

**T.C.
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ENERJİ DAĞITIM HATLARINDAKİ KAYIPLARIN YAPAY SINIR
AĞI İLE BELİRLENMESİ**

MAHMOOD SHAKIR MAHMOOD ZHEREE

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DR.ÖĞR.ÜYESİ MEHMET AKİF ŞENOL**

İSTANBUL, 2020

Mahmood Shakir Mahmood Zheree tarafından hazırlanan “ Enerji Dağıtım Hatlarındaki Kayıpların Yapay Sinir Ağı İle Belirlenmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile İstanbul Gelişim Üniversitesi elektrik elektronik mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Dr.Öğr.Üyesi Mehmet Akif ŞENOL
Elektrik – Elektronik mühendisliği , Beykent Üniversitesi

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

Başkan : Prof.Dr.Saadettin AKSOY
Elektrik – Elektronik mühendisliği , İstanbul Gelişim Üniversitesi

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

Üye : Prof.Dr. Adnan KAYPMAZ
Elektrik – Elektronik mühendisliği , Beykent Üniversitesi

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

Tez Savunma Tarihi: 04/08/2020

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

Prof.Dr. İzzet GÜMÜŞ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

İstanbul Gelişim 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.

MAHMOOD SHAKIR MAHMOOD ZHEREE

...../...../2020

ENERJİ DAĞITIM HATLARINDAKİ KAYIPLARIN YAPAY SINIR AĞI İLE BELİRLENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

MAHMOOD SHAKIR MAHMOOD ZHEREE
GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2020

ÖZET

Teknolojideki gelişmelerle birlikte günlük hayatımızda şekillenmekte ve değişmektedir. Bu durum elektrik enerjisine olan ihtiyacı da arttırmaktadır. Yapılan araştırmalarda ülkemizde kullanılan enerjinin her geçen yıl ortalama olarak %4-8 arasında artarak değiştiği görülmektedir. Enerji üretim santrallerinin kurulumunun yüksek maliyetli olması, enerji iletim hatlarının iyileştirilmesinin güçlükleri, bu alanda araştırmacıları yeni arayışlara itmektedir. Ayrıca iletim ve dağıtım hatlarında meydana gelen kayıplar enerji maliyetini önemli ölçüde erttırmaktadır. Bu bakımdan enerjinin tüketiciye ulaşması sırasında meydana gelen kayıpların belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalar önem arz etmektedir.

Bu çalışmada enerji dağıtım hatlarında meydana gelen kayıpların belirlenebilmesi için yapay sinir ağları kullanılmıştır. Geleneksel yöntem olan yük kayıp faktörü ile elde edilen değerler yapay sinir ağına öğretilmiş ve her iki yöntemden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Matlab programındaki yapay sinir ağı benzetimiyle gerçekleştirilen çalışmada yük kayıp faktörü ile önerilen yöntemden elde edilen sonuçlar benzerlik göstermektedir. Bu durum önerilen yöntemin daha hızlı ve güvenilir sonuçlar ürettiğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler : Enerji dağıtım hatları, Enerji kayıpları, Yapay Sinir Ağları (YSA)

Sayfa Adedi : 86

Danışman : Dr.Öğr.Üyesi MEHMET AKİF ŞENOL

DETERMINATION OF THE LOSSES IN ENERGY DISTRIBUTION LINES
THROUGH ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

(M. Sc. Thesis)

MAHMOOD SHAKIR MAHMOOD ZHEREE
GELISIM UNIVERSITY

GRADUATE EDUCATION INSTITUTE

August 2020

ABSTRACT

Upon the developments in technology, our daily lives are being formed and changed. This situation increases the need for the electric power. The research conducted indicates that the energy used in our country is changing by increasing by 4-8% in average every passing year. High costs of installing energy production plants and difficulties of improving the energy transmission lines direct the researchers to new searches in this field. In addition, the losses occurring in transmission and distribution lines increase the energy cost significantly. In this regard, the studies related to the determination of the losses occurring during the transmission of the energy to the consumer have importance.

In this study, artificial neural networks have been used to determine the losses occurring in the energy distribution lines. The values, which have been obtained through the load loss factor, which is a traditional method, have been taught to the artificial neural network and the results, which have been obtained from both methods, have been compared. In the study, which has been conducted through the simulation of artificial neural network, in the Matlab program, the results, which have been obtained through the load loss factor, and the ones, which have been obtained through the recommended method, show similarity. This situation indicates that the recommended method gives faster and more reliable results.

Key Words : Energy distribution lines, Energy losses, Artificial neural networks (ANN)

Page Number : 86

Supervisor : Ass. Prof. Dr. MEHMET AKİF ŞENOL

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanma ve yazım sürecinde görüş, öneri ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, bizlere her zaman yeni ufaklar açan, zamanlarını ayırıp değerli fikirleri ile oldukça önemli katkılar sunan kıymetli hocam Ass. Prof. Dr. MEHMET AKİF ŞENOL'a teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

MAHMOOD SHAKIR MAHMOOD ZHEREE

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	iv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ	1
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE	10
2.1. Enerji İletim ve Dağıtım Hatlarındaki Kayıplar.....	10
2.1.1. Genel kavramlar	10
2.1.2. Enerji iletim ve dağıtım hatlarındaki teknik kayıplar	11
2.1.2.1. Boştaki kayıplar.....	12
2.1.2.2. Yükteki kayıplar	16
2.1.3. Enerji dağıtım hatlarındaki teknik olmayan kayıplar.....	19
2.1.3.1. Usulsüz elektrik kullanımı	21
2.1.3.2. Ölçme hataları	22
2.1.3.3. Dağıtım şirketi hataları.....	22
3. MATERYAL VE METOT	23
3.1. Enerji Dağıtım Hatlarındaki Kayıpların Hesaplanması	23
3.1.1. Genel bilgiler	23
3.1.2. Yükleme faktörü	23
3.1.3. yük Kayıp faktörü	26
3.2. Dengeli Enerji Sistemlerinde Kayıpların Hesaplanması.....	27
3.2.1. Wolf yaklaşımı.....	28
3.2.2. Soschinski yaklaşımı.....	29
3.3. Kayıpların Tahmin Edilmesi	30
3.3.1. Yük kayıp faktörü yöntemi	31
3.3.2. Ölçüm geçmişi yöntemi	32
3.3.3. Yük akışı yöntemi	33

3.3.4. YKF ile örnek bir dağıtım şebekenin kayıplarının hesaplanması	35
3.4. Yapay Sinir Ağları	36
3.4.1. Genel bilgiler	37
3.4.2. YSA'nın yapısı.....	38
3.4.3. YSA'ların öğrenme yöntemleri.....	42
4. YAPILAN ÇALIŞMA VE BULGULAR.....	46
4.1. Enerji Dağıtım Hattının Benzetimi	46
4.2. Klasik Hesaplama Yöntemi.....	51
4.3. Önerilen Hesaplama Yöntemi	56
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	62
KAYNAKLAR	64
EKLER.....	72
EK-1: YSA Eğitiminde Kullanılan 1. Hat Değerleri	72
EK-2: YSA Eğitiminde Kullanılan 2. Hat Değerleri	73
ÖZGEÇMİŞ	74

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1. Dünyadaki enerji tüketimi değişimi.....	1
Çizelge 2. Ülkemizde enerji iletim ve dağıtım hatlarındaki kayıpların oransal değişimi.....	2
Çizelge 3. Örnek bir dağıtım sistemindeki kayıplar [44].....	10
Çizelge 4. İletkenlerin yüzey durumuna göre pürüzlülük durumu	16
Çizelge 5. Ülkemizde bazı dağıtım şirketlerinin kayıp kaçak oranları (%).....	21
Çizelge 6. Tahmin yöntemlerinin karşılaştırılması	34
Çizelge 7. Biyolojik sinir hücresi ve YSA karşılığı [63]	38
Çizelge 8. Şebekede kullanılan trafo parametreleri	46
Çizelge 9. Hatlarda kullanılan kablo parametreleri	46
Çizelge 10. Şebekede bulunan yüklerin parametreleri	47
Çizelge 11. Şebekenin yüklere ait çarpan Çizelgesi	48
Çizelge 12. Çarpan grafiğine göre anlık talep gücü yük dağılımı	49
Çizelge 13. Yüklerin anlık talep güçlerinden elde edilen değerler	52
Çizelge 14. Bara bilgileri	52
Çizelge 15. Baraların anlık talep güçleri.....	54
Çizelge 16. Baralara ait değerler.....	54
Çizelge 17. Hesaplanan hat kayıpları.....	55
Çizelge 18. Trafonun enerji kaybı hesabı	56
Çizelge 19. Test değerlerinin karşılaştırılması (1. Hat)	59
Çizelge 20. Test değerlerinin karşılaştırılması (2. Hat)	60

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1. Ülkemizde iletim ve dağıtım hatlarındaki kayıp oranı [8].....	2
Şekil 2. Kapasitörün akım-gerilim fazör diyagramı	13
Şekil 3. Hatlar arasında akan akımın gerilimle değişimi	15
Şekil 4. Alternatif akıma göre yük eğrisi	24
Şekil 5. Aktif yükün yüklenme eğrisi	25
Şekil 6. YF ve YKF arasındaki ilişki [52]	28
Şekil 7. Wolfe göre YKF'ye bağlı olarak YF'nin değişimi	29
Şekil 8. YF ve YKF arasındaki ilişki [4].	31
Şekil 9. YKF ve YF arasındaki ilişki [4]	32
Şekil 10. Enerji tüketimi ve fatura uyumsuzluğu.....	33
Şekil 11. Biyolojik sinir hücresinin yapısı [63]	37
Şekil 12. YSA'nın yapısı [63]	38
Şekil 13. Lineer aktivasyon fonksiyonu.....	40
Şekil 14. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu	41
Şekil 15. Tanh aktivasyon fonksiyonu.....	42
Şekil 16. YSA katman gösterimi [63].....	43
Şekil 17. İleri beslemeli geri yayımlı ağ örneği [63]	44
Şekil 18. Örnek alınan şebeke.....	46
Şekil 19. Şebekenin yüklere ait çarpan grafiği	47
Şekil 20. Sanayi yükünün bir günlük anlık talep güç dağılımı	50
Şekil 21. Ticarethane yükünün bir günlük anlık talep güç dağılımı	50
Şekil 22. Tarım yükünün bir günlük anlık talep güç dağılımı	51
Şekil 23. Mesken yükünün bir günlük anlık talep güç dağılımı	51
Şekil 24. YSA parametreleri	57
Şekil 25. Ağın yapısı.....	57
Şekil 26. Test sonuçları (1. Hat)	59
Şekil 27. Test sonuçları (2. Hat)	61

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
E_k	Kayıp Enerji
P_k	Kayıp Güç
P_{kyn}	Dağıtım Hattına Aktarılan Güç
P_y	Tüketicideki Yük
$t(a-b)$	Zaman Aralığı
V	Faz nötr gerilimi (V)
r_i	İzolatörün izolasyon direnci (Ω)
g_i	İletkenlik
U_o	Kritik Korona Gerilimi
U_k	Görünür Korona Gerilimi
U_d	Delinme Gerilimi
I_d	Delinme Akımı
U_o	İyonlaşma ve Çarpmanın başladığı gerilim,
m	İletkenlerin pürüzlülük faktörü,
δ	Bağıl hava yoğunluğu,
r	İletkenlerin yarıçapıdır.
p	Hava basıncı (mmHg)
θ	Hava sıcaklığı
P_{cu}	Aktif Bakır Kayıpları
Q_{cu}	Reaktif Bakır Kayıpları
$R_{1/2}$	Birincil ve İkincil Sargıların Omik Direnci (Ω)
$X_{1/2}$	Birincil ve İkincil Sargıların Omik Direnci (Ω)
P_k	Kablunun iç dirençteki aktif kaybı (W)
Q_k	Kablunun iç dirençteki reaktif kaybı (VAr)
I_{hat}	Hat akımı (A)
I_a	Hat akımının aktif bileşeni (A)
I_r	Hat akımının reaktif bileşeni (A)

R_{hat}	Hattın omik direnci (Ω)
X_{hat}	Hattın reaktansı (Ω)
P_{hat}	Hattın aktif gücü (W)
Q_{hat}	Hattın reaktif gücü (VAr)
U_{hat}	Hat gerilimi (V)
E_K	Kayıp enerji
E_{TK}	Teknik enerji kaybı
E_{TOK}	Teknik olmayan enerji kaybı
I_{w0}	Ortalama aktif akım değeri
I_{wp}	Puant aktif akım
Y	Yük
MY	Maksimum Yük
K	Kayıp
MK	Maksimum Kayıp
I_{MY}	Maksimum yük akımı (A)
R	Kablonun direnci (Ω/km)
L	Kablonun uzunluğu (km)
T	Periyot (saat)
P_0	Trafonun boшта çalışma kaybı (kW)
P_k	Trafonun yükte çalışma kaybı (kW)
m_{TRF}	Trafonun yüklenme oranı
S_{TRF_M}	Trafodan çekilen maksimum güç (kVA)
S_r	Trafonun anma gücü (kVA)
I	Girişler ($X_1, X_2, \dots X_i$),
W	Ağırlıklar ($W_{1j}, W_{2j}, \dots W_{ij}$),
θ	Eşik değerini (Sıfırdan farklı küçük bir değerdir),
n	Bir hücreye gelen toplam girdi sayısı.
L_{Hat}	Hat üzerinde meydana gelen güç kaybı (kW)
$E_{K_{\text{Hat}}}$	Hat üzerinde meydana gelen enerji kaybı (kWh)
L_{TR_1}	Trafo üzerinde meydana gelen güç kaybı (kW)
$E_{K_{TR_1}}$	Trafo üzerinde meydana gelen enerji kaybı (kWh)
$E_{K_{\text{Hat}}}$	Hattaki Enerji Kaybı (kWh)
I	Maksimum Yük Akımı (A)
R	Kablo Direnci (Ω/km)

Kısaltmalar**Açıklamalar****AG**

Alçak Gerilim

EPDK

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu

GYA

Geri Yayılma Algoritması

GYÖY

Geri Yayılımlı Öğrenme Yöntemi

OG

Orta Gerilim

YSA

Yapay Sinir Ağları

YKF

Yük Kayıp Faktörü

YF

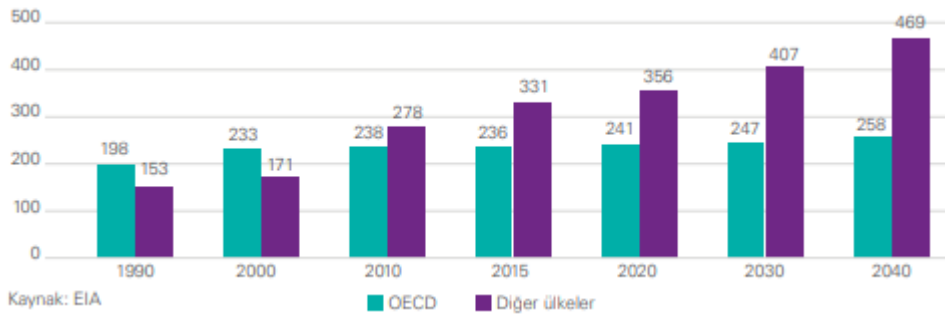
Yüklenme Faktörü

1. GİRİŞ

Teknolojideki gelişmelerle birlikte günlük hayatımızda şekillenmekte ve değişmektedir. Bu durum elektrik enerjisine olan ihtiyacı da arttırmaktadır. Yapılan araştırmalarda ülkemizde kullanılan enerjinin her geçen yıl ortalama olarak %4-8 arasında değiştiği görülmektedir. Enerji üretim santrallerinin kurulumunun yüksek maliyetli olması, enerji iletim hatlarının iyileştirilmesinin güçlükleri, bu alanda araştırmacıları yeni arayışlara itmektedir. Bu bakımdan enerjinin tüketiciye ulaşması sırasında meydana gelen kayıplarının azaltılmasıyla ilgili yapılan çalışmalar, hâlihazırda bulunan enerji kaynaklarının daha etkin kullanılmasına yönelik yapılan çalışmalar olarak görülebilir [1], [2].

Nüfusu hızla artan ve sanayi alanında atılım yapan ülkelerde elektrik enerjisinin tüketim oranı çok hızlı bir şekilde artmaktadır. Diğer yandan elektrik enerjisine ait kullanım alanlarının giderek artması ve küresel gelişmeler kişi başına tüketilen elektrik enerjisinin yılda ortalama %2.5 oranında artmasına sebep olmakta ve toplam tüketimi ortalama %3.9 oranında arttırmaktadır [3], [4]. Çizelge 1 de dünyanın enerji tüketim değişimi verilmiştir. Çizelgede dünya enerji tüketimi değerleri katrilyon British thermal unit (BTU) olarak verilmiştir ($1 \text{ BTU}=0,293 \text{ Wh}$) [5].

Çizelge 1. Dünyadaki enerji tüketimi değişimi



Çizelge 1 incelendiğinde tüketimdeki artış ortaya çıkmaktadır. Buna bağlı olarak enerji kaynaklarının veriminin artırılması önemli bir problemdir. Enerji sistemlerinde verimin artırılması için meydana gelen kayıpların en aza indirilmesini gerektirmektedir. Enerji kaynaklarının verimli olarak kullanılması hem doğaya olan zararı azaltmakta hem

de ülke ekonomisine pozitif katkılar sağlamaktadır. Elektrik enerji sistemlerinde kayıplar genel bakımdan üç ana grupta incelenmektedir. Bunlar:

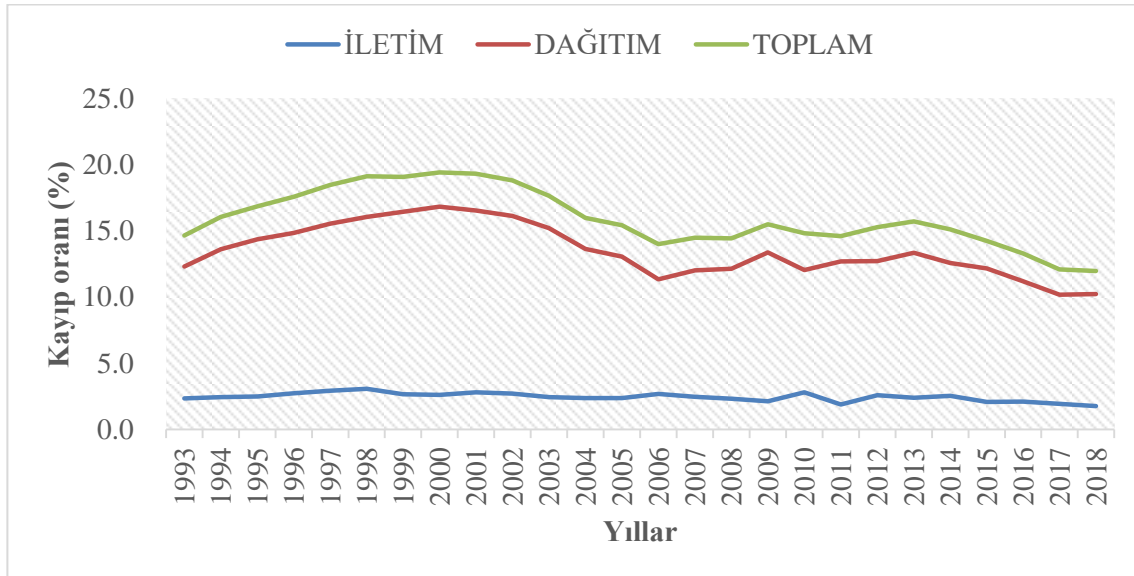
- Üretimde meydana gelen kayıplar
- İletimde meydana gelen kayıplar
- Dağıtımda meydana gelen kayıplar

Araştırmacılar enerji kayıplarının çoğunun üretim ve iletim hatlarından sonra dağıtım hatlarında meydana geldiğini belirtmektedirler (Çizelge 2) [6], [7].

Çizelge 2. Ülkemizde enerji iletim ve dağıtım hatlarındaki kayıpların oransal değişimi

İletim ve Dağıtım Hatlarında Kayıp Oranı	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Türkiye Ortalaması	% 15.9	% 14.6	% 14	% 13.4	% 12.6	% 11.8

Dünyada enerji maliyetlerinin düşürülmesine yönelik çalışmalar yapan dağıtım kuruluşları meydana gelen kayıpları azaltma konusunda önemli ve kayda değer ilerlemeler kat etmişlerdir [4].



Şekil 1. Ülkemizde iletim ve dağıtım hatlarındaki kayıp oranı [8]

Şekil 1’de ülkemizdeki enerji iletim ve dağıtım hatlarındaki kayıplar gösterilmiştir. Buradan anlaşılacağı üzere, dağıtım hattındaki kaybın iletim hattındaki kayba göre

ortalama 4-5 kat daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Kayıp oranına bakıldığında dağıtım hattındaki kayıpların fazla olması nedeniyle bu çalışmada dağıtım hatlarındaki kayıpların tespiti üzerinde durulmuştur.

Enerji alanında artan talepleri karşılamak ve enerji iletim ve dağıtım hatlarında meydana gelen kayıpların azaltılması önemli bir sorun oluşturmaktadır. Enerji hangi yolla elde edilirse edilsin enerjinin iletim ve dağıtımında meydana gelen kayıpların en aza indirilmesi hedeflenmektedir. Enerjideki kayıpların minimize edilmesiyle birlikte iletim ve dağıtımın daha ekonomik olmasına ve daha uzun süreli işletmede kalmasına olanak sağlanmış olur. Bu bakımdan kayıpların önceden tespit edilmesi ve düşürülmesi, eldeki gücün en etkin bir şekilde kullanılmasına yol açacaktır. Enerji sistemlerinde kayıplar genel anlamda üretim, iletim ve dağıtım hatlarındaki kayıplar olarak sınıflandırılmaktadır. Sistem itibariyle dünyada genel olarak kabul edilen ortalama maliyetlerin %50'si üretim maliyetleri, %20'si iletimsel maliyetler, %30 dağıtımsal maliyetlerdir. Ancak enerjideki kayıpların en fazla olduğu kısımların dağıtım hatları olduğu görülmektedir. Bu anlamda bakıldığında enerjideki kayıplara ilişkin dağılımın hangi parametrelerden meydana geldiği tam olarak belirtilmemektedir. Bunun nedenleri arasında iletim ve dağıtım hatlarının uzunluğu (kablo uzunluğu, klemens, izolatör vb.), hatlardaki güç teçhizatlarının çok olması (ayırıcı, kesici, röle, trafo vb.) ve tüketicilere yönelik bilgilerin eksikliği (elektronik ve/veya mekanik sayaç) gibi etkenler bulunmaktadır. Bahse konu olan teçhizatların hangisinin ne kadar enerji kaybına yol açtığı net ve kesin olarak hesaplanamamıştır [9].

