



**GÜN ÖNCESİ PİYASASI İÇİN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE TÜRKİYE
ENTERKONNEKTE SİSTEMİ İLETİM HATLARI KAYIPLARININ
TAHMİNİ**

Ali DURSUN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

AĞUSTOS 2019

Ali DURSUN tarafından hazırlanan “GÜN ÖNCESİ PİYASASI İÇİN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE TÜRKİYE ENTERKONNEKTE SİSTEMİ İLETİM HATLARI KAYIPLARININ TAHMİNİ ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Süleyman Sungur TEZCAN

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. Mehmet Timur AYDEMİR

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. Sinan KIVRAK

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 05/08/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Ali DURSUN

05/08/2019

GÜN ÖNCESİ PİYASASI İÇİN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE TÜRKİYE ENTERKONNEKTE SİSTEMİ İLETİM HATLARI KAYIPLARININ TAHMİNİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Ali DURSUN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2019

ÖZET

Günümüzde ülke ekonomilerine olumsuz etkileri nedeniyle enerji kayıplarının maliyeti oldukça önem arz etmektedir. İletim sistemi kayıpları istenilen bir durum olmamakla beraber sıfırlanması da mümkün değildir. Bu kapsamda ülkemiz enterkonnekte iletim sisteminde meydana gelen enerji kayıpları, 28 Mart 2015 tarihinde Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği (DUY)’ne eklenen Geçici 27.Madde hükümleri doğrultusunda, Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) yükümlülüğüne bırakılmıştır. Söz konusu tarihten itibaren Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi (EPIAŞ) tarafından işletilen Gün öncesi piyasasında TEİAŞ piyasa katılımcısı olarak ön görülerini yapıp, gerçekleşen veriler ortaya çıkmadan önce bu miktarları piyasadaki satın almakla yükümlü hale getirilmiştir. TEİAŞ’ın iletim sistemi kayıpları için gelir tavanından ayırdığı kaynak ortalama 1 500 000 000 TL dir. Bu kaynağın 150 000 000 TL’lik kısmını ise gün öncesi piyasası için yapılan tahmin hatalarına ayırmaktadır. Bu çalışmada, iletim sistemi kayıp tahminlerinin en doğru şekilde yapılarak ödenen tutarın azaltılması ve TEİAŞ özelinde ülke ekonomisine katkı sağlanması amaçlanmıştır. Bu kapsamda öncelikli olarak enterkonnekte iletim sistemi kayıpları ve Türkiye elektrik piyasası anlatılmış, yapay sinir ağları hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir. Son olarak iletim sistemi kayıp tahmininin yapay sinir ağları aracılığıyla tahmin edilebilmesi için gerekli olan verilerin sağlanması amacıyla, özgün olarak tarafımızca yazılım yapılan, Türkiye Enterkonnekte İletim Kaybı Tahmin programı olarak adlandırılan yazılım programı anlatılmış ve yapay sinir ağları aracılığıyla yapılan tahminler, gerçekleşen iletim kayıpları ile saatlik olarak kıyaslanmıştır. Çalışmanın TEİAŞ tarafından iletim sistemi kayıp tahminlerinde kullanması durumunda, enerji dengesizlik miktar ve tutarını azaltması öngörülmektedir.

Bilim Kodu : 90513
Anahtar Kelimeler : İletim sistemi kaybı, gün öncesi piyasası
Sayfa Adedi : 97
Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Süleyman Sungur TEZCAN

ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS WITH TURKEY INTERCONNECTED SYSTEM
FOR DAY AHEAD MARKET TRANSMISSION LINES ESTIMATED LOSSES

(M. Sc. Thesis)

Ali DURSUN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

August 2019

ABSTRACT

Today, the cost of energy losses is very important because of the negative effects on the national economies. Transmission system losses are not desirable but cannot be reset. In this context, in our country energy losses that occurred in interconnected transmission system, balancing on March 28, 2015 and Settlement Regulation (BSR) which was added in accordance with the provisions of the Temporary Article 27, Turkey Electricity Transmission Company (TEİAŞ) is left to the liability. Since the mentioned date, TEİAŞ has made its predictions as a market participant in the day ahead market operated by Energy Markets Operation Company (EPIAŞ) and has been obliged to purchase these amounts from the market before the actual data appear. The average resource allocated by TEİAŞ for the transmission system losses from their own ceilings is 1 500 000 000 TL. It allocates a significant portion of this resource to forecast errors for the day ahead market. In this study, it is aimed to reduce the amount paid by making transmission system loss estimates in the most accurate way and to contribute to the national economy especially in TEİAŞ. In this context, priority has been described as the interconnected transmission system losses and Turkey electricity market, information is given about artificial neural networks. Finally, in order to provide the data required to be estimated via the transmission system, artificial neural network losses are estimated, originally by us causing the outbreak I made, Turkey has been described software program called Transmission Loss Forecast program Interconnected and forecasts made by means of artificial neural networks are, on an hourly basis, compared with the actual transmission losses. If the study uses TEİAŞ in transmission system loss estimations, it is foreseen to reduce the amount and amount of energy imbalance.

Science Code : 90513

Key Words : Transmission system loss, day ahead market

Page Number : 97

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Süleyman Sungur TEZCAN

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince değerli yardımlarını, düzeltmelerini ve görüşlerini aldığım danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Süleyman Sungur TEZCAN'a, yüksek lisans öğrenimimde bana destekte bulunan TEİAŞ ailesine, tez yazım sürecinde beni cesaretlendirerek çalışmalarına destek olan eşim Rahime DURSUN, annem Güler DURSUN ve Furkan BOZKURT'a teşekkür etmeyi bir borç bilirim. 09.01.2018 tarihinde aramızdan ayrılan sevgili babam Fethi DURSUN anısına.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
RESİMLERİN LİSTESİ	xiv
HARİTALARIN LİSTESİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. TÜRKİYE ENTERKONNEKTE İLETİM HATLARI VE KAYIPLAR.....	3
2.1. Türkiye Enterkonnekte İletim Hatları	3
2.1.1. İletim hatları	4
2.1.2. Trafo	5
2.1.3. Üretim miktarı	6
2.1.4. ENTSO-E.....	6
2.2. Enterkonnekte İletim Kayıpları	7
2.2.1. İletim sistemi kayıpları	8
2.2.2. İletim sistemi kayıp miktar ve ödemeleri	11
3. PİYASALARA GİRİŞ	15
3.1. Türkiye Elektrik Piyasası Süreci	15
3.2. Elektrik Piyasaları	17
3.3. İkili Anlaşmalar.....	21
3.4. Gün Öncesi Piyasası.....	21

Sayfa

3.5. Gün İçi Piyasası.....	28
3.6. Dengeleme Güç Piyasası.....	29
3.7. Yan Hizmetler Piyasası	37
3.8. Uzlaştırma ve Enerji Dengesizlik Fiyatlandırması.....	38
4. YAPAY SİNİR AĞLARI	45
4.1. Yapay Sinir Ağlarının Tarihçesi	46
4.2. Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri	48
4.3. Yapay Sinir Ağlarının Avantajları ve Dezavantajları	49
4.4. Yapay Sinir Ağları'nın Uygulama Alanları	51
4.5. Yapay Sinir Ağlarının Yapısı.....	52
4.5.1. Biyolojik sinir hücresi	52
4.5.2. Yapay sinir hücresi	54
4.5.3. Yapay sinir ağı yapısı	59
4.5.4. Yapay sinir ağının eğitimi	60
4.6. Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması	61
4.6.1. Tipine göre yapay sinir ağları.....	62
4.6.2. Öğrenme yöntemine göre yapay sinir ağları.....	62
4.6.3. Yapısına göre yapay sinir ağları	64
4.6.4. Katman göre yapay sinir ağları.....	64
4.7. Çok Katmanlı Algılayıcı	64
5. UYGULAMALAR.....	71
5.1. Türkiye Enterkonnekte İletim Sistemi Kayıp Programı.....	71
5.1.1. Veri tabanı	72
5.1.2. Hesapla modülü	74
5.1.3. Gerçekleşen veriler sekmesi	75
5.1.4. Gerçekleşen veriler (0,1) sekmesi	77

	Sayfa
5.1.5. Tahmin veriler sekmesi	79
5.1.6. Tahmin veriler (0,1) sekmesi.....	80
5.1.7. Filtrele modülü	82
5.1.8. Output butonu.....	82
5.1.9. Target butonu.....	82
5.1.10. Excel'e aktar butonu.....	82
5.2. YSA Uygulaması.....	83
5.3. Hafta Sonu Örneği 06 Ocak 2019 Pazar	84
5.4. Hafta İçi Örneği 08 Ocak 2019 Salı	88
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	93
KAYNAKLAR	95
ÖZGEÇMİŞ.....	97

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Ocak 2015 – mayıs 2019 iletim sistemi kayıp oranları	8
Çizelge 2.2. Ocak-2012 ile mayıs-2019 arasında gerçekleşen iletim sistemi kayıpları..	12
Çizelge 2.3. Ocak-2016 ile mayıs-2019 arasında gerçekleşen iletim sistemi kayıp tutarları	12
Çizelge 3.1. Saatlik teklif örneği.....	23
Çizelge 3.2. Köşeli saatlik teklif	23
Çizelge 3.3. Fiyattan bağımsız satış ve alış teklifleri.....	24
Çizelge 3.4. Blok alış ve satış teklifi.....	25
Çizelge 3.5. Esnek piyasa teklifleri.....	26
Çizelge 3.6. Piyasa katılımcısı a'nın teklifi	27
Çizelge 3.7. Piyasa atılımcısı b'nin teklifi	27
Çizelge 3.8. Piyasa katılımcısı c'nin teklifi	27
Çizelge 3.9. Piyasa katılımcısı d'nin teklifi	27
Çizelge 3.10. Piyasa katılımcısı e'nin teklifi	27
Çizelge 3.11. Piyasa katılımcılarını vermiş olduğu alış ve satış teklifleri	27
Çizelge 3.12. Yük alma ve yük atma teklifleri	36
Çizelge 4.1. YSA ile ilgili yapılan çalışmaların kronolojik sıralaması.....	47
Çizelge 4.2. YSA ve sinir hücrelerin benzerliği	54
Çizelge 4.3. YSA ile istatistiksel yöntemlerin benzerlikleri	54
Çizelge 5.1. Enerji dengesizlik tutarları.....	71
Çizelge 5.2. Çalışmada kullanılan bağımsız değişkenler.....	73
Çizelge 5.3. 06 ocak 2019 tahmini için kullanılan veriler	85
Çizelge 5.4. 06 ocak 2019 karşılaştırma	88
Çizelge 5.5. 08 ocak 2019 tahmini için kullanılan veriler	89
Çizelge 5.6. 08 ocak 2019 karşılaştırma	92

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Türkiye iletim hattı uzunlukları	5
Şekil 2.2. Trafo merkezi ve trafo âdeti	5
Şekil 2.3. Kurulu güç ve üretici dağılımı	6
Şekil 2.4. Ocak-2016 ile Mayıs-2019 ISKK oranları	13
Şekil 3.1. Türkiye elektrik piyasasının tarihsel süreci	17
Şekil 3.2. Elektrik sektörünün şematik işleyişi	18
Şekil 3.3. Türkiye elektrik piyasasının genel yapısı	19
Şekil 3.4. Enerji piyasaları işletme anonim şirketi ortak yapısı.....	20
Şekil 3.5. Elektrik piyasaların yapısı	21
Şekil 3.6. Gün öncesi piyasası süreçleri.....	22
Şekil 3.7. Şeffaflık platformunda yayınlanan arz-talep eğrisi	28
Şekil 3.8. Dengeleme güç piyasası ekran görüntüsü.....	32
Şekil 3.9. 09.06.2019 tarihi için sistem marjinal fiyat yönü	35
Şekil 3.10. Uzlaştırma birimleri.....	39
Şekil 3.11. Uzlaştırma işlemi takvimsel işleyişi	43
Şekil 3.12. Piyasa takas fiyatı ve sistem marjinal fiyatı	43
Şekil 4.1. Sinir hücresi	53
Şekil 4.2. Yapay sinir hücresi	55
Şekil 4.3. Doğrusal aktivasyon fonksiyonu	57
Şekil 4.4. Basamak fonksiyonu.....	58
Şekil 4.5. Sigmoid fonksiyonu.....	58
Şekil 4.6. Hiperbolik Tanjant Fonksiyonu	59
Şekil 4.7. Çok katmanlı yapay sinir ağları	60
Şekil 4.8. Yapay sinir ağlarının sınıflandırılması	61
Şekil 4.9. Geri beslemeli yapay sinir ağları	62

Şekil	Sayfa
Şekil 4.10. Öğretmeli öğrenme	63
Şekil 4.11. İleri beslemeli geri yayılım yapay sinir ağı yapısı.....	66
Şekil 5.1. Türkiye enterkonnekte iletim kaybı yazılımı ara yüzü	72
Şekil 5.2. Hesaplama modülü arayüzü.....	75
Şekil 5.3. Gerçekleşen veriler sekmesi ara yüzü.....	77
Şekil 5.4. Gerçekleşen veriler (0,1) ara yüzü.....	79
Şekil 5.5. Tahminverileri sekmesi arayüzü.....	80
Şekil 5.6. Tahmin verileri (0,1) ara yüzü	82
Şekil 5.7. Yapay sinir ağları modeli.....	83
Şekil 5.8. 06 ocak 2019 tarihine ait gerçekleşen veriler ara yüzü.....	85
Şekil 5.9. 06 ocak 2019 tarihine ait tahmin veriler ara yüzü	86
Şekil 5.10. 06 ocak 2019 tarihi için network ağı	86
Şekil 5.11. 06 ocak 2019 tarihine ait network1 ağ görüntüsü.....	87
Şekil 5.12. 06 ocak 2019 tahmin verileri ters transpoze işlemi ekran görüntüsü	87
Şekil 5.13. 08 ocak 2019 tarihine ait gerçekleşen veriler ara yüzü.....	89
Şekil 5.14. 08 ocak 2019 tarihine ait tahmin veriler ara yüzü	90
Şekil 5.15. 08 ocak 2019 tarihi için network ağı	90
Şekil 5.16. 08 ocak 2019 tarihine ait network1 ağ görüntüsü.....	91
Şekil 5.17. 08 ocak 2019 tahmin verileri ters transpoze işlemi ekran görüntüsü	91

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Korona olayı	11

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 2.1. Türkiye 400 kV iletim hattı.....	3
Harita 2.2. Türkiye 154 kV iletim hattı.....	4
Harita 2.3. Türkiye 400 kV ve 154 kV trafo merkezleri.....	4
Harita 2.4. Mevcut enterkonneksiyon hatları ve net transfer kapasiteleri	7

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

Hz	Hertz
km	Kilo Metre
kV	Kilo Volt
kWh	Kilo Watt Saat
MVA	Mega Volt Amper
MW	Mega Watt
MWh	Mega Watt Saat
TL	Türk Lirası

Kısaltmalar

Açıklamalar

DUY	Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği
EAK	Emre Amade Kapasite
EDM	Enerji Dengesizlik Miktarı
EDT	Enerji Dengesizlik Tutarı
ENTSO-E	Avrupa Şebekeleri Elektrik İletim İşletmecileri
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EPIAŞ	Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi
GİP	Gün İçi Piyasası
GÖP	Gün Öncesi Piyasası
KGÜP	Kesinleşmiş Günlük Üretim Planı
LOT	0,1 Mega Watt Saat
PMUM	Piyasa Mali Uzlaştırma Merkezi
PTF	Piyasa Takas Fiyatı
SMF	Sistem Marjinal Fiyatı
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi

Kısaltmalar**Açıklamalar****YAL**

Yük Alma

YAT

Yük Atma

YSA

Yapay Sinir Ağları

YSH

Yapay Sinir Hücresi

1. GİRİŞ

Dünyadaki teknolojik gelişmelere paralel olarak günümüzde elektrik enerjisine olan talep her geçen gün artmaktadır. Artan bu enerji talebi karşısında elektrik üretim, iletim ve dağıtım hatlarında ortaya çıkan enerji kayıplarının maliyeti bu alanlarda faaliyet gösteren kurum ve kuruluşlar için önemli bir sorun teşkil etmektedir. Ülkemizde iletim sistemi kayıplarını etkileyen en önemli faktörler arasında sıcaklık, nem, tüketim miktarı sayılabilir. Buna bağlı olarak enterkonnekte iletim sistemi kayıp oranı %2 ile %3 arasında gerçekleşmektedir [1].

Ülkemizde enterkonnekte iletim hatlarında meydana gelen kayıp miktarı DUY Geçici 27. Maddesi hükümleri doğrultusunda Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) tarafından satın alınır. TEİAŞ 01.01.2016 tarihinden itibaren iletim sistemi kayıplarını satın almaya başlar [2]. 01.01.2016 tarihinde iletim sistemi kayıplarının uzlaştırılmasını temin edilmesi için TEİAŞ'ın Piyasa İşletmecisine tüzel kişilik kaydı gerçekleştirilir [2]. TEİAŞ piyasa katılımcısı olarak Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi (EPIAŞ) tarafından işletilen Gün Öncesi Piyasası(GÖP)'den iletim sistemi kayıplarını satın alan bir piyasa oyuncu olarak faaliyete bulunur. GÖP'de bir önceki gün ertesi günün her saati için tahmin yöntemi ile satın alınan iletim kaybı miktarı ile gerçek zamanda meydana gelen kayıp miktarı arasında farklar oluşmakta ve bu fark miktarı enerji dengesizliği olarak adlandırılmaktadır. Enerji dengesizlikleri piyasa işletmecisi tarafından uzlaştırma işlemi yapılırken, çift fiyat mekanizması ve ceza katsayısı uygulanmakta, bu da piyasa katılımcılarına ekstra bir mali yük getirmektedir.

Yapay zekâ uygulamalarının en önemlilerinden biri olan yapay sinir ağları özellikle insan beyninin çalışma prensipleri doğrultusunda, mevcutta var olan verileri analiz edip, bu veriler ışığında algoritmalar ile sonuç üretmek üzere tanımlanmıştır. Özellikle veriler arasında fonksiyonel ve lineer bir bağ olmadığı durumda en yaygın kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir. İletim sistemi kayıplarını etkileyen faktörler arasında doğrudan bir fonksiyonel ve lineer bağlantı olmaması, yapay sinir ağlarını en uygun yöntem olarak ön plana çıkartmaktadır.

Enerji sistemlerinde meydana gelen kayıpların hesaplanmasına yönelik ilk çalışmalar 20. yüzyılın başlarından itibaren başlamış, bu kapsamda kayıp miktarlarının hesaplanması için

çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu hesaplama yöntemleri doğrultusunda araştırmacılar, enerji kayıplarının azaltılmasına yönelik birçok çalışma ortaya koymuştur. Ancak iletim sistemi kayıplarının tahmini noktasında yaptığımız bu çalışma özgünlük arz etmektedir.

Bu tez çalışmasında öncelikle Türkiye enterkonnekte iletim sistemi ve kayıpları ile elektrik ticaretinin yapıldığı Türkiye elektrik piyasaları anlatılmıştır. Özellikle dengesizliklerin hesaplanmasında kullanılan Piyasa Takas Fiyatı(PTF) ve Sistem Marjinal Fiyatı(SMF) oluşumu ele alınarak dengesizliğe düşülmesi durumunda karşılaşılabilecek dengesizlik fiyatlamalarından bahsedilmiştir. Sonrasında ise özellikle lineer ve fonksiyonel olarak bağlantısı olmayan yapılarda uygulanan yapay sinir ağları ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Son olarak ise yapay sinir ağlarına veri sağlamak üzere tarafımızca hazırlanan özgün Türkiye Enterkonnekte İletim Kaybı yazılımından bahsedilerek, yapay sinir ağları (YSA) üzerinden tahminleme işlemi yapılmış ve gerçekleşen değerler ile karşılaştırılmıştır.

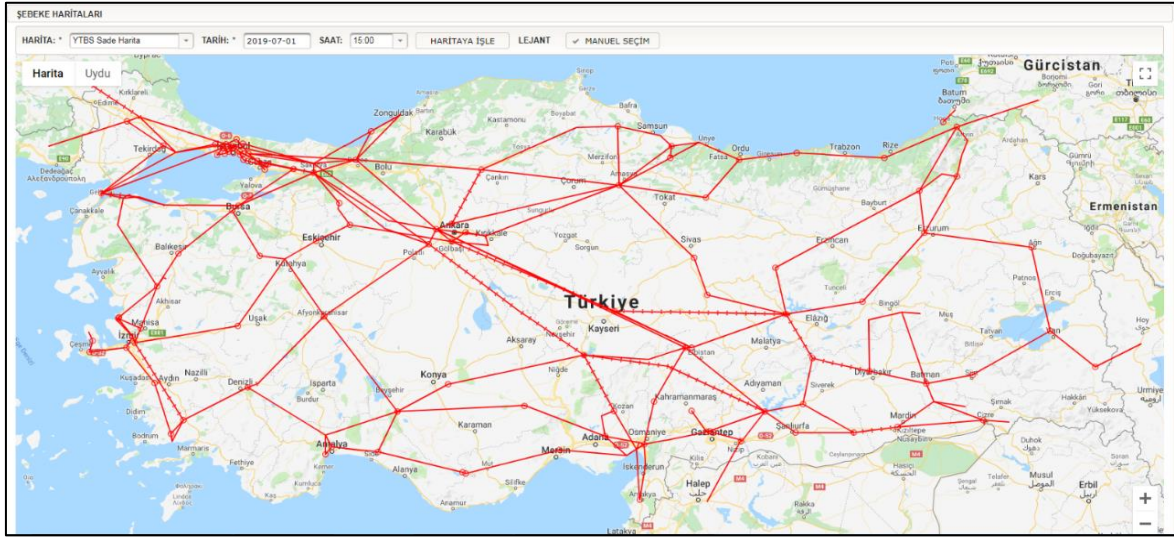
Sonuç olarak Türkiye enterkonnekte iletim hatlarında meydana gelen enerji kayıpları saat, gün, ay, örnekleme yapılan illerin sıcaklık ve nem verileri, tüketim verisi, kayıp verisi kullanılarak enterkonnekte iletim sistemi kayıpları saatlik bazda tahmin edilmiş ve gerçekleşen değerlerle karşılaştırılarak çeşitli çıkarımlar da bulunulmuştur.

2. TÜRKİYE ENTERKONNEKTE İLETİM HATLARI VE KAYIPLAR

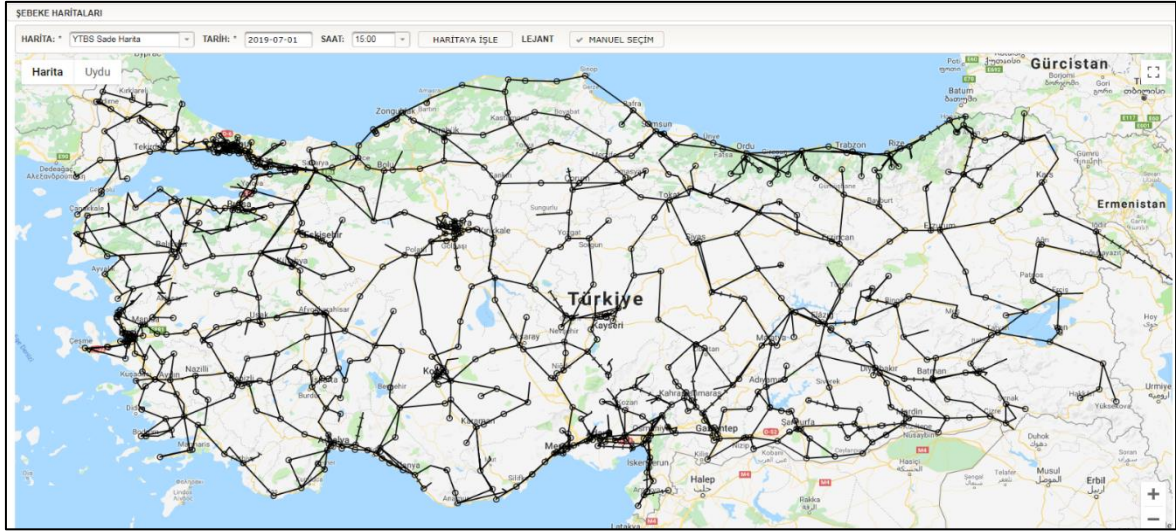
Dünyada elektriğin her geçen gün artan vazgeçilmez konumu, elektriği temel insani ihtiyaçlardan biri haline getirmiştir. İletim sistemi bu ağın en önemli unsurlarından biridir.

2.1. Türkiye Enterkonnekte İletim Hatları

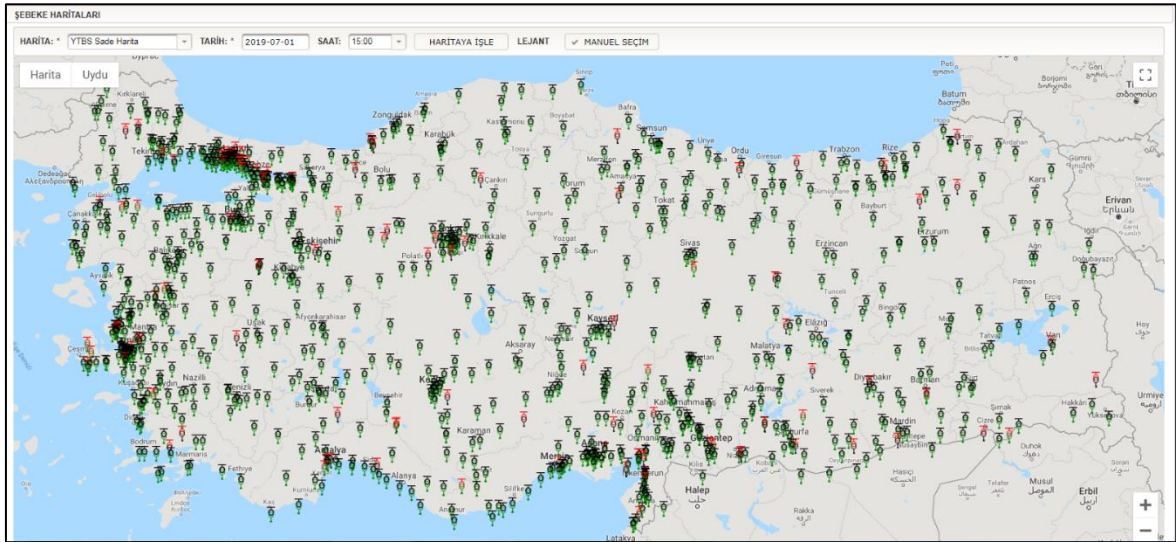
Ülkemizde iletim hatları, Enerji Piyasaları Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından 13.03.2003 tarihinde verilen iletim lisansı ile TEİAŞ'ın tekelindedir. TEİAŞ elektriğin kaliteli, kesintisiz, çevreye koşullarına ve elektrik piyasalarına duyarlı bir şekilde iletilmesinden sorumludur. TEİAŞ tarafından işletilen 400 kV, 154 kV ve trafo merkezleri Harita 2.1, Harita 2.2, ve Harita 2.3 ile gösterilmiştir.



Harita 2.1. Türkiye 400 kV iletim hattı



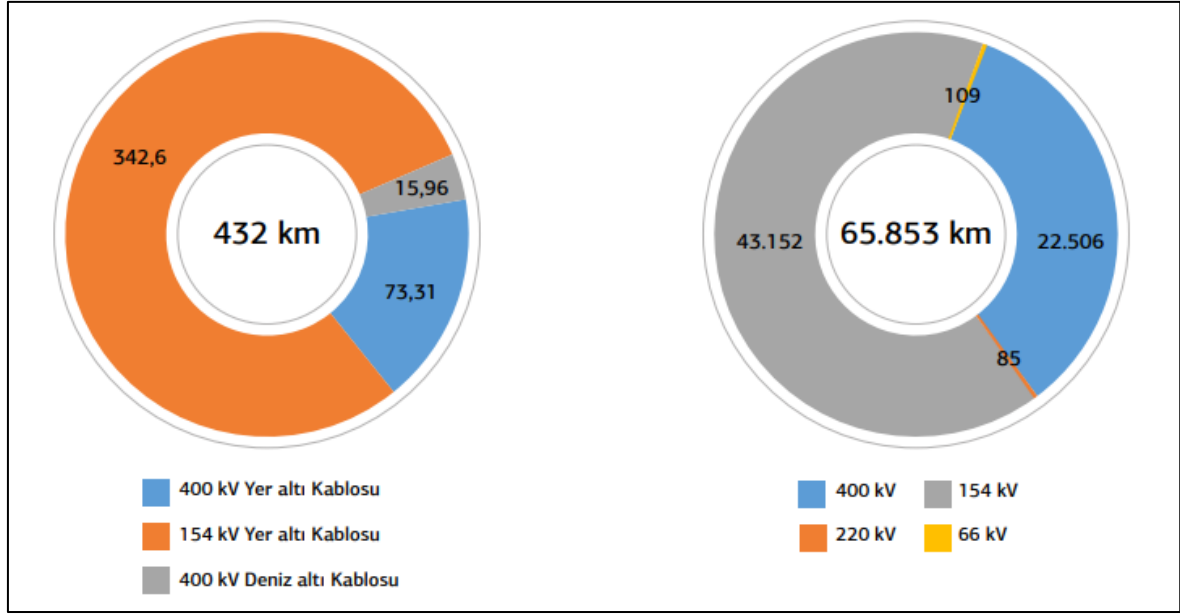
Harita 2.2. Türkiye 154 kV iletim hattı



Harita 2.3. Türkiye 400 kV ve 154 kV trafo merkezleri

2.1.1. İletim hatları

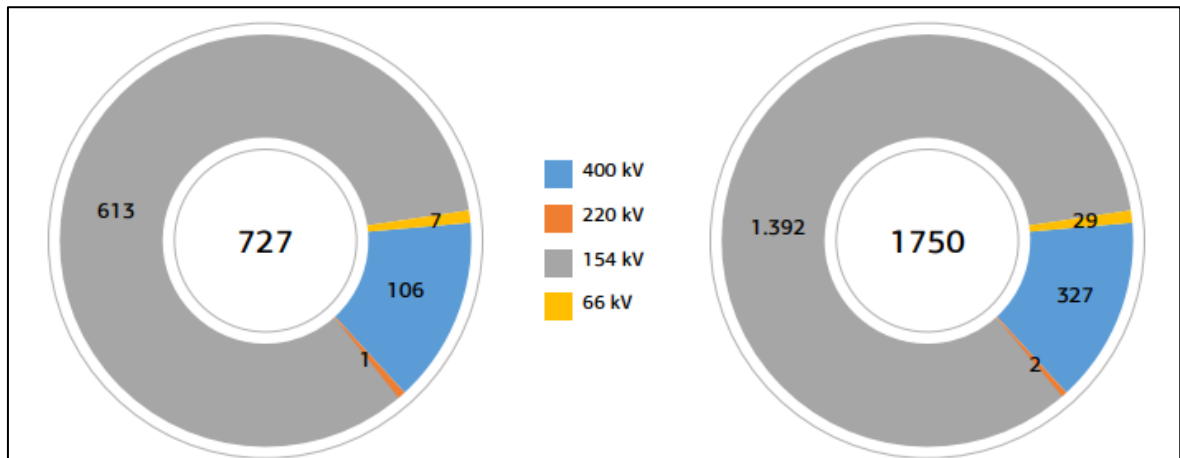
Türkiye İletim hattı uzunluğu 2017 yılı sonu itibariyle, 65 853 km havai iletim hattının, 22 506 km'si 400kV, 43 152 km'si 154 kV, 109 km'si 66 kV ve 85 km'lik kısmı ise 220 kV'dan oluşmaktadır. Yeraltı kabloları özellikle Çanakkale boğaz atlamalarının yapımı ile artış göstermiş olup, 432 km'lik yer altı kablosunun 15,96 km'si 400 kV denizaltı yer altı kablosu, 73,31 km'si yeraltı 400 kV, 342,6 km'si 154 kV'luk yer altı kablolarından oluşmaktadır. Şekil 2.1 de grafiksel olarak iletim hatları gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Türkiye iletim hattı uzunlukları [1]

2.1.2. Trafo

Türkiye enterkonnekte iletim sistemimizde 2017 yılı sonu itibariyle toplam 163 849 MVA trafo gücü, 727 adet trafo merkezi ve 1750 adet trafo bulunmaktadır. 727 adet trafo merkezinin 106 adeti 400 kV, 613 adeti 154 kV, 1 adeti 220 kV, 7 adeti ise 66 kV trafo merkezidir. 1750 adet trafonun ise 327 adeti 400 kV, 1392 adeti 154 kV 2 adeti 220 kV, 29 adeti ise 66 kV dur. Türkiye enterkonnekte iletim hatlarına ait trafo merkezi ve trafo adeti Şekil 2.2 deki gibidir.



