



**T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI**

AKILLI ŞEBEKELERDE KAYIP-KAÇAK ANALİZİ VE KONTROLÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BÜŞRA NUR ŞAHİN

DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ ÖMER LÜTFİ ÜNSAL

**YALOVA
OCAK 2024**



T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

AKILLI ŞEBEKELERDE KAYIP-KAÇAK ANALİZİ VE KONTROLÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BÜŞRA NUR ŞAHİN
205119001

DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ ÖMER LÜTFİ ÜNSAL

YALOVA
Ocak 2024

ETİK BEYAN

Yalova Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım “AKILLI ŞEBEKELERDE KAYIP-KAÇAK ANALİZİ VE KONTROLÜ” başlıklı bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksinin tespiti halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi taahhüt ve beyan ederim.

Büşra Nur ŞAHİN



ÖNSÖZ

Günlük yaşantının ayrılmaz bir parçasını oluşturan enerji, ülkelerin sosyo-ekonomik yapıları içerisindeki yerini ve önemini gün geçtikçe daha da artırmaktadır. Elektrik enerji sistemlerinde, talebin zamanında, güvenilir, ekonomik, kaliteli ve verimli bir şekilde sağlanması gerekmektedir. Bu amaçla, elektrik üretim-iletim ve dağıtım sistemlerinde daha etkin bir enerji yönetim sistemi olarak akıllı şebeke uygulamaları ve sonuçları gündeme gelmiştir. Elektrik enerji sektörü yavaş bir tempoda ilerlerken, akıllı şebekelerin hayatımıza girişiyle hızlı bir değişim içerisinde girmiştir. Bu tez çalışması, bahsedilen hedefler ile ülkemizde uygulanan akıllı şebeke çalışmalarında ortaya çıkan kayıp-kaçak durumunu en aza indirerek verimliliği arttırmayı amaçlamaktadır.

Tez çalışmam süresince bana hiçbir zaman bilgisini, zamanını ve desteğini esirgemeyerek çok büyük katkıları olan danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ömer Lütfi ÜNSAL'a teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak, hayatım boyunca attığım her adımda desteğini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili eşim Emrah şAHİN'e ve bugünlere gelmemde en büyük destekçim olan babam ve annem; Hikmet ve Emine POLAT'a bu vesileyle sevgi ve saygılarımı sunarım.

Bu tez çalışması desteklenmesine olanak sağlayan Yalova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimine (Proje No: 2021/BAP/001) teşekkür ederim.

şUBAT-2024

Büşra Nur şAHİN



İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN	i
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	ix
TABLO LİSTESİ	xi
ŞEKİL LİSTESİ	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı.....	2
1.2. Tezin Önemi	3
2. AKILLI ŞEBEKELERİN İNSAN HAYATINA GİRİŞİ	5
2.1. Akıllı Şebeke Nedir?.....	5
2.2. Akıllı Şebeke Elemanları	7
2.3. Kayıplar	8
2.3.1. Teknik kayıplar.....	11
2.3.2. Teknik olmayan kayıplar	11
2.4. Kayıp-Kaçığın Tahmin Edilmesinde Akıllı Şebeke Ekipmanlarının Rolü	13
2.5. Akıllı Şebekelere Neden İhtiyaç Duyulur?	14
3. AKILLI ŞEBEKE UYGULAMALARI İLE KAYIP KAÇAK ANALİZİ VE TAKİBİ.....	17
3.1. Akıllı Şebekelerde Haberleşme	19
3.2. Sahada Akıllı Şebekelere Hazırlık	20
3.3. Akıllı Şebeke Uygulamaları	21
3.4. Akıllı Şebekelerin Ana Elemanı: Router.....	22
3.5. Akıllı Şebekelerin Ağ Geçidi: Gateway.....	23
3.6. Akıllı Şebekelerin Enerji Kontrol Mekanizması; Modem ve Sayaç.....	24
3.7. Akıllı Sayaçlar ile Kaçak Elektrik Kontrolü ve Takibi	28
3.8. Akıllı Sayaçlar ile Kaçak Elektrik Kontrol Metodolojisi.....	32
4. BULGULAR.....	35
4.1. Akıllı Şebekeler ile Kayıp-Kaçak Analizi.....	35
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	43
5.1. Sonuçlar.....	43
5.2. Öneriler	44
KAYNAKÇA	47



ÖZGEÇMİŞ	49
TEZDEN TÜRETİLEN YAYIN VE ESERLER.....	49





KISALTMALAR

CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
IEEE	: Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
MBS	: Müşteri Bilgi Sistemi
PLC	: Powe Line Communication
RTU	: Remote Terminal Unit
SCADA	: Supervisory Control and Data Acquisition



TABLO LİSTESİ

Tablo 2. 1: Kaçak elektrik enerjisinin durumları	12
Tablo 4. 1: Yıllara Göre Aktif ve Pasif Abone Sayısı.....	38





ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2. 1: Akıllı şebekelerde haberleşme durumu [9]	6
Şekil 2. 2: Akıllı şebeke sistem elemanlarının akış diyagramı	7
Şekil 2. 3:Yıllara göre teiaş iletim hatları uzunluklarındaki değişim(km)[11]	9
Şekil 2. 4:Yıllara göre iletim sistemi kayıpları (Gwh-%).....	10
Şekil 2. 5: Yıllar itibarıyla elektrik enerjisi talebi ve artış oranı (Gwh-%) [10]	15
Şekil 2. 6:Yıllar itibarıyla elektrik enerjisi brüt üretim ve tüketim (GWh)	16
Şekil 3. 1: Uzaktan enerji izleme uygulamalarında haberleşme sistemi tasarım ölçütleri [19]	20
Şekil 3. 2: Router ve gatewayin trafoüstü bağlantı şekli	24
Şekil 3. 3: Tek sayaçlı modem bağlantı şekli.....	25
Şekil 3. 4: İki sayaçlı modem bağlantı şekli	26
Şekil 3. 5: Toplulaştırılmış alanlarda bulunan sayaçların modem bağlantı şekli.....	26
Şekil 3. 6: Akıllı sayaçlar ile kaçak elektrik kontrolü ve takibi	31
Şekil 3. 7: Abone bazlı tüketim grafiğinin akış diyagramı ile kontrolü	32
Şekil 4. 1: 1. Abonenin tüketim kıyas grafiği	36
Şekil 4. 2: 2. Abonenin tüketim kıyas grafiği	36
Şekil 4. 3: 3. Abonenin tüketim kıyas grafiği	37
Şekil 4. 4: 4. Abonenin tüketim kıyas grafiği	37
Şekil 4. 5: Akıllı şebekeler ile abone sayısındaki değişim	39
Şekil 4. 6: Akıllı şebekeler ile fatura sayılarındaki değişim	40
Şekil 4. 7: Yıllara göre ay bazlı kayıp-kaçak oranı	41



AKILLI ŞEBEKELERDE KAYIP-KAÇAK ANALİZİ VE KONTROLÜ

ÖZET

Bu tez çalışmasında; enerjiyi tüketickiye kesintisiz verebilmek ve daha verimli kullanmak için yeni nesil elektrik güç sistemleri olarak adlandırılan akıllı Şebekeler (Smart Grid) ile ilgili çalışmalar yer almaktadır. Akıllı Şebekelerin ülkemizde uygulandığı bir pilot bölgede kayıp kaçak tespiti esas alınarak incelemeler yapılmıştır. Akıllı Şebeke sistemlerinin oluşturulması için kullanılan ekipmanların adetlerine, oluşturulduktan sonraki ölçülen enerji miktarı(kwh) ve adetleri verilmiştir. Bu sistemlerde kayıp-kaçak analizi ve kontrolü yapılmıştır. Buna bağlı, trafo bazlı kayıp-kaçak analizinde örnek verilen bazı abonelerin tüketim kaybına göre kaçak oluşum durumunu, tespit edilen kaçak durumlarında uygulanan stratejilere ve yıllara göre kayıp-kaçak oranlarına yer verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre 3 yıllık ölçüm takibi yapılmıştır. 2018 yılında Akıllı Şebeke uygulamaları başlamadan önce ölçülen enerji 80.162.980 kwh, 2019 yılında 92.958.724 kwh, 2020 yılında 105.375.317 kwh olduğu tespit edilerek faturalandırma artışı %24 olduğu belirlenmiştir. Artan enerji talebine bağlı olarak bölgedeki toplam abone sayısı 2018 yılında 42939, 2019 yılında 44286, 2020 yılında 45245 olduğu görülerek %5 lik bir artış olmuştur. Her ay düzenli oluşturulan fatura sayıları yıllara göre sıralandığında 2018 yılında 279493, 2019 yılında 292577, 2020 yılında 317187 adet fatura oluşturulmuştur. Buna bağlı olarak kayıp kaçak oranları 2018 yılında %74,11 iken 2019 yılında %68,62, 2020 yılında %55,42 akıllı Şebekeler ile kayıp kaçanın azaltıldığı görölmüştür.

Anahtar kelimeler: Akıllı Şebekeler, Kayıp-Kaçak Analizi, Enerji Verimliliği



LOSS-LEAKAGE ANALYSIS AND CONTROL IN SMART GRIDS

SUMMARY

In this thesis, studies on smart grids (Smart Grid), which are called new generation electrical power systems, are included in order to provide energy to the consumer without interruption and to use it more efficiently. In a pilot region where smart grids are applied in our country, investigations have been made based on loss and leakage detection. The number of equipment used for the creation of smart grid systems, the amount of energy measured after the creation (kwh) and the number are given. Loss and leakage analyses and controls were made in these systems. Accordingly, in the transformer-based loss-leakage analysis, the leakage formation status according to the consumption loss of some subscribers given as an example, the strategies applied in the detected leakage situations and the loss-leakage rates according to the years are given. According to the results obtained, 3-year measurement follow-up was carried out. In 2018, the energy measured before the start of Smart Grid applications was 80,162,980 kwh, in 2019 92,958,724 kwh, in 2020 105,375,317 kwh, and the billing increase was determined to be 24%. Depending on the increasing energy demand, the total number of subscribers in the region was 42939 in 2018, 44286 in 2019 and 45245 in 2020, an increase of 5%. When the number of invoices created regularly every month is sorted by years, 279493 invoices were created in 2018, 292577 in 2019, and 317187 in 2020. Accordingly, loss and leakage rates were 74.11% in 2018, 68.62% in 2019 and 55% in 2020.

Keywords: Smart Grids, Loss-Leakage Analysis, Energy Efficiency



1.GİRİŞ

Enerji 19.yy'nin ortalarından günümüze kadar fazlasıyla üzerinde çalışmalar yapılan ticaret elemanıdır. Artan enerji ihtiyacına binaen toplumsal yaşantının gerektirdiği yenilikler ile sanayi ve teknoloji sürekli olarak gelişmektedir. 20. yy'da sanayileşme devrimiyle birlikte artan enerji ihtiyacı, süregelen sistemlerin en önemli vazgeçilmez temeli olmuştur. Teknoloji gelişirken, enerji arzı-talebi ülkenin önce ekonomik, sonra siyasi ve sosyal açıdan güçlü olduğunun göstergeleri arasında yer almaktadır. Enerji aynı zamanda modern ekonominin de önemli bir unsuru olmuştur.

Dünya nüfusu hızla artmakta ve şehirlerde yoğunlaşmaktadır. Dünya nüfusunun 2025 yılında 8 milyara ulaşması bekleniyor. Yapılan hesaplamalara göre küresel enerji tüketimi 2035 yılında yüzde 40 artacaktır. 2050 yılına gelindiğinde dünya nüfusunun yüzde 70'i şehirlerde yaşayacak. Enerji talebi ve enerjinin verimli kullanımı dünyanın her yerinde olduğu gibi ülkemizde de en önemli gündemlerden biridir. Türkiye'nin enerji verimliliği konusunda ciddi açıkları bulunmaktadır. Bugün Türkiye dünyanın 22. büyük elektrik tüketicisidir. Türkiye elektrik şebekelerindeki ortalama kayıp ve hırsızlık oranı, %15 civarındadır. Türkiye'de sadece kayıp ve kaçak elektrik için hane başına yılda ortalama 120 TL fazladan ödeme yapılıyor. 2023 yılında elektrik ihtiyacımızın bugüne göre ikiye katlanarak 500 milyar kwh civarında olacağı tahmin ediliyor [1].

Günümüzün enerji dağıtım altyapıları son derece karmaşıktır ancak 21. yüzyılın ihtiyaçlarını karşılamamaktadır. Dezavantajları arasında mekanik anahtarlar nedeniyle yavaş yanıt süreleri, otomatik analiz eksikliği, zayıf görünürlük ve durumsal farkındalık eksikliği görülmektedir. Diğer sınırlayıcı faktörler arasında nüfus ve enerji talebindeki artış, küresel iklim değişikliği, donanım arızaları, enerji depolama sorunları, tek yönlü iletişim, kapasite sınırlamaları ve enerji üretiminde esneklik sorunları yer almaktadır. Elektrik enerjisinin verimli kullanılabilmesi, üretilen ve tüketilen enerjinin ve enerji sürekliliğinin takip edilebilmesi ve hem bireysel hem de tüzel kullanıcıların uyması gereken kurallar ve usullerin belirlenmesi ve yönetilmesi için Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) kurulmuştur. EPDK Tüketici Hizmetleri Yönetmeliği gereğince elektrik enerjisinin son tüketiciye standartlara uygun ve verimli bir şekilde sunulması, elektrik üretim, iletim ve dağıtım süreçlerinin izlenmesi, kontrol edilmesi ve elektrik üretim, iletim ve dağıtım süreçlerinde ortaya çıkması muhtemel sorunların

önüne geçmek için önlemlerin alınması ve çıkan sorunların ise ivedilikle çözülmesi süreçlerin eş zamanlı olarak yönetilmesi önem arz etmektedir. Bu nedenle, yeni bir şebeke altyapısı ihtiyacı hasıl olmuştur [2].

Akıllı şebeke; tedarikçi ve tüketici arasında karşılıklı elektronik iletişimin sağlanması amacıyla akıllı sayaç ve izleme sistemlerinin elektrik şebekelerine eklenerek elektrik şebekelerinin izlenmesi, güncellenmesi ve sürekli güvenilir, kaliteli olarak dağıtım yapılırken kullanıcı güvenliğinin sağlanması gereken bir yaklaşımdır [3].

Son zamanlarda elektrik sistemlerindeki arızaların önlenmesinde, kayıp kaçak oranını azaltılması için, enerji verimliliğini artırılması için ve enerji hatlarının oluşturmuş olduğu düzendeki olumsuzlukların minimum seviyede olması için akıllı şebekeler kullanılarak sistemlerin daha profesyonel çalışması hedeflenmektedir [4]. Modern şebeke alt yapıları birbirine bağlı şekilde tasarlanmıştır. Herhangi bir noktadaki oluşan değişimin ve problemin çok kısa sürede geniş bir alanı etkileyerek şebekeye çok fazla hasar verebilmektedir [5]. Böylece yetersiz hale gelen altyapının sorunlarını çözmek artık günümüz teknoloji şartlarına ayak uydurarak akıllı şebekeler ile daha kolay olacaktır [6].

Elektrik dağıtım şirketleri akıllı şebeke teknolojilerini kullanarak enerji kaynaklarını daha güvenilir ve verimli olacak şekilde kullanılmasını sağlarlar. Akıllı şebekeler, sistemde oluşabilecek herhangi bir sorunun nedenine bağlı olarak veya olmayarak örneğin haberleşme anında bağlantı kopuklukların, insani hataların, doğal afetlerin (sel, deprem, çığ, fırtına... vs.) doğuracağı problemlerin veya enerji kesintisi oluşması durumunda sistemin klasik şebekeye göre daha çabuk aktifleşmesini sağlar.

1.1. Tezin Amacı

Elektrik dağıtım şirketlerinin birincil politikası olan enerjinin tüketiciye sorunsuz bir şekilde dağıtılıp kullanılmasını sağlamaktır. Bu sebeple enerji şebekesinde meydana gelmesi muhtemel veya meydana gelen bütün arızaları hızlıca müdahale ederek, oluşabilecek kayıp ve kaçağı minimum seviyede tutarak tüketiciye sorunsuz bir şekilde enerji akışını sağlanması hedeflenir. Belirli bir noktadan beslenen şebekelerde meydana gelen hata veya oluşan bir sorun söz konusu olduğunda tüketicinin enerjisiz kalması, enerji hattında oluşacak olan kayıplar muhtemeldir. Ancak akıllı şebekeler sorunun anında çözüme kavuşturulması için kesinti olan bölgeyi şebekeden izole ederek başka hat ile beslenip tüketici enerjilendirilir. Böylece enerji kaybı olmayacaktır.

Akıllı Şebeke uygulamaları enerji dağıtım Şebekelerinde uzaktan bir arayüz aracılığıyla sayaçların otomatik okunarak ve izlenerek enerji dağıtım ve yönetim uygulamaları kullanılmaya başlamıştır. Enerji dağıtım Őebekelerinden anlık olarak alınacak verilerin değerlendirilmesini, enerji kalitesinin arttırılmasını ve enerji sürekliliği için gerekli altyapının oluşturulması akıllı Şebeke uygulamaları sağlayabilecektir. Böylece, kayıp kaçak oranının azaltılmasına yönelik çalıŐmaların kolaylığı, enerji veriminin en yüksek seviyede olması ve arıza sayılarının ve sürelerinin azaltılması mümkün olur.

Bu tez kapsamında akıllı Şebekeler ile elektrik Şebekesinde kayıp kaçak kontrolünün nasıl yapıldığı, akıllı Şebekeler ile kayıp kaçak oranının deđerıŐtiđi durumları, kayıp kaçak analizi yapılarak akıllı Şebekelerin göstermiş olduğu avantajlarını belirtmek amaçlanmıŐtır.

1.2. Tezin Önemi

Mevcut enerji dağıtım Şebekeleri operasyonel güvenliğin sağlanması, sınırlandırılabilen, uzmanlaŐmıŐ ve pahalı parametre izleme mekanizmalarından daha az maliyetli, tüm hatlarda yaygın olarak dağıtılabilen, yeniden kullanılabilir ve kolayca entegre edilebilen akıllı izleme sistemlerine geçişi gerektirir.

