



**AKILLI ŞEBEKE TEKNOLOJİLERİNİN İNCELENMESİ VE TÜRKiYE
AÇISINDAN DURUM ANALİZİ**

Ömer Faruk DEMİRKOL

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

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2019

Ömer Faruk DEMİRKOL tarafından hazırlanan “AKILLI ŞEBEKE TEKNOLOJİLERİNİN İNCELENMESİ VE TÜRKİYE AÇISINDAN DURUM ANALİZİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Mustafa BURUNKAYA

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

.....

Başkan: Prof. Dr. Murat YÜCEL

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

.....

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Derya YILMAZ

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Başkent Üniversitesi

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

.....

Tez Savunma Tarihi: 30/07/2019

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

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

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

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

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

Ömer Faruk DEMİRKOL

30/07/2019

AKILLI ŞEBEKE TEKNOLOJİLERİNİN İNCELENMESİ VE TÜRKİYE AÇISINDAN
DURUM ANALİZİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Ömer Faruk DEMİRKOL

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2019

ÖZET

Bu tez çalışmasında, geniş bir ölçekte “akıllı Şebeke” kavramı ve akıllı Şebeke teknolojileri incelenmiş olup, dünya genelinde yapılan çalışmalar ile uygulamalar araştırılmıştır. Akıllı Şebeke kapsamında; yenilenebilir enerji kaynaklarının artan kullanımı, elektrikli araçların yaygınlaşması ve bunların elektrik Şebekesine entegrasyonu konuları başta olmak üzere, akıllı Şebeke ile elde edilebilecek faydalar analiz edilmiştir. Bu çerçevede, yapılan tez çalışması sonucunda Türkiye’de yapılması gerekenlerin tartışılması, akıllı Şebeke ve beraberindeki hususlarda detaylı bilgiler ve sonuçlar ortaya konulması amaçlanmıştır. Tez çalışması kapsamında; öncelikle ulusal ve uluslararası literatür taraması yapılmıştır. Konu ile ilgili genel bir bilgilendirme ve giriş yapıldıktan sonra, dünyadaki akıllı Şebeke çalışmaları ve uygulamaları incelenmiştir. Daha sonra akıllı Şebeke teknolojilerine ilişkin çeşitli incelemeler ve nümerik karşılaştırmalar yapılmış olup, akabinde Türkiye’deki mevcut enerji sistemi ve elektrik Şebekesinin durumu analiz edilmiştir. Devamında, fayda-maliyet analizi yöntemleri ve Avrupa Birliği’ndeki yaygınlaştırma çalışmaları incelenmiştir. Bu aşamaların sonrasında, Türkiye’de yapılan uygulama çalışmaları ve pilot projeler araştırılmış olup, önem arz edebilecek somut saha verileri ve projeksiyonlar sunulmuştur. Tez çalışmasının sonucu olarak, akıllı Şebekeler alanında yapılması gereken uygulamalara, teknolojik seçimlere ve atılması gerekli adımlara dair çeşitli değerlendirmeler ile bulgular ortaya konulmuştur. Bu noktada, Türkiye’de yapılacak çalışmalara katkı sağlaması amacı ile “Örnek Bir Akıllı Şebeke Yol Haritası” ve “Örnek Bir Türkiye Akıllı Şebekeler Strateji Belgesi” hazırlanmıştır.

Bilim Kodu : 90502

Anahtar Kelimeler : Akıllı Şebeke, Yenilenebilir enerji, Şebeke entegrasyonu, Akıllı sayaç, Elektrikli araç, Akıllı Şebeke uygulamaları, Türkiye elektrik sistemi.

Sayfa Adedi : 189

Danışman : Doç. Dr. Mustafa BURUNKAYA

RESEARCHING OF SMART GRID TECHNOLOGIES AND ANALYSIS OF THE
SITUATION FOR TURKEY

(M. Sc. Thesis)

Ömer Faruk DEMİRKOL

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2019

ABSTRACT

In this study, on a large scale "smart grid" concept and smart grid technologies were researched and also studies and applications were investigated throughout the world. Within the scope of smart grid; the benefits of the smart grid, especially topics of the increase in the use of renewable energy sources, the widespread of electric vehicles and their integration into the electricity grid were analyzed. As a result of this work, it is aimed that various assessments and results were presented about smart grid and things that can be done in Turkey were discussed. In the thesis, primarily a national and international literature review was made. After a brief introduction and general information about the subject, smart grid studies and applications around the world were analyzed. Then, variety of studies and numerical comparisons of smart grid technology were made and the status of existing energy systems and electrical networks in Turkey were analyzed. Subsequently, the cost-benefit analysis methods and dissemination works in the European Union were analyzed. After these steps, practice studies and pilot projects in Turkey was researched to put forward tangible data and projections that might be important. As a result of the study, various assessments and findings about the things that needs that can be done on smart grid applications, technological choices and regarding the required steps were presented. At this point, "Example a Smart Grid Roadmap" and " Example a Smart Grid Strategy Document of Turkey" were prepared to provide added value to the work to be done in Turkey.

Science Code : 90502
Key Words : Smart grid, Renewable energy, Grid integration, Smart meter, Electric vehicle, Smart grid applications, Turkey electricity system.
Page Number : 189
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Mustafa BURUNKAYA

TEŞEKKÜR

Bu tez alıŐmasının hazırlanması sűresince yardımlarını esirgemeyen ve tecrűbesiyle beni yűnlendiren danıŐmanım Sayın Do. Dr. Mustafa BURUNKAYA'ya, Bakanlıkta gűrevli saygıdeėer alıŐma arkadaŐlarıma, maddi ve manevi destekleriyle her daim bana gű veren çok kıymetli aileme gűnűlden teŐekkűr ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. AKILLI ŞEBEKE KAVRAMINA GENEL BAKIŞ	7
2.1. Akıllı Şebeke Kavramı ve Tanımı.....	7
2.2. Akıllı Şebekenin Gerekliliği	8
2.2.1. CO ₂ azaltım hedefleri	10
2.2.2. Elektrikli araçların yaygınlaşması	13
2.2.3. Yenilenebilir enerji kaynaklarının artan kullanımı	16
2.3. Elektrik Sistemi Açısından Akıllı Şebeke.....	21
2.4. Akıllı Şebekenin Sağlayacağı Avantajlar	23
2.5. Akıllı Şebekelerden Akıllı Şehirlere	26
3. DÜNYADAKİ AKILLI ŞEBEKE ÇALIŞMALARI VE PİLOT PROJELERİ	29
3.1. Ülkelerin Genel Görünümü	29
3.2. Dünyada Yapılan Çeşitli Akıllı Şebeke Projeleri.....	32
3.2.1. İtalya telegestore projesi (2000–2005).....	33

	Sayfa
3.2.2. Malta enemalta projesi (2008 -2013)	34
3.2.3. İngiltere akıllı sayaçlara geçiş programı	34
3.2.4. Almanya Dena 1-2 proje çalışmaları	35
3.2.5. Model city of Mannheim / moma projesi.....	36
3.2.6. İspanya star, smartcity ve endesa projeleri	37
3.2.7. Hollanda	38
3.2.8. İrlanda	39
3.2.9. Danimarka	39
3.2.10. Amerika Birleşik Devletleri	40
3.2.11. Diğer ülkeler.....	42
4. AKILLI ŞEBEKE TEKNOLOJİLERİNİN İNCELENMESİ.....	43
4.1. Genel Bilgiler ve Kavramlar.....	43
4.1.1. Akıllı şebekelerde teknolojinin önemi ve öncelikli alanlar.....	43
4.1.2. Akıllı şebeke teknolojilerinin gelişim trendleri.....	44
4.1.3. Akıllı şebekeler için standart kavramı.....	47
4.2. Akıllı Sayaç Altyapısı	48
4.3. Akıllı Sayaç Sistem Topolojisi	51
4.3.1. Sayaç	52
4.3.2. Haberleşme altyapısı	54
4.3.3. Sayaç veri merkezi	58
4.4. Haberleşme Teknolojilerinin Nümerik Analizi	58
4.4.1. Kablolu teknolojiler	62
4.4.2. Kablosuz teknolojiler	63

5. TÜRKİYE ELEKTRİK SİSTEMİNİN MEVCUT DURUM ANALİZİ VE AKILLI ŞEBEKE ÇALIŞMALARI	71
5.1. Ülke Enerji Politikası ve Yenilenebilir Kaynaklar	71
5.2. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Üretimine İlişkin Kanun	73
5.3. Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı	75
5.3.1. Ulusal yenilenebilir enerji stratejisi ve beklenen enerji tüketimi	75
5.3.2. Yenilenebilir enerji genel ulusal hedefleri	77
5.4. Türkiye Elektrik Enerjisine İlişkin Veriler ve Üretim Kapasite Projeksiyonu...	78
5.4.1. 2018 yılı Türkiye elektrik sistemi enerji üretim-tüketim verileri	78
5.4.2. Elektrik enerjisi talep tahmini	79
5.4.3. İletim sistemi	80
5.4.4. Sistem kayıpları	81
5.4.5. Genel değerlendirmeler ve öneriler	82
5.5. Enerji Verimliliği ve ETKB Hedefleri	84
5.6. Türkiye Akıllı Şebeke Çalışmalarına İlişkin Genel Durum	85
5.6.1. Mevzuat yapısı	86
5.6.2. OSOS kurulum süreci ve elektrik dağıtım şirketleri OSOS limitleri	88
5.6.3. TEİAŞ bünyesinde yapılan OSOS çalışmaları	89
5.6.4. Değerlendirmeler	91
6. FAYDA MALİYET ANALİZİ VE AB'DEKİ YAYGINLAŞTIRMA ÇALIŞMALARI	93
6.1. AB Mevzuatı ve İlgili Direktifler	93
6.2. Fayda-Maliyet Analizi Metodolojisi	94
6.2.1. Adım 1: yaygınlaştırma senaryolarının tasarlanması	95

	Sayfa
6.2.2. Adım 2: senaryo parametrelerinin belirlenmesi	97
6.2.3. Adım 3: fayda maliyet analizinin gerçekleştirilmesi	100
6.2.4. Adım 4: duyarlılık analizi	101
6.2.5. Adım 5: nitel analiz	101
6.3. JRC Fayda Maliyet Analizi Yöntemi	102
6.4. AB Ülkelerinde Gerçekleştirilen Detaylı Fayda-Maliyet Analizleri ve Yaygınlaştırma Projeleri	104
6.4.1. AB ülkelerinin fayda-maliyet analizlerinin detayları	107
6.5. Türkiye İçin Fayda Maliyet Analizi Yaklaşımı	117
6.5.1. Örnek bir akıllı sayaç fizibilite çalışması	119
7. TÜRKİYE’DE YAPILAN UYGULAMA ÇALIŞMALARINI VE PİLOT PROJELER İLE ÇEŞİTLİ PROJEKSİYONLAR	123
7.1. Başkent EDAŞ-Enerjisa Pilot Proje Çalışmaları	123
7.1.1. Akıllı şebekeler fizibilite çalışması (USTDA projesi)	123
7.1.2. Uzaktan sayaç okuma pilot projesi	128
7.1.3. DAGSİS projesi	144
7.1.4. SEAS-akıllı enerji farkındalık sistemleri projesi	152
7.2. Turkcell Akıllı Sayaç Simülasyonu ve Reaktif Ceza Önleme Çalışması	155
7.2.1. Akıllı sayaç simülasyon çalışması: Suyubol örnek şehri	156
7.2.2. Reaktif cezayı önleme: Okullarda tasarruf projesi (APİS)	158
7.3. Akıllı Sayaç Kurulumu ile Elektrik Şebekesindeki Kayıp-Kaçak Oranının Azaltılmasına ve Elde Edilecek Tasarruf Miktarının Hesaplanmasına Yönelik Senaryo Çalışması ve 2030 Projeksiyonları	160
7.4. Türkiye Elektrik Enerjisi Üretim-Tüketim Projeksiyonu ve Yenilenebilir Enerji Kullanımının Bu Projeksiyon İçerisindeki Değişim Senaryosu ile 2035 Projeksiyonları	166

	Sayfa
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	171
KAYNAKLAR	179
ÖZGEÇMİŞ	189



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Akıllı şebeke ile işletme değer bileşenleri	25
Çizelge 4.1. Önemli endüstriler/sektörel örnekler bazında ABD’de 1 saatlik elektrik kesintisinin ortalama maliyeti	43
Çizelge 4.2. Bazı ülkelerin akıllı şebeke gelişimi sürecindeki hedefler/ana sürücüler tablosu	45
Çizelge 4.3. Geniş alan ağında çeşitli teknolojilerin kıyaslanması	56
Çizelge 4.4. Akıllı şebeke haberleşme teknolojileri ve özellikleri	58
Çizelge 4.5. Akıllı şebekelerin çok katmanlı sistem mimarisi.....	61
Çizelge 4.6. 802.11x standartlarının parametrik özellikleri.....	66
Çizelge 4.7. Akıllı şebeke için haberleşme teknolojilerinin karşılaştırılması.....	67
Çizelge 4.8. Akıllı şebeke uygulamaları ve ihtiyaç duyulan ağ gereksinimleri.....	68
Çizelge 4.9. Mevcut haberleşme teknolojilerinin akıllı şebekede kullanım alanları	69
Çizelge 5.1. I sayılı cetvel (29/12/2010 tarihli ve 6094 sayılı kanun hükmü).....	73
Çizelge 5.2. II sayılı cetvel (29/12/2010 tarihli ve 6094 sayılı kanun hükmü).....	74
Çizelge 5.3. Türkiye yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik kurulu gücü.....	77
Çizelge 5.4. 2018 Türkiye elektrik enerjisi üretim ve tüketim değerleri	78
Çizelge 5.5. 2008-2017 yıllarındaki elektrik sistemi puant güç ve enerji tüketimi verileri.....	79
Çizelge 5.6. Talep tahmini referans (baz) talep	80
Çizelge 5.7. Elektrik iletim sistemi havai hat uzunluklarının gelişimi (km)	81
Çizelge 5.8. Elektrik iletim ve dağıtım sistemi kayıpları	82
Çizelge 5.9. Elektrik dağıtım şirketleri OSOS limitleri	89
Çizelge 6.1. Fayda maliyet analizinin gerçekleştirilme adımları.....	100
Çizelge 6.2. AB ülkelerinde yapılan akıllı şebeke çalışmalarına dair bazı istatistikler .	104

Çizelge	Sayfa
Çizelge 6.3. AB ülkelerinde yapılan fayda-maliyet analizlerinin detayları	113
Çizelge 6.4. Genel görünüm senaryo 1 (standart yaklaşım)	121
Çizelge 6.5. Genel görünüm senaryo 2 (agresif yaklaşım)	121
Çizelge 7.1. Beş yıllık bütün proje maliyetleri ve faydaları.....	126
Çizelge 7.2. Proje kapsamında uygulamalara ilişkin bilgiler.....	132
Çizelge 7.3. Modülasyon teknolojileri hakkında teknik bilgiler	133
Çizelge 7.4. RF pilot proje geneli tüm performans sonuçları	141
Çizelge 7.5. RF/PLC/GSM haberleşme teknolojilerinin karşılaştırılması	142
Çizelge 7.6. Elektrikli araçların şebekeye entegrasyonu için çözüm yöntemi.....	145
Çizelge 7.7. EA marka-model çeşitleri ve karakteristik özellikleri.....	148
Çizelge 7.8. İki farklı EA şarj senaryosu: normal seviyede şarj etme (case 1) ve daha yüksek güçte şarj ihtiyacı (case 2)	148
Çizelge 7.9. Elektrikli araçların şebekeye entegrasyonuna ilişkin sonuçlar ve öneriler	152
Çizelge 7.10. SEAS projesine ilişkin genel bilgiler	153
Çizelge 7.11. Su abone dağılımı ve bilgileri	156
Çizelge 7.12. Dört yıllık kayıp-kaçak su bedelinin hesaplama tablosu.....	157
Çizelge 7.13. Akıllı sayaç kurulumu ile elektrik şebekesindeki kayıp-kaçak oranının azaltılmasına ve elde edilecek tasarruf miktarının hesaplanmasına yönelik senaryo çalışmasında kullanılan varsayımlar ve elde edilen projeksiyonlar-1	161
Çizelge 7.14. Akıllı sayaç kurulumu ile elektrik şebekesindeki kayıp-kaçak oranının azaltılmasına ve elde edilecek tasarruf miktarının hesaplanmasına yönelik senaryo çalışmasında kullanılan varsayımlar ve elde edilen projeksiyonlar-2	163
Çizelge 7.15. Türkiye elektrik enerjisi üretim-tüketim projeksiyonu ve yenilenebilir enerji kullanımının bu projeksiyon içerisindeki değişim senaryosu kapsamında kullanılan varsayımlar ve elde edilen projeksiyonlar	169

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Türkiye elektrik enerjisi talep projeksiyonu	8
Şekil 2.2. Mevcut statik şebekeler ve akıllı şebekeler	10
Şekil 2.3. Akıllı şebeke teknolojisi ile bölgesel CO2 emisyon azaltım hedefleri.....	12
Şekil 2.4. AB'nin EA ile ilgili yol haritasının başlıca adımları	13
Şekil 2.5. Küresel elektrikli otomobil stokunun 2010-2016 yılları arasında gelişimi	14
Şekil 2.6. 2017 yılı itibariyle küresel yolcu elektrikli araç pazarı, 2012-2017	15
Şekil 2.7. Ulusal yenilenebilir enerji (tüm çeşitler) hedeflerine ilişkin küresel harita, 2005.....	17
Şekil 2.8. Ulusal yenilenebilir enerji (tüm çeşitler) hedeflerine ilişkin küresel harita, 2015.....	17
Şekil 2.9. Küresel yenilenebilir enerji kurulu güç kapasitesi gelişimi, 2007-2017	18
Şekil 2.10. Dünya bölgeleri ve ülkeler (ilk 6 ülke) bazında yenilenebilir enerji kurulu güç kapasitesi dağılımları, 2017	18
Şekil 2.11. Elektrik üretiminde değişken yenilenebilir enerji kaynak oranı bakımından ilk 10 ülke, 2017.....	19
Şekil 2.12. Elektrik üretimi, ısıtma ve ulaştırma sektörlerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı.....	20
Şekil 2.13. Akıllı şebeke bileşenleri	23
Şekil 3.1. Energy butler yazılımı ile bir evin elektrik enerjisi tüketimindeki değişimin grafiği.....	37
Şekil 3.2. Bazı ülkelerin akıllı şebeke çalışmalarına yaptıkları ve yapmayı planladıkları yatırım miktarları	42
Şekil 4.1. AB akıllı şebeke proje bütçelerine ilişkin çeşitli dağılımlar.....	46
Şekil 4.2. AB'de akıllı şebeke teknoloji çalışmaları için ayrılan bütçelerin alan dağılımı	47
Şekil 4.3. Akıllı sayaç altyapısı.....	49

Şekil	Sayfa
Şekil 4.4. Akıllı sayaç topolojisi	51
Şekil 4.5. Önemli AB ülkelerinde akıllı sayaçlar için uygulanan çeşitli haberleşme teknolojileri	57
Şekil 4.6. İletişim sistemi diyagramı.....	59
Şekil 4.7. İletişim ağlarına ilişkin kapsama aralığı ve veri hızı bilgileri	62
Şekil 4.8. PLC blok diyagramı.....	63
Şekil 5.1. Türkiye’de kurulu gücün birincil kaynaklara göre gelişim senaryosu	76
Şekil 5.2. Türkiye elektrik enerjisi kurulu gücü içindeki kaynakların değişimi.....	83
Şekil 5.3. OSOS bilgi akış şeması	90
Şekil 6.1. Fayda-maliyet analizi yaklaşımına ilişkin beş temel adım	94
Şekil 6.2. Senaryoların şekillendirildiği üç temel değişken.....	95
Şekil 6.3. Nitel analize ilişkin adımlar	102
Şekil 6.4. Yedi adımdan oluşan JRC FMA yöntemi.....	103
Şekil 6.5. Varlık – işlev – fayda ilişkisinin belirlenmesine örnek	103
Şekil 6.6. AB ülkelerinde fayda-maliyet analizleri sonucunda geniş kapsamlı yaygınlaştırma (AB % 80 senaryosu) çalışmalarına yönelim durumu.....	106
Şekil 7.1. Akıllı şebeke yol haritası	127
Şekil 7.2. Yapılan/yapılacak pilot projeler ve tahmini maliyetler	128
Şekil 7.3. PLC mesh ve RF mesh yapısı.....	131
Şekil 7.4. PLC pilot proje bölgesi (şehir merkezi) – Firma A verileri.....	134
Şekil 7.5. PLC pilot proje bölgesi-Firma A performans test sonuçları (şehir merkezi) .	135
Şekil 7.6. PLC pilot proje bölgesi (villa bölgesi) – Firma A verileri.....	136
Şekil 7.7. PLC pilot proje bölgesi-Firma A performans test sonuçları (villa bölgesi) ...	136
Şekil 7.8. PLC pilot proje bölgesi (şehir merkezi) – Firma B verileri.....	137

Şekil	Sayfa
Şekil 7.9. PLC pilot proje bölgesi – Firma B performans test sonuçları (şehir merkezi / yeraltı)	138
Şekil 7.10. PLC pilot proje bölgesi – Firma B performans test sonuçları (şehir merkezi/ havai).....	138
Şekil 7.11. RF pilot proje bölgelerine ilişkin veriler	139
Şekil 7.12. RF pilot proje bölgesi performans test sonuçları	140
Şekil 7.13. PLC teknolojisinde zaman dilimine göre performans değişimi	143
Şekil 7.14. Elektrikli araç kullanıcılarının eve geliş zamanı	146
Şekil 7.15. Elektrikli araç kullanıcıları tarafından günlük katedilen mesafe	146
Şekil 7.16. Dağıtım şebeke modeli	147
Şekil 7.17. TR2789 trafosunun günlük ortalama yük profili	149
Şekil 7.18. % 10 EA penetrasyon (case 1) durumu için trafo yükleme sonucu.....	150
Şekil 7.19. % 10 EA penetrasyon (case 2) durumu için trafo yükleme sonucu.....	150
Şekil 7.20. % 20 EA penetrasyon (case 1) durumu için trafo yükleme sonucu.....	150
Şekil 7.21. % 20 EA penetrasyon (case 2) durumu için trafo yükleme sonucu.....	151
Şekil 7.22. % 30 EA penetrasyon (case 1) durumu için trafo yükleme sonucu.....	151
Şekil 7.23. % 30 EA penetrasyon (case 2) durumu için trafo yükleme sonucu.....	151
Şekil 7.24. SEAS projesi örnek senaryo gösterimi	155
Şekil 7.25. Suyubol şehri simülasyon sonucu.....	157
Şekil 7.26. Reaktif cezalı ve cezasız örnek elektrik faturası.....	159
Şekil 7.27. 2019-2030 yılları arasında kurulacak akıllı sayaç adedi ve şebeke kayıp - kaçak oranı projeksiyonu	164
Şekil 7.28. Türkiye elektrik şebekesindeki kayıp-kaçak enerjinin yıllar itibariyle değişimi.....	165
Şekil 7.29. 2019-2035 Türkiye elektrik enerjisi üretim projeksiyonu ve yenilenebilir enerji kullanımının bu projeksiyon içerisindeki değişim senaryosu.....	170

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

AG	Alçak gerilim
GW	Giga watt
GWh	Giga watt saat
kW	Kilo watt
kWh	Kilo watt saat
MVA	Mega volt amper
MW	Mega watt
MWh	Mega watt saat
TEP	Ton eşdeğer petrol
TW	Tera watt
TWh	Tera watt saat
VAr	Volt amper reaktif

Kısaltmalar

Açıklamalar

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AMI	Gelişmiş Ölçüm Altyapısı
AMR	Otomatik Sayaç Okuma
APK	Araştırma, Planlama ve Koordinasyon
AYEDAŞ	Anadolu Yakası Elektrik Dağıtım A.Ş.
BMWi	Almanya Federal Ekonomi ve Enerji Bakanlığı
BPL	Broadband Over Power Line
BTK	Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu

Kısaltmalar**Açıklamalar**

CAPEX	Sermaye/Yatırım Harcamaları (Capital Expenditures)
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CSP	Concentrated Solar Power
DAGSİS	Dağıtım Gömülü Sistemlerin Etki Analizi
DGPYS	Dengeleme Güç Piyasası ve Gün Öncesi Planlama
DUS	Dağıtık Üretim Santralleri
EA	Elektrikli Araç
EDAŞ	Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
EDGE	Enhanced Data Rates for Global Evolution
EISA	Energy Independence and Security Act
ELDER	Elektrik Dağıtım Hizmetleri Derneği
ENSG	Electricity Network Strategy Group
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EPRI	Electric Power Research Institute
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EU JRC	European Union Joint Research Centre
EÜAŞ	Elektrik Üretim Anonim Şirketi
EV	Electric Vehicle
FAN	Field Area Network
FID	Hata/Arıza Gösterge Cihazı (Fault Indicating Device)
FMA	Fayda Maliyet Analizi
GIS	System-wide Situational Awareness
GPRS	General Packet Radio Service
GSYH	Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
HAN	Home Area Network
HES	Hidroelektrik Santrali
IAN	Industrial Area Network
ICT	Bilgi ve İletişim Teknolojileri
IEA	International Energy Agency

Kısaltmalar**Açıklamalar**

IEEE	Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
LAN	Yerel Alan Ağı
M2M	Makineler Arası İletişim (Machine to Machine)
MDM	Sayaç Veri Yönetimi
MIT	Massachusetts Teknoloji Enstitüsü
NIST	Ulusal Teknoloji ve Standartlar Enstitüsü
OECD	Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı
OFGEM	İngiltere Gaz ve Elektrik Piyasaları Kurumu
OMS	Outage Management System
OPEX	İşletme Harcamaları (Operational Expenditures)
OSOS	Otomatik Sayaç Okuma Sistemi
PCN	Private Communication Network
PHES	Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrali
PLC	Power Line Communication
PSTN	Sabit Telefon Şebekesi
RF	Radyo Frekansı
SAIDI	Ortalama Sistem Kesinti Süresi İndisi
SAIFI	Ortalama Sistem Kesinti Frekansı İndisi
SCADA	Uzaktan Kontrol ve Gözleme Sistemi
SEAS	Smart Energy Awareness Systems Projcet
STB	Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
USTDA	United States Trade and Development Agency
WAN	Geniş Alan Ağı
WPAN	Kablosuz Kişisel Alan Ağı
YEKDEM	Yenilenebilir Enerji Kaynak Destekleme Mekanizması

1. GİRİŞ

Elektrik enerji sistematiğinde, talebin güvenilir, zamanında, ekonomik şartlarda, süreklilik arz eden ve kaliteli bir biçimde karşılanması büyük önem arz etmektedir. Halihazırdaki şebeke yapılarına bakıldığında, 1883'te Tesla'nın tasarım ilkelerine göre kurgulanmış olan, günümüz ihtiyaçlarının istenilen düzeyde karşılanamadığı bir yapı mevcuttur. Geçmiş yıllarda merkezi üretim, talep kontrolü ve tek yönlü iletim şebekesi doğru olmakla birlikte, mevcut sistem bugünün kullanıcı taleplerine artık yeterince cevap verememektedir [1, 2].

Türkiye'de ve dünyadaki birçok ülkede elektrik sistemi, enerji üretim noktalarının birbirine uzun iletim hatları ile enterkonnekte şebeke oluşturacak şekilde bağlı olduğu bir yapı şeklindedir. Enterkonnekte şebekede alternatif akımla işlem tesis edilmekte olup, şebekenin herhangi bir noktasında gerilim kararsızlığı vb. sebeple kısmi veya genel inkıta (blackout) meydana gelmesi durumunda, yaşanan dengesizlik bütün sistemin çökmesine, ülkede ve elektrik alışverişi yapılan diğer ülkelerde enerji kesintilerine neden olabilmektedir [3, 4].

2003 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) cereyan etmiş olan elektrik kesintisi sebebi ile ABD'de 50 milyondan fazla insan elektriksiz kalmıştır. Zincirleme bir şekilde meydana gelen arızalar sonucunda oluşan genel inkıta durumu, yedi dakika gibi çok kısa bir sürede ortaya çıkmış ve Kanada'da elektrik kesintisine neden olmuştur [5]. Bu bakımdan, güç eksikliklerinin sistemdeki akıllı sensörler aracılığı ile anlık olarak tespiti, herhangi bir kesinti/kısıntı olmaksızın hattın beslenebilmesi, iletim ve dağıtım hattındaki kayıp oranının asgari düzeye indirilmesi, verimliliğin artırılması ve yenilenebilir kaynaklardan daha fazla elektrik enerjisi elde edilebilmesi için halihazırdaki elektrik şebekelerinin modernize edilmesi ve geliştirilmesi, aciliyetle yapılması gerekli hususlar olarak ifade edilebilir [6-8].

Günümüz dünyasında ve Türkiye'de her geçen gün artan hayat standardı ve beraberinde artış gösteren tüketim miktarı, kişi başı enerji ihtiyacında da yükselişe sebep olmaktadır. Artan enerji talebini karşılayabilmek ve yenilenebilir kaynaklardan daha fazla yararlanmak için klasik üretim ve dağıtım sistemlerinde kapasite artışına gitmek kolay bir çözüm gibi görünüyorsa da bu metod sonucunda ciddi dezavantajlar ortaya çıkmaktadır [9-11]. Üretim kapasitesi ile beraber artış gösteren hammadde ihtiyacı, dağıtım sistemindeki teknik kayıpların aynı şekilde devamı, güç kalitesi problemleri, sistemin sürdürülebilir olması için

gerekli insan kaynağının maliyet hesabına olan etkisi ve çevre kirliliği noktasındaki tehlikenin boyutu en ciddi dezavantajlar olarak ifade edilebilir [12-14]. Bu çerçevede, klasik enerji sistemlerinde yatırım kapasitelerinin artırılması değil, her anlamda verimlilik odaklı çalışma ilkesine dayalı projelerin gerçekleştirilmesi gerçek bir çözüm yolu olmaktadır. Bu durum da akıllı şebekelerin ortaya çıkmasına dayanak teşkil etmektedir [15].

Bu çerçevede, elektrik/enerji sisteminin ileri teknolojilere ve yeni teknik modellere cevap verebilmesi, şebekenin gerekli hizmeti sağlayabilmesi ve en ideal seviyede çalışabilmesi için ilgili sistemlerin modernize edilmesi gerekmektedir [16, 17]. Bahse konu yeniliklerin ve teknolojik gelişmelerin Türkiye'ye taşınması elzem bir konu olup, akıllı şebeke teknolojilerine dair detaylı araştırmalar yapılarak gerekli bilgi transferinin sağlanması ve “ülkede neler yapılmalıdır, hangi uygulamalar hayata geçirilmelidir, daha fazla yenilenebilir enerji kaynağı şebekeye nasıl entegre edilebilir [18], elektrikli araçların elektrik sistemine etkisi nasıl olur [19-24], fayda/maliyet analizi değerlendirmelerinin sonuçları nedir, nasıl bir yol haritası izlenmelidir” hususları, bu tezin araştırma problemi olarak ortaya çıkmaktadır. Bu çerçevede; detaylı bir literatür taraması yapılmış, çeşitli pilot projeler/saha çalışmaları incelenmiş ve gerçek verilere ulaşılarak elde edilen sonuçlar/bulgular ortaya konulmuştur.

Tezin ikinci bölümünde; akıllı şebeke kavramına genel bir bakış ve gerekli tanımlamalar yapılmış olup, smart grid kavramını “Enernet (Enerji İnterneti)” veya yeni bir tanımlama ortaya koymak adına “Elektrik Şebekesinin Modernizasyonu” olarak ifade etmek mümkündür. Yine bu bölümde, akıllı şebekeyi gerekli kılan etmenler, mevcut statik şebeke ve akıllı şebekenin karşılaştırılması, küresel CO₂ salımı azaltım hedefleri, küresel ölçekte yenilenebilir enerji ve elektrikli araçların (EA) sisteme entegrasyonu açısından akıllı şebekeler, akıllı şebekenin sisteme sağlayacağı avantajlar vs. hususlar incelenmiştir [25, 26]. Bu noktada akıllı şebekeler; gerçek zamanlı haberleşme sistemi ile aşırı hat yüklerini anlık olarak takip edebilecek, elektrik enerjisi trafiğini düzenleyebilecek, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında optimizasyonu sağlayabilecek ve tüketici maliyetini azaltarak çevreye duyarlı bir yapı ortaya çıkaracaktır [27].

Tezin üçüncü bölümünde; dünyadaki akıllı şebeke çalışmaları ve ülkelerin genel görünümü detaylı bir şekilde mercek altına alınmıştır. Ülkeler bazında akıllı şebeke çalışmaları incelenmiş ve dünyada yapılmış olan çeşitli örnek projeler anlatılmıştır. Bu çerçevede ülkelerin vizyonu, planlamaları ve yaptıkları yatırım miktarları araştırılmıştır. 2005'te

tamamlanmış olan Telegestore projesi ile İtalya, akıllı şebeke yatırımları konusunda ilk adımı atan ülke olmuştur. Söz konusu proje kapsamında 27 milyon sayacın yerine, uzaktan okunabilme özelliğine haiz akıllı sayaç monte edilmiştir. Bu noktada, dünya genelinde birçok ülkenin yakın geçmişten bu yana akıllı şebekeler alanında önemli tutarlarda yatırımlar gerçekleştirdiği ve geleceğe ilişkin kademeli planlamalar yaptığı anlaşılmıştır [28-31].

Tezin dördüncü bölümünde; genel itibari ile kullanılan akıllı şebeke teknolojileri ve bu açıdan çeşitli incelemeler yapılmıştır [32, 33]. Akıllı şebekelerde teknolojinin önemi ve belirlenmiş olan öncelikli alanlar, akıllı şebeke teknolojilerinin gelişme trendleri ile bazı ülkelerin akıllı şebeke gelişim sürecindeki hedefleri/ana sürücüleri anlatılmış olup, akabinde standartlar kavramına değinilmiştir. Bunlara ilaveten, Ar-Ge ve pilot çalışmalar açısından AB'deki akıllı şebeke projelerine genel bir bakış gerçekleştirilmiş, proje bütçelerine ilişkin çeşitli dağılımlar incelenmiştir. Daha sonra, akıllı sayaç altyapısı ve topolojisi hususları incelenmiştir. Akıllı şebekelerin omurgası olarak kabul edilebilecek şebeke haberleşme teknolojileri ve özellikleri ile haberleşme altyapısı, geniş alan ağında farklı teknolojilerin karşılaştırılması irdelenmiş olup, haberleşme teknolojilerinin nümerik analizi yapılmıştır.

Akıllı şebeke teknolojilerinin gelişim trendleri incelendiğinde, dünya genelinde farklılıklar meydana geldiği gözlemlenmiş olup, şebeke alt yapısının kurulması/geliştirilmesi ve teknoloji seçimleri aşamasında; “ülkelerin politik/teknik öncelikleri, sistemsel sorunları, coğrafi koşulları ve finansal unsurları”, söz konusu gelişim trendini etkileyen en önemli faktörler olarak sıralanmaktadır.

Tezin beşinci bölümünde; Türkiye elektrik sisteminin mevcut durum analizi yapılmış ve geleceğe ilişkin projeksiyonlar, hedefler mercek altına alınmıştır. Ülkenin enerji politikası ve yenilenebilir enerji, 5346 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Üretimine İlişkin Kanun, Türkiye ulusal yenilenebilir enerji eylem planı ve stratejisi, tahmin edilen enerji tüketimi ile yenilenebilir enerji genel ulusal hedefleri irdelenmiştir. Daha sonra, Türkiye elektrik enerjisine ilişkin veriler ve üretim kapasite projeksiyonu, enerji verimliliği hususu değerlendirilmiş ve yapılan bu incelemeler/analizler neticesinde elektrik sistemine ilişkin sonuç ve öneriler ortaya konulmuştur. Bunlara ilaveten de ayrı bir başlık olarak, ülkede yapılmış / yapılan akıllı şebeke çalışmaları ve akıllı enerji sistemlerine ilişkin sektörel bilgiler ifade edilmiş olup, “Türkiye akıllı şebekelerin neresinde” noktasında mevcut durum

ve mevzuat yapısı, Otomatik Sayaç Okuma Sistemi (OSOS) kurulum süreci ile dağıtım şirketlerinin OSOS limitleri konuları anlatılmıştır.

ETKB 2015-2019 Stratejik Planı kapsamında, elektrik iletim ve dağıtım sistemindeki kayıp oranlarının düşürülmesi hedeflenmektedir. Bu noktada, yapılan pilot projeler ve akıllı sayaç fizibilite çalışmaları incelendiğinde, akıllı şebeke uygulamaları ile bu hedefe ulaşılabileceği ve ciddi miktarda tasarruf/fayda sağlanabileceği sonucuna ulaşılmaktadır. Çünkü elektrik enerjisi tüketim miktarları belli noktalarda gerçek zamanlı şekilde karşılaştırılmak sureti ile trafo ve mesken bazlı kaçak takibi sağlanabilecek ve elektrik kayıp-kaçak oranı azaltılabilecektir.

Tezin altıncı bölümünde, fayda maliyet analizi (FMA) ve örnek yaklaşımlar ile fizibilite çalışmaları konularında birtakım incelemeler yapılmıştır. Bahse konu hususlarda AB'nin yaklaşımları, mevzuat düzenlemeleri ve ilgili direktifler ile AB yaygınlaştırma senaryosu ele alınmıştır. Daha sonra, FMA metodolojisi, asgari 10 temel akıllı sayaç fonksiyonel gereksinim listesi, FMA gerçekleştirilmesi adımları ve yatırımlarda FMA yöntemi konuları irdelenmiştir. Söz konusu yaygınlaştırma kapsamında, 2009/72/EC direktifinde belirtilen "Asgari 10 Temel Akıllı Sayaç Fonksiyonel Gereksinim Listesi" nin Türkiye'de yapılacak olan çalışmalar için iyi bir örnek teşkil edeceği tespit edilmiştir [34].

Ayrıca, AB ülkelerinde gerçekleştirilen FMA ve yaygınlaştırma çalışmalarına ilişkin genel durum incelenerek, AB ülkelerinin FMA detayları mercek altına alınmıştır. Buna göre AB ülkelerinde, ilgili analiz çalışmalarının bitirilmesi ve olumlu sonuç alınan ülkelerde "akıllı sayaçların 2020 yılı itibari ile % 80 düzeyinde yaygın hale getirilmesi" şeklinde bir hedef ortaya konulmuştur [35]. 16 üye ülke AB yaygınlaştırma planını onaylamış ve kurulum zaman planlarını oluşturmuşlardır. Bununla birlikte, bazı AB ülkelerinde, düşük tüketimli mesken tüketicileri için akıllı şebeke yatırımlarının uzun vadede geri dönüş sağlayacağı, bu yüzden AB yaygınlaştırma senaryosunun negatif çıktığı anlaşılmıştır [36].

