



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



GÜÇ SİSTEMLERİNDE KAYIPLAR VE
KAÇAKLARIN BİRBİRİNDEN AYRILMASI
İÇİN ÖNERİLEN TAHMİN ALGORİTMASI

Enes YILDIZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik - Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2021
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Enes YILDIZ

Tarih: 24.06.2021

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜÇ SİSTEMLERİNDE KAYIPLAR VE KAÇAKLARIN BİRBİRİNDEN AYRILMASI İÇİN ÖNERİLEN TAHMİN ALGORİTMASI

Enes YILDIZ

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr. Nurettin ÇETİNKAYA

2021, 82 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU
Doç. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA
Doç. Dr. Bahadır AKBAL

Bu çalışma, ülkemizdeki en büyük sorunlardan biri olan kayıp ve kaçak kullanımlarını ele almaktadır. Kayıp ve kaçak kullanımlarının birbirinden farklı iki terim olduğu vurgusu yapılmıştır. Kayıp ve kaçak kullanımların önerilen algoritmalar sayesinde birbirinden ayrılması ve kaçak kullanım miktarlarının yaklaşık olarak tahmin edilmesi amaçlayan literatürdeki ilk çalışmadır. İki farklı terimin birbirinden ayrılmış olması, kaçak kullanım ile mücadelede de sonuç odaklı çalışmalara katkısı olacaktır. Elektrik hatlarında meydana gelen teknik kayıpların sıfıra indirilmesi mümkün değildir. Ama kaçak kullanım gibi insan hatalarından meydana gelen teknik olmayan kayıpların sıfıra indirilmesi imkânsız değildir. Bu yönüyle kayıp ve kaçak terimleri birbirinden bağımsız farklı iki terimdir. Günümüzde beraber değerlendirilen kayıp ve kaçak oranları birbirinden ayrı tutulduğu zaman yapılan yatırımların daha verimli ve şebekelerin daha sağlıklı olması düşünülebilir.

Bu çalışmada, önerilen algoritmalar ve yapay zekanın yardımıyla şehirlerin kaçak kullanım miktarının tahmini gerçekleştirilmiştir. Karmaşık bölgeler tek bir trafo bölgesine indirgenerek, bölgenin teknik kayıpları hesaplanmıştır. Faturalandırılmayan enerji miktarları referans alınarak kaçak kullanım miktarları tahmin edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Kaçak, Kaçıntı, Kayıp, Enerji, Güç, Elektrik

ABSTRACT

MS THESIS

THE PROPOSED FORECASTING ALGORITHM in POWER SYSTEMS FOR SEPARATING OF LOSSES AND ILLEGAL CONSUMPTIONS

Enes YILDIZ

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Electrical & Electronics Engineering**

Advisor: Assoc.Prof.Dr. Nurettin ÇETİNKAYA

2021, 82 Pages

Jury

**Prof. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU
Assoc. Prof. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA
Assoc. Prof. Dr. Bahadır AKBAL**

This study deals with one of the biggest problems in our country. It has been emphasized that the use of loss and leakage are two different terms. It is the first study in the literature that aims to forecast the losses and illegal usage thanks to proposed algorithms and to determine the approximate amount of illegal usage. The separation of the two different terms from each other will contribute to result-oriented studies in the fight against illegal use. It is not possible to reduce the technical losses in the power lines to zero. However, it is not impossible to reduce non-technical losses caused by human errors, such as illegal use, to zero, even if it seems difficult. In this respect, the terms lost and illegal consumption are two independent terms. When loss and leakage rates, which are evaluated together today, are kept separate from each other, it can be thought that the investments made are more efficient and the grids are healthier.

In this study, the amount of illegal use of cities has been estimated with the help of proposed algorithms and artificial intelligence. By reducing the complex regions to a single transformer region, the technical losses of the region are calculated. Illegal usage amounts were estimated based on unbilled energy amounts.

Keywords: Losses, Illegal consumption, Energy, Power, Electric

ÖNSÖZ

Yüksek lisans çalışmalarım sırasında ve hayatımın her anında, yardımlarını esirgemeyerek bana destek veren annem Habibe YILDIZ'a ve kardeşim Dilara YILDIZ'a ve bu günlere gelmemde çok büyük fedakarlıklar gösteren başarılarımın baş mimarı olan rahmetli babam Ali YILDIZ'a sonsuz minnetlerimi sunuyorum.

Danışmanım Sayın Doç.Dr. Nurettin ÇETİNKAYA'ya ve bugüne kadar eğitimini aldığım tüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Enes YILDIZ
KONYA-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
GİRİŞ	1
KAYNAK ARAŞTIRMASI	2
1. ENERJİ NAKİL HATLARI ve DAĞITIM ŞEBEKELERİ	5
1.1 Enerji Nakil Hatları.....	7
1.2 İletim Hatları Hat Parametleri.....	10
1.3 İletim Hatlarında Kullanılan İletkenler	12
1.4 Elektrik Dağıtım Şebekeleri.....	17
1.5 Ülkemizdeki Dağıtım Şirketleri.....	18
2. GÜÇ SİSTEMLERİNDE MEYDANA GELEN KAYIPLARIN ÖNLENMESİNİN ÖNEMİ.....	23
2.1 Güç Sistemlerinde Meydana Gelen Kayıplar	26
3. DÜNYA DEVLETLERİNDE ve ÜLKEMİZDEKİ KAYIP KAÇAK DURUMLARI	32
3.1 Kayıp ve Kaçak Kullanımları Önlemek İçin Yapılan Çalışmalar	37
4. KAYIP ve KAÇAK TERİMLERİNİN AYRILMASI.....	43
4.1 Ülkemizdeki Kaçak Kullanımla Mücadele ve Verimliliği Artması İçin Yapılan Çalışmalar	51
4.2 Bazı Bölgeler İçin Kaçak Kullanım Miktarının Tahmini	61
5. YAPAY SİNİR AĞLARI İLE ANALİZ.....	65
5.1 Yapay Sinir Ağları (YSA)	65
5.2 Kaçak Kullanımların YSA ile Analizi	67
6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	75
6.1. Kayıp ve Kaçak Terimlerinin Ayrılmasının Avantajları	75
6.2 Kayıp ve Kaçak Terimlerinin Ayrılmasının Dezavantajları	75
7. SONUÇLAR.....	77

KAYNAKLAR	79
-----------------	----



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Ω	: Direnç (ohm)
Π	: Pi sayısı (3,14)
₺	: Türk Lirası
F	: frekans
L	: Endüktans
R	: Omik Direnç
S	: Görünür Güç
Q	: Reaktif Güç
P	: Aktif güç
$\cos\phi$	: Güç Faktörü
Φ	: Açık Değeri
O ₂	: Oksijen
E	: Gerilim Düşümü

Kısaltmalar

St	: Çelik
Al	: Alüminyum
Cu	: Bakır
ENH	: Enerji Nakil Hattı
EMO	: Elektrik Mühendisleri Odası
EDAŞ	: Elektrik Dağıtım A.Ş.
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
TEDAŞ	: Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş.
OECD	: Ekonomik Kalkınma ve İş Birliği Örgütü
IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineers (U.S.A) (Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü)
EPDK	: T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü
W	: Watt
kW	: Kilo Watt
kWh	: Kilo Watt Saat
MWh	: Mega Watt Saat
TWh	: Tera Watt Saat
GWh	: Giga Watt Saat
MVA	: Mega Volt Amper
PIC	: Peripheral Interface Controller
PLC	: Programlanabilir Mantıksal Denetleyici
DA	: Doğru Akım
AA	: Alternatif Akım
AG	: Alçak Gerilim
OG	: Orta Gerilim
YG	: Yüksek Gerilim
AAC	: Tam Alüminyum İletkenler
AER	: Alüminyum İletkenli Hava Hattı Kabloları

ACSR : Çelik Özlü Alüminyum İletkenler
AWG : American Wiring Gauge
AAAC : Tam Alüminyum Alaşımlı İletkenler



GİRİŞ

Elektrik enerjisi kalkınmanın temel araçlarından biridir. İnsanların artan yaşam kaliteleri elektrik enerjisine olan ihtiyaçlarını artırmıştır. Enerjinin kısıtlı olması ülkeler arasında sorunlara neden olabilmektedir. Elektrik enerjisi gibi önemli bir ihtiyacın kaliteli ve yeterli miktarda temin edilebilmesi için elektrik enerjisi talebinin doğru bir şekilde tahmin edilmesi gerekir. Bunun yanında enerji tüketiminde büyük bir rol üstlenen fosil kaynaklarının da sınırlı olma durumu, ülkeleri yeni enerji kaynakları bulmaya ve mevcut enerji kaynaklarını da daha verimli kullanmaya zorlamaktadır. Bu tahminler ışığında üretime yönelik çalışmaların yapılması ya da mevcut enerjinin korunması kayıpların ve kaçakların minimum seviyelere indirilmesi gerekmektedir. Elektrik enerjisinin daha verimli bir şekilde kullanılması giderek önem kazanmaktadır. Enerji tasarrufu ile beraber kayıpların da minimuma indirilmesi gerekmektedir.

Dünyada kabul görmüş yaklaşık maliyet ortalamalarına bakıldığında tüm sistemlerin ortalama maliyetlerinin %50 gibi büyük bir kısmı üretime, %20 civarı iletime ve kalan %30'u ise dağıtım hatlarında harcandığı görülmektedir. Maliyet oranları ve kayıp oranları incelendiğinde ise kayıplarda bu durum tam tersi olduğu görülmektedir. Dağıtım sistemlerinde bilindiği gibi kaçak kullanımların yanı sıra düşük gerilim ve yüksek akımdan dolayı kayıp oranı daha fazla olmaktadır. Dağıtım sistemlerinde kayıpları sıfıra yaklaştırmamız neredeyse imkânsız olduğu için dağıtım sistemlerinde ki en mükemmel verimlilik kaçak kullanımların önlenmesi ile mümkündür. Kayıp ve kaçak oranları sebebiyle dağıtım tesisleri incelendiğinde ise bu durum çokta iç açıcı olmadığı görülmektedir. Kayıp kaçak oranının çok yüksek olmasından dolayı toplam kayıp miktarı ülkemizde yaklaşık %15 üzerinde seyretmektedir. Bu oranlar incelendiğinde oldukça yüksek bir enerji miktarının israf olduğu ve boş yere yok olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada kayıp ve kaçak kullanımın birbirinden ayrılmasının önemini ve kaçak kullanım miktarlarının tahmin edilebilmesi için bir tahmin algoritması önrlmektedir.

KAYNAK ARAŞTIRMASI

Amjady N. ve Keynia.F. (2008) yapmış oldukları çalışmada farklı tahmin teknikleri kullanarak modern güç sistemlerinde ekonomik ve güvenli çalışma üzerine yük tahminlerinde bulunmuşlardır.

Celal YAŞAR ve arkadaşları (2010), çalışmalarında; bir dağıtım transformatöründeki kayıpları inceleyerek kayıpların minimum seviyelerde olmasını amaç edinmişlerdir.

İsmail Hakkı CAVDAR (2004), yapmış olduğu çalışmada PLC ile otomatik sayaç okuma için ekonomik çözümler üretmiştir. PLC ağında kaçak kullanımların tespit edilmesi için yöntemler göstermiştir.

Hüseyin BALCI ve arkadaşları (2012), tez çalışmasında; 2003-2010 yılları arası saatlik enerji tüketim verileri yardımıyla 2004 yılından başlayarak 2004-2010 yılları arasında günlük yük tahmini yapmış ve gerçek verilerle kıyaslamışlardır.

Yrd. Doç. Dr. Ümit K.TERZİ ve Şevket SARGIN (2006), çalışmalarında; üretimden tüketime elektrik enerji sistemlerinde meydana gelen kayıplar ve giderilmesine yönelik önerilerde bulunmuşlardır. Kayıpların azaltılmasına yönelik elde edilebilecek enerji kazanımlarından bahsetmişlerdir.

Celal YAŞAR ve arkadaşları (2006), yüksek lisans tez çalışmasında; elektrik güç sistemleri ve kayıplarını incelemiş, kayıpların minimum seviyelere indirilmesini amaçlamıştır.

Mükail Akbulut (2011) yapmış olduğu yüksek lisans tezinde İstanbul'un Avrupa yakası için reaktif yük tahmininde bulunmuştur. İstanbul'un Avrupa yakası için transformatörlerden çekilen enerji miktarlarına değinmiştir.

World Bank Group (1982), Dünya Bankası Enerji Bölümü bu çalışmasında; enerjinin verimliliği ve güç dağıtım şebekelerini ele alarak sistem kayıplarına değinmiş ve güç faktörünün düzeltilmesi, zararların ekonomik yönden iyileştirilmesi, verimliliğin artırılması gibi konularda bilimsel hesaplamalarda bulunmuştur.

Hamza YAPICI (2013), yüksek lisans tez çalışmasında; güç optimizasyonlarının gerçekleşmesi ve dağıtım şebekelerine uygulanma yöntemlerini amaç alarak kayıpların azaltılmasını incelemiştir.

TUDOR, 2010'da Optimal Loss Reduction of Distribution Networks Using a Refined Genetic Algorithm adlı yapmış olduğu çalışmada çeşitli algoritmalar kullanılarak dağıtım şebekelerinde kayıpları azaltarak iyileştirmeyi amaçlamıştır.

MBDC Filho, AML da Silva ve DM Falcao (1990), bu çalışmada; güç dağıtım sistemlerinin yeniden yapılandırılması için yeni algoritmalar sunulmuş ve yeterli iletken ve trafo kapasitelerini sağlamak için optimal bir kayıp azalımı gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir.

Ekrem GÜRSOY ve Adnan KAYPMAS (2000), yapmış oldukları yüksek lisans tez çalışmasında yapay sinir ağı yöntemi kullanarak ÇEAŞ ve KEPEZ Elektrik T.A.Ş. bölgelerinin puant güç tahminlerini yapmışlardır. Yapay sinir ağlarında öğrenme algoritmaları oluşturularak trafo merkezlerinin puant güce katkılarını tahmin etmişlerdir.

TEDAŞ 2007 Faaliyet Raporu (2009), Kayıp kaçak oranının azaltılması için enerji nakil hatlarında ki iyileştirilme faaliyetlerinden ve kaçak kullanımlarla mücadeleden söz edilmiştir.

Elektrik Piyasası Sektör Raporu 2011 (2012), bu makalede; ülkemizde 2011 yılında olan yatırımlar ve üretim, tüketim alanında ki değişikliklerden bahsedilmiş olup, enerji piyasasını canlandırmak ve ekonomiye katkı da bulunması hedeflenmiştir.

Düzgün, 2018 yılında yapmış olduğu çalışmada ülkemizin kayıp kaçak oranlarıyla ilgili 2023 yılında gerçekleşmesi muhtemel olan kayıp kaçak oranlarının tahmininde bulunmuştur. İletim ve dağıtım hatlarının verimliliğini incelemiştir.

Kocaman, 2018 yılında yapmış olduğu çalışmada kaçak kullanımların önüne geçmek, şebekeleri uzaktan takip edebilmek amacıyla PLC kullanımının faydalarına dikkat çekmiştir. Çalışmasında PLC kullanımlarının maliyetlerini ve getirdiği faydalardan bahsetmektedir. Ayrıca kurmuş olduğu sistem sayesinde abonelerin kaçak kullanımın önüne geçmeyi hedeflemiş ve ödemesini yapan abonelerin enerjilerine hemen kavuşabileceğinin kolaylıklarından bahsetmiştir. Çalışmasında PLC uygulaması yapılan pilot bölgelerdeki teknik kayıplar ve teknik olmayan kayıpların azaldığını vurgulamıştır.

Murat Aydın (2016) yılında yaptığı çalışmada enerji verimliliğinin sürdürülebilirliğine dikkat çekmiştir. OECD ülkelerinin elektrik tüketim miktarı ve kayıp kaçak oranlarına da dikkat çekerek ülkemizde kayıp kaçak oranının OECD seviyelerine çekilmesinin önemini vurgulamıştır. Aydınlatma, ulaşım sektörü, bina sektörüne ve sanayi sektörüne dair politikalara değinerek verimliliğin artırılması için önerilerde bulunmuştur.

EPDK (2010) yayınlamış oldukları bildiride Türkiye'nin elektrik piyasası mevzuatı, elektrik üretim ve tüketiminin gelişimi, piyasalarda oluşan fiyatlar, serbest tüketici hareketleri ve rekabetin gelişiminden bahsetmiştir.

EPDK (2016), yayınlamış oldukları bildiride kurulu güç, enerjideki üretim ve tüketim miktarı, faturalandırılan tüketim miktarlarından, iletim ve dağıtım sistemleri hakkında bilgilerden bahsetmektedir. Bu bildiride dağıtım şebekelerindeki abone sayılarından ve tüketilen enerji miktarlarıyla ilgili bilgilendirme yapılmıştır.

Raul JIMENEZ ve arkadaşları (2014), yapmış oldukları çalışmada Latin Amerika ve Karayipler bölgesindeki iletim kayıplarını incelemişlerdir.

Omar A. Carmona Cortés ve arkadaşları (2011), yapmış oldukları çalışmada elektrik tüketim profillerinin sınıflandırılabilmesi için bir teknik önermişlerdir.

Thomas B. Smith (2004), yapmış olduğu çalışmasında kaçak kullanımların sebep olduğu faktörlerden bahsetmiştir. Sayaçlara müdahale, faturaların düzensiz tutulması ve ödenmeyen faturaların kaçak kullanımların artmasına sebep olduğunu belirtmiştir. Korumalı sayaçların kaçak kullanımların önüne geçebileceği vurgusu yapılmıştır.

1. ENERJİ NAKİL HATLARI ve DAĞITIM ŞEBEKELERİ

19. yüzyılın sonlarına doğru kullanım oranları artmaya başlayan elektrik enerjisi günümüzde artık çok büyük önem arz etmektedir. Günlük yaşantımızın vazgeçilmezi haline gelen ve her alanda vazgeçilmez bir unsur haline gelmiştir. Özellikle 2. Dünya Savaşı'ndan sonra elektrik enerjisi ihtiyacı her yıl yaklaşık olarak %10 civarında bir artış göstermektedir. Giderek artış gösteren enerji kullanımı yeni üretim tesislerinin kurulması ve üretilen bu elektrik enerjilerinin taşınmasını zorunlu hale getirmiştir ve iletim hatlarını yaygınlaştırmıştır. Elektrik enerji sistemleri gelişmiş ve enerji iletimi, üretimi ve dağıtımı adeta birer mühendislik dalı haline gelmiştir. Elektrik enerjisi üretim merkezlerinin çevre kirliliği, hammadde taşınması durumundaki zorluklar, güvenlik gibi birçok sebeplerden dolayı tüketim merkezlerinden uzak bölgelere kurulması, iletim hatlarının ne derece önemli olduğunu gözler önüne sermiştir. Elektrik iletim hatlarını kısaca tanımlamak istersek; elektrik üretim tesislerinde kontrollü bir şekilde üretilen elektrik enerjisinin dağıtım hatlarına ulaşımını sağlayan hatlar şeklinde tanımlayabiliriz. Elektrik iletim hatlarının güvenliliği ve verimliliğinin yüksek olması çok önemli faktörlerdir.

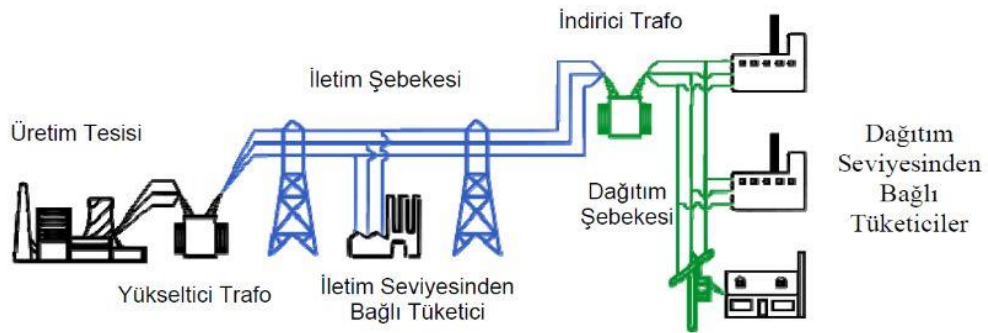
Türkiye Enerji Verimliliği Meclisi – TEVEM ve Enerji Verimliliği Derneği ENVERDER'in ortaklaşa düzenlediği birtakım çalışmalara göre 2030 yılına ulaşıldığı takdirde dünya nüfusunun büyük kentlere daha çok göç edeceği, enerji ihtiyacının daha çok artacağını ortaya koymuştur. Enerji vazgeçilmez bir hale gelmiştir. Enerji ihtiyacının önümüzdeki senelerde de artışına devam edeceğini de hesaba katacak olursak, kullandığımız enerjinin önemi daha çok anlaşılmış olacaktır. Bu ihtiyaçtan dolayı boşa harcanan enerjilerin önüne geçilmeli teknik kayıplar veya teknik olmayan kayıplar hem israf boyutunda hem ekonomik boyut düşünüldüğü zaman en düşük seviyelerde tutulmak zorundadır.

Elektrik enerjisini üreten santraller genellikle tüketim merkezlerinin çok uzağında kurulur. Bir santralde üretilen elektrik enerjisi yüksek gerilimli iletim hatlarıyla yerleşim birimlerinin veya sanayi bölgelerinin yakınına kadar ulaştırılmakta ve ardından buradaki trafo merkezlerinde gerilimi düşürülerek dağıtılmaktadır. Elektrik enerjisinin üretimi kadar, üretilen enerjinin mümkün olduğunca kayıpsız ve güvenli bir şekilde abonelere ve binlerce kullanıcılara iletimi ve dağıtımı da en önemli süreçlerden biridir. Bu nedenle iletim ve dağıtım sistemlerindeki hat kayıplarını en aza indirilmesi, elektrik enerjisi sistemlerinin verimli şekilde işletilmesi bütün Dünya'da olduğu gibi ülkemizde de gittikçe önem kazanmaktadır.

Genellikle birbirinden uzak mesafelerde olan, elektrik üretim santralleriyle tüketim merkezleri arasındaki iletim, enterkonnekte sistemlerle sağlanır. Enterkonnekte sistemler, elektrik enerji üretimini, yerleşme birimlerinin tüketim seviyesine getirilmesini sağlayan elektrik güç sistemleridir. Gerilim seviyesi arttığında enerji iletim tesisinde ciddi mali tasarruflar sağlanır: İletim hattı boyunca elektrik enerjisi kaybı gerilim seviyesiyle ters orantılı olup, gerilimin seviyesi arttıkça elektrik enerjisi kayıp gücünde o nispette azalmaktadır. Bununla beraber, gerilim seviyesi arttıkça iletim hattı sayısı azalacağından, üzerine iletim hatlarının tesisi yapılacağı toprak arazilerden de tasarruf elde edilir. Ayrıca ilave hatlar tesis edilmeyeceğinden bu hatlara yapılacak bakım masrafları da olmayacaktır.

Elektrik enerjisi depolanamayan bir enerji türüdür. Bu nedenle üretildiği anda hemen kullanıcıya ulaştırılması gerekir. Santrallerde üretilen elektrik enerjisi, yüksek gerilim, orta gerilim ve alçak gerilim hatlarıyla iletilmekte ve dağıtılmaktadır. Yüksek gerilim hatları genellikle enterkonnekte şebeke ile yerleşim birimleri arasında iletim sağlarken, orta gerilim ve alçak gerilim hatları ise şehir içi elektrik enerjisi dağıtımında kullanılır (Solmaz, 2016).

Santrallerde üretilen elektrik enerjisinin abonelere ulaştırılması için kullanılan en basit bir enerji iletim ve dağıtım sistemi Şekil-1.1’de görülmektedir. Santrallerde su, rüzgâr, kömür gibi bir kaynağının enerjisi öncelikle mekanik enerjiye dönüştürülür. Bu potansiyel enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmek için ise generatörler (alternatörler) kullanılır. Generatörlerin ürettikleri gerilim güç transformatörleri yardımıyla yükseltildikten sonra iletim şebekesiyle iş ve yerleşim merkezlerinin veya sanayi bölgelerinin yakınındaki dağıtım merkezlerine ulaştırılır. İletim şebekesi, direkler, iletkenler, trafo merkezleri ve benzeri ünitelerden oluşur (EPDK, 2019).

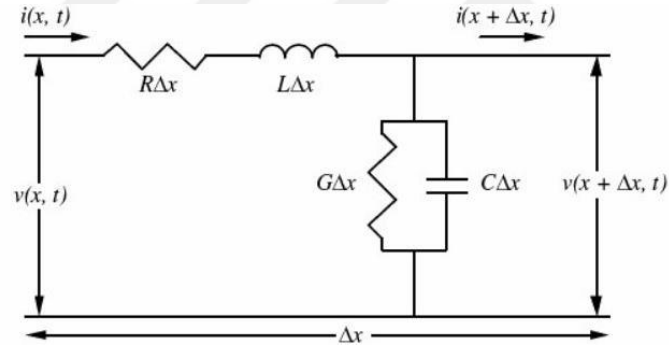


Şekil 1.1 – Elektrik Enerjisinin Abonelere Ulaştırılması

1.1 Enerji Nakil Hatları

Elektrik iletim hatlarını isimlerini taşıdıkları gerilim seviyesine göre aldıklarından dolayı, yüksek gerilim hatları ve alçak gerilim hatları olarak iki başlık altında inceleyebiliriz. Yüksek gerilim hatları genellikle santral ve yerleşke bölgeleri arasına kurulmaktadır. Alçak (düşük) gerilim hatları ise şehir içi elektrik dağıtımında kullanılır. Havai hat bir enerji nakil hattı (ENH); genellikle bakır ya da alüminyum iletken, taşıyıcı direk (pilon) ve iletkenle direk arasında yalıtımı sağlayan izolatörlerden meydana gelir. Ülkemizde ENH sistemleri Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) tarafından işletilmektedir.

ENH genel olarak üretilen elektrik enerjisinin başka bölgelere taşınmasını sağlayan, direkler, topraklama ekipmanları, izolatör ekipmanları gibi malzeme gruplarını içinde bulunduran taşıma hatlarıdır. Elektriksel yönden ele alındıklarında hat parametreleri ile ifade edilirler. Şekil-1.2’de bir ENH için eşdeğer devre modeli verilmiştir (Anonim, 2018).



Şekil-1.2 Enerji İletim Hattı Eşdeğer Devre Modeli

Bütün alternatif akımla çalışan iletkenlerde olduğu gibi iletim hatları iletkenlerinde de omik direnç (R), endüktans (L) ve kapasite (C) hat sabitleri mevcuttur. İletim ve dağıtım hatlarında gerilim düşümü ve güç kayıplarına sebep olan faktörler hat sabitleridir. Bu sebepten ötürü hattın direnci çok dikkatli hesaplanması gerekmektedir.

$$R = \frac{P}{I^2} = \frac{W}{A^2} \Omega \quad (1.1)$$

P : Aktif güç (W)

I : Akım (A)

R : Direnç (Ω)

İletkenin doğru akım direnci ise ;

$$R = \frac{L}{K.S} \Omega \quad (1.2)$$

L : İletken uzunluğu (m)

K : İletkenlik kat sayısı (m/ Ω .mm²)

S : İletkenin kesiti (mm²)

Havai hatlarda (St-Al) çelik alüminyum iletkenler kullanılmaya başlanmasına rağmen ortada bulunan çeliğin kesitleri ihmal edilir. Kullanılan çelik iletken özellikte değil sadece fiziksel mukavemet sağlaması açısından kullanılır. Direnç hesabı yapılırken bu yüzden sadece alüminyum kesiti göz önüne alınır. Bakır için $K=56 \text{ m}/\Omega.\text{mm}^2$, 20° C alüminyum için ise $K=35 \text{ m}/\Omega.\text{mm}^2$ olarak alınır.

Üzerinden akım geçen iletkenin çevresinde meydana gelen manyetik alan sebebiyle iletkenler üzerinde bir endüktans meydana gelecektir. Manyetik akı değişiminin akım değişimine oranı bize endüktansın değerini vermektedir. Devrede meydana gelen bu endüktans gerilim düşümüne sebep olur ama bu gerilim düşümünün aktif güç kaybına bir etkisi bulunmamaktadır.

$$X_L = 2.\pi.f.L = \Omega \quad (1.3)$$

X_L : Endüktif direnç (Ω)

f : Şebeke frekansı (Hz)

π : Pi sabit sayısı (3,714)

L : Bobinin endüktansı (Henry)

Bir iletken yükünün potansiyeline oranı da iletkenin kapasitesini vermektedir. Kapasitenin birimi Farad olup F ile gösterilir. Birbirinden ayrılmış karşılıklı duran iki iletken arasında kondansatör özelliği vardır. Ayrıca kendi aralarında olduğu gibi toprak zeminle aralarında da kondansatör özelliği bulundurlar.

$$X_c = \frac{1}{2}.\pi.f.C (\Omega) \quad (1.4)$$

X_c : Kapasitif direnç (Ω)

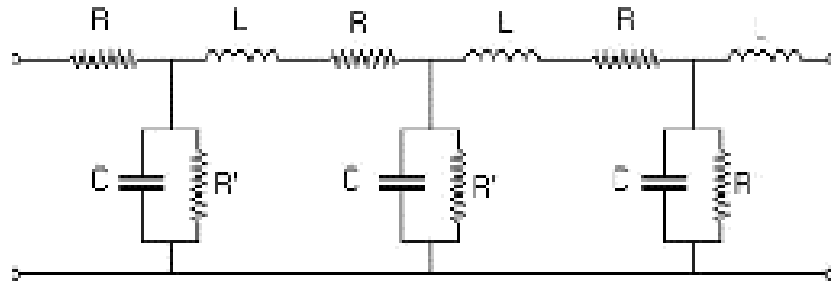
π : Sabit Pi sayısı (3,714)

f : Şebeke frekansı (Hz)

C: Kondansatör kapasitesi (F)

ENH'larda mor renkli olarak karşımıza çıkan faz iletkenlerinin yüzeyinde havanın iyonize olma sonucu korona olayları meydana gelir. İletken yüzeyinde birbirine yakın duran faz iletkenlerinde nemli ya da sisli havanın yüzeye temas etmesi durumunda sık rastlanan bir olaydır. Faz iletkenlerinin demetler halinde kullanılması korona kayıplarını da azaltacaktır. Korona olayı da bir enerji kaybıdır. Hava şartlarının yanında şebeke gerilimi, iletkenlerin yarıçapı ve faz iletkenlerinin birbirlerine olan uzaklıkları da bu kaybı etkileyen diğer faktörlerdir (Anonim, 2011).