Enerji dağıtım Şebeke elemanlarının imalat tarihi arttıka bakım ve onarım maliyetleri de zamanla artmaktadır. Düzenli bakım ve onarım çalışmaları, enerji dağıtım Şirketleri için önemli bir maliyet faktörüdür ve enerji satışında karlılığı azaltır.

Buradaki elektrik dağıtım ekipmanlarının tamamının yeni ekipmanlarla değerştirilmesi ekonomik açıdan pratik değil ancak mevcut yatırım planları buna izin vermemektedir. Bu durum mevcut varlıkların daha etkin yönetilmesini ve dolayısıyla daha etkin izleme ve analiz yapılmasını gerektirmektedir.

Bu da elektrik ekipmanların ve enerji dağıtım hatlarının durum ve arıza takibi, optimize varlık yönetimi, arıza tespit ve uyarı sistemleri, hatlarda oluşabilecek kayıpların takibi, akıllı Şebeke yönetim sistemleri ile dağıtım Şirketlerinin uzaktan çalışabilen gelişmiş karar verici mekanizmaların gündeme gelmesini yani akıllı Şebekeler ile kolay takip edilebilirliği zorunlu kılmıŐtır.

Böylece bu tez ile akıllı Şebekelerin hayatımıza sağlayacağı kolaylıkları, oluşan kayıp ve kaçak enerjinin minimuma inmesi için uygulanan yöntemlerin önemi görülecektir.

2.AKILLI ŞEBEKELERİN İNSAN HAYATINA GİRİŞİ

2.1.Akıllı Şebeke Nedir?

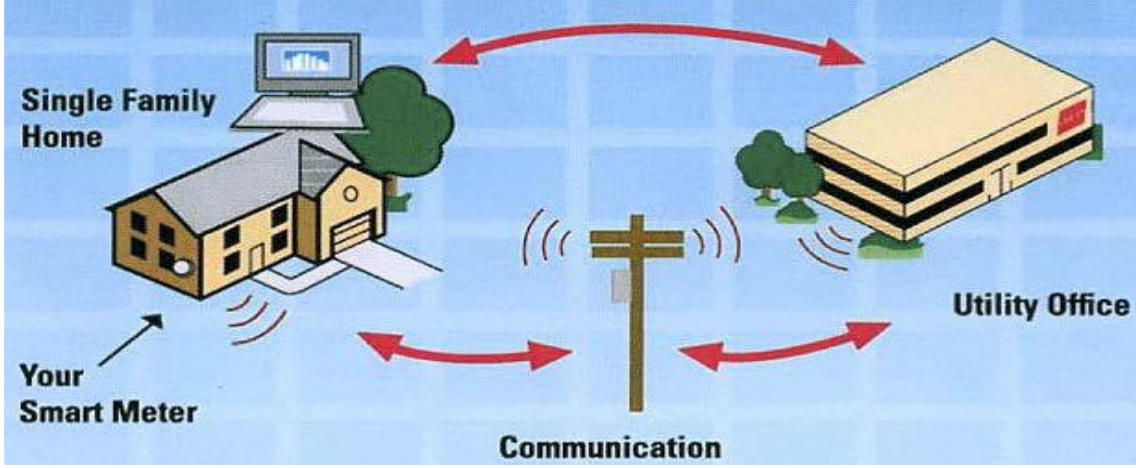
Akıllı Şebeke, enerji üretiminde, iletiminde ve dağıtımında tüketicinin ve üreticinin arasındaki enerji akışını üretici ve tüketici noktalarında bulunan sayaçlar ile uzaktan takip edilebilen akıllı sistem olarak tanımlanabilir. Bununla birlikte, akıllı Şebekenin birçok tanımı bulunmaktadır. Teknolojideki yerine, kullanıldığı alanlardaki fonksiyonel özelliklerine ve mevcut Şebekeye göre sağladığı kolaylıklara bağlı çeşitli tanımlamalar yapılmaktadır [7].

Akıllı Şebekeler, iş gücünü azaltan, ekonomik açıdan verimli, kalitenin yüksek olduğu ve güvenli olan, enerjiyi kaynaktan tüketime en uygun şekilde ve sürdürülebilir biçimde aktarmayı başarabilen ve entegrasyonunu sağlayan kendi kendine yeten sistemler şeklinde de tanımlanabilir. Akıllı Şebekeler yapısı bakımından gözlemlenebilir (ölçülebilir ve görselleştirilebilir), kontrol edilebilir, otomatik olarak işlev sağlayabilir ve tam entegre edilmiş olma gibi çeşitli özelliklere sahip Őebekelerdir [8].

Akıllı Şebekeler yapısı bakımından Şu özelliklere sahiptir;

- Uzaktan ölçüm, görselleştirme ve gözlem mümkündür.
- Uzaktan ayarlanabilir, optimize ve kontrol edilebilmektedir.
- Özelleştirilebilir, kendi kendine onarılabilir ve otomatikleştirilebilir.
- Farklı enerji kaynaklarının birleştirilmesi ile onların çalışmasına ve mevcut sistemlerle entegre olmasına olanak sağlar.

Şekil 1.1’de akıllı sayaçlı bir dağıtım Şebekesinde akıllı Şebeke sistemlerinin küçük bir örneği gösterilmiştir [9].



Şekil 2. 1: Akıllı şebekelerde haberleşme durumu [9]

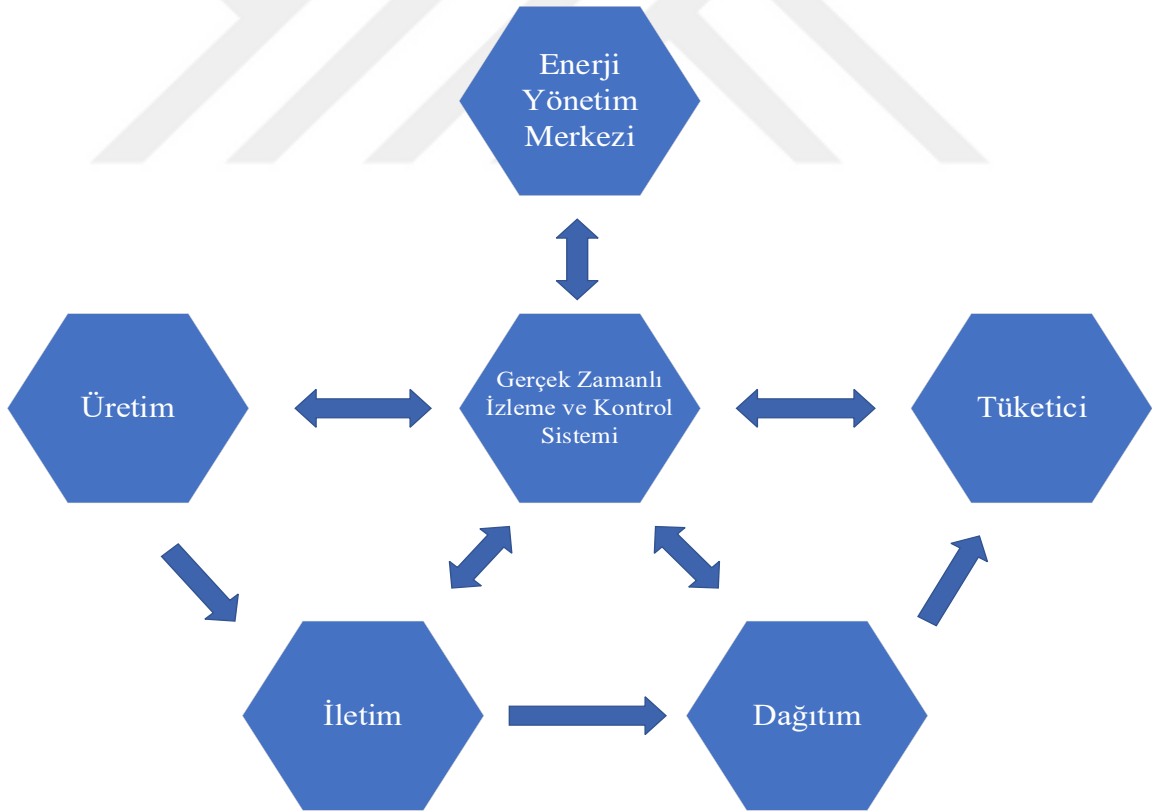
Akıllı şebekenin başlıca sağlayacağı kolaylıkları şu şekilde sırlanabilir;

- Günümüzde kullanılan şebekelerde enerji kesintileri son kullanıcı tarafından çağrı merkezi veya mobil uygulamalar üzerinden elektrik dağıtım şirketlerine bildirilirken, akıllı şebekelerde olası bir kesinti durumunda oluşturulan algoritmalar aracılığı ile dağıtım şirketine kesinti bilgisi kısa sürede bildirilir. Kesintinin arıza koduna göre enerjilendirme işlemi yapılır. Böylece enerji kesinti süresi kısalmış, tüketici memnuniyeti sağlanır. Bu kesintiler akıllı şebekelerde akıllı sayaçların kesiti olduğuna dair sisteme ihbar bırakması fark edilir. Artık kendi kendini onarabilen yapı haline gelerek mevcut şebekenin önüne geçer.
- Elektrik tüketim oranları belirli durumlarda gerçek zamanlı olarak kontrol altına alınıp takip edilerek elektrik kayıp-kaçak oranı azaltılabilir.
- Akıllı şebekeler, elektrik üretim ve dağıtım yapısı dağıtık sistemler halindedir. Bu sayede klasik şebekelerde olduğu gibi, şebekenin herhangi bölgesinde ortaya çıkacak bir problem genelde tüm tüketicileri etkilemez.
- Elektrik dağıtım şirketlerine enerji sürekliliği imkânı sunacaktır. Tüketiciler noktaları ile elektronik ortamda iletişim sağlanır, anlık takip sağlandığında ticari kayıplar oldukça azalacaktır. Tahakkuk enerji ve tahsil edilen para oranları artar, sistem daha kontrollü işletilir, teknik ve teknik olmayan kayıplar azaltılır. Bunlara bağlı olarak enerji verimliliği artar.
- En önemlisi de mevcut elektrik üretim, iletim ve dağıtım sektörlerinde bulunan sistemler ve elemanlar daha verimli kullanılacaktır.

2.2.Akıllı Şebeke Elemanları

Akıllı şebeke sistemlerinde bulunan elemanlar enerjinin üretiminden tüketimine kadar geçen sürecin her noktasında bulunur. Bu süreçler, enerjinin üretimi ile başlayıp iletimiyle devam eden tüketiciye sorunsuz bir şekilde dağıtılırken, hassas ölçüm, uzaktan sistem yönetimi ile tüketici davranışlarından oluşmaktadır. Akıllı şebekelerde tüketici profili sistem verimliliğinin ölçülmesindeki en büyük etkidir. Dağıtılan enerji ölçümü ile tüketilen enerji verileri toplanarak yönetim sisteminde ne kadar enerji ihtiyacı olacağı hesaplanır ve buna bağlı olarak tüketilen enerji kadar enerji üretimi yapılması hedeflenir. Bu yapının sağlıklı işletilebilmesi için tüketicinin gerçek zamanlı olarak dolayısıyla akıllı şebeke sisteminin olmazsa olmaz koşulu hızlı ve güvenli bir iletişim altyapısına sahip olmasıdır [10].

Şekil 1.2’de akıllı şebeke sistem elemanlarının akış diyagramında da olduğu gibi elektrik üretim, iletim ve dağıtımın tüketiciye yönelik yönetim sistemlerinin kontrol ve izlemleri bulunur.



Şekil 2. 2: Akıllı şebeke sistem elemanlarının akış diyagramı

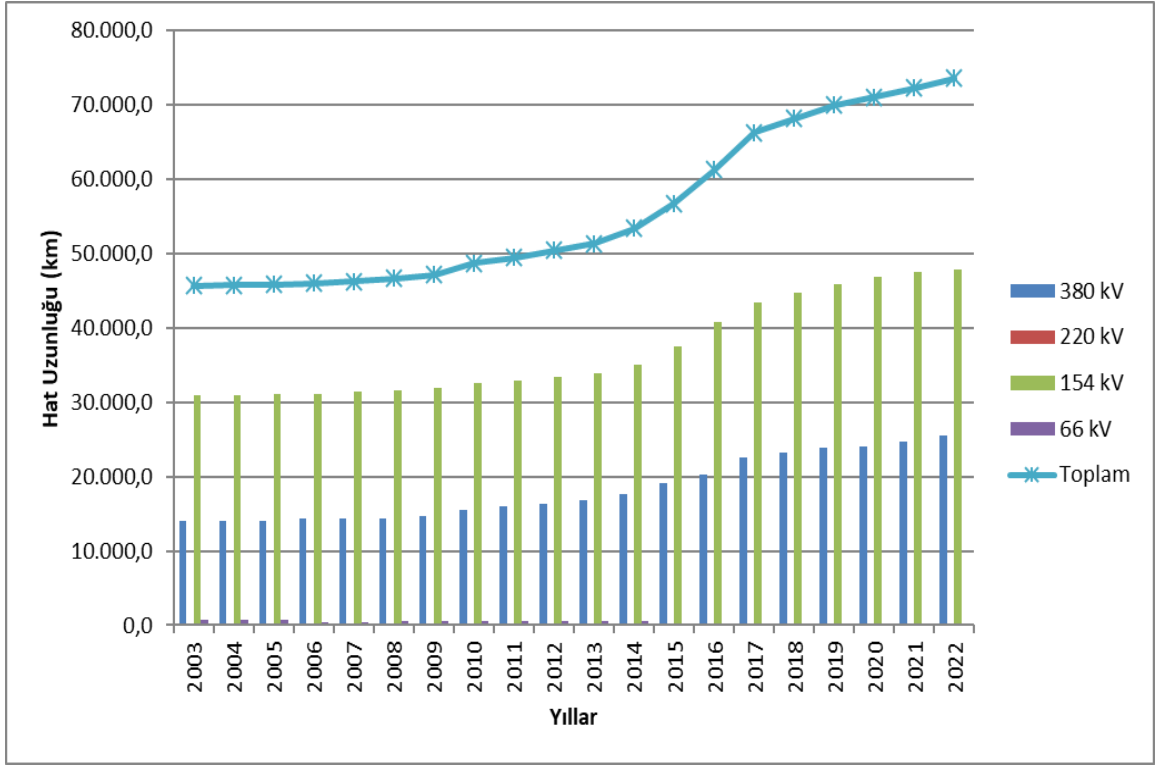
Üretim, İletim ve dağıtım hatlarında teknik ve teknik olmayan nedenlerden kaynaklı kayıplar vardır. Elektrik enerjisi üretimden son tüketiciye kadar olan bütün aşamalarda

meydana gelen kayıplar kadar enerji verimliliği de büyük önem arz etmektedir. Günümüzde kullanılan elektronik cihazlar kaliteli, güvenli ve sürdürülebilir enerjiye ihtiyaç duymaktadır.

2.3. Kayıplar

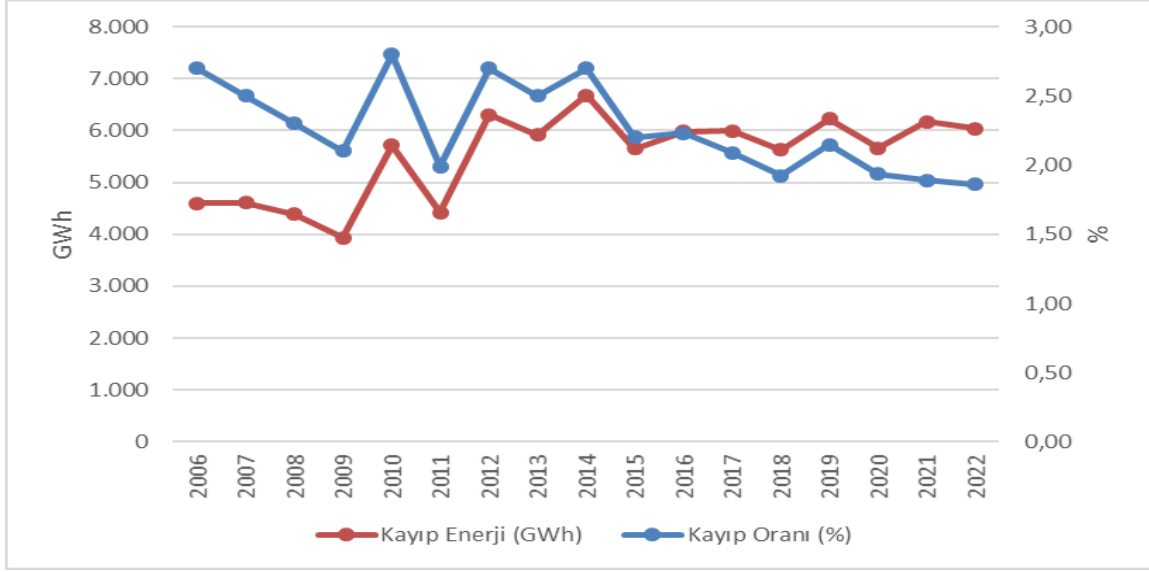
Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) tarafından işletilen elektrik iletim sistemi 2022 Aralık ay sonu itibariyle 74.034 km enerji iletim hattı uzunluğuna, 790 iletim merkezine ve komşu ülkelerle toplam 15 adet enterkoneksiyon hattına sahiptir [11]. Yıllara Göre TEİAŞ İletim Hatları Uzunluklarındaki Değişim(km) aşığıdaki grafikte belirtilmektedir.