Tezin yedinci bölümünde; akıllı şebekelere ilişkin Türkiye'de yapılan uygulama çalışmaları ve pilot projeler ele alınmış olup, sektöre katkı sağlayıcı somut veriler, sonuçlar ve projeksiyonlar ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu noktada önemli çalışmaları olan Başkent EDAŞ-Enerjisa ile birçok kez toplantı/görüşme yapılmış olup, elde edilen veriler ışığında, bahse konu EDAŞ tarafından yapılmış olan pilot proje çalışmaları detaylı bir şekilde analiz edilmiştir [37]. Bu projeler ve içerikleri şu şekildedir:

Akıllı Şebekeler Fizibilite Çalışması'nda (USTDA Projesi); projenin somut faydaları, proje sonucu ortaya konulan akıllı şebeke yol haritası ve yapılacak pilot projeler ile tahmini maliyetler ifade edilmiştir. Uzaktan Sayaç Okuma Pilot Projesi'nde; PLC & RF teknolojileri hakkında teknik bilgiler, PLC ve RF pilot proje bölgeleri verileri ve akabinde proje genel değerlendirmesi ile gelecek projeler için öneriler ortaya konulmuş olup, RF/PLC/GSM haberleşme teknolojilerinin karşılaştırılmasına ilişkin bir tablo oluşturulmuştur.

Akıllı sayaç performansının, haberleşme teknolojisi altyapısına bağlı olarak değişkenlik gösterdiği gözlemlenmiştir [38]. Yapılan pilot çalışmalara ve teknolojilerin nümerik analizlerine göre; şehir merkezleri gibi yoğun, gürültülü ve kalabalık alanlar için "PLC Yeraltı Hattı Uygulaması", açık görüşün olduğu kırsal ve geniş/dağınık alanlarda ise "RF Havai Hat Uygulaması"nın daha avantajlı ve optimum tercihler olduğu gözlemlenmiştir.

Ülkelerin kendi sektörel şartları, yatırım maliyetleri, öncelikli olarak istenilen özellikleri, fiziki şartları vb. durumları değerlendirerek teknoloji seçimleri yaptığı anlaşılmıştır. Almanya, Hollanda vb. ülkeler, veri iletim kapasitesi ve işletme maliyeti bakımından avantajlı bir haberleşme teknolojisi olan PLC'yi tercih ederken, İngiltere ve ABD gibi iletim mesafelerinin uzun olduğu ve yerleşkenin daha geniş bir alana yayıldığı ülkelerde, GPRS veya RF'in tercih edildiği ve bunun daha ideal bir seçim olduğu sonucuna varılmıştır.

Daha sonra, DAGSİS (Dağıtım Gömülü Sistemlerin Etki Analizi ve Optimizasyonu) Projesi çerçevesinde, 2 farklı elektrikli araç şarj senaryosu; normal seviyede (normal charger power) şarj etme (case 1) ve daha yüksek güçte (higher charger power) şarj ihtiyacı (case 2) şeklinde yapılmış olan pilot proje çalışması analiz edilmiştir. Bu kapsamda, farklı penetrasyon durumlarına göre (%10, %20 ve %30 penetrasyon) analiz sonuçları elde edilmiştir [39]. Nihayetinde, elektrikli araçların yaygınlaşması ve şebekeye entegrasyonuna ilişkin sonuçlar ve öneriler tablosu ortaya konulmuştur.

Başkent EDAŞ tarafından elektrikli araçlar ile ilgili yapılan pilot projede görülmüştür ki; özellikle elektrik kullanımının pik seviyeye ulaştığı puant saatlerinde (17.00-22.00), elektrikli araç şarj ihtiyacı elektrik dağıtım şebekesi açısından ciddi bir dalgalanma ve yük profili oluşturmaktadır. Bu saatlerde, trafo yüklenmeleri, frekans bozulmaları ve beraberinde

hat açılmaları, sistem oturmaları vb. sorunlar, elektrik iletim ve dağıtım şebekelerinde yaşanması muhtemel problemler olarak gözlemlenmiştir [40].

Bu kısımda son olarak, enerjinin bilinçli kullanımını teminen, SEAS-Akıllı Enerji Farkındalık Sistemleri Projesi'ne yer verilmiş olup, söz konusu projenin genel bilgileri ve karar destek sistemi ile bu bilgiler çerçevesinde SEAS örnek senaryosu aktarılmıştır.

Bu pilot projelere ilaveten, bir haberleşme operatörünün konu ile ilgili çalışmaları irdelenmiş olup, Akıllı Sayaç Simülasyon Çalışması: Suyubol Örnek Şehri Projesi analiz edilmiş, su kullanımında kayıp-kaçak bedeline ilişkin örnek bir hesaplama tablosu ve suyubol şehri simülasyon sonuçları ortaya konulmuştur [41]. Simülasyon çalışmasında, akıllı şebeke teknolojilerinin, elektrik şebekesi uygulama çalışmalarında olduğu gibi şehirlerin su şebekelerine de uygulanabilir durumda olduğu gösterilmiştir.

Ayrıca, elektrik faturalarındaki reaktif ceza bedelini önlemek adına; Reaktif Cezayı Önleme: Okullarda Tasarruf Projesi incelenmiştir. Reaktif enerji bedel riski oluşmadan, uyarı alarmları ile tüketicilerin hem reaktif ceza bedeli ödemelerini önleme hem de enerji tüketimlerini izleme ve analiz etme imkânı sağlandığı ortaya konulmuştur [42].

Akıllı şebeke teknolojileri ve akıllı sayaçların kurulumu ile elektrik şebekesindeki kayıp-kaçak oranının düşürülmesini, elde edilecek tasarruf miktarını ve gerekli yatırım tutarını sayısal bir biçimde gösterebilmek için senaryo çalışması ve çeşitli projeksiyonlar yapılmıştır.

Son olarak, Türkiye'de muhtemel elektrik enerjisi üretim-tüketim değerlerini, ülkenin ekonomik büyüme endeksine göre enerji talebindeki değişimi, ülkenin yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik üretim miktarını ve üretimdeki yenilenebilir enerji oranını sayısal bir biçimde hesaplayabilmek ve bulunan sonuçlar çerçevesinde akıllı şebekenin önemini ifade edebilmek adına bir senaryo çalışması ve çeşitli projeksiyonlar ortaya konulmuştur.

Tezin sonuç bölümünde; tezde anlatılan hususlar bütüncül olarak özetlenmiş ve tezde incelenen araştırma problemine dair genel bir değerlendirme yapılmıştır. Elde edilen bulgular/sonuçlar sıralanmış olup, bütün araştırmalar ve incelemeler ışığında, tezin sonucu olarak "Örnek Bir Akıllı Şebeke Yol Haritası" ve "Örnek Bir Türkiye Akıllı Şebekeler Strateji Belgesi" sunulmuştur.

2. AKILLI ŞEBEKE KAVRAMINA GENEL BAKIŞ

2.1. Akıllı Şebeke Kavramı ve Tanımı

En yalın tanımlama ile akıllı şebeke (smart grid); çok daha verimli ve modernize edilmiş bir elektrik şebekesi demektir. Bununla birlikte, akıllı şebekenin teknolojik ve fonksiyonel özellikleri açısından ve de birtakım faydaları bakımından çeşitli tanımlamalar yapılmaktadır. Avrupa Birliği akıllı şebekeyi; elektrik hizmetlerinin daha güvenilir, ekonomik ve güvenli şekilde olması için tüm paydaşların davranışlarını ve faaliyetlerini koordine eden akıllı elektrik ağı biçiminde tanımlamıştır. ABD Enerji Bakanlığı'na göre ise akıllı şebeke; elektrik enerjisinin üretim noktasından tüketiciye iletilmesine kadarki aşamalarda, elektrik şebekesinin verimliliğini, güvenliğini, güvenilirliğini daha fazla artırabilmek adına kullanılan dijital teknolojidir. IEEE (Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü) ise akıllı şebekeyi; elektriğin üretimi, dağıtımı ve tüketimi sırasında iletişim ve bilgi teknolojilerinin artan bir şekilde kullanımıyla oluşan yeni nesil şebeke sistemi olarak tanımlamıştır [43].

Bunun yanında, literatürdeki çeşitli “Smart Grid” tanımlarına bakıldığında; “Verimli, güvenilir ve birbirleri ile uyum içerisinde çalışabilen, her biri otomasyona tabi birden fazla iletim ve dağıtım sisteminden meydana gelmiş bir güç sistemidir”, “Acil durum anında kendi kendini iyileştirme özellikleri olan ve üretim/ iletim/ dağıtım şirketleriyle enerji pazarının ihtiyaçlarına cevap verebilen bir güç sistemidir”, “Miktarı milyonlar ile ifade edilen tüketiciye hizmet veren ve gelişmekte olan dijital ekonominin ihtiyacına paralel olarak zamanında, güvenilir ve uyarlanabilir data transferini sağlayabilen, akıllı bir haberleşme altyapısına sahip güç sistemidir.” tanımlamalarıyla karşılaşılmaktadır [44].

Söz konusu ifadelerin hepsi de akıllı şebeke/smart grid tanımlaması için doğrudur. Bazı tanımlayıcılar ise akıllı şebeke ifadesini “enernet (enerji interneti)” şeklinde tanımlamaktadır. Tüm bu ifadeler ışığında akıllı şebeke şu şekilde tanımlanabilir:

Kendisine fiziksel olarak bağlı tüm paydaşların;

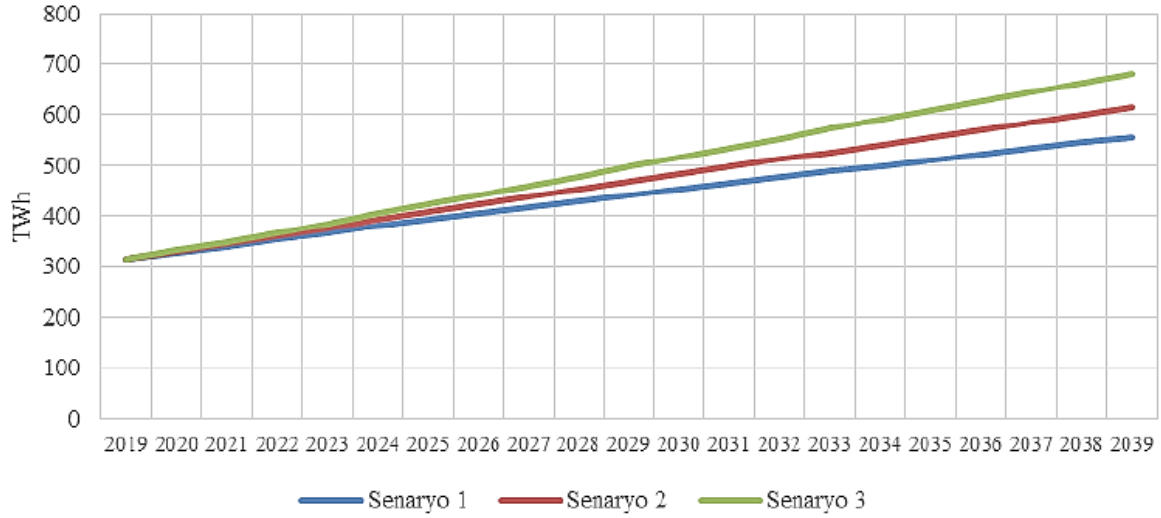
- Maliyet etkin bir şekilde sisteme entegre edildiği,
- Teknolojik araçlar ile güçlendirilmiş,

- Tüm sistemin anlık takip edildiği ve en az kısıntının olduğu,
- Hizmet kalitesi ve güvenilirliği artırılmış,
- Tüketicinin üretici konumunda olduğu elektrik şebekesidir.

Özetle, “Akıllı Şebeke = Elektrik Şebekesinin Modernizasyonu” olarak düşünülebilir.

2.2. Akıllı Şebekenin Gerekliliği

Türkiye'nin ekonomi alanında büyüme göstermesi, nüfusun artması, sanayileşme ve hayat şartlarının iyileşmesi yanında, enerji talebi de her yıl artış gösteren bir eğilim içindedir. Şekil 2.1'deki grafikten anlaşılacağı üzere, 2023'te dünyadaki en büyük 10 ekonomik gücü içerisinde olmayı hedeflemiş bir Türkiye için enerji talebinin gelecekte de artış göstereceği ve trendin uzun vadede artış eğiliminde olacağı öngörülmektedir.



Şekil 2.1. Türkiye elektrik enerjisi talep projeksiyonu [45]

Elektrik tüketicilerinin sürekli talep artışı ve giderek artan iklim değişikliği hassasiyeti, günümüz şebekelerinde benimsenen bir takım prensipleri zorlayan temel iki etmendir. Öncelikle, merkezi üretim ve yüksek gerilim hatları ile uzak mesafelere iletim prensibi, tüketim tarafındaki talep artışlarının anlık olarak karşılanabilmesi ve tüketicilere kesintisiz hizmet verilebilmesi için üretim tarafında büyük miktarlarda rezerv kapasite tutulmasını gerektirmektedir. Fosil yakıt kaynaklarının giderek azalması ve bu yakıtları kullanan baz elektrik santrallerinin iklim değişikliğine sebep olmaları nedeniyle bu yakıtların

kullanımlarının azaltılmaya çalışılması, merkezi üretim yaklaşımında gereksinim duyulan bu rezerv kapasitenin sağlanamaması anlamına gelmektedir [46].

Artan tüketici talebini karşılamak için büyük fosil yakıtlı santraller yerine, çok sayıda ve şebeke içerisinde dağıtık konumlarda çevreci yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmaya başlanması, günümüzün enerji üretim eğilimidir. Bu yenilenebilir kaynaklı üretimin giderek yaygınlaşması için ülkeler de çeşitli teşvik paketleri yayımlamıştır ve kendi üretim portföylerinin belirli yüzdelerini yenilenebilir kaynaklardan oluşturmak üzere uluslararası taahhütler vermişlerdir. Ancak, mevcut şebekeler teknik kısıtlar çerçevesinde, toplam üretim portföyünün yalnızca belli bir kısmının yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşabilmesine izin vermektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde sistem güvenilirliği problemini de beraberinde getiren rüzgâr, yatırım maliyetinin düşük ve inşa süresinin kısa olması sebebiyle en sık tercih edilen kaynak olarak yer almaktadır. Ayrıca, hidrolik ve güneş gibi diğer yenilenebilir enerji kaynakları da incelendiğinde, genel olarak bu kaynakların kesintisiz ve planlı elektrik üretimi sağlayan özellikte olmadığı görülmektedir. Bu olumsuz durumu gidermek amacıyla, yeni nesil şebekelerde yenilenebilir kaynaklar, enerji depolama çözümleri ile birlikte planlanmaktadır.

Geleneksel şebekelerin teknik anlamda değişmesini zorlayan bir diğer yenilik de, yine iklim değişikliği ve artan yakıt fiyatları sebebiyle kullanımı teşvik edilen çevreci elektrikli taşıtlardır. Araç üreticileri son birkaç yıldır bu araçlara yoğunlaşmış durumdadır ve söz konusu pazarı büyütmeyi istemektedirler. Kullanımlarının yaygınlaşabilmesi için şarj olma standartlarının oluşturulması ve elektrik şebekesinde de altyapısal değişikliklerin yapılması gerekmektedir [46].

Şekil 2.2’de, akıllı şebeke ile yeni sistemin mevcut sisteme göre avantajları anlatılmaktadır. Akıllı şebekeler; anlık haberleşme sistemi ile aşırı hat yüklerini analiz edebilen, enerji akış yönlerini düzenleyebilen, yenilenebilir kaynaklardan daha fazla yararlanılması noktasında gerekli optimizasyonu sağlayabilen ve tüketici maliyetlerini daha aza indirgeyen çevre odaklı bir şebeke meydana gelmesine imkan sağlayacaktır [47].



Şekil 2.2. Mevcut statik şebekeler ve akıllı şebekeler [47]

2.2.1. CO₂ azaltım hedefleri

Dikkatlerin akıllı şebekelere çevrilmesindeki en büyük etkenlerden birisi de CO₂ emisyonunun sera etkisidir. CO₂ emisyonunu azaltmak için yapılan çalışmalar, yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini bir kez daha ortaya koymuştur. Haberleşme protokolleri ile birbiriyle haberleşebilen akıllı şebeke alt yapısına sahip olunması, yakın gelecekte yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını global ölçekte daha da arttıracaktır. Böylece CO₂ emisyonlarının sera etkisi oldukça azalacaktır. Örnek vermek gerekirse, ABD’de akıllı şebeke yapıları ile birlikte, karbon emisyonu miktarının %25 seviyesinde daha aşağı bir noktada olacağı hesap edilmiştir. Bu durumda CO₂ emisyonu bakımından 160 milyon hektar yeşil alan daha temiz bir hava için çalışabilecektir. Böylece, yaklaşık 130 milyon aktif aracın yollardan çekilmiş olması ile eşdeğer çevreci bir sonuç ortaya çıkmaktadır. 2030’da, dünya enerji talebinin % 90 oranında artacağı öngörülmekte olup, en önemli sorunlardan birinin de mevcut karbon emisyon miktarı arttırılmadan söz konusu talep artışının ne şekilde karşılanabileceği hususudur [47].

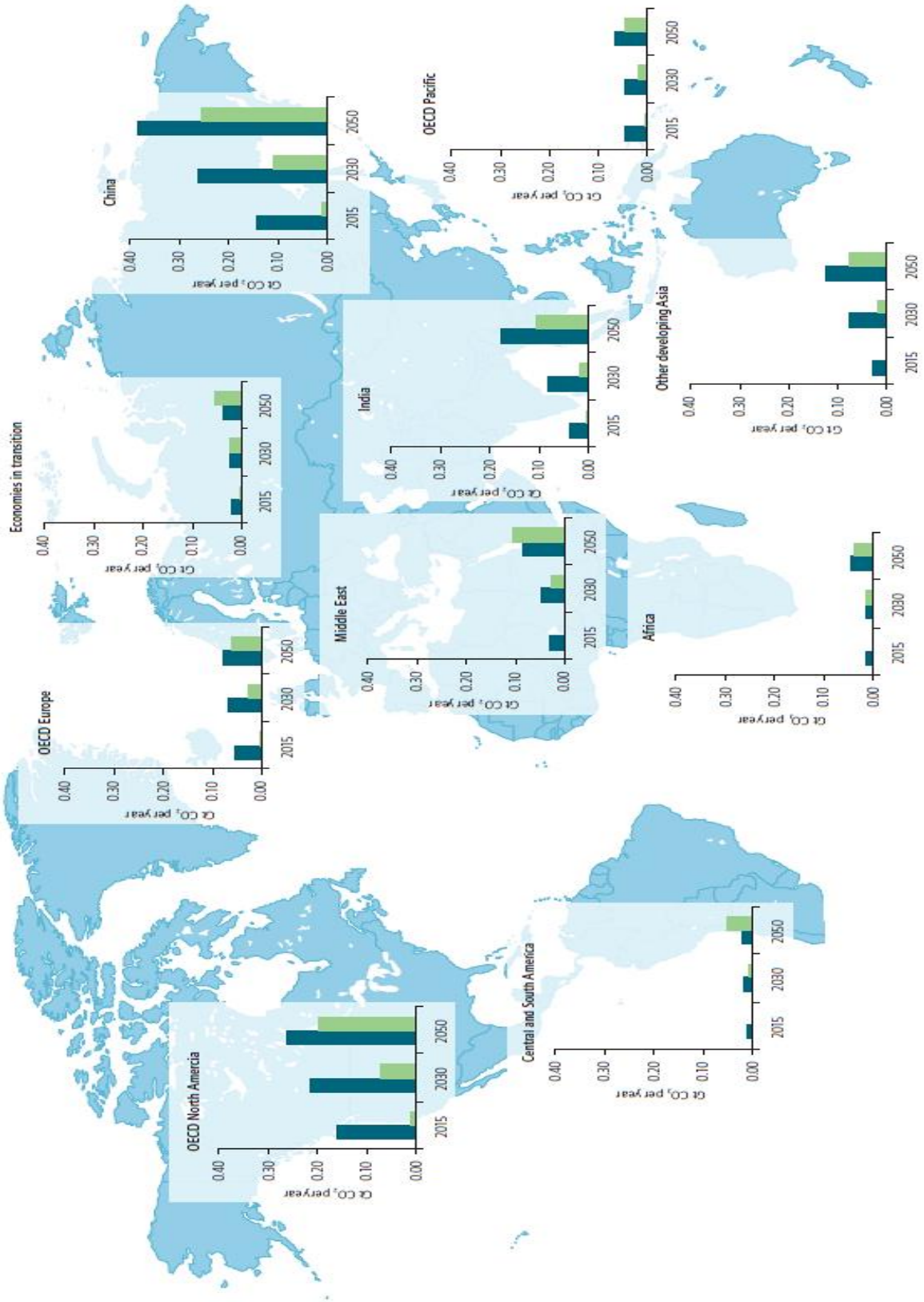
Bugün kullanılan şebeke yapısı uzun yıllar önce tasarlandığından dolayı, enerjisiz kalmamak, güç kayıplarını hissetmiyor olmak, güvenilirliği sağlamak ve sistem verimliliğini arttırmak adına şebekenin teknolojik olarak yenilenmesi gerekmektedir. Şebekelerin daha modern, daha güncel ve akıllı bir yapısal form içerisinde olması gerekmektedir. Mevcut

şartlarda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, sistemsel olarak çok sağlıklı bir yapıda değildir. Bununla birlikte; jeotermal, güneş, rüzgar ve dalga enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları, dünya var oldukça yenilenmeye ve enerji kaynağı olarak kullanılmaya devam edecektir. Esas soru ise temiz ve sürdürülebilir enerji arzı hedefine ne kadar ulaşabildiği hususudur. Aktif bir yapıya haiz olan elektrik enerjisi, akıllı şebeke teknolojisi ile canlı, akıllı, yaşamakta olan ve ne yapılması gerektiğini hesaplayabilen bir sistematik haline dönüşmektedir [47].

Akıllı şebekelerin devreye girmesi, küresel ölçekte önemli miktarda CO₂ salımı azaltımının gerçekleşmesine olanak sağlamaktadır. Şekil 2.3'te görüldüğü üzere, doğrudan ve etkin azaltımlar olarak ikiye ayrılan aşağıdaki fonksiyonların akıllı şebekeler ile hayat bulması sonucunda, söz konusu CO₂ emisyon azaltımlarının gerçekleşmesi hedeflenmektedir.

Doğrudan azaltımlar (mavi): puant yük yönetimi ile enerji tasarrufu, hızlandırılmış enerji verimliliği programlarının artması, hat kayıplarının azaltılması, enerji kullanımı üzerinde doğrudan geribildirim vb.

Etkin azaltımlar (yeşil): Çok daha fazla yenilenebilir enerji kaynağının sisteme entegre edilmesi, elektrikli taşıtların sisteme entegrasyonu ve yaygınlaşmasının kolaylaştırılması.

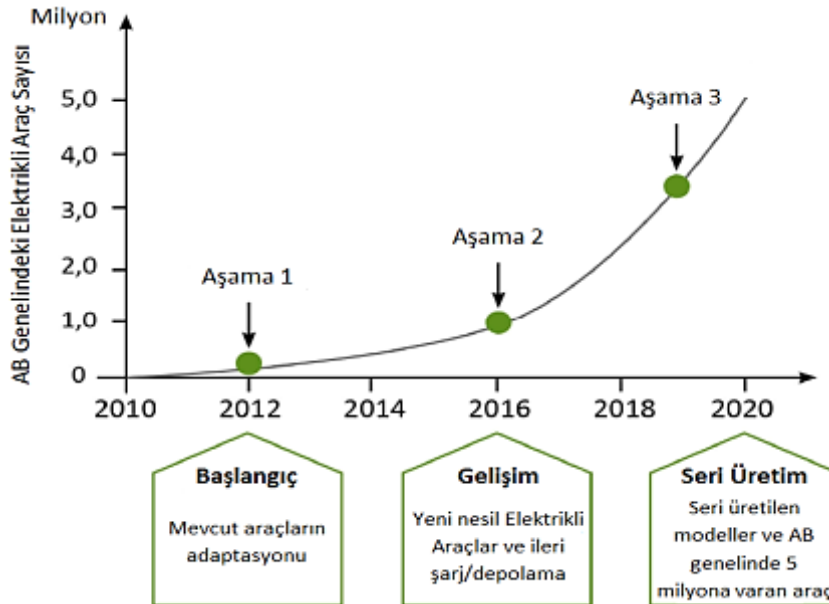


Şekil 2.3. Akıllı şebeke teknolojisi ile bölgesel CO₂ emisyon azaltım hedefleri [48]

2.2.2. Elektrikli araçların yaygınlaşması

Küresel ölçekte EA ile ilgili genel ülke politikalarının incelenmesi neticesinde; bu araçların yaygın olarak kullanılmasının hedeflendiği, ulaşım sektöründe petrol kaynaklarına bağımlılık oranının en aza indirilmesi, ulaşım maliyetinin asgari düzeye düşürülmesi, çevre ve gürültü kirliliğinin en düşük seviyeye getirilmesinin amaçlandığı görülmektedir [49, 50]. Çevresel kaygılar, duyarlılıklar vb. nedenlerle, yıllık bazda yüksek miktarda petrol tüketimi olan ülkelerin getireceği yasal zorunluluklarla, elektrikli ve hibrit araç satışlarının 2035 yılında, toplam yeni araç satış miktarının % 15 - % 20'si büyüklüğünde bir orana ulaşması öngörülmektedir [51].

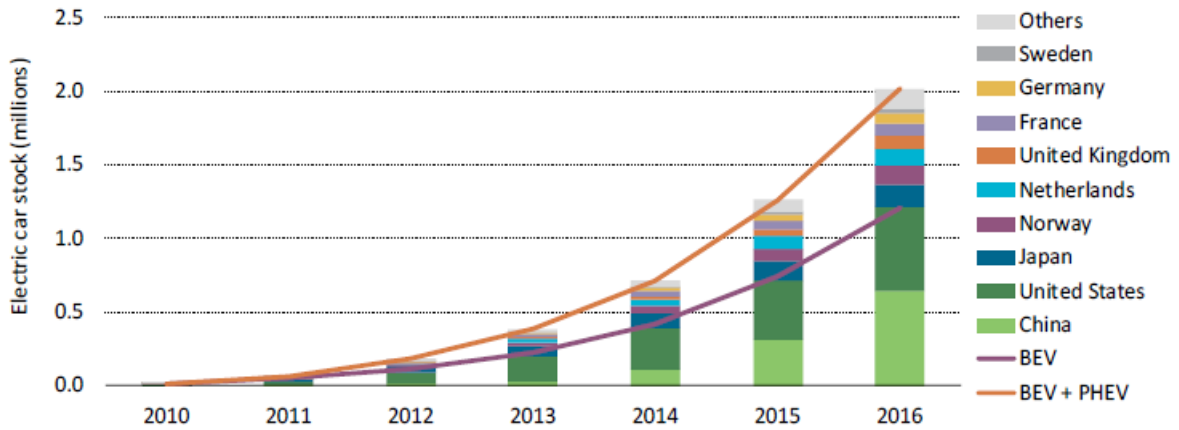
Avrupa Birliği ile ilgili EA çalışmalarına bakıldığında, bir yol haritası ortaya konulduğu ve üç aşamadan oluşan planlama yapıldığı görülmektedir [52]. Buna göre; 2012'de başlangıç seviyesi olarak mevcut araçların adaptasyonu, 2016'da gelişim aşaması olarak yeni nesil EA'ların ve ileri şarj/depolama tekniklerinin çalışılması ve 2020'de seri üretim modellerinin ortaya konulması amaçlanmakta olup, AB genelinde beş milyona varan araç sayısına ulaşılması hedeflenmektedir [53].



Şekil 2.4. AB'nin EA ile ilgili yol haritasının başlıca adımları [53]

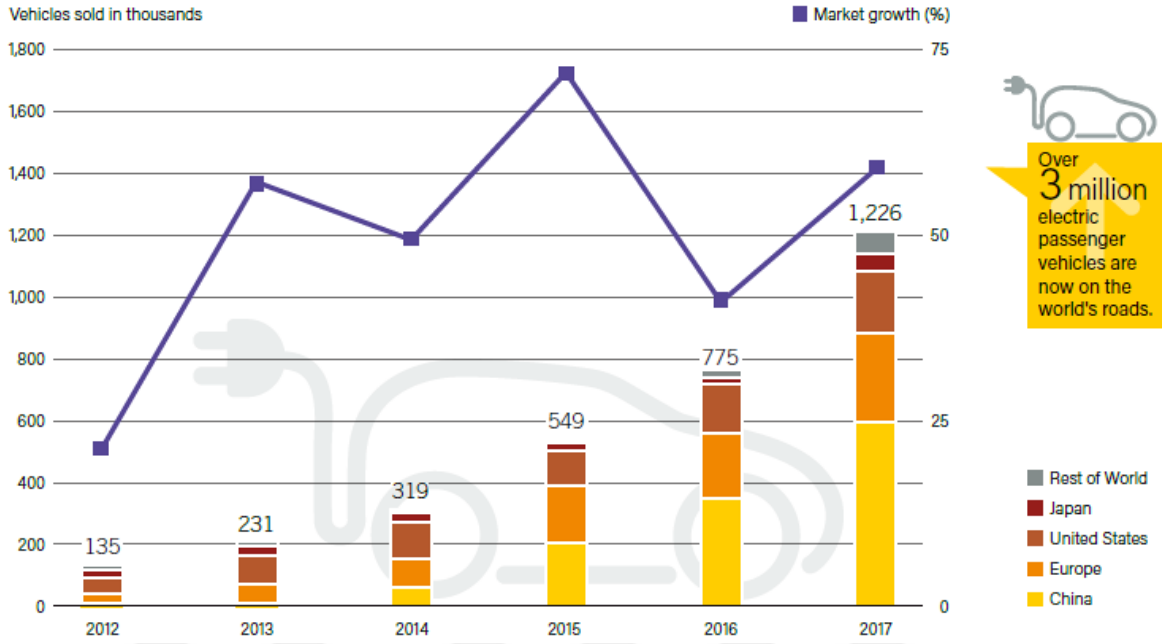
EA satışlarının %80 artışla 320 bine ulaştığı 2014 yılında, elektrikli araçların geri dönülmeyecek bir teknoloji olduğunun kanıtlandığı düşünülmektedir. 2015 itibari ile dünya genelinde yaklaşık 1 milyon elektrikli aracın yollarda yer aldığı belirtilirken, 2016 yılı sonrasında bu rakam 2 milyonu geçmiş bulunmaktadır [54].

Şekil 2.5'ten anlaşılacağı üzere, Dünya genelindeki yıllara göre EA sayısı incelendiğinde mevcut elektrikli araç satışları rakamlarında sayı olarak Çin ve U.S.A.'nın pazarda lider olduğu görülürken, yıllık artış oranı açısından Norveç'in lider konumda bulunduğu ve Hollanda'da yaşanan artışın da dikkat çekici olduğu anlaşılmaktadır [55]. Norveç, son yıllardaki politikaları, vergi muafiyeti ve uygulamış olduğu çeşitli teşvikler sayesinde, 2016 yılındaki global yeni EA satışının % 29 oranında pazar payına ulaşmıştır [54]. Bu rakamlar, birçok ülkede EA satışı açısından ciddi bir artış trendinin meydana geldiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 2.5. Küresel elektrikli otomobil stokunun 2010-2016 yılları arasında gelişimi [54]

2018 yılı itibari ile söz konusu rakamları ve EA gelişim trendini değerlendirdiğimizde ise Şekil 2.6'da görüldüğü üzere, 2017 yılında 1,22 milyonluk rekor düzeydeki küresel satış miktarı ile birlikte dünya genelindeki toplam elektrikli yolcu araç sayısı 3,2 milyonu geçmiştir.



Şekil 2.6. 2017 yılı itibariyle küresel yolcu elektrikli araç pazarı, 2012-2017 [56]

Buna ilaveten, Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) bu alanda yapmış olduğu projeksiyon çalışmalarında, orta vadede elektrikli araç kullanımında küresel boyutta artış yaşanması ve global ölçekte kullanılan EA sayısının 7 milyonu geçmesi tahmin edilmektedir [57].

Öte yandan bahse konu bu durum, birçok yüksek talepli yükün şebekeye farklı zamanlarda farklı noktalardan bağlanması anlamına gelmektedir. Talep gücü kW'lar mertebesinde başlamakta olan bu yüklerin genel elektrik enerjisi tüketimi içindeki düzeyi, halihazırda binalardaki mevcut standart yüklere göre oldukça fazladır. Birçok EA bulunan bir şebekede yeni puant talep zamanları gözlemlenebilir ve tüketimde dalgalanmalar yaşanabilir. Bu nedenlerden ötürü, elektrikli araç talep profili tahminleri ve toplu şarj noktalarının yönetimi ile ilgili çalışmalar oldukça önem arz etmektedir. Ayrıca şarj sırasında, bina içi diğer yüklerin yönetimi ile binaların puant taleplerinin sınırlandırılması sağlanabilir [52].

Elektrikli araçlar ile ilgili bir diğer çalışma alanı ise araç akülerinin şebekeyi destekleme amaçlı kullanılmasıdır (Vehicle-to-Grid). Binlerce aracın bulunduğu bir şebekede, gece saatlerce kullanılmayacak büyük bir enerji deposu söz konusudur. Bu enerjinin, şebekenin ihtiyaçları doğrultusunda yönetimi sayesinde, yeni bir santralin devreye sokulması veya elektriğin farklı bir enerjiye dönüştürülerek depolanıp sonra kullanılmasından daha verimli

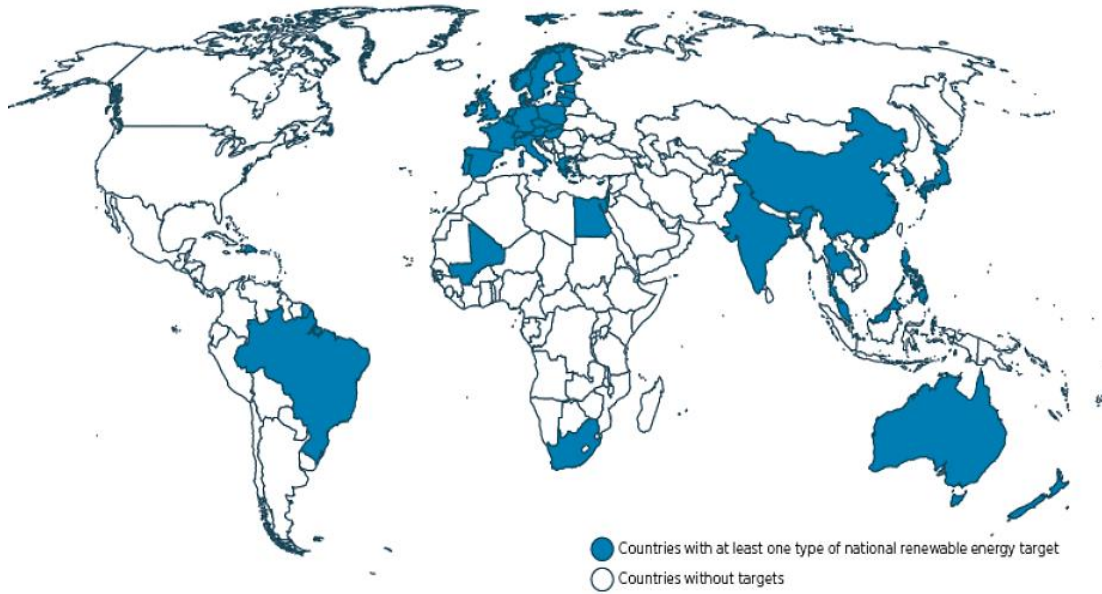
ve hızlı bir şekilde talep karşılanabilir. Araçların sahiplerini bu uygulamaya teşvik etmek için sağladıkları bu yardım karşılığında, sabit, kullanım sayısına veya kullanılan enerji miktarına dayalı ödemeler sunulması düşünülmektedir [52].

Kontrolsüz ve plansız bir şekilde elektrikli araçların şarj edilmesinin, elektrik dağıtım sistemi tarafında önemli etkileri olacağı öngörülmektedir ve bu durum, elektrik dağıtım sistemi elemanlarının ömrünü doğrudan etkileyecektir. Bu noktada, elektrikli araçların yaygınlaşması durumunda, akıllı şebeke teknolojisi ile elektrik sisteminde yaşanabilecek teknik kısıtların/sorunların en aza indirgenmesi ve şebekenin daha ideal bir şekilde çalışması sağlanabilecektir.

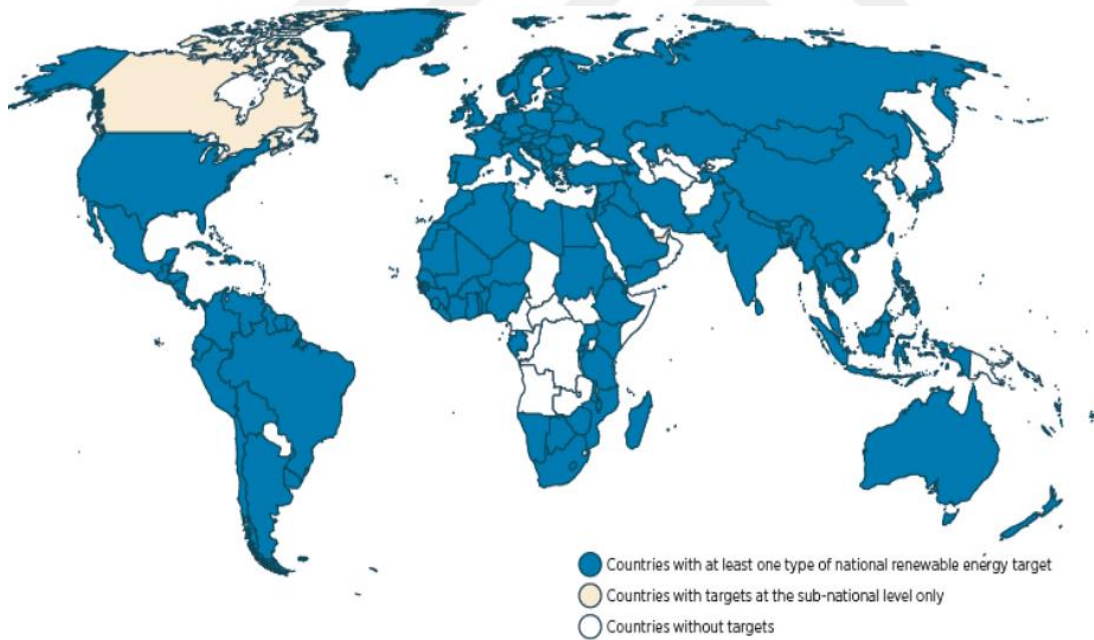
2.2.3. Yenilenebilir enerji kaynaklarının artan kullanımı

Dünya elektrik üretiminin yaklaşık beşte birine tekabül eden yenilenebilir enerji, küresel enerji miksinde önemli bir kaynak olarak yer almakta olup, özellikle sürdürülebilir ve güvenli enerji sistemlerinin ortaya çıkmasında gelecekte de büyümeye devam edecektir. Dünya genelinde yenilenebilir enerji teknolojilerinin, enerji geleceğinin çevreci, sürdürülebilir ve güvenli bir şekilde devam ettirilmesinde kilit rol oynadığı ve bu çerçevede ülkelerin politikalar/hedefler belirlediği görülmektedir.

