
Şekil 7.1: Fiyat Tahmini Modelleme Aşamaları.	65
Şekil 7.2: İki Katmanlı İleri Beslemeli Ağ Yapısı.	66
Şekil 7.3: YSA Regresyon Performans Grafiği.	69

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 6.1: 2016 ve 2017 Gün Tipine Göre Ortalama PTF.	54
Tablo 6.2: Değişken Tanımları	57
Tablo 6.3: Değişken Korelasyonları Tablosu.....	58
Tablo 6.4: Reel Verilere İlişkin Örnek Kesit Veri Tablosu.	60
Tablo 6.5: Reel Verilere İlişkin Örnek Kesit Veri Tablosu (Devamı).....	61
Tablo 6.6: Normalize Edilmiş Verilere İlişkin Örnek Kesit Veri Tablosu.	62
Tablo 6.7: Normalize Edilmiş Verilere İlişkin Örnek Kesit Veri Tablosu (Devamı).63	
Tablo 7.1 : YSA Girdi Parametreleri	68
Tablo 7.2: Gerçekleşen-Tahmin Edilen PTF Performansı Örnek Veri Kesiti.	70

KISALTMALAR LİSTESİ

BTU	:	İngiliz Isı Birimi 1 BTU=0.293 Wh
DGP	:	Dengeleme Güç Piyasası
DUY	:	Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği
EPDK	:	Enerji Piyasaları Düzenleme Kurumu
EPK	:	Elektrik Piyasası Kanunu
EPIAŞ	:	Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi
ETKB	:	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EÜAŞ	:	Elektrik Üretim Anonim Şirketi
GSYİH	:	Gayrisafi Yurtiçi Hasıla
GİP	:	Gün İçi Piyasası
GÖP	:	Gün Öncesi Piyasası
GÜP	:	Gün Öncesi Üretim Planı
MAPE	:	Ortalama Mutlak Yüzde Hata
MLP	:	Multilayer Perceptron
MWh	:	Megavatsaat
MYTM	:	Milli Yük Tevzi Merkezi
ÖİB	:	Özelleştirme İdaresi Başkanlığı
PMUM	:	Piyasa Mali Uzlaştırma Merkezi
PTF	:	Piyasa Takas Fiyatı
SMF	:	Sistem Marjinal Fiyatı
TEDAŞ	:	Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş
TEİAŞ	:	Türkiye Elektrik İletim A.Ş
TEK	:	Türkiye Elektrik Kurumu A.Ş
TETAŞ	:	Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt A.Ş
UEÇM	:	Uzlaştırmaya Esas Çekiş Miktarı
UEVM	:	Uzlaştırmaya Esas Veriş Miktarı
YEK	:	Yenilenebilir Enerji Kaynağı
YİD	:	Yap-İşlet-Devret
YSA	:	Yapay Sinir Ağları

ÖNSÖZ

Lisans, yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmalarımın yürütülmesi esnasında daima desteklerini ve yardımlarını eksik etmeyen, tez çalışmamın sonuna kadar engin tecrübesini her zaman benimle paylaşan, yüksek enerjisi ve motivasyon desteği ile beni yüreklendiren tez danışmanım sayın Prof. Dr. Aşkîner Güngör hocama en içten teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmalarım aşamasında sağladıkları katkılar ve destekler için tez jürisi öğretim üyeleri sayın Doç. Dr. Can Berk Kalaycı ve sayın Doç.Dr. Aslan Deniz Karaoğlan'a değerlendirmeleri için teşekkür ederim.

Tüm yaşamımda olduğu gibi bu süreçte de daima yanımda olup bana inanan ve varlıkları ile her daim güç veren annem, babam ve kız kardeşime en derin sevgilerimi sunar ve yaşamım boyunca her daim desteklerini hissettirdikleri için sonsuz teşekkür ederim.

Kasım, 2019

Tuğçe Dikbaş

1. GİRİŞ

Liberalleşen elektrik piyasalarındaki fiyat olgusu yeterince dalgalı ve yapısı gereği tahmin edilmesi zor bir kavram olarak adlandırılmaktadır. Fiyat kavramı coğrafik yapı ve elektrik üretim santrali yelpazesi gibi etmenlere bağlı olarak ülkeler arası farklı karakteristiklere sahip bir kavramdır. Elektrik piyasasındaki takas fiyatını belirleyen esas değişkenler değerlendirildiğinde karmaşık yapının çözülmesi ve ticari fonksiyonlitenin önemlilik kazanması oldukça zorlayıcı olabilmektedir. Bilhassa geçmiş on yıl zarfında hızla ilerleyen liberal elektrik piyasalarında, teknolojinin de ilerlemesine paralel olarak Piyasa Takas Fiyatı (PTF) tahminlemesi noktasında çok sayıda çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda iki ana grup göze çarpmaktadır. İlk yaklaşım, elektrik piyasasında yer alan tüm ayrıntı bilgiyi içeren, elektrik piyasası simülasyonudur. Diğer yaklaşım ise matematiksel modellere dayanan analiz tabanlı çalışmalardır. Bu çalışmalarda geçmiş verilerden yararlanarak matematiksel modeller vasıtasıyla gelecek dönemlere ait değerlerin tahminlemesi yapılmaya çalışılır.

PTF, gün öncesi piyasasına (GÖP) sunulan tekliflerin arz ve talebe göre eşleşmesiyle oluşan saatlik elektrik enerjisi fiyatı, tahminleme problemini önemli kılan başlıca neden, elektrik üretim ve tüketimi piyasa kavramının içerisinde ticari etkinliklerin yer almasıdır. Elektrik piyasasının durağan olmayan yapısına ilişkin olarak piyasa katılımcısı olan tedarik şirketleri kısa, orta ve uzun vadeli kontratlarında müşterilerine takdim edecekleri fiyat opsiyonları için gerçeğe yakın bir yaklaşıma sahip olabilmeyi hedefler. Bu nedenle, PTF'nin mümkün olduğunca gerçek değerine yakın bir şekilde tahmin edilmesi önem taşımaktadır. Bu duruma benzer olarak, büyük ticari ve sanayi kuruluşu tüketiciler de takas fiyatı üzerindeki dalgalanmalarla ne ölçüde karşı karşıya kalacaklarını tespit etmek, standart fiyat opsiyonu bulunan uzun vadeli kontratlarda karşılaşılabilecekleri risklerini en aza indirmek ve yük kesintisi programlarından minimum seviyede etkilenebilmek için PTF hakkında tahmin çalışmalarını yapmaktadırlar.

PTF üzerine yapılan tahmin çalışmalarını zaman dilimine göre 3 gruba ayırabiliriz. Zaman dilimleri için kısa, uzun ve orta vadeli tahmin dönemleri kullanılmaktadır. Kısa vadeli tahmin çalışmaları günlük hareketlerin devam

edebilmesi ve portföy dengesizliklerinin minimum seviyeye indirilebilmesi için genel anlamda bir günden birkaç haftaya sürebilecek dönemi içeren çalışmalardır. Orta vadeli tahmin çalışmaları, risk yönetimi ve bilanço tahminleri için haftalık dönemden bütün yılı içerecek zaman dilimine kadar genişleyebilecek çalışmalardır.

Türkiye’de arz-talep dengesini sağlamak amaçlı birçok çalışma yapılmış olup, bu çalışmalarda genellikle orta ve uzun vadede elektrik talebinin öngörülmesi hedeflenmektedir. Bu çalışmada, Türkiye’de elektrik fiyat tahmin çalışmalarına katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Çalışmada Türkiye’de Gün Öncesi Elektrik Piyasasında, katılımcıların teklifleri doğrultusunda arz ve talebe bağlı olarak günlük bazda oluşan elektrik fiyatları, matematiksel modellere dayalı lineer olmayan zaman serileri kategorisine ait Yapay Sinir Ağları (YSA) modeli kullanılarak tahmin edilmeye çalışılmıştır. Fiyat tahmin çalışmasında için yapay sinir ağları veri yoğun öğrenmeye dayanan model kurgusu ve dinamik yapısı sebebiyle tahmin yöntemi olarak seçilmesinde ön plana çıkmaktadır. Tahmin için parametre kümesi oluşturulmuş, tahminler bu parametre kümesinden seçilen veri seti ile yapılmıştır.

Çalışmanın organizasyonu şu şekildedir. Birinci bölüme tez çalışmasının konusu hakkında bilgiler verilerek başlanmıştır. İkinci bölümde Türkiye’de elektrik sektörünün tarihsel gelişimi hakkında bilgiler verilerek başlanmış, sektör reformları ile devam edilmiş ve Türkiye elektrik piyasasının genel işleyiş yapısı anlatılmıştır. Üçüncü bölümde ise elektrik piyasasında fiyat oluşumu anlatılmıştır. Dördüncü bölümde devamında PTF tahminine yönelik çalışmalar incelenmiş ve çalışmanın literatüre olan katkısı açıklanmıştır. Beşinci bölüme yapay zeka ve yapay sinir ağları hakkında genel bir bilgi verilerek başlanmış ardından çalışmada tahmin yöntemi olarak tercih edilen ve popüler bir tahmin yöntemi olan ileri beslemeli yapay sinir ağlarının yapıları üzerinde durulmuştur. Altıncı bölümde uygulamada girdi olarak kullanılan ve fiyata etki eden faktörler ayrıntılı olarak incelenmiş ve fiyat ile ilişkisi analiz edilmiştir. Yedinci bölümde, fiyat tahmini için parametreler girdi olarak kullanılmış ve Matlab yazılımı yardımıyla denemeler sonrası öğrenmede en iyi performans gösteren model seçilmiş ve öğrenme sonrası kullanılan test verisi sonuçları ile gerçek değerlerle karşılaştırılmış ve sonuçlar belirlenen performans kriterine göre analiz edilmiştir.

2. TÜRKİYE’DE ELEKTRİK SEKTÖRÜ

2.1 Türkiye’de Elektrik Sektörünün Tarihsel Gelişimi

Türkiye’de ilk elektrik santrali 1902 yılında Mersin-Tarsus’ta İsviçre ve İtalyan grubu özel bir şirket tarafından kurulup işletilmiştir. Bu ilk özel sektör girişimi ile elektrik üretilmiş ve kasabaya verilmiştir. Silahtarağa Termik Santrali, 1913 senesinde kömürle çalışan santrallerin ilki olarak İstanbul’da üretime başlamıştır. Sonrasında, o Selanik, Şam ve Beyrut şehirleri özel sektör atılımları yardımıyla elektrikle tanışmışlardır (Zenginobuz ve Oğur, 1999).

1910 senesinin Haziran ayında "Kamu yararına ilişkin ayrıcalıkları düzenleyen" kanun ile diğer işletmelere benzer olarak, elektriksel faaliyetlerin özel sektör kanalıyla devam ettirilmesi yoluna girilmiştir. Bu esnada özel sektör olarak adlandırılan yapı içerisindeki yabancı ortak etkisinin de gittikçe arttığı tespit edilmiştir. 1910 yılının Kasımında İstanbul’un elektrikle buluşması amacıyla devletin açtığı milletlerarası imtiyaz eksiltmesi ile inşaatı ve işletimi Ganz-Macar Elektrik Şirketi’ne kazandırılmıştır. Bir sene sonrasında bu ortaklık, "Banque Generale de Credit Hongrois" ve "Banque de Bruxelles" ile ortaklaşa "Osmanlı Anonim Elektrik Şirketi" adıyla başka bir ortaklığa dönüşmüştür. 1914 senesinde inşaatı biten Silahtarağa Termik işletmesi açılmış ve 1914’ten itibaren ortaklık hisseleri Belçika’da faaliyet gösteren Sofina’ya aktarılmıştır (EMO Enerji Komisyonu, 1981).

Kurtuluş Savaşı’nın ardından da diğer şehirlerimizin de elektrik işleri için özel iştirak imtiyazları verilmeye devam etmiştir ve “Otoprodüktör Sanayi”nin kurulumu bu dönemde başlamıştır.

Türkiye Cumhuriyeti kurulduğunda toplam kurulu güç yaklaşık olarak 33 MW dolaylarındaydı. Kişi başına elektriğin üretimi ise 5 kWh civarındaydı. 1928 yılında İzmir’deki Termik Santralle birlikte ve bazı “Otoprodüktör Santrallerinin” üretime başlamasıyla 1930 yılında Türkiye’nin kurulu gücü 70 MW seviyesine çıkmıştır. (EMO Enerji Komisyonu, 1981).

1950 yılında hükümetin değişmesiyle birlikte enerjide izlenen siyasette de değişikliğe gidilmiş ve enerjinin üretiminin, iletiminin ve dağıtımının imtiyazlı

verilmesi yönünde karar çıkmıştır. 1960 yılında Etibank'ın kurulmasına değin bu işlerin yürülmesi belediye, imtiyaz şirketleri, sanayi kuruluşu ve kamu iktisadi teşebbüsleri kanalıyla yapılmıştır. 1970 senesinde Türkiye Elektrik Kurumu (TEK)'nun kurulmasıyla çoğunlukla üretim yerlerinin tüketim yerlerine mesafeli olduğu hidroelektrik santraller için önem teşkil eden entegre sistemin geliştirilmesi yoluna gidilmiştir. Türkiye'de 1984 yılına kadar elektrik sektörü kamu idaresince yürütülmüş, elektriğin üretim, iletim, dağıtım ve ticaret işleri TEK tarafından gerçekleştirilmiştir (EMO Enerji Komisyonu, 1981).

Beşinci Beş Yıllık Kalkınma Planı (1985-1989) ve Altıncı Beş Yıllık Kalkınma Planı (1990-1994), Ekonomik Önlemler Uygulama Planı ve 1995 yılı Geçiş Planı ile hükümet programlarında TEK'in özelleştirilmesi öngörülmüştür. 1984 yılına kadar, Türkiye elektrik endüstrisi kamu mülkiyetinde dikey entegre tekel yapı özelliği göstermiştir (TETAŞ Sektör Raporu, 2010).

13.06.1994 tarihli ve 21959 Sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe konan 3996 Sayılı Bazı Yatırım ve Hizmetlerin Yap-İşlet-Devret Modeli Çerçevesinde Yaptırılmasına İlişkin Kanun" ile elektrik hizmetleri de dahil bazı hizmetlerin gerçekleştirilmesinde Yap, İşlet, Devret (YİD) modeli yürürlüğe girmiştir. Ancak daha sonra elektrik, bu Kanun kapsamından çıkarılarak 3096 Sayılı Kanun kapsamına geri alınmıştır.

YİD modeli iki şekilde uygulanmaktadır. Birincisinde, kamu kaynakları tarafından yapılmayan tesisler özel sektör tarafından yapılmakta, işletilmekte ve belli bir süre sonunda bedelsiz olarak kamuya devredilmektedir. İkincisi ise işletme hakkı devridir. Kamu mülkiyetindeki üretim dağıtım tesislerinin işletilmesi, özel sektör tarafından yapılmakta ve üretilen elektrik kamu tarafından satın alınmaktadır. YİD modelinde, kamu ve özel sektör arasında imzalanan sözleşmeler ile çoğu riskler özel sektör tarafından alındığından, devletin hazine garantisi sağlanmaktadır.

21.01.2000 tarih ve 4501 sayılı Kanunla sektörde uluslararası tahkim müessesesi düzenlemesi yapılmış, mevcut elektrik mevzuatının Avrupa Birliği (AB)'ne uygun şekilde gelmesi ve bununla birlikte sektörün yeniden yapılandırması ile ilgili çalışmalar başlamıştır (TETAŞ Elektrik Sektörü Raporu, 2009).

2001 senesinde devletin uygulamaya koyduğu “Ekonomik İstikrar ve Enflasyonla Mücadele Programı”nın ardından TEAŞ özelleştirilmesi ile yeniden yapılandırılması öngörülmüştür. Buradaki temel amaç, elektrik sektörünü yeniden yapılandırmak, piyasanın liberalleşmesiyle birlikte rekabetçi bir ortam oluşturulması, elektrik işleriyle alakalı üretimin, iletimin, toptan satışın ve dağıtımın farklı kamu kuruluşlarıyla yürütülmesi ve son süreçte bu işlerle ilgili kamuya ait elektrik firmalarının özelleştirilmesi oluşmuştur (TETAŞ Elektrik Sektörü Raporu, 2015).

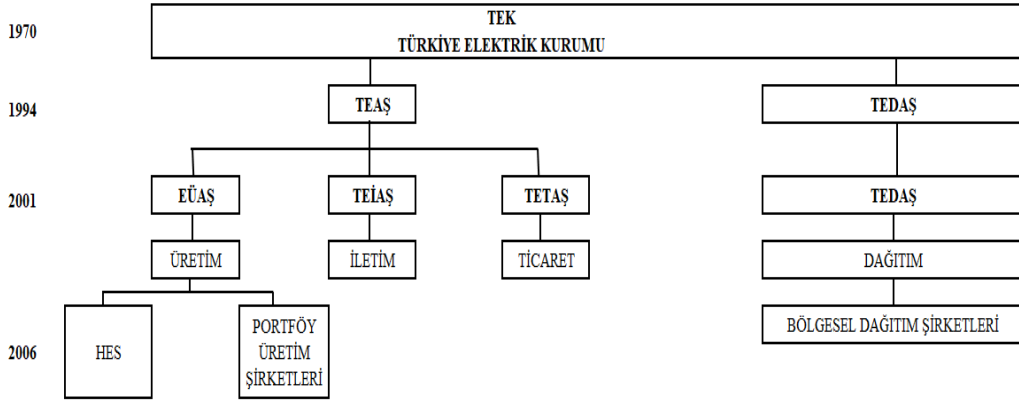
Türkiye’de, 2000 yılının sonlarına yaklaşırken, uzun zamandır elektrik sektöründe planlanan reformlar ve bu reformların desteklenmesini sağlayan yeni yasa çalışması hızlanmış ve 2001 yılının Mart ayında yeni elektrik piyasası kanunu yürürlüğe girmiştir.

2001 yılının Şubat ayında kabulü yapıp, 2001 yılının Mart ayında yürürlüğe giren “4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu”nun hedefi elektrik enerjisinin daima, yeterince, kaliteli, az maliyetle ve çevreyle duyarlı bir şekilde tüketiciye servis edilmesi, rekabetçi ortamda faal olabilecek şeffaf elektrik piyasasının oluşumu ve bu piyasanın bağımsız bir düzenleme ve denetleme sağlanması olarak ifade edilmiştir.

“4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu”na göre;

- Üretim; Elektrik Üretim A.Ş. (EÜAŞ), özel sektöre ait üretim firmaları, otoprodüktörler vasıtasıyla gerçekleşir.
- İletim faaliyeti; Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) tarafından gerçekleştirilir. TEİAŞ, iletim şebekesinin planlanması, yapımı ve işleyişi faaliyetlerini yerine getirir.
- Dağıtım faaliyeti; dağıtım şirketlerinin lisanslarında belirtilen bölgelerde yürütülür. Dağıtım şirketleri dağıtım şebekesinin planlanması, yapımı, inşası ve işletiminden sorumludur.
- Toptan satış faaliyeti; Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt Anonim Şirketi (TETAŞ) ve özel sektör firmaları yürütülebilir.
- Perakende satış faaliyeti; Perakende firmaları ve perakende satışının lisansını alan dağıtım firmaları vasıtasıyla yürütülür.
- İthalat ve ihracat faaliyetleri; uluslar arası enterkonneksiyon şartlarına uygun olarak, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK)’nun onayı ile TETAŞ

tarafından mevcut sözleşmelerle sınırlı olmakla birlikte, özel sektör toptan satış firmaları tarafından, perakende satış firmaları ve perakende satış lisansına sahip dağıtım firmaları ile yapılabilir. Şekil 2.1’de Türkiye Elektrik Sektörünün yıllar içerisinde geçirdiği organizasyonel değişimler gösterilmektedir.



Şekil 2.1: Türkiye Elektrik Sektörünün Organizasyon Tarihi (Erten, 2012).

“03.03.2001 tarih ve 24335 Sayılı Resmi Gazete”de yayımlanarak yürürlüğe giren “4628 Sayılı Elektrik Piyasası Kanunu” ile kurulan EPDK tarafından, anılan Kanun çerçevesinde kamunun hakim olduğu elektrik piyasasının yapısının değiştirilmesi, düzenlenmesi, üretim ve satış rekabetini sağlanması amaçlanmıştır. Ayrıca, piyasa faaliyetlerini gerçekleştireceklerin EPDK’dan lisans almaları, EPDK’nın bu faaliyetler üzerinde bağımsız düzenleme ve denetleme yapma yetkisi bu kanunla öngörülmüştür.

“10.05.2006 tarih ve 5496 Sayılı Kanunla Değişik 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu” ile organize sanayi bölgelerinin kendi ihtiyaçları için elektrik üretimi ve dağıtım faaliyetleri yapabilecekleri, tüketimlerine bakılmaksızın serbest tüketici sayılabilecekleri, kapsamı içindeki tüketicilerin ise kendi tüketimleri paralelinde serbest tüketici kabul edilebilecekleri hüküm altına alınmıştır.

Rekabetçi piyasa oluşturmayı amaçlayan “4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu” dikey bütünleşik piyasa yapısının ayrıştırılarak elektrik üretimi ve satış operasyonlarının rekabete açılmasını, doğal tekel özelliği taşıyan iletim ve dağıtım faaliyetlerinin düzenlenmeye tabi olmasını öngörmüştür (Özercan, 2007).

2.2 Türkiye Elektrik Sektöründe Reform

Türkiye 1980 yılından sonra itibaren özel sektör yatırımcılarını elektrik sektörüne katma çabaları anayasal engeller sebebiyle istenilen sonuca ulaşamamıştır. 1999 yılında Anayasa’da yapılan değişiklikler ile özelleştirmelerin önündeki engeller kaldırılmışsa da bu tarihten itibaren hazine garantisi verilmemesi yatırımcıları bu sektörden uzak tutarken, mevcut imtiyaz sözleşmelerinin kamuoyunda yoğun olarak eleştirilmesi de kamu sektörünü özel yatırımcılarla anlaşma yapmaya isteksiz hale getirmiştir. Bu noktada bakıldığında, 2001 yılına kadar yapılan çabalar sektörde bütüncül bir reform olarak değerlendirilmekten uzaktır.

Türkiye’de elektrik enerjisi faaliyetlerinde, 2001 senesiyle birlikte önemi büyük bir konstrüktif reforma başlanmış, elektrik sektörünün özelleştirme ve liberalleştirme adına sektörün yapısı çerçeve olarak oluşturulmuştur. Reformun büyük bir kısmı elektrik piyasasında rekabetçi bir ortam yaratmak ve piyasanın özel şirketlere açılması amaçlı yapısal reformlar oluşturmuş, kamu hizmeti olmanın dışına çıkarılan elektrik enerjisinin, alım satım işlemine tabi ticari bir mal olduğunun tanımlaması yapılmıştır (Ertlav, 2014).

3 Mart 2001’de yürürlüğe giren; elektriğin üretim, iletim, dağıtım, toptan ve perakende satış, perakende satışın hizmetleri, ithalatı ve ihracatına ilişkili düzenlemeleri kapsayan EPK’nın amaçları kanununun 1. maddesinde açıkça belirtilmiştir.

“Bu 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.”

Piyasa modeline temel ikili anlaşmaların bütün şartları ve süreleri taraflar arası serbestçe belirlenir. Ancak gerçek zamanda bu anlaşmalardan sapmalar yaşanabileceği öngörülerek; dengeleme ve uzlaştırma mekanizmasında üretim ve tüketim tarafında gerekli ölçümlerin yapılarak bu dengesizliklerin yine gerçek zamanda giderilmesi ve sistemde dengesizlik yaratan tarafların alacak ya da borç miktarlarının belirlenmesi

esastır. Bu amaçla TEİAŞ bünyesinde Milli Yük Tevzi Merkezi (MYTM) ve Piyasa Mali Uzlaştırma Merkezi (PMUM) kurulmuştur. MYTM katılımcıların sunduğu yük alma ve yük atma teklifleri doğrultusunda dengelemeyi sağlarken; PMUM, “TEİAŞ tarafından hazırlanan ve Kurulca onaylanan Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği (DUY) hükümleri doğrultusunda gerçekleşen alım-satımlar ile sözleşmeye bağlanmış miktarlar arasındaki farkı esas alarak piyasada faaliyet gösteren tüzel kişilerin borçlu ya da alacaklı oldukları tutarları hesaplayarak mali uzlaştırma sistemini çalıştırır (Atiyas, 2006).