Şekil 2. 3:Yıllara göre teiaş iletim hatları uzunluklarındaki değişim(km)[11]

Şekil 1.3'e göre hesaplanan son 19 yılda iletim hat uzunluğunda %61,04'lük artış olmuştur. Kayıplar teknik, teknik olmayan kayıplar olmak üzere iki farklı grupta incelenir. Teknik kayıplar elektrik üretim, iletim ve dağıtım sistemlerinde kullanılan şalt malzemeler, şalt malzeme kalitesi, kablo iletkenliği, montaj işçiliği gibi doğrudan yapım aşamasında veya kullanılan malzemenin ekonomik ömrünü tamamlamasıyla oluşan kayıplardır. Yani bir elektrik iletim hattında bulunan trafo ve iletim hatlarındaki kabloların iç dirençlerinde oluşan kayıplar iletim sistemlerindeki kayıp olarak da bilinir. Bu değer hiçbir zaman teknik olarak "sıfır" olamaz. İdeal dünya standartlarında iletim hattındaki kayıp oranı %4-7 civarlarıdır. İletim sistemi kayıp oranı sistemdeki talepler, yük akışları, sıcaklık ve yatırımlara bağlı olarak değişmektedir. İletim sistem kayıpları saatlik olarak hesaplanmaktadır. Yıllık ortalamasının yıllar itibarıyla değişimi Şekil 2.4'te gösterilmektedir [11].



Şekil 2. 4:Yıllara göre iletim sistemi kayıpları (Gwh-%)

Ülkemizin nüfus yoğunluğu, arz kaynaklarının yeri ve coğrafi koşullarına uygun olarak Avrupa standartlarına göre kurulan iletim sistemi kayıpları, uluslararası performans düzeyindedir [11]. Elektrik dağıtım sistemi ise 104.558,78 MW santral kurulu gücü ve 1.194.000 km aşan dağıtım hattı uzunluğu ile Avrupa'nın en büyük üçüncü şebekesi konumundadır [12].

Teknik olmayan kayıplar ise bilinçsiz tüketim kaynaklı, hatalı endeks okuma ve son tüketicinin elektrik dağıtım şebekesine doğrudan müdahale ederek elektrik kullanmaktan kaynaklanan kayıplardır. Teknik olmayan kayıplar net tüketilen enerji ile ölçülen enerji ile uyuşmamasıdır. Kaçak elektrik kullanımını minimize edilebilir yapıdadır. Şebekenin enerji alışverişi sırasında hep varsayılan durumlarla ilgili olmayan kayıplardır. Enerji üretim, iletim ve dağıtım için yapılan yatırımlar kapıların ve kaçakların azaltılmasına inanılarak o doğrultuda her yıl yatırım yapılır. Enerji arzının fazla olduğu bu dönemlerde enerjinin teknik olmayan sebeplerden ötürü enerji kaybının olması ekonomiye büyük ölçüde yük olur. Kaçak elektrik kullanımı genel olarak mevcut şebekelerde tespiti zor durumdadır. Kaçak elektrik kullanımı, oluşan enerji kaybı ile ülkemize her yıl maddi olarak zarara koyar. Kaçak kullanımının tespiti ile kaybolan enerjinin tahakkuklandırılması, ekonomik hususlar ile birçok alanda büyük önem arz etmektedir.

2.3.1. Teknik kayıplar

Elektrik enerjisi, önce enerji üretim merkezlerinde üretilir. Üretilen elektrik, trafolar vasıtasıyla iletim hatlarına iletilir ve "ara bağlantı sistemi" aracılığıyla elektrik üretim ve iletiminin koordinasyonu sağlanır. Elektrik hatlarının enerji iletimi sırasında göstermiş olduğu direnç vardır. Fizik kuralları gereği elektrik hattının teknik kaybı; hattın kesitine, taşıma gücüne, aldığı mesafe ve voltaj seviyesine göre değişiklik göstermektedir. Elektrik enerjisi bir yerden başka bir yere aktarılırken gösterdiği direnç nedeniyle, enerjinin bir kısmı iletim hattı üzerinde tükenmekte veya kaybolmaktadır. Enerji kayıplarının yaşandığı diğer yer ise trafo kayıplarıdır; trafo kayıpları elektrik gerilim seviyelerini yükselten ya da indiren sistemlerdir. Transformatörler içerisinde yer alan sargılar üzerinde yer alan yüke veya boşta olması durumuna bağlı olarak elektrik kaybına yol açmaktadırlar. [13].

2.3.2. Teknik olmayan kayıplar

Teknik olmayan kayıpların başında kaçak elektrik kullanımı gelmektedir. Kaçak elektrik kullanımı; elektrik dağıtım şebekesine müdahale ederek harici hat üzerinden enerji kullanılması, sayacın tahrif edilmesi yani elektronik elektrik sayacına veya bağlı olduğu devreye müdahale edilmesiyle elektronik elektrik sayacının hiç tüketim kaydetmemesi ya da eksik tüketim kaydetmesi gibi durumlardır. Yüksek tüketimli son tüketicilerde ölçü sistemlerinde bulunan akım transformatörlerinde meydana gelen arızalar sebebiyle veya tarımsal sulamada kullanılan su pompalarının işletilmesinde usulsüz elektrik kullanımı için kendi getirdikleri transformatörleri doğrudan dağıtım hattına müdahale ederek harici hat çekmeleri gibi yöntemlerle de elektrik kaçak olarak kullanılabilir. Bahsedilen enerji kayıplarının kapsamının yanı sıra teknik olmayan kayıplar yani kaçak elektrik kullanımı aşağıdaki tabloda detaylı bir şekilde anlatılmaktadır. (Tablo 2.1).

Tablo 2. 1: Kaçak elektrik enerjisinin durumları

Sayaca Kaydedilemeyen Enerji	Faturalanamayan Enerji	
Tüketim kayıpları	Fatura hataları	Ödeme kayıpları
1) Harici Hat	A) Yanlış müşteri dosyaları	A) Ödenmeyen faturalar
2) Abonelik işlemleri sırasında aksaklık	1) Sözleşme bilgilerinin yetersizliği	1) Dağıtılamayan faturalar
3) Elektrik sayacına müdahale		2) Tüketicinin ödememek için çıkarttığı zorluk
4) Hatalı ölçümler	2) Tüketici kurulu gücüne göre kullanılan katsayıların yanlışlığı	3) Uygun olmayan toplama prosedürleri
5) Etkin tüketimlerin çok düşük tahmin edilmesi		4) Ödenmeyen faturaların kötü yönetilmesi (tahsilat takipsizliği)
6) Hatalı bağlantılar	B) Yanlış fatura	B) Ödeme yönetimi
7) Elektrik sayaçlarının uyumsuzluğu	1) Fatura dönemlerinde aksaklıklar sebebiyle okunamayan sayaçlar	1) Ödemelerin eksik olması
8) Abonesiz enerji kullanımı	2) Özel tarifeleri ya da tarifersiz olan müşterilerin takipsizliği	
	3) Faturalamada raporlamanın ve takibin eksik olması	2) Ödeme kayıpları
9) Endeks okuma hataları	4) Düzeltilmiş faturaların kontrolünün yapılmaması	

Usulsüz elektrik kullanımından kaynaklı elektrik dağıtım hatlarına aşırı yüklenerek gerilim düşümü görülür. Gün içinde enerji kesintileri oluşabilmektedir. Böylece sisteme bağlı son tüketicilerin elektronik cihazlarında arızalar meydana gelebilmektedir. Elektrik dağıtım şebekelerinde gerilim seviyesi ülke standardında olması beklenmektedir. Kaçak elektrik kullanılması durumunda bu standartların dışına çıkabilmektedir. Akıllı şebekeler ile bu standartlar korunabilir.

Elektrik dağıtım şebekelerinde mevcut kayıp kaçak oranının tespit edilebilmesi için dağıtım transformatörlerinin sekonderine bir elektronik elektrik sayacı bağlanarak dağıtım transformatöründe beslenen tüketicilerin tükettikleri enerji miktarı manuel endeks okuma ile okunarak kıyaslanması neticesiyle tespit edilir. Manuel endeks okuma verileri bu durumda kayıp kaçak oranının tespit edilmesinde sağlıklı bir veri olmayabilir. Bunun nedeni tüketici profillerinin farklı olmasıdır. Akıllı şebekelerde ise kayıp kaçak oranının tespiti anlık yapılabilmektedir. Bunun sebebi ölçüm noktalarında bulunan sayaçlardaki verilerin bir haberleşme ağı aracılığıyla anlık olarak alınabilmesidir.

2.4.Kayıp-Kaçığın Tahmin Edilmesinde Akıllı Şebeke Ekipmanlarının Rolü

Dağıtım şirketleri EPDK yönetmelikleri gereğince belirtilen kayıp-kaçak oranlarını EPDK'nın belirlediği oranlara ulaşabilmek, bireysel ve tüzel kişilere kesintisiz enerji hizmeti verebilmek, yapılan usulsüzlüklere anında müdahale etmek amacıyla otomatik sayaç okuma sistemlerini akıllı sayaçları faaliyete geçirerek kolaylıklar sağlanabilir.

Akıllı sayaçlar, sistemlerdeki enerji talebinin izlenmesi, kontrol edilmesi ve anlık müdahale edilmesini sağlayan ekipmanlardır. Akıllı elektronik elektrik sayaç yatırımları elektrik üretimini ve tüketimini daha kontrol edilebilir hale getirdiği için enerji tasarrufunun sağlanmasına yardımcı olmakla beraber kesinti sonrası sisteme anlık müdahale edilmesi teknik ve teknik olmayan kayıpların tespit edilip azaltılmasına, faturalandırmalarda okuma kaynaklı hataların en aza indirilmesine yardımcı olur.

Bir dağıtım işletmecisi ile yapılan kişisel görüşmede kaçığın engellenmesine yönelik uygulanan konvansiyonel tedbirlerin maliyeti ile akıllı sayaç yatırımının maliyetinin birbirine yaklaşık olacağı değerlendirilmiştir. Kaçağın önlenmesine yönelik yaptıkları bir çalışmada 32 milyon TL'lik yatırım karşılığında seçilen pilot bölgedeki kayıp-kaçak oranının %74 olduğu bilgisi alınmıştır. Buradan hareketle, kaçak elektrik kullanımını bırakarak fatura ödemeye başlayan tüketicilerin enerji tüketimlerini %40 oranında düşürdükleri görülmüştür. Analizlerde daha tutucu bir yaklaşım ele alınarak elektriği

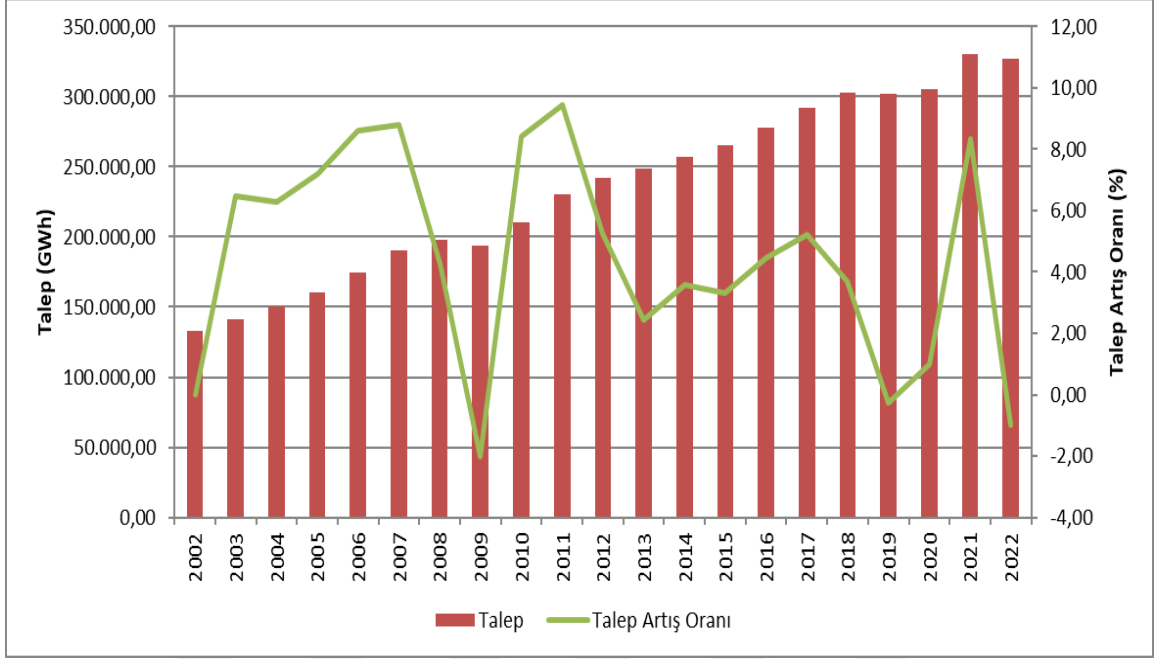
kaçak olarak kullananlara akıllı sayaç takıldığında %50 enerji tasarrufu sağlayacakları varsayılmış ve kaçak elektrik kullanım durumunda tüketici başına ortalama yıllık 3,000 kWh elektrik tüketeceği kabul edilmiştir [13].

2.5.Akıllı Şebekelere Neden İhtiyaç Duyulur?

Bölüm 1 itibariyle bahsedilen; artan enerji ihtiyacının gelişmiş ekonomilerdeki artan yük miktarını kontrol alınabilmesi, tüketici arz ve talebini günümüz şartlarına uyarlayarak yerine getirilmesi gibi durumlar için akıllı şebeke ihtiyacı olduğu aşikârdır. Bunların yanı sıra enerji arzının her geçen gün artışı ile enerji üretim santrallerindeki üretim sonrasındaki çevresel atıkların sürekli arttığı bir enerji tedarik sistemi sürdürülebilir olmadığı pek çok ülkede olduğu gibi Türkiye’de de tartışılmaz ve çarpıcı bir gerçek olarak gündemdedir. Bu olguyu çevresel ve ekonomik alanlarda düzenlemek üzere tüm ülkelerin sistemsel değişime hazır olmaları, bu yöndeki gelişmelere ayak uydurup gerekli yatırımları kısıtlarını zorlayarak olsa da gecikmeksizin yapmaları, kendi rekabetçilikleri ve refahlarının sürdürülebilirliği için hayati derecede önem kazanmıştır. Bilinen yenilenebilir enerji kaynaklarının yanı sıra; karbon tutma, depolama, nükleer güç ve yeni ulaşım teknolojilerinin geniş şekilde uygulanması halinde, 21. yüzyılın ikinci yarısında beklenen kötü tablo ters yüz edilebilecektir. Tüm gelişmiş ülkelerdeki enerji piyasaları karşı karşıya kaldıkları sistem değişimine ayak uydurabilmek için yoğun bir çaba göstermektedir. Yaşanan bu değişimin temel dinamikleri şöyle sıralanabilir [14].

- Enerji üretim sonucu çevresel atıkların yani karbon ayak izinin mümkün olduğunca hızlı azaltmak
- Enerji arz-talep dengesini sağlamak
- Hızla gelişen teknolojiye yenilenebilir enerji, iletişim ve siber güvenlik teknolojilerine ayak uydurarak teknolojiye sürdürülebilirliği sağlamak
- Bu gelişmeleri teknolojiye uygun bir şekilde iletim ve dağıtım şebekelerini tasarlayıp teknolojiye aktifleştirmek
- Günümüz şartlarında enerji sektörünün finans ve mevzuat gereksinimlerini zamanında karşılamak

Ülkemize özel olarak bu listeye enerjide dışa bağımlılığı oldukça azaltarak üretimin tüketimi karşılayacağını da eklenebilir. Bunu sağlamak enerji üretim sistemlerini teknoloji ve bilgi transferi yapmak suretiyle yerli kaynaklara dayalı sistemler geliştirilebilir.



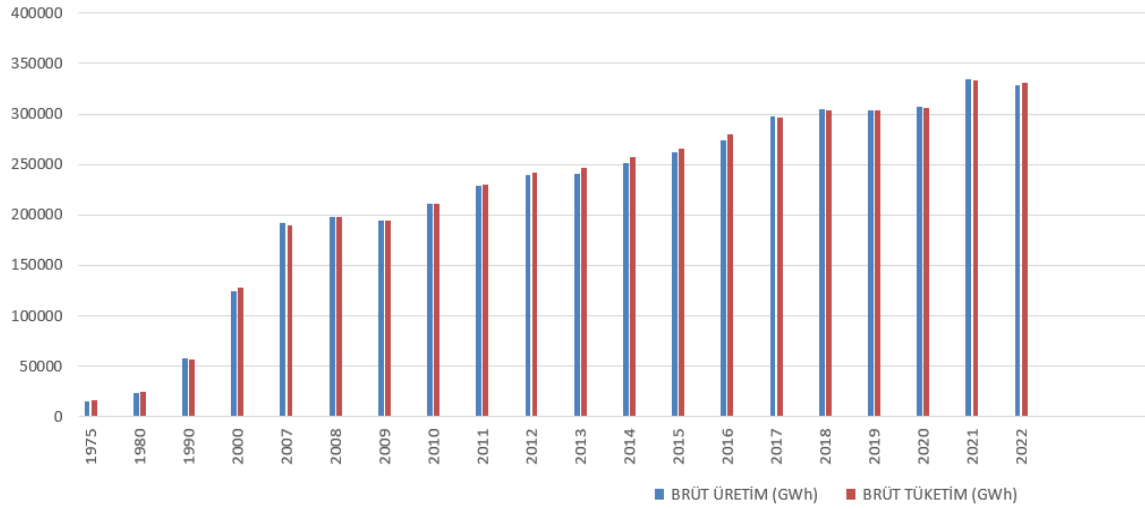
Şekil 2. 5: Yıllar itibarıyla elektrik enerjisi talebi ve artış oranı (Gwh-%) [10]

Ülkemizdeki elektrik enerjisi talebi ve artış oranı Şekil 2.5'te gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere elektrik enerjisi talebi son 20 yılda 2009, 2019 ve 2022 yıllarında azalmıştır. 2022 yılında bir önceki yıla göre %1 oranında azalmıştır [10]. Ülkemizdeki elektrik enerji arzı grafikte de olduğu gibi 2018 yılına kadar sürekli artış göstermiştir. 2018 sonrasında ulusal olarak ekonomik durgunluktan ötürü azalmaya başlamıştır. Ülkemizde brüt elektrik üretim talebi genel olarak her yıl hesaplanan verilere göre 300 kWh' tır. Şekil 1.5'te görüldüğü üzere 2018 yılındaki azalışla elektrik enerjisinin arzı 304,7 milyar kWh olarak hesaplanır. 2019 yılında brüt elektrik talebi ise net olmayan veriler doğrultusunda 303,6 milyar kWh olarak hesaplanmıştır. 2019 yılındaki hesaplanan elektrik enerjisinin talebi dünyadaki genel durgun ekonomi durumundan kaynaklı 2018 yılına göre 1 milyar kWh'lik bir düşüş olmuştur. Ülkemizdeki enerji kullanımı hesaplanan verilere göre gelecekteki ilk on yıl içinde % 50 artış göstereceği yönündedir.