Şekil 2.2. Trafo merkezi ve trafo âdeti [1]

2.1.3. Üretim miktarı

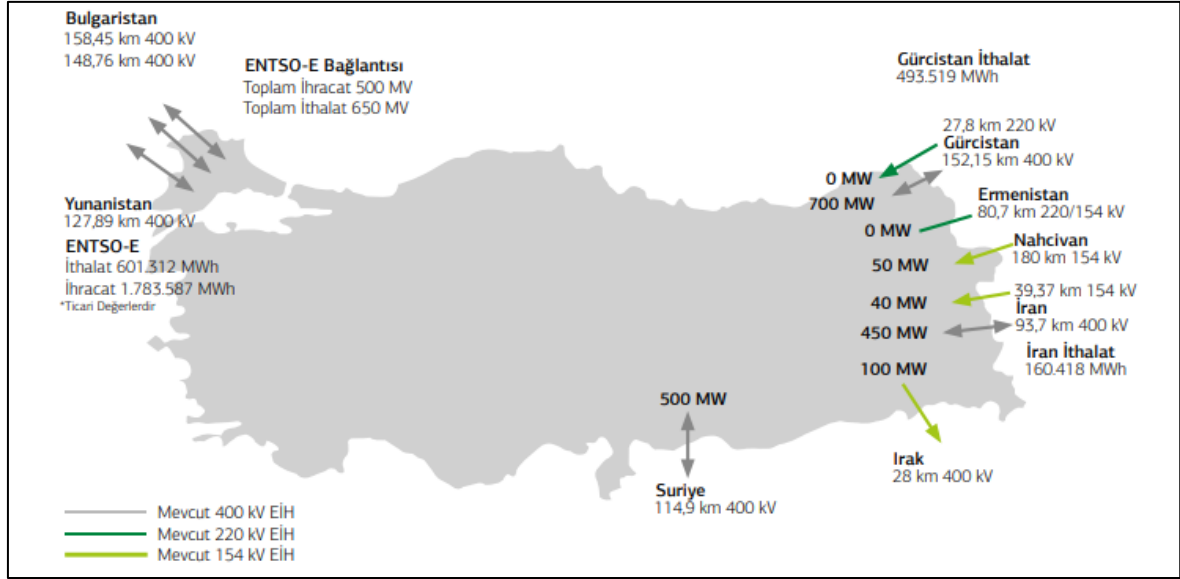
Türkiye 2017 yılı sonu itibariyle 85 200 MW kurulu santral gücü, 47 660 MW ani puantı, 295,5 milyar kWh yıllık enerji üretimine sahiptir. Kurulu gücün üretici bazında dağılımı Şekil 2.3 deki gibidir.

TÜRKİYE ELEKTRİK ENERJİSİ KURULU GÜÇ VE ÜRETİMİNİN ÜRETİCİ KURULUŞLARA DAĞILIMI		
KURULUŞLAR	KURULU GÜÇ (MW)	ÜRETİM (GWh)
EÜAŞ	19.899,8	47.094,7
SÜŞ	52.353,3	193.355,8
YİD	1.378,9	8.190,0
Yİ	6.101,8	39.305,5
İHD	1.820,9	5.722,0
LİSANSSIZ SANT.	3.645,3	3.609,4
TÜRKİYE TOPLAMI	85.200,0	297.277,5

Şekil 2.3. Kurulu güç ve üretici dağılımı [1]

2.1.4. ENTSO-E

TEİAŞ ile ENTSO-E arasındaki enterkonneksiyon çalışmaları ilk olarak 2005 yılında fiili olarak başlamış, deneme paralel işletme sürecine 18.09.2010 yılı itibariyle Avrupa Elektrik İletim Sistemi İşletmeciler ağı ile senkron paralel olarak bağlantı sağlanmıştır. Senkron paralel bağlantıya müteakiben 14.04.2015 tarihinde uzun dönem anlaşmasıyla, Türkiye elektrik piyasası Avrupa iç elektrik piyasası ile hukuki olarak da bütünleşme yoluna gitmiştir. 14.01.2016'da ise gözlemci üyelik anlaşması imzalanarak TEİAŞ, ENTSO-E'nin ilk ve tek gözlemci üyesi olmuştur. Ulusal elektrik sisteminin diğer ülkeler ile olan bağlantıları Harita 2.4 ile gösterilmiştir.



Harita 2.4. Mevcut enterkonneksiyon hatları ve net transfer kapasiteleri [1]

2.2. Enterkonnekte İletim Kayıpları

Ülkemizin artan enerji talebi karşısında ortaya çıkan enerji kayıplarının azaltılması bir üretim tesisin kurulması kadar önemlidir. İletim sistemi kayıpları EPIAŞ tarafından üretilen elektrik enerjisinden, tüketilen elektrik enerjinin çıkarılması ile hesaplanır. Hesaplanan miktar Dengeleme ve uzlaştırma Yönetmeliği(DUY) Geçici 27.Maddesi gereği TEİAŞ'a fatura edilmektedir. İletim sistemine ilişkin kayıplar teknik kayıp ve teknik olmayan kayıplar şeklinde ikiye ayrılır. İletim sistemi kayıpları 01.01.2016 tarihinden itibaren TEİAŞ gelir tavanından ayrılan bütçe ile karşılanmaktadır. İletim sistemi kayıpları için 2019 yılında ayrılan bütçe 1.650.000.000 TL dir.

Ülkemizde iletim sistemi kayıpları %2 ile %3 arasında gerçekleşmektedir [1]. Gerçekleşen bu değerler aslında ülkemizin iletim sistemi kayıpları anlamında Avrupa standartlarını yakaladığını göstermektedir. Ocak-2015 ile Mayıs-2019 arasında gerçekleşen iletim kayıp oranları çizelge 2.1 gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Ocak 2015 – Mayıs 2019 iletim sistemi kayıp oranları

Ocak 2015 - Mayıs 2019 İletim Sistemi Kayıp Oranı					
Aylar	2015	2016	2017	2018	2019
Ocak	2,36	2,03	2,09	1,84	1,84
Şubat	2,36	2,05	2,13	1,76	2,03
Mart	2,24	1,98	1,76	1,77	1,79
Nisan	1,53	2,68	2,06	1,71	2,56
Mayıs	2,31	2,64	2,39	2,16	3,60
Haziran	2,21	2,63	1,96	2,13	
Temmuz	2,51	2,46	2,41	1,96	
Ağustos	2,22	2,25	2,36	2,09	
Eylül	2,16	2,04	2,18	2,04	
Ekim	1,85	1,95	1,76	1,97	
Kasım	1,98	1,98	2,04	1,89	
Aralık	1,82	2,06	1,77	1,76	
Ortalama	2,13	2,23	2,07	1,92	2,36

2.2.1. İletim sistemi kayıpları

İletim sistemi kayıpları elektrik piyasa yöneticisi EPIAŞ tarafından aylık periyotta yapılan uzlaştırma işlemleri sonucunda, uzlaştırmaya esas veriş miktarından, uzlaştırmaya esas çekiş miktarının çıkarılması ile bulunur.

$$ISK M_u = \sum_{s=1}^n ISVM_{s,u} - \sum_{s=1}^n ISC M_{s,u} \quad (2.1)$$

İletim sistemi kayıpları, teknik kayıplar ve teknik olmayan kayıplar olarak iki ayrı ana başlıkta incelenebilir.

Teknik olmayan kayıplar

Ticari kayıplar olarak da adlandırılır. Bu kayıp türünde insan faktörü ön plana çıkmaktadır. Bu tip kayıplara yanlış okunan bir sayaç verisi veya hatalı yapılan iletim sistemi bağlantısı örnek olarak verilebilir.

- İletim hattından yapılan izinsiz bağlantılar
- Sayaç kurulumunda yaşanan gecikmeler
- Yanlış sayaç okumaları
- Hatalı bağlantılar
- Bilgi yetersizliği
- Hesaplama hataları

Teknik kayıplar

Elektrik sisteminin temel elemanlarından kaynaklanan kayıplar olarak da adlandırılır. Teknik kayıplar, iletim sisteminde yer alan iletken, iletken sargılar, transformatörler, izolatörler ve benzeri ekipmanlarda meydana gelen korona, kısmi deşarj, izolasyon kayıplarını içerir. İletim sistemindeki kayıpların büyük bölümü bu kısımda gerçekleşir. Teknik kayıplar genel anlamda üç kısımda incelenebilir.

- İletim hattında meydana gelen kayıplar
- Güç transformatörlerindeki kayıplar
- İletim sistemi diğer elemanlarında meydana gelen kayıplar

İletim sisteminde meydana gelen kayıpları etkileyen ana faktörler şu şekilde sıralanabilir.

- Hat ve transformatörlerde meydana gelen ısı kayıpları
- İletim hattında meydana gelen faz dengesizlikleri
- İletim hattı yüklemesi
- Tüketim miktarı
- Sıcaklık
- Nem

Teknik kayıplar kendi içinde yükten bağımsız kayıplar ve yüke bağımlı kayıplar olarak incelenebilir.

Yükten bağımsız kayıplar

İletim hattı üzerinde gerilim altında bulunan fakat yüklenmemiş olan hat elemanları tarafından çekilen enerji miktarı olarak adlandırılır. Bu tür kayıplar şebeke elemanları gerilim altında bulunduğu süre zarfında meydana gelir. Oluşan kayıp miktarı iletim hattı elemanlarının gerilim altında kalma süreleri ve izolasyon malzemelerinin durumuna göre değişir. Bu tür kayıplar demir kayıpları, kablo ve kondansatörlerin dielektrik kayıpları, korona kayıpları, kaçak akım kayıpları ile sayaç, röle, ölçü aletleri vb. gerilim bobinlerindeki kayıpları içerir.

Bu kayıpların önemli bir kısmını oluşturan korona ve kaçak akım kayıpları atmosferik şartlar ile değişkenlik gösterirken diğer kayıplar genelde iletim sisteminin sabit kayıpları olarak adlandırılır.

Transformatör kayıpları

Boşta çalışan transformatörlerin iletim sisteminden çekmiş oldukları reaktif ve aktif akımdan oluşur. Boşta çalışma sebebiyle çoğunlukla reaktif akım çekilir.

İşletim hattı elemanları ve izolatör kayıpları

Havai hatlarda izolatörlerin kirlenmesi ve akımın geçişine müsait bir yapıya dönüşmesi sebebiyle yüksek gerilim altında çalışan malzemelerde bir kaçak akım meydana gelir. Bu sebeple oluşan kayıplara izolatör kayıpları denir.

Korona kayıpları

Bir iletkenin üzerinde bulunan akım ve gerilim ile oluşan elektrik alan şiddetinin kendisini çevreleyen gazın delinme geriliminden büyük olması sonucu oluşan kısmi boşalmalara denir.



Resim 2.1. Korona olayı [3]

Yüke bağlı kayıplar

İletim sistemi üzerinde tamamen yük akımları tarafından meydana getirilen ve aslında o anda üzerinde bulunan akım ve gerilimlere göre değişen kayıplardır. Bunların genelde akım şiddetinin karesi ile orantılı olarak değiştiği varsayılır.

2.2.2. İletim sistemi kayıp miktar ve ödemeleri

Ocak-2012 ile Mayıs-2019 tarihleri arasında aylık olarak gerçekleşen Türkiye enterkonnekte iletim sistemi ortalama kayıp miktarları Çizelge 2.2 de yer almaktadır.

Çizelge 2.2. Ocak-2012 ile Mayıs-2019 arasında gerçekleşen iletim sistemi kayıpları

AY	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Ocak	560.000	483.000	559.000	433.000	439.000	482.000	452.000	433.000
Şubat	484.000	329.000	438.000	381.000	389.000	436.000	374.000	428.000
Mart	457.000	369.000	420.000	380.000	396.000	380.000	398.000	396.000
Nisan	343.000	342.000	442.000	241.000	520.000	415.000	358.000	532.000
Mayıs	294.000	382.000	443.000	377.000	521.000	501.000	460.000	768.000
Haziran	325.000	463.000	444.000	447.000	553.000	401.000	451.000	
Temmuz	446.000	449.000	566.000	545.000	554.000	620.000	517.000	
Ağustos	351.000	487.000	590.000	568.000	547.000	621.000	519.000	
Eylül	286.000	463.000	518.000	457.000	397.000	487.000	455.000	
Ekim	408.000	422.000	441.000	361.000	394.000	411.000	414.000	
Kasım	390.000	473.000	464.000	392.000	414.000	458.000	407.000	
Aralık	484.000	533.000	465.000	400.000	483.000	426.000	414.000	
Genel Toplam	4.828.000	5.195.000	5.790.000	4.982.000	5.607.000	5.638.000	5.219.000	2.557.000

Ocak-2012 ile Mayıs-2019 tarihleri arasında aylık olarak Türkiye enterkonnekte iletim sistemi kayıplarına ödenen (KDV hariç) ortalama tutarlar Çizelge 2.3’de yer almaktadır.

Çizelge 2.3. Ocak-2016 ile Mayıs-2019 arasında gerçekleşen iletim sistemi kayıp tutarları

Aylar	2016	2017	2018	2019
Ocak	90.700.000	89.100.000	92.200.000	104.000.000
Şubat	66.600.000	76.900.000	78.500.000	111.000.000
Mart	48.000.000	73.100.000	81.800.000	105.000.000
Nisan	68.000.000	64.200.000	88.800.000	105.000.000
Mayıs	67.300.000	80.100.000	117.000.000	181.000.000
Haziran	88.100.000	63.100.000	108.000.000	
Temmuz	84.300.000	113.000.000	128.000.000	
Ağustos	95.100.000	112.000.000	125.000.000	
Eylül	58.600.000	89.900.000	109.000.000	
Ekim	60.000.000	78.200.000	133.000.000	
Kasım	67.300.000	81.900.000	119.000.000	
Aralık	11.900.000	82.900.000	105.000.000	
Genel Toplam	805.900.000	1.004.400.000	1.285.300.000	606.000.000

Ocak-2016 ile Mayıs-2019 tarihleri arasında İletim sistemi kayıplarının uzlaştırmaya esas çekiş miktarına oranı olan ISKK değerleri Şekil 2.4 de yer almaktadır.

$$ISKK_u = \frac{\sum_{s=1}^n \dot{I}SVM_{s,u} - \sum_{s=1}^n \dot{I}S\dot{C}M_{s,u}}{\sum_{s=1}^n \dot{I}SVM_{s,u}} \quad (2.2)$$



Şekil 2.4. Ocak-2016 ile Mayıs-2019 ISKK oranları [4]

3. PİYASALARA GİRİŞ

Hall ve Lieberman'a göre piyasa, alım potansiyeli ve satım potansiyeli olan alıcı ve satıcı gruplarından oluşur [5]. Lipsey'in piyasa tanımı ise günümüz anlamında piyasanın, alıcı ve satıcının herhangi bir ürünün ticareti için karşılıklı anlaşabilecekleri durumu belirttiğini ifade eder [6]. Ayrıca piyasa, her türlü mal veya hizmetin arz talep dengesi içerisinde oluşan fiyatlara göre alım satımının yapıldığı bir sistem olarak da tanımlanır [7].

Bu tanımlar çerçevesinde piyasa, alıcı ve satıcıların bir ürün veya hizmet üzerinde ticaret yapmak için bir araya geldiği sanal veya gerçek bir ortamdır. Piyasa olmanın üç önemli koşulu vardır: alıcı, satıcı ve ortam.

3.1. Türkiye Elektrik Piyasası Süreci

Dünya ve Avrupa piyasalarındaki gelişmelerle eş zamanlı olarak yayımlanan 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu'nun 3 Mart 2001 tarihinde yürürlüğe girmesiyle birlikte, Türkiye elektrik piyasasında yeni bir döneme giriş yapıldı [8]. Söz konusu Kanun ile elde edilmek istenen amaç; piyasa aktörlerinin rekabetçi, serbest, mali açıdan güçlü, istikrarlı ve şeffaf bir elektrik piyasası oluşturmaktır [8]. Bu Elektrik Piyasası Kanununa göre elektrik alım satımı, ikili anlaşmalar piyasası ve bu piyasayı tamamlayacak olan dengeleme güç piyasasında yapılması ön görülmüştür [8]. İkili anlaşmalar, tarafların kendi aralarında imzaladıkları özel hukuk kurallarına tabi olarak gerçekleşen piyasalar ve bu anlaşmaları tamamlayan gerçek zamanda işletilen dengeleme güç piyasaları olarak tanımlanır.

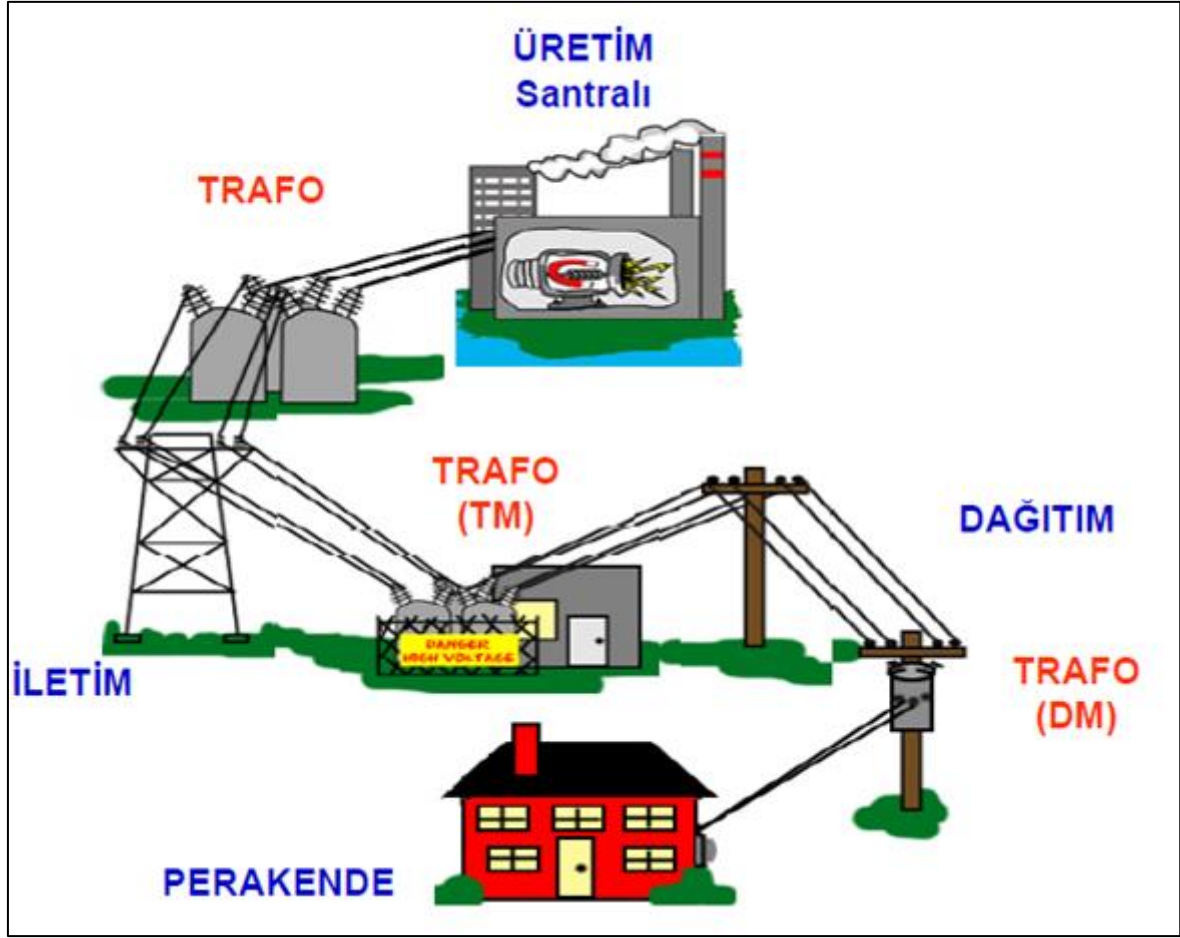
Dengeleme ve uzlaştırma kapsamında, öncelikli olarak 30 Mart 2003 tarihinde Elektrik Piyasasında Mali Uzlaştırma Yapılmasına ilişkin Usul ve Esaslar Hakkında Tebliğ yayımlandı. Sekiz ay süren denemeler boyunca üç kez revize edilen Tebliğ hükümleri, Aralık 2003'de yürürlüğe girdi. Aralık 2003 ile Temmuz 2006 arasında uygulamada olan bu Tebliğ'e sadece özel sektör piyasa katılımcıları tabi idi. Her ayın başında piyasa katılımcıları, 01 Eylül 2015 tarihinden önce piyasa işletmecisi olan ve TEİAŞ bünyesinde yer alan Piyasa Mali Uzlaştırma Merkezine enerji satış miktarlarını ve ikili anlaşma miktarlarını bildiriyordu. Aylık dönem sonunda bildirmiş oldukları üretim miktarı ikili anlaşmaları karşılamıyor ise, katılımcılara Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu onaylı yük

alma fiyatları üzerinden işlem yapıyordu. 9 Temmuz 2018 tarih ve 703 sayılı Kanun Hükmünde Kararname ile Elektrik Üretim Anonim Şirketine devredilen Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt Anonim Şirketi tarafından o dönemde borç tahakkuk ettirilirken üretimleri ikili anlaşmalarından fazla olan katılımcılara da Kurul onaylı yük atma fiyatları esas alınarak ödeme yapıyordu [9].

3 Kasım 2004 tarihinde yayımlanan geçici Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği'nin (DUY) uygulanmasına, 1 Temmuz 2006 tarihinde gerçekleşen kısmi sistem oturmasının oluşturduğu olağanüstü ortam sebebiyle 2006 Ağustos'ta başlama bilindi. Aralık 2009'a kadar uygulanan Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği hükümlerine göre üretim tesisleri günlük üretim programlarını hazırlıyor ve bunun altında veya üstünde çalışmak için de saatlik yük alma (YAL) ve yük atma (YAT) teklifleri sunuyorlardı. Enerji dengesizlikleri ise puant, gece ve gündüz olmak üzere üç uzlaştırma dönemi olarak hesaplanan sistem dengesizlik fiyatı üzerinden uzlaştırma işlemleri yürütülüyordu [2].

Bir sonraki aşama ise, 14 Nisan 2009 tarihinde yayımlanan nihai Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliğidir. 1 Aralık 2009 tarihinde yürürlüğe alındı ve bunun sonucu olarak gün öncesi dengeleme ile gerçek zamanlı dengeleme birbirinden ayrıldı. Gün öncesi dengeleme, Gün Öncesi Planlama yöntemiyle yapılmaya başlandı [9]. Gün Öncesi Planlama kısmına tüm lisans sahibi piyasa katılımcılarının katılması mecbur kılındı. Tedarikçiler tüketim tahmini sunarken üreticiler üretim planının yanı sıra ertesi gün için yük alma (YAL) ve yük atma (YAT) tekliflerini sunmakla yükümlüydüler. Uzlaştırma dönemi her günün her saati olarak belirlendiği bu dönemde, enerji dengesizlikleri gerçek zamanda belirlenen sistem marjinal fiyatına(SMF) göre çift fiyat mekanizmalı olarak uzlaştırılıyordu [9].

1 Aralık 2011 tarihinde ise Gün Öncesi Planlama kaldırılarak, yerine katılımın tercihe bağlı olduğu GÖP getirildi. Piyasa takas fiyatı (PTF), piyasa katılımcıları tarafından verilen teklifler doğrultusunda satış ve alış teklifleri girdi olarak kullanılması suretiyle belirlenmeye başlandı. Her piyasa katılımcısı kendi portföyünde yer alan enerji miktarlarını dengelediği bir piyasa yapısı oluşturuldu. Bir önceki gün ertesi günün her saati için arz ve talep eğrilerinin ve sosyal faydanın kesiştirilmesiyle saatlik olarak piyasa takas fiyatı belirlenmektedir. Alış kısmında yer alan piyasa katılımcıları fiyattan bağımsız alış teklifi, fiyata bağımlı alış teklifi, blok teklif ve esnek teklifler verebilmekte ayrıca talep tahmini bildirmekte ve farklı fiyatlar için farklı alış miktarları girebilmektedir. Bu piyasada oluşan

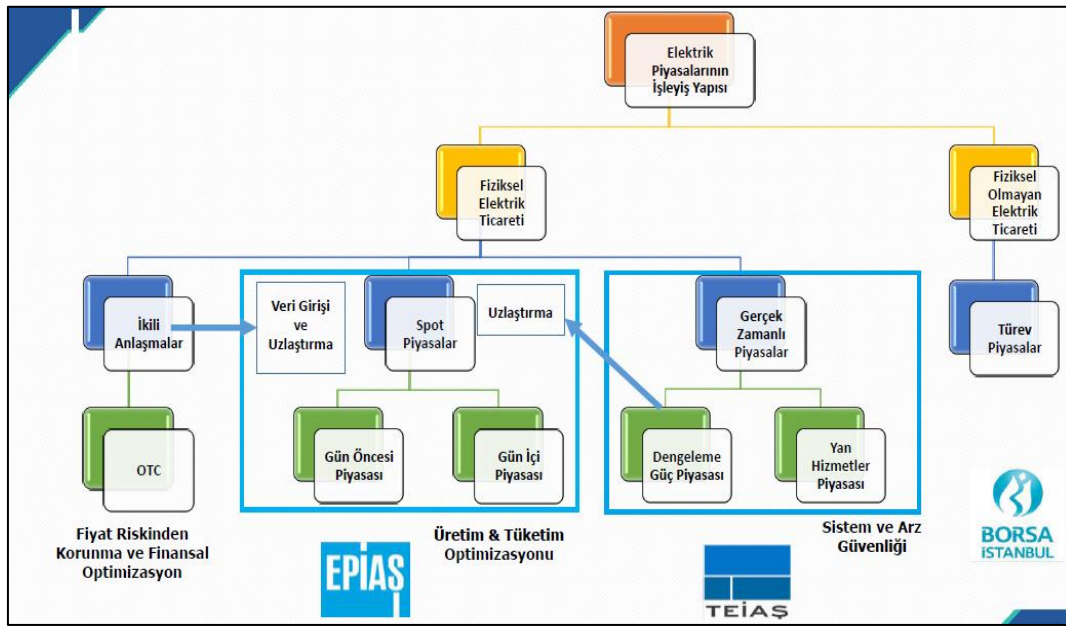


Şekil 3.2. Elektrik sektörünün şematik işleyişi [10]

Elektrik enerjisi, ekonomik ve teknik anlamda önemli miktarda depolanamaz. Depolanabilen elektrik enerjisi ile tüketim arasında bir tampon bulunması gerekmektedir. Enerji miktarı olarak tüketim, bazen üretim miktarının üstüne çıkar bazen ise altında kalabilir. İşte aradaki bu stok sayesinde üretim tüketimi geçtiği zaman fazla üretim stoğa aktarılır, tüketim üretimi geçtiği zaman da talep stoktan karşılanır. Ancak günümüz şartlarında bu oldukça maliyetli bir sistemin kurulması ile mümkün olmaktadır.

Arada stok olmadığından talep ve arz direkt karşı karşıya gelir ve bu durum serbest piyasanın anlık olarak yönetilmesi gerekliliğini ortaya koyar. Bunun sebebi ise elektrik enerjisinin kendi kendine arz ile talebi eşitlemesinin imkânsız olmasıdır. Standartlar çerçevesinde işleyen bir elektrik piyasasında yıllık maksimum emre amade kapasite (EAK) tam puant yükü karşılayacak düzeyde gerçekleşebilir, ne var ki böyle bir arz-talep eşitliğini anlık olarak beklemek fazla iyimserlik olur. Bu nedenle, arz ve talebin dengeli bir şekilde gerçekleşmesi için serbest elektrik piyasalarında organize piyasaların önemi oldukça büyüktür. 6446 sayılı

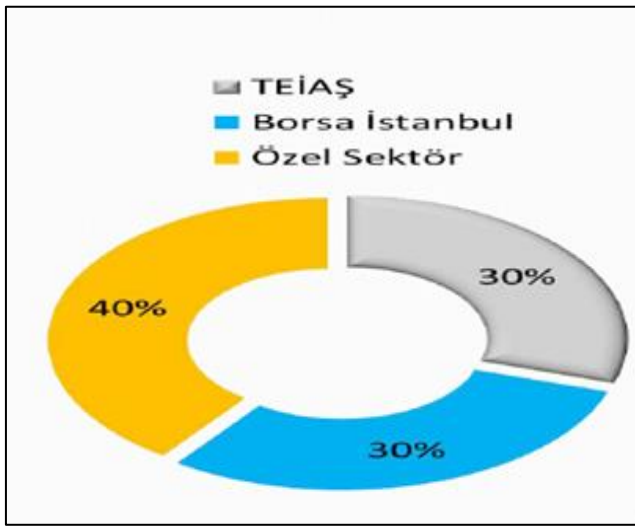
Elektrik Piyasası kanununa göre organize piyasalar, bir aracı (EPİAŞ) tarafından işletilen gün içi piyasası, gün öncesi piyasası gibi piyasalardır [8]. Serbest organize bir piyasada satıcı ile alıcı birbirini görmez, hatta bilmez buna gereksinimde yoktur. Aracı kurum enerji piyasaları için EPİAŞ, satıcı karşısında alıcı gibi, alıcı karşısında da satıcı gibi davranır. Bir bakıma enerji piyasaları için aracı kurum olan EPİAŞ'ın yaptığı, elektriği, satmak isteyen tüccardan alıp, satın almak isteyen tüketiciye satmaktır. Ülkemizde enerji piyasaları fiziki elektrik ticaretinin yapıldığı piyasalar ve fiziki olmayan elektrik ticaretinin yapıldığı türev piyasalar olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Fiziki elektrik ticaretinin yapıldığı piyasalar ikili anlaşmalar, spot piyasalar ve gerçek zamanlı piyasalar olarak ayrılmaktadır. TEİAŞ Dengeleme ve uzlaştırma yönetmeliği gereği sorumlu olduğu İletim sistemi kayıplarının alınmasın da ikili anlaşmalar, Gün öncesi piyasası ve Gün içi piyasasında işlem yapmak için yetki almıştır. Genel olarak kullanılan Gün öncesi piyasası ve İkili anlaşma yöntemleridir. Şekil 3.3'de Türkiye elektrik piyasası genel yapısı yer almaktadır.



Şekil 3.3. Türkiye elektrik piyasasının genel yapısı [11]

Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi (EPİAŞ), 6446 sayılı ve 14.03.2013 tarihli kanunu ile Türk ticaret kanunu hükümlerine tabi olarak 12 Mart 2015 tarihinde tescil işlemlerinin tamamlanmasının ardından resmen kurulmuş ve 1 Eylül 2015 tarihinde ise EPİAŞ piyasa işletme lisansını almıştır [12]. EPİAŞ'ın kuruluş amacı ve faaliyet kapsamı ise Piyasa işletim lisansında yer alan enerji piyasalarının etkin, şeffaf, güvenilir ve enerji piyasasının ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde planlanması, kurulması, geliştirilmesi ve işletilmesidir.

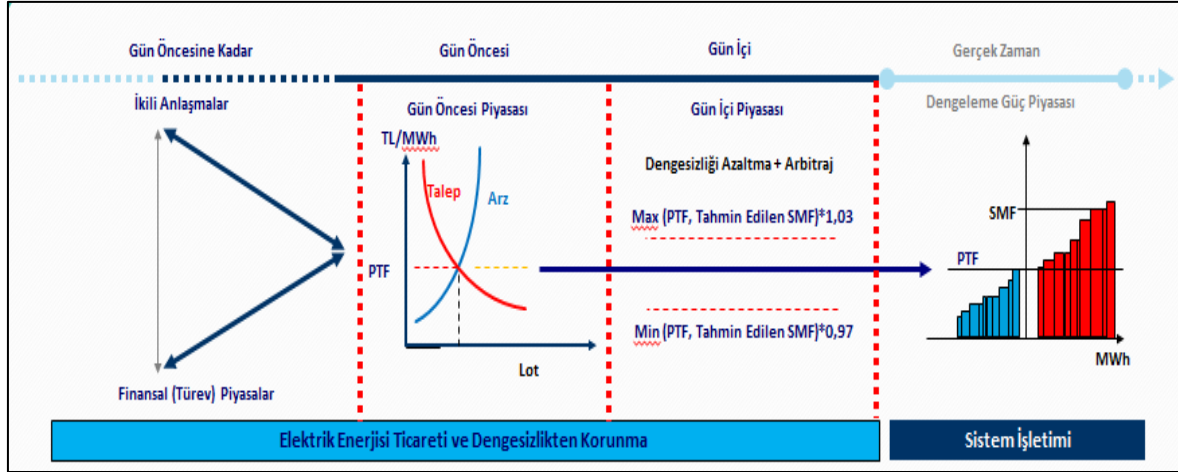
[12]. Eşit taraflar arasında ayırım gözetmeden güvenilir referans fiyat oluşumunun temin edilmesi ve artan piyasa katılımcı sayısı, ürün çeşitliliği ve işlem hacmiyle likiditenin en üst düzeye ulaştığı, piyasa birleşmeleri yoluyla ticaret yapılmasına imkân tanıyan bir enerji piyasası işletmecisi olmaktır [12]. EPIAŞ faaliyetleri daha önceden TEİAŞ bünyesinde yer alan Piyasa Mali Uzlaştırma Merkezi (PMUM) tarafından üstlenilirken özellikle bir tekel olması ve piyasanın aktörlerine yeterince yer verilmemesi çeşitli problemlerin oluşmasına sebep olmuş buna istinaden Şekil 3.4’de görüleceği üzere daha katılımcı bir yapı kurulmuştur.



