

**T.C.  
NUH NACI YAZGAN ÜNİVERSİTESİ  
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
İŞLETME ANA BİLİM DALI**

**SPOT ELEKTRİK PİYASALARINDA İOT DESTEKLİ  
TALEP TAHMİNLERİNE GÖRE FİYATLAMA**

**Hazırlayan  
Mustafa Ahmet HAMURCU**

**Danışman  
Doç. Dr. Onur GÖZBAŞI**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Ocak 2019  
KAYSERİ**



**T.C.  
NUH NACİ YAZGAN ÜNİVERSİTESİ  
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
İŞLETME ANA BİLİM DALI**

**SPOT ELEKTRİK PİYASALARINDA İOT DESTEKLİ  
TALEP TAHMİNLERİNE GÖRE FİYATLAMA**

**(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan  
Mustafa Ahmet HAMURCU**

**Danışman  
Doç. Dr. Onur GÖZBAŞI**

**Ocak 2019  
KAYSERİ**

## BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Mustafa Ahmet HAMURCU  
İmza



## YÖNERGEYE UYGUNLUK

Spot Elektrik Piyasalarında IoT Destekli Talep Tahminlerine Göre Fiyatlama adlı Yüksek Lisans Tezi, Nuh Naci Yazgan Üniversitesi Lisansüstü Tez Yazım Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Mustafa Ahmet HAMURCU

İmza

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Onur GÖZBAŞI

İmza

İşletme ABD Başkan V.

Doç. Dr. Onur GÖZBAŞI

İmza

## KABUL VE ONAY SAYFASI

Doç Dr. Onur GÖZBAŞI danışmanlığında Mustafa Ahmet HAMURCU tarafından hazırlanan “Spot Elektrik Piyasalarında IoT Destekli Talep Tahminlerine Göre Fiyatlandırma” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Nuh Naci Yazgan Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

04/01/2019

### JÜRİ:



Danışman : Doç. Dr. Onur GÖZBAŞI  
Üye : Prof. Dr. Alper ASLAN  
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Şaban Suat ÖZSARISILDIZ

### ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 09.01.2019.. tarih ve 2019/001- sayılı kararı ile onaylanmıştır.

09/01/2019

Doç. Dr. Onur GÖZBAŞI  
Enstitü Müdürü

## TEŞEKKÜR

Çalışmanın gerçekleşmesi için gerekli olan teknik altyapı ve zihinsel sürecin oluşumunda birçok faktör ve kişi etkili olmuştur. Bu süreçte bilerek veya bilmeyerek, isteyerek veya istemeyerek katkıda bulunan herkese teşekkür ederim. Ancak çalışmadaki katkıları yadsınamayacak, isim isim teşekkür etmek istediğim insanlar bulunmaktadır.

Hayatları boyunca fedakâr duruşlarıyla sevgilerini ve desteklerini göstermekten çekinmeyen, şartlar ne olursa olsun evlatlarını önceleyerek hareket eden, sevgili anneme ve babama teşekkür ederim. Bu aşamaya kadar gösterdiği saygılı duruşu, fedakâr tavırları ve arkadaşlığı sebebiyle kardeşime teşekkür ederim.

Hayata bakışı ve öğrenci yetiştirmek için katlandığı fedakarlıklarla, akademik merak duygumdaki artışta ve teknik becerilerimin gelişmesinde hem öğrencilik hayatımdaki hem iş hayatımdaki hem de sosyal hayatımdaki muazzam katkılarından dolayı hocam ve değerli büyüğüm sevgili Öğr. Gör. Gökhan GÜVEN'e teşekkür ederim.

Öğrenim sürecimde ve tez sürecimde destekleyici ve yol gösterici duruşuyla beni akademik çalışmalara teşvik edip yolumu açan, yoğun iş temposuna rağmen yakın ilgi ve alakasıyla çalışmamın olgunlaşmasına katkı sağlayan, hem öğrenim hayatımda hem de sosyal hayatımda göstermiş olduğu sabır, nezaket ve sevgiden ötürü danışman hocam sevgili Doç. Dr. Onur GÖZBAŞI'ya teşekkür ederim.

Mustafa Ahmet HAMURCU

İmza

# SPOT ELEKTRİK PİYASALARINDA İOT DESTEKLİ TALEP TAHMİNLERİNE GÖRE FİYATLAMA

Mustafa Ahmet HAMURCU

Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Ocak 2019

Danışman: Doç. Dr. Onur GÖZBAŞI

## ÖZET

Enerji piyasalarında piyasa takas fiyatının oluşumu arz ve talep tahminlerine göre gerçekleşmekte, yüksek doğrulukta gerçekleştirilemeyen talep tahminleri fiyatların düzensiz oluşumunu tetiklemektedir. Bu çalışma ile spot enerji piyasalarında elektrik fiyatları, nesnelerin interneti (İOT) ve yeni teknolojik yaklaşımlarla birlikte incelenerek spot enerji piyasalarında gün öncesi ve gün içi fiyatlamalardaki tahminleme hatalarının kaynağı olan, arz ve talep tahminleme hata oranlarının düşürülmesine katkıda bulunmak amaçlanmaktadır. Bu amaçla enerji piyasası nesnelerin interneti (İOT) ve akıllı şebeke yaklaşımı perspektifinde incelenmekte, çalışmanın uygulama bölümünde ise bu yaklaşımlarla tahminleme çalışmalarının daha etkin yapılmasının mümkün olup olmadığına yönelik bir uygulama gerçekleştirilmektedir. Uygulamada 2016 ve 2017 yıllarına ait daha az gözlem sayısını içeren günlük değerlerin bulunduğu düşük frekanslı veri kümeleri ve daha çok gözlem sayısını içeren saatlik değerlerin bulunduğu yüksek frekanslı veri kümeleri ile yapay sinir ağları uygulaması gerçekleştirilerek performansları karşılaştırılmaktadır. Elde edilen sonuçlar yüksek frekanslı verilerle daha doğru tahminleme gerçekleştirilebileceği, tahminleme hatalarının minimize edilebileceğine işaret etmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Spot enerji piyasaları, nesnelerin interneti (İOT), fiyatlama, fiyat tahmini



# **PRICING IN ACCORDANCE WITH THE IOT SUPPORTED DEMAND PREDICTIONS IN THE SPOT ELECTRICITY MARKET**

**Mustafa Ahmet HAMURCU**

**Nuh Naci Yazgan University, Graduate School of Social Sciences**

**M.Sc. Thesis, January 2019**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Onur GÖZBAŞI**

## **ABSTRACT**

In the energy markets, the formation of the market exchange price is realized according to the supply and demand forecasts; demand forecasts that cannot be realized with high accuracy trigger irregular formation of prices. In this study, electricity prices in spot energy markets, Internet of Things (IoT) and new technological approaches are examined. It is aimed to contribute to the reduction of supply and demand estimation error rates which are the source of forecasting errors in day ahead and in-day pricing in spot energy markets. For this purpose, the energy market is examined in the perspective of the Internet of Things (IoT) and the smart grid systems approach. Moreover, in the application section of the study, an application is made to determine whether it is possible to make the estimation studies more effectively with these approaches. In this study, by performing artificial neural networks, the performance of low-frequency data sets which contain daily observations with less observations and high-frequency data sets which contain hourly values with more observations for 2016 and 2017, are compared. The results indicate that more accurate estimation can be performed and estimation errors can be minimized by higher frequency data.

**Keywords:** Spot energy markets, internet of things (IOT), pricing, price forecast

# İÇİNDEKİLER

## SPOT ELEKTRİK PİYASALARINDA İOT DESTEKLİ TALEP TAHMİNLERİNE GÖRE FİYATLAMA

	Sayfa
<b>BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK</b> .....	i
<b>YÖNERGEYE UYGUNLUK</b> .....	ii
<b>KABUL VE ONAY SAYFASI</b> .....	iii
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	iv
<b>ÖZET</b> .....	v
<b>ABSTRACT</b> .....	vi
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	vii
<b>KISALTMALAR</b> .....	x
<b>TABLolar LİSTESİ</b> .....	xi
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	xii
<b>GİRİŞ</b> .....	1

### 1.BÖLÜM

#### ELEKTRİK ENERJİSİ VE ELEKTRİK ENERJİSİ PİYASALARI

1.1. Elektrik Enerjisi.....	4
1.1.1. Enerji Üretimi İçerisinde Elektrik Enerjisinin Önemi.....	4
1.1.2. Enerji Kaynakları ve Geliştirilen Santraller .....	5
1.1.3. Enerji Arz ve Talebini Etkileyen Faktörler .....	6
1.2. Türkiye’de Elektrik ve Satış Sistemi.....	7
1.2.1. Üretim Sistemi.....	8
1.2.2. İletim Sistemi .....	10
1.2.3. Dağıtım Sistemi.....	11
1.2.4. Toptan Satış.....	13
1.2.5. Perakende Satış .....	13
1.2.6. Serbest Tüketici Kavramı.....	14

1.3. Elektrik Piyasaları .....	15
1.3.1. Spot Piyasalar .....	15
1.3.2. Türev Piyasalar .....	16
1.4. Türkiye’de Elektrik Piyasası ve İşleyişi .....	16
1.4.1. Gün Öncesi Piyasa .....	18
1.4.2. Gerçek Zamanlı Piyasa (Dengeleme Güç Piyasası) .....	18
1.5. Türkiye’de Elektrik Piyasası ve İşleyişinin Değerlendirmesi .....	19
1.6. Türkiye’de Enerji İthalatı ve Cari Açık .....	22

## **2.BÖLÜM**

### **4. SANAYİ DEVRİMİ, TEKNOLOJİ VE AKILLI SİSTEM YAKLAŞIMLARI**

2.1. Teknolojinin Tarihsel Gelişim Süreci .....	25
2.1.1. Endüstri 1.0 .....	26
2.1.2. Endüstri 2.0 .....	27
2.1.3. Endüstri 3.0 .....	27
2.2. Endüstri 4.0 .....	27
2.2.1. Endüstri 5.0 .....	30
2.3. Akıllı Şehirler ve Akıllı Şebeke Sistemleri Yaklaşımı .....	31
2.3.1. Nesnelerin İnterneti (IOT) .....	34
2.3.1.1. Enerji Sektöründe Nesnelerin İnterneti Yaklaşımı .....	35
2.3.2. Akıllı Şebeke Sistemleri .....	39
2.4. Teknolojilerin Enerji Alanında Kullanımı ve Değerlendirmesi .....	44

## **3.BÖLÜM**

### **TALEP, FİYAT VE TAHMİNLEME**

3.1. Talep ve Fiyat Kavramları .....	47
3.2. Enerji Piyasalarında Akıllı Fiyatlandırma .....	50
3.3. Tahminleme Kavramı .....	52
3.3.1. Talep Tahminlemesi .....	52
3.3.2. Tahminleme İlkeleri .....	53
3.3.3. Tahminleme Tekniklerinin Seçimi .....	53

3.3.4. Tahminleme Teknikleri .....	54
3.3.4.1. Nitel (Yargısal) Tahminleme Teknikleri .....	55
3.3.4.2. Nicel (Objektif) Tahminleme Teknikleri .....	56
3.3.4.2.1. Yapay Sinir Ağları Tekniği ile Tahminleme.....	59
3.3.4.2.1.1. Yapay Sinir Ağı Tanımları .....	59
3.3.4.2.1.2. Yapay Sinir Ağlarının Genel Özellikleri ....	61
3.3.4.2.1.3. Yapay Sinir Ağı Mimarileri.....	63
3.3.4.2.1.4. Yapay Sinir Ağlarının Temel Öğrenme Kuralları .....	65
3.4. Seçilen Teknik ve Değerlendirmesi .....	67

## **4.BÖLÜM**

### **SPOT ELEKTRİK PİYASALARINDA İOT DESTEKLİ TALEP TAHMİNLERİNE GÖRE FİYATLAMA UYGULAMASI**

4.1. Veri.....	70
4.2. Yöntem ve Model Belirleme .....	72
4.3. Verilerin Analizi ve Değerlendirilmesi .....	75
4.3.1. Saatlik Verilerle Yapay Sinir Ağı Uygulaması Sonuçları .....	87
4.3.2. Günlük Verilerle Yapay Sinir Ağı Uygulaması Sonuçları.....	88
4.3.3. Günlük ve Saatlik YSA Uygulama Sonuçlarının Karşılaştırması.....	89
<b>SONUÇ .....</b>	<b>92</b>
<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>95</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>100</b>

## KISALTMALAR

IOT	: Nesnelerin İnterneti (Internet of Things)
YSA	: Yapay Sinir Ağları
TEK	: Türkiye Elektrik Kurumu
TEAŞ	: Türkiye Elektrik Üretim İletim A.Ş.
TEDAŞ	: Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş.
EÜAŞ	: Türkiye Elektrik Üretim A.Ş.
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
TETAŞ	: Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt A.Ş.
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EPİAŞ	: Enerji Piyasaları İşletme A.Ş.
YİD	: Yap İşlet Devret
Yİ	: Yap İşlet
İHD	: İşletme Hak Devri
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
ANN	: Artificial Neural Networks
EXIST	: Energy Exchange Istanbul
RMSE	: Hata Karelerinin Ortalamasının Karekökü (Root Mean Squared Error)

## TABLolar LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1. Türkiye’de Elektrik Dağıtım Şirketleri .....	11
Tablo 2. Türkiye’de Enerji İthalatı ve Cari Açığın Gelişimi .....	22
Tablo 3. 2013-2017 Yılları Arası Cari Açıkta Enerji İthalatı .....	23
Tablo 4. 2016-2017 Yıllarına Ait Saatlik Bazda Yüksek Frekanslı Çalışma Verileri....	70
Tablo 5. 2016-2017 Yıllarına Günlük Bazda Düşük Frekanslı Çalışma Verileri.....	71
Tablo 6. Gerçek Zamanlı Tüketim Miktarı Değişkeni Tanımlayıcı İstatistikleri .....	79
Tablo 7. Tüketim Tahmin Planı Tanımlayıcı İstatistikleri .....	80
Tablo 8. Gün Öncesi Piyasa Takas Fiyatı Tanımlayıcı İstatistikleri .....	81
Tablo 9. YSA Modellemesinde Kullanılan Operatörler .....	84
Tablo 10. Neural Net Operatörüne Ait Parametreler .....	87
Tablo 11. Saatlik Verilere Göre Performans .....	88
Tablo 12. Günlük Verilere Göre Performans.....	88
Tablo 13. YSA Uygulamaları Performans Karşılaştırması .....	89

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1. Türkiye Elektrik Piyasasının İşleyişi .....	8
Şekil 2. 2016 Türkiye Elektrik Üretim Kuruluşlarına Göre Dağılımı .....	9
Şekil 3. EÜAŞ'ın Toplam Elektrik Üretimindeki Payı.....	9
Şekil 4. 4628 Sayılı Kanun ile Türkiye'de Elektrik Piyasasının İşleyişi .....	17
Şekil 5. 2015 Sonrası Türkiye Elektrik Piyasası.....	20
Şekil 6. 2012-2017 Yılları Gün Öncesi Piyasa Katılımcı Oranları.....	20
Şekil 7. Sistem Marjinal Fiyatı ve Piyasa Takas Fiyatı Ortalamaları .....	21
Şekil 8. Birleşmiş Milletler Nüfus Projeksiyonları.....	36
Şekil 9. Birleşmiş Milletler Dünya Kentleşme Beklentileri .....	37
Şekil 10. Birleşmiş Milletler Yaşlı Nüfus Projeksiyonları .....	37
Şekil 11. Birleşmiş Milletler Çevre Programı 2014 Yılı Şehirlerde Enerji Tüketimi ....	38
Şekil 12. Akıllı Şebeke Çalışma Şeması.....	40
Şekil 13. Mevcut Şebekeler ve Akıllı Şebekeler Karşılaştırması .....	41
Şekil 14. Örnek Dağıtık Şebeke Sistemi Görünümü .....	42
Şekil 15. Türkiye Elektrik Piyasasında Gelecek Durum .....	45
Şekil 16. Arz ve Talep Eğrilerine Göre Fiyat Oluşumu .....	47
Şekil 17. Elektrik Piyasasında Referans Fiyat Oluşumu .....	49
Şekil 18. Spot Piyasalarda Referans Fiyat Oluşumu .....	49
Şekil 19. Örnek Yapay Sinir Ağı Hücresi.....	60
Şekil 20. Örnek Çok Katmanlı Bir Yapay Sinir Ağı Şablonu .....	61
Şekil 21. Örnek İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağı Mimarileri .....	63
Şekil 22. YSA'da Öğrenme Eğrisi.....	66
Şekil 23. EXIST Platformu Web Arayüzü.....	75
Şekil 24. Sorgulama İşlemleri.....	76
Şekil 25. 2016-2017 Yılları Tüketim Tahminleri ve Gerçek Zamanlı Tüketim.....	77
Şekil 26. 2016-2017 Yılları Gün Öncesi Piyasa Takas Fiyatları .....	78
Şekil 27. FileMaker Tablo İlişkileri.....	82
Şekil 28. Günlük Olarak Verilerin Düzenlendiği Veritabanı İlişkisi Gösterimi.....	83
Şekil 29. RapidMiner Uygulamasında Önizleme .....	83
Şekil 30. RapidMiner Process Ekranı Son Önizleme .....	84
Şekil 31. İş Akış Modelinin Çalıştırılması.....	86

## GİRİŞ

Elektrik sosyal ve ekonomik açıdan insan hayatında önemli bir yere sahiptir. Thales'in durağan elektriği ve Volta'nın akışkan elektriği keşfi süreci sonunda, Edison elektriği akkor tellerden faydalanarak aydınlatma aracı olarak dönüştürmüştür. Böylece elektriğin ticarileşme süreci başlamıştır. Endüstriyel süreçler çerçevesinde elektrik, farklı birçok teknolojinin de en temel itici gücü olmuştur.

Türkiye spot elektrik piyasasında gün öncesi piyasa fiyatları elektrik enerjisine ait arz ve talep tahminleme çalışmalarına dayalı olarak şekillenmekte ve gün içi piyasa fiyatları da bu tahminlemelere göre oluşmaktadır. Doğru arz ve talep tahminleme sonuçlarına ne kadar ulaşılabilirse, hem gün öncesi piyasada hem de gün içi dengeleme piyasasında fiyatlamalar o nispette doğru yapılabilmektedir. Böylece tüketiciler açısından enerji kullanım maliyetleri de düşürülebilmektedir.

Enerji piyasalarında piyasa takas fiyatlarının daha düzenli şekilde gerçekleşmesi temel olarak doğru tüketim ve üretim planlamalarına dayanmaktadır. Bu üretim ve tüketim planlamaları ancak yeni teknolojik gelişmeler perspektifinde bir düzleme oturtulursa daha doğru tahminleme sonuçları elde edilebilecektir. Bir meta olarak elektriğin sayımı ve stoklanması yapısı itibariyle mümkün değildir. Bu sebeple elektrik mümkün olan en sık zaman aralıklarında ölçümlenerek, yüksek frekansta verilerle tahminleme çalışmaları yapılırsa daha doğru arz talep tahmini sonuçlarına ulaşılabilir. Gün öncesi piyasalara ait veriler incelendiğinde fiyat oluşumlarının saatlik tüketim tahmin planlarıyla desteklendiği görülmektedir. Nesnelerin interneti (IOT) ve akıllı şebeke sistemi gibi yaklaşımlar yüksek frekanslı verilere ulaşılabilirliği mümkün kılan teknolojik gelişmeler arasında yorumlanmaktadır. Bu durum yeni teknolojilerle daha isabetli tahminleme çalışmalarının yapılıp yapılamayacağı sorusunu akıllara getirmektedir. Bunun sebebi gün öncesi elektrik piyasalarında elektrik fiyatları, IOT ve yeni teknolojik yaklaşımlarla birlikte incelenmektedir.

Bu çalışma ile spot enerji piyasalarında elektrik fiyatları, IOT ve yeni teknolojik yaklaşımlarla birlikte incelenerek spot enerji piyasalarında gün öncesi ve gün içi fiyatlamalardaki tahminleme hatalarının kaynağı olan, arz ve talep tahminleme hata oranlarının düşürülmesine katkıda bulunmak amaçlanmaktadır.



Yeni teknolojilerin çıktısı olan daha yüksek frekanslı verilere ulaşma imkanının neticesinde tahminlemelerin daha düşük hata paylarıyla gerçekleştirilip gerçekleştirilemeyeceğini test etmek maksadıyla 2016-2017 yıllarına ait yüksek frekanslı saatlik verilerle ve düşük frekanslı günlük verilerle yapay sinir ağıları uygulamasında piyasa takas fiyat tahminleri incelenmekte ve tahminleme hata oranları karşılaştırılmaktadır.

Bu çalışma dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde elektrik piyasalarında fiyat oluşumlarını anlamak adına temel oluşturması için elektrik enerjisi ve elektrik enerjisi piyasaları incelenmektedir. Türkiye’de elektrik ve satış sistemi hakkında bilgiler verilerek gün öncesi piyasa ve dengeleme güç piyasası üzerinden Türkiye’de elektrik piyasasının işleyişi hakkında bilgiler aktarılmaktadır.

İkinci bölümde teknolojinin tarihsel gelişim süreci incelenmekte, IOT ve getirdiği teknolojik yenilikler üzerine bilgiler verilmektedir. Enerji sektöründe IOT yaklaşımına dayanan akıllı şebeke sistemleri incelenmekte ve bu sistemlerle yüksek frekanslı verilere nasıl ulaşılabileceğine dair bilgiler aktarılmaktadır.

Üçüncü bölümde talep, fiyat ve tahminleme kavramları incelenmektedir. Tahminleme başlığı altında çalışmanın uygulama bölümünde kullanılan yapay sinir ağıları tekniği tanımı, genel özellikleri, mimarileri ve temel öğrenme kuralları başlıklarında incelenmektedir.

Dördüncü bölüm olan çalışmanın son bölümde yüksek frekanslı saatlik elektrik piyasası verileri ve düşük frekanslı günlük ortalama piyasa verilerinin kullanıldığı yapay sinir ağıları uygulaması gerçekleştirilmekte ve bu uygulamaların sonuçlarına ilişkin performans karşılaştırmalarına yer verilmektedir.

# 1. BÖLÜM

## ELEKTRİK ENERJİSİ VE ELEKTRİK ENERJİSİ PİYASALARI

Enerji teknik olarak iş yapabilme becerisi olarak tanımlanmaktadır (Tugal, 2014, s 4). Tarihsel olarak insanoğlunun teknolojik gelişmişlik düzeyi, iş üretebilme ve yapabilme becerisi göz önüne alındığında; daima enerji temelli olduğu gözlemlenmiş, enerji kavramı üretimde ve tüketimde en temel unsur olarak ortaya çıkmıştır. Bu bağlamda gelişmişlik göstergesi olarak kabul görmesi sebebiyle, enerji vazgeçilmez bir unsur haline gelmiştir.

Enerji; geniş anlamda iş yapabilme yetisi olarak tanımlanır. Enerji globalleşme sebebiyle dikkat çeken en önemli unsurlardan biri olmuştur. Globalleşme ve endüstriyel ilerleme enerji kaynaklarının dünya üzerinde ciddi anlamda azalması sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Dolayısıyla ikame enerji kaynakları aranmaya başlanmıştır (Boltürk, 2013, s 1).

Enerji kaynakları ortaya çıkışları baz alınarak sınıfsal anlamda birincil ve ikincil enerji kaynakları olarak gruplanmıştır. Birincil kaynaklar doğada bulunduğu gibi değiştirilmeden direkt olarak kullanılabilen (odun, kömür, güneş, rüzgar vb.), ikincil enerji kaynakları ise bazı müdahaleler ve işlemler neticesinde üretilen (elektrik, benzin, motorin, LPG vb.) enerjiyi ifade etmektedir.

Bu kaynaklar kullanılarak ortaya çıkarılan enerji ise mekanik enerji, ısı enerjisi, kimyasal enerji, nükleer enerji ve elektrik enerjisi gibi kavramlarla sınıflandırılmaktadır. Elektrik enerjisi tezimizin konusu olacak ve ilerleyen bölümlerde daha detaylı bir biçimde açıklanacaktır.

Elektrik enerjisi hayatımıza 19. yüzyılın sonlarına doğru girmiş ve ihtiyaçlar neticesinde sanayinin temel girdisi haline gelmiştir. Üretimi, iletimi, dağıtımı ve tüketimine kadar geçen süreç incelendiğinde, kendiliğinden bir piyasa oluşturmuş ve depolanamayan bir meta olduğu için de çok farklı piyasa kavramları ortaya çıkmıştır.

Bu bölümde bahsi geçen elektrik enerjisinin önemi, üretim kaynakları, arzını ve talebini etkileyen faktörler, elektrik sistemi işleyişi (üretim, iletim, dağıtım sistemleri), toptan satış kavramı, perakende satış kavramı, serbest tüketici kavramı, elektrik

piyasaları ve piyasaların işleyişi hakkında bilgiler sunulmuştur.

## **1.1. Elektrik Enerjisi**

Elektrik; doğrudan birincil enerji kaynakları kullanılarak veya yenilenebilir kaynaklardan istifade edilerek üretilen ikincil bir enerjidir. Endüstrinin gelişim evreleri göz önüne alındığında daima endüstrinin itici gücü olmuştur.

Teknoloji, hayatı kolaylaştıracak sanat/araç-gereç yapabilme kabiliyeti anlamına gelmektedir. Endüstrinin temel kavramı olan teknoloji, özellikle Endüstri 3.0 olarak tanımlanan dönemde elektrik enerjisini temel endüstri girdisi olarak kabul etmiş; ülkeler de gelişmişlik düzeylerini elektrik tüketim miktarlarına göre belirlemeye başlamıştır.

İlk olarak yunan filozof Thales'in statik elektriği keşfetmesinin ardından, Volta yaptığı deneylerle akan elektriği keşfetmiş ve elektrik pilleriyle akan elektriği ortaya çıkarmıştır. 18. yüzyılın başlarında ilk elektrikli lamba icat edilmiş ve 1870'li yıllarda geliştirilen teknolojilerle 1879 yılında Thomas Edison tarafından elektrik ticarileştirilmiştir (Özliman, 2015, s. 15).

20. yüzyılın başlarında elektrik enerjisine dayanan kitlesel üretim hatlarının devreye girmesiyle endüstri hızla büyümeye ve gelişmeye başlamış; elektronik bilgi teknolojilerine ve otomasyona dayanan sistemlerle endüstri 3.0 kavramı tanımlanmıştır.

### **1.1.1. Enerji Üretimi İçerisinde Elektrik Enerjisinin Önemi**

İnsanoğlunun temel ihtiyaçlarından olan güvenlik güdüsü ile öncelikli olarak aydınlatmada kullanılan elektrik, elektrik motorları sayesinde insan ve havyan gücüne dayalı üretimi de dönüştürmüştür; ısınma sistemlerinden soğutma sistemlerine kadar birçok alanda kullanılmıştır.

İletim ve dağıtım kolaylığı elektriği tüm üretim sistemleri tarafından kullanılabilir hale getirmiş; ulaşımdan iletişime, sağlıktan inşaata tüm endüstri alanlarında elektrik vazgeçilmez bir unsur haline almıştır. Elektrik üzerine yapılan çalışmalar aynı zamanda farklı süreçleri ve gelişmeleri de beraberinde getirerek, birçok maddeyi üretimde yarı-mamul ya da mamul haline dönüştürerek katma değeri yüksek üretim süreçleri ortaya çıkarmıştır (Pineau'dan aktaran Gök, 2016, s. 8).

Üretimde hammadde nisbetinde konumlanmak suretiyle ekonomiyi, doğrudan tüketimi sebebiyle de sosyal hayatı etkisi altına alan elektrik enerjisi, teknolojinin ikamesi imkansız bir metaı haline gelmiştir. Yapılan birçok araştırma, gelir ve elektrik tüketimi arasında direkt ilişki olduğunu ortaya koymuştur.

Bir ülkede gerçekleşen elektrik tüketim miktarı, o ülkenin sosyal ve ekonomik yapısını anlamamızı sağlayacak sosyo-ekonomik kıstaslardan biri olarak kabul edilmektedir (Topal, 1990, s. 31).

### **1.1.2. Enerji Kaynakları ve Geliştirilen Santraller**

Enerji kaynakları ortaya çıkışları ve ortak tanımlamaları ile birincil ve ikincil enerji kaynakları olarak gruplanmıştır. Birincil kaynaklar doğada bulunduğu gibi değiştirilmeden direkt olarak kullanılabilen (odun, kömür, güneş, rüzgar vb.), ikincil enerji kaynakları ise bazı müdahaleler ve işlemler neticesinde üretilen (elektrik, benzin, motorin, LPG vb.) enerjiyi ifade etmektedir.

Birincil enerji kaynakları yenilenebilir ve yenilenemez olma özelliklerine göre iki sınıfa ayrılmaktadır. Özellikle birincil enerji kaynakları olarak adlandırılan yani doğada direkt bulunan kaynaklardan yenilenebilir özelliğe sahip olanların elektrik üretiminde kullanılmalarını teşvik eden yasal teşviklerin artırılması, verimli elektrik enerjisi üretiminde artış meydana getirmektedir.

Enerjinin korunumu kanununa göre doğada hiçbir enerji yoktan var edilemez. Aynı zamanda var olan enerji de yok edilemez. Ancak enerji dönüştürülebilir özelliği sayesinde farklı formlarda kullanılabilir. Bu dönüştürme işlemlerinin gerçekleştirilebilmesi için çeşitli mantıklarda çalışan santraller geliştirilmiştir. Bu santraller aşağıda paragraflar halinde çalışma mantıklarıyla listelenmeye çalışılmıştır.

Fosil yakıtlar ve fosil yakıt temelli santraller elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır. Kömür, petrol doğalgaz gibi fosil yakıtların ortaya çıkardığı ısının basınçlı sıcak su yardımıyla elektriğe dönüştürüldüğü sistemler termik enerji santrali olarak adlandırılır.

Atom çekirdeğinin parçalanması suretiyle ortaya çıkarılan ısının kullanılarak elektrik enerjisine dönüştürüldüğü merkezler nükleer enerji santralleri olarak adlandırılırlar. Uranyum madeni bu santrallerde enerji kaynağı olarak tercih edilir.

Akarsuların gücünden faydalanmak suretiyle elektrik enerjisi üretmek mümkündür. Bu tip enerji üretim merkezleri hidroelektrik enerji santralleri olarak adlandırılır.

Basınç farkının ortaya çıkardığı atmosferik hareketler önce mekanik enerjiye sonrasında da elektrik enerjisine dönüştürülür. Bu tip enerji üretim merkezleri rüzgar santralleri olarak adlandırılmıştır.

Güneşin ısı ve ışığı kullanılarak elektrik enerjisi üretilebilir. Çevre dostu olması sebebiyle bu sistem günümüzde oldukça tercih edilir. Bu şekilde elektrik enerjisi üretebilen sistemlere verilen genel isim güneş enerji santralleridir.

Dünya çekirdeğinin ısısı yer altında bulunan suları ve gazları ısıtır ve basınç meydana getirir. Bu basınçtan faydalanılarak da elektrik enerjisi üretilmektedir. Bu üretim merkezleri jeotermal santraller olarak adlandırılırlar.

Kütleçekim kanunu sebebiyle gökyüzünde bulunan cisimler birbirleri arasında kuvvet meydana getirirler. Yeryüzündeki sular da bu kuvvet sebebiyle gelgit olarak adlandırılan hadiseyi oluştururlar. Gelgit esnasında suyun gücünden faydalanarak elektrik enerjisi üreten santraller ise gelgit enerji santralleri olarak adlandırılırlar.

### **1.1.3. Enerji Arz ve Talebini Etkileyen Faktörler**

Yaşamın temelini oluşturan enerji ticari hale dönüştükten ve endüstriyi yönlendirir konuma geldikten sonra ekonominin doğası gereği arz ve talep açısından incelenmiştir. Bireylerin olağan yaşamı devam ettirebilmesi ve endüstriyel faaliyetlerin devamı için ihtiyaç duyulan enerji miktarı enerji talebini, enerji talebinin giderilmesi için üretilmesi gerekli olan enerji miktarı ise enerji arzını belirlemektedir.

Ekonomik büyüme, teknoloji, istihdam ve nüfus direkt olarak enerji talebini etkileyen faktörlerdir. Bir ülkenin sanayi açısından gelişimi; kullanılan araç-gereç ve makine teçhizatındaki değişiklikleri de beraberinde getirmektedir. Teknolojinin temelinde enerji olduğu için teknolojik gelişmeler ve yeni ürünler de beraberinde enerji talebi doğurmaktadır.

Enerji fiyatları, tüketim seviyesi, yasal düzenlemeler, siyasi ve coğrafi parametreler de enerji arzı üzerinde etkilidir. Enerji fiyatlarındaki artış kısa dönemde

maliyet artışı olarak gözükmeyle birlikte uzun dönemde tasarruf meydana getirerek arzda artış oluşturmaktadır. Tüketim seviyesi yüksek ülkeler, üretim açıklarını kapatmak için enerji talebinde bulunur ve gelirlerinin büyük kısmını enerji için kullanırlar. Bu durum yüksek enerji tüketim seviyesinin enerji arzında doğrudan etkili faktörler arasında bulunduğunu göstermektedir (Tugal, 2014, ss. 18-27).

## **1.2. Türkiye’de Elektrik ve Satış Sistemi**

Türkiye’de 1902 senesinde ilk defa Mersin Tarsus’ta bir hidroelektrik kaynaktan elektrik üretilmiştir. Geçen dönemdeki çalışmalarla 1970 yılında Türkiye Elektrik Kurumu (TEK) kurulmuş, 1984 senesinde özel sektöre geçiş fırsatı sunulmuştur. TEK, 1993 yılında 4789 sayılı Bakanlar Kurulu kararıyla; Türkiye Elektrik Üretim İletim A.Ş. (TEAŞ) ve Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. (TEDAŞ) olarak ikiye ayrılmıştır. Daha sonra TEAŞ; Türkiye Elektrik Üretim A.Ş. (EÜAŞ), Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) ve Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt A.Ş. (TETAŞ) olarak üç farklı modelde ayrılmıştır (Aygördü, 2015, s. 28).

Bu çalışmaların bir sonucu olarak, 2001 senesinde çıkarılan 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ile elektrik piyasası gerekli yasal statüye erişmiştir (TETAŞ, 2015).