Enerji sistemlerinde meydana gelen kayıplar, teknik ve teknik olmayan kayıplar olarak iki grupta incelenmektedir [10], [11]:

- a) Genel olarak ticari kayıplar teknik olmayan kayıplar olarak bilinmektedir. Bu anlamda dağıtım şirketleri tarafından hatalı fatura edilme ve/veya tüketicilerden kaynaklanan kullanım hataları olarak gösterilebilir.
- b) Teknik kayıplar ise, sistemdeki temel bileşenlerinden kaynaklanan hattın yük durumuna bağlı olarak yüklü-yüksüz olması, değişken akım-gerilim değerleri nedeniyle şebekede meydana gelen ve kaçınılmaz olan kayıplar olarak ifade edilmektedir. Hatlarda meydana gelen bu teknik kayıplar aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- İletim hattındaki kayıplar (korona, izolatör ve dielektrik kayıpları vb.)
- Ölçme aletleri ve elektrik sayaçlarına ait kayıplar
- Transformatörlerdeki kayıplar (fukoult ve histerezis kayıpları vb.)
- Akım ve gerilim transformatörlerinin kayıpları
- Joule (ısınma, $I^2.R$) kayıpları

Elektrik enerjisinin dağıtımında meydana gelen en belirgin problemlerden biri dağıtım sistemlerindeki maliyetleri arttıran ve bölgelerin arasında önemli farklılıkları ortaya çıkaran kaçak ve kayıplardır. Oluşan kayıp ve kaçakların maliyetlere yansımaması mümkün gözükmemektedir. 1980’li yıllardan beri kullanılmaya başlanılan ‘Tavan Fiyat Düzenlemesi’ yöntemiyle dağıtım şirketlerinin başarısını arttırmak hedeflenmiştir. Bu duruma örnek olarak ‘Türkiye’de Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu’ (EPDK), dağıtım şirketlerine kayıplar konusunda hedefler göstermektedir. Bunun anlamı, bir önceki döneme göre şirket enerji kayıplarını belirlenen seviyeden daha az olarak gerçekleştirirse bu durumda EPDK bir fiyat belirleyerek şirketin gelir seviyesindeki tavanı arttıracaktır. Diğer yandan şirket, kayıp-kaçak oranını hedeflenen düzeyin altında gerçekleştirirse, bu durumda şirket ceza almış olacaktır [12].

Kayıp-kaçakta birbirine göre oranları kesin bir şekilde ayırmak/belirlemek mümkün olmamaktadır. Bu durum dünya ülkelerinin gelişmişlik seviyesine, enerji sistemlerindeki dağıtım ve iletim hatlarının uzunluğuna bağlı olarak değişmektedir [3]. Enerji nakil hatlarındaki teknik kayıpların belirlenmesi talep gücüne bağlı olarak yapılabilmektedir ancak şebekede bulunan yükün sürekli değişmekte oluşu nedeniyle yüke bağlı olan kayıplar da sürekli değişkenlik göstermekte ve kayıpların hesabını zorlaştırmaktadır [13]. Enerji dağıtım sistemlerinde her durumda ve noktadan ölçüm almak maliyetlidir. Bu sebeple şebeke üzerindeki anlık yük değişimlerinin tamamına ulaşamamaktadır. Bu durumda kayıplar genellikle tahmin edilmeye çalışılır [14]. Kayıp değerlerinin tahmininde Yük Kayıp Faktörü (YKF) [15], Yük Akışı [16], Ölçüm Geçmişi [13] metotları kullanılmaktadır. Bu yöntemlerle tahmin edilen/belirlenen kayıplara teknik kayıplar, bunun dışında kalan kayıplara ise teknik olmayan kayıplar denilmektedir.

Enerji sistemlerinde meydana gelen teknik kayıplar nedeniyle enerjinin fiyatlandırılması her dönemde önemli bir sorun oluşturmaktadır. Tüketime ve/veya iletilen güç ile meydana gelen kayıplar arasında non-lineer bir ilişki olduğundan, oluşan kayıpların nedenlerinin belirlenmesi güçleşmektedir [17]. Bu problemin çözümü için çoğunlukla da iletim hatlarında kullanılmak üzere birbirinden farklı Artımsal Paylaşım [18], Pro-Rata [19], Z-Bus [20], Grafik Teorisi ve Oransal Paylaşım [21] gibi metotların yapılan çalışmalar arasında olduğunu görmekteyiz.

Problem Durumu

Küreselleşen dünyamızda kişi başı kullanılan enerji miktarının değeri artarken, kullanılan enerji kaynaklarının az oluşu, dağıtım hatlarındaki kayıp enerjinin azaltılmasını gerekli hale getirmektedir. Bu sebeple öncelikli olarak kayıpların tespit edilmesi gerekmektedir. Başka bir açıdan enerji kayıpları, enerjinin fiyatlandırması konusunda etkili olmaktadır. Bu bağlamda enerjinin verimli olarak kullanılması, kayıpların belirlenmesi ve azaltılması önem arz etmektedir.

Araştırmanın Amacı

Ülkemizde de dünyada yaşanan gelişmelerle birlikte nüfusun artması ve bireylerin enerji tüketimlerinin artması söz konusudur. Dünya ile paralellik gösteren enerji sistemlerindeki kayıpları %2-3 olarak benzerlik göstermektedir. Bu değerler ülkemizde bulunan enerji iletim ve dağıtım hatlarındaki kayıplarının AB standartlarına uygun olduğunu ortaya koymaktadır. Buna rağmen enerji iletim ve dağıtım sistemlerindeki kayıplar %20 değerlerine yakındır. Enerji dağıtım hatlarındaki kayıpların değerlerinin yüksek oluşu araştırmacıların bu konuya olan ilgisini arttırmakta ve çalışmaların yapılmasına neden olmaktadır. Enerji dağıtım hatlarındaki kayıpların hesaplanması ve belirlenmesi konularında çok sayıda araştırmanın yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmalar incelendiğinde enerji dağıtım hatlarındaki kayıpların farklı ve birbirlerine yakın değerlerle tespit edildiğini göstermektedir. Bu çalışmada Yapay Sinir Ağları (YSA) ile dağıtım hatlarında meydana gelen kayıplar daha hızlı ve sağlıklı olarak tespit etmeyi amaçlamaktadır.

Araştırmanın Planı

Bu araştırma 5 bölüm olarak ele alınmıştır.

Birinci Bölüm: Enerji iletim ve dağıtım hatlarındaki kayıpların dünya ve ülkemiz açısından şebekeler üzerindeki etkisi incelenmiş ve bu konuda bilgiler verilmiştir. Problem durumu, araştırmanın amacı ve araştırmanın planı açıklanmıştır. Ayrıca günümüze kadar yapılan bilimsel “enerji kayıpları” çalışmaları incelenmiş ve enerji kayıplarının hesaplanmasında kullanılan yöntemlere literatür özetleri olarak yer verilmiştir.

İkinci Bölüm: Araştırmanın kavramsal çerçevesinden bahsedilmiştir. Bu bölümde enerji iletim ve dağıtım hatları, teknik ve teknik olmayan kayıplar detaylı olarak incelenmiş ve hataların kaynakları açıklanmaya çalışılmıştır.

Üçüncü Bölüm: Materyal ve Metot kısmını oluşturan bu bölümde çalışmanın nasıl yapılacağı, kullanılan hesaplama yöntemleri ve kullanılması planlanan Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemi açıklanmıştır.

Dördüncü Bölüm: Yapılan çalışmalar ve bulgular bölümünü oluşturan bu kısımda bir enerji dağıtım hattı benzetimi yapılarak bu hat üzerinde YKF yöntemiyle enerji kayıpları tahmin edilmiş/belirlenmiştir. Belirlenen kayıplar önerilen YSA yöntemiyle tahmin edilmeye çalışılmış ve elde edilen bulgular verilmiştir.

Beşinci Bölüm: Çalışmanın son bölümünün olduğu bu kısımda sonuçlar ve önerilerde bulunulmuştur.

Literatür Çalışmaları

Enerji nakil hatlarındaki kayıpların belirlenmesi 20. yüzyılın başlarından itibaren ilgi odağı olmuştur. Araştırmacılar tarafından bu dönemden itibaren yoğun bir şekilde araştırılan/çalışılan bir konu haline gelmiştir [22]. Aşağıda yapılan bu çalışmalarla ilgili literatür özetleri verilmektedir.

Kayıp-kaçak oranlarını belirleme çalışmalarından sonra bu kayıpların farklı yöntemlerle belirlenmesi üzerine çalışılmaya başlanmıştır. Enerji sistemlerinde enerji kayıpları adına yapılan ilk çalışma 1975 yılında Merlin ve Back tarafından yapılmıştır [23]. Bu çalışmanın devamında araştırmacılar farklı yönleriyle kayıpların azaltılması konusunda pek çok çalışma yapmışlardır.

Literatürde kayıpların belirlenmesinde farklı yöntemlerin kullanıldığı görülmektedir. Bunlardan biri bilgi tabanlı yöntemlerdir. Bu yöntemler lineer programlar, sezgisel yöntemler, bulanık mantık ve uzman sistemler şeklinde sınıflandırılabilir [24], [25], [25], [26], [27], [28]. Sezgisel yöntemler bu yöntemler içerisinde en çok tercih edilen yöntem olarak görülmektedir. Diğer bir yöntem, evrimsel hesaplama olarak bilinen yöntemlerdir. Bu yöntemler canlılardaki biyolojik, doğadaki fiziksel ve sinirsel işlemlerle davranışları taklit etmektedir. İhtimal hesapları, YSA, genetik algoritma bu yöntemlerdeki hesaplama araçlarıdır [29], [30], [31], [32]. Bu yöntemler arasında kullanılan son yöntem ise hibrit yöntemlerdir. Bu alandaki ilk çalışma Fan ve arkadaşları tarafından 1996 yılında yapılmıştır. Bu alandaki çalışmalar yukarıda bahse konu olan yöntemlerin karması olarak bilinmekte ve kullanılmaktadır [33], [34], [35], [36]. Bu çalışmalardan bazıları ve/veya öne çıkanları aşağıda kısaca özetlenmiştir:

Kim [29] tarafından kayıpların belirlenmesine yönelik dağıtım sistemlerinin planlanmasında iki aşamalı işlem yapabilen YSA kullanmıştır. Birinci aşamadaki işlemler belirlenen bölgelerden alınan yük bilgilerine göre yük düzeyinin tahmin edilmesidir. İkinci aşamada ise belirlenen sisteme eklenen yük seviyelerinin sistem yapısına uygun olup olmadığına karar vermektedir.

Nara [37] tarafından yapılan çalışmada basit bir genetik algoritma yapısı kullanılmış, kayıpların belirlenmesi için dağıtım hatlarında bir düzenleme yöntemi amaçlamıştır. Burada 0-1 anahtar durumunu gösteren değerler, sistemin toplam kayıplarını kapsayan sabit bir matematiksel ifade ve gerilim düşümü ve akım kapasitelerinin limitlerini gösteren hata değerlerini göstermektedir. Örnekteki sonuçlarda minimum kayıplar elde edilmesine rağmen, kullanılan yöntemde çözüm için çok yüksek bir zamana ihtiyaç olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada Nara, farklı ve bilinçli genetik algoritmalar ve çok hızlı işlemcilerle sahip bilgisayar ortamları kullanılarak gerçek zamanlı uygulamaya yönelik daha uygulanabilir çalışmaların yapılabileceğini göstermiştir.

Civanlar [38] tarafından yapılan çalışmada hat kayıplarının tespiti için sezgisel kurallar kullanılan bir algoritma sunulmuştur. Bu algoritmada anahtarlama işlemlerinin tercih sayısını azaltmak amacıyla iki farklı sezgisel kural tanımlanmıştır. Böylece anahtarlama işlemleriyle, ortaya çıkan kayıpları saptayan bir fonksiyon elde edilmiştir. Araştırmada anahtarlama işlemi için kullanılan yöntem fider değiştirme yöntemidir ve bu yöntem sistemin radyallığını sabit tutmak için anahtarlardan birinin kapanması durumunda diğerlerinin açılmasını önermektedir.

Baran ve Wu [39] tarafından yapılan çalışmada Civanlar yöntemini iyileştirme amacıyla iki fonksiyonlu iki yaklaşım modeli sunmuşlardır. Güç akışı için kullanılan bu iki yük akış metodu 'Simplified distflow' ve 'Backward-Forward update of distflow' dur. Baran ve Wu, bu yöntemle birinci amaç kayıpları azaltmak ikincisi yük dengelemektir. Araştırmacılar Simplified distflow yönteminin yük dengelemede performansının daha iyi olduğunu belirtmişlerdir. Bunun sebebi olarak bu yöntemin şebeke parametrelerine ihtiyaç duymadan güç akışı tahmini yapması ve yük denge endeksinin bağımlı olmasını belirtmişlerdir. Buradaki tahmin yöntemleri hesaplama olarak çok etkindir. Aktif ve reaktif güç akış durumunu dikkate almaktadır. Bunun yanı sıra bazı sakıncaları bulunmaktadır:

- Şebeke anahtarının son şebeke yapısının ilk durumuna bağlı olması,
- Şebekedeki her bir dalın değişimi, kayıpların azalmasını sağlarken bütün aşamaların doğru bir çözüm garantilememesi,
- Şebekede yüzlerce anahtar ve binlerce dal bulunması nedeniyle gerçek uygulamalarda bir anahtara ait değişim işleminin çok zaman alıyor olması.

Casto ve Watanable [40] tarafından daha kapsamlı bir çalışma yöntemi kullanarak Civanlar tarafından yapılan araştırma geliştirilmiş ve genişletilmiştir. Civanlar'ın yönteminin ana özelliği sadece çözümlenme zamanını kısaltıp yerel minimum elde edilme ihtimalini artırmaktır. Böylece en iyi anahtarlama tercihinin planlı olmasıdır. Casto ve Watanable, Civanlar'ın bu yönteminde tüm düzenlemenin sağlanması işleminde belirli anahtarlama düzenine karar vermede mantıksal açıdan sorunlu olduğu sonucunu duyurmuşlardır. Buradan hareketle yöntemin her bir aşamasında maksimum seviyede anahtarlama tercihinin planlanmışlardır. Casto ve Watanable tarafından yapılan çalışmanın bazı sakıncaları bulunmaktadır. Global düzeyde kararlılığı garantilemediği ve daha büyük bir sistemde kayıp tahmin denkleminin kanıtlanmamış olmasıdır.

Taylor ve Lubkeman [41] tarafından yapılan çalışmada dağıtım sistemleri için uzman bir algoritma geliştirmeyi amaçlamışlardır. Araştırmacılar trafo ve bana hatların aşırı yüklenmesinden ve a-normal gerilim seviyelerinden sakınmayı öncelikli amaç olarak benimsemişlerdir. Tatmin edici bu kıstasların kayıpların tespitini kolaylaştıracağını belirtmişlerdir. Ayrıca Taylor ve Lubkeman'ın bu çalışmasında koruma koordinasyonunun düzenleme çalışmaları içerisinde gerilim kontrol stratejilerinin işlenmesi gerektiği ifade edilmektedir.

İnan ve arkadaşları [42] tarafından yapılan çalışmada şebekenin dengeli ve dengesiz yüklenme durumları için harmonikler sebebiyle ortaya çıkan kayıpların hızlı ve doğru şekilde belirlenmesi amacıyla YSA yöntemiyle optimum bir kayıp değerlendirme yöntemi üzerine çalıştıkları görülmektedir. Burada enerji sistemlerindeki harmoniksel etkilerin her geçen süreyle artması sebebiyle sistemlerdeki güç kayıplarını hesaplarken harmonikli yüklerinde dikkate alınması, şebekedeki güç kayıplarının minimum hatayla belirlenmesini sağlayacağı belirtilmektedir. Kayıpların değerlendirilmesi ve belirlenmesinde yüksek doğruluk ve hız iki önemli gereksinim olarak görülmektedir. Sistem büyüklükleri olarak bilinen akım ve gerilim gibi büyüklüklerinin sinüzoidal oldukları varsayılarak kayıp analizi yapılmaktadır. Ancak bu büyüklüklerin non sinüzoidal olması durumunda şebekede pek çok değişikliklere yol açabilmektedir. Bu çalışmada araştırmacılar bu değerleri kullanılarak non-sinüzoidal durumlara göre kayıpların belirlenmesi hedeflenmiştir.

Wang ve Yang [43] tarafından yapılan çalışmada güç dağıtım sistemlerinde enerji kayıplarının tespiti için YSA'da Geri Yayılma Algoritması (GYA) kullanarak uygun bir hesaplama yöntemi üzerine çalıştıkları görülmektedir. GYA, hatalı geri yayılan sinyal ve ileri yönlü yayılan sinyal olmak üzere iki bölüm bulunmaktadır. GYA kullanarak dağıtım sistemlerinde teorik enerji kayıplarını hesaplama problemlerini çözmek için, daha verimli ve hassas bir yöntem geliştirmeyi hedeflemişlerdir.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. Enerji İletim ve Dağıtım Hatlarındaki Kayıplar

2.1.1. Genel kavramlar

Enerji sistemlerindeki kayıplar, teknik olan ve teknik olmayan kayıplar olmak üzere iki ana başlık altında incelenmektedir. Bu kısımda; şebekelerde bulunan kayıpların kaynaklarını ve kayıpların türlerini genel anlamda incelendikten sonra, bu kayıpların nasıl hesaplanabileceği incelenecektir. Bu inceleme sırasında şebekedeki yüke bağımlı olan ve yükten bağımsız olan kayıpların ayrı olarak incelenmesi planlanmaktadır.

Enerji sistemlerinde oluşan kayıpların tüm kayıplar arasındaki oranına bir örnek teşkil etmesi bakımından, mevcut bir enerji dağıtım firmasının bir yıl içerisinde meydana gelen kayıplarının şebekedeki durumu Çizelge 3’de verilmiştir [44]. Çizelge 3’den görüleceği üzere iletim +dağıtım kayıplarına %100 denilecek olursa bunun %14,32 si iletim ve %85,68 i dağıtım kayıplarındır. Başka bir deyişle iletim kayıpları dağıtım kayıplarının %16,7 sidir. Geri kalan büyük oran dağıtım kayıplarındır.

Çizelge 3. Örnek bir dağıtım sistemindeki kayıplar [44]

Kayıpların Türleri	Kayıp Enerji (kWh)	Kayıp Oranı (%)
İletim Hattındaki Kayıplar	4.077.761,75	9.66
Güç Trafo Kayıpları	1.966.082,61	4.66
Dağıtım Hattındaki Kayıplar	2.935.771,32	6.96
AG Trafo ve Dağıtım Hattındaki Kayıplar	33.222.060,00	78.72
Toplam	42.201.675,68	100

Enerji sistemlerinde en büyük kayıp oranı dağıtım hatlarında oluşmaktadır. Enerji ve Güç kayıpları aşağıda verilen denklemlerle bulunabilir:

$$E_k = \int_a^b P_k(t) dt \quad (1)$$

$$P_k = P_{kyn} - P_y \quad (2)$$

- E_k : Kayıp Enerji
 P_k : Kayıp Güç
 P_{kyn} : Dağıtım Hattına Aktarılan Güç
 P_y : Tüketicideki Yük
 $t(a-b)$: Zaman Aralığı

Enerji dağıtımının her aşamasında tesisin niteliklerine ve yüklere bağlı olarak oluşan enerji sarfiyatları teknik kayıplar olarak isimlendirilirken, kayda alınamayan ve teknik parametrelerin tümünden bağımsız olan enerji ise teknik olmayan kayıplar ya da kaçak kayıp enerjiler olarak isimlendirilir [44].

2.1.2. Enerji iletim ve dağıtım hatlarındaki teknik kayıplar

Trafo ve diğer elektrik cihazlarıyla ya da iletkenlerde ısınmalarla ortaya çıkan teknik kayıplardır. Bunun yanı sıra kısmi deşarj (korona) ve izolasyon kayıplarını da kapsamaktadır. Bu bakımdan teknik kayıplar dört grupta incelenmektedir:

1. İletim hattındaki kayıplar,
2. Güç trafolarındaki kayıplar,
3. OG dağıtım hattındaki kayıplar,
4. AG trafo ve dağıtım hattındaki kayıplar.

Dağıtım şebekelerinde oluşan teknik kayıplar, enerji nakil hatlarının yüklü ya da yüksüz durumları bakımından farklılık göstermektedir. Teknik kayıpların ortaya çıkmasındaki sebepler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir [45]:

- Yüksek dirençli hatlardaki kayıplar,
- Düşük güçteki yükler,

- Fazların dengesizliđi,
- İletim hatlarındaki aşırı yüklenme,
- Gevşek yapılan bağlar,
- Kalitesi düşük iletken ve yalıtkanlar malzemeler,
- Tüketici sistemlerindeki kötü topraklamalar.

Bu bakımdan kayıpların azaltılması tüm dağıtım şirketleri için zorunlu ve gerekli iş/işlem arasında görölmektedir. Kayıpların asgari değerleri aşması, dağıtım şirketleri açısından mali bir sıkıntının baş göstermesi anlamını taşımaktadır. Bu enerji kayıpları da iki ana grupta incelenmektedir:

- a) Yüke bağlı olmayan (boştaki) kayıplar,
- b) Yüke bağımlı kayıplar [45].

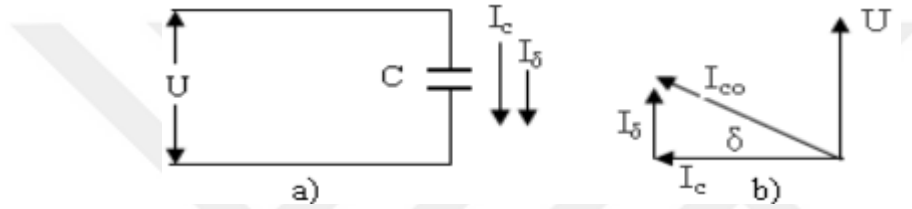
2.1.2.1. Boştaki kayıplar

Hiç yüklenmemiş fakat gerilim altında bulunan (boşta çalışan) şebeke teçhizatının çektiği tüm enerjiler sistem içerisindeki kayıp enerjilerdir. Boştaki kayıplar, şebekelerde gerilim bulunduğu sürece oluşmaktadır. Bu kayıpların büyüklüğü mevcut işletme gerilimlerinin büyüklüğüne ve şebeken izolasyon yapısına bağlıdır ve tamamen şebekelerin yüklenme durumundan bağımsız olarak ortaya çıkmaktadır. Bu kayıplar; dağıtım ve güç trafoları ile ölçü trafolarının demir kayıpları, korona kayıpları, kablo kayıpları ve kapasitörlerin dielektrik kayıpları, röle, ölçü aletleri kayıpları, kaçak akım kayıpları ve gerilim bobinlerinde oluşan kayıpları içerir. Hava koşullarına bağlı olarak değışmekte olan kaçak akım ve korona kayıpları hariç, diğer yüklerden bağımsız kayıpların değeri, şebekelerin sabit bir işletme geriliminde olduğu durumlarda sabittir. Boştaki kayıpların belli bir zaman aralığı içerisinde oluşturdukları kayıp enerjilerin hesaplanarak bulunması nispeten daha kolay olmaktadır. Dağıtım hatlarında yükten bağımsız kayıplar aşağıda kısaca izah edilmiştir [46]:

Trafonun Boştaki (Yüksüz) Kayıpları: Yüksüz çalışan bir trafonun şebekeden çektiği akımın iki bileşeni bulunmaktadır. Bunlardan biri küçük olan aktif akım değeri nispeten büyük olan reaktif akım bileşenleridir. Trafonun yüksüz çalışma akımı sırasındaki

reaktif bileşeni manyetik alan oluşturmaya yarar ve bu akıma mıknatıslanma akımı da denilmektedir. Bunun yanı sıra aktif bileşenin bir kısmı meydana gelen demir kayıplarını karşılamaktadır. Yüksüz çalışma sırasında trafo tarafında oluşan aktif gücün çok küçük ve ihmal edilecek bir kısmı da, yüksüz çalışmadaki akımın birinci sargıda oluşturduğu dielektrik ve ısı kaybını karşılamak amacıyla kullanılır.

Dielektrik Kayıpları: Şekil 2’de kapasitesi C olan bir kapasitöre bir U gerilimi uygulandığında, bu kapasitörün gerilimine nazaran 90° ileri olacak şekilde bir I_c reaktif akımı oluşmaktadır.