Elektrik enerjisi iletim hatları uzunluklarına göre üçe ayrılabilirler. 0 – 100 km'ye kadar olan iletim hatları kısa iletim hatları olarak isimlendirilirler. 100 km ve 250 km arası uzunluğa sahip iletim hatları orta uzunluktaki iletim hatlarıdır. 250 km ve daha uzun iletim hatları ise uzun iletim hatları olarak adlandırılır ve uzunluklarına göre gerekli hat parametreleri bulunarak hesaplamalar yapılır. İletim hatlarını elektriksel yönden inceleyebilmemiz için öncelikle hat parametrelerini iyi anlayıp, doğru bulmamız gerekir. İletim hatlarının bir omik direni (R) vardır. Alternatif akım için hesaplanan omik direnç doğru akımla mukayese edildiğinde, deri olayı sebebiyle yaklaşık olarak 1.5 kat daha fazladır. Aynı zamanda diğer iletkenlerden geçen akımın oluşturmuş olduğu akı nedeniyle faz iletkenlerinin self ve ortak endüktansları da söz konusudur. Hattın omik direnci ve endüktif reaktansı birbirine seri bağlı olarak düşünülür. Ayrıca yalıtkan ortam (hava) içerisinde bulunan hatların birbirlerine veya toprağa göre kaçak kapasiteleri de mevcuttur. Ancak hesaplarda izlenen genel yol kapasitif reaktans yerine bunun tersine eşit olan süseptans ile çalışılmaktadır. İletkenlerin toprağa karşı olan kaçak dirençleri aşırı küçük olduğu için hesaplama yapılırken genelde ihmal edilir. Hattın kapasitesi, hat ile toprak arasına bağlı süseptans ile daha genel anlamda ise admitans ile temsil edilir. Şekil-1.3'te bir iletim hattının faz toprak arası eşdeğer devresi gösterilmiştir.



Şekil-1.3 Bir İletim Hattının Faz-Toprak Arsından Görülen Eşdeğer Devresi

L : Birim uzunluk başına hattın faz-toprak endüktans değeri,

R : Birim uzunluk başına hattın direnci,

C : Birim uzunluk başına hattın faz-toprak kapasitesi,

R' : Birim uzunluk başına hattın faz-toprak kaçak direnci olarak tanımlanmıştır.

Kısa uzunluklu hatlar için kapasite hesaplamalarda ihmal edilebilir. Hat seri bir empedansla ifade edilebilir. Orta uzunluktaki iletim hatları içinse kaçak direnç hesaplamalarda genellikle ihmal edilir. Şönt admitans genellikle tamamen kapasite olarak dikkate alınır.

Kısaca elektrik enerjisi hatları;

- Kısa uzunluktaki iletim hatları
- Orta uzunluktaki iletim hatları
- Uzun iletim hatları olmak üzere üç başlık altında incelenir.

1.2 İletim Hatları Hat Parametleri

İletim hatlarında hattın omik direnci (R), endüktansı (L) ve kapasitesinin (C) hesaplanması önemli bir husustur. Kısa iletim hatlarında hattın kapasitesi ihmal edilebilirken uzun iletim hatlarında hesaplanması gerekir. Gerilim düşümüne ve güç kaybına sebebiyet veren direncin doğru hesaplanması gerekmektedir. Doğru akım direnci;

$$R = \frac{\rho \cdot L}{S} \quad \Omega \quad (1.5)$$

eşitliğinden hesaplanır.

ρ : İletken malzemenin öz direnci

Hava hatlarında Cu (bakır) iletkenlerin yerini tamamen Al (alüminyum) iletkenler almıştır. Al iletkenler ile St-Al iletkenlerin Al kısımları için 20°C' deki öz direnç, 0.028264 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ olarak dikkate alınır.

Bir iletkenin doğru akım direnci alternatif akıma karşı gösterdiği dirençten farklıdır. Alternatif akım direnci ölçme yoluyla veya hesap yoluyla belirlenebilir. Genel olarak örgülü bir iletkenin doğru akım direnci, aynı kesitli som iletkenine göre %2 daha fazla alınabilir. İletkenlerin direnç hesabındaki bir başka etken ısı faktörüdür. İletkenlerin direnç hesaplarında ortam sıcaklıklarının etkisinin de hesaba katılması gerekmektedir. İletkenlerin sıcaklıkla değişimi;

$$\frac{R_1}{R_2} = (T + t_1)/(T + t_2) \quad (1.6)$$

$$R_t = R_{20}(1 + \alpha_{20}(t - 20)) \quad (1.7)$$

şeklinde hesaplanabilir. Bazı iletkenlerin α katsayısının sıcaklıkla değişimi Tablo1.1’de gösterildiği gibidir.

Tablo–1.1 Bazı iletkenlerin α katsayısının sıcaklıkla değişimi

İletken Malzemenin Cinsi	α_0	α_{20}	α_{25}	α_{50}	α_{75}	α_{80}	α_{100}
%100 geçirgenliğe sahip bakır	0,00427	0,00393	0,0385	0,00352	0,00325	0,00318	0,00299
%95,5 geçirgenliğe sahip bakır	0,00415	0,00383	0,00376	0,00344	0,00316	0,00312	0,00293
%61 geçirgenliğe sahip bakır	0,00438	0,00403	0,00395	0,00360	0,00330	0,00325	0,00305

1.6. formülü kullanarak iletkenlerin yeni direnç değerlerinin hesaplanabilmesi için bazı iletkenlerin T değeri Tablo–1.2 de gösterildiği gibidir.

Tablo–1.2 Bazı iletkenler için T değeri

METAL	T(°C)
Kurşun	218
Gümüş	243
Bakır	235
Alüminyum	236
Çinko	250
Pirinç	650

Alternatif akım için dikkat edilmesi gereken bir diğer konu deri etkisidir. DA taşıyan iletkenlerin kesit alanlarında ki akım yoğunluğu sabitken AA iletkenlerde durum farklıdır. Frekansa bağlı olarak iletkenin merkezinden geçen akım yoğunluğu düşüktür. Merkezden dışarı doğru uzaklaştıkça AA iletkenlerdeki akım yoğunluğu da artmaktadır.

Deri etkisi sebebiyle iletkenlerin kesiti küçülmüş gibi olur. Direnç ile kesit ters orantılı olduğundan dolayı alternatif akımda direncin değeri büyük olur.

Eş uzaklıklı 3 fazlı bir iletim hattının her bir fazına ait indüktans;

$$L = 2 * 10^{-7} (\ln \left(\frac{D}{r'} \right)) \quad (1.8)$$

olarak hesaplanır.

D : İletkenler arası mesafe

r' : İletkenin yarıçapıdır.

Bir iletkenin yükünün potansiyele oranı o iletkenin kapasitesi olarak adlandırılır.

$$C = \frac{Q}{V} \quad (1.9)$$

şeklinde hesaplanır. Havai hatlardaki iletkenler kendi aralarında kondansatör özelliği gösterirler. Aynı durum yer altı kablolarında da görülmektedir. Kısa uzunluktaki enerji nakil hatlarında veya 66 kV'dan düşük iletim hatlarında bu değer ihmal edilebilir.

$$C = 2\pi\epsilon / (\ln \left(\frac{D}{r} \right)) (F/m) \quad (1.10)$$

şeklinde hesaplanır.

1.3 İletim Hatlarında Kullanılan İletkenler

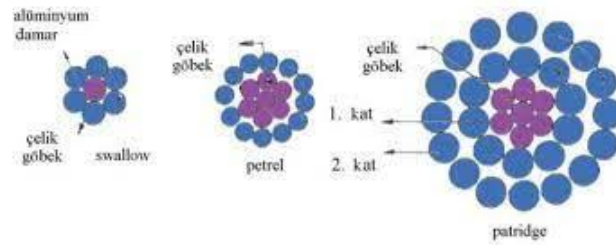
Elektrik enerjisi iletim hatlarında alüminyum ve bakır iletkenlerin kullanımı yaygındır. Alüminyum iletkenlerde mukavemeti sağlamak amacıyla çelik damar kullanılır. Bu çelik damar elektrik hesaplamalarında hesaba katılmaz. Örneğin 7 damarlı bir alüminyum iletkenin 6 katını Al (alüminyum), 1 katını St (çelik) oluşturur. Elektriksel hesaplamalarda St'nin çapı hesaba katılmaz. Ayrıca bakır iletkenler yerini zamanla esnekliği daha iyi olan alüminyum iletkenlere bıraktığı görülmektedir. Enerji genellikle uzun mesafelerde iletilir. Köy, şehir, kasaba gibi yerleşim yerlerine ve sanayi bölgelerine dağıtılır.

İletkenlik bakımından gümüş ve altın çok iyi iletkenlerdir. Ama maliyet bakımından pahalı oldukları için çok fazla tercih edilmezler. Optimal maliyetler göz önüne alındığı zaman alüminyum iletkenlerin kullanımı daha yaygındır. Alüminyum

iletkenler ilk kez Amerika ve Fransa'da 1895 yılında hava hattı örgülü iletkenler olarak kullanılmaya başlanmış olsa bile 1908 yılından beri hava hattı çelik özlü alüminyum iletkeni olarak kullanımını sürdürmektedir (Solmaz, 2016). Alüminyum maddesinin kullanılmasının, Dünya üzerinde en çok mevcut olan elementlerden bir tanesi olması kullanımının avantajlarından da bir diğeridir. Yeryüzünde bulunan elementlerin %8 gibi büyük bir oranını oluşturması alüminyumun her alanda kullanımını yaygınlaştırmıştır. Uçak, elektrik, inşaat, elektronik gibi birçok alanda Al malzemeleri görebiliriz.

Alüminyum iletkenler genel olarak AAC (Tam Alüminyum İletkenler) ve ACSR (Çelik Özlü Alüminyum İletkenler) olarak kullanılır. AAC sadece alüminyumdan oluşurken ACSR ise hem alüminyum hem de çelik tellerden meydana gelmektedir. Örgülü olarak kullanılan alüminyum iletkenlerin amacı tellerin askı ve gergi noktalarında oluşan titreşimler sebebiyle kopmasını önlemek amacıyla mukavemet kazandırmak içindir. Bu yüzden örgülü iletkenlerin aynı kesit ve aynı cinsteki örgülü olmayan iletkenlere karşı endüktif reaktansları daha fazla olacaktır. Özetlemek gerekirse alüminyum iletkenler hafifliği, maliyeti ve özelliklerinin vermiş olduğu avantajlardan dolayı kullanım alanları yaygındır.

AAC olarak belirttiğimiz alüminyum iletkenler büyük bir oranda elektrolitik olarak arıtılmış alüminyum külçelerden üretilmektedir. Kısa direk aralıklı enerji iletim hatlarında kullanımları çok yaygındır. ACSR olarak bilinen iletken tipi ise düşük bir oranda çekik özler üzerine sarılmış alüminyum iletkenlerden meydana gelmektedir. Bu tür iletkenler genellikle direk aralıkları uzak ve fazla mukavemet gerektiren yerlerde kullanılmaktadır. Orta ve yüksek gerilimler için ACSR iletkenleri daha uygundur. Şekil-1.4' te alüminyum iletkenlerin yapısına örnek verilmiştir.



Şekil – 1.4 Alüminyum İletkenlerin Yapısı

Ayrıca AAAC (Tam Alüminyum Alaşımli İletkenler) olarak adlandırdığımız iletken türü vardır. Yüksek mekanik dirence ve AAC ve ACSR iletkenlere göre daha fazla korozyon direncine sahip bu iletkenler de enerji nakil hatlarında ve dağıtım hatlarında

kullanıma uygundur. Ağırlık ve gergi oranı yüksek olduğundan diğer türlere göre daha fazla tercih edilebilirler.

Havai hatlarda iletkenler, masif tel ile masif örgülü bakır veya alüminyum tellerden yapılır. Masif örgülü iletkenler aynı veya aynı cins metalden imal edilirler. Örgülü iletkenler büyük kesitlerde montaj kolaylığı, esnek oluşu gibi avantajlardan dolayı tercih edilebilir.

Günümüzde ülkemizde YG enerji naklinde 3 AWG (Swallow), 1/0 AWG (Raven), 3/0 AWG (Pigeon), 266 MCM (Partridge) ve 477 MCM (Hawk) St-Al iletkenler kullanılmaktadır. AWG (American Wire Gauge) Amerikan tel ölçülerinin baş harfidir. AWG'nin mm²'ye dönüşümü Tablo-1.3'te gösterildiği gibidir (EMO, 2017).

Tablo-1.3 AWG mm² dönüşüm cetveli

AWG Nu.	Kesit mm ²	Çap mm	İletken Direnci W/Km
1000 MCM	507	25,4	0,035
750	380	22	0,047
600	304	20,7	0,059
500	254	19,7	0,07
400	203	18,9	0,09
350	178	17,3	0,10
300	152	16	0,12
250	127	14,6	0,14
0000	107,20	11,68	0,18
000	85	10,40	0,23
00	67,50	9,27	0,29
0	53,40	8,25	0,37
1	42,40	7,35	0,47

Günümüzde kullanılan iletkenlerin yapısı ve elektriksel özellikleri ise Tablo-1.4'te gösterilmiştir.

Tablo–1.4 Çelik özlü alüminyum iletkenlerin yapısı ve elektriksel özellikleri

Kanada Standardı Anma Adı	A1/S1 A (Al/St)	Kesit				Tel Sayıları ve Çapları				Eşdeğer Bakır Kesiti mm ²	Anma Çapı	
		AWG veya cir.mils	Al mm ²	Çelik mm ²	Topla m İletken mm ²	Alüminyu m		Çelik (St)			St mm ²	İletken mm ²
						Adet	Çap mm ²	Adet	Çap mm ²			
Swallow	27/4	3	26,69	4,45	31,14	6	2,38	1	2,38	16,78	2,38	7,14
Sparrow	34/6	2	33,59	5,60	39,19	6	2,67	1	2,67	21,09	2,67	8,01
Robinone	45/7	88 220	44,70	7,45	52,15	6	3,08	1	3,08	28,11	3,08	9,24
Raven	54/9	1/0	53,52	8,92	62,44	6	3,37	1	3,37	33,73	3,37	10,1
Pigeon	85/14	3/0	85,13	14,18	99,30	6	4,25	1	4,25	53,52	4,25	12,75
Partridge	135/2 2	266 880	134,87	21,99	156,86	6	2,57	1	2,00	85,17	6,00	16,28
Ostrich	152/2 5	300 000	152,19	24,71	176,90	26	2,73	7	2,12	95,60	6,36	17,28
Hawk	242/3 9	477 000	241,65	39,19	280,84	26	3,44	7	2,67	152,00	8,01	21,77
Drake	403/6 5	795 000	402,56	65,44	468,00	26	4,44	7	3,45	253,30	10,3	28,11
Condor	402/5 2	793 000	402,33	53,13	454,48	34	3,08	7	3,08	253,30	9,24	27,72
Rail	483/3 4	954 000	483,40	33,60	517,00	45	3,70	7	2,47	300,00	7,40	29,6
Cardinal	485/6 3	954 000	484,53	62,81	547,34	54	3,38	7	3,38	304,00	10,1	30,42
Pheasant	645/8 2	1 270 000	645,08	81,71	726,79	54	3,90	19	2,34	405,70	11,7	35,1

Başlıca kullanılan YG iletkenlerin akım taşıma kapasiteleri Tablo–1.5’de akım taşıma kapasitelerini etkileyen faktörler ise Tablo-1.6’da gösterildiği gibidir (EMO, 2017).

Tablo–1.5 Çelik özlü alüminyum iletkenlerin akım taşıma kapasiteleri

Standart Anma Adı	Toplam Kesit (mm ²)	Akım Taşıma Kapasiteleri (A)		
		1	2	3
Swallow (3 AWG)	31,14	120	160	180
Raven (1/0)	62,44	195	230	280
Pigeon (3/0)	99,3	275	300	360
Hawk (477 MCM)	156,86	345	460	510
Cardinal (954 MCM)	280,84	540	670	740

Tablo–1.6 Akım taşıma kapasitesini etkileyen faktörler

İşaretler	1	2	3
Rüzgar Hızı (m/sn)	0	0,61	0,6
Ortam Sıcaklığı (°C)	40	25	20
İletken Yüzeyi	80	75	80
Güneş Isısı	-	-	1

Bu iletkenler Kanada normuna göre üretilmişlerdir. Bugün ülkemizde OG (orta gerilim) iletim ve dağıtım hatlarında çoğunlukla Swallow, Raven, ve Pigeon türleri tercih edilir. Swallow’dan Partridge’ye kadar olanları yedi damarlıdır.

Askı telli, demet biçimli, alüminyum iletkenli hava hattı kabloları (AER) 1960 yılından beri tüm dünyada alçak ve orta gerilim hatlarında kullanılmaya başlanmıştır. Ülkemizde ise 1971 yılından itibaren kullanılmaya başlanılmıştır. Bu iletkenler güvenlik ve emniyet bakımından daha avantajlıdır. ALPEK iletkenlerin özellikleri Tablo–1.7’de gösterilmiştir (EMO, 2017).

Tablo–1.7 ALPEK İletkenlerin Özellikleri

ALPEK İletken Adedi ve Kesiti mm ²	Yalıtılmış Faz İletkenleri				Nötr Askı Teli		Tüm Kablo		Standart İmalat Uzunluğu m
	Dağıtım Hattı		Sokak		Kesit mm ²	Kopma Yükü kgf	Dış Çap mm	Ağırlık kg/km	
	Adet x Kesit mm ²	Azami Akım Amper	Adet x Kesit mm ²	Azami Akım Amper					
1x10+16	1x10	55	-	-	16	480	12	100	1000
3x10+16	3x10	50	-	-	16	480	20	200	1000
1x16+25	1x16	70	-	-	25	75	14	140	1000
1x25+35	1x25	100	-	-	35	1050	17	200	1000
1x35+50	1x35	125	-	-	50	1500	20	275	1000
3x16+25	3x16	70	-	-	25	750	22	275	1000
3x25+35	3x25	90	-	-	35	1050	26	400	1000
3x35+50	3x35	115	-	-	50	1500	30	575	1000
3x50+70	3x50	140	-	-	70	2100	35	750	1000
3x70+95	3x70	180	-	-	95	2850	41	1050	1000
1x16+25	-	-	1x16	75	25	750	14	140	1000
1x16+1x16+25	1x16	70	1x16	60	25	750	15	225	1000
3x16+1x16+25	3x16	60	1x16	60	25	750	22	350	1000
3x25+1x16+35	3x25	80	1x16	60	35	1050	26	475	1000
3x35+1x16+50	3x35	95	1x16	60	50	1500	30	525	1000
3x50+1x16+25	3x50	120	1x16	60	70	2100	35	800	1000
3x70+1x16+95	3x70	150	1x16	60	85	2850	41	1100	1000

1.4 Elektrik Dağıtım Şebekeleri

Aynı anma gerilimiyle birbirleri arasında bağlantı bulunan bu elektrik dağıtım tesislerinin ya da şebekelerin kullanım amacı elektrik enerjisini kullanıcılara ulaştırmaktır. İletim hatları genellikle yerleşim bölgelerinden uzak noktalara kurulmuştur. Bu yüzden üretilen elektrik enerjisini kullanıcılara ulaştırmak için dağıtım hatlarına ihtiyaç duyulmuştur. Elektrik iletim ve dağıtım şebekeleri enerjinin kesintisiz ve güvenilir bir şekilde aktarılmasına uygun olmalıdır. Birçok şebeke sistemi vardır. Bunlardan bazıları şunlardır;

- Dallı şebekeler
- Ring şebekeler
- Ağ gözlü şebekeler

Dallı şebekeler şehir merkezlerinde ve köy yerlerinde beslemesi tek bir kaynaktan yapılan şebeke türüdür. Dallı şebekeler trafo etrafından kalın kesitli kollarla başlayarak, trafodan uzaklaştıkça incelerek son tüketiciye kadar ulaşır. Bu hatlara branşman hatları da denir. Dallı şebekeler maliyet bakımından incelendiği zaman ucuz olması ve işletme kolaylığı yönünden avantajlıdır. Ancak bir arıza anında birçok abone enerjisiz kalabilir. Herhangi bir trafodan uzaklaştıkça gerilim düşümü artacaktır.

Ring şebekeler ise yine şehirlerde ve köylerde uygulanabilen ve birden fazla trafoların birbirine paralel olarak bağlanması ile oluşturulan bir sistemdir. Birden fazla trafo kullanımı herhangi bir arıza bakımında kullanıcıların enerjisinin kesilmemesi yönünden avantajlı bir durumdur. Ancak tesis maliyetinin fazla olması dezavantajdır.

Ağ gözlü şebekeler ise beslemenin yine birden fazla trafo ile yapıldığı, alıcıları besleyen hatların bir ağ gibi örülerek oluşturulduğu şebeke türüdür. Herhangi bir arıza anında çok az kullanıcı bu arızalardan etkilenebilir. İşletme bakımının zor olması ve kısa devre akımı etkisinin fazla olması yönünden dezavantajlıdır.

1.5 Ülkemizdeki Dağıtım Şirketleri

Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) verilerine dayanarak; ülkemizde ki iletim hattı, 708 iletim merkezli ve 58.002,8 km uzunluğa, 142.649 MVA trafo gücüne sahiptir (TEİAŞ, 2017). Dağıtım hatları sistemi ise 1100000 km uzunluğunda ve yaklaşık 142.351 MVA kurulu güce sahip olarak Avrupa'nın en büyük ilk üç şebekesi arasında yer almaktadır (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2017). Şekil-1.5'de ülkemizdeki 21 dağıtım bölgesi gösterilmiştir.



Şekil - 1.5 Enerji Dağıtım Şirketleri Haritası

Yukarda harita üzerinde gösterilen ülkemizde özelleştirme kapsamında olan 21 dağıtım bölgelerinin bir kısmını yakından tanıyalım.

- **Dicle Elektrik Dağıtım A.Ş. (Dicle EDAŞ)** : Dicle Elektrik Dağıtım bölgesi Diyarbakır, Şanlıurfa, Batman, Mardin, Siirt ve Şırnak bölgelerine elektrik hizmeti sunmakta olup yaklaşık 1.3 milyon aboneye hizmet vermektedir. 2011 Sayıştay raporuna göre %71.37 oranı ile ülkemizde en fazla kayıp kaçak oranına sahip dağıtım şirkettir. Abonelere dağıtılan elektrik enerjisi yıllık yaklaşık olarak 15 Milyar kWh civarındadır. 2016 yılında Dicle EDAŞ kayıp kaçak ile mücadele yöntemlerini faaliyet raporlarında; etkin saha faaliyetlerini artırarak ve teknoloji alt yapı yenilenmesi gibi yöntemlerle kayıp kaçak oranını azaltma yoluna gitmiştir. Ek olarak Ar-Ge faaliyetlerini destekleyerek özel yatay sayaç uygulamasının yapılmasını öngörmüşlerdir.

- **Vangölü Elektrik Dağıtım A.Ş. (VEDAŞ)** : Bitlis, Hakkari, Muş illerini kapsayan ve yaklaşık 405 bin aboneyi bünyesinde barındıran VEDAŞ'ın yıllık abonelere dağıtılan enerji miktarı ortalama 3 Milyar kWh civarındadır. VEDAŞ %60'ın üzerinde bir kayıp kaçak oranı ile ülkemizdeki kayıp kaçak oranı en yüksek ikinci dağıtım şirkettir. VEDAŞ faaliyet raporlarına göre kayıp kaçak ile mücadele de değişik bir yöntem izlenmiştir. Kaçak kullanımların azaltılması için pilot bölge seçilen Van'ın Gevaş ilçesinde sayaçlar elektrik direklerinin tepesine monte edilmiştir. Yaklaşık 9 bin 100 aboneye sahip olan Gevaş'ta 7 ayın sonunda %60'larda olan kayıp kaçak oranı ilçede %10'a kadar düştüğü gözlemlenmiştir. Gevaş'ta yapılan bu işlem sayaçların

korunması, insanların ulaşamadığı müdahale edemeyeceği bir konumda olması kaçak kullanımların büyük bir oranda düştüğünün göstergesidir. Elektronik sayaç kullanımlarının yaygınlaşması, kayıp kaçak oranının yüksek olduğu bölgelerde sayaçların mühürlü kutular içerisinde saklanması kayıp kaçak oranını büyük bir oranda azaltacaktır.

- **Aras Elektrik Dağıtım A.Ş. (Aras EDAŞ) :** Erzurum, Ağrı, Ardahan, Bayburt, Erzincan, Iğdır, Kars illerini kapsayan dağıtım bölgesi bünyesinde yaklaşık 815 bin abone barındırmaktadır. Abonelere sunulan elektrik enerji miktarı yıllık ortalama 2.8 Milyar kWh civarındadır. Aras EDAŞ %35-40 kayıp kaçak oranıyla ülkemizde kayıp kaçak oranı en yüksek 3. dağıtım şirkettir.

- **Çoruh Elektrik Dağıtım A.Ş. (Çoruh EDAŞ) :** Trabzon, Artvin, Giresun, Gümüşhane, Rize illerini kapsayan bu dağıtım bölgesi yaklaşık olarak 1 milyon aboneye yıllık ortalama 3 Milyar kWh enerji hizmeti vermektedir. %9 kayıp kaçak oranı ile yaklaşık %8.2-8.5 olan dünya ortalamasının çok az üzerinde seyretmektedir.

- **Fırat Elektrik Dağıtım A.Ş. (Fırat EDAŞ) :** Elazığ, Malatya, Bingöl ve Tunceli illerini kapsayan ve yaklaşık 700 bin aboneye hizmet veren Fırat EDAŞ'ın yıllık abonelerine sunduğu elektrik enerji miktarı ortalama 2.6 Milyar kWh civarındadır. %9.5 civarlarında kayıp kaçak oranına sahiptir.

- **Toroslar Elektrik Dağıtım A.Ş. (Toroslar EDAŞ) :** Adana, Gaziantep, Hatay, Kilis, Mersin ve Osmaniye illerinin dahil olduğu bu bölge yaklaşık olarak 2.7 milyon aboneye elektrik dağıtım hizmeti sunmaktadır. Yıllık ortalama 12.5 TWh elektrik enerjisi dağıtımı gerçekleşmekte olup kayıp kaçak oranı yaklaşık %15 civarındadır. Toroslar EDAŞ bölgesi 76.600 km'lik dağıtım hattı uzunluğuna sahip olup 12.5 TWh'lık enerji dağıtımı ile ülkede tüketilen enerjinin %7.3'lük kısmını oluşturmaktadır.

- **Meram Elektrik Dağıtım A.Ş. (MEDAŞ) :** Konya, Aksaray, Niğde, Kırşehir, Nevşehir ve Karaman illerini kapsayan; 6 il, 65 ilçe, 331 belde, 1379 köyün bulundduğu bu dağıtım bölgesi 1.6 milyon abonesine yıllık yaklaşık olarak 6 milyar kWh enerji dağıtım hizmeti sunmaktadır. Kayıp kaçak oranı %8 civarlarındadır.