1 Aralık 2009 tarihinde gün öncesi planlama olarak adlandırılan yani tüm piyasa katılımcılarının ve piyasadaki aktörlerin zorunlu olarak katılması gereken yapıya geçiş yapılmıştır. Gün öncesi planlama döneminde piyasa katılımcıları lisans farketmeksizin piyasaya katılmak durumundaydı ve katılan tüm katılımcılar üretici ve/veya tüketici farketmeksizin herhangi bir fiyat bildirmeden bir sonraki gün için günlük üretim planlarını giriyorlardı ve ertesi gün belirttikleri miktarın üzerinde bir üretim yapmak istiyorlarsa da ne kadar fiyata üretmeye razı oluyorlar veya daha az üretmek istiyorlarsa da ne kadar fiyata daha az üreteceklerini bildiren yani şu an dengeleme güç piyasasındaki yük al (YAL) ve yük at (YAT) tekliflerine denk gelen bir teklif tipi veriyorlardı. 1 Aralık 2011 tarihinde bu mekanizmadan şu anda kullandığımız Gün Öncesi Piyasası Mekanizması'na geçiş yapıldı. Bu mekanizma sayesinde talep tarafının da fiyat seviyeleri girebilmesine izin verildi ve zorunlu bir piyasadaki serbest bir piyasaya geçişin ilk adımı sağlanmış oldu.

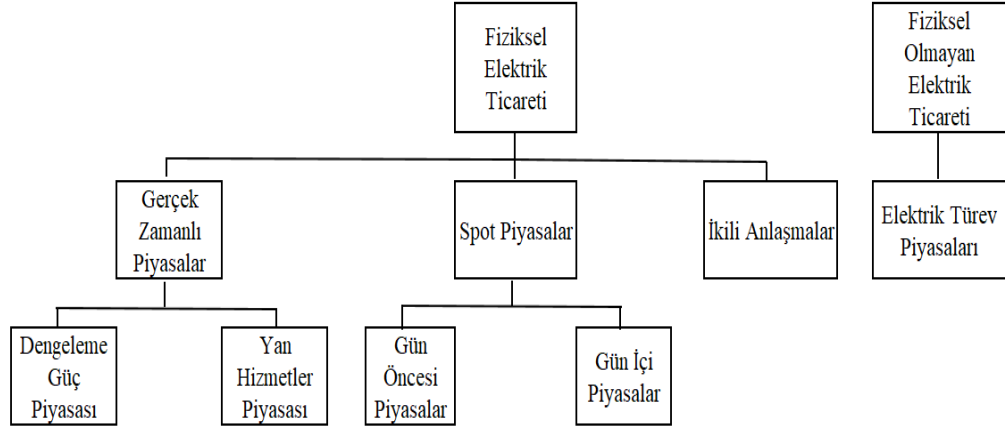
EPK (Atiyas, 2006); rekabetin gelişmesi için uluslararası düzeyde önemli kabul edilen, sektörün dikey bütünleşik yapısının ayrıştırılarak üretim, iletim ve dağıtım varlıklarının birbirinden ayrıştırılması, arz ve talep tarafında serbestleştirilmenin öngörülmesi, sistemine bağlanmayı isteyen katılımcıya erişme hakkı verilmesi ve düzenlemelere maruz tutulması gibi yenilikler getiriyordu. Bu yenilikler kapsamında öngörülen değişiklikleri aşağıdaki gibi inceleyebiliriz. 1993'te Türkiye Elektrik Kurumu (TEK)'nin Türkiye Elektrik A.Ş. (TEAŞ) ve Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. (TEDAŞ) olarak iki bölüme ayrılmasıyla sektörde ayrıştırılma yolunda ilk adımların atıldığı kabul edilmektedir (OECD, 2002). Bununla birlikte TEAŞ'a elektrik üretim ve iletim faaliyetlerini sürdürme görevi verilmiş olması sektörde dikey ayrıştırmanın tamamlanmadığını göstermektedir.

4628 sayılı Kanun ile elektrik sektöründe hâkim olan dikey bütünleşik yapının tamamen ayrıştırılması amaçlanmıştır. Yeni oluşturulacak yapıda; doğal tekel olduğu kabul edilen iletim faaliyetlerinin kamu tekelinde kalmayı sürdürmesi, üretim ve dağıtım tesislerinin ise özelleştirmesi öngörülmüştür. İletimin ve dağıtımın hizmetleri regülasyona tabi tutulurken, üretim ile toptan ve perakende satış hizmetlerinde ise rekabete açık bir piyasa yapısı planlanmıştır (Akçollu, 2003).

Bu amaca uygun olarak 02 Mart 2001 tarihinde yürürlüğe giren 2001/2026 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı uyarınca TEAŞ; Türkiye Elektrik İletim A.Ş (TEİAŞ - İletim), Elektrik Üretim A.Ş (EÜAŞ - Üretim) ve Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt A.Ş (TETAŞ – Toptan Satış) unvanlarında ve anonim şirket statüsünde, üç ayrı iktisadi devlet teşekkülü şeklinde teşkilatlandırılmıştır (TETAŞ, 2009).

EPK'ya göre mülkiyeti ve işletme hakları kamuya ait olan elektrik santrallerinin işletilmesi ile görevlendirilen EÜAŞ; ayrıca inşa halindeki santrallerin tamamlanması, DSİ bünyesindeki üretim tesislerinin devralınması, EPDK'nın onaylanacağı üretimlerini yapacak yeni tesis kurulması, işletimi ve kiralanması işleminde mesul tutulmuştur (Tamzok, 2007).

Elektrik piyasasının serbestleşme süresince kurulan ilk toptan satış firması TETAŞ'ın asıl sorumluluğu; rekabete geçişin çok katı olmaması adına kamu tarafından imzalanmış olan mevcut sözleşmelerin ve YİD, Yİ ile İHD modelleri çerçevesinde elektrik üreten şirketlerle imzalanmış uzun süreli (15–20 yıl) elektrik alım taahhütlerin üstlenilmesi olarak belirlenmiştir. İlk 5 yıl boyunca EÜAŞ'nın ürettiği tüm elektriğin TETAŞ tarafından alınmasının yanı sıra TEDAŞ'ın tüm elektrik ihtiyacının TETAŞ tarafından karşılanması hükme bağlıyken, Geçiş Sürecinin sonrasında EÜAŞ'nın TEDAŞ ve iştirakleri olarak sayılan dağıtım bölgelerine satış yapmasına imkân tanınmıştır (TETAŞ, 2009).



Şekil 2.2: Türkiye Elektrik Piyasası İşleyişi (Yücel, 2012).

Elektrik piyasasını bir bütün olarak ele alacak olursak piyasayı fiziksel elektrik ticareti ve fiziksel olmayan elektrik ticareti olarak ikiye ayırabiliriz (Şekil 2.2). Fiziksel olmayan elektrik ticaretinde gerçek zamanlı üretim yapılmak zorunda olunmayan ve dolayısıyla fiziki sisteme enerji verme zorunluluğunun olmadığı bir sistemdir. Bu sistem EPİAŞ bünyesinde olmayıp mevcut durumda Türev Piyasalarda ve Borsa İstanbul’da işletilmektedir.

Fiziksel elektrik ticareti kısmında ikili anlaşmalar kısmı yine EPİAŞ bünyesinde değildir. Yalnızca, piyasa katılımcıları ikili anlaşmalarını yaptıktan sonra, ikili anlaşma miktarlarını bir önceki gün EPİAŞ’a bildirmek durumundadırlar. Eğer karşılıklı olarak EPİAŞ’a ikili anlaşma bildirmezler ise uzlaştırmaları geçerli olmamaktadır.

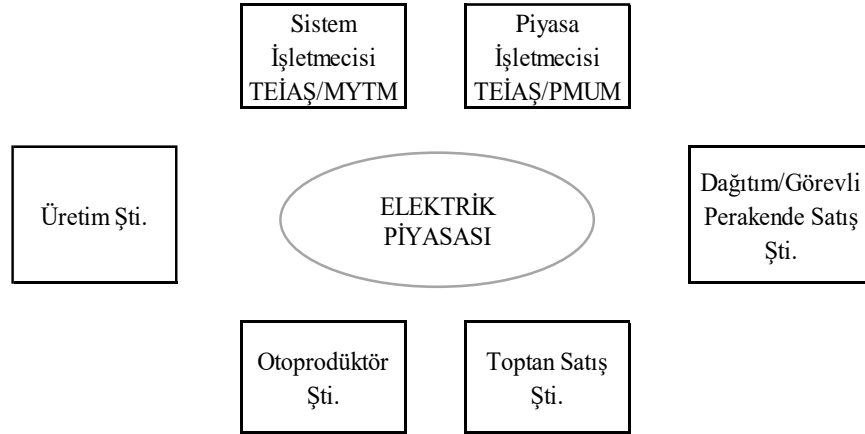
Gerçek zamanlı piyasalar, EPİAŞ’ın dışında olan TEİAŞ’ın işlettiği piyasalardır. Burada elektriğin üretimini ve tüketimini birbirine eşitlemek için TEİAŞ sürekli bir operasyon yürütmektedir. Bunu gerçek zamanlı dengeleme işlemleri YAL ve YAT talimatları ile ve yan hizmetler (primer, sekonder) kapsamında gerçekleştirmektedir.

EPİAŞ, günümüzde gün öncesi ve gün içi piyasalarını işletmektedir. Mevcut durumda EPİAŞ, TEİAŞ’a dengeleme güç piyasası yazılımı kapsamında hizmet vermektedir.

2.3 Piyasa Aktörleri

EPIAŞ, Gün Öncesi Piyasasının ve Gün İçi Piyasası işletilmesi, uzlaştırma işlemleri yapılması, piyasa katılımcılarının borç ve alacaklarına dair bildirimlerin hazırlaması gibi işlemleri yürütmektedir.

TEİAŞ, Dengeleme Güç Piyasası işletimi, sistemin anlık dengesinin sağlanması, yan hizmetlerin alım ve dengeleme mekanizması vasıtasıyla gereken yedek tutumu operasyonlarını yürütmektedir (Şekil 2.3). Bununla birlikte iletim hatlarının kayıp mitarlarının satınalma işlemini yürütmektedir.



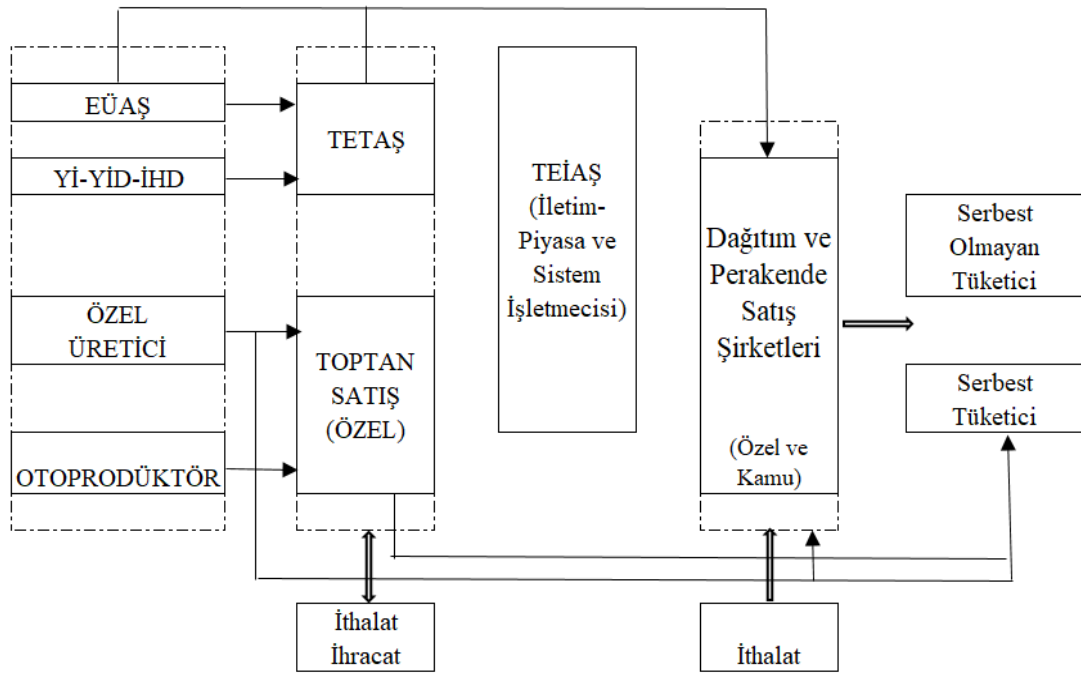
Şekil 2.3: Türkiye Elektrik Piyasası Aktörleri.

Piyasa katılımcılarının EPDK ‘dan lisans aldıktan sonra EPIAŞ ile Piyasa Katılım Anlaşması imzalamaları gerekmektedir. Mevzutta son tüketiciler serbest tüketici ve serbest olmayan tüketici olmak üzere 2’ye ayrılmaktadır (Şekil 2.4).

1. Serbest tüketiciler, kendi bölgesindeki görevli tedarik şirketinden enerji satın almak zorunda olmayıp EPIAŞ’a kayıtlı olan piyasa katılımcılarından enerji tedarik edebilirler
2. Serbest olmayan tüketiciler, enerjilerini kendi bölgelerindeki görevli tedarik şirketlerinden temin edebilirler.

Tedarik şirketleri; portföylerine serbest tüketici ekleyebilirler ve piyasada alım-satım işlemi yapabilirler. İstedikleri takdirde ikili anlaşma isterlerse EPIAŞ piyasaları üzerinden alım satım işlemlerini gerçekleştirebilirler.

Üretim şirketleri; üretimlerini portföylerine ekledikleri serbest tüketiciye satabilirler, üretim ya da ikili anlaşma ile satabilirler, isterlerse serbest tüketicilere satabilirler, isterlerse de doğrudan EPIAŞ piyasası üzerinden satabilirler. Ya da bu üçünü birlikte yapabilirler.

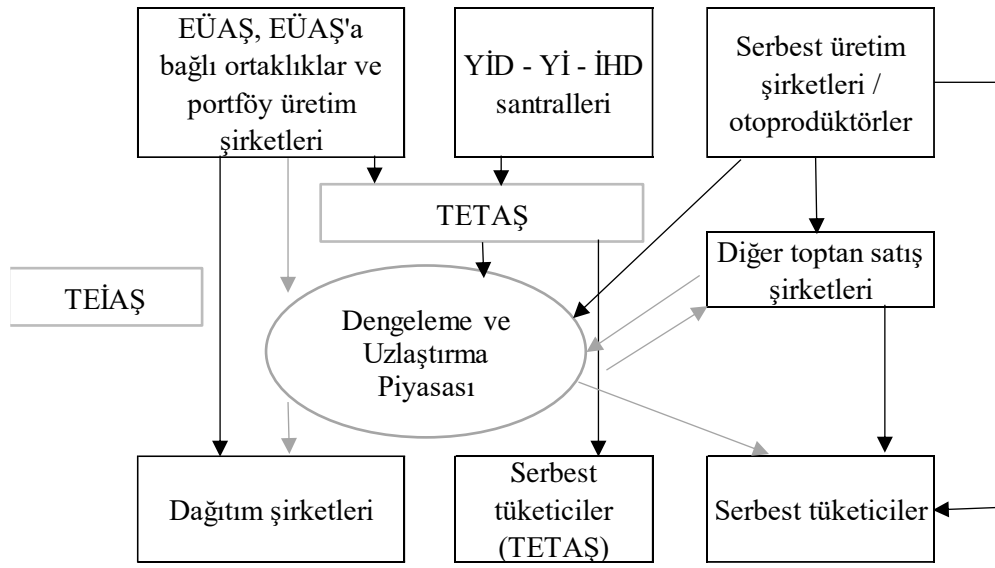


Şekil 2.4: DUY Sonrası Oluşan Piyasa Yapısı (EPDK 2018).

2.4 Elektrik Piyasasına Genel Bakış

Türkiye Elektrik Piyasası güncel durumunu gösteren Şekil 2.5'e bakıldığında; EÜAŞ ve Yap-İşlet-Devret, Yap-İşlet, İşletme Hakkı Devri sözleşmeleri dahilinde üretimlerini yapan bütün santrallerin ürettikleri elektriği TETAŞ'a sattığı görülmektedir. TETAŞ; EÜAŞ ve bu santrallerden aldığı elektriği dağıtım şirketlerine ve EPK'dan önce elektriği tedarik ettiği serbest tüketicilere satmaktadır (Şekil 2.5). EÜAŞ'a bağlı ortaklıklar ve portföy üretim şirketleri dağıtım şirketlerine elektrik satarken, özel üretim şirketleri ve otoprodüktörler de ürettikleri elektriği ikili anlaşmalar yoluyla toptan satış firmalarına ve serbest tüketicilere satmaktadır. Tüm

üretim şirketleri, otoprodüktörler, toptan satış firmaları, perakende satış firmaları dengeleme ve uzlaştırma piyasasında elektrik ticareti faaliyeti gösterebilmektedir. Dağıtım şirketleri dışında herhangi bir perakende satış lisansına sahip hiçbir şirketin bulunmadığı elektrik sektöründe dikkati çeken diğer bir nokta; dağıtım şirketleri ile serbest üretim şirketlerinin arasında doğrudan bir ticari ilişki bulunmamasıdır. Bu konuda herhangi bir kısıtlama olmamasına rağmen dağıtım şirketleri; özel sektör üretim şirketleri ya da otoprodüktörlerden elektrik satın almamakta, elektrik açıklarını gidermek için dengeleme ve uzlaştırma piyasasına başvurmaktadırlar.



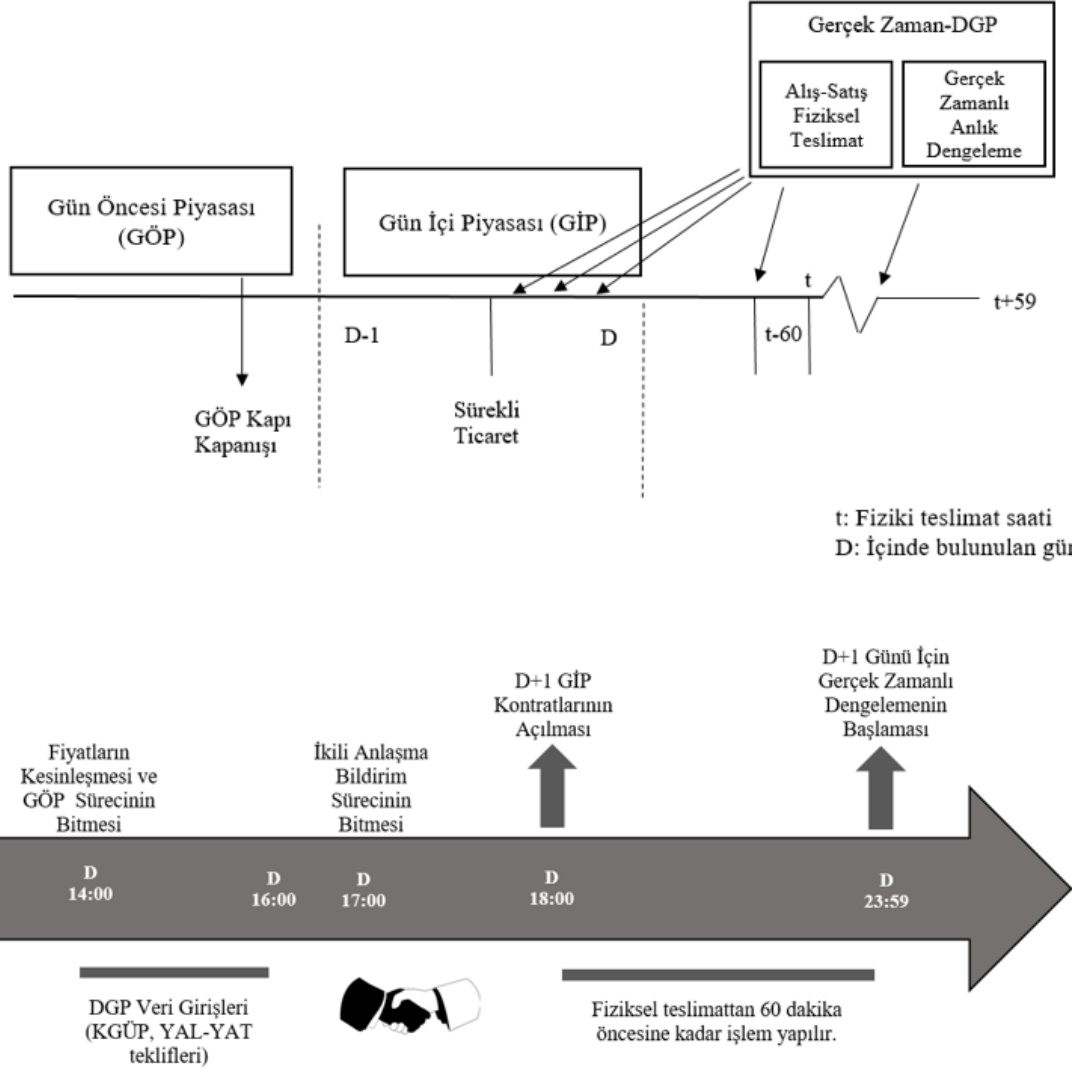
Şekil 2.5: Türkiye Elektrik Piyasasının Yapısı (Camadan ve Erten 2010).

Organize olan elektrik piyasasında elektriğin fiziki ve finansal olarak ticaret işlemlerinin operasyon bazında gerçekleştiği piyasa örnekleri vardır. Bu piyasalar: Gün Öncesi Piyasası (GÖP), Gün İçi Piyasası (GİP) ve Dengeleme (Gerçek Zamanlı) (DGP) Piyasası'dır.

Gün İçi Piyasası (GİP)

Gün öncesi ve dengeleme güç piyasaları ile eş zamanlı çalışan, dengesizliği düşürme amacı taşıyan, fiziksel anlamda teslimatın zorunluluğunu taşıyan, fiziki teslimat zamanında 60 dakika öncesine değin sürekli olarak ticaret metodu ile işlemlerin yapılmış olduğu toptan organize piyasadır. Gün öncesi piyasasından farklı olarak "Sürekli Ticaret" sözkonusudur. Gün öncesi piyasasında oturma bazlı bir sistem mevcut olup gün içi piyasasında ise bu durumdan farklı olarak sürekli bir ticaret

yapılır. Gün İçi, Gün Öncesi ve Dengeleme Güç Piyasaları arasında yer alan ve katılımcılara ilave alış ve satış fırsatları yaratarak dengesizliğin olasılığını azaltma hedefli bir dengeleme mekanizması elemanı; dengeleme amaçlı bir ara piyasadır. Gün İçi Piyasası sistem ve piyasa işletmecisi açısından değerlendirildiğinde iletim sisteminin güvenliğine yaptığı katkı, dengesizlik ve talimat miktarındaki azalma, piyasalardaki likiditenin artmasına yardımcı olmaktadır. Piyasa katılımcısı tarafından değerlendirildiğinde ise, ilave ticaret imkanı ve öngörülemeyen nedenlerle oluşan dengesizliği gerçek zamana daha yakın gidermeye olanak sağlamaktadır. Gün İçi Piyasası (GÖP), portföy bazlıdır. Sürekli ticaret yöntemi ve anlık eşleşmeler olmaktadır. Saatlik bazda işlem yapılır. Miktar Lot , fiyatlar TL/MWh cinsinden ifade edilmektedir. GÖP'te işlem yapabilmek için, Gün İçi Piyasası (GİP) katılım anlaşmasının imzalanması, teminatın yeterli olması ve kullanıcı yetki ve limitlerinin belirlenmesi zorunludur. Gün İçi Piyasası'nda ticaret limit aralıkları, fiyatta 0-2000 TL/MWh miktarda ise 1-20.000 Lot aralığındadır. Daha açık bir ifade ile tek seferde sunulabilecek en yüksek teklif 20.000 Lot'tur. Gün Öncesi Piyasası nihai sonucu belirlendikten sonra Gün İçi Piyasasında bir sonraki günün kontratları açılmaktadır. Bu arada hem bir önceki günün hem bir sonraki günün açık kontratları bulunmaktadır. Bu da Gün İçi Piyasasında sürekli işlem yapma imkanı sağlamaktadır. Gün İçi Piyasasının işleyişi (Şekil 2.6)'deki gibidir. Şekilde D içinde bulunan günü tanımlamaktadır. Gün İçi Piyasası'ndan önce, Gün Öncesi Piyasası'nda arz ve talep kesiştikten sonra sonuçlar Dengeleme Güç Piyasası'na gönderilir, bu süreçte Gün İçi Piyasası ara piyasa olarak devreye sokulur. GİP'in hedefi, portföy bazlı katılımcıların dengesizliğini azaltmak ve arbitraj hakkı kazanmasını sağlamaktır. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması (YEKDEM) üzerinde yapılan değişikliklerle birlikte Mayıs 2016 itibarıyla YEKDEM kapsamındaki katılımcıların dengesizliklerinden kendilerinin sorumlu olması istenmiştir. Bu durum da GİP'teki dengesizlik çalışmalarını arttırmıştır. Bu da dengesizlik pozitif dengesizliğe düştüğü zaman PTF-SMF'nin düşü 0,97 ile çarpıldığında oluşan bu tutar pozitif dengesizlik tutarıdır, PTF-SMF'nin düşü 1,03 ile çarpıldığında oluşan bu tutar negatif dengesizlik tutarıdır. Aslında bu GİP'teki dolaylı bir biçimde fiyat sınırı oluşturmaktadır çünkü GİP dengesizliği azaltma amaçlı kurulduğu için pozitif dengesizliği, dengesizlikten kazanılacak tutarın fazlasını GİP'te satabilme imkanı vardır.