Şekil 3.4. Enerji piyasaları işletme anonim şirketi ortak yapısı [11]

Elektrik piyasalarında gerçekleşen işlemler üç kısımdan oluşur: Spot piyasalar(cari), vadeli piyasalar ve zamanına göre piyasalar. Spot piyasalar için arza ve talebe bağlı ürün veya hizmetin teslimi ve bedelinin ödenmesi aynı gün veya aynı hafta içinde gerçekleşirken, vadeli piyasalarda ise piyasa katılımcıların anlaşmalarına göre süre belirlenmekte ve diğer piyasalara göre daha uzun olmaktadır.

Genel anlamda elektrik piyasalarında üç spot piyasadan söz edilir: gün öncesi piyasası, gün içi piyasası ve gerçek zamanlı piyasa. Elektrik piyasa yapısı Şekil 3.4’te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Elektrik piyasalarının yapısı [11]

3.3. İkili Anlaşmalar

Elektrik piyasasının fiziki elektrik ticaretinin en aktif olarak yapıldığı alan olan İkili anlaşma, arz ve talep eden arasında özel hukuk hükümlerine tabi olarak, elektrik enerjisinin alınıp satılmasına dair yapılan ticari anlaşmalardır [2].

İkili anlaşmalar bir önceki gün fiyat belirtmeksizin piyasa işletmecisine lot=0,1 MWh bazlı olarak bildirilir ve 24 saatlik verilerden oluşur. Alış yönlü işlem yapılması durumunda EPİAŞ'a bildirim yapılırken pozitif, satış yönlü işlem yapılır iken negatif olarak bildirilir. İkili anlaşmalar 60 gün sonrasına kadar bildirilirken son bildirim süresi ise saat 17:00'dır. Elektrik piyasalarının yapılan ticaretin yaklaşık % 50-60 oranı ikili anlaşmalarla yürütülmektedir [13].

3.4. Gün Öncesi Piyasası

Elektriğin en temel iki özelliği; depolanmasının günümüz şartlarında zor ve maliyetli olması, elektrik enerjisinin her an üretim tüketim dengesinin sağlanmasının zorunlu olduğu söylenebilir. Bu talep ve arz dengesinin oluşturulabilmesi için iletim sistem kısıtlarını gözetenek, serbest bir piyasa aracılığı ile enerji bazında dengenin ve referans fiyatın olduğu bir yapıya ihtiyaç vardır. Gün öncesi piyasası, bulunulan günün ertesi gün için her saat elektrik arz ve talebi toplanıp basit anlamda toplanan bu arz ve talep eğrilerinin kesiştirilerek saatlik piyasa takas fiyatlarının(PTF) belirlendiği yerdir. Gün öncesi piyasası portföy bazlı olarak işletilmekte olup katılımı zorunlu olan bir piyasa değildir. Gün öncesi piyasalarında

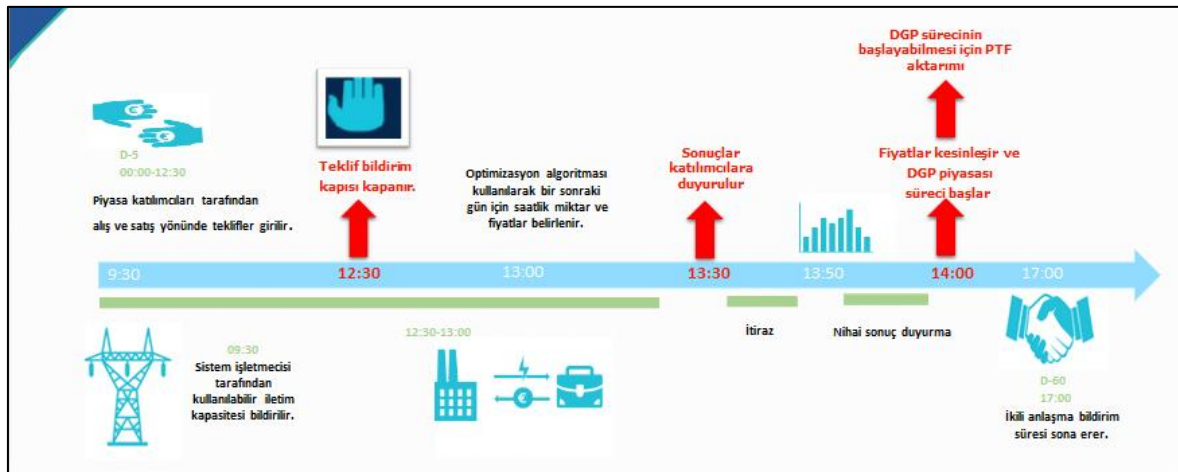
işlemlerin yapıldığı açılış ve kapanış saatleri, teklif yapıları farklılık gösterebilir. Ülkemizde Gün Öncesi Piyasasında teklif yapıları esnek teklifler, blok teklifler ve saatlik teklifler olarak ayrılmaktadır. Gün öncesi piyasasının işlevleri aşağıda sıralanmıştır.

- Elektrik enerjisi piyasa takas fiyatını belirlemek
- İkili anlaşmalara ek olarak elektrik piyasası katılımcılarına bir sonraki gün için elektrik enerjisi ticareti fırsat sağlayarak portföy bazında dengeleme sağlamak
- Sistem işletmecisi olan TEİAŞ'a gün öncesinde dengeli bir sistem bırakarak arz talep dengesinde elinin güçlenmesini sağlamak
- Sistem üzerinde süreklilik arz eden kısıt durumlarında teklif bölgesi oluşumu yaklaşımı ile sistem işletmecisi olan TEİAŞ'a kısıt yönetimi anlamında çeşitlilik sağlamak

Olarak sıralanabilir.

Gün öncesi piyasasında süreçler

Gün öncesi piyasasına teklif girişleri bir gün öncesinden 09:30 itibariyle başlar ve 12:30'da sonlanır. Buna müteakiben 13:00'da piyasa işletmecisi olan EPIAŞ bir sonraki güne ait her saat için piyasa takas fiyatlarını (PTF) piyasa katılımcılarına duyurur. 13:00 ile 13:50 arasında piyasa katılımcıları duyurulan piyasa takas fiyatlarına var ise itirazlarını gerçekleştirir. 14:00 itibariyle bir sonraki güne ait piyasa takas fiyatları (PTF) nihai sonuçlarını EPIAŞ duyurur. GÖP'de süreç Şekil 3.6'da gösterildiği gibidir.



Şekil 3.6. Gün öncesi piyasası süreçleri [11]

Spot piyasalarda fiyatlar çok hızlı bir şekilde değişime eğilimlidir. Arz tarafında meydana gelebilecek bir azalma veya talep tarafındaki bir artış piyasadaki fiyatları hemen yükseltebileceği gibi arz tarafında bir artış veya talep tarafındaki bir azalma ise fiyatları düşürebilir. Spot piyasalarda fiyatların beklentiler doğrultusunda değiştiği gözlenmiştir.

Elektrik piyasalarında gün öncesine katılım sağlayan piyasa oyuncuları piyasa takas fiyatının belirlendiği gün öncesi piyasasına saatlik, blok ve esnek teklif verebilirler.

Gün öncesi piyasasındaki saatlik teklif tipleri

Ekonominin mantığı gereği elektrik piyasa katılımcıları enerjiyi düşük fiyatlarda almak, yüksek fiyatlarda ise satmak isterler. Saatlik teklif, fiyat ve miktar olmak üzere iki unsurdan oluşur. Saatlik piyasa teklif yapısında alış yönünde 32 ve satış yönünde 32 olmak üzere toplam 64 seviye teklif girişi yapılabilir. Sonuç olarak elektrik piyasalarında alt limit olan 0 TL/MWh ile fiyat üst limiti olan 2000 TL/MWh arasında 64 adet teklif girişi piyasa katılımcısı tarafından yapılabilir. Kural olarak fiyatların artan sıra ile dizilmesi esastır. Miktarlar ise eşit ya da azalan sırada olmalıdır. Ayrıca aynı fiyat düzeyi için geçerli saatlik alış teklifi ve saatlik satış teklifleri bir arada bulunamaz.

Çizelge 3.1.Saatlik teklif örneği

Fiyat (TL/MWh)	0	100	200	400	800	1600	2000
Miktar (lot)	0	-100	-200	-300	-500	-600	-800

Çizelge 3.1’de bir piyasa katılımcısına ait yedi seviyeli bir saatlik satış teklifi görülmektedir. PTF, 150 TL/MWh çıkarsa yerli GÖP yazılımı, aradaki boşlukları lineer interpolasyon ile doldurduğundan bu katılımcıya 15 MWh satış çıkar. Katılımcı interpolasyona maruz kalmak istemezse Çizelge 3.2’deki gibi köşeli teklif verebilir.

Çizelge 3.2. Köşeli saatlik teklif

Fiyat (TL/MWh)	0	99,99	100	199,99	200	299,99	300	2000
Miktar (lot)	-100	-100	-200	-200	-500	-500	-700	-800

Bu şekilde teklif veren piyasa katılımcısı PTF, 100 TL/MWh ile 199.99 TL/MWh arasında bir değer çıkarsa piyasa katılımcısına 20 MWh satış çıkar.

Elektrik piyasalarında her bir saat için verilen teklifler hem alış hem de satış yönlü olarak teklif edilebilir. Örneğin elektrik enerjisi üreten bir katılımcının portföyünde tüketim ihtiyacının olduğunu da varsayarsak MWh başına ortalama maliyeti 100 TL/MWh ise katılımcı bu seviyeye kadar elektriği piyasadan almayı tercih ederken bu seviyenin üzerinde elektriğini kendisi üreterek hem iç ihtiyacını karşılama noktasına gidebilir hem de belli bir seviyeden sonra piyasaya satarak kar elde etmek isteyebilir. Saatlik teklif yapıları hem alış hem satış yönlü olarak tercih edebilir.

Elektrik piyasası katılımcıları hem alış hem de satış yönlü olarak fiyattan bağımsız teklif girişi yapabilirler tablo görüleceği üzere fiyat 0 TL/MWh ile 2000 TL/MWh arasında ne çıkarsa çıksın satın alınacağı ve satış yapılacağı görülmektedir.

Çizelge 3.3. Fiyattan bağımsız satış ve alış teklifleri

Fiyat (TL/MWh)	0	2000	Fiyat (TL/MWh)	0	2000
Miktar (lot)	0	-800	Miktar (lot)	0	800

2017 yılında gerçekleşen gün öncesi teklif verme oranı olarak fiyattan bağımsız talep miktarı, eşleşme miktarının % 88 oranında iken arz miktarındaki eşleşme ise % 51 olarak gerçekleşmiştir.

Yukarıda yer alan tablolarda da görüleceği üzere, saatlik teklif, $[0, 2000]$ kapalı aralığındaki her bir fiyatı bir alış satış miktarına götüren fonksiyondan oluşmaktadır. Yani p fiyat, q miktar olmak üzere $q = f(p)$ fonksiyonu $f: [0, 2000] \rightarrow \mathbb{R}$ olarak tanımlanabilir. Bu nedenle, piyasa katılımcısı tarafından verilen bir saatlik teklif için kabul edilmeme durumu söz konusu değildir; doğru olan ifade, gerçekleşen fiyata göre teklif fonksiyonun ürettiği alış veya satış miktarıdır.

Gün öncesi piyasasındaki blok teklif tipleri

Blok teklifler ardışık tam saatleri kapsayan tekliflerden oluşur. Bu ardışık saatler en az 3 saatten oluşmak zorunda olup verilen teklifler ya tamamen kabul görür ya da tamamen

reddedilir. Yine blok tekliflerde de piyasa katılımcısı hem alış yönlü olarak işlem yapabilir hem de satış yönlü olarak işlemlerini gerçekleştirebilir. Bir piyasa katılımcısı gün öncesi piyasasında en fazla 50 blok teklif verebilir.

Çizelge 3.4 deki örnek bir Gün Öncesi Piyasası Blok Teklifi görülmektedir. Tablodaki birinci örnekte piyasa katılımcısı, beş saat boyunca en az 110 TL/MWh'ten 180 MWh elektrik enerjisi satmayı kabul ederken, ikinci örnekte ise dokuz saat boyunca en çok 60 TL'den 150 MWh alış yapmayı teklif etmiştir. Blok satış teklifleri, kapsadığı saatler için ortaya çıkan fiyatı kendi teklif fiyatının altına düşürür ise teklif fiyatından, düşürmezse ortalama fiyattan işlem görür. Yani katılımcı, bu blok teklif bu beş saatlik ortalama fiyatı 120 TL/MWh'ten 115 TL/MWh'e düşürürse 115 TL/MWh'ten, 100 TL/MWh'e düşürürse 110 TL/MWh'ten beş saat boyunca 180 MWh elektrik enerjisi satmış olur. Alış yönlü olarak ise teklif verdiği saatlerin ortalama fiyatını kendi teklif ettiği fiyatın üstüne çıkarırsa teklif fiyatından işlem görür iken, çıkarmaz ise ortalama fiyattan işlem görür. Yani piyasa katılımcısı, vermiş olduğu blok teklif ile dokuz saatlik ortalama fiyatı 50 TL/MWh'ten 55 TL/MWh'e çıkarır ise 55 TL/MWh'ten, 65 TL/MWh'e çıkarırsa 60 TL/MWh'ten dokuz saat boyunca 150 MWh elektrik enerjisi almış olur.

Çizelge 3.4. Blok alış ve satış teklifi

Saat	Fiyat (TL/MWh)	Miktar (lot)
2 - 6	110	-1800
6 - 14	60	1500

Blok teklifler genellikle baz yük santral tarafından kullanılmaktadır. Söz konusu santraller maksimum verim için kurulduğundan yapım aşamaları oldukça pahalıdır. Bu santraller, maksimum çıkış gücüne ulaşma süreleri ve aşamaları uzun sürmektedir.

Bu sebeplerden dolayı blok teklifler baz yük santralleri için idealdir. Örneğin kömür santrali olan piyasa katılımcısı, söz konusu kömür santrali için blok teklif yerine saatlik teklifler de verebilirdi. Ancak, bu saatlik teklifler sonucunda katılımcıya piyasa fiyatlarına bağlı olarak değişken bir satış çıkabilir ve katılımcı santralini zarar etmemesi adına dur-kalk yapmaya zorlayabilir veya hareket kabiliyeti sınırlı olan santralinin üretim seviyesini sık sık değiştirmek zorunda kalabilir ve santralin ömrünü kısaltırdı. Bu bakımdan baz yük sağlayan santraller genel olarak başla, baz yüke çık ve uzun süreli çalış prensibiyle hareket ederek

hem santral ömürlerini uzatma hem de maksimum kar etme amacıyla blok teklifleri kullanmaktadır.

Piyasa katılımcısı en fazla altı adet blok teklif birbirine bağlanabilir ve en fazla üç seviye derinliğinde kurulabilir. Kendisi bir blok teklife bağlı olmayanlar birinci seviye, birinci seviye blok teklife bağlı olanlara ikinci seviye, ikinci seviye blok teklife bağlı olanlar üçüncü seviye blok teklif olarak adlandırılır. İkinci ve üçüncü seviye blok tekliflerde ayrı ayrı en fazla üç blok teklif bulunabilir. Birbiri ile bağlantılı olan blok tekliflerin tamamının satış blok teklifi ya da alış blok teklifi olması ve aynı portföy de ve teklif bölgesinde yer alması esastır[14].

Gün öncesi piyasasındaki esnek teklif tipleri

Gün Öncesi Piyasasında esnek teklifler yalnızca satış yönünde verilebilmektedir. Ancak alış yönlü verilebilmesi için de çalışmalar yapılmaktadır. EPIAŞ bildirilen esnek teklif yapılarında sadece miktar ve fiyat bilgisi içerir ve herhangi bir saat ile ilişkili değildir. Esnek tekliflerin sınırı 10 adet olup, EPIAŞ’a bildirilen teklif fiyatından büyük veya teklif fiyatına eşit olmak üzere, sadece saatlik ve blok teklifler kullanılarak belirlenen en yüksek fiyatın olduğu saat için kabul edilebilir.

Çizelge 3.5. Esnek piyasa teklifleri

PK	Fiyat (TL/MWh)	Miktar (lot)
A	180	-180

Çizelge 3.5 de esnek teklif görülmekte olup sadece fiyat ve miktar bilgisi içermektedir. Gün Öncesi piyasasındaki esnek tekliflerin amacı üretim yönünde birkaç saatlik rezervi olan üreticilerin elektrik piyasasında teklif vermelerini sağlamaktır. Esnek teklifler, en yüksek Piyasa Takas Fiyatından daha düşük veya en fazla eşit fiyatta ise kabul edilebilir ve bir esnek teklif ya kabul edilir ya da tamamen reddedilir.

Örnek piyasa takas fiyatı oluşumu

Beş Piyasa katılımcısı, ertesi günün bir saati için gün öncesi piyasasına Çizelge 3.6, 3.7, 3.8, 3.9 ve 3.10'daki saatlik teklifleri vermiş olsunlar. Bu teklifler doğrultusunda her bir fiyat seviyesinde teklif edilen alış ve satışlar Tablo 3.11'deki gibi olur.

Çizelge 3.6. Piyasa katılımcısı a'nın teklifi

Fiyat (TL/MWh)	0	35	35,01	55	55,01	2000
Miktar (lot)	600	600	400	400	200	200

Çizelge 3.7. Piyasa katılımcısı b'nin teklifi

Fiyat (TL/MWh)	0	2000
Miktar (lot)	200	200

Çizelge 3.8. Piyasa katılımcısı c'nin teklifi

Fiyat (TL/MWh)	0	35	35,01	55	55,01	2000
Miktar (lot)	-400	-400	-600	-600	-1200	-1200

Çizelge 3.9. Piyasa katılımcısı d'nin teklifi

Fiyat (TL/MWh)	0	35	35,01	55	55,01	2000
Miktar (lot)	1000	1000	500	500	200	200

Çizelge 3.10. Piyasa katılımcısı e'nin teklifi

Fiyat (TL/MWh)	0	2000
Miktar (lot)	-500	-500

Çizelge 3.11. Piyasa katılımcılarının vermiş olduğu alış ve satış teklifleri

Fiyat	0	35	35,01	55	55,01	2000
PK-a	600	600	400	400	200	200
PK-b	200	200	200	200	200	200
PK-c	-400	-400	-600	-600	-1200	-1200
PK-d	1000	1000	500	500	200	200
PK-e	-500	-500	-500	-500	-500	-500
TOPLAM	900	900	0	0	-1100	-1100

Görüldüğü gibi alış ve satış miktarlarının arasındaki farkın sıfır olduğu başka bir deyişle arz ve talebin kesiştiği yer 35,01 TL/MWh ile 55 TL/MWh arasındadır. Arada kalan değere lineer interpolasyon uygulanır ve piyasa takas fiyat (PTF):45 TL/MWh olarak gerçekleşmiş olur. Örnekte yer alan saat için piyasa takas fiyatı 45 TL/MWh ticareti yapılan miktarı ise 110 MW, işlem hacmi ise $45 \times 110 = 5\,940$ TL olarak gerçekleşmiş olur.

Elektrik piyasalarında oluşan piyasa takas fiyatları her günün her saati için şeffaflık EPIAŞ platformunda piyasa katılımcılarına duyurulmakta olup Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Şeffaflık platformunda yayınlanan arz-talep eğrisi [15]

3.5. Gün İçi Piyasası

Gün içi piyasası, piyasa katılımcılarının dengesizlikleri azaltmak için gerçek zamandan 60 dakika öncesine kadar işlemlerin yapıldığı, fizik teslimat zorunluluğu olan, sürekli ticaret prensibiyle çalışan, organize toptan bir piyasadır.

Gün öncesi piyasası ve ikili anlaşmaların son bulması ile portföylerinde oluşabilecek dengesizlikleri azaltmak amacıyla piyasa katılımcıları gün içi piyasasında işlem yapmaktadır. Sistem işletmecisi olan TEİAŞ açısından iletim sistemi güvenliği ve portföylerin daha dengeli bir hal alması ile dengeleme güç piyasasında verilecek talimat sayısının azalmasına katkı sağlarken, piyasa işletmecisi olan EPIAŞ açısından ise piyasa likiditesinin artmasına katkıda bulunur. Piyasa katılımcıları açısından bakılacak olursa ilave

bir ticaret ortamı ve ön görülemeyen dengesizliklere karşı gerçek zamandan 60 dakika öncesine kadar giderme imkânı sağlar.

3.6. Dengeleme Güç Piyasası

EPIAŞ tarafından işletilen piyasalar aracılığı ile elektrik piyasaları bir gün öncesinden dengeye getirilmişse de gerçek zamana yaklaşıldıkça talep ve arz dengesi değişebilir ve bu değişimler neticesinde birgün öncesinde dengeli olan sistemde bozulmalar meydana gelebilir. Bozulan denge üretim planında yapılan değişikliklerle dengelenir.

İdeal bir elektrik piyasasında her bir piyasa katılımcısı taahhüt ettiği enerjiyi üretmesi ve taahhüt ettiği enerjiyi tüketmesi durumunda, ortaya çıkan talep - arz dengesi gerçek zamanda bozulmaz. Ancak taahhüt edilen enerji miktarlarının üretilmesi veya tüketilmesi her zaman gerçekleşmez. Bunun nedenleri arasında şunlar sayılabilir.

- Doğalgaz arzında yaşanan sorunlar
- Üretim Santrallerinde meydana gelen arızalar
- Tüketim veya üretim tahmininde meydana gelen sapmalar
- İletim hatlarında meydana gelebilecek arıza veya bölgesel kısıtlar
- Kesintili kaynak olarak adlandırılan rüzgâr, kanal tipi hidrolik santrallerin üretimindeki sapmalar

Gerçek zamanlı piyasalar, aslında en önemli piyasa yapısını oluşturur. Gerçek zamanlı piyasalardan önce çeşitli spot piyasalar aracılığıyla elektrik sistem dengelense bile arz ve talep arasındaki farkın her an eşitlenmesi sadece gerçek zamanlı piyasayla mümkündür. Gerçek zamanlı piyasalar TEİAŞ tarafından işletilen yan hizmetler ve dengeleme güç piyasasından oluşur.

Ülkemizde gerçek zamanlı piyasalar, aktif elektrik enerjisi dengelemesinin yapıldığı piyasadır. Çeşitli sebepler nedeniyle bozulan elektrik sistem dengesi, Sistem işletmecisi (TEİAŞ) tarafından santrallere verilen yük alma talimatı(YAL) ve yük atma talimatı(YAT) verilerek düzeltilir. Gerçek zamanlı piyasa katılımcıları dengeleme birimleri olarak adlandırılır. Eğer üretim santrali ve tesisler 15 dakika içinde 10 MW yük alabilme ve yük

atabilme özelliğine sahip ise dengeleme birimleri olabilirler. Rüzgâr, gel-git, güneş, kojenerasyon, biokütle, kanal tipi hidrolik santraller gibi yenilenebilir kaynaklara dayalı kesintili üretim tesisleri dengeleme birimi olmaktan muaftır. Ancak bu tesislerin dengeleme birimi olmamaları talimat almayacakları anlamına gelmez, bir santral veya tesis dengeleme birimi olarak dengeleme güç piyasasında işlem yapmak ister ise öncelikle sistem işletmecisi olan TEİAŞ başvuru yapmakla hükümlüdür.

Yük alma

Bir dengeleme biriminin sistem işletmecisi tarafından verilen talimatlar doğrultusunda, üretimini artırarak ya da tüketimini azaltarak sisteme enerji satması durumunu ifade eder.

Yük atma

Bir dengeleme biriminin sistem işletmecisi tarafından verilen talimatlar doğrultusunda, üretimini azaltarak ya da tüketimini artırarak sistemden enerji alması durumunu ifade eder.

Sistem işletmecisi olan TEİAŞ, elektrik sisteminden enerji alırken tek alıcı, elektrik sistemden enerji çıkarırken tek satıcı gibidir, yani TEİAŞ sistem işletmecisi olarak elektrik piyasası üzerinde mutlak hâkimiyete sahiptir.

Dengeleme güç piyasası katılımcıları, dengeleme birimi bazında azami yük alma ve yük atma hızlarını göz önünde bulundurarak 15 dakika içinde gerçekleştirebilecekleri üretim/tüketim artış veya azalmalarına ilişkin yük alma ve yük atma teklifleri TEİAŞ Piyasa Yönetim Sistemi(TPYS) aracılığıyla bildirirler. Dengeleme güç piyasasında teklif veren piyasa katılımcıları yük alma talimatı ve yük atma talimatı olmak üzere ayrı ayrı 15 farklı enerji miktar için fiyat bildirebilirler. Yük alma ve yük atma için minimum teklif miktarı 10 MW'tır.

Örnek vermek gerekirse 100 MW'ını Gün Öncesi Piyasasında satan 200 MW'lık bir doğalgaz santrali, geriye kalan 100 MW için TPYS aracılığıyla piyasa işletmecisine yük alma (YAL) yönünde ve GÖP'e sattığı 100 MW için de yük atma (YAT) yönünde teklif bildirir.

Dengeleme güç piyasasına katılım sağlayan piyasa katılımcıları her gün için GÖP kapandıktan sonra saat 16.00'a kadar dengeleme birimi bazında kesinleşmiş günlük üretim/tüketim programlarını(KGÜP), emre amade kapasitelerini(EAK),yük alma(YAL) ve yük atma(YAT) tekliflerini TPYS aracılığıyla sistem işletmecisine bildirirler.

Dengeleme güç piyasasına katılım sağlayan piyasa katılımcıları her gün için GÖP kapandıktan sonra saat 16.00'a kadar dengeleme birimi bazında kesinleşmiş günlük üretim/tüketim programlarını(KGÜP), emre amade kapasitelerini(EAK),yük alma(YAL) ve yük atma(YAT) tekliflerini TPYS aracılığıyla sistem işletmecisine bildirirler.

Elektrik piyasalarında Yük alma ve yük atma talimatları, elektrik piyasasının doğası gereğidir. Elektriğin frekansı her an nominal değeri olan 50 Hertz (Hz) baz alınarak %0.4 tolerans ile 49.8 Hz - 50.2 Hz aralığında tutulmalıdır. Talep edilen aktif elektrik enerjisinin miktarı elektrik sisteminde var olan yük miktarını geçerse frekans düşer, tersi durumda ise frekans yükselir. Bahsedilen durumlar elektrik kullanıcılarının istemediği durumlardır. Özellikle frekansta meydana gelebilecek düşmeler bölgesel veya tamamen (black out) elektrik kesintilerine kadar giden sonuç doğurabilir. Bu sebeplerden dolayı sistem işletmecisinin yük değişimlerine karşı bazı üreticilerin üretimlerini artırmalarını veya azaltmalarını isteyerek elektrik sisteminin dengelenmesini sağlar.

Elektrik sisteminde yük alma ve yük atma talimatları frekans dengeleme amacının dışında iletim sistemi kısıtları için de verilebilir. Frekansın dengelenmesi amaçlı verilen talimatlara sıfır kodlu, iletim şebekesinde meydana gelen kısıtlar sebebiyle verilen talimatlara ise bir kodlu talimatlar denilmektedir. Yan hizmetler piyasası için dengeleme güç piyasasında tanımlı iki kodlu talimatlar da mevcut idi. Ancak 01.02.2018 tarihinden itibaren yan hizmetler piyasası kapsamında primer frekans kontrol ve sekonder frekans kontrol için sistem işletmecisi olan TEİAŞ, ihale yöntemi getirerek dengeleme güç piyasasında verilen iki kodlu talimatları sonlandırmıştır. Dengeleme güç piyasası kapsamında verilen talimatların kodlanması sistem işletmecisi tarafından talimatın verilmesinden sonra yapılır. Bir talimat, birden çok amaca hizmet ediyor olabilir. Ancak talimat hangi amaç yönelik olarak daha ilgili ise o kod ile adlandırılır. Örnek vermek gerekirse eğer frekans dengelenmesi amaçlı verilen bir yük atma talimatı aynı bölgedeki bir iletim şebekesi kısıntısını da gideriyorsa bu talimat, daha çok frekans dengeleme amaçlıysa sıfır kodlu, iletim kısıtı ile daha alakalıysa bir kodludur.

Sistem işletmecisinin vermiş olduğu talimatların kodlanmasına örnek olarak, üç adet piyasa katılımcısından bir tanesi gün öncesi piyasasında 200 MWh, bir diğer katılımcı ise ikili anlaşma ile 100 MWh ve son katılımcı ise Gün içi piyasasında 50 MWh enerji satmış olsun. Bu üç piyasa katılımcısının satmış olduğu elektriğini tüketicilere iletecek olan iletim hattın kapasitesinin ise 320 MWh olduğu düşünülürse elektrik sistem dengelenmiş olmasına rağmen, iletim sistemi kısıtın gidermek için sistem işletmecisi bu dengeleme birimlerinden birine 30 MW yük attırmak zorundadır. Bu yük atma talimatı sonucunda ise sistem dengesi bozulacağı için, yani 30 MWh enerji açığı oluştuğundan dolayı, başka bir dengeleme birimine 30 MW yük aldırılır. Sistem işletmecisi, bu örnekteki yer alan yük atma talimatına sistem kısıttı sebebiyle verildiği için bir kod olarak, yük alma talimatını ise frekans dengeleme amacı için verildiğinden sıfır kodlu olarak adlandırılır.

UEVÇB	Bölge	10-11	11-12	12-13	13-14
YAL	SIH			20	
	ADP			19	
	SIH			20	
	ISK			73	73
	KPZ			203	
	ISK			60	45
	KPZ			203	
	KPZ			102	5
	ISK	25			
	KPZ	203			
YAT	ISK				
	ISK				
	ISK				
	ISK				
	ISK				
	ISK				
	ISK				
	ISK				
	ISK				
	ISK				

YAL

YAT

DGP'ye sunulan tüm teklifler azami 15 dk içinde gerçekleştirilebilen teklifler olmalıdır

Şekil 3.8. Dengeleme güç piyasası ekran görüntüsü [11]

Yük alma teklif fiyatı (YALTF)

Dengeleme güç piyasasına katılan piyasa katılımcılarının Yük Alma için talep ettikleri birim fiyatları ifade eder [2]. Yani bir dengeleme birimi olan santral ilgili günün, ilgili saati için 1 MWh üretim artışı veya tüketim azalışı için en az ne kadar tutar talep ettiğini belirtir.

Yük atma teklif fiyatı (YATTF)

Dengeleme güç piyasasına katılan piyasa katılımcılarının yük atma için talep ettikleri birim fiyatları, ifade eder[2]. Yani bir dengeleme birimi olan santral ilgili günün, ilgili saati için 1 MWh üretim azalışı veya tüketim azalışı için en az ne kadar tutar talep ettiğini belirtir.

Yük alma ve Yük atmaya ilişkin Örnek verecek olunursa, bir piyasa katılımcısı YATTF olarak 200 TL/MWh bildiren bir katılımcının kastettiği şudur: Günün ilgili saatinde üretim azalışı veya tüketim artışı için “en çok” MWh başına 200 TL ödemeyi kabul eder. Yük atma teklifi alan piyasa katılımcısı ödeme yapan taraftır. Örnekle açıklamak gerekirse; bir piyasa katılımcı piyasa takas fiyatının 100 TL/MWh olduğu bir saatte gün öncesi piyasasında 100 MWh satmış ve YATTF olarak da 50 TL/MWh bildirmiş olsun. Eğer bu piyasa katılımcısına sistem işletmecisi tarafından herhangi bir sebepten dolayı 20 MW yük atma talimatı verilirse katılımcının bu yük atma için Sistem işletmecisi 'ne ödeyeceği tutar en çok $50 \text{ TL/MWh} \times 20 \text{ MWh} = 1000 \text{ TL}$ 'dir. Burada dikkat edilmesi gereken husus şudur: Aslında piyasa katılımcısı GÖP'ten aldığı paranın bir kısmını geri vermeye razı olmaktadır, yoksa katılımcının hem üretmeyip hem de üzerine para verme durumu söz konusu değildir. Yük alma talimatı ise yük atma talimatına göre daha basittir. Sistem işletmecisi tarafından herhangi bir sebep ile verilmiş olan yük alma talimat miktarı ile katılımcının MWh başına vermiş olduğu fiyat ile çarpılarak elde edilen tutarın ödemesi katılımcıya yapılır.