- **Başkent Elektrik Dağıtım A.Ş. (Başkent EDAŞ) :** Ankara, Bartın, Çankırı, Karabük, Kastamonu, Kırıkkale ve Zonguldak illerini içine alan bu bölge dağıtım şebekesinin ve hizmet verilen coğrafi alanın büyüklüğü dikkate alındığında Türkiye' nin en büyük dağıtım bölgesidir. 2012 yılı verilerine bakıldığında

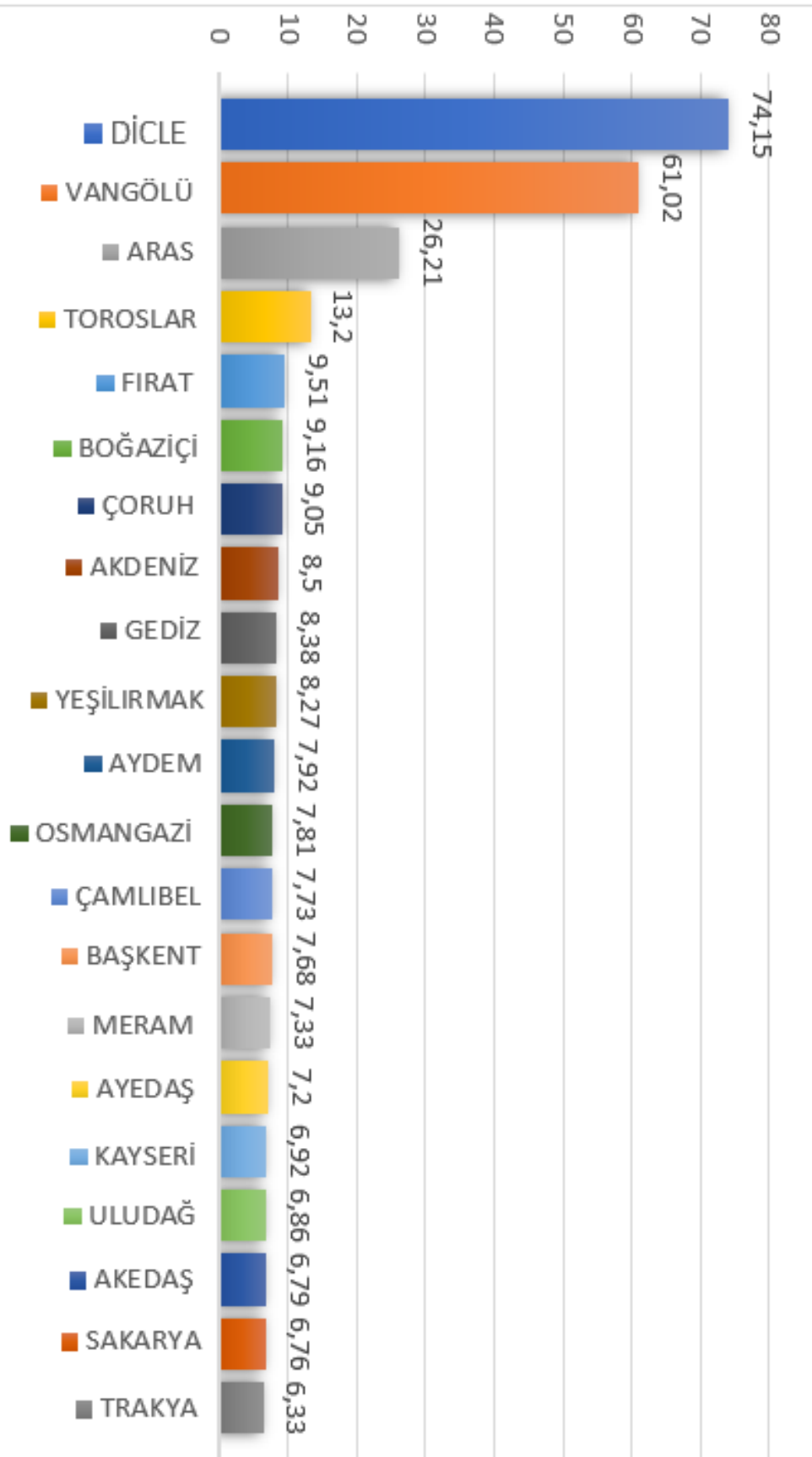
100.000 km lik dağıtım hattında, 13,6 milyar kWh elektrik dağıtımı gerçekleşmiştir. 3.6 milyonluk aboneye sahip bu şirket tüketilen enerji bakımından ülkenin yaklaşık %9'luk kısmını oluşturmaktadır.

- **Akdeniz Elektrik Dağıtım A.Ş. (AEDAŞ) :** Antalya, Burdur ve Isparta illerini kapsayan AEDAŞ yaklaşık olarak 1.6 milyon aboneye yıllık ortalama 7 milyar kWh enerji dağıtımı gerçekleştirmektedir. Bölgenin kayıp kaçak oranı yaklaşık olarak %6.7 civarındadır.

Ülkemizde üretilen enerjinin büyük çoğunluğu TEDAŞ ve özel şirketler tarafından sağlanmaktadır. Bu enerjinin de büyük bir kısmı, yaklaşık %97'si TEDAŞ tarafından sağlanmaktadır. Ülkemizde elektrik enerjisi dağıtımı 01.03.2005 tarihinde 21 bölgeye ayrılmıştır. 2008 yılı sonunda bunların 19 tanesi TEDAŞ tarafından faaliyet gösterilirken Aydın, Denizli, Muğla'yı içeren Aydem Edaş ve Kayseri Elektrik şirketleri özelleştirilmiştir. Günümüzde ülkemizdeki tüm dağıtım altyapısı özel sektör tarafından işletilmektedir. Türkiye'nin dağıtım sistemine 2008 yılından sonrası için toplam 161.488.056 MWh'lik elektrik enerjisi aktarılırken, bu enerjinin sadece 138.394.950 MWh'i faturalandırılabilmiştir. Konut tüketicileri ise bu enerjini yaklaşık %28,6 sına tekabül eden 39.582.667 MWh'lik enerji kullanmıştır. Geriye kalan enerji toplam enerjinin %14,3'üne tekabül eder ve bu oran da aslında kayıp-kaçak oranıdır. Kayıp-kaçak enerji miktarı da yaklaşık olarak 23.093.106 MWh olarak hesaplanmıştır. Sadece TEDAŞ'a ait elektrik enerjisi dağıtım sistemlerine bakılacak olursa toplam 156.901.365 MWh'lik aktarılan enerjiye karşılık sadece 134.359.839 MWh'i faturalandırılabilmiştir. TEDAŞ'a ait elektrik enerji dağıtım sistemlerindeki kayıp-kaçak miktarı da kalan enerji tutarı, yani 22.541.526 MWh olarak hesaplanmıştır ve bu da toplam enerjinin %14,4'üne tekabül etmektedir (TEDAŞ, 2007).

2014 yılında ki verilere dayanarak ülkemizde ki kayıp kaçak oranların bölgelere göre durumu aşağıda Şekil-1.6' da verilmiştir.

Şekil – 1.6 2014 dağıtım bölgelerine göre kayıp-kaçak oranları



2. GÜÇ SİSTEMLERİNDE MEYDANA GELEN KAYIPLARIN ÖNLENMESİNİN ÖNEMİ

Elektrik enerjisi bir ülkenin kalkınmasında rol oynayan temel araçlardan birisidir. İnsanların refah seviyelerinin artması, ihtiyaç duyulan teknolojilerin geliştirilmesi ve yaşam kalitesinin artmasıyla elektrik enerjisine olan ihtiyaç artmıştır. Elektrik enerjisinin kaliteli ve uygun miktarda temin edilebilmesi öncelikle ihtiyaç duyulan talebin doğru bir şekilde tahmin edilebilmesiyle alakalı bir durumdur. Aynı zamanda enerji üretiminde büyük rol oynayan fosil kaynaklarının sınırlı olması, ülkelerin yeni enerji kaynaklarını bulmaya ve mevcut kaynaklarında daha verimli, daha dikkatli kullanmaya mecbur bırakmıştır. Bu sebepten dolayı enerji üretimi önemli olduğu kadar mevcut kaynakların verimliliği de o derecede önemlidir. Mevcut kaynakların ya da enerjinin verimli kullanılabilmesinin en güzel yolu enerji hatlarındaki kayıp ve kaçak oranının azaltılması ile alakalıdır. Kayıp ve kaçak kullanımların tespit edilmesi ve önlenmesi enerji hatlarında kaybolan enerjinin verimli yerlerde kullanılmasını sağlayabilir.

Ülkemizde kaçak kullanımların tespiti adına çok az bir çalışma yapılmış olmasına rağmen, verimliliğin artması adına kayıplar konusunda birçok çalışma yapılmıştır. Kayıp ve kaçak oranlarını düşürmek demek sadece kaybolan enerji israfını önlemek değildir. Aynı zamanda kaybolan enerji miktarını karşılamak adına üretim tesislerinde talep edilen enerjinin fazladan üretilmesinin de önüne geçilmesidir. Ülkemizde kaçak kullanımların sıfıra indirilmesi demek ülke ekonomisi açısından muazzam derece de önem sarf etmektedir.

Ülkemizde ve dünyadaki en büyük enerji sorunlarında biri enerji nakil hatlarında ve elektrik dağıtım şebekelerinde kaybolan enerjidir. Elektrik enerjisi tüketimi geçmişten günümüze kadar ekonomik gelişmelerde büyük rol oynamıştır. Kayıp ve kaçak oranlarının düşürülmesi ülke ekonomisinin gelişmesinde mutlaka çok katkı sağlayacaktır. Kayıp ve kaçak miktarları şebekelere verilen toplam enerji miktarı ile faturalandırılan enerji miktarı arasındaki farktan tespit edilmektedir. Elektrik enerjisi şebekelerinde kayıpları sıfıra indirmek mümkün değildir. İletkenlerin, trafoların... vb. gibi kullanılan elektriksel malzemelerin üzerinde doğal olarak gerçekleşen teknik kayıplar kaçınılmazdır. Bunun yanında kaçak kullanımların engellenmesi ve sıfıra düşürülmesi bizim elimizde olan temel bir husustur. Ülkemizde ki kayıp kaçak oranı yaklaşık olarak %15-16 civarında seyrederken birçok gelişmiş OECD (Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü) ülkelerinde bu oran yaklaşık olarak %8-10 civarında seyretilmektedir. Aradaki

fark neredeyse 2 kat ve maalesef bu fark git gide artış göstermektedir. Kayıp ve kaçak kullanımların en çok görüldüğü dağıtım hatlarındaki bu problemlerin bir an önce çözüme kavuşturulması, kaybolan bu güç kayıplarını bize kazanç olarak sunacağından dolayı çok önemli bir husustur (Sargın, 2006). TEDAŞ verilerine göre 2016 yılında 30 milyar 4.1 milyon kWh enerji kayıp ve kaçak olarak harcandığı görülmektedir (EMO, 2018).

2008 TEDAŞ rakamlarına göre iletim hattı kayıpları 3.4 TWh civarlarında olup dağıtım bölgelerinde hat kayıpları ise 19.8 TWh olduğu belirtilmiştir. Bu kayıpların ekonomik zararı yaklaşık olarak 3.4 milyar ₺ civarlarındadır (TEDAŞ, 2009).

Özellikle bir çoğunluğu dağıtım hatlarında gerçekleşen kayıpların ya da başka bir deyişle bu israfın ve boşa harcamaların önlenmesi için bu şebekelerin iyileştirilmesinin yanı sıra kaçak kullanımlarla da mücadele etmek için yeni yöntemler geliştirilmelidir. Kayıpların azaltılması için dikkat edilmesi gereken bazı hususları şu şekilde sıralayabiliriz.

- İletim ve dağıtım hatlarında uygun malzemelerin kullanılması konusunda hassas olunması,
- Kablo kesitlerinin duruma uygun şekilde tayin edilmesi,
- Transformatör güçlerinin yeterli miktarda olup olmadığının tespiti ve uygun güçte seçilmesi,

gibi konular üzerinde daha dikkatli olunmalıdır. Unutulmamalı ki standarta uygun seçilmeyen her malzeme kayıpların o oranda da artmasına sebep olacaktır. Kaybolan enerji miktarını sıfıra indirmek mümkün değil fakat bu hususlar enerji şebekelerinde kaybolan enerji miktarını en düşük seviyelere indirebilmek büyük önem arz etmektedir (Sargın, 2006).

Enerji Nakil Hatlarında ve dağıtım şebekelerinin ekonomik planlaması yapılırken; havai hat direk seçimlerinde, iletken seçimlerinde ayrıca kayıpların hesaplanması ve bunun gibi değerlendirmeler çok önemlidir. Planlama yapıldıktan sonra sistemin tüm durumlarının ekonomik yönden ve hatların sağlamlılığı yönünden birbirleriyle karşılaştırılarak en uygun olanının seçilmesi gerekmektedir.

Enerji hatlarındaki kayıp ve kaçak kullanımlarının azaltılması aynı zamanda üretim tesislerinde de verimliliğin artmasını sağlayacaktır. Kayıpları karşılamak için fazladan üretilen bu enerji de elektrik üretmek için kullanılan yakıt miktarını artırmakta ve bu yakıtlar sadece ve sadece kayıpları karşılamak için boşa kullanılmış olmaktadır. Bu israfların ve boşa harcamaların azaltılması için enerji nakil hatlarında ve özellikle büyük çoğunluğu dağıtım hatlarında olan kayıpların belirlenmesi ve minimize edilmesi ülke

ekonomisine olumlu yönde destek olacaktır. Bu kayıpları engellemek, kazanç haline getirmek aynı zamanda bu kayıp güçleri bizim verimli bir şekilde kullanmamızı sağlayacaktır (Sargın, 2006). Kayıpları karşılamak için üretilen enerjinin başka bölgelerde daha verimli kullanılmasını sağlayacaktır. Kayıp güçleri verimli hale getirmek hem enerji israfını önlemek yönünden hem üretim yönünden ve hem de ekonomik yönden büyük bir kazanç demektir. Öyle ki 6 şehrimizin kaçak elektrik kullanımı yaklaşık olarak 4 Atatürk Barajına tekabül etmektedir. Dicle EDAŞ tarafından hizmet gören 6 şehrimizin kayıp kaçak olarak adlandırılan enerji miktarı 2015 yılı verilerine göre 16 Milyar kWh olarak hesaplanmıştır. Atatürk Barajı'ndan üretilen elektrik enerji miktarı ise 6.9 GWh'tir. Sadece Şanlıurfa için harcanan elektrik enerji miktarı ise yılda 6.8 Milyar kWh gibi büyük bir rakamdır. Bu yüzden kayıp kaçak olarak nitelendirdiğimiz ve aslında birçoğu kaçak kullanım olarak tahmin edilen bu enerji kayıplarını önlemek demek neredeyse ülkemize 4 adet yeni Atatürk Barajı'na eş değer barajlar kazandırmak anlamına gelmektedir. Kayıpların büyük bir çoğunluğu iletim ve özellikle de dağıtım hatlarında ya da sistemlerinden kaynaklıdır. Yüksek gerilimle iletilen enerji transformatörler yardımıyla dağıtım şebekelerine düşük gerilim seviyesinde verilir. İdealde güç aynı kalacağından dolayı dağıtım şebekelerinde akım daha yüksek olur. Bu yüzden dağıtım sistemlerinde kaybolan enerjiyi geri kazanmak çok daha önemlidir.

Dağıtım sistemlerini incelediğimizde enerji kaybı yönünden bilinçsiz konut tüketicilerin fazla olması kayıp ve kaçak miktarlarının artmasındaki bir başka etkidir. Kayıp kaçak oranının ülkemizde çok olmasının en büyük sebeplerinden biride kaçak kullanımdır ve maalesef kayıp kullanımlarla beraber incelenmektedir. 2008 yılında alınan verilere göre Türkiye'de faturalı olarak tüketilen 138394950 MWh'lik enerjinin yaklaşık %28.6'lık kısmı yani 39582667 MWh'lık kısmı konut tüketicileri tarafından harcanıldığı ve konut tüketicilerinin alçak gerilim sistemlerinde önemli bir yere sahip olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Neredeyse %30'luk kısmı oluşturan konut tüketicilerinin meydana getirdiği kayıplarda, yine dağıtım sisteminde ki kayıplar bakımından önemli bir rol oynamakta olduğu görülmektedir. 2017 yılı sonu itibariyle ise üretilen 295,5 milyar kWh enerjinin 294,9 milyar kWh tüketildiği görülmüştür (Ulusoy, 2018). Elektrik tüketiminin son yıllarda giderek hızla arttığı açıktır. Dünyada kabul görmüş yaklaşık maliyet ortalamalarına bakıldığında tüm sistemlerin ortalama maliyetlerinin yarısı üretimden, %20 civarı iletimden ve kalan %30'u ise dağıtım hatlarında harcandığı görülmektedir. Maliyet oranları ve kayıp oranları incelendiğinde ise kayıplarda bu durum tam tersi olduğu görülmektedir. Dağıtım sistemlerinde daha öncede belirttiğimiz gibi düşük

gerilim ve yüksek akımdan dolayı kayıp oranı daha fazla olmaktadır. Üretim santrallerinde ki kayıplar incelendiği ve Avrupa ülkeleriyle mukayese edildiğinde oranların birbirine yakın ve düşük miktarda olduğu görülmektedir. Ülkemizde üretim santrallerinde yaklaşık olarak %6'sı iç kayıp miktarı kabul edilirken, Avrupa'da bu oran %3 seviyelerinde seyretmektedir. Dağıtım tesisleri incelendiğinde ise bu durum çokta iç açıcı olmadığı görülmektedir. Kayıp kaçak oranının çok yüksek olmasından dolayı toplam kayıp miktarı ülkemizde yaklaşık %15 üzerinde seyretmektedir. Bu oranlar incelendiğinde büyük miktarda enerjinin israf olduğu ve boş yere yok olduğu görülmektedir.

Elektrik sistemlerindeki kayıpların tamamını ortadan kaldırmak mümkün değildir. Yapılan tüm çalışmalar kayıpları minimum seviyelere indirmek içindir. Kayıpları minimum seviyelere indirmek için ise enerji sistemlerinde ki güç faktörü düzeltilebilir, kablo kesitinin doğru seçilmesi gibi hassas olan konulara daha çok dikkat edilebilir ve kullanılacak transformatör gücünün yeterli miktarda olup olmasını kontrol edecek çalışmalar yapılabilir (Yaşar, 2010). Şebekeler tasarlanacakken kullanılması gereken elemanlarının doğru seçilmesi, maliyeti düşük olması ve şebekenin yapısına uygun, şebekenin sağlam ve sağlıklı olacak şekilde seçilmesi çok önemlidir. Tüketicinin alacağı önlemlerle de az da olsa kayıp oranlarını azaltmada rol oynayabilir. Tüketicinin alacağı önlemler sonucunda bu kayıpların azaltılması hem tüketici maliyetini azaltır hem de ülke ekonomisini desteklenmesi yönünden küçük ama önemli bir husustur.

Kaçak kullanım yapılan abonelerin tespit edilip fatura ödemeye mecbur bırakılması durumu, ülke ekonomisine katkı sağlayacaktır . Fatura ödemek zorunda kalan tüketiciler kullanmış olduğu enerji miktarında tasarrufa gidecek ve enerji israfı önlenmiş olunacaktır.

2.1 Güç Sistemlerinde Meydana Gelen Kayıplar

Elektrik şebekelerinde ki kayıpları teknik ve teknik olmayan kayıplar olarak iki bölümde inceleyebiliriz. Teknik kayıplar hattın elektriksel özelliklerine bağlı olarak gerçekleşen kayıplardır. Yani akıma bağlı olarak iletkende ya da transformatörde kaybolan enerjiler, şebeke gerilim altındayken akımdan bağımsız ortaya çıkan dielektrik kayıpları, yüke bağlı olan ve genellikle kablolarda, transformatörlerin bakır bölümlerinde ya da yükten bağımsız olduğu durumlarda transformatör çekirdeklerinde meydana gelen kayıpların hepsi teknik kayıplar olarak adlandırılır. Teknik kayıplar malzemelerin

elektiriksel özelliklerinden kaynaklı meydana gelen kayıplardır. Teknik kayıpları kısaca aşağıdaki maddelerde olduğı gibi özetleyebiliriz.

- Transformatörde meydana gelen dönüşüm kayıpları,
- Fiderlerde meydana gelen kayıplar,
- İletkenler üzerinde kaybolan enerji,
- İolat rlerden kaynaklı meydana gelen kayıplar,

gibi elektiriksel özelliklerden kaynaklı kayıplardır.

Yukarıdaki ilk iki maddeye bakacak olursak teknik kayıpların, güç katsayısı, yüklenme faktörü ve puant yük altında g   değerlerindeki değişimine göre kayıplar analiz edilebilir ve minimum seviyelere çekilebilir. Fakat bir g   sisteminde bu durum ayrı ayrı değerlendirilemez. Örneğin puant anında çekilen y k artırıldığı zaman yüklenme faktörü azalacak ve kayıp faktöründe de bir azalma meydana gelecektir. şebekeden çekilen g   arttığından dolayı akım ve gerilim düşümünde de bir artma gözlenecektir ve bu da kayıpların artmasına sebep olacaktır. Dolayısıyla bu faktörler ayrı ayrı değil, birlikte değerlendirilmelidir.

OG/OG transformatörlerin ekonomik yönden en tasarruflu şekillerde yüklenmesi, yükü fazla olmayan transformatörlerin devreden çıkartılması ya da devresinin açılması, eski verimsiz transformatörlerin verimli hale getirilmesi veya daha verimlileriyle değiştirilmesi kayıpların azalmasını sağlayacak yöntemlerdir diyebiliriz.

YG/AG transformatörlerinde meydana gelen kayıplar ise diğerlerine oranla daha fazladır ve en çok kayıplar buralarda meydana gelmektedir. Burada ki kayıpları engelleyebilmek için öncelikle bölgenin enerji talebine göre kullanılan transformatörlerin kurulu gücünün bir kısmı devre dışı bırakılarak şebekede ki kayıplar azaltılabilir. Ayrıca fazla transformatör kullanmak yerine transformatörlerin yüklenme oranları artırılarak gereksiz olan transformatörler devre dışı bırakılır ve böylece boşta çalışma kayıpları da azaltılabilir.

YG fider kayıplarını azaltmanın başlıca yöntemleri; gerilim artırılabilir, tek bir OG seviyesinde enerji dağıtımı gerçekleştirilebilir ve puant anında çekilen g   yükleme faktörü ve güç katsayısı değişkeni sürekli kontrol altında tutularak kayıplar minimum seviyede tutulabilir.

Fider kayıplarını azaltmak görevi daha çok tüketicilerde bitmektedir. Tüketicilerin sebep oldukları bu kayıpları azaltmak için tüketiciler bilgilendirilmelidir. Tüketiciler verimli ev aletleri kullanmaya, kaçak elektrik kullanmama konusunda

bilgilendirilmelidir. Tüketici kullanımı dışında dağıtım şebekelerinde bazı düzenlemeler yapılmalıdır. AG fiderleri dengeli şekilde yüklenmeli, kayıpların azalması için kullanımı mümkün olan bölgelerde ağ şebekeye geçilmelidir. Fiziksel durumlardan da etkilenen havai hat kabloları yer altına alınmalıdır (Sargın, 2006).

Şebekelerdeki teknik kayıpları ele alacak olursak; iki durumda inceleyebileceğimiz bu kayıplardan birincisi yükten bağımsız, şebekenin gerilim altında olduğu sürece oluşan kayıplardır. Şebeke geriliminin karesi ile doğru orantılı olan bu kayıplar yükten bağımsızdır ve sadece gerilimden kaynaklı olarak oluşmaktadır. Yükten tamamen bağımsız olan bu kayıplara neden olan bu etkenler transformatördeki demir kayıplarına sebep olan fuko ve histeresiz kayıplardır. Demir kayıpları primer gerilimine bağlı olduğundan dolayı dolayısıyla demir kayıpları da gerilimin karesi ile doğru orantılıdır. Gerilimi etkileyen yük miktarı azaldığında, şebekede gerilim yükselmesi meydana geleceğinden demir kayıpları da artacaktır. Tüketime çok olduğu saatlerde veya yükün arttığı zamanlarda ise gerilim düşümünden dolayı bu şebekelerde ki demir kayıplarını azaltacaktır. Yükün ya da tüketime az olduğu zamanlarda gerilimin artmasından kaynaklı olarak artacak olan kaybı azaltmak için transformatörlerde ki kademe ayarı gerilimi normal değere indirecek şekilde ayarlanmalı ve kayıpların azaltılması gerekmektedir.

Havai hatlarda birçok etken kayba sebep olmaktadır. En çok kayba sebep olan etkenler, kullanılan izolatörlerin birçok atmosferik ya da dış etkenlerden dolayı meydana gelen kirlenmeleri, izolatörlerde meydana gelen kaçak akımlar, iletkenlerde ki korona kayıplarıdır. Kış mevsiminde hava şartlarından dolayı izolatörlerde kaçak mesafesinde oluşacak olan kısılma ve bundan dolayı da yalıtımda bir azalma oluşacaktır. Hattın toprağa karşı ne kadar iyi bir yalıtımda yapılsa da izolatör üzerinden bir akım akışı olacağından dolayı izolatör seçimi çok önemlidir.

İletkende ki kayıplar ve iletkenler incelendiğinde ise; iletken üzerinde ki gerilim iletkenin dış yüzeyinde bir alan şiddeti meydana getirecektir. Eğer bu alan şiddeti artırılacak şekil de uygulama yapılırsa, havanın delinme alan şiddetini geçecek şekilde yükseltirise, hattın üzerinde kendi kendini besleyen bir korona boşalması oluşur. Korona gerilimini yükseltmenin yolu iletkenin yarıçapını veya iletkenler arası mesafeyi artırmakla olur. Bunun için ise içi boş iletken veya demet iletken kullanılır. Kablolar ki dielektrik kayıplar kablo üzerinde oluşan gerilimin karesi ve işletme kapasitesi ile orantılıdır. Bir başka etkende şebekenin yük akımıyla orantılı olan kayıplardır. Bunlar

direkt kayıplar ve endirekt kayıplardır. Direk kayıplar yükün direnciyle bağlı olarak yük akımının karesiyle orantılı olarak meydana gelen ısı kayıplarıdır. Endirekt kayıplar ise içerisinde alternatif akım geçen iletkenlerde, yakınında bulunan iletken maddelerde ya da cisimlerde oluşturduğu fuko akımından doğan kayıplar ve histeresiz kayıplardır.

Malzemelerin doğru seçilmesiyle ve bazı önlemler alınarak kayıplar minimize edilebilir ve kaybolan gücü yeniden kullanılabilen düzeyden faydalı bir şekilde geri dönüşümü sağlanabilir. Şebeke kayıplarını minimize etmek istiyorsak; şebekelerde işletmelerinde yük dağılımı düzgün bir şekilde gerçekleştirilmelidir. Mevcut halde bulunan projelerde ise yük dağılım hesabı düzgün bir şekilde hesaplanarak kayıpları azaltabilecek yönde önlemler alınmalıdır (Alperöz, 1974).

Akımdan bağımsız kayıplar genellikle dağıtım şebekelerinin şebeke gerilimi altındayken, ortaya çıkan dielektrik kayıplarından meydana gelmektedir. Burada kabloların dielektrik kayıpları çok küçük olduğundan hesaplarda genellikle ihmal edilirken, güç faktörünün düzenlenmesi için kullanılan kondansatörlerde bu kayıplar ihmal edilemez. Kaçak akım kayıpları da akımdan bağımsız kayıplar başlığı altında incelenebilir. Bu kayıplar gerilimle orantılı olduğundan, kayıp açısı ($\tan\phi$) da bu kayıplarla doğru orantılıdır. Bir de akıma bağlı kayıplar vardır ki bunlar genellikle akımın karesi ile doğru orantılı olup, ısı enerjisi olarak ortaya çıkar. Şebeke yüklendiği zaman meydana gelen ve yükün büyüklüğüne göre değişiklik gösteren kayıplara ise yüke bağlı kayıplar denmektedir. Genelde kablolarda, transformatörlerin bakır bölümlerinde, hatlarda meydana gelmektedir. Dolayısıyla bu kayıplara bakır kayıpları da dâhildir. Yüke bağlı olmayan kayıplar şebeke gerilim altında olduğu sürece meydana gelen kayıplardır. Elektrik akımına göre değişiklik göstermezler. Genellikle transformatör çekirdeklerinde meydana gelir.

Teknik olmayan kayıplar ise kullanıcılardan kaynaklı kayıplar olup elektriksel özelliklerle bir bağlantısı olmayan kayıplardır. Gerçekte harcanan elektrik miktarı ile fatura üzerinde gözüken tüketilen elektrik miktarı arasındaki fark olarak tanımlanabilir. Teknik kayıplar genellikle kullanılan malzemelerden kaynaklanmaktadır. Teknik olmayan genellikle kaçak ya da bilinçsiz elektrik enerjisi kullanmanın meydana getirdiği kayıplardır (Kurt, 2001). Teknik olmayan kayıpların başında en çok kaçak kullanımlar gelmektedir. Teknik olmayan kayıpların oluşum sebeplerinden diğerleri ise; kaydedilmeyen değerler, hatalı sayaçlar, hatalı okuma ya da faturalandırma, hatalı ölçüm olarak sıralanabilir. Sayaçların elektromekanik olmasından kaynaklanan kayıplarda

teknik olmayan kayıplar arasına girmektedir (Yaşar, 2010). Teknik olmayan kayıplar Tablo–2.1’ de gösterildiği gibidir.

Tablo–2.1 Teknik Olmayan Kayıplar

Ölçülemeyen Enerji	Faturalandırılmayan Enerji	
Tüketim Kayıpları	Fatura Hataları	Ödeme Kayıpları
Yasadışı bağlantılar	Yanlış müşteri dosyaları	Ödenmeyen faturalar
Ölçüm donanımlarının montajında gecikme	Sözleşme bilgilerinin yetersizliği	Dağıtılmayan faturalar
Ölçüm cihazlarıyla oynamak	Uygun olmayan ölçme katsayıları	Müşteri ödeme zorlukları
Hatalı ölçümler	Dosya güncelleme hataları	Uygun olmayan toplama prosedürleri
Etkin tüketimlerin çok düşük tahmin edilmesi	Yanlış fatura	Ödenmeyen faturaların kötü yönetilmesi
Hatalı bağlantılar	Yetersiz bilgidan ve takipsizlikten kaynaklı ücretlendirilmemiş aboneler	Ödeme yönetimi
Ölçüm cihazlarının uyumsuzluğu	Özel tarifeli yada tarifesiz olan müşterilerin takipsizliği	Ödemelerin uygun olmaması
Hesaba katılmayan müşteriler	Faturalamada raporlamanın ve takibin eksik olması	Ödeme kayıpları
Endeks okuma hataları	Düzeltilmiş faturaların kontrolünün yapılmaması	

Teknik olmayan ve idari kayıplar ise toplam enerjiden ölçülen kayıp enerjini çıkarılmasıyla elde edilen kayıp miktarı olarak kayıtlara geçmektedir.