Şekil 2.6: Gün İçi Piyasası Süreçleri (TEİAŞ, 2019).

Gün Öncesi Piyasası (GÖP)

Gün öncesi piyasası EPIAŞ tarafından yönetilmektedir. Gün öncesi piyasasında işlemler günlük olacak şekilde ve saatlik bazda gerçekleştirilir. Günlük periyod saat 00:00'dan başlar, ertesi gün 00:00'da son bulur ve saatlik zaman dilimlerinden meydana gelir. Gün öncesi piyasası işlemleri ilgili olan zaman aralığı süresince sabit seviyede arz veya talebe karşılık gelir. Kabul edilmiş olan alış ve satış teklifleri ilgili piyasa katılımcısının fiziksel elektrik arzının veya talebinin yükümlülüğünü meydana getirir. Gün öncesi piyasasına sunulmuş bütün tekliflerin belirli bir teklif bölgesi, belirli bir gün ve o güne ait belirli belli bir zaman dilimi için geçerli olmaktadır. Gün öncesi piyasasında sonlandırılan her işlem aktif elektrik enerjisinin uzlaştırmaya esas elektrik enerjisi tesliminde ya da enterkonnekte sistem

komşu ülke iletim sistemiyle bağlantılı noktasında teslim edilmek suretiyle sonlanır. Gün öncesi piyasasına ait özet bilgiler ve genel çerçeve aşağıdaki gibidir:

Piyasanın Hedefleri:

- Piyasa katılımcıları için üretimlerinin ve/veya tüketimlerinin gereksinimleri ile birlikte sözleşmelere bağlı yükümlülükleri gün öncesinden dengeleme şansı yakalamak,
- Piyasa katılımcısı için, ikili anlaşmalara ilave olarak sonraki günün enerji alış ve satışına imkân vermek,
- Elektrik enerjisinin referans fiyatını (Piyasa Takas Fiyatı) belirlemek,
- Sistem İşletmecisine (MYTM) gün öncesinden dengelenmiş bir sistem sağlamaktır.

Piyasanın Özellikleri:

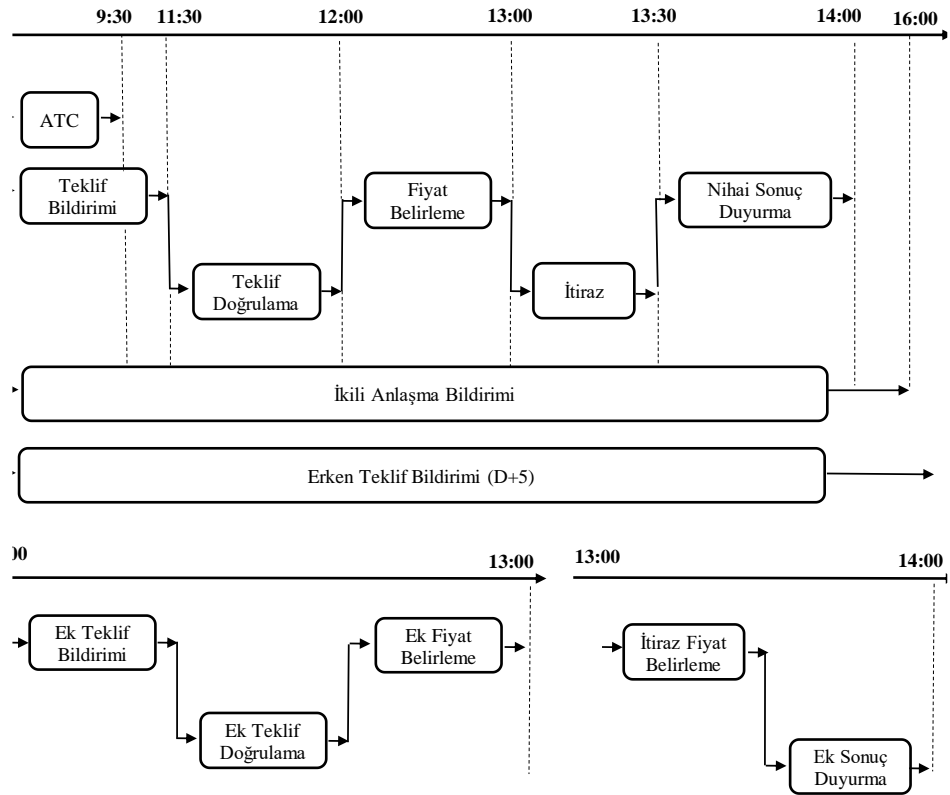
- Katılım zorunlu değildir. Piyasaya katılmayan oyuncular üretimlerini ikili anlaşma ile satabilir ve Dengeleme Güç Piyasasına teklif edebilirken, tüketimlerini ikili anlaşma ile alabilir.
- İşlemler günlük (avans dönemi) olarak, saatlik (uzlaştırma dönemi) bazda gerçekleştirilir.
- Piyasa katılımcıları saatlik, blok ve/veya esnek teklif verebilmektedir.
- Gün öncesinde, saatlik bazda arz ve talep kesiştirilerek referans fiyat (Piyasa takas Fiyatı) belirlenir.

Piyasa Katılımcısı:

- Üretim lisans sahipleri
- OSB üretim lisans sahipleri
- Dağıtım lisans sahipleri
- Tedarik lisans sahipleridir.

Genel Esaslar:

- Gün öncesinden referans fiyat (PTF) belirlenir.
- İşlemler günlük bir şekilde ve saatlik bazda gerçekleştirilir.
- Arzı sağlayan taraf üreteceği miktarı, Talebi gerçekleştirecek taraf tüketeceği miktarı fiyat düzeyine uygun olacak şekilde düzenleyebilir,
- GÖP’de yapılan ticaret ilgili olarak Piyasa Katılımcısı için fiziksel elektrik arzının veya talebinin yükümlülüğünü meydana getirir.
- Saatlik olarak blok ve esnek teklif verilmesine olanak tanır.
- Enerji miktarının teklifi LOT (0,1 MWh) cinsindedir.
- Pozitif miktarlar alışı, negatif miktarlar ise satışı simgeler.
- Azami ve asgari fiyat sınırları 0 – 2000 TL/MWh olarak uygulanır. “Gün Öncesi Piyasasında Asgari ve Azami Fiyat Limitlerinin Belirlenmesine İlişkin Usul ve Esaslar” uyarınca belirlenir.
- Gün öncesi piyasasında işlemler günlük olarak devam eder ve Şekil 2.7’de gösterilmiş süreçlerden oluşur:



Şekil 2.7: Gün Öncesi Piyasası Süreçleri (TEİAŞ, 2019).

Birden çok sayıda teklif bölgesinin bulunması halinde, Piyasa İşletmecisi, her gün saat 09:30'a dek, Sistem İşletmecisi tarafından belirlenen bir gün sonrası için saatlik bazda gün öncesi piyasası için kullanılacak iletim kapasitesi miktarlarını piyasa katılımcılarına bildirir. Her gün saat 11:30'a dek, gün öncesi piyasasına katılım yapan piyasa katılımcıları tekliflerini PYS aracılığıyla Piyasa İşletmecisine bildirir. Bildirilmiş her bir gün öncesi piyasasına ait teklif Piyasa İşletmecisi tarafından 12:00'a kadar değerlendirilir. Burada teklif teyit edilir veya reddolunur. Her gün saat 11:30-13:00 arasında Piyasa İşletmecisi vasıtasıyla bir sonraki günün her bir saati ve her bir teklif bölgesi için, gün öncesi piyasası fiyatı hesaplanır. Her gün saat 13:00 – 13:30 arasında gün öncesi piyasasına katılım yapan piyasa katılımcıları Piyasa İşletmecisi vasıtasıyla kendilerine aktarılan ticari işlem onaylarını kontrol eder ve gerekirse ticari itirazlarını Piyasa İşletmecisine sunarlar. Her gün saat 13:30 – 14:00 arasında Piyasa İşletmecisi itirazları değerlendirir ve ilgili piyasa katılımcılarının tarafına itiraz sonuçlarını ulaştırır (DUY, 2009).

Dengeleme Güç Piyasası (DGP)

Dengeleme güç piyasasının teklifleri günlük olacak şekilde ve saat bazında verilir. Her bir gün saat 00:00'dan başlar ve ertesi gün saat 00:00'da sona erer. Dengeleme güç piyasasına sunulmuş tekliflerde sunulan teklif yapısı ile uyumlu, ilgili dengeleme birimine ait teknik anlamda gerçekleştirebilecek bütün kapasitenin teklif edilmesi amaçtır. Dengeleme güç piyasası kapsamında Sistem İşletmecisinin verdiği talimatlar, başlangıç ve bitiş zaman aralıklarında sabit seviyeli arz veya talebe karşılık geleceğinin varsayımı yapılır. Dengeleme güç piyasasının talimatları Dengeleme Güç Piyasası kapsamı içinde kesinleşen gün öncesi üretim ve tüketim programının ve yük alma ve yük atma teklif bildirimlerinin sona ermesi ile ilgili gün sonuna dek herhangi bir zamanda verilebilmesi mümkündür. Dengeleme güç piyasasında sonlandırılan işlem, ilgili talimatın süresi boyunca, aktif elektrik enerjisinin uzlaştırmaya esas teslim noktasında teslim edilmesi biçimiyle gerçekleşir.

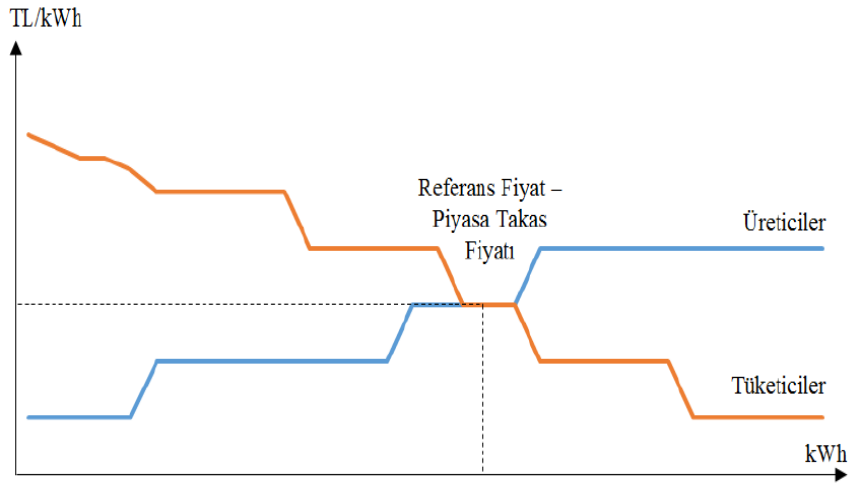
Dengeleme güç piyasasına ait proses, her gün saat 14:00'dan itibaren gün öncesine ait dengeleme işleminin son bulması ile başlar ve günlük uygulanır. Saat 16:00'a dek, piyasaya katılmış tüm piyasa katılımcıları, bütün uzlaştırmaya baz veriş ve çekiş miktarları için saatlik üretim veya tüketim miktarlarını gösteren kesinleşen gün öncesi üretimve tüketim programlarıyla birlikte dengeleme güç piyasasına dair

yük alma, ve yük atma tekliflerini Sistem İşletmecisine bildirmek suratiyle iletir. Saat 17:00'a dek, Sistem İşletmecisi bütün tekliflerini kontrol eder ve bildirimlerde herhangi bir hata olup olmadığının kontrolünü gerçekleştirir. Eğer bir hat mevcutsa da piyasa katılımcısı ile bağlantıya geçer ve saat 17:00'a dek gereken revizelerin gerçekleştirilmesini sağlar.

DGP kapsamı içerisinde sunulmuş yük alma ve yük atma teklifleri Sistem İşletmecisi tarafından fiyat bazında sıralanır. Her gün saat 17:00 itibarıyla ilgili günün teklifleri değerlendirilir ve uygun durumdaki tekliflere ait talimatlar ilgili piyasa katılımcısına iletilir. Dengeleme güç piyasasında oluşturulan talimatlar, dengeleme amaçlı, sistem kısıtlarının giderilmesi amaçlı ve yan hizmetler kapsamında verilmiş olmasına göre etiketleme işlemine tabi tutulur. İlgili saate göre dengeleme güç piyasasında belirlenmiş sistem marjinal fiyatları, piyasa katılımcılarına iletilir.

3. ELEKTRİK PİYASASINDA FİYAT KAVRAMI

Büyük bir yarışın olduğu enerji piyasalarının farklı işlem aşamalarında fiyata dair operasyonlar uygulanmaktadır. Elektrik, depolama özelliğinin henüz gelişmemiş olması ve soyut bir kavram olması sebepleriyle, son ticarete fiziki ve mali açıdan uzlaştırılması lazım gelen bir metadır. Bütünsel anlamda elektriğin fiziki olarak iletimi ile iletim işletmecisi, mali açıdan uzlaştırılması ile de piyasa işletmecisi muhattap olmaktadır. Elektriğin fiziki ticaretinin yapılma önceliği bilindiği üzere üretiminin gerçekleşmesidir. Farklı enerji türlerinden elektrik enerjisinin üretilmesini sağlayan santraller vasıtasıyla elektrik üretimini gerçekleştiren üreticilerin, temel faktör üretim maliyeti olması üzerine, ilaveleriyle birlikte meydana gelen net üretim maliyetinin tayin edilmesi oldukça ayrıntılı ve önem içeren bir araştırmadır. Bu çalışmada, üreticilerin Türkiye Elektrik Piyasası Takas Fiyat oluşumundaki yeri incelenmiştir. Tüketiciler ise, fiyat oluşumunda talep tarafını temsil eden grup olarak ifade edilebilir. Şekil 3.1’de görülebileceği üzere takasa mevzu olan üretim arzına karşın gerçekleşen tüketim isteğinin eşleşmesi ile elektrik piyasasında alakalı zaman dilimi için fiyat oluşumu gerçekleşmektedir.



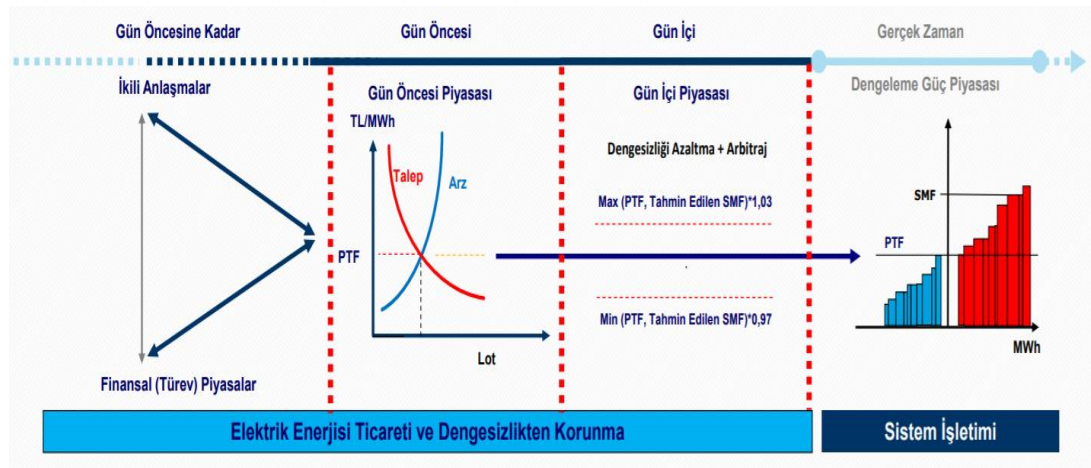
Şekil 3.1: Elektrik Piyasasında Referans Fiyat Oluşumu.

Elektrik üretildiği ve tüketildiği bölge şartları temelinde değerlendirilmesi gerekmektedir. Finans türev aracı olan elektrik, ticareti yapılan başka milletlerarası emtialar gibi değildir (European Commission (2014)). Bu sebeple, teorik hesaplama anlamında elektriğin fiyatının oluşma prosesleri farklı bölge ve ülkeler arasında

benzerlik gösterse de, takas fiyatı tetkik edilirken bölgesel sınır ve kısıtların dikkate alınması gerekmektedir.

Ortaya çıkan takas fiyatının kılavuzluğunda, serbet elektrik piyasalarına iştirak edenler türlü piyasalarda faaliyet gösterebilirler. Geleneksel anlamda, günümüzde uygulanmaya devam eden tezgâh üstü borsalarda ikili anlaşma yöntemiyle elektrik ticareti yapılmaktadır. Literatürde enerjiyi ifade etmek amacıyla Kilowatt saat (kWh), Megawatt saat (MWh) ve Gigawatt saat (GWh) gibi birimler kullanılmaktadır. Elektrik piyasası için adı geçen fiyat (Referans Fiyat/Takas Fiyatı) milli para birimi türünden birim enerjinin karşılığı olarak tanımlanabilir. Örneğin, Amerika’da Dolar/kWh, Avrupa’da Euro/kWh ve Türkiye’de TL/kWh fiyata eş birim enerji değerleri kullanılmaktadır. Gün Öncesi Piyasası’nda Piyasa Takas Fiyatının tayin edilmesi prosesi günlük olarak, her gün saat 12:00-13:00 arasında, ilgili günün her bir saati için uygulanır ve işlemler aşağıdaki aşamalar şeklinde devam eder:

a) Tüm teklif bölgeleri için sunulmuş olan Gün Öncesi Piyasası alış-satış teklifleri eşleştirilerek, bölgeler arasındaki iletim kısıtları dikkate alınmaksızın, ilgili günün her bir saati için elektrik enerjisi alış-satış fiyatı olan “Kısıtsız Piyasa Takas Fiyatı” (KPTF) hesaplanır.



Şekil 3.2: Elektrik Enerjisi Ticareti (Yazıtış, 2019).

Gün Öncesi Planlama içerisinde Sistem Gün Öncesi Fiyatının belirlenmesi ve talimat alacak olan tekliflerin elektronik bir platformda ve optimizasyon aracı yardımıyla yapılır. Optimizasyon aracı, minimum maliyetle en verimli olacak şekilde şekilde sistemi dengeye getirir. Belirlenmiş olan üretim ve sistem sınırlılıkları

çerçevesinde, teklif setini belirleme işlemini yapmaktadır. Optimizasyon sürecinin aşamaları şu şekildedir: Optimizasyon aracının çalışma süreci, iki ana süreçten meydana gelir. Birinci adımda kısıtsız sistem marjinal fiyatları hesaplaması yapılır. Sonraki adımda ise kısıtlar da göz önünde bulundurulacak şekilde talimatlar oluşturulmaya çalışılır (Şekil 3.2).

4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Geçen 20 senede elektrik piyasasının liberalleşmesi ile birlikte rekabetçi alanda piyasa oyuncularının ekonomik optimizasyon ile fayda maksimizasyonu amaçlamaları nedeniyle gün öncesi piyasada fiyat tahmin etmek önem kazanmıştır. Bunun etkisiyle 2000'lerin başlarından itibaren YSA modelleri kullanılarak fiyat tahminleri yapılması ve çeşitli ülkelerin spot piyasa fiyatları ile modelin test edilmesi akademik çalışmalara konu olmaktadır. Gün Öncesi Piyasasında oluşmuş saat bazlı piyasa takas fiyatlarının tahmini ile ilgili çalışmalar incelendiğinde, piyasanın 2011 yılı Aralık ayından itibaren işliyor olmasına rağmen birçok çalışmada verilerin 2011 yılı öncesine ait olduğu göze çarpmaktadır. Türkiye Elektrik Piyasası için piyasa takas fiyatının tahmin edilmesi ile ilgili yayınlar sınırlıdır ve bu alandaki araştırmalar için önemli bir fırsat alanı bulunmaktadır. Bu bölümde sunulan literatür analizi, YSA ile kısa vadeli elektrik fiyat tahmin modellerini ele alan, 2006-2016 yılları arasında yayınlanmış çalışmalarla sınırlı tutulmuştur.

Ranjbar ve diğerleri (2006) , iki ara katmana sahip Yapay Sinir Ağı modelini, Levenberg-Marquardt (LM) geri yayılma metodu ile eğitmişlerdir. Çalışmalarında iki ara katmanın tek ara katmana göre daha iyi sonuç verdiğini gözlemlemişlerdir.

Li ve diğerleri (2007), makalesinde bulanık mantık ve en küçük kareler yöntemini kullanılarak fiyat tahmini yapılmıştır. Sonuçlar yapay sinir ağlarına ve ARMA ve GARCH zaman serilerine göre daha iyi sonuç vermiştir.

Zhang ve Cheng (2008), çalışmasında çok katmanlı Yapay Sinir Ağı modeli ile Nord Pool elektrik piyasasında fiyat tahmini yapılmıştır. Ağ yapısı deneme-yanılma methodu ile hatayı minimize edecek şekilde bulunmuştur. Çalışma neticesinde ağ modelinde ARIMA modeline göre daha iyi tahminler elde edilmiştir.

Yan, X., Chowdhury, N. A. (2010) çalışmalarında günlük puant zamanda ve orta vadeli saatlik fiyat tahmini yapmak için iki adet Yapay Sinir Ağı modeli kurmuşlardır. Çalışmada talebin yüksek olduğu puant saatlerde tahmin başarısının düştüğü gözlemlenmiştir

Özgüner (2012), 2011 yılı için (ilk 11 ay) yapay sinir ağları kullanarak Gün Öncesi Piyasasında oluşan sistem gün öncesi fiyatlarını saatlik olarak tahmin etmiştir. Çalışmasında girdi olarak; tahmini yapılacak günü (hafta içi/hafta sonu) , takvim verisini, tüketim miktarı tahminini, bir önceki günün fiyat ve tüketim verilerinin ortalamalarını kullanmıştır. Tahmin hatasının başarısı için HOMHY hesaplaması yapmıştır.

Sahay ve Tripathi (2014) çalışmasında bulanık mantık, bulanık mantık-yapay sinir ve yapay sinir ağı modelleri vb. çeşitli yöntemlerin fiyat tahmininde tercih edildiğini belirtmişlerdir. Bu teknikler arasında son zamanlarda en çok dikkati çeken tekniğin yapay sinir ağı olduğunu belirtilmiştir. Bu sebepten çalışmalarında yapay sinir ağı modellemesi ile İngiltere piyasası elektrik fiyatları tahmin edilmeye çalışılmıştır. Çalışmaları neticesinde fiyata en çok etki eden faktörün talep miktarı olduğunu ortaya koymuşlardır.

Weron, R. (2014) makalesinde geçen on beş yılda elektrik fiyatlarının tahminlemede kullanılan modellerin güçlü ve zayıf yönlerini kıyaslamıştır. Talasli (2012) doktora tezinde logaritması alınan günlük ortalama spot elektrik fiyatlarını deterministik bir fonksiyon ve çok faktörlü stokastik süreçler ile modellemiştir. Dışsal bir değişken kullanılmamış olup, veri aralığı Aralık 2009 – Haziran 2011 dönemine ait Gün Öncesi Planlama dönemi verileridir. Dolayısı ile mevcutta geçerli olan GÖP veri dinamiğini yansıtmamaktadır. Özgünlüğü bakımından değerlendirecek olursak PTF analizini stokastik metotlarla yapan ilk çalışmadır.

Kölmek ve Navruz (2015) çalışmalarında Aralık 2009 – Kasım 2010 aralığını eğitim verisi olarak kullanıp Yapay Sinir Ağı (ANN) ve otoregresif süreç (AR) yöntemi ile elektrik fiyat tahminlemesi yapmışlardır. ANN yöntemine dışsal değişken olarak geçmiş PTF, günlük ortalama sıcaklık, tahmini ikili anlaşmalar, tahmini emreamade kapasite, gün tipi değişkenlerini almışlar fakat AR yöntemi için dışsal değişken kullanmamışlardır. Yazar iki yöntemin MAPE'ye göre karşılaştırması sonucu ANN yönteminin performansının daha yüksek olduğu sonucuna varmışlardır. Bu çalışma ANN yöntemini Türkiye Piyasa Takas Fiyatı üzerine uygulayan ilk çalışmalardan olması sebebiyle kıymetlidir.