Günün her bir saati için gerçek zamanda enerji açığı veya fazlası olma durumuna göre sistem işletmecisi tarafından Yük Alma (YAL) veya Yük Atma (YAT) değerlendirmeleri yapılarak elektrik sisteminin her an dengede olması sağlanır. Ayrıca dengeleme güç piyasasında verilen talimatların net hacimlerine bakılarak özellikle dengesizlik hesaplamalarında kullanılan Sistem Marjinal Fiyatını (SMF) belirlenir

Sistem Marjinal Fiyatı (SMF)

Sistem yönünün enerji açığını göstermesi halinde yük alma teklif fiyatlarının en düşüğünden, sistem yönünün enerji fazlasını göstermesi halinde yük atma teklif fiyatlarının en yükseğinden başlanılmak üzere, dengeleme güç piyasası kapsamında verilen tüm talimatlar dikkate alınarak belirlenen net talimat hacmine tekabül eden teklif fiyatını ifade eder [2].

Sistem marjinal fiyatı, Net Talimat hacmine göre belirlenir. Net talimat hacmi ise, sistem işletmecisi tarafından ilgili saat için verilen toplam yük alma talimat miktarı ile toplam yük atma talimat miktarı arasındaki farktır Eş 3.1’de formül olarak gösterilmiştir.

$$\text{Net Talimat Hacmi} = \Sigma YALM - \Sigma YATM \quad (3.1)$$

Ancak, sistem işletmecisi tarafından verilen tüm talimatlar piyasa katılımcısı tarafından her zaman %100 olarak yerine getirilmesi mümkün olmaya bilir. Bu durumda, yerine getirilemeyen talimatlar net talimat hacminin hesaplanmasında dikkate alınmaz. Ayrıca, verilen talimatlar, kodlarına göre ayrıştırılmaz ve sadece yerine getirilmeyen YAL veya YAT talimatlarının toplamı olarak belirtilir.

Verilen YAL talimatları toplamı, YAT talimatları toplamından büyükse ilgili saatte enerji açığı oluşmuştur. Buna sistem YAL yönünde denir. Verilen YAT talimatları toplamı, YAL talimatları toplamından büyükse ilgili saatte enerji fazlası oluşmuştur Buna sistem YAT yönünde denir. Eğer verilen YAL talimatları toplamı, YAT talimatları toplamına eşitse o saatte enerji dengesi oluşmuştur ve sistem dengededir denir. Şekil 3.9’da 19.06.2019 tarihi için bir gün içinde gerçekleşen enerji fazlası, enerji açığı ve dengede durumu gösterilmiştir.

09.06.19 09:00	1,01	0,00	0,00	1,04	↓ Enerji Fazlası
09.06.19 10:00	3,99	0,00	0,00	4,11	↓ Enerji Fazlası
09.06.19 11:00	4,99	15,00	4,84	15,45	↑ Enerji Açığı
09.06.19 12:00	4,00	50,00	3,88	51,50	↑ Enerji Açığı
09.06.19 13:00	5,00	76,00	4,85	78,28	↑ Enerji Açığı
09.06.19 14:00	6,60	185,60	6,40	191,17	↑ Enerji Açığı
09.06.19 15:00	7,99	150,00	7,75	154,50	↑ Enerji Açığı
09.06.19 16:00	75,99	75,99	73,71	78,27	↔ Denge
09.06.19 17:00	171,95	171,95	166,79	177,11	↔ Denge
09.06.19 18:00	254,17	254,17	246,54	261,80	↔ Denge
09.06.19 19:00	113,65	63,65	61,74	117,06	↓ Enerji Fazlası
09.06.19 20:00	259,99	249,99	242,49	267,79	↓ Enerji Fazlası
09.06.19 21:00	250,01	200,01	194,01	257,51	↓ Enerji Fazlası
09.06.19 22:00	206,19	101,20	98,16	212,38	↓ Enerji Fazlası
09.06.19 23:00	147,01	18,00	17,46	151,42	↓ Enerji Fazlası

Şekil 3.9. 09.06.2019 tarihi için sistem marjinal fiyat yönü [4]

Dengeleme güç piyasasında verilen talimatların net hacminin denk geldiği teklifin fiyatı Sistem marjinal fiyatını(SMF) belirler. Eğer net talimat hacmi sıfır çıkarsa $PTF = SMF$ demektir.

Örneğin, Piyasa takas fiyatının 140 TL/MWh çıktığı bir saat için piyasa katılımcıları tarafından Çizelge 3.12. deki yük alma ve yük atma teklifleri verilmiş olsun. Sistem işletmecisi ise yük alma yönünde 1300 MWh yük atma yönünde ise 500 MWh talimat üretmiş kabul edersek, burada net talimat hacmi $1300 - 500 = 800$ MWh olarak enerji açığı yönlü olarak meydana gelir. Tabloda YAL yönlü olarak 800 MWh'in denk gelmiş olduğu 170 TL'ye Sistem Marjinal Fiyatı(SMF) denir.

Çizelge 3.12. Yük alma ve yük atma teklifleri

Yük alma			Yük atma		
Sıralama	Fiyat (TL/MWh)	Miktar (MW)	Sıralama	Fiyat (TL/MWh)	Miktar (MW)
1	140	300	1	140	50
2	140	200	2	138	150
3	147	100	3	135	100
4	153	100	4	133	50
5	170	150	5	130	100
6	180	250	6	120	100

Bir dengeleme biriminin yük aldığı veya yük attığı miktar için geçerli olacak Yük Alma Fiyatı (YALF) veya Yük Atma Fiyatı (YATF), marjinal fiyatlandırma ve teklif etmiş olduğu miktar üzerinden verilen talimat kadarının fiyatlandırıldığı bir yapı söz konusudur. Bu fiyatlandırma yapısı üç durumda incelenebilir.

1-İletim sistemde enerji açığı varsa, yani sistem yönü YAL ve net hacimlerin toplamı pozitif ise, YALF belirlenirken teklif fiyatı SMF'ye kadar olanlara SMF, teklif fiyatı SMF'nin üzerinde olanlara ise kendi fiyatlarından ödemeler yapılır. Ters yönlü verilen teklifler yani YAT teklifleri ise yine kendi fiyatları üzerinden ödeme yapılır.

Net Talimat Hacmi > 0 ise $YALF = \max(YALTF, SMF)$ ve $YATF = YATTF$ olarak formüle edilebilir.

Örneğin, yukarıda ki örnekte net hacim 800 MWh sistem YAL yönünde 800 MWh kısma kadar olan katılımcılara 170 TL den ödeme yapılır iken üzerinde kalan ve sistem işletmecisi tarafından talimat verilen 500 MWh kısım ise kendi fiyatından işlem görür. Yine sistem yönünün tersine verilmiş olan 500 MWh YAT teklifleri de kendi fiyatları üzerinden değerlendirilir.

2- İletim sistemde enerji fazlası varsa, yani sistem yönü YAT ve net talimat hacimlerin toplamı negatif ise, YATF belirlenirken teklif fiyatı SMF'ye kadar olan talimatlara SMF, teklif fiyatı SMF'nin altındaki talimatlara ise kendi teklif fiyatları uygulanır. Sistem yönünün tersindeki talimatlara, yani bu durumda yük alma talimatlarına ise yine kendi teklif fiyatları uygulanır. Bu durum Eş. 3.2'deki formül ile gösterilmiştir.

$$NTM < 0 \text{ ise } YATF = \min(YATTF, SMF) \text{ ve } YALF = YALTF \quad (3.2)$$

3- Sistemde enerji dengesi varsa, yani net talimat hacmi= 0 ise, verilmiş olan tüm talimatlara kendi teklif fiyatları uygulanır. Bu durum Eş. 3.3'deki formül ile gösterilmiştir.

$$NTM = 0 \text{ ise } YATF = YATTF \text{ ve } YALF = YALTF \quad (3.3)$$

Acil durum talimatı ve fiyatlandırması

Elektrik sisteminde meydana gelebilecek herhangi bir acil durumun giderilmesine yönelik olarak Sistem İşletmecisi tarafından verilen yük alma veya yük atma talimatına acil durum talimatı denir [2]. Sistem İşletmecisi, acil durumlarda ya da mücbir sebep hallerinde iletim sisteminin işletme güvenliğini korumak için dengeleme güç piyasasına katılan piyasa katılımcılarına ilgili üretim tesislerinin sağlayabilecekleri azami kapasiteleri çerçevesinde acil durum talimatı verir [2].

Sistem işletmecisi tarafından verilmiş olan talimatlar için uygulanacak fiyat ise, talimatın yük alma yönünde olması halinde ilgili saatte verilmiş olan yük alma talimat fiyatlarının en yükseği, talimatın yük atma yönünde olması halinde ilgili saatte verilmiş olan yük atma talimat fiyatlarının en düşüğü kullanılır [2]. İlgili saatte, acil durum talimatı ile aynı yönde talimat oluşmaması durumunda, bir önceki ay aynı yönde verilmiş olan teklif fiyatlarının aritmetik ortalaması söz konusu talimatlar için uzlaştırma fiyatı olarak kullanılır [2].

Acil durum kapsamında verilen talimatlar net talimat hacminin belirlenmesinde kullanılır. Yani bu talimatlar net hacim için verilen sıfır ve bir kodlu talimatlardan farklı değildir. Dengeleme birimi olup dengeleme güç piyasası kapsamında teklif sunmamış olan veya dengeleme birimi olmayan üretim tesislerine sahip piyasa katılımcılarına, ilgili üretim tesisleri için sistem işletmecisi tarafından acil durum talimatı verilebilir [2].

3.7. Yan Hizmetler Piyasası

Yan hizmetler piyasası primer ve sekonder frekans kontrolü olarak ikiye ayrılır.

Primer frekans kontrolü

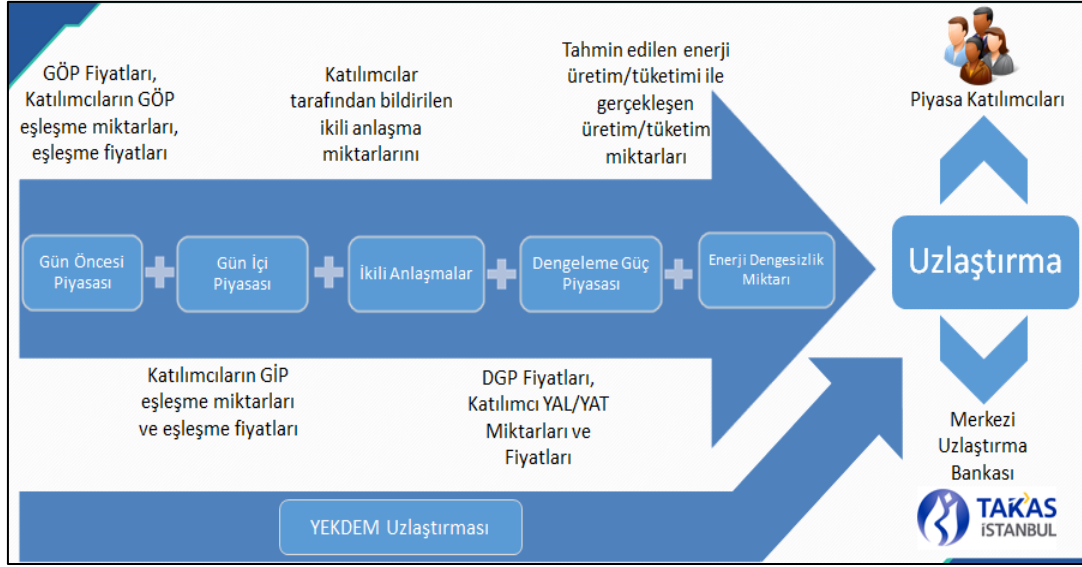
Sistem frekansının düşmesine veya artmasına tepki olarak santrallerin ünitelerindeki aktif gücünün hız regülatörü vasıtasıyla artırılıp veya azaltılması yoluyla sistem frekansının yeni bir denge noktasına getirilmesidir. Primer frekans kontrol hizmeti, geçerli primer frekans kontrol test sertifikasına sahip toplam kurulu gücü 50 MW üzerindeki santraller veya santraller üzerinden temin edilir. Temin işlemi TEİAŞ tarafından ihale yöntemi ile yapılır. Primer frekans kontrolüne katılım gönüllülük esasına göre olmaktadır.

Sekonder frekans kontrolü

Sekonder frekans kontrollerine katılan üretim tesislerinin aktif güç çıkışının, sistem işletmecisi tarafından gönderilen otomatik sinyallerle artırılıp veya azaltılması sistem frekansının nominal değerine ve komşu ülke elektrik şebekeleriyle olan toplam elektrik enerjisi alış verişinin programlanan değerlerine getirilmesidir. Sekonder frekans kontrol hizmeti, geçerli sekonder frekans kontrol test sertifikasına sahip toplam kurulu gücü 50 MW üzerindeki santraller veya santraller üzerinden temin edilir. Temin işlemi TEİAŞ tarafından ihale yöntemi ile yapılır. Sekonder frekans kontrolüne katılım gönüllülük esasına göre olmaktadır.

3.8. Uzlaştırma ve Enerji Dengesizlik Fiyatlandırması

Dengeleme mekanizmasından ve/veya enerji dengesizliğinden doğan alacak ve borç miktarlarının hesaplanması ve ilgili alacak-borç bildirimlerinin hazırlanması işlemlerine uzlaştırma denir [2]. Uzlaştırma işlemi, gün öncesi planlama, gün öncesi piyasası, gün içi piyasası ve dengeleme güç piyasasından ve/veya enerji dengesizliğinden doğan alacak ve borç miktarlarının hesaplanması. İlgili alacak-borç bildirimlerim işlemlerinin hızlı, güvenilir ve şeffaf bir şekilde gerçekleşmesini sağlayacak şekilde aşağıdaki genel esaslar çerçevesinde Piyasa İşletmecisi tarafından yürütülür [2]. Uzlaştırma bölümleri Şekil 3.10.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Uzlaştırma bölümleri [16]

Bir piyasa katılımcısının Enerji Dengesizlik Miktarı (EDM), katılımcının söz konusu süreçte sisteme vermiş olduğu uzlaştırmaya esas veri miktarı ile bu sistemden çektiği uzlaştırmaya esas çekiş miktarı arasındaki farktır. Her bir uzlaştırma dönemindeki enerji dengesizlik miktarı Eş 3.4'deki formül ile göre hesaplanır.

$$\left(\sum_{p=1}^l \sum_{r=1}^m SAM_{t,p,u,r} - \sum_{p=1}^l \sum_{r=1}^n SSM_{t,p,u,r} \right) + \left(\sum_{d=1}^h \sum_{r=1}^{t2} KEYATM_{f,d,u,r} - \sum_{d=1}^h \sum_{r=1}^{t1} KEYALM_{f,d,u,r} \right) + \left(\sum_{p=1}^l \sum_{r=1}^m SAM_{t,p,u,r} - \sum_{p=1}^l \sum_{r=1}^n SSM_{t,p,u,r} \right) + \left(\sum_{d=1}^h \sum_{r=1}^{t2} KEYATM_{f,d,u,r} - \sum_{d=1}^h \sum_{r=1}^{t1} KEYALM_{f,d,u,r} \right) \quad (3.4)$$

EDM'nin formülünden de anlaşılacağı üzere ikili anlaşmayla alışı, piyasadan alışı ve yük atma elektrik sistemine verişi (pozitif) olarak değerlendirilir. İkili anlaşmayla alımda veya GÖP'ten elektrik alımında bir piyasa katılımcısı için elektrik üreten başka bir piyasa katılımcısı vardır. Yük atma durumunda ise söz konusu katılımcı yük atılan miktarı üretmiş sayılır. İkili anlaşmayla satışı, piyasaya satış ve yük alma da elektrik sisteminden çekiş (negatif) olarak değerlendirilir.

Enerji dengesizliği formülünde gösterilen ikili anlaşmalardan kastedilen piyasa katılımcılarının özel hukuka tabii olarak kendi aralarında yaptığı ikili anlaşmalardır. Başka bir deyişle, bahsi geçen ikili anlaşmalar elektrik toptan satış piyasasında yapılan ikili

anlaşmalardır. Yani bir tedarik şirketinin bir demir çelik üreticisine tedarik ettiği elektrik, bu firmanın ikili anlaşmayla satışı sonucunda değil uzlaştırma işlemi sonucunda görülür.

Gerçek anlamda enerji dengesizliğinin yok edilmesi mümkün değildir, ancak azaltılabilir. En son teknoloji ile kurulmuş santrallerin, üst düzey talep, hava tahminleri bile dengesizliği önlemeye yetmez. Herhangi bir piyasa katılımcısı tarafından yerine getirilemeyen yük atma talimatı, sıcaklığın 1 derece daha yüksek veya düşük olması, rüzgarın beklenenden 1 m/s daha yavaş veya hızlı esmesi vs. piyasa katılımcısını istemeden de olsa dengesizliğe düşmesine sebep olabilir.

Örneğin, Gün öncesi piyasasında 50 MWh, gün içi piyasasında 40 MWh, ikili anlaşmayla PK-B şirketine 30 MWh elektrik satmış bir PK-A şirketi, söz konusu saatte dengelem güç piyasasından da 20 MWh YAL talimatı almış kabul edelim. Gerçek zamanda ise bu PK-A katılımcısı 150 MWh elektrik üretilip sisteme vermiş ise ilgili günün bu saatinde 10 MWh pozitif dengesizlik yapmıştır. Dengesizlik hesabı Eş. 3.5’de gösterilmiştir.

$$EDM = (150 - 0) + (0 - 20) + (0 - 30) + (0 - 40) + (0 - 50) = 10 \text{ MWh} \quad (3.5)$$

Negatif enerji dengesizliğine örnek verecek olursak, Piyasa katılımcısı PK-A Gün öncesi piyasasında 50 MWh, gün içi piyasasında 40 MWh, ikili anlaşmayla PK-B şirketine 30 MWh elektrik satmış ve söz konusu saat için dengeleme güç piyasasından 20 MWh YAL talimatı almış kabul edelim. Gerçek zamanda ise bu PK-A katılımcısı 130 MWh elektrik üretilip sisteme vermiş ise ilgili günün bu saatinde 10 MWh negatif dengesizlik yapmıştır. Dengesizlik hesabı Eş. 3.6’da gösterilmiştir.

$$EDM = (130 - 0) + (0 - 20) + (0 - 30) + (0 - 40) + (0 - 50) = - 10 \text{ MWh} \quad (3.6)$$

Mevcut durumda ülkemizde gün öncesi piyasasında oluşan PTF ve dengeleme güç piyasasında oluşan SMF kullanılarak elektrik piyasasında dengesizliklerin uzlaştırılması yapılır. Yani kısacası çift fiyat mekanizması uygulanmaktadır.

Ülkemizde Negatif dengesizlik yönünde Enerji Dengesizlik Tutarı (EDT) Eş.3.7’deki formül ile hesaplanır.

$$\text{Enerji Dengesizlik Tutarı (EDT)} = \text{Enerji Dengesizlik Miktarı (EDM)} * \max(\text{PTF}, \text{SMF}) * (1 + k) \quad (3.7)$$

Ülkemizde Pozitif dengesizlik yönünde ise Enerji Dengesizlik Tutarı (EDT) Eş.3.8'deki formül ile hesaplanır:

$$\text{Enerji Dengesizlik Tutarı (EDT)} = \text{Enerji Dengesizlik Miktarı (EDM)} * \min(\text{PTF}, \text{SMF}) * (1 - \ell) \quad (3.8)$$

01.05.2015 tarihli Enerji Piyasaları Düzenleme Kurumu (EPDK) kararıyla enerji dengesizliklerinde k ve ℓ kat sayıları 0,03 olarak alınmaktadır. Bu k ve ℓ katsayıları kurul kararıyla 1'e kadar artırılabilir. Böylece $\ell=1$ alınarak pozitif dengesizlik yapana ödeme yapılmamaya kadar, k=1 alınarak da negatif dengesizlik yapandan büyük fiyatın iki katı istenene kadar gidilebilir.

Pozitif dengesizlik, Sistem işletmecisinin dengesizliği yapan katılımcıdan elektrik enerjisi satın alması gibidir. Sistem işletmecisi pozitif dengesizlikte tek alıcıdır. Örneğin üretici olan bir katılımcı, ürettiği elektriğin ikili anlaşmalarla, GÖP'e veya DGP'ye satmadığı kısmını PTF ile SMF'nin küçük olanından Sistem işletmecisine satmış olur. Tüketici olan bir katılımcı ise ikili anlaşmalarla veya GÖP'ten aldığı elektriğin tüketimini geçen kısmını Sistem işletmecisinden almış olur.

Negatif dengesizlik, Sistem işletmecisinin dengesizliği yapan katılımcıya elektrik enerjisi satması gibidir. Negatif dengesizlikte ise tek satıcıdır. Örneğin üretici olan bir katılımcı, ikili anlaşmalarla, GÖP'e veya DGP'de sattığı elektriğin gerçek zamanda üretmediği kısmını PTF ile SMF'nin büyük olanından Sistem işletmecisinden satın almış olur. Tüketici olan bir katılımcı ise gerçek zamanda tükettiği elektriğin ikili anlaşmalarla veya GÖP'ten aldığı elektriği geçen kısmını Sistem işletmecisinden satın almış olur.

Çift fiyatlandırmada dengesizlik yapan bir piyasa katılımcısının karlı çıkma olasılığı yoktur. Çünkü dengesizlik yapması sebebiyle en iyi ihtimal ile k ve l katsayılarından dolayı %3 zarara uğramaktadır.

Enerji dengesizliğin çift fiyatlandırma mekanizması hem ekonomik olarak hem de yük tevzi prensibi olarak uygun bir yöntemdir. Ayrıca merid orderin bozulmasını engeller.

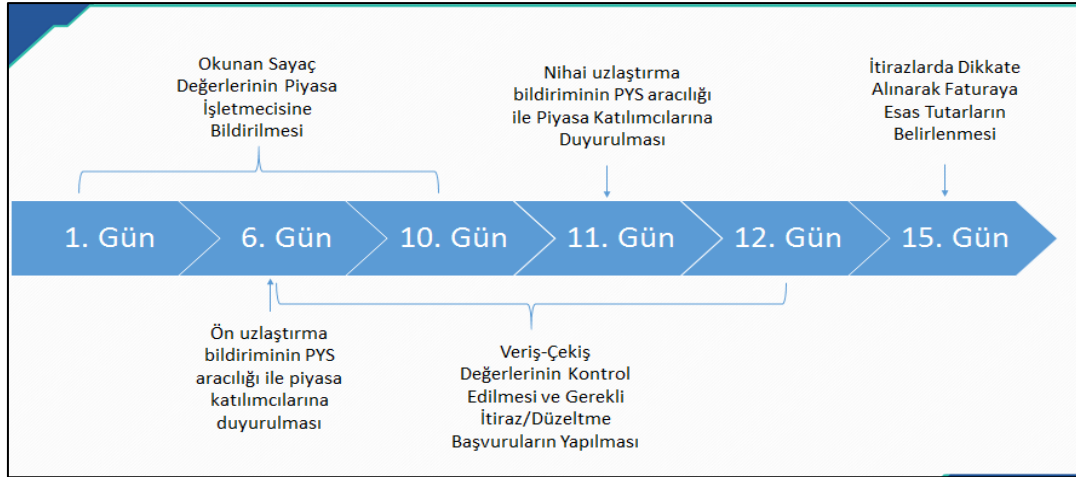
Örneğin, tek fiyatlandırmanın uygulandığı ve PTF'nin 150 TL/MWh çıktığı bir saat için Pk-a, b, ve c dengeleme birimleri YALTF olarak 150 TL/MWh, 155 TL/MWh ve 160 TL/MWh bildirmiş ve bu saat gelince de büyük bir santral devre dışı kalmış olsun. Bu durumda Sistem İşletmecisi elindeki yük alma tekliflerinden en düşük fiyatlı olanı seçer ve Pk-a'ya yük aldırır. Ancak Pk-c, durumu öğrenip PTF'den yüksek çıkmasını beklediği SMF'den elektrik satmak için pozitif dengesizlik yaparsa, yani söz verdiğinden fazla üretirse liyakat sırasını ve ekonomik yük tevziyi bozmuş olur. Pk-c'nin öngörüsü yanlış çıkarsa, örneğin sadece Pk-a'nın yük alması ile sistem dengelenirse, SMF 150 TL/MWh olur. Pk-c böylelikle marjinal maliyetin altında bir fiyata üretim yaparak kendisine zarar vermiş (C'nin YALTF olarak marjinal maliyetini verdiği varsayıldı.) ve Pk-b'yi de normalde elde edeceği bir gelirden etmiş olur, çünkü Pk-c kendi basına üretimini artırmıyorsa belki Pk-b yük alacaktı. Buna ek olarak Pk-c, ilgili saatte daha pahalı şekilde elektrik üretilmesine neden olmuş ve tüketicilere zarar vermiştir. Pk-c'nin öngörüsü doğru çıkarsa, örneğin Sistem İşletmecisi, Pk-d ve Pk-e dengeleme birimlerine de yük aldırır ve SMF 170 TL/MWh çıkarsa, Pk-c'nin talimatsız şekilde üretimini artırması yine de mazur görülemez. Çünkü Pk-c'nin yük alacağı kesin değildi, belki iletim kısıttı nedeniyle Pk-c yük alamayacaktı; örneğin, Pk-b'nin yük alması ilgili bölgede iletim kısıttı oluşturacak ve Sistem İşletmecisi, Pk-c'yi atlayıp Pk-d'ye yük aldıracaktı.

Çift fiyatlandırmada ise Pk-c durumu öğrense bile bu isten bir kazancı olmayacağı için talimatsız üretim yapmaz. Zaten Pk-c elektriğini PTF'den satmak isteseydi gün öncesinde satardı.

Çift fiyatlandırma, dengesizlik miktarlarını azaltır. Tek fiyatlandırmada GÖP'e 100 MWh satmış bir katılımcı gerçek zamanda SMF'nin PTF'den küçük çıkacağını düşünerek hiç üretim yapmayıp 100 MWh negatif dengesizlik yapabilir. Bu durumda aslında katılımcının yaptığı sudur: Gün öncesinde PTF'den sattığı elektriği gerçek zamanda daha düşük olan SMF'den almıştır, yani arbitraj yapmıştır. Aynı arbitraj imkânı GÖP'ten alım yapan bir katılımcı için de vardır: Bir katılımcı gerçek zamanda SMF'nin PTF'den büyük çıkacağını düşünerek aslında 100 MWh'lik tüketimi için GÖP'ten 100 MWh yerine 200 MWh alıp 100 MWh pozitif dengesizlik yapabilir. Ancak çift fiyatlandırmada bunlar olmaz, çünkü her

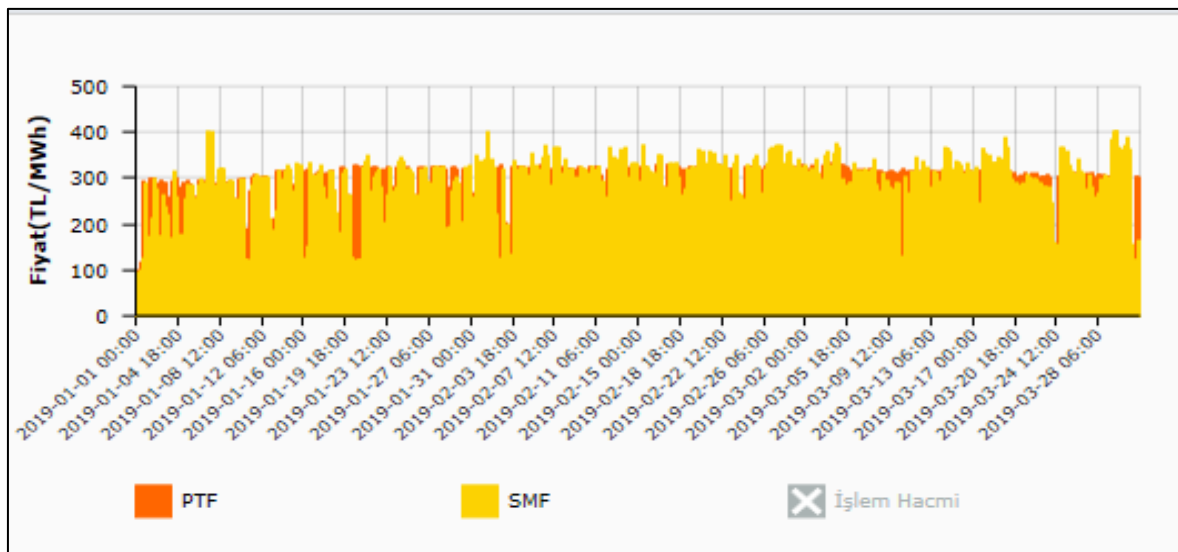
durumda kendisine avantajlı olmayan fiyatın uygulanacağını bilen katılımcının SMF'nin PTF'ye göre durumunu kesinkes bilmesi halinde bile dengesizlik yapmak için bir motivasyonu kalmaz. Bir başka deyişle, çift fiyatlandırma arbitraj imkânını izole etmiştir.

Uzlaştırma işlemi ait takvimsel işleyiş Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Uzlaştırma işlemi takvimsel işleyişi [16]

Dengesizlik hesaplamalarında kullanılan Piyasa Takas Fiyatı (PTF) ve Sistem Marjinal Fiyatının 01.01.2019 ile 28.03.2019 tarihleri arasında meydana gelen değişim Şekil 3.12'de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Piyasa takas fiyatı ve sistem marjinal fiyatı [4]

4. YAPAY SİNİR AĞLARI

İlk yapay sinir ağı modellemeleri bir beyin cerrahı olan Warren McCulloch ile matematikçi Walter Pitts çalışmaları sonucu insan beyninin hesaplanma yeteneğinden çıkarımlar yapılarak basit bir elektrik devresiyle sinir ağı modellenmiştir. Yapay sinir ağları(YSA)’nın genel bir tanımı bulunmamaktadır. Çeşitli bilim adamları tarafından yapılmış olan YSA tanımları aşağıdaki gibidir.

YSA bir sinir ağı, bilgiyi depolamak için doğal eğilimi olan basit birimlerden oluşan paralel dağıtılmış bir işlemcidir. O beyni, bilgi öğrenme işlemi yoluyla ağ tarafından elde edilir. Sinaptik ağırlıklar olarak bilinen nöronlar arası bağlantı kuvvetlerini, bilgiyi depolamak için kullanır [17].

YSA insan idrakinin ve biyolojik sinirlerin matematiksel modelinin geliştirilmesi olarak da tanımlanabilir [18].

YSA, klasik modelleme tekniklerinden yapısal ve kavramsal olarak oldukça büyük farklılıklar gösteren bir modelleme yöntemidir. YSA temelde, insan beyninin çalışma prensiplerinden esinlenilerek ortaya konmuş bir modelleme düşüncesidir. İnsan beyninin işleyişi üzerine yapılan nörofizyolojik çalışmalar 20. yüzyılın ortalarına kadar uzanmaktadır [19].

YSA, birden fazla basit yapıda işlemci elemandan oluşur. Söz konusu elemanlar farklı yapılarda ifade edilebilen, sayısal verileri taşıyan ağırlıklar veya bağlantılar ile birbirlerine bağlıdırlar [20].

YSA aynı zamanda, “bağlantılı ağlar (connectionist networks)”, “paralel dağıtılmış ağlar (parallel distributed networks)”, neuroformik sistemler (neuroformic systems)” olarak da adlandırılmaktadır. Yapay sinir ağları bilgisayar bilimine de bazı yenilikler getirmiştir. Algoritmik olmayan, adaptif, paralel programlama, dağıtılmış programlama vb. gibi tekniklerin gelişmesine katkıda bulunmuşlardır. Özellikle olaylar hakkında bilgilerin olmadığı fakat örneklerin bulunduğu durumlarda çok etkin olarak kullanılabilecek bir karar verme aracı ve hesaplama yöntemi olarak görülebilir [21].