Kısaca özetlemek gerekirse teknik kayıplar, elektriksel malzemelerin özelliklerinden kaynaklı meydana gelen, beklenen doğal kayıplardır. Teknik kayıpların sifira indirilmesi mümkün değildir. Kullanılan malzemelerin kalitesine ya da deforme olması durumuna göre bu kayıplar meydana gelir. Teknik olmayan kayıplara ise insan hatalarından kaynaklı meydana gelen kayıplar diyebiliriz. En çok kaçak kullanımın sebebiyet verdiği teknik olmayan kayıplara sayaç okuma hataları, ödeme kayıpları, yanlış bağlantılar gibi insan hataları da bu kayıplara neden olmaktadır.

Ülkemizde kaçak elektrik enerjisi kullanımı ;

- Mühürlü sayaç devrelerine müdahale ederek ölçü sisteminin ayarını bozmak veya değişiklik yapmak,
- Köprülemeyi kaldırmak (kanca düşürmek),

- Diskin dönmesine engel olmak (sayaç gövdesini delerek ya da film şeridi koyarak vb.),

- Sayacı ters bağlayıp endeks silmek,
- Endeksin okuduğu sayaç kapağındaki (ölçüye ters) mühür ile ölçü devrelerine ait bölümlerin mühürlerini sökmek, bağlantılarda değişiklik yapmak vb.

gibi yöntemler ülkemizde yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir.

Endüstriyel tesislerde ise benzer biçimde;

- Sayaç veya ölçü trafoları bağlantılarına yapılan müdahalelerde eksik ölçme,

- Sayaçlarda yapılan değişikliklerin sahte mühürlerle gizlenmesi vb.

gibi yöntemler maalesef kaçak kullanımları yaygın ve fark edilmez hale getiriyor.

Kaçak kullanımlarla mücadele kapsamında Türk Ceza Kanunu'na göre kaçak kullanım suçu iki yıldan beş yıla kadar hapis hükmolunur. Kaçak kullanımlarla mücadelelerde cezalar artırılmalı, eğitimle insanların bilinçlendirilmesi gerekmektedir.

Teknik kayıpları en düşük seviyelere indirmekte, teknik olmayan kayıpları sıfır seviyesine çekmekte bizim elimizde olan bir şeydir. Teknik kayıpların sıfır olması mümkün değildir. Ama çok düşük seviyelere çekilmesi mümkündür. Teknik olmayan kayıplar ise insan hatasından kaynaklı kayıplar olduğu için sıfıra çekilmesi çok zor gözükse bile imkânsız değildir. Çok titiz çalışmalar sonucunda teknik olmayan kayıpların sıfır değerine indirgenmesi mümkün olabilir.

3. DÜNYA DEVLETLERİNDE ve ÜLKEMİZDEKİ KAYIP KAÇAK DURUMLARI

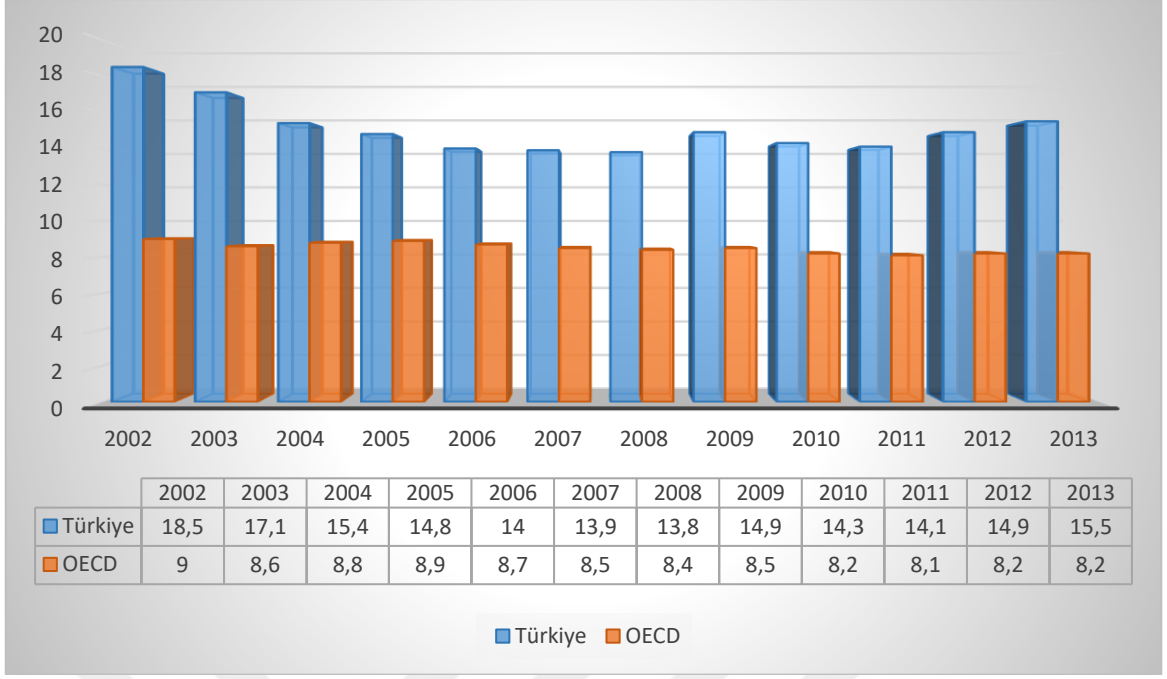
Birçok Dünya devletinin ülkemizde de olduğu gibi en önemli sorunlarından birisi de kaybolan enerjilerdir. Değişen ve teknolojik anlamda sürekli gelişme gösteren yeni dünyada enerji ihtiyacı artmış ve enerji çok önemli bir boyuta taşınmıştır. Enerji üretiminde başlıca fosil yakıtlarının kullanılması ve fosil yakıtlarının da kısıtlı olması kaybolan enerjiyi daha önemli bir boyuta taşımıştır. Başlıca enerji kaynakları olan petrol, doğalgaz ve kömür gibi enerji kaynakları için dünya devletleri günümüzde adeta birbiriyle yarışmaktadır. Bunların yanında yenilenebilir doğal enerji kaynakları olsa bile enerjinin üretimi ve israf olmaması büyük önem arz etmektedir. Günümüz koşullarına bakıldığında petrolün yaklaşık 20-30 yıl, kömürün 80 ile 100 arasında ve doğal gazın ise yaklaşık 120 yıllık bir kullanım süresinin olduğu tahmin edilmektedir. Fosil yakıt rezervlerinin giderek azalması ve kullanımının çevre kirliliğine sebep olması üretilen enerjinin ne kadar kıymetli olduğunun aslında bir göstergesidir. Enerji günlük hayatımızın, yaşamımızın ve sanayi kuruluşları için vazgeçilmez bir unsurdur. Enerjiyi yeterli miktarda ucuz ve temiz bir şekilde üretmek ve israfını önlemek temel problemler arasında yer almaktadır. Üretim kaynağı her ne olursa olsun enerji kaynaklarının ve enerjinin korunması çok önemli bir husustur.

Kayıp kaçak ortalaması konusunda bizden daha iyi olan dünya devletlerinin yeni amacı kaliteli, ucuz, kesintisiz ve çevre uyumlu elektrik üretimi, iletimi, dağıtımı ve satış hizmeti sunmayı amaçlamaktadır. Ekonomik Kalkınma ve İş Birliği Örgütü (OECD) üyesi 34 ülkenin ortalama kayıp kaçak oranı 2016 verilerine göre yaklaşık %6.65 civarındadır. Ülkemizde ise bu oran 2013 yılında 15.46 seviyelerindedir. 1980'li yıllarda %12.2 kayıp kaçak oranına sahip olan ülkemiz 1990'larda %12.3, 1999 yılında ise neredeyse %20 li seviyelere çıkmıştır. Son yıllarda kayıp kaçak oranımızın en düşük olduğu yıl %13.85 oran ile 2008 yılıdır. OECD devleri arasında ise en düşük kayıp kaçak oranına sahip olan İzlanda %2.06 gibi bir oranla birinci sıradadır. 34 OECD ülkelerinin 2013 verilerine göre kayıp kaçak oranları aşağıda Tablo-3.1'de gösterilmiştir.

Tablo-3.1 OECD Ülkeleri Kayıp-Kaçak Oranları

ÜLKE	Kayıp Kaçak Oranı (%)
İzlanda	2,06
Slovakya	2,66
Güney Kore	3,40
Finlandiya	3,66
Almanya	3,90
İsrail	4,01
Hollanda	4,45
Japonya	4,58
Çek Cumhuriyeti	4,76
Belçika	4,87
Avusturya	5,25
İsveç	5,34
Slovenya	5,37
Danimarka	5,52
Avusturalya	5,94
ABD	5,96
Polonya	6,24
Lüksemburg	6,54
Fransa	6,62
Şili	6,69
Yeni Zelanda	6,71
Estonya	6,80
Yunanistan	6,82
İsviçre	6,92
İtalya	7,36
İngiltere	7,53
İrlanda	7,85
Norveç	8,02
Kanada	8,64
İspanya	8,96
Portekiz	10,79
Macaristan	12,10
Meksika	14,31
Türkiye	15,46

Ülkemiz OECD devletleri arasında, dünya devletlerinin ortalamasının 2 kat daha fazlasıyla kayıp kaçak oranında sonuncu sırada yer almaktadır. Dünya devletlerinin ve ülkemizin yıllara göre kayıp kaçak oran değişimi aşağıda Şekil-3.1’de gösterildiği gibidir.



Şekil – 3.1 Türkiye ve Dünya’da Yıllara Göre Kayıp-Kaçak Yüzdeleri

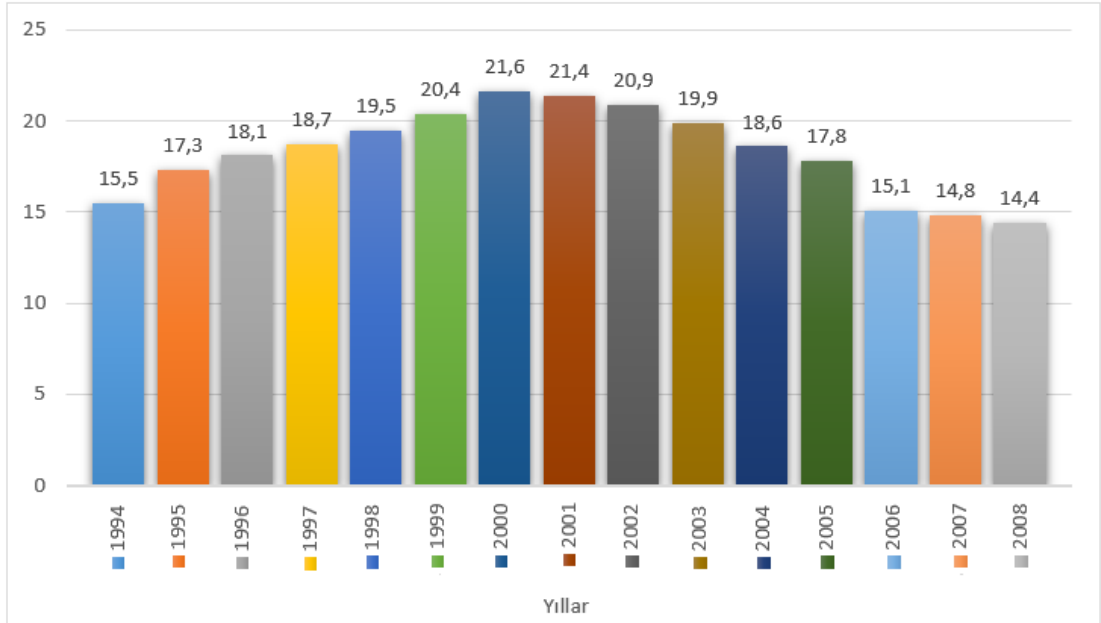
Grafiklere bakıldığında ülkemiz OECD devletleri arasında çok geride olduğu görülmektedir. Ülkemizin asıl problemi kayıplar değil kaçaklardır. Dicle, Van Gölü ve Aras bölgelerinin kayıp kaçak oranlarını dahil etmediğimiz zaman, kayıp-kaçak oranımızın OECD devletleri arasında çok iyi bir yerde seyrettiğini görmekteyiz. Bölgede gerek güvenlik açısından ülkemizi tehdit eden olaylar, operasyonlar ve diğer gerekçelerinin en yoğun şekilde yaşandığı 6 kentte elektrik dağıtım hizmeti veren Dicle EDAŞ’ın elektrik tüketimi, bir önceki yıllara göre son zamanlarda, diğer dağıtım şirketlerine göre çok artış gösterdi. 2016 yılında Dicle EDAŞ’ta yaklaşık %5.5 gibi bir oran artışı gözlemlenirken Türkiye genelindeki elektrik tüketimi ancak yüzde 2 oranında bir artış gösterdi. Bu ifadelerden de anlaşıldığı üzere ülkemizin en büyük sorunu kaçak elektrik tüketimidir. Bu oranı iyileştirmek için birinci önceliğimiz kaçak kullanımları önlemek, yaptırımları artırmak, şifreli ya da mühürlü sayaç kullanımlarını yaygınlaştırmak gerekir.

Ülkemizde enerji sektöründe yaşanan bu kayıp-kaçak oranları son 10 yılda düşüş gösterirken 2000’li yılların başına kadar fazla artış göstermiştir. 1960’lı yıllarda kayıp-kaçak oranı %8.1 olan ülkemizde bu oran 2000 yılında rekor seviyeleri gördü. Bazı Dünya devletlerinde ise bu oran ABD’de %7 seviyelerinde, Japonya’da %4, Çin’de ise %5.7 olarak belirtilmiştir. Kayıp-kaçak oran rekoru ise %54 ile Karayıp denizi ada ülkesi olan Haiti’ye aittir. Komşu ülke İran’ın ise bizden çok fazla farkı olmayıp ülke genelinde ki

kayıp-kaçak oranı %14 seviyelerinde seyretmektedir. Dünya enerji arz devi olarak görülen ve gerek ekonomik gerek doğalgaz anlaşmalarımızı yaptığımız Rusya’da ise bu oran %9.9 civarlarında seyretmektedir. Kuveyt %12.3, Arabistan %9.4, kardeş ülke Azerbaycan ise %19.5 seviyelerini görmektedir. AB’de ise bu oran ortalama olarak %6.2 seviyelerinde olup, enerji ihtiyacını nükleer santralden elde eden Fransa’da %5 civarlarındadır. Latin Amerika bölgesinde her yıl yaklaşık olarak %17 civarında bir kayıp söz konusudur (Depuru ve arkadaşları, 2011). Dünya genelinde ise sadece kaçak elektrik kullanım miktarının yıllık yaklaşık olarak 25 milyar dolar zarar edildiği tahmin edilmektedir (Düzgün, 2018).

Kayıp-kaçak oranının düşük olmasının en önemli etkilerinden biri de özelleştirilme olarak öngörülmektedir. İşletme maliyetlerinin düşmesi, verimlilik artışı, kayıpların azaltılması ve hizmet kalitesinin özelleştirilmeler sayesinde artacak ve kayıp-kaçak oranının daha da düşürülebilecektir. Tüm bölgelerde bu kayıpları kazanca çevirmek çok önemli kazançlar sağlayacaktır.

1994 ile 2008 arası kayıp kaçak oranlarımıza yakından bakacak olursak en düşük seviyelere 2008 yılında geldiğimiz açıkça ortadadır. 1994 ve 2008 arası kayıp kaçak oranlarımız aşağıda Şekil-3.2’de gösterildiği gibidir.



Şekil – 3.2 Türkiye’de kayıp-kaçak oranları (1994-2008)

Yıllara göre TEDAŞ'ın kayıp-kaçak oranları incelendiğinde ortaya çıkan sonuç; 1994 yılında %15.5 olan kayıp kaçak oranımız 1999'un sonu ve 2000'li yıllarda büyük bir artış göstermiştir. 2000 yılından sonra ise elektrik dağıtım şebekelerinde yapılan düzenlemeler, özelleştirmeler ve kayıp-kaçak oranları üzerinde ki sıkı denetimler sonucunda sürekli azalan bir eğilim gösterdiği ortadadır. 2008 yılı itibariyle kayıp-kaçak oranı %14.4 ile en düşük değerine inmiştir (Yaşar, 2010).

OECD devletleri arasında en düşük kayıp kaçak oranına sahip olan İzlanda bu mücadeleye 1960'lı yıllarda başlamıştır. 1960'lı yılların başında %16.7 gibi bir kayıp kaçak oranına sahip olan İzlanda 1970'lerde bu oranı %11.13 ve 1980'lerde ise %9.1 gibi bir orana düşürmeyi başarmış. 1990'larda bu oranı %8.7 ve 2000 yıllara gelindiğinde ise %4.11'e kadar düşürmeyi başarmıştır. 2013 verilerine göre ise İzlanda şu an %2.06'lı bir kayıp kaçak oranıyla OECD devletleri arasında en üst sıraya oturmayı başarmıştır (Güney, 1989). Diğer dünya devletlerine de bakacak olursak %2 ye kadar düşüren ülkeler olduğu gibi %50'yi aşan devletlerde olmuştur. Karayip denizindeki ada ülkesi olan Haiti'de kayıp kaçak oranı yaklaşık %54'lü seviyelere ulaşarak dünya rekorunu kırmıştır. Irak ise elektriğinin neredeyse yarısını kayıp ve kaçak kullanımlarda kaybetmiştir. Dünyanın en kalabalık ikinci ülkesi Hindistan'da ise bu oran yaklaşık olarak %21.1 seviyelerindedir. Brezilya %16.4, İran %14.5, Arjantin ise yüzde 14.4 gibi bir kayıp kaçak oranına sahipler. Ukrayna'da %10.9, dünyanın enerji devlerinden biri olarak görülen Rusya'da ise kayıp kaçak oranı yaklaşık %9.9 seviyelerindedir. Petrol zengini Suudi Arabistan'da ise bu oran %9.4 civarlarında seyretmektedir. Avrupa birliğinin genel ortalaması ise %6.2 civarlarındadır. Enerji ihtiyacının büyük bir bölümünü nükleer santrallerden karşılayan Fransa'da bu oran ortalamanın da altında %5.2'dir. Japonya %4.6, Almanya ise %4.2'lik bir kayıp kaçak oranına sahiptir (World Bank Group, 2014).

Kayıp kaçak oranı düşük olan ülkelere baktığımız zaman bunun altında yatan temel sebeplerden bir tanesi de dağıtım şirketlerinin özelleştirilmesi gibi düşünülebilir. Özelleştirmelerle birlikte işletme maliyetlerinin düşürülmesi, hizmet kalitesinin artması ve kayıp kaçak oranlarının düşürülmesi özelleştirmenin başlıca amaçlarıdır. Ülkemizde de aslında durum çok farklı değildir. Kayıp kaçak oranı yüksek olan 3 bölgemiz dışında ülkemizin kayıp kaçak oranında OECD ortalamasını yakalayacak seviyelere ulaştığımızı görüyoruz. Kayıp kaçak oranı yüksek bu 3 bölgemizde de kaçak kullanımlarla mücadeleler devam etmektedir. Örneğin Van'ın Gevaş ilçesinde sayaçlara müdahaleyi engellemek amacıyla sayaçların elektrik direkleri üzerinde alınması gibi yapılan bazı çalışmalar umut vermiş olup kayıp kaçak oranını epey düşürmüştür.

3.1 Kayıp ve Kaçak Kullanımları Önlemek İçin Yapılan Çalışmalar

Kayıp ve kaçak oranlarının düşük olması şüphesizki bütün dünya devletlerinin istemiş olduğu birşeydir. Kaybolan her enerji ekonomik boyutta düşünüldüğü zaman büyük bir yükür. Kaybolan enerjiyi karşılamak için üretim tesislerinde de fazladan bir elektrik enerjisinin üretilmesine sebebiyet vermektedir. Tüm dünya devletleri kaybolan enerjinin sınırlı kalması için birçok girişimlerde bulunmuşlardır. Kaybolan enerjinin minimum düzeyde tutulmasındaki en önemli faktörlerden bir tanesinde elektrik şebekelerinin sağlıklı tasarlanmasıdır. Bir şebeke veya yeni bir elektrik hattı tasarlanacağı zaman hatta ve çevreye uygun elektriksel malzemelerin seçilmesi önemli bir husustur. İletken kesitinin düzgün tayin edilmesi, trafo gücünün bölgeye ve abonelere uygun olması, izolatör seçimlerinin doğru yapılması gibi önlemler hatta kaybolacak olan teknik kayıp miktarlarının sınırlı tutulması için önemli bir konudur.

Teknik kayıpların önlenilmesi amacıyla 2001 yılında Depuru,Wand ve Debahaktuni yaptıkları çalışmalar sonucunda kaçak kullanımı tespit edilen abonelere harmonik üretilerek kullanılan teçhizatlara zarar verilmesini önermektedir (Depuru ve ark., 2011). Yaşar, Arslan ve Biçer 2010 yılında yapmış oldukları bir çalışmada bir dağıtım bölgesindeki transformatör kayıplarını incelemiş ve sonuç olarak yer altı şebekelerine geçmeyi önermiştir (Yaşar, 2010). Yer altı şebekelerinin yaygınlaşması hem kaçak kullanımların önüne geçicek hem de şebekelerin uzun ömürlü olmasını sağlayacaktır.

Şebekelerde kaybolan kayıpları öncedende söylediğimiz gibi 2 ana başlıkta inceleyebiliriz. Bunlar teknik kayıplar ve teknik olmayan kayıplardır. Teknik kayıplar elektriksel malzemelerin özelliklerinden dolayı meydana gelen doğal beklenen kayıplardır. Daha detaylı olarak incelemek gerekirse şebeke kayıplarını şebekenin yük durumuna göre de inceleyebiliriz. Gerilim altında bulunan bir şebekede kayıpların meydana gelmesi doğaldır. Şebeke kayıplarını yük altındayken ve yüksüz durumlarda olmak üzere ikiye ayırabiliriz.

Yükten bağımsız meydana gelen kayıplar genellikle transformatörle meydana gelen demir kayıplarını oluşturan fuko ve histeresiz kayıplardır. Demir kayıpları gerilimin karesi ile orantılıdır. Gece saatlerinde veya tatil günlerinde, enerjinin tüketiciler tarafından az kullanıldığı saatlerde gerilim seviyesi yükseleceğinden dolayı demir kayıplarının da artması beklenektir. Bu sebeplerden dolayı transformatörlerin kademe ayarı yapılmalı ve gerilim normal değerlere indirilmelidir. Havai hatlarda meydana gelen kayıplar ise iletken üzerinde, izolatörlerde meydana gelen sızıntılar ve korona kayıpları

gibi kayıplardır. İletken üzerinde meydana gelen enerji kaybı akımın karesi ile orantılıdır. İzolatörlerin hava şartlarından dolayı kirlenmesi sonucunda da izaolatörler izolasyon özelliğini kaybeder ve sızıntılar meydana gelebilir. İzolatörlerin kaçak mesafelerinde meydana gelen kısalma, yalıtımda da bir azalmaya sebep olmaktadır. Gerilim altında bulunan izolatörlerin üzerinden sızıntı akımının geçmesi beklenen durumdur. İletkenler üzerinde de benzer durumlar görülebilir. İletkenin üzerindeki gerilimin havanın delinme geriliminin fazla olması durumunda, havanın delinmesi olayı meydana gelir ve korona olayının gerçekleşmesine sebep olur. Korona olayı da bir enerji kaybıdır. Özellikle nemli ve sisli havalarda enerji nakil hatlarındaki gerilim artarsa, gerilimin belirli bir değerinde (havanın delinme gerilimi) iletim hattının yüzeyinde iyonize durumu görülür. Gerilim artmaya devam ederse bu kez iletkenin çevresinde mor renkli ışıklı bir halka belirir. Bu olaya korona olayı denir. Hat iletkenleri, bağlantı parçaları, kesici, ayırıcı, parafudur, geçit izolatörü gibi sistem elemanlarının iletkenleri koronanın görüldüğü yerlerdendir. Korona kaybına neden olan korona akımı sinüzoidal olup gerilim düşmesine sebep olur. Korona olayının sık görüldüğü hatlarda iletkenlerin aşınması daha hızlı gerçekleşebilir. Koronayla birlikte havadan yayılan veya koronanın oluştuğu devre iletkenlerinden yayılan, radyo ve televizyon frekanslarını etkileyebilecek parazitler de oluşabilir.

Kimyasal reaksiyonlara ve ses titreşimlerine de yol açabilen korona olayı ile taşınan gerilimin büyüklüğü, frekansı, hatlarda kullanılan iletkenlerin yarıçapları, hatlar arası açıklık, hatların pürüzlülük derecesi, sıcaklık, nem, basınç gibi etkenler yakından ilgilidir. Isı, ses ve kimyasal reaksiyonlar yoluyla nakil hattındaki enerjinin kaçması olarak nitelendirilebilecek korona olayı sonuçta bir enerji kaybıdır. Enerji nakil hatlarında korona olayının yol açtığı kayıpları azaltmak için iletkenlerin yüzeyleri düzgün ve parlak bir sırla kaplanır.

Şebekelerin yük altında olması durumunda da yük akımına bağlı kayıplar meydana gelmektedir. Yük akımına bağlı olan kayıpları; elemanların sahip olduğu direnç ve üzerinden geçen akımın karesi ile orantılı bir şekilde meydana gelen kayıplar olarak değerlendirebiliriz. Malzemelerin uygun seçilmesi bu kayıpların azaltılmasında önemli bir rol oynayacaktır.

Şebekelerde meydana gelen kayıpların önlenmesi için birkaç yöntem uygulanabilir. Bunlar hatların boşa bekletilmemesi, işletme geriliminin belirli seviyelerde tutulması ve iletkenlerin hat için en uygun ölçülerde tayin edilmesi gibi gerekli olan önlemler arasında gösterilebilir. Seçilecek olan transformatör güçlerinin şebekenin talebi doğrultusunda belirlenmesi şebeke üzerinde kaybolacak olan teknik

kayıpları sınırlandıracaktır. Kablo ve kondansatör yalıtkanlarının uygun seçilmesi de teknik kayıpları sınırlandıracaktır (Aydın, 2016).

Enerji iletim ve dağıtım hatlarındaki akım taşıyan iletkenlerin gerek kendi aralarında gerekse de iletkenlerle toprak arasında görülen kapasitif kaçak akımlar meydana gelebilir. Kaçak akımlar hatlarda güç kaybına neden olabilir. Fakat bu etki çok küçük olduğu için genellikle hesaplamalara dahil edilmez. Dağıtım ve enerji nakil hatlarında faz iletkenlerinin kendi aralarında ve toprak arasındaki kaçak akımların etkisiyle meydana gelen bir hat sabitesidir. Kaçak akımlar hatlarda aktif güç kaybına sebep olur. Ancak çok küçük değerlerde olduğu için ihmal edilir. 30 km uzunluğundaki 6.3 kV 'luk bir enerji iletim hattında kaçak geçirgenliğin etkisiyle meydana gelen kaçak akımların sonucunda 10 W 'lık bir aktif güç kaybı olur (Solmaz, 2016).

Ülkemizde kayıpların önlenmesi için birçok çalışmalar yapılmıştır. Kayıpların azaltılması için dikkat edilmesi gereken hususları özetlemek gerekirse; işletme gerilimi, seçilen malzemelerin uygunluğu ve şebekenin hazırlanışı gibi konulara dikkat edilmelidir. Ölçü sistemlerinde meydana gelen kayıpların azaltılması periyodik bakımlarla mümkün olabilir. Teknik kayıpların sıfıra indirilmesi mümkün değildir ama minimum düzeyde tutmak çok önemli bir konudur. Transformatörlerde meydana gelen demir ve bakır kayıplarından kaçmak mümkün değildir. Transformatör imal eden fabrikaların çelik nüveli transformatörlere yönelmesi ileride transformatör kayıplarının azalmasına yardımcı olacaktır (TÜBİTAK, 1998).

Eskiye şebekelerin yada malzemelerin yenilenmesi meydana gelen teknik kayıpları azalttığı bilinmektedir. Şebekelerin yer altına alınması hem uzun ömürlü olması bakımından hemde kaçak kullanımların önlenmesi yönünden verimliliği artıran etkenlerden biridir.

Sadece teknik kayıpların azaltılması değil, kaçak kullanımların ya da teknik olmayan kayıpların azaltılması da çok önemli bir konudur. Havai hatlardan yer altı şebekelerine geçiş, hattaki deformasyonu önleyerek teknik kayıpları azaltıp, şebekenin ömrünü artırmasının yanı sıra kaçak kullanımlarla mücadelede de önemli bir durumdur. Kaçak kullanımlarla mücadele için dağıtım firmalarımızın bu konuda birçok çalışmaları olmuştur. Dicle EDAŞ faaliyet raporunda kaçak kullanımlarla mücadele etme açısından etkin saha faaliyetlerini artırdıklarını, teknolojik altyapı yenilenmesine ve akıllı şebeke tesisi konularına yöneldiklerini vurgulamışlardır. Ar-Ge faaliyetleri ile stratejik ve teknolojik destek faaliyetlerini artırmıştır. 2016 faaliyet raporuna göre 100 bin akıllı sayaç montajının yapılmasına karar verilmiş olup, sayaçlarla oynanmanın ve kaçak kullanımın

önüne geçmeyi hedeflemişlerdir. Vangölü Edaş'ın faaliyet raporlarına göre ise Van'ın Gevaş ilçesinde yapılan önlemler sonuç vermiş kaçak kullanım miktarında göze çarpan azalmalar olmuştur. Sayaçların trafo direklerinin üstüne taşınması kaçak kullanım oranını %60'lı seviyelerden %10'lu seviyelere kadar düşürdüğü gözlemlenmiştir.