Şekil 2. Kapasitörün akım-gerilim fazör diyagramı

Buradaki akımın büyüklüğü aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$I_c = U\omega C \quad (3)$$

İzolatörlerde Oluşan Kayıplar: Dağıtım hatlarında kullanılan YG izolatörlerinin dış kısımları genellikle kuru ve temiz değildir. Kirlenmeler, sahil bölgelerde deniz suyunun etkisi, endüstriyel bölgelerde baca gazları ve özellikle sis-çiğ ile ilgilidir. Diğer yandan kar ve buz nedeniyle izolatörlerin dış yüzeyindeki kaçak mesafesinde bir azalma oluşmaktadır. Bu durum izolasyon dayanıklılığında azalma meydana getirmektedir. Bu gibi durumlara bağlı olarak YG hatlarında izolasyon çok iyi olsa dahi gerilim altındaki iletken kısımlardan toprak tarafına doğru izolatörler üzerinden bir akım akışı olur. Tesis gerilimi nedeniyle izolatörler üzerinden akan kaçak akım aşağıdaki denklemle hesaplanır.

$$I_k = \frac{V}{r_i} = V \cdot g_i \text{ (A)} \quad (4)$$

Burada;

- V : Faz nötr gerilimi (V)
 r_i : İzolatörün izolasyon direnci (Ω)
 g_i : İletkenlik

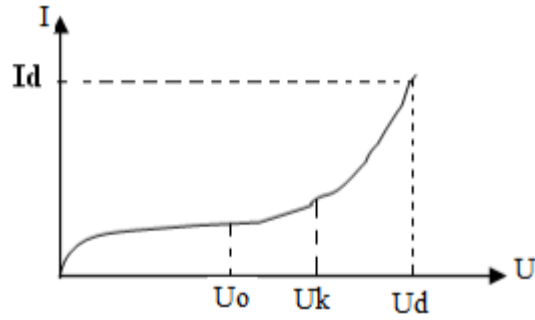
olup, oluşan kaçak akım ile gerilim aynı fazda bulunmaktadır. Bu bakımdan aktif bir akımdır. Gerilim ile kaçak akımın çarpımı kaçak kayıplar olarak bilinen aktif güç kayıplarını oluşturmaktadır.

$$P_i = V^2 \cdot g_i \text{ (W)} \quad (5)$$

İzolatörlerde meydana gelen kaçak kayıpların neden olduğu enerji kaybının tahmin edilebilmesi için yukarıda verilen denklemlerin dışında, bir yılın ortalama olarak farklı hava koşullarının toplamda ne kadar devam ettiğinin saat olarak bilinmesi gerekmektedir [47].

Korona Kayıpları [48]: “Bir hattın U işletme geriliminin iletken dış yüzeyinde meydana getirdiği alan şiddeti (E_r), iletkeni çevreleyen havanın delinme dayanımından, yani delinme alan şiddetinden (E_d) büyük olursa, bu durumda iletken boyunca bir deşarj meydana gelir. Havada çarpma suretiyle iyonizasyon sonucu oluşan bu deşarj, bir enerji kaybıdır ve buna korona kaybı denir”. Diğer bir ifadeyle korona, çevre etkileşimi ve enerji iletim hatlarında etkileşime sebep olan bir elektriksel deşarj olayıdır.

Korona meydana geldiğinde bir aktif güç kaybı oluşmaktadır. Meydana gelen bu kayıplar, mevsimsel koşulları nedeniyle seviyesinde artış görülmekte ve sonuç olarak delinme, atlamalara dolayısıyla arızalara neden olmaktadır. Kabloların, kapasitörlerin, transformatörlerin, makinelerin iç yalıtım noktalarında da korona kaybı oluşabilir ve meydana gelen kısmi deşarj nedeniyle teçhizatın bu kısımlarında delinme ve/veya atlamaya yani arızaya neden olabilmektedir. Korona gerilimi hatlar arası mesafeye, iletkenlerin yarıçapına, hatların pürüzlülüğüne ve hava koşullarına (basınç, sıcaklık) bağlıdır. Hatlar arasında akan akım ve hat üzerindeki gerilim değişim Şekil 3’de gösterilmiştir.



Şekil 3. Hatlar arasında akan akımın gerilimle değişimi

Şekil 3’de;

- U_o : Kritik Korona Gerilimi
- U_k : Görünür Korona Gerilimi
- U_d : Delinme Gerilimi
- I_d : Delinme Akımı

Korona olayı aktif güç kaybını oluşturmaktadır. Bu durum hattın verimliliğinin düşmesi olarak bilinmektedir. Korona kaybı hesaplanırken en çok kullanılan denklem Peek ve Peterson denklemleridir [48]. Burada Peek ile Korona hesap edilirken aşağıdaki denklem kullanılır.

$$U_k = U_o \cdot m \cdot \delta \cdot \left(1 + \frac{0.301}{\sqrt{t \cdot \delta}}\right) \quad (6)$$

Burada:

- U_o : İyonlaşma ve Çarpmanın başladığı gerilim,
- m : İletkenlerin pürüzlülük faktörü,
- δ : Bağlı hava yoğunluğu,
- t : İletkenlerin yarıçapıdır.

m , iletkenlerin yüzeyindeki duruma ve kesitin şekline bağlı değişen bir katsayıdır. Yeni, parlak ve düz bir iletken için değeri 1, iletkenlerdeki yüzeylerin pürüzlülüğü arttıkça bu katsayının değeri 1’den olur. Yüzey pürüzlülüğüne göre m değerleri Çizelge 4’de gösterilmiştir.

Çizelge 4. İletkenlerin yüzey durumuna göre pürüzlülük durumu

İletkenin Yüzey Durumu	Pürüzlülük Faktörü (m)
Parlatılmış iletken	1,0
Düz ve yeni iletken	0,98 – 0,93
Uzun süre hava etkisinde kalmış iletken	0,93 – 0,88
Örgülü eski iletken	0,88 – 0,87
Örgülü yeni iletken	0,87 – 0,81
İçi boş üstü düz (bakır) iletken	0,90

Burada δ değeri;

$$\delta = 0.386 * \frac{P}{273 + \theta} \quad (7)$$

olarak verilir. Burada:

- P : Hava basıncı (mmHg)
 θ : Hava sıcaklığı

Ölçme Cihazlarının Kayıpları: Bir enerji sisteminin ölçme teçhizatlarındaki kayıpların sistemin diğer kısımlardaki kayıplara göre küçük olduğundan ihmal edileceği düşünülür. Ancak durum aslında böyle değildir. Bu bağlamda bir şebeke devamlı gerilimde olduğundan şebekede bulunan çok sayıdaki ölçü aletleri, sayaçlar, ölçü transformatörleri vb. bir yıl boyunca ihmal edilmeyecek düzeyde enerji kaybına neden olurlar [44].

Bir dağıtım sisteminde gerilim olduğu sürece şebekede bulunan tüm ölçü aletlerinin gerilim bobinleri, yük bulursa veya bulunmasa da uyarılmaktadır. Şebekedeki gerilimin sabit olması durumunda ölçü aletlerinin gerilim bobinlerinde sabit bir tüketim oluşur ve bu durum/kayıp yükten bağımsız olarak gerçekleşmektedir [49].

2.1.2.2. Yükteki kayıplar

Akım trafosu, büyük akımları ölçmek için ile bu akımları küçülten bir transformatördür. Akım trafosunun ikinci sargı uçlarına bağlanan direncin değeri trafodaki

sargı direncinin yanında çok küçüktür. Bu durumda akım trafosu pratik bir şekilde kısa devre edilmiştir. Bu nedenle akım trafosunun tüketimindeki büyük bir kısmı, yüke bağlı bakır kayıplarını oluşturur. Diğer yandan yüksüz durumdaki akım trafosunda oluşan kayıpların, yükten bağımsız olan kayıpların içerisindeki payı düşüktür. Bu değer farklı tipteki akım trafosu için akım trafosu başına 0.5 watt'ın altındadır [48].

Bir elektrik dağıtım şebekesi yüklendiğinde, yükten bağımsız kayıpların dışında, yüke bağlı kayıplar da oluşmaktadır. Bunlar doğrudan yük akımına bağlı olarak meydana gelen ve ani akım değeri o andaki akımın değerine bağlı olan kayıplardır. Kayıplar, akım şiddetinin karesiyle orantılı bir şekilde değişir ve trafolardan, hatlardan, akım transformatörlerinden ve bunlara bağlı ölçme teçhizatının akım bobinlerinde kayıp omik ısısı olarak kendilerini gösterirler [4]. Bu bakımdan sistemlerde oluşan kayıpların büyük çoğunluğunu meydana getirirler. Yükün değişken olma durumu meydana gelen akımı da değişken hale getirmekte ve burada akıma bağlı olan kayıplar da değişken olabilmektedir.

Yüke Bağlı Trafo Kayıpları: Transformatör sabit akı ile çalıştığından bu akımın oluşturduğu boşa kayıplar yüke bağlı olmayarak sabit kalır, yani boşa çalışmada oluşan bu kayıplar yüklü çalışmada da aynen mevcuttur. Yükteki trafo kayıpları:

$$P_{cu} = I_y^2 (R_1 + R_2) 10^{-3} (kW) \quad (8)$$

$$Q_{cu} = I_y^2 (X_1 + X_2) 10^{-3} (kVAr) \quad (9)$$

Burada;

P_{cu} : Aktif Bakır Kayıpları

Q_{cu} : Reaktif Bakır Kayıpları

$R_{1/2}$: Birincil ve İkincil Sargıların Omik Direnci (Ω)

$X_{1/2}$: Birincil ve İkincil Sargıların Omik Direnci (Ω)

Yükteki Kabloların Kayıpları: Elektrik şebeke sistemlerinde, iletken kablolar üzerinden geçen yük akımının karesiyle ve kablonun direnciyle orantılı değişen kayıplar olarak karşımıza çıkar.

$$P_k = I_{hat}^2 R_{hat} = \{I_a^2 + I_r^2\} R_{hat} = \left[\frac{P_{hat}^2 + Q_{hat}^2}{U_{hat}} \right] R_{hat} (W) \quad (10)$$

$$Q_k = I_{hat}^2 X_{hat} = \{I_a^2 + I_r^2\} X_{hat} = \left[\frac{P_{hat}^2 + Q_{hat}^2}{U} \right] X_{hat} (VAr) \quad (11)$$

Burada;

- P_k : Kablonun iç dirençteki Aktif kaybı (W)
- Q_k : Kablonun iç dirençteki reaktif kaybı (VAr)
- I_{hat} : Hat akımı (A)
- I_a : Hat akımının aktif bileşeni (A)
- I_r : Hat akımının reaktif bileşeni (A)
- R_{hat} : Hattın omik direnci (Ω)
- X_{hat} : Hattın reaktansı (Ω)
- P_{hat} : Hattın aktif gücü (W)
- Q_{hat} : Hattın reaktif gücü (VAr)
- U_{hat} : Hat gerilimi (V)

Yüke bağlı Ölçü Cihaz Kayıpları: Bu kayıplar dağıtım hattının kendi iç teçhizatlarında bulunan koruma ve ölçme ekipmanlarının yüke bağlı çalışırken meydana getirdikleri kayıplar olarak bilinmektedir. Teçhizatın iç dirençleriyle ve akımın karesiyle orantılı olarak değişiklik gösteren kayıplardır.

Gerilim trafolarının yüke bağımlı olarak meydana gelen kayıpları ihmal edilebilecek seviyede düşüktür [30]. Akım trafolarının yüke bağlı çalışma kayıplarında ise ikinci sargılarına bağlanacak koruma veya ölçüm cihazının toplam gücüyle cihazların bağlantısında kullanılan iletkenler üzerinde oluşan kayıp gücün toplamaları belirlemektedir. Bu bakımdan akım trafosunun nominal güç seçimi bir tasarım problemidir. Akım trafolarının yüke bağlı çalışma güçlerini anma güçleri belirlemektedir. Standartlarda akım trafoları 2.5 – 5.0 – 10 – 15 ve 30 VA olarak farklı tiplerde üretilmektedirler [25].

Tüm enerji sistemlerinde, devre elemanlarında olduğu gibi koruma ve açma-kapama ekipmanlarında da iç dirençlerine bağlı ısı kayıpları oluşmaktadır. Bakım sıklığı, ortam ısısı, açma-kapama sıklığı vb. gibi sistem koşullarına bağlı olarak en aza indirilmektedir. ABB'nin yaptığı araştırmada bir üreticinin farklı tip ve akımlardaki alçak gerilim şalterlerinin normal işletme koşullarındaki güç kayıplarını göstermektedir. Devrelerde her ek ve bağlantı noktası üzerindeki akım fazladan direnç oluşumuna ve bunun sonucunda güç kaybına sebep olmaktadır. Bu noktalardaki dirençler kabloların temasıyla ters orantılı olup devreye bağlantı şekillerine göre değişken şalter güç kayıpları da bu durumu ortaya koymaktadır[50].

2.1.3. Enerji dağıtım hatlarındaki teknik olmayan kayıplar

Enerji iletim sistemlerinden dağıtım sistemlerine ulaştıktan sonra maliyeti tahsil edilmeyen her birim enerji dağıtım şirketleri için kayıp anlamına gelmektedir. Teknik kayıplar Bazı ihmal ve kabuller neticesinde hesaplanabilmektedir. Bunların dışında kalan tüm kayıplar teknik olmayan kayıplar olarak ifade edilir. Ölçülemeyen, dış etkiler sebebiyle ortaya çıkan ve net olarak hesaplanma ihtimali olmayan ancak tahmin edilebilen kayıplara teknik olmayan kayıplar denir [34].

$$E_K = E_{TK} + E_{TOK} \quad (12)$$

Burada;

- E_K : Kayıp enerji
- E_{TK} : Teknik enerji kaybı
- E_{TOK} : Teknik olmayan enerji kaybı

Dünya bankası kayıtlarında 2004-2011 yılları arasındaki verilere göre ülkemiz iletim ve dağıtım hatlarında yıllık ortalama %14.43 kayıp oranına sahiptir. Nüfus ve yüzölçümü ile benzerlik gösteren ve gelişmiş bir ülke olarak kabul edilen Fransa'da %5.79 kayıp oranına sahiptir [35], [36]. Bu tahminler doğrultusunda gelişmişlik seviyesi hesaba katılırken Fransa'nın teknik kayıplar bakımından ülkemizden %1-2 puan daha iyi olduğu ve diğer yandan teknik olmayan kayıpları da sıfırladığı vurgulanmaktadır. EPDK'nın enerji

dağıtım sistemleri için belirlediği yaklaşık %7-8'lik oran teknik kayıp oran tahmininde destekler şekildedir [37].

Şebekelerde meydana gelen teknik olmayan kayıplar, hatalı ölçümler, kaçak enerji kullanımı ve idari kayıplardan oluşmakta olup enerji dağıtım şirketlerinin çalışmaları neticesinde teorik bakımdan sıfırlanabilmektedir. Ancak uygulamada farklı sorun ve engeller sebebiyle bu mümkün olamamaktadır. 1980'li yıllardan itibaren kullanılmaya başlanan 'Tavan Fiyat Düzenlemesi' yöntemiyle dağıtım şirketlerinin performanslarını arttırmayı hedeflenmiştir [23].

Çizelge 5'deki verilen hedeflere bakıldığında 2011-2012-2013-2014-2015 yılları için ortalama olarak belirlenen hedef kayıp-kaçak oranları sırasıyla % 15, % 13, %12, % 11 ve % 10 olarak belirlenmiştir. Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD) üyesi 34 ülkede ise ortalama elektrik kayıp kaçak oranı 2016 yılı itibarıyla %6,65 olup Ülkemiz bu sıralamada sonuncudur. En az kayıp kaçak oranına sahip ülkeler sırasıyla İzlanda, Slovakya, Güney Kore, Finlandiya ve Almanya takip etmektedir.

Dağıtım şirketlerine teşviklerin devam ettirilip hedef oranların düşürülmesi, tüketicilerin üzerindeki enerjiyi tüketmeyip maliyetlerini ödedikleri enerjinin yükünü hafifletme eğiliminde olacaktır. Burada kayıp kaçak oranları teknik ve teknik olmayan kayıpları içermektedir, bölgesel değişimler gösteren hedeflerin oranlarına bakıldığında ülkemizdeki bazı dağıtım şirketlerinin öncelikli olarak teknik olmayan kayıpların üzerine daha çok eğilmeleri gerektiği anlaşılmaktadır.

Çizelge 5. Ülkemizde bazı dağıtım şirketlerinin kayıp kaçak oranları (%)

Dağıtım Şirketi	GERÇEKLEŞEN KAYIP ORANLARI			HEDEF KAYIP ORANLARI	HEDEF-GERÇEKLEŞEN KAYIP ORANI FARKI
	2017	2018	2017-2018 Değişim	2018	2018
DİCLE	64,82	54,94	9,88	69,2	14,26
VANGÖLÜ	53,3	49,16	4,14	57,27	8,11
ARAS	24,55	23,55	1	25,65	2,10
TOROSLAR	11,35	11,85	-0,5	12,34	0,49
FIRAT	10,95	10,32	0,63	10,47	0,15
ÇORUH	8,11	7,85	0,26	9,02	1,17
YEŞİLİRMAK	7,43	7,63	-0,2	8,06	0,43
GDZ	7,25	6,63	0,62	7,84	1,21
OSMANGAZİ	6,97	6,41	0,56	7,55	1,14
BOĞAZIÇI	6,74	6,04	0,7	7,98	1,94
AKDENİZ	6,67	5,78	0,89	7,63	1,85
ÇAMLİBEL	6,59	5,08	1,51	7,55	2,47
SAKARYA	6,41	6,52	-0,11	7,34	0,82
İST.AND.YAK.	6,1	6,04	0,06	7,5	1,46
BAŞKENT	6,05	6,11	-0,06	7,64	1,53
KAYSERİVECİVARI	6,03	6,57	-0,54	7	0,43
MERAM	5,77	6,69	-0,92	7,66	0,97
AKEDAŞ	5,48	7,28	-1,8	7,2	-0,08
ADM	5,26	5,53	-0,27	7,15	1,62
TRAKYA	5,09	4,37	0,72	7,12	2,75
ULUDAĞ	4,14	4,2	-0,06	7,2	3,00

2.1.3.1. Usulsüz elektrik kullanımı

Enerjinin kaçak kullanımı, tüketicilerin elektrik sayaçlarının kaydetmediği kullanımlar olarak ifade edilir. Tüketicilerin kullandıkları sayaçları hatalı ölçüm yapmasını sağlaması, devre dışı bırakması ya da dağıtım hatlarına izinsiz bağlanması şeklinde görülmektedir. Gerilim seviyesi sebebiyle dağıtım sistemlerine izinsiz bağlanması ve sayaçlara müdahale edilebilmesi daha kolay olduğundan kaçak kullanımlar genel itibarıyla AG seviyelerinde olmaktadır. Burada kaçak enerji kullanımının oranı düşük olduğunda ülkenin gelişmişlik düzeyinin de yüksek olduğunun göstergesidir. Bu bağlamda ülkemizdeki dağıtım bölgeleri incelendiğinde eğitim seviyesinin düşük, sanayileşmenin az olduğu bölgelerde kayıp kaçak oranının fazla olduğu anlaşılmaktadır.

2.1.3.2. Ölçme hataları

Ölçme hatalarındaki kayıplar; uygun ekipmanın seçilmemesi, arıza tespitindeki gecikmeler, kurulumun gecikmesi nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Diğer yandan bu cihazlarda meydana gelen hataların nedeni kaçak kullanma girişimi de olabilir.

2.1.3.3. Dağıtım şirketi hataları

Bu kayıplar dağıtım şirketlerinin hatalı ve/veya eksik uygulamaları sebebiyle meydana gelen kayıplardır. Ölçme katsayılarındaki uygunsuzluk, tüketici sözleşmelerindeki bilgilerin yetersizliği, ödenmeyen faturalar, faturalandırılmamış tüketimler ve bunların takibi konusundaki yetersizlikler idari kayıplar olarak ifade edilirler.

3. MATERYAL VE METOT

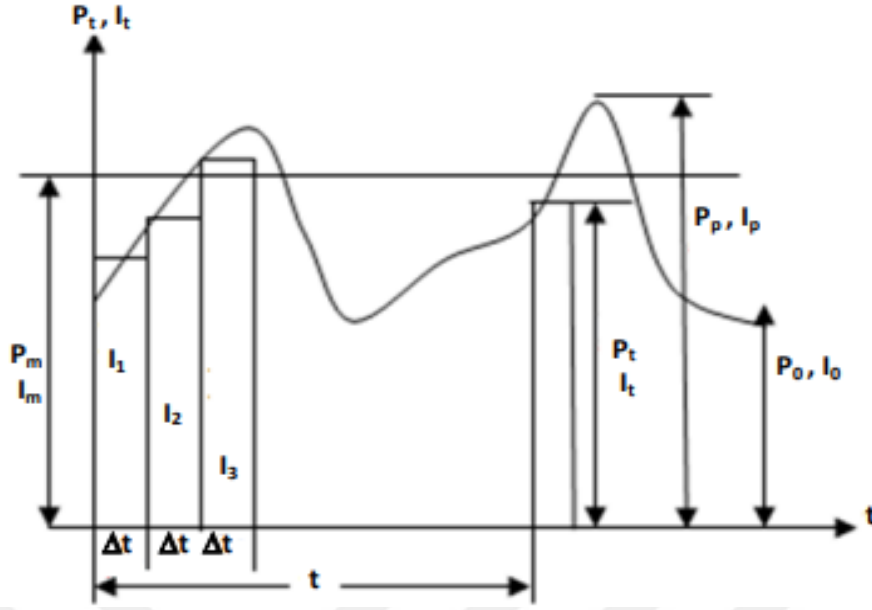
3.1. Enerji Dağıtım Hatlarındaki Kayıpların Hesaplanması

3.1.1. Genel bilgiler

Gelişen teknolojiyle birlikte enerji ihtiyacının artması, sıklıkla tercih edilen fosil kaynakların rezerv olarak gittikçe azalması, enerji sektörünü üretim, iletim, dağıtım, tüketim, yönetim ve maliyet konularında yeni çalışmalar yapmaya zorlamaktadır. Yapılan çalışmalardan biriside üretilen enerjinin tüketiciye ulaştırılırken en az maliyet ve kayıpla yapılmasını sağlamayı amaçlayan en uygun güç akışı çalışmalarıdır. Bu çalışmanın özünde hatlarda meydana gelen tüm kayıpların bilinmesi ve/veya hesaplanması gerekmektedir. Bu bakımdan konuyla ilgili olarak Yük Kayıp Faktörü (YKF) ve Yüklenme Faktörü (YF) olmak üzere iki ana kavramdan bahsedilebilir. Bakıldığında bu kavramlar literatürde yapılan pek çok pratik ve teorik çalışmada kullanılmıştır [4]. Bu sebeple öncelikle bu iki kavramdan detaylı olarak bahsedilecektir.

3.1.2. Yüklenme faktörü

Sabit gerilim seviyesinde tüketicilere verilen gücün ani değeri her an hattın üzerinden geçen şebeke akımıyla orantılı şekildedir. Yüke bağımlı kayıpların hesaplanması amacıyla bir başlangıç belirlenerek Şekil 4’de verilen yük eğrisi yüksekliği I_t ve genişliği d_t olan sonsuz birimde kısmi bölümlere ayrılmaktadır. Buradaki kısmi bölümleri yükseklik değerlerine göre büyükten küçüğe doğru sıraladığımızda meydana gelen yük eğrisi yerine sürekli olarak azalan bir eğri elde edilmektedir. Bu eğriye araştırmalarda ‘tertiplenmiş yük eğrisi’ adı verilmektedir. Hattın sonuna yerleştirilen bir wattmetreyle ölçülerek oluşturulan ve Şekil 4’de verilen $P_t = f(t)$ yük eğrisi, hat boyunca taşınan güç değerinin zamana bağımlı olarak değişimini göstermektedir. Ayrıca eğri, akımın zamana göre değişimini $I_t = f(t)$ için de geçerli bir ölçümü göstermektedir. Bu bağlamda güç ile akım aynı oranda değişmektedir.