Tayşi ve arkadaşlarının (2015) , günümüz piyasa koşulları göz önüne alarak yaptıkları çalışmalarında takvim bilgisi ve geçmiş dönem fiyat verilerini dışsal değişken olarak alıp SARIMA ve ANN metotlarını kullanarak fiyat tahmini yapmışlar ve adı geçen bu yöntemlerin başarılarını kıyaslamışlardır. Sonuçta her iki yöntemin de başarı katsayıları birbirine yakın olduğu hata ortalamalarına bakıldığında ANN modelinin daha başarılı olduğu sonucuna varmışlardır. Bu çalışmaya eleştirel yönden bakacak olursak, açıklayıcı değişken olarak 1, 2, 3 ve 4 gecikmeli fiyat değerlerini kullanmasıdır. Oysa bu durum piyasa işleyiş yapısı ile uyumsuzdur. Çünkü günlük Piyasa Takas Fiyatları 24 saat öncede toplu olarak belirlenmektedir. Dolayısı ile fiyat tahmini yapılırken en erken p-24 fiyat verisi kullanılabilir.

İncelenen çalışmaların ortak noktası spot elektrik piyasasında referans fiyat tahmininin içerdiği pek çok sayıda belirsizlik sebebiyle karmaşık yapıda olduğunun ifade edilmesidir. Bu faktörler arasında; nem, sıcaklık, hava şartları, yağış, üretim miktarı, kapasite, doğalgaz ve kömür maliyeti, piyasa kuralları, mevzuattaki değişiklikler, nüfus ve ekonomi bulunmaktadır. Regresyon modelleri ve zaman serileri gibi geleneksel methotlar karmaşık girdi-çıkı bağlantılarını çözmeye eksik kalmaktadır. Doğru veri seti ile optimum model ile eğitilmiş Yapay Sinir Ağı modellerinin daha duyarlı tahminler sağlaması tercih edilmelerini sağlamıştır.

Çalışmada ele alınıp, analiz edilen ve tahminlemesi yapılan fiyatlar Gün Öncesi Elektrik Piyasasında oluşmuş PTF olarak adlandırılan Piyasa Takas Fiyatıdır. Diğer başka çalışmalarda ele alınmış Sistem Gün Öncesi Fiyatı (SGÖF), Gün Öncesi Piyasası henüz aktifleşmeden önce uygulamada yer alan ve Gün Öncesi Planlama adı verilen piyasada oluşmuş fiyatlardır. Temelinde tamamen birbirinden farklı fiyatlar olmasa da oluşum itibarıyla Piyasa Takas Fiyatı ile önemli ayrımları içermektedir. Önceki çalışmaların önemli bir bölümünde veri seti olarak yalnızca geçmiş dönem fiyat verileri kullanılmıştır. Fiyat verisi dışında tüketim, ikili anlaşma, saat ve gün, günlük kapasite verileri kullanılmış az sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmada alan yazından farklı olarak, fiyatlar üzerindeki açıklayıcı etkilerinin analiz edilmesi için; diğer modellerde kullanılan verilerden farklı ve ilave olarak döviz kuru, emreamade kapasite miktarı, fiyattan bağımsız alış teklifi, gün öncesi piyasası işlem hacmi, elektrik yük talep miktarı, uzlaştırmaya esas veriş ve çekiş miktarları veri setine dahil edilmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

5. MATERYAL - METOT

Bu çalışma, elektrik piyasasında fiyat risklerini öngörmek için orta vadeli fiyat tahmin ihtiyaçlarına yanıt verebilecek bir model üzerinde yürütülmüştür. Çalışmada Levenberg-Marquardt geriye yayımlı öğrenen Yapay Sinir Ağları algoritması kullanılarak, Türkiye Elektrik Piyasası kısa dönemli piyasa takas fiyat tahmini çalışması gerçekleştirilmiştir.

5.1 Tezde Kullanılan Temel Yaklaşım

Çalışmada, yapay sinir ağları ile gün öncesi piyasadaki elektrik fiyatları günlük bazında parametreler kullanılarak tahmin edilmiştir. Uygulamada fiyat tahmini çalışması yapılırken doğrusal olmayan sezgisel zaman serileri yöntemi kullanılmıştır. Türkiye Elektrik Piyasası'ndan temin edilen kesit veri grubu kullanılıp Levenberg-Marquardt geri yayılım algoritması ile eğitilen tek gizli katmanlı bulunan Yapay Sinir Ağı modeli kullanılıp gün öncesi elektrik piyasası için günlük Referans Fiyat (RF) tahminini en doğruya yakın veren model oluşturulmaya çalışılmıştır. Uygulama modeli veri grupları belirlenirken SPSS'te yapılan korelasyon testleri neticesinde döviz kuru, emreamade kapasite miktarı, fiyattan bağımsız alış teklifi, gün öncesi piyasası işlem hacmi, elektrik yük talep miktarı, uzlaştırmaya esas veriş ve çekiş miktarları verilerinin kullanılmasına karar verilmiştir. Çalışmada geçmiş dönem olarak kullanılan elektrik fiyatları piyasa işletme görevini yürüten Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi (EPIAŞ) tarafından şeffaflık platformunda kamuya açık bir şekilde paylaşılmakta olan Piyasa Takas Fiyatları (PTF)'dir. Model girdisi olarak belirlenen diğer veriler, elektrik fiyatı tahminine yönelik yapılan çalışma ve ağ modeline olumlu anlamda katkı sağlayacağı düşünülen ve çalışma öncesinde yapılan deneme çalışmalarından yararlanılarak optimize edilmiştir. Parametre kümeleri içinden seçilen girdiler yardımıyla yapay sinir ağları ile çalışmalar yapılmıştır. Yapay Sinir Ağı modelinin eğitim veri seti 1 Ocak 2016 tarihinde başlatılmıştır. 2016 ve 2017 yıllarına ait veriler ile yapılan çalışmalar neticesinde 2018 yılı için fiyat tahminlemesi yapılmıştır. Tahmin çıktıları, 2018 yılı gerçekleşmiş verileri ile kıyaslanmış ve başarı kriteri olarak MAPE kriteri kullanılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Uygulama esnasında yapılan veri analizi ve normalizasyon çalışmaları Microsoft Excel 2010'da,

korelasyon testleri SPSS 16.0’da yapılmıştır. Yapay sinir ağı uygulamaları için Matlab (R2017a) – Neural Network Tool Box 10.0 ile çalışılmıştır.

1978 senesinde Şili önderliğinde başlatılan elektrik piyasası reformları ve uygulamaları kendine geniş bir uygulama alanı fırsatı yakalamış ve hızlıca Avrupa ve Amerika’da yayılma yaşamıştır. Liberal elektrik piyasalarında taraflar arasındaki fiziki ve türev sözleşmeler bu serbest piyasalarda belirlenen gösterge fiyatlara göre yapılmaktadır. Bu yaklaşım fiyat hareketlerinin taraflar için öngörülebilmesi için fiyat tahmin yaklaşımlarının uygulanmasını beraberinde getirmiş ve elektrik piyasası için fiyat tahmini yaklaşımlarının önemini arttırmıştır.

Literatürü genel anlamda incelediğimizde tahmin yöntem yaklaşımları birkaç birkaç grupta sınıflandırılmaktadır. Yöntemler, Objektif/Subjektif, İstatistiksel/Yargısal, Zaman Serileri/Nedensel/Yargısal/ Teknolojik yöntemler ve Kalitatif (nitel)/Kantitatif (nicel) olmak üzere çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadır. Makridakis ve Wheelright tahmin yöntemlerini temelde Kalitatif ve Kantitatif olmak üzere ikiye ayırmışlardır. Kantitatif yani niceliksel yöntemler Zaman Serisi ve Nedensel metotlar olmak üzere sınıflandırılırken, Kalitatif yani niteliksel yöntemler ise Yargısal ve Teknolojik yöntemler şeklinde sınıflandırılmışlardır.

Çalışmada tüm tahmin yöntemleri ayrıntılı olarak analiz edilmeyecek olup yalnızca çalışmada yöntem olarak seçilmiş “Yapay Sinir Ağları”ndan bahsedilecektir.

5.2 Yapay Sinir Ağları

Yapay Sinir Ağları, makine öğrenmesi kapsamında geliştirilmiş yapay zekânın alt bir birimidir. Yapay Sinir Ağı teknolojisinin gelişiminde 1990’lı yıllardan itibaren artan bir ilerleme görülmüştür. Kısa bir sürede araştırmaların ilgisini çeken bu teknoloji günlük yaşamın gereksinimlerini karşılayacak uygulamalarda da yer edinmeye başlamıştır. Endüstriyel ve askeri sistemler, tıp gibi birçok sektörde kullanılmasının yanında finansal sektörde de kullanım fırsatı bulmuştur. Genel olarak yapay sinir ağları, insan beynine ait sinir aklarını taklit eden bilgisayar sistemleridir. Başka bir anlamda paralel bilgi işleme programlarıdır. Bu bilgiler yapay sinir ağlarına ilgili olaya ait bilgiler eğitilerek verilir. Böylece verilen örnekler yardımıyla ortaya çıkan özellikler sayesinde birtakım genellemeler yapılarak sonrasında ortaya çıkacak

ya da daha önce hiç rastlanmamış olaylara çözüm bulmaktadır. Bu çalışmada bir yapay zekâ yöntemi olan yapay sinir ağıları methodu kullanılmıştır.

Yapay sinir ağı temelinde insan beyninin çalışma prensiplerinden esinlenerek geliştirilmiş, esnek, yeni durumlara uyum sağlayan, karmaşık problemlere uygulanabilen, bilgi alışverişi, deneyimden öğrenebilme yetisine sahip bir matematiksel modeldir. İnsan vücudundaki sinir hücrelerine benzer bir yapıya sahip olan yapay sinir ağıları (YSA), öğrenme yolu ile yeni bilgiler üretme, keşfedilme gibi yetenekleri otomatik olarak gerçekleştirmek üzere geliştirilmiş bilgisayar sistemidir (Öztemel, 2006). YSA ile ilgili ilk hesaplama modelleri 1940'lı yıllarda başlamış olup, bununla ilgili yapılmış ilk çalışmalar, beyin hücrelerinin fonksiyonlarının ve birbiriyle olan haberleşme biçimlerinin ortaya çıkarılmasına yöneliktir. Sonrasında, Farley ve Clark (1954) ağ içerisinde uyarılara tepki veren ve uyarılanabilen bir ağ modeli geliştirmiştir. Modeldeki eksiklerden ve farklı kullanım alanlarında denemelerden dolayı çalışmalar uzun sürmüştür. 1985 yılı ve sonrasında YSA yaygın olarak tanınmaya başlamış ve araştırmalarda kullanılmıştır. İnsan beyninden etkilenecek geliştirilen Yapay Sinir Ağları ağırlıklı bağlantılar vasıtasıyla birbirine bağlanmış işlem öğelerinden oluşmuş paralel ve aynı zamanda dağıtılmış bilgi işleme yapılarıdır (Zimberg, 2009). Sinir Ağları, girdi ve çıktı veri setleri arasında kompleks lineer olmayan ilişkileri belirleyen esnek matematiksel yapılardır. Yapay Sinir Ağı modelleri, proses özelliklerinin fiziki eşitlikler kullanılarak ifade edilmesinin güç olduğu problemlerde, faydalı ve etkin bulunmuştur. Yapay sinir ağının en önemli işlevi kendine sunulan girdi kümesine karşılık çıktı kümesi oluşturmaktır. Bunu yapabilmek adına sinir ağının alakalı örneklerle eğitimi gerçekleşir. Bir yapay sinir ağı modelinde 3 önemli unsur yer almaktadır: Düğümlerin yapısı, ağ topolojisi ve öğrenme algoritmasıdır. Sinir ağları, ağırlıklarla birbirine bağlı, birlikte çalışan birden fazla düğümden meydana gelmektedir.

Yapay Sinir Ağları;

- Yapay Sinir Ağlarının karakteristikleri ağın modeline, öğrenme algoritmalarına göre farklılık gösterirken genel anlamda aşağıdaki özellikleri içermektedir (Öztemel, 2006).
- YSA makina öğrenimi gerçekleştirir, temel amacı bilgisayar öğreniminin sağlanmasıdır.

- Hataya toleranslıdır, bilgi eksiği ile çalışabilme özelliğine sahiptir. Ağın bir kısmında sorun oluştuğunda tüm sistem bundan etkilenmez.
- Kendi kendilerini organize edebilirler ve öğrenebilme yeteneğine sahiptirler. Ağlar kendilerine gösterilen örneklerle eğitildikten sonra karşılına çıkan yeni duruma yanıt verebilmektedir.
- Dağınık hafızaya sahiptir. Bilgi, yapay sinir ağlarında ağın tamamına yayılmış durumdadır.
- Salt sayısal bilgilerle çalışmaktadır. Sembol ya da şekillerle ifade edilen bilgiler, yapay sinir ağlarında kullanılması için sayısal değere dönüştürülmelidir.
- Paralel işleme özelliğine sahiptir, yapay sinir ağlarındaki işlemler doğrusal değildir.
- Algılamaya yönelik olaylarda kullanılır. Şekil ilişkilendirme, genel örnekleri sınıflandırabilme, örüntü tamamlayabilme gibi özelliklere sahiptir.

YSA, yapay sinir hücrelerinin biraraya gelmesi ile oluşmaktadır. Hücrelerin biraraya gelmesi rastsal olamaz. Hücreler genellikle 3 tabaka halindedir. Bu tabakaların (katmanların) paralel olarak biraraya gelmesi sonucu ağ yapısı (mimarisi) oluşur. Yapay sinir ağlarının mimarisinde girdi katmanı, ağırlıklar, gizli katman, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktı fonksiyonu bulunmaktadır.

Giriş katmanı, veriyi henüz işlemeden ara katmanlara transfer etmekle görevlidir. Bu katmandaki nöron sayısı girdi veri sayısına eşittir. Bundandır ki her girdi nöronu bir veri almaktadır. Bu tabakadaki veri henüz işleme tabi tutulmadan bir sonraki katman olan gizli katmana geçer.

Ağırlıklar, yapay sinir hücresine gelen bilgilerin etkisini ve önemini ifade eder. Her bir girdi kendine ait ağırlığa sahiptir. Bir ağırlık değerinin sayısal olarak büyük ya da küçüklüğü, o girişin yapay sinir ağı için önemli ya da önemsiz olduğu anlamına gelmemektedir.

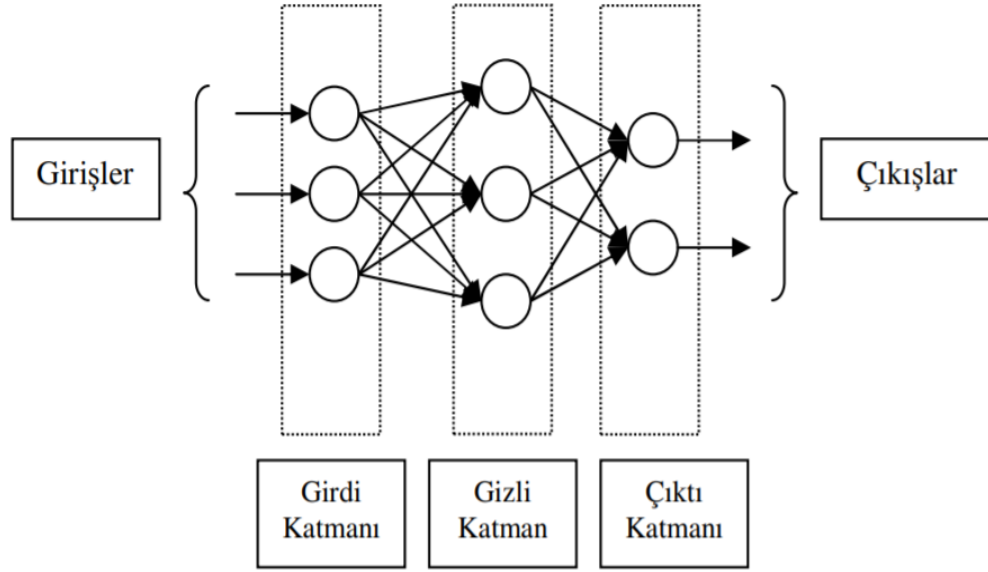
Gizli katman, ağda temel işlev gören katmandır. Girdi katmanlarından esas veriyi farklı method ve modeller uygulayarak işlenmesini sağlarlar. Gizli katman sayısı ve gizli katmanda yer alan nöron sayısı uygulama ya da probleme göre

değişmektedir. Girdi katmanından alınan ve ağırlıklandırılan veri probleme uygun bir fonksiyon yardımıyla işlenerek bir sonraki tabakaya iletilir.

Toplama fonksiyonu yardımıyla hücreye gelen net girdi hesaplanır. Bu hesaplama için farklı fonksiyonlar kullanılmaktadır. En yaygın kullanılanı ağırlıklı toplamı bulmaktır. Burada gelen her girdi değeri kendi ağırlığı ile çarpılarak toplama işlemi yapılır. Böylelikle ağa gelen net girdi değeri hesaplanır. Bir problemde optimum toplama fonksiyonunu bulmak için belirlenmiş özel bir formül bulunmamaktadır.

Aktivasyon (Transfer) fonksiyonu toplama fonksiyonundan gelen bilgilerin çıktıya dönüştürülmesini sağlar. Toplama fonksiyonunda olduğu gibi, aktivasyon fonksiyonunda da çıktıyı hesaplamanın farklı yöntemleri vardır ve aynı zamanda süreç öğelerinin tamamının aynı aktivasyon fonksiyonunu kullanma gibi bir mecburiyetleri bulunmamaktadır. Problemin çeşidi ve/veya kullanılan ağ yapısının özelliğine göre farklı aktivasyon fonksiyonları tercih edilebilir. Genellikle literatürde kullanılan aktivasyon fonksiyonları; doğrusal, basamak, kutuplamalı basamak, parçalı doğrusal, sigmoid, tanjant hiperbolik, sinüs aktivasyon fonksiyonlarıdır.

Çıktı katmanında veriler girdi katmanında emsal olarak gönderilen veriler için ara katmandan iletilen verileri işleyerek çıktının üretilmesini sağlar. Çıktı katmanı ağın en uç katmanıdır. Gizli katmandan aldığı veriyi ağ fonksiyonu ile işleyerek çıktıyı verir. Çıktı katmanındaki nöron sayısı, ağa sunulan her verinin çıktı sayısındaki kadardır. Bu katmandan elde edilen sonuçlar yapay sinir ağından var olan problemin çıkan sonuç değerleridir. Yapay sinir ağının yapısı genel hatlarıyla aşağıdaki gibidir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1: İki Katmanlı Yapay Sinir Ağı Yapısı.

Yapay sinir ağlarında modeller, ağlarının akış yönü ile bağlantılı olarak, geri beslemeli (Feed Backward) ve ileri beslemeli (Feed Forward) olarak ayrılır. Bu çalışmanın uygulama kısmında geri yayımlı, ileri beslemeli bir ağ modeli kullanılmıştır.

İleri beslemeli Yapay Sinir Ağlarının hücreleri tabakalar halinde dizayn edilmektedir. İlgili katmanın nöron çıktıları ardındaki katmana ağırlıkların üzerinden giriş olacak şekilde aktarılır. Nöronlar arasındaki bağlantılar ileri doğru ve tek yönlüdür. Aynı katmandaki nöronların birbirleriyle bağlantı bulunmamaktadır. Girdi katmanında herhangi bir işlem uygulanmaz. Gizli katmanda uygulanacak olan algoritma tayin edilir ve ardından çıktı katmanına iletilir ve netice tahmin edilir.

İleri beslemeli yapay sinir ağlarında, işlemci elemanlar genellikle katmanlara ayrılmıştır ve bir katmandaki hücrelerin çıktıları bir sonraki katmana ağırlıklar üzerinden girdi olarak verilir. İleri beslemeli yapay sinir ağlarında katmanlar ileri yöndedir, tersine bir yönelme yoktur. Her bir katmandaki hücreler sadece bir önceki katmanın hücrelerince beslenir (Karlık, 1994). Bu sebeple ileri beslemeli ağ yapısında, işlemci elemanlar arasında yer alan bağlantılar bir döngü oluşturmadığı için ağa girilen verilere hızlı bir şekilde çıktı üretilebilir. İleri beslemeli yapay sinir ağlarında, hücreler katmanlar şeklinde düzenlenmekte ve bir katmandaki hücrenin çıktıları bir sonraki katmana ağırlıklar üzerinden girdi olarak verilmektedir. Girdi katmanı, dışarıdan aldığı

bilgileri hiçbir değişikliğe uğratmadan gizli katmandaki hücrelere iletmektedir. Bu bilgi, ara katman ve gizli katmanda işlenerek ağ çıktısı belirlenir (Saraç, 2004).

Geriye yayılım algoritması ya da modeli, girdi takımına karşın özel bir fonksiyonel yapıya ulaşmak amacıyla çıktılar meydana getirmek üzere ağırlıkların ayarlanması ilkesine dayanmış Yapay Sinir Ağı algoritmasıdır. Literatürde en çok tercih edilen öğrenme algoritmalarından birtanesidir. Bir geri yayımlı algoritmanın, ileri beslemeyle birlikte çok katmanlı bir yapıyı içermesi gerekmektedir. Çok katmanlı geri yayımlı algoritmasında ise bir adet girdi ve çıktı katmanı ve minimum bir adet de gizli katman yer alması gerekmektedir. Girdi, çıktı ve en az bir gizli katman olmak üzere üç katmandan oluşur. Gizli katman ve gizli katmandaki düğüm sayısı değişebilir. Düğüm sayısının artması ağın hatırlama yeteneğini artırmakla beraber öğrenme işleminin süresini uzatmaktadır. Düğüm sayısının azaltılması eğitim süresini kısaltmakta fakat hatırlama yeteneğini de azaltmaktadır. Girdi katmanındaki her bir düğüm gizli katmandaki her düğüme, gizli katman birden fazla ise bu katmandaki her bir düğüm kendisinden sonra gelen katmandaki her düğüme ve gizli katman çıkışındaki her düğüm çıktı katmanındaki her düğüme bağlıdır. Bir katmandaki hiçbir düğüm kendi katmanındaki diğer bir düğüme bağlı değildir. Her katmanın çıktı değerleri bir sonraki katmanın girdi değeridir. Bu şekilde girdi değerlerinin ağın girişinden çıkışına doğru ilerlemesine ileri besleme denir. Bu algoritma çok katlı ağlarda hesap işlerini öğrenmede kullanılabilir. Geri yayılım ağında hatalar, ileri besleme aktarım işlevinin türevi tarafından, ileri besleme mekanizması içinde kullanılan aynı bağlantılar aracılığıyla, geriye doğru yayılmaktadır. Öğrenme işlemi, bu ağda basit çift yönlü hafıza birleştirmeye dayanmaktadır. Geri yayılım öğrenme yöntemi, türevi alınabilir etkinlik işlevlerini çok katmanlı herhangi bir ağa uygulayabilir ve sistem hatasını veya maliyet işlevini azaltma esasına dayanan bir optimizasyon işlemidir. Bu yöntemde ağırlık ayarlamaları yapıldığı için ‘geri yayılım’ ismi kullanılmıştır (Elmas, 2003). Geriye yayılma algoritmasında iterasyonlar ileri ve geri yayılma olmak üzere iki süreçten meydana gelmektedir. İleri yayılma sürecinde Yapay Sinir Ağının o andaki durumunda Yapay Sinir Ağına uygulanan girdi sinyallerine karşı Yapay Sinir Ağının çıkışlarında meydana gelen değerler bulunur. Geriye yayılma basamağında çıkışlarda oluşan hatalardan yola çıkılarak modeldeki ağırlıkların organizasyonu tekrar yapılmaktadır.

6. PİYASA TAKAS FİYATININ OLUŞUMUNA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Bu bölümde öncelikle elektrik tahmin modelinde parametre olarak kullanılan ve piyasa takas fiyatını etkileyen faktörlerin (F) geçmiş dönem analizleri yapılmış ve piyasa takas fiyatı ile ilişkileri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Sonrasında modelde parametre olarak yer alabilecek hale getirilip tahmin için kullanılmıştır. İlk olarak alt yapı ve veri oluşturmak amacıyla Türkiye Elektrik Piyasası Takas Fiyat oluşumunu etkileyen faktörler incelenmiş olup değişkenler belirlenmiştir, sonrasında Levenberg-Marquardt ve momentum geriye yayılma algoritması Yapay Sinir Ağları yöntemiyle modellenen veri setleri kullanılarak Türkiye Elektrik Piyasası Takas Fiyat (PTF) tahmini yapılmıştır. Bu uygulamanın diğer elektrik fiyat tahmin çalışmalarından en önemli farkı, seçilmiş veri grubunun fiyatın oluşmasını sağlayan arz ve talep parametrelerini değişken olarak kullanılmasıdır.