Kaçak kullanımlarla mücadeledeki en iyi etken eğitimden geçmektedir. Deneteleyicilerin ve özellikle kullanıcıların kaçak kullanım konusunda eğitilmesi son derece önemlidir. Bunun yanında kaçak kullanımları azaltacak diğer hususlar cezaların ağırlaştırılması, sayaçların şifreli veya mühürlü hale getirilmesi gibi önlemler alınabilir.

Kaybolan bu enerjinin geri dönüşümü ülke ekonomisi açısından çok önemli bir husustur. Öyleki 6 şehrimizin kayıp kaçak olarak harcanan elektrik miktarı 4 adet Atatürk Barajı'na tekabül etmektedir. Dicle Edaş tarafından hizmet gören 6 şehirde kaybolan elektrik enerji miktarı 2015 yılı verilerine göre yaklaşık olarak 16 Milyar kWh olarak tahmin edilmektedir. Atatürk Barajı'nda üretilen elektrik enerji miktarı ise ortalama olarak 6.9 GWh'tir. Bu 6 şehirlerimiz arasında sadece Şanlıurfa'da harcanan elektrik enerjisi miktarı ise 6.8 Milyar kWh'e takabül etmektedir. Kayıp kaçak kullanımları engellemek minimum düzeye kadar indirmek aynı zamanda bize yaklaşık olarak 4 adet Atatürk Barajı'na eş değer barajlar kazandırması bakımından oldukça önemlidir.

Kaçak kullanım bölgelerinde sıkça karşılaşılan durumlardan bazıları şunlardır;

- Mühürlü sayaç devrelerine müdahale edilerek ölçü sistemlerin ayarlarının bozulması
- Köprülemeyi kaldırmak
- Sayaç gövdesinin delinerek diskin dönmesinin engellenmesi
- Sayacı ters bağlayıp endeks silmek
- Endeksin okuduğu sayaç kapağındaki mühür ile ölçü devrelerine ait bölümlerin mühürlerinin sökülmesi
- Sayaçlarda yapılan değişiklikleri sahte mühürlerle gizleme
- Dağıtım fiderlerinden kablo çekilmesi
- Tarımsal sulama bölgelerinde kullanılan su pompalarının kaçak yollarla beslenmesi gibi olaylar sık rastlanan durumlardır.

Kaçak kullanımların engellenmesi için öncelikle dağıtım şirketlerinin sağlıklı bir müşteri bilgi sistemi oluşturması ve takibinin devamlı yapılması gerekmektedir.

Sayaç ve ölçü devrelerinin periyodik kontrollerinin zamanında ve titizlikle yapılması gerek enerji kayıplarının önlenmesi gerekse kaçak kullanımların önüne

geçilmesi bakımından önemli bir husus olabilir. Arızalı sayaç, akım trafoları veya gerilim trafolarının en kısa sürede değiştirilmesi sağlanmalıdır. Kaçak kullanımla mücadele sahada da etkin olmalı. Kullanıcıların taleplerini ya da ihbarlar üzerine yapılacak olan işlemler için teknik donanım ve yeterli sayıda ekiplerin oluşumu sağlanmalıdır. Özellikle ölçü panoları gözden geçirilmelidir. Teknik yönden zayıf olan ölçü panoları veya yıpranmış özelliklerini kaybetmiş panolar yenilenmeli ve kontrollerinin daima yapılması kaçak kullanımı engelleyecek faktörlerden bir tanesi olarak gösterilebilir.

TEDAŞ iletim ve dağıtım hatlarının iyileştirilmesi amacıyla bugüne kadar birçok yatırım yapmıştır. Dünya üzerinde ise Google ve Microsoft'un enerji yönetimi ile alakalı yazılım yaptıkları bilinmektedir. Gelişen ve büyüyen teknoloji ile birlikte ülkemizin de akıllı sayaçlara, uzaktan kontrol edilebilen şebekelere, akıllı ev sistemleri ve tasarruf yazılımları gibi konulara eğilim göstermesi gerekmektedir (Düzgün, 2018). Kayıp ve kaçak kullanımların ayrıştırılması başta olmak üzere yeni bakış açılarına ihtiyacımız vardır.

Çarpık kentleşmeler de trafoların dengesiz yüklenmesine sebep olmaktadır. Bir trafo çok yüklenirken hemen yanında ki başka bir trafonun az yüklendiği görülebilmektedir. Bu durum şebeke planlamalarını zorlaştırmaktadır. Kaçak kullanımlarla mücadele edebilmek için;

- Uzaktan şebekelerin kontrol edilmesi, analiz edilmesi bu olumsuz şartların önüne geçebilir.
- Sayaç ve ölçü devrelerinin periyodik kontrolleri zamanında yapılarak kaçak kullanım olduğu düşünülen yerlerde sayaçların müdahale yapılamayacak şekilde montajının yapılması gerekmektedir.
- Kaçak kullanımla mücadele kapsamında hazır teknik ekiplerin bulunması müdahale yönünden fayda sağlayabilir.
- Teknik olmayan kayıplara sebep olan yanlış yapılmış bağlantıların daha titizlikle yapılması teknik kayıpların sıfıra indirilmesi için önemli konularından biridir.
- Abonelerin düzenli takip edilmesini sağlayan akıllı şebekelere geçiş kaçak kullanımların azaltılması yönünde çok verimli olacaktır. Kaçak kullanımla mücadeledeki en etkili unsur eğitim olmalıdır. Yasadışı kullanımların hak olduğu konusunda insanların bilinçlendirilmesi en etkili yöntem olabilir.

Teknik kayıpların azaltılması ve şebekenin sağlıklı bir durumda olması için ise;

- Kaliteli ve duruma uygun teçhizatların seçilmesi gerekir.

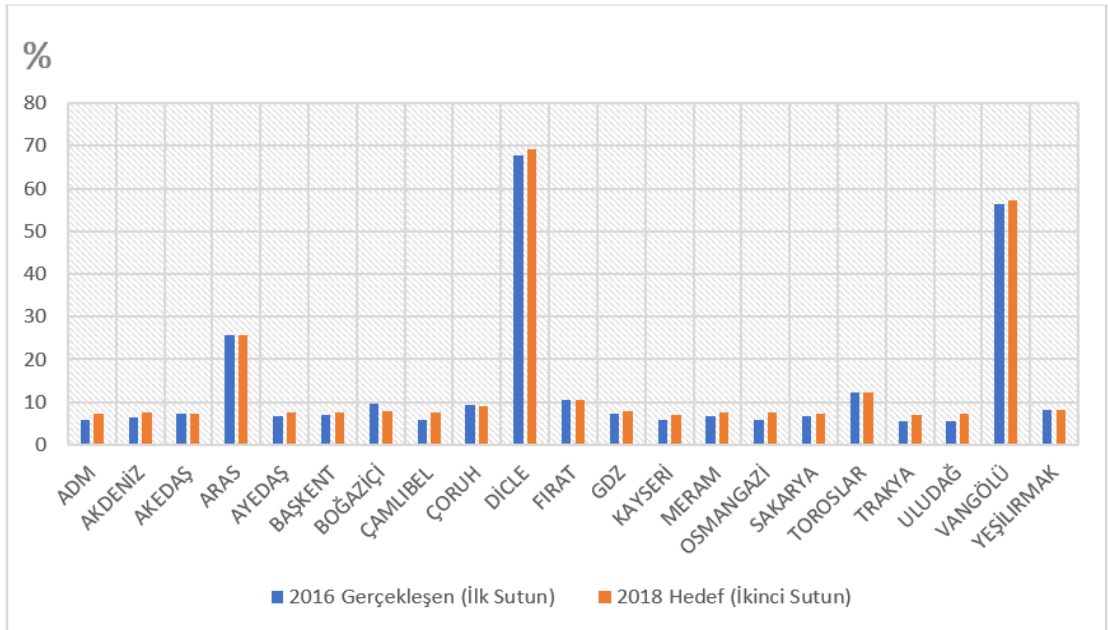
- Enerji şebekelerinin monitör edilmesi ve çalışmalara hız verilmelidir
- Teknik kayıpların önlenmesi için dengeleme ve kompanzasyon sorunları giderilmelidir.
- Puant saatlerine göre talebi dengelemek için tüketiciler bilinçlendirilebilir. %5'lik bir gerilim dengesizliği bile şebekede bir çok kayba sebep olacaktır.
- Çarpık kentleşmenin elektrik şebeke planlamasını zor durumda bıraktığını da göz önüne alacak olursak, kentsel planlamaların ve enerji dağıtım planlarının birlikte yapılması daha verimli olacaktır (Depuru ve ark., 2011).



4. KAYIP ve KAÇAK TERİMLERİNİN AYRILMASI

Kayıp ve kaçak terimleri beraber değerlendirilmesine rağmen aralarında ince bir fark vardır. Kayıplar olarak isimlendirdiğimiz etken aslında teknik kayıplardır. Bu kayıplar şebekenin kendisiyle alakalı elektriksel malzemelerden dolayı meydana gelen beklenen doğal kayıplar olarak nitelendirebiliriz. Sıfıra indirilmesi mümkün olmayan kayıplardır. Ancak kaçak kullanımlar bunlardan farklıdır. Kaçak kullanımlar teknik olmayan kayıplar içerisinde ele alınmaktadır. Teknik olmayan kayıpların da ortak özelliği insan hatalarından kaynaklanan kayıplar olmasıdır. Sıfıra indirilmesi mümkün ve aslında beklenmeyen kayıplar olması yönünden teknik kayıplaradan farklıdır. Bizim kayıp ve kaçak gibi iki farklı terimi ayırmamız hem elektrik sektörüne bakış açımızı değiştirecek hem de bundan sonra kaçak kullanımlarla mücadele kapsamında yapılacak olan çalışmaların daha verimli ve nokta atışlı çalışmalar olmasını sağlayacaktır. Teknik olmayan kayıplar beklenmeyen ve insan hatalarından dolayı meydana gelen kayıplardır. Sayaç okuma hatası, bağlantı hataları, faturaların ya da borçların takipsizliği ve en önemlisi kaçak kullanımlar gibi insanlardan meydana gelen sıfıra indirilmesi mümkün olan kayıplardır.

Ülkemizde bulunan 21 dağıtım şirketinde bu iki terimi beraber değerlendiriyor ve kayıp kaçak oranı olarak nitelendiriyoruz. 21 dağıtım bölgemizin kayıp kaçak oranı Elektrik Mühendisleri Odası'nın hazırladığı rapora göre Şekil –4.1'de gösterildiği gibidir.



Şekil – 4.1 21 Dağıtım şirketinin 2016 gerçekleşen kayıp ve kaçak oranı ile birlikte 2018 hedefleri

Kayıp ve kaçak oranlarının beraber incelenmesi bize kaçak kullanımların hangi bölgelerde ne kadar olduğunu kesin bir şekilde anlamamız için yeterli bir bilgi değildir. Bizler grafikteki abartılı kayıp kaçak oranından dolayı Dicle Edaş, Vangölü Edaş ve Aras Edaş bölgelerinde kaçak kullanım miktarının fazla olduğunu sadece tahmin edebiliyoruz. Ne kadar kaçak kullanım miktarı olduğu konusunda ise bu verilere dayanarak herhangi bir fikir yürütemiyoruz. Örneğin kayıp kaçak kullanımı birbirine yakın olan Kayseri ve Civarı Elektrik Dağıtım A.Ş ile Çamlübel Edaş arasında hangi bölgede kaçak kullanımın fazla olduğu hakkında bir yorum yapamıyoruz. Sadece kayıp kaçak oranlarını birlikte değerlendirerek kaybolan enerji miktarı fazla olan bölgeyi kayıp ve kaçak kullanım olarak değerlendirebiliyoruz. Kayıp ve kaçak kullanımların birbirinden ayrılması hem kaçak kullanım ile mücadele açısından önemli bir husus hemde bölgenin elektrik şebekeleri hakkında yorum yapabilmemiz açısından önemli bir konudur. Teknik kaybı yüksek olan bir bölge de şebekelerin eskidiği veya malzemelerin değişmesi gerektiğini anlamamız açısından da kayıp ve kaçak terimlerinin biran önce birbirinden ayrılması ve birbirinden farklı değerlendirilmesi gerekmektedir. Birbirinden ayrılması kaçak kullanımlarla mücadelenin yanı sıra teknik kayıpların takibini kolaylaştıracak ve şebekelerin sağlıklılığı hakkında da bize yardımcı olacaktır.

Kayıp ve kaçak birbirinden ayrı terimlerdir ve ayrı ayrı incelenmesi gerekmektedir. Kayıplar elektriksel özelliklerden dolayı meydana gelen enerji kayıpları olarak nitelendirilirken kaçak kullanım ise yasa dışı yollarla enerjinin faturalandırılmamasına sebep olmakta ve devlete ayrı bir yük oluşturmaktadır. Bu sebepten dolayı iki farklı terimi ayırarak incelemek hem elektriksel olgulara farklı bir bakış açısı getirecek, hem de bundan sonra yapılan çalışmalar daha noktasal ve daha verimli hale gelecektir.

Bölgesel olan kaçak kullanımları tahmin etmek çokta zor olmaması gerekir. Basit yollardan da kaçak kullanımların tespitini bazı araştırmalarla bulabiliriz. Örneğin toplam kayıp kaçak enerji miktarı bilinen bir şebekede; üzerinde kaybolan enerji miktarını hesaplayarak geriye kalan enerji miktarı bize yaklaşık olarak kaçak kullanım miktarını verecektir. Kaçak kullanım miktarları çok olan bölgelere gerekli nokta atışı müdahaleler yapılarak kaçak kullanımın önüne geçmek mümkündür. Birçok yerleşim merkezlerinde kaçak kullanımları tespit etmek için bu yöntem kullanılabilir. Ya da kaçak kullanım miktarlarını tespit etmeksizin kaçak kullanımların olduğu bölgeleri tespit etmek istersek; birbirine benzer iki enerji şebekesini kıyaslamak kesin sonuç olmamakla birlikte bize kaçak kullanım miktarının fazla olduğu bölge konusunda yorum yapmamıza yardımcı

olacaktır. Örneğin birbirine benzer, yaklaşık aynı ürünleri yetiştiren, farklı bölgelerdeki iki tarımsal sulama alanlarını ele alalım. İki bölgeyi harcadıkları güç yönünden karşılaştırarak; o bölgelerde hane başına veya elektrik motoru başına düşen ortalama enerji miktarları, iki bölge arasında kaçak kullanımın fazla olduğu tarımsal sulama alanını tahmin etmemizde yardımcı olacaktır. Birbirine benzer ve yakın uzunlukta olan iki bölgede elektrik motorlarına düşen yaklaşık enerji miktarının birbirine yakın olması beklenir. Arada ortaya çıkan devasa enerji farkları kesin olmamakla birlikte fazla enerji tüketen bölgenin kaçak kullanım miktarı fazla yönünde olduğu çıkarımını yapabiliriz.

Kayıp ve kaçak kullanımları birbirinden ayrı incelenmesinin önemi hem elektriksel şebekelerin sağlamlılığı açısından hemde ekonomik anlamda çok önemli bir konudur. Bu çalışmada kayıp ve kaçak kullanımların ayrıştırılması ve kaçak kullanımların tahmin edilmesi için algoritmalar tasarlanmıştır.

Kaçak kullanımların tespiti adına çok az bir çalışma yapılmış olmasına rağmen kaçak kullanımların tespit edilmesi ve önlenmesi sadece o enerjinin israfını önlemek değil aynı zamanda üretim tesislerinde fazladan üretilen enerjinin azaltılması ya da verimli kullanılması demektir. Bu yüzden kaçak kullanımların düşük seviyelerde tutulması ülke ekonomisi açısından oldukça önemli bir konudur.

Kaçak kullanım miktarını tespit etmek için farklı yöntemler tasarlanabilir. Basit yollardan da kaçak kullanım miktarlarını yaklaşık olarak tahmin edebiliriz. Bir şebeke üzerinde teknik kayıplar olarak isimlendirdiğimiz kaybolan enerji miktarının hesaplanması, toplam kullanılan enerji miktarıyla arasındaki fark bize kaçak kullanımların tahmin edilmesini sağlayacaktır. Mevcut şebekelerdeki kaçak kullanımları tespit edebilmemiz için önce şebekede kullanılan toplam gücü ve şebekede harcanan teknik kayıpları tespit etmemiz gerekmektedir (Alperöz, 1974).

$$P_{kaçak} (MW) = P_{harcanan} (MW) - P_{kayıp} (MW) \quad (4.1)$$

Şebeke üzerinde kaybolan enerjiyi hesaplarsak kaçak kullanılan enerji miktarına ya da güç miktarına ulaşabiliriz. Şebeke üzerinde yaşanan en büyük kayıplar transformatör ve iletkenler üzerinde meydana gelmektedir. İletken kesiti, hattın uzunluğu ve gerilim düşümü belli olan şebekelerde iletken üzerinde meydana gelen kayıpları tespit etmek kolaydır. Hattın kesiti ve hat üzerinden geçen akımı bilinen hatlarda iletken üzerinde kaybolan güç değeri denklem 4.2 de belirtildiği gibi P_z hesabı yapılarak bulunabilir.

$$P_z = 3.I^2. \quad (4.2)$$

P_z : Zaiyat Güç

I : Hat akımı

R : Hattın direnci

$$R = \frac{L}{\chi \cdot q} \quad (4.3)$$

L : Hattın Uzunluğu (m)

χ : Hattın Özgül İletkenliği (m/ Ω mm²)

q : İletken Kesiti (mm²)

Mevcut şebekelerin hat akımları ve hattın kesiti bilinmiyorsa bu verileri yaklaşık olarak bulmak mümkündür. Burada yaptığımız çalışmalarda tüm Türkiye'nin yaklaşık olarak kaçak kullanımını tespit etmek amaçlanmıştır. Hatlardan geçen akımlar ve hatların kesitleri gerçeğe yakın değerlerde tahmin edilerek, önerilen yöntemlerle kaçak kullanım miktarının hesaplanması hedeflenmiştir.

Gerilim düşümünden yola çıkarak akım ve kesitleri tahmin edebilir ve P_z hesabını rahatlıkla yapılabilir. Denklem 4.4 ve 4.5 'ten faydalanarak bilinmeyen sayısını ikiye düşürüp I_p (Akımın aktif bileşeni) ve q arasında bir bağlantı kurulması gerekecektir.

$$\% \mathcal{E} = \frac{100 \cdot \Delta U \cdot \sqrt{3}}{U} \quad (4.4)$$

$\% \mathcal{E}$: Yüzde gerilim düşümü

$$\Delta u = \frac{L \cdot I_p}{\chi \cdot q} \quad (4.5)$$

I_p : Akımın Aktif Bileşeni (A)

P : Yükün Aktif Gücü (kW)

Akımın aktif bileşeni olan I_p 'yi denklem 4.6 da hesaplanabilir.

$$I_p = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U} \quad (4.6)$$

Bulunan değer denklem 5'te yerine yazılarak hattın kesiti yaklaşık olarak tahmin edilebilir. Hattın akımı ve kesiti de artık bilindiğine göre denklem 3 yardımıyla hattın direncini ve denklem 2 yardımıyla hatta ki iletken üzerinde kaybolan güç miktarları bulunabilir.

Transformatörler üzerinde kaybolan güç miktarları da incelenerek yaklaşık olarak hatta kaybolan gücün önemli miktarı elde edilir. Transformatörde kaybolan bakır kayıpları genellikle 1000 kVA'nın altında ki güçlerde %3 ile %4 arasında değişiklik göstermektedir. Sargılar üzerinde oluşan bakır kayıpları transformatörlerde kısa devre deneyi ile hesaplanır. Hem primerde hemde sekonderde bakır kayıpları mevcuttur. Primer ve sekonderde ki toplam bakır kayıpları aşağıda denklem 4.7 de belirtilmiştir.

$$P_{cu} = I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 \text{ (W)} \quad (4.7)$$

Sekonderi primere aktarılmış devre için;

$$P_{cu} = I_1^2 \cdot R_{e1} \text{ (W)} \quad (4.8)$$

Primeri sekondere aktarılmış devre için;

$$P_{cu} = I_2^2 \cdot R_{e2} \text{ (W)} \quad (4.9)$$

Herhangi bir yük durumunda bakır kayıpları;

$$P'_{cu} = P_{cu} \cdot (I'_2 / I_2)^2 \text{ (W)} \quad (4.10)$$

P'_{cu} : İstenilen I'_2 Akımındaki Bakır Kaybı

P_{cu} : Anma akımındaki bakır kaybı

I_2 : Sekonder anma akımı

Transformatör üzerinde kaybolan demir kayıpları ise boşta çalışma deneyleriyle belirlenir. Boşta çalışma akımından dolayı bakır kayıpları ihmal edilir ve demir kayıpları sabit kayıplar olarak nitelendirilir. Demir kayıpları Histeresiz ve Fuko kayıpları olarak ikiye ayrılır. Nüve moleküllerinin frekansa bağlı olarak yön değiştirmesiyle oluşan ısı kayıpları P_{his} (histeresiz kayıplar) olarak adlandırılır. Nüve üzerinde indüklenen akımların

neden olduğu ısı kayıpları ise P_{fu} (fuko kayıpları) olarak adlandırılır. Histeresiz ve Fuko kayıpları hesabı denklem 4.11 de belirtildiği gibidir

$$\begin{aligned} P_{his} &= K_{his} \cdot f \cdot (B_{max})^{1,6} (W) \\ P_{fu} &= K_f \cdot f \cdot (B_{max})^2 (W) \end{aligned} \quad (4.11)$$

Transformatörün boştaki kayıpları;

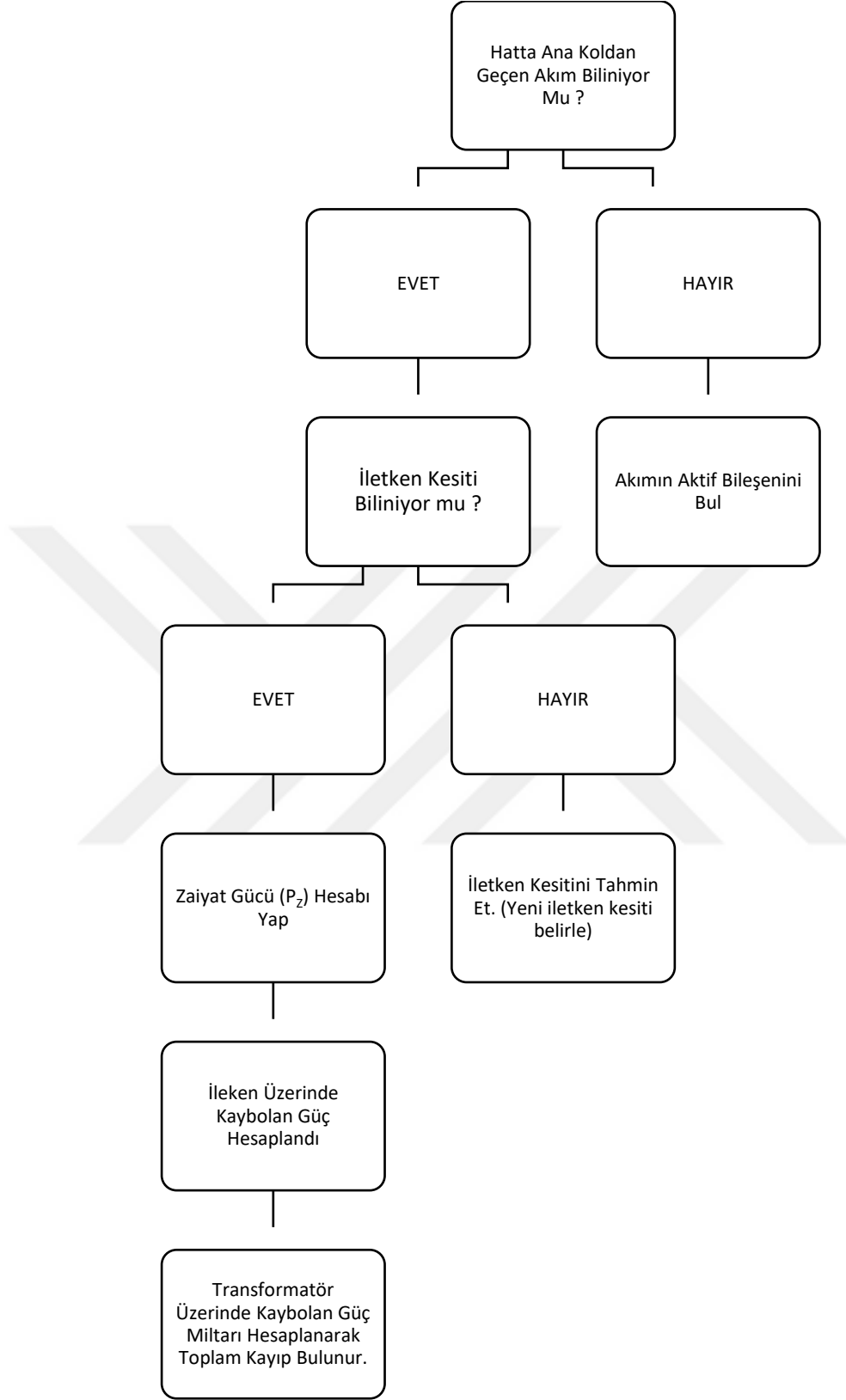
$$P_b = P_{his} + P_{fu} (W) \quad (4.12)$$

şeklinde elde edilir.

Yükseltici ve indirici trafolardaki verimlilik şalt sahalarındaki yüklenmeye bağlı olarak değişmektedir. Yüklenme oranına bağlı olarak genellikle %90 ile %98 arasında değiştiği bilinmektedir.

Dağıtım sistemlerinde harcanan toplam enerji miktarı ve faturalandırılan enerji miktarları bilindiğinden kalan enerji kayıp-kaçak olarak yansımaktadır. Bu çalışmada kayıp-kaçak olarak yansıyan enerji ya da güç miktarları incelenerek kayıp ve kaçak olarak harcanan gücün ayrıştırılması amaçlanmıştır. İletkenlerde ve transformatörlerde kaybolan güç miktarı hesaplanarak kaçak kullanım miktarı yaklaşık olarak belirlenebilir.

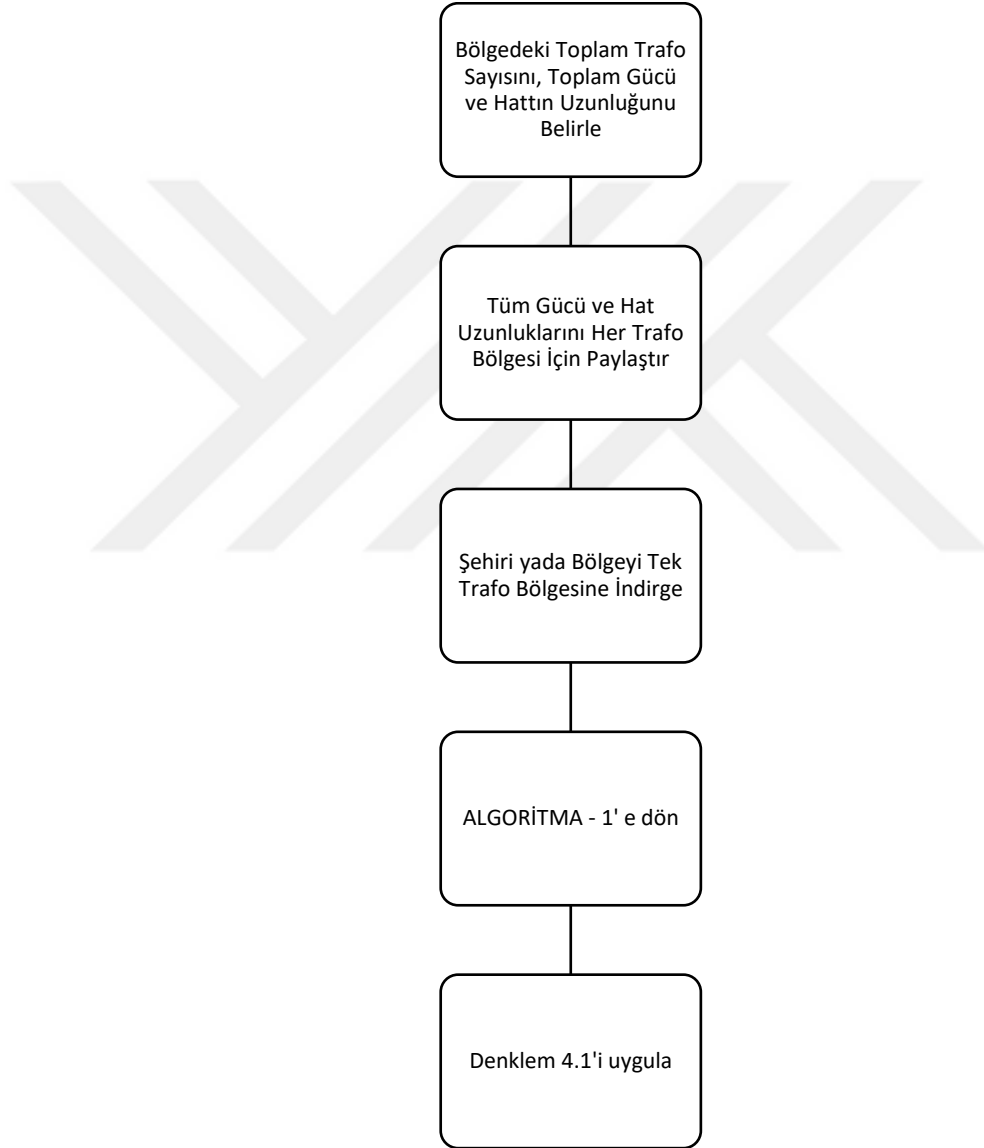
İstenilen bölgedeki kaçak kullanım miktarının tahmin edebilmesi için önerilen algoritmalar Şekil-4.2 ve Şekil-4.3' de gösterildiği gibidir.