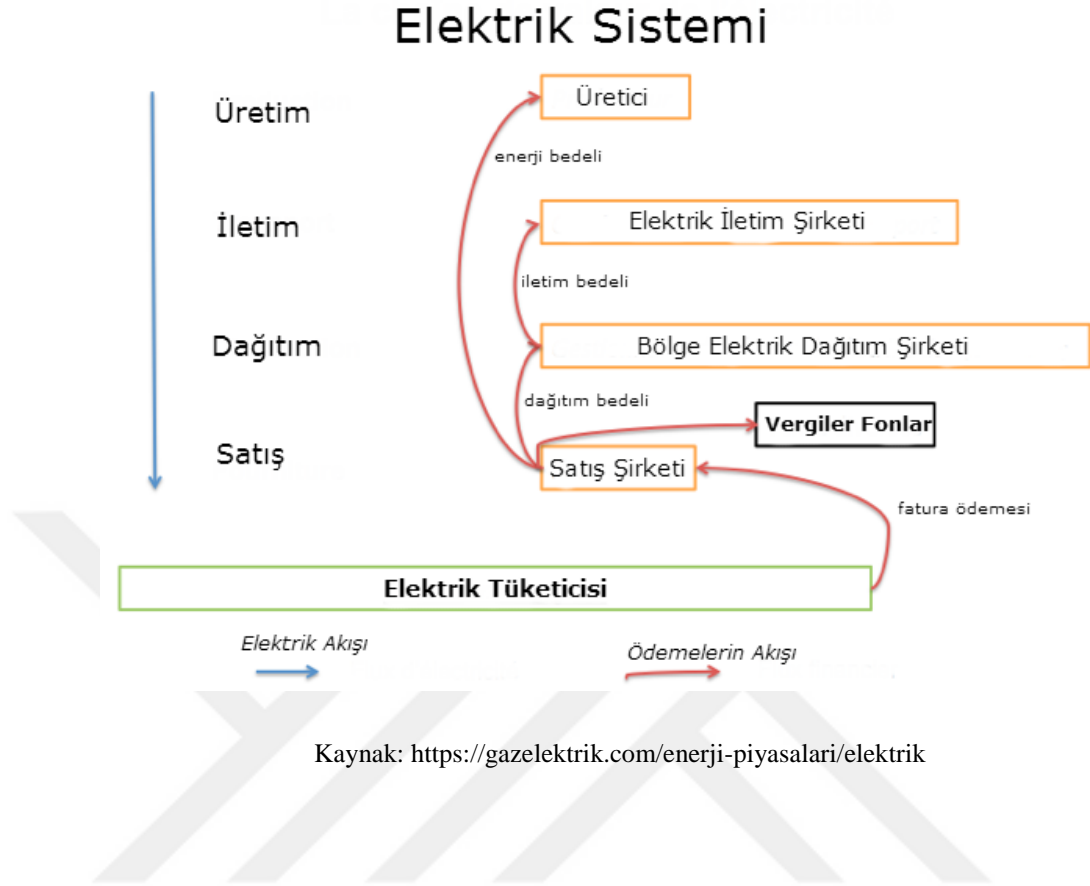
2001 sonrası serbestleşme döneminde ortaya çıkan süratli değişim ve dönüşüm sebebiyle ve bu sebeplere dayalı olarak ortaya çıkan taleplerin karşılanması amacıyla, 14 Mart 2013’te kabul edilen 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ile yeni bir dönem başlamıştır (Gök, 2016, s. 59).

Bu kanunla düşük maliyetli, verimli ve çevre dostu bir şekilde elektriğin kullanıcılara akışını sağlamak, şeffaf bir piyasa ortamında denetlenebilir bir yapı ortaya çıkarmak amaçlanmıştır.

EPK’nın amacı; elektriğin yeterli, kaliteli, sürekli, düşük maliyetli ve çevreyle uyumlu bir şekilde tüketicilerin kullanımına sunulması için, rekabet ortamında özel hukuk hükümlerine göre faaliyet gösteren, mali açıdan güçlü, istikrarlı ve şeffaf bir elektrik enerjisi piyasasının oluşturulması ve bu piyasada bağımsız bir düzenleme ve denetimin yapılmasının sağlanmasıdır (Elektrik Piyasası Kanunu, 2013).

Günümüzde 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu Sonrası Türkiye Elektrik Piyasasının işleyişi aşağıda gösterilmiştir.

Şekil 1. Türkiye Elektrik Piyasasının İşleyişi



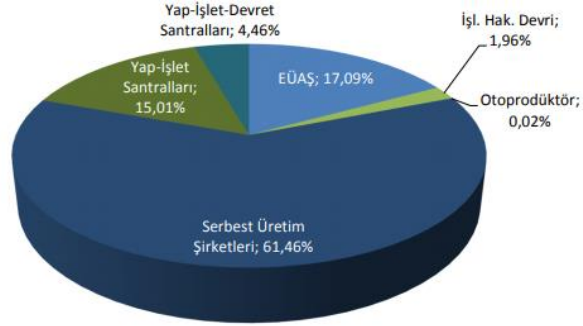
Şekil 1’de görüldüğü gibi 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu Sonrası Türkiye Elektrik Piyasası’nı elektrik akışı itibariyle öncelikli olarak üretilip iletim hatlarından tüketiciye ulaştırılırken dağıtım sistemi vasıtasıyla kontrol edilmektedir. Ödeme akışı bakımından tüketilen elektriğin bedeli ilgili satış şirketine yapılmakta ve satış şirketleri dağıtım hizmetini sağlayan dağıtım şirketlerine dağıtım bedelleri ödemekte ya da direkt olarak üreticilere ödeme yapmaktadır. Dağıtım şirketleri ise üretilen elektriğin iletiminden sorumlu şirketlere iletim sisteminin sağlıklı işleyişini temin etmeleri sebebiyle iletim bedellerini ödemektedir.

#### 1.2.1. Üretim Sistemi

Elektrik piyasalarında üretim yapabilmek için Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu tarafından verilmiş üretim lisansına sahip olmak şarttır. İncelendiğinde ilk dönemlerde üretim alanındaki en büyük kısmı Türkiye Elektrik Üretim A.Ş. (EÜAŞ) oluşturmaktadır; ancak serbestleşme ve özelleştirme çabaları piyasada üretim rekabetini de beraberinde getirmektedir. Özellikle son yıllardaki güneş enerji santrallerine getirilen

teşvikler ve doğal kaynak çeşitliliği sebebiyle özel sektör yatırımları da artmakta ve üretim payları günden güne değişiklik göstermektedir.

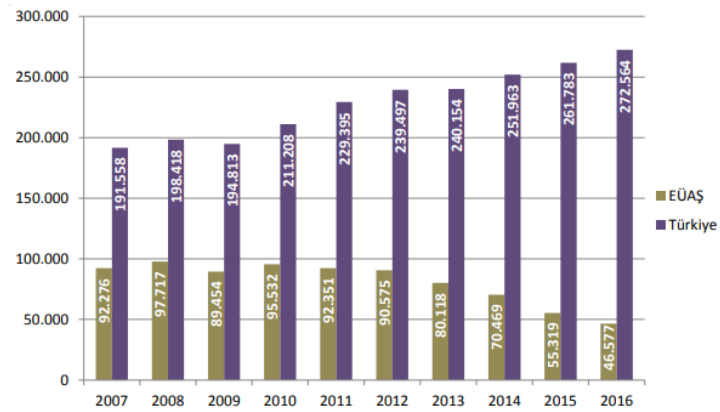
Şekil 2. 2016 Türkiye Elektrik Üretimini Kuruluşlara Göre Dağılımı



Kaynak: EÜAŞ, 2017, 2016 Elektrik Üretim Sektör Raporu

Şekil 2’de 2016 yılında Türkiye’de elektrik üretiminin kuruluşlara göre dağılımı gösterilmektedir. Bu dağılımda 2016 yılında özel sektör üretimi %61,46 olarak gerçekleşmiştir.

Şekil 3. EÜAŞ’ın Toplam Elektrik Üretimindeki Payı



Kaynak: EÜAŞ, 2017, 2016 Elektrik Üretim Sektör Raporu



Şekil 3’de 2007 ve 2016 yılları arasındaki toplam elektrik üretimi içinde EÜAŞ’ın üretim payları gösterilmektedir. EÜAŞ’ın gitgide daha düşük paylarda üretim yaptığı ve serbest üretimin de gitgide arttığı gözlemlenmektedir.

Üretim lisansına sahip tüzel kişiler ürettikleri elektrik enerjisi ve/veya kapasiteyi;

- toptan satış lisansı sahibi tüzel kişilere
- perakende satış lisansı sahibi tüzel kişilere
- serbest tüketicilere

ikili anlaşma usulüyle satabilirler (Taşpınar, 2011, s. 7).

Üreticilerin yükümlülükleri aşağıda belirtilmiştir.

- Mücbir sebepler haricinde yıllık planlı ve düzenli bakımları gerçekleştirmek, sorumlulukları dahilinde üretim tesislerinin çalışır halde tutmak
- Ölçmeye, iletişime ve kontrole dair altyapılarla ihtiyaç durumunda çok zamanlı ölçmeyi sağlayacak sayaçları temin edip kullanıma sunmak
- Üretilen elektriğin bölge sınırlaması olmadan müşterilere satışında iletim ve/veya dağıtım bedeli ödenmek
- Teknik imkanlar ölçüsünde TEİAŞ veya dağıtıcı tüzel kişilere, maliyetlerin tümünü kapsayan tutarlar üzerinden yan hizmetler için teklif vermek,
- Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği kapsamında Piyasa Mali Uzlaştırma Merkezine yük alma ve yük atma teklifi vermek,
- Otoprodüktör ve otoprodüktör grupları dışında, doğrudan veya dolaylı işlettikleri her üretim tesisi için ayrı lisans almak ve ayrı hesap tutmak (EPDK, 2003, s. 9).

### **1.2.2. İletim Sistemi**

Üretilen elektriğin tüketiciye ulaştırılmasında piyasa sisteminin işleyişi açısından bu iş iletim şirketi tarafından yürütülmektedir. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu tarafından verilen iletim lisansı ile iletim işini Türkiye’de Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) yürütmektedir. TEİAŞ tüm iletim sistemi tesislerinden, iletim planlamasından, bakım onarım işlemlerinden sorumludur. Elektrik talebi ve arzının dengelenmesi ve planlı iletim projeksiyonlarının yürütülmesi açısından da önemli bir vazife üstlenir.

İletim Sistemi, 36 kV yukarısındaki gerilimin, iletim hatlarıyla aktarıldığı tesisler bütünüdür. İletim tesislerini oluşturan elemanlar; iletim hatları ve iletim kabloları, iletim trafo ve anahtarlama merkezleri (indirici trafo merkezleri ve transformatör bulunmayan şalt sistemleri) olarak isimlendirilebilir (Gök, 2016, s. 49).

TEİAŞ elektrik sisteminin global standartlarla kaliteli, ekonomik ve güvenli bir şekilde işletilmesinden sorumludur. Sorumluluğu gereği yeni projeler oluşturur ve oluşturulan projeleri gerçekleştirmek amacıyla elektrik piyasa hizmetlerini yürütür. TEİAŞ bu görevlerini Ankara'daki genel müdürlüğü ile ülkenin farklı lokasyonlarında bulunan 22 adet bölge müdürlüğü, 1 adet Milli Yük Tevzi İşletme Müdürlüğü ve 9 adet bölgesel yük tevzi işletme müdürlükleri yardımıyla yerine getirir (TEİAŞ Sektör Raporu, 2017, s. 7).

### 1.2.3. Dağıtım Sistemi

Üretilen elektrik enerjisi iletim hatları vasıtasıyla son kullanıcıya ulaştırılır. Ancak elektriğin yüksek gerilim ile son kullanıcıya ulaştırılması, tüketimi çoğu zaman teknolojik açıdan imkansız kılmaktadır. Birçok kullanıcı elektriği tüketebilmek için alçak gerilimle almak durumundadır. Bu sebeple dağıtım merkezlerinde elektrik yüksek gerilimle giriş yaparken alçak gerilime düşürülüp kullanıcılara ulaştırılır. Burada dağıtım merkezleri rol üstlenirler. Dağıtım hizmetlerinde tekel rolünü üstlenen TEDAŞ, Özelleştirme Kurulu'nun 2004/22 sayılı kararıyla özelleştirme kapsamına alınmış ve 21 farklı dağıtım şirketine bölünmüştür.

Tablo 1. Türkiye'de Elektrik Dağıtım Şirketleri

1	Dicle Elektrik Dağıtım A.Ş.
2	Vangölü Elektrik Dağıtım A.Ş.
3	Aras Elektrik Dağıtım A.Ş.
4	Çoruh Elektrik Dağıtım A.Ş.
5	Fırat Elektrik Dağıtım A.Ş.
6	Çamlıbel Elektrik Dağıtım A.Ş.
7	Toroslar Elektrik Dağıtım A.Ş.
8	Meram Elektrik Dağıtım A.Ş.
9	Başkent Elektrik Dağıtım A.Ş.
10	Akdeniz Elektrik Dağıtım A.Ş.

Tablo 1. (Devamı) Türkiye’de Elektrik Dağıtım Şirketleri

11	Gediz Elektrik Dağıtım A.Ş.
12	Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş.
13	Trakya Elektrik Dağıtım A.Ş.
14	Anadolu Yakası Elektrik Dağıtım A.Ş.
15	Sakarya Elektrik Dağıtım A.Ş.
16	Osmangazi Elektrik Dağıtım A.Ş.
17	Boğaziçi Elektrik Dağıtım A.Ş.
18	Kayseri ve Civarı Elektrik Türk A.Ş.
19	Menderes Elektrik Dağıtım A.Ş.
20	Göksu Elektrik Dağıtım A.Ş.
21	Yeşilirmak Elektrik Dağıtım A.Ş.

Kaynak: <http://www.tedas.gov.tr>

Dağıtım şirketleri dağıtım hizmetlerini gerçekleştirebilmek için EPDK’dan dağıtım lisansı almak durumundadır. Ancak bu şekilde kendileri için ayrılan bölgede perakende elektrik satışı gerçekleştirebilirler.

Dağıtım lisansına sahip şirketlerin

- Dağıtım tesisi yatırım planı oluşturmak
- Gerekli iyileştirme çalışmalarını yürütmek
- Tüketici bilgilerini güncel halde kayıt altında tutmak
- Talep tahminlerini hazırlamak ve TEİAŞ’a bildirmek

gibi görevleri bulmaktadır.

Ayrıca dağıtım şirketleri 6446 Sayılı Elektrik Piyasası Kanunu’na göre;

- Dağıtım şirketi, lisansında belirlenen lokasyonda sayaçların okunmasından, bakımından ve işletilmesinden sorumludur.
- Piyasa faaliyetinde bulunan tüzel kişiler bir dağıtım şirketine doğrudan ortak olamaz. Aynı şekilde dağıtım şirketleri de piyasa faaliyetinde bulunan tüzel kişilere doğrudan ortak olamaz.
- Dağıtım şirketi, dağıtım faaliyeti haricinde bir faaliyet gerçekleştiremez.
- Dağıtım faaliyetinde destek sağlayacak ve verimlilik artışı oluşturacak piyasa

harici bir işin yapılmasında usul ve esaslar Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'nun çıkarttığı yönetmelikler çerçevesinde düzenlenir.

- Dağıtım şirketi, lisansı ile belirlenen lokasyondaki dağıtım sistemini enerji üretimi ve satışındaki rekabet ortamına uygun şekilde işletir. Bu dağıtım tesislerini yenilemek, kapasite artırımı yatırımlarını yapmak dağıtım şirketinin yükümlülüğündedir. Yine dağıtım şirketleri dağıtım sistemine bağlı tüm kullanıcılara mevzuatlar gereği ayırım yapmadan eşit olarak hizmet sunmala sorumludur.
- Dağıtım lisansında belirtilen lokasyonda talep tahminlerinin yapıp raporlanması ve TEİAŞ'a bildirilmesi dağıtım şirketlerinin sorumluluğundadır.

#### **1.2.4. Toptan Satış**

Toptan satış hizmetleri Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt A.Ş. (TETAŞ) ve toptan satış hizmeti sunan şirketler aracılığıyla yürütülmektedir. Ancak toptan satış hizmeti lisansına sahip olan bu şirketler toptan satış faaliyetlerinde bulunabilirler. 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu sonrası TEDAŞ, üç farklı kola (EÜAŞ, TEİAŞ, TETAŞ) ayrıldıktan sonra enerjinin hatlar üzerinden alış ve tüketiciye satışında karar verici mekanizma olarak ikili anlaşmalar yoluyla ticaret gerçekleştirilmiştir. Ancak 2004 yılında yayınlanan piyasa dengeleme ve uzlaştırma yönetmeliğiyle ikili anlaşmalar yerini gün öncesi dengeleme sistemine bırakmıştır. Gerekçe sistem güvenliğinin sağlanması ve rekabet ortamıyla düşük maliyetli enerjiyi kullanıcılara ulaştırmaktır.

Toptan satış lisansına sahip kuruluşlar elektrik enerjisinin toptan satışıyla ve doğrudan serbest tüketicilere ulaştırılması işiyle ilgilirlenirler. Lisanslarında yer alması şartıyla ithalat ve ihracat faaliyetlerinde bulunurlar. Bu kuruluşlar doğrudan iletim hatlarına bağlı olan tüketicilerin tedarikçilerini seçmelerine kadar geçen sürede tedarikçileri rolünü üstlenirler. Dengeleme ve uzlaştırma piyasalarındaki enerji alımları için fiyat teklifleri verirler ve satış sorumluluklarında meydana gelecek bir üretim açığı olması durumunda ek enerji alımı yaparlar.

#### **1.2.5. Perakende Satış**

Perakende satış hizmeti perakende elektrik satışı lisansına sahip kuruluşlar ve yine bu lisansa sahip dağıtım şirketlerince yürütülür. Bu şirketler herhangi bir kısıtlama olmaksızın serbest tüketici kapsamındaki tüketicilere tüm bölgelerde elektriği toptan

satış hizmeti veren kuruluşlardan alarak satabilirler. Serbest tüketici olmayan kesimlere bu satışı gerçekleştirmeleri için öncelikle tüm tüketicilere satış teklifinde bulunmaları, bu tüketicilerin sayaçlarının elektronik ve çok zamanlı ölçümlene yapabilen sayaçlar olması ve fiyatlarının da ilgili kuruluş tarafından tescil edilmiş olması gerekmektedir.

Ayrıca elektrik satışı dışında da faturalandırma, sayaç okuma gibi hizmetler de bu perakende satış hizmeti veren kuruluşlar tarafından gerçekleştirilmektedir.

Sözkonusu perakende satış şirketleri, elektriği serbest tüketici kapsamında olmayan kullanıcılara satış için alım yaptıkları zaman TETAŞ'ın fiyatının altındaki fiyatlardan alım yaparken öncelikli olarak yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak üretim yapan tesislerden almakla sorumludurlar.

### **1.2.6. Serbest Tüketici Kavramı**

Yıllık periyotlarda 31 Ocak tarihinde ilgili kuruluşlar tarafından hesaplanarak belirlenen bir tüketim miktarında elektrik tüketen kullanıcılar serbest tüketici olarak adlandırılmaktadır. Aşağıdaki koşulları sağlayan tüketiciler serbest tüketici kapsamında değerlendirilmektedir.

Aşağıda maddelenmiş şartları destekleyen tüketiciler serbest tüketici kapsamı içinde sayılmaktadır (Taşpınar, 2011, s. 13);

- İletim sistemine direkt bağlı tüketiciler,
- Bir önceki yılda toplam tüketimi serbest tüketici sınırının üzerinde olan tüketiciler,
- Cari yıldaki toplam tüketimi serbest tüketici sınırını aşan tüketiciler,
- Kendi üretiminden tükettiği miktar dahil toplam elektrik enerjisi tüketimi serbest tüketici sınırını aşan otoprodüktör lisansına sahip tüzel kişiler,
- Önceki yıl tüketimi serbest tüketici sınırını aşmayan ancak, cari yılda serbest tüketici sınırını geçeceğini ilgili dağıtım lisansına sahip tüzel kişiye taahhüt eden ve bağlantı anlaşması veya abonelik sözleşmesindeki bağlantı gücü veya sözleşme gücü dikkate alınarak hesaplanan tüketim miktarı serbest tüketici sınırını aşan tüketiciler,
- Cari yılda serbest tüketici sınırını aşacağını ilgili dağıtım lisansı sahibi tüzel kişiye taahhüt eden ve bağlantı anlaşmasındaki bağlantı veya sözleşme gücü

dikkate alınarak hesaplanan tüketim değeri serbest tüketici sınırını aşan yeni tüketiciler.

EPDK Kararı ile 2018 yılı için serbest tüketici sınırı yıllık tüketimi 2000 kWh ve üzerinde olanlar olarak tanımlanmıştır. Bu sınır her yıl 31 Ocak tarihine kadar EPDK tarafından tekrar değerlendirilmekte ve makul ölçüde düşürülmektedir (<https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/16/serbest-tuketici>).

### **1.3. Elektrik Piyasaları**

Elektrik piyasaları ve işeyiş yapıları bu başlık altında ikiye ayrılarak spot piyasalar ve türev piyasalar başlıkları altında iki alt başlık olarak incelenmiştir..

#### **1.3.1. Spot Piyasalar**

Malların ticaretinin aracılı ya da aracısız olarak gerçekleştiği piyasalar spot piyasalar olarak adlandırılır. Bu piyasalarda genellikle fiziksel ve eşanlı olarak ticaret gerçekleştirilir.

Spot elektrik piyasası tanımlanırken ve alt piyasalarla ayrımı yapılırken önemli düzeyde kargaşalar ortaya çıkmıştır. Örnek olarak, Avrupa'da spot piyasalar gün öncesi piyasasını ifade ederken ABD'de gerçek zamanlı elektrik piyasasına karşılık gelmektedir. Bazı uzmanlar spot piyasayı ABD'deki sisteme daha yakın olarak, gerçek zamanlı piyasa olarak tanımlamaktadır. Bu sebeplerle genel anlamda spot elektrik piyasalarının gün öncesi ve gün içi dengeleme piyasası olarak iki şekilde tanımlanması uygundur (Doğan, 2013, s. 11).

Ülkemizde elektrik arz ve talebinde alış satış işlemleri, getirilen yönetmelikler çerçevesinde saatlik olarak verilebilmekte ve her gün bir sonraki gün için tahmin edilen piyasa talebine göre piyasa işletmecisi tarafından teklifler onaylanmaktadır. Bu tip işlemler gün öncesi piyasa işlemleri olarak tanımlanmaktadır.

Gün öncesi piyasalarda oluşan teklif ve kabuller haricinde gün içi işlemlerde ise teknik arızalar ya da yanlış tahminler sonucunda anlık olarak fazla ya da eksik enerji tüketimleri dengede tutulmaya çalışılır. Bu tip alış satış işlemlerinin yapıldığı piyasalar dengeleme güç piyasası olarak adlandırılır.

### **1.3.2. Türev Piyasalar**

Gelecekte yapılacak bir alış-satış işleminin bugünden yapıldığı ve malın ileri tarihte teslim edildiği piyasalar türev piyasalar olarak adlandırılırlar. Bu piyasalarda elektrik gelecek dönemde belli miktar ve fiyat üzerinden alıcı ve satıcı bulur. Aynı zamanda dengeleme açısından doğacak zararlardan da taraflar kendilerini muhafaza etmiş olurlar.

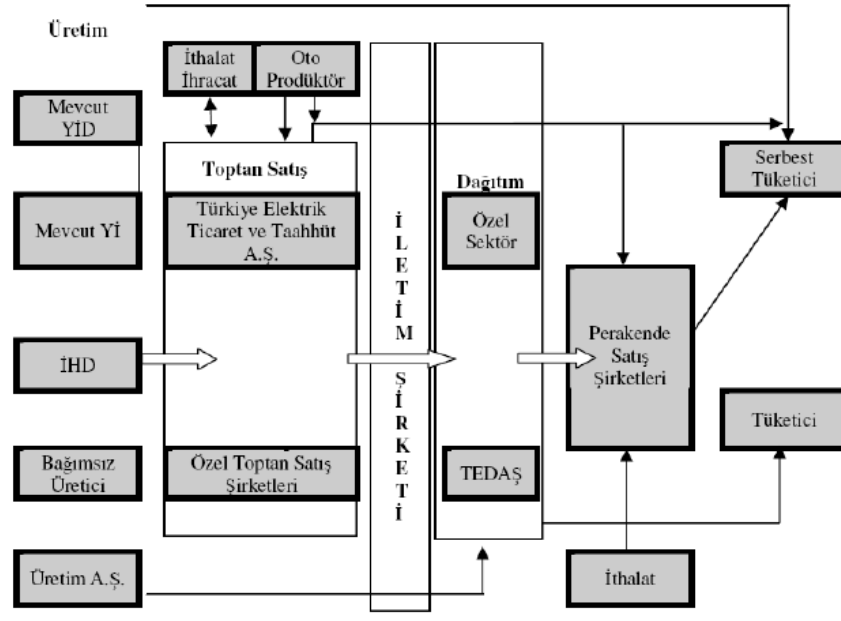
Dünyanın bilinen en eski türev elektrik piyasası Nord Pool'dur. Bu piyasa 1995'ten günümüze elektrik alım satımı konusunda aktörlere destek sağlamaktadır (Doğan, 2013, s. 14).

Dünyada enerji konusundaki çalışmaların büyük bir kısmı bataryalar üzerine yoğunlaşmıştır. Bunun sebebi elektriğin depolanabilirliğini artırarak ileri zamanlı tüketimin desteklenmeye çalışılmasıdır. Böylelikle piyasalarda ya da ekonomide verimlilik sağlanmaya çalışılacaktır. Elektrik türev piyasada işlem görse de teknolojik kısıtlar sebebiyle verimli bir şekilde kullanılamamaktadır. Bunun sebebi elektriğin depolanamaz bir meta oluşudur. Daha açık ifade etmek gerekirse günümüzde elektrik çok kısıtlı imkanlarla depolanabilmektedir. Akışkan bir özelliğe sahip olduğu için fazla miktarda ya da az miktarda üretimi ve kullanımı elektrik piyasalarının işleyişine imkan tanımaktadır.

### **1.4. Türkiye'de Elektrik Piyasası ve İşleyişi**

Aşağıda aktarılan şekilde 2001 yılında çıkarılan 4628 Sayılı Elektrik Piyasası Kanunu'nun piyasadaki sistem işleyişi sunulmuştur.

Şekil 4. 4628 Sayılı Kanun ile Türkiye’de Elektrik Piyasasının İşleyişi



Kaynak: Akçolludan aktaran Aydın, 2010, s. 68

Bu sistem işleyişinde mevcut tesisler, yap işlet devret modeliyle kullanıma sunulan tesisler, bağımsız üreticiler, kendi tüketimini destekleyen üreticiler, ithalatçı firmalar ve EÜAŞ vasıtasıyla üretilen elektrik, toptan satış şirketleri ve TETAŞ nezaretinde TEİAŞ’ın kontrolündeki iletim hatları üzerinden TEDAŞ ve TEDAŞ’a bağlı bulunan özel sektör dağıtıcıları kanalıyla tüketicilere ulaştırılmaktadır.

Bu enerji akışı sırasında dağıtıcı şirketler tüketim tahminlerini, üretici şirketler de üretim miktarlarını TEİAŞ’a bildirmekte ve iletim kapasiteleri de göz önüne alınarak bu veriler Milli Yük Tevzi Merkezi ve Piyasa Mali Uzlaştırma Merkezi nezaretinde arz ve talep dengesi oluşturularak piyasa takas fiyatı ortaya çıkarılmaktadır.

Bu süreçte takas fiyatının oluşumu ve piyasanın işleyişi spot elektrik piyasası kavramı üzerinden incelenmiştir. Ancak dünya piyasalarının işleyişi açısından Türkiye piyasası hibrid bir yapıya sahiptir. Çoğu Avrupa ülkesi gibi gün öncesi işlemlerle takas fiyatının belirlendiği Türkiye Elektrik Piyasası, dengeleme açısından da gerçek zamanlı bir modelle gün içi işlemleri gerçekleştirmektedir.

Aşağıda Türkiye’de gün öncesi piyasa ve gün içi dengeleme piyasası açısından piyasa sistemi ve takas fiyatının belirlenmesi ayrı başlıklar halinde incelenmiştir.



### **1.4.1. Gün Öncesi Piyasa**

Elektrik üretim ve tüketiminin bir sonraki güne ilişkin verilerinin bir gün önceden hesaplandığı ve planlandığı piyasaya gün öncesi piyasa denilmektedir. Bir tanımda gün öncesi piyasa, piyasa katılımcılarının bir sonraki günde her saate belirlenmiş kurallara uyarak alış-satış teklifleri sunduğu, oluşan arz-talep eğrilerinin kesiştirilmesi yoluyla da piyasa takas fiyatının belirlendiği piyasa olarak yer bulmuştur (Yücel'den aktaran Doğan, 2013, s. 12).

Gün öncesi piyasalar sayesinde aktörler sonraki gün için anlaşmalar yapabilir ve ikili anlaşmalardan doğan sorumluluklarını da yerine getirme olanağı bulurlar. Bu sayede sonraki gün gerçekleşecek işlemlerde fiyat oluşumu kolaylıkla gerçekleştirilir.

Gün öncesi piyasada teklifler günlük olarak saatlik bazda değerlendirilir. Hergün sonraki beş güne kadar teklif verilebilir. Satıcılar teklif verebilmek için her defasında saat 10.30'a kadar piyasa işletmecisine teminat mektubu verirler. Teminat mektubu dışındaki teminatları ise saat 11.00'a kadar merkezi uzlaştırma bankasına ulaştırırlar. Saat 11.30'a kadar teklifler ilgili yönetim sistemine girilir ve satıcıların teminat doğrulamaları saat 11.30 ile 12.00 arasında gerçekleştirilir. Saat 12.00-13.00 arası bu teklifler ilgili yönetim sisteminin optimizasyon aracıyla incelendikten sonra 13.00'da onaylanan teklifler satıcılara bildirilir. İtiraz işlemleri 13.00-13.30 arasında yapılır ve saat 14.00'de piyasa işletmecisi tarafından sonraki günün yirmidört saatine ilişkin fiyat ve teklifler ilan edilir. Saat 00.00 ve 16.00 arasında ikili anlaşma teklifleri saatlik bazda, blok teklif olarak ve esnek teklif olarak ilgili yönetim sistemine girilebilmektedir (Bicil, 2015, s. 39).

### **1.4.2. Gerçek Zamanlı Piyasa (Dengeleme Güç Piyasası)**

Elektrik yapısı itibarıyla depolanamayan bir özelliğe sahiptir. Bu sebeple eş anlı olarak üretim ve tüketimin dengede tutulması gerekmektedir. Elektriğe olan ihtiyaç aylık, mevsimsel, hava durumuna göre, haftalık olarak değişebildiği gibi saatlik ve anlık olarak da değişebilmektedir.

Gün içerisindeki gerçek zamanlı işlemlerde üretimi ve tüketimi dengede tutmak amacı ile piyasa işletmecisi tarafından dengeleme ya da başka bir deyişle gerçek zamanlı piyasa işleyişi oluşturulmaktadır. Genel işleyiş anlamında, spot piyasa

kapandıktan sonra belli bir alanda, katılımcıların elektrik üretimlerini veya tüketimlerini miktarsal olarak arttırıp-azaltmaya karşılık sundukları fiyat tekliflerini kapsamaktadır (Oscogen'den Aktaran Yıldız, 2015, s. 25).

Dengeleme piyasası gün öncesi piyasada kestirilemeyen üretim ve tüketim miktarlarını tamamlamak için geliştirilmiş bir sistemdir. Burada önemli olan sonradan ortaya çıkacak miktarın hem üretici hem satıcı hem de tüketici açısından tahmin edilebilmesidir. Dengeleme piyasası gerçek zamanlı piyasa olarak ifade edilebilmekle birlikte kısa süreli hesap edilemeyen dalgalanmaların telafisi ihtiyacı üzerine kurulmuştur. Marjinal birim fiyat tekliflerinde tahminleme işlemi, gerçek saha verisi ve detaylı analiz gerektirmektedir.

Yapılan birçok çalışma, gün öncesi piyasa takas fiyatını belirlemede tahminleme üzerine odaklanmış olmasına karşın dengeleme piyasasındaki gerçek zamanlı tahminleme çalışması sayısı çok az ya da yetersiz kalmıştır. Günümüz teknolojisi, endüstri 4.0'ın ruhunda barındırdığı nesnelerin interneti kavramıyla bu probleme çözüm üretebilmektedir. Bu teknolojiler ve çalışma prensipleri tezimizin ikinci bölümünde detaylı olarak incelenmiştir.

### **1.5. Türkiye'de Elektrik Piyasası ve İşleyişinin Değerlendirmesi**

Türkiyede elektrik piyasasının temelleri 2001 yılında çıkarılan 4628 sayılı Enerji Piyasası Kanunu ile atılmıştır. Piyasa işleyişi ve piyasa aktörleri bakımından sistemin anlaşılması zor gibi gözükmektedir. Yapısı gereği karmaşık gözükken piyasa ancak piyasaya ait veriler incelendiğinde anlamlı bir bütün oluşturmaktadır.

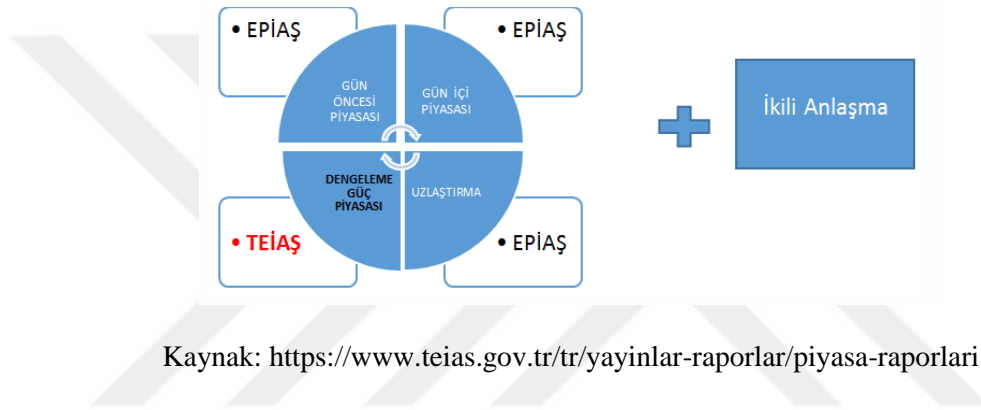
Türkiye'de piyasanın gelişim sürecinde önemli olarak görülen adımlar sıralanmıştır ( <https://www.teias.gov.tr/tr/yayinlar-raporlar/piyasa-raporlari>):

- 2001 senesinde 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu yayımlandı.
- 2004 senesinde Geçici Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği yayımlandı.
- 2006 senesinde dengeleme güç piyasası mekanizmasında birinci aşama devreye girdi. Dengesizliklerin gece, gündüz ve puant periyodlarında uzlaştırılmasına başlandı.
- 2009 senesinde gün öncesi planlama mekanizması devreye girdi. Saatlik

fiyatlandırma ve uzlaştırma başlatıldı.