6.1 Piyasa Takas Fiyatına Etki Eden Faktörlerin (F) İncelenmesi ve Parametrelerin Belirlenmesi

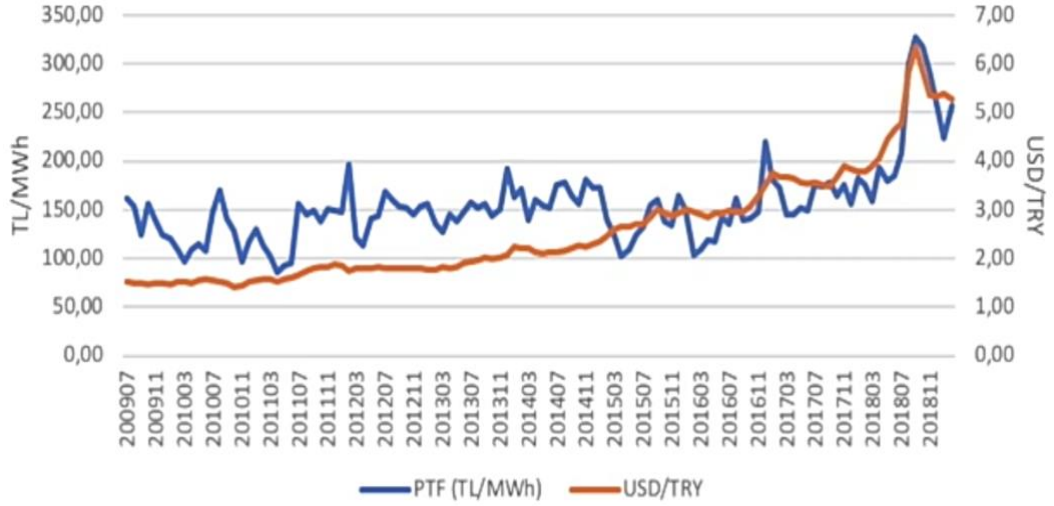
Piyasa Takas Fiyatı oluşumuna konu arz ve talep eşleşmesine etkisi olan üretici ve tüketicilerin etkinlikleri, fiyat oluşumundaki başlıca temel etkenlerdir. Bu anlamda Türkiye Elektrik Piyasası'nda yer alan üretici ve tüketicinin tipik özelliğini incelemek, Piyasa Takas Fiyatının tahmin edilmesinde büyük rol oynayacaktır. Öte yandan günümüzde Türkiye Elektrik Piyasası'nda her bir saat için ulusal bazda tek bir Piyasa Takas Fiyatı oluşumu gerçekleşmektedir. Günümüzde piyasa içerisinde bölgesel anlamda bir fiyat çalışması mevcut değildir. Piyasanın tam anlamda liberalleşmesi ile birlikte Türkiye'de bölgesel bazlı Piyasa Takas Fiyatı oluşum proseslerinin de meydana gelmesi olasıdır. Mevcut durumda ulusal bazda yalnızca tek bir fiyat oluşumu gerçekleşmiş olsa da elektrik üretim santralleri ve tüketim kümeleri için güvenilir matematiksel tahmin modelleri yapılabilmesi için bölgesel anlamda incelemeler gerekmektedir. Bu bölümde çalışmaların başlangıcında piyasa takas fiyatına etkisi ve ilişkisi olduğu düşünülen bazı elektrik piyasası değişkenleri incelenecek olup sonrasında yapılacak olan korelasyon testleri ile yapay sinir ağı modelinde girdi değişkeni olarak kullanılacak parametreler belirlenecektir.

Dolar Kuru (F1)

Türkiye’de elektrik enerjisi yağışlı aylarda yaklaşık %25, yaz aylarında ise %45 oranında döviz ile ithal edilen kaynaklardan (doğalgaz, ithal kömür vb) üretilmektedir. Özellikle doğal gaz fiyatı emtia borsalarında Amerikan Doları (USD) olarak belirlenmekte ve ülkemize USD cinsinden ithal edilmektedir.

Diğer yandan elektrik piyasasında ise fiyatı, marjinal üretim girdi maliyeti belirlemektedir. Bu nedenle üretim maliyeti en yüksek kaynaklar olan doğal gaz ve ithal kömür üretimden aldığı paya oranında elektrik fiyatını belirlemektedir. PTF fiyat grafiğinden de görüleceği üzere doğal gaz ve ithal kömür üretimlerin yüksek gerçekleştiği aylarda PTF diğer aylara göre daha yüksek gerçekleşmiştir.

Enerji anlamında büyük oranda dışa tabi ve gelişmekte olan Türkiye’nin elektrik üretiminde en çok kullandığı kaynaklar doğalgaz ve kömürdür. 2017 yılında yapılan doğalgaz ithalat miktarı 55.249,95 milyon standart m³’tür. 2016 yılı ile karşılaştırıldığında doğal gaz ithalat miktarı %19,20 artış göstermiştir. 2017 yılı ithalatında %51,93’lük oranla en büyük pay Rusya’ya aittir (EPİAŞ, 2019). Doğal enerji kaynaklarında ihracatın ithalatı karşılama payı oranı yüzde ellinin altındadır. İthalat oranının yüksek olduğu bu piyasa diğer benzer piyasalarda da görüldüğü gibi global ekonomik sansasyonlardan büyük ölçüde etkilenmektedir. Kurda oluşabilecek bir dalgalanmanın elektrik fiyatlarına buna bağlı olarak da talebe etkisi olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası tarafından yayınlanmakta olan günlük döviz kurlarının çalışmaya veri setine dahil edilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.



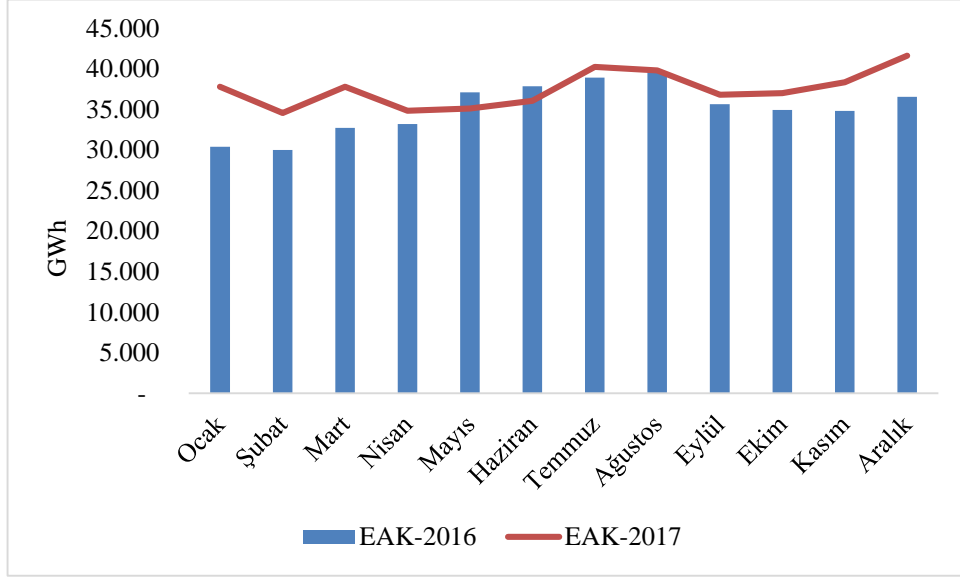
Şekil 6.1: 2009-2018 Dolar Kuru ve PTF İlişkisi.

2009 ile 2018 yılları arası dolar kuru ile PTF arasında bir korelasyonun varlığı Şekil 6.1’de gözükmemektedir. 2018 yılının son aylarına baktığımızda bu ilintinin arttığı bilinmektedir. Bu veriler ışığında ülkemizde elektrik fiyatlarına gecikmeli de olsa kur artışları yansımaktadır. Bu nedenle döviz kurları ile PTF arasında ilişki olduğu söylenebilir.

Emre Amade Kapasite (F2)

Emre amade kapasite (EAK) piyasa işletmecisi veya sistem işletmecisi tarafından verilen komutları istenen sürede ve miktarda yerine getirebilme yeteneğini temsil eder, diğer bir deyişle devreye alınabilir elektrik üretim kapasitedir.

İstikrarlı ve şeffaf bir elektrik enerjisi piyasasının oluşabilmesi emre amade kapasitenin yeterli, kaliteli, sürekli, düşük maliyetli ve çevreyle uyumlu bir şekilde tüketicilerin kullanımına sunulması ile mümkün olabilmektedir. Bu sayede anlık ve/veya sürekli elektrik talebinin yeterli, sürekli ve çevreyle uyumlu bir şekilde karşılanabilmesi elektrik enerjisinin düşük maliyetli ve kaliteli olarak tüketicilere sunulması sağlanabilmektedir.



Şekil 6.2: Ortalama Emre Amade Kapasite Miktarları (EPİAŞ, 2019).

Kaynak bazında elektrik santrallerin üretim maliyetleri ve kapasite faktörleri farklılık göstermektedir. Genel olarak yenilenebilir elektrik santrallerinin sabit yatırım maliyetleri yüksek, üretim maliyetleri düşüktür. Bunun tersi olarak ise termik enerji santrallerinin (doğal gaz, kömür vb) sabit yatırım maliyetleri düşük ancak üretim maliyetleri yüksektir. Bu nedenle yenilenebilir enerji santralleri fiyattan bağımsız üretim yaparken termik enerji santralleri üretim maliyetinin karşılandığı belli bir fiyattan sonra üretim yapmaktadırlar.

Diğer yandan yenilenebilir enerji santrallerinin kaynakları su, rüzgâr, güneş vb olduğundan bu kaynaklardan elektrik üretimi yıl boyunca iklim ve mevsimsel etkiler nedeniyle düzensiz gerçekleşmektedir. Özellikle elektrik talebinin yüksek olduğu yaz aylarında yenilenebilir üretim tesisleri düşük üretim gerçekleştirmekte, kış ve ilkbahar aylarında ise yüksek üretim gerçekleşmektedir. Nisan ve Mayıs aylarında yenilenebilir enerji santrallerinde üretim yüksek gerçekleşirken Ağustos ve Eylül aylarında ise termik santrallerde daha yüksek bir elektrik üretimi gerçekleşmiştir. Aynı zamanda Ağustos ve Eylül aylarında tüketim talebi buna bağlı olarak da elektrik üretimi artmıştır. Yenilenebilir üretimindeki düşüşe rağmen elektrik üretimindeki bu artış termik santral üretimlerindeki artış ile karşılanmıştır. Emre amade kapasitenin bu kaynak yapısı nedeniyle yaz ve sonbahar aylarında PTF yükselmiş kış ve ilkbahar aylarında ise PTF düşmüştür (Şekil 6.2). Başka bir ifade ile üretim maliyetinin daha düşük olduğu yenilenebilir enerji santrallerinin talebi karşılayamadığı aylarda PTF

yükselmektedir. Tüm bu bilgiler, emre amade kapasite ve emre amade kapasitenin yapısı ile PTF arasında yüksek oranda ilişki olduğunu göstermektedir. Buradan hareketle yenilebilir santrallerin emre amade kapasitesinin ülke talebini karşılayabilecek yeterlilikte yatırım yapılması halinde elektrik enerjisinin kaliteli, sürekli, düşük maliyetli ve çevreye uyumlu olarak tüketicilere sunulması sağlanabileceğini söylenebilir.

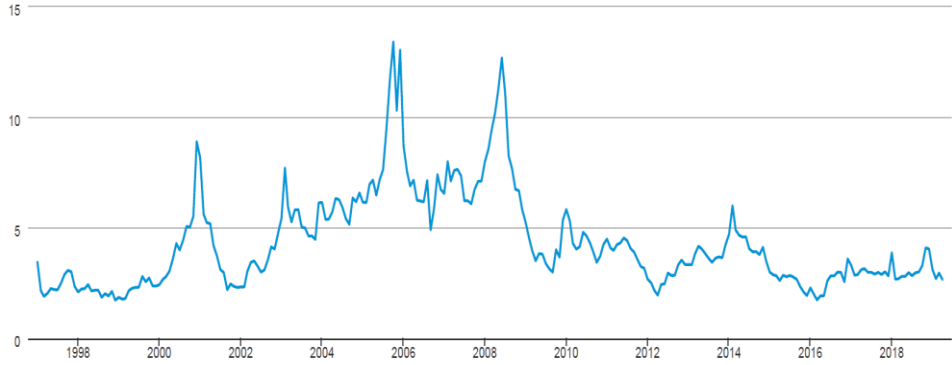
Uzlaştırmaya Esas Veriş Miktarı, Uzlaştırmaya Esas Çekiş Miktarı, Gün Öncesi Piyasası İşlem Hacmi, Elektrik Yük Talep Miktarı (F3)

Ekonomimin temel varsayımlarından fiyat oluşum mekanizması elektrik piyasasında geçerli olup elektrik arz ve talebin çakıştığı nokta denge fiyatı dengeleme ve uzlaştırma yönetmeliği tanımına göre de piyasa takas fiyatı oluşmaktadır. Özetle fiyatın arz ve talep olmak üzere iki temel unsuru olduğunu söyleyebiliriz. Uzlaştırmaya esas veriş miktarı (UEVM), uzlaştırmaya esas çekiş miktarı (UEÇM), GÖP işlem hacmi ve elektrik yük talep miktarı (EYTM) kavramları farklı şekillerde de olsa piyasada talebi temsil etmektedirler. Gerçekleşen PTF'ler incelendiğinde talebin en yüksek olduğu aylarda PTF'nin de yüksek gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Elektrik piyasasında talebi belirleyen en önemli unsurlar ise şöyledir; büyüme, nüfus artışı, kişi başı tüketimdeki artış, sıcaklık (ısıtmanın ihtiyaç olduğu kış aylarında elektrik talebi artmakta ancak ısıtma ve soğutmanın çok sınırlı ihtiyaç duyulan aylarda (Nisan, Mayıs, Ekim, Kasım) sayılabilir. Tüm bu veriler, elektrik piyasasında talebi temsil eden ve EPİAŞ tarafından açıklanan UEVM, UEÇM, GÖP işlem hacmi ve EYTM arasında güçlü bir ilişki olduğunu göstermektedir. Bu nedenle PTF tahmin modelinde geçmiş UEVM, UEÇM ve GÖP işlem hacmi ve EYTM değişken olarak kullanılmıştır.

Doğalgaz Fiyatı (F4)

Türkiye'de kullanılan elektriğin büyük bir bölümü doğal gazdan üretilmektedir. Doğal gazın elektrik üretiminde yüksek oranda kullanılmasının nedenleri arasında düşük yatırım maliyeti istemesi, düşük çevresel etkilerinin olması ve kısa inşaat süresine sahip olması sayılabilir. Elektrik üretiminde doğal gaza olan bağımlılık nedeniyle doğal gaz fiyatları elektrik fiyatlarını etkiler.

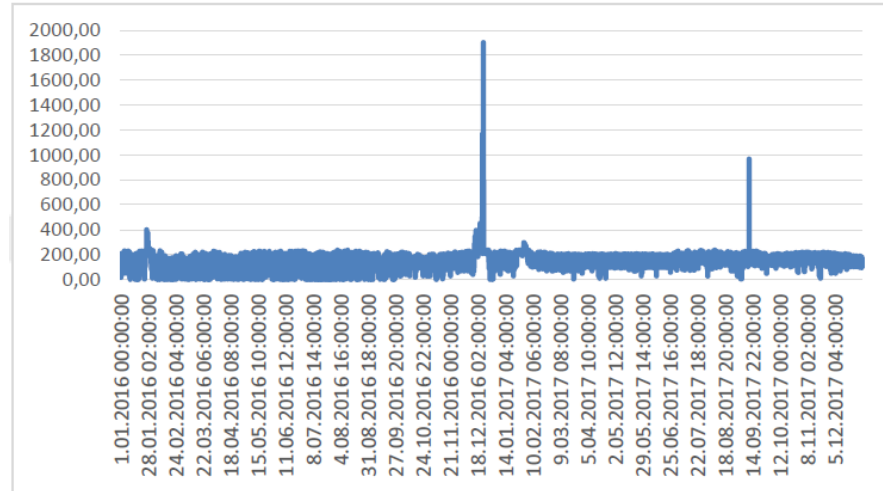
Türkiye’de doğal gaz piyasasının mevcut olmaması sebebiyle bu tez çalışmasında piyasa takas fiyatı tahmin modelinde girdi olarak Amerika Henry Hub verileri kullanılmıştır. 1998 ve 2018 yılları arasında Henry Hub’da oluşan ABD Dolar ile BTU (British Thermal Unit) değişimi Şekil 6.3’de verilmiştir.



Şekil 6.3: Henry Hub Doğalgaz Spot Fiyatı (Dolar/Btu).

Gün Öncesi Piyasası Geçmiş Dönem Elektrik Fiyatları (F₅)

2016-2017 yıllarına ait gün öncesi piyasa takas fiyatları Şekil 6.4’de de görüldüğü üzere belirli zamanlarda tavan yapma özelliği gösterdiği ve gün içerisinde farklı saat aralıklarında fiyatların dalgalandığı gözükmektedir.



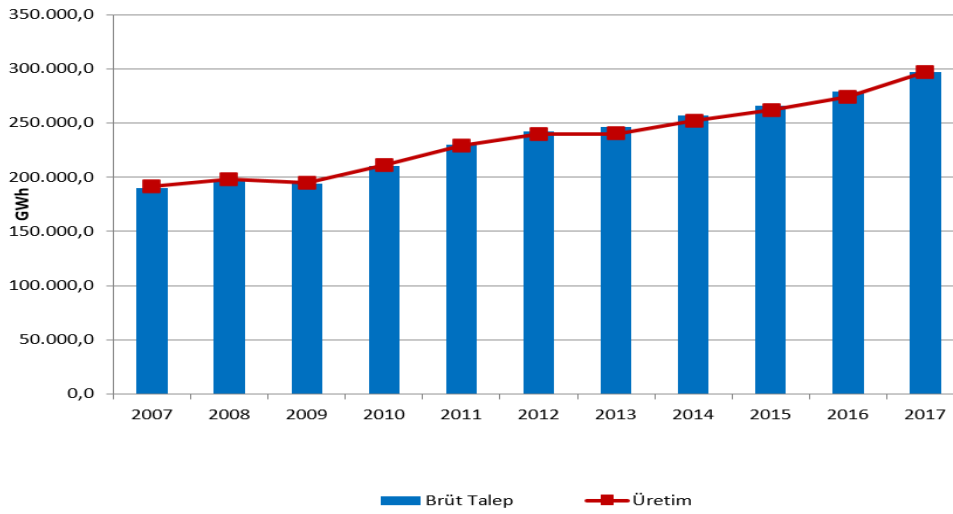
Şekil 6.4: 2016-2017 Yılları Gün Öncesi Piyasa Takas Fiyatları (EPIAŞ, 2019).

Zaman aralıklarına bağlı olarak ortalama PTF’yi etkileyen en önemli dinamik; çalışma saatlerini kapsayan zaman dilimleridir. Şekil 6.4’te görüldüğü gibi özel günler

olmadığı sürece, gün içindeki diğer zaman dönemlerinden daha yüksek ortalama PTF'ye sahiptir.

Elektrik Enerjisi Üretim ve Talep Miktarı (F₆)

2017 yılının sonu itibarıyla, 46.926 MW termik, 1.064 MW jeotermal, 27.273 MW hidrolik, 6.516 MW rüzgar ve 3.421 MW güneş olmak üzere Türkiye toplam kurulu gücü 85.200 MW'a erişmiştir. 2017 yılı sonu itibarıyla brüt elektrik enerjisi talebi 295 milyar kWh gerçekleşmiştir (Şekil 6.5). Toplam 296 Milyar kWh üretim gerçekleştirilirken 2,7 Milyar kWh ithalat yapılmıştır. 2017 yılında elektrik enerjisi talebi ise 2016 yılına göre yaklaşık % 5,6'lık artış ile 294,9 milyar kWh olmuştur. Mevcut sistem 2017 yılında, termik santrallardan 210,5 milyar kWh, hidrolik santrallardan 58,4 milyar kWh, rüzgar santrallarından 17,9 milyar kWh, jeotermal santrallardan 6,0 milyar kWh ile güneş santrallarından 2,7 milyar kWh olmak üzere toplam 296 milyar kWh üretim gerçekleştirmiştir (TEİAŞ Sektör Raporu, 2017).

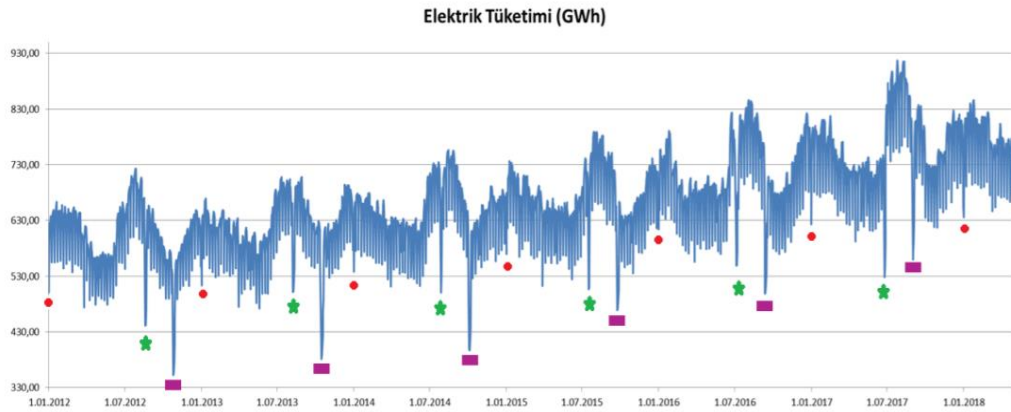


Şekil 6.5: Brüt Elektrik Enerjisi Üretimi Talep Gelişimi (TEİAŞ Sektör Raporu, 2017).

2016 ve 2017 yıllarını karşılaştırdığımızda lisanslı üretim ve tüketimin %7,3 ile %5,2 oranlarında, lisanslı kurulu güç ile puant talebin %5,1 ve %6,6 oranında yükseldiği gözükmemektedir. Üretim miktarı ve lisanssız kurulu gücün %166,42 ile %202,8 oranında yükseldiği gözükmemektedir. İthalat 2016 yılına göre %57,4 düşüş göstererek 2,73 TWh olarak oluşmuştur. İhracat ise %128,9 oranında artarak 3,30 TWh olmuştur (TEİAŞ Sektör Raporu, 2017).

Elektrik Enerjisi Tüketim Miktarı (F7)

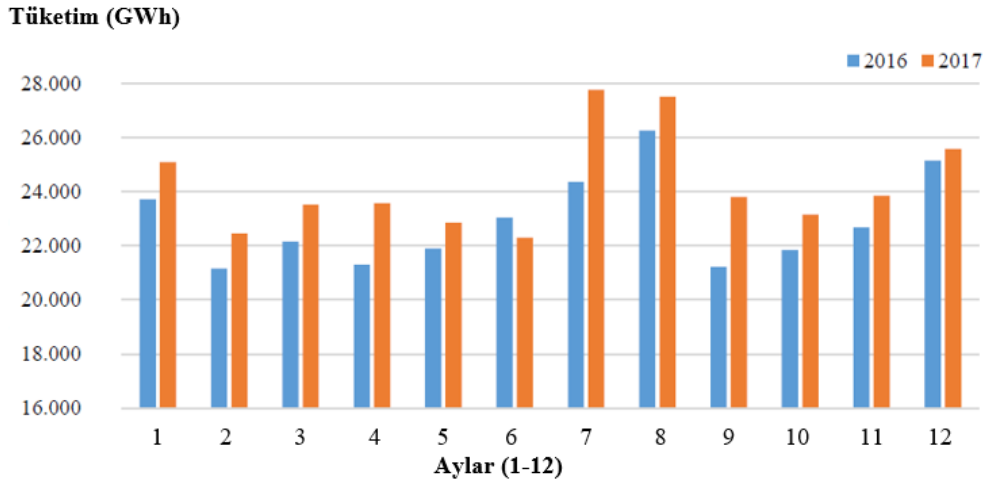
Fiili tüketimin ekonomik kriz sebebiyle 2001 ve 2009 yıllarında öndeki yıla göre düşüş göstermiştir, diğer yıllarda artış göstermektedir. Fiili tüketimin yıllar itibariyle gelişimi Şekil 6.6'da görülmektedir. Uygulamada kullanılan elektrik tüketim verileri EPIAŞ'ın resmi internet sitesinden saatlik ve günlük frekansta alınmıştır. Ocak 2016-Aralık 2017 dönemine ait saatlik frekansta alınan Türkiye elektrik tüketimi verileri, 24 saatlik tüketim verilerinin toplanmasıyla birlikte günlük frekansa çevrilmiştir. Şekil 6.6'da elektrik tüketiminin dalgalı bir yapıda olduğu görülmektedir.