Şekil – 4.2 Şebeke üzerindeki teknik kayıpların belirlenmesi için algoritma

Önerilen algoritmayı test etmek için bazı şehirlerdeki kayıp ve kaçak kullanım miktarları kontrol edilebilir. Elimizde bulunan verilere dayanarak örneğin AG hat

uzunluğu 11883 km olan, bünyesinde yaklaşık 6230 trafo bulunduran Kayseri bölgesi için kayıp kaçak olarak adlandırılan kaybolan enerji miktarına bakalım (TEDAŞ, 2016). Ocak 2015 haber raporlarına göre Kayseri bölgesinde faturalandırılan toplam enerji miktarı 175233 MWh kadardır. Toplam kullanılan enerji miktarı ise 187716.12 MWh olarak hesaplanmıştır. Yani Kayseri bölgesinin toplam kayıp-kaçak miktarı %6.65 civarındadır (TEDAŞ, 2016). Birden fazla trafo bölgesinin kayıp kaçak miktarlarını belirlemek için aşağıda Şekil-4.3’de gösterilen algoritma takip edilmelidir.



Şekil – 4.3 Geniş bölgelerde trafo bölgelerinin tek bir trafo bölgesine indirgenerek bölgedeki kayıpların yaklaşık olarak tahmin edilmesi

Şekil-4.2 ve Şekil-4.3’de gösterilen iki algoritma yardımıyla Kayseri bölgesi 1.9 km uzunluğundaki trafo bölgelerine ayrılmış ve her trafo bölgesinde 41.85 kW güç çekildiği varsayılmıştır. Bu güç sebebiyle çekilen gücün %93.35’i faturalandırılabilmiştir. Yani geriye kalan güç miktarı kayıp ve kaçak kullanımlardan kaynaklanmaktadır. Bu durum için varsayılan trafo bölgesinde denklem 4.4 ve denklem 4.5 kullanılarak iletken kesiti tayin edilmiş ve şekil – 4.2’de gösterilen algoritmaya devam edilmiştir (Gerilim düşümü yaklaşık %3 kabul edilmiştir). Trafo bölgesi tek kollu bir hat olarak düşünülmüş ve bölgeye düşen güç miktarı eşit yayılı yük olarak bölgeye dağıtılmıştır. Ana koldan geçen akımın aktif bileşeni denklem 4.6 yardımıyla bulunmuş ve iletken üzerinde meydana gelen kayıp bir trafo bölgesi için 488.36 W olarak hesaplanmıştır. Tüm Kayseri bölgesi için eş değer trafo bölgeleri tayin ettiğimizden dolayı şehir genelinde kaybolan yaklaşık güç miktarı 3.042 kW olarak hesaplanmıştır. Aylık iletken üzerinde kaybolan enerji miktarı ise 2190.2 MWh olarak bulunmuştur. Aynı şekilde transformatör kayıpları da her bir trafo için 1.255 kW olarak tahmin edilmektedir. Tüm trafo bölgeleri için ise yaklaşık transformatör kaybı 7820.5 kW olarak hesaplanmıştır. Yani bir ayda yaklaşık 5630766.84 kWh enerji transformatör kaybı olarak kaybolmaktadır. Denklem 1’e geri döndüğümüz zaman; toplam harcanan enerji miktarı ile kayıplar arasında ki fark bize kaçak kullanımı tahmin etmemizi sağlayacaktır. Denklem 13’de gösterilen toplam kayıp güç miktarına göre;

$$P_{kayıp} (MW) = P_z + P_b (MW) \quad (4.13)$$

toplam enerji kaybı yaklaşık 7820.96 MWh olarak hesaplanmıştır.

Toplam enerji miktarı ve faturalandırılan enerji miktarı, yani kayıp kaçak miktarı Kayseri için yukarıdaki verilere dayanarak 12483.12 MWh dir. Önerilen yöntemlerle kayıp ve kaçak miktarı kaçak kullanım miktarlarını tahmin etmek hedeflenmiştir. Kayseri bölgesinde ki bir aylık yaklaşık kaçak kullanım 4662.15 MWh olarak bulunmuştur. Yani yaklaşık olarak kaçak oranı %2.48 dir.

4.1 Ülkemizdeki Kaçak Kullanımla Mücadele ve Verimliliği Artması İçin Yapılan Çalışmalar

Elektrik enerjisinin üretimi oldukça zor ve maliyetli bir durumdur. Gelişen ve büyüyen dünyada enerji tüketimi arttıkça üretim de bir hayli önemli bir yere gelmiştir. Elektrik enerjisi üretimi için mevcut kaynaklarında sınırlı olduğunu göz önüne aldığımız

zaman elektrik enerjisinin daha verimli kullanılması gerektiğini söyleyebiliriz. Elektrik enerjisinin verimli kullanılmasının en etkili yolu teknik kayıpları azami seviyelerde tutarak teknik olmayan kayıpları sıfıra indirmekle olur. Böylece enerjideki arz ve talep dengede tutulabilir (EPDK, 2016).

Elektrik Mühendisleri Odası'nın verilerine dayanarak 2016'nın revize edilen hedefleri incelendiğinde kayıp kaçak oranında Dicle EDAŞ en yüksek oranla birinci sıradadır. %71.6'lık kayıp kaçak oranıyla ilk sırada bulunan Dicle EDAŞ'ın arkasından %60.17'lik oranıyla Van Gölü EDAŞ gelmektedir. En çok kayıp kaçak oranına sahip bir başka bölge ise %31.7'lik oranıyla Aras EDAŞ'tır. 2017 revizyonu incelendiğinde ise 2017 hedeflerine çok yakın olduğu görülmektedir. 2017 yılı için kayıp kaçak oranında %71.76 gibi bir oranla yine Dicle EDAŞ birinci sırayı almaktadır. %60.34 ile Van Gölü EDAŞ'ın arkasında %29.38'lik bir oranla Aras EDAŞ gelmektedir. Elektrik Mühendisleri Odası'nın; dağıtım şirketlerinin 2016 hedefleri ve revizyonu, 2017 yılı hedefleri ve hedef revizyonunu gösteren yayınlamış olduğu Tablo-4.1'te aşağıdaki gibidir (EMO, 2018).

Tablo-4.1 Dağıtım şirketlerinin 2016 ve 2018 yılları arasındaki kayıp-kaçak hedefleri

DAĞITIM ŞİRKETLERİ	2016 Hedefleri (2015 Yılsonu)	2016 Hedef Revizyonu (21.12.2017)	2016 Gerç. (EPDK)	2016 Gerç. (TEDAŞ)	2017 Hedefleri (07.12.2016)	2017 Hedef Revizyonu (21.12.2017)	2018 Hedefleri (21.12.2017)
ADM	7,92		5,74		7,76	7,46	7,15
Akdeniz	9,66	9,67	6,31		8,71	8,73	7,63
AKEDAŞ	7,46		7,20	7,22	7,07		7,2
Aras	31,68		25,68		29,38	29,37	25,65
AYEDAŞ	7,61		6,78		7,63		7,5
Başkent	8		6,98		7,76	7,75	7,64
Boğaziçi	9,6	9,46	9,61		9,34	8	7,98
Çamlıbel	7,93	7,96	5,97		7,79	7,82	7,55
Çoruh	9,35	9,33	9,25		9,06	9,08	9,02
Dicle	71,62		67,63	67,76	71,76	71,78	69,2
Fırat	9,74	9,72	10,56		9,77	10,99	10,47
GDZ	8,47		7,32		8,31		7,84
Kayseri ve Civ.	7,44	7,45	5,87		7,16	7,17	7
Meram	7,9		6,65		7,63	7,7	7,66
Osmnagazi	7,77		5,75		7,9		7,55
Sakarya	7,42		6,58		7,35	7,34	7,34
Toroslar	13,59		12,12		13,32		12,34
Trakya	7,15	7,17	5,46		7,31	7,29	7,12
Uludağ	7,55	7,54	5,57		7,48	7,47	7,2
Vangölü	60,16	60,17	56,42		60,34	60,35	57,27
Yeşilirmak	8,5		8,20		8,76	8,95	8,06

Ülkemizin 2016 yılında harcamış olduğu enerji miktarı yaklaşık olarak 278.3 milyar kWh civarındadır. Bunun yanında tüketimimizin %14 gibi büyük bir oranı kayıp ve kaçak kullanımlarla tüketilmektedir. OECD ortalamasının neredeyse 2 katı kayıp ve kaçak kullanım oranına sahibiz. Verimliliği artırabilmek amacıyla 2023 yılına kadar yapılacak yaklaşık 2.2 milyar Dolar yatırım sonucunda kayıp ve kaçak oranımızın %12'li seviyelere inmesi bekleniyor. OECD ortalamasına ise ancak 2030'ların sonlarına doğru mümkün olabileceği tahmin ediliyor (Düzgün, 2018).

Elektrik üretim tesisleri ve yükseltici şalt sahalarının ara mesafeleri çok uzun olmadığı için buralarda meydana gelecek teknik kayıplar daha azdır. İletkenlerin kısa mesafeli olmasından dolayı üzerinde kaybolacak enerji miktarı da daha az olacaktır. Kabul edilebilir enerji kaybı 50 kW/km olup, genellikle omik kayıplardan kaynaklanmaktadır. Gerilimdeki dalgalanmaların sebep olduğu korana kayıpları ise 0-20 kW/km aralığındadır. Bu kayıplar iletilmek istenilen enerjinin %2-3 oranında harcanmasına sebep olmaktadır. Havai hat dağıtım şebekelerinde ise 0.4 kV için yaklaşık olarak 26.1-86.4 kW/km civarındadır. Yer altı şebekelerinde ise 42.8-75.7 kW/km olduğu belirtilmektedir (Bhatt, 2003).

Teknik kayıpların oluşması beklenen bir durumdur. Elektrik akımının geçmiş olduğu her yerde teknik kayıpların oluşması mümkündür. İletim ve dağıtım şebekelerinde de bu kayıplar iletkenlerin üzerinde olduğu gibi transformatörler üzerinde de oluştuğunu belirtmiştik. Yükseltici ve indirici şalt sahalarında transformatörlerin yüklenme durumuna göre kayıplar meydana gelecektir. Alçak gerilim transformatörlerinin verimleri yine yüklenme durumuna bağlı olarak yaklaşık olarak %90-%98 civarında seyretmektedir. Şalt sahalarındaki güç transformatörleri ise doğru kullanıldıkları takdirde %99 verim seviyelerine kadar çıkabilirler.

Ülkemizdeki iletim ve dağıtım şebekelerindeki kayıp ve kaçak kullanım oranlarına baktığımızda veya kaybolan enerji miktarlarını incelediğimizde; kesin olmamakla birlikte mevcut iletim hatlarımızın yaklaşık olarak OECD standartlarında olduğunu söyleyebiliriz. Kaybolan enerjilerimizin büyük bir çoğunluğu elektrik enerjisi dağıtım şebekelerinde gerçekleşmektedir. Dağıtım şebekelerinde bu oranın fazla olmasının en büyük nedenlerinden biri ise kaçak kullanımların fazla olmasıdır.

İletim ve dağıtım hatlarında meydana gelen kesici açması, faz-faz kısa devre hatalarından dolayı meydana gelen gerilim düşümleri, faz toprak kısa devresi, şebekedeki dengesizlikler kayıplara yol açmaktadır. Eskiyen ve değişmesi gereken dağıtım şebekelerindeki malzemelerin yenilenmesi, dağıtım şebekelerinin iyileştirilmesi ve

bakımlarının düzenli olarak yapılması teknik ve teknik olmayan kayıpların azalmasını sağlayacaktır. Üretim merkezlerinin seçimi, yerinde üretim konusu da kayıpların azalması yönünde fayda sağlayabilir.

Kayıp ve kaçak oranlarının azaltılmasına yönelik dağıtım şirketlerinin çalışmaları olmuştur. Bazı bölgelerde sayaçlar mühürlü kutulara konulmuş, bazı bölgelerde ise sayaçlar direk tepelerine çıkartılmıştır. Van'ın 9 bin 100 aboneye sahip Gevaş ilçesinde uygulanan akıllı şebeke sistemi kayıp ve kaçak kullanım oranını büyük bir oranda azaltmıştır. Sayaçların uzaktan kesme ve okumaya elverişli bu proje sayesinde kayıp kaçak oranının %65'li seviyelerden %15'e kadar düştüğü belirtilmektedir.

Van'da uygulanan bu yöntem günümüzde sayaçların uzaktan okunabileceğini ve teknik olmayan kayıplar olarak adlandırdığımız sayaçların yanlış okunması gibi durumların önüne geçilebileceğini gösteriyor. Aynı zamanda teknik olmayan kayıpların önlenmesi için uzaktan sayaç okuma sistemleri geliştirilmeli ve sayaçlar dışardan müdahalelere kapalı olacak şekilde mühürlü panoların içerisinde olmalıdır. Günümüzde bir haberleşme aracı olarak kullanılan PLC'ler güç sistemlerinde uzaktan sayaç okuma işlerinde de büyük katkı sağlayabilirler.

VEDAŞ tarafından 2016 yılında yapılan çalışmalara Güroymak, Saray, Bulanık ve Özalp ilçelerinin belirli kısımlarında PLC'li sayaçlar kullanılmıştır. 2017 yılının ilk 3 ayında takip edilen bu sayaçlara göre bölgelerdeki kayıp kaçak oranları aşağıda gösterildiği gibidir. Güroymak ilçesinin kayıp kaçak oranı Tablo-4.2'de gösterildiği gibidir. Güroymak ilçesinin kayıp ve kaçak oranı bir önceki seneye göre %34.94 oranında azalma göstermiştir. Bulanık ilçesinin kayıp kaçak oranlarını ise Tablo-4.3'de gösterildiği gibidir (Kocaman, 2018).

Tablo-4.2 Güroymak ilçesi 2016 ve 2017 (ilk 3 ay) kayıp-kaçak oranı

GÜROYMAK		2016	2017	Değişim (kWh)	Değişim (%)
Ocak	Alınan Enerji	11.210.402	7.150.100	- 4.060.302	- 36.22
	Tahakkuk	2.175.603	3.670.520	1.494.917	68.71
	Kayıp Kaçak	% 80,59	% 48.66	- % 31.93	
Şubat	Alınan Enerji	10.397.469	6.638.655	- 3.758.814	-36.15
	Tahakkuk	3.629.814	4.663.350	1.033.536	28.47
	Kayıp Kaçak	% 65.09	% 29.75	- % 35.33	
Mart	Alınan Enerji	10.007.347	5.852.147	- 4.155.200	-41.52
	Tahakkuk	2.440.286	3.651.003	1.210.717	49.61
	Kayıp Kaçak	% 75.62	% 37.61	- % 38.00	
Toplam 3 Aylık	Alınan Enerji	31.615.218	19.640.902	- 11.974.316	-37.88
	Tahakkuk	8.245.703	11.984.873	3.739.170	45.35
	Kayıp Kaçak	% 73.92	% 38.98	- % 34.94	

Tablo-4.3 Bulanık ilçesi 2016 ve 2017 (ilk 3 ay) kayıp-kaçak Oranı

BULANIK		2016	2017	Değişim (kWh)	Değişim (%)
Ocak	Alınan Enerji	15.983.793	11.410.035	- 4.573.758	- 28.61
	Tahakkuk	3.642.655	5.125.400	1.482.745	40.71
	Kayıp Kaçak	% 77.21	% 55.08	- %22.13	
Şubat	Alınan Enerji	14.721.498	11.445.100	- 3.276.398	- 22.26
	Tahakkuk	4.372.403	7.049.470	2.677.067	61.23
	Kayıp Kaçak	% 70.30	% 38.41	- % 31.89	
Mart	Alınan Enerji	13.968.146	7.752.980	- 6.215.166	- 44.50
	Tahakkuk	6.723.153	6.069.498	- 653.655	-9.72
	Kayıp Kaçak	% 51.8	% 21.71	- % 30.15	
Toplam 3 Aylık	Alınan Enerji	44.673.437	30.608.115	-14.065.322	-31.48
	Tahakkuk	14.738.211	18.244.368	3.506.157	23.79
	Kayıp Kaçak	% 67.01	% 40.39	- % 26.62	

Tabloda görüldüğü gibi bulanık ilçesinde, 2017 yılında ilk üç ayda alınan verilere dayanarak kayıp kaçak oranının %26.62 oranında azaldığını söyleyebiliriz. 2017 yılının ilk üç ayında alınan enerji bir önceki yılın ilk üç ayına göre 14065322 kWh azalma göstermiştir. Aynı döneme tahakkuk edilen enerji %23.79'luk artışla 3506157 kWh

civarında artmıştır. Tablo-4.4'te ise Özalp ilçesinin kayıp ve kaçak oranları verilmiştir(Kocaman, 2018).

Tablo-4.4 Özalp ilçesi 2016 ve 2017 (ilk 3 ay) kayıp-kaçak oranı

ÖZALP		2016	2017	Değişim (kWh)	Değişim (%)
Ocak	Alınan Enerji	8.023.680	5.678.501	- 2.345.179	- 29.23
	Tahakkuk	2.131.680	4.018.745	1.887.065	88.52
	Kayıp Kaçak	% 73.43	% 29.23	- % 44.20	
Şubat	Alınan Enerji	7.634.503	4.561.946	- 3.072.557	-40.25
	Tahakkuk	3.480.425	2.722.909	- 757.516	-21.77
	Kayıp Kaçak	% 54.41	% 40.31	- % 14.10	
Mart	Alınan Enerji	7.644.363	4.430.270	- 3.214.093	-42.05
	Tahakkuk	1.775.729	3.109.069	1.333.340	75.09
	Kayıp Kaçak	% 76.77	% 29.82	- % 46.95	
Toplam 3 Aylık	Alınan Enerji	23.302.546	14.670.717	- 8.631.829	-37.04
	Tahakkuk	7.387.834	9.850.723	2.462.889	33.34
	Kayıp Kaçak	% 68.30	% 32.85	- % 65.44	

Tablo-4.4'te görüldüğü üzere Özalp ilçesindeki kayıp kaçak oranının %35.44 gibi bir oranda azaldığını söyleyebiliriz. Özalp ilçesinde 2017 yılının ilk üç ayında alınan enerji geçen yılın aynı dönemine göre 8631829 kWh azaldığı görülmektedir. Aynı dönemde tahakkuk edilen enerji %33.34 gibi bir artışla 2462889 kWh arttığı görülmektedir. Tablo-4.5'te Saray ilçesinin kayıp kaçak oranları verilmiştir (Kocaman, 2018).

Tablo-4.5 Saray ilçesi 2016 ve 2017 (ilk 3 ay) kayıp-kaçak oranı

SARAY		2016	2017	Değişim (kWh)	Değişim (%)
Ocak	Alınan Enerji	2.200.149	1.455.320	- 744.829	- 33.85
	Tahakkuk	479.152	1.142.200	663.048	138.38
	Kayıp Kaçak	% 78.22	% 21.52	- % 56.71	
Şubat	Alınan Enerji	2.164.595	1.100.305	- 1.064.290	-49.17
	Tahakkuk	1.159.758	866.821	- 292.964	-25.26
	Kayıp Kaçak	% 46.42	% 21.22	- % 25.20	
Mart	Alınan Enerji	2.307.165	1.149.655	- 1.157.480	-50.17
	Tahakkuk	1.675.535	1.016.575	- 658.960	-39.33
	Kayıp Kaçak	% 27.38	% 11.58	- % 15.80	
Toplam 3 Aylık	Alınan Enerji	6.671.879	3.705.280	- 2.966.599	-44.46
	Tahakkuk	3.314.472	3.025.596	- 288.876	-8.72
	Kayıp Kaçak	% 50.32	% 18.34	- % 31.98	

Saray ilçesinde de kullanılan PLC’li sayaçlar işe yaramış olmalı ki kayıp kaçak oranı yaklaşık olarak %32 gibi bir oranda azalmıştır. Dört ilçenin toplam kayıp ve kaçak kullanım oranları Tablo-4.6’te gösterildiği gibidir (Kocaman, 2018).

Tablo-4.6 Bulanık, Güroymak, Saray ve Özalp ilçeleri 2016 ve 2017 (ilk 3 ay) kayıp-kaçak oranı

TOPLAM (DÖRT İLÇE)		2016	2017	Değişim (kWh)	Değişim (%)
Ocak	Alınan Enerji	37.418.024	25.693.956	- 11.724.068	-31.33
	Tahakkuk	8.429.090	13.956.865	5.527.775	65.58
	Kayıp Kaçak	% 77.47	% 45.68	- % 31.79	
Şubat	Alınan Enerji	34.918.065	23.746.006	- 11.172.059	-32.00
	Tahakkuk	12.642.427	15.302.550	2.660.123	21.04
	Kayıp Kaçak	% 63.79	% 35.56	- % 28.24	
Mart	Alınan Enerji	33.926.991	19.185.052	- 14.741.939	-43.45
	Tahakkuk	12.614.703	13.846.145	1.231.442	9.76
	Kayıp Kaçak	% 62.82	% 27.83	- % 34.99	
Toplam 3 Aylık	Alınan Enerji	106.263.080	68.625.014	-37.638.066	-35.42
	Tahakkuk	33.686.220	43.105.560	9.419.340	27.96
	Kayıp Kaçak	% 68.30	% 37.19	- % 31.11	

Tablo-4.6’te görüldüğü gibi dört ilçede de büyük bir enerji tasarrufu vardır. Kayıp ve kaçak oranları büyük ölçüde düştüğü gözlemlenmektedir. 2017’nin ilk üç ayında alınan enerji bir önceki yıla göre %35.42 gibi bir oranla 37638066 kWh kadar azalmıştır. Aynı döneme tahakkuk edilen enerji miktarı %27.96 gibi bir oranla 9419340 kWh civarında artmıştır. Kayıp kaçak oranı bu dört ilçenin toplamında ortalama %31.11 civarında azalmıştır (Kocaman, 2018).

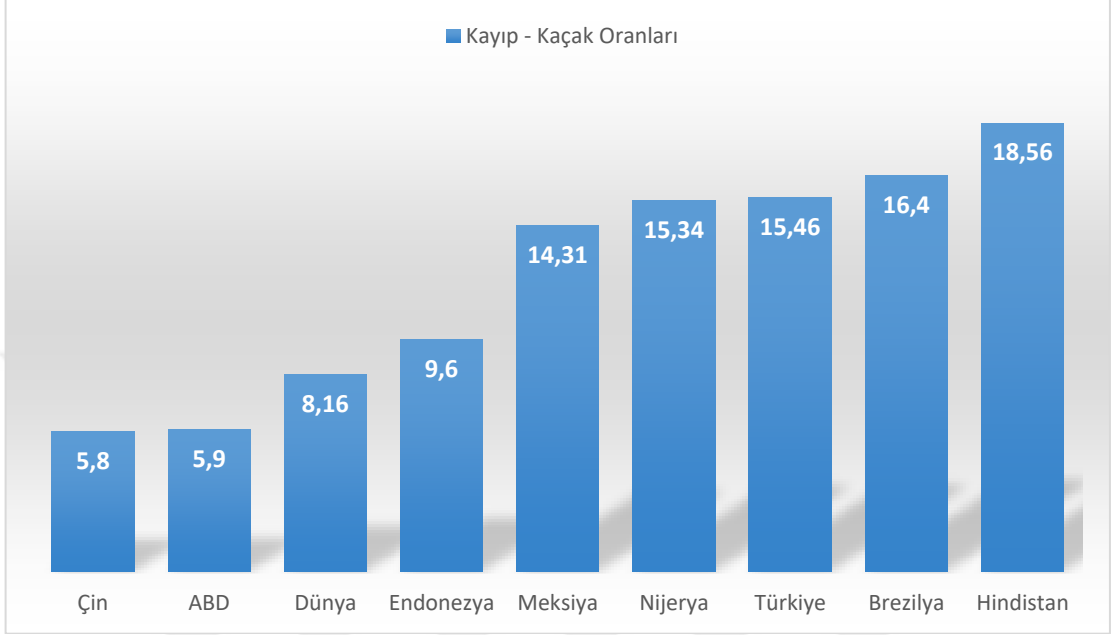
Kayıp ve kaçak oranlarının azaltılması için ilk mücadele 2005’li yıllarda daha belirgin hale gelmiştir. 2000 öncesi kayıp kaçak oranı ortalama %16’lar seviyesindedir. 1998 ve 2001 ekonomik krizlerinden de etkilenererek büyük bir sıçrama yapmış ve 2000 yılında %19.4 seviyelerine kadar gelmiştir. En yüksek kayıp kaçak oranı ise %20.9 civarlarında 2002 yılında görülmüştür. Günümüzde ise %13 seviyelerine kadar gerilemiştir.

2016 Dicle EDAŞ faaliyet raporlarına göre kaçak kullanımı önlemek için bölgedeki etkin saha faaliyetleri artırılmış, akıllı şebeke tesislerine geçişe uygun teknolojik altyapı yatırımları yapılmıştır.

Günümüzde enerji şirketleri elektrik şebekelerinin kalitesini artırmak adına birçok yatırım yapmaktadır. Dijital ortamdan kontrolün sağlanabileceği enerji şebekelerinin temelini atmaktadırlar. Ölçüm sistemlerinin iyileştirilmesi, akıllı sayaçların yaygınlaştırılması kayıp ve kaçak kullanım oranının düşmesine yardımcı olacaktır. Akıllı sayaçlar veya PLC modüllü sayaçlar sayesinde teknik olmayan enerji kayıplarının önüne geçilebilir. Aynı zamanda akıllı şebekelerin kurulmasıyla yük akışı, yük analizi, gerilim düşümü, güç kaybı, talep güç gibi birçok unsurun da izlenerek takip edilmesi, şebekenin

verimli kullanılmasına da yardımcı olacaktır. Şebeke kapasitesinin etkin kullanılmasına ve arızalara zamanında müdahale edilmesine olanak sağlayacaktır.

2013 yılı verilerine dayanarak bazı Dünya devletlerindeki kayıp kaçak oranları ve ülkemizdeki kayıp kaçak oranı aşağıda Şekil-4.4’de gösterildiği gibidir.



Şekil-4.4 Bazı Dünya devletlerindeki kayıp-kaçak oranı (2013)

EPDK 2010 Elektrik Piyasa Raporuna göre 2009 yılında kayıp ve kaçak kullanımın maliyeti ortalama 3 milyar ₺ olduğu belirtilmektedir (EPDK, 2010).

Ülkemizde üretilen enerjinin büyük bir çoğunluğu sanayi bölgelerinde tüketilmektedir. Teknik olan veya olmayan kayıpların azaltılmasını istiyorsak öncelikle elektrik tüketiminin fazla olduğu sanayi bölgelerinde verimliliği artırmalıyız. Kayıp ve kaçak oranı düşük olan Avrupa ülkelerinde enerji tasarruf faaliyetleri özellikle sanayi bölgelerinde olduğu görülmektedir (Kavak, 2005). Sanayilerde verimi yüksek olan motor kullanımları yaygınlaştırılmalıdır. Çünkü sanayilerde harcanan elektriğin %45’lik gibi büyük bir kısmı motorlar tarafından tüketilmektedir (Yaman, 2007). Motorların verimleri motor tiplerine göre değişiklik göstermektedir. Aynı özelliklere sahip farklı iki motorun tam yükte veya yarı yükteki verimlilikleri farklı olabilir. Bu yüzden verimliliği yüksek olan araçların kullanılması teşvik edilmelidir.

Yüksek verimli motorların standart motorlardan daha verimli olduğu yapılan bir çalışmada görülmektedir. Yüksek kalitedeki sanayide kullanılan elektrik motorlarının standart motorlardan %2 ile %8 arasında daha verimli tespit edilmiştir. Ayrıca yüksek

verimli bu elektrik motorları kısa sürede kendini amorti ettiği belirtilmektedir (Kaya, 2002). Yüksek kalitede veya yüksek verimli motorların kullanılması görüldüğü üzere hem kullanıcı için hem de elektrik şebekelerimizin sağlığı açısından oldukça önemlidir. Özellikle sanayiler başta olmak üzere, tarımsal sulama gibi elektrik enerjilerinin tüketildiği bölgelerde denetimler yapılarak şebekeye zarar veren, harmonik yaratan ve hatta verimi düşük olan elektrik motorlarının kısıtlanması ve standart uygun bir kullanım getirilmesi, şebeke sağlığı için daha iyi olacaktır. Sadece şebeke sağlığı olarak değil aynı zamanda kayıp miktarını da azaltacaktır. Özellikle harmonikler enerji verimliliği ve kayıplar için başlı başına ayrı bir konudur. Fazlardaki akım dengesizliği ve nötrden geçen akım bakır kayıplarının mevcut miktarından daha fazla olmasına neden olacaktır. Şebekedeki harmonikler; trafolar ve motorlarda kayıpların artmasına, meydana gelen akım dengesizliklerinden dolayı iletkenler üzerinde meydana gelen kayıpların artmasına ve hatta normal olmayan sistem açmalarına bile neden olabilirler. Harmoniklerin etkilerini azaltmak için uygun filtreleme yöntemleri seçilerek uygulanmalıdır.