Enerji Bakanlığı verilerine göre ülkemizin 2022 yılı sonu itibarıyla kurulu gücü 103,809 MW' a ulaşmışken [11], brüt elektrik üretimi 328,3 TWh' a ulaştı. Elektrik enerjisi

tüketimi 2022 yılında bir önceki yıla göre %0,5 oranında azalarak 331,1 TWh [15], dağıtım sistemini kullanan tüketici sayısı 48,563 milyon olmuştur. Tüketim 2022 yılı sonu itibarıyla dağıtım şirketlerinin bölgelerindeki toplam faturalanan tüketim miktarı 253,6 TWh olarak gerçekleşmiştir. En yüksek kayıp oranı %43,63, en düşük kayıp oranı %4,32'dir[10].

TEİAŞ verilerine göre uyarlanan yıllara göre brüt üretim ve brüt tüketim grafiği Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2. 6:Yıllar itibarıyla elektrik enerjisi brüt üretim ve tüketim (GWh)

Bu veriler incelendiğinde artan enerji talebi, üretim, tüketim ile beklenen gelişmeleri ülkemizde sağlanacak önemli unsurlardan biri, öncelikle akıllı şebeke altyapılarının oluşturulmasıdır. Önemli sayıda dağıtım şirketi altyapılarını geliştirmeye başladılarsa da gerek düzenleyici kurum gerekse de diğer sektör paydaşlarının katkılarıyla ortak tanımlar seti ve terminolojisinin geliştirilmesi ve bu doğrultuda vizyon, strateji ve hedeflerin tanımlanması önemli bir merhale olarak değerlendirilmektedir [14].

3.AKILLI ŞEBEKE UYGULAMALARI İLE KAYIP KAÇAK ANALİZİ VE TAKİBİ

Elektrik enerjisinin artan enerji arz ve talep doğrultusunda tüketiciye yüksek verimlilikle sunulması için elektrik üretim, iletim ve dağıtım süreçlerinin sistematığı gün geçtikçe önemiyet arz eder. Bu süreçlerde hedef alınan enerji verimliliği, elektrik dağıtım şirketlerini hedefe yaklaşmak adına her yıl ekonomi başta olmak üzere kaliteli enerji adına yeni yeni planlar hazırlarlar. Elektrik dağıtım sırasında tüketiciye dağıtılan enerjinin kayıp kaçak oranı her zaman minimum seviyede olması hedeflenir. Böylelikle enerji üretiminden iletimi, dağıtımını ve maksimum verimlilikte tüketiciye ulaşır. Enerji kaybının minimum seviyede olması, hem ekonomik alanda hem de yaşam standartları hususunda yükselmeyi sağlar. Akıllı şebekeler ile elektrik dağıtım şirketleri faaliyetlerini sürdürmek için ve gelecekte oluşabilecek herhangi bir siber saldırı sonrasında ayakta kalma adına bilgi teknolojilerinden maksimum seviyede yararlanmaya çalışmaktadır. Bu çalışmalarını akıllı şebekeler ile daha sistematik bir şekilde kolaylıkla yapılabilir.

Artan elektrik enerjisinin teknolojiye ayak uydurarak son tüketiciye enerji verimliliği yüksek bir şekilde ulaştırılacağı ve tüketiciye sunulan elektriğin mümkün olduğunca en az kayıpla ölçüleceği düşünülen akıllı şebekeler, 2017 yılı itibariyle ülkemizde pilot bölgeler seçilerek uygulanmaya başlanmıştır. Seçilen pilot bölgelerden birinde yapılan uygulamalar tezin bu bölümünde detaylı bir şekilde anlatılacaktır.

Öncelikle kayıp kaçak oranının azaltılması hedeflenen elektrik dağıtım şirketlerinin yükümlülüklerini uygulanabilirliği konusunda EPDK'nın mevzuat maddelerini inceleyelim. EPDK'nın "Dağıtım Sistemindeki Kayıpların Azaltılmasına Dair Tedbirler Yönetmeliği" Dördüncü Bölümünde

"Sayaç uygulamaları

MADDE 11 – (1) Yüksek kayıplı şirketlerin dağıtım bölgeleri içinde yer alan ve önceki yıl gerçekleştirmelerine göre teknik ve teknik olmayan kayıp oranı %30'un üzerinde olan il ve ilçelerde, ilgili dağıtım şirketi tarafından kayıp-kaçak ile mücadele dâhilinde elektrik sayaçlarının tesisi için mevzuatta tanımlanan yerden farklı bir yer belirlenebilir.

(2) Sayacın konulduğu nokta ile kullanıcının bağlantı noktası arasında ilgili kullanıcı dışında yapılacak müdahaleler dağıtım şirketinin sorumluluğundadır.

(3) Yüksek kayıplı şirketlerin dağıtım bölgeleri içinde yer alan ve önceki yıl gerçekleştirmelerine göre teknik ve teknik olmayan kayıp oranı %30'un üzerinde olan il ve ilçelerde, ilgili dağıtım şirketi tarafından kayıp-kaçak ile mücadele dâhilinde müşteri sayaçları dışında, yatırım planında yer almak kaydıyla, sayaç yatırımları kapsamında, tespit amaçlı olmak üzere, birden fazla müşterinin toplam tüketimini ölçen kontrol sayacı tesis edilebilir.

(4) Bu madde kapsamındaki maliyetler tarife hesaplamalarında yatırım harcaması olarak dikkate alınır.” maddesi gereğince elektrik sayaçlarının lokasyonu aboneye en yakın enerji bağlantı direklerinin üzerine yani abonelerin sayaca ulaşamadığı bir noktaya taşınabileceği kararı alınarak akıllı şebekeler ile uzaktan sayaç okuma sistemiyle kayıp-kaçak kontrolü ve analizi yapılmaktadır [16].

Akıllı şebekelerin uzaktan haberleşme sistemlerini bölgeye uygun bir şekilde uygulamak adına öncelikle kurulumu yapılacak bölgenin iklim özelliklerine ve çevresel faktörleri göz önünde bulundurulmalıdır. Ardından gelecekte yapılması düşünülen sistemlerin mevcut sistemi ne yönde etkileyeceği ve sağlayacağı kolaylıklar göz önünde bulundurularak saha çalışmaları sonucunda oluşturulur. Örnek verilirse; elektrik şebekelerin karmaşık olduğu bölgelerde genelde GPRS yani paket anahtarlama veya RF modülü kullanmayı düşünülür. Fakat iki yönteminde kullanılmadığı yani baz istasyonlarına uzak kalan çekim gücü az olduğu bazı kırsal alanlarda ise PLC teknolojisi kullanmak en mantıklı çözüm olur. Geçtiğimiz yakın tarihlerde PLC (Power Line Communication) kablo kullanılsın veya kullanılsın en çok kullanılan haberleşme yöntemidir. Bu haberleşme, güç hattı olarak bilinen elektrik şebekelerindeki dağıtım enerji hatları aracılığıyla haberleşmeyi sağlayan haberleşme yapısıdır. Bu durum karşısında sistematığı için ayrıca haberleşme sistemi kurulması gerekmez. Enerji dağıtım hatları PLC haberleşme yönteminin ana duvarıdır. Çünkü baz istasyonlarına uzak olan noktalarda, gürültünün fazla olduğu bölgelerde, haberleşme alt yapısında veriyi aktarma hızının yüksek olduğu durumlarda, alıcı ve vericinin fazlasıyla gerektiği noktalarda kullanılmak için RS485 bağlantı oluşturulmuştur. Veri aktarımı sağlanırken haberleşme kablolarından $0,75 \text{ mm}^2$ kesitinde iletkenleri kullanılır. Kullanılan iletkenlerde kesitinin düşük olması sebebiyle çok fazla bağlantı kopuklukları olur. Bu bağlantı kopuklukları PLC haberleşmenin esas dayanağı olan enerji dağıtım hatlarını kullanılmasıyla ortadan kalkar.

Enerji dağıtım hatlarının PLC teknolojisinde kullanılmasının bir diğer avantajı da ek sistem kurulmadığı için ek kablo kullanılmadığından fazla maliyeti oluşmayacaktır. Böylece olsaydı kullanılacağı düşünülen birçok dönüştürücünün kullanılmayacağı için ek maliyete gerek duyulmamaktadır. Ayrıca PLC sistemleri halihazırdaki şebeke ile kullanıldığı için yapım ve sonuç aşamasında kolaylıklar sağlayacaktır. PLC teknolojisi yürürlüğe girdikten sonra ana dağıtım sayacına bağlı veri toplayıcı ünitesi yani Router tarafından sistemlere tanımlanıp uzaktan kolaylıkla sayaçlara ulaşılabilir. Dolayısıyla sayaçları tek tek sisteme kaydetmek gibi uzun ve zorlu süreçler yok olur. Sistemin veri toplayıcısı da haberleşme alt yapısını sayaçların birbirine hat üzerinden bağlantısı sayesinde akıllı sayaçlarının gerçek zamanlı olarak çalışmaları artık daha kolay olacaktır.

Öncelikle akıllı şebekelerde uygulanan haberleşme sisteminden bahsedilip ardından bu pilot bölgede uygulanan akıllı elektrik haberleşme sistemi detaylandırılarak akıllarda oluşan sorular cevaplandırılmıştır.

3.1.Akıllı Şebekelerde Haberleşme

Akıllı şebekelerin temelini oluşturan ana unsur haberleşmedir. Akıllı şebekeler ile sistemlerde kullanılan ekipmanlar haberleşme ile sistemlerin aktifleşmesi sağlanır. Bu sistemler akıllı şebekelerde haberleşmenin sorunsuz bir şekilde sağlanmasıyla verilerin öncelikle toplanarak ardından merkeze iletip değerlendirilmesini ve ardından verilerin depolanması gerçekleştirmelidir. Akıllı şebekeler mevcut elektrik şebekelerine göre üretimden tüketime kolaylıklar sunmasına karşın daha karmaşıktır. Akıllı şebekeler ile verilerin aktif olarak haberleşmenin sorunsuz bir şekilde sağlanması için şebeke bileşenleri; veriyi toplama, aktarma ve veriyi iletebilmelidir. Bu aşamaların sağlıklı bir şekilde işletilebilmesi için de bileşenlerin haberleşme ağına dahil olma dışında programlanabilir yapıda olmalıdır. Bu sistemlerde kullanılan veri toplayıcı, aktarıcı olarak kullanılan cihazların TCP/IP protokollerine uygun bir şekilde kurulacak haberleşme sistemleri ve sunucular oluşturulmalıdır [17].

Akıllı şebekelerin sürdürülebilirliği hususunda güvenilir olmak ve enerji verimliliğini maksimum seviyeye taşımak için enerjinin üretiminden tüketimine eş zamanlı karşılıklı veri alışverişi sağlanır. Bu koşullar kontrollü haberleşme yöntemlerinin yönetilmesi ile olur. Bu nedenle akıllı şebekelerde haberleşme ağına yapılan çalışmalar sistemin tüm ihtiyaçlarını yerine getirerek, veri trafiğini ortadan kaldıracak şekilde düzenlenmelidir.

Akıllı şebekeler ile hayatımıza giren akıllı sayaçlar sorunsuz bir haberleşme ağı çerçevesinde uzaktan okuma, izleme yapılabilir. Sayaçta ölçülen enerji bilgileri yalnızca dağıtım şirketleri tarafından takip edilebilirken, kullanıcının takip etmesiyle çift yönlü olarak takip edilebilir. Tüketicide oluşan herhangi bir durum uzaktan enerji açma, kesme, okuma gibi durumların takibi yapılır. Haberleşmenin sağladığı kolaylıklar ile akıllı şebekelerde kullanılan sistemlerde yıllık abonelerin tükettiği enerji ve ana dağıtım sayaç tüketimleri karşılaştırılarak kayıp kaçak oranı kontrol altına alınabilir, kullanılan enerji takibi yapılabilir. [18].



Şekil 3. 1: Uzaktan enerji izleme uygulamalarında haberleşme sistemi tasarım ölçütleri [19]

Akıllı şebeke haberleşme ağını kapsayan sistemlerin mimarisinde; tek katlı veya çok katlı binaların haberleşmelerini rahatlıkla kapsarken ve şehir içinde ya da şehrin merkeze uzak bölgelerinde haberleşmelerini karmaşık bir şekilde kapsar. Gerçek zamanlı haberleşme ağının vermiş olduğu kolaylıkla elektrik şebekelerini modernleştirir. Böylece veri aktarımı sağlanan noktalar akıllı şebekelerde gerçek zamanlı haberleşme ağı ile üretilen enerji ile tüketilen enerjiyi esas alan sistemler oldukça kolay veri alışverişi sağlar. Verilerin üretimden tüketime, veri toplayıp veriyi eş zamanlı aktarılması hedeflenen haberleşme teknolojileri ile akıllı şebekelerin kullanımı aktifleşecektir. Haberleşme altyapısı günümüzde fiber optik kablolar, güç hattı aracılığı ile geniş bant ve kablosuz teknolojiler içeren çeşitli iletişim yolları kullanılarak inşa edilmektedir [20].

3.2.Sahada Akıllı Şebekelere Hazırlık

Ülkemizde bir Elektrik Dağıtım Şirketinde yapılan uygulamalara göre akıllı şebekelerin seçilen pilot bölgeye akıllı şebekeleri verimli bir şekilde uygulanabilmesi için seçilen bir ilçede öncelikle;

- Trafo sayısı
- Abone sayısı
- Pasif abone sayısı
- Ortalama aylık faturalanan/faturalanamayan abone sayıları

tespit edilmelidir. Bu bilgileri MBS (Müşteri Bilgi Sistemi) ve CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) adı verilen sistemlerden tespit edilebilir. Verilen bilgilere göre MBS' den bölgeye ait aktif ve aktif olmayan toplam abone sayısı 2017 yılı aralık ayında toplam 42.152 abone, 328 adet dağıtım trafosu, 9158 pasif abone sayısı, aylık ortalama 23.291 fatura çıkarılan abone olduğu tespit edilmiştir.

İlk olarak yapılan çalışmanın ardından sahada tespit edilen bilgiler doğrultusunda kaç tane sayaç ve modem alınabileceğini, sayaç ve modemi barındıracak pano adedi ve boyutunu tespit etmek için gerekli keşifler yapıldı. Yapılan keşifler sonucu alınacak;

Sayaç sayısı: 40k

Modem sayısı: 30k

Trafo üstü haberleşme cihazı sayısı: 330 hab.

Olduğu tespit edilmiştir. Artık teknik şartname için gerekli bilgiler toplanır. Teknik şartnameyi hazırlayıp akıllı şebekeleri hayata geçirme süreci başlamıştır.

3.3.Akıllı Şebeke Uygulamaları

İlk olarak takılacak 328 trafoya haberleşme ve toplayıcı cihazların bağlantıları yapılarak akıllı şebeke uygulamalarına başlanmıştır. Trafo üstüne takılan cihazlar; Akıllı şebekelerin temel unsurları olan veri aktarıcı ve veri toplayıcı iki cihaz vardır. Bunlar birbirine ethernet kablo ile bağlanır. Router, kayıp kaçak ölçümlerin de büyük rolü olan ana dağıtım sayacının (x/5 kombi) modemi görevinde bulunur. RS-485 bağlantıyla bağlantıları sağlanır. Router cihazı ve veri toplayıp veriyi aktaran Gateway cihazı akıllı şebekelerde ayrılmaz ikili olarak bilinir. Bazen tek cihaz olarak veri yönlendirme ve toplama görevleri bir araya toplanır. Bazen de bu pilot bölgede kullanılan cihazlar gibi iki ayrı cihaz olarak bulunabilir.

3.4.Akıllı Şebekelerin Ana Elemanı: Router

Router, veri paketlerini aralarında iletmek üzere bir ağ üzerinde bulunan cihazları birbirine bağlar. Bu veriler cihazlar arasında veya cihazlardan internete gönderilebilir. Router bunu ağdaki her bir cihaza yerel bir IP adresi atayarak yapar. Bu sayede, veri paketlerinin ağ içerisinde kaybolması önlenir ve doğru yere ulaşması sağlanır [21].

Routerların, en yaygın ağ protokollerini anlayacak şekilde programlanmıştır. Yani routerlar adreslerin biçimini, ağ üzerinden gönderilen temel veri paketinde kaç bayt olduğunu ve tüm paketlerin hedeflerine ulaşip yeniden bir araya getirilmelerini nasıl sağlayabileceklerini biliyorlar. İnternetin ana omurgasının bir parçası olan yönlendiriciler için bu, saniyede milyonlarca veri paketine bakmak ve bu paketleri taşımak anlamına gelir. Sadece paketi hedefine taşımak bir yönlendiricinin yapacağı tek şey değildir. Günümüzün bilgisayar dünyasında, mesajı mümkün olan en iyi yoldan aktarmaları da aynı derecede önemlidir [21].