Şekil 2.7 ile Şekil 2.8'den anlaşılacağı üzere, ülkeler bazında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı hususunda ciddi hedefler ve politika değişimleri olduğu gözlemlenmektedir. (Mavi olan kısımlar, en az bir çeşit yenilenebilir enerji kaynağında ulusal hedefleri olan ülkelerdir.)



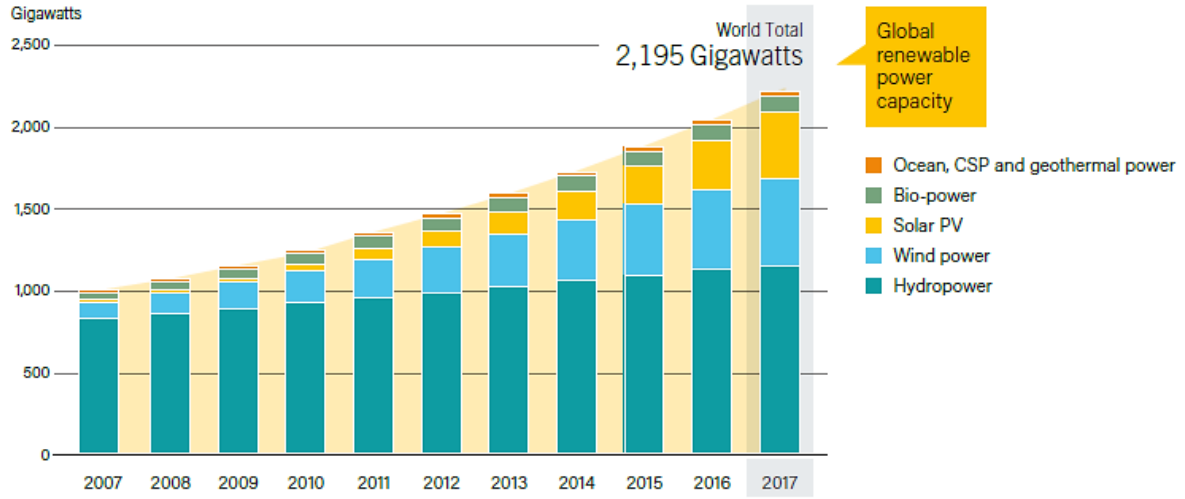
Şekil 2.7. Ulusal yenilenebilir enerji (tüm çeşitler) hedeflerine ilişkin küresel harita, 2005 [58]



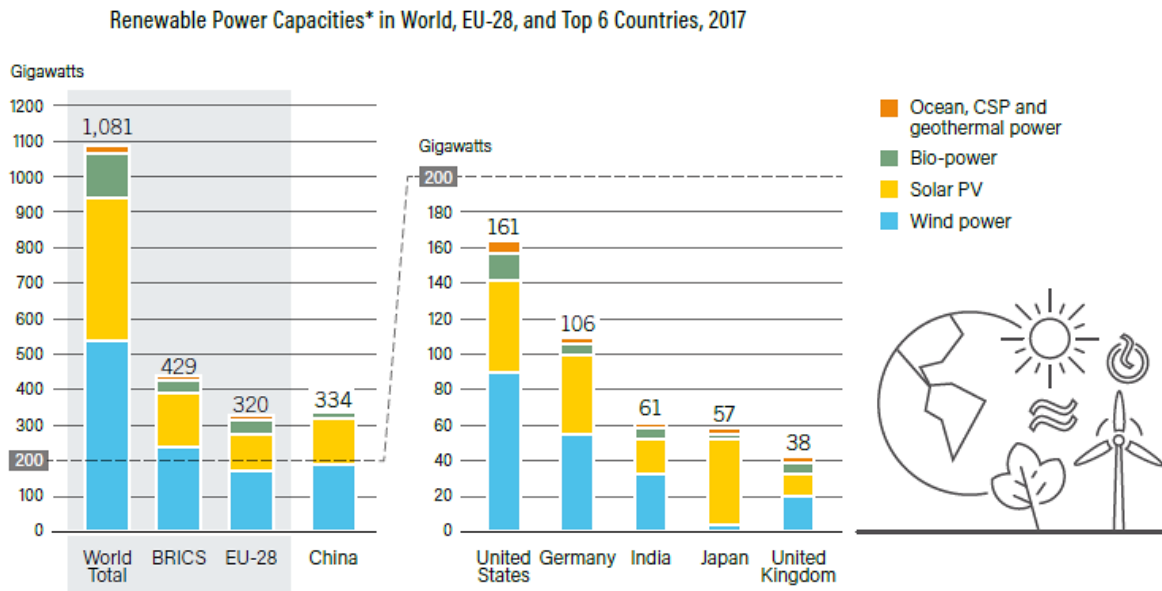
Şekil 2.8. Ulusal yenilenebilir enerji (tüm çeşitler) hedeflerine ilişkin küresel harita, 2015 [58]

Dünya genelinde yenilenebilir enerjiden elektrik üretimi ve yenilenebilir kurulu güç projeksiyonlarına ilişkin olarak Şekil 2.9 ve Şekil 2.10 incelendiğinde, yenilenebilir kaynakların ve özellikle hidrolik, rüzgar ve sonrasında güneş enerjisinden elektrik üretiminin

önümüzdeki dönemde de büyük önem arz edeceği öngörülmektedir. Bu bağlamda, gerek teknoloji gerekse diğer hususlarda ülkeler arasında sağlanacak olan işbirlikleri ile yeni pazarlar oluşturulması ve dünya genelinde bu enerji potansiyelinin mümkün olan en üst seviyede kullanılmasının hedeflendiği gözlemlenmektedir.



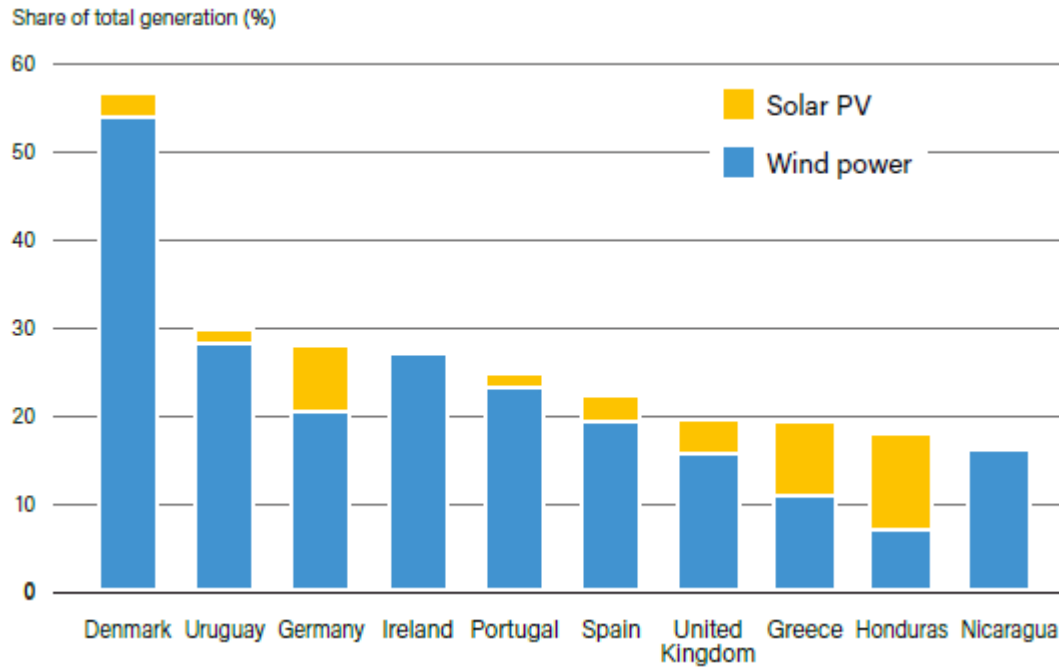
Şekil 2.9. Küresel yenilenebilir enerji kurulu güç kapasitesi gelişimi, 2007-2017 [56]



Note: BRICS = Brazil, the Russian Federation, India, China and South Africa. *Not including hydropower.

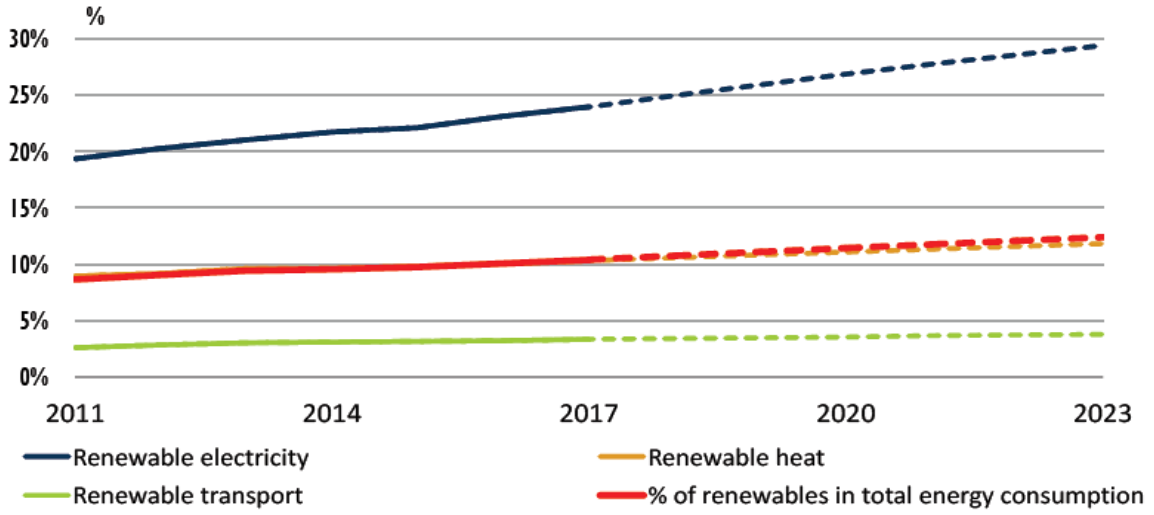
Şekil 2.10. Dünya bölgeleri ve ülkeler (ilk 6 ülke) bazında yenilenebilir enerji kurulu güç kapasitesi dağılımları, 2017 [56]

Ülkeler açısından bakıldığında, enerji tüketiminde arz-talep dengesinin sürekli olarak korunması, Şekil 2.11'de de görüldüğü üzere enerji arzının mümkün olduğunca yerli ve yenilenebilir kaynaklardan sağlanması, enerji miksinin çeşitlendirilmesi arz güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır. Bahse konu projeksiyon çalışmaları incelendiğinde, kısa ve orta vadede yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminde kayda değer bir artış yaşanacağı ve ülkelerin bu yönde politikalar/uygulamalar geliştirdiği anlaşılmaktadır.



Şekil 2.11. Elektrik üretiminde değişken yenilenebilir enerji kaynak oranı bakımından ilk 10 ülke, 2017 [56]

Tüm bu çalışmalar izlendiğinde ve Şekil 2.12 incelendiğinde, dünya üzerindeki genel eğilimin; yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının daha çok artırılması, fosil yakıtların kullanımının azaltılarak sera gazı salımının kontrol altına alınması ve tüketicilerin, tüketim kontrolü yapmak vasıtasıyla piyasaya dâhil olmalarını kapsayan geniş bir enerji verimliliği perspektifinin gerçekleştirilmesi şeklinde olduğu ifade edilebilir [46].



Şekil 2.12. Elektrik üretimi, ısıtma ve ulaştırma sektörlerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı [59]

Geleneksel şebekelerde anlık talep değişimlerinin yönetilebilmesi için büyük miktarlarda iletim ve üretim kapasitesi ayırmak gerekmektedir ki, bu da aynı zamanda milyarlarca dolarlık yeni santral ve iletim-dağıtım hattı inşası anlamına gelmektedir. Günümüzde ise yüksek miktarda rezerv kapasite ayırmak bir lüks haline gelmiştir [46].

Bahse konu problemleri giderebilmek için tüm dünya ülkeleri, mevcut elektrik şebekelerini dağıtık ve akıllı bir şebeke yapısına dönüştürme çabası içerisindeyler. Bu yeni nesil şebeke yapısında, üreticiler alçak gerilim de dâhil olmak üzere tüm seviyelerden şebekeye dâhil olabilecekler, tüketiciler talep yönetimi yaparak enerji verimliliğine katkıda bulunabileceklerdir. Şebeke işletimi, dengelemesi ve izlemesi anlık yapılabilecek; arızalar, sıkışıklıklar ve kullanılabilir hat kapasiteleri akıllı algoritmalar ve gelişmiş sensörler ile anlık tespit edilebilecektir [46].

Dolayısıyla, akıllı şebeke teknolojilerinin kullanımı ile birlikte, yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik üretim tesislerinin sisteme entegrasyonunun optimum seviyede sağlanması amaçlanmaktadır. Genel olarak bahsedilen bu yaklaşımlar doğrultusunda, mevcut şebekelerin güçlendirilmesi ve yeni ihtiyaçlara cevap verebilecek hale getirilmesi gerekmektedir. Akıllı şebekeye dönüşüm kavramı da bu noktada gelişmeye başlamıştır. Seksenli yıllarda otomatik sayaç okuma ile başlayan bu dönüşüm, günümüzde şebekenin tüm bileşenlerinin etkileşimli iletişimini esas alan verim ve tasarruf odaklı bir sisteme doğru devam etmektedir.

2.3. Elektrik Sistemi Açısından Akıllı Şebeke

Genel çerçevede akıllı şebeke ile elektrik sistemine bakıldığında aşağıdaki hususların gerçekleştirilebilir olduğu gözlemlenmektedir:

- Paydaşlar arasında (üretici, tedarikçi ve son kullanıcı) direkt iletişimin sağlanması,
- Kullanıcıların saat bazlı elektrik fiyatına göre kendi elektrik tüketim miktarlarını ve zamanı yönetebilmeleri,
- Şebekenin etkin ve verimli kullanılması, şebeke güvenliğinin sağlanması,
- Şebeke operasyon maliyetlerinin düşürülmesi,
- Arz güvenliğinin sağlanması, müşterilere kesintisiz ve kaliteli hizmet verilmesidir.

Bunun yanı sıra, genel itibari ile akıllı şebeke uygulamalarını ana başlıklarla ifade edersek:

- 1) Dağıtık Üretim Uygulaması: Merkezi olmayan ve elektrik şebekesine dağıtılmış üretim noktasından (domestic generation), yüksek güçteki üretici santrallere kadar büyük bir yelpazede elektrik enerjisi üretiminin sistem içerisinde entegre edilmesini amaçlar.
- 2) Dağıtık Depolama Uygulaması: Elektrik enerjisi üretim fazlasının şebeke içerisinde dağıtılmış depolama noktalarında depo edilmesi ve ihtiyaç halinde elektrik talebine cevap vermesi için kullanıma sunulmasını amaçlar.
- 3) Talep Tarafı Yönetim Uygulaması: Talep tarafı yükünün yönetilmesi ile dağıtılmış üretim noktalarına ve depolama imkanlarına hazi olmuş elektrik sistemlerinde, üretici-tüketici dengesi ve elektrik enerjisi fiyatlamaları çok daha iyi yönetilebilmektedir [60].

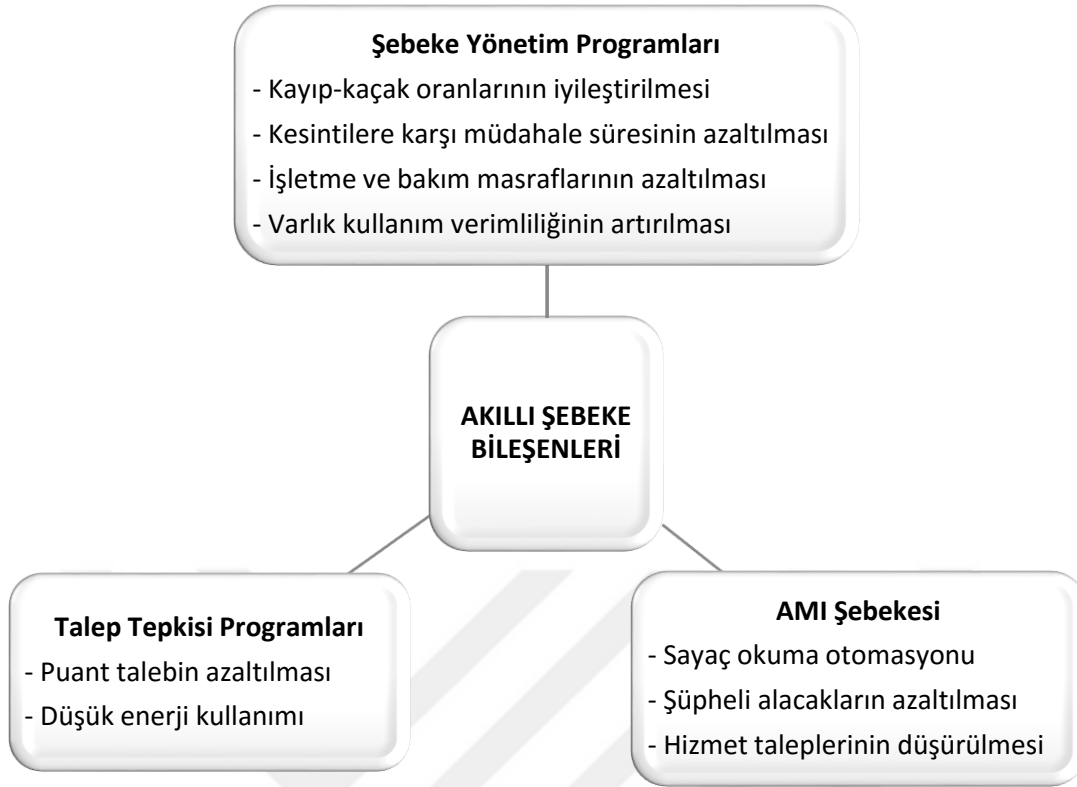
Dağıtılmış üretici noktalarının (DUS) en önemli avantajlarından biri, genel inkıta durumunda bile DUS'lar ile tüketicilerin elektrik enerjisi sürekliliğinin sağlanabilmesidir. Dağıtılmış üretici noktaları ile birlikte Avrupa ve Amerika dahil birçok yerde, yaşlı ve dal budak sistem şeklinde olan dağıtım şebeke yapısının revize edilmesi gerekmektedir. Dağıtılmış üretici noktalarının şebekeye bağlantısında şu zorluklar yaşanmaktadır:

- Çift taraflı elektrik enerjisi akışı dolayısıyla reaktif güç kontrolü zorlaşmaktadır,
- Değişken aktif ve reaktif güç dolayısıyla sistemde istenilmeyen voltaj dalgalanmaları yaşanmaktadır,

- Şebekenin içindeki transformatör bağlantı gruplarına göre kısa devre akımlarının etkileri artmakta ve röle seçme kriterleri devamlı değişmektedir,
- Varolan şebeke elemanlarının kısa devre akım limiti ile ısı dayanma kapasiteleri zorlanmaktadır,
- Harmonik ve fliker üretim miktarı kabul edilebilecek sınır aralığında olmamaktadır,
- Anahtarlama ve anlık şekilde devreye girme vb. hallerde sistem kararlılığı limit değerler aralığında olmamaktadır [61].

Akıllı şebeke uygulama örneklerinin güç sistemlerine entegre edilmesiyle varolan elektrik enerjisi dağıtım şebekelerinde otomatik sayaç okunması, izlenmesi ile enerji dağıtım ve yönetimi uygulamalarının kullanılması, yani SCADA sisteminin tatbik edilmesine başlanılmıştır. Bunun yanında, bu sistemlerin altyapısı kullanılmak sureti ile şebekedeki anlık veri grafiklerinin incelenmesi sonucunda, elektrik enerjisi kalitesinin standart limit değerleri içinde olması ve kesinti/kısıntı olmaksızın enerji güvenliği temin edilmesi hususlarında da gereken altyapı ortaya konulabilecektir. Bu kapsamda, şebeke açısından en önemli problemlerden biri olan kayıp ve kaçak yüzdesinin çok daha yüksek oranda düşürülmesi, arz kalitesinin artırılması ve kesinti süresinin asgari düzeye indirilmesi imkan dahilinde olmaktadır.

Elektrik dağıtım sistemi açısından konuya bakılacak olursa; Şekil 2.13'te yer alan akıllı şebeke bileşenleri incelediğinde, talep tepki programları ile etkili talep yönetimi sağlanarak, şebeke güvenliğinin korunmasının yanında, tüketiciler ile dağıtım şirketlerinin tüketim miktarlarını kontrol edebilmelerine imkan sağlanmaktadır. Bu durumda ilgili paydaşlar, yük yönetimi stratejisi oluşturabilmekte, kaynak portföyü açısından optimizasyon yapabilmekte ve son kullanıcı faaliyetlerini inceleyebilmektedir. Gelişmiş sayaç altyapılarıyla (AMI) ileri düzey kullanıcı hizmetleri sunulabilmekte ve çift yönlü iletişim imkanı sunabilen otomatik sayaçlarla operasyonel verimlilikler sağlanabilmektedir [62].



Şekil 2.13. Akıllı şebeke bileşenleri [62]

2.4. Akıllı Şebekenin Sağlayacağı Avantajlar

Akıllı şebekeler, dağıtılmış üretim santralleri ve diğer şebeke unsurları arasında iki taraflı iletişim sağlayarak, kaynakların en ideal ve verimli bir biçimde kullanılmasına imkan vermektedir. Akıllı şebekeler ile ortaya çıkan önemli avantajlar aşağıda ifade edilmektedir:

- Yenilenebilir enerji kaynakı elektrik üretim tesisleri daha kolay ve hızlı bir biçimde enterkonnekte şebekeye entegre edilebilecek ve tüketim noktaları da üretim konumuna geçecektir.
- Elektrik enerjisi tüketim miktarları sistemde belirlenmiş yerlerde reel zamanlı şekilde karşılaştırılabilecek ve şebekedeki kayıp-kaçak yüzdesi çok daha aşağıda olacaktır.
- Kullanıcılara daha kapsamlı bilgilendirme ve elektrik tüketim tarife seçenekleri sunulacaktır.
- Akıllı ev otomasyon uygulamalarının gerçekleştirilmesine imkan sağlanarak, kullanıcının elektrik şebekesindeki işletme optimizasyon hususunda kendi rolünü oynama durumu ortaya çıkacaktır.

- Kullanıcılar daha dinamizm içeren fiyat politikası ile elektrik enerjisi satın alma imkanına ulaşacaktır.
- Mükün mertebede tüketilecek enerji kadar elektrik üretimi gerçekleşeceğinden, Kyoto Protokolü'nde kabul edilmiş olan karbon salımı azaltım hedefleri için de kaydadeğer bir aşama sağlanmış olacaktır.
- İletim ve dağıtım şebeke altyapısının iyileştirilmesi ve daha fazla geliştirilmesi sağlanacaktır.
- Elektrik dağıtım ve iletim şirketlerine daha fazla şebeke yönetimi ve kaliteli müşteri hizmetleri imkânı sunulacaktır.
- Şebekelerin ihtiyaç duyabileceği sistem yatırımları, akıllı şebeke teknolojileri ile elde edilmiş ölçüm ve analiz sonuçları sayesinde optimum seviyede planlanacaktır.
- Elektrikli araçlar açısından da yeterli ve güvenilir bir elektrik şebeke altyapısı oluşturulacaktır.
- Düşük kullanım masraflarının yanında üretim yönetimi sistemi açısından da önemli avantajlar sağlanacaktır. Varolan üretim kapasitesi daha etkili ve ideal bir biçimde kullanılacaktır.
- Sonuçta, yenilenebilir enerji kaynaklarıyla tüketicilerin kendi elektrik enerjilerini üretebilmesi ve üretilen fazladan elektriği sisteme satabilmeleri imkanı olmaktadır. (Tüketicinin üretici konumuna geçmesi: “prosumer”) [63].

Aşağıda yer alan Çizelge 2.1'de ise akıllı şebeke ile işletme açısından çeşitli alanlarda değerler oluşturulduğu ve bu çerçevede birçok avantaj sağlanabileceği görülmektedir.

Çizelge 2.1. Akıllı şebeke ile işletme değer bileşenleri [62]

İşletme Değer Bileşenleri	Değer Yaratılan Alanlar	Fırsatlar
Operasyonel Verimlilik	<ul style="list-style-type: none"> • Sayaç okuma (Manuel okuma yapılmamaktadır) • Elektrik kesintileri • Bakım ve onarım maliyetleri 	<ul style="list-style-type: none"> • Uzaktan izleme ve okuma yöntemleri ile hizmet maliyetleri azaltılarak, hizmet kapasitesi artırılmaktadır • Sistem kayıp ve kaçak oranları azaltılmaktadır • Bakım ve onarım programları optimize edilerek maliyetler azaltılmaktadır
Finansal Risk	<ul style="list-style-type: none"> • Yük tahmini • Varlık yönetimi • Fiyata endeksli talep tepkisi 	<ul style="list-style-type: none"> • Farklı zamanlara göre fiyatlandırma mekanizmasına olanak sağlanarak, puant talebin kaydırılması sağlanmaktadır • Düşük puant yüklerden kaynaklanan sermaye yatırımlarından kaçınılmaktadır • Etkili varlık yönetimi ile olumlu vergi sonuçlarına ulaşılmaktadır
Mevzuata Uyum	<ul style="list-style-type: none"> • Enerji verimliliği hedefleri • Yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının teşviki • Operasyonel performans hedefleri 	<ul style="list-style-type: none"> • Enerji verimliliği artırılmakta ve puant talep azaltılmaktadır • Yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili iş olanakları sağlanmaktadır • Kesinti sıklıklarında ve sürelerinde iyileştirmeler sağlanmaktadır
Müşteri Hizmetleri Gelişimi	<ul style="list-style-type: none"> • Müşteri seçeneklerinin artması • Gelişmiş müşteri hizmetleri • Güvenilir ve kaliteli elektrik 	<ul style="list-style-type: none"> • Tüketiciler için program seçenekleri ve enerji kullanım verileri artmaktadır • Fatura hataları azaltılmaktadır
Gelir Artırımı	<ul style="list-style-type: none"> • Kayıp ve kaçak tayini • Otomatik hizmet ve faturalama • Kesintiler 	<ul style="list-style-type: none"> • Kaçak oranı azaltılmaktadır • Önceden ödenmiş hizmetler sağlanarak, düşük şüpheli alacak miktarı elde edilmektedir • Kesinti sıklıkları ve süreleri azaltılmaktadır

2.5. Akıllı Şebekelerden Akıllı Şehirlere

Akıllı şebekeler, esas olarak mikro teknoloji uygulamalarının birlikte çalışarak makro bir şebeke ağı ortaya çıkarması şeklinde de ifade edilebilir. Bu anlamda ekipman, yazılım, akıllı ölçme aygıtları, ağ operatörleri, mesken ve işyerleri için güç yönetim aletleri gibi birtakım öğelerin ve ölçme sonucunda elde edilen dataların yönetim sistemleri gibi sistem çok çeşitli katmanlardan oluşmaktadır. Akıllı şebeke teknolojilerinin tam ve doğru şekilde çalışabilmesi ve ekonomik anlamda pozitif sonuç verebilmesi için bazı şehirlerde tüm güç sisteminin değiştirilmesi gerekebilmektedir. Bu durum da çok ciddi meblağda bir maliyet unsuru içerdiğinden ilgili şirketlerin, vakıfların, üniversitelerin ve diğer araştırma kurumlarının yönetim birimleriyle işbirliği içinde çalışılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Söz konusu sistem dönüşmesi ve uyum süreci içerisindeki muhtemel zorluklar ise bir lokasyona, ülkeye göre farklı olabilmektedir ki, bu noktada lokal ve ulusal yönetim birimleri, uygulanan iş modelleri ve ülkelerin/şehirlerin gelişmişlik seviyesi vb. unsurlar önemli rol oynamaktadır [64].

Bilişim teknolojilerinin kullanılması sonucunda; şehirleşmenin beraberinde gelen problemleri çözebilen, iklim değişikliği gibi küresel sorunları da azaltabilen “akıllı şehirlerin” inşa edilmesi hedeflenmektedir. Milyonlarca teknolojik aletin birbiri ile bağlı olduğundan bahsedilebilecek bir dünyada, sadece insanların değil veri transferlerinin, servis sağlayıcıların, çeşitli uygulamaların vb. birçok ögenin de bağlantı içerisinde kalabileceği bir atmosfer söz konusu olmaktadır.

Örneğin, acil durum yönetimi teknoloji uygulamaları ile ana yollardan herhangi birinde gerçekleşen trafik kazası belirlenmiş olacak ve anlık olarak alternatif yollara yönlendirme yapılacak, böylelikle de vatandaşların mesai çıkış vaktinde yollarda kilitlenmiş trafik içinde kalması önlenmiş olacaktır. Buna benzer olarak, şebeke suyu hatlarında meydana gelmiş bir kaçak, anlık biçimde tespit edilecek ve ciddi bir hasara dönüşmeden hızla engellenebilecektir.

Bu çerçevede, akıllı şehri oluşturan katmanlar aşağıda şekilde ifade edilmektedir [64]:

1. Altyapı: Yüksek hız, kapsamlı erişim (sabit ve mobil olmak üzere).

2. Eyleyici: Akıllı ölçme aygıtları, faturalama sistemleri, güvenlik uygulamaları vb. birçok altyapısal sistematığın doğru çalışabilmesini temin eden destek birimleri.
3. Cihazlar: PC, telefon, tablet ve meskenlerde kullanılmakta olan birtakım aygıtların akıllı şebekeler ile entegre edilmesi.
4. Uygulamalar: İlgili şirketlere ve kullanıcılara/tüketicilere, çevreye etkilerin en asgari düzeye indirildiği iş ve yaşam çözümlenmeleri sunmak (E-bilet, E-devlet vb.)

Günümüz şehir yapıları, “sistemler sistemi” (systems of systems) şeklinde yorumlanmaktadır. Oldukça fazla unsur içeren ve karmaşa barındıran bu sistematığı kurabilmek, geliştirebilmek ve ideal bir biçimde çalıştırmak adına, ilgili kurum/kuruluş ve kullanıcılar çeşitli ortak yapılar içerisinde aksiyon almak zorundadır. Bahse konu paydaşlar ise bilişim teknolojisi tabanlı altyapı ve servis sağlayıcıları, içerik sağlayıcıları, 3. parti servis sağlayıcıları ve belediyeler vb. yönetim birimleri olarak gruplandırılabilir.



3. DÜNYADAKİ AKILLI ŞEBEKE ÇALIŞMALARI VE PİLOT PROJELERİ

1890'lardan günümüze kadar genel itibari ile aynı biçimde çalışan elektrik şebekelerine, 21. yüzyıl haberleşme teknolojileri eklenerek ortaya çıkarılan akıllı şebeke modelinin dünya genelinde uygulama projeleri her geçen gün artmaktadır. 2005'te tamamlanmış olan Telegestore çalışması çerçevesinde İtalya, akıllı şebekelere ilişkin önemli adım kaydeden ilk ülke konumundadır. Bu projede 27 milyon elektrik sayacının, uzaktan okunabilme özelliğine sahip akıllı sayaçlarla değiştirilmesi şeklinde bir çalışma yapılmıştır [65].

AB'nin yaptığı çalışmalarda, 2020 iklim değişikliği ve enerji politikaları hedefi kapsamında, enerji altyapısında ciddi bir değişim gerekliliği ifade edilmiştir. Varolan ağların güçlendirilmesi, sistem güvenliği açısından iyileştirme yapılması, iç elektrik enerjisi piyasasının daha da gelişmiş bir hale getirilmesi, tasarruf anlayışının yükseltilmesi ve verimliliğinin geliştirilmesi, yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretiminin artırılarak şebekeye adapte edilmesi önem arz etmektedir. Söz konusu işlemleri tesis edebilmek adına sadece ilave hat ile trafo inşaa edilmesi çözüm olmamaktadır. Sistemin, bilgi ve iletişim teknolojileriyle entegre edilerek daha da akıllanmış bir biçime dönüştürülmesi gereklidir.

3.1. Ülkelerin Genel Görünümü

Dünyadaki akıllı şebeke çalışmaları hususunda; ülkelerin genel durumuna, gerçekleştirilen veya planlanan düzenlemeler ile çeşitli uygulamalara ilişkin olarak, ülke bazlı birtakım bilgiler aşağıda yer almaktadır [62, 66, 67].

ABD: Smart grid mevzuatı, ABD Kongresi'nde 2007'de yürürlüğe girmiş olan Energy Independence and Security Act (EISA) ile hayata geçirilmiş ve iletim-dağıtım şebekelerinin modernize edilmesi kararlaştırılmıştır. ABD smart grid projelerinin 20 yıl içerisinde yaklaşık maliyetinin 338-426 milyar dolar seviyelerinde olacağı tahmin edilmektedir.

Brezilya: Birçok kuruluş/şirket smart grid çalışmaları kapsamında pilot uygulamalar yapmaktadır. Dönemsel planlamalar çerçevesinde, 2012'de 1 milyondan fazla uzaktan

otomatik okunabilen sayacın kurulması projesi gerçekleştirilmiş olup, 2021 sonu itibari ile 63 milyon elektrik sayacının akıllı sayaçlarla değişimi planlanmıştır.

Hindistan: Yeni ve Yenilenebilir Enerji Bakanlığı (Ministry of New and Renewable Energy) tarafından yapılmış olan incelemede, dünyadaki en yüksek iletim-dağıtım şebeke kayıp oranlarının Hindistan şebekesinde gerçekleştiği belirtilmektedir. Sözkonusu kaybın, kaçak kullanım da eklendiğinde %50 seviyesine yaklaştığı vurgulanmaktadır. Bundan dolayı, 2008'de "Smart Grids India" programıyla ilk adım atılarak, smart grid çalışmalarına başlamışlardır. 2020 yılı sonunda 130 milyonun üzerinde akıllı sayacın kurulmuş olması hedeflenmektedir.

Çin: Popülasyon ve sanayileşme nedeniyle enerji verimliliğini öncelikli politika olarak belirlemiştir. Çin smart grid yol haritası, üç basamaktan oluşmaktadır: Planlama ve pilot proje (2009-2010), kurulum (2011-2015), geliştirme (2016-2020) şeklindedir. Ülkede elektrik üretim noktaları, tüketimin fazla olduğu yerlere uzakta olduğundan, yatırım planlamaları, verimlilik odaklı biçimde elektrik taşınması amacı ile iletim hatlarına yapılmıştır. Ülkede smart grid çalışması, 2007'deki MIT programı sonrasında başlamıştır. 2009-2020 arasında, smart grid teknolojilerinin ilerletilmesi için 101 milyar dolar tutarında yatırım yapılması hedeflenmiştir.

Japonya: Dev endüstriyel ortaklar aracılığıyla kurulan Japonya Akıllı Toplum İttifakı, ülkenin smart grid yol haritasının ortaya konulmasında büyük rol almaktadır. Ülkede, 1990'dan günümüze kadar, smart grid kapsamında önemli yatırımlar yapılmış ve dünyada lider pozisyona gelinmiştir. Yatırımlara uzun zaman önce başlanıldığından, smart grid projelerine talep tarafı katılımı (home-side) yönünde devam edilmektedir. Ülkedeki 4 şehirde, smart grid çerçevesinde akıllı şehir pilot uygulama çalışmaları yürütülmektedir.

Güney Kore: 3 kademe ve 5 bileşen içeren program ile 2030'da smart grid uygulamalarının tam olarak hayata geçirilmesi hedeflenmiştir. Kademeler; 2010-2012, 2012-2020 ve 2021-2030 şeklinde belirtilmiş, bileşenler de akıllı şebeke, akıllı tüketici, akıllı taşımacılık, akıllı yenilenebilirler ve akıllı elektrik hizmetleri şeklinde ifade edilmiştir. Söz konusu planlamada, sistemin uzaktan izlenebiliyor olması, akıllı meskenlerin enerji yönetimi ve pilot elektrikli araç şarj istasyonlarının kurulumu vb. faaliyetler yer almaktadır. Uygulamalar tamamen hayata geçirildiğinde elektrik şebekesinin kendini onarabiliyor olması, reel

zamanlı fiyatlandırma yapılması ve elektrik depolama sistemlerinin yaygın hale getirilmesi gibi birçok akıllı sistemin olması hedeflenmektedir.

Rusya: Ülkede 1,5 milyondan fazla mesken abonesi akıllı elektrik sistemine bağlı hale getirilmiştir (Ericsson şirketi). Meskenlere, elektrik enerjisi tüketimini enerji şirketi tarafından kontrol etme imkânı sağlayan akıllı sayaç kurulumu yapılmıştır.

Avustralya: Australian Energy Market Operator elektrik dağıtım şirketlerine, kullanıcılara akıllı sayaç bağlama zorunluluğu getirmiştir. Bunun yanı sıra, Avustralya devleti, “akıllı şebeke, akıllı şehirler” projesi çerçevesinde enerji sektör paydaşlarıyla ortak bir çalışma yapmakta olup, söz konusu çalışma için 52,5 milyon Euro bütçe imkanı sunmuştur.

Avrupa Birliği: AB müktesebatında 3. Enerji Paketi esasları ile bu bağlamdaki 2009/72/EC No’lu Enerji Direktifinin Ek I.2 maddesi çerçevesinde, AB üyelerinin smart grid yatırımı yapmaları teşvik kapsamına alınmıştır. Paket kapsamında, 2020’de AB tüketicilerinin % 80 oranında akıllı sayaçlara haiz duruma gelmesi hedeflenmektedir. Söz konusu direktif ve düzenlemeler sonucunda, son 10 yılda 300 civarında smart grid projesine 5,5 milyar Euro yatırım yapılmıştır. 2020’de ise toplamda en az 240 milyon akıllı sayacın AB ülkelerinde kurulumunun tamamlanması öngörülmektedir.