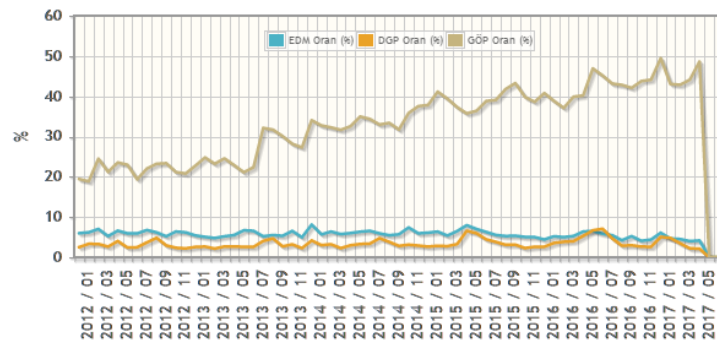
- 2011 senesinde gün öncesi piyasası devreye girdi. Teminat ve ödeme mekanizması devreye girdi.
- 2013 senesinde 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu yayımlandı. Bu kanunla EPIAŞ'ın kurulması hükme bağlandı.
- 2015 senesinde EPIAŞ ve TEİAŞ piyasa işletim lisansı aldı. Gün İçi Piyasası işleme açıldı.

Şekil 5. 2015 Sonrası Türkiye Elektrik Piyasası



EPIAŞ'ın 2015 tarihinde kurulup faaliyet göstermesi sürecine kadar TEİAŞ'a bağlı piyasa Mali Uzlaştırma Dairesi Başkanlığı tarafından yürütülmekteydi. 2015'ten sonra gün öncesi piyasa, gün içi piyasa ve uzlaştırma faaliyetleri EPIAŞ bünyesinde; dengeleme güç piyasası ise TEİAŞ bünyesinde yürütülmektedir.

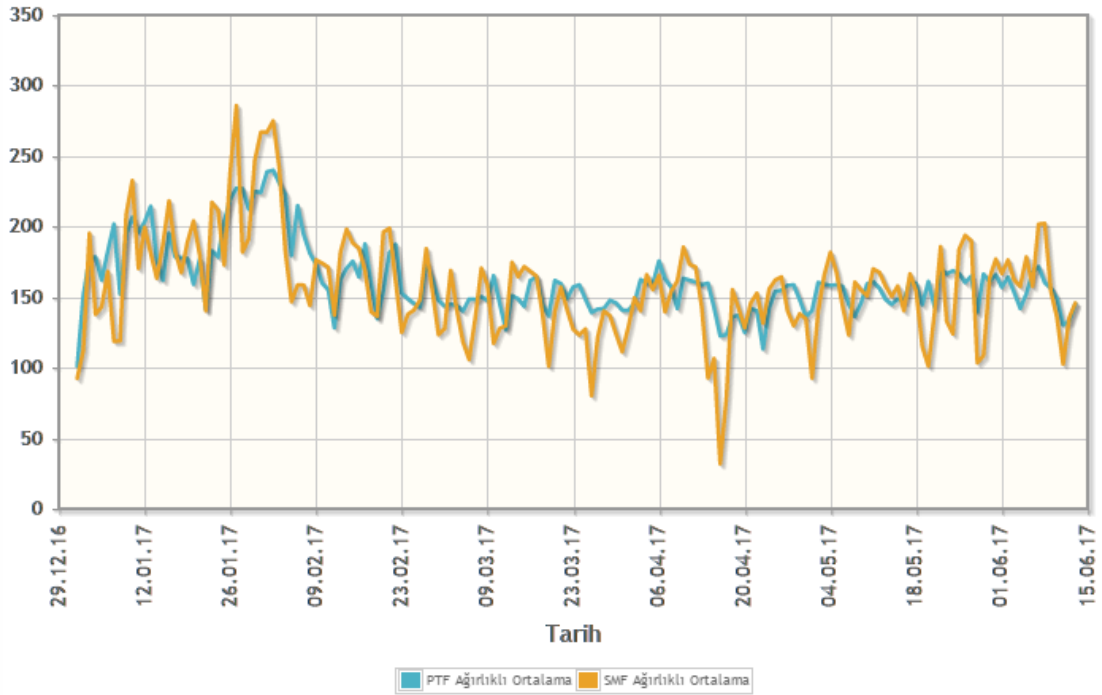
Şekil 6. 2012-2017 Yılları Gün Öncesi Piyasa Katılımcı Oranları



Kaynak: <https://www.teias.gov.tr/tr/yayinlar-raporlar/piyasa-raporlari>

Şekil 6'da 2012 ve 2017 yılları arasında gün öncesi piyasa katılımcı oranları gösterilmektedir. 2012 yılı öncesinde piyasada yoğunlukla ikili anlaşmalar yapılırken bu oranlar özellikle 2014 yılında yerini giderek gün öncesi piyasa işlemlerine bırakmaktadır. Gün öncesi piyasa EPIAŞ ve TEİAŞ vasıtasıyla ne kadar etkin yönetilirse katılımcılar da o oranda gün öncesi piyasayı tercih etmektedir.

Şekil 7. Sistem Marjinal Fiyatı ve Piyasa Takas Fiyatı Ortalamaları



Kaynak: <https://www.teias.gov.tr/tr/yayinlar-raporlar/piyasa-raporlari>

Yukarıdaki şekil TEİAŞ tarafında yayınlanan raporda sunulmuştur. İncelendiğinde piyasa takas fiyatlarındaki ağırlıklı ortalama ile sistem marjinal fiyatına ait ağırlıklı ortalamanın benzer şekilde seyrettiği ancak Şekil 6'da gün içi dengeleme güç piyasasında işlem oranları %4 civarında gerçekleşse de yani dengeleme piyasasında daha az işlem yapılsa da sistem marjinal fiyatlarının ağırlıklı ortalamalarının zaman zaman daha yüksek olduğu gözükmektedir.

Gün Öncesi Piyasası ile her ne kadar üretim ve tüketim miktarları dengelenmiş bir piyasa sunulmuş olsa da gerçek zamanda sapmalar olmaktadır. Örneğin, bir santralin

arızadan dolayı devre harici olması veya büyük bir tüketim tesisinin bir anda çalışmaya başlaması/çalışmayı durdurması dengeyi bozmaktadır, bu durumda sistem işletmecisi dengeyi sağlamak için Dengeleme Güç Piyasası'na sunulmuş teklifleri kullanarak, sistem dengesini sağlamaya çalışmaktadır (<https://www.teias.gov.tr/tr/yayinlar-raporlar/piyasa-raporlari>). Bu durumda anlık dengeleme çalışmalarında sistem marjinal fiyatı yüksek seviyelerden oluşmaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde gün öncesi piyasada fiyatların, piyasa işletmecisinin online yazılımına tahmin edilen tüketimlerin girilip, buna karşılık üreticilerin satmayı istedikleri elektriği fiyatları ve miktarlarıyla yine aynı online ortamda yazılıma girdiğini görüyoruz. İlgili yazılımın da bu teklifleri eşleştirerek piyasa takas fiyatını oluşturduğunu görüyoruz. Gün öncesinde denge bulmamış eşleştirmeler – fazla üretim, fazla tüketim, sistem arızaları vb. durumlarla- gün içi dengeleme piyasalarında dengeye getirilmek suretiyle sistem marjinal fiyatları oluşmaktadır.

#### **1.6. Türkiye’de Enerji İthalatı ve Cari Açık**

Tüketicinin üretimden fazla oluşu ekonomi biliminde cari açık olarak adlandırılmıştır. Türkiye’de cari açık bileşenlerinden biri de elektrik enerjisi ithalatı olarak ele alınmakta ve cari açıktaki en büyük paylardan birini enerji ithalatı oluşturmaktadır.

Tablo 2. Türkiye’de Enerji İthalatı ve Cari Açığın Gelişimi

Yıllar	Cari Açık	Toplam İthalat	Enerji İthalatı	Enerji İthalatı / Toplam İthalat	Enerji İthalatı / Cari Açık
1990	-26.250.000	22.302.129	4.622.407	20,7	-17,6
1991	2.500.000	21.047.047	3.756.899	17,8	150,2
1992	-9.740.000	22.870.469	3.760.095	16,4	-38,6
1993	-64.330.000	29.429.211	3.964.662	13,4	-6,1
1994	26.310.000	23.270.021	3.817.632	16,4	14,5
1995	-23.390.000	35.707.520	4.619.271	12,9	-19,7

Tablo 2. (Devamı) Türkiye’de Enerji İthalatı ve Cari Açığın Gelişimi

Yıllar	Cari Açık	Toplam İthalat	Enerji İthalatı	Enerji İthalatı / Toplam İthalat	Enerji İthalatı / Cari Açık
1996	-24.370.000	43.626.690	5.916.509	13,5	-24,2
1997	-26.380.000	48.558.721	6.068.315	12,4	-23,0
1998	20.000.000	45.921.392	4.509.461	9,8	22,5
1999	-9.250.000	40.671.272	5.377.189	13,2	-58,1
2000	-99.200.000	54.502.821	9.540.584	17,5	-9,6
2001	37.600.000	41.399.083	8.339.366	20,1	22,1
2002	-6.260.000	51.553.797	9.203.888	17,8	-147,0
2003	-75.540.000	69.339.692	11.575.069	16,6	-15,3
2004	-14.198.000	97.539.766	14.407.288	14,7	-101,4
2005	-21.449.000	116.774.151	21.255.586	18,2	-99,0
2006	-31.836.000	139.576.174	28.859.098	20,6	-90,6
2007	-37.781.000	170.062.715	33.883.135	19,9	-89,6
2008	-40.438.000	201.963.574	48.281.193	23,9	-119,3
2009	-12.168.000	140.928.421	29.905.305	21,2	-245,7
2010	-45.447.000	185.544.332	38.497.229	20,7	-84,7
2011	-75.092.000	240.841.676	54.117.539	22,4	-72,0

Kaynak: Demir, 2013, s. 15

Yukarıdaki tabloda izleneceği gibi özellikle 2000’li yıllardan itibaren Türkiye’de cari açığın oluşumunda enerji ithalatının doğrudan belirleyici olduğu, cari açığın yaklaşık %75’inin enerji ithalatına bağlı olarak ortaya çıktığı söylenebilir (Demir, 2013, s. 15).

Tablo 3. 2013-2017 Yılları Arası Cari Açıkta Enerji İthalatı

	2013	2014	2015	2016	2017	Toplam
Toplam Cari Açık (Milyar Dolar)	63,6	43,6	32,1	33,1	47,4	219,8
Yıllara Göre Türkiye’nin Enerji İthalatı (Milyar Dolar)	55,9	54,9	37,8	27,2	37,2	213

Kaynak: <https://www.ntv.com.tr/ekonomi/turkiyenin-cari-aciginda-enerji-yuk-odu,85ofZIUy7kmr8zZikB2Xkw>

Cari açıktaki enerji ithalatı faktörünün minimize edilmesi temel olarak enerji ithalatının ve bunu artırabilecek faktörlerin incelenmesiyle ortaya çıkacaktır. Bu faktörler incelendiğinde temel olarak enerji piyasalarında enerji fiyatlamalarının nasıl oluştuğuna dikkat etmek gerekmektedir. Enerji piyasalarında piyasa takas fiyatlarının daha düzenli şekilde gerçekleşmesi temel olarak doğru tüketim ve üretim planlamalarına dayanmaktadır. Daha açık bir ifadeyle “Ne kadar üretilmeli?” ve “Ne kadar tüketilmeli?” soruları doğru tahminleme oranlarıyla gerçekleştirilirse; fiyatlar da piyasalarda o kadar düzenli gerçekleşecek ve piyasa işleyişleri daha stabil bir hal alacaktır. Nitekim tahminleme hataları elektriğın kendi doğası gereği -depolanamaz oluşu vb. özellikleri sebebiyle- piyasaları volatilitesi yüksek ve spekülasyonlara açık bir hale getirmektedir.



## 2. BÖLÜM

### 4. SANAYİ DEVRİMİ, TEKNOLOJİ VE AKILLI SİSTEM YAKLAŞIMLARI

Endüstri (sanayi) teknolojik açıdan elektriğin ticarileştirilmesi ve kullanılmasıyla beraber muazzam derecede ilerleme kaydetmiş ve günümüzde 4.0 olarak adlandırılan bir döneme evrilmiştir. Bu bölümde günümüzde teknolojinin geldiği durum ve bunun tezimizin konusunu teşkil eden yansımaları incelenecektir. Elektriğin daha önceki dönemdeki anlık ya da çok kısa aralıklarla ölçümlenememesi durumundan kaynaklı tahminleme hatalarının günümüz teknolojileri, nesnelerin interneti yaklaşımı ve akıllı şebeke sistemleriyle nasıl minimize edilebileceği konusu üzerinde durulacak ve akıllı şebeke sistemleri hakkında bilgiler aktarılacaktır.

#### 2.1. Teknolojinin Tarihsel Gelişim Süreci

Latince *technos* (yapmak) ve *logos* (bilmek) kelimelerinin birleşimiyle ortaya çıkan teknoloji kavramı, herhangi bir alanda ihtiyaç duyulan araç gereçlerin geliştirilmesi ve üretilmesini içine alan bilgi birikimine verilen isimdir. Teknoloji insan ihtiyaçlarından beslenir ve küreselleşen dünyada birikimli bilgi bütünü içinde barındırır.

Zaman içinde ortaya çıkan hızlı nüfus artışı, tarımdaki gelişmeler insanların lüks olarak gördükleri malların zamanla normal ihtiyaçlara dönüşmesi, yaşam standartlarındaki yükselmeler ve sürekli ihtiyaçlar dünyada yağmaların ve sömürgecilik anlayışının temel sebeplerini oluşturmuştur. Bu ve benzeri sebeplerle dünya 16. ve 17. yüzyıllarda, sanayi devrimine sürüklenmiştir. Bu dönemde bankacılık, sigortacılık ve taşıma-ulaştırma teknolojilerinde önemli gelişmeler olmuştur.

Sanayi devriminin göze çarpan en değerli gelişmelerinden biri sayılabilecek buharlı makinenin icadı 1763 yılında James Watt tarafından İskoçya'da gerçekleşmiştir. Bu makinenin gelişmiş versiyonları makinalar döneminin başlangıcını oluşturmaktadır (Yılmaz ve Aktaş, 2018, s. 50).

1807 yılında buharlı makinaların gelişmiş versiyonları Amerikalı Robert Fulton



tarafından gemilerde uygulamış ve başarılı uygulamalar neticesinde 1840 yılında ilk düzenli okyanus aşırı gemi seferleri gerçekleşmiştir.

1812 yılında ilk kez buharlı makine lokomotiflerde kullanılmaya başlanmış, 1844'de ilk ticaret amaçlı telgraf servisi kullanıma sunulmuştur. 1876'da Alexander Graham Bell telefonu bulmuştur. Tarım teknolojisinde pancardan şeker çıkarma tekniği, suni gübre ve biçerdöver icat edilmiştir. 1870'lerden sonra konserve gıda imalatı hızlı bir biçimde artmıştır. 1830–1860 yılları arasında maden ayıklama yöntemlerinin geliştirilmesi neticesinde kömür üretimi hızla artmıştır. Bu gelişmelerle 1800–1830 arasında köprü, kanal, demiryolu vb. gibi inşaatlar hızla artmış ve 1850'lere kadar genelde İngiltere'nin tekelinde olan sanayi devrimi, bu tarihten sonra tüm Avrupa'ya ve Amerika Birleşik Devletleri'ne yayılmıştır.

Sanayi Devrimi ya da diğer adıyla Endüstri Devrimi, Avrupa'da 1800'lü ve 1900'lü yıllarda yeni buluşların üretime olan etkisi ve buhar gücüyle çalışan makinaların makinalaşmış endüstriyi doğurması, bu gelişmelerin de sermaye birikimini arttırması sürecine verilen isimdir (<http://sanayi-devrimi.nedir.org/>).

Sanayi Devrimi, zamanla Batı Avrupa, Kuzey Amerika ve Japonya'ya sıçramış ardından bütün dünyaya yayılmıştır. Günümüzde ekonomik kalkınmışlığın temel dinamiğini bu sebeple teknoloji kavramı oluşturmaktadır. Yerli ve milli teknoloji konuları küresel bir köy haline gelen dünyada dışa bağımlılığı azaltacağı için oldukça önemlidir ve en önemli gelişmişlik göstergesidir

Endüstriyel devrimler zaman içinde bilgi birikiminin de artmasıyla günümüze kadar dört evrede incelenmiş ve son zamanlarda ise beşinci sanayi devriminden (Endüstri 5.0) söz edilmeye başlanmıştır. Aşağıda endüstri devrimi birinci ikinci ve üçüncü dönemiyle başlıklar halinde incelenmiştir. Endüstrinin dördüncü dönemi olan içinde bulunduğumuz dönem ve hızla gelişim sonrasında tanımlanmaya çalışılan beşinci dönemi sonraki başlıklarda ayrı ayrı incelenmiştir.

### **2.1.1. Endüstri 1.0**

Su ve buhar gücünün mekanik tezgahlara uygulanarak üretimin daha verimli hale gelmesiyle gerçekleşmiştir. 1763 yılında James Watt'ın İskoçyada buharla çalışan makineyi icat etmesi bu durumu perçinlemiştir. Artık insanlar makineler ve

taşımacılığın gelişmesiyle şehirlere göç etmeye başlamış ve göçler çok yüksek oranlarda artmaya başlamıştır. Böylelikle işgücü ucuzlamış ve insanların ihtiyaçları daha seri şekilde üretilerek refah seviyesi artmıştır.

### **2.1.2. Endüstri 2.0**

1800'lü yılların sonunda buhar gücüyle çalışan makineler artık elektrikle desteklenmiş ve seri üretim sistemleri ortaya çıkmıştır. Elektrik de aydınlatma alanında Edison'un akkor teller ile geliştirdiği lambayla ticarileşmeye başlamıştır. Üretimde elektrikli tezgahların kontrolü insanlara bırakılmış ve imalatta iş bölümü yaklaşımı ortaya çıkmıştır.

### **2.1.3. Endüstri 3.0**

III. Sanayi Devrimi bilgi ve teknolojiye dayalı sistemlerin, kısaca elektronik sistemlerin geliştirildiği, neredeyse bütün alanlarda mekanik ve elektroniğin kullanıldığı bir dönem olarak değerlendirmek mümkündür (Kahraman, 2017, s. 63).

Bu dönem elektronik ve otomasyon dönemi olarak adlandırılabilir. 1969 yılında PLC olarak adlandırılan ilk programlanabilir mantık devresinin üretilmesiye başladığı kabul edilir. Bu dönemde üretim elektronik cihazlarla desteklenen yarı otomasyon ve tam otomasyon sistemleriyle desteklenmiştir. Sistemler bilişim teknolojilerinin gelişmesiyle doğru orantılı olarak gelişmiş ve üretim daha otomatize hale gelen sistemlerle gerçekleştirilmeye başlanmıştır.

## **2.2. Endüstri 4.0**

IV. Sanayi Devrimi, bilim ve teknoloji odaklı çalışmalara dayanan, yoğun bilgi kullanılan ve üretilen, siber-fiziksel sistemlerin bilişim teknolojileri adı altında yürütüldüğü bir süreç olacaktır. Bu anlamda üretilen tüm teknolojik ürünler minimal ve yüksek verimli aynı zamanda çevreci olacaktır. İnternet çağı ve sosyal ağlar ilerleyen yıllarda daha da gelişerek, yepyeni ve daha da karmaşık sosyal yapılar oluşturacaktır. Y neslinin alt yapısını oluşturduğu Dördüncü Sanayi Devrimini, internet ve sosyal ağlarda zaman geçiren Z kuşağı tamamlayacaktır([http://www.tasam.org/tr-TR/Icerik/25733/dorduncu\\_sanayi\\_devrimi](http://www.tasam.org/tr-TR/Icerik/25733/dorduncu_sanayi_devrimi)).

Endüstri 4.0 temel olarak bilişim odaklı teknolojilerle endüstriyi (sanayiyi) bir

araya getirmeyi hedeflemektedir. Bu teknoloji aşamasının ana bileşenlerinden ilki mevcut donanımlarından farklı olarak maliyeti düşük, çok yer kaplamayan, çok enerji tüketmeyen, düşük miktarda ısı üreten aynı zamanda yüksek güvenilirlik ve stabilitede çalışan cihazlar ve bu cihazları çalıştıracak yazılım sistemlerinin kaynak ve bellek kullanımı açısından tutumlu olması hedefidir. Yani özetle daha ucuza alınabilecek, daha az enerji harcayacak daha maliyetsiz ama bir o kadar sağlam, dayanıklı ve performanslı makineler piyasaya sürülecek demektir.

Endüstri 4.0'ın ana bileşenlerinden ikincisi ise IOT'dir. Nesnelerin interneti kavramı dünya üzerinde bulunan cihazların tamamının birbiriyle bilgi ve veri alışverişi için kullanıldığı, tüm araç gereçlere entegre edilebilen, sensörler ve onları destekleyen elektronik parçalarla donatılmış, internet üzerinden haberleşen akıllı sistemler bütünü olarak tanımlanabilir. Üretim aşamasında bu sistemlerin kullanılması insandan bağımsız kendi kendilerine yönetebilen akıllı fabrikaları akıllara getirmektedir. Endüstri 4.0'la üretim süreleri, maliyetler ve enerji tüketimi azalıp üretim ve üretim kalitesi artacaktır.

IOT kavramının temeli sanayi tipi üretimde ilgili tüm üretim elemanlarının birbirleriyle konuşabilmesine, tüm data'lara gerçek zamanlı erişebilmesine, bu data'lara sayesinde en yüksek katma değerini ortaya çıkarılmasına dayanmaktadır. Bu noktada devreye giren IOT kavramı internet kullanımı ile her şeyin her yerden kontrol edilebilir ve yönetilebilir olduğu, böylelikle çok karmaşık ürünlerin kavramsal tasarımdan üretime kadar hızla devreye alındığı, simülasyonlarla sanal olarak ürünün ve üretimin gerçekleştirilebildiği akıllı fabrikaları gündeme getirmektedir (<http://www.bogaziciyazilim.com/plm-kutuphane/2/endustri-40.html>).

Bu devrimin temelinde bulunan nesnelerin interneti kavramı ile birbirine bağlı milyarlarca cihaz, birbirleri arasında konuşacak ve veri transferi gerçekleştirecektir. Veriler büyük havuzlarda biriktirilecek ve işlenerek yeni bilgiler ortaya çıkaracaktır. Daha önceki dönemlerde toplanan uzun zaman aralıklı veriler eşzamanlı ve kısa zaman aralıklarıyla büyük veri havuzlarında biriktirilecek ve bu verilerle daha sağlıklı analizler ve tahminlemeler yapılacaktır. Endüstri 4.0'ın diğer bileşenlerinden biri olan yapay zeka bu evrede daha aktif kullanılacak ve önceki verilerden elde edilen bilgilerle yazılımlar ve donanımlar hayatı daha kolay bir hale dönüştüreceklerdir.

“Akıllı” kavramının hemen hemen her alanda karşımıza çıkıyor olduğu dönem endüstri 4.0 dönemidir. Makineler arası iletişimin uluslararası standartlara oturtulacağı

bu dönemde makine öğrenmesi artmakta ve kolaylaşmaktadır. Bu durum da endüstri 3.0 döneminin otomasyon teknolojilerini akıllı hale getirebilmekte kolaylık sağlamaktadır.

Endüstri 4.0 devrimi IOT ve yapay zeka dışında farklı bileşenleri de bünyesinde barındırmaktadır. Bu bileşenler ;

- Büyük veri (Big Data)
- Simülasyon
- Sistem ve Veri Entegrasyonu
- Artırılmış Gerçeklik
- Bulut Bilişim
- Sibergüvenlik
- Akıllı robot sistemleri
- Siberfiziksel sistemler
- 3D Baskı Sistemleri
- Sensörler
- Akıllı Fabrikalar
- Akıllı Şehirler

gibi farklı birçok altbaşlığa ayrılabilir.

Endüstri 4.0 çağının en temel olgusu dijitalleşmedir. Biriktirilen tüm veriler kullanılabilir için artık dijital ortama geçiş sağlar. Dijital ortama geçmeyen herhangi bir veri kullanıma elverişsiz hale gelmektedir. İnsanlar sosyal yaşantılarından özel sağlık bilgilerine kadar, para hareketlerinden resmi kurumlarla ilişkilerine kadar hemen hemen her alanda dijitalleşmek zorundadır.

Dijitalleşme sonrası farklı merkezlerde biriken veriler kullanılmak istenildiğinde sistemler birbiriyle konuşabilir, birleştirilerek analizlere ve sunumlara tabi tutulurlar. Bu noktada sistem entegrasyonları ve ortak standartlara uygun veri üretimi ön plana çıkar.

Bu dönemin veri üretimi çoğunlukla insanlar tarafından gerçekleştirilecek gibi görünse de bu bir yanılsamadır. Esas veri üretimi hayatımızın her alanında karşımıza çıkacak sensörler ve bu sensörlerin binlerce farklı yerde kullanılmasıyla gerçekleşmektedir. Mevcut sensörler ya da üretilecek sensörler yardımıyla veriler toplanacaktır.

Birbiriyle entegre edilmek suretiyle ve analizlerle anlamlı bütünler oluşturan

veriler, görünür kılınmak için devlet kanalıyla ya da özel sektör kuruluşları yardımıyla kullanıcıların hizmetine sunulur. Sunumlarda temel kural şeffaflık ve eşit erişim hakkı olmalıdır.

Bu sayede erişilen veriler anlamlı bloklar oluşturur. Birikimli bilgi birikimi olan teknolojik kültür, endüstrinin bu döneminde global bir hale gelmektedir. Büyük veri yığınları, bilimsel yöntemler ve araçlarla analizlere tabi tutulmak suretiyle tahminleme çalışmaları yapılır; gerekli tedbirler kullanıcıların desteğiyle rahatlıkla alınabilir.

Ortak standartlar kullanan ve ortak bir dille konuşabilen milyarlarca cihaz bu sayede birçok alanda otomasyondan yapay zeka kavramına doğru geçiş yapacaktır.

Gelişmeler ve uygulanan teknolojiler toplumlarda dönüşüme yol açmaktadır. Bu dönüşüm geniş bir perspektiften incelendiğinde, şehirleşen insanı “akıllı” şehirler kurmaya doğru sürüklemektedir.

Akıllı şehir kavramı kentteki tüm paydaşları dijital ortamda birbirleriyle bağlamayı hedefler. Bu bağlamda birçok akıllı şehir bileşeni ortaya çıkmıştır. Akıllı şehirler ve tezimizin konusu olan enerji ilerleyen başlıklarda daha detaylı incelenmiştir.

### **2.2.1. Endüstri 5.0**

Bu kavram toplumların endüstri 4.0 döneminde üretim dahil birçok konuyu makinelere bırakması sonucu işsizliğin artacağı ve toplumların felakete sürükleneceği düşüncesi üzerine ortaya çıkmıştır. İnsan olmadan beşeri sistemlerin yarım kalacağı, teknolojinin ve artan yapay zeka çalışmalarının hiçbir zaman insan dışı faktörlerle yürümeyeceği gerçeği insanların endüstri 5.0, toplum 5.0 gibi kavramları tanımlamalarına sebep olmuştur.

Almanya'nın ortaya koyduğu endüstri 4.0 kavramını Japonya 5.0 evresine taşımıştır. İlk olarak Cebit 2017 fuarında yaptığı konuşmada Japonya Başbakanı Shinzo Abe “Teknoloji bir tehdit değil, insanlara yardımcı bir araçtır.” cümlesiyle Endüstri 5.0 kavramının doğuşunu ortaya koymuştur.

Bundan farklı olarak ortaya çıkan tanımlamalardan birisi de şöyledir. Accenture Danışmanlık'ın yaptığı araştırmalara göre Endüstri 5.0, üretime insan dokunuşunu tekrar geri getirmeyi hedefleyen bir akım ve buna da işbirlikçi endüstri (collaborative industries) adı veriliyor (<http://www.sanayigazetesi.com.tr/endustri-50a-hazir-miyiz->

makale,1336.html).

Endüstri 5.0'ın temelinde, şimdiye kadar üretilen bilginin insan beyniyle etkileşimi söz konusudur. İnsanların ürettikleri en karmaşık sistemlerden biri olan internet, daha açık anlamıyla kablolu ve kablosuz ağ yapısı, yine dünyada en karmaşık sistem olarak bilinen insan beyniyle entegrasyon süreci içine girecek ve hata payı çok düşük olan karar mekanizmaları ve üretim süreçleri ortaya çıkacaktır.

Büyük verinin (big data) sağladığı avantajlarla yapay zeka çalışmalarının ilerlemesi sonucunda ortaya çıkan bilgi, insan beyni gibi kompleks, analitik ve karar verici mekanizmalarla birleştirildiğinde yani çok daha akıllı hale getirildiğinde insanlığın başka bir düzeye erişebileceği düşünülmektedir.

Dünya endüstrinin 4.0 evresini henüz tam anlamıyla yakalayamamışken hatta birçok toplumun endüstri 2.0 ile 3.0 arasında olduğu bilinirken, 2030 sonrasında 4.0 döneminin birçok toplumda tam olarak yerleşeceğini düşünürken yapılan insansız fabrikalar, tezgartarsız mağazalar ve artırılmış gerçeklik destekli tüketim malzemeleri bu kavramın ortaya çıkışını tetiklemiştir.

Üretim sürecinde neredeyse hatasız ve zamanında üretim yapan robotlar belirli üretim ve stok standardını yakalamış olsalar da tüketicilerin tepkilerini ve taleplerini anlamlandıramamış ve üretimde stabiliteyi ve inovasyonu yakalayamamıştır. Üretim yaşam döngüsü ancak insan eliyle ve etkisiyle düzenlenebilecek bir kavramdır. Dolayısıyla insanın içinde olmadığı hiçbir sistem gerekli verimi sağlayamamaktadır.

### **2.3. Akıllı Şehirler ve Akıllı Şebeke Sistemleri Yaklaşımı**

Akıllı kent yönetimden ulaşım, eğitimden güvenliğe, kamu hizmetlerinden altyapıya kadar kentteki verimliliği ve etkileşimi artırmak amacıyla bilişim teknolojilerini etkin kullanan kentler olarak zihinlerde canlanmaktadır. Akıllı kentlerde tüm binalar kentin kaynak optimizasyonunda paydaştır. Bu sayede önleyici bakım planları ve güvenlik tesis edilebilmektedir. Akıllı kentler bilişim teknolojilerini mevcut altyapılarına entegre etmek suretiyle dijitalizasyon sürecini başarabilen kentler olarak tanımlanabilir. Literatürde pek çok tanımı bulunsa da teknolojinin kentlere uyarlanması olarak anlaşılmalıdır. Şu ana kadar uygulanmış teknolojilerle akıllı kentlerde su ve atık yönetimi, yenilenebilir enerji, ulaşım, wireless erişim noktaları gibi farklı konularda

çözümler üretilmiştir (Terzi ve Ocakçı, 2017, s. 12).

Gelişen teknoloji, insan ihtiyaçları, kentleşme ve tüketim artışlarına bağlı olarak şehirler daha etkin ve verimli bir biçimde yönetilmelidir. Bu yönetim tarzı teknoloji tabanında desteklenmeli ve tüm şehir paydaşları için eşit, katma değeri yüksek ve erişilebilir olmalıdır.

Bu kapsamda yapılan çalışmalar neticesinde akıllı kent (smart city) kavramı doğmuştur. Her yıl 30 Kasım-1 Aralık tarihleri arasında gerçekleşen Dünya Coğrafi Bilgi Sistemleri günü etkinliklerinin 2017 yılı Türkiye sayfasında akıllı kentler aşağıda belirtildiği gibi tanımlanmaktadır.

Akıllı şehir sistemi; hükümet, kamu birimleri, özel sektör ve vatandaşın geniş kapsamlı bir ortaklık içerisinde olmasını öngörmekte, merkezi yönetim eliyle ekonomik rekabet ve verimliliği arttırmak amacıyla istikrarlı ve uyumlu bir ilişki kurulmasını amaçlamaktadır. Avrupa Parlamentosu'na göre Akıllı Şehir, aşağıdaki 6 özellikten en az bir ya da daha fazlasını ele alan girişimleri bulunan şehirdir (<http://cbsgunu.org.tr/tr/etkinlik-hakkinda/genel-bilgiler/akilli-sehir/>):

- Akıllı Yönetim
- Akıllı Toplum
- Akıllı Yaşam
- Akıllı Ulaşım
- Akıllı Ekonomi
- Akıllı Çevre

Yapılan tanımlardan da görüldüğü üzere kentler artık kent sakinlerinin ihtiyaçlarını karşılayacak ve yönetimi açısından da kent sakinlerinin katkılarıyla teknolojik olarak geliştirilecek bir yapıya bürünmüştür. Bu bakış açısıyla altı temel başlık olan çevre, toplum, yönetim, yaşam, ulaşım ve ekonomi kısa özetler şeklinde aşağıda incelenmiştir.

Akıllı toplum baş döndürücü değişim hızında toplumun koordinasyon ve kendini geliştirme becerisini ifade eder. Gelişim eğitim perspektifinde ele alınarak “online” ortamlarla desteklenir. Kent sakinleri için sürekli eğitim merkezleri ve kişisel koçluk gibi farklı hizmetler ve sektörler ortaya çıkar. Küresel vatandaşlık ve topluma katılım

gibi konular ön plana çıkarılır.