YSA'ndaki gelişmelerin temel kaynağı, beynimizin rutin olarak gerçekleştirdiği karmaşık hesaplamaları yapay, belki zeki davranış sergileyen sistemlerin yapılabileceği ümididir [20].

Bilgi işleme süreçleri olarak nitelendirebileceğimiz yapay sinir ağları verilen girdilere karşılık çıktılar üreten bir kara kutu olarak nitelendirilebilir. Yapay sinir ağları alışılmış bilgi işleme yöntemlerinden farklılık göstermektedir. Hatta sahip olduğu özelliklerden dolayı birçok yönetime göre daha sağlıklı sonuçlar üretmektedir [22].

4.1. Yapay Sinir Ağlarının Tarihçesi

İnsan beyni üzerindeki ilk çalışmalar çok eski zamanlara uzanmaktadır. Modern elektroniğin gelişmesi ile birlikte, bu düşünce işlemi kullanmaya çalışmak doğal hale gelmiştir [23].

Sinir ağları ile ilgili çalışmalar, 19. yy'ın sonları başlamış ve 20. yy'ın başlarında devam etmiştir. İlk çalışma; Ernst Mach, Ivan Pavlov ve Hermann von Helmholtz gibi bilim adamları tarafından geliştirilen fizik, psikoloji ve nöropsikoloji gibi disiplinler arası bir çalışmadır. Bu çalışmadaki amaç; öğrenme, hissetme ve şartlanmanın genel kuramını vurgulamaktır. Yapay sinir hücresi (YSH) ile ilgili ilk çalışmalar 1940'lı yıllara dayanır. Walter Pitts ve Warren McCulloch 1943 yılındaki çalışmaları ile YSH'nin matematiksel ya da mantıksal bir işlev için kullanılabileceğini göstermiştir. McCulloch ve Pitts tarafından geliştirilen bu ilk model değişikliğe uğrayarak daha sonraki çalışmalarda genişçe kullanılmıştır [24]. YSA ile ilgili önemli görülen çalışmalar kronolojik sıralaması aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.1. YSA ile ilgili yapılan çalışmaların kronolojik sıralaması [25]

1938	Rashevsky, sinirsel alan teorisi olarak da bilinen nörodinamik çalışmalarını başlattı. Bu çalışmalarda sinir ağlarındaki aktivasyon ve yayılımın diferansiyel eşitlikler ile gösterimi bulunmaktadır.
1943	McCulloch ve Pitts, biyolojik sinir hücresinin ilk yapay modelini gösterdi.
1943	Landahl, McCulloch ve Pitts, birçok aritmetiksel ve mantıksal işlemin, McCulloch ve Pitts nöron modelini kullanan metotlar ile gerçekleştirilebileceğini ileri sürdü.
1949	Hebb, “Davranış Organizasyonu” isimli kitabını yazdı.
1954	Gabor, gözlenen sinyal ile geçmiş bilgiye dayalı üretilen sinyal arasındaki hataların kareleri ortalamalarını minimize edecek ağırlıkların belirlenmesinde dik iniş (gradient descent) algoritmasını kullanan öğrenme süzgecini icat etti.
1958	Rosenblatt, McCulloch ve Pitts nöron modeli için bir öğrenme metodu geliştirerek algılayıcıyı (perceptron) icat etti.
1960	Widrow ve Hoff, hata kareleri ortalamalarını minimize etmek üzere eğitilen basit bir ağ olan adaptif doğrusal eleman(ADALINE)’ı tanıttı.
1962	Rosenblatt, çok katmanlı ağların eğitimi için geri-yayılım hareket planını önerdi. Ancak bu öneri, türevlenemeyen fonksiyonlar kullandığı için başarısız oldu.
1967	Amari, kredi tayin problemlerinin çözümünde çok katmanlı ağlarda ağırlıklar için bir öğrenme kuralı belirlenmesinde bir matematiksel çözüm elde etti. Ancak bu buluşun önemi uzun bir süre fark edilemedi.
1969	Minsky ve Papert yayınladıkları kitapta basit algılayıcı modelinin sınırlarını gösterdi. Bu kitaptan sonra YSA konusundaki çalışmalar yavaşladı.

Bilim adamları, Minsky ve Papert’ın düşüncelerinden etkilendi ve YSA’yla yapılacak çalışmaların bittiğine inandı. Böylece Rosenblatt ve Widrow’un çalışmaları algılayıcı ve ADALINE gözden düştü. Aslında Rosenblatt ve Widrow bu sınırların farkındaydı ve bunları ortadan kaldıracak yeni ağlar önerdiler. Ancak karmaşık ağların eğitimini sağlayacak öğrenme algoritmasını geliştiremediler. Böylece on yıl boyunca YSA çalışmaları büyük ölçüde ertelendi. Ancak 1970’li yıllarda az da olsa bazı çalışmalar yapıldı [26].

YSA alanındaki çalışmalar, yeni düşüncelerin olmaması ve güçlü dijital bilgisayarların eksikliğinden dolayı 1960’ların sonlarında kesintiye uğramıştı. Ancak 1980’li yıllarda bu engellerin ortadan kalkması ile YSA konusunda çalışmalar artmaya başladı. Yeni kişisel bilgisayarlar ve iş istasyonları başarılı bir şekilde kullanılmaya başlandı ve yeni kavramlar geliştirildi. Özellikle iki yeni kavram YSA’nın yeniden doğuşunu sağlamıştır. Bunlardan biri John Hopfield’in çalışması, diğeri de Rumelhart ve arkadaşlarının çok katmanlı ağları eğitmede kullanılan Geri Yayılım Algoritmasının geliştirilmesidir [24].

Hopfield ve Rumelhart'ın çalışmaları yapay sinir ağlarının geliştirilebileceği ve özellikle geleneksel bilgisayar programlama ile çözülmesi zor olan problemlere çözüm üretebileceğini gösterdi. Bu nedenle de yapay sinir ağlarına olan ilgi tekrar artmaya başlanmıştır [17].

4.2. Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri

Yapay Sinir Ağlarının tüm modeller için geçerli olan genel karakteristik özellikleri bulunmaktadır. Doğrusal olmayan yapıları modelleyebilmesi, farklı problemler için uyarılana bilirliliği, öğrenme ve genelleme yapma yeteneği, paralel dağılmış yapısı, hata toleransına sahip olması en önemli fonksiyonlarındandır. YSA'nın söz konusu özellikleri işletme, enerji, tıp, finans, programlama vb. sayısız farklı alanda tercih edilmelerini sağlamıştır. Aşağıda kısaca bu özelliklerden bahsedilmektedir.

Doğrusal olmama

_YSA'yı meydana getiren yapay sinir hücreleri (YSH) için tercih edilen aktivasyon fonksiyonu sayesinde YSA'nın doğrusal ya da doğrusal olmayan modellemeyi gerçekleştirmesi sağlanır. Günlük yaşamda karşılaşılan birçok problemin doğrusal olmayan ilişkiler içerdiği düşünüldüğünde YSA'nın bu özelliğinin önemi anlaşılabilir [17].

Öğrenme İnsan sinir sisteminin çalışmasını taklit eden YSA, problemin verileri kullanarak veri yapısındaki ilişkileri ortaya çıkararak ağı öğrenmesini sağlar. Öğrenme işlemi esasında YSA'yı meydana getiren YSH'leri arasındaki bağlantıların ağırlıklarının belirlenmesi işlemidir [24].

Genelleme

YSA'nın, eğitildikten sonra eksik bilgiler ile çalışabilir ve gelen yeni örneklerde eksik bilgi olmasına rağmen sonuç üretebilir. Geleneksel sistemlerin aksine eksik bilgiyle de çalışmaya devam ederler [21].

Uyarlana bilirlilik

Özel bir sorunun çözümü için kullanılan YSA, söz konusu sorun değişikliğe uğradığında yeni soruna göre değiştirilerek eğitilebilir [24].

Hata toleransı

YSA'nın eksik bilgilerle çalışabilmesi hatalara karşı toleranslı olmalarını sağlamaktadır. Ağın bir takım hücrelerinin bozulması ve çalışamaz duruma düşmesi halinde ağ çalışmaya devam eder. Ağın bozuk olan hücrelerinin sorumluluklarının önemine göre performansında düşmeler görülebilir. Hangi hücrelerinin sorumluluklarının önemli olduğuna da yine ağ eğitim esnasında kendisi karar verir. Bunu kullanıcı bilmemektedir. Ağın bilgisinin yorumlanamamasının nedeni de budur [21].

4.3. Yapay Sinir Ağlarının Avantajları ve Dezavantajları

Yapay sinir ağlarının en büyük avantajı, öğrenme kabiliyetinin olması ve farklı öğrenme algoritmaları kullanabilmesidir. Yapay sinir ağları uyarlanabilir ve esneyebilir. Tek bir yapay sinir ağı, herhangi bir işleve ilke olarak yaklaşabilir. Yapay sinir ağlarını yapısını ve öğrenme kuralını değiştirmek zorunda değiliz, sadece öğretim materyalini değiştirerek öğrenmeyi sağlayabiliriz. Bunlara karşılık dezavantajları ise sistemin çalışmasının analiz edilememesi ve öğrenme işleminde başarısız olunma riski vardır [27].

Avantajları

- Matematiksel bir modele gereksinim yoktur.
- Kendi yapısı içinde öğrenme yeteneği vardır ve bu öğrenmeler için çeşitli algoritmaları kullanabilirler.
- Çözümü bir matematiksel model ile yapılması zor olan ya da mümkün olmayan problemleri basit bir şekilde çözümleyebilir.
- Bir problem için bilgiye ihtiyaç duyulmaz sadece ağın modelleneyeceği örnekler gereklidir. Eğer örnek yoksa mevcuttaki bilgilerden yararlanır.

- Gerçek zamanda bir olay ve bu olayın gerçekleşmesine sebep olan değişkenlerin birbiri ile etkileşimlerini bilmek zordur. Ancak bu yapay sinir ağları ile otomatik olarak yapılır.
- Yapay sinir ağlarının uygulanması oldukça basit ve ekonomiktir. Elde bulunan probleme ilişkin örneklemelere ihtiyaç duyulduğundan basit bir programlama ile problemin çözümü mümkün olabilmektedir.
- YSA zaman bakımından diğer sistemlere göre daha verimli olup, örneklemeler bulunduğu anda, probleme uygun matematiksel ağ yapısı kurulup, kurulan ağın öğrenmesi ve diğer örnekler içinde kullanılarak çok kısa zamanda sonuç elde edebilmektedir.
- YSA, aynı olay için yeni ve farklı bilgiler oluşturduğunda da tekrardan rahatlıkla eğitilebilir ve ortama uyum sağlaması sağlanabilmektedir.
- YSA paralel olarak çalıştığı için gerçek-zamanlı uygulamalar için kullanımı kolaydır.

Dezavantajları

- YSA çalışırken içerisinde nasıl bir matematiksel model ile sonuç ürettiği bilenememektedir.
- Gerçekleştirilen bir YSA modelinin farklı sistemlere uygulanması zaman zaman zor ve imkânsız olabilmektedir.
- YSA ile bir matematiksel bir model geliştirilirken belli bir kural yoktur. Doğru ve işlevsel örneklemelerin yapılması tamamen kullanıcının tecrübesine bağlıdır.
- Herhangi bir problemin çözümünde kullanılmak üzere ağa sunulacak olan örnekler toplanırken de bir kural durumu yoktur, kullanıcı kendisi örnekleri belirler ve formül izereder.
- YSA sebep-sonuç ilişkisinin açıklanması mümkün olmadığı için YSA güven azalmaktadır.
- Bazen YSA eğitimin gerçekleşmesi uzun zamanlar alabilir.
- YSA ile elde edilen çözümün en uygun çözüm olduğunu söylemek mümkün değildir. Sadece iyi çözümler arasında olduğu söylenebilir. Oysa matematiksel modellemeleri olan yöntemlerde en uygun sonuçlar üretebilirler.
- YSA için gerekli olan örneklerin bulunmasının zor olduğu ya da doğru örnekler için kullanıcı tecrübesinin az olduğu durumlarda sağlıklı çözüm üretilenememektedir.

4.4. Yapay Sinir Ağları'nın Uygulama Alanları

Yapay sinir ağları üzerinde binlerce uygulama yapılmış ve başarılı sonuçlar üretmiştir. Geniş bir uygulama alanına sahiptir. Temel olarak yapay sinir ağları uygulamaları ile aşağıdaki işlemler yapılmaktadır [27].

Tahmin

Ağa sunulan giriş değerlerine karşılık çıkış değerlerini tahmin edebilir.

Sınıflandırma

YSA verilen örnekler doğrultusunda verileri kategorize ederler.

Veri ilişkilendirme

YSA sunulan veriler çerçevesinde ağ oluşturur, bu ağa sunulan verilerin eksik yada hatalı olup olmadığını belirler. Eğer eksik bilgi varsa ise kendi içinde tamamlar.

Veri filtreleme

Oluşturulan yapay sinir ağları birçok veri arasından en uygun veriyi bulurlar.

Tanıma ve eşleştirme

Değişik şekil ve örüntülerin tanınması, eksik, belirsiz bilgilerin eşlenmesi işlemini yaparlar.

Teşhis

Yapay sinir ağındaki olumsuzluklarını belirler ve bu olumsuzlukların teşhis edilmesini sağlar.

Yorumlama

Bir YSA için toplanan verilerle YSA ağı oluşturulduktan sonra bu YSA ağı kullanarak yeni olaylar yorumlayabilirler.

Yukarda söz edilen avantaj ve dezavantajları gerçekleştiren yapay sinir ağları birçok alanda kullanılmaktadır. YSA'lar sadece bir mühendislik tekniği değildir. Fen bilimleri, matematik, tıp, işletme, finans, istatistik, savunma sanayii, istatistik, endüstri vb. birçok alanda kullanılarak çözümler elde edilmiştir. Literatürde yer alan birçok makale YSA'ların farklı alanlarda kullanılmasına yönelik çalışmalar konu edinmiştir.

YSA ayrıca savunma sanayi, görüntü tanıma, yüz tanıma, avuç içi izi tanıma, araç denetimi, kalp fonksiyonları izleme, tanıma gibi birçok çeşitli alanda kullanılmaktadır.

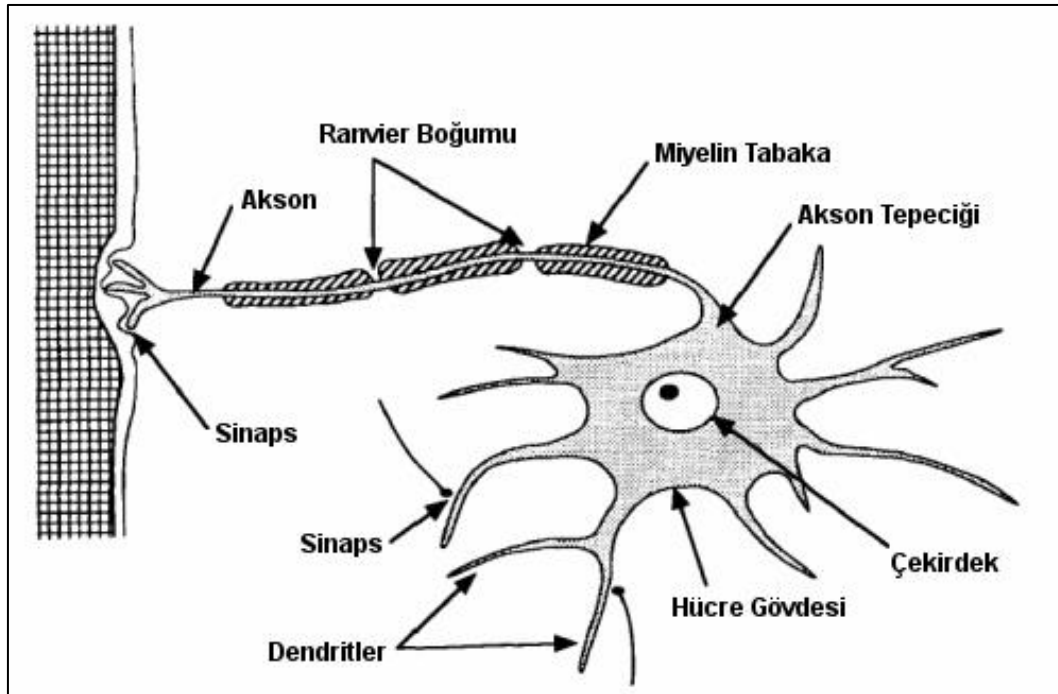
4.5. Yapay Sinir Ağlarının Yapısı

4.5.1. Biyolojik sinir hücresi

İnsan beyninin çalışma prensipleri, günümüzde de tam anlamıyla çözülemeyen bir gizemdir. Özellikle, insan beyni vücudun birçok uzvundan farklı olarak yenilenebilme özelliğine sahip değildir. Beynin sinir hücreleri, insana düşünme, hatırlama ve geçmiş deneyimlere başvurma yeteneğini sağlayan en temel elemanıdır. Sinir hücrelerinin çalışma sistemi hala gizemini büyük oranda korumaktadır. Beyin gücünü, içerisinde bulunan 100 milyar sinir hücresi ve her hücrenin 1 000 ile 10 000 arası komşu bağlantıdan oluşan ve bağlantıların genetik yapıları ile öğrenme yeteneklerinden almaktadır.

Biyolojik sinir sistemi, merkezinde sürekli olarak bilgiyi alan, yorumlayan ve uygun bir karar üreten beynin bulunduğu üç katmanlı bir sistem olarak açıklanmaktadır. Bu katmanlar; çevreden gelen girdileri elektriksel sinyallere dönüştürerek beyne ileten alıcı sinirler (Receptor), beynin ürettiği elektriksel sinyalleri çıktı olarak uygun tepkilere dönüştüren tepki sinirleri ile alıcı ve tepki sinirleri arasında ileri ve geri besleme yaparak uygun tepkiler üreten merkezi sinir ağı olarak sıralanır [28].

Beyin, sıkışık olarak ara bağlaşımlı milyarlarca nörondan oluşmaktadır. Her eleman kendi aralarında oldukça çok sayıda nörona (eleman başına yaklaşık olarak 104 bağlantı) bağlanmıştır. Bir nöronun aksonu (çıkış yolu) ayrıştırılmıştır ve bir sinaps olarak adlandırılan bir jonksiyon vasıtasıyla diğer nöronların dendritlerine bağlanmıştır. Bu jonksiyon uçlarındaki iletim doğal olarak kimyasaldır ve işaretin miktarı, akson tarafından serbest bırakılan kimyasalların büyüklüğüne bağlı olarak transfer edilir ve dendritler vasıtasıyla alınır. Bu sinaptik büyüklük, beyin öğrenirken neyin modifiye edildiğini belirtir. Bu sinaps, beyin temel hafıza mekanizmasına dayanarak nöron içerisindeki bilginin işlenmesi ile birleştirilir [27].



Şekil 4.1. Sinir hücresi [29]

Verilen özellikte milyarlarca sinir hücresi bir araya gelerek sinir sistemini oluşturmaktadır. YSA'lar, insan beyninin çalışma prensibi örnek alınarak geliştirilmeye çalışılmıştır ve aralarında yapısal olarak bazı benzerlikler vardır.

Çizelge 4.2. YSA ve sinir hücrelerin benzerliği [29]

Biyolojik Sinir Sistemi	Yapay Sinir Ağları
Sinir Sistemi	Sinirsel Hesaplama Sistemi
Nöron (Sinir)	İşlem Elemanı
Dendrit	Toplama Fonksiyonu
Hücre Gövdesi	Transfer Fonksiyonu
Aksonlar	Eleman Çıkışı
Sinapslar	Ağırlıklar

Yapısal benzerliklerin oldukça fazla olması öğrenme ve işlem yapma yeteneklerinin biyolojik hücrelerle örneklendirilmektedir.

İstatistiksel yöntemlerle yapay sinir ağları arasında da birçok benzerlikler söz konusudur.

Çizelge 4.3. YSA ile istatistiksel yöntemlerin benzerlikleri [29]

İstatistiksel	Yapay Sinir Ağları
Model	Ağ
Tahmin	Öğrenme
Regresyon	Danışmanlı Öğrenme
İnterpolasyon	Genelleştirme
Gözlem	Öğrenme Algoritması
Parametre	Ağ Parametreleri (ağırlıklar, katsayılar)
Bağımsız Değişken	Giriş Verileri
Bağımlı Değişken	Çıkış Verileri
Sınır Regresyon	Ağırlık Budama İşlemi

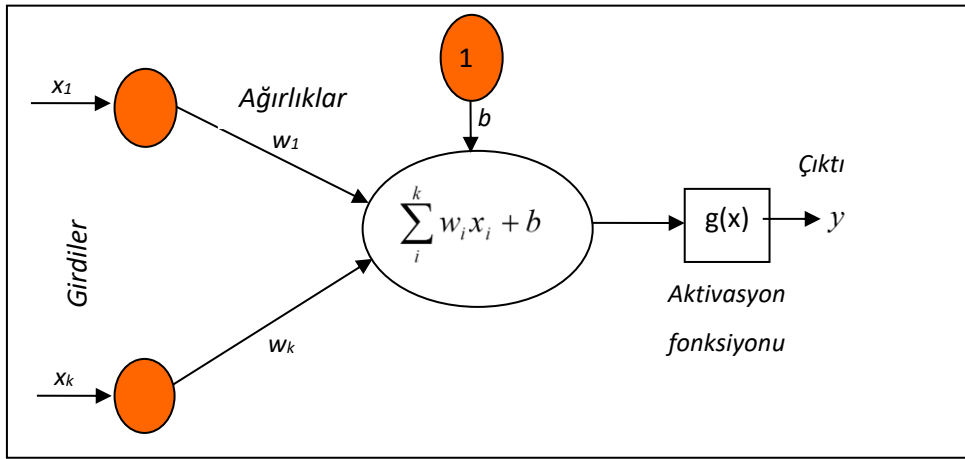
4.5.2. Yapay sinir hücresi

Yapay Sinir Hücresi (YSH), insan sinir hücresini taklit etmeye yönelik bir girişimin sonucudur. Yapay sinir hücreleri genel anlamda beş temel yapıdan oluşmaktadır.

- Probleme ait veriler
- Probleme ait ağırlıklar

- YSA ait toplama fonksiyonu
- YSA ait aktivasyon fonksiyonu
- Problemin çözüm Çıktıları

Girdiler sinir hücresine girdikten sonra ilgili bağlantı ağırlıkları ile çarpılırlar, daha sonra bir birleştirme fonksiyonu (genellikle toplama fonksiyonu) ile birleştirilirler ve böylece nöronun net girdisi elde edilir. Net girdi bir aktivasyon fonksiyonu tarafından işlenir. Aktivasyon fonksiyonunun çıktısı ise nöronun net çıktısını tayin eder [24].



Şekil 4.2. Yapay sinir hücresi [29]

Girdiler

Girdiler, bir yapay sinir hücresine gelen bilgilerdir. Bu bilgiler dış ortamlardan ya da diğer sinir hücrelerinden gelebilir. Dış ortamlardan gelen bilgiler, ağız öğrenmesi istenen örnekler tarafından belirlenmektedir [21].

Ağırlıklar

Ağırlıklar, gelen bilgilerin hücre üzerindeki etkisini belirleyen katsayılardır. Bilgiler, bağlantılar üzerindeki ağırlıklar üzerinden hücreye girmekte ve ağırlıklar yapay sinirde girdi olarak kullanılacak değerlerin göreceli kuvvetini (matematiksel katsayısını) göstermektedir. Yapay sinir ağı içinde girdilerin hücreler arasında iletimini sağlayan tüm bağlantıların farklı ağırlık değerleri bulunur [23].

Toplama fonksiyonu

Toplama fonksiyonu, hücreye gelen net girdiyi hesaplayan fonksiyondur ve genellikle girişlerin kendi ağırlıklarıyla çarpımının toplamı Eş. 4.1'deki gibi ifade edilir;

$$NetGirdi_j = \sum_i w_{ij} x_i + w_{0j} \quad (4.1)$$

Biçiminde ifade edilir. Yapay sinir ağının yapısına göre toplama fonksiyonu, maksimum, minimum, çarpım veya çeşitli normalizasyon işlemlerinden birisi olarak da ifade edilebilir. Bir problem için en uygun toplama fonksiyonu çeşidini bulmak için herhangi bir formül yoktur. Toplama fonksiyonu genellikle deneme yanılma yoluyla bulunmaktadır. Ayrıca bir yapay sinir ağındaki bütün işlemci elemanların aynı toplama fonksiyonuna sahip olması gibi bir zorunluluk da yoktur. Bazen aynı yapay sinir ağı içindeki işlemci elemanların bazıları aynı toplama fonksiyonunu, diğerleri ise başka fonksiyonları kullanabilirler. Bu tamamen tasarımcının kendi kararına bağlıdır [21].

Aktivasyon fonksiyonu

Nöron davranışını belirleyen en önemli faktörlerden biri, nöronun aktivasyon fonksiyonudur. Aktivasyon fonksiyonu, toplama fonksiyonundan gelen girdiyi işleyerek yapay sinir hücresinin çıkışını belirler. Transfer fonksiyonu olarak da adlandırılan aktivasyon fonksiyonu çeşitli tiplerde ve genellikle doğrusal olmayan bir fonksiyondur. Doğrusal fonksiyonların tercih edilmemesinin nedeni, doğrusal fonksiyonlarda girdi ile çıktının doğru orantılı olmasıdır. Bu durum ilk yapay sinir ağları denemelerinin başarısızlıkla sonuçlanmasının temel nedenidir. Aktivasyon fonksiyonu olarak en çok kullanılanlar sigmoid fonksiyon ve hiperbolik tanjant fonksiyonlarıdır [24].

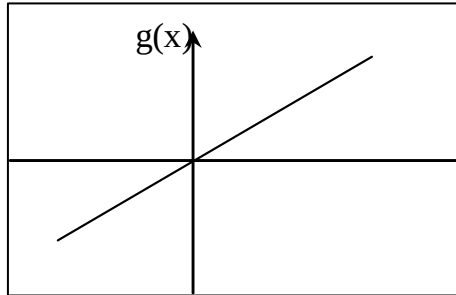
Aktivasyon fonksiyonu, toplama fonksiyonundan gelen girdiyi dönüştürerek istenilen değerler arasında sınırlandırmaktadır. Bu nedenle bazı kaynaklarda sıkıştırma veya eşik fonksiyonu olarak da adlandırılmaktadır. Bu değerler kullanılan aktivasyon fonksiyonun tipine göre genellikle [0,1] veya [-1,1] arasındadır.

Aktivasyon fonksiyonu işlemi öncesinde, sisteme tekdüze (uniform) dağılmış bir rassal hata eklenebilmektedir. Bu rassal hatanın kaynağı ve büyüklüğü sistemin öğrenme sürecinde belirlenir ve sebebi, insan beyninin işlevinin, içinde bulunduğu ortamın koşullarından etkilenmesidir. Örneğin ortamın soğuk/sıcak olmasından insan beyni etkilenmektedir. Bu nedenle yapay sinir ağları literatüründe rassal hata ekleme işlemi "sıcaklık (temperature)" olarak da adlandırılmaktadır. Ancak günümüzde rassal hata işlevi tam olarak kullanılmamakta ve hala bir araştırma süreci içinde bulunmaktadır. Ayrıca bazı yapay sinir ağlarında, aktivasyon fonksiyonunun çıktısı üzerinde başka işlemler, ölçeklendirme ve sınırlandırma yapılabilmektedir [28].

Yapay sinir hücrelerinde en yaygın olarak kullanılan fonksiyonlar aşağıda verilmiştir.

Doğrusal aktivasyon fonksiyonu

Doğrusal problemlerin çözümünde kullanılan bu fonksiyon, gelen net girdileri doğrudan hücre çıkışı olarak vermektedir. Matematiksel olarak $g(x)$ şeklinde tanımlanmaktadır [26].



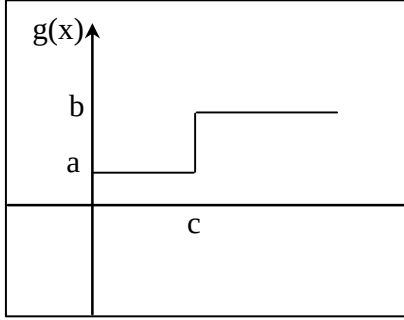
Şekil 4.3. Doğrusal aktivasyon fonksiyonu [29]

Basamak fonksiyonu

Hücrenin çıktısının 1 veya 0 değerlerini almasında gelen net girdi değerinin belirlenen bir eşik değerinin üstünde ya da altında olmasına bağlıdır [24].

$$g(x) = \begin{cases} b & x \geq c \\ a & x < c \end{cases} \quad (4.2)$$

Genellikle $c=0$, $a=0$, $b=1$ ya da $c=0$, $a=-1$, $b=1$ tercih edilir.

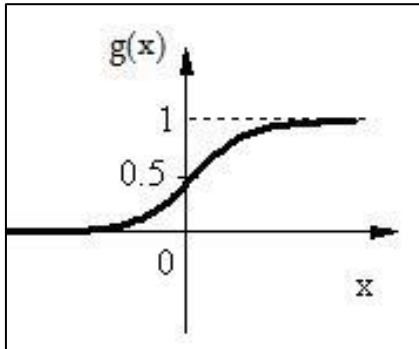


Şekil 4.4. Basamak fonksiyonu [29]

Sigmoid aktivasyon fonksiyonu

Sigmoid aktivasyon fonksiyonunun türevi alınabilir. Bu fonksiyon doğrusal olmayan ve sürekli bir fonksiyon olduğundan en çok uygulanan aktivasyon fonksiyonudur. Formülü aşağıda gösterilen fonksiyon, net girdinin her değeri için 0 ile 1 arasında bir değer üretmektedir [17].

$$g(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (4.3)$$



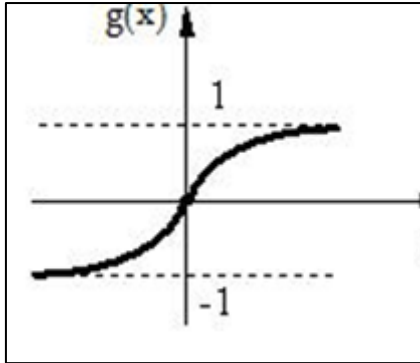
Şekil 4.5. Sigmoid fonksiyonu [29]

Hiperbolik Tanjant Fonksiyonu

Hiperbolik tanjant fonksiyonu, sigmoid aktivasyon fonksiyonunun farklı bir çeşidi olmakla birlikte, gelen net girdinin tanjant fonksiyonundan geçirilmesi ile hesaplanmaktadır. Aşağıda

förmülü gösterilen hiperbolik tanjant fonksiyonunda çıktı -1 ile 1 arasında değer alırken, sigmoid aktivasyon fonksiyonunda çıktı 0 ile 1 arasındadır[24].

$$g(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (4.4)$$



Şekil 4.6. Hiperbolik Tanjant Fonksiyonu [29]

Hücrenin çıktısı

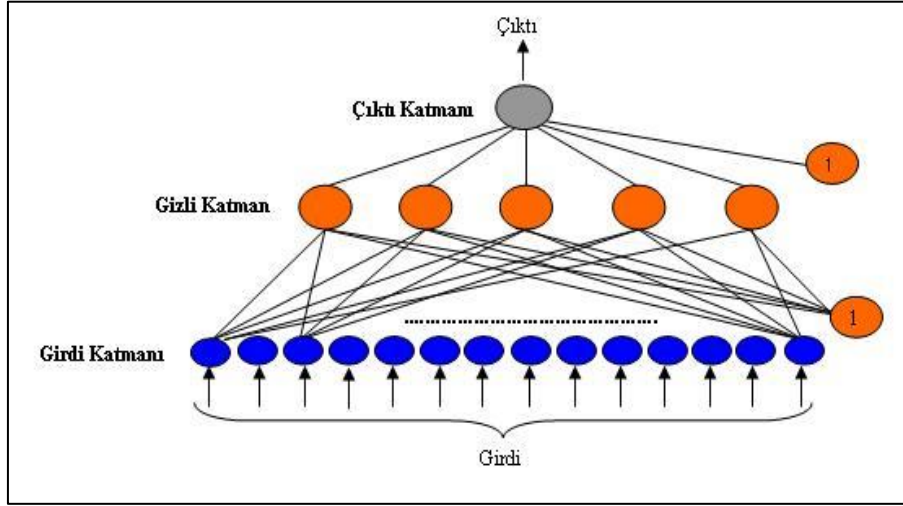
Tercih edilen aktivasyon fonksiyonu tarafından belirlenen veridir. Bu çıktı değeri ya dış ortama yada başka bir yapay sinir hücresine girdi olarak gönderilmektedir. Bir işlemci elemanın birden fazla girdisi olabilir, ancak tek bir çıktısı olmaktadır [29].