Şekil 4. Alternatif akıma göre yük eğrisi

Burada görünür güç değerinden hareketle akım ve aktif güç değerleri aşağıdaki denklemlerle hesaplanabilir:

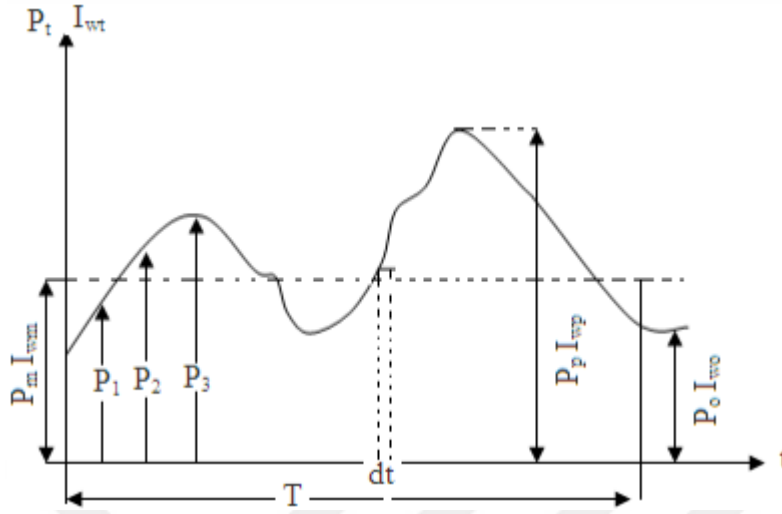
$$I_t = \frac{S_t \cdot 10^{-3}}{U} (A) \quad (13)$$

$$P_t = S_t \cdot \cos \theta (kW) \quad (14)$$

Şekil 5'de yük eğrisine ait bir T zaman aralığını gösterilmektedir. Gerilim sabit kabul edildiği takdirde tüketiciye verilen aktif güç P_t 'nin ani değeri, aynı anda aktif akım I_{wt} ile orantılıdır. Burada $I_{wt} = I(f)$;

$$I_{wt} = \frac{P_t \cdot 10^3}{U} = I_t \cdot \cos \theta \quad (15)$$

Bu nedenle Şekil 5 aynı zamanda aktif akımın zamana bağlı değişimini de göstermektedir.



Şekil 5. Aktif yükün yüklenme eğrisi

T süresinin bitiminde tüketiciye iletilen aktif güç hattın sonuna bağlanan wattmetreye ölçülmektedir. Bu güç $P_t = f(t)$ aktif yükün yüklenme eğrisinin T süresinin sonuna denk gelen bölümünün apsisi eksenine oluşturduğu alanda bir ölçek oluşturmaktadır.

$$W = \int_{t=0}^{t=T} P_t dt = P_o T \text{ (kWh)} \quad (16)$$

Bu eşitlikte P_o değeri, T süresince iletilen ortalama aktif güç değeridir. Bu durum aşağıda ifade edilmiştir;

$$P_o = \frac{W}{T} \quad (17)$$

Gerilim değerinin sabit durumu halinde ortalama aktif akım ve I_{wt} ile orantılı ortalama aktif güç, Şekil 5'de çizgi-nokta biçiminde yatay çizgi ile gösterilmiştir. YF, AA ile çalışan hatlarda ortalama gücün (P_o), maksimum güce (P_m) oranı olarak ifade edilmektedir. Bu anlamda sadece yüke ait aktif bileşenlerle elde edilen YF oranına aktif yüke ait YF adı verilmektedir. YF;

$$YF = \frac{P_o}{P_m} = \frac{W}{P_m T} \quad (18)$$

Aktif YF'yi tespit etmek için incelenen hattın maksimum göstergeli bir sayacı bulunuyorsa, W değeri ve aktif güce ait puant değeri de okunabilir. P ve I_w değerleri orantılı olduklarından aktif YF'nin bir diğer ifadesi;

$$YF = \frac{I_{w0}}{I_{wp}} \quad (19)$$

Burada;

I_{w0} : Ortalama aktif akım değeri

I_{wp} : Puant aktif akım

3.1.3. Yük kayıp faktörü

Şekil 5 ve $P_t = f(t)$ ifadesinden faydalanılarak kayıp integral eşitliği oluşturulabilir. I_{wt} ; t anında ölçülen aktif akım değeri ise, burada sonsuz küçük bir dt zamanında oluşan enerji kaybı [51];

$$dW = R.I_{wt}^2 dt \quad (20)$$

Bu denklemde R gidiş-dönüş hatlarına ait direnç değeridir. T zamanı boyunca integrali meydana getiren ve akımın aktif bileşeni sebebiyle hatlarda oluşan enerji kaybı;

$$W = R. \int_{t=0}^{t=T} I_{wt}^2 .dt \quad (Wh) \quad (21)$$

İşletme akımına ait aktif bileşenin neden olduğu enerji kaybıda;

$$W_{kw} = I_{wp}^2 .R.T \int_{x=0}^{x=1} y^2 dx \quad (Wh) \quad (22)$$

22 numaralı denklemin integral ifadesi YKF olarak gösterilirse;

$$YKF = \int_{x=0}^{x=1} y^2 dx \quad (23)$$

elde edilmiş olur. Burada YKF, aktif güç ifadesinin ‘enerji kayıp faktörü’dür. Bu durumda bir fazlı hatta oluşan akımın enerji kaybıda;

$$W_{kw} = I_{wp}^2 \cdot R \cdot T \cdot YKF \cdot 10^{-3} \text{ (kWh)} \quad (24)$$

Denklem 24’den YKF değeri aşağıdaki gibi elde edilir.

$$YKF = \frac{W_{kw}}{I_{wp}^2 \cdot R \cdot T} = \frac{R \cdot \int_0^T I_{wt}^2 dt}{I_{wp}^2 \cdot R \cdot T} \quad (25)$$

İşletme gerilimi (U) sabit kabul edildiği takdirde, aktif enerjinin YKF’si akım yerine aktif güçle belirtilebilir. Bu durumda YKF;

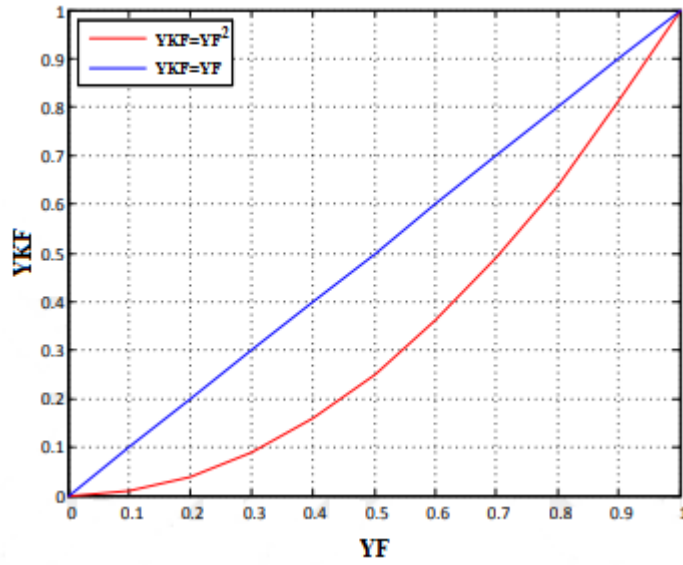
$$KF = \frac{\int_0^T P_t^2 dt}{P_m^2 \cdot T} \quad (26)$$

3.2. Dengeli Enerji Sistemlerinde Kayıpların Hesaplanması

Pek çok trafo, hat vb. gibi elemanların ayrı olarak ele alındığı devrelerde ve ayrıca uygun ölçüm cihazlarının bulunmadığı durumlarda YF değeri yaklaşık olarak tahmin edilmektedir. Bu durumlarda en küçük YF değeri olan YF_0 hiç bulunamaz veya hesaplanamaz. Bu bağlamda birçok şebekenin kayıp analizi hesaplarında yaklaşık hesaplar dikkate alınmaktadır. Bu gibi durumlarda YKF ’nin elde edilebilmesi için sadece YF ’nin kullanıldığı denklemler dikkate alınır. Çalışmalara bakıldığında YKF ’nin bulunması pek çok araştırmacının ilgi odağı olmuştur [52]. Bu kısımda literatürde en çok tercih edilen iki yöntemle değinilecektir.

3.2.1. Wolf yaklaşımı

Wolf [52], çeşitli yük kategorilerinde bulunan farklı yıllara şebekelerin işletme eğrilerini incelemiştir. İncelediği tüm yük eğrileri için elde ettiği YKF değerlerini ve buna bağlı olarak bulunan YF değerlerinin koordinat sistemine aktarmıştır. Belirlediği noktasal koordinatların ağırlık merkezini ele alarak Şekil 6'daki gibi yeteri kriterde bir hassasiyete sahip YF ve YKF eğrisini çizmiş ve bağıntısını elde etmiştir.



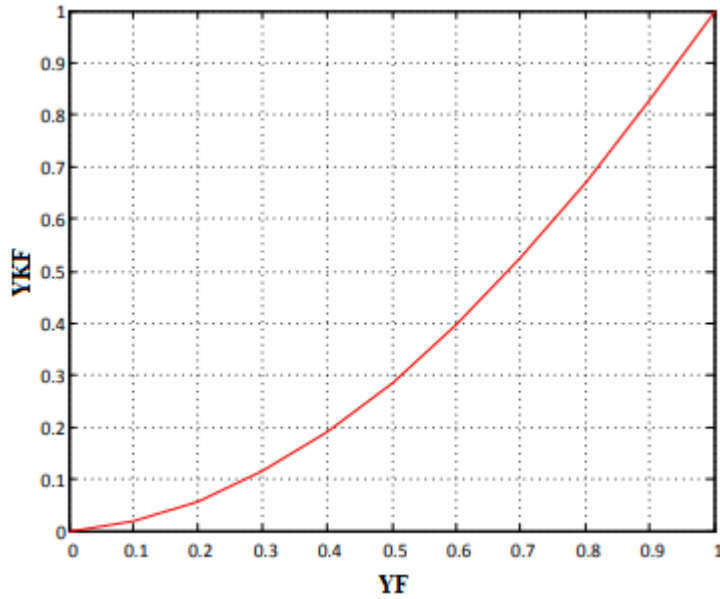
Şekil 6. YF ve YKF arasındaki ilişki [52]

Wolf'un yaptığı incelemelere göre Şekil 6; günlük, aylık ya da yıllık bazda yük eğrilerinin esas alınması durumunda kesinlikle bağımsız ve daima aynı $YKF=f(YF)$ eğrisi elde edilmektedir.

Bu durum sebebiyle yapılan incelemeler, farklı türden yük eğrileri ve zamanlama açısından geniş bir süreye sahip olması Wolf'un yaklaşımı aktif kayıp faktörü/YKF ifadesinin genel kabulü olarak ele alınmaktadır. Pratik anlamda yapılacak olan kayıp hesaplarında verilen YF için YKF'nin tespit edilmesi gerekir.

$$YKF = 0.083 * YF + 1.036 * YF^2 - 0.12 * YF^3 \quad (27)$$

Şekil 7 de bu değişim gösterilmiştir.



Şekil 7. Wolfe göre YKF'ye bağlı olarak YF'nin değişimi

3.2.2. Soschinski yaklaşımı

Langrehr tarafından ifade edilen eşitlikle benzerlik göstermektedir. Bu bağlamda eşitliği aynı temel üzerine oturtukları söylenebilir [53].

- Burada $YF_0 = YF^2$ eşitliğine denk gelen bu metotla aşağıdaki denklem elde edilmiş olur.

$$YKF = \frac{YF^2(2+YF^2)}{1+2YF} \quad (28)$$

- Burada $YF_0 = YF$ eşitliği, sadece yük sabit olduğunda ya da $P = f(t)$ yük eğrisinin durumu yatay bir doğru şeklindeyse mümkün olmaktadır. Bu durum aşağıdaki denklemde gösterilmiştir.

$$YKF = YF - \frac{(1-YF)(YF - YF^2)}{1+YF - 2YF} - YF^2 \quad (29)$$

YF ve YF_0 için kullanılan değerlerinde YKF 'nin YF ve YF_0 'a bağlı olduğu görülmektedir. YF 'nin sabit olması durumunda, YF_0 ifadesi ne kadar küçük ise YKF değeri

de o bağlamda büyük olacaktır. Bu bakımdan YKF değeri, YF ve YF_0 'ın farkına bağlı olarak artacaktır.

Yukarıdaki denklemlerde görüldüğü gibi YKF 'nin hesabı için sembolik senelik tertiplenmiş yük eğrisinin Soschinski tarafından geliştirilen eşitliği esas alınır. Bu bağlamda sembolik senelik tertiplenmiş yük eğrisiyle gerçek tertiplenmiş yük eğrisi kısmen üst ve alttan keser ve pratik olarak elde edilen gerçek tertiplenmiş yük eğrisi yerine kullanılabilir. Soschinski denkleminde belirtilen sürekli olarak değişebilen eğri gerçek yıllık tertiplenmiş yük eğrisinin tıpa tıp bir benzeri/kopyası değildir. Bu nedenle YKF için Soschinski tarafından önerilen denklem bize sadece yaklaşık çözümler üretmektedir [54].

3.3. Kayıpların Tahmin Edilmesi

Enerji dağıtım hatlarında oluşan enerji kayıplarının meydana getirdiği maddi problemleri azaltmak amacıyla kayıpların önceden tespit edilmesi ve iyileştirilmesi hem tüketiciler açısından hem de dağıtım şirketleri açısından çok önemlidir. Bu bağlamda kayıpların asgariye indirilmesi için öncelik tespit edilmesindedir. Şebekelerde bulunan yükün zamana bağlı olarak değişmesi nedeniyle enerji kayıplarını net olarak hesaplamak mümkün olamamaktadır. Farklı türde kayıp tahmin yöntemleriyle öncelik teknik kayıpların bulunması, ardından ise teknik olmayan kayıpların tahmin edilmesi ve kaynaklarının tespit edilmesi mümkündür. Teknik olmayan kayıp değerlerinin tespiti sağlandığında sıfırlama imkânı varken sıfırlanamayan kayıplar olan teknik kayıplar ise sadece tasarım sırasında hesaplanan seviyeler de tutulabilmektedir. Enerji dağıtım hatlarındaki kayıplar ne kadar azaltılmaya/sıfırlanmaya çalışılsa da bir enerji kaybının olacağı muhakkaktır.

Enerji dağıtım hatlarında teknik kayıpların hesaplanması talep güç üzerinden sabit olarak yapılabilir ancak şebekedeki yükün zamana bağlı olarak değişkenlik göstermesi yüke bağlı kayıpları da değişken hale getirmekte ve hesaplanmasını güçleştirmektedir [13]. Dağıtım sistemlerinde her noktada ölçüm almak, veri toplamak maliyet bakımından külfetli olduğundan anlık yük bilgilerinin tamamına erişilemez ve kayıplar genel anlamda tahmin edilir [55]. Burada teknik olmayan kayıplar, toplam enerji kaybından tahmin edilen teknik kayıpların çıkarılmasıyla elde edilmektedir.

3.3.1. Yük kayıp faktörü yöntemi

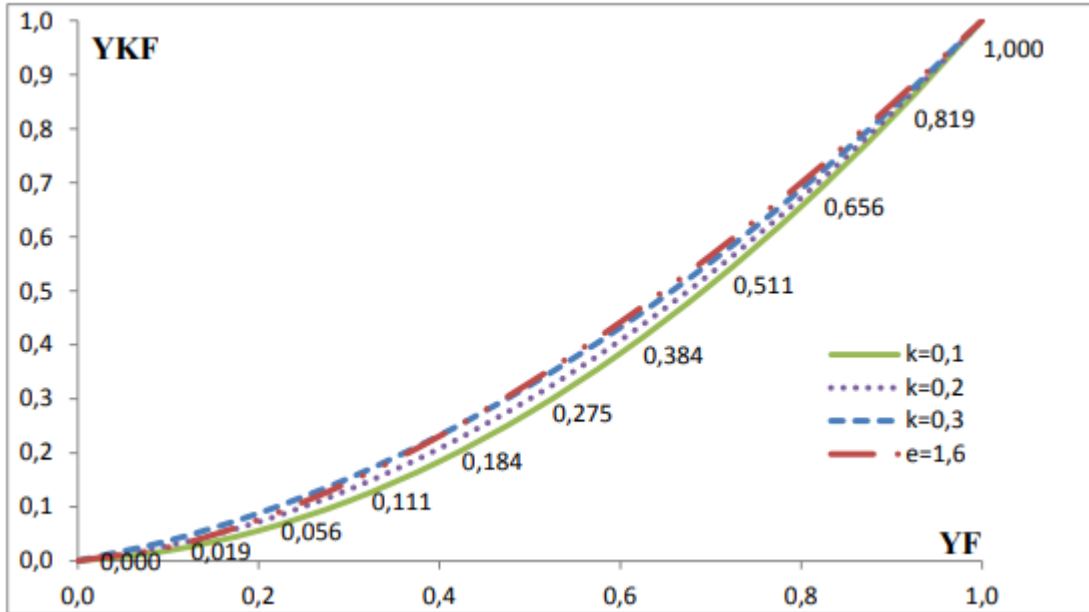
İki mühendis olan Buller ve Woodrow, 1928 yılında YKF ile YF arasında deneysel bir eşitlik geliştirmişlerdir (Denklem 30). Hoebel 1959 yılında aynı konunun üzerinde çalışmış ve üstel 1,6 katsayılı bir eşitlik ileri sürmüştür (Denklem 31). Gustafson ise 1988 yılında sabit katsayının $k=0,08$ ve üstel katsayının 1,912 olduğu bir eşitlik ile çalışmalarını revize etmiştir (Denklem 32) [15].

Bu çalışmalarda YKF ve YF arasındaki bağıntılar aşağıda sırasıyla verilmiş ve Şekil 8 ve 9'da gösterilmiştir.

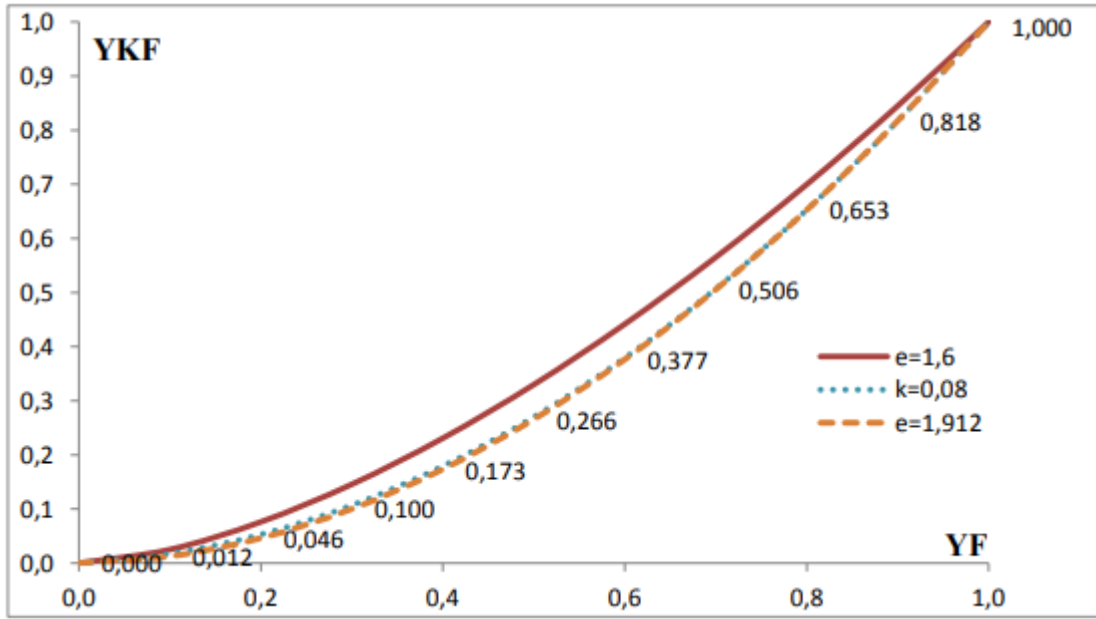
$$YKF = k * YF + (1 - k) * YF^2, k = 0.1, 0.2 \text{ ve } 0.1 \quad (30)$$

$$YKF = YF^e \quad e = 1.6 \quad (31)$$

$$YKF = k * YF + 0.92 * YF^2 \quad k = 0.08 \quad (32)$$



Şekil 8. YF ve YKF arasındaki ilişki [4].



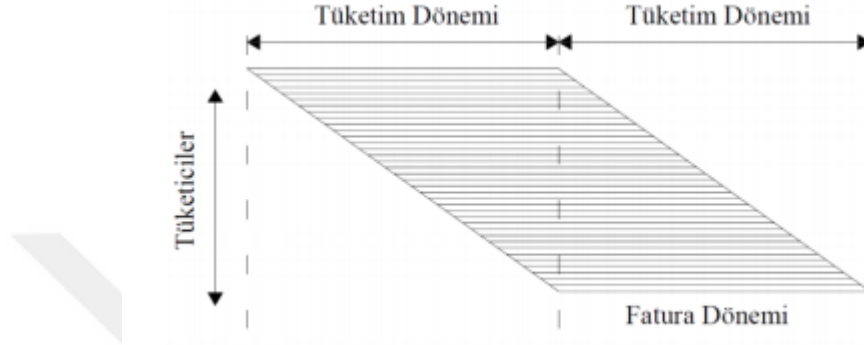
Şekil 9. YKF ve YF arasındaki ilişki [4]

$k=0,3$, $0,2$ ve $0,1$ katsayılarıyla YF ve YKF arasındaki grafiksel ifade Şekil 8'de, $k=0,08$ ve $e=1,6$, $1,912$ üstel katsayıları ile YF ve YKF arasındaki grafiksel ifade Şekil 9'da gösterilmiştir. Bu şekiller incelendiğinde k değerindeki artışın YKF değerinin arttırdığı, e üstel ifadesindeki artışın YKF değerinin azalttığı anlaşılmaktadır. Gerçekte sistemler farklı yük çeşitlerine sahip olduğundan farklı k sabit katsayısına sahiptirler. Burada $e=1,912$ üstel sayısı gerçeğe en yakın sonuçlar üretmesine rağmen her sistemin kendi katsayılarının hesaplanması en doğru yoldur [55]. Kayıp değeri, yük akımının karesinin bir bağıntısı olduğundan yük eğrisi belli olan her sistemin k katsayı sabiti hesaplanabilir [56]. Bu yöntemlerin en önemli üstünlüğü basitliğidir. Bu bağlamda hızlı ve kolay bir şekilde kayıpların hesaplanması için az bir veri yeterlidir. Uzun vadeli bir çalışma yapmak için uygundur. YKF doğru bir şekilde belirlendiği sürece doğruya yakın tahmin sonuçları vermektedir [13].

3.3.2. Ölçüm geçmişi yöntemi

Bu yöntemle enerjideki kayıplar belli dönemde şebekedeki enerjiden şebekeden çıkan enerjinin farkı alınarak hesaplanmaktadır. Enerji çıkışları tüketicilere satılan ve kamusal hizmetin kullanımına sunulan güçleri içermektedir. Enerji girişiyse, ithal edilen ve üretilen enerji miktarından oluşmaktadır. Burada tüketicilere verilen enerjinin hesap

edilmesi oldukça zordur ancak ithal-ihraç edilen ve üretilen enerjinin takibi ve ölçümü kolaydır. Eğer sistemde uzaktan okuma yapabilen otomatik sayaç düzeni/sistemi yoksa bireysel kullanıcılara verilen enerjinin tamamının aynı anda ölçülüp fatura edilmesi mümkün değildir. Bu bağlamda sistemden çıkan enerjinin kullanıcı tarafında kaydedilme işlemi ancak bir sonraki dönemde olmaktadır (Şekil 10) [13].