Akıllı yönetim çalışmaları kamu ve özel sektör işbirliği ile yönetimdeki problemlerin vatandaşlar desteğiyle minimize edilmesine odaklanır. Bu sayede hizmetler daha şeffaf ve hızlı süreçlerle topluma ulaştırılır. E-devlet çalışmaları bu süreçte gösterilebilecek en güzel örneklerden biridir.

Akıllı yaşam çalışmaları insanların sağlık, güvenlik, barınma gibi en temel ihtiyaçları üzerine konumlandırılır. İnsanlar evlerinden, turizm amaçlı hareketlerine kadar çeşitli teknolojik cihazlarla, mobil ve web tabanlı uygulamalarla desteklenir. IOT tabanlı teknolojilerle insanlar sağlık alanında da kendi kendilerini kontrol edebilir ve gerekli bilgileri masrafsızca sağlık hizmeti aldıkları kuruluşlara ya da hekimlere ulaştırabilirler.

Akıllı ulaşım çalışmaları daha güvenli, çevreye duyarlı ve tasarruflu sistemler üzerine odaklanmıştır. Bu sayede kişiselleştirilmiş seyahat haritaları, daha ucuz ulaşım hizmetleri ve verimli trafik akışı ortaya çıkmaktadır. İnsanlar park yeri sorunlarından trafik sıkışıklığı/akışı problemlerine kadar birçok noktada kendilerine çözümler üretebilirler. Bu alanda en temel unsur sürdürülebilirlik ve altyapı hizmetleri için iyileştirmeler olarak karşımıza çıkmaktadır.

Akıllı kent yaklaşımında ekonomi, insanların girişimci ruhunu desteklemek, üretkenliği artırmak ve esnek işgücü piyasası oluşturmak üzerine inşa edilmiştir. Bu kavramla anlatılmak istenen yüksek istihdamın sürdürülebilir şekilde artışı için paylaşım ekonomisi kavramının tetiklenmesidir. İnsanlar çeşitli yazılımlar, mobil uygulamalar ve girişim modelleriyle desteklenerek hedeflere ulaştırılır.

Akıllı kent kavramının son ayağı olan çevre konusu tezimizin konusu olan enerjinin de içinde bulunduğu aşamasıdır. Akıllı çevre çalışmaları çevreyi korumaya, kirliliği azaltmaya ve doğal kaynaklarda verimliliği artırmaya odaklanmıştır. Bu çalışmalar enerji yönetimi, su yönetimi, atık yönetimi, akıllı binalar gibi birçok alanında gelişmesine imkan sunmuştur. Enerji alanında akıllı şebekeler, mikro şebekeler, akıllı sayaçlar ve okuma sistemleri gibi birçok çalışma alanı bu kapsamda değerlendirilmektedir.

Yukarıda bahsedilen tüm kavramlar daha açık ifadeyle tüm akıllı şehir



uygulamaları birbirinden bağımsız binlerce “şey’in” (insan, cihaz, yapı vb.) birbiriyle olan etkileşimi üzerine kurulmuştur. İnsanların hayatında vazgeçilmez iletişim unsuru olan “internet” artık sadece insanları değil cihazları da birbiriyle bağlar durumdadır. Dolayısıyla bu benzersiz yapı için geliştirilmiş bir teknolojik gereklilik olarak IOT ortaya çıkmıştır. Bu kavram olmadan endüstri 4.0 ve ekseninde doğurduğu akıllı şehir kavramı anlaşılmayacaktır. Nesnelerin interneti (IOT) sonraki başlıkta daha detaylı olarak incelenmiştir.

### **2.3.1. Nesnelerin İnterneti (IOT)**

İnsanlar çevresinde bulunan nesnelere doğası gereği duyu organları yardımıyla tanımlamaktadır. Görme, tat alma, koku, ses gibi özellikleriyle etraflarını anlamlandırmaktadır. Bu özellik insanlarda farklı koşullar karşısında farklı tepkiler ve karar mekanizmaları ortaya çıkarır. Örneğin soğuk veya ılık olarak tanımladığımız bir nesneye dokunurken herhangi bir risk algılamadan rahatça kavrayabiliriz. Bu dokunma kararını verirken geçmiş deneyimlerimizden faydalanırız. Ancak sıcak olarak tanımladığımız bir nesneye dokunurken direkt hareket etmez çoğu zaman dokunmaktan kaçınırız. Çünkü geçmiş deneyimlerimiz bizi bu doğrultuda hareket etmemiz için tetikler. Bu nisbette basit sayılabilecek bir hareket için beynimizde milyonlarca hücre ve sinir ucu anlık ve karmaşık bir şekilde çalışmakta ve bize hareket güdüsü oluşturmaktadır. Peki beynimiz duyu organları olmasaydı bu kararı nasıl verecekti? İnsanlık kendisini etkileşime girdiği zararlı faktörlerden nasıl muhafaza edecekti?

İlk bilgisayarın icadı ve kablolu altyapılarındaki gelişimle birlikte internet kullanımının artışı da bu noktada yukarıdaki örnekte olduğu gibi modellenebilir. Bilgisayarlar programlandıkları ölçekte birbirleriyle konuşabilir ve karar mekanizması olarak basit anlamda kullanılabilirler ancak nasıl daha üst seviyeye taşınabilirler? Cebimizde bulunan telefonlar, ateş/tansiyon ölçmek için kullanılan aletler veya çay demlemek için kullandığımız semaver nasıl olur da insansı bir hale dönüşebilir?

Yukarıda verilen örnekler doğrultusunda düşünüldüğünde gelişen ihtiyaçlar ve veri birikimi de göze alınarak endüstrinin üçüncü aşamasında otomasyon dönemi ortaya çıkmış ve kısıtlı ihtiyaçlar için (örneğin uzaktan lamba açmak) yarı otomasyon veya otomasyon teknikleri kullanılarak çözümler üretilmiştir.

Bilgisayarların, makinelerin veya herhangi bir nesnenin de dış ortamlarla

konusmasını ya da dış ortamı algılayabilmesi için sensör teknolojileri gelişmiştir. Herhangi bir nesne üzerine yerleştirilen sensör ve sensör verilerini anlamlı hale getirebilecek bir elektronik devre yardımıyla dış ortama duyarlı bir hale gelebilir ve topladığı verilerle ortamda tepki oluşturabilir. Nesnelerin interneti kavramı hayatımıza yapay zeka kavramının daha net oturmasını dolayısıyla “akıllı” kavramının hayatımıza girişini sağlamıştır. Bu gelişmeler endüstri 4.0’ın tanımlayıcısı olmuştur.

Akıllı cihazlar, akıllı arabalar, akıllı evler, akıllı şehirler gibi kavramlar, yıllardır benimsenip büyük bir ilgi görmüş, bu alanlardaki hedeflere ulaşmak için bugüne kadar birçok farklı ve çoğu zaman birbirinden bağımsız çalışan araştırma topluluğu tarafından araştırılmıştır. Bu öne çıkan araştırma alanlarından biri de IOT diye tanımladığımız ve İnternetin geleceği olarak kabul edilen teknolojidir (Stankovic’den aktaran Dilek, 2017, s. 29).

Birçok bileşeni olmasına karşın nesnelerin interneti cihazların ortak bir altyapıya bağlanması, dış ortam verilerini algılaması, birbirleriyle haberleşmesi, farklı metodlar ve teknolojiler kullanarak bu verileri analiz etmesi ve ortaya çıkan bilgiye değer atfederek insanların faydasını amaçlayan sistem bütünüdür.

Her zaman, her yerde ve her şey kavramlarını temek alan bu yaklaşımın her elemanı benzersiz bir kimlik numarasıyla tanımlanır ve veri üretmeye başlar.

IOT uygulamaları; sağlık, hayvancılık, ölçümlene, atık yönetimi, güvenlik, otomasyon gibi birçok alanda kullanılır. Üretimde kalite artışı ve verimlilik amaçlanarak sensörlerden ilgili datalar toplanır. Bu datalar Büyük Veri kümeleri oluşturularak bulut mantığıyla çalışan sistemlerde depolanır. Makine öğrenmesi teknikleriyle analiz edilerek ilgili iyileştirmelerin yapılmasına katkıda bulunurlar (Görkem ve Bozuklu, 2016, s. 49).

Yukarıdaki bilgiden de anlaşılacağı gibi nesnelerin interneti hemen hemen her alanda karşımıza çıkmakta ve hayatımızı her alanda etkilemektedir. Sanayinin gelişim süreci de buna bağlı olarak dalgalanmaktadır.

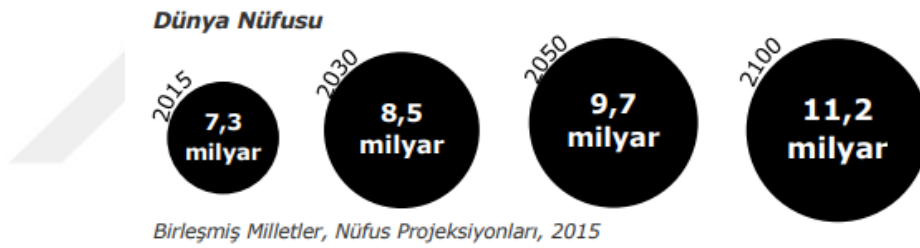
### **2.3.1.1. Enerji Sektöründe Nesnelerin İnterneti Yaklaşımı**

Daha önceki akıllı şehirler başlığında kısa olarak değinilen akıllı çevre kavramında enerji yönetimi üzerinde bilgilendirmede bulunulmuştur. Enerji yönetimi

şüphesiz endüstriyel süreç içinde en önemli konulardan biri olmuştur. Zira enerji üretiminden tüketimine kadar karmaşık bir süreç ihtiva ettiği gibi insanlığın da en temel ihtiyacı haline almıştır. Teknolojilerin kentlere uyarlanması anlamına gelen akıllı şehir yaklaşımında nesnelere interneti teknolojileri ve bakış açısı enerji yönetimini etkilemiş, enerjinin mevcut üretimdeki işleyişi incelendiğinde çevreye ve doğal kaynaklara zarar verildiği farkedilerek yenilenebilir enerji kaynaklarına dönülmüş, tüketimi bakımından da daha az enerji tüketen cihazların üretildiği endüstri 4.0 aşamasını doğrudan etkilemiştir.

Aşağıdaki şekillerde dünya nüfus artışı, şehirlerde öngörülen nüfus oranları ve Z kuşağının toplam nüfus oranındaki payıyla enerji tüketimi hakkında açıklayıcı bilgiler sunulmuştur.

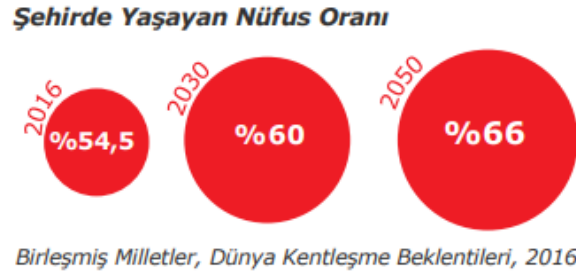
Şekil 8. Birleşmiş Milletler Nüfus Projeksiyonları



Kaynak: Deloitte, Vodafone, 2016, Akıllı Şehirler Yol Haritası Raporu, s. 20

Yukarıdaki şekilde dünya nüfusunun yapılan çalışmalar neticesinde gitgide artacağı görülmektedir. 2015 yılında dünya nüfusunun 7,3 milyar olduğu görülürken yapılan tahminler 2030 yılında dünya nüfusunun 8,5 milyar, 2050'de 9,7 milyar ve 2100'de 11,2 milyar olması yönündedir. Nüfus, enerji talebini etkileyen faktörlerden biri olduğu için artan nüfus artan enerji tüketimi olarak karşımıza çıkacaktır. Artacağı öngörülen nüfusun şehirde ve kırsalda yaşama oranları, yaşlı nüfusun genç nüfusa oranı ve şehirlerde enerji tüketimine dair bilgiler sonraki şekilde incelenmiştir.

Şekil 9. Birleşmiş Milletler Dünya Kentleşme Beklentileri



Kaynak: Deloitte, Vodafone, 2016, Akıllı Şehirler Yol Haritası Raporu, s. 20

Dünya kentleşme beklenileri incelendiğinde kentleşmenin daha çok artacağı ve artan kentleşme sonucunda daha fazla teknoloji yoğun çalışmalar gerçekleştirileceği söylenebilmektedir. Artan teknoloji destekli kent yapıları, enerji ihtiyacını da doğrudan etkileyecektir.

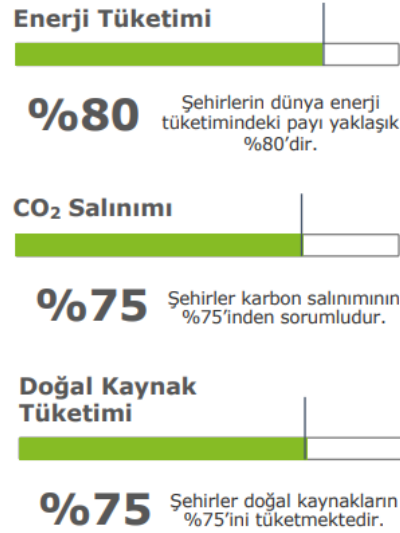
Şekil 10. Birleşmiş Milletler Yaşlı Nüfus Projeksiyonları



Kaynak: Deloitte, Vodafone, 2016, Akıllı Şehirler Yol Haritası Raporu, s. 20

Aynı zamanda tahminen 2015 yılında 7,3 milyar nüfusa sahip dünyada 60 yaş üzeri nüfusun dünya nüfusuna oranı %14 olurken, bu oranın 2050 yılında %26 olması beklenmektedir. İleriki yaşlarda daha rahat hayat şartlarına sahip olmak isteyen bireyler daha çok enerjiye ihtiyaç duyacakları için enerji kullanımı da buna bağlı olarak artacaktır.

## Şekil 11. Birleşmiş Milletler Çevre Programı 2014 Yılı Şehirlerde Enerji Tüketimi



Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) 2014

Kaynak: Deloitte, Vodafone, 2016, Akıllı Şehirler Yol Haritası Raporu, s. 20

Yukarıdaki verilerden de anlaşılacağı üzere dünya nüfusu hızla artmakta ve şehirlere göç oranı da gittikçe yükselmektedir. Aynı zamanda önümüzdeki otuz yıl sonunda da Z kuşağı olarak adlandırılan endüstri 4.0 dönemi tüketicileri toplam nüfusun %75'ini oluşturacaktır.

2014 yılı projeksiyonlarında görülen tüketim oranları göz önüne alındığında ileride büyük miktarda enerji tüketimi olacağı ve bunun doğal kaynaklara ve çevreye muazzam derecede zarar vereceği açıktır.

Bu sebeple birçok ülke enerji vizyonuna yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve teşvikini eklemiş ve fosil yakıtlardan beslenen enerji üretiminin doğal dengeye vereceği zarar sebebiyle kısıtlamalar getirmiştir.

Endüstri 4.0 temeline dayanan akıllı enerji yaklaşımında akıllı şebeke sistemleri ve akıllı sayaç sistemleri ortaya çıkmıştır. Elektriğin depolanamayan ve iletimi esnasında kayıplara uğrayan yapısı göz önüne alındığında sürekli ölçümlenmeye ihtiyaç duyulan bir kavram olduğu ortaya çıkmaktadır. Nitekim birinci bölümde bahsettiğimiz gibi üretimi, iletimi, dağıtımı ve tüketimi ayrı ayrı incelenen bu meta spot piyasalarda da üretim ve tüketim miktarları göz önüne alınarak gün öncesi ve gün içi dengeleme

piyasası kavramlarıyla fiyatlanmakta ve piyasa işleyişi gerçekleşmektedir.

Nesnelerin interneti teknolojileri elektrik üretim ve tüketimi ekipmanlarını nesne olarak kabul edip bu cihazların anlık durumunu veri olarak merkezlere aktarabildiği için akıllı şebekeler kavramında etkin rol oynamaktadır.

### **2.3.2. Akıllı Şebeke Sistemleri**

Yaşamın temelini oluşturan enerji toplumda önemini güç geçtikçe artırmaktadır. Elektrik enerjisine dayalı sistemlerde de artan talebin ilgili zamanda ekonomik ve verimli bir şekilde karşılanması gerekmektedir. Önceki başlıklarda açıklanan teknolojik gelişmeler ve akıllı şehir çalışmaları elektrik enerjisine dayalı sistemlerin gelişimini daha anlamlı bir şekilde açıklamaktadır.

Gün öncesi spot piyasalarda geçmiş dönem verilerine bakılarak talep projeksiyonlarına dayalı takas fiyatları sunulmaktadır. Ancak bu tahminleme hataları orta ve uzun vadede artan nüfus ve ihtiyaçlar sebebiyle planlama hatalarına ve üretim kayıplarına yol açmaktadır.

Ayrıca üretim iletim dağıtım ve tüketimin her aşamasında daha teknoloji yoğun iş modelleri ortaya konulmalıdır. Hem üretimi hem de tüketimi anlık olarak ölçümleyebilip (çift yönlü iletişimle) kontrol etmek gereklidir.

Bu kapsamda elektrik akımının geçtiği tüm düğüm noktalarında uzaktan okuma ve ölçme sistemleri geliştirilmiş ve uygulanmaya başlamıştır. İlgili kanun ve yönetmeliklerle de bu durum piyasada işler hale getirilmeye çalışılmaktadır. İşte bu süreçte şebekelerin nesnelerin interneti prensibiyle donatılmış ölçüm ve kontrol cihazlarıyla desteklenmesi akıllı şebekeleri ortaya çıkarmıştır.

Aşağıdaki şekilde akıllı şebekelerin çalışma şeması temsili olarak gösterilmiştir.

Şekil 12. Akıllı Şebeke Çalışma Şeması



Kaynak: Akcanca ve Taşkın, 2013

Akıllı şebekeler talep ve arz dengesini iki yönlü iletişimle devamlı kontrol eden enerji yönetim sistemleri olarak tanımlanabilir. Bu tarz şebeke sistemlerinin üç temel unsuru vardır (Akcanca ve Taşkın, 2013, s. 1).

- Üretim
- İletim ve Dağıtım
- Tüketiciler

Akıllı şebeke sistemleri ev otomasyonları yardımıyla enerji piyasalarında faaliyet gösteren aktörlerin elektrik piyasası optimizasyonlarında verimlilik, süreklilik ve ekonomik katma değerler elde etmelerine yardımcı olur. Bu sayede tüketim yapanlar dinamik fiyatlandırma sistemleriyle elektrik temin edebilirler. Bu sistemler sayesinde gelen verilere göre akıllı şebekeler tüketim tahminlemelerinde doğruluk oranlarında yükseliş elde edilmesine yardımcı olur (Giordano, Gangale ve Fulliden aktaran Akcanca ve Taşkın, 2013, s. 1).

Nitekim yukarıdaki alıntıda da belirtildiği ve daha önceki serbest tüketici kavramı adlı başlıkta da açıkladığımız üzere tüketiciler serbest tüketici kapsamına

girdiklerinde kendi alım yapmak istedikleri perakende satış şirketini seçebilmekte ve daha uygun fiyatlardan elektrik tüketebilmektedir.

Akıllı şebeke sistemleriyle ortaya çıkan verimlilik dünyanın birçok yerinde gözlemlenmektedir. ABD'ye bağlı Georgia, Tennessee ve Kuzey Karolina eyaletlerinde faaliyete alınan 15.000 adet akıllı sayaç, işletim maliyetlerinin %65 oranında, ödenmeyen faturaların %50 oranında düşüşünü sağlamıştır (Deloitte, 2016, s. 10).

Şekil 13. Mevcut Şebekeler ve Akıllı Şebekeler Karşılaştırması

Karakteristik	Mevcut Şebeke	Akıllı Şebeke
Tüketiciler tarafından sisteme aktif katılımın sağlanabilmesi	Müşteriler/Tüketicilerin enerji sistemine katılımı yok	Müşteriler/tüketiciler bilgilendirilmiş, sisteme müdahil ve aktif
Üretim ve depolama seçeneklerinin değerlendirilebilmesi	Merkezi üretim ağırlıklı bir ortam, dağıtık üretim kaynaklarının yer bulabilmesi için çok fazla engel mevcut	Yenilenebilir enerji baskın, neredeyse tak-çıkır dağıtık enerji kaynakları
Yeni ürün, servis ve piyasaların oluşturulması	Sınırlı toptan satış piyasası, iyi entegre olamamış sistemler, tüketiciler için sınırlı fırsatlar	Olgunlaşmış ve entegre olmuş toptan satış piyasası, tüketiciler için yeni elektrik piyasası
Ekonomik faaliyetlerin desteklenmesi için teknik kalitenin sağlanması	Arıza/kesinti odaklı, güç kalitesi sorunlarına yavaş müdahale	Güç kalitesi/tedarik sürekliliği birinci öncelikli, sorunların hızlı çözümü, fiyat/kalite seçeneklerinde çeşitlilik
Varlıkların optimize edilmesi ve operasyonların verimliliği	Varlık yönetimi ve iş süreçlerinde sınırlı entegrasyon	Şebeke verilerinin edinilmesi ile ilgili büyük veri analitiği altyapıları, bileşenlerde ömür ve kapasite açısından maksimum yararlanma
Kendi kendini iyileştirme	Odaklanma arızadan sonra varlıkların korunmasında ve hasarın yayılmasına engel olmakta	Otomatik olarak problemlerin tespit edilmesi ve giderilmesi, odaklanma tüketicinin en az etkilenmesinde
Saldırı ve doğal afetlere karşı şebekenin esnek işletimi	Terör saldırılarına veya doğal afetlere karşı zayıf, savunmasız	Saldırıya ve doğal afetlere karşı esnek ve hızlı toparlanma yetenekleri

Kaynak: <http://www.elder.org.tr/Content/yayinlar/TAS%20TR.pdf>

Günümüzde birçok ülke enerjisi, fosil yakıt kullanarak, suyun gücünden ve nükleer enerjiden faydalanarak üretmektedir. Bu kaynaklarla yüksek miktarda enerji üretilse de uzun hatlardan geçerken enerji kaybolur ve iletim kayıpları ortaya çıkar. Aynı zamanda bu tip üretimde kurulan santraller, insan hayatını da gerek ekonomik gerek güvenlik bakımından tehdit etmektedir. Artan çevresel duyarlılık sebebiyle de bu

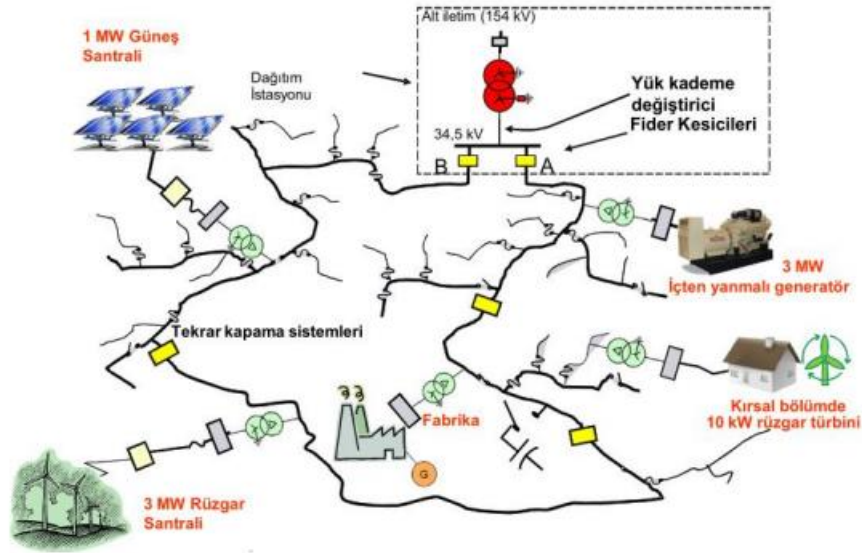


santrallerin karbondioksit ve karbonmonoksit gibi salınımları toplumda gerilime sebep olmakta ve dünyayı tehdit etmektedir.

Enerji üretiminde fosil yakıt kullanımı, fosil kaynakların tükenme miktarlarıyla enerji fiyatı artışlarına yol açmaktadır. Fosil yakıt kullanımıyla enerji üretimi aynı zamanda çevreye zarar vermekte ve sera gazı dağılımını da artırmaktadır. Bu durum küresel ısınmayı ciddi ölçekte artırmaktadır. Diğer taraftan alternatif üretim tekniği olarak görülen nükleer enerjinin ise Japonya Fukushima tesislerinde gerçekleşen kaza sebebiyle alternatif olma özelliğinden uzaklaştığı gözlemlenmiştir (<https://www.akillisebekeler.com/2012/02/14/dagitik-uretim/>).

Bu ve benzeri yaklaşımlar sonucunda enerjinin tüketildiği yerlerde üretildiği, uzun hatlara ihtiyaç duymadan iletim hatlarına da bağlanabildiği, çift yönlü iletim sağlayabilen aynı zamanda çevre dostu ve yenilenebilir kaynaklardan da beslendiği bir üretim modeli ortaya çıkmıştır. Bu model dağıtık üretim modelidir.

Şekil 14. Örnek Dağıtık Şebeke Sistemi Görünümü



Kaynak: Uzun, 2015, s. 6

Dağıtık üretim modeli enerji tüketiminin olduğu bölgelerde veya yakın lokasyonlarda güneş panelleri gibi çevre dostu teknolojilerle üretim yapılabilen

teknolojilerin bütünleşik halini ortaya koymaktadır. Bu üretim modeli teker teker yapılara hizmet sunabildiği gibi büyük ve organize sistemlerin ya da yapıların da bir parçası halinde düşünülebilir. Nispeten düşük voltajlardaki dağıtım ünitelerine bu sistemler dahil edildiğinde daha temiz ve güvenli enerji iletimi gerçekleştirilebilir. Bu sayede kayıp ve kaçak enerji de kontrol altında tutularak enerji kayıpları minimize edilebilir (<http://turkoted.org/tr/dagitik-uretim-nedir-25>).

Dağıtık modeldeki üretim tesisleri doğru analiz edilip kurulmadığı takdirde, dağıtım sisteminde ve tüketicilerde çeşitli problemlerin ortaya çıkmasına sebebiyet verebilir ([http://www.emo.org.tr/ekler/76bfae53cf6ecbd\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/76bfae53cf6ecbd_ek.pdf)). Bu problemler hatlar arası iletim yönü, iletimdeki gerilim ve frekans farklılıklarından kaynaklandığı gibi doğru iletişim metodlarının geliştirilmemesinden de kaynaklı olabilmektedir.

İletişimden maksat nesnelerin interneti perspektifinde kullanılan haberleşme üniteleri, akıllı sayaçlar ve okuma sistemleridir. Mevcut çalışmalarda veri üretimini, okuma işlemini ve gerektiğinde açma-kapama gibi hizmetlerin yapılabilirdiği üniteler merkezi bir sisteme aktarım sağlamak üzerine yoğunlaşmıştır. 2018 yılına kadar geçen sürede ortaya çıkan problemler akıllı şebeke sistemlerine geçişi zorlaştırmaktadır.

Network yönetimi ve büyük veri düşüncesi bölünmüş onlarca parçayı ve veriyi farklı merkezlerde toplamak ve sonrasında bir büyük havuza entegre ederek işlemek üzerine kurulmuştur. Bu metodla hem veri güvenliği hem de devasa networklerin yönetimi daha kolay bir hal almaktadır. Bir bölgede meydana gelebilecek sıkıntı (iletişim kaybı gibi) başka bölgelere sıçramadan yerinde çözülebilmekte ve sistem daha sağlıklı işler halde tutulabilmektedir.

Piyasa işletmecisi olan kuruluşun tüm verileri ve tahminleri bünyesinde barındırması ve gerekli çalışmaların tamamını yürütmesi mümkün değildir. Zaten mevcut düzlemde Türkiye’de dağıtım şirketleri ve perakende satış lisansı olan şirketler faturalandırma ve talep tahmini işlemlerini gerçekleştirip TEİAŞ’a bildirmektedir. Buradaki bilgiler TETAŞ’a öngörü sağlayarak piyasa takas fiyatının oluşmasına etki etmektedir. Dolayısıyla işlemlerin dağıtık bölgelerde bulunan dağıtım kanallarıyla en yakın ya da bağlı bulunduğu dağıtım şirketine iletilmesi en doğru sonucu doğuracaktır.

Nesnelerin interneti bakış açısıyla akıllı şebekelerde cihaz kullanımı ve piyasaya etkisi sonraki bölümde daha detaylı olarak incelenmiştir.

## 2.4. Teknolojilerin Enerji Alanında Kullanımı ve Değerlendirmesi

Elektriğin ticarileştirilmesi ve üretim şekillerinin çeşitlendirilmesi sonrası hızla gelişen teknoloji endüstri 3.0 dönemi ve sonrasındaki 4.0 olarak adlandırılan dönemi hızla tüketmektedir. Ancak daha önce de değindiğimiz gibi enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi aşamalarında birincil kaynak tüketimi de ihtiyaca bağlı olarak hızla artmaktadır. Ekonomik açıdan tüketimin büyük kısmını oluşturan enerji tüketimi dünya genelinde küresel ısınmayı da hızlandırmaktadır. Bu sebeple yenilenebilir enerji kaynaklarına rağbet artmış ve fosil yakıtlara bağlı enerji üretim sistemleri yerini dağıtık şekilde yönetilebilir güneş enerjisi santralleri gibi akıllı şebeke (smart grid) sistemlerine bırakmıştır.

Bu sistemin birçok bileşeni olmasına karşın temelde tüm enerji yönetimi sistemlerine bağlı donanımları nesnelerin interneti teknolojileriyle birbirlerine ortak bir sistemde bağlamak düşüncesi hakim olmuştur.

Gün ışığının şiddetine bağlı olarak aydınlatma lambalarının ışık şiddetleri düzenlenmeye çalışılmış, uzaktan izleme ve yönetim kabiliyetiyle de operasyonel maliyetler minimize edilmeye başlanmıştır.

Akıllı şebeke sistemleriyle ortaya çıkan verimlilik dünyanın birçok yerinde gözlemlenmektedir. ABD'ye bağlı Georgia, Tennessee ve Kuzey Karolina eyaletlerinde faaliyete alınan 15.000 adet akıllı sayaç, işletim maliyetlerinin %65 oranında, ödenmeyen faturaların %50 oranında düşüşünü sağlamıştır (Deloitte, 2016, s. 10).

Toplam elektrik tüketiminin yaklaşık %15'ini sokak aydınlatması oluşturur (Deloitte, 2016, s. 56). Oslo'da akıllı aydınlatma sistemleri ile elektrik tüketimindeki tasarruf %70 oranında sağlanmıştır (Deloitte, 2016, s. 10).

Yukarıda belirtilen örneklerde görüldüğü gibi teknolojilerin enerji alanında uygulanması ciddi tasarruf ve katma değer sağlamaktadır.

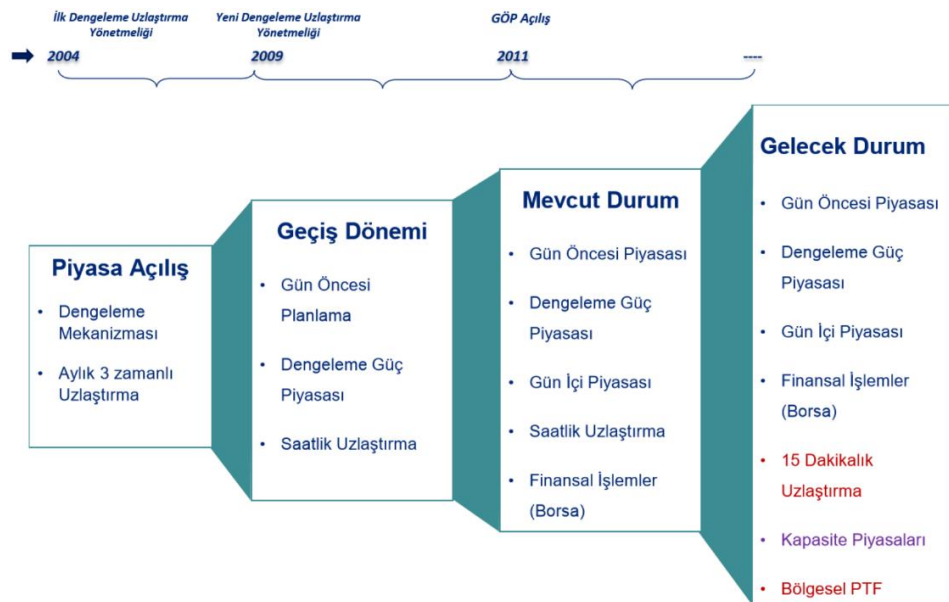
Bir diğer açıdan enerji depolama alanındaki gelişmelerin ciddi maliyetler içermesi de stok konusunun hala çok ciddi bir aşamada olduğunun işaretidir. 190 milyar dolardan fazla yatırım alan Aquion adlı firmanın iflası şirket CEO'su Scott Pearson tarafından 2017 yılında açıklanmıştır. Pearson pil teknolojilerinin oldukça zor ve pahalı teknolojiler olduğunu ifade etmiş, uzun soluklu çalışma gerektirdiğini vurgulamıştır

(<http://www.milliyet.com.tr/microsoft-un-kurucusu-bill-teknoloji-haber-2411248/>).

Elektrikli araçlarında piyasalarasa girişi ve yakıt olarak kullandığı elektriğin de depolanamaz oluşu ciddi problemleri ortaya çıkarmaktadır. Bu problemler teknolojik veya altyapı yetersizliği olarak görülse de aşılacağı dönemde yine ciddi ölçümleme çalışmalarını beraberinde getirecektir. Örneğin bir aracın bulunduğu coğrafyanın hangi bölgesinde enerjisini tüketip yeniden enerji yükleyeceği yine her şey, her zaman, her yerde temeline dayanan dünya geneli haberleşebilen nesnelerin interneti yaklaşımıyla problemler çözüme kavuşturulacaktır. Burada enerjinin en yakın hangi şebekeden temin edileceği, yani çift yönlü düşünülürse nereden iletilip nereden tüketileceği konusu yine ölçümleme çalışmalarıyla gerçekleştirilecektir.

Nesnelerin interneti yaklaşımıyla geliştirilmiş stabil çalışan cihazlarla enerji ölçümleme çalışmaları gün geçtikçe artmaktadır. 2009 yılında devreye giren gün öncesi planlama mekanizmasıyla saatlik fiyatlandırma ve uzlaştırma başlatılmıştır (<https://www.teias.gov.tr/tr/yayinlar-raporlar/piyasa-raporlari>). Günümüzde ise bu eşleştirmelerin saatlik olmak yerine 15 dakikalık periyotlar halinde yapılabilmesi için çalışmalar yürütülmektedir. Aşağıdaki şekil Türkiye’de Elektrik piyasalarının gelecek projeksiyonuna ait bir öngörü sağlamamıza yardımcı olacaktır.