Şekil 6.6: 2012-2018 Yılları Arası Türkiye Elektrik Tüketim Verileri (EPIAŞ, 2018).

Şekil 6.6'de görüldüğü üzere her yılın belirli dönemlerinde elektrik tüketiminde ani düşüşler meydana gelmektedir. Bu ani düşüşlerin yılbaşı, resmi ve dini bayramlara denk geldiği saptanmıştır. Şekil 6.6'da kırmızı işaretli noktalar yılbaşlarını, yeşil yıldız işaretli noktalar ramazan bayramı tatillerini ve mor dikdörtgen işaretli noktalar kurban bayramı tatillerini göstermektedir. Tüketim verileri mevsimler bazında analiz edildiğinde talebin yaz ve kış aylarında arttığı görülmektedir. Tüketim miktarı yaz aylarında soğutma, kış aylarında ise ısıtma amaçlı artarken, bahar aylarında ise daha düşük seviyede seyretmektedir. En yüksek elektrik tüketiminin yaz ayları olan Temmuz ve Ağustos, kış mevsimi olarak ise Aralık ayında gerçekleştiği tespit edilmiştir. Mevsimler bazında büyükten küçüğe elektrik talebini değerlendirecek olur isek sırası ile yaz, kış, sonbahar ve ilkbahar aylarında gerçekleşmektedir. Gün bazında elektrik talebinde büyük bir fark gözükmemesine rağmen Pazar gününün tüketimi diğer günlere nazaran düşük gerçekleşmiştir. Yılbaşı, Ramazan ve Kurban Bayramı tatillerinde elektrik tüketiminde ani düşüşler görülmektedir. Talepteki en ani azalma kurban bayramı tatillerinin olduğu günlere karşılık gelmektedir. Kurban

Bayramı tatillerini Ramazan Bayramı tatilleri ve yılbaşı izlemektedir. Günlük elektrik tüketimi detaylı bir şekilde analiz edildiğinde bazı günlerde arıza, bakım, onarım vb. sebeplerle kesintiler dolayısıyla tüketimde azalmalar gözlenmiştir. Bu ve benzeri kesintilerin öncesinde öngörülmesi ve modele dahil edilmesi mümkün olmamaktadır. Elektrik tüketimi karakteristik olarak otoregresif bir yapıdadır. Daha açık bir ifadeyle, bir sonraki dönemin talebini geçmiş döneme ait elektrik tüketim miktarları etkilemektedir. Bu sebeple modele önceki döneme ait elektrik tüketimi verileri de ilave edilmiştir.



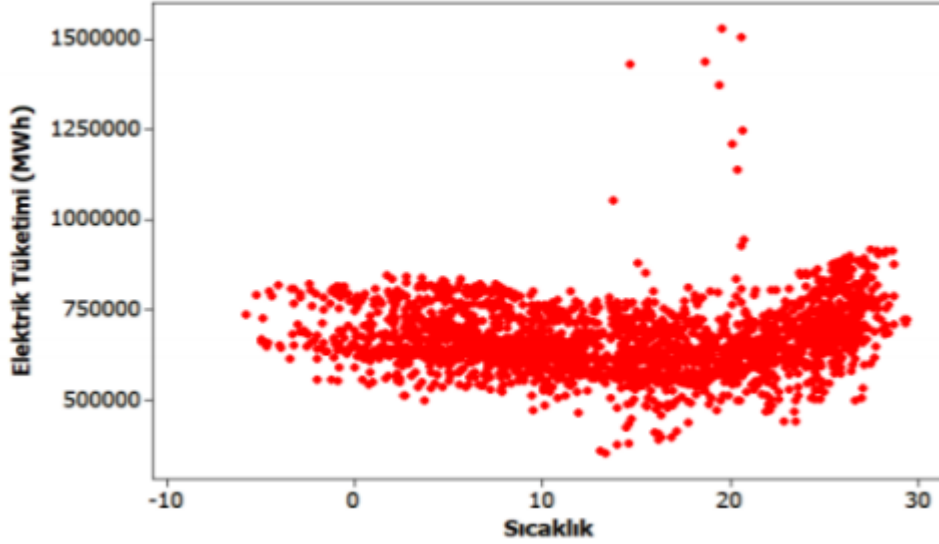
Şekil 6.7: 2016 ve 2017 Yılı Türkiye Toplam Elektrik Tüketimi (EPİAŞ, 2017).

2016 ve 2017 yıllarına ait tüketim miktarları incelendiğinde, Şekil 6.7’de de görüldüğü üzere genel olarak elektrik tüketimi yaz ve kış aylarında mevsimsel etkilere bağlı olarak artmaktadır. 2016 yılında en yüksek elektrik tüketimi Ağustos ayında gerçekleşirken, 2017 yılında ise Temmuz ayında gerçekleşmiştir. Analizin bu kısmı incelendiğinde, Türkiye’nin elektrik tüketiminde açıklanan elektrik tüketim verisi karakteristiğinin birçok parametreye bağlı olduğu görülmektedir. Elektrik enerjisi tüketimi; mevsimsellik, abone grubu, ay, gün ve zaman tipi gibi birçok değişkene bağlıdır. Bunlara ek olarak, özel durumlarda tüketim eğilimindeki değişiklikler de görülebilir. Bu bağlamda, elektrik piyasası elektrik fiyatlarını tahmin ederken bu faktörleri dikkate almak gerekir.

Mevsimsel Sıcaklık (F_s)

Günlük sıcaklık değerleri bina ve işyerlerinde ısıtma ve soğutma amaçlı ekipmanın elektrik tüketimini belirleyen en önemli etmenlerden bir tanesidir. Türkiye’de ısıtma ve soğutma ekipmanından en az yararlandığı aylar (Nisan, Mayıs, Ekim, Kasım) olup bu aylarda ülkemizde elektrik talebi de diğer aylara göre daha düşük gerçekleşmektedir. Kışın ısıtma amaçlı yazın da soğutma amaçlı elektrik tüketimi artmaktadır. Isıtma ve soğutma amaçlı elektrik tüketimi daha çok mesken ve ticarethane tarifesi tüketici grubunda yaygındır. Sanayi tarifesi içinde bir kısmı da ısıtma ve soğutma amaçlı kullanıldığı tahmin edilmektedir. Ayrıca sıcaklığın yüksek seyrettiği günlerde turizm kaynaklı elektrik tüketimi artmaktadır.

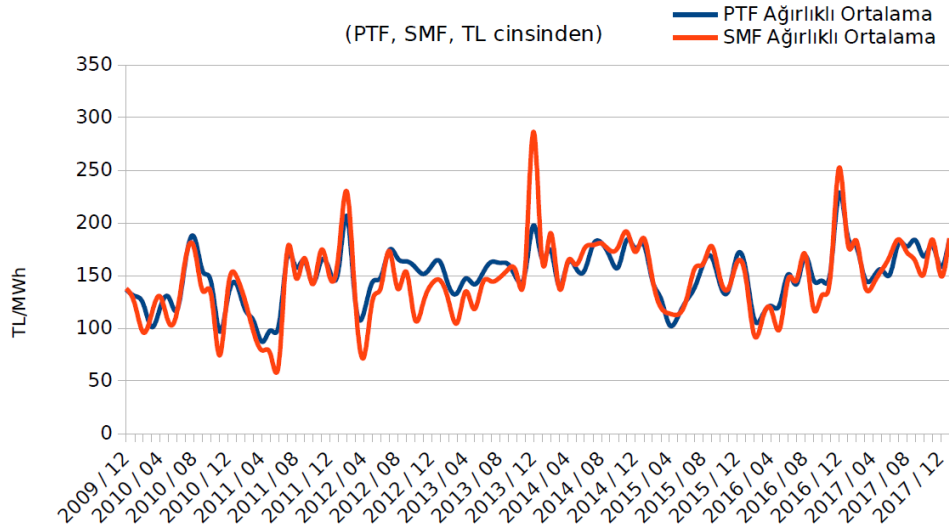
Sıcaklığın artması veya azalmasının öncelikle mesken kümesinin tüketime dair davranışlarına aracı olmadan etkisi olacaktır. Yaz aylarında artış gösteren sıcaklığa paralel olarak soğutma amacıyla kış aylarında ise azalan sıcaklığa paralel olarak ısıtma amacıyla elektrik tüketimi artış göstermektedir. Şekil 6.8’de görüldüğü üzere sıcaklık değerleri ile elektrik tüketimi arasında parabolik bir bağ bulunmaktadır.



Şekil 6.8: Günlük Sıcaklık Değerleri (°C) ve Elektrik Tüketimi (MWh) Dağılım Grafiği (MGM, 2018).

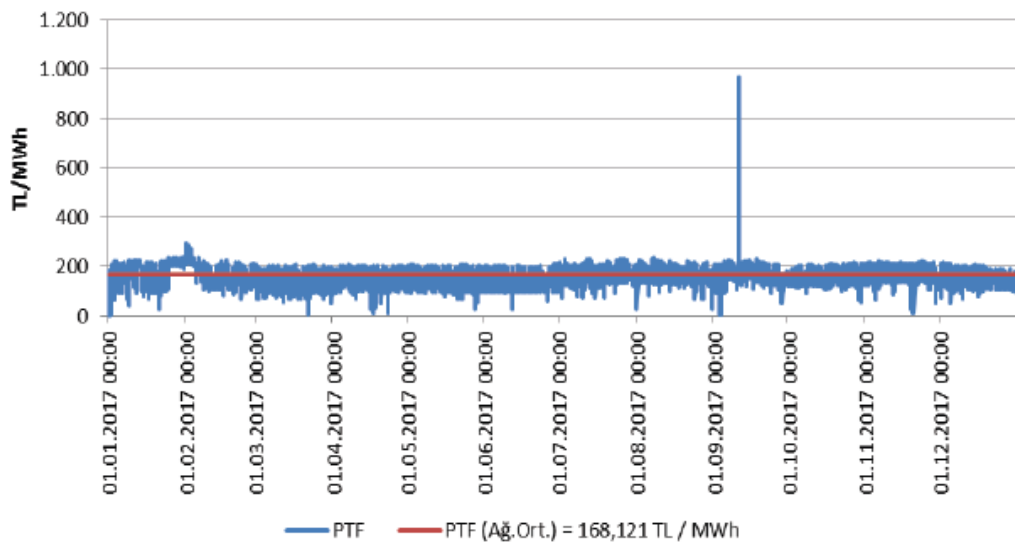
Reel ve Nominal Elektrik Fiyatları (F₉)

Enerji istatistiklerini örnek alacak olursak uluslararası enerji raporlarında finansal değerlerle ifade edilirken reel değerleri tercih edilmektedir. Yani finansal değerlerin belli tarihe çekilerek eşitleme işlemini yapıldığı metot kullanılır.



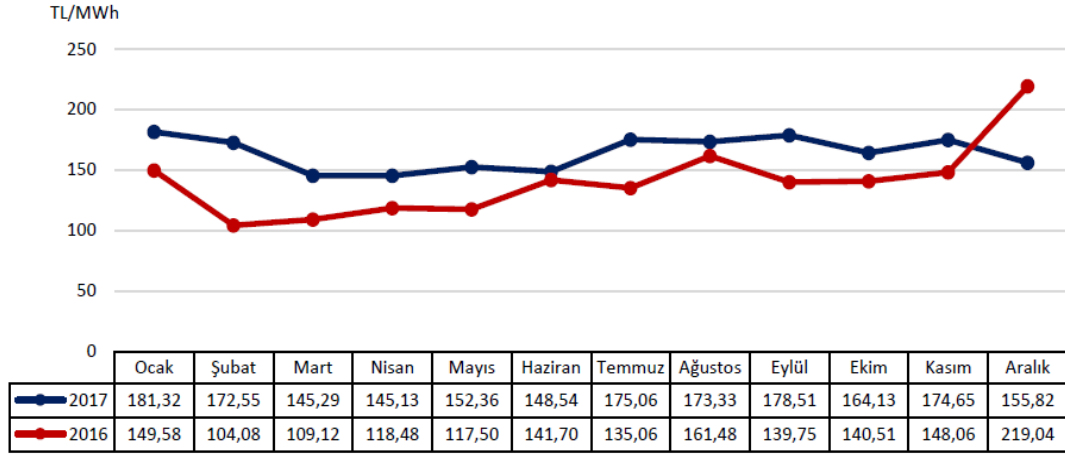
Şekil 6.9: Nominal Elektrik Piyasa Fiyatları.

Nominal anlamda fiyatlar yukarıdaki şekilde gözükmektedir. Elektrik fiyatlarının 2010 yılında 100-150 TL seviyesinden, 150-200 TL seviyesine yükseldiği görülmektedir (Şekil 6.9). 2017 senesi itibarıyla Gün Öncesi Piyasa fiyatlarının ağırlıklı ortalama fiyat ile birlikte Şekil 6.10'da yer almaktadır.



Şekil 6.10: 2017 Ağırlıklı Ortalama Piyasa Takas Fiyatı Saatlik Değişim (TL/MWh).

İşletimi Enerji Piyasaları İşletme A.Ş. (EPIAŞ) tarafından gerçekleştirilen Gün Öncesi Piyasası'nda, elektriğin teslimat gününden 1 gün öncesinde ticaret ve dengeleme işlemlerini gerçekleştirmektedir. Gün Öncesi Piyasası'nda katılımcıların saatlik olarak verdiği alış teklifleri toplamı ile talep eğrisi, satış teklifleri toplamı ile arz eğrisi meydana gelir. Gün Öncesi Piyasası'nda oluşturulan arz ve talep eğrilerinin kesişim noktasında uygun saat için Piyasa Takas Fiyatı ve miktarı oluşur. Şekil 6.11'da gözüktüğü gibi fiyat genel anlamda 100-250 TL/MWh seviyesinde hareket etmekte olup, 2017'de yalnızca 13 saat için 250 TL/MWh ve üstünde gerçekleşmiştir. Maksimum fiyat değeri 967,15 TL/MWh'e 11.09.2017 tarihi saat 14:00'da ulaşmıştır. 2017 yılı minimum PTF ise 1,04 TL/MWh olarak 01.01.2017 saat 08:00'da meydana gelmiştir.



Şekil 6.11: 2016 - 2017 Aylık Ortalama Piyasa Takas Fiyatı.

2017 yılının Piyasa Takas ortalama fiyatları aylık aylık olarak analiz edildiğinde minimum fiyatın 145,13 TL/MWh olarak Nisan ayında, maksimum fiyatın ise 181,32 TL/MWh ile Ocak ayında gerçekleştiği gözlemlenmiştir. 2017 yılının ilk 11 ayında Piyasa Takas Fiyatı ortalaması 2016 yılının ortalaması ile kıyaslandığında yüksek gerçekleştiği gözlemlenirken, 2016 yılının Aralık ayında yaşanan doğal gaz kesintisinin de sebebiyle Aralık ayının Piyasa Takas Fiyatı ortalaması 2016 yılında yüksek çıkmıştır. Aylık Piyasa Takas Fiyatları karşılaştırıldığında 2017 yılında en fazla artış Şubat ayında gerçekleşmiş ve ortalama Piyasa Takas Fiyatı 68,47 TL/MWh artarak 172,55 TL/MWh olmuştur.

Gün Tipi (F₁₀)

Genel olarak, gün tipine göre piyasa takas fiyatları incelendiğinde görülmektedir ki, özel bir durum olmadığı müddetçe tatil günleri PTF ortalaması hafta içi ortalamasından daha düşüktür. 2016 yılında 140,16 TL / MWh olan Pazar günü ortalama PTF, 2017 yılında 162,04 TL / MWh olarak gerçekleşmiştir (EPIAŞ, 2019).

Tablo 6.1: 2016 ve 2017 Gün Tipine Göre Ortalama PTF.

Gün	Gün Tipi	2016	2017	Değişim Yüzdesi (%)
Pazartesi	Haftaiçi	119	148	25
Salı	Haftaiçi	140	166	18
Çarşamba	Haftaiçi	146	170	16
Perşembe	Haftaiçi	146	171	17
Cuma	Haftaiçi	153	170	11
Cumartesi	Haftasonu	153	169	10
Pazar	Haftasonu	140	162	16
Bayram tatili	Özel gün	109	151	38
Resmi tatil	Özel gün	109	130	20
Arefe günü	Özel gün	135	150	12

Veri analizini oluşturan 2016 ve 2017 yılı gün bazlı PTF'ler analiz edilirken dikkat edilmesi gereken bir başka nokta, özel günlerdir. Çalışmada gün tipleri, takvim günlerinin hafta içi, haftasonu, Ramazan ve Kurban Bayramı tatilleri, resmi tatiller ve arefe günleri olarak belirlenmiştir. Genel olarak, özel günlerin PTF ortalamalarının hafta içi ortalamalarına yakın veya daha düşük olması beklenmektedir. 2016 yılında dini bayram günlerinde ortalama Tablo 6.1 'de görüldüğü üzere, PTF 108,95 TL / MWh iken, 2017 yılında % 19,6 artarak 130,30 TL / MWh olmuştur. 2016 yılında, dini bayramların PTF ortalaması 109,23 TL / MWh iken, 2017 yılında bu ortalama % 38,4 artarak 151,17 TL / MWh olmuştur (EPIAŞ, 2019).

6.2 Uygulama Modeline Ait Veri Gruplarının Oluşturulması

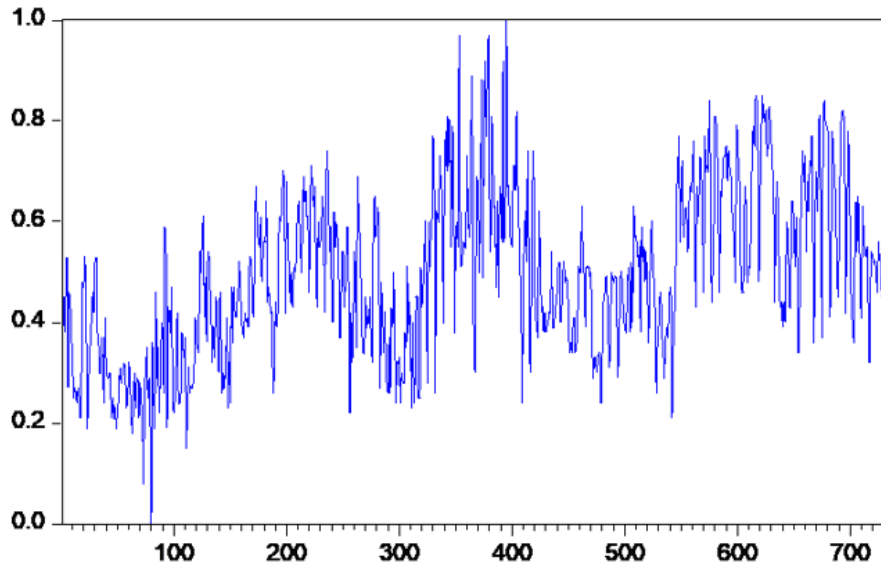
Günlük piyasa takas fiyatını tahminlemek amaçlı oluşturulan Yapay Sinir Ağ modelinin eğitim seti 1 Ocak 2016 ile 31 Aralık 2017 tarihleri arasındaki 731 adet günlük veri kullanılarak oluşturulmuştur. Elektrik piyasası verileri Piyasa İşleticisi olan EPİAŞ tarafından kamuya açık bir şekilde paylaşılmakta olan Şeffaflık Platformunun internet sitesinden temin edilmiştir. Türkiye’de doğal gaz piyasasının mevcut olmaması sebebiyle çalışmada piyasa takas fiyatı tahmin modelinde girdi olarak kullanılan doğalgaz spot fiyatları için Amerika Henry Hub fiyat verileri kullanılmıştır (EİA, 2019). Dolar kuru verileri TCMB’nin internet sitesinden alınmıştır. Tüm veriler günlük frekansta kullanılmıştır.

Temmuz 2015 itibarıyla Gün İçi Piyasası’nın faaliyete geçmesi nedeniyle, Piyasa Takas Fiyatı’nı oluşturacak girdilerin karakteristiğindeki varyasyondan etkilenmemek amaçlı 2015 ve önceki yıl verileri çalışmaya dahil edilmemiştir. Yapay Sinir Ağı modelinin eğitim veri seti 1 Ocak 2016 tarihinde başlatılmıştır.

Kısa vadeli piyasa takas fiyatı tahminleme çalışmasında test veri grubu için 2018 yılının gerçekleşen günlük piyasa takas fiyatları seçilmiştir. Uygulama neticesinde 2018 yılına ilişkin tahmini piyasa takas fiyatı değerleri ile gerçekleşen piyasa takas fiyatı değerleri arasındaki Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE) değerleri günlük olarak hesaplanmıştır

Türkiye Gün Öncesi Takas Fiyatını tahmin eden bir modelin oluşturulabilmesi için fiyatı etkileyen etmenlerin tayin edilmesi en önemli hususlardan biridir. Literatür araştırması ile birlikte kamu ve özel sektöre ait çalışmaların önderliğinde pek çok iktisadi ve meteorolojik etmenin Piyasa Takas Fiyatına etkisi olduğu tespit edilmiştir. Bu etmenler, kurulu güç ve elektrik üretim miktarı, elektrik tüketimine bağlı mevsimsel sıcaklık, doğalgaz fiyatı, kapasite faktörü, geçmişe ait piyasa fiyatları, gün tipleri, döviz kuru, emreamide kapasite miktarı, fiyattan bağımsız alış teklifi, gün öncesi piyasa işlem hacmi, elektrik yük talep miktarı, uzlaştırmaya esas veri ve çekiş miktarları olarak sıralanabilir. Birbirleri ile etkileşim içerisinde olan bu değişkenler değişken çalışmada ele alınmıştır. Veriler çalışmaya dahil edilmeden önce detaylı olarak incelenip eksik veriler tamamlanmış, veri setinde ani sıçrama ve zıplama yapan veriler ortalamaya yakınsanarak tamamlanmıştır. Bundan sonraki adımda verilere

normalize işlemi yapılmıştır. Burada modelde kullanılması planlanan veriler arasında farklılığın (birim, sayı, aralık vb.) olması sebebiyle verileri tek bir düzen içerisinde ele almak amaçlanmıştır. Diğer bir kullanılışı ise farklı ölçekleme sisteminde bulunan verilerin birbiri ile karşılaştırılabilmesidir. Buradaki amaç, matematiksel fonksiyonlar kullanarak, farklı sistemlerde bulunan verileri, ortak bir sisteme taşımak ve karşılaştırılabilir hale getirmektir. Tez çalışmasında veriler Minimum-Maksimum normalizasyon yöntemi ile normalize edilmiştir. Veri setinde değişkenlere ait değerler en küçük değeri 0 ve en büyük değeri 1 olacak şekilde normalleştirilerek ve diğer bütün veriler bu 0-1 aralığına yayılmıştır (Şekil 6.12). Korelasyon testleri ve Matlab veri girişleri normalize edilmiş veriler ile yapılmıştır.



Şekil 6.12: Normalize Edilmiş PTF Grafiği Serisi (731 adet veri).

Uygulama için hazırlanacak YSA modelinde girdi seti olarak PTF bağımlı değişken olmak üzere aşağıdaki değişkenler belirlenmiş olup 731 adet günlük veri için 1 bağımlı 10 bağımsız değişkene ait istatistiksel tanımlayıcı parametreler ile korelasyonları test edilmiştir. Tablo 6.2’te değişkenlere ait faktör tanımları, SPSS parametre tanımları, parametrelere ilişkin açıklamalar ve birimleri gösterilmiştir.