Sanayi ve tarımsal sulama alanlarının dışında konutlarda ve binalarda da verimliliğin iyileştirilmesi mümkündür. Bugüne kadar birçok çalışma görülmüştür. Özellikle aydınlatmada enerji tasarrufu sağlayan malzeme kullanılması, ısınma konusunda bazı enerji tasarrufu sağlayacak yöntemler denenmesi yaygın hale gelmiştir.

Konutlarda kullanılan enerjinin yaklaşık %15'lik kısmı aydınlatmada kullanılır (Yaman, 2007). Aydınlatma sistemi kurulurken ne amaçla kurulduğu da göz önünde alınarak verimin ve tasarrufun yüksek seviyelerde olması amaçlanmalıdır. Akkor flamanlı ampullerin yerine flüoresan armatürlü veya elektrik enerjisini ışıığa dönüştüren ledli aydınlatmaların tercih ve teşvik edilmesi tasarruf açısından önemli bir durumdur.

Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada ülkemizdeki enerji tasarrufu potansiyeli Tablo-4.7'te gösterilmiştir (Hararcı, 2005).

Tablo-4.7 Çeşitli tüketici gruplarının tasarruf potansiyelleri

Tüketici	Tasarruf Potansiyeli (%)
Ulaştırma Sektörü	15-20
Büro Binası	30-40
Otel ve restoranlar	20-25
Alışveriş merkezleri	20-25
Çimento sanayi	30-35
Demir çelik sanayi	30-35
Ağaç işleme sanayi	25-35
Gıda sanayi	20-25
Deri sanayi	20-25
Tekstil sanayi	30-35
Küçük atölyeler	15-25
Konutlar	15-20

Ülkemizde sanayi, ticari işletme, bina ve ulaştırma sektörlerinde %20-50 oranında enerji tasarrufu potansiyelinin var olduğu görülmektedir.

4.2 Bazı Bölgeler İçin Kaçak Kullanım Miktarının Tahmini

Şekil – 4.3 ve Şekil – 4.2’deki algoritmamızda da önerdiğimiz gibi kaçak kullanımı tahmin edilmesi istenen bölgenin veya herhangi bir şehrin kaçak kullanım tahmini yapılabilmesi için bölgedeki toplam trafo sayısı, toplam trafo gücünü, hat uzunlukları gibi belirli verilerin önceden bilinmesi gerekmektedir.

TEDAŞ 2015 verilerine göre örneğin Şanlıurfa bölgesinde toplam AG düzeyinde kuruma ait toplam trafo kapasitesi 1383 MVA olan 4568 adet trafo olduğu tahmin edilmektedir. Bu trafoları ait toplam AG hat uzunluğu ise yaklaşık olarak 10179 km olduğu tahmin ediliyor. Kayıp kaçak oranı %50.75 olan Şanlıurfa şehrimizin aylık faturalandırılan enerji miktarı ise yaklaşık olarak 154543 MWh’dir. Faturalandırılan enerji miktarı yaklaşık olarak tüketilen enerjinin %49.25’ine tekabül etmektedir. Şanlıurfa bölgesi önerdiğimiz algoritmaya göre 2.23 km’lik 95.40 kW güç çeken 4568 adet eş değer trafo bölgelerine ayrılmıştır. Bu durum için algoritmalar devam ettirilmiş

olup varsayılan trafo bölgesine iletken tayin edilmiştir. Bir trafo bölgesi için yapılan hesaplamalar sonucunda iletken üzerinde kaybolan kayıp güç yaklaşık olarak 1115.43 W olarak hesaplanmıştır. Tüm şehir genelinde ise bu kayıp güç aylık 3668.6 MWh iletkenler üzerinde enerji kaybına sebebiyet vermektedir. Trafolar eşdeğer ve standart olup yağda doldurulmuş genleşme depolu ve hermetik olarak seçilmiştir. Tüm şehir için trafo kaybı yaklaşık olarak 29872.8 MWh olarak tahmin edilmektedir. Şehir genelinde aylık kaybolan teknik kayıplar yaklaşık olarak 33541.4 MWh olduğu tahmin edilmektedir. Geriye kalan kayıplar ise kaçak kullanım olarak kabul edilmiş ve aylık şehir genelinde 125708.48 MWh enerjinin kaçak kullanıldığı tahmin edilmektedir. Bu enerji kaybı yaklaşık %40'a tekabül etmektedir.

Bir başka şehrimiz Kahramanmaraş için ise yine 2015 TEDAŞ verilerine göre toplam hat uzunluğu 8854 km olan 2647 adet trafo bölgesinin olduğu tahmin edilmektedir. Kayıp kaçak oranı %6.9 olan Kahramanmaraş bölgesinde aylık faturalandırılan enerji miktarı yaklaşık 263285 MWh olduğu tahmin edilmektedir. Algoritmamıza göre Kahramanmaraş bölgesi 3.34 km'lik 148.38 kW güç çeken 2647 adet eşdeğer trafo bölgelerine ayrılmıştır. Trafo kayıpları yaklaşık olarak %2 seçilmiş ve Kahramanmaraş bölgesinde aylık trafolar üzerinde gerçekleşen enerji miktarı 7848 MWh olarak hesaplanmıştır. Algoritmaya göre eşdeğer trafo bölgelerinden herhangi biri için iletken kesiti tayin edilmiş olup bir ayda iletkenler üzerinde kaybolan enerji miktarının yaklaşık olarak 3306.24 MWh olduğu tahmin edilmektedir. Toplam teknik kayıplar 11154.24 MWh değerinde bulunmuş ve aylık kaçak kullanım miktarının 8358.82 MWh olduğu tahmin edilmektedir. Bu enerji miktarı ise şehir genelinde tüketilen enerjinin %2.9'una denk gelmektedir.

Kayıp ve kaçak oranının yüksek olduğu başka şehrimiz Mardin'de ise 2309 adet trafo bölgesinde yaklaşık olarak 5002 km uzunluğa sahip dağıtım hattının olduğu tahmin edilmektedir. Toplam trafo kapasitesi 700 MVA olan Mardin bölgesi 2.17 km'lik 2309 adet eşdeğer trafo bölgelerine ayrılmıştır. Kayıp kaçak oranı %72.66 olan Mardin'de aylık faturalandırılan enerji miktarının 67929 MWh olduğu tahmin edilmektedir. Bu enerji miktarı algoritmaya göre her bir trafo bölgesinin yaklaşık olarak 149.45 kW güç çektiği anlamına gelmektedir. Trafo bölgeleri için iletken kesiti ve ana kol akımı tayin edilmiş olup iletkenler üzerinde kaybolan güç miktarı yaklaşık olarak 1747.26 W bulunmuştur. Aylık şehir genelinde iletkenler üzerinde kaybolan enerji miktarı ise ortalama 2904.79 MWh olduğu tahmin edilmektedir. Trafolar yağda doldurulmuş genleşme depolu ve hermetik olarak seçilmiş ve her bir trafoda yaklaşık olarak kaybolan

güç miktarı %4'e tekabül etmektedir. Trafolar üzerinde kaybolan aylık enerji miktarı ise ortalama 20160 MWh olarak hesaplanmıştır. Toplam teknik kayıplar Mardin bölgesi için 23064 MWh'e denk gelmektedir. Geriye kalan faturalandırılmayan enerji kaçak kullanım olarak düşünülmüş ve yaklaşık olarak 157466.34 MWh olduğu tahmin edilmiştir. Bu enerji miktarı Mardin bölgesinde harcanan enerji miktarının yaklaşık olarak %63.37'sine denk gelmektedir.

Kayıp kaçak oranıyla dikkat çeken bir başka şehrimiz Van'da 583 MVA toplam kurulu güce sahip olan 2777 adet trafo olduğu tahmin edilmektedir. 6334 km'lik hat uzunluğuna sahip Van şehrimizin kayıp kaçak oranı ise %57.19 civarlarındadır. Aylık tüketicilerin çektiği faturalandırılabilen enerji miktarı ise yaklaşık 68689 MWh olduğu tahmin ediliyor. Algoritmamıza göre Van şehri 2.28 km'lik 80.24 kW güç çeken 2777 adet eşdeğer trafo bölgelerine ayrılmıştır. Bu eşdeğer trafo bölgeleri için iletken ve ana kol akımı tayin edilmiş olup iletken kaybı yaklaşık olarak 938.19 W bulunmuştur. Aylık şehir genelinde iletkenler üzerinde kaybolan enerji miktarının 1875.859 MWh dolaylarında olduğu tahmin edilmektedir. Trafolar eş ve yağda doldurulmuş genleşme depolu ve hermetik olarak seçilmiş ve her bir trafoda yaklaşık olarak kaybolan güç miktarı %3'e tekabül etmektedir. Şehir genelinde trafolardan kaynaklı aylık enerji miktarının ise yaklaşık olarak 16790.4 MWh olduğu varsayılmıştır. Van şehrinde bir ayda kaybolan ortalama teknik kayıplar 18666.25 MWh civarlarında olduğu tahmin edilmektedir. Geriye kalan faturalandırılmayan enerji miktarı kaçak kullanım olarak kabul edilmiş ve yaklaşık olarak 73095.57 MWh bulunmuştur. Bu enerji toplam enerjinin %45,55'ine tekabül etmektedir.

Türkiye'de 2008 yılı itibariyle kayıp kaçak oranı en düşük ilk iki şehrimiz %1.3 ile Denizli ve %2.1 ile Karabük'tür. En yüksek kayıp kaçak oranına sahip olan şehrimiz ise %72.66 ile Mardin ve %70.9 ile Şırnak'tır. Türkiye geneline bakacak olursak kaybolan enerji, üretilen enerjinin yaklaşık olarak %14.38'ine denk gelmektedir. Bazı şehirler için tahmini kayıp kaçak kullanım miktarları Tablo-4.8'de verilmiştir.

Tablo-4.8 Bazı şehirler için tahmini kayıp-kaçak miktarları

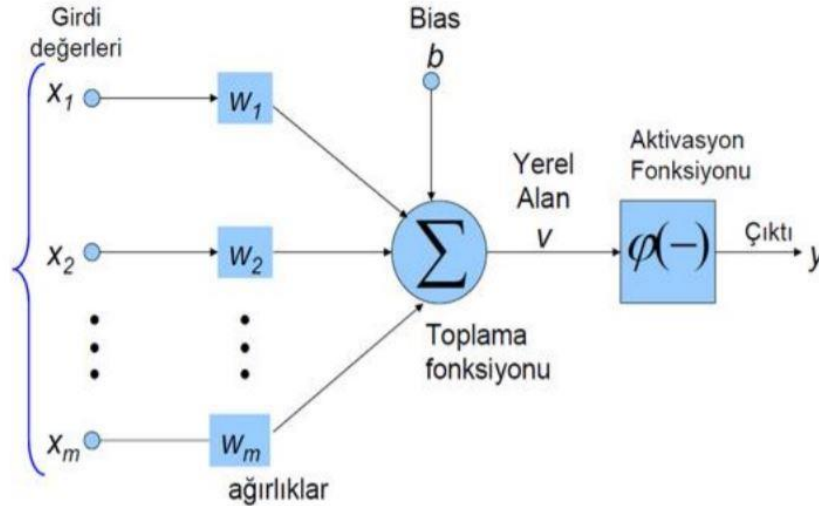
Şehirler	Faturalandırılmayan Enerji Miktarı (MWh)	Teknik Kayıplar (MWh)	Kaçak Kullanım (MWh)	Şehirler	Faturalandırılmayan Enerji Miktarı (MWh)	Teknik Kayıplar (MWh)	Kaçak Kullanım (MWh)
<u>Adana</u>	36997,3638	13562,34	23435,02	<u>Eskişehir</u>	8859,3902	5164,11	3695,27
<u>Adıyaman</u>	4944,9663	2793,26	22574,47	<u>Erzurum</u>	9365,8248	3213,82	6151,99
<u>Afyonkarahisar</u>	7664,4691	5614,77	2049,69	<u>Gaziantep</u>	18313,8600	7350,76	10963,09
<u>Ağrı</u>	25008,069	1848,51	23159,55	<u>Hakkâri</u>	30175,7416	1292,38	28883,35
<u>Aksaray</u>	4226,5429	2860,09	1366,44	<u>İstanbul</u>	374710,33	94795,45	279914,87
<u>Ankara</u>	90127,8072	33479,56	56648,24	<u>İzmir</u>	66098,5437	36495,01	29603,53
<u>Antalya</u>	80276,0344	23331,52	56944,50	<u>Karaman</u>	2516,59	1876,37	640,21
<u>Ardahan</u>	659,4244	360,189	299,23	<u>Kayseri</u>	12483,1221	7416,23	506,88
<u>Artvin</u>	4500,9263	1175,25	3325,67	<u>Kocaeli</u>	40434,1958	18018,56	22415,63
<u>Aydın</u>	19104,8906	7751,33	11353,55	<u>Konya</u>	28756,7948	16824,77	11932,01
<u>Balıkesir</u>	26674,1138	8859,41	17814,70	<u>Malatya</u>	10128,7753	4266,02	5862,75
<u>Bartın</u>	3934,0155	1449,02	2484,99	<u>Mardin</u>	180895,1758	9302,948	171592,22
<u>Batman</u>	29214,3433	2268,24	26946,09	<u>Sakarya</u>	14901,3115	6022,715	8878,59
<u>Bayburt</u>	596,9550	346,55	250,39	<u>Samsun</u>	16260,8251	6778,85	9481,97
<u>Bilecik</u>	3314,6014	2822,42	492,17	<u>Şanlıurfa</u>	220564,3689	17518,78	203042,58
<u>Bingöl</u>	5784,906	735,955	5048,95	<u>Şırnak</u>	39901,3505	3227,57	36673,77
<u>Bitlis</u>	18984,1627	1414,11	17570,05	<u>Trabzon</u>	13803,3595	3917,11	9886,24
<u>Bolu</u>	3993,3038	2479,52	1513,77	<u>Van</u>	91799,3178	4006,70	87792,61
<u>Burdur</u>	3890,9452	2176,69	1654,25	<u>Yozgat</u>	9312,1153	2715,81	6596,30

5. YAPAY SİNİR AĞLARI İLE ANALİZ

5.1. Yapay Sinir Ağları (YSA)

Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin bilgi işleme tekniğinden yola çıkılarak oluşturulmuş bilgi işlem teknolojisine verilen addır. YSA ile basit biyolojik sinir sisteminin çalışma şekli taklit edilir. Yani biyolojik nöron hücrelerinin ve bu hücrelerin birbirleri ile arasında kurduğu sinaptik bağın dijital olarak modellenmesidir. Diğer bir ifadeyle, YSA'lar, normalde bir insanın düşünme ve gözlemlemeye yönelik doğal yeteneklerini gerektiren problemlere çözüm üretmektedir. YSA'nın kurduğu sinaptik bağlar; öğrenme, hafızaya alma ve veriler arasında ilişki kurabilme kapasitesine sahiptir. Yapay sinir ağlarının kullanımı günümüzde birçok alanda yaygın hale gelmiştir [Çayıroğlu, 2015].

Fazla bilinmeyenli değişkenleri tahmin etmek oldukça zor olduğu zamanlarda YSA yardımıyla bu tahminleri gerçekleştirmek mümkündür. YSA, diğer klasik metotların sonuç vermediği yerlerde rahat bir şekilde tahminde bulunabilmesi avantajlarından birisidir. Yapay sinir ağları teknik açıdan incelendiğinde, girişe bağlı olarak bir çıkış üretebilmektedir. Verimli bir çıkış elde edebilmek için YSA'nın eğitilmesi gerekmektedir. Yeterli eğitim sonucunda YSA karar verebilecek seviyeye ulaşır ve yeni çıktıları belirler.



Şekil 5.1 – Yapay Sinir Ağı Örneği

YSA yapay sinir hücrelerinin birbirine bağlanması ile meydana gelen bir yapıdır. Temelinde giriş, ara ve çıkış katmanı olmak üzere üç katman bulunmaktadır. Giriş

katmanı, verilerin alındığı ve verilerin herhangi bir işleme uğramadan ara katmana aktarıldığı yerdir. Bazı YSA’larda ara katman bulunmadığı gibi bazılarında ise birden fazla bulunabilir. Ara katmanda bulunan nöron sayıları giriş ve çıkış sayısından bağımsızdır. Ara katmandaki nöron sayılarının artması, YSA’nın yavaş çalışmasına sebep olabilirken, karmaşık problemlerin çözülebilmesine de olanak sağlayabilir. Çıkış katmanı ise ara katmandan gelen bilgileri işler ve çıktıları üretmeyi sağlar. YSA’ları yapılarına göre incelemek istersek; nöronların bağlanma tipine göre YSA’yı ileri ve geri beslemeli ağlar olarak iki şekilde ele alabiliriz.

İleri beslemeli olarak isimlendirdiğimiz tipte nöronların katmanı girişten çıkışa doğru düzenli bir şekildedir. Her katmanın sadece kendinden sonraki katmanla bir bağlantısı vardır. YSA’ya girdiğimiz giriş bilgileri önce giriş katmanına sonra da kendinden sonraki katmanlara, çıkış katmanına kadar sırayla aktararak işlenir ve sonuç elde edilir. Geri beslemeli YSA’da ise durum biraz daha farklıdır. İleri beslemeli YSA’dan farklı olarak hücreler sadece kendinden sonraki hücrenin katmanına bağlı değildir. Geri beslemeli YSA’larda kendinden önceki katmana veya kendi katmanında bulunan herhangi bir hücreye girdi olarak bağlanabilir. Bu sebepten dolayı doğrusal olmayan bir davranış göstermektedir.

Öğrenme algoritmasına göre ise YSA’lar danışmanlı öğrenme, danışmansız öğrenme ve destekleyici öğrenme olarak üç tipte inceleyebiliriz. Danışmanlı öğrenme sırasında ağı verilen giriş değerleri için çıktı değerlerinin de verilmesi gerekir. Verilen çıktılarına göre YSA kendi ağırlıklarını günceller. Hata hesabı yaparak yeni ağırlıkların düzenlenme işlemi sürekli devam ettirilebilir. Hata hesabı yapılırken YSA kendi tahminini girilen çıktı değerleri ile karşılaştırır. Her nöron başına düşen hatalar hesaplanır ve her nöron kendine gelen ağırlıkları günceller. Danışmansız öğrenme de ise sadece örnek veriler girilir ve hiçbir çıktı verisi girilmez. Girişte verilen verilere göre YSA kendi kuralını oluşturur. Destekleyici öğrenme de ise her iterasyon sonucunda elde edilen sonuç değerlendirilir ve sonucun iyi olup olup olmadığına karar verilir. Bu bilgilere göre YSA kendinin güncelleyerek, hem öğrenerek hem de sonuç çıkararak işleme devam eder.

Günümüzde yapay sinir ağlarının kullanım alanları çok genişlemiştir. Üretim planlamalar, kan analizleri, beyin modellemesi, kalite kontrolü, otomatik araç denetimleri ve robotik alanlar, elektriksel sistemler gibi birçok alanda kullanılabilir. YSA’nın kullanımı birçok kolaylık sağlamaktadır. Bunlar;

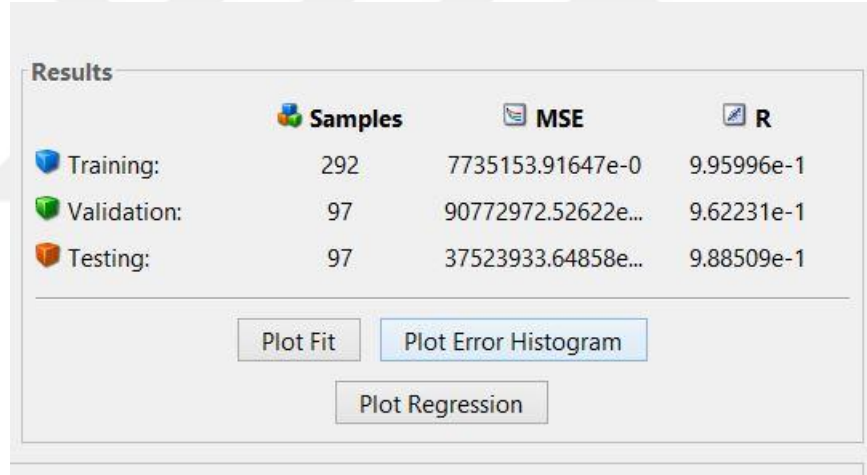
- YSA hücreleri eş zamanlı çalışarak karmaşık işleri kolayca gerçekleştirebilir.

- Öğrenme kabiliyeti problem çözümlerinde kolaylık sağlamaktadır ve farklı öğrenme algoritmalarla öğrenme işlemini gerçekleştirebilirler.
- Görülmemiş sonuçları üretebilir. Gözetimsiz öğrenim söz konusudur.
- Eksik örüntüleri tamamlayarak, örüntü tanıma ve sınıflandırma yapabilirler.
- Hata toleransına sahiptir. Belirsiz veya eksik bilgiyle çalışabilirler. Hatalı bir durumda dereceli bozulma (graceful degradation) gösterirler.

5.2. Kaçak Kullanımların YSA ile Analizi

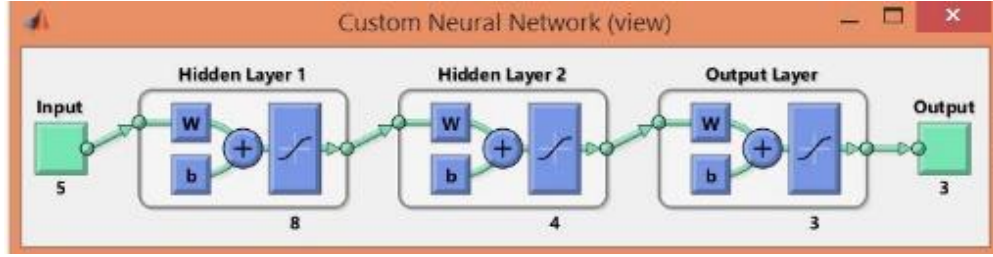
5.2.1. MATLAB ile Analiz

81 şehrin kaçak kullanım miktarı YSA yardımıyla da tahmin edilmiş ve kendi hesaplamalarımızla kıyaslanmıştır. Yüksek doğruluk oranı yapılan hesabın doğruluğunu ortaya koymaktadır. Tüm şehirlerin verileri programa girilmiş ve YSA eğitilmiştir.



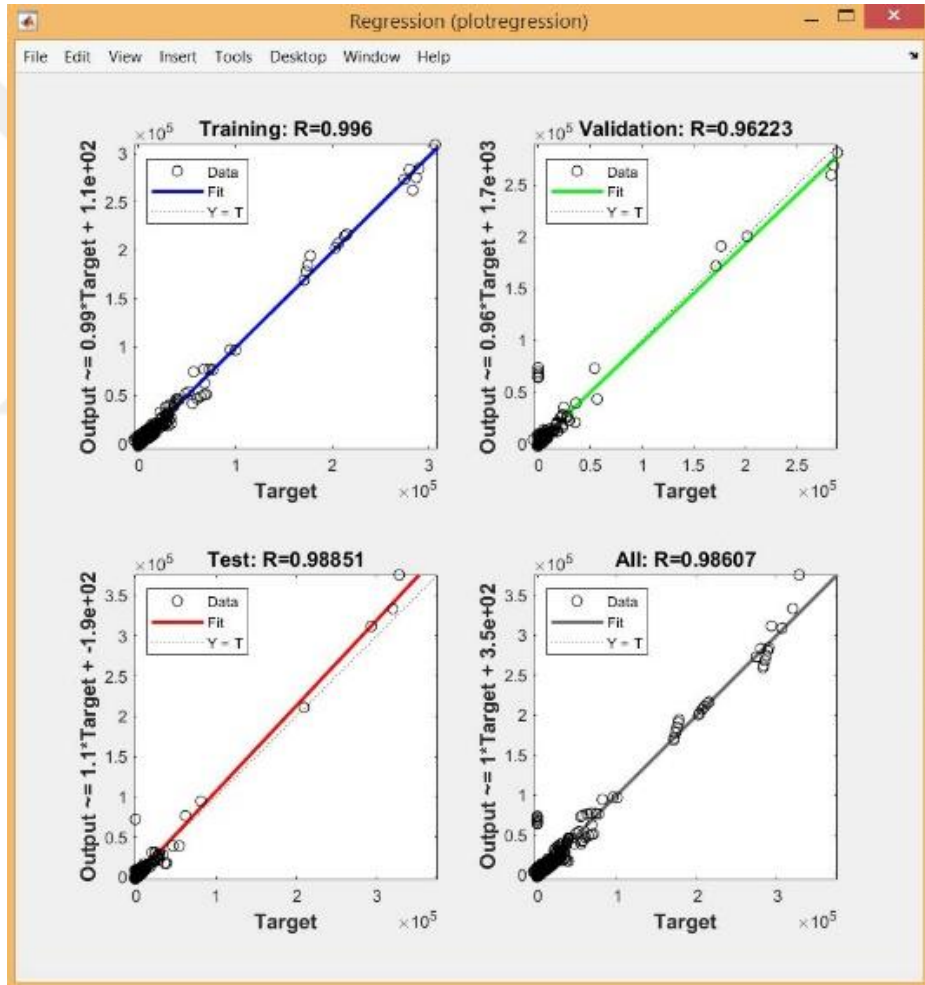
Şekil 5.2 – YSA eğitim sonuçları

81 şehrin 57 tanesi eğitim için kullanılmış ve diğer şehirlerimiz için YSA'dan sonuç beklenmiştir. Doğruluk oranı %97'nin üzerinde çıkması yapılan işlemlerin doğruluğunu kanıtlar niteliğindedir. İki gizli katman kullanılmıştır. Tek katman kullanılması durumu veya ikiden fazla katman kullanılması durumunda da YSA'nın doğruluk oranı yine yaklaşık %97-%98 civarlarında olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.3 – YSA Blok Diyagramı

Hesaplamalar da birçok opsiyon denenmiş ve sonuçlar birbirine yakın olsa bile en iyi sonuç iki gizli katman kullanılarak elde edilmiştir. Hata oranı şekil 5.4'te gösterilmiştir.



Şekil 5.4 – YSA hata oranı

Gerçekleştirdiğimiz modellemelerde 5 giriş ve 3 çıkış bulunmaktadır. Katman sayılarının belirlenmesinden önce birçok varyasyon denenmiş ve sonuç olarak YSA'da ileri beslemeli olacak şekilde iki gizli katman kullanılmıştır. Giriş verileri olarak; toplam trafo

gücü, toplam trafo sayısı, toplam hat uzunluğu, bölgenin kayıp kaçak oranı ve bölgede harcanan toplam enerji miktarı girilmiştir. Çıkış verisinde ise iletkenler üzerinde kaybolan enerji miktarları, bölgedeki toplam kaybolan teknik kayıplar ve kaçak kullanım miktarları istenmiştir. Bazı bölgelere ait giriş ve çıkış verileri Tablo-5.1’de verildiği gibidir.

Tablo-5.1 YSA için kullanılan bazı giriş ve çıkış verileri

GİRİŞ					ÇIKIŞ		
Bölgedeki Toplam Trafo Gücü	Bölgedeki Toplam Trafo Sayısı	Bölgenin Toplam Hat Uzunluğu	Kayıp Kaçak Oranı (%)	Harcanan Toplam Enerji (MWh)	İletken Kayıpları (MWh)	Toplam Teknik Kayıplar (Mwh)	Kaçak Kullanım (MWh)
2988	9935	18142	8,2	451187,4	692,9627	13562,34	23435,0231
298,8	9935	18142	8,2	451187,4	692,9627	5817,445	31179,9191
747	9935	18142	8,2	451187,4	692,9627	7108,261	29889,1031
1494	9935	18142	8,2	451187,4	692,9627	9259,621	27737,7431
2241	9935	18142	8,2	451187,4	692,9627	11410,98	25586,3831
3286,8	9935	18142	8,2	451187,4	692,9627	14422,88	22574,4791
737	3745	3490	8,1	61048,97	248,7409	2793,265	2151,7012
73,7	3745	3490	8,1	61048,97	248,7409	882,9611	4062,0052
184,25	3745	3490	8,1	61048,97	248,7409	1201,345	3743,6212
368,5	3745	3490	8,1	61048,97	248,7409	1731,985	3212,9812
552,75	3745	3490	8,1	61048,97	248,7409	2262,625	2682,3412
810,7	3745	3490	8,1	61048,97	692,9627	11410,98	25586,3831
354,75	2201	5967	56,5	44262,07	306,8545	1507,958	23500,1105
520,3	2201	5967	56,5	44262,07	306,8545	1984,742	23023,3265
789	5435	4274	7,9	53500,54	150,2033	2860,096	1366,4474
78,9	5435	4274	7,9	53500,54	150,2033	815,0075	3411,5354
197,25	5435	4274	7,9	53500,54	150,2033	1155,856	3070,6874
103	738	4407	11,4	5784,424	119,5982	360,1897	299,2347
113,3	738	4407	11,4	5784,424	119,5982	389,8537	269,5707

Tabloda gerçek değerler gösterilmesine karşın, sonuçların daha iyi olabilmesi adına normalize değerler kullanılmıştır. YSA’nın tahmin ettiği veriler ile gerçek verilerin kıyaslanması Şekil-5.5’te gösterilmiştir. 81 adet şehrin tahmini verileri farklı güç

çarpanları ile yeniden denenerek hesaplanmıştır. Bölgedeki trafo güçleri 1, 0.1, 0.25, 0.5, 0.75 ve 1.1 gibi çarpanlarla çarpılarak toplamda 486 adet örnek elde edilmiştir.