Bu projede kullanılan Router, GSM operatör ile çalışabilen bir yönlendirici seçilmiştir. Uzaktan enerji izlemede en ideal haberleşme yolu 'dir. Çünkü enerji kalitesini izleme uygulaması, enerji üretim tesislerinde veya elektrik dağıtım noktalarında konumlandırılan enerji kalite kaydedici cihazlar vasıtasıyla yapılır. Genellikle geniş bir coğrafyada dağınık olarak konumlanmış veri izleme istasyonları söz konusudur. Her bir uzak istasyonda RTU, PLC ve enerji analizörü gibi, uç noktalarda yer alan sinyallerin toplandığı veya işlendiği üniteler bulunur. İzleme merkezinde yer alan SCADA, diğer entegre yazılımlar ve uzak istasyonların kontrol merkeziyle haberleşebilmesini sağlayan sistemler ise bu uygulamanın diğer temel bileşenleridir.

Uzak lokasyonlarda kullanılan ekipmanlar, en son teknoloji yazılım ve donanım özelliklerini barındıran yüksek kapasiteli bileşenlere sahip olabilir, kontrol merkezindeki veri izleme ve yönetim yazılımları en gelişmiş seviyede çalışabilecek yapılar olabilir. Tüm bu üstün özelliklere rağmen sistemin sağlıklı olarak kurulması ve sürdürülebilmesinde en belirleyici öge, bu birimler arasında köprü görevi gören haberleşme sistemidir [22].

Haberleşme sisteminde bahsi geçen tüm teknikler verilerin bir noktadan başka bir noktaya ulaşmasından sorumludur. Haberleşme sisteminin performansı değerlendirilirken, verilerin güvenliği ve bütünlüğünün sağlanması da sistemin

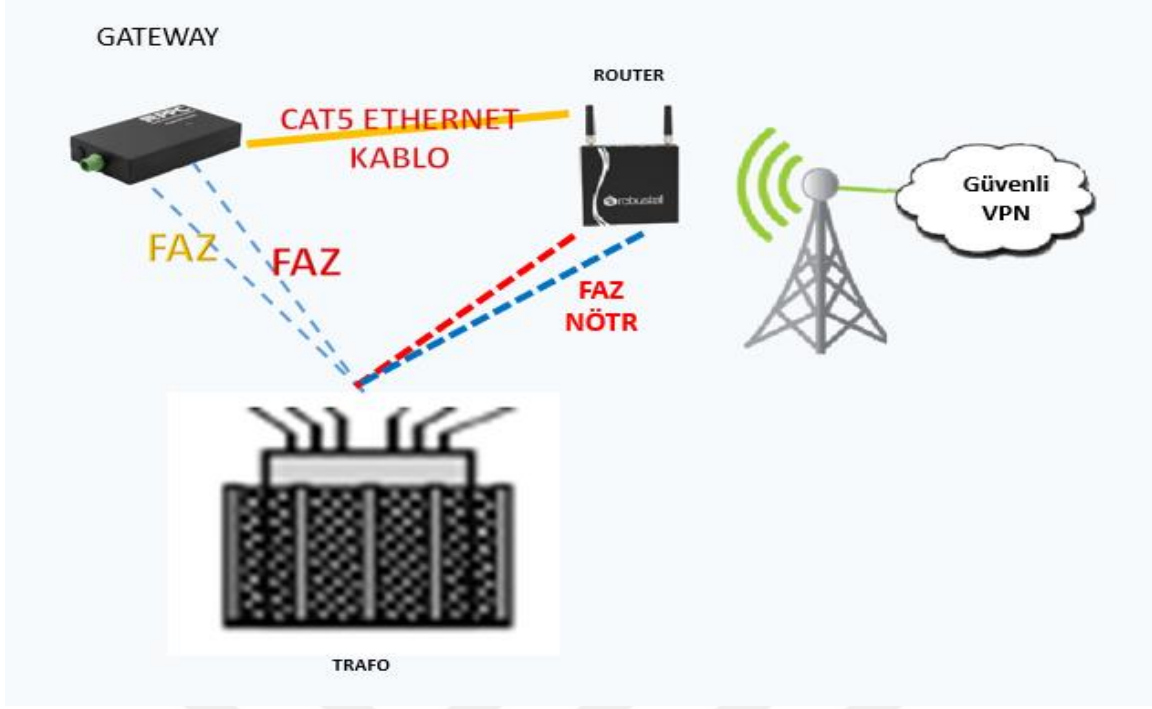
tasarımında düşünölmelidir. Bunun içinde bir network sistem yapısı ağa dahil edilme ihtiyacı duyulmaktadır.

3.5.Akıllı Şebekelerin Ağ Geçidi: Gateway

Akıllı şebekelerde verileri toplayıp veri iletimini sağlayan bilgisayar ağındaki ağ geçidi, çeşitli ağ protokolü cihazlarının veri gönderebileceği merkezi bir nokta görevi görür. Yönlendiriciler intranet kullanırken önemli bir rol oynar. Verileri başka bir bilgisayara kolayca aktarılabilir. Bu amaçla eklenen donanıma ağ geçidi denir. Ancak büyük işletmelerde bilgisayar sunucusu olan büyük ağ geçitleri aynı görevleri yerine getirir ve ağ geçidi uygulamaları görevi görür. Ayrıca gerektiğinde bir güvenlik duvarı ve ideal bir proxy sunucusu görevi de görebilir.

Daha sonra, bir kullanıcının veri aktarması veya verilere erişmesi gerektiğinde ağ geçidi yönlendiriciye bağlanır. Bu verilerin daha sonra, alıcı cihazın protokolüne göre dönüştürüleceği bir ağ geçidi aracılığıyla gönderilmesi gerekir.

Bu projede kullanılan veri iletimini sağlayan gateway çift faz ile enerjilendirilir. Gateway (ağ geçidi) ve router (yönlendirici) iki veya daha fazla ayrı ağ arasındaki trafiği düzenlemek için kullanılabilirler bakımından benzerdir. Bununla birlikte, iki benzer ağ türünü birleştirmek için bir yönlendirici ve iki farklı ağa katılmak için bir ağ geçidi kullanılır. Farklı birincil protokolleri kullanan ağları tanımlamak için benzer olmayanlar kullanılabilir. Bu mantık nedeniyle, bir Router bir Gateway olarak kabul edilebilir, ancak bir Gateway her zaman bir Router olarak kabul edilmez.



Şekil 3. 2: Router ve gatewayin trafoüstü bağlantı şekli

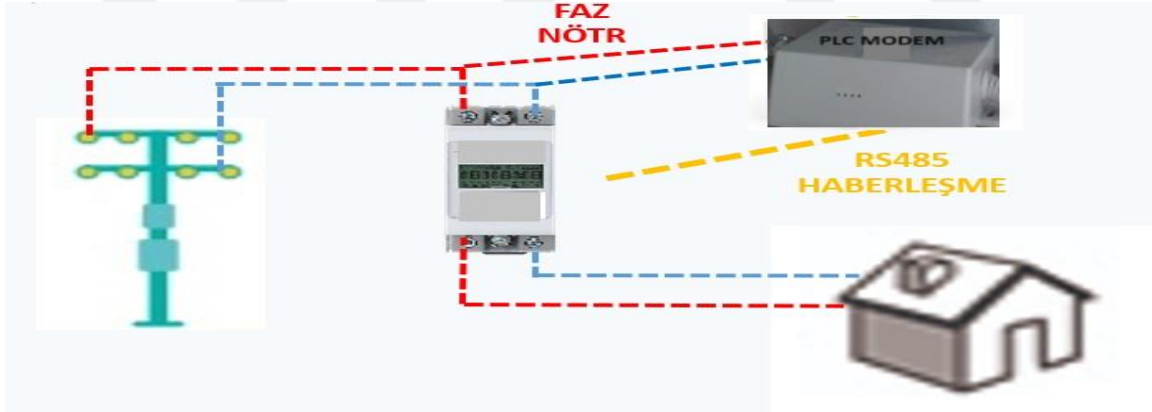
Burada da router gatewaye ethernet kablo ile bağlanıp Router tek faz ile gateway çift faz ile enerjilendirilir. Gateway, trafo üstündeki trafonun çıkış noktalarından R, S ve T fazlarından herhangi iki tanesine bağlanarak direklerle iletilen hat boyunca tüketici noktalarında bulunan direklere modem ve modeme RS-485 ile bağlanan PLC sayaçlar ile akıllı şebekeler tamamlanmaktadır. Seçilen pilot bölgede akıllı şebekeler bu şekilde aktif hale gelmiştir.

3.6.Akıllı Şebekelerin Enerji Kontrol Mekanizması; Modem ve Sayaç

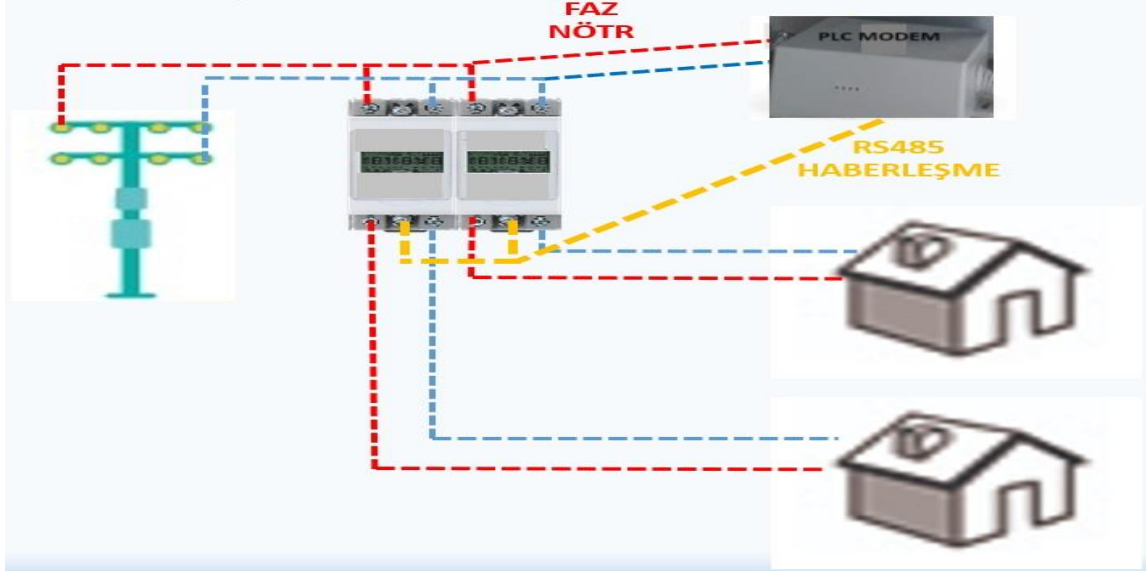
Akıllı şebekelerde uzaktan kontrol sistemleri akıllı sayaçlar ve veri toplayıcı/aktarıcı görevi gören modemler yani haberleşme üniteleri olmak üzere iki alanda incelenir. Burada kullanılan sayaçlar, donanım, yazılım ve mekanik olarak haberleşme ünitelerine bağlanarak haberleşme özelliğine sahiptirler. Elektrik dağıtım şirketleri, tüketici tarafından kullanılan enerjiyi okuyucu hatası olmadan faturalandırmak, enerji kullanım sonrası ödenmesi gereken faturaların alacak takip birimi üzerinden kolayca takip etmek, tahakkuk edilen enerji ile tahsilat paralarını artırmak ve uzaktan okuma, açma, kesme gibi durumların takibinin kolaylığı adına akıllı sayaçları kullanarak enerji sektöründe modernleşmede adım atmıştır. Bu akıllı sayaçlar PLC teknolojisiyle iletişim kurulduğu için PLC sayaçlarda denilir. Ancak veri alışverişi esnasında oluşabilecek dış etkenlerin önlenmesi adına oluşabilecek herhangi bir tehde karşı güvenliği sağlanmalıdır.

PLC teknolojisinde; elektrik şebekesi, güç hattı üzerinden haberleşme yönteminin yanı sıra GPRS teknolojisine yardımcı olarak anten görevi görür. PLC teknolojisini etkileyen en önemli etken, gürültüsü fazla olan bölgelerin fazlalığı ve yoğun ve karmaşık şebeke yapısının bulunmasıdır. Ayrıyeten, veri merkezinde kontrol edilirken ani bağlantı kopukluğu anında veyahut enerji kesintisi olduğunda sinyaller trafodan geçemez durumda olur. Trafo geçişi için kullanılan kuplörlere ihtiyaç duyulur. Kuplörlerin maliyeti oldukça artmaktadır. Bu durumda, elektrik dağıtım şebekelerindeki trafonun fazla olması PLC teknolojisini maliyet açısından ekonomik olarak kötü etkiler. Bu teknolojinin en büyük avantajı ise bulunan enerji dağıtım hattı kullanılması sebebiyle saha çalışmalarının maliyetleri oldukça az olmasıdır.

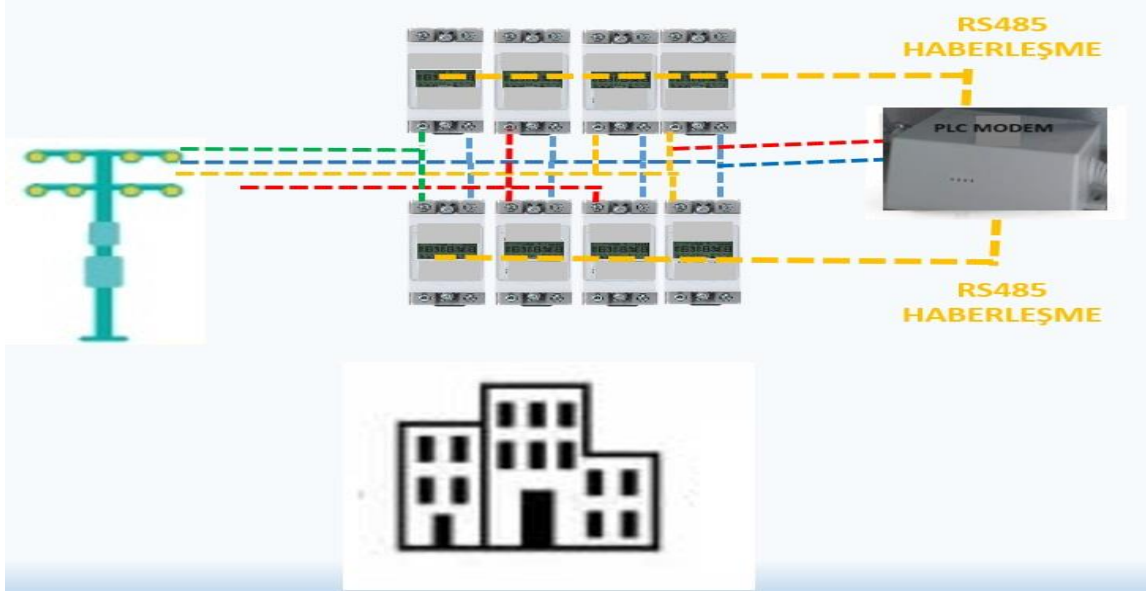
Uygulanan pilot bölgede PLC modüllü sayaç kullanılmıştır. Tek katlı binalar için haberleşme ünitesi, akıllı sayaçlara RS485 bağlantı ile bağlanarak dağıtım direkleri üzerine yerleştirilen panolardadır. (Şekil 3.3). Her bir aboneye bir modem ve modeme bağlı abonenin sayacı vardır. Ancak toplulaştırılmış alanlarda yani binalarda ve birbirine yakın olan evlerde direklerde bulunan panolarda birden fazla sayaca tek bir haberleşme ünitesi yani modem RS-485 bağlantıyla bağlanarak haberleşme mekanizması tamamlanır. Sayaçlar ise birbirine seri olarak RS-485 bağlantıyla bağlanır (Şekil 3.4-5).



Şekil 3. 3: Tek sayaçlı modem bağlantı şekli



Şekil 3. 4: İki sayaçlı modem bağlantı şekli



Şekil 3. 5: Toplulaştırılmış alanlarda bulunan sayaçların modem bağlantı şekli

Abonelerde bulunan haberleşme üniteleri bağlı olduğu hat üzerinden Router ile haberleşerek Router'ın onlara IP adresi tanımlamasıyla haberleşme ünitelerine ulaşılabildiği Router'ın ara yüzünden bakılarak anlaşılır.

Modemlere erişilebilirlik kontrolünden sonra sayaçlara ulaşılabilirlik kontrolü yapılır. Sayaçlar enerjilendirildiği anda eğer sırasıyla Router'a, Gateway'e modem sorunsuz bir şekilde erişilebilmelidir. Tabi ki bunun yanı sıra modemle sayaç arasındaki RS-485 bağlantı doğru bağlanmış olmalıdır. Bütün bu durumlar normal bir şekilde olunca artık sayaca erişim sağlanır.

Sayaçlara erişim sağlanması durumunda uzaktan okuma, açma, kesme, dışardan herhangi bir müdahale durumunu gözleme, bu müdahale durumunda sayacın vereceği tepki durumlarının hepsi kontrol edilir. Artık sayaca da erişim sağlandıktan sonra gerekli kaçak durum kontrolü aktif olarak belirli periyotlarda kontrol edilir. Bunları detaylı bir şekilde sıralarsak;

- Bir günlük-aylık-yıllık tüketim miktarlarına,
- Anlık geçen akım, gerilim, demand, endeks değerleri,
- Enerjilendirildiği tarihten itibaren klemens kapağının açılma veya kapanma tarihlerine,
- Enerjilendirildiği tarihten itibaren gövde kapağının açılma veya kapanma tarihlerine,
- Enerjilendirildiği tarihten itibaren açma, kesme okuma adetleri ve tarihleri,
- Gerçek zamanlı haberleşme ağında uzaktan okuma değerleri ile kolay ve hızlı faturalandırma yapılması,
- Bağlantı sözleşmelerinde gerekli parametrelerin uzaktan değiştirilmesi,
- Tüketicilerin anlık olarak bilgilendirilmesi ve verilen bilgi doğrultusunda yönlendirilmesi,
- Tüketim değerlerini pik durumlarında uzaktan sınırlandırılması,
- Gündüz, puant ve gece tarifelerinin yönetiminin yapılması (esnek tarife, gerçek-zamanda fiyatlandırma, çok tarifeli fiyatlandırma vs.),
- Sayaç noktalarında şebekeyle ilgili ani akım ve gerilim değerlerinin değişiminin izlenmesi,
- Elektrik kesinti bölgelerinin anlık uzaktan takibi ve restorasyon,
- Uzaktan mili saniyelerde tüketici bazında veya bölgesel enerji kesintisinin yapılması ve yeniden enerji aktifliğinin yapılması,
- Kaçak elektrik kullanımının saatlik, günlük, aylık takip edilmesi,
- Tüketici yük profillerinin geçmişe dair kısa sürede uzaktan çıkarılması,
- Yük ve talep yönetimi yapılması,
- İleriye yönelik planlamalar için istatistiksel bilgi klasik şebekelere göre daha hızlı ve güvenilir bir şekilde toplanması,

sayaçlara erişim olduğu takdirde uzaktan incelenebilir. Böylece kaçak veya usulsüz bir tüketim olup olmadığı uzaktan kontrol edilerek anında müdahale edilebilir [23].