Fransa: 2010 yılında yapılan mevzuat düzenlemesi çerçevesinde, ülke genelini % 95 oranında kapsayacak biçimde akıllı sayaç kurulum hedefi belirlenmiştir.

İspanya: 2008’de düzenlenen mevzuatla, tüketici tarafından kullanılan mevcut sayaçların yerine tüketiciye ilave maliyet olmadan, dağıtım şirketlerince akıllı sayaç değişimlerinin yapılması mecbur kılınmıştır. Bu düzenlem kapsamında, Endesa elektrik dağıtım şirketince 2010-2015 yıllarında 13 milyon tüketiciye akıllı sayaç kurulumu yapılmıştır.

İngiltere: Akıllı şebekeye geçmek adına 2 kademeli bir planlama uygulanacaktır. Planın birinci kademesi 2010 - 2015 yıllarında smart grid dizaynının araştırılması ve uygulama yapılması, 2015 - 2020 yıllarında da ikinci kademe olarak akıllı sayaç kullanılmasının yaygınlaştırılması ve nihayetinde 2020’de yaklaşık 50 milyon elektrik ve doğalgaz akıllı sayacının şebekeye entegrasyonunun sağlanması amaçlanmaktadır.

Malta: Smart grid uygulamalarına başlamış ilk ülke sıfatıyla nitelendirilmektedir. Devlet yetkililerince, vatandaşın elektrik kullanımının hangi zamanda ve ne şekilde olması gerektiğine dair halkın eğitilmesi noktasında hassasiyet gösterilmiştir. 250 bin akıllı sayacın şebekeye entegre edilmesiyle birlikte kullanıcıların enerji tüketimi reel zamanlı gözlemlenerek daha avantajlı tarifelere yönlendirilmesi ve daha az elektrik tüketimi yapan abonelerin ödüllendirilmesi şeklinde bir yol izlenmiştir.

Almanya: 2010'da Almanya'da bütün binaların akıllı ölçüm aygıtları ile donatılması kararı alınmış, 2011'de de "Demand Response (Talep Katılımı)" ve "Time of Use (Kullanım Süresi)" vb. programlar tüketiciye sunulmuştur. Devlet teşviğinin yanında, sektördeki önemli şirketler ile Yello Strom vb. hizmet şirketlerinin katılım sağlamasıyla, Almanya'da smar grid yatırım miktarının 2020'de 40 milyar Euro civarında olacağı beklenmektedir.

3.2. Dünyada Yapılan Çeşitli Akıllı Şebeke Projeleri

Bir önceki başlık altında ifade edilen hususlar ve ülkelerin genel durum bilgilerine ilaveten, dünyada yapılan çeşitli akıllı şebeke projelerine ve bazı şehirler özelinde yapılmış olan pilot çalışmalara bu kısımda yer verilmiştir. [62, 66, 68].

AB'de, 2006'da "Avrupa Birliği Akıllı Şebekeler Teknoloji Platformu" kurulmuş; AB'nin gelecek yıllardaki enerji sistem yapısı için vizyonu ve bu vizyonu gerçekleştirmek adına gereken strateji belirlenmiştir. Smart grid vizyonu, "*yeni ürünlerin, süreçlerin ve hizmetlerin ortaya çıkarılması, sanayide verimliliğin artırılması ve daha temiz enerji kaynaklarının kullanımının sağlanmasıyla AB'nin global markette rekabet gücünün artırılması*" şeklinde ifade edilmiştir. Söz konusu vizyona bakıldığında, AB'nin ekonomi ve çevre hedefleri açısından, smart grid teknolojilerinin önemli bir yer tutacağı anlaşılmaktadır.

AB'nin belirttiği 20-20-20 hedefi (2020'de enerji üretiminin % 20'sinin yenilenebilir kaynaklardan olması, karbon emisyon oranının % 20 azaltılması ve enerji verimliliğinin % 20 artırılması) kapsamında, AB ülkeleri ve aday ülkeler akıllı enerji sistemlerine ulaşabilmek amacıyla gereken altyapı çalışmalarını yürütmektedir.

AB'de akıllı sayaç çalışmaları kapsamında, zorluluk esaslı yasal düzenleme yapmış ya da akıllı sayaç konusunda pilot çalışmalar yapan ülkeler; İngiltere, Fransa, İspanya, İtalya,

Malta, İsveç ve Hollanda'dır. Almanya, Çek Cumhuriyeti, Slovenya ve Estonya vs. bazı ülkelere bakıldığında kanuni bir mecburiyet olmamakla birlikte, bazı dağıtım şirketlerince tüketicilerin halihazırdaki standart sayaçları akıllı sayaçlarla değiştirilmektedir.

3.2.1. İtalya telegestore projesi (2000–2005)

2000'de başlayıp 2005'te ENEL şirketince İtalya'da tamamlanmış olan Telegestore projesi; mimari yapısına akıllı sayaçların entegre edilmiş olması, hassas ölçme yeteneği, iletişim özellikleri ve data yönetimi vs. özellikleri ile diğer projelerden farklı olduğunu göstermiş ve dünyadaki ilk akıllı şebeke uygulaması olarak kabul edilmiştir.

Ar-Ge harcamaları, akıllı sayaçların ve konsantratörlerin imalat ve montajı, IT sistemin (information technologies) geliştirilmesi, şebekenin iyileştirilmesi vs. masraflarla projenin maliyeti 2,1 milyar Euro olmuştur. Maliyet çok fazla olmakla birlikte, tüketim miktarı ölçümü ile faturalama işinin hassas ve doğru yapılması, uzaktan yönetim imkanının olması, çeşitli tarifelerden yararlanılması, elektriğin dengeli üretilmesi, enerji verimliliğinin sağlanması, karbon salımı yüzdesinin azaltılması, teknik ve teknik olmayan kayıp miktarının azaltılması gibi birçok avantaj sayesinde, yaklaşık 5 sene içerisinde bahse konu yatırım miktarının amortismanı sağlanmıştır.

Proje kapsamında 27 milyon elektrik sayacı, akıllı sayaçlar ile değiştirilmiş ve 350 bin konsantratör kullanılmıştır. 2006'dan sonra, yenilenebilir kaynaklardan üretilmiş olan elektrik enerjisini şebekeye aktarabilen, çift taraflı iletişim olanağı sağlayabilen çok fazla sayaçların kullanımı da aktif edilmiştir. Projenin sonunda, 700 bin civarında kullanıcı yük profillerine göre ücretlendirilmiştir. Projede LV (alçak gerilim) konsantratörlü GSM (İletişim Protokolü), GPRS (Genel Paket Radyo Servisi), PSTN (Sabit Telefon Şebekesi) vb. iletişim teknolojileri kullanılmıştır. LV konsantratörler iletişimi hem yönetim merkezinden hem de akıllı sayaçlardan çift taraflı şekilde 2400 bit/s hızında sağlamıştır.

Proje çerçevesinde elektrik talebi ve gücü otomatik ayarlanmış, günlük, haftalık, aylık ve mevsimsel olarak çeşitli tarife imkanları sunulmuş, uzaktan enerji açma kesme, yetkilendirme, kayıp kaçığın önlenmesi, her bir abone için data yönetiminin yapılması, aktif-reaktif enerjinin ölçümü, yük profilinin ve depolama kapasitesinin belirlenmesi, her bir

transformatör için dengeleme yapılması, enerji tüketim değerlerinin kullanıcılara iletilmesi, reel zamanlı kullanım datalarının oluşturulması sağlanmıştır.

3.2.2. Malta enemalta projesi (2008 -2013)

Bu projede, 2008-2013 dönemindeki 5 yılda ülkedeki tüm elektrik ve su sayaçlarının akıllı sayaçlar ile değiştirilmesi hedeflenmiştir. Bu açıdan Malta, dünyanın ilk akıllı şebeke ülkesi olma ünvanına sahiptir.

Malta'da kalıcı göl ya da nehir bulunmamaktadır ve yeraltı su kaynaklarına bağımlılık durumu vardır. Bütün elektrik üretiminin ve su arzının yarısını karşılayan, enerjinin yoğun kullanıldığı tuzdan arındırma sistemi için tamamen ithal petrole bağımlı olan bir ülke konumundadır. Ülkenin elektrik ve su şebeke yapısı birbiri ile sıkı ilişki içerisinde.

Devlet, söz konusu projeye vatandaşlarına su ve elektriğin hangi zamanda ve nasıl kullanması gerektiğine dair doğru tercihte bulunması için akıllı bir altyapı sunmuş, enerjinin dışa bağımlı kaynaklar olan fosil petrol türevleri yerine çevreci, doğal ve temiz yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilmesini sağlamıştır.

Su ile elektrik şebekesini bütüncül bir hale getiren akıllı şebeke projesiyle; su sızıntılarının ve elektrik kayıplarının önlenmesi, elektrik dağıtım şirketlerince ağ yatırımlarının doğru planlanması sonucunda kaynakların daha etkin kullanılması sağlanmıştır. Proje çerçevesinde kullanılan 250 bin akıllı sayaç ile elektrik kullanımı reel zamanlı ölçülerek otomatik şekilde ilgililere bildirilmiş, tüketicilere çeşitli tarifelerden yararlanabilme olanağı sunulmuş, daha az enerji ve su tüketen aboneleri ödüllendirmek sureti ile kaynak kullanımında verimlilik artırılmıştır.

3.2.3. İngiltere akıllı sayaçlara geçiş programı

İngiltere'de, her mesken ve ticari mekanda akıllı sayaç kullanılmasına ilişkin bir hedef bulunmakta olup, buna göre akıllı şebeke yapısına ulaşmak amacıyla 2 kademeli plan oluşturulmuştur. Bu plandaki temel amaçlar; ülke olarak karbon emisyonu azaltılmış ekonomik modele geçmek ve güvenliği, kararlılığı sağlanmış bir enerji altyapısı oluşturmaktır.

Söz konusu planın birinci basamağı çerçevesinde, 2010 - 2015 yıllarında smart grid dizaynının yapılması ve şebekeye adapte metodlarının incelenmesi, 2015 - 2020 yıllarında gerçekleşmesi hesaplanan ikinci aşamada ise akıllı sayaç kullanımının yaygın hale getirilmesi, 2020 sonunda da 50 milyon akıllı elektrik ve gaz sayacının şebekeye dahil edilmesi amaçlanmaktadır. Bahse konu yatırımların toplam maliyetinin yaklaşık 11 milyar Euro olması tahmin edilmektedir.

İngiltere’de akıllı şebeke teknolojilerine, ülkeyi düşük karbon ekonomisine evirebilecek bir yol, bir anlamda da “*elektriğin interneti*” şeklinde bakılmaktadır. 2010 - 2020 yıllarında akıllı ölçme aygıtları, akıllı şebeke pilot çalışmaları ve elektrikli araç altyapısına yatırım yapılması hedeflenmiştir. Enerji ve İklim Değişikliği Bakanlığı’yla İngiltere Gaz ve Elektrik Piyasaları Kurumu (OFGEM) ortaklığındaki Elektrik Ağı Strateji Grubu (ENSG), akıllı şebeke genel planlamasından ve teknoloji geliştirmelerinden sorumlu öncelikli birimdir. ENSG çalışmalarında; karbon azaltımı, enerji güvenliği, ekonomik rekabet ve alım gücü hususları, akıllı şebekelerin önemli ve öncelikli amaçları olarak belirtilmektedir.

3.2.4. Almanya Dena 1-2 proje çalışmaları

Dena Akıllı Şebeke Çalışması-1 projesinin esas amacı, yenilenebilir kaynakları elektrik şebekesine ideal bir şekilde dahil etmektir. Bu projenin sonuçları çerçevesinde, 2004’te %10 olan yenilenebilir kaynaklardan üretilmiş elektrik miktarını, 2010’da %12.5’e, 2020’de %20’ye ve 2030’da ise %30’a çıkarma hedefi belirlenmiştir. Proje içerisinde akıllı sayaçların montajının yapılması da bulunmaktadır. Yenilenebilir kaynakların şebekeye entegre edilmesiyle Almanya, 2005-2020 yıllarında elektrik üretiminden kaynaklı karbon emisyon miktarını yılda 311,2 milyon tondan 238,6 milyon tona azaltmayı planlamıştır [69].

Bu proje tamamlanarak sonrasında DENA II Şebeke Çalışması’na başlanılmıştır. Söz konusu çalışma kapsamında 3 temel hedef ortaya konulmuştur. Bunlar; özellikle rüzgar ve güneş enerjisinden yararlanmak sureti ile yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik üretim miktarını % 39’a yükseltmek, şebeke altyapısını güçlendirmek ve abonelere elektrik satın alma tercihlerinde esneklik sağlamaktır.

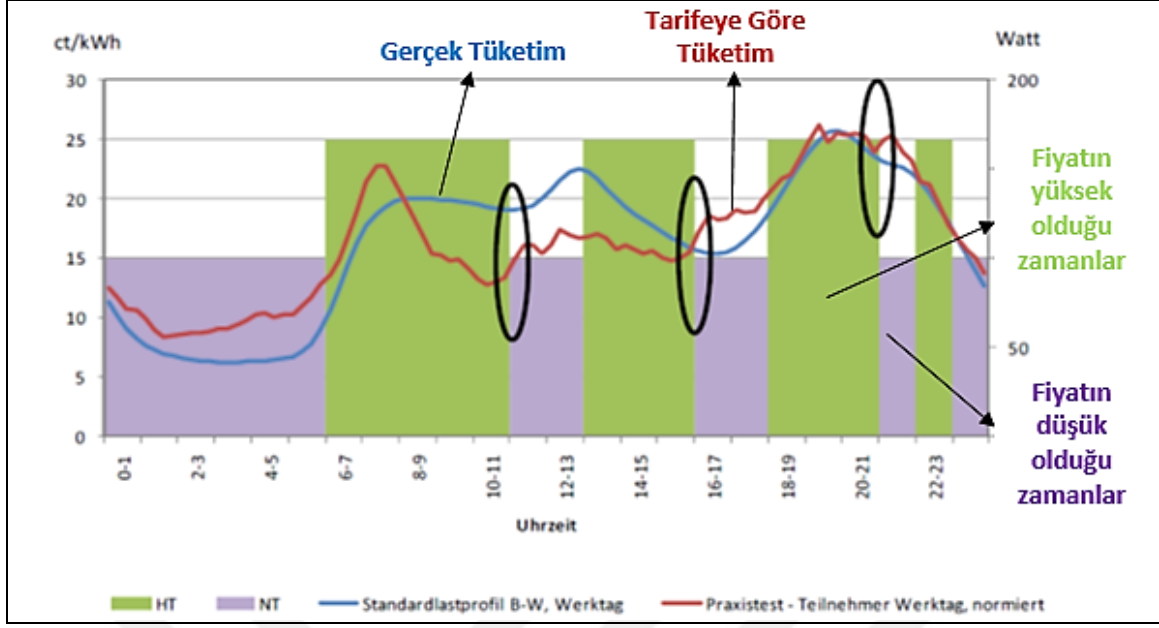
Almanya’da bu alandaki çalışmalar “E-Energy/The Internet of Energy” girişimi kapsamında yürütülmektedir. Girişimin amacı çerçevesinde, çorak/çöl arazilerde kurulu büyük güneş santrallerinin, ülkedeki sahil ve iç kesimlerde yer alan rüzgar çiftliklerinin ve de binaların çatı katı veya bodrumlarında varolan ufak güç kaynaklarının birleştirilmesi planlanmaktadır. Bahse konu girişim doğrultusunda, 6 değişik pilot bölgede 6 akıllı şebeke projesinin gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Pilot projeler daha çok Federal Ekonomi ve Enerji Bakanlığı (BMWi), Doğa Koruma ve Nükleer Güvenlik (BMU) ve belirlenmiş 6 şirket tarafından finanse edilmektedir.

3.2.5. Model city of Mannheim / Moma projesi

Ülkedeki elektrik dağıtım şirketleri arasında yer alan MVV dağıtım şirketince, Mannheim şehrinde E - Energy (Model City of Mannheim / MOMA) projesi için Devlet desteği alınmıştır. Almanya Çevre Bakanlığı ile Teknoloji ve Enerji Bakanlığı’nın işbirliğiyle başlatılan bu projede, 6 model 60 milyon Euro ile desteklenmiştir [47].

Bu projede e-energy borsası, depolama sistemleri ve bunların arasında elektrik enerjisi bir yana, çift yönlü haberleşme altyapısını barındıran haberleşme sistemleri de bulunmaktadır. Sistemde temel öngörü; ağaç yaprağına benzer şekilde her bir hücre tüketimi kadar hatta daha çok enerji üreterek, bölgesel anlamda enerjinin ihtiyaç duyulan yerde tüketimi ile iletim ve dağıtım hatlarındaki kayıp oranının azaltımını sağlamak, genel inkıta durumunda tüm şebekenin etkilenmesini önleyip elektrik kesintisinin lokal ölçekte kalmasını başarmak şeklinde belirtilmektedir.

Ayrıca, tüketicilere bilgilendirme ve yönlendirme yapılarak tasarruf sağlanması amacıyla hazırlanmış olan Energy Butler Yazılımı kullanımı, tarifenin en ucuz zaman periyodunda elektriğin mesken içinde tüketilmesini, tarifenin pahalı olduğu zamanda kendi üretiminin tüketilmesini sağlamaktadır. Şekil 3.1’de, Energy butler yazılımı ile bir evin elektrik enerjisi tüketimindeki değişimin grafiği gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Energy butler yazılımı ile bir evin elektrik enerjisi tüketimindeki değişimin grafiği [47]

Grafikteki mor ile belirtilen yerler tarife açısından fiyat avantajı olan zaman aralıklarını, yeşil yerler fiyatı pahalı olan zaman dilimlerini ifade etmektedir. Mavi çizgi bu meskenin normal enerji tüketimini, kırmızı çizgi ise energy butler yazılımı ile enerji yönetiminin sağlandığı zamanlarda tüketimini anlatmaktadır. Sistemin işlemesi için kullanıcıların akıllı sayaçlara sahip olması ve üretim/tüketim birimleriyle sistem operatörleri arasında kesintisiz iletişim gerekmektedir. Projede, sayaçlar ile dağıtım şirketleri arasında çeşitli haberleşme teknolojileri kullanılmakta ve farklı kriterlerde denemeler yapılmaktadır.

Dağıtım sisteminde akıllı şebeke uygulamasının olabilmesi için akıllı evlerin, akıllı sayaçlar ve mesken içinde enerji akışını yönetmekte olan Energy Butler yazılımı ile ortak çalışması gerekmektedir. Akıllı sayaçlar ile dağıtım şirketleri ve enerji borsası yazılımı arasında iletişimin sağlandığı, kesintisiz ve sınırsız bir haberleşme alt yapısı olmalıdır. Büyük ve küçük ölçekte enerji depolama sistemi, yük yönetim sistemi ile anlık tarife belirleme ve ölçme yapıları akıllı sistemin gereklerindedir.

3.2.6. İspanya star, smart city ve endesa projeleri

İspanya ve dünyada lider enerji gruplarından Iberdrola tarafından başlatılmış olan STAR (Uzaktan Ağ Yönetimi ve Otomasyon Sistemleri) projesiyle İspanya'da bütün elektrik

sisteminin akıllı hale dönüştürülmesi amaçlanmıştır. 2010 yılında başlamış olan pilot proje ile 100 bin akıllı ölçme aygıtı ve 583 operasyonel dönüşüm istasyonu kurulmuştur ve Castellón, İspanya’da ilk akıllı şebeke altyapısına sahip şehir ünvanını elde etmiştir.

Aynı şekilde, Malaga’da İtalyan Enel ile ABD’li Smart Grid City Boulder işbirliğinde 2009 yılında “Smart City” projesine başlanılmıştır. Smart City projesinde ana amaç, akıllı şebeke teknolojisi, yenilenebilir enerji ve diğer ekolojik süreçler aracılığıyla yeni bir enerji yönetim konsepti oluşturma biçiminde ifade edilmiştir. 11 sektör devi şirket ve 14 araştırma kuruluşunun yer aldığı 4 yıl süreli proje, 300 sektörel müşteri, 900 servis sağlayıcısı ve 11 bin meskeni kapsamaktadır. Smart City projesi, AB 20- 20- 20 planında önemli bir parçadır. Projenin, Avrupa Bölgesel Gelişim Fonu’na finansmanı sağlanmış ve Andalucía Valiliği ile Endüstriyel Teknoloji Geliştirme Merkezi’nce (CDTI) proje desteklenmiştir.

Bunun yanı sıra İspanya’da, 2008’de çıkarılan düzenleme ile dağıtım şirketlerince, mevcut sayaçların yerine kullanıcılara ilave maliyet olmadan akıllı sayaç takılmasını mecburi kılmıştır. Bu düzenleme kapsamında, Endesa dağıtım şirketinin 2010 - 2015 yıllarında 13 milyon abonesine, otomatik sayaç okuma ve yönetim yapabilecek alçak gerilimli akıllı sayaç montajı yapması kararı alınmıştır.

3.2.7. Hollanda

Ülkede akıllı şebekeye dönüşüm için görevli bir yönetim birimi olmasa da ilgili şirketler, kentler ve kurumlar smart grid teknolojisini sahiplenmiş ve bu doğrultuda çalışma yapmaktadır. Örnek olarak, Amsterdam şehrinde, sektördeki önemli şirketlerden bazıları ile yapılmış olan işbirliğiyle (Vodafone vb.), gelecek 10-15 yıl içerisinde mesken başına yaklaşık 410 dolar maliyetle, tüm kentin akıllı şebeke ile tamamen donatılmış olması planlanmaktadır.

Hollandalı araştırma merkezleri, bir yazılım şirketi ve bir hizmet şirketinden oluşan çalışma grubu, smart grid tabanlı 25 meskenlik bir mikro proje geliştirmiştir. Groningen şehrindeki Hoogkerk bölgesinde (ilçe/kasaba) "Power Matching City" adındaki proje, bazı smart grid teknolojilerinin test edilmesi amacı ile başlatılmıştır. Hollandalı şirketler tarafından başlatılmış olan bir diğer benzer proje olan “Smart Energy Collective (SEC)” ise akıllı enerji modelleri üretebilmek için 15 şirketin biraraya gelmesi ile oluşmuştur. Bu girişim ile daha

geniş ölçekte ve yaklaşık 5 bin şirketin katılımı ile pilot uygulama çalışmalarının geliştirilmesi teşvik edilmektedir. SEC, Avrupa’da bu zamana kadar yapılan en kayda değer endüstri gelişimlerinden biri olarak görülmektedir.

3.2.8. İrlanda

Elektrik ağ sağlayıcısıyla (ESB Network) birlikte devlet yetkililerince, ülkede büyük ölçekli bir smart grid planlaması geliştirilmektedir. Bu planlama ile birlikte rüzgar enerjisi kaynaklı elektrik üretim tesislerinin entegrasyonu, etkin enerji tüketimi ve elektrikli vasıtaların kullanımı konularında gelişmeler hedeflenmektedir. ESB Network, ülkedeki smart grid tanıtımı yapacak projeler için Elektrik Gücü Araştırma Merkezi (EPRI) ile ortak çalışmalar yapmaktadır.

Elektrik Araştırma Merkezi (ERC), İrlanda Sürdürülebilir Enerji Müdürlüğü (SEAI), Enerji Düzenleme Komisyonu (CER) ve diğer 16 endüstriyel ortak ile birlikte akıllı şebeke araştırmaları koordine edilmekte ve bu alanda grup olarak çalışmalar yürütülmektedir. Ülkenin smart grid planlamasının ana hedefleri:

- 1) Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı ve Şebekeye Entegrasyonu.
- 2) Enerji Kullanımında Etkinlik, Verimlilik.
- 3) Elektrikli Taşıma Araçlarının Alt Yapısının Oluşturulması ve Kullanımı.
- 4) Esnek Bir Elektrik Şebekesi Oluşturulması, şeklinde belirlenmiştir.

Bu kapsamda yetkililer, 2020 yılı sonunda bu alana toplam 10 milyar Euro yatırım yapmayı ve bu zaman içerisinde ülkede 2 milyon akıllı ölçüm cihazının şebekeye entegre edilmiş olmasını planlamaktadır.

3.2.9. Danimarka

2020’de elektrik ihtiyacının %50’sinin rüzgar enerjisinden sağlanmasını, 2030’da kömür kullanımının tamamen devreden çıkarılmasını ve 2020 sonunda yeşil ulaştırma sektörünün tamamlanmasını hedefleyen Danimarka, temiz teknoloji alanında dünya liderlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Danimarka, elektrik ihtiyacının yaklaşık % 60’ını yenilenebilir

kaynaklardan (ülke geneline yayılmış rüzgar santrallerinden % 42'sini) elde etmektedir [70]. Sürekli olmayan bu kaynağın, etkili bir biçimde kullanabilmesi için ülkede akıllı şebeke projeleri desteklenmekte ve bu alanda çeşitli çalışmalar yapılmaktadır.

Bunun yanında, Danimarka hükümetinin projesi olan EDISON ile rüzgar enerjisi gücü ile çalışacak araç alt projesinin genel çerçevesi çizilmiştir. Sektördeki bazı büyük şirketler, Danimarka enerji şirketi DONG Energy, Danimarka Teknik Üniversitesi (Technical University of Denmark) ve Danimarka Enerji Derneği (Danish Energy Association), projenin gerekli altyapısını oluşturmak için birlikte çalışmaktadır. Devlet, 10 yılda ülkede kullanılan araçların en az %10'unun elektrikli araçlardan oluşmasını hedeflemektedir.

Bahse konu alanda ülkede, en büyük smart grid denemelerinden biri başarı ile sonuçlandırılmıştır. 13 güç istasyonu, 4 kombine ısı ve elektrik (combined heat and power) istasyonu ve 47 rüzgar türbini, önce devre dışı bırakılmış ve sonrasında sanal güç istasyonlarına bağlanmıştır.

3.2.10. Amerika Birleşik Devletleri

ABD'de Enerji Bağımsızlığı Yasası (EISA) çerçevesinde belirlenmiş ana amaçlar; elektrik sisteminin güvenliğini, kalitesini ve verimliliğini sağlayabilmek için dijital bilgi ve kontrol teknolojilerinin uygulanması, şebeke faaliyetlerinin ve kaynakların dinamik olarak optimize edilmesi, enerji verimliliği ile talep tepkisi hususlarında gelişme sağlayabilecek ekipman ve uygulamaların sisteme entegre edilmesi şeklinde ifade edilmiştir.

2011 yılında, elektrik dağıtım şirketlerince kullanılan akıllı sayaç sayısının ülkedeki oranı % 11 iken, 2020 yılında akıllı sayaç sayısının 60 milyona ulaşması öngörülmektedir. Ülkenin smart grid vizyonuyla, 2035'de elektrik arzının %80 oranında yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması ve 2015'te 1 milyon elektrikli vasitanın kullanılması hedeflenmiştir. ABD'de elektrik şebekesinin iyileştirilmesi, elektrikli araç kullanımının artırılması, yenilenebilir kaynaklardan daha fazla elektrik üretimi yapılması, ileri ölçüm altyapı kurulumu vb. çeşitli smart grid programları yer almaktadır.

Houston akıllı şebeke projesi: ABD Enerji Departmanı tarafından desteklenmiş proje çerçevesinde, 2.2 milyon akıllı sayacın entegrasyonu ve elektrik şebekesinin yenilenmesi

amaçlanmıştır. Yaklaşık 640 milyon dolarlık proje maliyetinin, 200 milyon dolarlık kısmı devlet tarafından finanse edilmiş olup, proje yüklenici paydaşları ise IBM, General Electric, ITRON, eMETER, Quanta şirketleridir.

Proje ile amaçlanan, hortum olaylarının yaşandığı bölgede altyapının güçlendirilerek, tüketici merkezli bir şebeke oluşturulmasıdır. Proje çerçevesinde ileri ölçüm altyapısı kurularak, meydana gelen arızaları otomatik olarak tespit edip uzaktan onarabilen akıllı şebekeye dönüşüm gerçekleştirilmiştir.

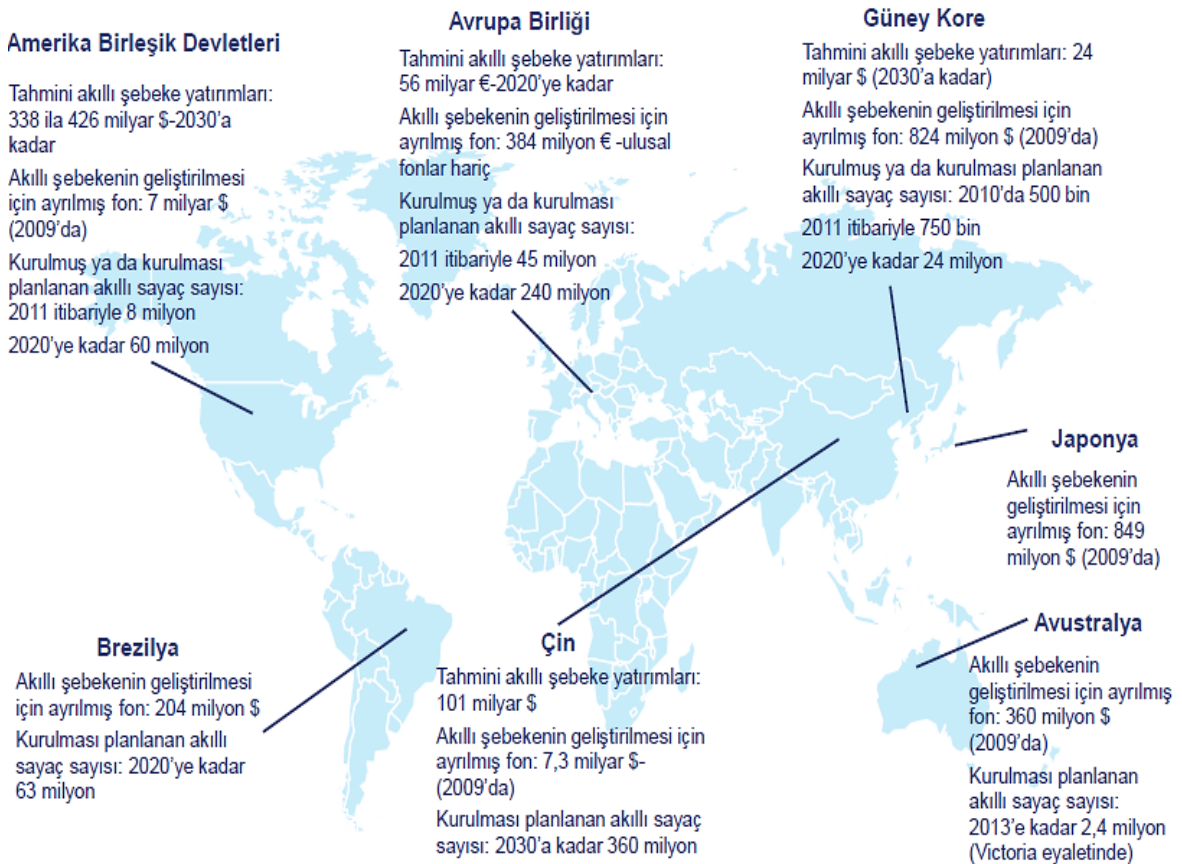
Chicago-mega kentlerde akıllı şebeke ve yapılar: 1960'da pik değere ulaşan binalaşma, popülasyondaki artış ve bu nedenlerden yeşil enerjili de olsa yeni yapı yapılamaması nedeniyle, Chicago'da hali hazırdaki binalarının iyileştirilmesi yoluna gidilmiştir. Binalara güç üretim tesisleri ilave edilmiş ve sürekli biçimde enerji tasarrufu yapmaya yardım eden yenilikler kullanılmıştır. Kentin bütün güç birimlerinin altyapısını modernize etmek için BOMA (Building Owners and Managers Association / Bina Sahipleri ve Yöneticileri Derneği), emlak yönetim kuruluşları ve ISTC (Illinois Science and Technology Coalition / İllinois Bilim ve Teknoloji Ortaklığı), bir Ar-Ge kuruluşu ve ilgili diğer kuruluşlar ortaklık sağlamıştır. Modernizasyonu yapmak adına finansal kaynaklar bulabilen bu tür kuruluşlarla, 2009 yılında çeşitli pilot yapılara akıllı şebeke altyapısı uygulanmıştır. Süreç sonuçları grafik sunumlar ile belgeli hale getirilmiş, enerji kullanma kademeleri kırmızı (yüksek), turuncu (orta) ve yeşil renk ile (en enerji etkin) belirtilmiştir.

Boulder - kente tam olarak entegre akıllı şebekeler: Colorado'da bir vilayet olan Boulder, tek seferde 45 bin meskene akıllı şebeke çalışması uygulanması nedeniyle akıllı bir kent sayılmaktadır. Xcel Energy ve valilik ortak projesinin parçalarından biri olan bu ilk kademe dönüşüm sonrasında, her meskende internet ve diğer cihazlar ile bağlantılı bir ölçme aygıtı bulunması ve bu aygıtlardan elde edilen dataların görüntülenebildiği monitörlerin yanında, tüketicilerin Xcel Energy'nin internet sitesini kullanarak kendi enerji tüketimlerini görebilecekleri bir sistem oluşturulmuştur. Böylelikle, akıllı şebeke teknolojisi ile sorunlu kısımlar tespit edilecek ve hızla bakıma alınabilecektir. Boulder vilayetinde 2006 - 2009 yıllarındaki akıllı şebeke uygulamaları sonucunda, enerji kesintisi ve gerilim düşüklüğü konularındaki şikâyetlerde %90 civarında düşüş olduğu gözlemlenmiştir.

3.2.11. Diğer ülkeler

Japonya’da, 1990’den bu zamana, smart grid teknolojileri için önemli yatırımlar yapılmış ve dünya lideri olma noktasına gelinmiştir. Avrupa, ABD ve Japonya ülkelerinin yanı sıra Çin, Güney Kore, Kanada ve Avustralya’da akıllı şebeke çalışmalarına ciddi biçimde ilgi duymuştur. Avustralya Hükümeti’nce iletim şebekesinin modernize edilmesi amacı ile 100 milyon dolarlık kaynak ayrılmıştır. Mayıs 2009’da Çin’de ülkenin smart grid yol haritası açıklanmıştır. Ağustos 2008’de, Güney Kore devlet başkanı ülkesi için karbon emisyon hedefleriyle ilgili açıklamalar yapar iken, karbon salımının düşürülmesi hususunda smart grid teknolojilerinin önemine vurgu yapmıştır ve 2009’da Güney Kore’de Kore Akıllı Şebeke Enstitüsü kurulmuştur.

Şekil 3.2’den de anlaşılacağı üzere, dünya genelinde birçok ülke yakın geçmişten bu yana akıllı şebekeler alanında önemli tutarlarda yatırımlar gerçekleştirmekte ve geleceğe ilişkin olarak da kademeli planlamalar yapmaktadır.



Şekil 3.2. Bazı ülkelerin akıllı şebeke çalışmalarına yaptıkları ve yapmayı planladıkları yatırım miktarları [62]

4. AKILLI ŞEBEKE TEKNOLOJİLERİNİN İNCELENMESİ

4.1. Genel Bilgiler ve Kavramlar

Bu kısımda; akıllı şebekeler kapsamında teknolojinin önemi ve öncelik verilen alanlar, akıllı şebeke teknolojilerinin gelişim trendleri ve ülkelerin bu alandaki ana hedefleri, akıllı şebekeler için standart kavramı hususları yer almaktadır.

4.1.1. Akıllı şebekelerde teknolojinin önemi ve öncelikli alanlar

ABD ulusal elektrik şebekesinde 1 saatlik elektrik kesintisinin, önemli endüstriler/sectörel örnekler bazında ortalama maliyeti Çizelge 4.1’de yer almaktadır. Bu bakımdan geniş bir açı ile değerlendirme yapıldığında, ülkelere ve içinde bulunulan şartlara göre maddi kayıplarda değişiklikler olsa da, teknoloji yatırımlarının ve dolayısıyla kesintisiz bir sistem oluşturmanın ne kadar önemli olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.1. Önemli endüstriler/sectörel örnekler bazında ABD’de 1 saatlik elektrik kesintisinin ortalama maliyeti [71]

Çeşitli Endüstrilerde Bir Saatlik Elektrik Kesintisi	İşletmelerdeki Bir Saatlik Elektrik Kesintinin Ortalama Maliyeti
GSM Haberleşme Operatörleri	\$41,000
Telefon Kontör Satışları	\$72,000
Havayolu Rezervasyon Sistemi	\$90,000
Yarıiletken Üretim Tesisi	\$2,000,000
Kredi Kartı İşletimi	\$2,580,000
Aracılık/Bankacılık Sistemi	\$6,480,000

ABD Ulusal Teknoloji ve Standartlar Enstitüsü (NIST) tarafından hazırlanan çalışmada, akıllı şebeke teknolojisi ile elektrik sistemini inşa ederken 8 öncelikli alan tanımlanmıştır [72]:

- 1) Talep Katılımı ve Tüketici Enerji Verimliliği,
- 2) Geniş Alanda Durumsal Farkındalık,
- 3) Enerji Depolama,
- 4) Elektrikli Ulaşım,
- 5) Gelişmiş Ölçüm Alt Yapısı,
- 6) Dağıtım Şebekesi Yönetimi,
- 7) Siber Güvenlik,
- 8) Ağ İletişimi.

Söz konusu elektrik sisteminin inşası/modernizasyonu bakımından, ağ iletişimi ve haberleşme teknolojisi önemli bir yer tutmakta olup, parçaların birleştirilmesini sağlayacak unsur olarak ifade edebilir. Bu açıdan bakıldığında “Akıllı şebeke nedir” sorusuna cevap olarak, “Akıllı Şebeke = Bilişim Teknolojisi + Elektrik Şebekesi” ifadesine ulaşılmaktadır.

4.1.2. Akıllı şebeke teknolojilerinin gelişim trendleri

Uluslararası Enerji Ajansı'nın yayınlamış olduğu akıllı şebekeler teknoloji yol haritasında; *“Elektrik sisteminin akıllı hale getirilmesi, daha akıllı olması evrimsel bir süreçtir, bir defalık olay değildir.”* ifadesi yer almaktadır [48].