Tablo 6.2: Değişken Tanımları

Değişken Tipi	SPSS Tanımlayıcı	Açıklama	Birim
Bağımlı Değişken	ptf	Piyasa takas fiyatı	(TL/MWh)
Bağımsız Değişken	usd	Dolar kuru	(TL/ USD)
Bağımsız Değişken	ptf_1	Bir gün öncesinin aynı saati PTF değerleri	(TL/MWh)
Bağımsız Değişken	ptf_7	Bir hafta öncesinin aynı saati PTF değerleri	(TL/MWh)
Bağımsız Değişken	kapasite	Emre amade ortalama kapasite miktarı	(MWh)
Bağımsız Değişken	alis_teklif	Fiyattan bağımsız alış teklifi ortalama miktarı	(MWh)
Bağımsız Değişken	gop_islem_hacmi	Gün öncesi piyasası ortalama işlem hacmi	(TL)
Bağımsız Değişken	dogalgaz_spot_fiyati	Doğalgaz spot piyasa fiyatı	(USD/mil Btu)
Bağımsız Değişken	yuk_talep	Elektrik yük talep miktarı	(MWh)
Bağımsız Değişken	uecm	Uzlaştırmaya esas çekiş miktarı	(MWh)
Bağımsız Değişken	uevm	Uzlaştırmaya esas veriş miktarı	(MWh)

Normalize edilmiş veriler için SPSS 16.0 paket programı ile yapılmış olan korelasyon analiz sonuçları Tablo 6.3’de gösterilmektedir.

Tablo 6.3: Değişken Korelasyonları Tablosu.

		Korelasyonlar										
		ptf	usd	ptf_1	ptf_7	kapasite	alıs_teklif	gop_islem_hacmi	doğalgaz_spot_fiyati	yuk_talep	uecm	uevm
ptf	Pearson Correlation	1	,464**	,744**	,640**	,532**	,624**	,664**	,559**	,644**	,669**	,685**
	Sig. (2-tailed)		,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	736	736	736	736	736	736	736	736	736	736	736
usd	Pearson Correlation	,464**	1	,471**	,478**	,455**	,308**	,436**	,636**	,317**	,354**	,309**
	Sig. (2-tailed)	,000		,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	736	736	736	736	736	736	736	736	736	736	736
ptf_1	Pearson Correlation	,744**	,471**	1	,585**	,532**	,485**	,563**	,573**	,545**	,563**	,552**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000		,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	736	736	736	736	736	736	736	736	736	736	736
ptf_7	Pearson Correlation	,640**	,478**	,585**	1	,538**	,515**	,548**	,564**	,583**	,592**	,513**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000		,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	736	736	736	736	736	736	736	736	736	736	736
kapasite	Pearson Correlation	,532**	,455**	,532**	,538**	1	,501**	,354**	,467**	,567**	,579**	,510**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	736	736	736	736	736	736	736	736	736	736	736
alıs_teklif	Pearson Correlation	,624**	,308**	,485**	,515**	,501**	1	,661**	,285**	,851**	,867**	,852**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,000	,000	,000
	N	736	736	736	736	736	736	736	736	736	736	736
gop_islem_hacmi	Pearson Correlation	,664**	,436**	,563**	,548**	,354**	,661**	1	,561**	,628**	,644**	,645**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,000	,000
	N	736	736	736	736	736	736	736	736	736	736	736
doğalgaz_spot_fiyati	Pearson Correlation	,559**	,636**	,573**	,564**	,467**	,285**	,561**	1	,330**	,356**	,307**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,000
	N	736	736	736	736	736	736	736	736	736	736	736
yuk_talep	Pearson Correlation	,644**	,317**	,545**	,583**	,567**	,851**	,628**	,330**	1	,973**	,923**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000		0,000	,000
	N	736	736	736	736	736	736	736	736	736	736	736
uecm	Pearson Correlation	,669**	,354**	,563**	,592**	,579**	,867**	,644**	,356**	,973**	1	,945**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	0,000		0,000
	N	736	736	736	736	736	736	736	736	736	736	736
uevm	Pearson Correlation	,685**	,309**	,552**	,513**	,510**	,852**	,645**	,307**	,923**	,945**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	0,000	
	N	736	736	736	736	736	736	736	736	736	736	736

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

PTF bağımlı değişken olmak üzere normalize edilmiş verilerde korelasyon değerleri anlamlı sonuç vermiştir. Model PTF bağımlı değişken, dolar kuru, bir gün öncesinin aynı saati PTF değerleri, bir hafta öncesinin aynı saati PTF değerleri, emre amade ortalama kapasite miktarı, fiyattan bağımsız alış teklifi ortalama miktarı, gün öncesi piyasası ortalama işlem hacmi, doğlagaz spot piyasa fiyatı, elektrik yük talep miktarı, uzlaştırmaya esas çekiiş miktarı, uzlaştırmaya esas veriş miktarı olmak üzere 10 açıklayıcı değişkenle kurulmuştur. Reel ve normalize edilmiş girdilere ilişkin örnek veri kesitleri Tablo 6.4, Tablo 6.5, Tablo 6.6 ve Tablo 6.7’de gösterilmiştir. Çalışmada 10 bağımsız değişkene ait 731 adet günlük veri kullanılmıştır. Çalışmaya ait veri setindeki değişkenler farklı birimlerde ifade edildiği için ve aynı sayı aralığına getirmek amacıyla veriler normalizasyon işlemine tabi tutulmuştur. Maksimum-Minimum normalizasyon yöntemi ile tüm veriler 0-1 aralığına sıkıştırıp normalize verilere ilişkin veri seti oluşturulmuştur. Oluşturulan veri seti Matlab’da yapılan analizlerde kullanılmıştır.

Tablo 6.4: Reel Verilere İlişkin Örnek Kesit Veri Tablosu.

Tarih	Piyasa Takas Fiyatı (TL/MWh)	Dolar Kuru (TL/USD)	Bir Gün Önceki Fiyat (TL/MWh)	Bir Hafta Önceki Fiyat (TL/MWh)	Emreamade Kapasite (MWh)	Fiyattan Bağımsız Alış Teklifi (MWh)	GÖP İşlem Hacmi (TL)	Doğalgaz Fiyatı (USD/Milyon Btu)	Elektrik Yük Talep (MWh)	UEÇM (MWh)	UEVM (MWh)
01.01.2016	136,45	2,92	133,56	169,50	39.438,73	9.283,57	1.279.426,65	2,28	29.679,17	25.591,99	25.224,31
02.01.2016	150,57	2,92	136,45	143,86	41.136,51	10.670,40	1.769.058,75	2,34	27.791,67	27.878,27	28.100,03
03.01.2016	142,65	2,92	150,57	139,04	40.661,21	9.425,02	1.405.130,45	2,33	27.975,00	27.019,37	26.198,65
04.01.2016	151,13	2,92	142,65	169,48	41.174,52	11.646,51	2.019.298,74	2,39	32.833,33	31.504,71	30.673,10
05.01.2016	159,89	2,94	151,13	165,16	41.183,26	11.780,38	2.091.833,08	2,33	33.500,00	31.553,97	30.078,65
06.01.2016	130,44	2,98	159,89	149,44	41.193,26	11.727,48	1.709.945,84	2,37	33.125,00	31.085,96	29.194,95
07.01.2016	152,13	3,00	130,44	133,56	40.806,98	12.147,41	1.983.088,70	2,35	32.916,67	31.076,88	29.178,66
08.01.2016	149,23	3,02	152,13	136,45	40.834,37	11.680,58	2.114.872,22	2,47	32.441,67	30.781,98	30.541,91
09.01.2016	143,36	2,99	149,23	150,57	41.688,58	10.472,98	1.764.691,32	2,51	31.300,00	29.488,74	29.107,56
10.01.2016	136,70	2,99	143,36	142,65	40.018,66	8.718,32	1.140.354,71	2,45	27.787,50	26.683,52	25.261,46
11.01.2016	128,45	2,99	136,70	151,13	40.911,84	11.005,26	1.699.855,07	2,54	32.483,33	30.265,58	28.412,73
12.01.2016	130,67	3,02	128,45	159,89	42.771,36	11.728,98	1.711.434,80	2,40	32.375,00	30.545,69	27.641,94
13.01.2016	130,02	3,03	130,67	130,44	42.753,88	11.947,50	1.626.618,53	2,28	31.916,67	30.907,30	29.979,81

Tablo 6.5: Reel Verilere İlişkin Örnek Kesit Veri Tablosu (Devamı).

Tarih	Piyasa Takas Fiyatı (TL/MWh)	Dolar Kuru (TL/USD)	Bir Gün Önceki Fiyat (TL/MWh)	Bir Hafta Önceki Fiyat (TL/MWh)	Emreamade Kapasite (MWh)	Fiyattan Bağımsız Alış Teklifi (MWh)	GÖP İşlem Hacmi (TL)	Doğalgaz Fiyatı (USD/Milyon Btu)	Elektrik Yük Talep (MWh)	UEÇM (MWh)	UEVM (MWh)
14.01.2016	127,82	3,01	130,02	152,13	42.589,63	11.526,52	1.714.647,88	2,21	32.529,17	31.081,12	30.967,58
15.01.2016	130,33	3,03	127,82	149,23	43.762,17	11.544,82	1.530.791,69	2,18	32.416,67	30.939,95	30.043,08
16.01.2016	128,39	3,04	130,33	143,36	43.717,98	10.636,75	1.261.349,38	2,18	31.125,00	29.426,91	26.792,89
17.01.2016	123,83	3,04	128,39	136,70	42.570,33	9.102,75	786.904,68	2,21	28.120,83	26.370,34	24.289,81
18.01.2016	134,47	3,04	123,83	128,45	42.608,31	12.082,68	1.563.733,44	2,18	32.329,17	30.951,44	28.902,13
19.01.2016	154,36	3,04	134,47	130,67	41.817,61	12.733,49	2.113.774,64	2,23	33.016,67	31.902,81	31.553,13
20.01.2016	153,39	3,02	154,36	130,02	43.260,08	11.967,89	2.067.521,55	2,18	33.791,67	32.325,01	32.583,41
21.01.2016	159,35	3,05	153,39	127,82	42.655,47	12.242,57	2.387.422,77	2,22	33.833,33	32.286,94	32.396,56
22.01.2016	151,72	3,04	159,35	130,33	42.819,05	12.297,39	2.074.341,86	2,21	33.916,67	31.949,31	30.602,35
23.01.2016	122,25	3,01	151,72	128,39	42.066,86	11.542,84	1.664.088,78	2,19	31.958,33	30.590,63	28.741,40
24.01.2016	125,74	3,01	122,25	123,83	38.737,77	10.487,16	1.576.797,61	2,22	29.145,83	27.337,02	26.278,34
25.01.2016	138,64	3,01	125,74	134,47	38.954,58	13.461,46	3.123.960,29	2,16	33.516,67	32.051,91	31.542,15
26.01.2016	140,34	3,01	138,64	154,36	37.877,99	13.291,83	3.576.793,78	2,26	34.750,00	32.939,13	32.966,63

Tablo 6.6: Normalize Edilmiş Verilere İlişkin Örnek Kesit Veri Tablosu.

Tarih	Piyasa Takas Fiyatı (TL/MWh)	Dolar Kuru (TL/USD)	Bir Gün Önceki Fiyat (TL/MWh)	Bir Hafta Önceki Fiyat (TL/MWh)	Emreamade Kapasite (MWh)	Fiyattan Bağımsız Alış Teklifi (MWh)	GÖP İşlem Hacmi (TL)	Doğalgaz Fiyatı (USD/Milyon Btu)	Elektrik Yük Talep (MWh)	UEÇM (MWh)	UEVM (MWh)
01.01.2016	0,32	0,11	0,30	0,62	0,08	0,22	0,10	0,23	0,45	0,28	0,34
02.01.2016	0,45	0,11	0,32	0,39	0,17	0,39	0,15	0,24	0,35	0,41	0,49
03.01.2016	0,38	0,11	0,45	0,34	0,14	0,23	0,12	0,24	0,36	0,36	0,39
04.01.2016	0,45	0,11	0,38	0,62	0,17	0,51	0,18	0,26	0,62	0,62	0,62
05.01.2016	0,53	0,13	0,45	0,58	0,17	0,52	0,18	0,24	0,65	0,62	0,59
06.01.2016	0,27	0,16	0,53	0,44	0,17	0,52	0,15	0,25	0,63	0,59	0,54
07.01.2016	0,46	0,18	0,27	0,30	0,15	0,57	0,17	0,25	0,62	0,59	0,54
08.01.2016	0,44	0,19	0,46	0,32	0,15	0,51	0,19	0,28	0,59	0,57	0,61
09.01.2016	0,38	0,17	0,44	0,45	0,20	0,36	0,15	0,29	0,53	0,50	0,54
10.01.2016	0,32	0,17	0,38	0,38	0,11	0,15	0,09	0,28	0,35	0,34	0,34
11.01.2016	0,25	0,17	0,32	0,45	0,16	0,43	0,15	0,30	0,60	0,54	0,50
12.01.2016	0,27	0,19	0,25	0,53	0,25	0,52	0,15	0,26	0,59	0,56	0,46
13.01.2016	0,26	0,21	0,27	0,27	0,25	0,55	0,14	0,23	0,57	0,58	0,58
14.01.2016	0,24	0,19	0,26	0,46	0,24	0,49	0,15	0,21	0,60	0,59	0,63
15.01.2016	0,27	0,20	0,24	0,44	0,30	0,50	0,13	0,20	0,59	0,58	0,59

Tablo 6.7: Normalize Edilmiş Verilere İlişkin Örnek Kesit Veri Tablosu (Devamı).

Tarih	Piyasa Takas Fiyatı (TL/MWh)	Dolar Kuru (TL/USD)	Bir Gün Önceki Fiyat (TL/MWh)	Bir Hafta Önceki Fiyat (TL/MWh)	Emreamade Kapasite (MWh)	Fiyattan Bağımsız Alış Teklifi (MWh)	GÖP İşlem Hacmi (TL)	Doğalgaz Fiyatı (USD/Milyon Btu)	Elektrik Yük Talep (MWh)	UEÇM (MWh)	UEVM (MWh)
16.01.2016	0,25	0,21	0,27	0,38	0,30	0,38	0,10	0,20	0,52	0,50	0,42
17.01.2016	0,21	0,21	0,25	0,32	0,24	0,19	0,05	0,21	0,37	0,32	0,29
18.01.2016	0,30	0,21	0,21	0,25	0,24	0,56	0,13	0,20	0,59	0,58	0,53
19.01.2016	0,48	0,21	0,30	0,27	0,20	0,64	0,19	0,21	0,63	0,64	0,66
20.01.2016	0,47	0,20	0,48	0,26	0,28	0,55	0,18	0,20	0,67	0,66	0,72
21.01.2016	0,53	0,22	0,47	0,24	0,25	0,58	0,21	0,21	0,67	0,66	0,71
22.01.2016	0,46	0,21	0,53	0,27	0,25	0,59	0,18	0,21	0,67	0,64	0,61
23.01.2016	0,19	0,19	0,46	0,25	0,22	0,50	0,14	0,20	0,57	0,56	0,52
24.01.2016	0,23	0,19	0,19	0,21	0,05	0,36	0,13	0,21	0,42	0,38	0,39
25.01.2016	0,34	0,19	0,23	0,30	0,06	0,73	0,29	0,19	0,65	0,65	0,66
26.01.2016	0,36	0,19	0,34	0,48	0,00	0,71	0,33	0,22	0,72	0,70	0,73
27.01.2016	0,41	0,20	0,36	0,47	0,01	0,63	0,32	0,22	0,72	0,69	0,73
28.01.2016	0,46	0,18	0,41	0,53	0,00	0,61	0,31	0,19	0,71	0,68	0,70
29.01.2016	0,42	0,16	0,46	0,46	0,01	0,56	0,31	0,23	0,68	0,63	0,68
30.01.2016	0,52	0,14	0,42	0,19	0,03	0,37	0,27	0,23	0,57	0,53	0,59

7. TAHMİN ÇALIŞMASI

7.1 Yapay Sinir Ağları ile Tahmin Çalışması

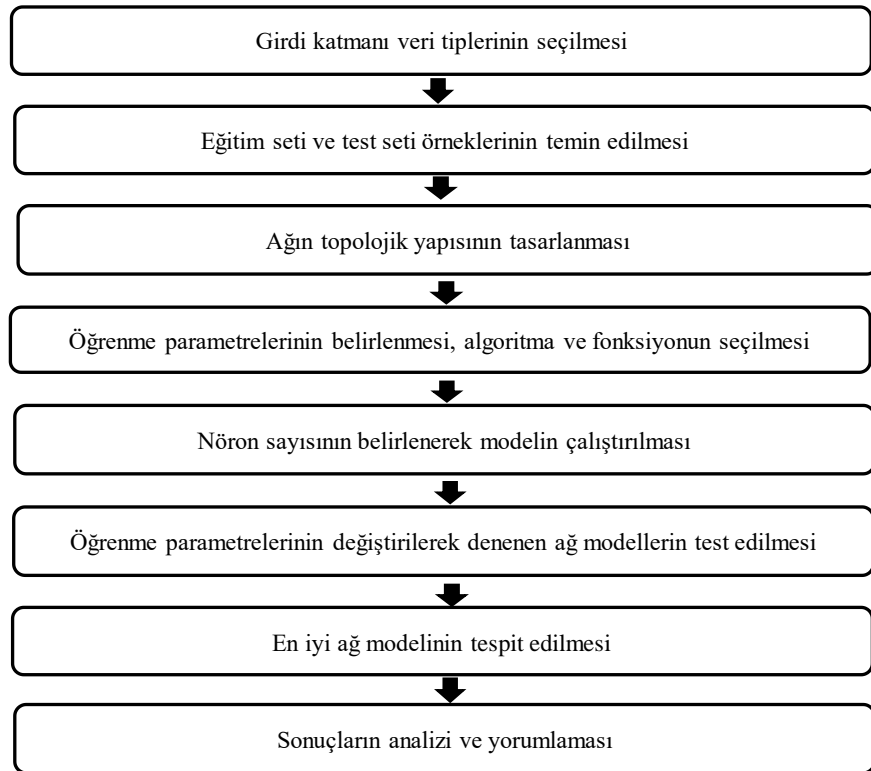
Tezin bu kısmında çok faktörlü analizler içerisinde değerlendirilen yapay zekânın bir cinsi olan yapay sinir ağları ile tahmin uygulaması gerçekleştirilecektir.

Uygulamada yapay sinir ağı modeli için Matlab (R2017a) – Neural Network Tool Box ile çalışılmıştır. Bu metot bağımsız değişkenleri işleyerek ağın eğitilmesini sağlar ve sonuç olarak bağımlı değişkeni diğer adıyla istenen çıktıyı oluşturur. Bu çalışmada ilk olarak 2016 ve 2017 yıllarına ait piyasa takas fiyatı verileri kullanılarak 2018 yılı Piyasa Takas Fiyatı tahmin edilecektir. Uygulamada oluşturulan Yapay Sinir Ağı aşağıda belirtilen özelliklerle kurgulanmıştır:

- a) Uygulanan YSA modelinde ağın eğitim sürecinin veriminin yüksek olması amaçlı geriye yayılım algoritması tercih edilerek eğitimin daha kısa çözümlenmesi sağlanmıştır. Modeli Levenberg-Marquardt (LM) algoritması ile eğitmek daha fazla hafıza gerektirmekle birlikte eğitimin daha kısa sürede tamamlanmasını sağlamaktadır (Okkan ve diğ., 2018)
- b) Regresyon değerleri çıktı değerleri ile hedef katmanı arasındaki ilişkiyi belirlemekte olup R^2 değerinin 1'e yaklaşması çıktı değerleri ile hedef katmanı arasında yakın bir ilişki olduğunu ifade etmektedir. Çalışmada R^2 değerleri hesaplanmıştır.
- c) Ağın eğitilme sürecinin daha verimli olması için modelde kullanılan geriye yayılma algoritmasının, öğrenme hızı ve momentum katsayısı algoritmasıyla geliştirilmesi sağlanmıştır. Tüm ağ modellerinde öğrenme hızı ve momentum katsayısı sırasıyla 0,01 ve 0,99 olarak seçilmiştir.
- d) Model tek gizli katmanlı olarak şekilde tasarlanmıştır.
- e) Model için kullanılan veri kümesinin %70'i eğitim, %15 doğrulama ve %15'i test setinde kullanılmıştır.
- f) Çalışmada oluşturulan Log-sigmoid aktivasyon fonksiyonu (Logsig) tercih edilmiştir. Bunun nedeni; tek gizli katmanı olan ağ modelinin doğrusal olmayan bir karakteristiğe sahip olmasıdır.

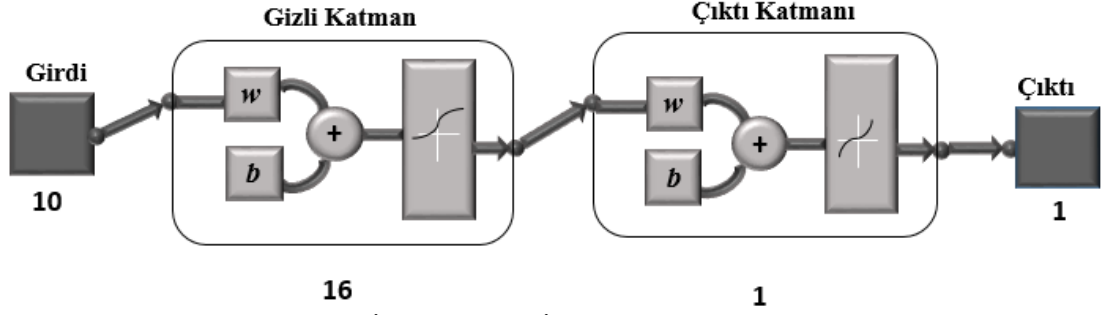
Yapay sinir ağı temelinde genel anlamda dikat çekilen husular; gizli katman nöron sayısı, momentum katsayısı, öğrenme katsayısıdır. Çalışmada, öncelikle formülleştirme ile gizli katman nöron sayısı bulunmuş ve daha sonra sabit momentum ve öğrenme katsayısında sinir ağları test edilerek en iyi ağ yapısı elde edilmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmada uygulanacak yapay sinir ağı ile elektrik fiyat tahmini modelleme aşamalarının akışı Şekil 7.1'deki gibi özetlenebilir.



Şekil 7.1: Fiyat Tahmini Modelleme Aşamaları.

Gizli nöronlar ve doğrusal çıktı nöronları içeren iki katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağları temin edilen veri ve belirli sayıda nöron içeren gizli tabakaları ile çok boyutlu görüntüleme problemlerini oldukça iyi şekilde uyarlayıp, çözebilir. Ağ Levenberg-Marquardt geri yayılım algoritması (trainlm) ile eğitilecektir



Şekil 7.2: İki Katmanlı İleri Beslemeli Ağ Yapısı.

Şekil 7.2’de modelin ileri beslemeli yapısı gösterilmektedir. Input (girdi) bölümünde 10 adet açıklayıcı değişken yer almaktadır. Hidden Layer (gizli katman) bölümünde ise Log-Sigmoid fonksiyonu kullanılarak sistemin içerisinde çözümlenen ağırlık katsayıları (w_1, w_2, \dots, w_n) ve değişken katsayıları (b_1, b_2, \dots, b_n) belirlenir. Çözümlenen model için ise çıktı katmanında bu ağırlık ve değişken katsayıları doğrusal fonksiyon çerçevesinde işleme alınır. Daha sonra ise çıktı olarak tahmin sonucu elde edilir. Gizli katmanda yer alacak olan nöron sayısı model performansının belirlenmesinde dikkate alınmaktadır. Gizli katmandaki nöron sayısı ile ilgili hesaplamalarda literatürde birden fazla yöntemin olduğu ve tam olarak kaç olması gerektiğine ilişkin belirli bir kural olmadığı görülmektedir (Baily, D., Thomson, D., 1990). Katz (1993), Bir girdi katmanı, bir gizli katman ve bir çıktı katmanından oluşan üç katmanlı bir YSA için, gizli nöron sayısının, girdi katmanındaki nöron sayısının %75’i olması gerektiğini ileri sürmüştür. Diğer yandan en uygun gizli nöron sayısının, girdi katmanındaki nöron sayısının 1,5 katı ile 3 katı arasında olduğu da ileri sürülmüştür (Doig, 1999). Ünver (1996) ’e göre ise gizli katmanda olması gereken nöron sayısının gizli katman sayısına göre çok daha fazla alternatifte sahip olduğundan uygun sayıyı belirlemek üzere denklem (6.1)’de verilen eşitlikten yararlanılabileceğini söylemiştir. Bu çalışmada gizli katmandaki nöron sayısı belirlenirken denklem (6.1) kullanılmıştır.

$$N_s = \frac{0,5*(N_g + N_ç) + \sqrt{N_d}}{N_b} \quad (6.1)$$

Denklem (6.1)’de; N_s , gizli katmandaki nöron sayısını; N_g , girdi katmanındaki nöron sayısını; $N_ç$, çıktı katmanındaki nöron sayısını; N_d , gözlem sayısını; ve N_b , katman sayısını ifade etmektedir.