Akıllı sayaçlar, haberleşme ünitelerine bağlı olduğunda sorunsuz RS-485 bağlantısı ile veri aktarımı sağlayarak veriyi her türlü belirleyebilme özelliğine sahiptirler. Literatürde sayaçlar çalışma prensibine göre mekanik ve elektronik olarak ikiye ayrılır. Bağlantı şekline göre ise tek fazlı veya 3 fazlı sayaçlar olarak iki gruba ayrılır. Akıllı sayaçlar ise üzerinde yapılan tüm işlemleri belleğine kaydederek ve farklı haberleşme yöntemlerinde kullanılabilirliği olması açısından oldukça zengin bir yapıya sahiptir [24].

3.7.Akıllı Sayaçlar ile Kaçak Elektrik Kontrolü ve Takibi

Akıllı sayaçlar ile elektrik dağıtım şebekelerindeki tüketicilere ait tüm veriler tek tuşla kısa sürede ulaşılabilir yapıdadır. Elektrik dağıtım şebekelerinde anlık enerji takibi yapılarak usulsüz enerji kullanımını engelleyerek enerji hatlarında ortaya çıkan kayıp kaçak takibi kolaylıkla yapılmaktadır. Bu uygulamalar; iş yoğunluğunu büyük ölçüde azaltarak zaman ve ekonomi yönünden tasarruf sağlar. Bu sayaçlar, verilerin büyük ölçüde ulaşılmasına olanak sağlar. Bölgesel olarak enerji kaybını da ortaya çıkarır. Ayrıca, elektrik dağıtım şebekelerinde akıllı şebekeler ile gerçek zamanlı güvenilir enerji ölçümleri, elektrik yükünü ve yük dengesi için güç fiyat belirlenmesinde önemli rol oynar [25].

Haberleşmenin sorunsuz bir şekilde yapılabilmesi sistemde kullanılan veri toplayıcı, aktarıcı, ara bulucu görevi yapan tüm cihazlar ile iletişim kurulmasıyla gerçekleşir. Veri toplama, aktarma işlevleri akıllı şebekeler ile sistemde kullanılan cihazların sistemle koordinasyonunu sağlayacak yazılımın yapılması gerekir. Sahaya takılan sırasıyla Router, Gateway, ana dağıtım sayaç, abonelere takılan modemler ve sayaçlar enerjilendirildikten sonra yazılımda aktif bir şekilde erişiminin sağlanıp uzaktan tüm müdahalelerin oluşturulması oldukça önemlidir. Oluşturulan yeni sistemlerde kısa süreden geçen gerilim, endeks ve akım verileri ile bilgileri yönetebilir, depolayabilir, fatura hesaplayabilir, hat kaybı hesaplayabilir ve veri analizi yapılabilir, kaçak elektrik kontrolü oldukça rahatça yapılabilir.

Elektrik dağıtım şirketlerinde kayıp-kaçak analizi yapılmasına öncülük eden EPDK'nın düzenlemiş olduğu "Elektrik Piyasası Tüketici Hizmetleri Yönetmeliği"

Yedinci Bölümünde,

“Kaçak elektrik enerjisi tüketimi halleri

MADDE 42 – (1) Gerçek veya tüzel kişinin kullanım yerine ilişkin olarak;

a) Perakende satış sözleşmesi veya ikili anlaşma olmaksızın dağıtım sistemine müdahale ederek elektrik enerjisi tüketmesi,

b) Perakende satış sözleşmesi veya ikili anlaşması mevcutken ayrı bir hat çekmek suretiyle dağıtım sistemine müdahale ederek sayaçtan geçirilmeksizin elektrik enerjisi tüketmesi,

c) Perakende satış sözleşmesi veya ikili anlaşması mevcutken sayaçlara veya ölçü sistemine müdahale ederek, tüketimin doğru tespit edilmesini engellemek suretiyle, eksik veya hatalı ölçüm yapılması veya hiç ölçülmeden veya yasal şekilde tesis edilmemiş sayaçtan geçirilerek, mevzuata aykırı bir şekilde elektrik enerjisi tüketmesi,

ç) Dağıtım lisansı sahibi tüzel kişinin ilgili mevzuata uygun olarak kestiği elektrik enerjisini, mücbir sebep halleri dışında açması,

kaçak elektrik enerjisi tüketimi olarak kabul edilir.”

Maddesi gereğince belirtilen bentlerdeki durumlar söz konusu olunca kaçak elektrik kullanımı söz konusu olur [26]. Bu durumları göz önünde bulundurarak akıllı sayaçlarla uzaktan daha kolayca kaçak elektrik tespiti yapılır. Kaçak elektrik tespitini mevzuat gereğince sırasıyla yorumlarsak;

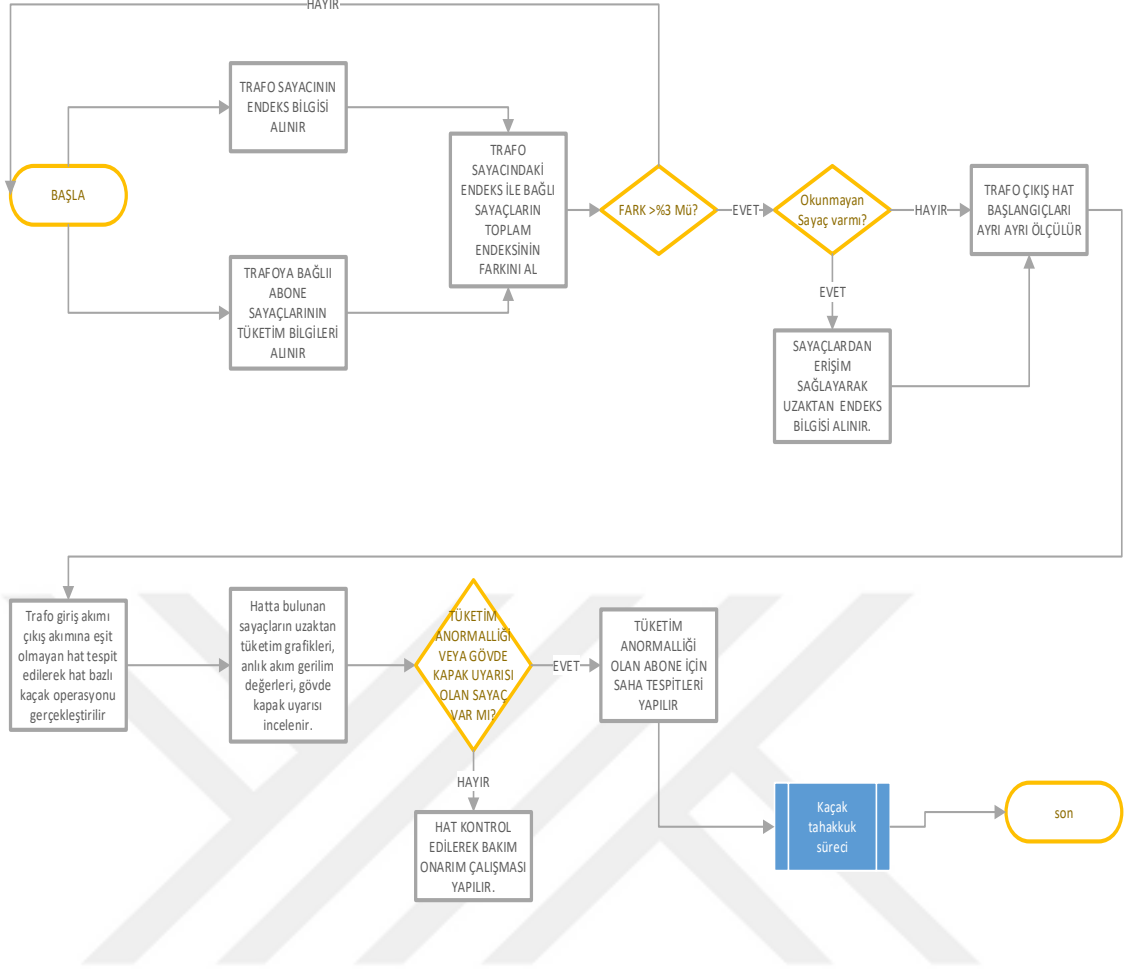
1. (a) bendinde perakende satış sözleşmesi veya ikili anlaşma olmaksızın yani abonesiz bir şekilde elektrik kullanımını önlemek için akıllı şebekelere ilk adım atılırken montaj esnasında aboneli ve abonesiz sayaç takibi akıllı sayaçlara ait merkezden(uzaktan) kontrol edilen bilgisayar uygulamasında aktifleştğinde aboneli sayaç MBS ile entegrasyon sağlanarak aboneli olduğu tespit edilir. Entegrasyonu sağlanmayan sayaçlar ise abonesiz sayaç olarak kabul edilir. Abonesiz sayaç olması dağıtım şirketini artık klasik şebekeye göre enerji kaybı olarak adlandırıldığı söylenemez. Çünkü artık akıllı şebekeler ile sayaca erişim olduğu takdirde abonesiz sayaç üzerinde bulunan aktif elektrik tüketimi(kwh) uzaktan kontrol edilir.
2. (b) bendinde perakende satış sözleşmesi veya ikili anlaşması mevcutken ayrı bir hat çekmek suretiyle yani aboneye dağıtım hattından gelen enerjiiyi ölçen sayaca mani olarak dağıtım hattından direk ölçmeden harici bir hat çekerek saycın

ölçmesine engel olduğunu uzaktan akıllı sayacın tüketiminin olmadığı görülür. Harici hat ile çok farklı kaçak elektrik kullanma yöntemi olabilir. Bazı aboneler sayacı tamamen devre dışı bırakabilir. Bazı aboneler ise günün bazı saatlerinde özellikle enerjinin aktif kullanıldığı akşam saatlerinde harici hat çekerek sayacı devre dışı bırakarak tüketimi engelleyebilir. Bu durumlarda akıllı şebekelerin avantajı olan uzaktan çok kısa sürede sayacın tüketim grafiğine bakılır. Akşam saatlerinde tüketim düşüşü olursa harici hat kullanımı olabilir.

3. (c) bendinde sayaca herhangi bir müdahale olup olmadığını yine uzaktan akıllı sayaçlar ile sayacın gövde kapağının açılması durumu, sayacın erişim kesme durumu, göz önünde bulundurularak ilgili sayaca sahada kontrol sağlatılır. Böylece kısa sürede kaçak elektrik kullanımı tespit edilir.
4. (d) bendinde ise enerjisi kesilmiş olan sayacın tüketiminin olmaması gerekirken sayaçta tüketim olması durumunda akıllı sayaçlarda uzaktan sayaç endeks okuması yapılarak ilgili kaçak faturası oluşturulur. Akıllı şebekeler ile artık bu sayaçlara yerinde bizzat sayacı kontrol etmeye gerek kalmamıştır.

Böylece akıllı şebekeler ile kaçak elektrik kullanımı tespiti klasik şebekeye göre kolayca yapılır. Kaçak elektrik tespitinden sonra tutanaklar tutulur. Mevzuat gereğince hesaplamalar yapılır. MBS' ye işlenir.

Akıllı sayaçlarla kaçak elektrik kontrolü ve takibi Şekil 2.6'da yer alan akış diyagramı ile gösterilmiştir.



Şekil 3. 6: Akıllı sayaçlar ile kaçak elektrik kontrolü ve takibi

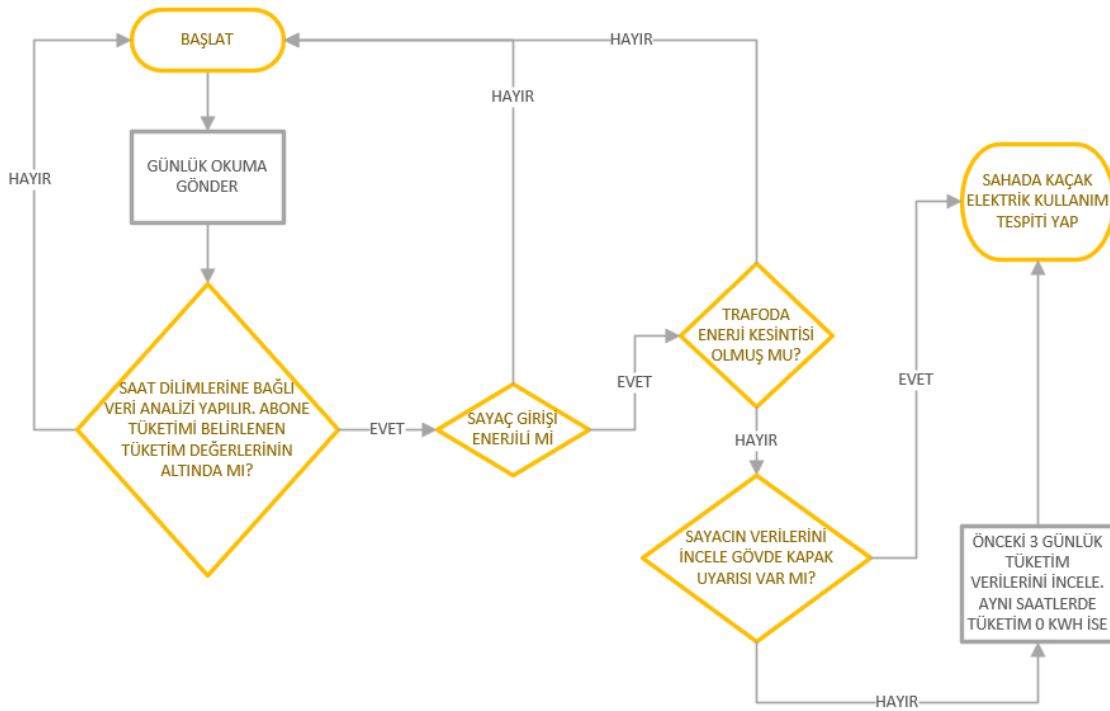
Akış diyagramında belirtildiği üzere öncelikle trafonun ana dağıtım sayacı okunur. Ardından trafoya bağlı abonelerin sayaçları okunur. Trafo sayacındaki endeks ile bağlı olan sayaçların toplam endeksinin farkı alınır. Eğer fark %3 yani teknik kayıptan büyükse trafoya bağlı sayaçlardan endeksi alınamayan yani erişimi olmayan sayaç tespit edilir. Sayaçta arıza varsa giderilir. Endeks bilgisi alınır ve fark yeniden hesaplanır. Eğer endeks bilgisi alınamayan sayaç yoksa trafo çıkış hat başlangıçlarının akımları ayrı ayrı ölçülür. Ölçüm sonucu giriş akımı çıkış akımına eşit olmayan hattaki sayaçların tüketim grafikleri, gövde kapak uyarıları, anlık akım ve gerilim değerleri uzaktan tespit edilir. Eğer bu tür durumlar söz konusu değilse hat kontrol edilerek bakım onarım çalışması yapılarak sorun giderilir. Ancak eğer varsa ortaya çıkan anormallikler doğrultusunda saha tespitleri yapılır. Kaçak tahakkuk süreci başlar. Böylece kaçak elektrik kontrolü bu şekilde olur.

Dağıtım şirketleri her ay TEİAŞ'tan alınan enerjiyi abonelere kayıpsız bir şekilde ulaştırmayı ve abonelerden kayıpsız bir şekilde faturalandırmayı esas alır. TEİAŞ'tan

alınan enerjiyi abonelere dağıtım yaparken oluşan teknik kaybı belirlemek için trafo merkezlerine analizör yerleştirilir. Abonelere enerji dağıtımını sağlayan dağıtım trafolarına ise dağıtım sayacı takılır ve abonelerde bulunan ölçüm sayaçları ile faturalandırma yapılır. Yapılan faturalandırma sonucu alınan enerjiyi %100 karşılması imkansızdır. Karşılanamayan kısım yani kayıp ve kaçak elektrik enerjisinin minimuma indirilmesi akıllı sayaçlar ile daha kolaydır.

3.8.Akıllı Sayaçlar ile Kaçak Elektrik Kontrol Metodolojisi

Akıllı sayaçların kayıp kaçak kontrolü öncelikle trafo bazlı ardından abone bazlı olarak takip edilmektedir. Trafo sayacındaki endeks ile bağlı olan sayaçların toplam endeks farkı %3 yani teknik kayıptan büyük olduğu durumlarda trafoya bağlı sayaçların erişim sorunları çözülür ve sonrasında sayaçların tüketim grafikleri uzaktan incelenir. Kaçak elektrik enerjisinin tespit metodolojisi Şekil 2.7’de yer alan akış diyagramı ile gösterilmiştir.



Şekil 3. 7: Abone bazlı tüketim grafiğinin akış diyagramı ile kontrolü

Bu metodolojide, insanların ev-iş yaşam koşulları göz önünde bulundurularak belirli zaman dilimlerinde trafo tüketim değerleri ile tüm abone tüketim değerlerinin kıyaslanarak incelenmesini içerir. Tespit edilen olağan dışı tüketim değerlerinde ise aboneye ait tüketimin dökümü alınır ve incelenir.