4.5.3. Yapay sinir ağı yapısı

Bir araya gelmesi rastlantısal olmayan sinir hücreleri yapay sinir ağını oluşturmaktadır. Yapay sinir hücrelerinin genellikle birbiriyle bağlantılı 3 katman halinde ve her katman içinde birbirine paralel olacak şekilde bir araya gelerek ağı oluşturdıkları görülür. Bu 3 katman, girdi katmanı (input layer), gizli katman (hidden layer) ve çıktı katmanı (output layer) olarak adlandırılır [28].

Girdi katmanı, dış ortamdan bilgileri alarak gizli katmanlara iletmekle görevlidir. Bazı yapay sinir ağlarında bu katmanda herhangi bir bilgi işleme olmamaktadır. Gizli katman, girdi katmanından gelen bilgileri işleyerek çıktı katmanına iletmekle görevlidir. Gizli katman olarak da adlandırılan gizli katman birden fazla olabilmektedir. Gizli katmanlar çok sayıda

yapay sinir hücresi içermektedirler ve bu hücreler yapay sinir ağı içindeki diğer hücrelerle bağlantılıdır. Çıktı katmanı, gizli katmandan gelen işlenmiş bilgileri dış ortama aktarmakla görevlidir [29].



Şekil 4.7. Çok katmanlı yapay sinir ağları [29]

4.5.4. Yapay sinir ağının eğitimi

Yapay sinir ağlarında bağlantıların ağırlık değerlerinin değiştirilmesi işlemine "ağın eğitilmesi" denilmektedir. Başlangıçta rastgele atanan bu ağırlık değerleri, ağa gösterilen örneklerle değiştirilmektedir. Amaç, ağa gösterilen örnekler için doğru çıktıları üretecek ağırlık değerlerinin belirlenmesidir.

Yapay sinir ağlarının eğitim süreci, belli kurallar çerçevesinde olmaktadır. Bu kurallara öğrenme kuralları adı verilmektedir. Ağırlıkların değiştirilmesi öğrenme kurallarına göre yapılır. Yapay sinir ağında ağırlıkların doğru değerlere ulaşması, örneklerin temsil ettiği problem konusunda ağın genellemeler yapabilme yeteneğine kavuşması demektir. Ağın bu genelleştirme özelliğine kavuşması işlemine "ağın öğrenmesi" denilir.

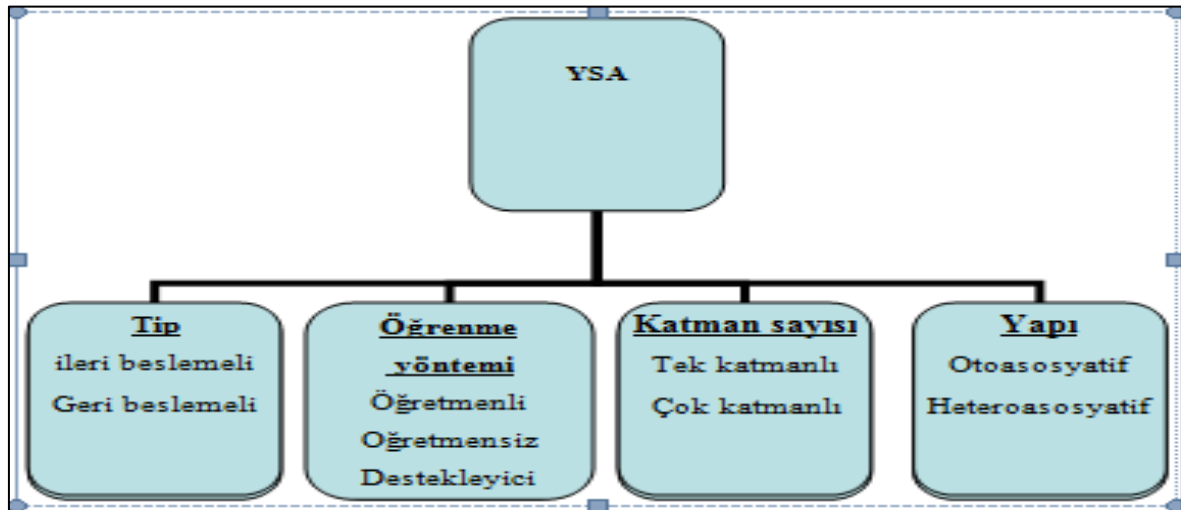
Yapay sinir ağlarında öğrenme iki aşamada gerçekleşir. Birinci aşamada ağa gösterilen örnek için ağın üreteceği çıktı belirlenir. Bu çıktı değerinin doğruluk derecesine göre, ikinci aşamada ağın bağlantılarının sahip olduğu ağırlıklar değiştirilmektedir. Ağın çıktısının belirlenmesi ve ağırlıkların değiştirilmesi öğrenme kuralına bağlı olarak farklı şekillerde olmaktadır.

Bir yapay sinir ağının eğitiminin tamamlanmasının ardından, ağın öğrenip öğrenmediğini (performansını) ölçmek için denemeler yapılarak ağın test edilmesi gerekmektedir. Bir ağı test etmek için ağın eğitimi sırasında görmediği, yani veri setinden test amaçlı olarak ayrılan örnekler kullanılır ve bu örnekler test kümesi adını alır. Test işleminde ağın ağırlık değerleri değiştirilmemektedir. Örnekler ağı gösterilmekte ve ağ eğitimi sırasında belirlenen ağırlık değerlerini kullanarak daha önce görmediği bu örnekler için çıktılar üretmektedir. Elde edilen çıktıların doğruluk dereceleri ağın öğrenmesi hakkında bilgi vermektedir. Sonuç ne kadar iyi olursa eğitimin performansı da o kadar iyi demektir [21].

4.6. Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması

Ağ topolojisi, yapay sinir ağlarında işlemci elemanlar arasındaki bağlantının şeklidir. Yapay sinir ağları için iki genel topoloji bulunmaktadır; ileri beslemeli (feed-forward) ve geri beslemeli (feedback) veya yinelemeli [28].

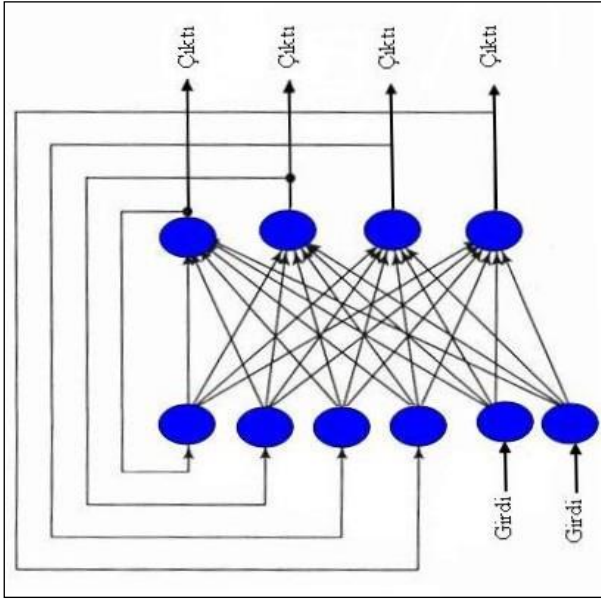
Birçok YSA türü vardır. YSA'lar, tiplerine, katman sayılarına, yapılarına ve öğrenme algoritmalarına göre sınıflandırılabilirler. Şekilde bu sınıflandırmayı göstermektedir.



Şekil 4.8. Yapay sinir ağlarının sınıflandırılması [29]

4.6.1. Tipine göre yapay sinir ağı

YSA'lar nöronlar arasındaki bağlantıların yapısına göre ileri beslemeli ve geri beslemeli olmak üzere iki sınıfta incelenirler. İleri beslemeli ağlarda veriler, girdi biriminden çıktı birimine ileri doğru akış göstermektedir. Bu ağ yapısında geri besleme yoktur. Geri beslemeli ağlarda ise veri akışı sadece ileriye doğru değil geriye doğru da olmaktadır. Bu ağ yapısında, ağ çıktısı aynı zamanda girdi olarak da kullanılabilir.



Şekil 4.9. Geri beslemeli yapay sinir ağı [29]

4.6.2. Öğrenme yöntemine göre yapay sinir ağı

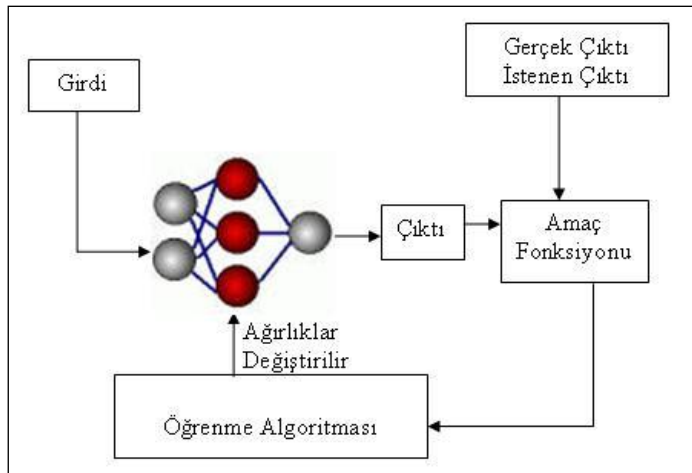
YSA'nın en temel özelliği öğrenme yeteneğidir. Öğrenme YSA'nın içinde bulunduğu çevre tarafından uyarılması yani eğitilmesi sürecinde ağırlıklarını düzenlemesi işlemidir. Ağırlıkların düzenlenmesi işlemleri üç noktaya işaret etmektedir [17].

- YSA içinde bulunduğu çevre tarafından uyarılmaktadır.
- Bu uyarıların sonucu YSA, ağırlıklarında bazı değişiklikler yapmaktadır. Bu değişiklik önceden belirlenmiş bazı kurallara göre gerçekleşir
- YSA içyapısındaki değişikliklerin sonucu olarak çevresine bir çıktı verir.

YSA'nın veri yapısındaki ilişkiyi öğrenmesini, probleme ait örnekler yardımı ile ağ ağırlıklarının en uygun değerlerinin belirlenmesi olarak tanımlayabiliriz. En iyi ağırlık kümesini bulmaya yardım eden birçok öğrenme algoritması ileri sürülmüştür. Bu algoritmalar kabaca üç sınıfta incelenebilir: Öğretmenli, öğretmensiz ve destekleyici öğrenme algoritmasıdır [17].

Öğretmenli öğrenme

Bu tip öğrenmede ağın eğitimi için çıktıların istenen değerleri ağa tanıtılabilmektedir. Girdi ve çıktı kümeleri ağa verilir. Ağ, girdiyi işleyerek kendi çıktısını üretir ve gerçek çıktı ile karşılaştırır, öğrenme metodu sayesinde, mevcut hatayı en aza indirmek için bağlantılardaki ağırlıklar yeniden düzenlenir. Bu işlem kabul edilebilir bir hata seviyesine ulaşıncaya kadar devam eder. Şekil 3.12, öğretmenli öğrenme algoritmasını göstermektedir. Algılayıcı, geri yayılım ağı ve Boltzmann makinesi en yaygın kullanılan öğretmenli ağlardır [24].



Şekil 4.10. Öğretmeli öğrenme [29]

Öğretmensiz öğrenme

Ağın öğrenmesine yardımcı olan herhangi bir öğretmen yoktur. Yani çıktıların istenen değerleri ağa tanıtılamıyorsa, bu tip öğrenme şekli öğretmensiz öğrenme olarak adlandırılır. Hem çıktı hem de girdi olan veriler arasındaki kural ve ilişkilerin araştırılması ve en uygununun bulunması ağın eğitilmesi anlamına gelmektedir. Adaptif Rezonans Teorisi (ART), Hopfield Ağı, Kohonen Ağı en çok kullanılanlarıdır [21].

Destekleyici öğrenme

Öğretmenli öğrenme sisteminde olduğu gibi ağa bir öğretmen yardımcı olur. Ancak burada öğretmen, olması gereken çıktıları sisteme tanıtmaz. Bu sınıflandırma problemlerinde kullanılan öğrenme yöntemidir. Lineer Vektör Parçalama (LVQ) destekleyici öğrenme için örnek verilebilir [30].

4.6.3. Yapısına göre yapay sinir ağları

YSA'lar yapılarına göre otoasosyatif ve heteroasosyatif olmak üzere iki sınıfta incelenebilir. Otoasosyatif ağlar, girdi nöronlarının aynı zamanda çıktı nöronu olarak görev yaptığı ağlardır. Hopfield ağları bu türdendir. Heteroasosyatif ağlar, farklı girdi ve çıktı nöronlarının bulunduğu ağ yapılarıdır. Algılayıcı, çok katmanlı algılayıcı, Kohonen ağı bu türdendir [25].

4.6.4. Katman göre yapay sinir ağları

YSA'lar, YSH'nin oluşturduğu bir yapıdır. Benzer özellikleri gösteren YSH'nin oluşturduğu öbeğe katman denir. Örneğin girdi sinir hücreleri girdi katmanını, çıktı sinir hücreleri çıktı katmanını oluşturur. Eğer bir YSA tek katmandan oluşuyor ise tek katmanlı YSA, birden fazla katmandan oluşuyor ise çok katmanlı YSA olarak adlandırılır.

4.7. Çok Katmanlı Algılayıcı

Çok katmanlı algılayıcılar (ÇKA); ileri beslemeli ağlardan olup, öğrenme yöntemlerinden öğretmenli öğrenmeyi kullanan ağlardır. Heteroasosyatif YSA yapısına sahip olan ÇKA birden fazla katmana sahiptir.

ÇKA, doğrusal olmayan problemleri çözebilmeleri nedeniyle günümüzde geniş kullanım alanları bulan en popüler yapay sinir ağıdır. Ayrıca kullandığı öğrenme algoritması nedeniyle geri yayılım ağı olarak da anılmaktadır.

Yapay sinir ağlarına olan ilginin tekrar artmasına neden olan çok katmanlı algılayıcılar, başlangıçta akademik çevrelerin ilgisini çekerek üzerinde yapılan çalışmaları yoğunlaştırmış, daha sonra mühendislik problemlerinin hemen hepsine çözüm üretebilecek

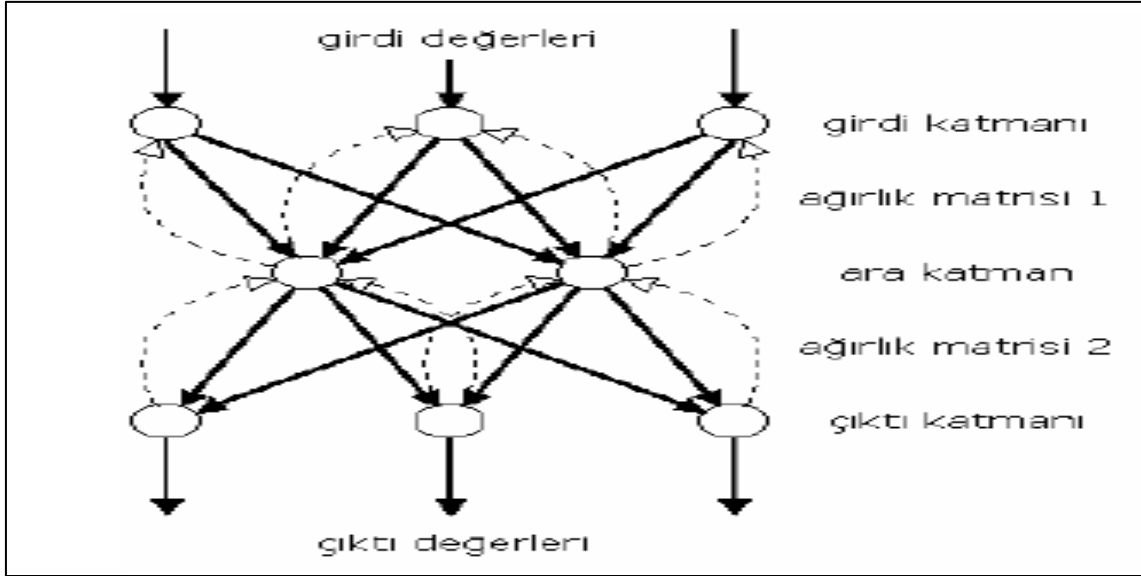
bir güce sahip olması nedeniyle endüstriyel alanda yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır.

ÇKA'nın diğer YSA türlerine göre ayırt edici 3 özelliği bulunmaktadır [17].

- Ağdaki her bir nöron doğrusal olmama özelliği içerir. Doğrusal olmama biçimi genellikle kullanılan sigmoid (lojistik) fonksiyonu ile sağlanır.
- Gizli nöronlardan oluşan bir ya da daha fazla gizli katmana sahiptir. Gizli nöronlar, girdi verisi yapısındaki karmaşık yapıyı öğrenmede ağı başarılı kılarlar.
- Ağ bağlantılar sayesinde çok yüksek derecede bilgi işleme becerisi gösterir. Ağın bilgi işleminde değişiklik olabilmesi, bağlantı sayısında ya da ağırlıklarında değişikliği gerektirir.

ÇKA, öğretmenli öğrenme metodunu kullanmaktadır. Ağın öğrenbilmesi için eğitim kümesi adı verilen ve örneklerin bir kısmından oluşan bir sete ihtiyaç vardır. Bu set içinde her örnek için hem girdiler hem de o girdiler için ağın üretmesi gereken çıktılar belirlenir. Öğrenme sırasında her örnek için ağın çıktı değeri ile beklenen çıktı değeri karşılaştırılır ve hata değeri ağa tekrar geri besleme şeklinde verilir. Örnek setindeki hata kareleri toplamını azaltmak için işlemci elemanlar arasındaki bağlantı ağırlıkları değiştirilmektedir.

Bir yapay sinir ağının geri yayılım yoluyla eğitilmesi; ileri doğru hesaplama ve geriye doğru hesaplama olmak üzere iki aşamadan oluşur.



Şekil 4.11. İleri beslemeli geri yayılım yapay sinir ağı yapısı [28]

Gizli katmandaki her işlemci eleman, girdi katmanındaki bütün işlemci elemanlardan gelen bilgileri bağlantı ağırlıklarıyla ağırlıkladırlar.

Başarılı bir tahmin gerçekleştirebilmek için kurulacak olan ÇKA modeli oldukça öneme sahiptir. Ancak modellemeye başlamadan önce dikkat edilmesi gereken en önemli unsur probleme ilişkin toplanan verilerdir.

Zaman serisi analizine dayalı tahmin problemlerinde veri ilgili değişkenin serisidir. Kurulan ÇKA'da girdi ve çıktı nöron değerlerini oluşturacak olan veri de bu seriye ait sıralı gözlem değerleridir. Sebep-sonuç ilişkisine dayalı tahmin problemlerinde ise; çıktı nöronu değerleri bağımlı değişkene ait veriler iken girdi nöronu değerleri bağımsız değişkenlere ait verilerdir. Böyle bir tahmin problemde bağımsız değişkenlerin seçiminde özen gösterilmeli ve modeli şişirecek çok fazla sayıda değişken kullanımından kaçınılmalıdır. Ayrıca bağımsız değişkenler arasında mevcut olabilecek çoklu doğrusal bağlantı ya da birlikte değişim gibi durumların varlığı araştırılmalı, eğer varsa bu durum giderilmeye çalışılmalıdır.

Probleme ilişkin yeterli ve sağlıklı veriler toplandıktan sonra ÇKA modellemesine geçilebilir. ÇKA modellemesinde en önemli kararlardan biri ağ yapısıdır. Ağ yapısından kasıt, katman sayısı, her katmandaki nöron sayısıdır. Diğer kritik kararlar ise, gizli katman ve çıktı katmanındaki aktivasyon fonksiyonunun seçimi, eğitim algoritması, veri normalleştirme metodu, veri kümesinin belirlenmesi ve performans ölçütleridir.

Ağ yapısı

ÇKA'nın tasarımında girdi nöronu sayısı, gizli katman sayısı, gizli nöron sayısı ve çıktı nöronu sayısının belirlenmesi gerekmektedir. Bu parametrelerin seçimi ilgilenilen probleme göre değişecektir. Optimal ağ mimarisinin belirlenmesinde, önerilen bazı teknikler olmasına rağmen, bu metotlardan hiçbirisi gerçek tahmin problemleri için optimal çözümü garanti etmemektedir. Daha doğrusu bu parametrelerin belirlenmesinde kesin-açık metotlar yoktur. Sezgisel yaklaşımlar ve kısıtlı deneylere dayalı benzetim çalışmaları yardımcı olabilir. Bu nedenle, bir YSA'nın tasarımı bir bilimden daha çok bir sanattır. Ancak model seçimini kolaylaştıracak bazı yaklaşımlar vardır. Örneğin model karmaşıklığını engelleme amaçlı BIC (Bayesian Information Criterion) istatistiği model belirlemede kullanılabilir.

Girdi nöronu sayısı

Sebeup-sonuç ilişkisine dayanan bir tahmin problemi ilişkin bağımsız değişken sayısı girdi nöronu sayısını verecektir. Girdi nöronları veri içerisinde saklı bilgiyi ortaya çıkarmada çok önemli bir rol oynarlar, bu sebeple de en uygun girdi nöronu sayısının tespiti oldukça önemlidir.

Gizli katman sayısı

Tek gizli katmanlı ÇKA problemleri çözmede başarılıdır. Ancak bazen çok karmaşık bir yapıyı barındıran verilerle çalışırken iki gizli katmana ihtiyaç duyulabilir. Gizli katman sayısının artırılması, hesaplama zamanını artırmakta ayrıca ağın öğrenme yerine ezberlemesine sebep olabilmektedir. Ağ ağırlıklarının sayısı, gizli katman ve nöron sayısına bağlı olarak değiştiği için eğitim kümesinin büyüklüğü ezberleme işleminin ortaya çıkıp çıkmayacağını belirler. Eğitim kümesine göre çok sayıdaki ağırlık değeri, ağın özel gözlem değerlerini ezberlemesine sebep olacaktır.

Gizli nöron sayısı

Gizli katmanlardaki nöron sayısının tespitinde sabit bir kural yoktur. Genel olarak şunu söylemek gerekir: az sayıda gizli nöron veri yapısındaki ilişkiyi öğrenmede başarısız olabilir, çok sayıda gizli nöron ise ağın öğrenmesi yerine ezberlemesine sebep olur. En uygun gizli

nöron sayısını belirlemek için, deney tasarımı yapılabilir, ya da az sayıda gizli nöron ile başlayıp doğrulama kümesi için ağın performansı bozuluncaya kadar gizli nöron sayısı artırılır.

Aktivasyon fonksiyonu

Tahmin problemleri için kurulan ÇKA'larda, aktivasyon fonksiyonu ağın performansını etkileyen bir başka önemli faktördür. Aktivasyon fonksiyonunun seçimi ağın performansını etkilemesine rağmen hangi fonksiyonun kullanılacağını belirleyen kesin bir kural yoktur. Genel olarak, bir ağı, aynı ya da farklı katmanlarındaki nöronlar farklı aktivasyon fonksiyonunu kullanabilirler. Ancak uygulamaların çoğunda, aynı katmandaki nöronların aynı aktivasyon fonksiyonunu kullandıkları görülmektedir.

Literatürdeki çalışmaların çoğunda gizli katman nöronları için sigmoid (lojistik) ya da hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu kullanılırken, çıktı nöronları için hangi aktivasyon fonksiyonunun kullanılması gerektiği hususunda bir görüş birliği yoktur. Çıktı katman nöronları için sigmoid, hiperbolik tanjant ya da özdeşlik fonksiyonunun kullanıldığı görülmektedir[24].

Veri normalleştirme

Lojistik ya da hiperbolik tanjant gibi doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonları, bir nöronun çıktısını (0,1) veya (-1,1) aralığına sıkıştırırlar. Bu sebeple hesaplama hatalarından kaçınmak için hem çıktıları hem de girdileri normalleştirme avantajlı olacaktır. Veri normalleştirme (data normalization), eğitime süreci başlamadan uygulanır.

[0,1] aralığına doğrusal dönüşüm Eş. 4.5'deki formül ile hesaplanır.

$$X_n = \frac{X_0 - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (4.5)$$

Öğrenme algoritması

Ağ eğitimi için birçok değişik optimizasyon metodu vardır. En yaygın kullanılan öğrenme (eğitim) algoritması, esasında bir gradyan dik iniş algoritmasıdır. Gradyan dik iniş algoritması için öğrenme oranı ve momentum katsayısının en iyi değerlerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu öğrenme parametrelerinin en iyi değerleri genellikle deney yolu ile belirlenir. Öğrenme oranı ve momentum katsayısı, her ikisi de genellikle 0 ile 1 arasında herhangi bir değer alabilir.

Veri kümesinin düzenlenmesi

Bir ÇKA ile tahminde bulunurken eldeki mevcut veri kümesi eğitim-test ya da eğitim-doğrulama-test olmak üzere kısımlara ayrılır. Eğitim kümesi verileri, kurulan ÇKA'nın öğrenmesi, doğrulama kümesi verileri eğitim sürecinin durdurulacağı zamanın belirlenmesi ve test kümesi verileri de ÇKA sonuçlarının genelleştirilebilmesi için kullanılır. Doğrulama kümesi verileri aynı zamanda farklı ağ yapılarının seçiminde de kullanılabilir [31].

Eldeki verilerin anılan kümelere bölünmesinde dikkat edilecek bazı kriterler vardır. Problem karakteristiği, veri tipi ve eldeki veri miktarı bu kararı vermede dikkate alınır. Her üç kümeye ait verilerin, bütünün özelliklerine sahip kümeler olması kritik bir noktadır. Bu nokta özellikle zaman serileri tahmin problemlerinde önemlidir. Eğitim-doğrulama-test kümelerinin uygunsuz belirlenmesi, ÇKA'nın tahmin performansını ve bu performansın değerlendirilmesini etkileyecektir. Literatürde eğitim, doğrulama ve test kümelerinin belirlenmesine yönelik az da olsa öneriler vardır. Birçok araştırmacı %80,%10,%10 veya %70,%15,%15 ya da %60,%20,%20 kuralını temel alan bir yöntem izlemiştir. Bu oranların eldeki veri sayısı ile de yakından alakalı olduğu unutulmamalıdır [31].

5. UYGULAMALAR

Bu çalışmanın ana konusu, TEİAŞ tarafından bir önceki gün ertesi günün her saati için tahmin yöntemi ile gün öncesi piyasası aracılığıyla satın alınan iletim sistemi kayıplarına ödenen dengesizlik tutarlarını azaltmaktır. Enterkonnekte iletim sistemi kayıp tahminleri sonucu ödenen ortalama tutarlar Çizelge 5.1’de gösterilmiştir. Çizelge 5.1’de görüleceği üzere dengesizliğe düşülmesi sebebiyle 2016 yılında ortalama 152 milyon TL, 2017 yılında 142 Milyon TL, 2018 yılında 169 Milyon TL ve 2019 yılının ilk 6 ayı için ise 80 milyon TL ödeme yapılmıştır. Bu çalışma ile enterkonnekte iletim sistemi kayıp tahminlerinin gerçek değerlere yaklaştırılarak en az dengesizliğe düşülmesi ve maksimum kar elde edilmesi amaçlanmıştır.

Çizelge 5.1. Enerji dengesizlik tutarları

AYLAR	Aylar	2016	2017	2018	2019
		Enerji Dengesizlik Tutarları(TL)	Enerji Dengesizlik Tutarları(TL)	Enerji Dengesizlik Tutarları(TL)	Enerji Dengesizlik Tutarları(TL)
1	Ocak	15.000.000	10.000.000	11.000.000	5.000.000
2	Şubat	2.000.000	9.000.000	9.000.000	15.000.000
3	Mart	12.000.000	9.000.000	12.000.000	5.000.000
4	Nisan	18.000.000	11.000.000	9.000.000	14.000.000
5	Mayıs	12.000.000	12.000.000	14.000.000	27.000.000
6	Haziran	13.000.000	12.000.000	13.000.000	14.000.000
7	Temmuz	13.000.000	21.000.000	15.000.000	
8	Ağustos	11.000.000	14.000.000	25.000.000	
9	Eylül	13.000.000	11.000.000	20.000.000	
10	Ekim	9.000.000	10.000.000	14.000.000	
11	Kasım	10.000.000	9.000.000	13.000.000	
12	Aralık	24.000.000	14.000.000	14.000.000	
TOPLAM		152.000.000	142.000.000	169.000.000	80.000.000

5.1. Türkiye Enterkonnekte İletim Sistemi Kayıp Programı

İletim sistemi kayıpların gün öncesi piyasası için tahmininde kullanılmak üzere, 2012-2019 yılları arasında elde edilen veriler, bağımlı ve bağımsız değişken olarak kullanıldı ve MATLAB .m dosyasını oluşturmak için özgün Türkiye iletim sistemi kayıp programı yazılımı yapıldı.

Programın amacı Matlab tarafında eğitilecek olan verileri hazırlamaktır. Masaüstü uygulaması olarak tasarlanan program C sharp (C#) programlama dili kullanılarak Visual Studio editörü üzerinde yazıldı. Uygulamanın UI (User Interface / Kullanıcı arayüzü) tarafını zenginleştirmek için Bunifu Framework'ü kullanılmıştır. Bağımsız değişkenlerin hesaplaması da ihtiyaç duyulan nem ve sıcaklık değerleri Dark Sky API üzerinden alındı. Verilerin saklanması için ise MSSql veri tabanının Express sürümü kullanıldı.

Türkiye Enterkonnekte İletim Kaybı Tahmini

Hesapla

1 Ocak 2019 Salı

Hesapla

Filtrele

İl Seçimi

Etzum

Tarih Seçimi

14 Ekim 2018 Pazar

Filtrele

Filtreyi Temizle

Gerçekleşen Veriler

Gerçekleşen Veriler(0-1)

Tahmini Veriler

Tahmini Veriler(0-1)

Excel'e Aktar

Tarih	Saat	Gün	Şehir	Sıcaklık	Nem	Kayıp Miktar	Tüketim Miktar
25.12.2017	00:00	Pazartesi	ADANA	8,8	91,00	371,0133	30158,75
25.12.2017	01:00	Pazartesi	ADANA	9,8	86,00	343,4485	28480,68
25.12.2017	02:00	Pazartesi	ADANA	9,3	88,00	342,9297	27478,88
25.12.2017	03:00	Pazartesi	ADANA	9,3	88,00	348,3194	26623,11
25.12.2017	04:00	Pazartesi	ADANA	8,9	91,00	350,5945	26789,84
25.12.2017	05:00	Pazartesi	ADANA	7,3	91,00	346,5668	27039,91
25.12.2017	06:00	Pazartesi	ADANA	7,8	98,00	405,5833	28359,26
25.12.2017	07:00	Pazartesi	ADANA	10,9	88,00	439,9151	31230,31
25.12.2017	08:00	Pazartesi	ADANA	13,3	63,00	588,9345	36707,48
25.12.2017	09:00	Pazartesi	ADANA	14,8	56,00	650,4842	39978,29
25.12.2017	10:00	Pazartesi	ADANA	15,8	50,00	730,4896	40465,39
25.12.2017	11:00	Pazartesi	ADANA	16,8	46,00	806,8088	40556,33
25.12.2017	12:00	Pazartesi	ADANA	17,8	43,00	638,5193	38565,87
25.12.2017	13:00	Pazartesi	ADANA	17,3	47,00	628,0717	38321,41
25.12.2017	14:00	Pazartesi	ADANA	15,8	56,00	659,4665	38576,1
25.12.2017	15:00	Pazartesi	ADANA	13,3	68,00	618,623	38425,12
25.12.2017	16:00	Pazartesi	ADANA	12,3	73,00	688,548	39222,41
25.12.2017	17:00	Pazartesi	ADANA	10,3	80,00	754,7145	40859,83
25.12.2017	18:00	Pazartesi	ADANA	10,4	80,00	701,23	40783,4
25.12.2017	19:00	Pazartesi	ADANA	7,9	91,00	636,9033	39524,22
25.12.2017	20:00	Pazartesi	ADANA	7,9	94,00	613,5694	38585,47
25.12.2017	21:00	Pazartesi	ADANA	7,9	91,00	576,2017	37619,15
25.12.2017	22:00	Pazartesi	ADANA	7,3	94,00	552,0644	36812,81
25.12.2017	23:00	Pazartesi	ADANA	7,3	88,00	480,0368	35044,36
26.12.2017	00:00	Salı	ADANA	6,8	82,00	436,4357	32954,62

Şekil 5.1. Türkiye enterkonnekte iletim kaybı yazılımı ara yüzü

5.1.1. Veri tabanı

Türkiye enterkonnekte iletim sisteminde meydana gelen kayıpların tahmini için yapay sinir ağlarında kullanılan bağımsız değişkenler aşağıdaki gibidir.