Teknolojilerin gelişim trendleri incelendiğinde, dünya genelinde farklılıklar meydana geldiği gözlemlenmektedir. Şebeke alt yapısının kurulması/geliştirilmesi ve teknoloji seçimleri aşamasında; “ülkelerin öncelikleri, sistemsel sorunları, coğrafi koşulları ve finansal unsurları”, söz konusu gelişim trendini etkileyen en önemli faktörler olarak ifade edilebilir. Bazı ülkelerin akıllı şebeke gelişimi sürecinde “hedefler/ana sürücüler” durumundaki önceliklerinin yer aldığı Çizelge 4.2’de, bu durum açık bir şekilde anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.2. Bazı ülkelerin akıllı şebeke gelişimi sürecindeki hedefler/ana sürücüler tablosu [73]

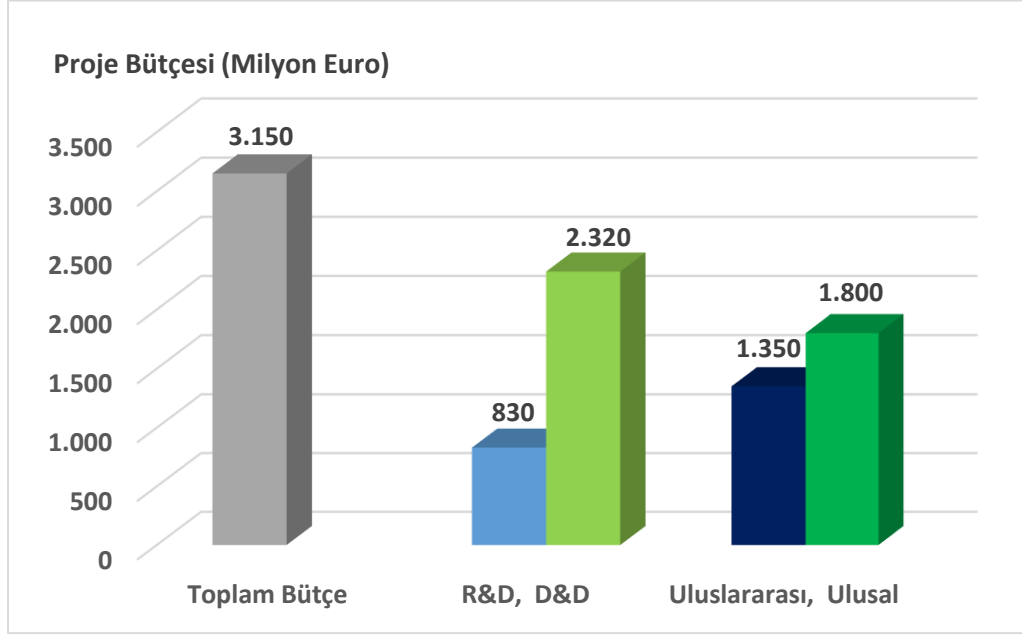
Ülke / Hedef	Hükümet Politikaları	Çevresel Hedefler	Elektrikli Araçların Entegrasyonu	Yenilenebilir Entegrasyonu	Güvenilirlik Sorunları	Finansal Teşvikler	Enerji Verimliliği Hedefleri	Talep Artışı	Ekonomik Rekabet	Coğrafi Şebeke Kısıtları	Arz Güvenliği Hedefleri	Enerji Kaçağı Azaltma
Avustralya		X		X	X	X	X					
Kanada		X					X	X		X	X	X
Çin		X		X		X	X	X	X	X		
Danimarka	X	X	X	X								
Almanya	X	X		X		X		X			X	
Hindistan					X		X	X	X	X		X
Japonya		X	X	X		X						
Güney Kore		X		X		X	X					
İspanya	X		X	X		X		X				
Birleşik Krallıklar	X	X				X			X		X	

Akıllı şebeke teknolojileri konusunda, çeşitli ülkeler bir takım Ar-Ge çalışmaları gerçekleştirmekte ve bu kapsamda pilot projeler ile gerekli denemeleri yaparak, en ideal sonuca ulaşmaya çalışmaktadırlar. Bu husus, gerek Türkiye gerekse diğer ülkeler için büyük önem arz etmektedir. Yapılacak olan pilot projeler ile doğru teknoloji seçimleri yapmak ve teknolojide dışa bağımlı bir hale gelmemek, bahse konu yatırımlar için en önemli noktalar olarak ifade edilebilir.

Avrupa Komisyonu (*European Commission Joint Research Centre Institute for Energy and Transport*) tarafından, “Akıllı Şebeke Teknolojileri” alanında yürütülen çalışmalar kapsamında bir takım projeler tamamlanmış olup, bazı projeler ise halen devam etmektedir.

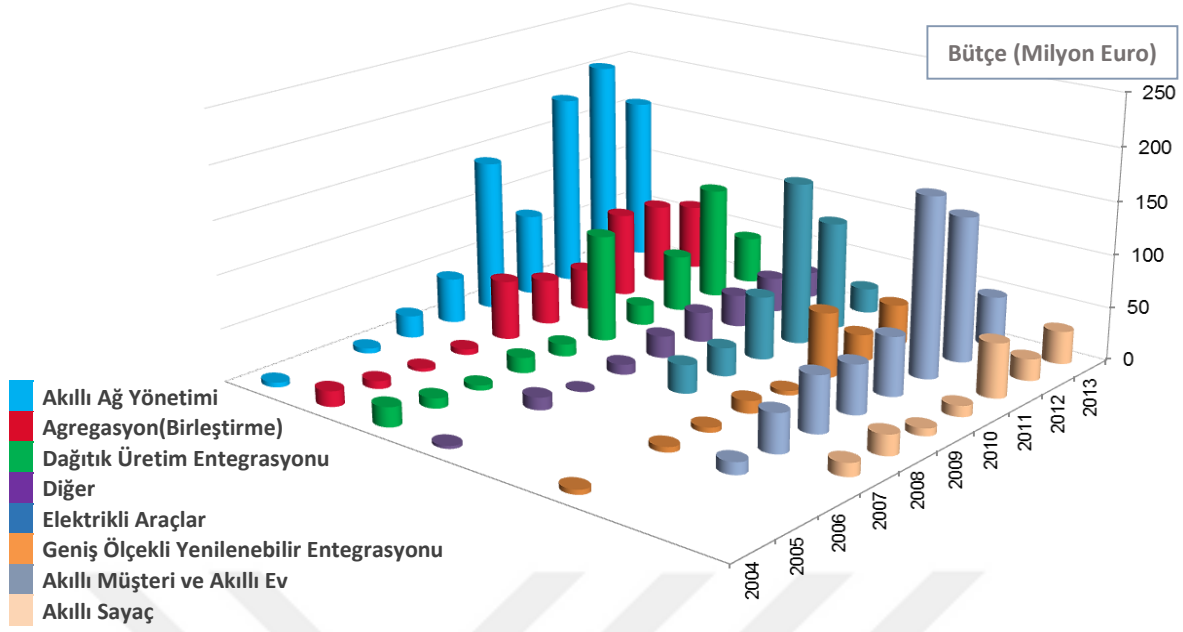
Şekil 4.1 incelendiğinde; bu alandaki çalışmalarda (Smart Grid Projects Outlook 2014- Overview of Main Results) 459 proje yer almakta olup, “proje sayısı” olarak bakıldığında

R&D (Ar-Ge) % 45 ve Demo&Deployment (pilot/deneme çalışmaları) % 55 dağılımında olduğu görülmektedir. Toplam “yatırım bütçesi” nin 3.15 milyar Euro olduğu belirtilmekte olup, bu bütçenin de % 27’si Ar-Ge (R&D) ve % 73’ü pilot/deneme çalışmaları için ayrılmış durumdadır. Ayrıca, yapılan yatırımların ve fonlamaların % 57’si ulusal, % 43’ü çok uluslu finansman modeli olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.1. AB akıllı şebeke proje bütçelerine ilişkin çeşitli dağılımlar [74]

Buna ilaveten, Şekil 4.2’de görüldüğü üzere; akıllı şebekelerde ağ yönetimi, elektrikli taşıtların şebeke ile bağlantısı, akıllı müşteri ve akıllı ev oluşturulması hedefi ile talep tarafı katılımı vb. konular öne çıkmakta olup, bu alanlarda teknoloji yatırım bütçelerinin yoğunlaştığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.2. AB’de akıllı şebeke teknoloji çalışmaları için ayrılan bütçelerin alan dağılımı [74]

4.1.3. Akıllı şebekeler için standart kavramı

Smart grid teknolojisi; elektrik, haberleşme, bilgisayar ve ölçümlendirme vb. birçok sektörel paydaşı bulunan, uzun süreli ve fazlaca piyasa katılımcısını ilgilendiren bir uygulama konumundadır. Smart grid standartları, pazarı oluşturan ve ilk adımı atan müteşebbisler tarafından belirlenmektedir. Standardizasyon; birlikte çalışabilme, uyumlu ve güvenli olma açılarından olumlu olup, protokol ve teknik sayısı arttıkça daha da önemli bir hal almaktadır. Standardizasyon; yeni pazarların yaratılması, imalatçıların küresel piyasalara tedarik sağlaması yoluyla ölçek ekonomilerinden faydalanılması, kullanıcılar için güvenliğin sağlanması hususlarında olumlu¹ iken, rekabet (teknolojik kilitleme, esneklik) açılarından süreçte bazı problemlere yol açmaktadır. Bir yandan standartlar belirlenmeden önce içerikteki patentler açığa çıkarılırsa teknolojik kilitleme olmadan önlem alınmış olacak, diğer açıdan ise patentler önceden açığa çıkarıldığında piyasa katılımcıları, henüz pazar değeri belli olmadığı için standart maliyetlerini tahmin edemeyecelerdir [75].

Bir standardın içerdiği patentler, farklı organizasyonların veya müteşebbislerin kontrolü altında olduğu sürece, üretici ilgili standardı uygulayabilmek adına her patent sahibinden

¹ ABD’de EISA (Energy Independence and Security Act) ile smart grid uygulamalarında, birlikte çalışabilirliği sağlayabilecek standartların belirlenmesi mecburi kılınmıştır.

lisans almak zorundadır. Bu açıdan bakıldığında, standardizasyonu sağlanmış üründe üretimin ve satışın daha maliyetli bir hal aldığı, bunun yanı sıra patent sahiplerinden birinin lisanslama işlemini reddetmesi durumunda üretimin bütünüyle aksayabileceği anlaşılmaktadır (*patent stacking / thicket*).² Diğer bir ciddi sorun ise *hold-up* yani patent sahibinin standartların belli olması sonrasında (yani piyasanın ilgili standarda / teknolojiye kilitlenmiş olması sonrasında) standardın içerdiği patenti ortaya koymasıştır (*patent ambush*).³ Bu sorunların çözümü Ar-Ge ve inovasyon yatırımları açısından önem arz ettiğinden, açıklama / ifşa (*disclosure*) zorunluluğu ve *FRAND (Fair, Reasonable and Non-Discriminatory terms - Adil, Makul ve Ayrımcı Olmayan şartlarda)* çerçevesinde lisanslama ile problemler çözülmeye çalışılmaktadır [75].

ABD’de smart grid, hibrid vasıtalar, yeşil teknolojilerin yüksek fiyatlanması ve market kapatılması konularında çeşitli olaylar gündeme gelmiştir. Yüksek Mahkeme’de “*eBay ve Paice*” davalarında kati emir (*injunction*) yerine uzlaşma yolunun açık tutulmuş olması, bu sorunlar bakımından önemli örnekler oluşturmuştur. Genel politika; standartlar belirlenmeden teknolojik alternatiflerin arasında rekabetin korunmasını sağlamak, daha sonra ise EISA’nın amaçlarına da paralel olarak, smart grid teknolojilerinin yaygınlaşmasını kesintiye uğratmayan metodları uygulayabilmek şeklindedir [75].

Standardizasyon konusunda aktif ve potansiyel rekabet bozulmayacak biçimde ilgili çözüm yollarının IP rejimiyle uyum içerisinde uygulanabilir olması gerekmektedir. Tüm alternatif teknoloji opsiyonları incelenip, gerekli araştırmalar ve pilot projeler neticesinde ulusal çapta bir takım standartların belirlenmiş olması, sistemin sağlıklı işlemesi açısından çok önemli bir faktördür. Bu noktada; ulusal ve uluslararası rekabet-ticaret hukuku, fayda-maliyet analizi ve ülke çıkarları vb. hususlar arasında dengeli bir yol izlenmelidir.

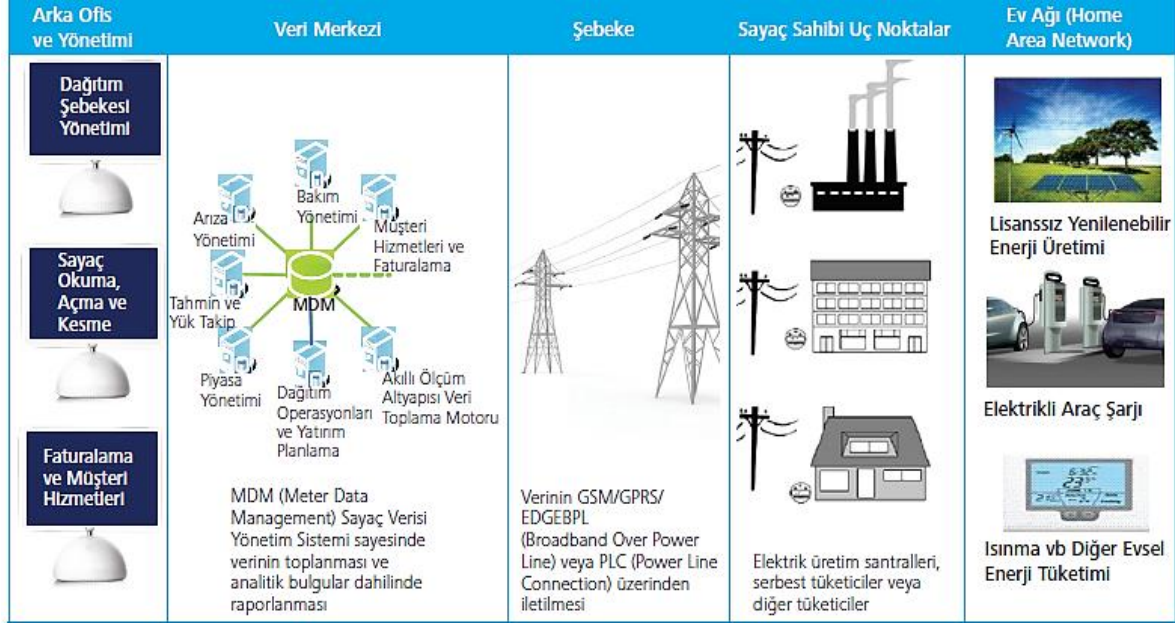
4.2. Akıllı Sayaç Altyapısı

Akıllı sayaç teknolojisinin yaygın hale getirilmesi, öncelikle AB ülkelerinde ve liberalleşmekte olan bütün elektrik piyasalarında tartışılan önemli konulardan biridir. Akıllı

² Patent havuzu bu sorunlar ile mücadele açısından önemli bir teknik yoldur.

³ Yüksek ücret talebi halinde, bu ücretin alt pazarda tüketiciye yansımaya durumu vardır. İlaveten, parasal bakımdan güçlü müteşebbislerin kolaylıkla göz ardı edebileceği pahalı yargılama süreci sonunda, söz konusu yatırımların “batık maliyet” durumuna düşme olasılığı da ortaya çıkmaktadır.

sayaç sistemleri; kullanıcıların ve dağıtılmış elektrik üretim noktalarının piyasaya dahil edilmesi, elektrik tasarrufu sağlanması, puant taleplerinin dengeli hale getirilmesi, teknolojik gelişmelerin sisteme entegre edilmesi vb. hususların gerçekleştirilmesinde çok önemli bir rol oynamaktadır. Bu sebeple, bazı ülkeler bu konudaki yatırım çalışmalarını hızlandırmış olup, uluslararası platformlar/düzenleyici kurumlar yaklaşım stratejileri oluşturmuştur [76].



Şekil 4.3. Akıllı sayaç altyapısı [77]

Şekil 4.3'te akıllı sayaç altyapısının temel unsurları görülmektedir. Bu altyapı 5 kısımdan oluşmakta olup, açıklamaları aşağıda yer almaktadır [77].

• *Arka ofis ve yönetimi*: Akıllı sayaçtan gelen bütün datalar arka ofiste değerlendirilmektedir ve sayısal raporlamalar yapılarak, gereken işlemlerin yapılmasında kullanılabilir. Bu çerçevede:

- Dağıtım şebekesi yönetimi: Yeni yatırım kararlarının alınması, arıza onarımı ve bakım işlemleri takibinin yapılması ve planlaması,
- Sayaç okuma, açma ve kesme: Perakende satış faaliyetlerinin daha az maliyet ile merkezi ve doğru data üretebilecek biçimde yapılması,

- Faturalama ve müşteri hizmetleri: Uzaktan faturalama işleminin yapılabilmesi, kaçak kullanımın kontrol edilmesi veya abonenin tüketim değerlerinde düşüş tespiti, faturanın basılması öncesinde sayaç değerlerinin kontrol edilmesi faaliyetleri gerçekleştirilmektedir.

• *Veri merkezi:* Bu bölümde, saha alanından iletilmekte olan dataların temizlenmesi, eksik dataların tamamlanması ve işlenerek enson hale getirilmesi faaliyetlerinin icra edildiği MDM (Meter Data Management/Sayaç Veri Yönetimi) sistemi bulunmaktadır. MDM:

- Arızaların yönetilmesi,
- Bakımların yönetilmesi,
- Müşteri hizmetleri ve faturalama işlemleri,
- Talep tahmini ve yük takibi,
- Piyasanın yönetilmesi,
- Dağıtım operasyonlarının ve yatırımların planlanması,
- Bütünleşik veri tabanı sistemlerini beslemektedir.

• *Şebeke:* Sayaçlardan elde edilmekte olan datalar GSM, GPRS, EDGE, BPL (Broadband Over Power Line) veya PLC (Power Line Communication) vb. iletişim teknolojileri aracılığı ile dağıtım şebekesi merkezinde yer alan veri tabanına ulaştırılmaktadır.

• *Sayaç sahibi uç noktalar:* Akıllı sayaçlar; üretim tesisleri, serbest tüketiciler ve diğer kullanıcıların bağlantı noktalarında yer almaktadır. Özellikle tüketici tarafındaki iki taraflı data transferinin gerçekleştirilebilmesi, akıllı şebekenin en önemli hususlarından biridir.

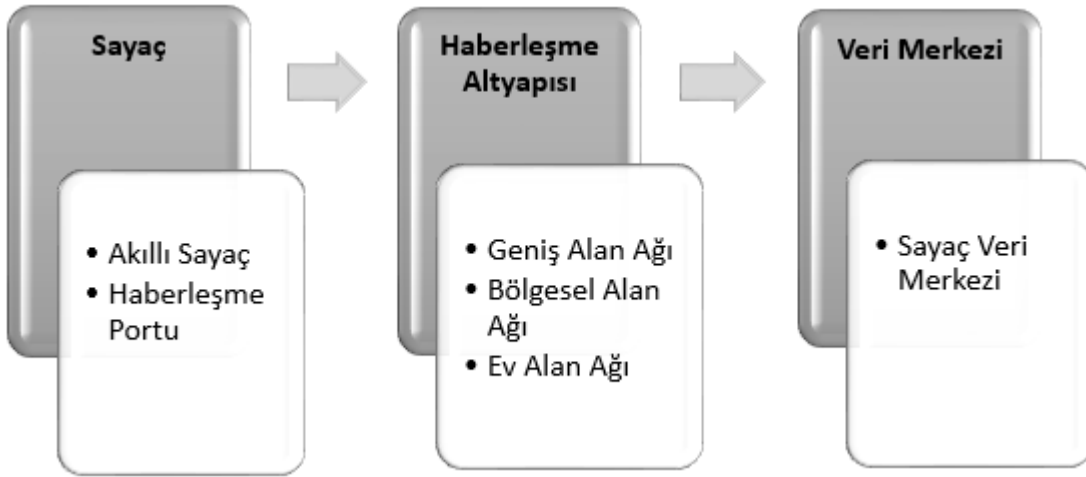
• *Ev ağı:* Home Area Network (HAN) şeklinde de isimlendirilen teknoloji sayesinde, akıllı sayaçtan alınan komutlar ile evde bulunan cihazların yönetilmesi sağlanmaktadır. Örnek olarak, elektrik fiyatlarının daha uygun olduğu saatlerde, uzaktan (iş yerinde veya tatilde iken vb.) kullanıcı elektrikli aracını şarj edebilir, evini ısıtabilir. Daha da önemlisi, uzaktan verilen komutlar sonucunda güneş ve rüzgar enerjisi kaynaklı üretim miktarı takip edilebilir. Böylece, lisanssız elektrik üretimi daha verimli biçimde gerçekleştirilir. Elektrik fiyatlarının daha ucuz olduğu saatlerde, HAN uygulamasına benzer şekilde uzaktan verilecek komutlarla pompaj depolaması yapılabilir.

4.3. Akıllı Sayaç Sistem Topolojisi

Akıllı sayaç sistemleri, haberleşme işleminin tek taraflı veya çift taraflı olması bakımından esasta 2 farklı topolojide değerlendirilmekte olup, bu anlamda çeşitli adlandırmalar ortaya çıkmaktadır. *Otomatik Sayaç Okuma Sistemi* haberleşme işleminin tek taraflı yapıldığı, yalnız sayaç bilgilerinin merkezi sisteme aktarıldığı yapının adlandırmasıdır. *Gelişmiş Sayaç Altyapısı* ise haberleşme işleminin çift taraflı yapıldığı, sayaç bilgilerinin toplanıyor olmasının yanında, ölçüm sistemlerini komuta ederek gelişmiş teknoloji uygulamalarına olanak sağlayan sistemi tanımlamaktadır [76].

Şekil 4.4'ten anlaşılacağı üzere, akıllı sayaç sistemlerinin topolojileri, esasta 3 ana kısımdan meydana gelmektedir:

- 1) Sayaç
- 2) Haberleşme altyapısı
- 3) Sayaç veri merkezi



Şekil 4.4. Akıllı sayaç topolojisi [76]

Tek taraflı haberleşme yapılan sistemde; endeks, yük profili, sayacın dışarıdan müdahaleye maruz kalma durumu, enerji kesintisi bilgisi, sayaç karakteristik bilgileri vb. datalar haberleşme alt yapısı vasıtasıyla sayaç veri merkezine gönderilerek, datalar sayaç veri merkezinde işlenmekte ve gerekli sınıflandırma yapılarak şirketlerin merkezi veri sistemine iletilmektedir. Çift yönlü haberleşme özelliği olan sistemde ise dataların periyodik olarak

yollanabilmesi için sayaçlar ayarlanabildiği gibi sayaçtan data alınması için de emir verilebilmekte ve datalar aynı şekilde toplanabilmektedir. Çift taraflı haberleşmesi olan sistemde, sayaç bilgilerinin toparlanmasının yanı sıra, enerjinin kesilmesi vb. emirler de verilebilmekte, kesme/açma kabiliyetine sahip sayaç kullanılmış olması durumunda uzaktan kesme/açma faaliyetleri icra edilebilmektedir [76].

4.3.1. Sayaç

Akıllı sayaç altyapısının tüketici kısmındaki ilk basamağı olan sayaçlar, sahip oldukları özellikler ile akıllı sayaç altyapısında data toplama kabiliyetlerini belirleyebilme özelliğine haiz durumdadır. Teknolojik özellikleri bakımından sayaçlar, mekanik veya elektronik olarak sınıflandırılmakla birlikte, bağlı olunan tüketici noktasının bağlantı türü açısından da tek fazlı veya 3 fazlı türde olmaktadır.

Akıllı sayaçlar, yapılan ölçmeleri hafızada tutma ve farklı haberleşme portları aracılığıyla dış sistemler ile data paylaşma kabiliyetine sahip sayaç türleridir. Sayaç çeşitli karakteristikleri açısından, entegre edildiği sistemin tanımlamalarına uygun çeşitli adlandırmalar alabilmektedir. Çift taraflı haberleşebilen sistemler olmalarıyla birlikte, akıllı sayaç bu topolojiyi destekleyemez ise istenilen fonksiyonlar tam olarak yerine getirilemeyecektir [76].

AMR ve AMI teknolojisi

Otomatik Sayaç Okuma (Automatic Meter Reading-AMR): Akıllı sayaçlar ile otomatik olarak periyodik (gün, saat vb. bazda) iletişim kurularak, tek taraflı data iletişimi ile tüketim ve sayaç durumu bilgilerini toparlayan ve merkezi veri tabanına faturalama, analiz ve yatırımları planlama için bu bilgilerin transferini sağlayan teknolojidir. Elektronik, dijital donanım ve yazılımın eşzamanlı çalışması ile oluşmakta ve periyodik sayaç ölçümünü, herdaim kullanıma açık uzaktan erişimle sağlamaktadır. Böylece, hassas ve detaylı bilgi toplama olanağı sunar.

Gelişmiş Ölçme Altyapısı (Advanced Metering Infrastructure-AMI): AMR'nin özelliklerinin artırılması ve çift taraflı data iletişimi sağlanmasıyla uzaktan kullanım yönetimi yapabilme

kabiliyetine haiz sayaç ağı sistemi teknolojisidir. AMI sisteminde yer alan sayaç, toparlanmış dataları önceden programlanmış mantık ile kullanabilme özelliğine sahip akıllı sayaçtır.

AMR ve AMI kullanımının sisteme sağlayacağı faydalar aşağıda sıralanmaktadır [78]:

1. Sistem kaynaklarının verimliliğinin artırılması;
 - Ana hat dağıtım miktarıyla, bağlı olunan kullanıcı sayaçlarının tüketim miktarı karşılaştırılarak teknik ve teknik olmayan kayıplar anlık olarak tespit edilebilir.
 - Hattaki arıza durumu hızla tespit edilir ve kayıp miktarı düşer. Verimli olmayan hatlar tespit edilebilir ve yenilenebilir.
 - Abonenin internet yazılımı ile tüketim takibi yapabilmesi sağlanır ve senelik tüketim miktarı analiz edilerek doğru yatırım kararları alınabilir.
2. Teknik ve teknik olmayan kayıpların oranının azaltılması;
 - Yetkili olmayan kişilerin müdahale etmesi durumunda gerekli saptama yapılır.
 - Şebeke kaynaklı kayıplar tespit edilir.
 - Kullanım miktarı normal zamandan az olan aboneler raporlamayla tespit edilir.
 - Anlık ve ani tüketim düşmeleri (sayacın devre dışı bırakılma durumu) izlenebilir.
 - Kaçak hattın anlık tespitiyle, kaçak tüketicilere karşı caydırıcı güç artırılır.
3. Maliyetlerin azaltılması;
 - Daha az ilk yatırım ve işletme masfarı sağlanabilir.
 - Ayda bir bağlantıyla tüketici sayaçlarının saat bazında tüketimleri alınabilir.
 - Kayıp-kaçak azalmasıyla birim maliyet hesabında düşüş sağlanabilir.
 - Hızlıca, kolayca ve güvenli bir şekilde sayaç okuma işlemi sağlanmış olur.
 - Sayaç okuma ve açma-kesme personeline gerek duyulmaz.
 - Sistemin çalıştığı tüm yıllar içerisinde tasarruf sağlanabilmesi imkanı sunar.
4. Veri güvenliğinin artırılması;

- Data toparlamada performansın artırılması sağlanabilir.
- Okuma hataları ve okunan sayaç bilgisinin kaybolma durumu önlenebilir.
- Sayaç okuma otomatik biçimde AMR sistemi ile gerçekleşir ve diğer uygulamalar ile data transferinde güvenlik hususu artırılmış olur.
- Manuel olarak data giriş işlemi ve data akışı yapılmadığı için olası bir yanlışlık durumu engellenmiş olmaktadır.

5. Verimli bir tahakkuk sistemi;

- Kısalmış bir faturalandırma süreci sağlanabilir.
- Borç ödemesi yapmayan kullanıcıların anlık uzaktan enerji kesme işlemi yapılır.
- Raporlama ve analizler ile kayıp-kaçakların azaltılması ve nakit artırımı sağlanır.
- Faaliyetlerden memnuniyet duyulması ve abone sayısının artması sağlanabilir.

6. Müşteri hizmetlerinde iyileştirme;

- Hızlıca ve doğru bir şekilde faturalama, hızlı sayaç açma işlemi mümkün olur.
- Hat arızasına hızla müdahale edilir, minimum kesinti durumu ile hizmet sağlanır.
- İnternet yazılımı ile aboneye açılmış ekranda abone kendi tüketimini izleyebilir.

4.3.2. Haberleşme altyapısı

Haberleşme altyapısı, akıllı sayaç uygulamasının ana parçaları durumundaki sayaç ve veri merkezi arasında haber/data akışının sağlandığı platform olarak tarif edilebilir. Sayaçlar ile bütüncül bir şekilde bulunan, sayaca haberleşebilme kabiliyetini sağlayan haberleşme modülleri bu çerçevede ifade edilebilir. Haberleşme alt yapısı bakımından çeşitli metodlar kullanılabilir ve haberleşme modülleri de alt yapı durumu açısından farklılık gösterebilir. Haberleşme metodları data iletebilme kapasitesi, data iletme hızı, kapsama alanı, yatırım maliyetleri, işletim maliyetleri vb. hususlar açısından birbiri ile karşılaştırılmaktadır [76].

Haberleşme altyapı teknolojilerini genel çerçevede 3 kategoride incelemek mümkündür [36]: Geniş Alan Ağı (Wide Area Network), Bölgesel Ağ (Local Area Network) ve Ev Alan Ağı (Home Area Network).

1. Geniş alan ağı; iletişim data toplayıcılar ile merkezi veri sistemi veya sayaçlar ile merkezi veri sistemi arasında sağlanmakta olup, bu açımdan, yaygın olarak GSM / GPRS, RF, PLC, DSL (Digital Subscriber Line-Sayısal Abone Hattı) vb. teknoloji altyapıları kullanılmaktadır.

a) *GSM-GPRS teknolojisinde*; haberleşme modulüne SIM kart takılmasıyla sayaç ve veri merkezi arasında haberleşme yapılmaktadır. Kurulum masrafının daha az oluşu önemli pozitif yönü olmasına rağmen, operasyon maliyetlerinin yüksek oluşu, teknik kapasitesinin öncelik olarak bireysel kullanıma ayrılmış olması, afet durumunda ve acil zamanlarda kapasitesinin yeterince ihtiyaca verememesi dezavantajlarıdır.

b) *RF teknolojisinde*; geniş radyo frekans aralıkları kullanılmak sureti ile data iletimi sağlanmaktadır. En önemli kısıtlamalar, coğrafi yüzeydeki engebeli arazi yapısı nedeniyle geniş ölçekte kapsama alanının azalması, sinyal karıştırıcı aygıtlar sebebi ile oluşan bağlantı kopmaları ve frekans kullanım izinleri şeklinde ifade edilebilir. Kurulum masrafı GPRS / GSM teknolojisine göre daha pahalıdır. İletişim maliyetlerinin az oluşu, başarılı data aktarım yüzdesi ve data iletme hızı, afetlerde ve acil durumlarda sistem çökmesi ihtimalinin az oluşu pozitif yönleri olarak belirtmek mümkündür.

c) *PLC teknolojisinde*; elektrik şebekesi sinyal bindirme yöntemiyle veri iletişimi amacı ile de kullanılmaktadır. PLC metodunda en önemli kısıt, elektrik şebekesindeki arıza esnasında oluşan gürültülerin varlığı ve elektrik şebekesinin çok dallanmış bir yapıda olmasıdır. Bunun yanında, sayaçla veri merkezi arasında sinyaller trafodan geçmemekte, trafo geçişi için kullanılan kablolarla maliyeti fazla yükseltmektedir. Bundan dolayı, şebekedeki dağıtım trafo adedinin artışı PLC teknolojisine de negatif yönde etki yapmaktadır. Kurulum masrafı da GPRS / GSM teknolojisine oranla daha fazladır. Bu metodun en önemli pozitif yönü ise dağıtım şirketinin özvarlıklarını kullanıyor olması sebebi ile operasyon maliyetlerinin düşük olmasıdır. Ayrıca, data aktarım oranları ve data iletme hızları da diğer olumlu yönleri olarak belirtilebilir.

d) *DSL teknolojisinde*; PLC teknolojisine paralel mantık ile yine sabit hat kullanımı vardır. Fakat DSL teknolojisinin farkı, ana tabaka bakımından telekomünikasyon sistemi/şebekesi kullanılmasıdır. Bundan dolayı, PLC metodundaki gürültülü şebeke yapısı vb. hususlar

bahse konu olmamaktadır ve halihazırdaki telekomünikasyon alt yapısı kullanıldığından kurulum maliyeti düşük olmaktadır. Bununla birlikte, dağıtım şebekesi özvarlığının kullanılmaması durumundan dolayı operasyon maliyetleri yükselmektedir. Bu husus da DSL haberleşme altyapısı açısından önemli bir dezavantajdır.

Çizelge 4.3'te "Geniş Alan Ağında Çeşitli Teknolojilerin Kıyaslanması" gösterilmekte olup, veri iletim kapasitesi, kapsama alanı, kurulum ve işletme maliyetleri açısından inceleme yapılmaktadır.

Çizelge 4.3. Geniş alan ağında çeşitli teknolojilerin kıyaslanması [76]

Özellik Teknoloji	Veri İletim Kapasitesi	Kapsama Alanı	Kurulum Maliyeti	İşletme Maliyeti
GSM/GPRS	-	+	+	-
RF	+	-	-	+
PLC	+	+	-	+
DSL	+	+	+	-

(+ : Avantajlı - : Dezavantajlı)

Şekil 4.5'te görüldüğü üzere; ülkeler kendi sektörel şartları, yatırım maliyetleri, öncelikli olarak istenilen özellikleri, fiziki şartları vb. durumları değerlendirerek teknoloji seçimleri yapmaktadırlar. Örneğin Almanya, Hollanda vb. ülkeler, veri iletim kapasitesi ve işletme maliyeti bakımından avantajlı bir haberleşme teknolojisi olan PLC'yi tercih ederken, İngiltere ve ABD gibi iletim mesafelerinin uzun olduğu ve yerleşkenin daha geniş bir alana yayıldığı ülkeler için GPRS veya RF teknolojileri daha ideal bir seçim olmaktadır.



Şekil 4.5. Önemli AB ülkelerinde akıllı sayaçlar için uygulanan çeşitli haberleşme teknolojileri [79]

2. Bölgesel ağ; daha fazla data toplayıcı vb. ara yapılar kullanıldığı zamanlarda bahse konu bir seçenektir. Bu yapıda ağın, tüketici noktalarıyla data toplayıcıların arasında bağlama görevi yaptığı görülmektedir. Bu çerçevede fiber optik kablolar, RF ve PLC teknolojileri kullanılabilir. Bunun yanı sıra, bakır kablolarla sayaçların birbiri ile haberleştirilmesi de kullanılmakta olan metodlar arasındadır.

3. Ev alan ağı; akıllı sayaç sisteminin gelişimi ve yeni teknolojik ilerlemelerin olması sonucunda, akıllı sayaçla mesken içindeki çeşitli donanımların arasında haberleşmeye imkan vermektedir. Talep tarafı katılımının mesken içi tüketimin tamamı yerine belli kısımlarıyla sağlanması durumunda ve sayaçla mesken içi görüntüleme aygıtlarının (in home-display) haberleşmesinde, bu husus ön plana çıkmaktadır. Wi-Fi, ZigBee, HomePlug ve Z-wave vb. teknolojilerin yanında, bakır kablo, fiber optik kablo, PLC, RF altyapıları da ev alan ağı uygulamalarında kullanılabilir. Çizelge 4.4'te bu teknolojilere ilişkin karakteristik özellikler belirtilmektedir.

Çizelge 4.4. Akıllı şebeke haberleşme teknolojileri ve özellikleri [80]

Teknoloji	Spektrum	Veri Hızı	Kapsama Alanı	Uygulamalar	Sınırlamalar
<u>GSM</u>	900-1800 MHz	Up to 14,4 Kbps	1-10 Km	AMI, Demand Response, HAN	Düşük Veri Hızı
<u>GPRS</u>	900-1800 MHz	Up to 170 Kbps	1-10 Km	AMI, Demand Response, HAN	Düşük Veri Hızı
<u>3G</u>	1,92-1,98 GHz 2,11-2,17 Ghz (Lisanslı)	384 Kbps- 2 Mbps	1-10 Km	AMI, Demand Response, HAN	Yüksek Bant Ücretleri
<u>WiMAX</u>	2,5 GHz, 3,5 GHz, 5.8 GHz	Up to 75 Mbps	10-50 Km(LOS) 1-5 Km (NLOS)	AMI, Demand Response	Yaygın Olmama
<u>PLC</u>	1-30 MHz	2-3 Mbps	1-3 Km	AMI Fraud Detection	Parazit, Gürültü vb. Çevresel Etkiler
<u>ZigBee</u>	2,4 GHz-868-916MHz	250 Kbps	30-50 m	AMI,HAN	Düşük Veri Hızı, Kısa Menzil

4.3.3. Sayaç veri merkezi

Sayaç veri merkezi, sayaçtan gelen bilgileri toplayan, diğer sistem ve uygulamalara göre ideal forma dönüştüren, dataları işleyip farklı istatistik bilgileri çıkaran, ilgili paydaşlar ve diğer uygulamalar ile bilgi paylaşan yazılım sistemi olarak tanımlanabilir. Veri merkezleri, işletim sorumluluğu ve data paylaşımı metodolojisi vb. hususlar açısından, fayda maliyet analizlerine ve akıllı sayaçları yaygınlaştırma projelerine direkt olarak etki etmektedir.

4.4. Haberleşme Teknolojilerinin Nümerik Analizi

İletişimdeki mimari yapı ve data akışı bazı şartların sağlanması sonucunda gerçekleştirilebilmektedir. Karışık yapıya sahip ağ modellemelerinde, güvenilir ve doğru bir data iletimi sağlayabilmek adına Uluslararası Standartlar Organizasyonu (ISO) tarafından OSI (Open Systems Interconnection) referans modeli önerilmiştir. Buna göre, data yedi adımda kodlanarak gönderilmektedir ve aynı biçimde yedi adımda tekrar çözülüp ilk dataya ulaşılmaktadır.

Data iletim basamağında ilk kademe uygulama katmanı olup, burası dataların ilk çıkış noktasıdır. 7 adımdan oluşmuş bu data iletim sürecinin her kademesinde ana dataya üst veri

ilave edilir. Eklenmiş üst verilerle fiziksel katmana yedi kısımdan oluşmuş bir data iletilir ve fiziksel katman bu bütünleşik datayı alıcıya, herhangi bir ağ yapısına ait fiziksel sistemle iletir. Alıcı tarafta elde edilen bu data, üzerinde yedi katmanın üst bilgilerinin bulunduğu bir veridir ve bu haliyle kullanılamamaktadır. Gönderici tarafa ait ilk datayı elde edebilmek için göndericide eklenmiş üst bilgiler aynı yapı tersten işletilmek sureti ile ilk haline dönüştürülür. Sonunda gönderici tarafın göndermiş olduğu data değişmeksizin alıcı tarafa ulaştırılmış olmaktadır [81].