Şekil 10. Enerji tüketimi ve fatura uyumsuzluğu

Bu yöntemde detaylı bir ön çalışmayla fatura dönemi ve tüketim uyumsuzluğu giderilerek enerji kayıpları hesaplanabilir. Sistemin verilerine detaylı olarak ulaşılamadığı durumlarda kayıp hesapları için çok hızlı bir yöntemdir. Diğer yandan değişken ve sabit olan kayıpların ayırımı net olarak yapılamadığından ileriye dönük yapılan çalışmalarda elverişsizdir [13].

3.3.3. Yük akışı yöntemi

Yük akış yöntemiyle enerji kayıpları, sistemdeki talep kayıplarının periyot boyunca toplanması ile elde edilmektedir. Güç kayıpları hesap edilirken farklı yük akış yöntemleri kullanılabilir. Sun ve ark. 1980 yılında [57] yük akışı sistemine yük eğrilerini entegre eden bir yöntem geliştirmişlerdir. Dağıtım sistemlerinin dengesiz olması sebebiyle üç fazlı yük akış sistemi kullanılmış ve burada hesapları basit hale dönüştürmek amacıyla yük eğrisini ayırık zamana indirgemişlerdir.

EPRI ise 1990 yılında yaklaşık olarak enerji kayıplarını hesaplamak amacıyla talepteki kayıplarla birlikte yükün süre eğrisinin birlikte kullanıldığı yük akış tabanlı bir metot geliştirmiştir. EPRI'nin yaptığı çalışmanın sonuçlarına göre, yük ve kayıp ilişkisini

tanımlamak amacıyla doğruluğu kabul edilen bir ikinci dereceden denklem elde etmiştir. Bu yöntemde kayıp sonuçlarından elde edilen hata oranı, yükün süre eğrisinde her noktasındaki talep kaybı hesaplarıyla karşılaştırıldığında diğerinden %10 oranında daha az hesaplanmaktadır [16].

Buradaki enerji kaybı tahmini yöntemi doğruluğu, kullanılacak olan yük akış yöntemine bağlı olarak değişen talep kayıplarıyla birlikte en detaylı ve doğru sonuçları vermektedir. Şebeke planlamasında kullanımı oldukça kolay ve açıktır. Diğer yandan ihtiyaç hissedilen verilerin çokluğu ve işlemlerdeki sürenin uzunluğu bu yöntemin en temel sakıncasıdır [13].

Dağıtım sistemindeki değişken yük durumları için teknik kayıpların tahmininde yukarıda ifade edilen üç yöntem dikkate alındığında, bu çalışma için en uygun olacak şekilde kayıpları kolayca, en kısa sürede ve kabul edilebilir düzeyde doğrulukla sağlayabilen *YKF* yöntemi kullanılmıştır. *YKF* yöntemiyle örnek bir şebekenin kayıplarının tahmin edilmesi veya hesaplanması bir sonraki bölümde detaylı olarak ele alınmıştır. Yukarıda bahse konu olan yöntemlerin karşılaştırması Çizelge 6’da verilmiştir [4].

Çizelge 6. Tahmin yöntemlerinin karşılaştırılması

Kriter	YKF	Ölçüm Geçmişi	Yük Akışı
Sabit ve Değişken Kayıp Hesabı	Değişken Kayıp	Toplam Kayıp	Değişken Kayıp Sabit Kayıp
Toplam ve Bileşen Kayıp Hesabı	Toplam Kayıp Bileşen Kaybı	Toplam Kayıp	Toplam Kayıp Bileşen Kaybı
Değişken Yük Kayıplarının Hesabı	Değişken Hesaplanır	Değişken Hesaplanır	Değişken Hesaplanır
Sistemin Yeni Yapısındaki Kayıp Hesabı	Hesaplanır (YKF ile)	Hayır	Hesaplanır (Yük Akışı ile)
Veri Hazırlama Zamanı	Çok Hızlı	Orta	Uzun (Yönteme Bağlı)
İşlem Süresi	Çok Hızlı	Çok Hızlı	Uzun (Yönteme Bağlı)
Dağıtım Sistemlerindeki Hesap Doğruluğu	Orta	Orta	Çok İyi

3.3.4. YKF ile örnek bir dağıtım şebekenin kayıplarının hesaplanması

Belirli bir zaman aralığındaki ortalama yük değerinin, MY değerine oranı bize YF 'yi vermektedir (Denklem 33) [58].

$$YF = \frac{\left(\sum_{n=1}^T Y_n \right) / T}{MY} \quad (33)$$

Burada;

Y : Yük

MY : Maksimum Yük

Belirli bir zaman aralığında meydana gelen ortalama güç kaybının aynı zaman aralığındaki MY ile gerçekleşecek güç kaybına oranı ise YKF 'dir (Denklem 34) [58].

$$YKF = \frac{\left(\sum_{n=1}^T K_n \right) / T}{MK} \quad (34)$$

Burada;

K : Kayıp

MK : Maksimum Kayıp

Akıma bağlı olan kayıplar, yük akımı değerinin karesinin bir fonksiyonudur. Kayıpların oranları alındığında tek değişken olarak akım kalacağından yük değerlerinin karelerinin oranı bize kayıpların oranını verecektir. Burada kayıplar yükün karesi şeklinde yazıldığında Denklem 35 elde edilecektir [58].

$$YKF = \frac{\left(\sum_{n=1}^T Y_n^2 \right) / T}{Y_M^2} \quad (35)$$

Trafo ve kablo kayıplarının YKF ile hesabı Denkleme 36 ve 37 de sırasıyla verilmiştir [56].

$$E_{TRF} = \left\{ \left[m_{TRF}^2 * P_k * YKF \right] + P_0 \right\} * T \quad (kWh)$$

$$m_{TRF} = \frac{S_{TRF_M}}{S_r} \quad (36)$$

$$E_K = \left(I_{MY}^2 * R * L * YKF \right) * T \quad (kWh) \quad (37)$$

Burada;

I_{MY}	: Maksimum yük akımı (A)
R	: Kablonun direnci (Ω/km)
L	: Kablonun uzunluğu (km)
T	: Periyot (saat)
P_0	: Trafonun boşa çalışma kaybı (kW)
P_k	: Trafonun yükte çalışma kaybı (kW)
m_{TRF}	: Trafonun yüklenme oranı
S_{TRF_M}	: Trafodan çekilen maksimum güç (kVA)
S_r	: Trafonun anma gücü (kVA)

3.4. Yapay Sinir Ağları

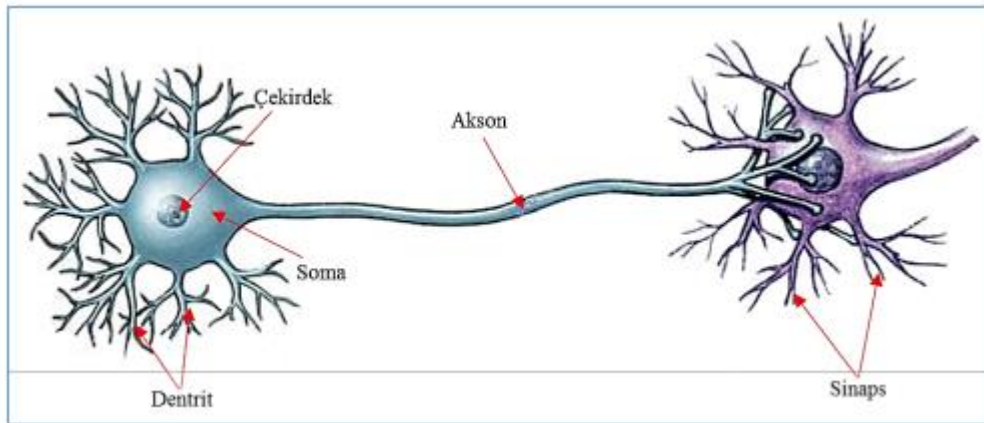
İnsanoğlu, doğduğunda belirli bir zekâ düzeyinde bulunmaktadır. Zekâ kavramı; eğitim, deneyim, eğitim ve beceriyle geliştirilebilmektedir. Aniden gelişen ya da ilk defa karşılaşılan olaylarla, anlama, analiz etme, düşünme, kavrama yeteneğiyle zekâ gerçekleştirilmek/geliştirilmektedir. Bu bağlamda zekâ, farklı yazılım programlarıyla bilgisayarlarda taklit edilmektedir. Taklit edilebilen bu zekâ kavramına ‘Yapay Zekâ’ denilmektedir [59]. İnsanlığın hareketlerini taklit etmek için gerçekleştirilen yapay zekânın bir çeşidi olarak Yapay Sinir Ağları (YSA) son dönemlerde sıklıkla kullanılmaktadır. Özellikle son yıllardaki teknolojik gelişmelerle birlikte pek çok uygulama ve araştırma alanı bulmaktadır [60], [61] [62]. Son yıllarda YSA; bilgisayar, elektrik, matematik gibi pek çok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Bu bağlamda bakıldığında, mühendislik

alanında tercih edilmesinin en önemli sebebi, geleneksel tekniklerle çözülmesi güç olan problemlere çok hızlı bir çözüm yolu bulmasıdır [62], [63].

3.4.1. Genel bilgiler

YSA, farklı örnekleri bulunan uygulamaları kullanarak öğrenmesi sağlanabilen, meydana gelen anlık olaylar durumunda nasıl tepki/karar verebileceğini belirleyebilen bilgisayar programlarıdır. YSA; sınıflandırma, öğrenme, genelleme, ilişkilendirme, gibi pek çok konuda kendisine verilen örneklerden elde ettikleri sonuçlara bakarak benzer durumlara benzer cevaplar verebilmektedir [64]. YSA'nın en temel görevi teknik açıdan incelenirse, gerçekleşen olaylarla ilgili örnekleri kendisine öğretilen ya da verilen bilgilere karşılık gelen bir çıktı seti meydana getirdiği görülmektedir [64] [65]. Günümüzde YSA pek çok probleme çözüm üretmektedir. Yapı itibarıyla YSA, birbirine paralel bağlı ve düzenli olarak çalışabilen yapay sinir hücrelerinden meydana gelmektedir. Bulunan bu hücrelerin birbirlerine bağlantılı olduğu ve her bir hücrenin bir değerinin bulunduğu olduğu kabul edilmektedir. Bu bağlamda hücrelerin birbirleriyle bağlanması sonucunda oluşan ağa da, 'YSA' denilmektedir. Bu ağın oluşturulmasında biyolojik olarak sinir sistemi yapısının bilinmesi gerekmektedir [66], [67], [68].

Diğer bir ifadeyle YSA, insanın beyin fonksiyonlarını biyolojik sinir ağlarını kullanarak taklit eden bilgisayar programıdır. Şekil 11'de bir biyolojik sinir hücresi ve bileşenleri gösterilmiştir [62], [69].



Şekil 11. Biyolojik sinir hücresinin yapısı [63]

Şekil 11 incelendiğinde,

- Dendrit yapısı, gelen sinyalleri çekirdeğe iletmektedir.
- Çekirdek ise dendritten gelen bu sinyalleri toplayarak aksona iletmektedir.
- Toplanan tüm sinyaller, aksonda işlenerek sinapslara gönderilir.
- Sinapslarda, burada üretilen yeni sinyalleri diğer sinir hücrelerine iletmektedir.

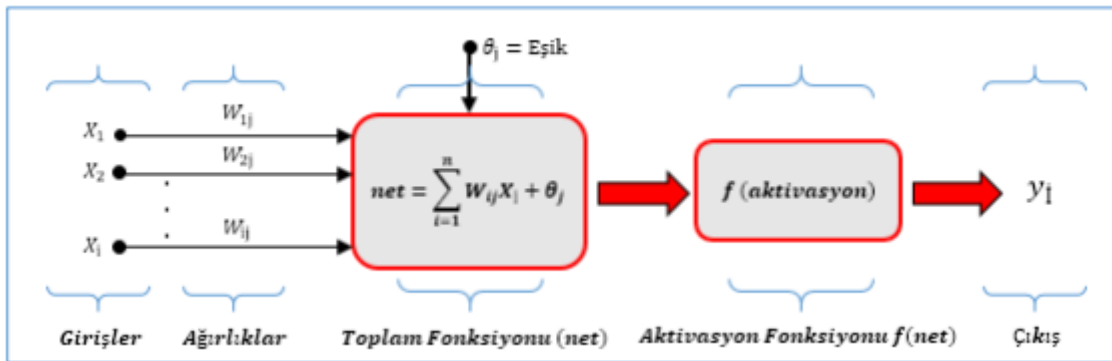
Sinir hücresinin biyolojik yapısında bulunan tüm bu bileşenlerin YSA'da ne anlam ifade ettiği Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 7. Biyolojik sinir hücresi ve YSA karşılığı [63]

Biyolojik Sinir Hücresi	Yapay Sinir Hücresi
Akson	Çıktı
Dendrit	Toplama Fonksiyonu
Çekirdek	Aktivasyon Fonksiyonu
Sinaps	Ağırlıklar

3.4.2. YSA'nın yapısı

YSA'nın ana temeli, yapay bir sinirden oluşmaktadır. Bu sinir hücresi düğüm veya işlem elemanı olarak ifade edilmektedir. Bir yapay sinirin, biyolojik açıdan bir sinire göre yapısı daha basittir. Ayrıca bu sinir, biyolojik sinirlerle gerçekleşen dört temel görevi taklit ederek işlem yapmaktadırlar. Şekil 33'de yapay bir sinir hücresi gösterilmektedir [68].



Şekil 12. YSA'nın yapısı [63]

Şekil 12'den hareketle YSA'nın tüm çeşitlerinin türetildiği görülmektedir. Yapısal bakımdan ortaya çıkan farklılıkla, farklı YSA sınıflandırmasını ortaya çıkarmaktadır. YSA programının öğrenme yeteneği, belirlenen ağırlıklara ve öğrenme yöntemine bağlıdır [70], [71]. Şekil 12 incelendiğinde;

- Giriş: X ile gösterilen giriş verileri, dışarıdan gelen bilgiyi veya diğer bir hücreden gelen bilgiyi göstermektedir [67], [65].
- Ağırlıklar: W ile gösterilmekte ve hücreler arasında bulunan bağlantıların sayısal değerlerini belirtmektedir. Bu bağlamda W_j ağırlığının X_j hücresi üzerindeki etkisini gösterir [59].
- Toplam Fonksiyonu: *net* olarak bilinen bu fonksiyon, hücreye ulaşan girdi değerlerini ağırlık değerleriyle çarpıp toplayarak o hücreye ait net girdinin hesaplanmasını sağlamaktadır. Farklı türlerde fonksiyon bulunmaktadır. *net* fonksiyonun genel ifadesi [59];

$$net = \sum_{i=1}^n I_i W_i + \theta_j \quad (38)$$

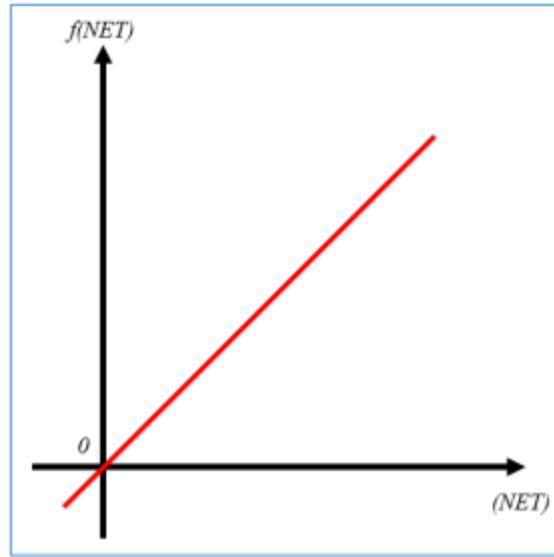
Burada,

- I : Girişler (X_1, X_2, \dots, X_i),
- W : Ağırlıklar ($W_{1j}, W_{2j}, \dots, W_{ij}$),
- θ : Eşik değerini (Sıfırdan farklı küçük bir değerdir),
- n : Bir hücreye gelen toplam girdi sayısı.

- $f(net)$ fonksiyonu, hücrelere gelen *net* girdi değerlerini işleyerek hücrelerin bu girdi değerlerine karşılık oluşturacağı çıktının belirlenmesini sağlamaktadır. Çıktının hesap edilmesinde farklı aktivasyon fonksiyonları kullanılmaktadır.

- Lineer Aktivasyon Fonksiyonu: Lineer bir problemin çözülmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bu ifade hücrenin *net* girdi değerinin doğrudan hücrenin çıkışına iletmektedir. Lineer aktivasyon fonksiyonu Denklem 39'da, grafiksel gösterimi ise Şekil 34'de verilmiştir [72].

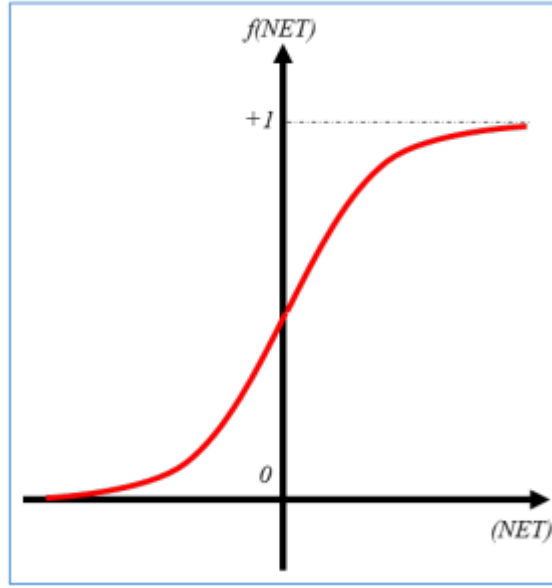
$$f(net) = net \quad (39)$$



Şekil 13. Lineer aktivasyon fonksiyonu

- Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu: Lineer olmayan problemleri çözmek amacıyla kullanılmakta ve son yıllarda sıklıkla tercih edilen aktivasyon fonksiyonu olarak görülmektedir. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu Denklem 40'da, grafiksel gösterimi ise Şekil 14'de verilmiştir [72].

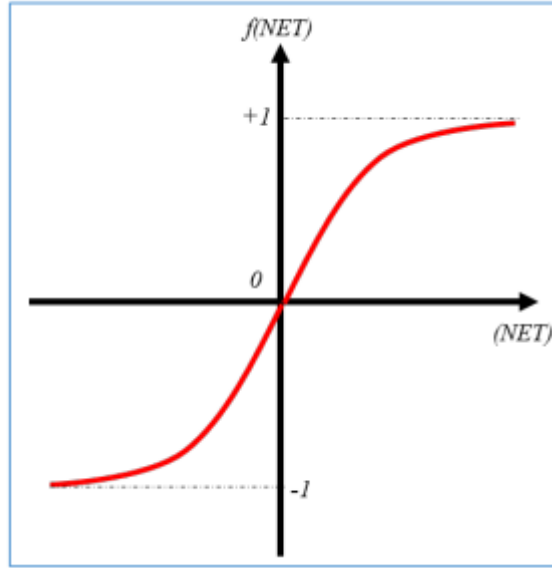
$$f(net) = \frac{1}{1 + e^{-net}} \quad (40)$$



Şekil 14. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu

- Tanjant Hiperbolik Aktivasyon Fonksiyonu: Lineer olmayan problemleri çözmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu fonksiyon hücreye gelen net girdi değerinin \tanh aktivasyon fonksiyonundan geçirek hesaplamaktadır. \tanh aktivasyon fonksiyonu Denklem 41'de, grafiksel gösterimi ise Şekil 35'de verilmiştir [72].

$$f(net) = \tanh(net) = \frac{e^{net} + e^{-net}}{e^{net} - e^{-net}} \quad (41)$$



Şekil 15. Tanh aktivasyon fonksiyonu

- Hücrenin çıkış ifadesi aktivasyon fonksiyonları tarafından belirlenmektedir. Şekil 12’de bu değer ve y_i ile gösterilmektedir. Üretilen bu değer dışarıya ya da başka bir hücreye gönderilebilmektedir. Ayrıca hücre kendi çıkış değerinin yine kendisine giriş değeri olarak da gönderebilmektedir. Bu işlem YSA yapısına bağlı olarak değişmektedir [59], [64].

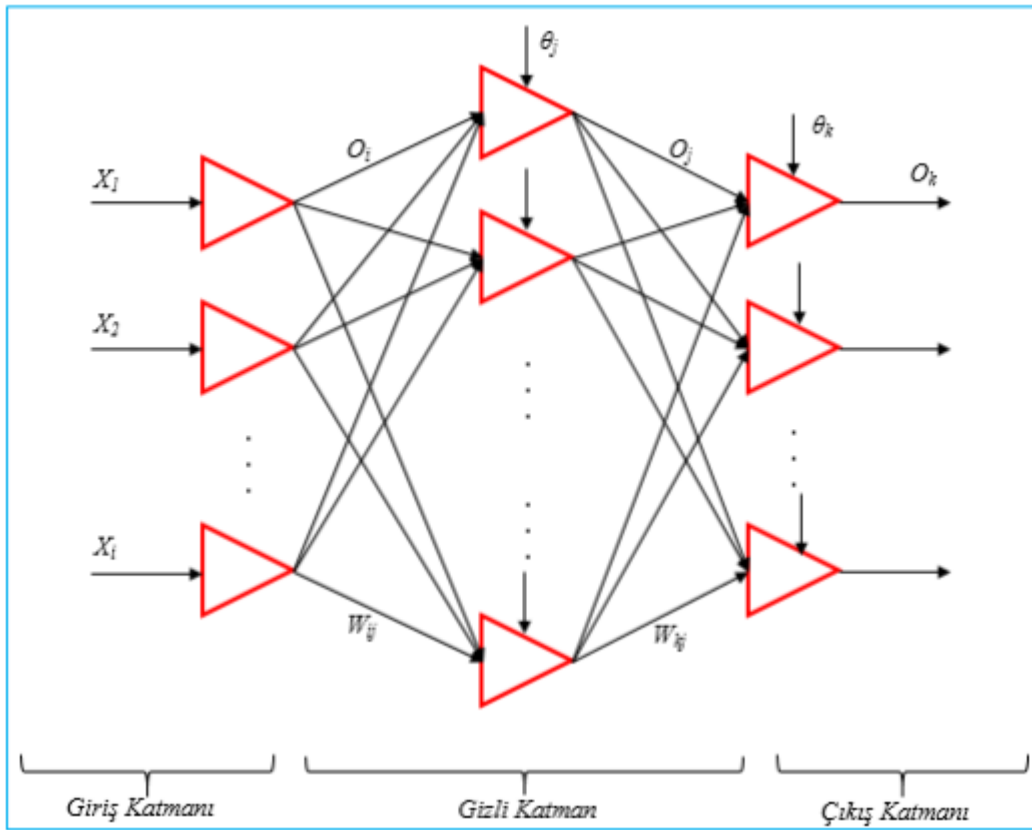
3.4.3. YSA’ların öğrenme yöntemleri

Son yıllardaki çalışmalar incelendiğinde birçok öğrenme algoritmasının kullanıldığına rastlamaktayız. Bunlar;

- Geri Yayılımlı Öğrenme Yöntemi,
- Esnek Yayılımlı Öğrenme Yöntemi,
- Delta Öğrenme Yöntemi,
- Geliştirilmiş Delta Öğrenme Yöntemi,
- Hızlı Yayılımlı Öğrenme Yöntemi,
- Levenberg-Marquardt Öğrenme Yöntemi,
- Eşleştirmeli Eğitim Yöntemi,
- Genetik Algoritma

Bu öğrenme yöntemlerinden Geri Yayılımlı Öğrenme Yöntemi (GYÖY) hatayı tekrar geri sisteme verdiğinden ve hatayı minimum düzeye indirdiğinden bu çalışmada tercih edilmiştir [59], [73].