Şekil 15. Türkiye Elektrik Piyasasında Gelecek Durum



Kaynak: <https://www.dunyaenerji.org.tr/wp-content/uploads/2018/02/FatihYazitasSunum.pdf>

Şekil 15'te gelecek durum çalışmalarına göre 15 dakikalık uzlaştırma ve bölgesel piyasa takas fiyatı oluşturma dikkat çekmektedir. Bölgesel piyasa takas fiyatı oluşturmak bölgesel eşleşmeler yapılmasını akıllara getirmektedir. Bu durum ise akıllı şebekeler altında bahsi geçen dağıtık şebeke yapısının kullanılabilirliğini ortaya koymaktadır. Aynı zamanda 15 dakikalık eşleşmeler daha düşük zaman aralığında tüketim tahmin planları ortaya koymak demektir. Üreticiler mevcut durumda sistem işletmecisinin online yazılımına saatlik bazda sunulmuş tahminlere göre satış teklifleri vermektedir. Bu sayede saatlik eşleşmeler yapılmaktadır. Eğer uzlaştırmalar 15 dakikalık periyotlarda gerçekleştirilecekse daha doğru tüketim tahmin planları oluşturmak için daha yüksek frekansta veriye ihtiyaç duyulacaktır. Bu durum da nesnelerin interneti yaklaşımının ve endüstri 4.0 yaklaşımının getirisi olan büyük veri havuzlarının ve bu veri havuzlarını dolduracak çok sayıda verinin ortaya çıkacağını göstermektedir.

Enerjide dinamik fiyatlama modellerinin geliştirilmeye başlandığı bu dönem şuan Amerika enerji piyasasının spot piyasa olarak tanımladığı dengeleme güç piyasası (gerçek zamanlı piyasa) ve ülkemizin de içinde bulunduğu birçok Avrupa ülkesinde de spot piyasa olarak kabul edilen gün öncesi piyasa kavramlarını hibrid bir şekilde içinde barındırmaktadır.

Teknolojik gelişmelerin yeterli durumda olduğu içinde bulunduğumuz zaman diliminde teknolojik uygulama problemi de zaman içerisinde ortadan kalktığında, enerji piyasaları dinamik fiyatlama yaklaşımıyla birçok parametreyi kullanarak (nem, sıcaklık, yağmur, iletim kapasitesi, gerilim, frekans, mevsimsel etkiler, zaman vb.) enerjiyi daha verimli, daha çevreci ve daha maliyetsiz şekilde tüketicilere sunacaktır. Tüketicilerin de hem üretmek hem de satın almak istedikleri dağıtıcı/perakende satış şirketini seçtiği bu piyasalar daha işlevsel fonksiyonlar kazanacaktır.

## 3. BÖLÜM

### TALEP, FİYAT VE TAHMİNLEME

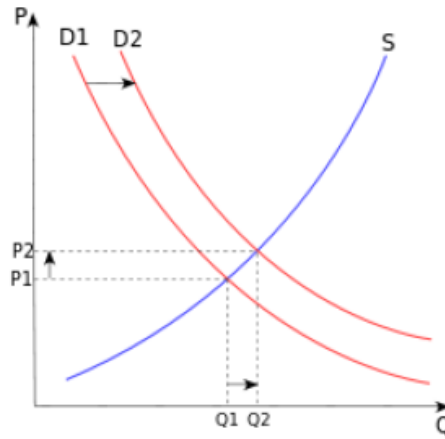
Bu bölümde ilk olarak temel talep ve fiyat oluşumu kavramları açıklanarak, sopot elektrik piyasalarında elektrik fiyatın elektriğin spesifik özelliklerine bağlı olarak nasıl değiştiği üzerine literatür taramalarından örneklerle bilgiler aktarılacaktır

Bu bölümün üçüncü ana başlığında ise tahminleme ve tahminleme yöntemlerinden bilgi aktarılması suretiyle son bölüm olan uygulama için zemin oluşturulacaktır.

#### 3.1. Talep ve Fiyat Kavramları

Talep belirli bir zaman diliminde tüketicinin satın almaya istekli olduğu miktarı belirten kavramdır. Talep tüketicilerin bir ürün ya da hizmeti belirli bir fiyat seviyesinden almaya hazır oldukları miktardır (Tekinden aktaran Doğan, 2012, s. 3).

Şekil 16. Arz ve Talep Eğrilerine Göre Fiyat Oluşumu



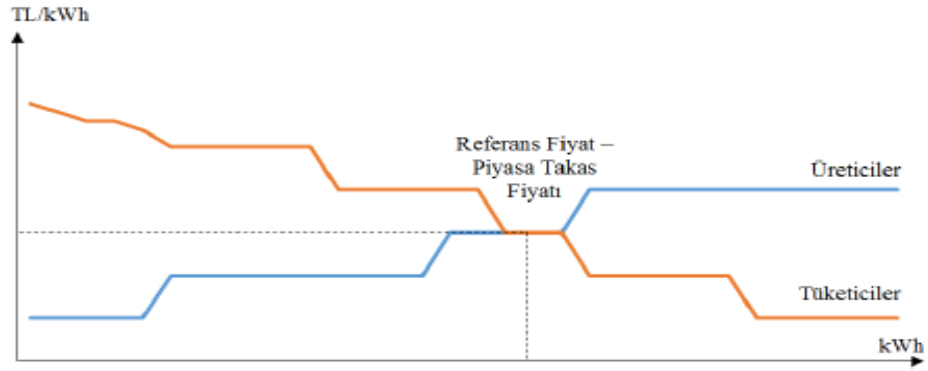
Şekil 12’de D1 ve D2 talep eğrilerini S ise arz eğrisini ifade etmektedir. Fiyat ise talep miktarına göre bu eğrilerin kesiştikleri nokta olan Q1 ve Q2 noktasında gerçekleşmiştir.

Fiyat, ekonominin ve parasal hareketlerin temelini oluşturur. Fiyat teorisi genel manada birbirinden farklı ekonomik faktörler arasındaki ticari değer in ortaya nasıl çıktığını açıklar.

Elmas -Su paradoksu 1776'da Adam Smith tarafından ortaya konulmuştur. Bu paradoks hayat için elzem olan suyun neden elmastan daha ucuz olduğu sorusu üzerine inşa edilmiştir. Bu teoriye göre değer kavramı iki farklı şekilde açıklanmıştır. Değer kavramı bazen fiyat olarak algılanırken bazen satın alma gücünün ifadesi olarak adlandırılmıştır. Fiyat olarak algılandığında kullanım değeri, satın alma gücü olarak adlandırıldığında mübadele değeri kavramları ortaya çıkmaktadır. Adam Smith'e göre elmasın fiyatının yüksek olması miktarının az olmasından ve çıkarmak için gerekli olan emeğin fazla olmasından kaynaklanır. Bu sebeple fiyat oluşumunda emek faktörü önemlidir. Emek-değer açısından bu paradoks tekrar incelendiğinde emek açısından aynı miktarda elmas aynı miktarda sudan çok daha fazla emek gerektirmektedir. Smith fiyat oluşumunda değer kavramını kullansa da farklı çalışmalar da yapılmıştır. 1871 yılında Carl Menger malın değerini marjinal faydasıyla ilişkilendirmiştir. Burada marjinal faydanın emekten daha önemli bir faktör olduğu vurgulanmıştır. Yani ilk birim suyun faydası yüksekken sonraki birimler kritik öneme sahip olmaktan uzaklaşmaktadır. Aynı paradoks inci fiyatları üzerine de gerçekleştirilmiş ve 1881 yılında William Stanley Jevons şu soruyu çıkış noktası olarak tanımlamıştır. "İnsanlar inci fiyatı yüksek olduğu için mi dalış gerçekleştirir yoksa çıkarma işleminde dalış gerçekleştirildiği için mi inci fiyatları yüksektir?" Bu sorunun cevabında ürün tedarikini ürün isteğinin kontrol ettiği tespit edilmiştir. Yani tedarik in itici gücü istek/hevestir ve bu da değer kavramını ortaya çıkarır. 1874 yılında Leon Warlas bir malın fiyatının talep artışlarıyla yükseleceğini ancak tedarik artışıyla da düşüş eğilimi göstereceğini ifade etmiştir (Yıldız, 2015, ss. 9-11).

Fiyat kavramını bu şekilde kısaca tanımladıktan sonra spot elektrik piyasalarında (gün öncesi ve dengeleme) takas fiyat oluşumunu da aşağıda belirtilen Şekil 13 ile daha rahat anlamak mümkün olmaktadır.

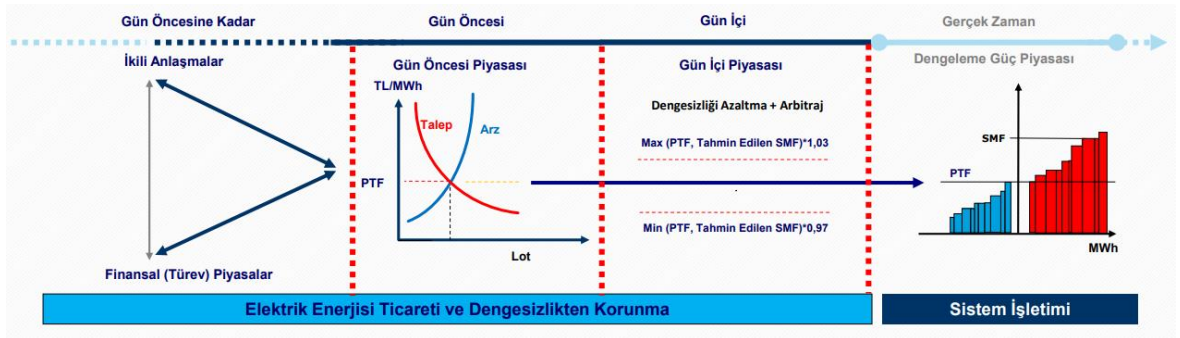
Şekil 17. Elektrik Piyasasında Referans Fiyat Oluşumu



Kaynak: Yıldız, 2015, s. 23

Elektrik piyasasında tüketicilerin tahmin edilen tüketim miktarları üreticilere sunulur ve bir eşleşme yapılır. Sunulan tüketim miktarına göre üreticiler üretecekleri miktarlara karşılık gelen fiyatlarını sunarak piyasa işletmecisi tarafından eşleştirilirler ve piyasa takas fiyatı oluşumunu gerçekleştirirler.

Şekil 18. Spot Piyasalarda Referans Fiyat Oluşumu



Kaynak: <https://www.dunyaenerji.org.tr/wp-content/uploads/2018/02/FatihYazitasSunum.pdf>

Türkiye spot elektrik piyasasında üreticiler EPIAŞ bünyesindeki sistemde daha önce yapılan çalışmalar neticesinde öngörülmüş tüketim miktarlarına uygun olarak satış tekliflerini saatlik ve blok olarak girdikten sonra, sistem ilgili yazılım vasıtasıyla miktar ve fiyat eşleştirmelerini optimize etmektedir. Bu şekilde gün öncesinde piyasa takas



fiyatları meydana gelmektedir. Gün içindeki üretim ve tüketim dengesizlikleri TEİAŞ'ın kontrolünde yük alma ve yük atma kapasiteleri göz önünde bulundurularak gün içi dengeleme piyasasında eşleştirilerek yine aynı şekilde arz ve talep dengesine göre gün içi spot elektrik fiyatları oluşmaktadır.

### **3.2. Enerji Piyasalarında Akıllı Fiyatlama**

Sürekli gelişen ve değişime uğrayan enerji piyasalarında fiyat oluşumu ve endüstri 4.0 çerçevesinde “akıllı fiyatlama” kavramı ortaya çıkmaktadır. Piyasaların şimdiye kadar biriktirdikleri birikimle ortaya çıkan iç zeka (intelligence) ve nesnelerin interneti kavramıyla ortaya çıkan dış bilgi (extelligence) birleştiğinde ortaya gerçek anlamda dinamik ve akıllı bir fiyatlama modeli çıkar.

Elektrik fiyatlaması kavramını kavramak için elektriğin doğasında olan akışkanlık ve depolanamaz olması özelliklerini de göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Elektrik üretiminden tüketimine kadar kesintisiz ve anlık olarak hem arz hem de talep taraflı olarak desteklenmelidir.

Elektrik piyasalarında stoklanamama nedeni ile sıradışı durumlar ortaya çıkmaktadır. Üretim tesisleri maksimum yüklerle çalışabilmektedir. Elektrik talebinin limiti aşması, normal fiyat seviyelerinden daha yukarıda fiyatların görülmesine yol açmaktadır. Gün içerisinde üretim tesislerindeki problemlerden, iklim şartlarındaki değişikliklerden, nakil hatlarındaki problemlerden dolayı fiyatların oynaklığı gittikçe artmaktadır. Elektrik fiyatlarının tespit edilen bir diğer özelliği de ortalamaya dönme eğilimi olmasıdır. Finansal piyasalardakine benzer bir şekilde enerji piyasalarında da güçlü bir ortalamaya dönme eğilimi bulunmaktadır (Pilipovic'den aktaran Aydın, 2010, s. 109).

Fiyat oluşumlarında gözden kaçırılmaması gereken bir diğer husus da arz ve talep esnekliklerinin inelastik olmasıdır. Bu sebeple tüketiciler yüksek fiyatlarla karşılaşsa da uzun dönemde tüketimlerini artırmakta, üreticilerde talepler nedeniyle satış fiyatları yükselse de elektrik üretiminin maliyetli ve uzun soluklu bir yatırım olması sebebiyle kısa zamanda üretim gerçekleştirememektedir.

Elektrik tüketim açısından , bölgesel olarak, mevsimsel olarak veya anlık olarak dalgalanmalar gösterir. Yıllık, günlük hatta saatlik bazda tüketim karşılaştırmaları

yapıldığında %200'e varan tüketim farkları oluşabilmektedir (Gültekin'den aktaran Boltürk, 2013, s. 19 ).

Elektrik fiyatları literatürde genellikle

- olumsuz hava şartlarından ve koşullardan direkt etkilenecek iletim hatlarında kesintiler ve kayıplar olması ve bunun da fiyatlara yansımaları bakımından elektrik fiyatlarının mevsimsel olmasıyla,
- elektriğin tüketim ve üretiminin birçok faktörün etkisiyle faklar içermesi, arz ve talep esnekliğinin inelastik olması bakımından elektrik fiyatlarının ortalamaya dönme özelliğiyle
- arz ve talep bakımından incelendiğinde değişik etkilerle fiyatların yükselmesi ve düşmesi açısından ciddi düzensizlikler içermesi bakımından elektrik fiyatlarının pik yapma özellikleriyle

yer bulmuştur. Bu sebeple IOT destekli dinamik fiyatlama modelleri geliştirilmesi piyasaların öngörülebilitesi yüksek doğruluk paylarıyla işlemesine yardımcı olacaktır. Çünkü elektrik üretimini, dolayısıyla piyasalarını etkileyen yüzlerce faktör bulunmaktadır. Bu faktörler ancak kısa zaman aralıkları ile analizlere tabi tutulurlarsa kayda değer doğruluk derecesine erişebilecektir.

Aşağıda elektrik talebine etki eden faktörlerden bir kısmı sıralanmıştır (Boltürk 2013, ss. 19-20).

- Ekonomik büyüme hızı
- Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
- Sektör bazında katma değer
- Kişi başına milli gelir
- Nüfus miktarı
- Hane halkı sayısı
- Konutlarda bağımsız bölüm sayısı
- Konut sahipliği
- Kentleşme ve kent köy gelir miktarları
- İstihdam
- Endüstriyel gelişmişlik

- Elektrikli araç-gereç kullanım oranları
- Kişi başına elektronik araç kullanımı
- Elektrik fiyatı
- Alternatif enerji maliyetleri
- Mevsim ve iklim
- Zaman dilimi

### **3.3. Tahminleme Kavramı**

Öngörüleme (tahminleme) gelecekte meydana gelebilecek olayların şimdiden kestirilmesi işidir. Tahminleme genellikle geçmişteki olayların sonuçlarından ve deneyimlerimizden doğan bir analiz sürecinin çıktısıdır.

Tahminleme; endüstri, ekonomi, meteoroloji, telekomünikasyon, finans gibi birçok alanında karar alma konusunda yol gösterici rol oynamaktadır (Taieb ve Hyndman'dan aktaran Çelik, 2016, s. 4).

Karar verme faaliyetinde tahminleme önemli bir unsurdur. Organizasyonlardaki tüm birimler ve faaliyetler birbirleriyle ilişkilidir. Bu sebeple iyi veya kötü tahminleme çalışmaları tüm birimleri doğru orantılı şekilde etkileyecektir (Yücesoy, 2011, s. 3).

#### **3.3.1. Talep Tahminlemesi**

Talep tahmini; işletme müşterilerinin gelecekte ne kadar mal veya hizmet talep edeceklerinin öngörülmesi işidir. Bu öngörü ile işletme, üreteceği ürüne, ne kadar üreteceğine, ürün veya hizmet için hangi malları satın alacağına, müşterilerinin taleplerinin hangi zamanda olacağına karar verebilir (Doğan, 2012, s. 3).

Tahmin birçok işletme aktivitesinde ön ihtiyaç olarak karşımıza çıkar. Gelecek çıkarımı olmadan faaliyet planlamak ve kaynak tüketimlerini kontrol etmek mümkün olmamaktadır (Lewis'den aktaran Boltürk, 2013, s. 16).

Talep tahminini doğruluk derecesini maksimum düzeyde doğrulukla gerçekleştirmek planlamayı da mükemmelleştirmektedir. Özellikle enerji alanında yapılan hatalı talep tahminleri sonucu maliyetlerde artış meydana gelmektedir. Diğer taraftan arz tahmini (üretim tahmini) hataları ise enerjiyi ekstra maliyetlerle satın almayı dolayısıyla sistem marjinal fiyatının yükselmesini tetiklemektedir.

Talep tahminleme çalışmaları hiç şüphesiz bilimsel temellere dayanmakla birlikte çeşitli ilkeler ve teknikler ile gerçekleştirilmektedir. Ancak hangi teknik ya da politika kullanılırsa kullanılsın gerçekleşen tüketimler hatasız olarak tespit edilememektedir. Burada hedeflenmesi gereken hata payının ne kadar minimize edilebileceğidir.

### **3.3.2. Tahminleme İlkeleri**

Literatür taramalarından gözlemlenen bilgilere dayanılarak talep tahminleme ilkeleri birçok başlık altında incelenmiş olup aşağıda sıralandığı şekilde özetlenebilmektedir.

- Tahminleme konusu ne kadar çok parçaya ayrılıp gruplanırsa o nisbette daha hassas tahminler yapılabilir. Parametre sayısını artırmak tahminlemeyi keskinleştirmektedir.
- Tahminlemede kullanılan verilerin ölçümleme süreleri ne kadar kısa aralıklarla gerçekleşmişse tahminleme o kadar doğruluk gösterir. Zaman aralığı ile tahmin doğruluğu ters orantılıdır.
- Herzaman hata payları göz önünde bulundurulmalıdır ve her çalışma geçerlilik testlerine tabi tutulmalıdır.

### **3.3.3. Tahminleme Tekniklerinin Seçimi**

Tahminleme karar verme aşamasında devreye giren bir çalışma bütünü olduğu için tahminleme yöntemi seçilirken işletmenin, karar vericilerin, teknolojik altyapının ve sektörün durumu göz önünde bulundurulmalıdır. Tahminleme çalışmaları karar destek argümanı olarak kullanılmakla birlikte ciddi yanılsamalara da kapı aralayabilmektedir. Özellikle uzun dönemli tahminler ve uzun zaman aralıklı veriler hata riskini artırma yönünde eğilimlidir. Diğer taraftan tahminleme beynin deneyimleme süreçleri sonucu ortaya çıkardığı önsezilerle de bütünleştirilmelidir. Makineler veya yazılımlar her ne kadar gelişmiş olsalar da asla bir beyinin karmaşık yapısına ulaşamayacakları için doğru tahminleri de ortaya çıkaramayacaktır. Nitekim hızla gelişen insanlık daha önceki başlıklarda incelediğimiz endüstri akışı içerisinde 4.0 aşamasından 5.0 aşamasına geçişte makinelerin ve robotların insan faktörü olmadan doğru üretim akışını gerçekleştiremediğini farketmiştir.

İşletmelerde üretim departmanı yöneticileri ihtiyaçları maksimum düzeyde karşılayabilen teknikleri seçmelidir. Tahminleme tekniğinin seçimine etki eden durumlar aşağıdaki gibi sıralanabilir (Üreten'den aktaran Ballı, 2014, ss. 26-27):

- Tahmin süresinin uzun ya da kısa olması,
- Data havuzunun varlığı,
- İstenilen doğruluk oranı,
- Tahmin için katlanılacak maliyet ve ayrılmış bütçe,
- Tahminlemeye konu olan ürünün/hizmetin özellikleri,
- Tahminlemede görev alacak nitelikli personel varlığı

Tahminleme tekniği seçilirken maliyet ve doğruluk oranı göz önüne alınacak en önemli faktörler olmalıdır. Doğruluk belirlenirken ortalama mutlak hata, bu hatanın oluşturduğu maliyetler ve tahminleme maliyetleri göz önünde bulundurulmalıdır. İşletme esneklik derecesi ve karar önem derecesi de tahminleme tekniği seçiminde göz önünde bulundurulacak unsurlar arasındadır. Tahminleme modelleri sadece bir araç olabilir. Bu modellerden ulaşılan sonuçlar hiçbir zaman kesin sonuçlar olarak görülmemelidir. Yönetim kültürü ve yönetici tecrübesi tahmin modellerinin dikkate almadığı faktörlerde devreye girmeli ve gerekli revizyonların yapılmasında etkin rol oynamalıdır (Ballı, 2014, s. 27).

#### **3.3.4. Tahminleme Teknikleri**

Tahminlemede kullanılan birçok teknik bulunmaktadır. Literatür araştırmalarında öne çıkan ve en çok kabul gören teknikler genellikle iki sınıf altında toplanmaktadır. Bu sınıflar

- Kalitatif (nitel – yargısal) yöntemler
- Kantitatif (nicel- objektif) yöntemler

olarak iki ana başlık olarak incelenmektedir.

Nitel yöntemler görüş ve yargılara dayanan, matematiksel temellere dayandırılmayan yöntemlerdir. Genellikle yeterli veri olmayan ve geçmiş dönemlerle ilişkilendirilemeyen durumlarda kullanılırlar.

Nicel yöntemler ise matematiksel temellere oturmuş ve geçmiş dönem karşılaştırmalarında kullanılabilen yöntemlerdir.

### 3.3.4.1. Nitel (Yargısal) Tahminleme Teknikleri

Bu başlık altında nitel (yargısal) tahminleme tekniklerden bir kısmı incelenmiş ve kısaca bilgilendirme yapılmıştır.

Grup Karar Teknikleri: Çoklu Oylama, Nominal Grup Tekniği, Beyin Fırtınası vb. yöntemler grup karar teknikleri içerisinde sayılabilir. Talep tahmini yapmak ve tahmin sonrasında eylem planı oluşturmak amacıyla bu teknikler yalnız başlarına ya da birlikte uygulanabilirler. Herkesin problem hakkında görüşlerini ortaya koyma fırsatının olması bu tip tekniklerin avantajıdır (Doğan, 2012, s. 11).

Satış Gücü Birleşimi: Tüm departman yöneticileri bir araya gelir ve kendi tecrübeleriyle ortaya koydukları tahminleri birleştirerek talep tahmininde bulunurlar.

Delphi Yöntemi: İstatistiki modeller geliştirirken geçmiş veri setleri olmadığı zaman ya da yöneticilerin tahminlenecek konu hakkında geçmiş deneyimleri olmadığı zaman kullanılan bir yöntemdir (Yüksel'den aktaran Doğan, 2012, s. 12).

Senaryo Analizi: 1950'li yıllarda Herman Kahn tarafından ortaya konulmuştur. Gelecek senaryoları yazılarak yapılan değerlendirmelerden sonuçlar elde edilmeye çalışılır.

Yeni Nesil Grup Karar Teknikleri: Teknoloji yoğun grup karar teknikleri olarak tanımlanabilir.

Yaşam Eğrisi Benzeşimi: Ürün yaşam eğrileri karşılaştırılarak yapılan tahminleme yöntemidir.

Anket Yöntemi: Gelişmişlik derecesi yüksek ülkelerde çok kullanılan özellikle pazarlama araştırmasında oldukça etkin kullanılan bir yöntem olmakla birlikte bilimsel açıdan en az yeterlilik gösteren yöntemdir. Anket yöntemiyle edinilen bilgiler büyük oranda subjektif ve güvenilir olmayan bilgilerdir. Bunun sebebi cevaplayanların yanlış bilgiler vermesi ve iletişim hatalarıdır. Pazarlama araştırmasının ihtiyacı olan bilgilerin soru sorularak elde edilebiliyor olması sebebiyle bu yöntem çok yönlü bir yöntem haline gelmiş ve kullanım sıklığı artmıştır (Makridakis ve diğerlerinden aktaran Yücesoy, 2011, s. 11).

### 3.3.4.2. Nicel (Objektif) Tahminleme Teknikleri

Nicel (objektif) tahminleme çalışmalarında kullanılan tekniklerden bir kısmı ile ilgili aşağıda kısaca bilgilendirme yapılmıştır.

**Yalın Yaklaşım Yöntemi:** Bu yöntemde önceki dönemde gerçekleşen talebin sonraki dönemde de aynı olacağı varsayılarak tahminleme gerçekleştirilir.

**Aritmetik Ortalama Yöntemi:** Geçmiş dönemlerdeki taleplerin ortalamaları alınmak suretiyle tahminleme yapılan zaman serisi yöntemidir.

**Hareketli Ortalamalar Yöntemi:** Aritmetik ortalama metodunda olduğu gibi önceki dönem verilerinin ortalamasının bir sonraki dönem ortalamalarına eşit olacağı varsayımı üzerine kuruludur (Yücesoy, 2011, s. 15).

**Ağırlıklı Hareketli Ortalamalar Yöntemi:** Hareketli ortalamalar yönteminde kullanılan sistem kullanılır. Hareketli ortalamalar alınırken her değer etkisinin eşit olması bu değerlere ağırlıklar verilerek farklılaştırılır (Yücesoy, 2011, s.16).

**Üssel Ağırlıklandırılmış Hareketli Ortalama Yöntemi:** Bu yöntemle geçmişteki dönemlerin ortalama talepleri ile cari dönemin talebi belirli oranlarda tekrar ağırlıklandırılarak bir sonraki dönemin talebi hesaplanır (Yücesoy, 2011, s. 16).

**Basit Üssel Düzgünleştirme Yöntemi:** Bu yöntem basit ve ağırlıklı hareketli ortalamalar yöntemlerinden farklılık gösterir. Bu yöntemde herhangi bir dönemdeki talep tahmini çalışması yapılırken talebin tespit edilecek dönemden önceki tüm dönemlerdeki talep miktarlarına bağlı olarak belirlenmesi esas alınır. Bu yöntemle herhangi bir döneme ait tahmini talep tespit edilirken, ilgili dönemden önceki dönemlerin talep miktarlarına, gerçekleştikleri zamanla ters orantılı ağırlıklar verilir. Bu sayede en yakın dönemde gerçekleşen talep düzeyi, gerçekleştirilen tahmin çalışmasını en yüksek düzeyde etkileyen veri olurken, en uzak dönemde gerçekleşen talep düzeyi de yapılan tahmin çalışmasını en düşük seviyede etkileyen veri olacaktır (Yücesoy, 2011, s. 17).

**Holt Merodları:** Talep tahmininde üssel düzeltmeler yöntemine mevsim ve trend etkileri Holt tarafından incelenmiştir. Trend bileşeninin etkisinin incelendiği yöntem Holt'un Linear Metodu olarak adlandırılırken, Winters tarafından geliştirilmiş

olan ve trend ile birlikte mevsimsel etkinin incelendiği model Holt-Winters Metodu olarak adlandırılmaktadır (Makridakis ve diğerlerinden aktaran Doğan, 2012, s. 19).

**Box Jenkins Yöntemleri:** Box-Jenkins yöntemi tek değişkenli bir modeldir. Kısa dönemli tahminleme çalışmalarında yüksek düzeyde başarı gösterir. Bu yöntem eşit ve zaman aralıkları ile edinilmiş kesikli ve durağan serilerde kullanılır varsayımına sahiptir. Bu yöntemle az sayıda değişken içeren uygun modeller oluşturulması amaçlanır. Box-Jenkins'ten önce kullanılmakta olan hareketli ortalama ve üssel düzeltme yöntemlerinde tahmin değerleri, otomatik olarak bilgisayar programına müdahale edilmeden elde edilirken, Box-Jenkins tekniğinde bu işlem tamamıyla otomatik değildir. Bu yöntem diğer tekniklere göre oldukça karmaşık ve anlaşılması zor bir tekniktir. Box-Jenkins yönteminin, incelenen serilerin durağan olup olmasına, mevsimsel etki içerip içermemesine göre, farklı şekillerde tahmin modelleri geliştirme yeteneği vardır. Bu yöntem, zaman serileri için doğrusal filtreleme tekniği de denilmektedir (Çağlar'dan aktaran Ballı, 2014, s. 48).

Otoregresif modeller – AR(p) modelleri: Otoregresif (AR) model, zamanla verilerin değişmeyeceği varsayımına dayanmaktadır.

Hareketli ortalamalar – MA(q) modelleri: Hareketli ortalama (MA) süreci, seriye ait gecikmeli hata teriminin, şimdiki zamana ait hata terimini etkilemesi durumu olarak açıklanmaktadır (Ballı, 2014, s. 48).

Durağan olmayan otoregresif hareketli ortalama yöntemi - ARIMA (p,d,q) : Zaman serilerine dayanan sayısal modellerden biridir. Tek değişkenli ya da çok değişkenli olabilir. Talep tahminine dayalı çalışmalarında genellikle tek değişkenli otoregresif bütünleşik hareketli ortalamalar metodu kullanılmaktadır (Hu'dan aktaran Ballı, 2014, s. 49). Bu model otoregresif süreçler içerir. Geçmiş datalardan yararlanarak istatistiki tahmin yapılması, süreçlerin birleştirilmesi ve tüm hareketli ortalama süreçlerinin birlikte kullanılması ya da içerilmesi olarak bilinir (Chung'dan aktaran Ballı, 2014, s. 49).

**Regresyon analizi :** Regresyon analizi, bir bağımlı değişkenin bir veya birden fazla bağımsız veya açıklayıcı değişken ile arasındaki ilişkinin matematiksel bir fonksiyon şeklinde ifade edilmesidir (Çağlar'dan aktaran Ballı, 2014, s. 40).



Regresyon analizi yöntemi sayesinde hangi faktörlerde nasıl değişiklikler gerçekleştirilirse, ilgili değişkende ne yönde (artış veya azalış) değişiklik meydana geleceği ortaya konulabilmektedir (Ballot'dan aktaran Ballı, 2014, s. 40).

Bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenle bağlantısını açıklayan matematiksel model geliştirildikten sonra bağımlı değişkenin tahmini değerini bulmak için faydalanılır (Sarı, 2016, s. 19).

**Korelasyon analizi :** Korelasyon analizi değişkenler arasındaki ilişkinin derecesini ortaya koymaktadır. Bu yöntemde bir değişkenin değeri değiştiğinde diğer bir değişken bununla doğrusal ilişkili olarak değer değiştiriyorsa aralarında korelasyon mevcuttur denilebilir. Bu yöntem denklemin ilişkiyi ne ölçüde tanımladığını göstermektedir. Değişkenler arası ilişki ne derece güçlü ise, oluşturulan tahminlerde o derece iyidir (Sarı, 2016, s. 21).

Korelasyon analizi yöntemi bir talep tahmin yöntemi olarak kullanıldığı gibi farklı birçok yöntemde sonuçların ortaya konmasında da kullanılır (Yücesoy, 2011, s. 21).

**Bulanık Mantık :** Bu kavram ilk olarak Zadeh tarafından yaptığı çalışmalar neticesinde 1965 senesinde ortaya atılmıştır. Zadeh girdilerin farklı üyelik kümelerindeki üyelik derecelerinden söz etmiş ve bu girdilerin çıktı dönüşümünün bahsettiği üyelik kümeleriyle olacağından bahsetmiştir. Bulanık mantık özellikle deneyimsel verilerin veya sayısal olarak ifade edilmesi mümkün olmayan verilerin yorumlanmasında yaygın olarak başvurulan bir yöntemdir (Yazıcıoğlu'ndan aktaran Sarı, 2016, s. 23).

Bulanık mantıkta üyelik kümesi, farklı derecelerde üyeliğe sahip öğelerin olduğu bir kümedir. Bulanık küme, evet-hayır olana ikili üyelik kavramını ikiden fazla kısmi üyelik içeren kavrama dönüştürmek anlamına gelmektedir. Kesin olmama durumu bulanıklık olarak ifade edilmektedir. İnsanların zihinsel seviyede algılama farklılıkları, subjektif hareketleri ve amaç belirsizlik durumları bulanıklık kavramı ile ifade edilebilmektedir (Aikeshan'dan aktaran Sarı, 2016, s. 23).

Bulanık mantığın özellikleri aşağıdaki gibidir (Aikeshan'dan aktaran Sarı, 2016, s. 23) :

- Kesin değil yaklaşık düşünme değerleri kullanılır.

- Bilgiler büyük küçük gibi kavramlarla ifade edilir.
- Tüm ögeler 0,1 aralığında bir derece ile gösterilirler.
- Bulanık çıkarımlar ifadeler arasındaki kurallara göre gerçekleştirilir.
- Mantıksal temelde oluşturulmuş bütün sistemler, bulanık olarak ifade edilebilir.
- Matematik temelli modellerle sonucun kestirilmesi güç olan sistemler için oldukça uygundur.

#### **3.3.4.2.1. Yapay Sinir Ağları Tekniği ile Tahminleme**

Bu başlık altında yapay sinir ağları tekniği hakkında bilgiler verilecek ve çalışmanın son bölümü olan uygulama bölümü için gerekli temeller oluşturulmaya çalışılacaktır.