Özetle, bir haberleşme sistemi; kaynak, giriş dönüştürücüsü, verici, iletim ortamı (kanal), alıcı, çıkış dönüştürücüsü ve hedef şeklinde 7 adımdan oluşmaktadır. Şekil 4.6'da gösterilmekte olan bu kısımlar [82]:

- **Kaynak:** Aktarılan datanın (ses, ışık, ısı) bulunduğu kısımdır.
- **Giriş Dönüştürücüsü:** Kaynak datalarını temel bant sinyaline dönüştüren kısımdır.
- **Verici:** Giriş dönüştürücüsünde elde edilmiş temel bant sinyalinin yanlışsız, tam bir biçimde gönderilebilmesi için değişikliklerin yapıldığı kısımdır.
- **İletim Ortamı (Kanal):** Vericiyle alıcı arasındaki datanın transfer edildiği kısımdır. Kullanılan haberleşme metoduna bağlı olarak iletim ortamları; koaksiyel kablo, dalga kılavuzu, fiber optik hat, boşluk vs. olabilir.
- **Alıcı:** Vericiden iletilen sinyallerin algılandığı ve bu sinyallerin tekrar temel bant sinyaline çevirildiği kısımdır.
- **Çıkış Dönüştürücüsü:** Alıcıdan iletilen temel bant sinyallerinin istenen formata çevirildiği kısımdır (ses, ışık, ısı vs.).
- **Hedef:** Çıkış dönüştürücüsünde elde edilmiş datanın gönderildiği kısımdır.

Elektronik haberleşme sistemlerinin en önemli bölümleri verici sistemi, haberleşme kanalı ve alıcı sistemidir.



Şekil 4.6. İletişim sistemi diyagramı [82]

Elektrik sistemleri için uygulanan iletişim ağlarının temel açısından dört farklı seviyeden oluştuğu ifade edilebilir. Bu seviyeler [83]:

1. İlk seviye (çekirdek iletişim) ağları: Farklı şalt tesisleriyle şebeke kontrol merkezleri arasında data iletimi bağlantısını sağlayan geniş alan iletişim ağlarıdır (WAN). Büyük çapta data transferini sağlayabilme açısından yüksek kapasiteli ve büyük bant genişliğine haiz olması gerekir. Bundan dolayı genellikle fiber optik kablolar ile tesis edilmektedirler. Bu seviyedeki ağlar, SONET / SDH (Senkron Optik Ağlar), Ethernet, IP / MPLS veya uydu teknolojilerinden yararlanarak oluşturulmaktadır.

2. İkinci seviye (middle-mile) iletişim ağları: Uzaktan sayaç okuma amacıyla trafo merkezlerine yerleştirilmiş olan data toplama üniteleriyle ana kontrol merkezleri arasında data iletimini sağlayan haberleşme ağlarıdır. Geniş bant iletişim teknolojilerinin gerektiği bu ağların, güvenli ve beraberinde mümkün mertebe düşük maliyetli olması gerekmektedir. WiMAX, 3G, BPL ve 4G LTE teknolojiler bu amaçlar doğrultusunda kullanılabilir.

3. Üçüncü seviye (müşteri iletişim) ağları: Trafo merkezlerinde bulunan data toplama üniteleriyle akıllı sayaçlar arasında veri iletimini sağlayan ağlardır. Kablolu ve kablosuz bir çok teknoloji bu ağlar için mevcuttur. WiMAX, GSP / GPRS, 3G, BPL / PLC ve 4G LTE teknolojilerinden yararlanılabilir. Wi-Fi, Semt Alan Ağları (NAN) ve Saha Alan Ağları (FAN) alt ağlar olarak kullanılabilir.

4. Uç seviye (ev iletişim) ağları: Akıllı şebeke iletişim ağlarının son basamağını oluşturmaktadırlar. Bu ağlar, Ev Alan Ağları şeklinde tanımlanmaktadır (HAN) ve IEEE 802.11x (Wi-Fi), IEEE 802.15.4 (Zigbee) ile PLC standartları üzerine inşa edilmiş teknolojilerdir. HAN teknolojileriyle oluşturulmuş enerji yönetim sistemi, akıllı evleri/ binaları, akıllı ev cihazlarını, aydınlatma kontrolünü ve elektrikli vasıtaları yönetebilecek özelliklere haiz olmaktadır.

Akıllı elektrik şebekeleri bakımından değerlendirildiğinde öne çıkan fiziksel veri iletim ortamları fiber optik hat, PLC ve radyo/ mikrodalga kanallarıdır. Fiber optik, elektromanyetik girişim oluşturmaması, girişime maruz kalmaması ve uzun mesafelerde yüksek bant genişliğinde iletişim sağlayabilmesi nedeni ile ilk seçenektir. Bununla birlikte

radyo-/mikro-dalga iletişim sistemleri, ilk yatırım-işletme masraflarının az olması ve hızlıca bina edilebilmeleri nedeni ile iyi bir alternatif oluşturabilmektedir.

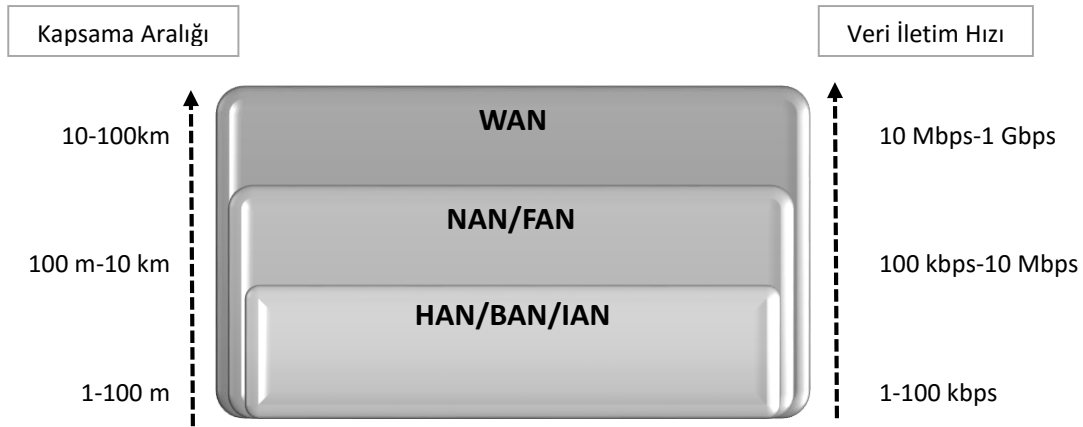
Çizelge 4.5'te akıllı şebekelerin çok katmanlı sistem mimarisi gösterilmektedir. Çizelgeden de anlaşıldığı üzere, akıllı şebeke yapısı; güç sistemi, güç kontrolü, iletişim, güvenlik ve uygulama katmanlarını kapsayan interaktif bir platform olarak ifade edilebilir.

Çizelge 4.5. Akıllı şebekelerin çok katmanlı sistem mimarisi [84]

Akıllı Sayaç ve Şebeke Uygulamaları			Müşteri Uygulamaları				Uygulama Katmanı	
Kimlik Doğrulama, Erişim Kontrolü, Bütüncül Koruma, Şifreleme, Gizlilik							Güvenlik Katmanı	
Hücresel, WiMAX, Fiber Optik		PLC, DSL, RF Mesh		Home Plug, ZigBee, WiFi, Z-Wave			Haberleşme Katmanı	
WAN		NAN/FAN		HAN/BAN/IAN				
Fazör Ölçümü	Ayırıcı	Kesici	Şalter	Sensör	Trafo	Sayaç	Depolama	Güç Kontrol Katmanı
Güç İletimi/Üretimi			Güç Dağıtımı		Müşteri			Güç Sistem Katmanı

- HAN: Ev Alan Ağı (Home Area Network)
- BAN: Bina Alan Ağı (Building Area Network)
- IAN: Endüstriyel Alan Ağı (Industrial Area Network)
- NAN: Semt Alan Ağı (Neighborhood Area Network)
- FAN: Saha Alan Ağı (Field Area Network)
- WAN: Geniş Alan Ağı (Wide Area Network)

Şekil 4.7'de ise yukarıda ifade edilen iletişim ağlarına ilişkin olarak kapsama aralığı ve veri hızı bilgileri yer almaktadır.



Şekil 4.7. İletişim ağlarına ilişkin kapsama aralığı ve veri hızı bilgileri [84]

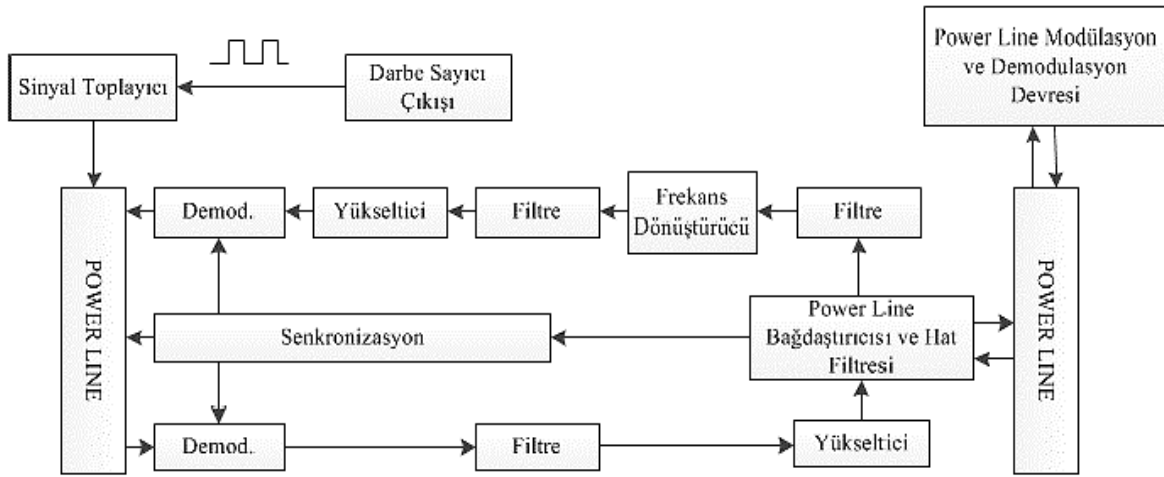
4.4.1. Kablolu teknolojiler

Elektrik sistemleri uygulamalarında fiber optik hat ve iletim / dağıtım hatları, data iletişimi adına en ideal ortamlardır. Senkron Optik Ağlar (SONET) ve Senkron Dijital Hiyerarşi (SDH) gibi gelecek nesil fiber optik teknolojiler, çekirdek iletişim seviyesinde farklı data hızlarında iletişim için kullanılabilir. Bu teknolojiler, IP ve Ethernet uygulamaları için çok servisli platformlar sağlayabilmektedir. Ethernet'in basit ve düşük maliyette olması, SONET / SDH teknolojisiyle "Taşıyıcı Ethernet" oluşturulabilmesi, akıllı şebekelerdeki kritik uygulamalar adına güvenilir ve kaliteli bir data akışı ortamı sağlamaktadır. Ethernet bu uygulamalar için, 1-10 Gbps aralığında data hızı sağlamakta olup, özel durumlarda ise hızı 100 Gbps'e kadar çıkarılabilmek mümkündür. Yavaş kurulum ve yüksek maliyet bu teknolojinin olumsuz özellikleri olarak ifade edilebilir [83].

PLC teknolojisiyle iletim ve dağıtım hatları, elektrik şebekelerinde uzaktan okuma, yük kontrolü ve koruma sinyalizasyonu gibi uygulamalar için data iletim ortamı olarak kullanılabilir. Sinyalizasyon yüksek gerilim hatlarında kullanılır iken, veri iletişimi orta ve alçak gerilim hatları üzerinden yapılmaktadır. PLC teknolojisiyle dar bant (DB-PLC) iletişim (kHz frekanslarında) ve geniş bant (GB-PLC/BPLC) data iletişimi (MHz frekanslarında) sağlanabilmektedir. Bu teknolojinin avantajları, halihazırdaki elektrik hatlarının kullanılıyor olması ve bu hatlara bağlı olan cihazlar ile iletişim kurulabilmesidir. PLC genel olarak OG ve AG şebekelerinde kullanılır iken, BPLC daha çok mesken ve bina içi uygulamalarında kullanılabilir. 100 MHz ve 10 GHz frekans bantları arasında 10 Gbps data iletim hızı sağlanmaktadır. Tüm pozitif özelliklerinin yanında, haberleşme

empedansı ve kanal koşullarının sürekli değişmesi, büyük yapılarda uygulamanın zor olması, şebekedeki fazla anahtar miktarı, işaret zayıflaması, girişim yaratması ve girişime maruz kalması vb. çözülmesi gerekli teknik sıkıntılar vardır [83].

Gelişmekte olan dünya ülkeleri ve ülke toplulukları, enerji hattı üzerinden haberleşme sistemleri kurmakta, bu konuların üzerinde bir takım çalışmalar yapmaktadırlar. Uzakdoğu ve Avrupa ülkeleri enerji hattı üzerinden farklı frekans bantları kullanmak marifeti ile enerji izleme ve kontrol işlemlerini gerçekleştirebilmektedir. Türkiye’de de PLC teknolojisi kullanılmakta olup, 50 Hz’deki enerji nakil hattının üzerine 50 kHz-500 kHz aralığında yüksek frekanslı data sinyali aynı hat üzerinden iletilmektedir [83]. İletilen sinyaller alıcı tarafında çözümlenerek anlamlı bilgiler şekline dönüştürülmektedir. Şekil 4.8’de PLC sisteminin blok yapı diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 4.8. PLC blok diyagramı [85]

4.4.2. Kablosuz teknolojiler

Akıllı şebekede kullanılabilen kablosuz iletişim teknolojileri 3 ayrı başlıkta incelenebilir. Bu başlıklar; GSM / Mobil iletişim ağları, IEEE 802.11.a/b/c/g/n ve IEEE 802.16 standartları üzerine geliştirilmiş Wi-Fi ve WiMAX teknolojileri ve IEEE 802.11ve IEEE 802.15.4 standartları üzerine kurulmuş “Kablosuz Mesh Ağlar (WMN)” ile “Kablosuz Sensör Ağlar (WSN)”dır [83].

Hücresel mobil ağlar 2G ve 3G teknoloji ağıdır ve ses iletişimi için dizayn edilmişlerdir. GSM, şebeke erişimi için TDMA (Zaman Bölmeli Çoklu Erişim) tekniği kullanılan 2G teknolojisidir. Bu teknolojinin güncellenen versiyonu "Genel Paketli Radyo Servisi: GPRS"tir ve paketlenmiş veri taşıyabilmek için dizayn edilmiştir. Daha sonra geliştirilen teknolojiler; EDGE, 3GPP ve 3G geniş-bant GSM teknolojileridir. 3G ağlar 5 MHz'de yüksek hızlı data iletişimi, iyi ses kalitesi ve paket uygulamaları için internet erişimi sağlamaktadır. Sonrasında geliştirilmiş olan 4G LTE teknolojisi ise hız ve data iletişim kapasitesini artırmak amacı ile dizayn edilmiş olup, 3G üzerine geliştirilmiş olduğundan elektrik şebekeleri için daha cazip ve düşük fiyatlarda yapılabilme imkanı vardır. Uzaktan okuma, uzaktan izleme ve kontrol uygulamalarında oldukça uygun bir tercihtir.

Wi-Fi iletişim ağıysa ses ve data iletişimi için geliştirilmiştir ve 2.4-5 GHz frekans bandı kullanılarak 1Mbps ve 54 Mbps data iletişim hızı sağlanmaktadır. IEEE 802.11n standardı üzerine kurulan Wi-Fi 20-40 MHz bandında çalışmaktadır ve 600 Mbps veri hızında iletişim kurmaktadır. Müşteri iletişim ağı seviyesinde yakın mesafedeki sayaçların okunması işleminde kullanılabilir.

4G WiMAX ağları, IEEE 802.16 standardının kullanıldığı kablosuz metropolitan ağlardır. Bu teknolojiyle birlikte akıllı şebekeler vb. kritik altyapıya sahip uygulamalarda daha iyi bir servis kalitesi sağlanmaktadır. Müşteri (3.seviye) iletişim ağlarında kablolarla alternatif olarak geniş bant iletişim için kullanılmaktadır. Sayaç okumada daha kararlı ve daha güvenli bir iletişim ortamı sağlamaktadır.

Kablosuz Mesh Ağlar (WMN), IEEE 802.11 baz alınarak geliştirilmiş iletişim ağlarıdır. Düşük güçlü ve düşük data iletişim oranına sahiptir. Daha az maliyet, kolay kurulum, sistemin esnek olması ve yüksek güvenlik olumlu yönleri olarak ifade edilmektedir. IEEE 802.15.4 standardı çerçevesinde geliştirilmiş olan "Kablosuz Sensör Ağlar (WSN)" ve "Kablosuz Kişisel Ağlar (WPAN)" şeklinde tanımlanırlar. Mesken, ofis ve enerji otomasyonu için kullanılabilir. İlaveten, gömülü elektrik üretim tesislerinde, endüstriyel uygulamalarda, şalt tesisi otomasyonunda, algılama-izleme işlemlerinde kullanılabilir.

RF

RF iletişim teknolojisi elektromanyetik dalgalar yolu ile gerçekleşmektedir. Bu dalgalar belirli bir frekans bandı aralığında iletişim sağlamaktadır. Radyo dalgaları 10 kHz ile 3000 GHz frekans aralığını kapsamaktadır. Fakat bu aralığın belirli kısımları kullanılmaktadır. Mevcut durumda, firmalar HF, VHF, UHF EHF frekanslı radyo dalgalarını teletre, telekontrol, tele-koruma ve şebeke işletimi için elektrik şebekelerinde kullanmaktadır [81].

RF haberleşme metodu, araçlarda merkezi kilit sistemi, ev otomasyon sistemi, güvenlik sistemi ve garaj kapıları vb. daha çok basit uygulamalarda yaygın bir şekilde kullanılabilir. Basit uygulamalar için kullanılan 433 MHz ve 860 MHz frekans aralığında çalışan kablosuz haberleşme sistemlerinde lisansa gerek yoktur. Geniş bant kablosuz iletişim sağlayan sistemler 2.4 – 2.8 GHz frekans aralığında çalışmaktadır. Bu noktada geniş ölçekte iletişim olanağı sağlanmaktadır [81].

GPRS

Bilgilerin mevcut GSM şebekeleri üzerinden 28.8 kbps'den 115 kbps'e kadar varan hızlarda iletilmesine olanak sağlayan paket radyo esasına dayanan mobil iletişim servsidir. Aralıklı, periyodik olmayan bilgileri iletiminde ve küçük veri miktarlarının sık iletiminde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Sistemler arasında data iletişiminin sağlanmasında standart OSI modeli kullanılmaktadır. GPRS, kablosuz LAN olarak OSI modelinin fiziksel bölümüyle data bağlantısı bölümünde yer almaktadır. Kablosuz LAN (802.11x ailesi) için IEEE ve ETSI (The European Telecommunication Standards Institute) tarafından belirlenmiş olan uluslararası standartlar ortaya konulmuştur [81].

Çizelge 4.6'da 802.11x standartlarının parametrik özellikleri yer almaktadır. 802.11x standardında öncelikle 1-2 Mbps'lik çalışma hızları öngörülmüştür. Sonrasında geliştirilmiş olan 802.11a ve 802.11b standartlarında çalışma hızları 11 Mbps, 54 Mbps'e kadar yükseltilmiştir. Verilen bu hızlar, kablosuz ağlarda brüt hızlar olduğu için uygulamada data aktarımı daha düşük seviyededir. Bu nedenle, kablosuz ağ aygıtları birbiri ile kıyaslanırken transfer başarısı göz önünde bulundurulmalıdır.

Çizelge 4.6. 802.11x standartlarının parametrik özellikleri [86]

Kategori / Standart	Max. Veri Hızı (Data Rate)	Frekans (Hz)	Mesafe (Bina İçi)	Mesafe (Bina Dışı)
IEEE 802.11 (1997)	2 Mbps	2,4 GHz	20 m	100 m
IEEE 802.11a (Wi-Fi)	54 Mbps	5,2 GHz	35 m	120 m
IEEE 802.11b (Wi-Fi)	11 Mbps	2,4 GHz	38 m	140 m
IEEE 802.11g (Wi-Fi)	54 Mbps	2,4 GHz	38 m	140 m
IEEE 802.11n (Haziran 2009)	248 Mbps	2,4 GHz, 5,2 GHz	70 m	250 m
IEEE 802.11y (Haziran 2008)	54 Mbps	3,7 GHz	50 m	5 km
IEEE 802.16 (WiMAX)	70 Mbps	10-66 GHz	?	50 km
IEEE 802.16a (WiMAX)	70 Mbps	2-11 GHz	?	?
HiperLAN1	20 Mbps	5,2 GHz	?	?
HiperLAN2	54 Mbps	5,2 GHz	?	?
HomeRF	10 Mbps	2,4 GHz	45 m	-
Bluetooth	1 Mbps	2,4 GHz	10 m	-

Bluetooth

2.45 GHz ISM frekansında iletişim sağlayan Bluetooth teknolojisi kısa mesafe özellikli kişisel iletişim yöntemidir. 24 Mbps seviyesine kadar data transferine izin verebilen bu iletişim tekniğın günümüzde mobil telefon gibi cihazlar arasında data transferi yapmak için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Kısa mesafede data transferi, cihazlar arasında senkronize işlem süresinin uzun olması, aynı anda kullanılabilir cihaz adedinin düşük olması Bluetooth tekniğının kullanılma alanlarının kısıtlanmasına sebep olmaktadır [81].

Zigbee

Zigbee, IEEE 802.15.4 standardında çalışan ve data transferinin düşük olduğu alanlarda kullanılan kablosuz iletişim aracıdır. Düşük güç tüketimi, daha az maliyet, donanımsal yapının basit olması ve veri güvenilirliğı bakımından kararlı olması pozitif yönleridir. Bununla birlikte, data hızının düşük olması vb. bazı olumsuz yönleri de vardır. ZigBee diğer

kablosuz ağ sistemlerinin basite indirgenmiş versiyonu olup, aygıtlar arasındaki iletim mesafesinin kısa olması kullanım alanını kısıtlı hale getirmektedir. Ev otomasyonu ve yakın mesafedeki cihazların kablosuz yönetilmesi gerekli uygulamalar için tercih edilebilmektedir [81].

Yukarıda bahsedilen bilgilerin özeti mahiyetinde, Çizelge 4.7’de akıllı şebeke uygulamaları açısından, çeşitli haberleşme teknolojilerinin veri hızlarına ve kapsama mesafelerine ilişkin karşılaştırılması yer almaktadır. Kablosuz teknolojiler yüksek mobilite, esneklik ve hızlı yayılma sağlarken, kablolu teknolojilerin birçoğunda yüksek kapsama mesafesi ve güvenilirlik hususları ön plana çıkmaktadır.

Çizelge 4.7. Akıllı şebeke için haberleşme teknolojilerinin karşılaştırılması [84]

Teknoloji	Standard/ Protokol	Max. Teorik Veri Hızı	Kapsama Mesafesi	İletişim Ağı		
				HAN/BAN / IAN	NAN/ FAN	WAN
Kablolu Haberleşme Teknolojileri						
Fiber Optik	PON	155 Mbps – 2,5 Gbps	60 km			X
	SONET/SDH	10 Gbps	100 km			
DSL	ADSL	1-8 Mbps	5 km		X	
	VDSL	15-100 Mbps	1.5 km			
PLC	Homeplug	14-200 Mbps	200 m	X		
	Narrowband	10-500 kbps	3 km		X	
Ethernet	802.3x	10 Mbps - 10 Gbps	100 m	X	X	
Kablosuz Haberleşme Teknolojileri						
Bluetooth	802.15.1	721 kbps	100 m	X		
ZigBee	ZigBee	250 kbps	100 m	X	X	
WiFi	802.11x	2-600 Mbps	100 m	X	X	
WiMAX	802.16	75 Mbps	50 km		X	X
Wireless Mesh	RF Mesh, 802.11, 802.15, 802.16	Seçilen protokole bağlı	Dağıtımaya yayılmaya bağlı	X	X	
Cellular	3G	2 Mbps				
	4G	100 Mbps				
Satellite	Satellite Internet	1 Mbps	100-6000 km			X

Çizelge 4.8'de ise önemli akıllı şebeke uygulamaları için ihtiyaç duyulan ağ gereksinimlerine ilişkin parametrik özellikler gösterilmektedir. Bu noktada, yapılan yatırımların amacına ulaşmasını ve en ideal seçimlerin tercih edilmesini teminen, kullanılacak teknolojilere ait söz konusu karakteristik özelliklerin detaylı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir.

Çizelge 4.8. Akıllı şebeke uygulamaları ve ihtiyaç duyulan ağ gereksinimleri [87]

Uygulama	Ağ Gereksinimleri				
	Bant Genişliği	Gecikme Süresi	Güvenilirlik	Güvenlik	Yedek Güç
Gelişmiş Ölçüm Altyapısı (AMI)	10-100 kbps/döngü, 500 kbps/taşıyıcı	2-15 sn	99-99,99%	Yüksek	Gerekli Değil
Talep Katılımı	14kbps-100 kbps döngü/cihaz için	500 ms- birkaç dk	99-99,99%	Yüksek	Gerekli Değil
Sistem Genelinde Durumsal Farkındalık (GIS)	600-1500 kbps	20 ms-200 ms	99,999-99,9999%	Yüksek	24 saat
Dağıtık Enerji Kaynakları ve Depolama	9,6-56 kbps	20 ms-15 sn	99-99,99%	Yüksek	1 saat
Elektrikli Taşıma	9,6-56 kbps, 100 kbps/iyi bir hedef	2 sn-5 dk	99-99,99%	Nispeten Yüksek	Gerekli Değil
Dağıtım Şebekesi Yönetimi	9,6-100 kbps	100 ms-2 sn	99-99,999%	Yüksek	24-72 saat

Vericiyle alıcı arasındaki hızlı, güvenilir ve anlaşılır bir şekilde data transferi gerçekleştirilebilmek için kullanılacak yazılım ve donanım açısından birtakım hususların belirlenmiş olması gerekmektedir. Haberleşme yöntemi seçilirken teknik özelliklerin kıyaslanarak seçim yapılması doğru olan yöntemdir.

Aşağıda yer alan Çizelge 4.9'da mevcut şartlar altında haberleşme teknolojilerinin akıllı şebeke uygulamalarında kullanım durumu belirtilmektedir. Kullanım alanına göre teknolojik ihtiyaçlarda değişiklik meydana gelmektedir. Bu sebeple, farklı haberleşme teknolojilerinin/protokollerinin kullanıldığı gözlemlenmektedir. Ayrıca, maliyet unsuru ve ilgi teknolojinin olgunlaşmış/yaygınlaşmış olması da yapılan teknik seçimlerde önemli rol oynamaktadır.

Çizelge 4.9. Mevcut haberleşme teknolojilerinin akıllı şebekede kullanım alanları [60]

Kullanım Alanları		PLC Pwr. L. Comm.	ZigBee	WiFi	WiMAX	GSM ve GPRS
Üretim	Geleneksel üretim	c	b	b	b	a
	Dağıtık yenilenebilir enerji tabanlı üretim	c	b	c	b	a
İletim	İletim hattı izleme ve koruma	a	c	b	b	a
	İzolatör izleme	a	c	c	c	b
	FACTs izleme ve kontrolü	a	c	b	c	a
Dağıtım	Trafo otomasyonu ve koruma	a	b	a	b	a
	Dağıtım hattı izleme ve koruma	a	b	c	c	a
	Aygıt izleme ve koruma	a	b	a	c	a
Tüketici	Ev otomasyonu ve kontrolü	a	a	a	c	a
	Endüstriyel otomasyon ve kontrolü	a	a	a	c	a
	Otomatik sayaç okuma	a	a	a	b	a
	Elektrikli araçlar	b	b	b	c	a

(a- halihazırda kullanılmakta olan teknolojiler, b- kullanılabilmesi için çalışmaların devam ettiği teknolojiler, c- şuan tam olarak kullanılmayan fakat geliştirilecek teknolojiler.)

Akıllı şebeke yapılarının sayısının gün geçtikçe artması öngörülmektedir. Bu nedenle, akıllı şebekeler veya akıllı bölgeler modelinin altyapısını oluşturacak akıllı mesken ve otomatik sayaç okuma sisteminin teknolojik ilerlemelere tepki gösterebilecek genişlikte ve güncellikte olması gerekir.

Genişlik hususunda elektrik sisteminin olduğu her yerde olabilme durumu nedeniyle PLC teknolojisi diğer haberleşme yöntemleri bakımından daha önceliklidir. Şu an PLC yönteminin halen gelişiyor oluşu ve genel biçimde kabul edilmiş uygulama şeklinin

olgunlaşmaması nedeniyle, çeşitli altyapılara sahip protokol-standart yayınlanmıştır. Özellikle bu standartların beraber çalışma kabiliyetleri gelişim gösterdikçe tercih edilen protokol-standart adedinde azalma olacağı, en ideal teknolojinin oluşacağı öngörülmektedir.

Bunun yanı sıra, PLC teknolojisinde önemli gelişmeler olsa da AB ülkelerindeki akıllı sayaç okuma sistemlerince kullanım mecburiyetindeki CENELEC-A frekanslarındaki elektriksel gürültü problemleri, şebeke performansını ciddi anlamda etkilemektedir. Bundan dolayı, kullanılmakta olan haberleşme frekans aralığına ilişkin yeni düzenlemeler yapılmak sureti ile haberleşme paket uzunluğunun azaltılması için belli sıkılaştırma yazılımlarının kullanımının standart dahiline alınması veya haberleşme sinyal gücünün yükseltilmesine dair çalışmaların kabulüyle, şebeke performansının istenen seviyelere çekilebilmesi mümkündür. Yoksa istenilen performansa ulaşabilmek adına tekrarlayıcı sistemlerinin kullanımı gerekecektir ki böyle bir vaziyette ilave maliyetler ve de sistemsel kurulum problemleri ortaya çıkmaktadır [88].

Yakın dönemdeki birkaç yıllık zaman periyodunda dar bant yüksek veri hızına haiz teknolojilerin kullanılması ile otomatik sayaç okuma sistemine geçiş sürecinin tamamlanmış olması öngörülmektedir. Buna ilaveten, benzer zamanda geniş bant teknolojilerinin gelişmesiyle söz konusu sistemlerin piyasa oranının yükselmesi ve otomatik sayaç okuma sisteminin de genişbant teknolojileriyle entegre olması, mimari yapılaşmanın akıllı bölge / akıllı şehir biçimine dönüşmesi tahmin edilmektedir.

5. TÜRKİYE ELEKTRİK SİSTEMİNİN MEVCUT DURUM ANALİZİ VE AKILLI ŞEBEKE ÇALIŞMALARI

5.1. Ülke Enerji Politikası ve Yenilenebilir Kaynaklar

Türkiye’de enerji piyasasında detaylı bir sektörel serbestleşmenin, enerji politikalarının öncelikli kaynaklarla uyum içerisinde ve sürdürülebilir şartlarda uygulanması yönünde faaliyetlere etkinlik kazandıracak, rekabetçi ve yatırımcı dostu enerji sektörü ortaya çıkarılmasını amaçlayan bir enerji stratejisinin benimsendiği gözlemlenmektedir. Ülkenin enerji politikalarının ana prensipleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

- Öncelikle yenilenebilir kaynakların kullanılmasını sağlamak,
- Enerji arz güvenliği açısından dengeli bir kaynak ve güzergâh çeşitlendirmesi oluşturmak,
- Enerji sektöründe liberal bir piyasa oluşturmak sureti ile üretimi ve verimi artırmak,
- Üretim noktasından tüketiciye kadar, enerji sektörünün bütün kademelerinde verimliliği önceliklendirmek.

Bahsi geçen politikaların gerçekleştirilmesine yönelik olarak Türkiye’de somut adımlar atılmaktadır. Öncelikle yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik olarak, 2023’te elektrik enerjisinin minimum % 30 oranında yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmesi şeklinde bir hedef belirlenmiştir [89]. Mevcut kurulu güç içindeki yenilenebilir oranı da her geçen yıl artış göstermekte olup, 2018 yıl sonu verilerine göre elektrik enerjisinin % 32,54’ü yenilenebilir kaynaklardan üretilmiştir [90].

Diğer taraftan, 2023 yılına kadar, ekonomik hidroelektrik potansiyelinin tamamının kullanılması (160,000 GWh/yıl ekonomik hidrolik kapasitesi), ekonomik olarak 48.000 MW potansiyeli olan rüzgâr enerjisi kurulu güç kapasitesinin 7.085 MW seviyesinden 20.000 MW’a çıkarılması hedeflenmektedir. Jeotermal ve güneş kaynaklarının da önemli ölçüde elektrik üretiminde kullanılması öngörülmekte olup, halen 1.302 MW kurulu gücüne sahip jeotermal enerji potansiyelinin, 2023 yılına kadar tam kapasite kullanılması hedeflenmektedir [91].

Güneş enerjisi ile elektrik üretilmesi için 2013'te birinci adım olarak, 600 MW kurulu gücünde tesis kurulumu amacıyla lisans verilmesi planlanmış olup, bu çerçevede ilgili faaliyetler yürütülerek 30.04.2015 itibari ile 6.paket ihale gerçekleştirilmiş ve toplamda yaklaşık 600 MW gücünde lisanslı güneş enerjisi tesisi kurulması için TEİAŞ tarafından ilgili yarışmalar yapılmıştır. Nisan 2019 sonu itibari ile 82 MW lisanslı ve 5.293 MW lisanssız olmak üzere toplamda 5.375 MW kurulu gücünde güneş enerjisi kaynaklı elektrik üretim tesisi işletmeye alınmıştır [91]. 2023 yılına kadar güneş enerjisinde 10.000 MW gücünde kapasiteye ulaşmak şeklinde bir hedef belirlenmiştir.

Bunların yanı sıra, 17.06.2016 tarihli ve 29745 sayılı Resmi Gazete' de yayımlanarak yürürlüğe giren "Elektrik Piyasası Kanunu İle Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun" ile sektöre katkı sağlayıcı ve yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla yararlanılmasını temin edici düzenlemeler hayata geçirilmiştir. Bu kapsamda, var olan yenilenebilir kapasitenin piyasa koşullarında etkin bir şekilde çalışabilmesi sağlanmış ve ilave edilecek elektrik üretim noktaları için "Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları" (YEKA) oluşturulmuştur. YEKA çerçevesinde tesis edilecek yatırımlarda, yenilenebilir kurulu gücünde önemli oranda artış sağlanması ve söz konusu santrallerde kullanılan tertibatın en üst düzeyde yerli imalatının yapılması hedeflenmiştir.

YEKA modelinde, yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik üretim santraline uygulanacak olan alım garantisi/teşvik birim fiyatı, Enerji Bakanlığı'nca belirtilecek azami fiyattan açık eksiltme usulü şeklinde yapılan yarışma sonucunda oluşmaktadır. 2017 yılında yapılan 1.000 MW kurulu gücündeki YEKA-GES 1 ihalesi sonucunda 6,99 dolar cent/kWh, yine 2017 yılında yapılan 1.000 MW kurulu gücündeki YEKA-RES 1 ihalesi sonucunda ise 3,48 dolar cent/kWh tutarında, üretilen elektrik enerjisine 15 yıllık alım garantisi kapsamındaki uygulanacak birim fiyatlar ortaya çıkmıştır.

Bahse konu Bakanlığın stratejik planları ile hedefleri incelendiğinde, Türkiye enerji politika ile stratejilerinin ana bileşenlerinin, enerji arzı kompozisyonunu çeşitlendirmek suretiyle rüzgar, güneş ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji payının artırılması, enerji ve doğal kaynaklar faaliyetlerinin çevre ile uyumlu hale getirilmesi yönünde olduğu görülmektedir. Ayrıca, enerji arz güvenliği bakımından olası riskli durumları minimize etmek, verimliliği artırılmış enerji üretimini ve kullanımını sağlamak, liberal piyasa koşullarının oluşturmak ve

rekabetçi yatırım iklimini geliştirmek, sektördeki önemli talep artışına cevap vermede ana politikalar olarak ifade edilmektedir.

5.2. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Üretimine İlişkin Kanun

5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun ile yenilenebilir kaynaklardan enerji üretilmesine dair gerekli mevzuat ortaya konulmuş olup, söz konusu esaslar kapsamında da yenilenebilir enerji kaynakları destekleme mekanizmasıyla (YEKDEM) yerli katkı ilaveleri verilmektedir. Üretilen elektrik, Çizelge 5.1’de yer alan Kanuna ekli I Sayılı Cetveldeki uygulanacak fiyatlardan 10 senelik alım garantisi teşviğiyle desteklenmektedir [92].

Çizelge 5.1. I sayılı cetvel (29/12/2010 tarihli ve 6094 sayılı kanun hükmü)

Yenilenebilir Enerji Kaynağına Dayalı Üretim Tesis Tipi	Uygulanacak Fiyatlar (ABD Doları cent/kWh)
a. Hidroelektrik üretim tesisi	7,3
b. Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi	7,3
c. Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi	10,5
d. Biyokütleyle dayalı üretim tesisi (çöp gazı dahil)	13,3
e. Güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	13,3

Bahse konu kanuni düzenlemeyle yenilenebilir kaynaklı üretim santrallerinde kullanılacak mekanik / elektromekanik parçaların ülke içerisinde imalatında; Çizelge 5.2’de yer alan ve söz konusu kanun ekindeki II Sayılı Cetvelde gösterilen 0,4-3,5 Dolar cent/kWh arasındaki değişken fiyatlar eklenecek olup, destekleme beş sene boyunca devam edecektir [92]. İlgili Kanun çerçevesinde hazırlanmış olan “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Enerjisi Üreten Tesislerde Kullanılan Aksamın Yurt İçinde İmalatı Hakkında Yönetmelik” 19 Haziran 2011 tarihli ve 27969 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.