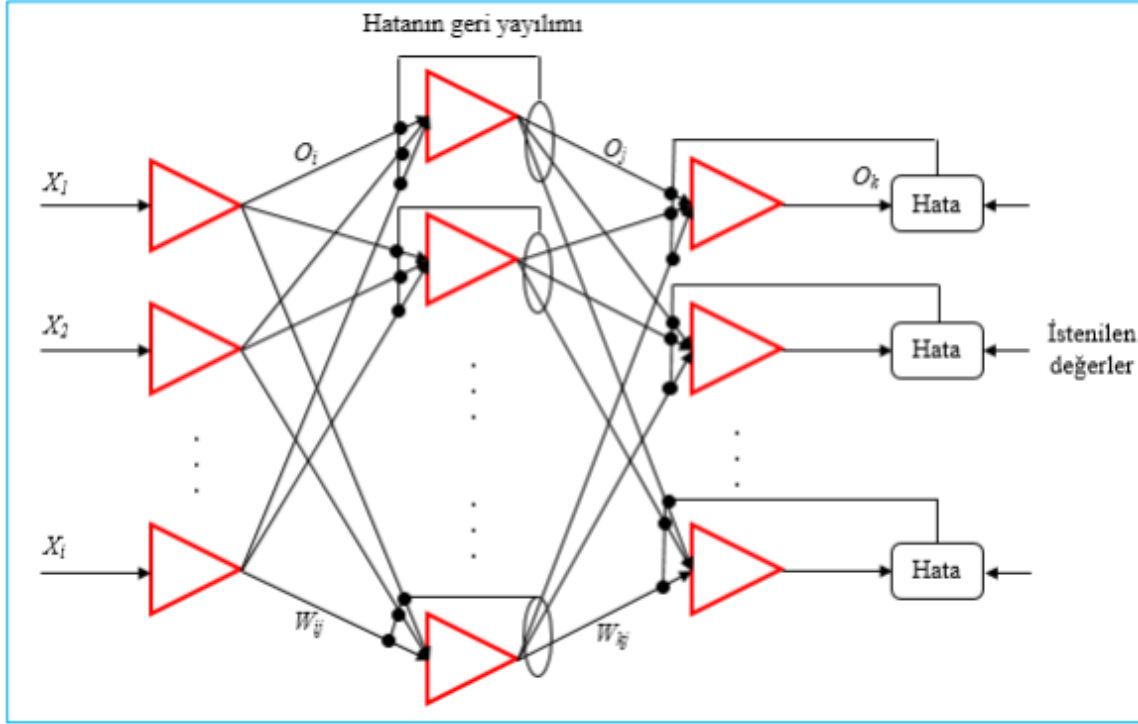
GYÖY; Toplamı en az 3 katmandan oluşan bir yapıya sahiptir. Bu yapıda Giriş, Çıkış ve en az bir adet Gizli katman bulunmaktadır. Şekil 16'da 3 katmanlı YSA yapısı gösterilmektedir [68].



Şekil 16. YSA katman gösterimi [63]

Şekil 16'da gizli katman sayısının artmasıyla 4 katmanlı, 5 katmanlı YSA olarak isimlendirilmektedir. Burada ayrıca gizli katman sayısı ve her gizli katman içerisinde bulunan düğüm sayısı değiştirilebilmektedir. Bu bağlamda ağın düğüm sayısının artmasıyla ağın hatırlama yeteneğinin daha iyi olduğu belirtilmektedir. Bu durumun sakıncası ağın öğrenme süresinin uzamasıdır. Giriş ve gizli katman birbirlerine bağlıdır. Bir katmanda bulunan düğümler kendi içinde bulunan hiçbir düğüme bağlı değildir. Her katmanın çıkışında elde edilen değerler bir sonraki katman için giriş değerleridir. Bu

şekilde YSA'nın giriş değerlerinin ağına girişinden başlayarak çıkışa doğru ilerlemesine ileri besleme denir [59]. Şekil 44'de bir geri yayılım ağı örneği görülmektedir [63].



Şekil 17. İleri beslemeli geri yayımlı ağ örneği [63]

Geri yayımlı ağıda meydana gelen hatalar, ileri besleme sistemi içerisinde kullanılan aynı bağlantılar yardımıyla, ileri beslemede kullanılan aktarım fonksiyonunun türevi tarafından, ağıda geriye doğru yayılmaktadır. Öğrenme durumu, 'çift yönlü' hafızanın birleştirmesine dayanmaktadır [74].

Öğrenme esnasında, girişte kullanılan örnekler ağına belli bir sıra ile verilir. Her bir çalışma örneği katmanlar boyunca sırayla ilerleyerek çıkış örneğinin hesaplanmasına kadar ileri yayılmaktadır. Beklenen değer ile çıkışta elde edilen değer karşılaştırılıp, "fark" yani "hata" değeri bulunur. Hata değerleri, her katmandaki geri besleme bağlantıları tarafından 'girişler' olarak tekrar kullanılmaktadır. Geriye doğru olan bağlantılar sadece 'öğrenme' amacıyla kullanılmaktadır. İleriye doğru olan bağlantılar, öğrenme ve işlemsel amaçlı olarak kullanılmaktadır [59]. Şekil 16'daki 3 katmanlı YSA yapısını örnek aldığımızda çıkış katmanının ifadesi;

$$\begin{aligned} O_k &= f(net_k) \\ net_k &= \sum_j W_{kj} O_j + \theta_k \end{aligned} \quad (42)$$

Gizli katmanın ifadesi ise;

$$\begin{aligned} O_j &= f(net_j) \\ net_j &= \sum_i W_{ji} O_i + \theta_j \end{aligned} \quad (43)$$

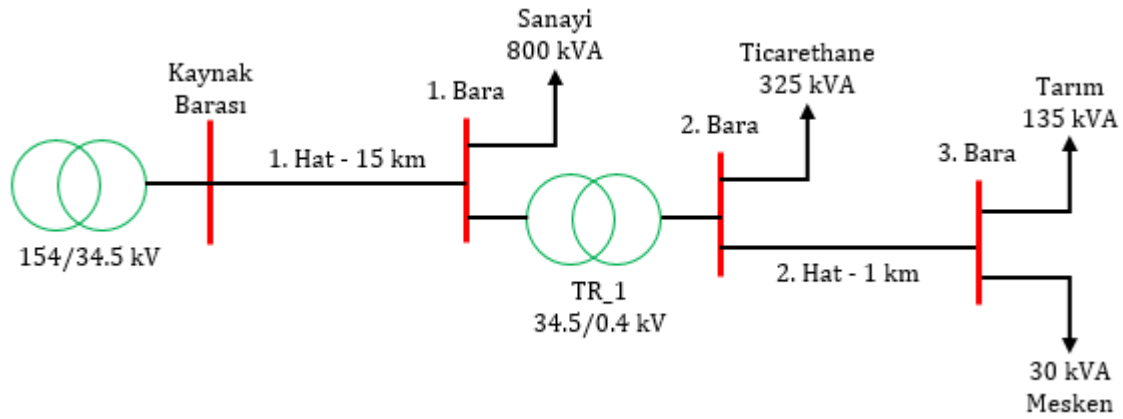
Aktivasyon fonksiyonu olarak Denklem 40 (Sigmoid) olduğu kabul edildiğinde bu fonksiyonun türevi [68];

$$f'(net) = \frac{1 - net^2}{2} \quad (44)$$

4. YAPILAN ÇALIŞMA VE BULGULAR

4.1. Enerji Dağıtım Hattının Benzetimi

Yapılan çalışmada Şekil 18'deki şebeke örnek olarak alınmış ve bu şebeke üzerinde çalışmalar yapılmıştır.



Şekil 18. Örnek alınan şebeke

Bu şebekede kullanılan trafo parametreleri Çizelge 8 'de verilmiştir. Şebekede piyasada bulunan ABB markalı trafo kullanılmıştır.

Çizelge 8. Şebekede kullanılan trafo parametreleri

Transformatör	Um (kV)	S _r (kVA)	P _o (W)	P _k (W) 75 °C	Cos θ
TR_1	36	630	2200	7040	0.85

Diğer yandan şebeke hatlarında kullanılan kablo parametreleri Çizelge 9'da verilmiştir.

Çizelge 9. Hatlarda kullanılan kablo parametreleri

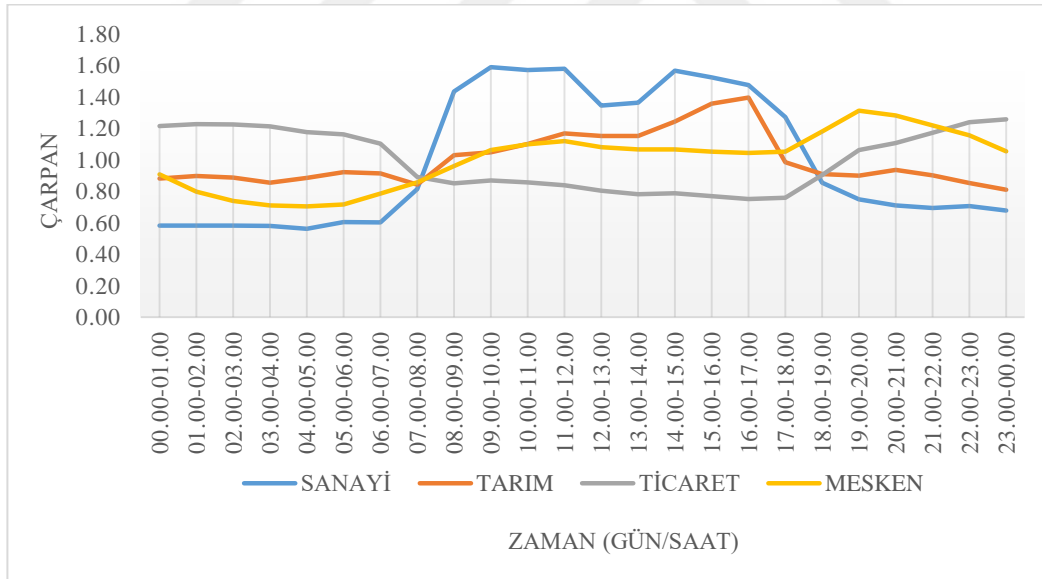
Hatlar	İçdirence (Ω/km)	Uzunluk (km)
1. Hat	0.524	15
2. Hat	0.387	1

Örnek alınan şebekede bulunan alıcıların yük parametreleri de Çizelge 10'da verilmiştir.

Çizelge 10. Şebekede bulunan yüklerin parametreleri

Yükler	Talep Gücü (kVA)	Kurulu Güç (kVA)	Cos θ
Mesken	30	45	0.95
Tarım	135	250	0.95
Ticarethane	325	500	0.91
Sanayi	800	1500	0.98

Çalışmada kullanılan yük profilleri 2019 Ocak ayında EPDK tarafından Boğaziçi Elektrik Dağıtım A.Ş.'ye bildirilmiş ve hafta içine ait uygulanacak olan abone profillerini göstermektedir [2]. Bu profile göre şebekedeki yüklerin çarpan Çizelgesu Çizelge 11'de, grafiği ise Şekil 19'da gösterilmiştir.



Şekil 19. Şebekenin yüklerle ait çarpan grafiği

Çizelge 11. Şebekenin yüklere ait çarpan Çizelgesi

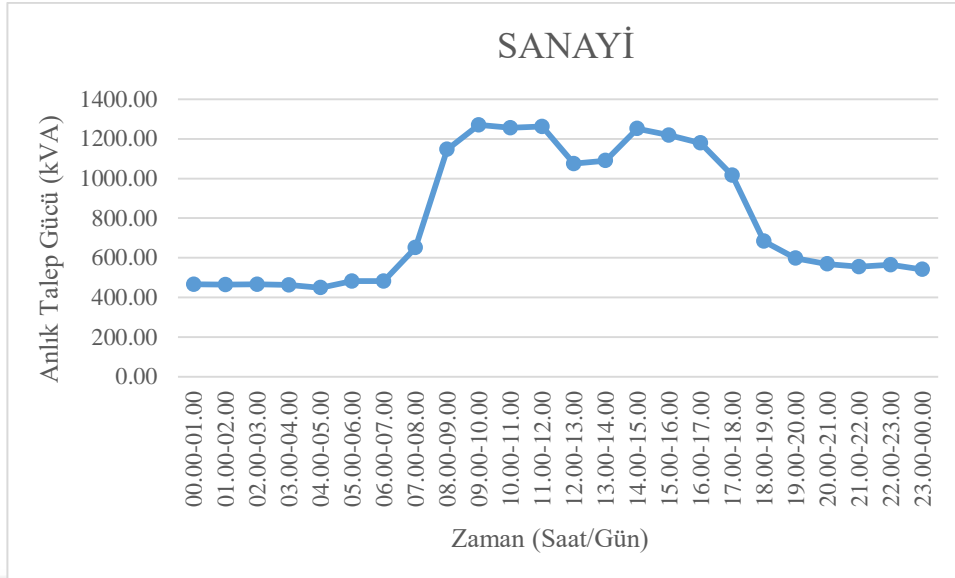
Zaman (Saat/Gün)	Sanayi	Ticarethane	Tarım	Mesken
00.00-01.00	0.58	1.21	0.88	0.91
01.00-02.00	0.58	1.23	0.90	0.80
02.00-03.00	0.58	1.22	0.89	0.74
03.00-04.00	0.58	1.21	0.85	0.71
04.00-05.00	0.56	1.18	0.89	0.70
05.00-06.00	0.60	1.16	0.92	0.72
06.00-07.00	0.60	1.10	0.91	0.78
07.00-08.00	0.81	0.89	0.84	0.86
08.00-09.00	1.43	0.85	1.03	0.96
09.00-10.00	1.59	0.87	1.05	1.06
10.00-11.00	1.57	0.86	1.10	1.10
11.00-12.00	1.58	0.84	1.17	1.12
12.00-13.00	1.34	0.80	1.15	1.08
13.00-14.00	1.36	0.78	1.15	1.07
14.00-15.00	1.56	0.79	1.24	1.07
15.00-16.00	1.52	0.77	1.36	1.05
16.00-17.00	1.47	0.75	1.39	1.04
17.00-18.00	1.27	0.76	0.98	1.05
18.00-19.00	0.85	0.90	0.91	1.18
19.00-20.00	0.75	1.06	0.90	1.31
20.00-21.00	0.71	1.11	0.93	1.28
21.00-22.00	0.69	1.17	0.90	1.22
22.00-23.00	0.71	1.24	0.85	1.15
23.00-00.00	0.68	1.26	0.81	1.05

Çizelge 11’de verilen çarpan Çizelgesuna göre yüklerin anlık talep gücü dağılımı hesaplanmış ve Çizelge 12’de verilmiştir.

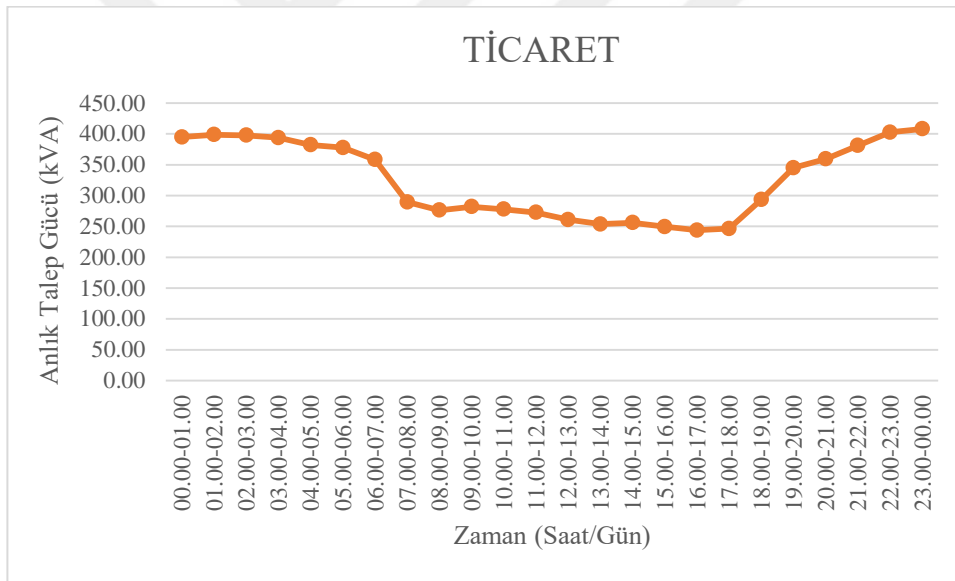
Çizelge 12. Çarpan grafiğine göre anlık talep gücü yük dağılımı

Zaman (Saat/Gün)	Sanayi	Ticarethane	Tarım	Mesken
00.00-01.00	465.88	394.70	118.97	27.23
01.00-02.00	464.48	398.63	121.13	23.92
02.00-03.00	465.80	397.65	119.69	22.12
03.00-04.00	463.04	393.86	115.21	21.26
04.00-05.00	449.46	382.19	119.52	21.09
05.00-06.00	482.57	377.56	124.21	21.48
06.00-07.00	482.04	358.21	123.17	23.53
07.00-08.00	651.00	289.40	113.53	25.70
08.00-09.00	1146.52	276.28	138.82	28.82
09.00-10.00	1270.40	282.01	141.31	31.81
10.00-11.00	1255.86	277.88	148.38	32.94
11.00-12.00	1261.83	272.59	157.48	33.52
12.00-13.00	1074.72	260.82	155.28	32.40
13.00-14.00	1090.26	253.68	155.50	31.96
14.00-15.00	1251.69	256.06	167.81	31.97
15.00-16.00	1218.73	249.50	183.06	31.56
16.00-17.00	1179.22	243.71	188.30	31.26
17.00-18.00	1016.19	246.42	132.77	31.54
18.00-19.00	682.92	293.32	122.63	35.39
19.00-20.00	598.11	344.83	121.27	39.32
20.00-21.00	568.35	359.20	126.18	38.42
21.00-22.00	555.29	380.94	121.50	36.53
22.00-23.00	564.25	402.51	114.99	34.63
23.00-00.00	541.37	408.06	109.30	31.60

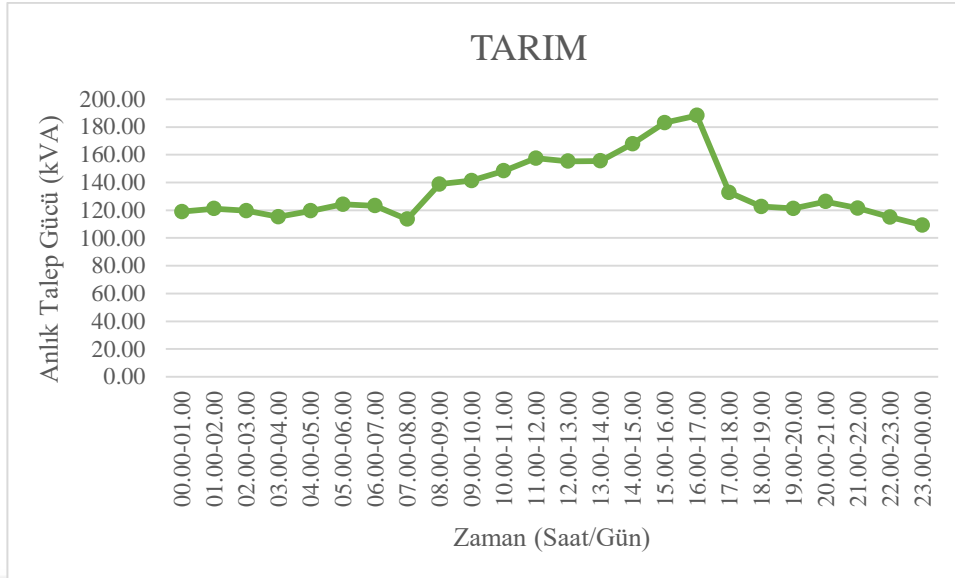
Çizelge 12'ye göre hazırlanan sanayi, ticarethane, tarım ve mesken yüklerine ait anlık talep güçleri sırasıyla Şekil 20-21-22 ve 23'de gösterilmiştir.



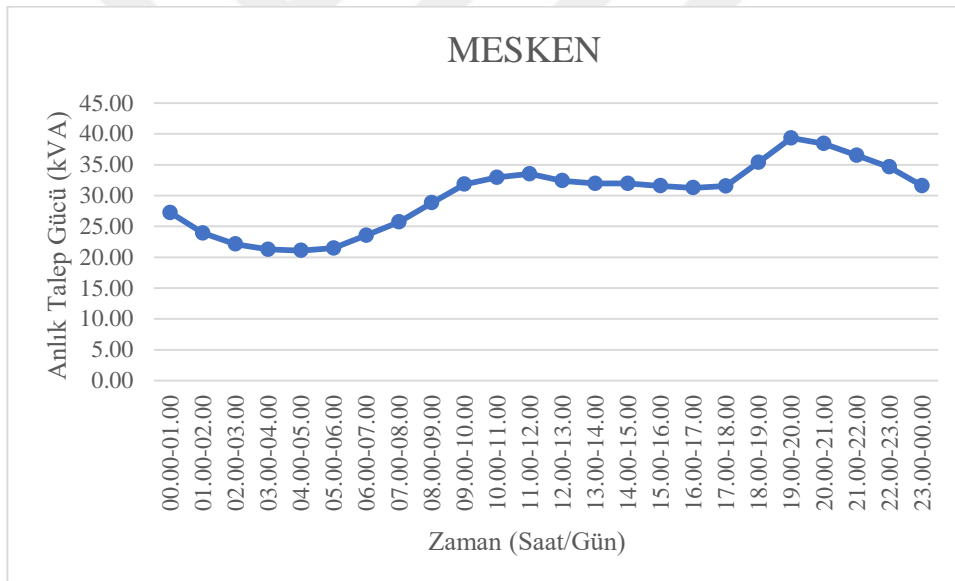
Şekil 20. Sanayi yükünün bir günlük anlık talep güç dağılımı



Şekil 21. Ticarethane yükünün bir günlük anlık talep güç dağılımı



Şekil 22. Tarım yükünün bir günlük anlık talep güç dağılımı



Şekil 23. Mesken yükünün bir günlük anlık talep güç dağılımı

Bu bölümde yapılacak çalışmanın genel parametreleri verilmiştir. Aşağıdaki bölümde klasik enerji kaybı hesaplama yöntemi açıklanacaktır.

4.2. Klasik Hesaplama Yöntemi

Bu bölümde şebekenin enerji kayıpları YKF ve YF yaklaşımlarıyla hesaplanacaktır. Adım adım uygulanan bu yöntem yüklerden kaynağa doğru ilerleyerek her bir bara ve hat, bara ve trafo için uygulanmaktadır. Güncel uygulamalarda hatların trafo çıkışlarında

gerilim ve akım ölçümü yapılarak hatların ve trafoların yük eğrileri elde edilmektedir. Ayrıca yüklere ait sayaç ve demandmetre verileri de YF değerlerinin elde edilmesini kolaylaştırmaktadır. Çalışmada ölçüm alınmadığı varsayılmış ve şebeke, yükten kaynağa doğru ilerleyerek aşamalı olarak incelenmiştir.

YKF ve YF değerleri elde edilirken aşağıdaki denklemler kullanılmıştır [14], [15]:

$$YKF = k * YF + 0,92 * YF^2 \quad (45)$$

$$YF = \frac{\text{Ortalama Güç}}{\text{Maksimum Güç}} \quad (46)$$

Çizelge 12 ve yukarıda verilen denklemler yardımıyla Çizelge 13'deki değerler elde edilmiştir.