##### **3.3.4.2.1.1. Yapay Sinir Ağı Tanımları**

Yapay sinir ağlarından bahsedebilmek için öncelikle yapay zeka kavramını düşünmemiz gerekmektedir. Yapay zeka sistemleri üzerinde daha önceki endüstri 4.0 ve 5.0 başlıkları üzerinde bilgilendirmelerde bulunulmuştur. Yapay zeka sistemlerinin temelinde insan beyni gibi kendi kendine öğrenebilen sistemler kurmak vardır.

Yapay zeka insan beyninin düşünme sistemini anlamak ve bu ölçekte simülasyonlar yardımıyla bu beyin fonksiyonunu makinelere aktarmak peşindeki çalışma sistemlerine verilebilecek genel addır.

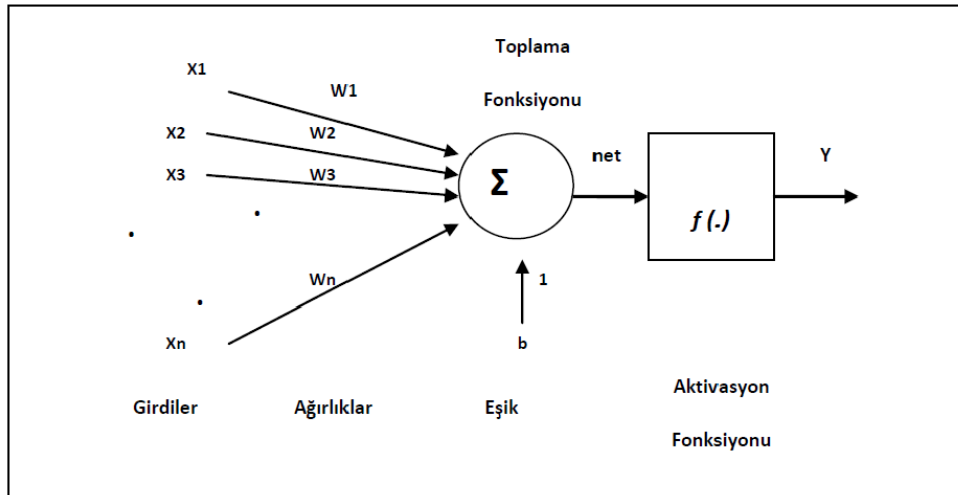
Yapay zeka ilk olarak “Makineler düşünebilir mi?” sorusuyla Alan Turing tarafından ortaya atılmıştır. Ünlü matematikçi Turing’in çözmeye çalıştığı şifre algoritmaları zamanında da makinelerde uygulanmaya çalışılarak bugünkü bilgisayar sistemlerinin temelleri oluşmuştur.

1949 yılında Psikolog Donald Hebb tarafından bilgi ve sinir hücresi ilişkisi ve bilginin nasıl depolandığı konusunda ortaya atılan hipotez Hebb Öğrenme Kuralı olarak adlandırılmıştır. Bu öğrenme kuralı ile McCulloch-Pitts sinir modelleri için öğrenme kurallarının geliştirilmesini mümkün kılmıştır. McCulloch ve Pitts sinir modellerinin temeli, yapay sinir hücrelerini kullanan hesaplama modeli, önermeler mantığı, fizyoloji ve Turing’in hesaplama kuramına dayanmaktaydı. Herhangi bir fonksiyonun sinir hücrelerinden oluşan ağlarla bulunabileceğini ve ağlar tarafından ve mantıksal (ve/veya)

işlemlerinin gerçekleştirilebileceğini gösterdiler. Bu ağ yapılarının uygun şekilde tanımlanmaları halinde öğrenme becerisi kazanabileceğini de ileri sürdüler. Bunun ardından Bernard Widrow ve Marcian Hoff yapay sinir ağları konusundaki ilk ticari yazılım olan Adaline isimli sinir ağını tanımlamışlardır (Baykal ve Beyan'dan aktaran, Doğan 2012, s. 47).

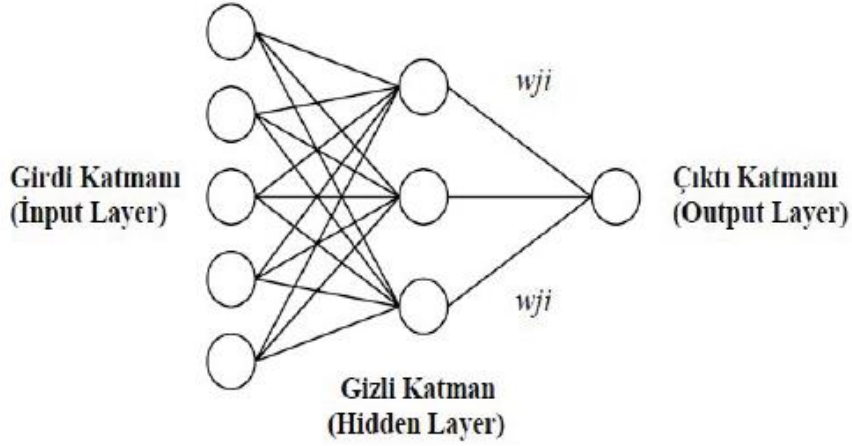
Yapay sinir ağları (Artificial Neural Networks - ANN), insan nasıl çalıştığından yola çıkılarak geliştirilmiş, birbiriyle senkronize çalışan, birbirleriyle bilgi alışverişi yapan yapılardan oluşmaktadır. Problem çözmek amacıyla değerlendirilen yapay sinir elemanları, bir ağ kurulmak suretiyle birbirine bağlanmıştır. Sinir hücreleri arasındaki bilgi akışı bağlantı değerleri ve ilişkilerle gösterilir. Bu sistemin öğrenme kabiliyeti ve zeki olarak tanımlanan davranışı, bağlantılarda kullanılan değerler vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir (Tekin'den aktaran Ballı, 2014, s. 52).

Şekil 19. Örnek Yapay Sinir Ağı Hücresi



Yapay sinir ağlarında her bir girdi farklı ağırlıklar alarak bir fonksiyonla belirli değerler almaktadır. Belirli bir eşik değerinde hücreler aktif olmakta eğer eşik değere ulaşamazlarsa bir sonraki hücreyi tetiklememektedir.

Şekil 20. Örnek Çok Katmanlı Bir Yapay Sinir Ağı Şablonu



Yapay sinir ağları insan beyninin işlevsel özelliklerini taklit eden, öğrenme, ilişkilendirme, bütüne varım ve optimizasyon gibi konularda başvurulan bir modeldir. Sistem örneklerden elde ettiği bilgiler vasıtasıyla kendi deneyimlerini oluşturur ve daha sonra benzer durumlarda benzer kararları verir. Bilim adamları, insan beyninin sahip olduğu özelliklerden faydalanarak beynin sinirsel yapısını araştırmış ve matematiksel modelini ortaya çıkarmaya çalışmıştır. Böylece birçok yapay hücre, sinir ve ağ modelleri ortaya çıkarmışlardır. Sonuç itibariyle, yapay sinir ağı olarak tanımlanan, normal bilgisayarlardan farklı şekillerde işlem gerçekleştirebilen farklı bir bilim sahası oluşmuştur ( Ballı, 2014, ss. 52-53).

#### 3.3.4.2.1.2. Yapay Sinir Ağlarının Genel Özellikleri

Yapay sinir ağlarının genel özellikleri literatür çalışmalarından elde edilen bilgiler neticesinde aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Makine öğrenmesini destekler. Öğrenerek benzer kararlar üretmeye çalışır.
- Çalışma stili bilinen programlama tarzından farklıdır.
- Örnek verileri kullanarak öğrenmeye odaklıdır.
- Yapay sinir hücreleri eğitilmeli ve test edilmedilir.
- Bilgi ağ değerlerinde saklanmaktadır.
- Sistem önceki örnekleri kullanarak hiç görmediği bir sistem hakkında bilgi üretebilir.

- İlişkilendirme, örüntü tamamlama ve sınıflandırmalar gerçekleştirilebilir.
- Eksik bilgi ile çalışabilirler. Bu sebeple hata toleransları yüksektir.
- Kademeli bozulma gösterirler.
- Bilgi ağı tamamında dağıtık haldedir ve sadece sayısal değerlerle çalışırlar. Belirsiz ya da tam olmayan bilgiler de bu şekilde sistemde kullanılabilir.
- Kullanılan parametreler kesin olsa bile kendi aralarında doğrusal bir ilişkiye sahip olmayabilir. Bu sebeple lineer tekniklerin çalışma zorluğu yapay sinir ağlarında yaşanmaz. Karmaşık problemlerde kolay çözümler üretilebilir.
- Eşzamanlı işlem yapabilme özellikleri sayesinde sistem çok fazla veriyi kısa bir sürede işleme kabiliyetine sahiptir.
- Yapay sinir ağı sistemleri öğrenme yetenekleri sonucu genelleme yapabilirler.
- Yapay sinir ağları kendi ilişkilerini öğrenme düzeylerine göre oluşturabilir ve denklem içermezler.
- Teorik olarak sınırsız sayıda parametre ile çalışabilirler. Her katmanda sadece gerektiği zaman kullanılacak şekilde sistemler eğitilebilirler.
- Tekrar tekrar eğitilme yetenekleri sayesinde adaptasyon özelliği yüksektir.
- Yerel İşlem ve Esneklik: Yapay sinir ağı modelleri bağlantı ağırlıklarının ayarlanabilmesi ve miktar bakımından çok fazla sinir hücresine sahip olma gibi özellikleri sebebiyle kayda değer derecede esnek bir yapıyla çalışırlar. Bu esneklikten dolayı ağı bir kısmında oluşabilecek bir zarar sadece performans düşüklüğü yaratır. Model tam olarak işlevini yitirmez. Sinirsel hesaplamanın temel güç kaynağı, toplam bağlantı yapısıdır. Bu da yapay sinir ağları yönteminin en karmaşık problemlere bile uygulanabildiğini ve çözümler sağladığını gösterir (Aydın, 2012, s. 16).

Yapay sinir ağlarının genel özellikleri başlığında listelenen maddeler genel anlamda avantajlarını da yansıtmaktadır. Ancak her tekniğin dezavantajı olduğu gibi yapay sinir ağları da dezavantajlar içerir. Bu dezavantajlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Yapay sinir ağlarının donanıma bağımlı çalışmaları:
- Problem çözümünü sağlayabilecek ağ yapısının tespitinin genel olarak deneme yanılma usulü ile yapılması
- Bazı ağlarda ağı parametre değerlerinin belirlenmesinde bir kural olmaması
- Modellenen yapıda eğitimin ne zaman bitirileceğine dair geliştirilmiş bir teknik

olmaması

- Geniş veri seti gereksinimi:
- Modelleme yapılarına rağmen uygulamanın zor ve karmaşık olması:
- Ağın davranışlarının açıklanamaması (Aydın, 2012, ss. 19-20).

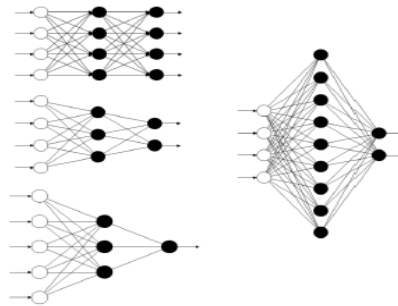
### 3.3.4.2.1.3. Yapay Sinir Ağı Mimarileri

Yapay sinir ağları, sinir hücrelerinin birbirlerine farklı şekillerde bağlanmalarıyla oluşmaktadır. Hücre çıkışları, diğer hücrelere veya kendisine ağırlıklarla veya gecikme birimleriyle bağlanabilir. Bu bağlantı biçimleri, öğrenme kuralları ve aktivasyon fonksiyonları göz önüne alınarak farklı mimariler ortaya çıkarılmıştır (Ballı, 2014, s. 77).

Yapay sinir ağları içerdikleri sinir elemanlarının arasındaki bağlantılar ve bağlantı yönleri dikkate alınarak veya sinir ağındaki işaretlerin akış yönü dikkate alınarak birbirinden ayrılabilirler. Bu yaklaşımla modeller ileri beslemeli yapay sinir ağları ve geri beslemeli yapay sinir ağları olarak ikiye ayrılır (Serttaş'tan aktaran Sarı, 2016, s. 42).

İleri beslemeli yapay sinir ağları bilgi akışının girdiden çıktıya doğru tek yönde aktığı birbirine bağlanmış nöron setinden oluşur. Bu yapılarda ileri yöndeki bağlantıları başlangıç noktasına geri yönlendiren bir döngü yoktur (Uygun, 2015, s. 34).

Şekil 21. Örnek İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağı Mimarileri (Barutçu'dan aktaran Akın, 2017, s. 47)



Kaynak: Akın, B. (2017), Yapay Sinir Ağlarıyla Konya Bölgesinde Kullanıcı Doğal Gaz Tüketim Öngörüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü

İleri beslemeli yapay sinir ağı yapılarında, sinir hücreleri katmansal olarak dizyan edilir ve her katmanda bulunan sinir hücrelerinin çıkışları sonraki katmana ağırlıklar eklenmek suretiyle giriş olarak verilir. Giriş katmanı, dış ortamlardan aldığı bilgileri hiçbir değişikliğe uğratmadan gizli katmandaki hücrelere iletir. Bilgi, orta ve çıkış katmanında işlenerek ağ çıkışı belirlenir. Bu çalışma yapısı ile ileri beslemeli yapay sinir ağları doğrusal olmayan statik bir işlevi gerçekleştirir. İleri besleme sinir ağlarında, sinir hücreleri arasındaki bağlantılar bir döngü gerçekleştirmezler ve bu ağlar genel olarak probleme hızlıca sonuçlar üretebilirler (Sevinçtekin'den aktaran Uygun, 2015, ss. 34-35).

Geri beslemeli yapay sinir ağlarında dinamik yaklaşımla dizayn edilmiş bütünsel bir ağ yapısı ortaya çıkmaktadır. Bu tür yapılar bölgesel dağıtılmış hafızaya sahiptirler. Ağın belirli bir zamandaki çıktısı hem o zamandaki hem de daha önceki zamanlardaki girdilerle ilişkin sonuçları içermektedir.

Geri beslemeli yapılarda girdi sinyali ara katmanlardan çıktı katmanına doğru yayılır ve nöronun çıktısı girdiyi tekrar beslemek üzere ayarlanır Bağlantılar her iki yönde yayılan sinyallere sahiptir. Denge noktasına varılana kadar durum değişken olduğundan dinamik yapılardır. Girdi değişene ve yeni bir denge noktasına ihtiyaç duyulana kadar dengede kalırlar.

Geri beslemeli yapay sinir ağlarında gerçekleşen iletim hızı ileri beslemeli yapay sinir ağlarına kıyasla biraz düşüktür. Bunu ortaya çıkaran sebep, geri besleme döngülerinin ağı genel olarak gecikmeye uğratması olarak tanımlanabilir (Uygun, 2015, s. 35).

Geri beslemeli yapay sinir ağları modeli ile ileri beslemeli yapay sinir ağları modeline göre daha çok ve farklı dinamik yapılarda sinir ağı modelleri ortaya çıkarılabilir. Ancak ileri beslemeli ağlar pratikte daha uygulanabilir olduğu için akademik olarak daha çok kullanılır. Geri beslemeli ağlar hedeflenmiş modellerde uzmanlaşmayı zorlaştırabilmekte ve içerdikleri algoritmalar sebebiyle yapay sinir ağı sistemlerinin eğitilmelerini güçleştirebilmektedir (Zhang'dan aktaran Yücesoy, 2011, s. 50).

#### 3.3.4.2.1.4.Yapay Sinir Ağlarının Temel Öğrenme Kuralları

Yapay sinir ağlarının özelliklerinden olan öğrenbilme konusu üzerinde önceki başlıklarda bilgiler sunulmuştur. Öğrenme doğru bir biçimde gerçekleştirilmezse hatalı sonuçları tahmin etmemiz çok olağandır. Doğru öğrenme ise doğru ve biçimsel açıdan temiz verilerin bir bütün halindeki analizinden ortaya çıkacaktır.

Yapay sinir ağları ile öğrenme sadece veritabanı uygulaması olarak düşünülmemelidir. Değişen durumların tahmini geçmiş deneyimlerden faydalanılarak yapılabilirse sistemler zeki olarak adlandırılabilir. Eğer sistem geçmişten faydalanırken doğru ağırlıklar atayabiliyor ise her değişiklik durumu için ortaya yeni programlama problemi çıkmaz (Alpaydın'dan aktaran Doğan, 2012, s. 50). Dolayısıyla bilgisayar uygulamaları her durumda insan etkileşimi vasıtasıyla öğrenme kurallarıyla desteklenmelidir.

##### Yapay öğrenme kuralları

- danışmanlı öğrenme
- danışmansız öğrenme
- pekiştirerek öğrenme

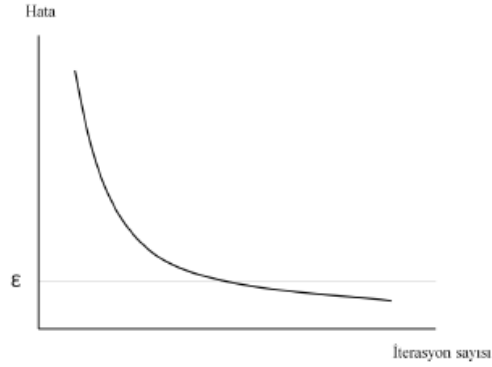
olmak üzere üç kategoride incelenebilir.

Danışmanlı öğrenmede , istenilen çıkış değerinin elde edilebilmesi çıkış hatasının düşürülmesine, ağırlıkların uyarlanabilir olmasına bağlıdır. Danışmalı öğrenmede giriş değerleri ile birlikte çıkış değerleri de sisteme tanıtılır. Danışmansız öğrenmede veya pekiştirerek öğrenmede kurallarında istenilen çıktı değerleri tasarlanan sistemde tanıtılmaz (Elmas'dan aktaran Doğan, 2012, s. 50).

Tekrarlar suretiyle öğrenen bir ağ her defasında hata payını düşürür. Aşağıda gösterilen şekilde bu daha açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 22. YSA'da Öğrenme Eğrisi



Kaynak: Öztemel'den aktaran Doğan, 2012, s. 51

Şekil 17'de belirli bir tekrar sayısından sonra hatanın daha fazla azalmadığı izlenmektedir. Bu durum ağıın öğrenmesinin durduğu ve daha doğru bir sonuç bulamayacağını özetlemektedir (Öztemel'den aktaran Doğan, 2012, s. 51).

Literatür taramalarında öğrenme dört temel kural üzereinde genel kabul görmüş diğer öğrenme tekniklerinin bu tekniklerden etkilenecek ortaya konulduğu üzerine dikkat çekilmiştir.

Temel öğrenme kuralları Hebb, Hopfield, Delta ve Kohonen kurallarıdır.

Hebb öğrenme kuralı: Bilinen en eski öğrenme kurallarından biri olan Hebb öğrenme kuralı 1949 yılında geliştirilmiştir ve diğer kuralların da temelini inşa etmektedir. Bu kurala göre, öğrenme işareti hücre çıkışına eşittir. Açıklanacak olursa bir hücre aktif durumdaysa bağlı olduğu hücreyi aktif duruma getirir. Pasif durumdaysa bağlı olduğu hücreyi pasif duruma getirmeye çalışmaktadır (Adıyaman, 2007, s. 12). Bu durumda, yapay sinir ağı elemanı olan sinir hücresi diğer bir sinir hücresinden bilgi alır ise ve her iki hücre de aktifse (aynı işareti taşıyorsa) bu iki hücrenin arasında gerçekleşen bağlantı güçlendirilmelidir (Öztemel'den aktaran Akın, 2017, s. 51).

Hopfield öğrenme kuralı: Hebb öğrenme kuralına benzer bir yapıdadır ancak bir istisna içermektedir. Hopfield öğrenme kuralı, Hebb kuralından farklı olarak yapay sinir ağı elemanlarının bağlantılarının ne kadar güçlendirilmesi ya da zayıflatılması

gerektiğini de belirler. Hopfield öğrenme kuralına göre, ağırlıkların güçlendirilmesi ya da zayıflatılması işlemi için büyüklük tanımlaması gerekmektedir. Arzu edilen çıktı ve girdiden her ikisi de aktif veya pasifse, bağlantının ağırlığı öğrenme oranı miktarında artırılır. Ters durumda ise bir o kadar azaltılır. Ağırlıklarda güçlendirilme ya da zayıflatma, öğrenme katsayısı yardımıyla gerçekleştirilir. Öğrenme katsayısı, genel olarak 0 ile 1 arasında kullanıcının belirlediği pozitif bir katsayıdır (Tebelskis'den aktaran Yücesoy, 2011 , s. 54).

Delta öğrenme kuralı: Hebb kuralının geliştirilmiş hali de denilen en çok kullanılan kurallardan biri de Delta ağıdır. Beklenen çıktı ile gerçekleşen çıktı arasındaki farkı azaltmak için ağırlıkların sürekli değiştirilmesi gerektiğini belirtir. Ağın hatasının minimizasyonu için, ağırlıklar sürekli güncellenmektedir. Bu kural en küçük kareler kuralını kullanır (Sarı, 2016, s. 52).

Kohonen öğrenme kuralı: Kohonen öğrenme kuralında ise ağ elemanları arasında ağırlık değiştirmek amaçlı bir yarış durumu söz konusu olmaktadır. En büyük çıktıyı üreten ağ elemanı kazanan eleman olmaktadır. Bu sayede bağlantı ağırlıkları değiştirir. Bu durum, ilgili hücrenin yakınındaki hücrelere nispeten daha kuvvetli bir hale gelmesidir. Bu sayede hem kazanan hücrelerin hem de komşuları sayılan hücrelerin ağırlıklarını değiştirmesine izin verilmektedir (Öztemel'den aktaran Doğan, 2012, s. 52).

### **3.4. Seçilen Teknik ve Değerlendirmesi**

Çalışmanın uygulama bölümünde üzere doğru bir tekniğin seçilip kullanılması için bu bölümde sırasıyla talep, fiyat ve tahminleme kavramları literatür araştırmaları yapılarak incelenmiştir. Tahminleme çalışmaları kalitatif (nitel – yargısal) yöntemler ve kantitatif (nicel- objektif) yöntemler olmak üzere sırasıyla 7 ve 12 farklı başlıkta incelenmiştir.

Çalışmada kullanılacak değişkenlerin elektriğin doğası gereği sayısal değerler içermesi sebebiyle kalitatif (nitel – yargısal) yöntemler tercih edilmemiştir. Çünkü bu yöntemleri genel itibarıyla geçmiş veri karşılaştırmalarında tercih edilmedikleri görülmüştür. Bu sebeple kantitatif (nicel- objektif) yöntemler daha yoğun incelenmiş aralarından bir tanesi seçilmiştir.

Yapay sinir ağı, uygulamamızda piyasa takas fiyatı tahminlemede kullanılmak üzere seçilen tekniktir. Daha önceki bölümlerde aktarıldığı üzere elektrik piyasa takas fiyatının oluşumunda başta tüketim tahmin planları olmak üzere mevsim, gelir, ekonomik büyüme, istihdam, hane halkı sayısı, zaman dilimi ve kişi başına milli gelir gibi birçok faktör etkili olmaktadır.

Literatür araştırmalarında elektrik fiyatlarının hava durumu, döviz fiyatları, iklim, mevsimsellik vb birçok faktörden etkilendiği gözlemlenmiştir (Pilipovic'den aktaran Aydın, 2010, s. 109) (Gültekin'den aktaran Boltürk, 2013, s. 19 ). Spot piyasalar bu sebeplerle spekülasyonlara oldukça açık ve volatilitesi oldukça yüksek piyasalardır. Aynı zamanda elektrik fiyatları literatürde genellikle mevsimsel olması, ortalamaya dönme özelliği ve pik yapma özellikleriyle yer bulmuştur.

Enerji alanındaki tahminleme çalışmalarında sıklıkla yapay sinir ağı metoduna başvurulduğu görülmektedir. Volatilitesi yüksek elektrik piyasalarında düzensiz ve dalgalı fiyat oluşumları literatürde de yapay sinir ağı metodunun kullanımını yaygınlaştırmıştır. Enerji alanındaki tahminlemelerde kullanılan parametreler ne kadar kesin olsa bile kendi aralarında doğrusal ilişkiler içermeyebilirler. Bu sebeple lineer tekniklerle tahminleme çalışmalarının yapılma zorluğu yapay sinir ağı ile tahminleme çalışmalarında yaşanmaz. Çünkü yapay sinir ağı içerdikleri aktivasyon fonksiyonları bakımından sigmoid fonksiyonları desteklemektedir. Bu sayede karmaşık problemlerde kolay çözümler üretebildikleri için enerji alanındaki tahminleme çalışmalarında sıklıkla kullanılmışlardır.

Ayrıca yapay sinir ağlarının eşzamanlı işlem yapabilme ve çok fazla veriyi kısa bir sürede işleyebilme gibi özellikleri sebebiyle uygulamada avantaj sağlayacağı düşünülmüştür.

Teorik olarak sınırsız sayıda parametre ile çalışabilmeleri, istenildiği takdirde tekrar eğitilebilme yetenekleri sebebiyle yapay sinir ağı adaptasyon özelliği yüksek tekniklerden biridir. Çalışmada bu özellikleri de göz önünde bulundurularak tercih edilmiştir.

## 4. BÖLÜM

### SPOT ELEKTRİK PİYASALARINDA IOT DESTEKLİ TALEP TAHMİNLERİNE GÖRE FİYATLAMA UYGULAMASI

Bu bölümde önceki bölümlerdeki bilgiler ışığında yapay sinir ağları metodu ile bir fiyat tahmin uygulaması gerçekleştirilmiştir. Yapay sinir ağı modelinde tahmin değerleri ve hata oranları karşılaştırılarak ve çalışmanın teorik kısmında bahsedilen IOT, akıllı şebeke yaklaşımları ve bunlara bağlı olarak gelişen teknolojik gelişmeler ışığında spot enerji piyasalarında gün öncesi ve gün içi fiyatlamalardaki tahminleme hatalarının kaynağı olan, arz ve talep tahminleme hata oranlarının düşürülmesine katkıda bulunmak amaçlanmıştır.

Gerçekleştirilen uygulamada spot elektrik piyasasında gün öncesi piyasaya ve gün içi piyasaya ait, piyasa takas fiyatlarına etki eden verilerin saatlik ve günlük bazda aynı parametreler içeren tahmin modelleriyle karşılaştırması yapılmıştır. Uygulanan yapay sinir ağı modelinde tahmin değerleri ve hata oranları karşılaştırılarak üçüncü bölümde anlatılan teknolojik gelişmeler ışığında nasıl daha etkin tahminlemeler ve doğru fiyatlamalar yapılabileceği açıklanmıştır.

Çalışmalar RapidMiner platformunun RapidMiner Studio 9.0 uygulaması ve FileMaker platformunun FileMaker Pro 15 Advanced uygulamasında gerçekleştirilmiştir. FileMaker uygulamasında veritabanı bilgi keşfi süreci aşamaları uygulanmış RapidMiner uygulamasında ise yapay zeka modülü ile tahminleme çalışmaları yapılmıştır.

FileMaker veritabanı ve arayüz uygulama geliştirme çalışmalarının hızlı ve esnek bir şekilde yapılabildiği bir programlama aracıdır. Bu platform ve uygulama araçları ile mobil, web ve masaüstü uygulamalar geliştirilebilir ve tüm süreçler işe özel şekilde tasarlanabilmektedir. Farklı veri kaynaklarına erişebilme ve kodlama gibi birçok özelliği sayesinde farklı kurumsal kaynak planlama ve iş zekası çözümleri üretmekte rahatlıkla kullanılabilir.

RapidMiner Stüdyo, veri bilim adamlarını, fikirlerin hızlı prototip oluşturulmasından, kritik öneme sahip modellerin tasarlanmasına kadar daha üretken

hale getiren görsel bir iş akışı tasarımcısıdır. RapidMiner açık ve genişletilebilir bir veri bilimi platformu aracılığıyla işletmeye yapay zeka getirmeyi amaçlar. Analiz ekipleri için oluşturulmuş olan RapidMiner, veri hazırlığından makine öğrenmesinden tahmini model dağıtımına kadar tüm veri bilimi yaşam döngüsünü birleştirir (<https://rapidminer.com>).

#### 4.1. Veri

Yapılan araştırmada EXİST şeffaflık platformunda yayınlanmış 2016-2017 yıllarına ait veriler ve Kayseri ve Civarı Elektrik Türk A.Ş. (KCETAŞ) dağıtım şirketinden alınan verilerden yararlanılmıştır. 2016-2017 yılları arasındaki veriler incelenerek aşağıda listelenen veriler üzerinde çalışma gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4. 2016-2017 Yıllarına Ait Saatlik Bazda Yüksek Frekanslı Çalışma Verileri

1	Tarih	Verinin ait olduğu takvimi gün ay ve yıl olarak ayırmamıza yardımcı olan parametreyi ifade etmektedir.
2	Saat	Verinin ait olduğu tarihteki zaman dilimini belirtmekte kullanılan parametredir.
3	Saatlik Gerçek Zamanlı Tüketim Miktarı	Belirtilen tarih ve saatte reel olarak gerçekleşen toplam tüketim miktarını MWh olarak belirten veridir.
4	Saatlik Gerçek Zamanlı Üretim Miktarı	Belirtilen tarih ve saatte reel olarak gerçekleşen toplam üretim miktarını MWh olarak belirten veridir.
5	Saatlik Gün Öncesi Piyasa Takas Fiyatı	Gün öncesi piyasada gerçekleşen tekliflerin kesişiminde oluşmuş fiyatı TL/MWh olarak belirten veridir.
6	Saatlik Tüketim Tahmin Planı	Belirtilen tarih ve saatte gerçekleşmesi beklenen tüketimi MWh olarak belirten parametredir.
7	Saatlik Uzlaştırmaya Esas Çekiş Miktarı	Belirtilen tarih ve saatte gerçekleşmiş eşleştirmelerin konusu olan tüketimi MWh cinsinden ifade eden veridir.
8	Saatlik Uzlaştırmaya Esas Veriş Miktarı	Belirtilen tarih ve saatte gerçekleşmiş eşleştirmelerin konusu olan üretimi MWh cinsinden ifade eden veridir.

Tablo 4’te açıklamaları yapılan saatlik bazdaki yüksek frekanslı veriler yapay sinir ağı uygulamasında ağ yapısının girdi değişkenlerini oluşturmaktadır. Bu değişkenler yardımıyla sinir ağında yapılan tahminleme çalışmasıyla saatlik bazda gün öncesi piyasa takas fiyatı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Saatlik bazdaki bu verilerle gün öncesi piyasa takas fiyatını tahmin eden ağ yapısı gün öncesi piyasa takas fiyatına tahminleme bakımından hangi düzeyde erişebildiğini kontrol ederek uygulama çıktıları bölümündeki performans karşılaştırmalarını bize sunmuştur.

Veri madenciliğ uygulamalarından olan RapidMiner ile yapay zeka algoritmasını kullanarak yaptığımız tahminleme çalışmasının öncesinde gerçekleştirilen süreçte FileMaker platformunda veriler veritabanı bilgi keşfi sürecinde

- Veri Hazırlama
- Veri Toplama
- Değerlendirme
- Birleştirme ve Temizleme
- Seçme ve Dönüştürme

aşamalarında incelenmiştir. Tablo 4’te listelenen veriler ilgili veri tiplerine göre günlük ortalama bazında veri seti kullanımını amaçlanarak uygun hale getirilmek için veri tipi düzenlemesi, ayrıştırma ve tasnif gibi süreçlerden geçirilerek düzenli bir hale getirilmiştir.

Bu çalışmalar neticesinden EXİST Şeffaflık Platformu’ndan alınan veriler günlük bazda ayrıştırılmış ve aşağıdaki başlıklarda listelenmiştir.

Tablo 5. 2016-2017 Yıllarına Günlük Bazda Düşük Frekanslı Çalışma Verileri

1	Tarih
2	Günlük Ortalama Gerçek Zamanlı Tüketim Miktarı (MWh)
3	Günlük Ortalama Gerçek Zamanlı Üretim Miktarı (MWh)
4	Günlük Ortalama Gün Öncesi Piyasa Takas Fiyatı (TL/MWh)
5	Günlük Ortalama Tüketim Tahmin Planı (MWh)
6	Günlük Ortalama Uzlaştırmaya Esas Çekiş Miktarı (MWh)
7	Günlük Ortalama Uzlaştırmaya Esas Veri Miktarı (MWh)

Ortaya çıkarılan veri setleri yapay sinir ağı uygulamasında kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Tablo 5'te açıklamaları yapılan günlük bazdaki düşük frekanslı veriler gerçekleştirilen ikinci yapay sinir ağı uygulamasında ağ yapısının girdi değişkenlerini oluşturmaktadır. Bu değişkenler yardımıyla sinir ağında yapılan tahminleme çalışmasıyla günlük bazda gün öncesi ortalama piyasa takas fiyatı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Günlük ortalama bazdaki bu verilerle gün öncesi ortalama piyasa takas fiyatını tahmin eden ağ yapısı bu değere tahminleme bakımından hangi düzeyde erişebildiğini kontrol ederek uygulama çıktılarını bölümündeki performans karşılaştırmalarını bize sunmuştur.

#### **4.2. Yöntem ve Model Belirleme**

Yapay sinir ağı, uygulamamızda piyasa takas fiyatı tahminlemesinde kullanılmak üzere seçilen tekniktir. Daha önceki bölümlerde aktarıldığı üzere elektrik piyasa takas fiyatının oluşumunda başta tüketim tahmin planları olmak üzere mevsim, gelir, ekonomik büyüme, istihdam, hane halkı sayısı, zaman dilimi ve kişi başına milli gelir gibi birçok faktör etkili olmaktadır. Literatür araştırmalarında elektrik fiyatlarının hava durumu, döviz fiyatları, iklim, mevsimsellik vb birçok faktörden etkilendiği gözlemlenmiştir (Pilipovic'den aktaran Aydın, 2010, s. 109) (Gültekin'den aktaran Boltürk, 2013, s. 19 ). Spot piyasalar bu sebeplerle spekülasyonlara oldukça açık ve volatilesi oldukça yüksek piyasalardır. Aynı zamanda elektrik fiyatları literatürde genellikle mevsimsel olması, ortalamaya dönme özelliği ve pik yapma özellikleriyle yer bulmuştur.