Çizelge 5.2. II sayılı cetvel (29/12/2010 tarihli ve 6094 sayılı kanun hükmü)

Tesis Tipi	Yurt İçinde Gerçekleşen İmalat	Yerli Katkı İlavesi (ABD Doları cent/kWh)
A- Hidroelektrik üretim tesisi	1- Türbin	1,3
	2- Jeneratör ve güç elektroniği	1,0
B- Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi	1- Kanat	0,8
	2- Jeneratör ve güç elektroniği	1,0
	3- Türbin kulesi	0,6
	4- Rotor ve nasele gruplarındaki mekanik aksamın tamamı (Kanat grubu ile jeneratör ve güç elektroniği için yapılan ödemeler hariç.)	1,3
C- Fotovoltaik güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	1- PV panel entegrasyonu ve güneş yapısal mekaniği imalatı	0,8
	2- PV modülleri	1,3
	3- PV modülünü oluşturan hücreler	3,5
	4- İnvörtör	0,6
	5- PV modülü üzerine güneş ışınını odaklayan malzeme	0,5
D- Yoğunlaştırılmış güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	1- Radyasyon toplama tüpü	2,4
	2- Yansıtıcı yüzey levhası	0,6
	3- Güneş takip sistemi	0,6
	4- Isı enerjisi depolama sisteminin mekanik aksamı	1,3
	5- Kulede güneş ışınını toplayarak buhar üretim sisteminin mekanik aksamı	2,4
	6- Stirling motoru	1,3
	7- Panel entegrasyonu ve güneş paneli yapısal mekaniği	0,6
E- Biokütle enerjisine dayalı üretim tesisi	1- Akışkan yataklı buhar kazanı	0,8
	2- Sıvı veya gaz yakıtlı buhar kazanı	0,4
	3- Gazlaştırma ve gaz temizleme grubu	0,6
	4- Buhar veya gaz türbini	2,0
	5- İçten yanmalı motor veya stirling motoru	0,9
	6- Jeneratör ve güç elektroniği	0,5
	7- Kojenerasyon sistemi	0,4
F- Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi	1- Buhar veya gaz türbini	1,3
	2- Jeneratör ve güç elektroniği	0,7
	3- Buhar enjektörü veya vakum kompresörü	0,7

Yenilenebilir kaynaklı, güç kapasitesi maksimum 1 MW (bazı şartlarda en fazla 5 MW) olan üretim santrali kuran gerçek ve tüzel kişiler, lisans alma ve şirket kurma zorunluluğundan muaf tutulmaktadır. Bu tüzel kişilerin ihtiyaçlarından fazla üretmiş oldukları elektriğin şebekeye aktarılması durumunda, uygulamaya esas teşkil edecek usul ve esaslar yönetmelik ile ortaya konulmuştur. İlgili yönetmelik kapsamında, yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretmiş kişi, ihtiyacından fazla enerjiyi dağıtım şebekesine aktardığında, I Sayılı Cetvelde yer alan fiyattan 10 sene boyunca yararlanmaktadır.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nca yapılan projeksiyonlarda, ülkede elektrik talebindeki artış trendinin kısa ve orta vadede devam edeceği öngörülmektedir. 2023 yılında elektrik enerjisi talebinin 375-380 milyar kWh seviyelerinde olması beklenmektedir [93]. Bu talep artışının karşılanabilmesi noktasında, yenilenebilir enerji kaynaklı projeler ülke için büyük önem arz etmekte olup, bu yönde kurulu gücü artırmaya yönelik çalışmaların hızla devam ettiği gözlemlenmektedir.

5.3. Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı

Bu kısımda; Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı çerçevesinde, ulusal yenilenebilir enerji stratejisi, beklenen enerji tüketimi ve yenilenebilir enerji genel ulusal hedefleri hususunda bilgilere yer verilmiştir.

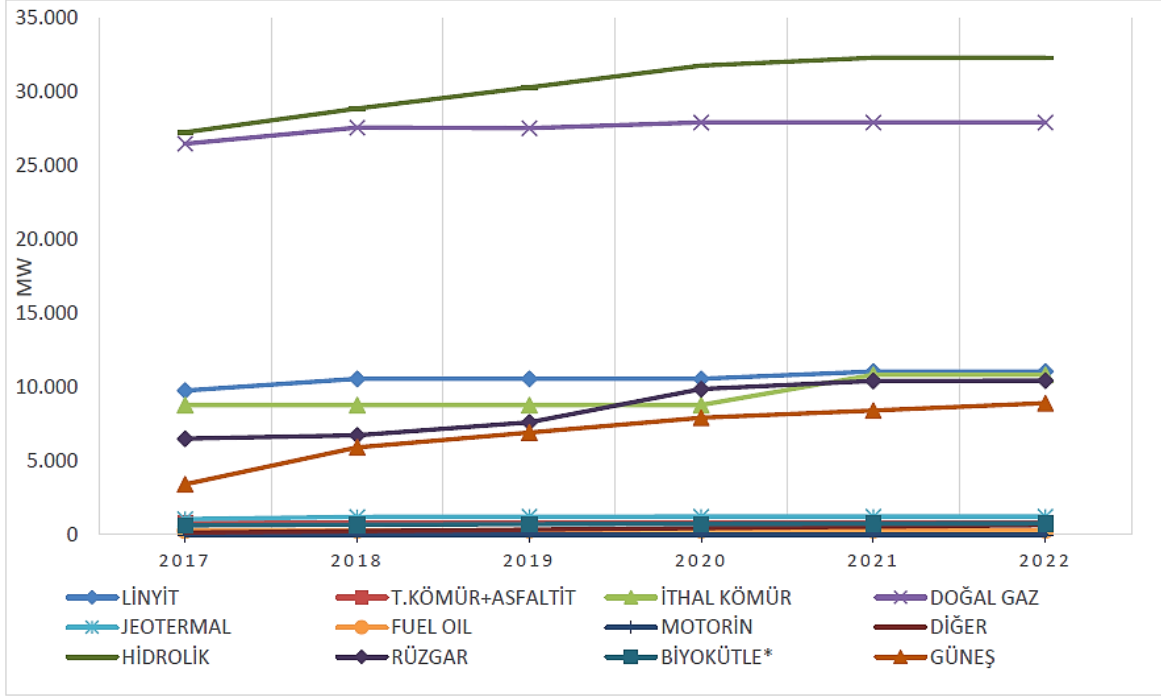
5.3.1. Ulusal yenilenebilir enerji stratejisi ve beklenen enerji tüketimi

Halihazırdaki beklentiler çerçevesinde, 2011-2023 yıllarında birincil enerji talebinde %90 oranında bir yükseliş olması öngörülmektedir. Bu açıdan, ilave üretim tesislerinin sisteme dahil edilmesi, enerji arzının farklı kaynaklardan olması (yerli ve yenilenebilir enerji ihtiyacı) ve enerji verimliliğinde azami seviyede olunması, Türkiye için önem arz eden hususlar olarak ifade edilebilir [94]. Yüksek oranda enerji bağımlılığı nedeniyle olası risk durumlarının engellenmesi ve sürdürülebilir bir enerji konseptinin gelişimi amacıyla, yenilenebilir enerji kaynaklı alternatif yolların teşviki kapsamında ilgili kurumlarca kararlılık gösterilmektedir.

Ülkede 2023'e kadar yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik üretiminden, toplam elektrik enerjisi ihtiyacının minimum %30'unun karşılanması ve ulaşım sektöründeki enerji ihtiyacının %10'unun yenilenebilir kaynaklardan elde edilmesi hedeflenmekte olup, bunun yanında 2023'te enerji yoğunluğunun (birim GSYH başına tüketilen enerji miktarını), 2011 referans yılında gerçekleşmiş olan değere göre minimum %20 oranında azaltılması amaçlanmaktadır [94].

Elektrik enerjisi üreten santrallerin kurulu güç değişimlerine/tahminlerine ilişkin görünüm Şekil 5.1'de sunulmaktadır. Şekilden anlaşılacağı üzere, doğalgaz başta olmak üzere fosil

kaynaklara dayalı kurulu güç artışında durağan ve/veya azalan bir dönem beklenirken, hidrolik, rüzgar ve özellikle güneş enerjisi kurulu gücünde önemli bir yükseliş trendi öngörülmektedir.



Şekil 5.1. Türkiye’de kurulu gücün birincil kaynaklara göre gelişim senaryosu [95]

İstatistik bilgileri incelendiğinde; 2001 yılında yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretiminin toplam elektrik enerjisi üretimi içerisindeki oranı %20 civarı iken, toplam kurulu güçteki oranıysa %41 seviyesindedir. 2018 yılına gelindiğindeyse; yenilenebilir enerjinin üretimdeki oranı % 32,5 ve kurulu güçteki oranı da yaklaşık % 48’e yükselmiştir [90].

Türkiye elektrik enerjisi kurulu gücü içerisinde, yenilenebilir enerji kaynaklarının güncel durumu ise Çizelge 5.3’te detaylı bir şekilde belirtilmektedir. Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı’nda yer aldığı üzere, 2023’e kadar 159 TWh seviyelerinde elektrik enerjisi üretimi yapabilecek 61.000 MW kapasitesinde yenilenebilir kaynaklı kurulu güç oluşturulması hedeflenmektedir [94].

Çizelge 5.3. Türkiye yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik kurulu gücü [91]

Kaynak Cinsleri	Nisan 2019		
	Kurulu Güç (MW)	Katkı (%)	Tesis Miktarı (Adet)
Biyokütle	660	0,74	148
Jeotermal	1302,5	1,45	48
Hidrolik Barajlı	20554,2	22,92	121
Hidrolik Akarsu	7848,7	8,75	540
Rüzgar	7018,9	7,83	177
Rüzgar (Lisanssız)	66,5	0,07	77
Güneş	81,7	0,09	9
Güneş (Lisanssız)	5292,9	5,90	6242
Toplam	42825,4	47,75	7362

5.3.2. Yenilenebilir enerji genel ulusal hedefleri

Türkiye'nin enerji stratejileri ile buna bağlı esaslar kapsamında, 10 senelik döneme ilişkin önem arz eden hususlar aşağıda yer almaktadır [94]:

- Fosil yakıt ithalatı konusundaki dışa bağımlı olma oranının ve bu yakıtların fiyat oluşumundaki dengesizliklere ilişkin olası risklerin ve de bu durumun iktisadi kalkınma üzerindeki olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi maksadı ile enerji bağımlılığının azaltılması amaçlanmaktadır.
- 2012 - 2023 yıllarında yaşanması muhtemel %75 oranındaki talep artışına cevap verilebilmesini teminen 125.000 MW'lık ilave üretim gücünün devreye alınması. İlgili kurumlarca, kısmen doğalgaz⁴ ve nükleer enerji üretim gücünde artış öngörülmekte ve yenilenebilir kaynaklı elektrik üretiminin toplam üretimdeki payının en az yüzde 30'a kadar çıkarılması hedeflenmektedir.
- İletim sistemi altyapısının geliştirilmesi amaçlanmakta olup, 60.717 km iletim hattının ve 158.460 MVA elektrik dağıtım şebekesinin olması beklenmektedir.

⁴ Amaç, üretim portföyünde en fazla %30 oranında kalması ve elektrik üretiminde doğalgaz yüzdesinin düşürülmesidir.

- Elektrik enerjisinde teknik ve teknik olmayan kayıp yüzdesinin yaklaşık %5 düşürülmesi ve akıllı şebeke teknolojilerinin kullanılması ile elektrik iletim sisteminde enerji verimliliğinin yükseltilmesi amaçlanmaktadır.
- Tarım sektöründeki potansiyel güçten daha fazla istifade edilmesi ve biyoyakıt pazarının (biyodizel ve biyoetanol) geliştirilmesi hedeflenmektedir.

5.4. Türkiye Elektrik Enerjisine İlişkin Veriler ve Üretim Kapasite Projeksiyonu

Bu kısımda; 2018 yılı Türkiye elektrik sistemi enerji üretim-tüketim verileri, elektrik enerjisi talep tahmini, iletim sistemi ve sistem kayıpları ile bu veriler kapsamında genel değerlendirmeler yer almaktadır.

5.4.1. 2018 yılı Türkiye elektrik sistemi enerji üretim-tüketim verileri

Çizelge 5.4'te belirtilen 2018 yılı istatistikleri incelediğinde; Türkiye elektrik enerjisi brüt üretimi 303,89 Milyar kWh, brüt tüketimi ise (Türkiye brüt üretimi + dış alım – dış satım) 303,28 Milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. 2018 yılı sonu itibarıyla, dış alım değeri 2,46 milyar kWh, dış satım değeri 3,07 milyar kWh olmuştur.

Çizelge 5.4. 2018 Türkiye elektrik enerjisi üretim ve tüketim değerleri [96]

Kaynaklar	2018 Yılı (GWh)	Katkı (%)
Kömür (Linyit+Taş+Asfaltit)	50389	16,59
İthal Kömür	62950	20,71
Doğalgaz	90702	29,85
Hidrolik	60193	19,81
Rüzgar	20004	6,58
Güneş	7786	2,56
Jeotermal	7612	2,50
Biyokütle	3296	1,08
Diğer	960	0,32
Toplam Üretim	303892	100,0
Dış Alım (İthalat)	2466	
Dış Satım (İhracat)	3074	
Türkiye Toplam Tüketimi	303284	

Ülkenin elektrik sisteminin 2008-2017 arasındaki ani puant talebi ve elektrik enerjisi tüketimi Çizelge 5.5'te yer almaktadır. 2015'te puant talep 43.300 MW, minimum yük 16.269 MW olmuştur. (31 Mart 2015 tarihindeki veriler hariçtir) Minimum yükün maksimum yüke oranı %38 olmuştur. Geçmiş yıllardan bugüne kadar puant talebinde ve elektrik tüketiminde önemli miktarda artış olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.5. 2008-2017 yıllarındaki elektrik sistemi puant güç ve enerji tüketimi verileri [95]

	<i>Puant Güç Talebi (MW)</i>	<i>Artış (%)</i>	<i>Enerji Tüketimi (GWh)</i>	<i>Artış (%)</i>	<i>Min.Yük (MW)</i>	<i>Min.Yük / Puant Yük Oranı (%)</i>
2008	30517	4,3	198085	4,3	10409	34
2009	29870	-2,1	194079	-2,0	11123	37
2010	33392	11,8	210434	8,4	13513	40
2011	36122	8,2	230306	9,4	14822	41
2012	39045	8,1	242370	5,2	13922	36
2013	38274	-2,0	248324	2,5	14800	39
2014	41003	7,1	257220	3,6	14927	37
2015	43289	5,6	265724	3,3	16269	38
2016	44734	3,3	279286	5,1	17448	39
2017	47660	6,5	294940	5,6	18336	38

5.4.2. Elektrik enerjisi talep tahmini

Bakanlıkça belirlenmiş olan referans (baz), yüksek ve düşük talep tahminlerinde on senelik ortalama artış; referans talep serisinde % 4,5, yüksek talep serisinde % 5,6 ve düşük talep serisinde % 3,7 şeklinde olmaktadır [95]. Bu dönem için yük eğrisi karakteristiğinin değişmeyeceği kabul edilerek, puant yük serileri TEİAŞ tarafından hesap edilmiştir. Talep tahminleri ülke geneli elektrik şebekesi için geçerlidir ve brüt taleplerdir. İletim ve dağıtım şebekelerindeki teknik ve teknik olmayan kayıplar ile üretim tesislerinin öz tüketimleri dahildir. İlaveten, dağıtım şebekesine bağlı ve Yük Tevzi Merkezi'nden talimat almayan üretim noktalarının da üretim miktarları bu çalışmaya dahil edilmiştir. Bu hususlar kapsamında hazırlanmış olan talep tahmini referans (baz) değerleri Çizelge 5.6'da yer almaktadır.

Çizelge 5.6. Talep tahmini referans (baz) talep [95]

Yıl	Puant Talep		Enerji Talebi	
	MW	Artış (%)	GWh	Artış (%)
2018	48266	1,3	304425	3,2
2019	50650	4,9	319457	4,9
2020	53112	4,9	334985	4,9
2021	55602	4,7	350696	4,7
2022	58229	4,7	367263	4,7
2023	60984	4,7	384638	4,7
2024	63786	4,6	402308	4,6
2025	66671	4,5	420509	4,5
2026	69630	4,4	439171	4,4
2027	72596	4,3	457876	4,3

5.4.3. İletim sistemi

400 kV'luk Çok Yüksek Gerilim (ÇYG) ile 154 kV Yüksek Gerilim Hatları, 400/154 kV oto trafoları ve 154/OG güç trafolarından oluşan Türkiye İletim Şebekesi, teknik ve iktisadi bakımdan olumlu yönleri sebebiyle yeterli miktarda seri ve şönt kapasitörlerle donatılmıştır. İletim şebeke voltaj düzeyi 400 kV ve 154 kV ile standart hale getirilmiştir. Gürcistan ve Ermenistan'la mevcut enterkonneksiyon hatları söz konusu ülkelerin voltaj düzeyine uygun şekilde 220 kV'tur.

Türkiye üretim ve iletim şebekesi, bir Milli Yük Tevzi Merkezi (Ankara) ile 9 adet Bölgesel Yük Tevzi Merkezi'nden (Adapazarı, Samsun, Elazığ, İzmir, Ankara, İstanbul, Erzurum, Adana ve Antalya) izlenmekte ve yönetimi sağlanmaktadır. Güç sistemi işletmesi, şebekenin 400 kV ile 154 kV trafo merkezlerini ve 50 MW üstündeki bütün üretim tesislerini kapsayan bir SCADA ve Enerji İşletim Sistemi Programı'yla (EMS) icra edilmektedir. Şebeke işleticisi, (Sistem Operatörü) bu sistemle birlikte daha kaliteli bir işletme için gereken sistem çalışmalarını, gün bazında işletme programını ve yük frekans kontrollerini yapabilme imkanı bulmaktadır.

Ülkenin elektrik iletim şebekesinde, voltaj düzeylerine göre havai hat uzunluklarının değişimi Çizelge 5.7'de yer almaktadır.

Çizelge 5.7. Elektrik iletim sistemi havai hat uzunluklarının gelişimi (km) [95]

<i>Yıllar</i>	<i>400 kV</i>	<i>220 kV</i>	<i>154 kV</i>	<i>66 kV</i>	<i>Toplam</i>
2008	14420	85	31654	509	46667
2009	14623	85	31932	509	47148
2010	15734	85	32906	509	49234
2011	15978	85	32878	509	49451
2012	16344	85	33481	509	50418
2013	16808	85	33943	509	51345
2014	17683	85	35132	509	53409
2015	19071	85	37449	140	56744
2016	21029	85	38682	139	59934
2017	22506	85	43152	110	65853

2017 yılı sonuna göre:

- 154 kV yeraltı güç kablosu uzunluğu 342,6 km
- 400 kV yeraltı güç kablosu uzunluğu 73,7 km

şeklinde, toplamda 416,3 km yer altı hat uzunluğuna ulaşılmıştır. Ayrıca, 15,96 km 400 kV deniz altı kablosu uzunluğu mevcut olup, toplam enerji iletim hattı uzunluğuyca 66285,26 km olmuştur.

5.4.4. Sistem kayıpları

Ülkenin popülasyonuna, arz kaynak noktalarının dağılımına ve coğrafya şartlarına ideal şekilde AB standartları çerçevesinde tasarlanan elektrik iletim ve dağıtım sisteminde, yaşanan kayıpların yıllar itibari ile değişimi Çizelge 5.8’de yer almaktadır. Elektrik sisteminin bütüncül bir şekilde en ideal şartlarda çalışmasının sağlanması ve söz konusu enerji kaybının en aza indirgenmesi amaçlanmaktadır.

Çizelge 5.8. Elektrik iletim ve dağıtım sistemi kayıpları [97]

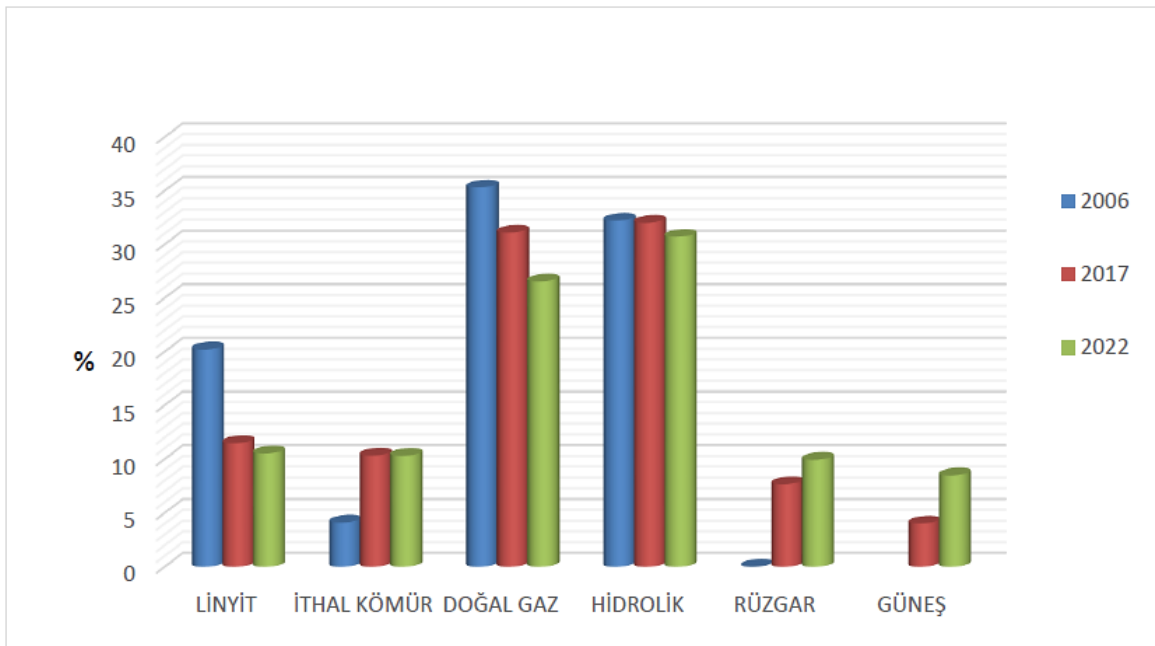
Yıllar	İletim Sistemi		Dağıtım Sistemi	
	%	GWh	%	GWh
2006	2,7	4544	11,3	19245
2007	2,5	4523	12,0	22124
2008	2,3	4388	12,1	23093
2009	2,1	3973	13,3	25018
2010	2,8	5691	12,0	24531
2011	1,9	4189	12,7	28180
2012	2,6	6025	12,7	29632
2013	2,4	5639	13,3	31495
2014	2,5	6271	12,6	31060
2015	2,1	5338	12,1	31190
2016	2,1	5608	11,2	30004
2017	1,9	5503	10,2	29159

5.4.5. Genel değerlendirmeler ve öneriler

Yukarıda belirtilen çizelgeler-veriler kapsamında, ülkenin elektrik üretimi toplam kurulu gücünün, kaynak bazında geçmiş yıllardan bu yana gelişim trendi ile gelecek yıllardaki tahmini gelişmeler analiz edildiğinde [95];

- Ülkenin elektrik şebekesinde kurulu gücün kaynak dağılımı ve gelişim süreci incelendiğinde bazı kaynaklarda miktar olarak artış yaşandığı, bazılarındaysa sabit bir görünüm olduğu, fakat her sene toplam kurulu güç içerisinde kaynak paylarının zamana bağlı olarak değişkenlik gösterdiği anlaşılmaktadır.
- Linyit oranı 2006'da yüzde 20,2 iken, 2017'de yüzde 11,5 düzeyindedir ki bu çalışma sonuçları açısından 2022'de yüzde 10,5 olması tahmin edilmektedir. Fakat yerli kömür kaynaklarının kullanılmasını teminen hazırlanan yeni mevzuat düzenlemeleriyle birlikte linyit kullanım payının gelecek yıllarda artması öngörülmektedir.
- Hidrolik oranı 2006'da yüzde 32,2 iken, 2017'de yüzde 32,0 düzeyindedir ki bu çalışma sonuçları açısından 2022'de yüzde 30,7 olması tahmin edilmektedir.
- Doğal gaz oranı 2006'da yüzde 35,3 iken, 2017'de yüzde 31,1 düzeyindedir ki bu çalışma sonuçları açısından 2022'de yüzde 26,5' a gerilemesi öngörülmektedir.

- İthal kömür oranı 2006'da yüzde 4,1 iken, 2017'de yüzde 10,3 düzeyindedir ki bu çalışma sonuçları açısından 2020'de yüzde 8,8'e kadar düşmesi ve 2022'de tekrar yüzde 10,3'a çıkması tahmin edilmektedir.
- Rüzgar oranı 2006'da yüzde 0 iken, 2017'de yüzde 7,6 düzeyindedir ki bu çalışma sonuçları açısından 2022'de yüzde 9,9 olması öngörülmektedir.
- Güneş oranı 2006'da yüzde 0 iken, 2017'de yüzde 4,0 düzeyindedir ki bu çalışma sonuçları açısından 2022'de yüzde 8,5 olması öngörülmektedir.



Şekil 5.2. Türkiye elektrik enerjisi kurulu gücü içindeki kaynakların değişimi (%) [95]

Birincil kaynak dağılımında, yeni eklenecek kurulu güç içerisinde termik santraller bakımından şebekeye eklenecek kurulu güç payı azalırken, hidrolik ve rüzgar santrallerinin daha yoğun olmasıyla şebekeye eklenecek kurulu güç kapasitesi artış göstermektedir (Şekil 5.2). Şebekeye eklenecek yeni kurulu güç kapasitesi noktasında gerekli kararlar ve politikalar belirleneceği zaman, kaynak dağılımına ilişkin bu durum dikkate alınmalıdır. Örnek olarak, rüzgar ve güneş vb. yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üreten tesislerin yapımına izin verilirken, buna paralel şekilde izin verilen kurulu gücün yüzde 50'si oranında yedek konvansiyonel kapasitenin kurulabilmesi yönünde gerekli tedbirler alınmalıdır.

Sonuç itibari ile elektrik piyasasında tüketim yapısının özellikleri nedeniyle, arz ve talep dengelerinin değişimini ve puant yük talebini ideal biçimde karşılayacak hidrolik, termik, rüzgar, güneş kaynak dağılımında gerekli dengeyi oluşturacak, kaynak güvenilirliğini temel alacak, arz güvenliği bakımından yeteri kadar yedek güce haiz bir şebekenin oluşturulabilmesi için planlama ve koordinasyon çalışmaları büyük önem arz etmektedir. Elektrik piyasasının liberal bir yapıya dönüşmesi ile birlikte özel sektör oyuncuları ve yatırımcılar için güvenli, öngörülebilir bir piyasa oluşturulması bakımından, söz konusu planlama-koordine çalışmaları ayrıca önemlidir.

5.5. Enerji Verimliliği ve ETKB Hedefleri

Arz güvenliğinin arz, talep ve altyapı kısımlarının en ideal şekilde yönetilmesi, enerji tasarrufu ve verimlilik uygulamalarının gerçekleştirilmesiyle sağlanabilir. Arz edilen kapasite her ne kadar güçlü olsa da iletim-dağıtım şebekesinde teknik-teknik olmayan kayıp, verimsiz kullanım vs. durumlar olduğunda arz edilen enerjinin kaydadeğer bir bölümü boşa gitmektedir. Bundan dolayı, enerjinin verimli kullanılmasını ve de tasarruf hususunu ayrı bir arz kaynağı olarak kabul etmek mümkündür.

İletim kayıpları lokal enerji üretimini desteklemek sureti ile azalacak, dağıtım bölgelerindeki teknik ve teknik olmayan kayıplar istenen düzeye inecek, genel aydınlatmada gerçekleştirilecek tasarruflarla kaynaklar verimli kullanılacak ve bu tedbirler kapsamında, iktisadi bakımdan masraflar azalacak, stratejik anlamda dışa bağımlılık oranı düşecektir.

2015-2019 Stratejik Planı çerçevesinde, ETKB ile Bağlı, İlgili, İlişkili Kuruluşların merkez ve taşra teşkilatı binalarındaki enerji verimliliğinde, 2013 yılsonu verilerine göre en az %20 iyileşme sağlanması hedeflenmiştir. Ayrıca, söz konusu plan içerisinde, akıllı şebeke uygulamalarına ilişkin çalışmalar yapılacağı da belirtilmektedir [98].

2015-2019 Stratejik Plan kapsamında verimliliğe ilişkin program hedefleri ve stratejileri aşağıda ifade edilmektedir [98]:

- Enerji depolama tesislerinin kurulması ve sisteme entegre edilmesi için gerekli mevzuat çalışmaları yapılacak ve enerji depolama sistemleri ile ilgili pilot uygulama gerçekleştirilecektir.

- Elektrik ve doğalgaz iletim-dağıtım piyasasında akıllı şebekeler ve sistemler hususunda yol haritası ortaya konulacaktır.
- Uzaktan okuma sisteminin ve akıllı şebeke teknolojilerinin aşamalı bir biçimde yaygın hale getirilmesi sağlanacaktır.
- Elektrik dağıtım şirketlerinin teknik ve teknik olmayan kayıp miktarının azaltılması için gerekli önlemler alınarak, izleme yapılacak ve gereken destekleme sağlanacaktır.
- Elektrik dağıtım şebekesinde teknik kayıpların azaltılması hususunda kaliteyi ve verimliliği esas alarak, buna uygun malzeme kullanımı yapılacaktır.
- Elektrik şebekesinde tarımsal sulama kaynaklı puant yük ve teknik-teknik olmayan kayıp problemlerini çözmek için güneş ve rüzgar enerjisi kaynaklı sulama tesislerinin devreye alınması amacı ile ilgili paydaşlar arasında gerekli koordine oluşturulacaktır.

5.6. Türkiye Akıllı Şebeke Çalışmalarına İlişkin Genel Durum

Enerji Verimliliği Strateji Belgesi'nde (2012 – 2023 yıllarında) akıllı şebeke uygulamaları, ETKB koordinatörlüğünde kamu, özel sektör ve sivil toplum kuruluşlarının katılımı ile ortaya konulan faaliyetlerden bir tanesi şeklinde ifade edilmektedir. SA-04/SH-02/E-01 kodlu faaliyetin kapsamı, “enerji ve güç miktarına göre kademelendirilmiş tarife, çok terimli sayaç ve akıllı şebeke uygulamalarının yapılması” biçiminde belirlenmiştir [99]. Ayrıca, ETKB 2015-2019 Stratejik Planı kapsamında, elektrik ve doğalgaz iletim-dağıtım piyasasında akıllı şebekelerin / sistemlerin oluşturulması hususunda yol haritası belirlenmesi hedeflenmektedir.

Dağıtım şirketlerince otomatik sayaç okuma sistemi (OSOS) yatırım çalışmalarına, mevzuat gereklilikleri çerçevesinde başlanılmıştır. Uzaktan izleme ve kontrol (SCADA), dağıtım sistemi yönetimi, coğrafi bilgi sistemleri (CBS), akıllı sayaç altyapısı vb. bilgi ve iletişim sistem parçaları, dağıtım şebekesi açısından önemli ihtiyaçlar olarak kabul edilmektedir ve dağıtım şirketleri bu teknolojileri yatırım planlarına eklemiş, kurulum çalışmalarına devam etmektedirler.

Türkiye’de akıllı şebeke konusunda, TEİAŞ’la başladıktan sonra dağıtım şirketleri uhdesinde devam eden, uzaktan okuma sistemi ve akıllı sayaç başlıklarında bir vizyon ile uygulama süreci bulunmaktadır. Bunun yanında, şebekeyi reel zamanlı izlemek ve yönetmek için yürütülmekte olan “şebeke izleme ve dağıtım sistem yönetimi” çalışmaları, yatırım faaliyetleri içerisinde bulunmaktadır.

İlaveten, talep yönetimi kapsamında çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmekte olup, akıllı şebeke teknolojileri sayesinde bu hususun gerçekleştirilmesi sağlanabilecektir. Tüketici kısmının da fiyatlara tepki verebilmesi sağlanarak, kısa zamanlı fiyatlamalara cevap verebilen bir talep tarafı söz konusu olacaktır.

Tüm bunların yanı sıra, Türkiye’deki 21 özel elektrik dağıtım şirketini temsil etmekte olan ve “2035 yılına kadar ülkede akıllı sayaç faaliyetlerine ve akıllı şebeke uygulamalarına 10 milyar Euro harcanması tahmin edilmektedir” [100] açıklamasını yapan ELDER (Elektrik Dağıtım Hizmetleri Derneği), “Türkiye Akıllı Şebekeler 2023 Vizyon ve Strateji Belirleme Projesi”ni (TAŞ 2023) [101] hayata geçirmektedir. Elektrik dağıtım şirketinin ortak bir Ar-Ge projesi olan ve EPDK desteği ile ELDER koordinasyonunda yürütülen çalışma için 2016 başlarında bir ihale gerçekleştirilmiş ve sonucunda bahse konu proje için bir danışmanlık firmasından hizmet alımı gerçekleştirilmiştir. Projede, akıllı şebekelere geçilmesi aşamasında gereken yöntemin ve termin süresinin ortaya konulması amaçlanmaktadır. TAŞ 2023 Projesi ile tüketici tarafın elektrik piyasasına aktif olarak katılması, yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik üretiminin artırılması, şebeke verimliliğinde ve enerji kalitesinde iyileştirme sağlayacak fayda-maliyet açısından pozitif şekilde akıllı şebeke teknolojilerine geçiş için gereken yöntemi, prosesleri ve de termin planlamasını ayrıntılı olarak ortaya koyacak bir yol haritası çizilmesi hedeflenmektedir.

5.6.1. Mevzuat yapısı

Türkiye’de akıllı sayaç sistemlerini etkileyen kilit konular, Kanun ve yönetmelik düzeyinde belirlenmektedir. Elektrik Piyasası Kanunu ile 2013 sonu itibarıyla, sayaç mülkiyeti dağıtım şirketlerine verilmiştir. Sayaç temini ve montajı ile dağıtım lisans sahibi tüzel kişi ilgilenmektedir. Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği’nde de, uzlaştırmanın saatlik yapılması hususuna, saatlik verinin olmadığı tüketim noktaları için gerekli profil yöntemine

ve aylık uzlaştırma için gerekli ay sonu sayaç okuma sonuçlarının hesaplanmasında kullanılan tahminleme metodolojisine değinilmektedir [76].

“Otomatik Sayaç Okuma Sistemlerinin Kapsamına ve Sayaç Değerlerinin Belirlenmesine İlişkin Usul ve Esaslar”, 10/04/2011 tarihli ve 27901 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir [102]. Bu düzenlemenin amaç ve kapsamı; Elektrik Piyasası Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği uyarınca uzlaştırma hesaplamalarında kullanılacak sayaç değerlerinin, sayaçların okunma periyotlarının ve OSOS kapsamında yer alacak sayaçların belirlenmesine ve sayaçların OSOS’a dahil edilmesi için gerekli teçhizatın kurulmasına dair sorumluluklara ve OSOS kapsamında elde edilen verilerin paylaşımına ilişkin usul ve esasların belirlenmesidir.

OSOS ile doğrudan ilişkili mevzuat hükümleri, OSOS Kapsamına ve Sayaç Değerlerinin Belirlenmesine İlişkin Usul ve Esaslar’ da yer almaktadır. Buna göre; OSOS kapsamında yer alması zorunlu olan sayaçlara ait aktif tüketim limiti dağıtım şirketi tarafından belirlenmekte, EPDK tarafından onaylanmaktadır. OSOS uygulamasına alınacak sayaçları, sayaç mülkiyetine haiz tarafın tedarik edeceğine hükmedilmiştir. OSOS haberleşme maliyetleri TEİAŞ ve dağıtım şirketlerinin, abonelik maliyeti ise altyapının temininden yükümlü tarafın sorumluluğundadır.

OSOS verilerinin paylaşılması için gerekli altyapı dağıtım şirketleri tarafından oluşturulmaktadır. Fatura dönemine (aylık) ait uzlaştırma dönemi bazındaki (saatlik) OSOS bilgilerinin paylaşımları için dağıtım şirketi bedel talep edememektedir. Fatura döneminden daha kısa periyotlarda (15 günlük gibi), uzlaştırma dönemi bazındaki OSOS bilgilerinin paylaşımı için ek veri iletişim maliyetlerini karşılayacak şekilde belirlenen bir bedel talep edilebilmektedir. OSOS kapsamına, kurulum yapılacak yerlerdeki su, doğal gaz ve ısı ölçüm sayaçları da dahil edilebilmekte, bu sayaçların bilgilerinin paylaşımı bir bedel karşılığında sağlanabilmektedir.

Sayaçlar ile ilgili fonksiyonel özellikler de, “Dağıtım Şirketlerince Kurulacak OSOS Kapsamına Dahil Edilecek Sayaçların, Haberleşme Donanımının ve İlave Teçhizat ve Altyapının Ortak Asgari Teknik Özellikleri” ile düzenlenmiştir [103]. Burada geçen

hususlar, Avrupa Komisyonu'nun yayınladığı, paydaşların faydalarına göre sınıflandırılan asgari fonksiyonel gereksinimlerden farklı olup, daha çok teknik ayrıntıları ifade etmektedir.

Ayrıca, Ölçü ve Ölçü Aletleri Muayene Yönetmeliği'ne göre, elektrik, su ve gaz sayaçlarının periyodik muayenelerinin 10 senede bir yaptırılması zorunlu kılınmıştır. Bu ölçü ve ölçü aletlerinin periyodik muayene süreleri, damgalandıkları yıldan başlanarak hesaplanmaktadır. Türkiye Elektrik Piyasası'ndaki pratik uygulama, damga süresi geçmiş sayaçların yenileriyle değiştirilmesi şeklinde yürütülmektedir. Dağıtım şirketlerinin yatırım takviminde, damga süresi dolduğu için değiştirilmesi beklenen sayaçlar bulunmaktadır [76].

5.6.2. OSOS kurulum süreci ve elektrik dağıtım şirketleri OSOS limitleri

Bir elektrik dağıtım bölgesinde, coğrafya şartları ile diğer unsurları göz önünde bulundurmak sureti ile çeşitli tüketim limitleri belirlenebilmektedir. Limitin onaylanması halinde, dağıtım şirketleri bu limitin üstünde kalan sayaçlar için OSOS projesi başlatılmaktadır.

Projelendirilen OSOS uygulamaları, EPDK'nın dağıtım şirketlerine tahsis etmiş olduğu beş yıllık yatırım bütçelerinden (CAPEX) karşılanmaktadır. Proje bütçesi hazırlanırken, düzenlemeye tâbi olan (sayaç kurulum bedeli gibi) bedeller ilk yatırım maliyeti kapsamında değerlendirilerek EPDK'ya sunulmaktadır.

Herhangi bir tüketim limiti bildirilmeyen dağıtım bölgeleri için 800 MWh/yıl limiti esas alınmaktadır. Ayrıca, aydınlatma sayaçları ve yeraltı su sondaj pompalarının uzaktan okunması, limitten bağımsız olarak zorunlu tutulmuştur. EPDK tarafından onaylanmış olan dağıtım şirketleri OSOS limitleri⁵ Çizelge 5.9'da belirtilmektedir [76].

⁵ 20.10.2011 tarihli ve 3465/100 sayılı EPDK Kurul kararı ile onaylanmış olup, en son 03.05.2018 tarihli ve 7820-45 sayılı Kurul kararıyla revizeler yapılmıştır.