Bu formüle göre çalışmada oluşturulan yapay sinir ağı modellerinden PTF tahmin eden model için gizli katmandaki nöron sayısı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$N_s = \frac{0,5*(10+1)+\sqrt{731}}{2} = 16 \text{ nöron}$$

Çalışmada gizli katmandaki nöron sayısı 16 olan yapay sinir ağları için en iyi performans veren ağ yapısına ulaşmak amacıyla momentum ve öğrenme katsayıları belirlenerek optimum ağ yapıları elde edilmeye çalışılmıştır. Literatürde yapılan birçok çalışmada öğrenme katsayısının 0 ile 1 arasında olduğu tespit edilmiştir. Çoğu yöntemde öğrenme katsayısı için 0,01 değeri varsayılan olarak kullanılır (S. Ruder, 2016). Çalışmada öğrenme katsayısı 0,01 olarak seçilmiştir. Çoğunlukla deneme-yanılma yolu ile seçilse de uygulamada 0,8 ile 0,99 civarındaki bir momentum katsayısının iyi sonuçlar verdiği görülmüştür (Dalkılıç, 2010). Çalışmada öğrenme ve momentum katsayıları literatürdeki bu bilgilerden yararlanarak sırasıyla 0,01 ve 0,99 olarak seçilmiştir. Bu aşamada sinir ağlarında eğitim, doğrulama ve test aşamaları sırasıyla %70, %15 ve %15 oranında düzenlenmiştir.

Model performansı için 16 nöronlu gizli katman denenmiştir. Denemeler içinde en iyi model performansı R^2 değerinin 1'e, MAPE'nin 0'a yaklaştığı durumda gerçekleşir. Yapay Sinir Ağı girdi parametreleri Tablo 7.1'deki gibi tasarlanmıştır.

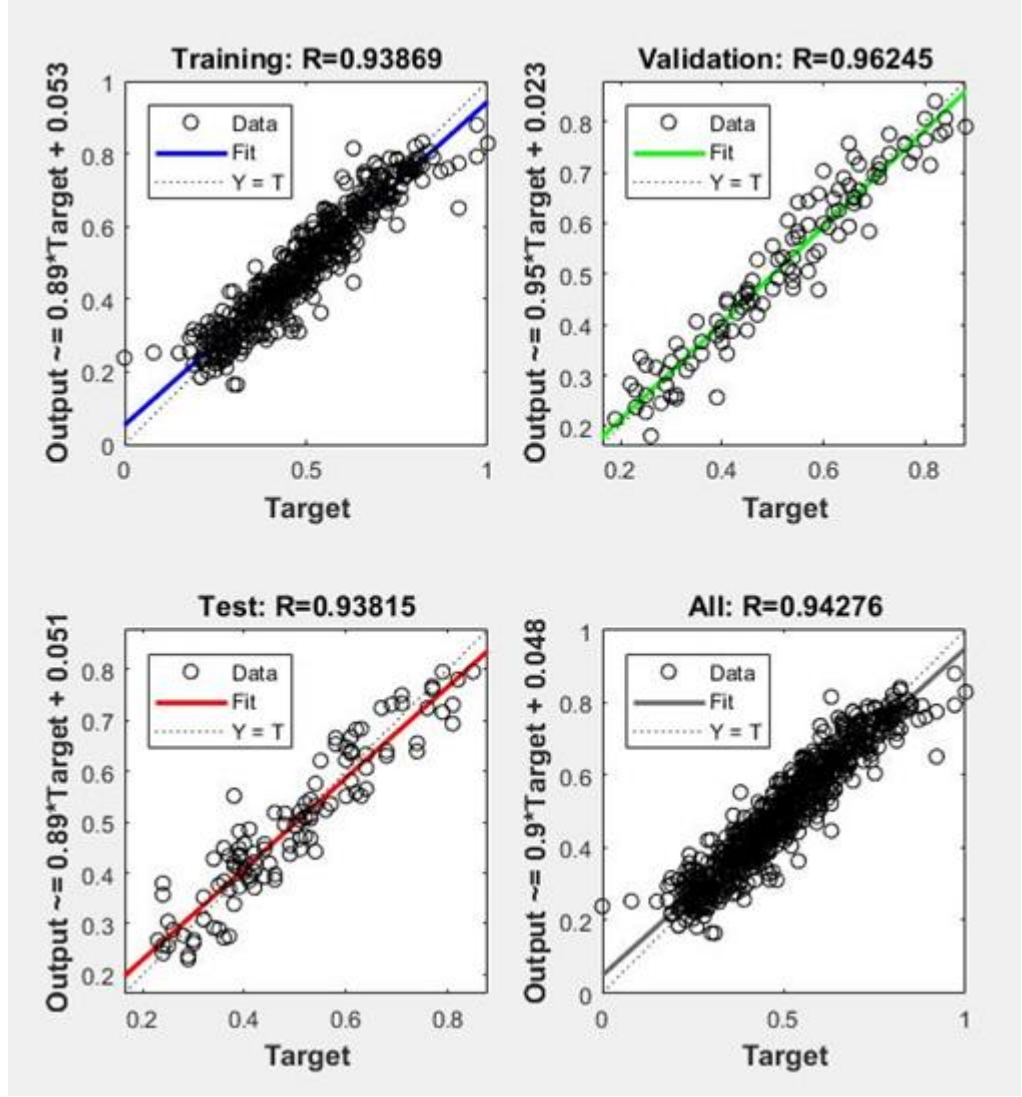
Tablo 7.1 : YSA Girdi Parametreleri.

Ağ Tipi	İleri Beslemeli Geri Yayımlı
Eğitim Fonksiyonu	Levenberg-Marquardt (Trainlm)
Öğrenme Fonksiyonu	Learngdm
Performans Fonksiyonu	MAPE
Gizli Katman Sayısı	1
Gizli Ara Katmandaki Nöron Sayısı	16
Transfer (Aktivasyon) Fonksiyonu	Log-Sig
Öğrenme-Doğrulama-Test Yüzdeleri	%70-%15-%15
Momentum Katsayısı	0,99
Öğrenme Katsayısı	0,01

Model performansı açısından, gizli katmanda 16 nöronun bulunduğu denemeler içerisindeki en iyi model ve $R^2=0,9612$ çıktığı modeldir. Bu modele ilişkin ağ çalışma aşamaları, tahmin grafikleri ile artık değer grafikleri aşağıda gösterilecektir. YSA'da en iyi performans gösteren model için tahmin çıktısı E-Views 10.0 paket programı ile analiz edilmiş ve sonuçlar aktarılmaktadır. Model bulgularına göre $R^2=0,9612$ bulunmuştur.

7.2 Yapay Sinir Ağları Model Eğitim Aşamaları ve Bulgular

YSA modeli Matlab (R2017a) paket programı ile çalıştırılmıştır. Ağ modeli çeşitli iterasyonlarda çalıştırılmış olup 1000 iterasyonda denemeler içerisindeki en iyi sonucuna ulaşmıştır.



Şekil 7.3: YSA Regresyon Performans Grafiği.

Şekil 7.3’de çalıştırılan modele ilişkin eğitim, geçerlilik sınaması ve test aşamaları için R^2 değerleri grafiği verilmiştir. Öğrenme aşaması için $R^2= 0,93869$, geçerlilik sınaması aşaması için $R^2=0,96245$, test aşaması için $R^2=0,93815$ ve modelin tamamında $R^2=0,94276$ olarak gerçekleşmiştir. 1000 iterasyonda ve 7 saniyede eğitim denemeler içerisinde en iyi performansını göstermiştir. Çıktı değerleri ve 2018 gerçek PTF verileri karşılaştırılmış olup, sonuç setinden rassal olarak seçilen örnek kesit Tablo 7.2’de sunulmuştur. Model sonuçları da göstermektedir ki; girdi parametrelerinin kombinasyonunu başarılı bir şekilde sağlanması ile PTF tahmininde öngörü doğruluğunu arttırmıştır.

Tablo 7.2: Gerçekleşen-Tahmin Edilen PTF Performansı Örnek Veri Kesiti.

Tarih	Gerçekleşen PTF (TL/MWh)	Tahmin Edilen PTF (TL/MWh)	Sapma (TL/MWh)	Mutlak Sapma	Mutlak Sapma/ Gerçekleşen Fiyat	MAPE (%)
06.01.2018	170,610	198,230	-27,620	27,620	0,162	16,19
14.02.2018	178,620	152,410	26,210	26,210	0,147	14,67
15.02.2018	156,440	175,190	-18,750	18,750	0,120	11,99
29.04.2018	179,110	148,345	30,765	30,765	0,172	17,18
30.04.2018	208,280	186,941	21,339	21,339	0,102	10,25
01.05.2018	171,960	210,575	-38,615	38,615	0,225	22,46
17.06.2018	175,580	196,345	-20,765	20,765	0,118	11,83
25.08.2018	301,300	342,159	-40,859	40,859	0,136	13,56
26.08.2018	312,560	274,637	37,923	37,923	0,121	12,13
27.08.2018	325,530	292,442	33,088	33,088	0,102	10,16
28.08.2018	328,630	290,381	38,249	38,249	0,116	11,64
29.08.2018	340,290	303,425	36,865	36,865	0,108	10,83
30.08.2018	324,660	283,310	41,350	41,350	0,127	12,74
31.08.2018	335,090	288,133	46,957	46,957	0,140	14,01
27.12.2018	267,800	337,619	-69,819	69,819	0,261	26,07
28.12.2018	250,000	224,177	25,823	25,823	0,103	10,33
Ortalama	251,654	244,020				14,13

Tablo 7.2 değerlendirildiğinde örnek veri kesitine ait ortalama mutlak hata oranı %14,13 olarak bulunmuştur. Örnek veri setinde günlük PTF ortalaması 251,654 TL/MWh gerçekleşirken, gerçekleşen günlük PTF ortalaması 244,020 olarak bulunmuştur. 01.01.2018-31.12.2018 günleri arasındaki gerçekleşen PTF ile ağ modeli tahmin sonucu arasındaki ortalama mutlak hata oranı %15,26 olarak hesaplanmıştır Türkiye Elektrik Piyasası üzerine yapılmış daha önceki akademik çalışmalarda da MAPE değerlerinde benzer sonuçlarla karşılaşılacaktır. Örneğin, Kölmek ve Navruz (2015), 01/12/2009 ile 31/12/2010 dönemine ilişkin YSA ile yapılan piyasa takas fiyatı tahmin çalışmasında %14,15 MAPE değerine ulaşmışlardır. Bicil (2015) çalışmasında, modelin %8,2 MAPE performans sağladığı sonucuna ulaşmıştır. Özözen (2016) gün öncesi piyasasında fiyat tahminleme çalışmasını SARIMA ile YSA hibrit modeli ile

yapmıştır. Hibrit modelin %4,08 MAPE ile performans sağlamıştır. Hibrit model kullanılarak ileri tarihlerdeki 5 günlük fiyat tahminleri test edildiğinde %10,2 MAPE performansı sağlanmıştır.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

2001 yılı itibarıyla Türkiye Elektrik Piyasası (TEP) 4628 sayılı elektrik piyasası kanunun önderliğinde serbestleşen piyasa sürecine girmiştir. Bu kapsamda liberalleşen elektrik piyasasında şeffaflığın ön planda olduğu, piyasa aktörlerine doğru Referans Fiyatı gösterebilme yeteneğini elinde bulunduran bir piyasa konfigürasyonu amaçlanmıştır. sahip bir piyasanın yapılandırılması hedeflenmiştir. Bugün gelinen nokta değerlendirildiğinde Türkiye Elektrik Piyasası'nın yapı olarak büyük bir ilerleme kaydettiği görülse de teknik altyapı ve regülasyon kısıtlarından kaynaklı süreçler nedeniyle henüz tam manasıyla oturmuş bir yapıda olduğu söylenemez.

Tez çalışmasında Türkiye Elektrik Piyasası'nda yer alan yapılar incelenerek erişilebilecek veriler de dikkate alınarak Gün Öncesi Piyasası (GÖP)'nda Piyasa Takas Fiyatı (PTF) tahminlemesi yapılmıştır. Türkiye Elektrik Piyasası'nda Referans Fiyat (RF) kavramı PTF'yi karşılamaktadır. Bu sebeptendir ki; tüm piyasa aktörleri için PTF'deki değişim tüm faaliyetleri için çok önemlidir.

Bu çalışmaya Piyasa Takas Fiyatının geçmiş dönem fiyatlarının yanısıra farklı dinamiklere de bağlı olduğu düşüncesinden yola çıkılarak başlanmıştır. Girdi parametrelerinin zenginleştirilmesi ile PTF tahmininde öngörü doğruluğunun artırılması hedeflenmiştir.

Çalışmada gün öncesi piyasa takas fiyatı (PTF), günlük gerçek verileri kullanılarak tahmin çalışması yapılmıştır. Veri analizlerinde Excel arayüzü, E-views ve Spss istatistik programları kullanılmıştır. Çalışmalar, Matlab paket programında yapay sinir ağları ile çözülmüş ve hata performansları karşılaştırılmıştır. Modellerin tahmin hataları ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) ile değerlendirilmiştir.

Tahmin başarı sonuçlarının da gösterdiği üzere PTF tahminlemesinde geçmiş fiyat gerçekleştirmelerinin dışında modele farklı parametreleri dahil edilmesi çalışmanın literatüre önemli bir katkısıdır ancak tahmin performansının beklenen altında kalması gelecek için önemli araştırma fırsatları sunmaktadır. Gelecek çalışmalarda tahmin setleri mevsimsel, aylık, haftalık, günlük ve saatlik bazda ayrı ayrı modellenerek, uygun veri grupları oluşturulup farklı nöron sayılarında test işlemine tabi tutularak

yapay sinir ağları ile elde edilen sonuçların iyileştirilmesi için daha ayrıntılı analiz çalışmalarının yapılması, elde edilen sonuçların geçerliliğini artırabilir.

Ayrıca, gelişmekte olan ülkelerin temel problemlerinden biri olan siyasi ve ekonomik belirsizliklerin sebep olduğu risk algısının minimize olması için geleceğe dönük projeksiyonların ve senaryoların yapılması gerekmektedir. Özellikle kaotik durumun varlığında yapılacak gerçeğe yakın öngörüler yatırımcının yüksek risk algısını düşürecek ve böylece karlılığını artırmasına da katkı sağlayacaktır. Bu bağlamda öngörü modellemeleri yatırımcılar açısından oldukça önemli bir konudur.

9. KAYNAKÇA

- Akçollu, F.Y., “Elektrik Sektöründe Rekabet ve Regülasyon “, Uzmanlık Tezi, Ankara, Rekabet Kurumu, (2003).
- Atiyas, İ., “Elektrik Sektöründe Serbestleşme ve Düzenleyici Reform“, Tesev Yayınları, İstanbul, 1-114, (2006).
- Baily, D., Thomson, D., “Developing Neural Network Application”, *AI Expert*, 33-41, (1990).
- Berber, N., Boru, A., “Adaptif Ağ Yapısına Dayalı Bulanık Çıkarım Sistemi ile Hava Tahmini“, *Gaziantep Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü*, 21-27, (2013).
- Bicil, İ. M., “Elektrik Piyasasında Fiyatlandırma ve Türkiye Elektrik Piyasasında Fiyat Tahmini”, Doktora Tezi, *Balıkesir Üniversitesi*, Balıkesir, (2015).
- Camadan, E., ve Erten, İ., ”Üretim Özelleştirmeleri Öncesinde Türkiye Elektrik Piyasasında Piyasa Gücünün Değerlendirilmesi”, *Enerji, Piyasa ve Düzenleme*, 1(1), 51-75, (2010).
- Dalkılıç, N., ”Muhasebe Mesleği Sorumluluk Sigortalarında Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Risk Değerlemesi”, Doktora Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Bilim Dalı*, Kütahya, (2010).
- Doig, G., “Severity of Illness Scoring in the Intensive Care Unit: A Comparison of Logistic Regression and Artificial Neural Networks”, Ph.D Thesis , *The University of Western Ontario*, (1999).
- DUY, Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği, T.C Resmi Gazete, 27200, Ankara, (2009).
- Elmas, Ç., “Yapay Sinir Ağları (Kuram, Mimari, Eğitim, Uygulama)“, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 40-65, (2003).
- Yazıtış, F., “Elektrik Piyasası Nedir? [online]”, (19 Ağustos 2018), <https://www.enerjiportali.com/enerji-piyasasi-nedir/>, (2019).
- EMO Enerji Komisyonu, “Türkiye’de Elektrik Enerjisi Sektörünün Yapısı ve Tarihsel Gelişimi [online]”, (23 Eylül 2018), http://www.emo.org.tr/ekler/8dfff4676a47048_ek.pdf?dergi=58, (1981).
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), “Doğal Gaz Piyasası 2017 Yılı Sektör Raporu [online]”, (25 Aralık 2018), <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-94/yillik-sektor-raporu>, (2018).
- Erkan, H., ”Talep Tahmin Doğruluğunu Artırmak İçin Talebi Etkileyen Faktörlerin Analizi Ve İlaç Sektöründe Ekonometrik Bir Model Önerisi”, Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi*, Üretim ve Pazarlama Bilim Dalı, (2008).

Ertılav, M., "Türkiye'de Özelleştirme: TEDAŞ (Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi) Örneği", Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Kamu Yönetimi Anabilim Dalı, Isparta, (2014).

Joergensen, D., "European Commission European Commission Staff Working Document Energy prices and cost report [online]", (17 Mayıs 2019), adres: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/epc_report_final.pdf, (2014).

EPİAŞ, "EPİAŞ Elektrik Piyasaları Aylık Raporu [online]", (15 Ekim 2019), <https://www.epias.com.tr/tum-duyurular/piyasa-duyurulari/elektrik/gop/elektrik-piyasaları-aylık-raporu-eylul-2019/>, (2019).

EİA, "Henry Hub Natural Gas Spot Price [online]", (20 Mart 2019), <https://www.eia.gov/dnav/ng/hist/rngwhhdm.htm>, (2019).

Güreşen, E., "Dinamik Yapay Sinir Ağları Sistemi Önerisi", Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2014).

Harmon, P., Maus, R., Morrisey, W., "Expert System Tools and Applications", John Wiley & Sons Inc., Canada, (1988).

Karaatlı, M., Senal S., Öztürk, M. S., "Denetim Planlaması Aşamasında Analitik İnceleme Tekniği Olarak Yapay Sinir Ağları Kullanımı: Bir Firma Uygulaması", *Ege Akademik Bakış*, 14(4), 637-648, (2014).

Karahan, M., "İstatistiksel Tahmin Yöntemleri: Yapay Sinir Ağları Metodu ile Ürün Talep Tahmini Uygulaması", *Selçuk Üniversitesi*, Doktora Tezi, Konya, (2011).

Karlık, B., "Myoelectric Control of Multifunction Prosthesis Using Neural Networks", *Yıldız Technical University*, Ph.D Thesis, Istanbul, Turkey, (1994).

Katz, J. O., "Developing Neural Network Forecasters for Trading", *Technical Analysis of Stocks and Commodities*, 10(4), 58-70, (1992).

Kölmek, M.A., ve Navruz, İ., "Forecasting the day-ahead price in electricity balancing and settlement market of Turkey by using artificial neural networks", *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 23(3), 841-852, (2015).

Kurt, A., "Tedarikçi Seçimi Problemine Karar Teorisi Destekli Uzman Sistem Yaklaşımı, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bülteni, 8(3), 5-7, (1995).

Li, G., Liu, C. C., Mattson, C., and Lawarree, J., "Day-ahead electricity price forecasting in a grid environment", *IEEE Transactions on Power Systems*, 22(1), 266-274. doi:10.1109/TPWRS.2006.887893, (2007).

Okkan, U., Serbeş, Z. A., and Gedik, N., "MATLAB ile Levenberg-Marquardt algoritması tabanlı YSA uygulaması: Aylık yağış-akış modellemesi", *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 9(1), 351-362, (2018).

Özercan, M., “Elektrik Endüstrisinin Yeniden Yapılandırılması ve Deregülasyonu Sürecinde Perakende Satış Rekabeti”, Uzmanlık Tezi, *Rekabet Kurumu*, (2007).

Özgüner, E., “Short Term Electricity Price Forecasting in Turkish Electricity Market“, Doktora Tezi, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi*, Ankara, (2012).

Özözen, A., Kayakutlu, G., Ketterer, M., and Kayalica, Ö., “A combined seasonal ARIMA and ANN model for improved results in electricity spot price forecasting: Case study in Turkey”, Proceedings of PICMET '16: Technology Management for Social Innovation, 2681-2690, (2016)

Öztemel, E., “*Yapay Sinir Ağları*“, İstanbul: Papatya Yayınları, 29-57, (2006).

Ranjbar, M., Soleymani, S., Sadati, N., and Ranjbar, A. M., “Electricity price forecasting using artificial neural network, *International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES '06)*, doi:10.1109/PEDES.2006.344294, (2006).

Ross, T.J., Fuzzy “Logic with Engineering Applications“, NewYork: Mc.Graw-Hill Publishing Co., 179-189, (1975).

Ruder, S., “An overview of gradient descent optimization algorithms”, *ArXiv e-prints*, 1-14, (2016)

Sahay, K. B., and Tripathi, M. M., “An analysis of short-term price forecasting of power market by using ANN“, *6th IEEE Power India International Conference*, (2014).

Saraç, T., “Yapay Sinir Ağları”, Seminer Projesi, *Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı*, (2004).

Stoft, S., “Power System Economics: Designing markets for Electricity“, *Pricing Power, Energy and Capacity*, 8, 30-39, (2002).

Talasli, İ., “Stochastic Modeling off Electricity Markets“, Doktora Tezi, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi*, Ankara, (2012).

Tamzok, N., “Kamu Politikası Analizi: Elektrik Enerjisi Sektörü”, Doktora Tezi, *Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi (Yönetim Bilimleri) Ana Bilim Dalı, Ankara, (2007).

Tayşi, Z. C., Biricik, G., ve Bozkurt, Ö., “Türkiye Elektrik Piyasası için Fiyat Tahmin Sistemlerinin Değerlendirilmesi“, *23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 620-623, (2015).

Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt A.Ş. Genel Müdürlüğü, Sektör Raporu [online], (10.04.2019),

https://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FSekt%C3%B6r%20Raporu%2FSektor_Raporu_TETAS_2009.pdf, (2010).

Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt A.Ş. Genel Müdürlüğü, Sektör Raporu [online], (10.04.2019),
<https://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FSekt%C3%B6r%20Raporu%2FTETA%C5%9E%202014%20Y%C4%B1%C4%B1%20Sekt%C3%B6r%20Raporu.pdf>, (2015).

Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt A.Ş. Genel Müdürlüğü, Sektör Raporu [online], (10.04.2019),
https://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FSekt%C3%B6r%20Raporu%2FSektor_Raporu_TETAS.pdf, (2009).

Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Sektör Raporu [online], (10.04.2019),
<https://www.teias.gov.tr/tr/yayinlar-raporlar/piyasa-raporlari>, (2019).

Ünsal, S., Alışkan, İ., “Mamdani ve Takagi-Sugeno Çıkarım Yöntemlerine Sahip Bulanık Mantık Denetleyicilerin Özgün Yazılım ve Araç Kutusu Performans Analizi“, *ELOCO*, (2016).

Ünver, Ö., “*Uygulamalı İstatistik Yöntemler*“, Ankara: Siyasal Kitabevi, (1996).

Weron, R., “Electricity price forecasting: A review of the state-of-the-art with a look into the future”, *International Journal of Forecasting*, 30(4), 1030-1081, (2014).

Yan, X., and Chowdhury, N. A., “Electricity market clearing price forecasting in a deregulated electricity market“, *2010 IEEE 11th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems*, 36-41, (2010).

Zenginobuz, Ü., ve Oğur, S., “Türkiye Elektrik Sektöründe Yeniden Yapılanma, Özelleştirme ve Regülasyon“, *Boğaziçi Üniversitesi, Northwestern Üniversitesi, İstanbul*, (1999).

Zhang, J., and Cheng, C., “Day-ahead electricity price forecasting using artificial intelligence“, *IEEE Electrical Power & Energy Conference*, (2008).

B. Zimberg B., Crude oil price forecasting with ANFIS [online], (15.05.2019),
<http://lipas.uwasa.fi/~phelo/ICIL2008TelAviv/24.Pdf>, (2008).

10. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Tuğçe Dikbaş

Doğum Yeri ve Tarihi : Denizli – 09.03.1992

Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi

Elektronik posta : tugcedikbas_@hotmail.com

İletişim Adresi : Servergazi Mah. No:72 Denizli

Yayın Listesi : Dikbaş, T., “Bir Güneş Enerjisi Santrali Tasarımı ve Ekonomik Analizi”, Üretim Araştırmaları Sempozyumu, İstanbul Teknik Üniversitesi, (2016)