Çizelge 5.2. Çalışmada kullanılan bağımsız değişkenler

Değişken Adı	Kaynağı	Değişken kullanılma sebebi
Tarih verisi	veri tabanı	Tarihler arasında meydana gelen değişimle birlikte enerji tüketimi ve kaybın değişmesi beklenmektedir. Bu nedenle tarih verileri bağımsız değişken olarak kullanılmıştır.
Saat verisi	veri tabanı	Saatler arasında meydana gelen değişimle birlikte enerji tüketimi ve kaybın değişmesi beklenmektedir. Bu nedenle saat verileri bağımsız değişken olarak kullanılmıştır.
Gün verisi	veri tabanı	Günler arasında meydana gelen değişimle birlikte enerji tüketimi ve kaybın değişmesi beklenmektedir. Bu nedenle gün verileri bağımsız değişken olarak kullanılmıştır.
Şehir verisi	veri tabanı	Örnekleme yapılarak elektrik tüketiminin ve kaybın fazla olduğu 7 şehir (Ankara, İstanbul, İzmir, Samsun, Adana, Erzurum, Diyarbakır) seçilmiş, bu Şehirler bağımsız değişken olarak kullanılmıştır.
Sıcaklık verisi	Dark Sky API	Örnekleme yapılarak elektrik tüketiminin ve kaybın fazla olduğu 7 şehir ait sıcaklık verileri seçilmiş ve bağımsız değişken olarak kullanılmıştır.
Nem verisi	Dark Sky API	Örnekleme yapılarak elektrik tüketiminin ve kaybın fazla olduğu 7 şehir ait nem verileri seçilmiş ve bağımsız değişken olarak kullanılmıştır.
Türkiye tüketim verisi	TEİAŞ	Türkiye tüketim verisinde meydana gelen değişimle birlikte enerji kaybının değişmesi beklenmektedir. Bu nedenle Türkiye kayıp verileri bağımsız değişken olarak kullanılmıştır.
Türkiye iletim kaybı verisi	TEİAŞ	Türkiye kayıp verisinde meydana gelen değişimle birlikte enerji kaybının değişmesi beklenmektedir. Bu nedenle Türkiye kayıp verileri bağımsız değişken olarak kullanılmıştır.

İletim sistemi kayıplarının tahmini yapılırken, her günün her saati için geçerli bir kayıp tahmini yapıldı. Bağımsız değişken olarak tarih, saat ve gün verileri alınmış, örnekleme yapılarak tüketim ve kaybın fazla olduğu 7 büyük şehir seçilmiş ve bu şehirlerin sıcaklık,

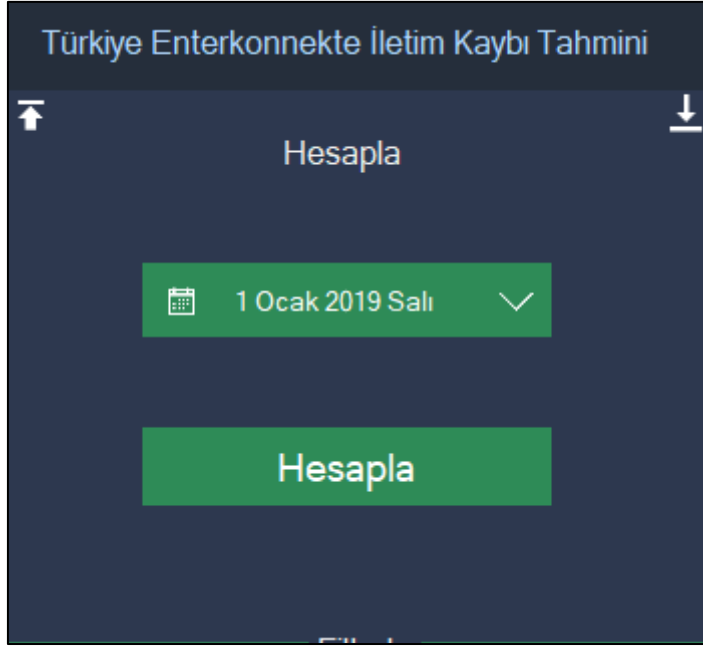
nem verileri ile Türkiye iletim kayıp miktarları ve tüketim verisi bağımsız değişken olarak kullanılmıştır.

MATLAB .m dosyası için oluşturulan veri kümelerinin anlamlı olması için 2012-2019 yılları arasında elde edilen veriler bağımlı ve bağımsız değişken olarak 0 ve 1 Aralığında olması gerekmektedir. Örnek şehirlere ait seçilen tarihten bir hafta öncesi ve bir hafta sonrası, 2012 yılına kadar gidilerek veri kümesi oluşturuldu. Söz konusu tarihler için geçerli olan saatlik Türkiye tüketimleri, iletim kaybı değerleri, illere ait sıcaklık ve nem değerleri ile Türkiye Enterkonnekte İletim Kaybı Tahmin programına işlendi.

Yazılımı özgün bir şekilde yapılan Türkiye Enterkonnekte İletim Kaybı Tahmin programı, tahmin yapılmak istenen güne ait veriler ve program için tasarlanan sekmelerin görevleri ve kapsamaları aşağıdaki gibidir.

5.1.2. Hesapla modülü

Bu modül tahmini yapılmak istenen tarihi seçerek hesapla butonuna basıp veri tabanından ilgili verileri getirerek kurgulanan senaryo için hesaplama işlemini gerçekleştirir. Sol üst tarafta bulunan yukarı ok butonu hesaplanmak istenen tarihe ait sistemde mevcut olmayan tahmin verilerini veri tabanına ekleme işlemini gerçekleştirir. Sağ üst taraftaki aşağı ok buton ise MATLAB hesaplaması sonucunda elde edilen verinin sisteme yüklenerek tahmin sonucunu çıktı olarak verme işlemini gerçekleştirmektedir.



Şekil 5.2. Hesaplama modülü ara yüzü

5.1.3. Gerçekleşen veriler sekmesi

Tarih verisi

Seçilen tarihe ait veriler 2012 yılına kadar gidilerek bir hafta öncesi, bir hafta sonrası ve seçilen tarih için yer yıl 15 günden oluşan veri seti oluşturuldu. Örneğin 10 Ocak 2019 yılı için bir tahmin yapıp programdan söz konusu gün seçilir ise 2012 ile 2019 yılları arasındaki 03 Ocak ve 17 Ocak tarihlerinin hepsi seçilmiş olur.

Saat verisi

Seçilen tarihe ait veriler 2012 yılına kadar gidilerek bir hafta öncesi, bir hafta sonrası ve seçilen tarih için yer yıl 15 günden oluşan ve bu on beş güne ait her saati içeren veri seti oluşturuldu.

Gün verisi

Seçilen tarihe ait veriler 2012 yılına kadar gidilerek bir hafta öncesi, bir hafta sonrası ve seçilen tarih için yer yıl 15 günden oluşan gün veri seti oluşturuldu.

Şehir verisi

Ülkemizin 7 bölgesine ait elektrik tüketimi ve üretimi bakımından bulunduğu bölgenin önde gelen 7 şehri seçilerek veri seti oluşturuldu.

Sıcaklık verisi

Seçilen tarih ve saatte söz konusu örneklenen şehirlerdeki meteorolojik sıcaklık verileri, Dark Sky API yöntemi ile veri seti oluşturuldu.

Nem verisi

Seçilen tarih ve saatte söz konusu örneklenen şehirlerdeki meteorolojik nem verileri, Dark Sky API yöntemi ile veri seti oluşturuldu.

Kayıp verisi

Seçilen tarih ve saatte Türkiye de oluşan iletim sistemi kayıpları veri tabanına işlenmek suretiyle veri seti oluşturuldu.

Tüketim verisi

Seçilen tarih ve saatte Türkiye de oluşan tüketim verisi, veri tabanına işlenmek suretiyle veri seti oluşturuldu.

Türkiye Entereknekte İletim Kaybı Tahmini

Hesapla

1 Ocak 2019 Salı

Hesapla

Filtrele

İl Seçimi

Erzurum

Tarih Seçimi

14 Ekim 2018 Pazar

Filtrele

Filtreyi Temizle

Tarih	Saat	Gün	Şehir	Sıcaklık	Nem	Kayıp Miktar	Tüketim Miktar
25.12.2017	00:00	Pazartesi	ADANA	8,8	91,00	371,0133	30158,75
25.12.2017	01:00	Pazartesi	ADANA	9,8	86,00	343,4485	28480,68
25.12.2017	02:00	Pazartesi	ADANA	9,3	88,00	342,9297	27478,88
25.12.2017	03:00	Pazartesi	ADANA	9,3	88,00	348,3194	28623,11
25.12.2017	04:00	Pazartesi	ADANA	8,9	91,00	350,5945	26789,84
25.12.2017	05:00	Pazartesi	ADANA	7,3	91,00	346,5668	27039,91
25.12.2017	06:00	Pazartesi	ADANA	7,8	98,00	405,5833	28359,26
25.12.2017	07:00	Pazartesi	ADANA	10,9	88,00	439,9151	31230,31
25.12.2017	08:00	Pazartesi	ADANA	13,3	63,00	588,9345	36707,48
25.12.2017	09:00	Pazartesi	ADANA	14,8	56,00	650,4842	39978,29
25.12.2017	10:00	Pazartesi	ADANA	15,8	50,00	730,4896	40465,39
25.12.2017	11:00	Pazartesi	ADANA	16,8	46,00	806,8088	40556,33
25.12.2017	12:00	Pazartesi	ADANA	17,8	43,00	638,5193	38565,87
25.12.2017	13:00	Pazartesi	ADANA	17,3	47,00	628,0717	38321,41
25.12.2017	14:00	Pazartesi	ADANA	15,8	56,00	659,4665	38576,1
25.12.2017	15:00	Pazartesi	ADANA	13,3	68,00	618,623	38425,12
25.12.2017	16:00	Pazartesi	ADANA	12,3	73,00	688,548	39222,41
25.12.2017	17:00	Pazartesi	ADANA	10,3	80,00	754,7145	40859,83
25.12.2017	18:00	Pazartesi	ADANA	10,4	80,00	701,23	40783,4
25.12.2017	19:00	Pazartesi	ADANA	7,9	91,00	636,9033	39524,22
25.12.2017	20:00	Pazartesi	ADANA	7,9	94,00	613,5694	38585,47
25.12.2017	21:00	Pazartesi	ADANA	7,9	91,00	576,2017	37619,15
25.12.2017	22:00	Pazartesi	ADANA	7,3	94,00	552,0644	36812,81
25.12.2017	23:00	Pazartesi	ADANA	7,3	88,00	480,0368	35044,36
26.12.2017	00:00	Salı	ADANA	6,8	82,00	436,4357	32954,62

Excel'e Aktar

Şekil 5.3. Gerçekleşen veriler sekmesi ara yüzü

5.1.4. Gerçekleşen veriler (0,1) sekmesi

MATLAB .m dosyası için hazırlanan program istenilirse, 10 luk tabanda istenirse Gerçekleşen Veriler (0,1) sekmeleri ile 2 lik tabanda sunulabilmektedir. Gerçekleşen Veriler (0,1) sekmesi ile 0 ve 1 Aralığında doğrusal dönüşüm yapılarak veri setleri elde edildi.

Tarih verisi

Seçilen tarihe ait veriler 2012 yılına kadar gidilerek bir hafta öncesi, bir hafta sonrası ve seçilen tarih için yer yıl 15 günden oluşan ve 0 ve 1 Aralığında olacak şekilde doğrusal dönüşümü yapılarak veri seti oluşturuldu. Örneğin 10 Ocak 2019 yılı için bir tahmin yapıлып programdan söz konusu gün seçilir ise 2012 ile 2019 yılları arasındaki 03 Ocak ve 17 Ocak tarihlerinin hepsi 0 ve 1 Aralığında olacak şekilde doğrusal dönüşümü yapıldı.

Saat verisi

Seçilen tarihe ait veriler 2012 yılına kadar gidilerek bir hafta öncesi, bir hafta sonrası ve seçilen tarih için yer yıl 15 günden oluşan ve bu on beş güne ait her saati içeren veri seti 0 ve 1 Aralığında olacak şekilde doğrusal dönüşümü yapıldı.

Gün verisi

Seçilen tarihe ait veriler 2012 yılına kadar gidilerek bir hafta öncesi, bir hafta sonrası ve seçilen tarih için yer yıl 15 günden oluşan gün veri seti 0 ve 1 Aralığında olacak şekilde doğrusal dönüşümü yapıldı.

Şehir verisi

Ülkemizin 7 bölgesine ait elektrik tüketimi ve üretimi bakımından bulunduğu bölgenin önde gelen 7 şehri seçilerek 0 ve 1 Aralığında olacak şekilde doğrusal dönüşümü yapıldı.

Sıcaklık verisi

Seçilen tarih ve saatte söz konusu örneklenen şehirlerdeki meteorolojik sıcaklık verileri, Dark Sky API'den elde edilen veri seti ile 0 ve 1 Aralığında olacak şekilde doğrusal dönüşümü yapıldı.

Nem verisi

Seçilen tarih ve saatte söz konusu örneklenen şehirlerdeki meteorolojik nem verileri, Dark Sky API'den elde edilen veri seti ile 0 ve 1 Aralığında olacak şekilde doğrusal dönüşümü yapıldı.

Kayıp verisi

Seçilen tarih ve saatte Türkiye de oluşan iletim sistemi kayıpları veri tabanına işlenmek suretiyle veri seti 0 ve 1 Aralığında olacak şekilde doğrusal dönüşümü yapıldı.

Tüketim verisi

Seçilen tarih ve saatte Türkiye de oluşan tüketim verisi, veri tabanına işlenmek suretiyle veri seti 0 ve 1 Aralığında olacak şekilde doğrusal dönüşümü yapıldı.

Sıcaklık verisi

Tahmini yapılacak günde örneklenen şehirlerdeki meteorolojik sıcaklık verileri, Dark Sky API'den tahmin edilmek istenen güne ait her saat için elde edilen veri seti ile oluşturuldu.

Nem verisi

Tahmini yapılacak günde örneklenen şehirlerdeki meteorolojik nem verileri, Dark Sky API'den tahmin edilmek istenen güne ait her saat için elde edilen veri seti ile oluşturuldu.

Tüketim verisi

Tahmini yapılacak günde TEİAŞ tarafından tahmin edilen Türkiye tüketim verisi, API yöntemi ile veri seti oluşturuldu.

Tarih	Saat	Gün	Şehir	Tahmini Sıcaklık	Tahmini Nem	Tahmini Tüketim
15.03.2019	00.00	Cuma	Samsun	4,14	87,00	0
15.03.2019	01.00	Cuma	Samsun	4,06	88,00	0
15.03.2019	02.00	Cuma	Samsun	3,9	88,00	0
15.03.2019	03.00	Cuma	Samsun	2,75	89,00	0
15.03.2019	04.00	Cuma	Samsun	3,85	89,00	0
15.03.2019	05.00	Cuma	Samsun	2,94	89,00	0
15.03.2019	06.00	Cuma	Samsun	2,97	89,00	0
15.03.2019	07.00	Cuma	Samsun	4,94	90,0	0
15.03.2019	08.00	Cuma	Samsun	6,95	90,0	0
15.03.2019	09.00	Cuma	Samsun	7,02	89,00	0
15.03.2019	10.00	Cuma	Samsun	8,15	82,00	0
15.03.2019	11.00	Cuma	Samsun	8,2	82,00	0
15.03.2019	12.00	Cuma	Samsun	9,27	76,00	0
15.03.2019	13.00	Cuma	Samsun	9,43	76,00	0
15.03.2019	14.00	Cuma	Samsun	10,49	76,00	0
15.03.2019	15.00	Cuma	Samsun	9,58	76,00	0
15.03.2019	16.00	Cuma	Samsun	9,58	81,00	0
15.03.2019	17.00	Cuma	Samsun	9,54	77,00	0
15.03.2019	18.00	Cuma	Samsun	9,53	77,00	0
15.03.2019	19.00	Cuma	Samsun	9,62	82,00	0
15.03.2019	20.00	Cuma	Samsun	8,58	82,00	0
15.03.2019	21.00	Cuma	Samsun	8,71	88,00	0
15.03.2019	22.00	Cuma	Samsun	8,92	86,00	0
15.03.2019	23.00	Cuma	Samsun	9,01	80,0	0

Şekil 5.5. Tahmin verileri sekmesi ara yüzü

5.1.6. Tahmin veriler (0,1) sekmesi

Tarih verisi

Tahmini yapılacak güne ait veri seti 0 ve 1 Aralığında olacak şekilde doğrusal dönüşümü yapıldı.

Saat verisi

Tahmini yapılacak güne ait her saati içeren veri seti 0 ve 1 Aralığında olacak şekilde doğrusal dönüşümü yapıldı.

Gün verisi

Tahmini yapılacak gün veri seti 0 ve 1 Aralığında olacak şekilde doğrusal dönüşümü yapıldı.

Şehir verisi

Ülkemizin 7 bölgesine ait elektrik tüketimi ve üretimi bakımından bulunduğu bölgenin önde gelen 7 şehri seçilerek veri seti 0 ve 1 Aralığında olacak şekilde doğrusal dönüşümü yapıldı.

Sıcaklık verisi

Tahmini yapılacak günde örneklenen şehirlerdeki meteorolojik sıcaklık verileri, Dark Sky API'den elde edilen veri seti ile 0 ve 1 Aralığında olacak şekilde doğrusal dönüşümü yapıldı.

Nem verisi

Tahmini yapılacak günde örneklenen şehirlerdeki meteorolojik nem verileri, Dark Sky API'den elde edilen veri seti ile 0 ve 1 Aralığında olacak şekilde doğrusal dönüşümü yapıldı.

Tüketim verisi

Tahmini yapılacak günde TEİAŞ tarafından tahmin edilen Türkiye tüketim verisi, API yöntemi ile veri seti 0 ve 1 Aralığında olacak şekilde doğrusal dönüşümü yapıldı.

Hesapla

5 Ağustos 2018 Pazar

Hesapla

Filtrele

İl Seçimi

Lütfen bir il seçiniz

Tarih Seçimi

14 Ekim 2018 Pazar

Filtrele

Filtreyi Temizle

Gerçekleşen Veriler

Gerçekleşen Veriler(0-1)

Tahmini Veriler

Tahmini Veriler(0-1)

Output

Excel'e Aktar

Tarih	Saat	Gün	Şehir	Tahmini Sıcaklık	Tahmini Nem	Tahmini Tüketim Miktarı
0	0	1	0,333333333...	0,370063191153...	0,86486486486...	0,704081632653061
0,0434782608...	0,04347826...	1	0,333333333...	0,380726698262...	0,70270270270...	0,571428571428571
0,0869565217...	0,08695652...	1	0,333333333...	0,323459715639...	0,87837837837...	0,428571428571429
0,1304347826...	0,13043478...	1	0,333333333...	0,252369668246...	0,93243243243...	0,316326530612245
0,1739130434...	0,17391304...	1	0,333333333...	0,287124802527...	0,94594594594...	0,26530612244898
0,2173913043...	0,21739130...	1	0,333333333...	0,234202211690...	0,95945945945...	0,142857142857143
0,2608695652...	0,26086956...	1	0,333333333...	0,219194312796...	0,98648648648...	0
0,3043478260...	0,30434782...	1	0,333333333...	0,311216429699...	0,89189189189...	0,0204081632653061
0,3478260869...	0,34782608...	1	0,333333333...	0,483412322274...	0,68918918918...	0,122448979591837
0,3913043478...	0,39130434...	1	0,333333333...	0,531200631911...	0,62162162162...	0,224489795918367
0,4347826086...	0,43478260...	1	0,333333333...	0,603870458135...	0,48648648648...	0,36734693877551
0,4782608695...	0,47826086...	1	0,333333333...	0,6070...	0,6070300157977833096366508689	0,479591836734694
0,5217391304...	0,52173913...	1	0,333333333...	0,641785150078...	0,44594594594...	0,469387755102041
0,5652173913...	0,56521739...	1	0,333333333...	0,605055292259...	0,48648648648...	0,540816326530612
0,6086956521...	0,60869565...	1	0,333333333...	0,644944707740...	0,44594594594...	0,581632653061224
0,6521739130...	0,65217391...	1	0,333333333...	0,644944707740...	0,5	0,622448979591837
0,6956521739...	0,69565217...	1	0,333333333...	0,610584518167...	0,58108108108...	0,663265306122449
0,7391304347...	0,73913043...	1	0,333333333...	0,612954186413...	0,58108108108...	0,704081632653061
0,7826086956...	0,78260869...	1	0,333333333...	0,611769352290...	0,52702702702...	0,744897959183674
0,8260869565...	0,82608695...	1	0,333333333...	0,572274881516...	0,56756756756...	0,795918367346939
0,8695652173...	0,86956521...	1	0,333333333...	0,521327014218...	0,63513513513...	0,979591836734694
0,9130434782...	0,91304347...	1	0,333333333...	0,397314375987...	0,81081081081...	1
0,9565217391...	0,95652173...	1	0,333333333...	0,395734597156...	0,81081081081...	0,928571428571429
1	1	1	0,333333333...	0,394154818325...	0,81081081081...	0,816326530612245

Şekil 5.6. Tahmin verileri (0,1) ara yüzü

5.1.7. Filtrele modülü

Seçilen tarih aralığında yer alan illere (Ankara, İstanbul, İzmir, Samsun, Adana, Erzurum, Diyarbakır) ve belirli bir tarihe göre verilerinin filtrelendiğini sağlar.

5.1.8. Output butonu

Türkiye Enterkonnekte İletim Kaybı Tahmin programı ile hazırlanan output verilerinin MATLAB .m dosyalarına aktarımını sağlar.

5.1.9. Target butonu

Türkiye Enterkonnekte İletim Kaybı Tahmin programı ile hazırlanan output verilerinin MATLAB .m dosyalarına aktarımını sağlar.

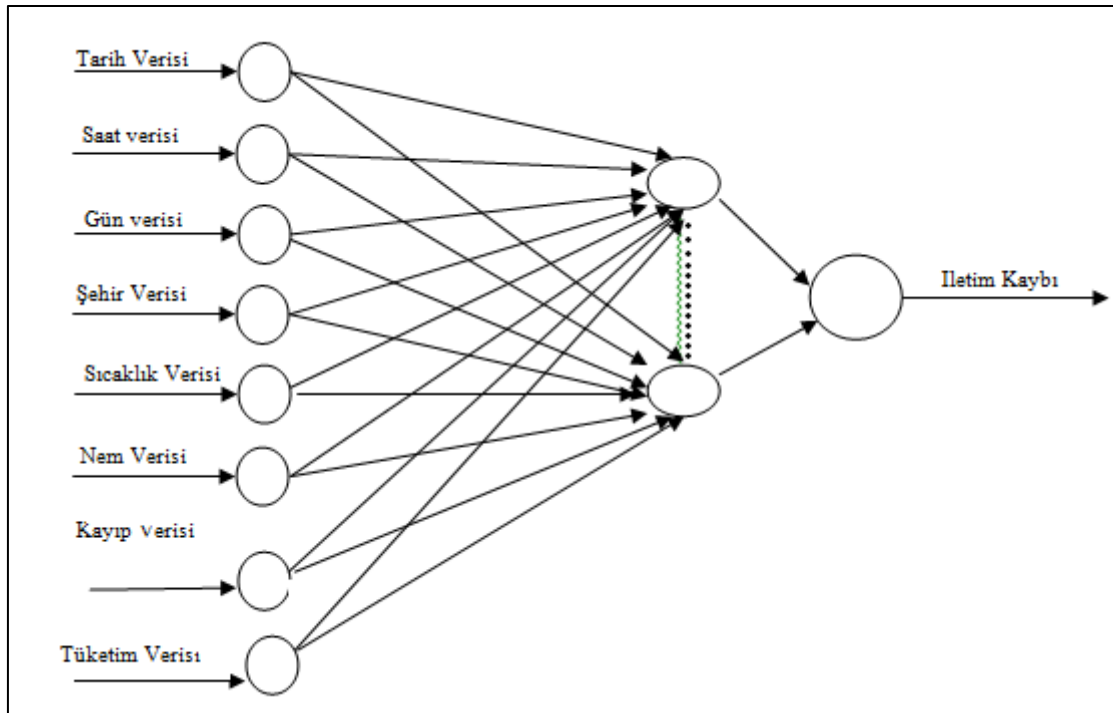
5.1.10. Excel'e aktar butonu

Türkiye Enterkonnekte İletim Kaybı Tahmin programı ile hazırlanan verilerin Excel programına aktarımını sağlar.

Hazırlanan Türkiye Enterkonnekte İletim Kaybı Tahmin programı MATLAB verileri için kolaylıkla 0 ve 1 Aralığının da değeri üretebilmesi için tasarlandı. Örneğin 10 Ocak 2019 tarihinin her saati için 09 Ocak 2019 tarihinde gün öncesi piyasasından alınacak iletim sistemi kayıp tahmini yapılacak olsun. 2012-2018 yılları arasında 03 Ocak-17 Ocak tarihlerindeki her saati için; $15 * 8 * 24 = 2880$ adet veri oluşacak tüm verilerin âdeti ise $2880 * 7 = 20160$ adet olacaktır. Özgün program ile binlerce verinin dönüşümünün kolaylaştırılması, elde edilen verilerin karşılaştırılması ve hataların azaltılması için kullanılmıştır.

5.2. YSA Uygulaması

Yazılımı yapılan Türkiye Enterkonnekte İletim Kaybı Tahmin programının ürettiği bağımsız değişkenler girdi Türkiye Enterkonnekte İletim Kaybı ise çıktı olmak üzere aşağıdaki ağ yapısı oluşturulmuştur.



Şekil 5.7. Yapay sinir ağı modeli

İletim kaybı tahmini için kullanılan YSA özellikleri

Türkiye enterkonnekte iletim sistemi kayıplarının tahmini için kullanılan YSA simülatörü MATLAB R2016a Neural Network Tool Box kullanılmıştır. Eğitilme sırasında daha verimli olması için geriye yayılma algoritması kullanılmış, YSA'nın eğitilmesi aşamasında performans kriteri olarak MSE tercih edilmiştir. YSA modelinde transfer fonksiyonu olarak ise TANSIG fonksiyonu kullanılmıştır.

YSA modeli yapılan çalışmalar sonucunda en iyi sonucu 3 gizli katmanlı yapıda verdiği görülmüş ve 3 Hidden Layer olacak şekilde tahminler yapılmıştır. Gizli katmanlarda bulunan nöron sayıları kayıp tahminini etkiyeceğinden birçok deneme yapılarak doğru nöron sayısı bulunmaya çalışılmıştır. Sonuç olarak ve hafta sonu (Cumartesi, Pazar) için gizli katmanlardaki nöron sayısının sırasıyla 15,10,4 olması durumunda en iyi sonucu verdiği görülmüş ve 06 Ocak 2019 için örnek verilmiştir. Hafta içi günler için ise gizli katmanlardaki nöron sayısının sırasıyla 30,20,10 olması durumunda en iyi sonucu verdiği görülmüş ve 08 Ocak 2019 için örnek verilmiştir.

İletim kaybı tahmini için kullanılan YSA tahmin performans ölçüsü

Yapılan tahmini performansı ortalama mutlak hata değerlerinin ortalaması alınarak değerlendirmeler yapılacak ve %10 altı sonuçlar başarılı sayılacaktır.

5.3. Hafta Sonu Örneği 06 Ocak 2019 Pazar

06 Ocak 2019 tarihine ait iletim kaybı tahmini yapılması için Türkiye Enterkonnekte İletim Kaybı Tahmin programından 06 Ocak 2019 tarihi seçilir ve hesaplama butonu aracılığıyla hesaplanır. Gerçekleşen veriler ve tahmin için oluşturulan veri setleri Çizelge 5.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.3. 06 Ocak 2019 tahmini için kullanılan veriler

Değişken Adı	Gerçekleşen veriler	Tahmin veriler
Tarih verisi	01-13 Ocak 2012;2013;2014;2015;2016;2017;2018	06.Ocak.2019
Saat verisi	01-13 Ocak 2012;2013;2014;2015;2016;2017;2018 tarihlerine ait 00:00 ile 23:00 saatleri	06 Ocak 2019 tarihine ait 00:00 ile 23:00 saatleri
Gün verisi	01-13 Ocak 2012;2013;2014;2015;2016;2017;2018 tarihlerine ait gün verileri	06 Ocak 2019 tarihine ait Pazar günü
Şehir verisi	7 bölgeye ait seçilen 7 şehir (Ankara, İstanbul, İzmir, Samsun, Adana, Erzurum, Diyarbakır),	7 bölgeye ait seçilen 7 şehir (Ankara, İstanbul, İzmir, Samsun, Adana, Erzurum, Diyarbakır),
Sıcaklık verisi	01-13 Ocak 2012;2013;2014;2015;2016;2017;2018 tarihlerinde örnek şehirlerin sıcaklık verisi	06 Ocak 2019 tarihine ait örnek şehirlerin sıcaklık tahmin verisi
Nem verisi	01-13 Ocak 2012;2013;2014;2015;2016;2017;2018 tarihlerinde örnek şehirlerin nem verisi	06 Ocak 2019 tarihine ait örnek şehirlerin nem tahmin verisi
Türkiye tüketim verisi	01-13 Ocak 2012;2013;2014;2015;2016;2017;2018 tarihlerinde Türkiye tüketim miktarı	01-13 Ocak 2012;2013;2014;2015;2016;2017;2018 tarihlerinde Türkiye tüketim tahmin miktarı
Türkiye iletim kaybı verisi	01-13 Ocak 2012;2013;2014;2015;2016;2017;2018 tarihlerinde Türkiye tüketim miktarı	-

Türkiye Enterkonnekte İletim Kaybı Tahmini

Hesapla

6 Ocak 2019 Pazar

Hesapla

Filtrele

İl Seçimi

Lütfen bir il seçiniz

Tarih Seçimi

14 Ekim 2018 Pazar

Filtrele

Filtreyi Temizle

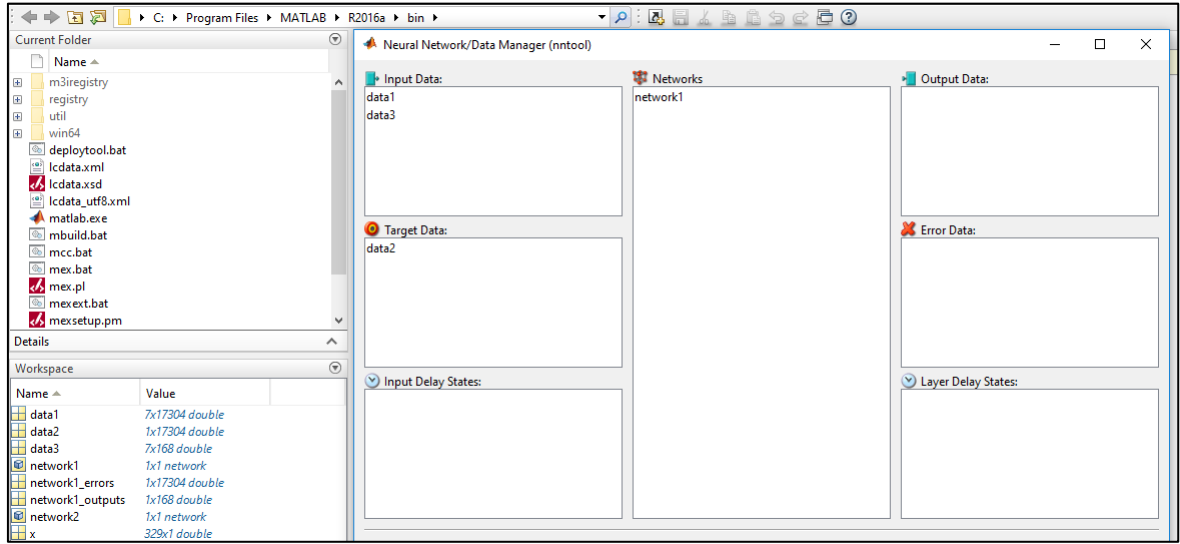
Tarih	Saat	Gün	Şehir	Sıcaklık	Nem	Kayıp Miktarı	Tüketim Miktarı
13.01.2012	23:00	Cuma	SAMSUN	2,0	87,00	808,517500000002	29332,1666666667
13.01.2012	22:00	Cuma	SAMSUN	1,0	100,00	654,5985	30291,9666666667
13.01.2012	21:00	Cuma	SAMSUN	2,0	100,00	773,4637	30315,2666666667
13.01.2012	20:00	Cuma	SAMSUN	1,0	100,00	817,1898	31203,1666666667
13.01.2012	19:00	Cuma	SAMSUN	1,0	100,00	857,670699999999	32165,1666666667
13.01.2012	18:00	Cuma	SAMSUN	2,0	93,00	897,905200000001	33270,3666666667
13.01.2012	17:00	Cuma	SAMSUN	5,0	87,00	862,816200000001	34258,0666666667
13.01.2012	16:00	Cuma	SAMSUN	6,0	87,00	788,144199999999	32911,8666666667
13.01.2012	15:00	Cuma	SAMSUN	6,0	81,00	866,928200000002	32056,6666666667
13.01.2012	14:00	Cuma	SAMSUN	7,1	75,00	840,657599999999	32470,0666666667
13.01.2012	13:00	Cuma	SAMSUN	7,9	71,00	661,988499999999	32421,5666666667
13.01.2012	12:00	Cuma	SAMSUN	8,0	71,00	811,719300000001	31291,8666666667
13.01.2012	11:00	Cuma	SAMSUN	7,9	70,00	884,125899999999	33585,8666666667
13.01.2012	10:00	Cuma	SAMSUN	7,4	74,00	834,170000000002	33492,3666666667
13.01.2012	09:00	Cuma	SAMSUN	7,0	81,00	820,824799999999	32540,9666666667
13.01.2012	08:00	Cuma	SAMSUN	6,5	82,00	843,622199999998	29734,8666666667
13.01.2012	07:00	Cuma	SAMSUN	5,5	86,00	831,694800000001	25972,2666666667
13.01.2012	06:00	Cuma	SAMSUN	4,0	100,00	562,863499999999	24596,0666666667
13.01.2012	05:00	Cuma	SAMSUN	4,0	93,00	673,848999999998	23582,8666666667
13.01.2012	04:00	Cuma	SAMSUN	4,0	93,00	579,4951	23390,7666666667
13.01.2012	03:00	Cuma	SAMSUN	4,0	93,00	591,620300000002	23463,5666666667
13.01.2012	02:00	Cuma	SAMSUN	4,0	93,00	649,012900000002	24020,6666666667
13.01.2012	01:00	Cuma	SAMSUN	4,0	100,00	447,600900000001	25091,0666666667
13.01.2012	00:00	Cuma	SAMSUN	5,0	93,00	727,822700000001	26721,8666666667