Akış diyagramına göre belirli saat dilimlerindeki abone tüketimi belirlenen tüketim değerlerinin altındaysa ilk incelenen durum “Sayaç enerjili mi?” olur. Eğer sayaç enerjiliyse tüketim değerinin 0 kwh olduğu saat diliminde “Trafoda enerji kesintisi olmuş mu?” sorusu sorulur. Trafoda enerji kesintisi olmamasına rağmen sayacın tüketim değeri 0 kwh ise bir anormallik olduğu düşünülür. Burada sayacın gövde kapak uyarısının olup olmadığı incelenir. Sayaçta gövde kapak uyarısı varsa kaçak elektrik kullanımı tespit edilir. Eğer gövde kapak uyarısı yoksa geçmiş tüketimlerine bakılır. Aynı saat diliminde enerji kesintisi yaşanmışsa şebekeye müdahale ederek harici bir hat bağlanıldığı düşünülür. Saha kontrolleri ile durum doğrulanır. Böylece kaçak elektrik kullanımının tespiti akıllı şebekelerde bu metodolojiyle doğrulanır.





4. BULGULAR

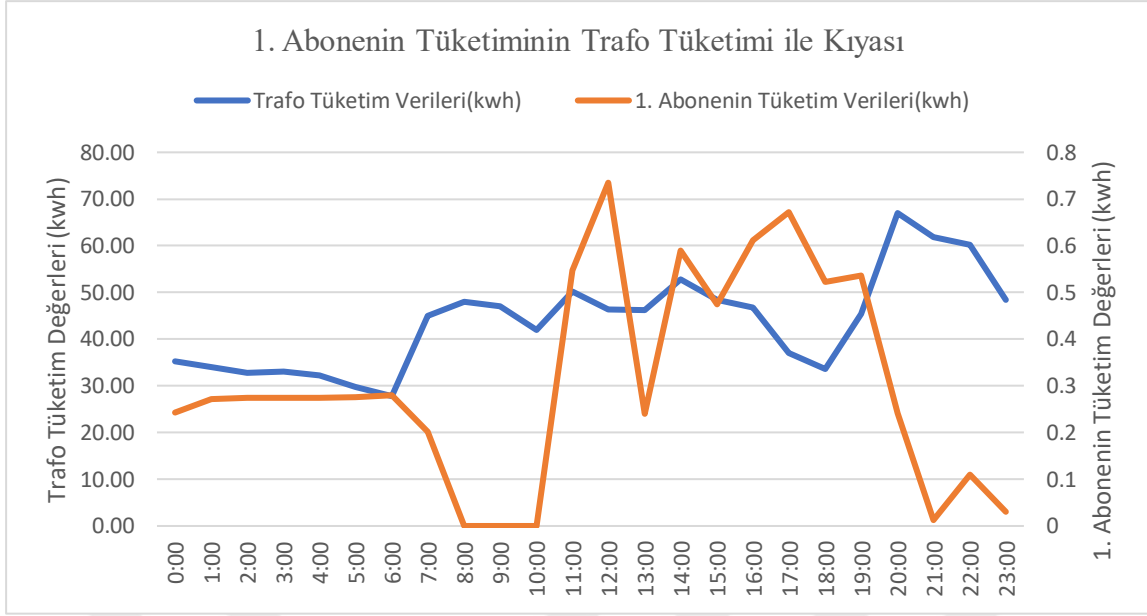
4.1. Akıllı Şebekeler ile Kayıp-Kaçak Analizi

Tezin bu kısmındaki bulgular ile pilot bölge çalışmaları incelendiğinde, akıllı şebeke uygulamaları ile kayıp-kaçak oranının azalacağı görülecektir. Çünkü bu uygulamalar tüketicilerin kullandığı elektrik enerjisinin tüketim eğrilerinde belirli durumlarda yükseldiği veya azaldığı görülerek gerçek zamanlı şekilde karşılaştırılır. Böylelikle trafo enerji tüketim eğrileri ile ve tüketicinin tüketim eğrileri kıyaslanarak trafo veya tüketici bazlı kaçak takibi sağlanabilmektedir. Dağıtım şebekelerindeki kayıp-kaçak oranı uzaktan kontrol sistemleriyle azalmaktadır. Enerji verimliliğinin artırılması hususunda önemli rol oynar [27].

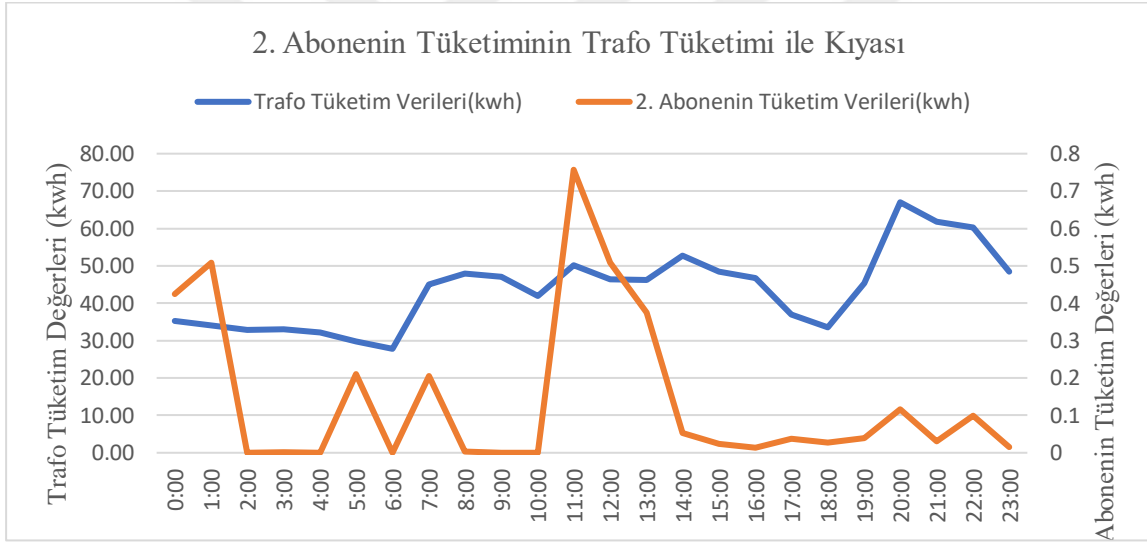
Bu çerçevede, akıllı şebeke uygulamalarında ve akıllı sayaçların aktifleşmesi ile elektrik şebekesindeki kayıp-kaçak oranının düşürülmesini sayısal bir biçimde gösterebilmek adına pilot bölgedeki akıllı şebekeler ile enerji talebindeki artış durumu, elektrik enerjisi fatura durumu, elektrik abone sayısındaki artış, yıllara göre kayıp-kaçak yüzdeleri çalışmaları ve çeşitli projeksiyonlar ortaya konulmuştur.

Yapılan çalışma sonuçları sırasıyla:

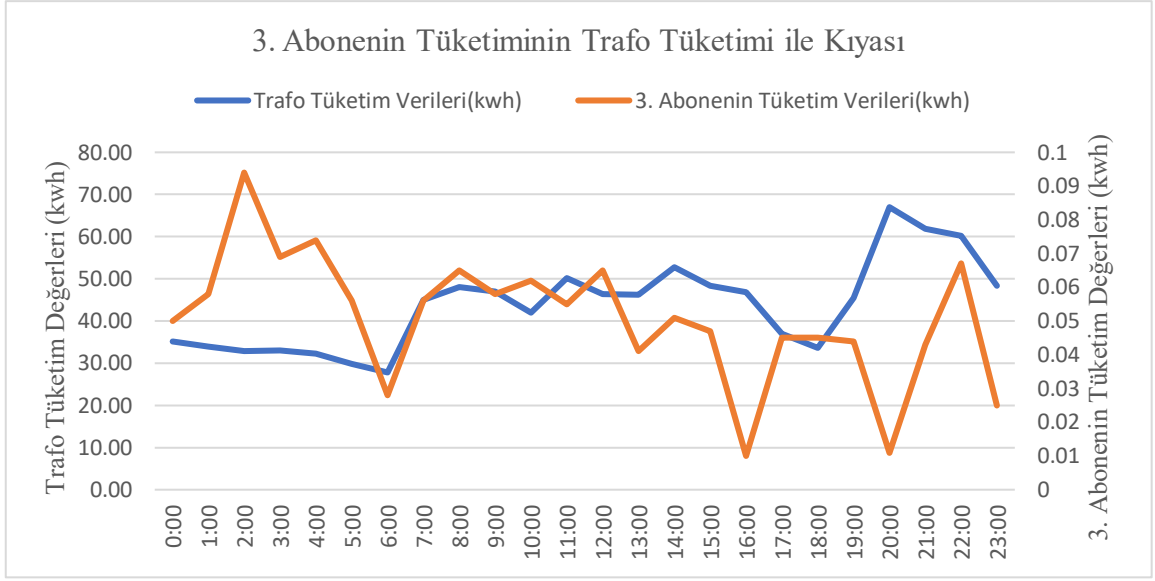
1. Akıllı şebekelerin aktif hale gelmesiyle kayıp kaçak takibi trafo bazlı olarak yapılmıştır. Seçilen bir trafo bölgesinde öncelikle trafoya bağlı sayaçların günlük tüketim grafiğine bakıp ve ardından trafonun kayıp oranını gösteren grafik ile karşılaştırarak akıllı şebekelerin faydaları görülmektedir. Buna göre olağan dışı tüketim değerleri tespit edilen 4 abonenin bireysel dökümleri incelenerek kaçak tespiti yapılmıştır.



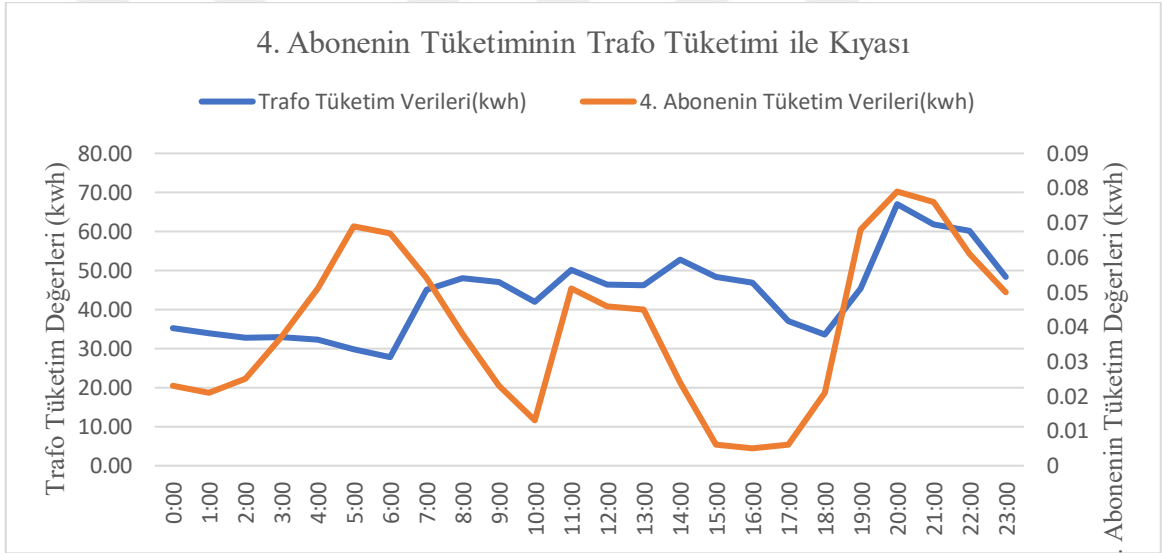
Şekil 4. 1: 1. Abonenin tüketim kıyas grafiği



Şekil 4. 2: 2. Abonenin tüketim kıyas grafiği



Şekil 4. 3: 3. Abonenin tüketim kıyas grafiği



Şekil 4. 4: 4. Abonenin tüketim kıyas grafiği

A trafosunun bir günlük tüketim grafiği göz önünde bulundurulduğunda 1,2,3 ve 4 numaralı abonelere baktığımızda tüketilen enerjinin trafoya göre;

- 00.00-07.00 saat diliminde abone tüketimlerinin aynı saat diliminde trafo minimum tüketim ortalaması altında kaldığı ve 2. abonede 02.00-04.00 saat diliminde 0 kwh olduğu görülmektedir. Sayaç verileri incelendiğinde saatleri arasında trafoda veya sayaçta herhangi bir enerji kesintisi olmamasına rağmen tüketilen enerjinin olmadığı görülmektedir. Sayaç verilerine bakıldığında sayacın gövde kapak uyarısı olmadığı belirlenmiştir. Önceki 3 günlük tüketim durumuna bakıldığında aynı saat diliminde 0 kwh enerji tüketimi görülmüştür.

Tüketimin olmadığı saatler göz önünde bulundurularak sahada yapılan tespitler sonucu harici hat çekildiği anlaşılmıştır. 3.ve 4. Abonenin sayaç verileri incelendiğinde sayaçlarda çok az tüketim olmasına karşın sayaçta hafıza sorunu yaşandığı tahmin edilerek sayaç verileri incelenmiştir. Sayaçta gövde kapak uyarısı olduğu görülmüştür.

- 07.00-18.00 saat diliminde abone tüketimlerinin aynı saat diliminde trafo minimum tüketim ortalaması altında kaldığı; 1. abonenin 07.00-10.00 saat dilimi arasında 0 kwh olduğu görülmektedir. Bu saat diliminde trafoda veya sayaçta herhangi bir enerji kesintisi olmadığı teyit edilmiştir. Sayaç verilerine bakıldığında sayacın gövde kapak uyarısı olduğu tespit edilmiştir.
- 18.00-00.00 saat diliminde 1., 2. ve 3. aboneye ait tüketimlerinin aynı saat diliminde trafo minimum tüketim ortalaması altında kaldığı; 1. ve 2. abone verilerinde 0 kwh enerji tüketimi görülmüştür.

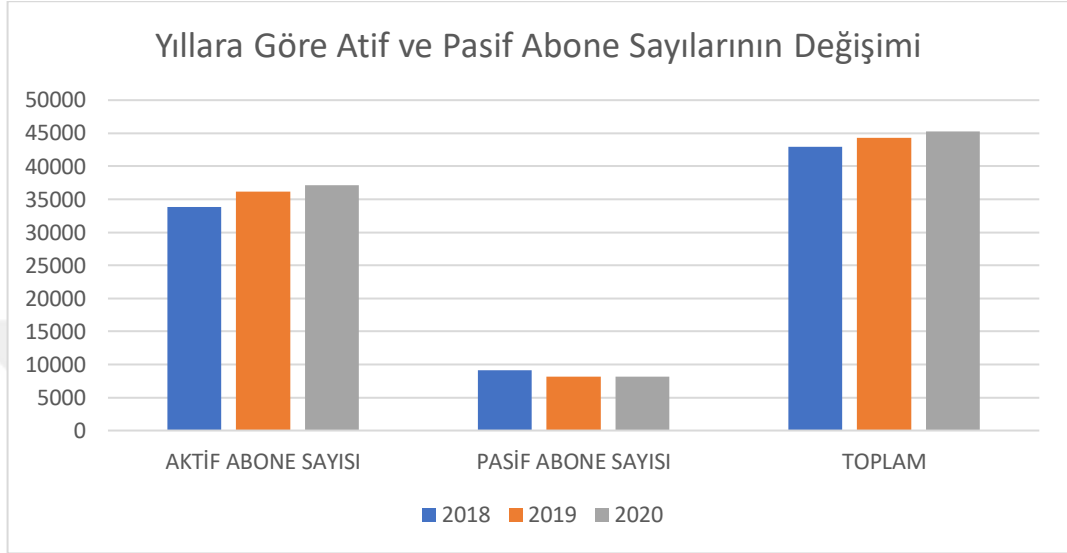
2. Akıllı şebekelerin uygulandığı pilot bölgenin belirli bir bölgesinde 2018 yılında PLC sayaç değişimleri yapılmıştır. Bu nedenle PLC sayacın şebekede bulunmadan ve şebekede bulunduktan sonraki durumların doğru kıyaslanması için şebekede PLC sayaç bulunmadan önceki 2018 yılı ile PLC sayaç takıldıktan sonraki 2019,2020 yıllarının abone sayısı ve oluşturulan fatura sayıları dikkate alınarak karşılaştırmalar yapılmıştır.

Tablo 4. 1: Yıllara Göre Aktif ve Pasif Abone Sayısı

YILLAR	AKTİF ABONE SAYISI	PASİF ABONE SAYISI	TOPLAM
2018	33843	9096	42939
2019	36142	8144	44286
2020	37099	8146	45245

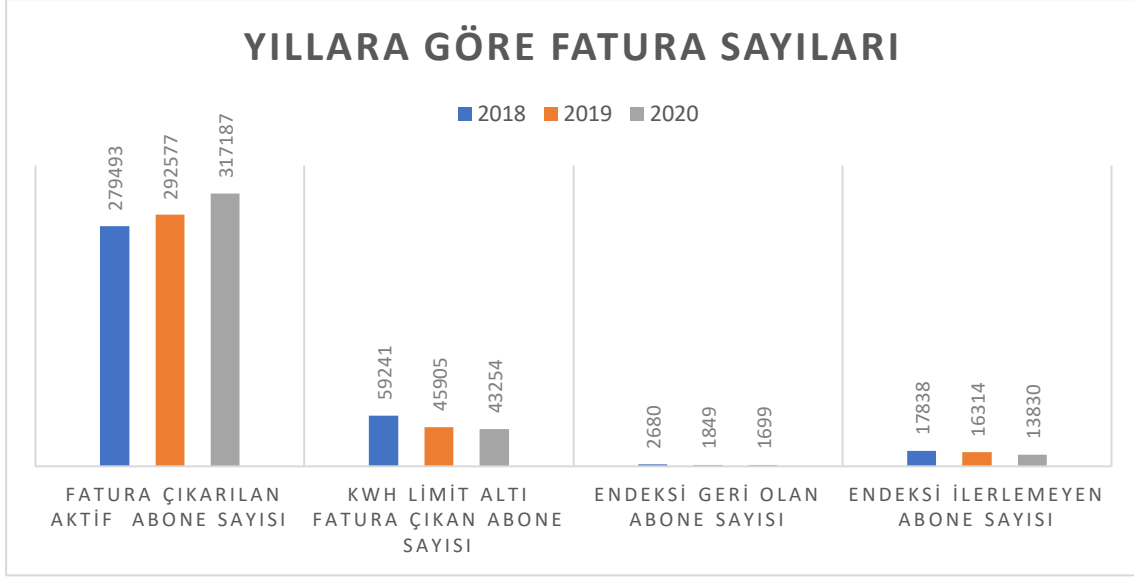
Tablo 4.1’de görüldüğü üzere akıllı şebekelerin uygulandığı pilot bölgede 2018 yılında 42.939 abone bulunmaktadır. Aktif olan abone sayısı 33843, pasif abone sayısı 9096’dır. Günümüzde her geçen gün enerji artışının olmasıyla dağıtım şirketlerinin abone sayısının artışı olası bir durumdur. Ancak akıllı şebekeler aktif olarak uygulanmaya başlandıktan sonra Tablo 1’de belirtilen 2019, 2020 yıllarında aktif abone sayısı

artarken pasif abone sayısı azalmaktadır. Burada pasif abone sayılarının azalması akıllı şebekeler ile sağlanmıştır. Pasif abone sayılarının azalması ile kayıp olan enerjinin tespiti akıllı şebekeler ile daha kolaylaşmıştır. Abonesiz tespiti yapılarak pasif olan abonelerin aktif aboneye teşviki sağlanarak enerji kaybı engellenmiştir. Aşağıdaki grafiklerde oluşan değişimler verilmiştir.