Çizelge 13. Yüklerin anlık talep güçlerinden elde edilen değerler

	Sanayi	Ticarethane	Tarım	Mesken
Maksimum	1270.40	408.06	188.30	39.32
Ortalama	800.00	325.00	135.00	30.00
YF	0.630	0.796	0.717	0.763
YKF	0.415	0.647	0.530	0.597
k	0.08	0.08	0.08	0.08

Aşamalar halinde takip edilen ve işlem yapılan bu yöntemde baraların beslendiği hat ve trafo bilgileri, hesaplama yöntemleri Çizelge 14'de verilmiştir.

Çizelge 14. Bara bilgileri

Baralar	Beslendiği Hat	Beslendiği Trafo	Hesap Yöntemi
1. Bara	1. Hat	-	3. Yöntem
2. Bara	-	TR_1	2. Yöntem
3. Bara	2. Hat	-	1. Yöntem

Çizelge 14’de verilen hesaplama yöntemleri aşağıda izah edilmiştir.

- 1. Yöntem: Bu aşamada kaynağa en uzak noktadaki yüklerin anlık talepleri baralara aktarılmaktadır.

$$S_{3.Bar\alpha} = S_{Tarım} + S_{Mesken} \quad (47)$$

- 2. Yöntem: Bu aşamada bir üst bara grubuna geçilerek işleme devam edilir.

$$S_{2.Bar\alpha} = S_{Tarım} + S_{Mesken} + S_{Ticaret} + L_{2.Hat} \quad (48)$$

$$L_{2.Hat} = EK_{2.Hat} / T \quad (49)$$

L_{Hat} : Hat üzerinde meydana gelen güç kaybı (kW)

EK_{Hat} : Hat üzerinde meydana gelen enerji kaybı (kWh)

- 3. Yöntem: Bir üst bara grubuna geçilir.

$$S_{2.Bar\alpha} = S_{Tarım} + S_{Mesken} + S_{Ticaret} + S_{Sanayi} + L_{2.Hat} + L_{TR_1} \quad (50)$$

$$L_{TR_1} = EK_{TR_1} / T \quad (51)$$

L_{TR_1} : Transformatör üzerinde meydana gelen güç kaybı (kW)

EK_{TR_1} : Transformatör üzerinde meydana gelen enerji kaybı (kWh)

Böylece baraların bir güne ait anlık talep güçleri hesaplanmış olur. Hesaplanan değerler Çizelge 15’de gösterilmiştir.

Çizelge 15. Baraların anlık talep güçleri

Zaman (Saat/Gün)	3. Bara	2. Bara	1. Bara
00.00-01.00	146,20	147,93	1016,79
01.00-02.00	145,05	146,75	1018,14
02.00-03.00	141,82	143,44	1015,17
03.00-04.00	136,47	137,98	1003,16
04.00-05.00	140,61	142,21	982,13
05.00-06.00	145,69	147,41	1015,81
06.00-07.00	146,70	148,44	996,97
07.00-08.00	139,23	140,80	1089,48
08.00-09.00	167,64	169,91	1601,00
09.00-10.00	173,13	175,55	1736,24
10.00-11.00	181,32	183,98	1726,00
11.00-12.00	191,00	193,95	1736,65
12.00-13.00	187,68	190,53	1534,34
13.00-14.00	187,45	190,29	1542,50
14.00-15.00	199,77	203,00	1719,03
15.00-16.00	214,62	218,35	1694,86
16.00-17.00	219,56	223,46	1654,67
17.00-18.00	164,31	166,49	1437,38
18.00-19.00	158,02	160,04	1144,55
19.00-20.00	160,58	162,67	1113,89
20.00-21.00	164,60	166,79	1102,62
21.00-22.00	158,03	160,05	1104,57
22.00-23.00	149,61	151,42	1126,47
23.00-00.00	140,89	142,50	1100,21

Çizelge 15 yardımıyla baraların değerleri hesaplanmaktadır. Bu değerler Çizelge 16'da gösterilmiştir.

Çizelge 16.Baralara ait değerler

	3. Bara 2. Hat	2. Bara TR_1	1. Bara 1. Hat
Maksimum	219,56	223,46	1736,65
Ortalama	165,00	167,25	1300,53
<i>YF</i>	0,751	0,748	0,749
<i>YKF</i>	0,580	0,575	0,576
<i>k</i>	0,08	0,08	0,08

Hesaplanan bu değerlerin ardından hatların enerji kayıpları aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$EK_{Hat} = (I_{MYA}^2 * R * L * YKF) * T \quad (52)$$

Burada:

EK_{Hat} : Hattaki Enerji Kaybı (kWh)

I : Maksimum Yük Akımı (A)

R : Kablo Direnci (Ω /km)

T : Periyot (Saat)

Hatlarda meydana gelen kayıplar Çizelge 17’de verilmiştir.

Çizelge 17. Hesaplanan hat kayıpları

Hatlar	I_{MYA}^2	R (Ω /km)	L (km)	YKF	T (saat)	EK_1 (kWh)	EK_3 (kWh)
1. Hat	281,57	0,524	15	0,576	24	30,594	91,782
2. Hat	33478,02	0,387	0,1	0,580	24	18,035	54,104

Çizelge 17’de verilen EK_1 bir fazın hat kaybını, EK_3 üç faz hat kaybını göstermektedir. Önerilen yöntemde kullanılan bir faz kayıplarıdır.

Şebekede bulunan trafoların kayıpları ise aşağıdaki denklemle hesaplanmıştır.

$$EK_{TRF} = (P_0 + [m_{TRF}^2 * P_k * YKF]) * T \quad (53)$$

$$m_{TRF} = \frac{S_{TRF_Max}}{S_r} \quad (54)$$

Burada:

P_0 : Trafonun boşa çalışma kaybı (kW)

P_k : Trafonun yükte çalışma kaybı (kW)

m_{TRF}	: Trafonun yüklenme oranı
S_{TRF_Max}	: Trafodan çekilen maksimum güç (kVA)
S_r	: Trafonun anma gücü (kVA)

Bu durumda örnek alınan şebekedeki trafonun enerji kaybı Çizelge 18’de verildiği gibi hesaplanmıştır.

Çizelge 18. Trafonun enerji kaybı hesabı

Trafo	P_0 (kW)	m_{TRF}^2	P_k (kW)	YKF	T (saat)	EK_{TRF} (kWh)
TR_1	2,2	0,126	7,04	0,575	24	65,041

4.3. Önerilen Hesaplama Yöntemi

Şebekedeki enerji kaybının hesaplanmasında YSA yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemin şebekelerde enerji kaybını nasıl hesapladığı aşağıda detaylı olarak verilmiştir. Örnek alınan şebekede yük değerleri değişse de yukarıdaki bölümde hesapladığımız YKF ve YF değerleri değişmeyecektir. Bu durumda örnek aldığımız şebekede kullanılan kablo uzunlukları ve çeşitleri hatlardaki kaybı belirlemektedir. Buradan hareketle YSA’ya tanıtılacak değerler kablo uzunlukları ve iç dirençlerin değişimine göre belirlenmiştir. Bu bağlamda YSA giriş değişkenleri 2 tanedir. 1. Hat ve 2. Hat eğitimi için ayrı ayrı 60 farklı değer belirlenmiştir. Bu değerler Ek 1 ve Ek 2’de verilmiştir. Bu değerler içerisinde %20’si rastgele seçilerek çıkarılmış ve eğitime dâhil edilmemiştir. Eğitimden sonra YSA performansını belirleyebilmek için ayrı tutulmuştur.

Diğer yandan YSA çıkış değeri olarak 0-1 aralığında değerler ürettiğinden, sonuçlarımızın daha sağlıklı olması için verilerimiz normalize edilmiştir. Normalizasyon için aşağıdaki denklem kullanılmıştır.

$$N = 0.8 * \left(\frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \right) + 0.1 \quad (55)$$

Her iki hattın eğitiminde geri yayımlı öğrenme yöntemi ve LOGSIG transfer fonksiyonu kullanılmıştır. Geri yayımlı öğrenme günümüzde araştırmacılar tarafından

çoğunlukla tercih edilmektedir. Diğer yandan farklı transfer fonksiyonları çalışma sırasında denenmiş ve bu problemin çözümünde en iyi sonuçları ürettiği için LOGSIG fonksiyonu tercih edilmiştir. YSA için Matlab/Simulink programı kullanılmıştır. Bu programdaki eğitim arayüzü Şekil 24’ de verilmiştir.

Name
network1

Network Properties

Network Type: Feed-forward backprop

Input data: input

Target data: target

Training function: TRAINLM

Adaption learning function: LEARNGDM

Performance function: MSE

Number of layers: 2

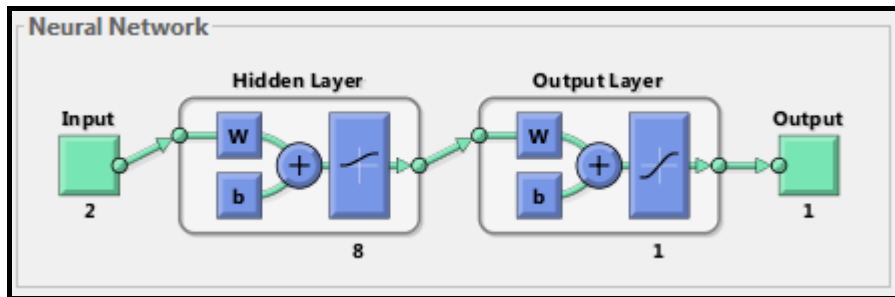
Properties for: Layer 1

Number of neurons: 8

Transfer Function: LOGSIG

Şekil 24. YSA parametreleri

Ağın yapısına ait ekran görüntüsü Şekil 25’de verilmiştir.



Şekil 25. Ağın yapısı

Ağın yapısında görüldüğü üzere ağ; giriş (input), gizli katman (hidden layer), çıkış katmanı (output layer) ve çıkış (output)’tan oluşmaktadır. Ayrıca gizli katmanda 8 nöronun olduğu görülmektedir. Burada w ağırlıkları, b eşik değerini göstermektedir. Eğitim işlemi

bittikten sonra w ve b değerleri programdan alınmış ve aşağıdaki YSA programı vasıtasıyla 1. ve 2. Hat kayıpları hesaplanmıştır.

```

% YSA Program
%Girişler
A=İçdirenç;
B=Kablo uzunluğu;
%Normalizasyon İşlemi
G1=0.8*((A-A_min)/(A_max-A_min))+0.1;
G2=0.8*((B-B_min)/(B_max-B_min))+0.1;
% Birinci Katman
E1=G1*w(1 1)+G2*w(1 2)+b(1);
E1=G1*w(2 1)+G2*w(2 2)+b(2);
E1=G1*w(3 1)+G2*w(3 2)+b(3);
E1=G1*w(4 1)+G2*w(4 2)+b(4);
E1=G1*w(5 1)+G2*w(5 2)+b(5);
E1=G1*w(6 1)+G2*w(6 2)+b(6);
E1=G1*w(7 1)+G2*w(7 2)+b(7);
E1=G1*w(8 1)+G2*w(8 2)+b(8);
% Birinci Katman Çıkışı, LOGSIG Fonksiyonu
F1=1/(1+exp(-E1));
F2=1/(1+exp(-E2));
F3=1/(1+exp(-E3));
F4=1/(1+exp(-E4));
F5=1/(1+exp(-E5));
F6=1/(1+exp(-E6));
F7=1/(1+exp(-E7));
F8=1/(1+exp(-E8));
% İkinci Katman
E9=F1*w(1 1)+F2*w(1 2)+F3*w(1 3)+F4*w(1 4)
+F5*w(1 5)+F6*w(1 6)+F7*w(1 7)+F8*w(1 8)+b(1 1);
% Çıkış Katmanı
F9=1/(1+exp(-E9)) %Çıkış değeri normalize değerdir.
% Normal değere dönüştürme
C=((F9-0.1)/0.8)*(C_max-C_min)+C_min

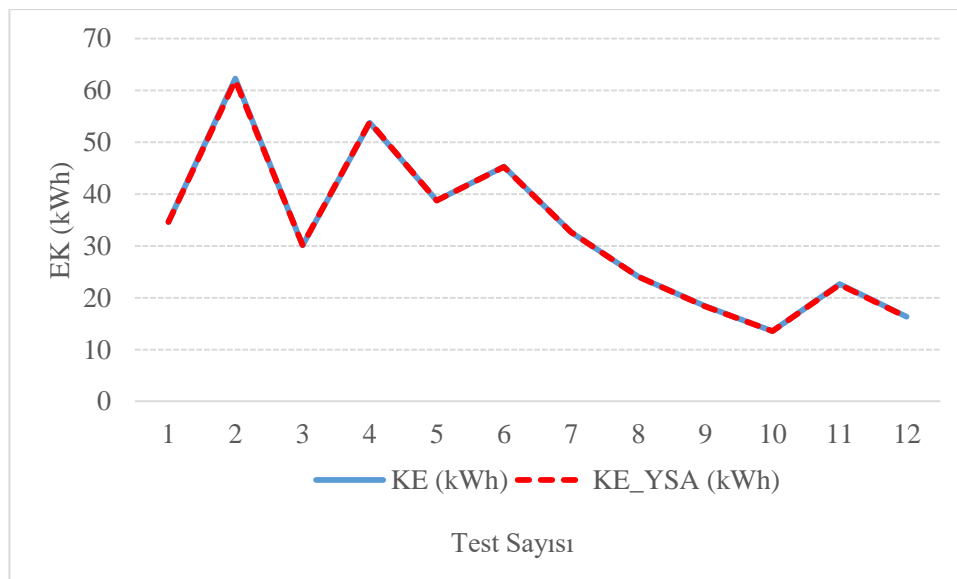
```

YSA eğitimi tamamlandıktan sonra test için ayrılan değerler ve YSA'dan elde edilen sonuçlar Çizelge 19'de karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Çizelgede EK enerji kaybını, N Normalizasyon değerlerini göstermektedir.

Çizelge 19. Test değerlerinin karşılaştırılması (1. Hat)

EK_N	EK_YSA_N	EK [kWh]	EK_YSA [kWh]	Mutlak Hata (MH) EK - EK_YSA [kWh]	Bağlı Hata MH/EK [%]
0,44753	0,44719	34,60956	34,58456	0,025	0,072
0,823112	0,81832	62,25542	61,9027	0,353	0,576
0,386201	0,38671	30,09527	30,13275	0,037	0,128
0,70778	0,70952	53,76605	53,89415	0,128	0,238
0,50382	0,5038	38,75298	38,75151	0,001	0,004
0,592447	0,59168	45,27668	45,22018	0,057	0,125
0,420692	0,42049	32,63409	32,61923	0,015	0,045
0,304429	0,30406	24,07622	24,04905	0,027	0,113
0,226727	0,2258	18,35669	18,28849	0,068	0,371
0,161329	0,16145	13,54289	13,55181	0,009	0,066
0,284895	0,28283	22,63835	22,48635	0,152	0,671
0,199017	0,19835	16,31706	16,26795	0,049	0,301

Çizelge 19'daki EK değerleri *YKF* ve *YF* yaklaşımıyla hesaplanan değerlerdir. EK_YSA değeri ise önerilen yöntemle YSA dan elde edilen değerlerdir. EK değerleri ile EK_YSA değerleri arasındaki farkın mutlak değeri mutlak hata olarak Çizelge 19da görülmektedir. Son sütunda ise Mutlak hata değeri EK değerlerine bölünmek suretiyle bağlı hata değerleri elde edilmiştir. Çizelge 19'dan anlaşılacağı üzere bağlı hata %1'in altındadır. Çizelgede görülen en kötü bağlı hata değeri %0,671 olarak hesaplanmıştır ki bu değerdeki hata payı da ihmal edilebilir düzeydedir. Gerçek değerler ve YSA çıkışından elde edilen değerlerin grafiksel gösterimi Şekil 26'da verilmiştir.



Şekil 26. Test sonuçları (1. Hat)

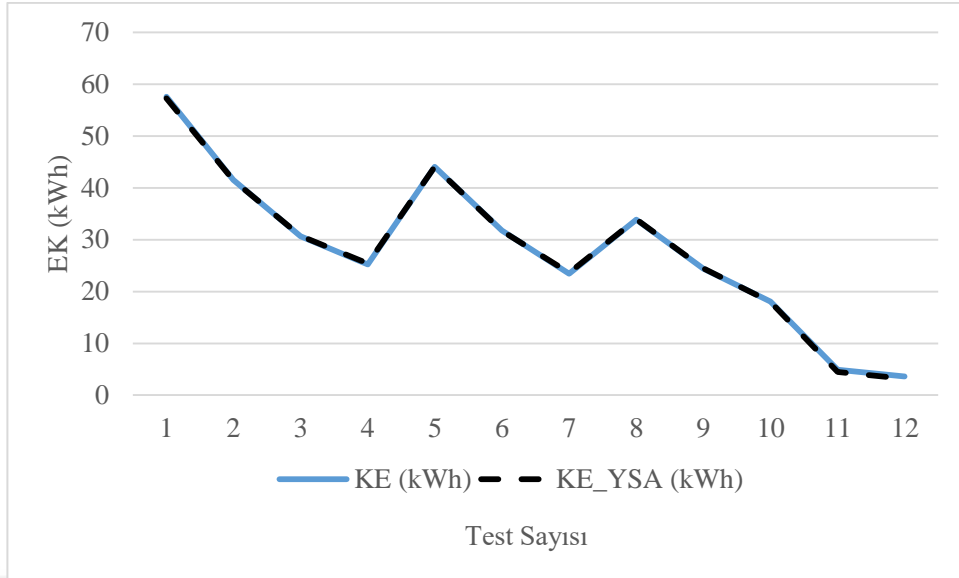
Şekil 26’da görüldüğü üzere değerler tam olarak örtüşmektedir. Bu durum hata oranının çok küçük değerlerde ve/veya ihmal edilebilir düzeyde olduğunu göstermektedir.

Benzer adımlar 2. Hat içinde tekrarlanmış ve YSA eğitimi tamamlandıktan sonra test için ayrılan değerler ve YSA’dan elde edilen sonuçlar Çizelge 20’de karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Çizelge de EK enerji kaybını, N Normalizasyon değerlerini göstermektedir.

Çizelge 20. Test değerlerinin karşılaştırılması (2. Hat)

EK_N	EK_YSA_N	EK (kWh)	EK_YSA (kWh)	Mutlak Hata (MH) EK - EK_YSA [kWh]	Bağlı Hata MH/EK [%]
0,77672	0,77294	57,59468	57,28312	0,312	0,541
0,58165	0,58131	41,51253	41,48479	0,028	0,067
0,45000	0,45070	30,65906	30,71651	0,057	0,187
0,38438	0,38657	25,24864	25,42943	0,181	0,716
0,61234	0,61221	44,04299	44,03161	0,011	0,026
0,46317	0,46233	31,74488	31,67569	0,069	0,218
0,36250	0,36433	23,44517	23,59617	0,151	0,644
0,48906	0,48929	33,87922	33,89823	0,019	0,056
0,37432	0,37519	24,41914	24,49116	0,072	0,295
0,29688	0,29673	18,03474	18,02296	0,012	0,065
0,13736	0,13253	4,88383	4,48509	0,399	8,164
0,12188	0,11665	3,60695	3,17606	0,431	11,946

Çizelge 20’deki EK değerleri *YKF* ve *YF* yaklaşımıyla hesaplanan değerlerdir. EK_YSA değeri ise önerilen yöntemle YSA dan elde edilen değerlerdir. Çizelgede Çizelge 19’da da hesaplandığı üzere “mutlak hata” ve “bağlı hata” değerleri hesaplanmış olup Çizelge 20’den anlaşılacağı üzere 12 değerinin 10unda , başka bir deyişle %83,3 ünde yapılan bağlı hata %1’in altındadır. Çizelge de görülen en kötü değer %8,164 ve %11,946 bağlı hata ile hesaplanmıştır ki bu değerdeki hata payının yüksek olması YSA eğitiminden kaynaklandığı, YSA eğitimi tekrarlandığında bu hatanın azalacağı söylenebilir. Gerçek değerler ve YSA çıkışından elde edilen değerlerin grafiksel gösterimi Şekil 27’da verilmiştir.



Şekil 27. Test sonuçları (2. Hat)

Şekil 27’da görüldüğü üzere değerler tam olarak örtüşmektedir. Bu durum hata oranının çok küçük değerlerde ve/veya ihmal edilebilir düzeyde olduğunu göstermektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemizde de dünyada yaşanan gelişmelerle birlikte nüfusun artması ve bireylerin enerji tüketimlerinin artması söz konusudur. Yapılan araştırmalar iletim ve dağıtım sistem kayıplarının tamamına 100 birim denilecek olursa bunun 14,3 biriminin iletim sisteminden kaynaklandığını, geri kalan yaklaşık 85,7 biriminin dağıtım sistem kayıpları olduğunu ortaya koymaktadır. Bunun sebebi dağıtım şebekelerinde akım değerlerinin daha yüksek oluşu nedeniyle Joule kayıplarının daha fazla oluşu ve bu kayıpların akımın karesine olan bağımlılığı, şebeke uzunluklarının çokluğu nedeniyle iletken dirençlerindeki fazlalık ve direnç değerlerinin Joule kayıplarına olan çarpan etkisidir. Ayrıca abone tarafında teknik olmayan kayıp ve kaçak enerji tüketimidir. Enerji dağıtım hatlarındaki kayıpların değerlerinin yüksek oluşu araştırmacıların bu konuya olan ilgisini arttırmakta ve çalışmaların yapılmasına neden olmaktadır. Enerji dağıtım hatlarındaki kayıpların hesaplanması ve belirlenmesi konularında çok sayıda araştırmanın yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmalar incelendiğinde enerji dağıtım hatlarındaki kayıpların farklı ve birbirlerine yakın değerlerle tespit edildiğini göstermektedir. Bu çalışmada Yapay Sinir Ağları (YSA) ile dağıtım hatlarında meydana gelen kayıpların daha hızlı ve sağlıklı olarak tespit edilmesi araştırılmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır.

Bu çalışmada enerji kayıp değerleri öncelikle yük kayıp faktörü (*YKF*) ve yüklenme faktörü (*YF*) yaklaşımıyla geleneksel yöntemlerle hesaplanmıştır. Hesaplama yapılırken örnek bir dağıtım sistemi seçilmiştir. Bu sistemde saatlik yük eğrileri birbirinden farklı olan tarım, sanayi, konut ve ticarethane aboneleri gözönüne alınmıştır. Bu abonelerden sanayi abonesinin orta gerilimden (36 kV) ve diğer abonelerin alçak gerilimden (0,4 kV) beslendikleri varsayılmıştır. Böylelikle abonelerin günün değişik saatlerindeki tüketim davranışları hesaplanmalara dahil edilmiştir.