Şekil 5.8. 06 Ocak 2019 tarihine ait gerçekleşen veriler ara yüzü

Tarih	Saat	Gün	Şehir	Tahmini Sıcaklık	Tahmini Nem	Tahmini Tüketim Miktarı
06.01.2019	23.00	Pazar	Adana	6.12	89.00	31300
06.01.2019	22.00	Pazar	Adana	6.13	90.0	32500
06.01.2019	21.00	Pazar	Adana	6.13	91.00	33500
06.01.2019	20.00	Pazar	Adana	7.6	88.00	34200
06.01.2019	19.00	Pazar	Adana	8.54	83.00	34800
06.01.2019	18.00	Pazar	Adana	8.54	86.00	35200
06.01.2019	17.00	Pazar	Adana	9.55	80.0	33700
06.01.2019	16.00	Pazar	Adana	10.07	77.00	32000
06.01.2019	15.00	Pazar	Adana	8.59	85.00	31200
06.01.2019	14.00	Pazar	Adana	9.61	84.00	31500
06.01.2019	13.00	Pazar	Adana	9.02	85.00	31600
06.01.2019	12.00	Pazar	Adana	8.96	82.00	31400
06.01.2019	11.00	Pazar	Adana	8.99	85.00	31200
06.01.2019	10.00	Pazar	Adana	8.61	94.00	30000
06.01.2019	09.00	Pazar	Adana	8.62	91.00	28000
06.01.2019	08.00	Pazar	Adana	8.6	91.00	26300
06.01.2019	07.00	Pazar	Adana	8.1	91.00	26200
06.01.2019	06.00	Pazar	Adana	8.1	88.00	25800
06.01.2019	05.00	Pazar	Adana	8.05	88.00	25600
06.01.2019	04.00	Pazar	Adana	8.59	88.00	25700
06.01.2019	03.00	Pazar	Adana	8.63	91.00	26100
06.01.2019	02.00	Pazar	Adana	9.16	91.00	27000
06.01.2019	01.00	Pazar	Adana	9.59	88.00	28500
06.01.2019	00.00	Pazar	Adana	9.56	91.00	30500

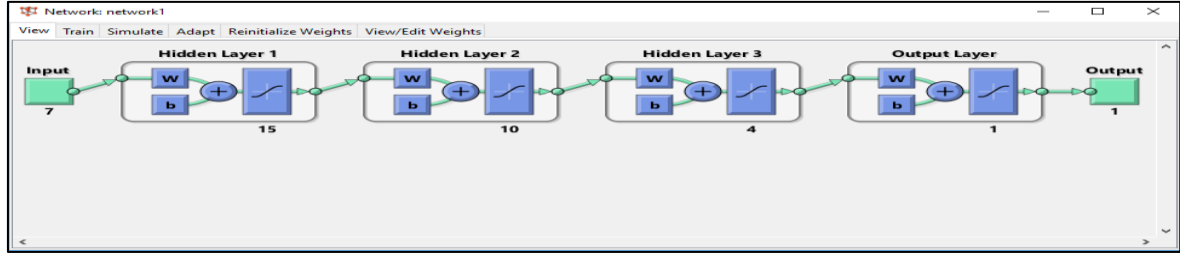
Şekil 5.9. 06 Ocak 2019 tarihine ait tahmin veriler ara yüzü

Geçekleşen Veriler(0,1) ve Tahmin Verileri(0,1) Output ve Input butonları kullanılarak MATLAB .m dosyalarına aktarılır. Aktarılan veriler ve oluşturulan network ağı Şekil 5.10’da gösterilmiştir.



Şekil 5.10. 06 Ocak 2019 tarihi için network ağı

Network 1 ait ağ yapısı Şekil 5.11’de gösterilmektedir.



Şekil 5.11. 06 Ocak 2019 tarihine ait network1 ağ görüntüsü

Elde edilen tahmin verileri Türkiye Enterkonnekte İletim Kaybı Tahmin programına yüklenerek otomatik olarak ters transpoze işlemi yapılır. Tahmin değerleri hesaplama butonuna basılarak oluşturulur.

Türkiye Enterkonnekte İletim Kaybı Tahmini

Value

0.38675 0.61819 0.42993 0.36627 0.40183 0.48871

0.38675 0.61819 0.42993 0.36627 0.40183 0.48871

OK

Cancel

Hesapla

Gerçekleşen Veriler

Gerçekleşen Veriler(0-1)

Tahmini Veriler

Tahmini Veriler(0-1)

Excel'e Aktar

Şehir	Tahmini Sıcaklık	Tahmini Nem	Tahmini Tüketim Miktarı
Adana	6,12	89,00	31300
Adana	6,13	90,00	32500
Adana	6,13	91,00	33500
Adana	7,6	88,00	34200
Adana	8,54	83,00	34800
Adana	8,54	86,00	35200
Adana	9,55	80,00	33700
Adana	10,07	77,00	32000
Adana	8,59	85,00	31200

Şekil 5.12. 06 Ocak 2019 tahmin verileri ters transpoze işlemi ekran görüntüsü

06 Ocak 2019 Pazar günü için yapay sinir ağları ile yapılan tahmin verileri, söz konusu tarihe ait gerçekleşen iletim sistemi kayıpları, hata ve mutlak hata oranı Çizelge 5.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.4. 06 Ocak 2019 karşılaştırma

Saat	Tahmin Edilen	Gerçekleşen	Yüzde	Mutlak Hata
0	558,41	562,55	0,74	0,74
1	650,52	554,37	-17,34	17,34
2	604,70	546,76	-10,60	10,60
3	562,89	560,30	-0,46	0,46
4	544,37	559,28	2,67	2,67
5	550,42	585,92	6,06	6,06
6	559,40	582,81	4,02	4,02
7	563,89	596,34	5,44	5,44
8	568,80	620,29	8,30	8,30
9	562,97	627,23	10,25	10,25
10	570,71	640,82	10,94	10,94
11	523,35	675,39	22,51	22,51
12	567,92	695,63	18,36	18,36
13	602,18	705,70	14,67	14,67
14	620,56	696,27	10,87	10,87
15	626,96	688,23	8,90	8,90
16	635,98	704,95	9,78	9,78
17	647,70	739,96	12,47	12,47
18	658,20	800,33	17,76	17,76
19	664,56	780,33	14,84	14,84
20	668,88	728,56	8,19	8,19
21	671,16	675,10	0,58	0,58
22	669,95	628,96	-6,52	6,52
23	664,96	580,46	-14,56	14,56
Ortalama				9,87

06 Ocak 2019 için gerçekleşen tahmin ile gerçekleşen verilerin mutlak hata oranı %9,87 olarak gerçekleşmiştir.

5.4. Hafta İçi Örneği 08 Ocak 2019 Salı

08 Ocak 2019 tarihine ait İletim kaybı tahmini yapılması için Türkiye Enterkonnekte İletim Kaybı Tahmin programından 08 Ocak 2019 tarihi seçilir ve hesapla butonu aracılığıyla hesaplanır. Gerçekleşen veriler ve tahmin için oluşturulan veri setleri Çizelge 5.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.5. 08 Ocak 2019 tahmini için kullanılan veriler

Değişken Adı	Gerçekleşen veriler	Tahmin veriler
Tarih verisi	01-15 Ocak 2012;2013;2014;2015;2016;2017; 2018	08.Ocak.2019
Saat verisi	01-15 Ocak 2012;2013;2014;2015;2016;2017; 2018 tarihlerine ait 00:00 ile 23:00 saatleri	08 Ocak 2019 tarihine ait 00:00 ile 23:00 saatleri
Gün verisi	01-15 Ocak 2012;2013;2014;2015;2016;2017 ;2018 tarihlerine ait gün verileri	08 Ocak 2019 tarihine ait Pazar günü
Şehir verisi	7 bölgeye ait seçilen 7 şehir (Ankara, İstanbul, İzmir, Samsun, Adana, Erzurum, Diyarbakır),	7 bölgeye ait seçilen 7 şehir (Ankara, İstanbul, İzmir, Samsun, Adana, Erzurum, Diyarbakır),
Sıcaklık verisi	01-15 Ocak 2012;2013;2014;2015;2016;2017; 2018 tarihlerinde örnek şehirlerin sıcaklık verisi	08 Ocak 2019 tarihine ait örnek şehirlerin sıcaklık tahmin verisi
Nem verisi	01-15 Ocak 2012;2013;2014;2015;2016;2017; 2018 tarihlerinde örnek şehirlerin nem verisi	08 Ocak 2019 tarihine ait örnek şehirlerin nem tahmin verisi
Türkiye tüketim verisi	01-15 Ocak 2012;2013;2014;2015;2016;2017; 2018 tarihlerinde Türkiye tüketim miktarı	01-15 Ocak 2012;2013;2014;2015;2016;2017;2 018 tarihlerinde Türkiye tüketim tahmin miktarı
Türkiye iletim kaybı verisi	01-15 Ocak 2012;2013;2014;2015;2016;2017;2 018 tarihlerinde Türkiye tüketim miktarı	-

Türkiye Enterkonnekte İletim Kaybı Tahmini

Hesapla

8 Ocak 2019 Salı

Hesapla

Filtrele

İl Seçimi

Ankara

Tarih Seçimi

14 Ekim 2018
Pazar

Filtrele

Filtreyi Temizle

Tarih	Saat	Gün	Şehir	Sıcaklık	Nem	Kayıp Miktarı	Tüketim Miktarı
01.01.2018	00:00	Pazartesi	ADANA	8,8	95,00	421,8857	27406
01.01.2018	01:00	Pazartesi	ADANA	7,8	94,00	415,3258	26319
01.01.2018	02:00	Pazartesi	ADANA	7,9	95,00	409,6123	24630
01.01.2018	03:00	Pazartesi	ADANA	8,3	95,00	334,178	23865
01.01.2018	04:00	Pazartesi	ADANA	7,3	98,00	391,057	23199
01.01.2018	05:00	Pazartesi	ADANA	5,8	98,00	414,9622	23067
01.01.2018	06:00	Pazartesi	ADANA	8,3	95,00	380,6521	23258
01.01.2018	07:00	Pazartesi	ADANA	10,8	86,00	371,3527	23867
01.01.2018	08:00	Pazartesi	ADANA	12,9	77,00	333,6536	24339
01.01.2018	09:00	Pazartesi	ADANA	14,3	61,00	452,4589	25794
01.01.2018	10:00	Pazartesi	ADANA	15,3	58,00	454,4911	27355
01.01.2018	11:00	Pazartesi	ADANA	15,8	56,00	436,3258	28483
01.01.2018	12:00	Pazartesi	ADANA	16,3	54,00	433,8414	28869
01.01.2018	13:00	Pazartesi	ADANA	16,3	54,00	452,026	29101
01.01.2018	14:00	Pazartesi	ADANA	15,3	62,00	452,6366	29220
01.01.2018	15:00	Pazartesi	ADANA	12,8	73,00	480,6479	29216
01.01.2018	16:00	Pazartesi	ADANA	12,3	75,00	522,6956	29812
01.01.2018	17:00	Pazartesi	ADANA	11,8	78,00	502,6331	31629
01.01.2018	18:00	Pazartesi	ADANA	10,8	77,00	487,7832	33146
01.01.2018	19:00	Pazartesi	ADANA	9,3	62,00	499,892	33052
01.01.2018	20:00	Pazartesi	ADANA	9,8	58,00	483,6859	32439
01.01.2018	21:00	Pazartesi	ADANA	7,8	69,00	515,149	31789
01.01.2018	22:00	Pazartesi	ADANA	8,3	65,00	510,5281	31517

Şekil 5.13. 08 Ocak 2019 tarihine ait gerçekleşen veriler ara yüzü

Türkiye Enterkonnekte İletim Kaybı Tahmini

Hesapla

8 Ocak 2019 Salı

Hesapla

Filtrele

İl Seçimi

Ankara

Tarih Seçimi

14 Ekim 2018 Pazar

Filtrele

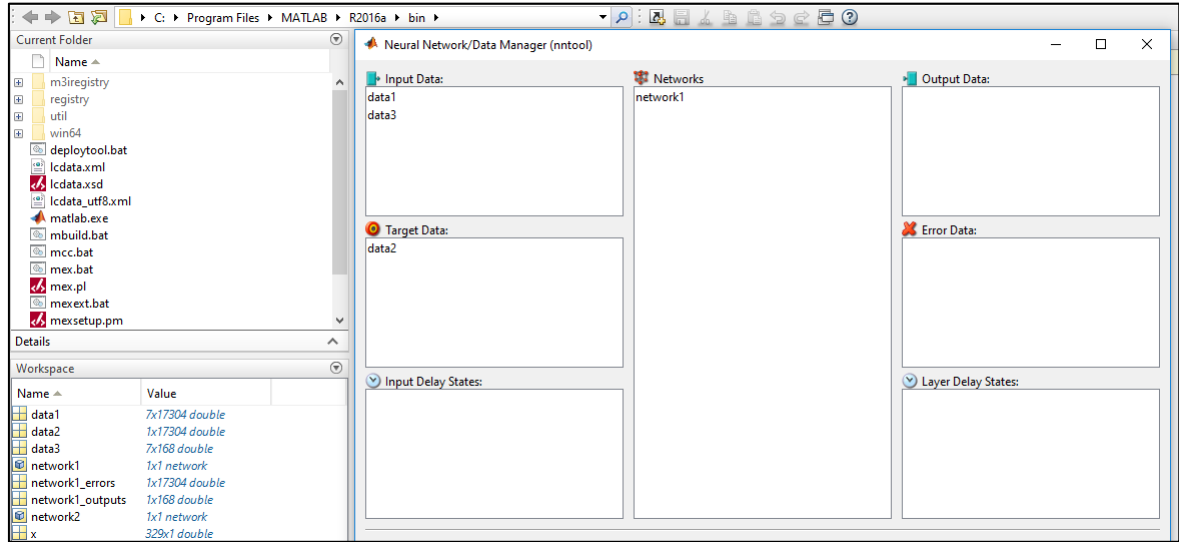
Filtreyi Temizle

Tarih	Saat	Gün	Şehir	Tahmini Sıcaklık	Tahmini Nem	Tahmini Tüketim Miktarı
08.01.2019	00:00	Salı	Samsun	1,14	80,0	32000
08.01.2019	01:00	Salı	Samsun	0,28	79,00	30100
08.01.2019	02:00	Salı	Samsun	1,29	74,00	28900
08.01.2019	03:00	Salı	Samsun	1,42	77,00	28100
08.01.2019	04:00	Salı	Samsun	2,36	72,00	27900
08.01.2019	05:00	Salı	Samsun	4,32	72,00	28200
08.01.2019	06:00	Salı	Samsun	4,35	77,00	29400
08.01.2019	07:00	Salı	Samsun	4,34	77,00	32000
08.01.2019	08:00	Salı	Samsun	4,39	77,00	36600
08.01.2019	09:00	Salı	Samsun	3,42	83,00	39500
08.01.2019	10:00	Salı	Sarı Samsun	4,71	76,00	40200
08.01.2019	11:00	Salı	Samsun	4,86	76,00	40700
08.01.2019	12:00	Salı	Samsun	4,02	81,00	39400
08.01.2019	13:00	Salı	Samsun	3,87	82,00	39500
08.01.2019	14:00	Salı	Samsun	3,89	82,00	39800
08.01.2019	15:00	Salı	Samsun	4,03	79,00	39400
08.01.2019	16:00	Salı	Samsun	3,14	85,00	40100
08.01.2019	17:00	Salı	Samsun	3,29	84,00	40800
08.01.2019	18:00	Salı	Samsun	3,36	84,00	40200
08.01.2019	19:00	Salı	Samsun	3,37	79,00	38900
08.01.2019	20:00	Salı	Samsun	3,52	78,00	38000
08.01.2019	21:00	Salı	Samsun	3,31	79,00	36900

Excel'e Aktar

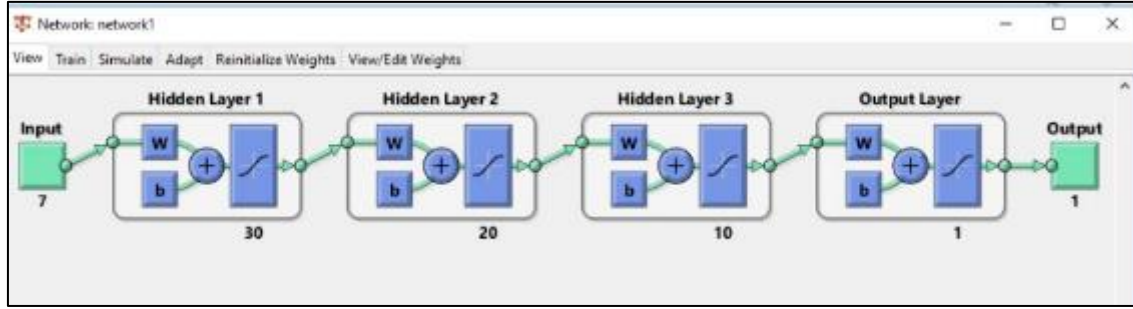
Şekil 5.14. 08 Ocak 2019 tarihine ait tahmin veriler ara yüzü

Geçekleşen Veriler(0,1) ve Tahmin Verileri(0,1) Output ve Input butonları kullanılarak MATLAB .m dosyalarına aktarılır. Aktarılan veriler ve oluşturulan network ağı Şekil 5.15’de gösterilmiştir.



Şekil 5.15. 08 Ocak 2019 tarihi için network ağı

Network 1 ait ağ yapısı Şekil 5.16’da gösterilmektedir.



Şekil 5.16. 08 Ocak 2019 tarihine ait network1 ağ görüntüsü

Elde edilen tahmin verileri Türkiye Enterkonnekte İletim Kaybı Tahmin programına yüklenerek otomatik olarak ters transpoze işlemi yapılır. Tahmin değerleri hesaplama butonuna basılarak oluşturulur.

Tarih	Saat	Gün	Şehir	Tahmini Sıcaklık	Tahmini Nem	Tahmini Tüketim Miktarı
08.01.2019	00:00	Salı	Samsun	1,14	80,0	32000
			Samsun	0,28	79,00	30100
			Samsun	1,29	74,00	28900
			Samsun	1,42	77,00	28100
			Samsun	2,36	72,00	27900
			Samsun	4,32	72,00	28200
			Samsun	4,35	77,00	29400
			Samsun	4,34	77,00	32000
			Samsun	4,39	77,00	36600
			Samsun	3,42	83,00	39500
			Samsun	4,71	76,00	40200

Şekil 5.17. 08 Ocak 2019 tahmin verileri ters transpoze işlemi ekran görüntüsü

06 Ocak 2019 Pazar günü için yapay sinir ağları ile yapılan tahmin verileri, söz konusu tarihe ait gerçekleşen iletim sistemi kayıpları, hata ve mutlak hata oranı Çizelge 5.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.6. 08 Ocak 2019 karşılaştırma

Saat	Tahmin Edilen	Gerçekleşen	Yüzde	Mutlak Hata
0	612,24	611,00	-0,20	0,20
1	605,26	638,42	5,19	5,19
2	588,43	636,36	7,53	7,53
3	582,92	610,68	4,55	4,55
4	576,09	609,33	5,45	5,45
5	573,08	603,61	5,06	5,06
6	574,29	615,36	6,68	6,68
7	590,47	640,49	7,81	7,81
8	620,18	687,34	9,77	9,77
9	645,98	741,63	12,90	12,90
10	680,44	770,81	11,72	11,72
11	713,44	773,93	7,82	7,82
12	731,40	731,82	0,06	0,06
13	743,77	755,99	1,62	1,62
14	760,69	788,81	3,56	3,56
15	772,37	781,76	1,20	1,20
16	786,84	773,11	-1,78	1,78
17	800,09	802,07	0,25	0,25
18	805,64	780,96	-3,16	3,16
19	802,81	725,96	-10,59	10,59
20	797,49	666,12	-19,72	19,72
21	790,36	628,00	-25,85	25,85
22	780,24	615,55	-26,75	26,75
23	766,04	584,09	-31,15	31,15
Ortalama				8,77

08 Ocak 2019 için gerçekleşen tahmin ile gerçekleşen verilerin mutlak hata oranı %8,77 olarak gerçekleşmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Elektrik enerjisinin kullanılmaya başlanmasından itibaren enterkonnekte iletim şebekeleri büyüyerek günümüze kadar gelmiştir. Gelişen iletim sistemi şebekelerinde birçok sorun ile karşılaşmış ve bu sorunlara çözümler aranmıştır. Çözüm aranan konuların başında ise iletim sistemi kayıpları ve bunların maliyetleri gelmektedir. İletim sisteminin işletilmesinde; üretilen enerjinin ve enerji iletim hatlarının verimli kullanılması ile enerji maliyetlerinin ülke ekonomisi üzerinde olumsuz etkisinin azaltılması ve refah düzeyinin artırılması temel alınır. Bu kapsamda iletim sistemi kayıplarının hesaplanması ile miktarlarının ve maliyetinin azaltılması için teknik çalışmaların yapılması özel bir öneme sahiptir.

Çalışma dört aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada Türkiye enterkonnekte iletim hatları hakkında bilgiler verilmiş sonrasında ise 2012 ile 2018 yılları arasında %2 ile % 3 arasında gerçekleşen ve TEİAŞ gelir tavanından yıllık ortalama 1 500 000 000 TL ayrılan enterkonnekte iletim sistemi kayıplarının oluşma sebepleri incelenmiştir.

İkinci aşamada enterkonnekte iletim sisteminde oluşan kayıpların satın alındığı Türkiye elektrik piyasasının gelişim süreçleri, spot piyasalar ve gerçek zamanlı piyasalar anlatıldı. Özellikle piyasa katılımcılarının tahmin hataları sebebiyle dengesizliğe düşmesi durumunda uygulanan çift fiyat mekanizması (PTF, SMF) ve bu fiyatların belirlendiği gün öncesi piyasası, dengeleme güç piyasasında fiyat oluşumları ve dengesizlik durumlarında karşılaşılan mali durumlar örneklendirilerek yapılan tahminlerin doğruluklarının önemi gösterildi.

Üçüncü aşamada Türkiye enterkonnekte iletim sistemi kayıplarının tahmini için kullanılacak olan yapay sinir ağları anlatılarak en doğru ağ yöntemi seçilmeye çalışıldı. Çalışma esnasında seçilen ağ türünün yanı sıra iletim sistemi kayıplarının doğruluğunu etkileyen birçok faktör olduğu görülmüştür. Bunların en önemlilerinin ara katman sayısı, ara katmanlarda yer alan nöron sayısı, giriş sayısıdır. Sonuç olarak en uygun enterkonnekte iletim sistemi kayıplarının tahmini için bu faktörlerin değerleri belirlenmiş ve uygulanmıştır.

Son aşamada ise yapay sinir ağları için veri oluşturulması aşamasına geçilerek iletim sistemi kayıpları üzerinde etkisi olan tarih, saat, gün, ülke tüketim verisi, ülke kayıp verisi kullanılarak veri tabanı oluşturulmuş sıcaklık ve nem verisi için ise API yöntemi ile istenilen

veriler otomatik oluşturuldu. Hazırlanan bu verilerin MATLAB .m dosyalarında kullanılabilir hale getirmek amacıyla C (sharp) # tabanlı Türkiye Enterkonnekte İletim Kaybı Tahmini özgün yazılımı hazırlanmış ve üretilen veriler ışığında MATLAB programı ile iletim sistemi kayıpları tahmini yapılarak çıkan sonuçlar tahmin yapılan günün her saati için gerçekleşen verileri ile karşılaştırılıp hata oranları belirlenmiştir.

Bu tez çalışmasının amacı Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliğinin geçici 27. Maddesi kapsamında TEİAŞ tarafından satın alınan enterkonnekte iletim sistemi kayıplarının en doğru şekilde tahmin edilerek ödenen ortalama 150 000 000 ekstra maliyetin azaltılmasıdır. TEİAŞ tarafından bir önceki gün ertesi günün her saati için tahmin yapılarak, gün öncesi piyasasından satın alınan ve 2012-2018 yılları arasında ortalama 5 300 000 MW olarak gerçekleşen iletim sistemi kayıp tahminlerinin iyileştirilerek dengesizlik ödemelerinin minimize edilmesi ve ülke refahına katkıda bulunulması amaçlanmıştır.

Yapılan bu çalışma sonucunda iletim kayıplarını en fazla etkileyen sebeplerin sıcaklık, nem ve tüketim miktarı olduğu ortaya konulmuş ve yapay sinir ağları kullanılarak iletim sistemi kayıplarının tahminin doğruluk oranının artırılabilceği örneklerle ispatlanmıştır.

KAYNAKLAR

1. Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi. (2018). 2017 Yılı Faaliyet Raporu. *Ankara*, Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi,1-82.
2. İnternet: Elektrik Piyasası Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği URL: <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-6975/elektrik-piyasasi-dengeleme-ve-uzlastirma-yonetme>. , Son Erişim Tarihi: 21 Temmuz 2019.
3. İnternet: Yüksek Gerilim Tekniği URL: <https://docplayer.biz.tr/57341687-Yuksek-gerilim-teknigi.html> ,Son Erişim Tarihi: 21 Temmuz 2019.
4. İnternet: EPIAŞ Raporlama Platformu URL: <https://rapor.epias.com.tr/rapor/xhtml/iskkkRapor.xhtml>. ,Son Erişim Tarihi: 21 Temmuz 2019.
5. Hall, R. E., Lieberman, M. (2009). *Economics: Principles and Applications*. Amerika: Cengage Press, 1-360.
6. World Trade Organization. (2010). Dispute Settlement Reports 2008. *Cambridge*, Cambridge University, 511-806.
7. İnternet: Türev Araçlar Lisanslama Rehberi URL: <https://docplayer.biz.tr/55100538-Turev-araclar-lisanslama-rehberi.html>. , Son Erişim Tarihi: 21 Temmuz 2019.
8. İnternet: 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu URL: <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2001/03/20010303m1.htm>. ,Son Erişim Tarihi: 21 Temmuz 2019.
9. Kaya, F. (2016), *Elektrik Tedarikçilerinin Optimum Alış Stratejilerinin Belirlenmesi İçin Bir Optimizasyon Modeli*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara,1-72.
10. Erten, E. (2012, 26 Mart). *Organize Sanayii Bölgesi Eğitimi*. Akrones Otelde sunuldu, Afyon.
11. Yazıtış, F. (2019, 18 Ocak). *Elektrik Piyasaları*. Türkiye Elektrik İletim Şirketi Genel Müdürlüğünde sunuldu, Ankara.
12. İnternet: Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi Esas Sözleşmesi URL: https://www.epias.com.tr/images/dokuman/Ek-1_1_EPIAS_Esas_Sozlesme.pdf. , Son Erişim Tarihi: 21 Temmuz 2019.
13. Enerji Piyasası İşletme Anonim Şirketi. (2018). 2018Yılı Faaliyet Raporu. *İstanbul*,1-100
14. Yarıcı, M. (2019, 18 Ocak). *Gün Öncesi Piyasası*. Türkiye Elektrik İletim Şirketi Genel Müdürlüğünde sunuldu, Ankara.

15. İnternet: Arz Talep - Gün Öncesi Piyasası - Piyasalar | EPIAŞ Şeffaflık Platformu URL: <https://seffaflik.epias.com.tr/transparency/piyasalar/gop/arz-talep.xhtml> , Son Erişim Tarihi: 21 Temmuz 2019.
16. Güngör, A. (2019, 18 Ocak). *Uzlaştırma Sunumu*. Türkiye Elektrik İletim Şirketi Genel Müdürlüğünde sunuldu, Ankara.
17. Haykin, S. (1994). *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*. Canada: Prentice hall, 220-251.
18. Fausett, L. V.(1994) *Fundamentals of Neural Networks: Architectures, Algorithms, and Applications*. Amerika: Prentice hall, 1-470.
19. Maier, H. R., Dandy, G. C. (2004). Neural networks for the prediction and forecasting of water resources variables: a review of modelling issues and applications, *Environmental Modelling and Software*. 101-124.
20. Sağiroğlu, Ş., Beşdok, E., Erle, M. (2003). *Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları*. Kayseri: Ufuk Yayıncılık, 1-426.
21. Öztemel, E. (2003). *Yapay Sinir Ağları*. İstanbul: Papatya Bilim, 1-232
22. Şen, Z. (2004). *Yapay sinir ağları ilkeleri*. İstanbul: Su Vakfı, 1-183.
23. Elmas, Ç. (2006). *Yapay zeka uygulamaları: (yapay sinir ağı, bulanık mantık, sinirsel bulanık mantık, genetik algoritma)*. Ankara: Seçkin Yayıncılık,1-476.
24. Hamzaçelebi, C. (2011). *Yapay Sinir Ağları Tahmin Amaçlı Kullanımı Matlab ve Neurosolutions Uygulamalı*. Bursa: Ekin Kitabevi Yayınları, 1-133.
25. Mehrotra, K., Mohan, C. K., Ranka, S. (1997). *Elements of Artificial Neural Networks*. Amerika: Mit Press, 1-360.
26. Hagan, M. T., Demuth, H. B., Beale, M. H., Jesus, D.O. (2014). *Neural Network Design*. (Second edition). Amerika: Hagan Press, 1-423.
27. Duman, N. (2006). *Yapay Sinir Ağları ve Bir Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sivas, 1-100
28. Baş, N. (2006). *Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı ve Bir Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-100
29. Es, H. (2013). *Yapay Sinir Ağları ile Türkiye Net Enerji Talebi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-72.
30. Bayır, F. (2006). *Yapay Sinir Ağları ve Tahmin Modellemesi Üzerine Bir Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 1-106.
31. Zhang, P., Patuwo, E., Hu, M. (1998, March). Forecasting With Artificial Neural Networks: The State of the Art, *International Journal of Forecasting*, 35-62.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : DURSUN, Ali
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 01.12.1987, Elazığ
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 203 81 43
 e-mail : adursun23@gmail.com.tr



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Elektrik-Elektronik Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Pamukkale Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği	2010
Lise	Korgeneral Hulusi SAYIN Lisesi	2006

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2016-Halen	TEİAŞ	Mühendis
2014-2016	Özel Kuvvetler Komutanlığı	Mühendis
2010-2014	Begüm Yapı LTİ. ŞTİ.	Mühendis

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Dursun, A., Eke, İ., Tezcan S.S. (2019). *Yapay Sinir Ağları ile Türkiye enterkonnekte iletim sistemi kayıp Tahmini*, ENRES Konferansında sunuldu, Muğla.

Hobiler

Yüzme, Gezme, Müzik



GAZİ GELECEKTİR..