Sonuçların daha iyi olabilmesi için kullanılan yöntemlerde normalize değerler kullanılmıştır. Değerleri normalize değere çevirmek için ise denklem 5.1 kullanılmıştır.

$$\frac{A - \text{Min}}{\text{Max} - \text{Min}} = B \quad (5.1)$$

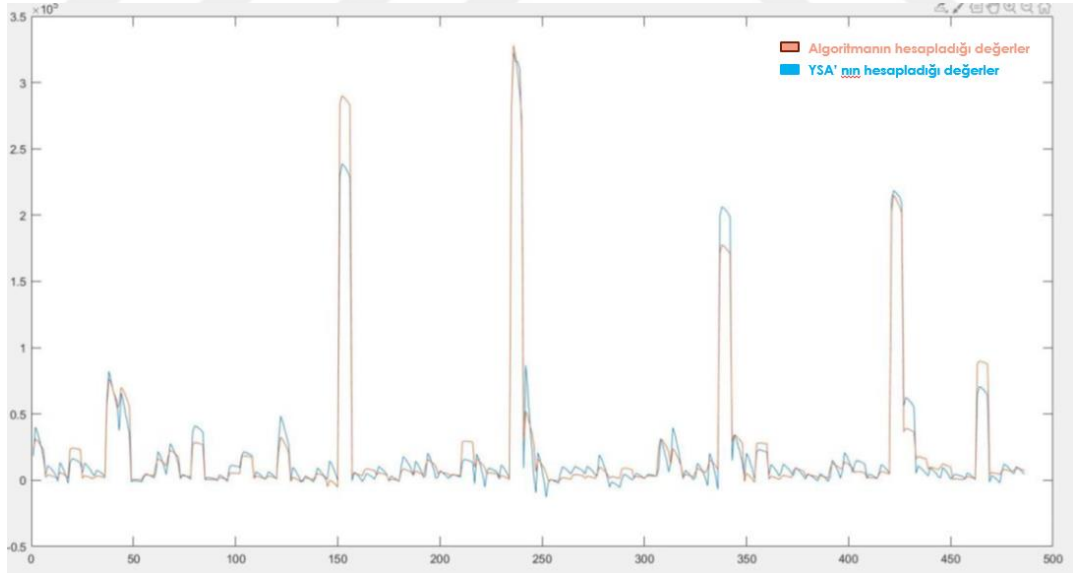
A: Nominal Değere Çevrilecek Veri

Min :Tüm Veriler Arasındaki En Küçük Değer

Max: Tüm Veriler Arasındaki En Büyük Değer

B: Verinin Nominal Değeri (0-1 arasında)

YSA danışmanlı öğrenme yoluyla eğitilmiştir ve normalize edildikten sonra çıkış verileri tahmin ve gerçek değerlerle kıyaslanmıştır. 18 adet veri ise danışmansız öğrenme metodu kullanılarak çıkış verileri YSA'ya girilmedi ve YSA'nın tahmin yapması istendi. Her iki durumda da YSA'nın tahminleri ile algoritmamızda elde ettiğimiz sonuçların yüksek oranda benzer olduğu görüldü.

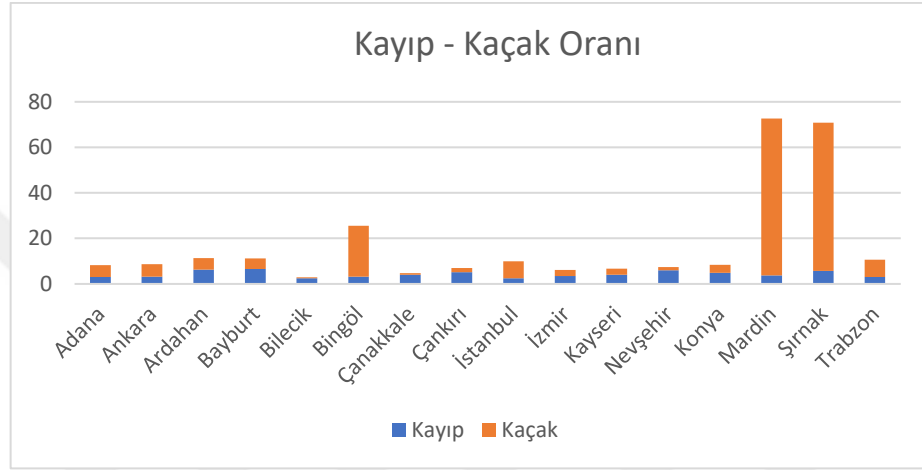


Şekil 5.5 – Kaçak kullanımların YSA ile gerçek değerlerin kıyaslanması

Şekil 5.5’de turuncu çizgiler hesaplanan gerçek değerleri, maviler ise YSA’nın hesapladığı değerleri göstermektedir. YSA sonuçları elde edilirken Zonguldak, Yozgat ve Yalova şehirlerinin çıkış değerlerinden bazıları (hesaplanan kaçak kullanım değerleri)

programa hiç girilmemiş, tamamen YSA'nın tahmin edilmesi istenmiştir. Bunun yanında Uşak ve Van şehirlerine ait çıkış verilerinin tamamı (tüm teknik kayıplar ve kaçak kullanım miktarları) programa girilmemiş yine programın verileri tamamen kendisi tahmin etmesi istenmiştir. Verilerin eksik girilmesine rağmen YSA'nın başarı oranının yüksek olması önerilen algoritmanın doğruluğunu kanıtlar niteliktedir.

Kayıp ve kaçak oranları bilinen şehirlerden bazıları için; kayıp ve kaçak kullanım miktarları yüzdelik olarak aşağıda şekilde gösterildiği gibidir.



Şekil 5.6 – Kayıp - kaçak miktarları

YSA'lar doğrusal olmayan problemlerin metamodelleme yöntemi ile kolay çözülmesine olanak vermektedir. Kullanılan düğümlerin, katmanları ve eğitim yöntemlerinin sayısı YSA modelinin vereceği sonucu etkileyebilir. Hata oranı katmanların sayısına göre değişiklik gösterebilir. Bu sebepten dolayı tahmin yapılacakken YSA'nın yaklaşımı için bir sinir ağının modelinin belirlenmesi önemli bir husustur (Wu ve Wang, 2021).

5.2.2. K-En Yakın Komşuluk Algoritması ile Analiz

Yapılan YSA uygulamalarının algoritmayı iyi öğrendiğinin ve beklenen sonuçların elde edildiğini göstermektedir. Python da gerçekleştirdiğimiz uygulamada daha önce kullandığımız 5 adet giriş ve 3 adet çıkış verileri kullanılmıştır.

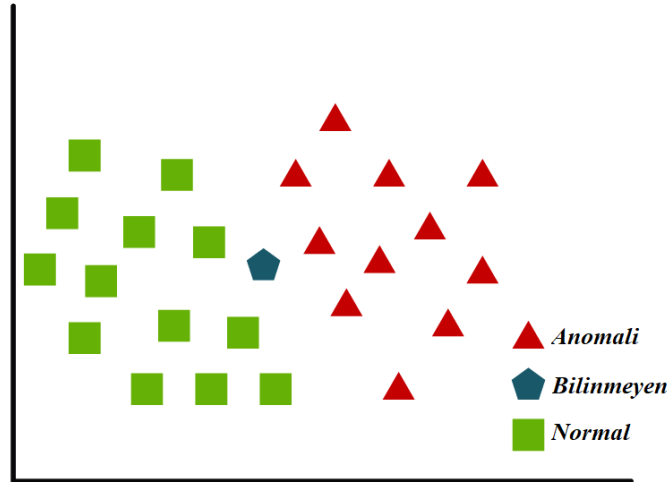
Bu çalışma kapsamında, şehir verileri girilerek kaçak kullanımın tahmin edilmesi istenmiş, sınıflandırma modellerinin performans ölçümleri sonucunda en iyi modelin seçilmesi amaçlanmıştır. Farklı varyasyonların denenmesi sonucunda K-En Yakın Komşu (KNN) sınıflandırılması ile sonuçlar tahmin edilmiştir. KNN doğrusal olmayan

bir öğrenme algoritması ve denetimli bir makine öğrenimi algoritması olması yönüyle diğer algoritmalarından avantajlıdır. KNN algoritmasını iki aşamada inceleyebiliriz. Bunlardan ilki kategorik bir hedef değişkeni olan ve herhangi bir yeni gözlemin nasıl sınıflandırılacağını öğrenebilen sınıflandırma tahmin yöntemidir. Diğer bir tahmin yöntemi ise regresyon yöntemidir. Regresyon değişkenin sayısal olduğu bir tahmin yöntemidir.

Tek bir tahmin için sınıflandırmalar ya doğrudur ya da yanlıştır, regresyonlar için ise sürekli bir hata hesabı yapılmaktadır. Kullanmış olduğumuz yöntem regresyon yöntemidir.

- **KNN Uygulamasının Çalışma Prensipleri**

KNN’de K en yakın komşu sayısıdır. Komşu sayısı algoritmanın çalışması için belirleyici bir faktördür. 2 sınıf sayısı olan çalışmalarda K değeri çoğunlukla tek sayılardan seçilmektedir. K=1 durumunda algoritma en yakın komşu algoritması olarak bilinmektedir. K değeri ile bilinmeyen bölgenin hangi sınıfa ait olduğu tahmin edilir. Şekil-5.7’de KNN algoritması için en yakın komşular gösterilmektedir [Asharf J. ve ark., 2020].



Şekil 5.7 – KNN Algoritması (En Yakın Nokta Etiketleri)

En yakın noktayı sınıflandırmak amacıyla bir çok uzaklık parametreleri uygulanabilir. Oklid uzaklık mesafesi, Manhattan ve Minkowski uzaklık mesafeleri yaygın olarak kullanan yöntemlerdir.

Çalışma KNN K=5 seçilerek Oklid uzaklık parametresiyle gerçekleştirilmiştir ve hata yaklaşık 0,06 bulunmuştur. 486 verinin 341 tanesi eğitim de 145 tanesi tahminde

kullanılmıştır. Çalışma normalize değerler üzerinden gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar normalize değer olarak alınmış ve sonradan gerçek değerlere dönüştürülmüştür.

KNN testi aşamasında kullanılan gerçek veriler ile KNN'den alınan tahmini sonuçların normalize edilen değerleri Tablo-5.2'de gösterildiği gibidir.

Tablo-5.2 KNN Çıkış için kullanılan test ve tahmin değerleri (Değerler normalize.değerlerdir)

GERÇEK DEĞERLER			KNN TAHMİN		
Çıkış-1	Çıkış-2	Çıkış-3	Çıkış-1	Çıkış-2	Çıkış-3
0,120639	0,0110888	0,024117	0,108058	0,011359	0,024444
0,040133	0,044601	0,025247	0,0586064	0,013654	0,02498
0,08672	0,0775902	0,047281	0,10669	0,071716	0,046803
0,076202	0,0114132	0,022039	0,0784386	0,020937	0,019505
0,06169	0,0150143	0,017637	0,0442374	0,03062	0,017724
0,197345	0,0740384	0,073416	0,197966	0,074498	0,077244
0,077434	0,0208785	0,02087	0,127003	0,028269	0,020828
0,046583	0,0270399	0,022362	0,036804	0,015618	0,020103
0,091434	0,0116713	0,025642	0,130355	0,011017	0,02531
0,198633	0,0701593	0,105536	0,166587	0,082385	0,091186
0,204941	0,0532126	0,009508	0,155285	0,06341	0,01
0,324645	0,278479	0,202342	0,266842	0,205571	0,167441

Gerçek değerler KNN için test değerleri olarak kullanılmıştır. KNN tahmin değerleri ise KNN'nin tahmin olarak verdiği çıkış değerlerinin normalize değerlerini göstermektedir.

Çıkış-1 değerleri iletken kayıplarını, çıkış-2 değeri bölgenin toplam teknik kayıplarını ve çıkış-3 değeri ise bölgenin kaçak kullanım miktarlarını normalize olarak ifade etmektedir. Tablo-5.3'te ise gerçek değerler ile KNN'nin tahmin bulduğu tahmin verilerinin gerçek (normalize edilmemiş) değerleri verilmiştir.

Tablo-5.3 KNN Çıkış Tahmin Verileri

KNN TEST			KNN TAHMİN		
352,4525	1109,666	8042,684	315,6965	1136,655	8151,868
117,2504	4463,262	8419,524	171,2214	1366,398	8330,349
253,3566	7764,521	15767,56	311,6998	7176,635	15608,02
222,6277	1142,129	7349,7	229,1621	2095,224	6504,58
180,2302	1502,495	5881,694	129,2416	3064,121	5910,574
576,5527	7409,089	24483,22	578,367	7455,102	25759,67
226,2271	2089,33	6959,855	371,0452	2828,914	6945,848
136,0944	2705,907	7457,416	107,5246	1562,907	6704,204
267,1287	1167,957	8551,251	380,8383	1102,491	8440,667
580,3156	7020,904	35194,79	486,6918	8244,371	30409,2
598,7448	5325,033	3170,786	453,6724	6345,526	3334,928
948,4656	27867,64	67478,24	779,5914	20571,67	55839,25

Çıkış-1 değerleri iletken kayıplarını, çıkış-2 değeri bölgenin toplam teknik kayıplarını ve çıkış-3 değeri ise bölgenin kaçak kullanım miktarını göstermektedir. Gerçekleştirdiğimiz iki farklı algorithmada da sonuçların birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir.

6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Kayıp ve kaçak terimlerinin farklı oldukları aşikârdır. Kayıp ve kaçak terimlerinin ayrı ayrı değerlendirilmesi elektrik üzerine bakış açımızı değiştirecektir.

6.1. Kayıp ve Kaçak Terimlerinin Ayrılmasının Avantajları

Sadece kayıp ve kaçak oranlarına bakılarak kaçak kullanım bölgelerini tahmin etmek pek doğru bir yaklaşım değildir. Sadece abartılı derecede yüksek kayıp kaçak oranına sahip bölgelerimizde kaçak kullanım oranının doğru olmamakla birlikte fazla olduğunu tahmin edebiliriz. Ama bu tahmin kesin bir yargı değildir. Kayıp ve kaçak kullanım oranlarının birbirine yakın olduğu iki bölgede kaçak miktarının ve ya teknik kayıpların fazla olduğu bölgeyi tahmin etmek gerçekten zordur. Bu iki terimin birbirinden ayrılması bize şebekelerin sağlıklılığı, verimliliği ve kaçak kullanım miktarı hakkında kesin yargıda bulunmamızı sağlayacaktır.

Ülkemizde her yıl milyarlarca lira dağıtım şebekeleri için yatırım yapılmaktadır. Şebekelerin iyileştirilmesi ve kaçak kullanım miktarlarının azaltılması için birçok bölgede yatırımlar devam etmektedir. Ama başta da söylediğimiz gibi hangi şebekenin sağlıklı hangi şebekede kaçak kullanım miktarı fazla olduğunu kesin olarak anlayabilmemiz için bu iki terimin birbirinden ayrılması gerekmektedir. Kaçak kullanımın fazla olduğunu tahmin ettiğimiz bölgelerde belki de teknik kayıplardan dolayı kayıp kaçak oranı fazla gelmektedir. Ve bu şebekeye kaçakla mücadele için değil şebekenin sağlamlaştırılması, teknik kayıpların sebep olduğu bölümlerin iyileştirilmesi gerekmektedir. Veya belki de kayıp kaçak oranı ortalama olan bölgelerimizde teknik kayıplar çok düşük seviyelerde kaçak kullanımlar yüksek seviyelerde olabilir. Bunu bizim sadece kayıp kaçak oranına bakarak anlamamız mümkün değildir.

Yapılan yatırımların daha verimli olması, kaçak kullanımlarla daha etkili mücadele sürdürülebilmesi, şebekelerin daha kaliteli ve verimli olması için kayıp-kaçak terimleri birbirinden ayrılmalıdır.

6.2 Kayıp ve Kaçak Terimlerinin Ayrılmasının Dezavantajları

Ülkemizde ki dağıtım şebekelerine bakılacak olursa, hepsinde bir teknik kayıp hesaplamak ve kaçak kullanımları ayrı ayrı hesaplamak oldukça yorucu bir iş. Belki de hesaplama ile yükümlü kurumun personel sayısını ve personel giderlerini artırabilir. Bunun yanında PLC sistemlerinin yaygınlaştırılması ve uzaktan kontrolün sağlanması

maliyet olarak pahalı olabilir. Bu yüzden teknik kayıpların veya kaçak kullanımların saha üzerinde doğruluk oranı daha yüksek bir şekilde hesaplanması mümkün olabilirken maliyet yönünden olumsuz etkileri olacaktır. Kaçak kullanımların önerdiğimiz yöntem kullanılarak geliştirilmesi maliyet bakımından hiçbir masraf olmaksızın incelemesini kolaylaştırmaktadır.



7. SONUÇLAR

Önerilen algoritmalar ile bütün şehirlerin ya da herhangi bir bölgenin yaklaşık olarak kayıp ve kaçak oranları birbirinden ayrılarak kaçak kullanımların tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Kayıp ve kaçak faktörlerini birbirinden farklı konulardır ve ayrı ayrı incelemek enerjiye bakış açımızın değişmesi bakımından önemli bir konudur. Kaçak ve kayıp terimlerini birbirinden ayırmadan kaçak kullanımların hangi bölgelerde daha fazla olduğunu kesin bir şekilde tahmin edebilmemiz mümkün değildir. Kayıp kaçak oranı abartılı yüksek olan bölgelerimizde kaçak kullanım miktarının fazla olduğunu tahmin ediyoruz. Ama kayıp kaçak oranı birbirine yakın olan şehirlerimizde bu tahmini yapabilmemiz neredeyse imkânsızdır.

Kayıp ve kaçak gibi elektriksel anlamda birbirinden farklı terimleri ayrı ayrı bağımsız incelemek hem kaçak kullanım bölgelerinin tespitini doğru yapabilmemizi hem de teknik kaybı fazla olan şehirlerimiz şebekelerinin sağlamlılığı konusunda daha kesin bir tahmin yapabilmemizi kolaylaştıracaktır. Bu çalışmada herhangi bir şehrin ya da herhangi bir bölgenin kayıp ve kaçak kullanımlarının birbirinden ayrılması hedeflenmiştir. Bundan sonra kaçak kullanımların ayrı değerlendirilmesi yapılacak olan çalışmaların ve kaçak kullanımlarla mücadele amaçlı yapılacak olan çalışmaların daha verimli hale gelmesini sağlayacaktır.

Dağıtım şirketlerimiz kaçak kullanımları engelleme yönünde çalışmalar yapıyor ve yatırım girişimlerinde bulunuyor. Ama aslında kayıp kaçak oranından yola çıkarak sadece kaçak kullanımların yüksek olduğunu varsaymak yüksek ihtimalle doğruluk payı olsa bile gerçekçi bir yaklaşım değildir. Kaçak kullanımların veya teknik kayıpların ayrı ayrı incelenip şebekelere yapılması gereken yatırımları ona göre belirlemek daha sağlıklı ve makul olacaktır.

Kayıp kaçak oranı yüksek fakat teknik kayıpları fazla olan şebekelerimizdeki yatırımlar kaçak kullanım ile mücadele kapsamında değil, şebekelerin iyileştirilmesi kapsamında olmalıdır. Ya da teknik olmayan kayıpların fazla, teknik kayıpların en düşük seviyelerde olduğu şebekelerde ise yatırımların kaçak kullanımlarla mücadele kapsamında olması gerekir. Yapılacak olan yatırımlardan veya çalışmalardan önce bu iki terimi ayrı ayrı incelersek daha verimli çalışmalar ortaya koyulabilir.

OECD devletlerinin ortalamasından çok daha yüksek seviyelerde kayıp kaçak oranına sahibiz. Akıllı sayaçların teşvik edilmesi, akıllı şebekelere geçiş veya kaçak

kullanımlarla mücadelenin artırılması gerekmektedir. Kayıp ve kaçak kullanımlar için her yıl milyarlarca ₺ ülke kasasından akmaktadır.

Önerilen algoritmalar bir şehirdeki teknik kayıpların hesaplanması ve geriye kalan kaçak kullanım miktarının tahmininin yapılmasını sağlamıştır. Herhangi bir bölgenin ya da şehrin kaçak kullanım tahminini önerilen algoritmalar sayesinde yapmak mümkündür. İletken kesiti veya ana koldan geçen akım bilinmese dahi ortalama bir iletken kesiti tayin edilerek o şebekedeki teknik kayıpların yaklaşık olarak hesaplanabilmesi algoritmalar sayesinde mümkün hale gelmiştir.



KAYNAKLAR

- Anonim, 2011, Havai Enerji Hatları 522EE0131, MEGEP, Ankara
- Anonim, 2016, “Doğada Sınırlı Miktarda Bulunan Enerji Kaynakları Nelerdir ? “, <https://www.yardimcikaynaklar.com>, 2016
- Anonim, 2016, “Türkiye’de Kayıp Kaçak Oranı Düşme Eğiliminde”, www.dogrulukpayi.com.
- Anonim, 2018, “Enerji İletim Hatları”, www.kabloder.org.
- Akbulut., M, 2011, “Türkiye Elektrik Enerjisi Piyasasında Reaktif Enerji Fiyatlandırması ve Bölgesel Reaktif Yük Tahmini”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-101.
- Alperöz N., 1974, “Enerji Dağıtımı”, I.D.M.M.A. Yayınlanan Sayı 128.
- Amjady N. ve Keynia.F., 2008, “Mid-term load forecasting of power systems by a new prediction method, Energy Conversion and Management” 49 (2008), 2678-2687.
- Asharf J. ve ark., “A Review of Intrusion Detection Systems Using Machine and Deep Learnig in Internet of Things: Challenges, Solutions and Future Directions”, 2020, MDPI
- Aydın M., 2016, “Enerji Verimliliğinin Sürdürülebilir Kalkınmadaki Rolü: Türkiye Değerlendirmesi” Yönetim Bilimleri Dergisi, Journal of Adminisitrative Sciences Cilt, Volume:14, Sayı, N:28, ss. pp.: 409-441.
- Balcı H., Esener İ. ve Kurban M., 2012, “Regresyon Analizi Kullanılarak Kısa Dönem Yük Tahmini”, ELECO 2012 Elektrik – Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, 29 Kasım – 01 Aralık 2012, Bursa.
- Bhatt M. S., 2003, “Energy efficiency improvement of electrical transmission distribution networks”, Journal of Scientific & Industrial Research, 62: 473-490.
- Cavdar H., 2004, “A Solution to Remote Detection of Illegal Electricity Usage via Power Line Communications” IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 19, NO. 4.).
- Cortés O.A.C., Souza N.S., Saavedra O.R., Angelos E.W.S., 2011, “Detection and Identification of Abnormalities in Customer Consumptions in Power Distribution Systems”, IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 26, NO. 4.
- Çayıroğlu,İ. Yapay Sinir Ağları-İleri Algoritma Analizi.Y. Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği, 2015, Karabük.
- Depuru S., Wang L. ve Devabhaktuni V., 2011, “Electricity theft: overview, issues, prevention and a smart meter based approach to control theft”, Energy Policy 39: 1007-1015.

Düzgün B., 2018, “Türkiye elektrik iletim ve dağıtım şebekesinin enerji verimliliğinin değerlendirilmesi ve 2023 projeksiyonları”, Politeknik Dergisi, 21(3): 621-632.
EMO, 2018, “ Elektrik Mühendisleri Odası Basın Açıklaması ”.

EPDK 2010 Elektrik Piyasa Raporu. [http:// www.epdk.org.tr](http://www.epdk.org.tr) Aralık,2010 (Ziyaret Tarihi 6 2018).

EPDK 2016 Faaliyet Raporu. [http:// www.epdk.org.tr](http://www.epdk.org.tr) Aralık,2016 (Ziyaret Tarihi 1 2019).

EPDK 2019 “Türkiye Elektrik Piyasası ve İdari Yapıtlar” [http:// www.epdk.org.tr](http://www.epdk.org.tr) Şubat, 2019 (Ziyaret Tarihi 30.03.2021).

Filho M.B.D.C, Silva A.M.L, Falcao D.M., 1990, “ Bibliography on Power System State Estimation (1968-1989)”, IEEE Transactions on Power Systems, Volume:5, Issue:3.

Gürsoy, E. ve Kaypmaz A., 2000, “Yük Tahmini yöntemleri ve Çukurova Elektrik A.Ş. , Kepez Elektrik T.A.Ş. bölgelerine uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-144.

Hararcı S., 2005, “Sanayide Enerji Verimliliği İyileştirme Yöntemleri”, Bursa Çevre Merkezi.

Güney, İ., 1989/2,, ;"Şebeke Kayıplarının Azaltılması", T.M.M.B.O. Elektrik Mühendisleri Odası Yayın Organı, Elektrik Mühendisliği Dergisi Cilt34, sayı 364, s. 479-481, İstanbul.

Jimenez R., Serebrisky T. and Mercado J., 2014, “Sizing electricity losses in transmission and distribution systems in Latin America and the Caribbean”, Inter-American Development Bank, Washington.

Kavak K., 2005, “Dünyada ve Türkiye'de Enerji Verimliliği ve Türk Sanayiinde Enerji Verimliliğinin İncelenmesi” , Uzmanlık Tezi, İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü.

Kaya D., ve Güngör C., 2002, “Sanayide Enerji Tasarruf Potansiyeli-II”, Mühendis ve Makine, Sayı 515.

Kocaman B., 2018, “Teknik Olmayan Enerji Kayıplarının Azaltılmasında PLC Sayaçların Önemi” BEÜ Fen Bilimleri Dergisi.

Kurt M., 2001, “Enerji Şebekelerinde Güç ve Enerji Kayıplarının Azaltılması Metotları”, Yüksek lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, 94.s.

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

- Sargın Ş. ve Terzi Ü., 2006, “Tavşanlı Enerji Dağıtım Sisteminde Meydana Gelen Kayıpların Oranlarının Belirlenmesi ve Azaltılması İçin Alınabilecek Önlemler ve Elde Edilen Enerji Kazanımları”, TÜRKİYE 10. ENERJİ KONGRESİ, s.345-357,27-30 Kasım 2006, İstanbul.
- Smith T., 2004, Electricity theft: a comparative analysis”, Department of Social and Behavioral Sciences, Zayed University, P.O. Box 19282, Dubai, United Arab Emirates.
- Solmaz N., 2016, “Elektrik Enerjisi İletim ve Dağıtım Ders Notu”, Alaplı Meslek Yüksek Okulu, <http://www.elektrik.gen.tr>.
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2016, “Türkiye elektrik enerjisi talep projeksiyonu raporu”, Ankara.
- TEDAŞ, 2007 Faaliyet Raporu. <http://www.tedas.gov.tr/5.html>, Şubat,2009 (Ziyaret Tarihi 27 Eylül 2018).
- TEDAŞ, 2008 Faaliyet Raporu. <http://www.tedas.gov.tr/5.html>, (Ziyaret Tarihi 5 Mayıs 2019).
- TEDAŞ, 2009 Faaliyet Raporu. <http://www.tedas.gov.tr/5.html>, (Ziyaret Tarihi 29 Eylül 2018).
- TEDAŞ, 2015 Faaliyet Raporu <http://www.tedas.gov.tr/5.html>, 2015 (Ziyaret Tarihi 10 Haziran 2018).
- TEDAŞ, 2017 Faaliyet Raporu <http://www.tedas.gov.tr/5.html>, 2017 (Ziyaret Tarihi 10 Haziran 2018).
- TEİAŞ, 2009, “Türkiye Elektrik Üretim- İletim İstatistikleri, 2009a”, <http://www.teias.gov.tr>, (Ziyaret Tarihi 11 Ekim 2018).
- TEİAŞ, 2016, “10 Yıllık Talep Tahminleri Raporu (2007-2026)” <http://www.teias.gov.tr>, (Ziyaret Tarihi 05 Mart 2018).
- TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası (EMO), 2017, “ Teknik Bilgiler Kitapçığı ”, www.emo.org.tr (Ziyaret Tarihi 21.06.2019).
- Tudor V., 2010, “Optimal Loss Reduction Of Distribution Networks Using a Refined Genetic Algorithm ”, U.P.B. Sci. Bull., Series C, Vol. 72, Iss. 3.
- TÜBİTAK, 1998, “ TTGV Bilim – Teknoloji – Sanayi Tartışmaları Platformu: Enerji Teknolojileri Politikası Çalışma Grubu Raporu”.
- ULUSOY M., “ Rakamlarla Türkiye’nin Enerji Görünümü”, www.sde.org.tr/merve-karacaer-ulusoy/genel/rakamlarla-turkiyenin-enerji-gorunumu-kose-yazisi-7155 2018, (Ziyaret Tarihi 10 Aralık 2020).

- Yaman Y., 2007, “Enerji Tasarrufu ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları”, Birsen Yayınevi,.
- Yapıcı H., 2013, “Elektrik Dağıtım Hatlarında Güç Optimasyonunun Gerçekleştirilmesi ve Bir Elektrik Dağıtım Bölgesine Uygulanması”, Yüksek Lisans Tezi , Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yaşar C., Aslan Y. ve Biçer, T., 2010, “Bir dağıtım transformatörü bölgesindeki kayıpların incelenmesi”, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22: 9-22.
- World Bank Group, 2016, “Türkiye Cumhuriyeti: Elektrik Dağıtım Şirketlerinin Hizmet Kalitesinin İyileştirilmesine Yönelik Adımlar”, Enerji ve Doğal Kaynaklar Küresel Uygulama Grubu.
- Wu D., Wang G.G., 2021, Causal artificial neural network and its applications in engineering design, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 97