YSA yöntemi uygulanırken geleneksel yöntem olan *YKF* ile elde edilen değerler YSA ya öğretilmiş ve her iki yöntemden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Matlab programındaki yapay sinir ağı benzetimiyle gerçekleştirilen çalışmada yük kayıp faktörü ile önerilen yöntemden elde edilen sonuçların karşılaştırılmasından anlaşılacağı üzere yaklaşık % 1 bağıl hata ile çok yüksek bir doğrulukla sonuç elde edilmiştir. Bu durum önerilen yöntemin daha hızlı ve güvenilir sonuçlar ürettiğini ortaya koymaktadır. YSA

yöntemi ile herbir elektrik dağıtım şirketi Tüm enerji dağıtım şirketleri sistemini bu yöntemle istediği periyotta dinamik olarak hat kayıpları yönünden inceleyerek kendilerine hedef koyulan kayıp kaçak oranlarına ulaşmada kullanabilir. Bu yöntemle ayrıca kendi dağıtım sisteminin farklı bölümlerini ayrı ayrı analiz edebilir ve böylece sorunlu olan kısımlara kayıpla mücadelede açısından yoğunlaşabilir. Üstelik kayıp oranları dinamik bir yapıya sahip olduğundan değişen yük durumlarına hızla cevap verebilme açısından da dağıtım mühendislerine kolaylık sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu bağlamda:

- Enerji dağıtım hatlarındaki meydana gelen kayıplar hakkında bilgiler verilmiş ve çözüm yöntemleri açıklanmıştır.
- Üç fazlı dengeli enerji dağıtım hattında farklı alternatifler ile çalışma durumları düşünülmüş ve YF-YKF yaklaşımıyla kayıpları tahmin edilmiştir.
- Tespit edilen bu kayıplar Matlab/Simulink programı yardımıyla YSA yöntemi ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.
- Hata oranları düşük, doğruluk oranları beklendiği şekilde yüksek oranda iyi çıkmıştır.
- Dağıtım hatlarındaki değişken kayıpları doğruluk ve güvenilirlik bakımından en kısa sürede belirleyebilen bu yöntem gelecekteki uygulamalarda tercih edilebilir.
- Bu çalışmada baralardaki gerilimler sabit kabul edilerek YKF değerlerine dağıtım hattında bulunan güçler yardımıyla ulaşılmıştır. Bu bağlamda mevcut uygulamalarda hatlar üzerinden akım değerleri alınacağından sonuçlar gerilim değişikliklerinden etkilenmemiş olacaktır. Ayrıca hatlarda meydana gelen gerilim düşümü hesaba ilave edildiğinde hata oranı daha düşük çıkacaktır.
- Bu bakımdan gerçek değerlerle ya da ölçüm sonuçlarıyla elde edilen değerlerle YSA daha doğru sonuçlar verecektir.

Diğer yandan,

- Çalışmada değişken olarak kablo direnci ve uzunluğu dikkate alınarak enerji dağıtım hatlarındaki kayıplar hesaplanmıştır. Bu bağlamda ileriki çalışmalarda bu değişkenlere hatlardaki yük değişiklikleri de ilave edilerek farklı bir çalışma ortaya koyulabilir.
- Ayrıca elde edilen sonuçlar farklı yöntemler kullanılarak karşılaştırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] E. Aronson and P. C. Stern, 1984, "Energy use: The human dimension,".
- [2] EPDK, *Elektrik Piyasası Dağıtım Şirketleri Tarafından 2019 Yılında Uygulanacak Profiller* Ankara: T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu.
- [3] T. W. Bank. (2019). *Electric power transmission and distribution losses (% of output)* Available:
<https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.LOSS.ZS?end=2014&locations=TR&start=2000> (Erişim tarihi : 21/03/ 2020)
- [4] C. KÜÇÜKÖNER, 2016, "Elektrik dağıtım şebekelerinde kayıp tahmin yöntemleri ve kayıpların hesabı/Loss forecast methods and calculation of loss in electricity distribution networks,".
- [5] Ü. Bilirgen, 2018, *Enerji - Sektörel Bakış*. İstanbul: KPMG.
- [6] B. Ervural, B. Ervural, and R. Evren, vol. 16, 12/01 2016, "Enerjide Optimizasyon Uygulamaları: Bir Literatür Araştırması," *Ege Akademik Bakis (Ege Academic Review)*,
- [7] EPDK. (2020). *Kayıp Kaçak Oranları*. Available: <https://www.epdk.org.tr/>
(Erişim tarihi : 20/02/ 2020)
- [8] TEİAŞ. (2020, 21.01.2020). *Elektrik İstatistikleri*. Available:
<https://www.teias.gov.tr/tr-TR/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri>
(Erişim tarihi : 20/09/ 2019)
- [9] S. S. Bhatti, M. Lodhi, S. ul Haq, E. S. N. M. Gardezi, E. M. A. Javaid, M. Raza, *et al.* 2015 , "Electric power transmission and distribution losses overview and minimization in Pakistan," *International Journal of Scientific & Engineering Research*, vol. 6, pp. 1108-1112.
- [10] E. P. Kanunu, "Kayıp Kaçak Bedeline İlişkin Duyuru," ed.

- [11] M. A. Akcanca and S. Taşkın, 2011, "Akıllı şebeke uygulanabilirliği açısından türkiye elektrik enerji sisteminin incelenmesi," *Akıllı Şebekeler ve Türkiye Elektrik Şebekesinin Geleceği Sempozyumu*, pp. 26-27.
- [12] I. Atiyas, 2006, *Elektrik Sektöründe Serbestleşme ve Düzenleyici Reform: TESEV Yayınları*.
- [13] C. N. Macqueen, 1994, "Time based load-flow analysis and loss costing in electrical distribution systems," Durham University.
- [14] A. Primadianto and C.-N. Lu, 2016, "A review on distribution system state estimation," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 32, pp. 3875-3883.
- [15] M. Gustafson, J. Baylor, and S. Mulnix, 1988, "The equivalent hours loss factor revisited (power systems)," *IEEE transactions on power systems*, vol. 3, pp. 1502-1508.
- [16] R. Nadira, F. F. Wu, D. J. Maratukulam, E. P. Weber, and C. L. Thomas, 1993, "Bulk transmission system loss analysis," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 8, pp. 405-416.
- [17] J. Savier and D. Das, 2012, "An exact method for loss allocation in radial distribution systems," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 36, pp. 100-106.
- [18] V. Lim, T. Saha, and J. McDonald, 2006, "Assessing the competitiveness of loss allocation methods in a deregulated electricity markets," in *2006 IEEE Power Engineering Society General Meeting*, p. 10 pp.
- [19] A. Conejo, J. Arroyo, N. Alguacil, and A. Guijarro, 2002, "Transmission loss allocation: a comparison of different practical algorithms," *IEEE transactions on Power Systems*, vol. 17, pp. 571-576.
- [20] A. J. Conejo, F. D. Galiana, and I. Kockar, "Z-bus loss allocation, 2001," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 16, pp. 105-110.
- [21] F. F. Wu, Y. Ni, and P. Wei, 2000, "Power transfer allocation for open access using graph theory-fundamentals and applications in systems without loopflow," *IEEE transactions on power systems*, vol. 15, pp. 923-929.

- [22] N. Caicedo, C. Lozano, J. Díaz, C. Rueda, G. Gutiérrez, and C. Olarte, 2004, "Loss reduction in distribution networks using concurrent constraint programming," in *2004 International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems*, pp. 295-300.
- [23] A. Merlin, 1975, "Search for a minimal-loss operating spanning tree configuration for an urban power distribution system," *Proc. of 5th PSCC, 1975*, vol. 1, pp. 1-18.
- [24] D. Shirmohammadi and H. W. Hong, 1989, "Reconfiguration of electric distribution networks for resistive line losses reduction," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 4, pp. 1492-1498.
- [25] H.-D. Chiang and R. Jean-Jumeau, 1990, "Optimal network reconfigurations in distribution systems. II. Solution algorithms and numerical results," *IEEE transactions on Power delivery*, vol. 5, pp. 1568-1574.
- [26] T. Wagner, A. Chikhani, and R. Hackam, 1991, "Feeder reconfiguration for loss reduction: an application of distribution automation," *IEEE transactions on power Delivery*, vol. 6, pp. 1922-1933.
- [27] G. Peponis, M. Papadopoulos, and N. Hatziaargyriou, 1995, "Distribution network reconfiguration to minimize resistive line losses," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 10, pp. 1338-1342.
- [28] V. Glamocanin, "Optimal loss reduction of distributed networks, 1990," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 5, pp. 774-782.
- [29] H. Kim, Y. Ko, and K.-H. Jung, 1993, "Artificial neural-network based feeder reconfiguration for loss reduction in distribution systems," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 8, pp. 1356-1366.
- [30] D.-S. Choi, C.-S. Kim, and J. Hasegawa, 1995, "An application of genetic algorithms to the network reconfiguration in distribution for loss minimization and load balancing problem. II," in *Proceedings 1995 International Conference on Energy Management and Power Delivery EMPD'95*, pp. 376-381.

- [31] D. Bouchard, A. Chikhani, V. John, and M. Salama, 1992, "Applications of Hopfield neural networks to distribution feeder reconfiguration," in *[1993] Proceedings of the Second International Forum on Applications of Neural Networks to Power Systems*, pp. 311-316.
- [32] E. Gauche, J. Coelho, and R. Treive, 1997, "An online distribution feeder optimal reconfiguration algorithm for resistive loss reduction using a multi-layer perceptron," in *Proceedings of International Conference on Neural Networks (ICNN'97)*, pp. 179-182.
- [33] P. Melo and M. Matos, 1999, "Multi-objective reconfiguration for loss reduction and service restoration using simulated annealing,".
- [34] Y. Song, G. Wang, A. Johns, and P. Wang, 1997, "Distribution network reconfiguration for loss reduction using fuzzy controlled evolutionary programming," *IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution*, vol. 144, pp. 345-350.
- [35] M. Adibi, 2000, "Distribution Feeder Reconfiguration for Service Restoration and Load Balancing,".
- [36] J.-Y. Fan, L. Zhang, and J. D. McDonald, 2000, "Distribution network reconfiguration: single loop optimization," *IEEE transactions on Power Systems*, vol. 11, pp. 1643-1647.
- [37] K. Nara and M. Kitagawa, 1991, "Distribution systems loss minimum re-configuration by simulated annealing method," in *1991 International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management, APSCOM-91.*, pp. 461-466.
- [38] S. Civanlar, J. Grainger, H. Yin, and S. Lee, 1988, "Distribution feeder reconfiguration for loss reduction," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 3, pp. 1217-1223.
- [39] M. E. Baran and F. F. Wu, 1989, "Network reconfiguration in distribution systems for loss reduction and load balancing," *IEEE Transactions on Power delivery*, vol. 4, pp. 1401-1407.

- [40] C. A. Castro Jr and A. A. Watanabe, 1990, "An efficient reconfiguration algorithm for loss reduction of distribution systems," *Electric Power Systems Research*, vol. 19, pp. 137-144.
- [41] T. Taylor and D. Lubkeman, 1990, "Implementation of heuristic search strategies for distribution feeder reconfiguration," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 5, pp. 239-246.
- [42] İ. Aslan, S. Köroğlu, and İ. Ercan, 2011, "Dengeli Elektrik Güç Sistemi Verilerini Kullanarak Dengesiz Sistem Kayıplarının Yapay Sinir Ağları İle Belirlenmesi," *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 11, pp. 47-52.
- [43] H.-R. Wang, G.-J. Yang, and X.-L. Liu, 2007, "A new algorithm for the theoretical energy loss calculation of the distribution network based on artificial neural networks," in *2007 International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, pp. 3195-3198.
- [44] N. Mungkung, N. Gomurut, T. Tanitteerapan, S. Arunrungrusmi, W. Chaokumnerd, and T. Yuji, 2009, "Analysis of technical loss in distribution line system," in *WSEAS International Conference. Proceedings. Mathematics and Computers in Science and Engineering*.
- [45] H. E. Kassem, M. Badr, and S. A. Ahmed, 2013, "Reduction of energy losses in electrical distribution systems,".
- [46] M. E. Meral, A. Teke, and M. Tümay, 2009, "Elektrik tesislerinde enerji verimliliği,".
- [47] B. KOCAMAN, "Teknik Olmayan Enerji Kayıplarının Azaltılmasında PLC Sayaçlarının Önemi," *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 7, pp. 220-230.
- [48] Ö. Kalenderli, C. Kocatepe, O. Arıkan, and B. Çözümlü Problemlerle Yüksek Gerilim Tekniği, 2015, "Yayınevi, İstanbul, 3," ed: Baskı.
- [49] T. Biçer, 2009, "Elektrik Güç Sistemleri ve Kayıpları, ," Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.

- [50] Tech. Appl. Papers. (2019). *ABB circuit-breakers inside LV switchboards*. Available:
<https://library.e.abb.com/public/40a2505a059a1f0e48257a700024aa1d/1SDC007103G0202.pdf> (Erişim tarihi : 25/12/ 2019)
- [51] F. Bozgeyik, 2015, "Üç Fazlı Dengeli Elektrik Dağıtım Şebekelerinde Kayıp Tahmini Ve Kayıp Paylaşımı," Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [52] M. Wolf, 1931, "Die Berechnung der elektrischen Verluste bei schwankenden Lastverhältnissen in Netzen und Energiewandlern auf Grund von Erfahrungswerten," *Elektrotechnische Zeitschrift*, vol. 37, pp. 1267-1270.
- [53] M. Kurt, 2018, "Elektrik şebekelerinde güç ve enerji kayıplarının azaltılması metodları,"
- [54] B. Soschinski, 1918, "Die Vorausberechnung der Selbstkosten von Elektrizitätswerken," *Elektrotechnische Zeitschrift*, vol. 13.
- [55] E. A. A. Neto and J. Coelho, 2013, "Probabilistic methodology for Technical and Non-Technical Losses estimation in distribution system," *Electric Power Systems Research*, vol. 97, pp. 93-99.
- [56] S. Pande and J. Ghodekar, 2012, "Computation of technical power loss of feeders and transformers in distribution system using load factor and load loss factor," *International Journal of Multidisciplinary Sciences and Engineering*, vol. 3, pp. 22-25.
- [57] D. Sun, S. Abe, R. Shoults, M. Chen, P. Eichenberger, and D. Farris, 1980, "Calculation of energy losses in a distribution system," *IEEE transactions on power apparatus and systems*, pp. 1347-1356.
- [58] L. M. Queiroz, M. A. Roselli, C. Cavellucci, and C. Lyra, 2012, "Energy losses estimation in power distribution systems," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 27, pp. 1879-1887.
- [59] Ç. Elmas, 2003, *Yapay sinir ağları: (kuram, mimari, eğitim, uygulama)*: Seçkin Yayıncılık.

- [60] Ö. OTKUN, R. Ö. DOĞAN, and A. S. AKPINAR, 2015, "Doğrusal hareketli sürekli miknatıslı senkron motorun yapay sinir ağ tabanlı skaler hız denetimi," *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, vol. 30.
- [61] K. Şahin, 2006, "Asenkron Motorların Dinamik Yapay Sinir Ağları İle Hız Kontrolü, Elazığ: Fırat Üniversitesi," *Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- [62] O. Otkun, R. O. Dogan, and A. S. Akpinar, 2015, "Neural Network Based Scalar Speed Control of Linear Permanent Magnet Synchronous Motor," *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, vol. 30, pp. 395-404.
- [63] Ö. Otkun, 2015, "Çift Yanlı Doğrusal Hareketli Sürekli Miknatıslı Senkron Motorun Tasarımı, Üretimi ve Yapay Sinir Ağ Tabanlı Skaler Hız Denetimi," Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- [64] E. Öztemel, 2012, *Yapay sinir ağları: Papatya*.
- [65] L. Fausett, 1994, *Fundamentals of neural networks: architectures, algorithms, and applications*: Prentice-Hall, Inc., 1994.
- [66] J. Zare, 2008, "Vector control of permanent magnet synchronous motor with surface magnet using artificial neural networks," in *2008 43rd International Universities Power Engineering Conference* , pp. 1-4.
- [67] T. Fukuda and T. Shibata, 1992, "Theory and applications of neural networks for industrial control systems," *IEEE Transactions on industrial electronics*, vol. 39, pp. 472-489.
- [68] N. Siddique and H. Adeli, 2013, *Computational intelligence: synergies of fuzzy logic, neural networks and evolutionary computing*: John Wiley & Sons.
- [69] A. U. Demir, 1990 "İnsan Anatomisi ve Fizyolojisi,".
- [70] J. A. Freeman and D. M. Skapura, 1991, *Neural networks: algorithms, applications, and programming techniques*: Addison Wesley Longman Publishing Co., Inc..
- [71] P. D. Wasserman, 1993, *Advanced methods in neural computing*: John Wiley & Sons, Inc..

- [72] F. M. Ham and I. Kostanic, 2000, *Principles of neurocomputing for science and engineering*: McGraw-Hill Higher Education.
- [73] G. Villarrubia, J. F. De Paz, P. Chamoso, and F. De la Prieta, 2018, "Artificial neural networks used in optimization problems," *Neurocomputing*, vol. 272, pp. 10-16.
- [74] S. Walczak, 2019, "Artificial neural networks," in *Advanced Methodologies and Technologies in Artificial Intelligence, Computer Simulation, and Human-Computer Interaction*, ed: IGI Global, pp. 40-53.



EKLER

EK-1: YSA Eğitiminde Kullanılan 1. Hat Değerleri

I_{MYA}^2	R (Ω /km)	L (km)	YKF	T (Saat)	EK ₁ (kWh)
281,57	0,727	25	0,576	24	70,745
281,57	0,524	25	0,576	24	50,991
281,27	0,387	25	0,576	24	37,619
281,57	0,727	24	0,576	24	67,915
281,57	0,524	24	0,576	24	48,951
281,27	0,387	24	0,576	24	36,114
281,57	0,727	23	0,576	24	65,085
281,57	0,524	23	0,576	24	46,911
281,27	0,387	23	0,576	24	34,610
281,57	0,727	22	0,576	24	62,255
281,57	0,524	22	0,576	24	44,872
281,27	0,387	22	0,576	24	33,105
281,57	0,727	21	0,576	24	59,426
281,57	0,524	21	0,576	24	42,832
281,27	0,387	21	0,576	24	31,600
281,57	0,727	20	0,576	24	56,596
281,57	0,524	20	0,576	24	40,793
281,27	0,387	20	0,576	24	30,095
281,57	0,727	19	0,576	24	53,766
281,57	0,524	19	0,576	24	38,753
281,27	0,387	19	0,576	24	28,590
281,57	0,727	18	0,576	24	50,936
281,57	0,524	18	0,576	24	36,713
281,27	0,387	18	0,576	24	27,086
281,57	0,727	17	0,576	24	48,106
281,57	0,524	17	0,576	24	34,674
281,27	0,387	17	0,576	24	25,581
281,57	0,727	16	0,576	24	45,277
281,57	0,524	16	0,576	24	32,634
281,27	0,387	16	0,576	24	24,076
281,57	0,727	15	0,576	24	42,447
281,57	0,524	15	0,576	24	30,594
281,27	0,387	15	0,576	24	22,571
281,57	0,727	14	0,576	24	39,617
281,57	0,524	14	0,576	24	28,555
281,27	0,387	14	0,576	24	21,067
281,57	0,727	13	0,576	24	36,787
281,57	0,524	13	0,576	24	26,515
281,27	0,387	13	0,576	24	19,562
281,57	0,727	12	0,576	24	33,958
281,57	0,524	12	0,576	24	24,476
281,27	0,387	12	0,576	24	18,057
281,57	0,727	11	0,576	24	31,128
281,57	0,524	11	0,576	24	22,436
281,27	0,387	11	0,576	24	16,552
281,57	0,727	10	0,576	24	28,298
281,57	0,524	10	0,576	24	20,396
281,27	0,387	10	0,576	24	15,048
281,57	0,727	9	0,576	24	25,468
281,57	0,524	9	0,576	24	18,357
281,27	0,387	9	0,576	24	13,543
281,57	0,727	8	0,576	24	22,638
281,57	0,524	8	0,576	24	16,317
281,27	0,387	8	0,576	24	12,038
281,57	0,727	7	0,576	24	19,809
281,57	0,524	7	0,576	24	14,277
281,27	0,387	7	0,576	24	10,533
281,57	0,727	6	0,576	24	16,979
281,57	0,524	6	0,576	24	12,238
281,27	0,387	6	0,576	24	9,029

EK-2: YSA Eğitiminde Kullanılan 2. Hat Değerleri

I_{MYA}^2	R (Ω /km)	L (km)	YKF	T (Saat)	EK ₁ (kWh)
33478,02	0,727	0,2	0,58	24	67,758
33478,02	0,524	0,2	0,58	24	48,838
33478,02	0,387	0,2	0,58	24	36,069
33478,02	0,727	0,19	0,58	24	64,371
33478,02	0,524	0,19	0,58	24	46,396
33478,02	0,387	0,19	0,58	24	34,266
33478,02	0,727	0,18	0,58	24	60,983
33478,02	0,524	0,18	0,58	24	43,954
33478,02	0,387	0,18	0,58	24	32,463
33478,02	0,727	0,17	0,58	24	57,595
33478,02	0,524	0,17	0,58	24	41,513
33478,02	0,387	0,17	0,58	24	30,659
33478,02	0,727	0,16	0,58	24	54,207
33478,02	0,524	0,16	0,58	24	39,071
33478,02	0,387	0,16	0,58	24	28,856
33478,02	0,727	0,15	0,58	24	50,819
33478,02	0,524	0,15	0,58	24	36,629
33478,02	0,387	0,15	0,58	24	27,052
33478,02	0,727	0,14	0,58	24	47,431
33478,02	0,524	0,14	0,58	24	34,187
33478,02	0,387	0,14	0,58	24	25,249
33478,02	0,727	0,13	0,58	24	44,043
33478,02	0,524	0,13	0,58	24	31,745
33478,02	0,387	0,13	0,58	24	23,445
33478,02	0,727	0,12	0,58	24	40,655
33478,02	0,524	0,12	0,58	24	29,303
33478,02	0,387	0,12	0,58	24	21,642
33478,02	0,727	0,11	0,58	24	37,267
33478,02	0,524	0,11	0,58	24	26,861
33478,02	0,387	0,11	0,58	24	19,838
33478,02	0,727	0,1	0,58	24	33,879
33478,02	0,524	0,1	0,58	24	24,419
33478,02	0,387	0,1	0,58	24	18,035
33478,02	0,727	0,09	0,58	24	30,491
33478,02	0,524	0,09	0,58	24	21,977
33478,02	0,387	0,09	0,58	24	16,231
33478,02	0,727	0,08	0,58	24	27,103
33478,02	0,524	0,08	0,58	24	19,535
33478,02	0,387	0,08	0,58	24	14,428
33478,02	0,727	0,07	0,58	24	23,715
33478,02	0,524	0,07	0,58	24	17,093
33478,02	0,387	0,07	0,58	24	12,624
33478,02	0,727	0,06	0,58	24	20,328
33478,02	0,524	0,06	0,58	24	14,651
33478,02	0,387	0,06	0,58	24	10,821
33478,02	0,727	0,05	0,58	24	16,940
33478,02	0,524	0,05	0,58	24	12,210
33478,02	0,387	0,05	0,58	24	9,017
33478,02	0,727	0,04	0,58	24	13,552
33478,02	0,524	0,04	0,58	24	9,768
33478,02	0,387	0,04	0,58	24	7,214
33478,02	0,727	0,03	0,58	24	10,164
33478,02	0,524	0,03	0,58	24	7,326
33478,02	0,387	0,03	0,58	24	5,410
33478,02	0,727	0,02	0,58	24	6,776
33478,02	0,524	0,02	0,58	24	4,884
33478,02	0,387	0,02	0,58	24	3,607
33478,02	0,727	0,01	0,58	24	3,388
33478,02	0,524	0,01	0,58	24	2,442
33478,02	0,387	0,01	0,58	24	1,803

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : MAHMOOD SHAKIR MAHMOOD ZHEREE
Uyruğu : Irak
Doğum tarihi ve yeri : 28/07/1985 - Bağdat
Medeni hali : Evli
Telefon : 05370251695
Faks : \
e-mail : mahmoodzheree@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	University of Technology – Bağdat	30/06/2007
Lise	ALANSAR Secondary School – Bağdat	2003

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
(8 sekiz yıl)	Petrol Eğitim Enstitüsü / Bağdat	elektrik mühendisi

Yabancı Dil : Arapça

**Yayınlar - **

Hobiler : okumak