Enerji alanındaki tahminleme çalışmalarında sıklıkla yapay sinir ağı metoduna başvurulduğu görülmektedir. Volatilesi yüksek elektrik piyasalarında düzensiz ve dalgalı fiyat oluşumları literatürde de yapay sinir ağı metodunun kullanımını yaygınlaştırmıştır. Enerji alanındaki tahminlemelerde kullanılan parametreler ne kadar kesin olsa bile kendi aralarında doğrusal ilişkiler içermeyebilirler. Bu sebeple lineer tekniklerle tahminleme çalışmalarının yapılma zorluğu yapay sinir ağı ile tahminleme çalışmalarında yaşanmaz. Çünkü yapay sinir ağı içerdikleri aktivasyon fonksiyonları bakımından sigmoid fonksiyonları desteklemektedir. Bu

sayede karmaşık problemlerde kolay çözümler üretebildikleri için enerji alanındaki tahminleme çalışmalarında sıklıkla kullanılmışlardır.

Ayrıca yapay sinir ağlarının eşzamanlı işlem yapabilme ve çok fazla veriyi kısa bir sürede işleyebilme gibi özellikleri sebebiyle uygulamada avantaj sağlayacağı düşünülmüştür.

Teorik olarak sınırsız sayıda parametre ile çalışabilmeleri, istenildiği takdirde tekrar eğitilebilme yetenekleri sebebiyle yapay sinir ağları adaptasyon özelliği yüksek tekniklerden biridir. Çalışmada bu özellikleri de göz önünde bulundurularak tercih edilmiştir.

Gün öncesi piyasalar tüketim tahminlerine göre , gün içi ve dengeleme piyasaları da anlık tüketimlere göre işlemekte ve elektrik piyasa takas fiyatları bu şekilde oluşmaktadır. Piyasadaki etkinlik ve verimlilik ancak elektriğin üretildiği ve tüketildiği bağımsız birimlerin verilerinin ölçülmesiyle gerçekleştirilebilir. Dağıtım şirketleri ve iletim şirketlerinin yaptığı tahminleme çalışmaları da bu söylemi desteklemektedir. Zira gün öncesi piyasalarda dağıtım şirketleri tahmini tüketim miktarını sunmakta ve buna miktara göre gelen üretim teklifleri eşleştirilerek piyasa takas fiyatı oluşturulmaktadır.

Elektrik depolanamaz bir meta olduğu gibi üretildiği zaman tüketilmesi gereken bir yapıda olduğu için üretimden son tüketiciye ulaştırılmasına kadar geçen sürecin her aşamasında ölçülmesi gerekmektedir.

IOT ve Endüstri 4.0 perspektifinde piyasa incelendiğinde piyasanın tüm aşamalarının verilerden desteklenmesi gerektiği açıktır. Mevcut durumda da piyasa verileri desteklenmektedir -yeterli ölçekte olamamakla birlikte- ve bu piyasa paydaşları arasında şeffaf bir biçimde izlenebilsin amacıyla EXIST Şeffaflık platformu kurulmuştur.

Tahminleme literatüründe yapılan incelemeler neticesinde kullanılacak örnek sayısının miktarının tahmin doğruluğunu direkt ve önemli ölçüde etkilediği vurgulanmaktadır.

Mevcut piyasa verileri incelendiğinde üretim ve tüketim verilerinin en düşük zaman aralığı olarak saatlik bazda incelendiği ortaya çıkmaktadır. Piyasalarda eşleşme



fiyatları (Alış-Satış İşlemleri), kontrat adı, türü, miktarı gibi birçok parametrede dakikalık bazda şeffaf bir şekilde yayınlanabilirken teknolojik altyapı yetersizliği sebebiyle tüketim ve üretim verileri en fazla bir saat dilimli aralıklarla yayınlanmaktadır. Teknolojik altyapı yetersizliğinden maksat her uç birimden kısa aralıklarla ölçüm sonuçlarının alınamamasıdır. Ancak ilerleyen dönemlerde akıllı şebeke dönüşümleriyle bu veriler rahatlıkla alınabilecektir.

Güncel teknolojilerin akıllı şebekelerde kullanılması için çalışmalar yapılmakta ve tespit edilen pilot bölgelerde tüketim tahminlerini belirtmekle sorumlu olan dağıtım şirketlerince gerçekleştirilmektedir. Endüstri 4.0 vizyonunda geliştirilmiş çeşitli enerji tüketimi ölçüm elemanları (bağımsız bölümlerin girişlerine yerleştirilen akıllı sayaçlar, ilgili bölümde tüketimi ölçebilen prizler vb.) dünya genelinde kullanılmaya başlanmıştır.

Bu bakış açısı nitelikli ve kısa zaman aralıklı birçok verinin tahminleme çalışmalarında kullanımını ve hatalı tahminlerin düşürülmesini desteklemektedir. Bu sebeple uygulamada mevcut piyasa verileri saatlik değerlerle ve bu aralıkların içerdiği değerlerden üretilmiş günlük ortalama değerlerle gerçekleştirilmiştir. Tahminleme çalışmalarının doğruluk oranları içerdikleri veri sayısı bakımından karşılaştırılarak fiyatlamayı tetikleyen üretim-tüketim verileri ve tüketim tahminlerinin doğruluk paylarının artışıyla elektrik piyasasının nasıl daha etkin işleyebileceğine dair bir fiyatlamaya uygulaması ortaya konulmuştur.

Modelin temel varsayımı kısa zaman aralıklarında ölçüm sayısı piyasa fiyatı tahminlerindeki doğruluk oranlarını doğrudan etkiler düşüncesine dayanmaktadır. Ancak bu şekilde dinamik ve “akıllı” bir fiyatlamaya gerçekleştirilebilir.

Veri analizi ve değerlendirme kısmında bu fiyatlamaya modelinin doğruluğu ortaya konulmuştur.

Yapılan çalışmada tahminleme tekniklerinden nicel (objektif) sınıflandırma altında bulunan ve yapay zeka teknikleri arasında kabul edilen yapay sinir ağları tekniği kullanılmıştır. RapidMiner uygulaması içerdiği yapay sinir ağları aracında geri beslemeli yapay sinir ağları mimarisini kullanmaktadır. Çalışmamız da bu mimari üzerine kurulmuştur. Yapay sinir ağları ise doğrusal olmayan veri kümelerinde analiz sonuçları bakımından oldukça tercih edilen bir yöntemdir. Gözlemlenen elektrik konulu

çalışmaların çok büyük bir bölümünde de yapay sinir ağları modeli bu sebeple tercih edilmiştir.

#### 4.3. Verilerin Analizi ve Değerlendirilmesi

Araştırmada kullanılan verilerin büyük bir kısmı EPIAŞ bünyesinde hizmete sunulan EXIST Şeffaflık Platformunun web servisi kullanılarak, diğer kısmı ise Kayseri ve Civarı Elektrik Türk A.Ş. (KCETAŞ) dağıtım şirketinden elde edilmiştir.

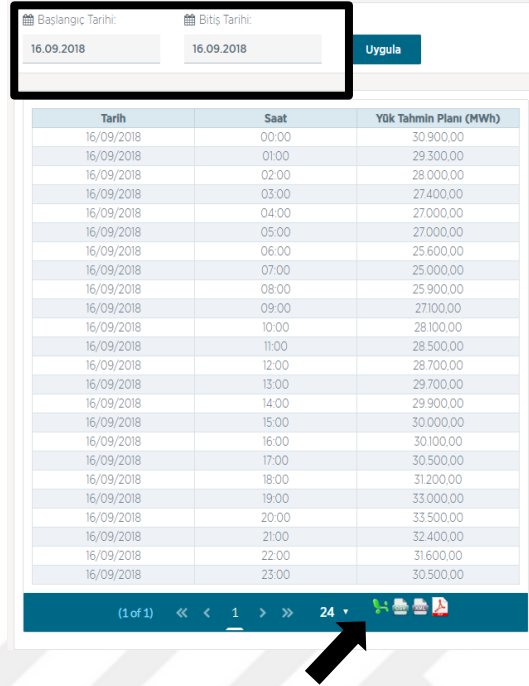
EXIST platformu girişinden sonra solda bulunan butonlar sayesinde istenilen sayfalara geçiş yapılarak ilgili verilere ulaşılmıştır.

Şekil 23. EXIST Platformu Web Arayüzü



Bu veriler 2016-2017 dönemini içerecek şekilde sorgulanıp, .xlsx uzantılı olarak Excel uygulamasında kullanılabilir şekilde indirilmiştir.

## Şekil 24. Sorgulama İşlemleri



Baslangic Tarihi: 16.09.2018 Bitis Tarihi: 16.09.2018 Uygula

Tarih	Saat	Yük Tahmin Planı (MWh)
16/09/2018	00:00	30.900,00
16/09/2018	01:00	29.300,00
16/09/2018	02:00	28.000,00
16/09/2018	03:00	27.400,00
16/09/2018	04:00	27.000,00
16/09/2018	05:00	27.000,00
16/09/2018	06:00	25.600,00
16/09/2018	07:00	25.000,00
16/09/2018	08:00	25.900,00
16/09/2018	09:00	27.100,00
16/09/2018	10:00	28.100,00
16/09/2018	11:00	28.500,00
16/09/2018	12:00	28.700,00
16/09/2018	13:00	29.700,00
16/09/2018	14:00	29.900,00
16/09/2018	15:00	30.000,00
16/09/2018	16:00	30.100,00
16/09/2018	17:00	30.500,00
16/09/2018	18:00	31.200,00
16/09/2018	19:00	33.000,00
16/09/2018	20:00	33.500,00
16/09/2018	21:00	32.400,00
16/09/2018	22:00	31.600,00
16/09/2018	23:00	30.500,00

(1 of 1) << < 1 > >> 24

Erişilen veriler 2016-2017 yıllarına ait tarih, saat, saatlik gerçek zamanlı tüketim miktarı, saatlik gerçek zamanlı üretim miktarı, saatlik gün öncesi piyasa takas fiyatı, saatlik tüketim tahmin planı, saatlik uzlaştırmaya esas çekim (tüketim) miktarı, saatlik uzlaştırmaya esas üretim miktarı bilgilerini içermektedir.

Neden bu verilerin seçildiğini açıklamak gerekirse gün içinde piyasada gerçek zamanlı üretim ve tüketimin dengede olması beklenmektedir. Ancak iletim kayıpları vb. sebeplerle gerçek anlamdaki üretim ve tüketim arasındaki fark çoğu zaman tahmin edilememekle birlikte gün içi dengeleme piyasasında ek alımlarla bu süreç dengelenmektedir.

Gerçek tüketim gerçek üretimden büyük olduğu durumda dengeleme piyasasında tüketim telafisi ek alımlar yapılarak gerçekleşmektedir. Bu da birim elektrik fiyatlarının gün öncesi piyasa takas fiyatından daha yüksek bir fiyata alınması anlamına gelmektedir. Bu durum ise piyasa elektrik takas fiyatlarını artırmaktadır. Gerçekleşen tüketim gerçekleşen üretimden düşük olur ise bu durum da sistem işletmecisi için kayıp oluşturmakla birlikte üretim fazlası kısım dışarıdan temin edildiyse yine cari açığı tetiklemektedir. Uzlaştırmaya esas üretim ve tüketim miktarları farkı ise kayıp enerji miktarlarının da dahil edildiği piyasa eşleştirme miktarlarını ifade etmektedir. Sistem

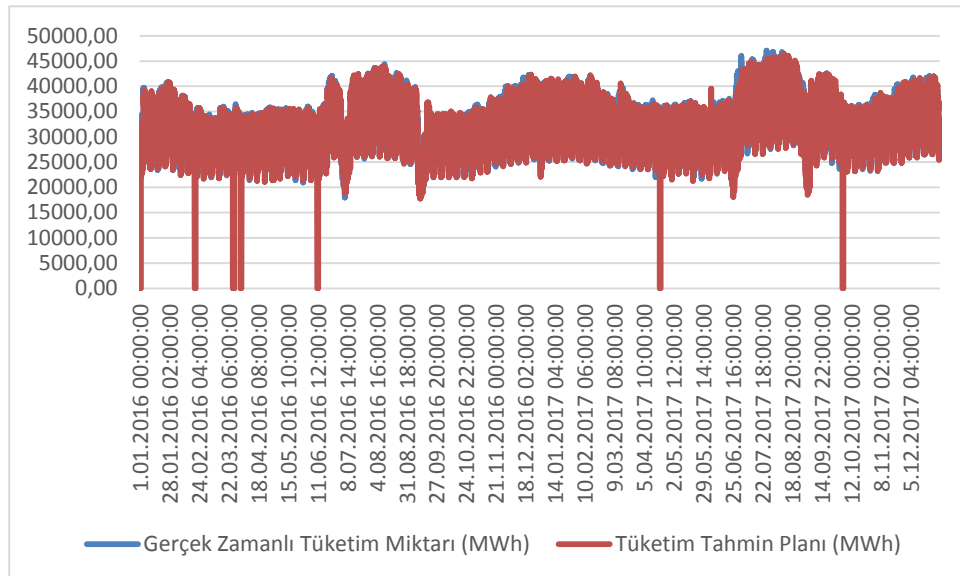
işletmecisi tarafından iletim kayıpları, 1.1.2016 tarihi itibariyle Gün Öncesi Piyasasından ve/veya ikili anlaşma vasıtasıyla satın alınmaktadır (<https://www.teias.gov.tr/tr/yayinlar-raporlar/piyasa-raporlari>).

Saatlik tüketim tahmin planı (MWh) piyasada fiyat tekliflerinin verilebilmesi için piyasa işletmecisinin belirleyici tahmin sonuçlarıdır. Bu tahminler gün öncesi piyasada üreticilere sunulmakta ve üreticiler bu tahminlere dayalı olarak satış fiyat tekliflerini vermektedir. Bu bakımdan yüksek doğrulukta tahmin planları piyasa takas fiyatlarının oluşumunu doğrudan etkilemektedir.

Saatlik gün öncesi piyasa takas fiyatı (TL/MWh) gün öncesinde gerçekleşmiş gerçek gün öncesi piyasa takas fiyatlarıdır. Uygulama bölümünde yapay sinir ağını eğitmek için kullandığımız ve tahmin etmeye çalıştığımız elektrik fiyatlarını ifade etmektedir.

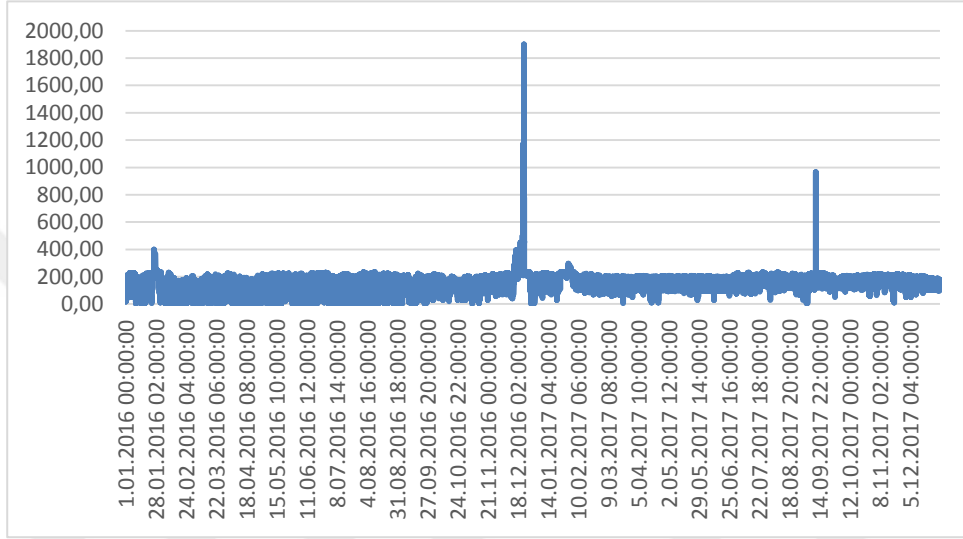
Yaptığımız çalışmada piyasa takas fiyatları tahmin edilmek istenmiştir. Bu fiyatları etkileyen onlarca parametre olmasına rağmen bu çalışmada sadece üretim ve tüketim gibi kalemlere dair gerçekleşmiş verileri kullanarak tahminleme işlemi yapılmıştır. Az sayıda parametrenin değişken olarak kullanıldığı bir çalışma başarı gösterirse; değişken adedi ve veri büyüklüğü daha yüksek olan bir veri setiyle yapılan tahminlemenin daha doğru sonuçlara ulaşmada yardımcı olacağı düşünülmüştür.

Şekil 25. 2016-2017 Yılları Tüketim Tahminleri ve Gerçek Zamanlı Tüketim



Yukarıdaki şekilde 2016 ve 2017 yıllarına ait saatlik tüketim tahmin planları ve gerçekleşen tüketimler gösterilmektedir. Grafik detaylı incelendiğinde tüketim tahminlerinin gerçekleşen tüketime yaklaşıp da uzun vadede farklar olduğu gözlemlenmektedir.

Şekil 26. 2016-2017 Yılları Gün Öncesi Piyasa Takas Fiyatları



Yukarıdaki şekilde 2016-2017 yıllarına ait gün öncesi piyasa takas fiyatları grafik olarak sunulmuştur. Grafik incelendiğinde piyasada fiyatların zaman zaman pik yapma özelliği gösterdiği ve gün içindeki farklı saatlerde fiyatların dalgalandığı gözlemlenmektedir.

Çalışmada yapay sinir ağları modelinde tahminleme amaçlı kullanılan her bir parametre 731 adet günlük ortalama veri ve 17544 adet saatlik bazda veri ile desteklenmiştir. Aşağıda excel uygulaması yardımıyla oluşturulmuş, çalışmada kullanılan parametrelerin bazılarının tanımlayıcı istatistikleri saatlik ve günlük ortalama değerleri kullanılarak karşılaştırmalı bir şekilde sunulmuştur. Bu karşılaştırmalar çalışma sürecinde her parametre için ayrı ayrı incelenmiştir.

Tablo 6. Gerçek Zamanlı Tüketim Miktarı Değişkeni Tanımlayıcı İstatistikleri

	<b>Gerçek Zamanlı Tüketim Miktarı (MWh)</b>	<b>Günlük Ortalama Gerçek Zamanlı Tüketim Miktarı (MWh)</b>
Mean	32189,63715	32189,63715
Standard Error	37,66249026	121,1750468
Median	32464,315	32005,50333
Mode	33646,75	31757,54333
Standard Deviation	4988,538653	3276,211154
Sample Variance	24885517,9	10733559,52
Kurtosis	-0,488038899	0,142209101
Skewness	0,067552665	-0,112454573
Range	47062,4	18994,21917
Minimum	0	21408,82792
Maximum	47062,4	40403,04708
Sum	564734994,1	23530624,75
Count	17544	731

Tablo 6’da 2016-2017 yıllarına ait saatlik gerçek zamanlı tüketim miktarını içeren veri setinin ortalama (mean) değeri 32189,63715 bulunurken; günlük ortalama gerçek zamanlı tüketim miktarına ait ortalama (mean) değeri de aynı değerde bulunmuştur. Bu aynı küme üzerinde çalışma yaptığımızın bir göstergesi olarak yorumlanabilmektedir.

Bu parametreye ait saatlik ve günlük bazdaki değerler en yüksekte en küçüğe doğru sıralandığında saatlik bazdaki veri setinin orta değeri (median) 32464,315 olarak bulunurken, günlük bazdaki veri setinin orta değeri (median) 32005,50333 olarak bulunmuştur.

Bu parametredeki saatlik ve günlük bazdaki değerlerin en yüksek ve en küçük değerleri arasındaki fark incelendiğinde saatlik bazdaki veri setinin range değeri 47062,4 olarak bulunurken, günlük bazdaki veri setinin range değeri 18994,21917 olarak bulunmuştur.

Bu parametrenin çarpıklık ve basıklık değerleri incelendiğinde saatlik bazdaki verilerin skewness değeri 0,067552665 olarak bulunurken günlük ortalama bazdaki verilerin skewness değeri -0,112454573 olarak bulunmuştur. Yine aynı veri setinde kurtosis değeri saatlik veri setinde -0,488038899 olarak bulunurken, günlük veri setinde 0,142209101 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar -1,5 ile +1,5 değerleri arasında çıktığı için verilerin normal dağılım gösterdiği sonucu çıkarılabilmektedir.

Tablo 7. Tüketim Tahmin Planı Tanımlayıcı İstatistikleri

	<b>Tüketim Tahmin Planı (MWh)</b>	<b>Günlük Ortalama Tüketim Tahmin Planı (MWh)</b>
Mean	31823,32991	31823,32991
Standard Error	44,51309541	167,6712283
Median	32400	31879,16667
Mode	33600	0
Standard Deviation	5895,927102	4533,328957
Sample Variance	34761956,4	20551071,43
Kurtosis	6,489666553	21,36826234
Skewness	-1,370598392	-3,29341646
Range	46500	40083,33333
Minimum	0	0
Maximum	46500	40083,33333
Sum	558308500	23262854,17
Count	17544	731

Tablo 7’de 2016-2017 yıllarına ait saatlik tüketim tahmin planını içeren veri setinin ortalama (mean) değeri, 31823,32991 olarak bulunurken; günlük ortalama tüketim tahmin planına ait ortalama (mean) değeri de aynı değerde bulunmuştur. Bu aynı küme üzerinde çalışma yaptığımızın bir göstergesi olarak yorumlanabilmektedir.

Bu parametreye ait saatlik ve günlük bazdaki değerler en yüksekten en küçüğe doğru sıralandığında saatlik bazdaki veri setinin orta değeri (median) 32400 olarak bulunurken, günlük bazdaki veri setinin orta değeri (median) 31879,16667 olarak bulunmuştur.

Bu parametredeki saatlik ve günlük bazdaki değerlerin en yüksek ve en küçük değerleri arasındaki fark incelendiğinde saatlik bazdaki veri setinin range değeri 46500 olarak bulunurken, günlük bazdaki veri setinin range değeri 40083,33333 olarak bulunmuştur.

Bu parametrenin çarpıklık ve basıklık değerleri incelendiğinde saatlik bazdaki verilerin skewness değeri -1,370598392 olarak bulunurken günlük ortalama bazdaki verilerin skewness değeri -3,29341646 olarak bulunmuştur. Yine aynı veri setinde kurtosis değeri saatlik veri setinde 6,489666553 olarak bulunurken, günlük veri setinde 21,36826234 olarak bulunmuştur.

Tablo 8. Gün Öncesi Piyasa Takas Fiyatı Tanımlayıcı İstatistikleri

	<b>Gün Öncesi Piyasa Takas Fiyatı (TL/MWh)</b>	<b>Günlük Ortalama Gün Öncesi Piyasa Takas Fiyatı (TL/MWh)</b>
Mean	152,19158	152,19158
Standard Error	0,431956346	1,355678632
Median	150,555	151,87125
Mode	149,99	157,7416667
Standard Deviation	57,21424457	36,653499
Sample Variance	3273,469782	1343,478989
Kurtosis	90,54001696	28,700431
Skewness	3,596233775	2,600927627
Range	1899,99	563,63125
Minimum	0	22,92541667
Maximum	1899,99	586,5566667
Sum	2670049,08	111252,045
Count	17544	731

Tablo 8’de 2016-2017 yıllarına ait saatlik gün öncesi piyasa takas fiyatını içeren veri setinin ortalama (mean) değeri, 152,19158 olarak bulunurken; günlük ortalama gün öncesi piyasa takas fiyatına ait ortalama (mean) değeri de aynı değerde bulunmuştur. Bu aynı küme üzerinde çalışma yaptığımızın bir göstergesi olarak yorumlanabilmektedir.

Bu parametreye ait saatlik ve günlük bazdaki değerler en yüksekte en küçüğe doğru sıralandığında saatlik bazdaki veri setinin orta değeri (median) 150,555 olarak bulunurken, günlük bazdaki veri setinin orta değeri (median) 151,87125 olarak bulunmuştur.

Bu parametredeki saatlik ve günlük bazdaki değerlerin en yüksek ve en küçük değerleri arasındaki fark incelendiğinde saatlik bazdaki veri setinin range değeri 1899,99 olarak bulunurken, günlük bazdaki veri setinin range değeri 563,63125 olarak bulunmuştur.

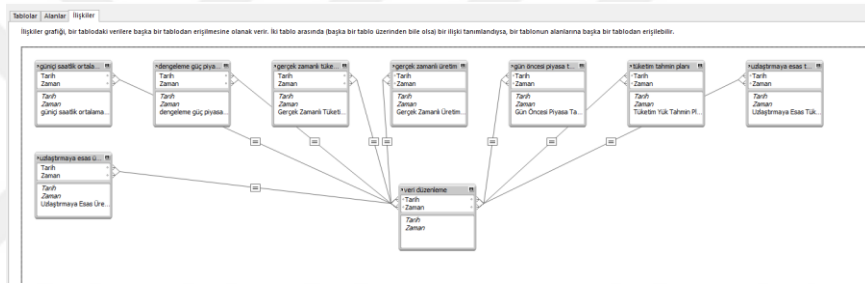
Bu parametrenin çarpıklık ve basıklık değerleri incelendiğinde saatlik bazdaki verilerin skewness değeri 3,596233775 olarak bulunurken günlük ortalama bazdaki verilerin skewness değeri 2,600927627 olarak bulunmuştur. Yine aynı veri setinde kurtosis değeri saatlik veri setinde 90,54001696 olarak bulunurken, günlük veri setinde 28,700431 olarak bulunmuştur.



İndirilen tüm veriler veri yapılarına göre filemaker uygulamasında kullanılmak üzere veri yapılarına göre uygun hale getirilmiştir. Tarih alanları tarih tipine göre, saat alanları zaman tipine göre, diğer miktar ve sayı belirten alanlar ise sayı tipine göre excel uygulamasında düzenlenmiştir.

Tüm excel dökümanları tek bir dosyada birleştirilerek filemaker uygulamasında işleme tabi tutulmuştur. Bunun için her bir veri kümesi ayrı ayrı tablolara işlenmiş ve bu veriler tarih ve saat bazında tekrar tek bir sayfada birleştirilmiştir. Bu işlemler için aşağıdaki gösterildiği şekilde veritabanı ilişkisi kurulmuş ve tarih saate göre tüm veriler sıralanmıştır.

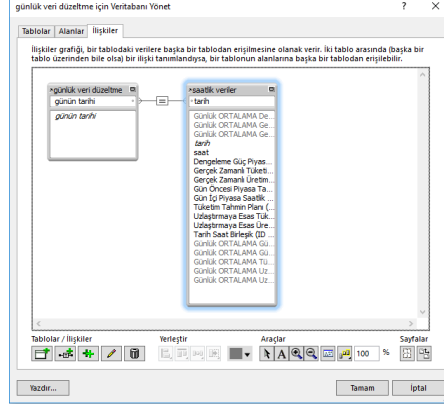
Şekil 27. FileMaker Tablo İlişkileri



Tarih ve saat parametrelerine göre düzenlenen veriler FileMaker uygulamasından Kayıt Ver özelliği kullanılarak Excel dosyasına dönüştürülmüştür.

Excel dosyasına aktarılan veriler tekrar gruplandırılıp veri tipleri düzenlenerek farklı bir FileMaker uygulamasına aktarılarak günlük bazda hesaplamalar yapıp ortalamaları alınarak yeni bir excel dosyasına aktarılmıştır.

Şekil 28. Günlük Olarak Verilerin Düzenlendiği Veritabanı İlişkisi Gösterimi

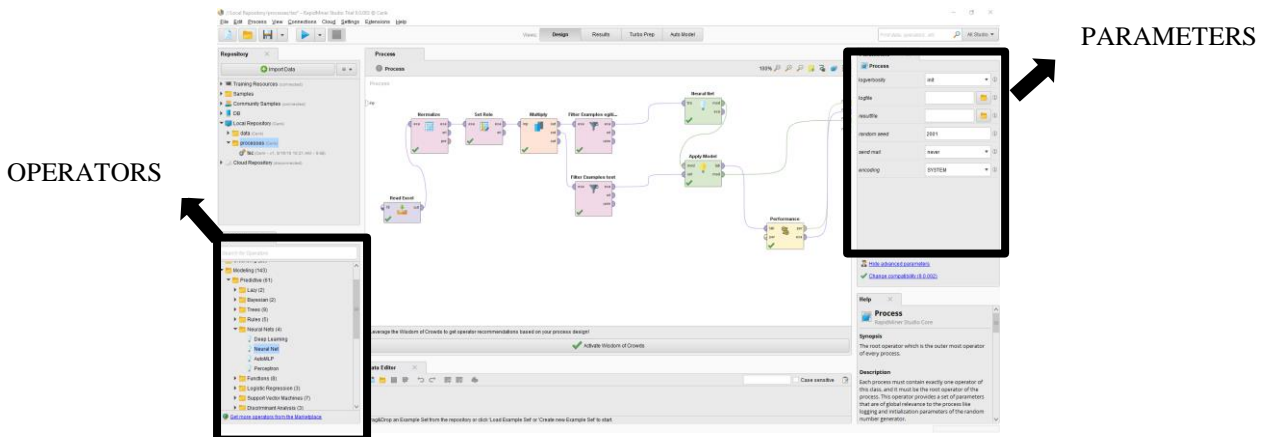


Çıktısı alınan Excel dosyası farklı yöntemler kullanılarak günlük bazda verilerin gösterileceği şekilde düzenlenmiş ve kullanılabilir son halini almıştır.

Kullanıma hazır hale getirilen günlük ve saatlik veriler RapidMiner Studio uygulamasında kurulan yapay sinir ağı modelinde kullanılabilir şekilde hazırlanmıştır ve uygulama aşamasına geçilmiştir.

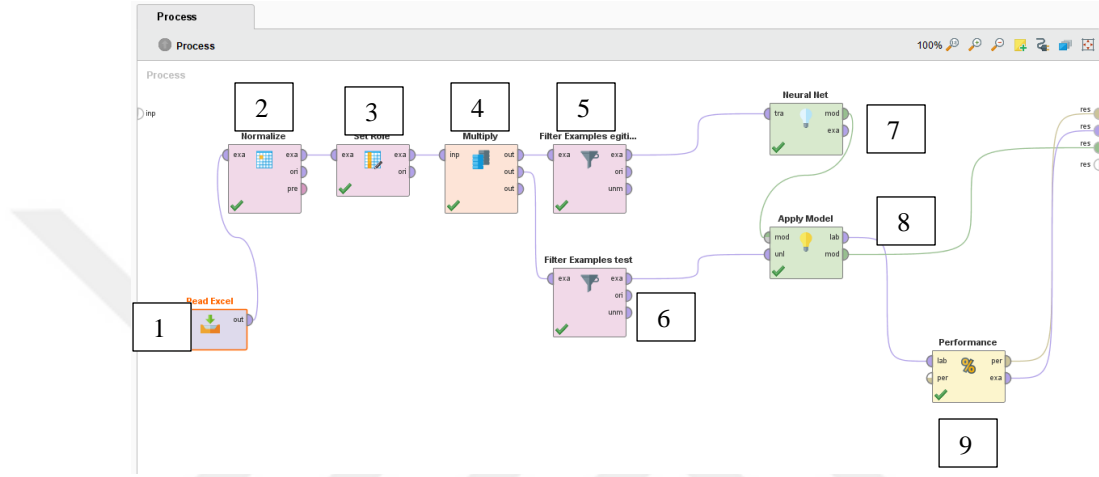
RapidMiner uygulamasında New Process butonu yardımıyla yeni bir iş süreci oluşturulmuştur. Bu süreçte kullanılacak işlemler operatör olarak adlandırılacaktır. Her bir operatör özelliğine ve kullanım amacına göre ayarlanabilir durumdadır. Bu ayarlama işlemleri “Parameters” gösterim panelinden düzenlenebilmekte ve tüm operatörler de “Operators” gösterim panelinde gözlemlenebilmektedir.

Şekil 29. RapidMiner Uygulamasında Önizleme



Başlatılan yeni süreçte operatör atamaları yapılmış, süreç modellenmiş ve bu operatörlerin parametre değerleri belirlenmiştir. Process ekranının son görüntüsü aşağıda gösterilmiştir. Gösterilen şekilde kullanılan operatörler işlem sırasına göre numaralandırılarak devamında listelenmiştir.

Şekil 30. RapidMiner Process Ekranı Son Önizleme



Yukarıdaki şekilde RapidMiner uygulamasında yapay sinir ağı uygulamasının gerçekleştirilmesi için hazırlanmış süreç ve kullanılan operatörler gösterilmiştir. Bu operatörler aşağıdaki tabloda listelenmiş ve modelin nasıl kurulduğu devamında detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Tablo 9. YSA Modellemesinde Kullanılan Operatörler

1	Read Excel
2	Normalize
3	Set Role
4	Multiply
5	Filter Examples (Eğitim)
6	Filter Examples (Test)
7	Neural Net
8	Apply Model
9	Performance (Regression)

Read excel operatörü process ekranına alındıktan sonra bu operatörle excelde bulunan verilerimizin akış diyagramına girişi başlatılmıştır. Sürece giren veriler satırlarda benzersiz bir değerle “ID” birbirlerinden ayırt edilecek şekilde sürece dahil edilmiştir. Benzersiz değer günlük veri setinde tarih, saatlik veri setinde ise gün ve saatin birleştirilmesiyle elde edilen değerler olacak şekilde tanımlanmıştır.

Normalize operatörü değerleri belirli aralıklarda ölçeklemek için kullanılmıştır. Bu ölçekleme işlemi sürece dahil tüm değerleri adil bir karşılaştırma yapmak için önemlidir. Range Transformation metoduyla en küçük değer ve en büyük değer 0 ile 1 arasında ölçeklenmiştir.

Set Role operatörü ile sürece giren değerlerden hangisinin tahminleme işlemi için kullanılacağı belirtilmiştir. Bu değer diğer değerlerden farklı düşünülerek tahminlenecek ve karşılaştırma işleminde esas teşkil edecektir.

Multiply operatörü sisteme giren verilerin ayrılması için kullanılmıştır. Verileri iki parçaya bölüp bir kısmıyla yapay zeka öğrenmesi için eğitilecek diğer kısmıyla karşılaştırma yapılabilecektir.

Filter Examples operatörü ile veriler 2016 ve 2017 verileri olarak iki parçaya ayrılmıştır. Yapay zekanın öğrenmesi için 2016 verileri eğitim amacıyla kullanılmıştır. 2017 verileri de öğrenen sistemin test edilmesi amacıyla ayrılmıştır.