Şekil 4. 5: Akıllı şebekeler ile abone sayısındaki değişim

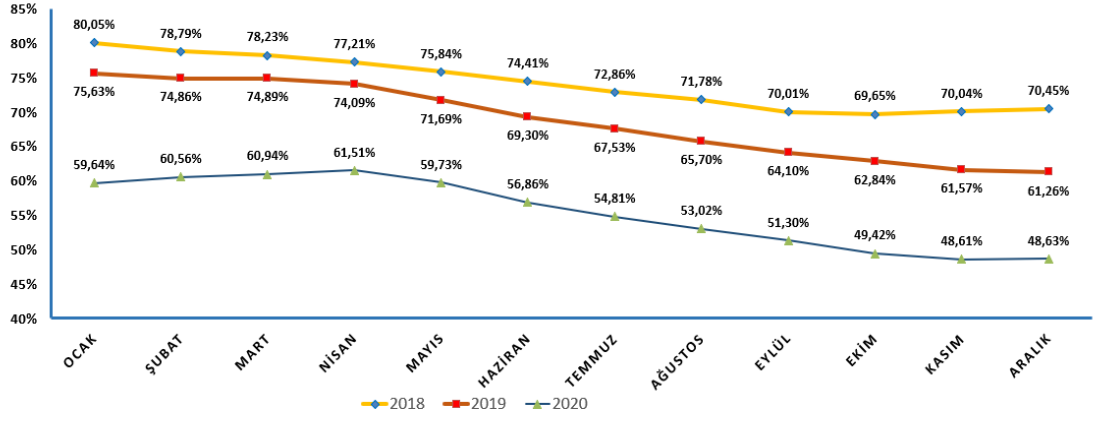
3. PLC sayaçların takıldıktan sonra haberleşme ağının sorunsuz bir şekilde çalışması sağlanır. Haberleşme ağı sorunsuz bir şekilde çalışması ile sahada takılan tüm sayaçlara erişim %100 olmalıdır. Böylece bölgede bulunan tüm aboneli sayaçların aylık dönem faturaları uzaktan minimum 20 dakikada oluşturulur. Akıllı şebekelerin sağladığı kolaylıkla artık zamandan tasarruf sağlanmış olur. Aşağıdaki grafikte yıllara göre abonelere çıkarılan fatura sayıları detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 4. 6: Akıllı şebekeler ile fatura sayılarındaki değişim

Grafiğe baktığımızda fatura çıkarılan yani enerjisi tahakkuk edilen abone sayıları akıllı şebekelerin uygulanmasıyla 2020 yılında 2018 yılına göre %11 lik artış olmuştur. Kwh limit altı, endeksi geri olan ve endeksi ilerlemeyen abone sayıları ise yıl geçtikçe azalmıştır. Akıllı şebekeler uygulandıkça enerji kaybı grafiklerde de görüldüğü üzere azalır. Alınan veriler üzerinden yapılan hesaplamalara göre 2018 yılında akıllı şebeke uygulamaları başlamadan önce ölçülen enerji 80.162.980 kwh, 2019 yılında 92.958.724 kwh, 2020 yılında 105.375.317 kwh olduğu tespit edilerek faturalandırma artışı %24 olduğu belirlenmiştir.

4. Son olarak akıllı şebekelerin uygulandığı pilot bölgesinin yıllara göre kayıp kaçak oranının azaldığını görmek aşağıdaki Şekil 3.7 ve önceki grafiklerle de anlaşılacaktır. Akıllı şebekelerin sağladığı kolaylıklarla enerji verimliliğinin artması açıkça görülmektedir.



Şekil 4. 7: Yıllara göre ay bazlı kayıp-kaçak oranı



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1.Sonuçlar

Hemen her sektör gibi enerji sektörü de teknolojik gelişmeler, değişen ihtiyaçlar ve artan talepler nedeniyle değişime uğramıştır. Bu durumda ihtiyaçları yeterince karşıladığı düşünülen enerji üretim, iletim ve dağıtım sistemleri artık günümüz koşullarına uyum sağlayamamakta, çağın ihtiyaçlarına cevap verecek şekilde gelişmesi gerekmektedir. En çok da elektrik dağıtım şebekelerinde mevcut şebekeler kayıpları dizginleyemediği ve yeni teknolojiler karşısında yetersiz kaldığı için çift yönlü enerji akışına izin veren, takibi kolay, hızlı müdahale olanağı taşıyan akıllı şebekeler geleceğin enerji iletim ve dağıtım standartlarına yön verecektir.

Akıllı şebeke uygulamaları bu tez çalışması kapsamında, ülkemizde gerçekleştirilmiş pilot bölgedeki proje çalışması incelenmiş olup, elde edilen sonuçlar ve önemli bulgular derlenerek aşağıda verilmektedir:

- Trafo bazlı kayıp kaçak çalışması ile trafo giriş akımı çıkış akımına eşit olmayan hat boyunca bulunan abonelerin tüketim eğrileri incelenmiştir. Seçilen 4 abonenin 0 kwh enerji tüketiminin olduğu saat dilimleri incelenmiştir. Yapılan tespitlerde uzaktan sayaç verisi okumalarında gövde kapak tespiti ve saha kontrolünde kaçak hat çekimi tespit edilen abonelerin kaçak kullanımı teyit edilmiş ve metodun etkin şekilde uygulamada sonuç verdiği görülmüştür.
- Sürekli artan abone sayısı göz önünde bulundurulduğunda akıllı sayaçlar ile tüketim takibi sorunsuz bir şekilde gerçekleştirilmiş %24 lük bir artış olduğu tespit edilmiştir.
- Akıllı şebeke uygulamaları ile %74,14'ten %55,42 oranına azaltılarak kayıp kaçak oranının düşürülmesine yönelik hedefe ulaşılmıştır. Böylelikle elektrik tüketim miktarları belli noktalarda gerçek zamanlı kıyaslanmış, trafo ve mesken bazlı kaçak takibi sağlanmış ve elektrik kayıp-kaçak oranı azaltılmıştır.

Akıllı şebeke sistemlerinde uzaktan enerji açma, kesme, faturalandırma işlemleri yapılmaktadır. Kayıp-kaçak analizini trafo bazlı olarak çalışıldığında dağıtım sistemleri bir bütün halinde ele alınmaktadır. Bir trafoya ait abonelerin tüketim grafikleri

incelenerek kaçak elektrik kullanımını yapıldığına dair tahminler yürütülebilir. Örnek olarak verilen 4 abonenin tüketim grafiklerindeki kritik pik noktaları baz alınarak kaçak elektrik kullanım tahmini üzerinden tespitler yapılmaktadır. Ardından saha çalışmalarıyla kaçak elektrik kullanımını netleştirilir böylece mevcut şebekelere göre daha stratejik yollarla kayıp kaçak analizi ve takibi yapılır. Bunun yanı sıra pilot bölgenin akıllı şebeke uygulamalarından önceki ve sonraki gelişmeler grafikler halinde verilmiştir. Grafiklerden ve tablolardan çıkarılan sonuç; artan enerji talebini karşılayan enerji durumu mevcut şebekelere göre akıllı şebekeler ile kayıp azaltılarak tüketiciye daha verimli bir enerji dağıtılması sağlanır.

Akıllı şebeke uygulamaları yapılan pilot bölgede referans alınan makaleden yola çıkılarak 2018 yılında ortalama kayıp kaçak oranı %74,11 iken 2019 yılında %68,62, 2020 yılında %55,42 olduğu hesaplanmıştır. Böylece akıllı şebeke uygulamaları ile kayıp kaçak oranının azaldığı görülmüştür [27].

5.2.Öneriler

Bu tez kapsamında akıllı şebekeler ile dağıtım trafo çıkış hatlarının enerjisiz bekletilmemesi, iletim hatlarında uygun malzeme kullanılması, kablo ve kondansatör yalıtkanlarının uygun seçilmesi, reaktif güç kompanzasyonu ile tedbir alınması, çift devreli hatların aynı anda enerjilendirilmesi, akım trafolarının dağıtım trafo çıkışına uygun olarak seçilmesi kayıp kaçak oranının azaltılmasını sağlar.

Akıllı şebekeleri oluşturan yapılarda modem, sayaç, gateway ve router elemanlarının ülkemizdeki mevcut şebekeye uygun olacak şekilde tasarlanmalıdır. Dağıtım elektrik şebekelerinin bulunduğu noktalarda gürültünün fazla olmasıyla akıllı şebekelerde bağlantı kopukluğu olabilir. Bu durumlarda bağlantı kopukluklarını gidermek için trafoda bulunan router ve gateway dışında birer tane daha takım oluşturulup gürültünün fazla olduğu noktalara yerleştirilebilir.

Bunların yanı sıra mevcut şebekeye uygun bir şekilde akıllı şebeke sistemlerinin oluşturulması için yerli ürünler geliştirilebilir. Bu sistemlerde kullanılan akıllı sayaçların kullanılabilirliği açısından oluşturulan bilgisayar programlarının da dışa bağımlılığı azaltma, ithal ürün maliyetlerinin yüksek olma durumu, iletişim haliyle zaman kaybına sebep olma durumlarını göz önünde bulundurulursa yerli programlar kurularak akıllı şebeke sistemlerinin ülkemizin öz kaynakları ile yönetilmesi en ideal tercih olduğu öngörülmektedir.

Bu tez çalışmasında olarak elektrik iletim ve dağıtım sistemindeki kayıp-kaçak oranlarının düşürülmesi için akıllı şebekelerin uygulandığı pilot bölgede kaçak elektrik kullanımını ile mücadele hususunda aşağıdaki kalemlerdeki çalışmalar yapılabilir:

- Kaçak elektrik hat bağlantısı için uzaktan saha takibi ve kontrolü
- Ölçü sistemlerinin akıllı şebekelere uygun geliştirilmesi
- Dağıtım trafosunun çıkış hatlarının ölçülendirilmesi
- Reaktif güç kompanzasyonu
- Gerilim yükseltilmesi
- Yük dengeleyici ve şebekenin yeniden yapılandırılması
- Dağıtım son kullanıcı bağlantılarının yenilenmesi
- Dağıtık üretim tesislerinin şebekeye ilave edilmesi

Abone bilgi, ölçüm ve faturalama verilerinde sıkıntılar olduğunda yukarıda belirtilen çalışmalar ile gelişmiş bilgi teknoloji çözümleri uygulanarak gerçek zamanlı akıllı şebeke uygulamaları gerçekleştirilmektedir.



KAYNAKÇA

- [1] “Elektrik”, <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik> , 2023.
- [2] Bhattarai, B.P., Transmission line ampacity improvements of altalink wind plant overhead tie-lines using weather-based dynamic line rating, IEEE Power&Energy Society General Meeting, (s. 1-5). Chicago, IL,2007.
- [3] Muhammed Y., “AKILLI ŞEBEKELRDE (Smart Grid) DAĞITIM SİSTEM OTOMASYONDAKİ GELİŞMELER”, Lisans bitirme tezi, Karabük, 2016.
- [4] S. Massoud Amin., B.F. Wollenberg., “Toward a Smart Grid: Power Delivery for the 21 st Century” IEEE Power and Energy Magazine, 2005.
- [5] Smart Grid, Akıllı Şebeke <http://www.guneshaber.net/haber/891-uygulamalar-smart-gridakilli-sebeke.html> .
- [6] The Smart Grid: An Introduction, www.oe.energy.gov/SmartGridIntroduction.html .
- [7] Kırmızıoğlu E., Ülkemizin 2023 Stratejik Vizyonu Doğrultusunda Akıllı Şebekeye Geçilmesi İçin Öneriler. 2022 Yılı Cumhurbaşkanlığı Yıllık Programı Enerji Sektörü Özet Raporu, s: 7, Uluslararası İstanbul Akıllı Şebekeler Kongre ve Fuarı, İstanbul, 2014.
- [8] Behçet K., “Akıllı Şebekeler ve Mikro Şebekelerde Enerji Depolama Teknolojileri”, Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, c. 2, sy. 1, ss. 119–127, 2013.
- [9] Çiğdem C., Serdal A., Şakir P., Olcay P., Emin EL. “Akıllı Sayaçların Şebeke Entegrasyonu Ve Türkiye Uygulaması”, 1.Uluslararası Avrasya Sorunları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 2015.
- [10] 2022 yılı Elektrik Piyasası Gelişim Raporu, <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-24-3/elektrikyillik-sektor-raporu> .
- [11] <https://www.teias.gov.tr/sayilarla-elektrik-iletimi> .
- [12] 2021 yılı Elektrik Dağıtım Sektör Raporu, https://www.tedas.gov.tr/#!/Sektor_rapor .
- [13] Bilal D., Türkiye elektrik iletim ve dağıtım şebekesinin enerji verimliliğinin değerlendirilmesi ve 2023 projeksiyonları, Politeknik dergisi, sy. 3, s:621-632, 2018.
- [14] Türkiye Akıllı Şebekeler 2023 Vizyon ve Strateji Belirleme Projesi, <https://www.elder.org.tr/Content/yayinlar/TAS%20TR.pdf> .
- [15] İklim Elçileri COP28 Bildirisi, <https://www.acibadem.edu.tr/sites/default/files/document/2023/iklim-elcilericop28-bildirisi-min.pdf> .
- [16] EPDK, “Dağıtım Sistemindeki Kayıpların Azaltılmasına Dair Tedbirler Yönetmeliği”, Dördüncü Bölüm, Madde 11.
- [17] Akçin, M., Alagöz, B.B., Keleş, C., Karabiber, A. ve Kaygusuz, A., Dağıtık Kontrol ile Akıllı Şebekelerde Geniş-Alan Yönetimi ve Geleceğe Dönük Projeksiyonlar, SAÜ. Fen Bil. Dergisi, c. 17, sy. 3, s:457-470, 2013.

- [18] Bayındır, R., Demirtaş, K., Akıllı Şebekeler: Elektronik Sayaç Uygulamaları, Politeknik Dergisi, c. 17, sy. 2, s:75-82, 2014.
- [19] Barış Ö., “Uzaktan Enerji İzlemede En İdeal Haberleşme Yoluna Dair: Neden GSM?”, <https://gsl.com.tr/uzaktan-enerji-304zlemede-en-304deal-haberle351me-yoluna-dair-neden-gsm.html> , 2023.
- [20] Pınar U., İsmail T., “Akıllı Şebekelerde Haberleşme Teknolojisi Kullanımı” <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1318470> , 2021.
- [21] “Router Nedir?, Nerede Kullanılır?”, <https://www.iienstitu.com/blog/router-nedir-nerede-kullanilir> , 2020.
- [22] “IP Tabanlı Haberleşme ile Tasarruf Etmenin Yolları”, <https://gsl.com.tr/ip-tabanlı305-haberle351me-ile-tasarruf-etmenin-yollar305.html> , 2023.
- [23] Ömer U., Kıvanç S., Süleyman E., “Akıllı Sayaç Okunma Sistemleri için Alternatif İletişim Ağlarının Değerlendirilmesi”, https://www.emo.org.tr/ekler/2abe98632acad81_ek.pdf .
- [24] Deloitte Türkiye Yayınları, “Akıllı Sayaç Sistemleri, Avrupa Uygulamaları Analizi ve Türkiye Uygulamaları Üzerine Düşünceler” , Türkiye, Cilt 2, s:24, 2015.
- [25] Ateş Y., Uzunoğlu M., Yumurtacı R., “Dağıtık Üretim Tesislerinin Şebekeye Entegrasyonunda Akıllı Şebekelerin Rolü ve Gelecek Öngörülleri”, 4. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, 2011.
- [26] EPDK “Tüketici Hizmetler Yönetmeliği”, Yedinci Bölüm, 42. Madde.
- [27] Behçet K., “Teknik Olmayan Enerji Kayıplarının Azaltılmasında PLC Sayaçlarının Önemi”, BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, c. 7, sy. 2, s:220-230, 2018.

ÖZGEÇMİŞ

Büşra Nur ŞAHİN ilkokul ve ortaokulu Ağrı İlinde okudu. Lise öğrenimini Şemsi Türkmen Anadolu Lisesinde tamamladı. 2013 yılında Uludağ Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümüne başladı ve 2017 yılında mezun oldu. 2021 Yılında Yalova Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünde yüksek lisansa başladı.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYIN VE ESERLER

Kali, A. (2024), “Akıllı Şebekelerde Kayıp-Kaçak Analizi Ve Kontrolü,”. Dr. İlyas ERPAY(Ed.). 1. Bilsel International Korykos Scientific Researches And Innovation Congress, 27-28 Ocak, Mersin.