Neural Net operatörü RapidMiner platformunda yapay sinir ağlarıyla tahminleme işlemlerinde kullanılmak üzere hizmete sunulmuştur. Bu operatör, bir geri yayılma algoritması (çok katmanlı algılayıcı) tarafından eğitilmiş bir ileri besleme ağı vasıtasıyla bir model öğrenir. İleri beslemeli bir sinir ağı, birimler arasındaki bağlantıların yönlendirilmiş bir döngü oluşturmadığı yapay bir sinir ağıdır. Bu ağda, bilgi, giriş düğümlerinden, gizli düğümlerden (eğer varsa) çıkış düğümlerine doğru, sadece bir yönde ilerler. Bir başa dönme ya da döngü işlemi gerçekleşmez. Geri yayılım algoritması, iki aşamaya ayrılabilen denetimli bir öğrenme yöntemidir. Bu aşamalar yayılma ve ağırlık güncellemesidir. Ağın performansı yeterince iyi olana kadar iki aşama tekrarlanır. Geri yayılım algoritmalarında, çıkış değerleri, önceden tanımlanmış bazı hata fonksiyonlarının değerini hesaplamak için doğru cevapla karşılaştırılır. Çeşitli tekniklerle, hata daha sonra ağ üzerinden geri beslenir. Bu bilgiyi kullanarak, algoritma hata fonksiyonunun değerini azaltmak için her bağlantının ağırlığını biraz daha küçük

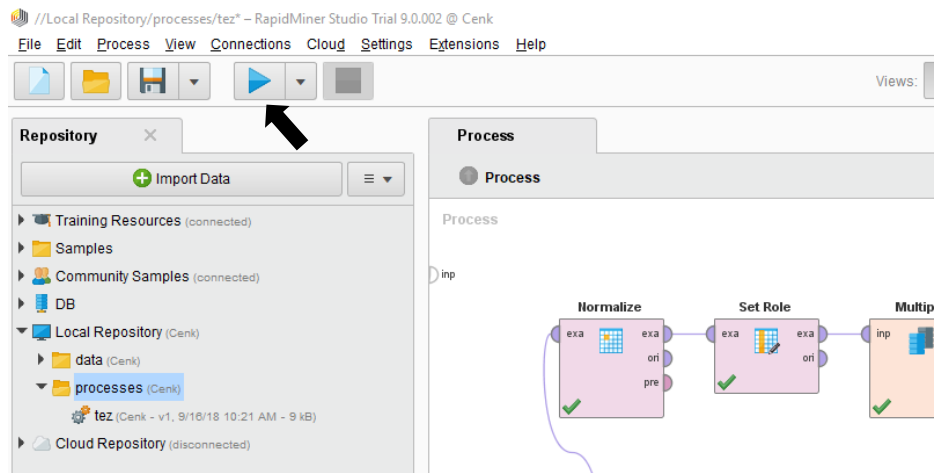
miktarlarda ayarlar. Yeterli sayıda eğitim döngüsü için bu işlem tekrarladıktan sonra, ağ genellikle hesaplama hatalarının küçük olduğu bazı durumlara yakınlaşır. Bu durumda, ağın belli oranda öğrendiği söylenebilir. Bu operatörde normal sigmoid fonksiyonu aktivasyon fonksiyonu olarak kullanılır. Bu nedenle, işleme girecek değerlerin öznitelik değer aralıkları -1 ve +1 olarak ölçeklendirilmelidir. Bu normalize parametresi ile yapılabilir. Öğrenme verileri bir sınıflandırma görevini açıklarsa ve öğrenme verileri sayısal bir regresyon görevini açıklarsa, doğrusal düğümün tipi sigmoiddir (RapidMiner, Operator Information Erişim Tarihi: 16.09.2018).

Apply Model operatörü ile eğitilmiş yapay sinir ağının test veri setindeki veriler üzerinde tahminleme yapması sağlanmıştır. Ve bu tahminleme işleminin doğruluk ölçümü ve testleri için başka bir operatöre geçişi sağlanmıştır.

Performance (Regression) operatörü tahminlerin regresyon yöntemiyle performans ölçümünü gerçekleştirir.

Yukarıda gösterilen ve anlatılan operatörler işlem sıralarına göre ayarlandıktan sonra süreç modeli ortaya çıkmıştır. Bu modeli uygulamak için aşağıdaki şekilde gösterilen buton tıklanmış ve modelin doğru bir şekilde çalıştığı gözlenmiştir.

Şekil 31. İş Akış Modelinin Çalıştırılması



Yapay sinir ağı uygulaması için seçilen Neural Net operatörünün parametreleri her iki veri seti için de aynı girilmiştir. Veri sayısına göre karşılaştırma yapılacağı için parametrelerin de aynı olması gerekmektedir. Böylece sinir ağı modelinin etkinliği yüksek veri setinde daha doğru tahmin yapacaktır.

Neural Net operatöründe kullanılan parametreler aşağıdaki tabloda açıklanmıştır.

Tablo 10. Neural Net Operatörüne Ait Parametreler

Parametre Adı	Açıklama	Parametre Değerleri
Hidden Layers	Bu parametre kaç adet ara katman tanımlayacağımızı ve ara katmanlardaki yapay sinir hücresi sayısını belirlememizi sağlamaktadır.	Çalışmada 1 adet ara katman ve 5 adet yapay sinir hücresi kullanılmıştır.
Training cycles	Yapay sinir ağını eğitmek için kullanılan eğitim döngü sayısını belirlememizi sağlamaktadır.	Çalışmada eğitim döngü sayısı 200 olarak tanımlanmıştır.
Learning rate	Bu parametre, her adımda ağırlıkları ne kadar değiştirdiğimizi belirler. 0 olmamalıdır.	Bu değer çalışmada 0.01 olarak tanımlanmıştır.
Momentum	Bu parametre, bir önceki ağırlık güncellemesinin sadece bir kısmını mevcut ağırlığa ekler.	Bu değer çalışmada 0.9 olarak tanımlanmıştır.

#### 4.3.1. Saatlik Verilerle Yapay Sinir Ağı Uygulaması Sonuçları

2016-2017 yıllarına ait saatlik verilerin kullanıldığı yapay sinir ağı uygulamasında 1 adet ara katman ve 5 adet yapay sinir hücresi tanımlanmış ve 2016 yılı verilerinden yapay sinir ağının öğrenmesi sağlanarak 2017 yılındaki verileri kullanıp ağın saatlik piyasa takas fiyatlarını tahmin etmesi amaçlanmıştır. Saatlik verilerle gerçekleştirilen yapay sinir ağı uygulamasının sonuçları aşağıdaki gibidir.

Tablo 11. Saatlik Verilere Göre Performans

Hata Karelerinin Ortalamasının Karekökü (RMSE)	0.017 +/- 0.000
Mutlak Hata (Absolute Error)	0.013 +/- 0.011

Gerçekleştirilen yapay sinir ağları uygulamasının sonucu RMSE ve mutlak hata (absolute error) sonuçları bakımından incelenmiştir. RMSE sonuçları saatlik yapay sinir ağı uygulamasında 0.017 +/- 0.000 olarak, mutlak hata sonuçları ise saatlik yapay sinir ağı uygulamasında 0.013 +/- 0.011 olarak bulunmuştur.

#### 4.3.2. Günlük Verilerle Yapay Sinir Ağı Uygulaması Sonuçları

2016-2017 yıllarına ait saatlik verilerden elde edilerek ulaşılan günlük ortalama verilerin kullanıldığı yapay sinir ağı uygulamasında, saatlik verilerin kullanıldığı yapay sinir ağları uygulamasında olduğu gibi 1 adet ara katman ve 5 adet yapay sinir hücresi tanımlanmış ve 2016 yılı verilerinden yapay sinir ağının öğrenmesi sağlanarak 2017 yılındaki verileri kullanıp ağın günlük ortalama piyasa takas fiyatlarını tahmin etmesi amaçlanmıştır. Günlük verilerle gerçekleştirilen yapay sinir ağları uygulamasının sonuçları aşağıdaki gibidir.

Tablo 12. Günlük Verilere Göre Performans

Hata Karelerinin Ortalamasının Karekökü (RMSE)	0.050 +/- 0.000
Mutlak Hata (Absolute Error)	0.040 +/- 0.030

Gerçekleştirilen yapay sinir ağları uygulamasının sonucu RMSE ve mutlak hata (absolute error) sonuçları bakımından incelenmiştir. RMSE sonuçları günlük yapay sinir ağı uygulamasında 0.050 +/- 0.000 olarak, mutlak hata sonuçları ise günlük yapay sinir ağı uygulamasında 0.040 +/- 0.030 olarak bulunmuştur.

### 4.3.3. Günlük ve Saatlik YSA Uygulama Sonuçlarının Karşılaştırması

RapidMiner Studio’da gerçekleştirilen yapay sinir ağı uygulamasının performansları “Performance (Regression)” operatörü ile test edilmiş ve testlerin sonucu ilgili uygulamanın çıktılar bölümünde RMSE ve mutlak hata (Absolute Error) başlıklarında sunulmuştur. Aşağıda her iki teste ait elde edilen performans sonuçları karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.

Tablo 13. YSA Uygulamaları Performans Karşılaştırması

	Saatlik YSA Uygulaması	Günlük YSA Uygulaması
Hata Karelerinin Ortalamasının Karekökü (RMSE)	0.017 +/- 0.000	0.050 +/- 0.000
Mutlak Hata (Absolute Error)	0.013 +/- 0.011	0.040 +/- 0.030

RMSE, ortalama hata büyüklüğünün ölçülmesinde kullanılan ikinci derece bir hata puanlama kuralı olarak tanımlanır. Tahmin değeri ile ona karşılık gelen gözlem değerlerinin arasındaki farkın kareleri alınır ve örnek üzerinde ortalananır. En son aşada ortalamanın karekökü alınır. Bu süreçte hata kareleri ortalamadan önce alındığı için RMSE yöntemiyle hatalara nispeten daha fazla ağırlık verildiği için RMSE daha kullanışlı hale gelmektedir. MAE ve RMSE, bir dizi tahminlemedeki hata değişkenliğini tanımlamak amacıyla birlikte kullanılabilirler. Bu durumda RMSE her zaman MAE’den daha büyük veya ona eşit olacaktır. Yani birbirleri arasındaki büyük farklar, örnekteki bireysel hataların varyansının daha büyük olması anlamına gelecektir. RMSE MAE’ye eşit ise, tüm hatalar aynı büyüklüktedir MAE ve RMSE, 0’dan  $\infty$ ’a kadar değişebilir. 0’a yaklaştıkça tahminlemenin doğruluk sonuçlarının daha iyi olduğu söylenebilir (<https://veribilimcisi.com/2017/07/14/mse-rmse-mae-mape-metrikleri-nedir>).



RMSE değeri aslında fizik gibi sahalarda kullanışlı olan bir değerdir. Örneğin herhangi bir enerji akımının alternatif akım davranışına sahip olup olmadığının tespiti için kullanışlı olabilir. Buradaki amaç devamlı dalgalanan bir sürekli fonksiyon veya sayı dizisinin iki sayı arasındaki (üst ve alt limitleri) hareketini tespit edebilmektir. Satış verilerinin sezonlar arasında incelenmesi buna örnek olarak gösterilebilir. Kısacası RMSE değeri tahmin ve türevi olabilecek işlemlerde veri hareketlerini anlayabilmek ve yorumlayabilmek açısından önemli bir durumda iken sınıflandırma gibi nominal değerler üreten işlemlerde genel manada kullanışlı değildir (<http://bilgisayarkavramlari.sadievrenseker.com/2008/10/27/kare-ortalamalarinin-karekoku-root-mean-square>).

Literatür taramalarında RMSE'nin özellikle yapay sinir ağları gibi algoritmaların performans değerlemelerinde sıkça kullanıldığı gözlemlenmiştir. Bu sebeple bu karşılaştırma parametresi uygulama performanslarının karşılaştırılmasında kullanılmıştır.

Günlük verilerdeki RMSE'nin saatlik verilerdeki RMSE'ye nispeten daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Günlük verilerle uygulanan yapay sinir ağı uygulamasında RMSE 0.050 çıkarken saatlik verilerde ortaya çıkan RMSE 0.017'dir. Bu hata oranında 0 değerine yaklaştıkça ağın öğrenmesinin mükemmel hale geldiği çıkarımı yapılmaktadır. İlgili değerlerin karşılaştırılacak olduğunda saatlik veriler üzerinde gerçekleştirilen yapay sinir ağı uygulamasının günlük verilerle gerçekleştirilen uygulamaya kıyasla daha iyi öğrenim gösterdiği açıktır.

Dolayısıyla günlük ve saatlik verilerle gerçekleşen bu performans ölçütünde IOT ve Endüstri 4.0 perspektifinde daha doğru tahminleme yapılabileceği söylenebilir.

Mutlak hata: Gerçek değeri bilinen bir büyüklüğün bu değerleri ile birden çok kez ölçülmesi sonucunda elde edilen değerlerinin farkları (gerçek hataları) mutlak değerleri alınarak toplanması sonucudur. Kısaca ölçülen değer ile gerçek değer arasındaki farkların mutlak değerlerinin toplamıdır

(<https://www.konya.edu.tr/storage/files/department/insaatmuhendisligi/editor/DersSayfaları/Topografya/Bolum-2.pdf>).

Tahmin ile gerçek değer arasındaki fark ne kadar büyük olursa mutlak hata da o kadar büyük olmaktadır. Gerçekleştirilen yapay sinir ağları uygulamalarında saatlik verilerin kullanıldığı yapay sinir ağı uygulamasının mutlak hata değerleri "0.013 +/-

0.011” olarak ortaya çıkarken, günlük ortalama verilerin kullanıldığı yapay sinir ağı uygulamasının mutlak hata değerleri “0.040 +/- 0.030” olarak ortaya çıkmıştır. Her iki yapay sinir ağları uygulamasında da aynı zaman aralıkları ve aynı değişkenler kullanılarak piyasa takas fiyatı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Yani hangi uygulamanın performans ölçümü sonucunda mutlak hata daha küçük çıktıysa o uygulamanın daha doğru tahminleme yapabildiği çıkarımı yapılmalıdır.

Dolayısıyla günlük ve saatlik verilerle gerçekleşen bu performans ölçütünde de IOT ve Endüstri 4.0 perspektifinde daha doğru tahminleme yapılabilceği söylenebilmektedir.



## SONUÇ

“Akıllı” kavramının birçok kelimedede artık ön ek olduğu günümüzde, enerji talep tahminlemelerinde ve fiyatlandırma çalışmalarında da akıllı fiyatlama yaklaşımlarının ortaya çıkması muhtemeldir. Enerji alanındaki akıllı yaklaşımlar da ölçmeye ve bu ölçüm çalışmalarında elde edilen verilere göre şekillenmelidir. Nitekim bu süreç, akıllı şebeke yaklaşımlarıyla ve dünya genelinde akıllı şehir uygulamalarıyla gayet belirgin bir hal almıştır. Bir meta olarak elektriğin sayımı ve stoklanması doğası gereği mümkün olmadığı için üretimden son tüketiciye ulaştırılmasına kadar geçen sürecin her aşamasında sürekli olarak ölçümlenmeli ve kayıt altına alınmalıdır. Nitekim bilimsel olarak tahminleme çalışmalarında düşük hata oranlarıyla tahminleme yapabilmek için gözlem sayısının büyüklüğü önemli derecede etkili olmaktadır.

Gün öncesi piyasalar tüketim tahminlerine göre, gün içi ve dengeleme piyasaları da anlık tüketimlere göre işlemekte ve elektrik piyasa takas fiyatları bu şekilde oluşmaktadır. Mevcut piyasa verileri incelendiğinde üretim ve tüketim verilerinin en düşük zaman aralığı olarak saatlik bazda incelendiği ortaya çıkmaktadır. Piyasalarda eşleşme fiyatları (Alış-Satış İşlemleri), kontrat adı, türü, miktarı gibi birçok parametrede dakikalık bazda şeffaf bir şekilde yayınlanabilirken teknolojik altyapı yetersizliği sebebiyle tüketim ve üretim verileri en fazla bir saat dilimli aralıklarla yayınlanmaktadır. Teknolojik altyapı yetersizliğinden maksat her uç birimden kısa aralıklarla ölçüm sonuçlarının alınamamasıdır. Ancak ilerleyen dönemlerde akıllı şebeke dönüşümleriyle bu veriler rahatlıkla elde edilebilecektir. IOT ve akıllı şebeke yaklaşımlarıyla akıllı okuyucular vb. araçların gelişmesiyle daha sık ölçüm yapılabilme imkanı ortaya çıkmaktadır. Bu yaklaşımlar sürekli ölçümleme ve bilgi toplama temeline dayandığı için daha yüksek frekansta veriler elde edilmesini kolaylaştırmaktadır.

Bu çalışmada nesnelerin interneti, akıllı şehir ve akıllı şebeke yaklaşımları gibi kavramlar enerji piyasalarındaki arz-talep tahminleme ve fiyatlama çalışmaları perspektifinde incelenerek, spot enerji piyasalarında gün öncesi ve gün içi fiyatlamalardaki tahminleme hatalarının kaynağı olan arz ve talep tahminleme hata oranlarının düşürülmesine katkıda bulunmak amaçlanmıştır. Bu amaçla, yeni teknolojilerin çıktısı olan daha yüksek frekanslı verilere ulaşma imkanının neticesinde tahminlemelerin daha düşük hata paylarıyla gerçekleştirilip gerçekleştirilemeyeceğini test etmek için elektrik piyasası verilerinden faydalanılarak aynı modelde iki farklı

yapay sinir ağı uygulaması gerçekleştirilmiştir. Uygulamaların birincisinde 2016-2017 yıllarına ait saatlik piyasa verileriyle piyasa takas fiyatı tahminlemesi yapılmıştır. İkincisinde ise yine aynı döneme ait günlük ortalama verileri ifade eden piyasa verileriyle yapay sinir ağı uygulaması gerçekleştirilmiştir. Çalışmada EPIAŞ Şeffaflık Platformu veri tabanından elde edilen 2016 ve 2017 yıllarına ait saatlik ve günlük gerçek zamanlı tüketim miktarı, gerçek zamanlı üretim miktarı, gün öncesi piyasa takas fiyatı, tüketim tahmin planı, uzlaştırmaya esas çekiş miktarı, uzlaştırmaya esas veriş miktarı verileri kullanılmıştır.

Gerçekleştirilen yapay sinir ağı uygulamalarının sonucu RMSE ve mutlak hata sonuçları bakımından incelenmiştir. RMSE sonuçları saatlik yapay sinir ağı uygulamasında 0.017 +/- 0.000 olarak, günlük yapay sinir ağı uygulamasında ise 0.050 +/- 0.000 olarak bulunmuştur. Aynı şekilde mutlak hata sonuçları saatlik yapay sinir ağı uygulamasında 0.013 +/- 0.011 olarak, günlük yapay sinir ağı uygulamasında ise 0.040 +/- 0.030 olarak bulunmuştur. RMSE’de 0 değerine yaklaştıkça ağın öğrenmesinin mükemmel hale geldiği çıkarımı yapılmaktadır. İlgili değerlerin karşılaştırmasında saatlik veriler üzerinde gerçekleştirilen yapay sinir ağı uygulamasının günlük verilerle gerçekleştirilen uygulamaya kıyasla daha iyi öğrenim gösterdiği, daha iyi tahminleme yapabildiği gözlenmiştir. Diğer taraftan, tahmin ile gerçek değer arasındaki fark ne kadar büyük olursa mutlak hata da o kadar büyük olmaktadır. Bu açıdan saatlik veriler üzerinde gerçekleştirilen yapay sinir ağı uygulamasının günlük verilerle gerçekleştirilen uygulamaya kıyasla daha iyi öğrenim gösterdiği gözlenmiştir.

Bir bütün olarak değerlendirildiğinde her iki performans ölçütüne göre de saatlik verilerle gerçekleştirilecek yapay sinir ağı uygulamalarının daha doğru tahminleme gerçekleştirebileceği, dolayısıyla IOT perspektifinde daha doğru tahminleme yapılabileceği görülmüştür. Bu bağlamda yeni teknolojik gelişmelerle tahminleme çalışmalarında kullanılmak ve daha yüksek ferkansta veriler elde edebilmek için IOT ve akıllı şebeke yaklaşımları faydalı olabilmektedir. Bu yaklaşımlar neticesinde elde edilecek sonuçlar IOT gibi yeni teknolojilerle saatlik uzlaştırmalardan farklı olarak 15’er dakikalık uzlaştırma veya daha düşük zaman aralıklarında uzlaştırmaları destekleyerek piyasa etkinliğinin artırılmasına yardımcı olabilecektir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlarla birlikte mevcut durum

değerlendirildiğinde, gelecek dönemlerde akıllı şebeke yaklaşımlarıyla ortaya konulan teknolojilerin iletim merkezlerinde, dağıtım merkezlerinde, üretim santrallerinde ve son tüketici sayaçlarında yaygınlaştırılması uygun olabilir. Gelecek çalışmalarda bahsedilen teknolojilerle elde edilecek yüksek frekanslı verilerin kullanılmasıyla fiyatlama ve etkinliği sağlayıp sağlamadığı incelenebilir.



## KAYNAKÇA

- 2018 yılı serbest tüketici sınırı. <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/16/serbest-tuketici>. Erişim tarihi: 09.09.2018
- Adıyaman, F. (2007). *Talep tahmininde yapay sinir ağlarının kullanılması*, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Aikeshan, A. (2014). *Bulanık doğrusal regresyon yöntemi ile talep tahmini: medikal asistans firmasında bir uygulama*, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Akcanca M. A. ve Taşkın, S. (2013). *Akıllı şebeke uygulanabilirliği açısından türkiye elektrik enerji sisteminin incelenmesi*, Akıllı şebekeler ve Türkiye elektrik şebekesinin geleceği sempozyumu, Ankara.
- Alpaydın, E. (2011). *Yapay öğrenme*. İstanbul: Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi.
- Aydın, D. (2012). *Yapay sinir ağları yardımı ile talep tahmin analizi ve deniz taşımacılığı sektöründe bir uygulama*, Yüksek lisans tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- Aydın, K. (2010). *Türkiye elektrik piyasasında fiyat değişimlerinin analizi*, Yayınlanmamış doktora tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Aygördü, S. (2015). *Kantitatif tahmin yöntemleri ile türkiye aylık elektrik talebi tahmin yöntemi*, Yüksek lisans tezi, Kara Harp Okulu, Ankara.
- Ballı, M. (2014). *Yapay sinir ağları ile talep tahmini ve gıda sektöründe uygulanması*, Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Ballot, M. (1986). *Decision making model in production & operations management*. Robert E. Krieger Publishing Company, Florida.
- Barutçu, B., (2013). *Signal Processing and Analysis in Renewable Energy Systems, Prediction Problem*, Ders Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Baykal, N., Beyan, T. (2004). *Bulanık mantık, uzman sistem denetleyiciler*. Ankara: Bıçaklar Kitabevi.
- Bicil, M. (2015). *Elektrik piyasasında fiyatlandırma ve türkiye elektrik piyasasında fiyat tahmini*, Yayınlanmamış doktora tezi, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir.
- Boğaziçi Yazılım (2017). *Endüstri 4.0*. <http://www.bogaziciyazilim.com/plmkutuphane/2/endustri-40.html>. Erişim Tarihi: 10.09.2018
- Boltürk, E. (2013). *Elektrik talebi tahmininde kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması*, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

- CBS günü 2017*. <http://cbsgunu.org.tr/tr/etkinlik-hakkinda/genel-bilgiler/akilli-sehir>. Erişim Tarihi: 10.09.2018
- Chung, S. (2001). *Demand modeling and analysis for the management of underground infrastructure systems*, Yayınlanmamış doktora tezi, Purdue University, USA.
- Çağlar, T. (2007). *Talep tahmininde kullanılan yöntemler ve fens teli üretimi yapan bir işletmede uygulanması*, Yüksek lisans tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale.
- Çelik, Ş. (2016). *Isparta ili için doğal gaz talep tahmini*, Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Çelik, U., Akçetin, E., Gök, M. (2017). *Rapidminer ile uygulamalı veri madenciliği*. İstanbul: Pusula Yayıncılık.
- Çetinkaya, H., Dumlu, F., *Dağıtık üretim tesislerinin şebeke entegrasyonunda yaşanabilecek olası problemler ve entegrasyon analizleri*. [http://www.emo.org.tr/ekler/76bfae53cf6ecbd\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/76bfae53cf6ecbd_ek.pdf). Erişim Tarihi: 11.09.2018
- Deloitte, (2016). *Akıllı şehir yol haritası*. <https://www.sehirsizin.com/Documents/Deloitte-Vodafone-Akilli-Sehir-Yol-Haritasi.pdf>. Erişim Tarihi: 10.09.2018
- Demir, M., (2013). Enerji ithalatı cari açık ilişkisi, var analizi ile türkiye üzerine bir inceleme. *Akademik Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi*, 9, 15
- Dilek, S. (2017). *Nesnelerin interneti tabanlı uzaktan sağlık izleme uygulaması*, Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Doğan, A. (2013). *Elektrik piyasalarında risk yönetimi için fiyat tahmin modeli: Türkiye uygulaması*, Yüksek lisans tezi, Kadir Has Üniversitesi, İstanbul.
- Doğan, O. (2012). *Talep tahmininde sinirsel ağ tabanlı bulanık mantık yöntemi (anfis) kullanımı ve yalın yapay sinir ağı metodu ile karşılaştırmalı bir uygulama*, Yayınlanmamış doktora tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- ELDER, *Türkiye akıllı şebekeler 2023 vizyon ve strateji belirleme projesi*. <http://www.elder.org.tr/Content/yayinlar/TAS%20TR.pdf>. Erişim Tarihi: 11.09.2018
- Elektrik Piyasası Kanunu. (2013). T. C. Resmi Gazete, 28603, 14 Mart 2013
- Elmas, Ç. (2011). *Yapay zeka uygulamaları (yapay sinir ağları-bulanık mantık-genetik algoritma)* (2. bs.). Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- EPDK, (2003). *Elektrik piyasası uygulama el kitabı*, Yayın No:5, Ankara.
- EÜAŞ (2017). *2016 elektrik üretim sektör raporu*

- Gök, K. (2016). *Elektrik enerjisi tüketimi Türkiye’de değerlendirmesi ve analitik hiyerarşi süreciyle irdelenmesi*, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Görkem, L., Bozuklu, M., (2016). Nesnelerin interneti: yapılan çalışmalar ve ülkemizdeki mevcut durum. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 13, 49.
- Gültekin, Ö. (2009). *Bursa ili orta dönem elektrik talep tahmini*, Yüksek lisans tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya.
- Hu, C. (2002). *Advanced tourism demand forecasting: ann and box- jenkins modelling*, Thesis (PhD), Purdue University, MI, USA.
- İletim Sistemi Kayıpları*. <https://www.teias.gov.tr/tr/yayinlar-raporlar/piyasa-raporlari>. Erişim Tarihi: 07.01.2019
- Kahraman, F. (2017). *Çalışma ilişkileri bakımından dördüncü sanayi devrimi ve sivas ilinde farkındalık üzerine alan araştırması*, Yüksek lisans tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas.
- Karademir M. (2016). *Dördüncü sanayi devrimi*. Türk Asya Stratejik Araştırmalar Merkezi: [http://www.tasam.org/tr-TR/Icerik/25733/dorduncu\\_sanayi\\_devrimi](http://www.tasam.org/tr-TR/Icerik/25733/dorduncu_sanayi_devrimi). Erişim Tarihi: 10.09.2018
- Kare ortalamalarının karekökü*. <http://bilgisayarkavramlari.sadievrenseker.com/2008/10/27/kare-ortalamalarinin-karekoku-root-mean-square>. Erişim Tarihi: 16.09.2018
- Keskin, S. (2017). *Endüstri 5.0’a hazır mıyız?*. <http://www.sanayigazetesi.com.tr/endustri-50a-hazir-miyiz-makale,1336.html>. Erişim tarihi: 10.09.2018.
- Lewis, C.D. (2012). *Demand forecasting & inventory control routledge*.
- Makridakis, S., & Wheelwright S.C., & McGee V. E. (1998). *Forecasting: methods and applications*. John Wiley & Sons Inc., USA.
- Mutlak hata*, <https://www.konya.edu.tr/storage/files/department/insaatmuhendisligi/editor/DersSayfaları/Topografya/Bolum-2.pdf>. Erişim Tarihi: 16.09.2018
- Özliman, Y. (2015). *Türkiye için 2015 yılı kısa vadeli elektrik enerjisi talep tahmininin yapılması*, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Öztemel, E. (2012). *Yapay sinir ağları*. İstanbul: Papatya Yayıncılık.
- Pilipovic, D. (1998). *Energy risk: valuing and managing energy derivatives* (pp. 40-75). McGraw- Hill, New York.



- Rapidminer*. <https://rapidminer.com>. Erişim Tarihi: 16.09.2018
- RMSE ve diğer metrikler*. <https://veribilimcisi.com/2017/07/14/mse-rmse-mae-mape-metrikleri-nedir>. Erişim Tarihi: 16.09.2018
- Sanayi Devrimi Nedir*. <http://sanayi-devrimi.nedir.org/>. Erişim Tarihi: 06.01.2019
- Sarı, M. (2016). *Yapay sinir ağları ve bir otomotiv firmasında satış talep tahmini uygulaması*, Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Serttaş, Z. (2011). *Türkiye' de perakende sektöründe talebi etkileyen etmenler ve yapay sinir ağlarıyla talep tahmini uygulaması*, Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Taieb, S. B., & Hyndman, R. J. (2014). Boosting multi-step autoregressive forecasts. (*Department of Econometrics and Business Statistics Working Paper Series*, 13, 14.
- Taşpınar, M. (2011). *Enerji yönetim sistemlerinde optimizasyon teknikleri*, Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Tebelskis, J. (1995). *Speech recognition using neural networks*, Thesis (PhD), School of Computer Science Carnegie Mellon University, Pennsylvania.
- TEİAŞ (2018). *2017 yılı Türkiye elektrik iletimi sektör raporu*
- Tekin, M. (1996). *Üretim yönetimi*, Konya: Arı Ofset Matbaacılık.
- Tekin, M. (2009). *Üretim yönetimi* (6. bs., C. 1), Konya: Günay Ofset.
- Teknoloji Haberleri (2017). *Microsoft'un kurucusu bill gates'in pil fabrikası iflas etti*. <http://www.milliyet.com.tr/microsoft-un-kurucusu-bill-teknoloji-haber-2411248/>. Erişim Tarihi 11.09.2018
- Terzi, F., Ocakçı, M. (2017). Akıllı şehirler ve uygulama örnekleri. *İTÜ Vakfı Dergisi*, 77, 12.
- TETAŞ (2015). *2014 Yılı Sektör Raporu*
- Topal, B. (1990). *Türkiye elektrik enerjisi talebi istatistik analizi*, Yayınlanmamış doktora tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Tugal, N. (2014). *Enerji talebi ve enerji talebini belirleyen faktörler: türkiye uygulaması*, Yüksek lisans tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon.
- Turan, M. (2018). *Dağıtık üretim*. <https://www.akillisebekeler.com/2012/02/14/dagitik-uretim/>. Erişim Tarihi: 11.09.2018
- TURKOTED (2017). *Dağıtık üretim nedir?*. <http://turkoted.org/tr/dagitik-uretim-nedir-25>

Erişim Tarihi: 11.09.2018

*Türkiye elektrik piyasasının işleyişi.* <https://gazelektrik.com/enerji-piyasaları/elektrik>. Erişim tarihi: 09.09.2018

*Türkiye'nin Cari Açığında Enerji.* <https://www.ntv.com.tr/ekonomi/turkiyenin-cari-aciginda-enerji-yuk-oldu,85ofZIUy7kmr8zZikB2Xkw>. Erişim Tarihi: 06.01.2019

Uygun, İ. (2015). *Yapay sinir ağıları yardımıyla enerji sektöründe talep tahmini*, Yüksek lisans tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.

Uzun, S. (2015). *Dağıtık üretim tesislerinin şebeke entegrasyon etkileri ve şebeke uyumluluğunun güç sistem analizleriyle uygulamalı değerlendirilmesi*, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Üreten, S. (2005). *Üretim/işlemler yönetimi, stratejik kararlar ve karar modelleri* (5. bs), Ankara: Gazi Kitabevi.

Yazıcıoğlu, N. (2010). *Yapay zeka ile talep tahmini*, Yüksek lisans tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa.

Yazıtaş, F., (2018). *Elektrik Piyasaları.* <https://www.dunyaenerji.org.tr/wp-content/uploads/2018/02/FatihYazitasSunum.pdf>. Erişim Tarihi: 06.01.2019

Yıldız, S. (2015). *Türkiye elektrik piyasası kısa dönemli referans fiyat tahmini*, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Yılmaz, T., Aktaş, F. (2018). Yeni nesil istihdam ve geleceği. *Akademia Sosyal Bilimler Dergisi*, 1, 50

Yücel, C.Ö. (2011). *Elektrik üretiminde hakim durumun tespiti*, Yayınlanmamış uzmanlık tezi, Rekabet Kurumu, Ankara.

Yücesoy, M. (2011). *Temizlik kağıtları sektöründe yapay sinir ağıları ile talep tahmini*, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Yüksel, H. (2008). *Üretim/işlemler yönetimi*. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.

# ÖZGEÇMİŞ

## KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Mustafa Ahmet HAMURCU

Uyruğu: T.C.

Doğum Tarihi ve Yeri: 28/02/1991, Ankara

Medeni Durumu: Bekar

Tel: 352 207 66 66 (14342)

Fax: -

GSM: 507 206 82 00

E-mail: mahamurcu@gmail.com

Yazışma Adresi: Erciyes Üniversitesi Lojmanları 3. Blok No: 18 Kayseri

## EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Nuh Naci Yazgan Üniversitesi	-
Lisans	Erciyes Üniversitesi	2016
Lise	Ahmet Eren Anadolu Lisesi	2009

## İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2014 – Halen	ABG Teknoloji Sistemleri ve Yazılım A.Ş.	Kurucu
2011 – 2012	Ceviz Bilişim	Kurucu
2010 – 2014	Erciyes Üniversitesi İİBF Bilgi İşlem Merkezi	Departman Sorumlusu

## YABANCI DİL

İngilizce, Almanca