Çizelge 5.9. Elektrik dağıtım şirketleri OSOS limitleri [76]

Dağıtım Bölgesi	OSOS Tüketim Limiti (MWh/yıl)	Dağıtım Bölgesi	OSOS Tüketim Limiti (MWh/yıl)
1. Kcetaş	40	12. Aydem	100
2. Akdeniz	30	13. Boğaziçi	50
3. Çamlıbel	30	14. Çoruh	40
4. Sakarya	30	15. Fırat	25
5. Uludağ	25	16. Akedaş	30
6. Aras	100	17. Dicle	10
7. Başkent	100	18. Osmangazi	400
8. Gediz	80	19. Trakya	50
9. Meram	100	20. Van Gölü	100
10. Ayedaş	130	21. Yeşilirmak	55
11. Toroslar	150		

5.6.3. TEİAŞ bünyesinde yapılan OSOS çalışmaları

TEİAŞ Otomatik Sayaç Okuma Sistemi; sayaç bilgilerinin otomatik şekilde uzaktan okunması, bilgilerin merkezi bir sisteme transfer edilmesi, doğrulamas yapılması, eksik bilgilerin tamamlanması, bilgilerin tutulması ve ilgili kullanıcılara istenen formda arz edilmesi amaçları ile kurulmuş, gerekli yazılım, donanım ve iletişim altyapısını içeren sistematiktir [104].

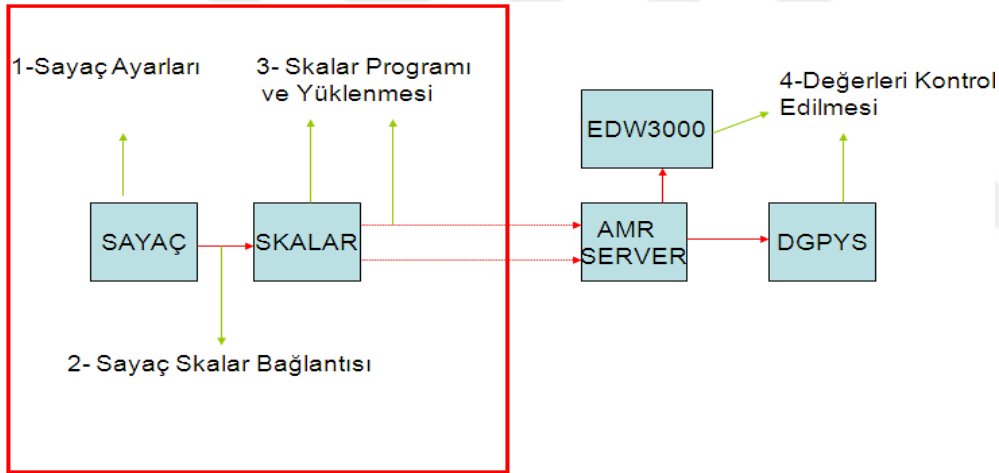
TEİAŞ OSOS, Dünya Bankası finansmanı ile 2012'de kurulmuş olup, Avusturya menşeli bir firma olan Görlitz tarafından tesis edilmiştir. Ülke çapında satışa esas ölçüm noktalarındaki sayaçlar ile skalar adı verilen uzak terminal biriminin (remote unit) montajı, işletmesi, bakımı ve günlük veri takibi, 22 adet TEİAŞ İletim Tesis ve İşletme Grup Müdürlüklerinde bulunan ölçüm sistemleri grup başmühendislikleri tarafından gerçekleştirilmektedir [104].

TEİAŞ OSOS kapsamında; Elektrik Piyasası İşletme Dairesi Başkanlığı'na kayıtlı piyasa katılımcılarının, dengeleme ve uzlaştırmada esas alınan veriler ile sistem kullanım ve sistem işletim faturalarına esas bedellerin tespit edildiği verilerin uzaktan okunması gerçekleştirilmektedir. (TEİAŞ'ın okumakla yükümlü olduğu tüm sayaçlar.) Elde edilen bu

ölçüm değerleri, kendi adlarına oluşturulan kullanıcı hesapları ile iletim sistemi kullanıcıları tarafından internet üzerinden izlenebilmektedir.

OSOS ile aylık olarak, bir önceki ayın tamamına ait saatlik aktif veriş ve çekiş değerleri, TEİAŞ Elektrik Piyasası İşletme Dairesi Başkanlığı'nın DGPYS (Dengeleme Güç Piyasası ve Gün Öncesi Planlama Yönetim Sistemi) sistemine otomatik aktarılmaktadır.

Şekil 5.3'te OSOS bilgi akış şeması gösterilmektedir. Sistemin çalışma mantığı: programlanabilen cihazlar olan skalarların, sayaçlardan aldığı verilerin kodlanıp sıkıştırılarak merkezi işletim sistemine GSM, ETHN (internet) ve PSTN (sabit telefon şebekesi) iletişim kanalları ile aktarılması ve burada gerekli kontrollerden geçirilmesi ve nihayetinde kullanıcılara sunulması şeklinde ifade edilebilir [104].



Şekil 5.3. OSOS bilgi akış şeması [104]

Skalar; elektrik, gaz, ısı ve su sayaçlarını uzaktan okuma amacı ile tasarlanmış, bir bilgiyi alıp göndermeye yarayan, yaygın kullanılan iletişim kanallarına (GSM, ETHN, PSTN, RS485, RS232 v.b) sahip, akıllı bir haberleşme cihazdır.

Skalar ile tüm veri iletişimi ftp sunucu ve ftp client (örn. Microsoft Internet Explorer) üzerinden TCP/IP ile yapılmaktadır. Böylelikle skaların programı ve işletim sistemi değiştirilebilmektedir.

EDW 3000; skalar cihazlar tarafından okunarak Server'a gönderilmiş olan sayaç verilerine, yöneticiler ve kullanıcılar tarafından ulaşılmasını sağlayan WEB arayüz programıdır. Bu web arayüzü ile skalar tarafından sunucuya aktarılan ve Server tarafından saklanan veriler üzerinden;

- Sayaçların yük profilleri ve endeks verileri okunabilir,
- Sayaçların aylık üretim – tüketim değerleri görüntülenebilir,
- Yük profilleri indirilerek OSF'ye (otomatik sayaç formu) dönüştürülebilir,
- Kullanıcı bilgileri görülebilir/değiştirilebilir,
- Sayaçların demantları ve master demantı hesaplanabilir.

Ayrıca, yöneticiler tarafından çeşitli ayarlamalar, kayıtlar, uzaktan recollection talimatı (geçmiş bilgilerin okunması) gibi işlemler yapılabilmektedir.

5.6.4. Değerlendirmeler

Mevcut sayaç sayısı ve artış hızı göz önüne alındığında, Türkiye'de 2023 yılına kadar yaklaşık 49 milyon elektrik sayacının tesis edilmesi gerekeceği öngörülmektedir. Belirlenecek özelliklere ve teknolojik seçimlere bağlı olarak, bu sayaçlar için tahmini 4-5 milyar TL arası yatırım yapılması durumu ortaya çıkmaktadır.

Metroloji ve Standardizasyon Genel Müdürlüğü (STB) başkanlığında; ETKB, EPDK, TSE, TÜBİTAK, ELDER ve sayaç üreticilerinin katılımı ile oluşturulan komisyon, sayaç teknik özelliklerini belirlemektedir. Hazırlanacak olan yol haritasına ve teknolojik seçimlere göre sayaçların özellikleri büyük önem arz etmektedir. Teknik özellikler belirlenene kadar, 10 yıllık damga süresi dolan sayaçların değişim tarihlerinin ötelenmesi de önemli bir husus olarak ifade edilmektedir.

Halihazırda, 43,6 milyon civarında mevcut elektrik abonesi olduğu ve kullanıcı sayısının yılda % 3 civarında arttığı belirtilmektedir [105]. Bugün kullanılan elektronik sayaçlar ise akıllı şebeke için yeterli olmamaktadır. Dolayısıyla, sayaçların teknik özelliklerinin yeniden belirlenmesi gerekmektedir.

Sistem gerekliliği/fonksiyonu açısından ve kaynakların en ideal Şekilde kullanılması noktasında doğru adımlar atılmasını teminen, ülke çapında yeni sayaçların eklendiği ve mevcut sayaçların deđiŐtirileceđi bir sistem kurulumu aşamasında, sayaç bedeli hususu ve belirlenecek asgari özellikler dikkatle analiz edilmelidir.



6. FAYDA MALİYET ANALİZİ VE AB'DEKİ YAYGINLAŞTIRMA ÇALIŞMALARI

Bu bölümde, akıllı şebeke çalışmalarına/yatırımlarına ilişkin olarak fayda maliyet analizi çerçevesinde; AB mevzuatı ve ilgili direktifler, fayda-maliyet analizi metodolojisi, JRC fayda maliyet analizi yöntemi, AB ülkelerinde gerçekleştirilen detaylı fayda-maliyet analizleri ve yaygınlaştırma projeleri ile Türkiye için fayda maliyet analizi hususları ele alınmıştır. Bu bağlamda, gerek uygulanan metodlar açısından gerekse ülkelerin çalışmaları bakımından detaylı incelemeler ve açıklamalar yapılarak, bahse konu hususlarda derinliğe sahip çeşitli raporlar/çalışmalar irdelenmiştir [76, 106].

6.1. AB Mevzuatı ve İlgili Direktifler

25.06.2009'da, AB Konseyi'nce onaylanmış 3. Enerji Paketi kapsamında, 13 Temmuz 2009 tarihinde hazırlanmış olan, elektrik piyasasına dair ortak kararların yer aldığı 2009/72/EC Direktifinde, kullanıcıların elektrik piyasasında aktif katılımcı olmasını sağlamak amacı ile AB ülkelerinin, akıllı sayaç sistemlerinin yaygınlaştırılması hususunu öncelikli alan haline getirmesi gerekliliği belirtilmiştir. İlaveten, piyasa ve kullanıcı bakımından uzun vadeli fayda-maliyetlerin göz önünde bulundurulması, maliyet etkin bir akıllı sayaç sisteminin gerçekleştirilebilir zamanlama periyodu içinde kurulabilmesi açısından, yaygınlaştırma faaliyetlerinin fayda-maliyet analiz çalışmalarıyla güçlendirilmesi tavsiye edilmiştir.

Bu çerçevede, fayda-maliyet analiz çalışmalarının Eylül 2012'ye kadar bitirilmesi, olumlu sonuçlanan ülkelerde akıllı sayaç sistemlerinin 2020 yılı itibari ile %80 oranında yaygın hale getirilmesi şeklinde bir hedef ortaya konulmuştur. Üye ülkelerin kurulum işlemleri için 10 sene civarında sürece yayılmış zamanlama planı yapması gerektiği ifade edilmiştir.

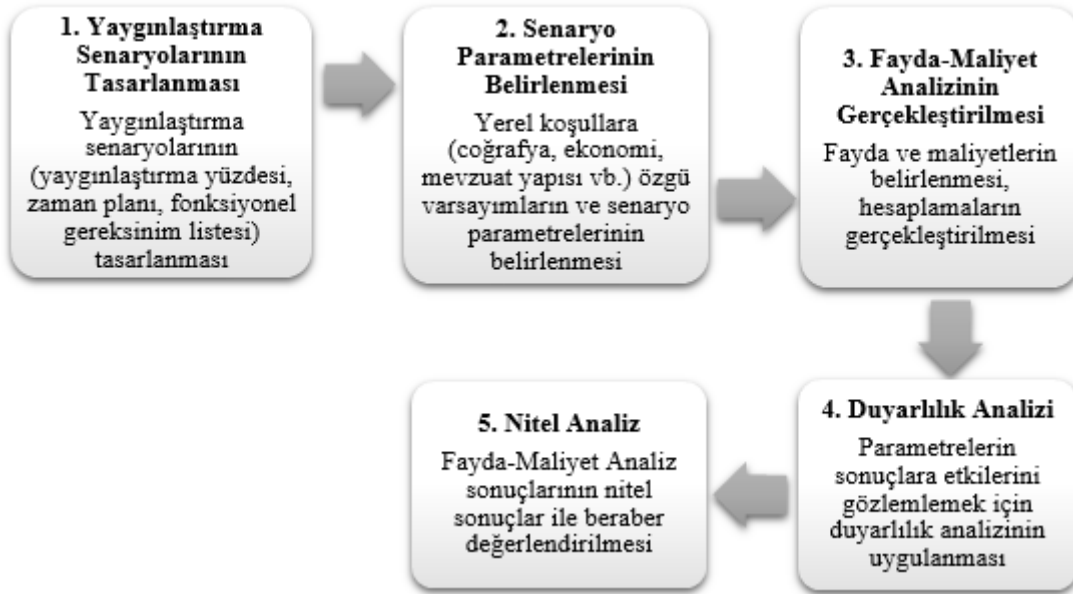
Yaygınlaştırma stratejilerinin, akıllı sayaç sistemlerinden toparlanan dataların, kişisel veriler ile kullanıcının korunması hususlarını dikkate alarak, enerji hizmetlerini geliştirmesi, talep tarafı katılımını sağlaması ve dinamik tarifeleri desteklemesi gerektiği belirtilmiştir. Avrupa Komisyonu ve komisyona bağlı Ortak Araştırma Merkezi (Joint Research Centre-JRC) de

Fayda maliyet analiz çalışmalarında izlenmesi gereken metodolojiye dair bir komisyon tavsiyesi (2012/148/EU) ve kılavuz (JRC67961-EUR 25103 EN) yayınlamıştır.

6.2. Fayda-Maliyet Analizi Metodolojisi

Fayda-maliyet analiz çalışmalarının esas amacı, yaygınlaştırma projelerinin iktisadi olarak nasıl bir sonuç (olumlu veya olumsuz) vereceğini öngörmek ve olumlu sonucu sağlayacak ideal şartları ortaya koymak şeklinde ifade edilebilir.

Avrupa Komisyonu, akıllı sayaç yaygınlaştırma çalışmaları kapsamında bir fayda-maliyet analizi yöntemi tavsiye etmiştir (JRC67961-EUR 25103 EN). Şekil 6.1’de görüldüğü üzere, bahse konu metodolojide fayda maliyet analizi yaklaşımı 5 ana başlıkta ele alınmaktadır.

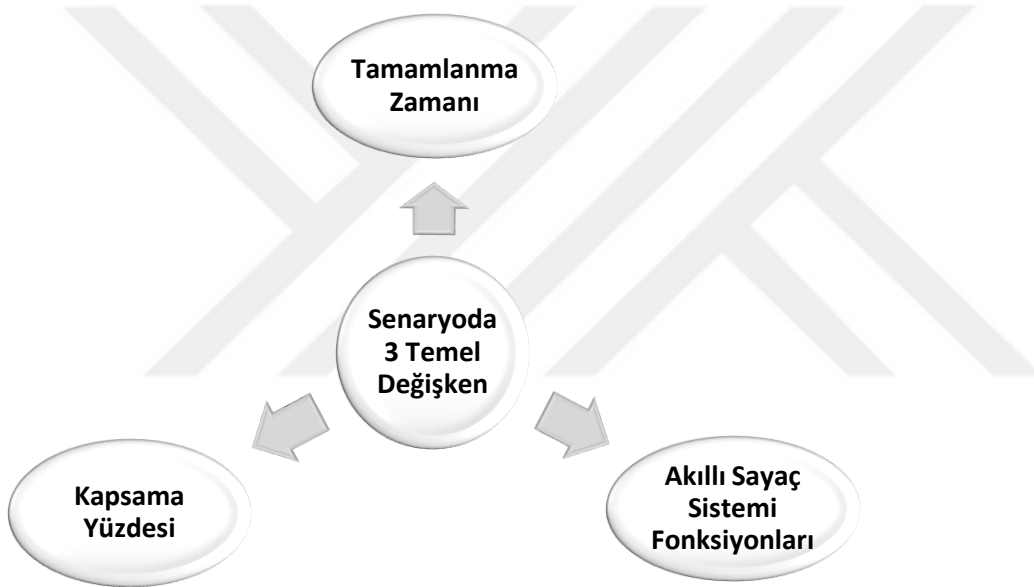


Şekil 6.1. Fayda-maliyet analizi yaklaşımına ilişkin beş temel adım [106]

Yaygınlaştırma planlamalarında, iktisadi etkilerin bütüncül bir şekilde hesap edilmesi ve gerekmesi halinde fayda maliyet analizinin sonuçları çerçevesinde finansman imkanlarının çeşitli formatlarda değerlendirilmesi (Ör: sübvansiyon) için nicel adımların eş zamanlı olarak nitel analizle de destekleniyor olması önem arz etmektedir.

6.2.1. Adım 1: yaygınlaştırma senaryolarının tasarlanması

Fayda-maliyet analizleri, yaygınlaştırma senaryoları temel alınarak gerçekleştirilmektedir. Her yaygınlaştırma projesi için birden fazla senaryo tanımlanabilir ve bu senaryoların birbirinden farklı sonuçları olabilir. Senaryolar, Şekil 6.2’de belirtildiği üzere, kurulumu yapılacak akıllı sayaç sisteminin toplam elektrik piyasasındaki kapsama yüzdesi, yaygınlaştırmanın öngörülen tamamlanma zamanı ve kapsamda yer alması tasarlanan akıllı sayaç sistemi fonksiyonları olmak üzere üç temel değişken üzerinde şekillendirilmektedir. Bu kriterler üzerinden konulan hedefler ile senaryo tasarımı gerçekleştirilmiş olmaktadır.



Şekil 6.2. Senaryoların şekillendirildiği üç temel değişken [106]

Avrupa Komisyonu'nun hazırladığı komisyon önerisinde, fayda maliyet analizi gerçekleştirecek üye ülkelere en az 2 senaryo ile ilerlenilmesi tavsiye edilmiştir. Buna göre:

1. Akıllı sayaç sistemlerine özgü aksiyonun alınmadığı, akıllı sayaç sistemleri kurulumunun mevcut iş yapma yöntemiyle (business as usual) devam ettiği senaryo,
2. 2009/72/EC Direktifinde belirtilen, fayda-maliyet analizinin pozitif çıktığı ülkelere hedef olarak belirlenen, 2020 yılına kadar elektrik piyasasındaki sayaçların % 80'ini akıllı sayaçların oluşturduğu ve en az 10 temel akıllı sayaç sistem fonksiyonunun esas alındığı AB yaygınlaştırma senaryosudur.

Avrupa Komisyonu'nun, uygulanacak akıllı sayaç sistemleri yaygınlaştırma çalışmalarında, göz önünde bulundurulması gerekli hususlara ilişkin yayınladığı öneri belgesinde (2012/148/EU), fayda-maliyet analizi ve projesi çerçevesinde esas kabul edilmesi tavsiye edilen 10 maddelik asgari fonksiyonel gereksinim listesi mevcuttur [106].

2009/72/EC direktifinde belirtilen asgari 10 temel akıllı sayaç fonksiyonel gereksinim listesi

A) *Tüketici yararını ve dolaylı olarak düzenleyici kurumların beklentilerini yansıtması amacıyla:*

1. Sayaç okuma sonuçları, tüketim verilerini görselleştirerek sunma olanağı sağlayan bir arayüzle (web portal, ev-içi gösterim cihazları vb. yardımcı ekipman) tüketiciler ile veya tüketiciler tarafından yetkilendirilmiş üçüncü şahıslar ile doğrudan paylaşılmalıdır.
2. Sayaç okuma sonuçları, enerji tasarrufuna katkı sağlama amacı ile yeterli sıklıkta güncellenmelidir. Bu bakımdan, güncelleme periyodunun en az 15 dakika olarak belirlenmesinde anlaşma sağlanmıştır.

B) *Sayaç işletmecisi ve dağıtım şirketlerinin faydalarını tetikleme amacı ile:*

3. Sayaç faaliyetlerinden sorumlu işletmenin, sayaç okuma sonuçlarına uzaktan erişebilmesine imkan sunulmalıdır.
4. Ölçüm sisteminin bakımının ve kontrolünün sağlanması amacı ile akıllı sayaç sistemiyle dış sistemler arasında çift taraflı haberleşme sağlanmalıdır.
5. Elektrik şebekesinin planlı yönetilebilmesini teminen sayaç okuma sonuçları yeterli sıklıkta şebeke işletmecisiyle paylaşılmalıdır.

C) *Tedarik şirketleriyle düzenleyici kurumların faydalarını ön plana çıkarması amacı ile:*

6. Gelişmiş tarifelendirme seçenekleri desteklenmelidir.
7. Uzaktan kesme ve açma fonksiyonuyla elektrik arzının kontrolü ve/veya yük sınırlandırılması sağlanmalıdır.

D) *Veri güvenliği ile ilgili hususları temsil etmesi amacı ile:*

8. Veri iletiminin güvenliği sağlanmalıdır.
9. Veri iletimine ve sayaca yapılabilecek olası dış müdahaleler tespit edilebilmeli ve önlenmelidir. (siber güvenlik)

E) *Dağıtık üretim teknolojisinin desteklenmesi amacı ile:*

10. Kurulumu yapılacak sayaçlar, çift taraflı (üretim/tüketim) enerji akışını ve reaktif enerjiyi ölçümleyebilecek özelliğe haiz olmalıdır.

Yapılacak çalışmanın özelliğine göre, bu fonksiyonel ihtiyaçlara ilave ve eksiltme yapmak mümkündür. Fonksiyonel ihtiyaçlardan devreye alınması gerekenlerin belirlenmesi, fayda ve maliyetleri direkt olarak etkilemektedir. Bundan dolayı, fonksiyonel gereksinim listesi üzerinde değişiklik yaparak çeşitli senaryo çalışmaları ortaya çıkabilir ve farklı sonuçlar elde edilebilir.

6.2.2. Adım 2: senaryo parametrelerinin belirlenmesi

Senaryo çalışmalarında, yapılan varsayımların detaylı hale getirildiği, hesaplamalara direkt olarak etki edecek analiz parametreleri belirlenmektedir. Bu aşamada, analiz çalışmasının yapılacağı bölgenin elektrik şebeke dinamikleri, elektrik piyasası mevzuatı, ülkenin ekonomik şartları, teknolojik olgunluk seviyesi ve gelişim öngörüsü, akıllı sayaç sistemi kurulum stratejisi vb. kıstasların dikkate alınması önem arz etmekte ve analiz çalışmasını farklılaştırıcı etkiye sahip olmaktadır. Bunun yanı sıra, akıllı sayaç sistemlerinin bölgenin mevcut durumda sahip olduğu akıllı şebeke karakteristiğiyle yaratacağı sinerji ve fiziksel şebeke şartları da göz önünde bulundurulmalıdır. Belirlenmiş olan parametreler, çalışmanın duyarlılık analizi kısmında geri-besleme kriteri olarak kullanılmaktadır.

Elektrik piyasasındaki güncel gelişmeler ve gelecek öngörülere; fayda-maliyet analizini direkt olarak etkileyen bir özelliğe sahiptir. Bu bakımdan, piyasadaki arz ve talep gelişimi, puant zamanlardaki yük aktarım oranı, elektrik enerjisi talep ve fiyatlarının gelişimi, mevcut operasyonel durum, analize dahil edilmesi gerekli hususlardır. Arz-talep gelişimi ve fiyat tahminleri, sağlanabilecek enerji tasarrufunun hesaplanmasında rol oynamaktadır.

Ayrıca, puant anı yük aktarım oranı ve projeksiyonu, elektrik şebekesinin ve bağlı sistemlerin en yoğun yükte çalıştığı zamanlarda, talep tarafı katılımının devreye girerek pahalı yatırımların önlenmesi ve sistem dengesinin daha ideal değerlerde sağlanması noktasında fikir verecektir. Yine, elektrik sistemindeki kayıp-kaçaklar, kesinti süreleri ve kesinti sıklıkları (SAIDI - SAIFI), sayaç okuma maliyetleri vb. mevcut operasyonel şartlar

da analiz kapsamında ele alınmakta olup, bu alanlarda sağlanacak iyileşmeler analizin faydalar kısmına ilave edilebilmektedir.

Düzenleyici kurumların akıllı sayaç politikalarına yaklaşımı; yapılan düzenlemelerde fayda-maliyet analizini etkileyebilecek önemdedir. Örnek olarak, Türkiye’de son dönemde gündemde olan damga süresi dolmuş (mekanik) sayaçların yeni sayaçlar ile değiştirilmesi, sayaç mülkiyetinin dağıtım şirketlerine geçmesi, uzaktan haberleşme özelliğine sahip sayaçların asgari teknik özellikleri vb. hususlar bu çerçevede ifade edilebilir. Mevzuat kapsamı, yatırımların finanse edilme yöntemlerini, fayda ve maliyetlerin paydaşlar arasında dağılımını şekillendireceği gibi akıllı sayaç sistemlerinde karşılanacak asgari fonksiyonel gereksinimlerin belirlenmesini doğrudan etkileyerek, senaryo tasarımına da geri besleme yapma imkanı sunmaktadır.

İskonto oranı; fayda-maliyet analizlerinde kullanılan iskonto oranı (discount rate) ve enflasyon oranı vb. kavramların uygun belirlenebilmesi için ülkenin iktisadi durumu ve gelişim tahminleri de hesaba katılmaktadır. Fayda-maliyet analizi sonuçlarının kıyas edilebilir ve anlamlı bir büyüklüğe sahip olması adına genellikle net bugünkü değer (net present value) ya da iç verim oranı (internal rate of return) kavramları kullanılmaktadır. İskonto oranının fazla olması, akıllı sayaç sistemleri yatırımlarının da riskini artırmakta, elde edilecek faydaların değerinin düşük çıkmasına sebep olabilmektedir. Bir anlamda, iskonto oranı projelerin risk seviyesi açısından fikir vermekte, iskonto oranında yapılacak küçük değişimler analiz sonuçlarında büyük değişimlere neden olabilmektedir. Bundan dolayı, iskonto oranları genel anlamda duyarlılık analizinde değişken olarak değerlendirilmektedir.

Kurulum stratejisi; senaryo çalışmasında temel esasları belirlenen kurulum stratejisinin detaylandırılması da fayda-maliyet analizini etkileyen bir husus olarak öne çıkmaktadır. Yaygınlaştırmanın kapsamı, tüketim noktalarının özelliklerine göre (merkezi, kırsal, yoğun yerleşim/sayaçlar katta, yoğun yerleşim/sayaçlar enerji odasında/endüstriyel tesis, vb.) hem iletişim topolojisi hem de sayaç kurulum faaliyetleri anlamında farklı maliyet-etkin yaklaşım imkanları sağlamaktadır.

Bu çerçevede, hedef iletişim topolojisinin maliyet hesaplamalarının ana eksenini ve analiz sonuçlarını direkt olarak etkileyeceği de göz önünde bulundurulmalıdır. Örnek olarak; GPRS

haberleşmesinde operasyonel maliyetler ön plana çıkarken, PLC haberleşmesinde yatırım maliyetleri ön plana çıkmaktadır.

Teknolojik olgunluk düzeyi; donanım maliyetini direkt olarak etkilemekte, sayaç piyasasının teknolojik yeterliliği, ortalama sayaç ömrü, sayaç üretim kapasitesi, sayaç fiyatları, haberleşme altyapılarının çeşitliliği ve kapsama performansı, haberleşme teknolojilerine göre maliyet değişkenliği gibi etkenler ile fayda ve maliyetlerin çıkarılmasında belirleyici rol oynamaktadır. Teknolojik gelişmeler paralelinde maliyetlerde meydana gelecek olası düşüşler projelerin maliyet etkin karakterini güçlendirecektir. İlâveten, kurulum yapılacak bölgenin mevcut akıllı şebeke altyapısı da göz önünde bulundurulmalıdır. SCADA-DMS-OMS-GIS gibi akıllı şebeke uygulamalarıyla oluşturulacak sinerji kapsamında, yapılması planlanan yatırımlardan tasarruf edilmesi ve ortak haberleşme altyapısı kullanımı gibi maliyet düşürücü etkilerle alçak gerilimde etkin şebeke yönetimi vb.sağlanabilecek ilave faydalar analiz çalışmalarında hesaba katılmalıdır.

Zaman planı; kurulum stratejisinin bir diğer önemli bileşenini de zaman planı oluşturmaktadır. Agresif bir yaygınlaştırma hedefi, enflasyon öngörüsü, elektrik fiyatlarının gelişim tahmini, teknolojik gelişmelere paralel maliyetlerin izleyeceği seyir, isabetli iskonto oranı gibi parametreler ile desteklenmedikçe, faydaların düşük çıkmasına yol açabilir. Bunun yanı sıra, fiziksel şebeke koşullarının değişkenlik göstermesi de proje zaman planını aksatacak etkilere neden olabilir ve dolayısıyla öngörülmeven hesaplama hatalarına yol açılabilir. Bu sebepten, tüketim noktası türlerine göre, kabul edilebilir bir zaman planı içerisinde, gerçekleştirilebilir bir kurulum stratejisinin belirlenmesi analiz sonuçlarını daha güvenilir kılacaktır. Bu çerçevede, bölgede daha önce yapılmış veya yapılmakta/planlanmakta olan pilot projelerin kazanımlarından faydalanılması da büyük önem arz etmektedir.

Kontrol grupları; özellikle kullanıcı alışkanlıklarının ön plana çıktığı faydaların (talep tarafı katılımı, enerji tasarrufu gibi) ölçülmesi, varsayımların ve öngörülerin takibinin sağlanması için oluşturulması gerekmektedir. Kontrol gruplarının seçiminde örneklem metodu kullanılmaktadır. Temsili grupların karakteristik özelliklerinin analiz sonuçlarında baskın etki yaratmaması için tüm kullanıcı gruplarının ve tüketim noktası segmentlerinin özelliklerini içerecek şekilde seçimler yapılması gerekmektedir. Bu çerçevede,

ölçümlerinin doğru sonuçlanması açısından, hangi tüketici segmentine hangi ürün ve servislerin sunulacağına ilişkin ön çalışmalar da gerçekleştirilebilir.

6.2.3. Adım 3: fayda maliyet analizinin gerçekleştirilmesi

Buraya kadar yapılmış olan hazırlık kademelerinin sonrasında, Çizelge 6.1’de belirtilen işlemler şeklinde fayda maliyet analizindeki hesaplama metodolojisi uygulamaya konulmaktadır.

Çizelge 6.1. Fayda maliyet analizinin gerçekleştirilme adımları [106]

1. Ana hatları belirlenmiş asgari fonksiyonel gereksinim listesi gözden geçirilip detaylandırılır.	2. Faydaların belirlenmesi ve hesaplanması ile somut çıktılar amaçlanır.	3. Maliyetlerin belirlenmesi ve hesaplanması da çalışmanın somut çıktılara yönelmesi için adımdır.	4. Hesaplanan fayda ve maliyetler kıyaslanır ve analizin somut çıktısı türetilir.
<ul style="list-style-type: none"> • "Detaylı fonksiyonel gereksinim listesi" hazırlanır. • Proje kapsamında kurulumu yapılacak tüm varlıkların listesi oluşturulur. • Akıllı sayaç sistemlerinin tüm paydaşları (sistem işletmecileri, tüketiciler, toplum ve düzenleyici kurumlar, tedarikçiler) düşünülerek tüm fayda kalemleri çıkartılır. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gerekli tüm verilerin toplanması ve hesaplama metodolojilerinin kararlaştırılması gerekmektedir. • Fayda kaleminden faydalanacak paydaşların belirlenmesi ve paydaşın yaklaşık etkilenme yüzdesinin çıkarılması da yol gösterici olacaktır. 	<ul style="list-style-type: none"> • Toplanacak verilerin güvenilirliği, hesaplamaların şeffaflığı, belirsizliklerin ve varsayımların ifadesi önem taşımaktadır. Mevcut ya da tamamlanmış pilot proje uygulamalarından da yararlanılmalıdır. • Maliyet kalemini yüklenecek paydaşların belirlenmesi ve her paydaşın yaklaşık etkilenme yüzdesinin çıkarılması yol gösterici olacaktır. 	<ul style="list-style-type: none"> • Proje net bugünkü değeri ve faydaların net bugünkü değerinin, maliyetlerin net bugünkü değerine kıyası gibi göstergeler kullanılmaktadır. • Temel alınan senaryoların fayda-maliyet analizlerinin çıktıları ile mevcut iş yapış modelinin fayda-maliyet analizi çıktısı kıyaslanarak bir sonuca ulaşılmaktadır.

6.2.4. Adım 4: duyarlılık analizi

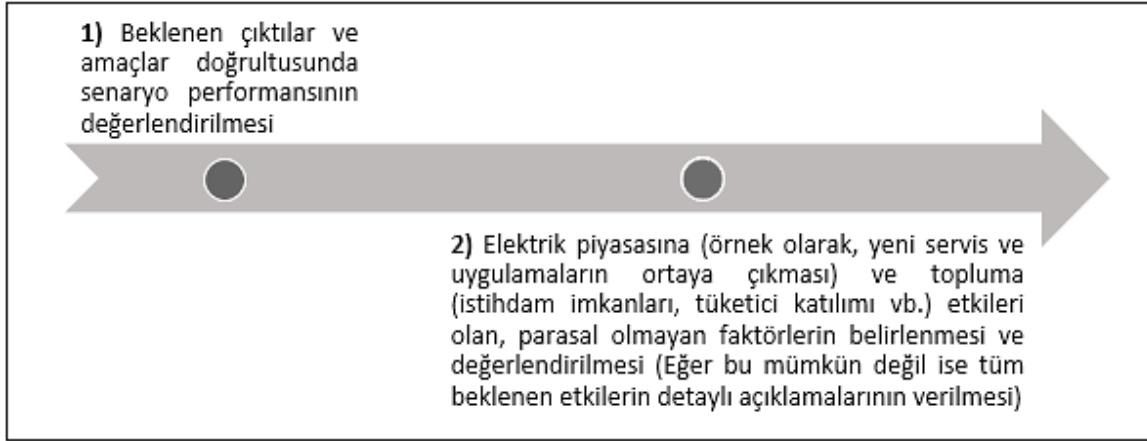
Yaygınlaştırma projelerinden elde edilecek yararların ağırlıkları, ülkelerin iktisadi, demografik, coğrafik özelliklerine ve düzenleyici kurum politikalarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Ayrıca, varsayımlar ve tahminler sonuçlar üzerinde önemli rol oynamaktadır. Bu sebeple, senaryo parametrelerinden hangilerinin analiz sonuçları üzerinde nasıl bir etki yaptığını anlamak ve olumlu sonuçları sağlayacak parametre aralıklarını belirlemek için duyarlılık analizi çalışması yapılmaktadır.

Geniş aralıklarda değişkenlik gösterebilen ve öznel nitelik taşıyan parametreler (talep tarafı katılımı, tahmini puant anı yük aktarım oranları, vb.) duyarlılık analizine girdi teşkil etmektedir. Aynı zamanda, yapılan varsayım doğrultusunda analiz sonuçlarında ciddi değişiklikler yaratabilen kritik parametreler (Ör: iskonto oranı) de duyarlılık analizinde kullanılabilir.

Duyarlılık analizi, daha önce belirlenmiş faydalara ilave yararlar oluşturmamakta, sadece belirlenmiş faydaların miktarında değişiklik yapmaktadır. Duyarlılık analiziyle beklenen değişimler sağlanamıyorsa, analizin hesaplama kısımlarının tekrar gözden geçirilmesi gerekmektedir. Böylece duyarlılık analizi, çalışmanın bütünü için bir anlamda geri besleme görevi yapmaktadır.

6.2.5. Adım 5: nitel analiz

Nitel analiz, senaryonun nicel analizle değerlendirilmeyen etkilerinin, fayda-maliyet analiz sonuçlarına katkı sağlaması amacı ile yürütülür. Nitel ve nicel analiz sonuçlarının birleştirilmesi için uygun ağırlıklandırmanın yapılması gerekmektedir. Avrupa Komisyonu tarafından tavsiye edilen nitel analiz yöntemi, Şekil 6.3'te belirtildiği gibi 2 adımın yürütülmesiyle tamamlanmaktadır.



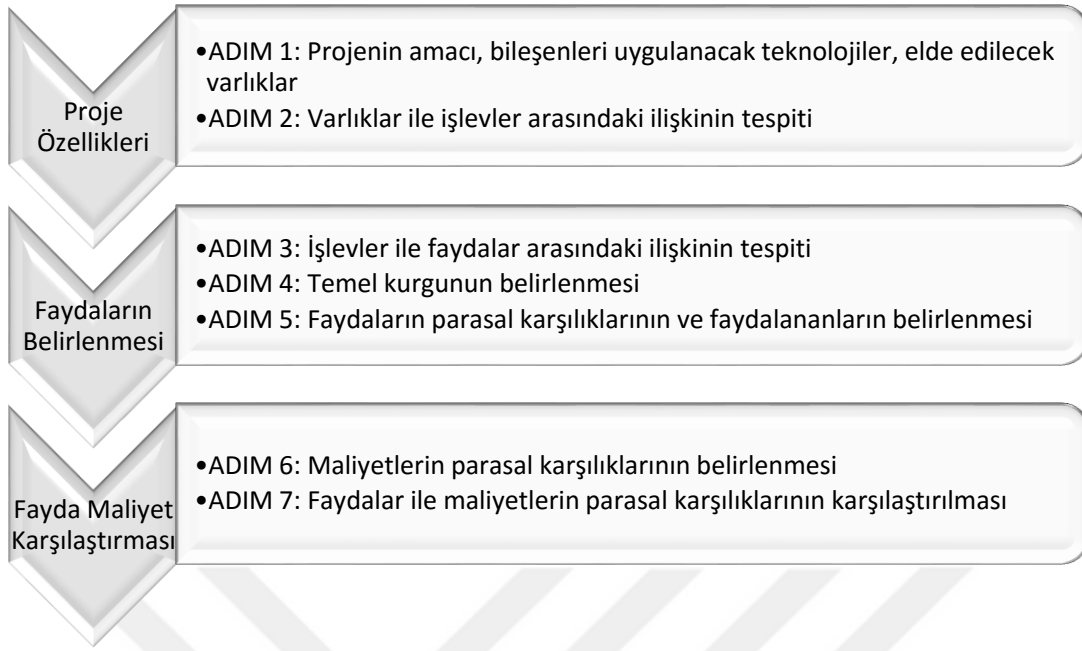
Şekil 6.3. Nitel analize ilişkin adımlar [106]

Nitel analizin sonucu, senaryonun farklı hedefler üzerindeki anahtar performans göstergesi değerleri ve sosyal etkiye özellikle değinerek, tahmin edilen dış faktörlerin nitel değerlendirmesini içermektedir. Bütün bu sonuçların derlenmesine yönelik teknik geliştirilmesi ve uzman görüşlerinin alınması öngörülmektedir. Uygun ağırlıklandırma yapılarak, sonuçlar fayda-maliyet analizine ilave edilmekte ve senaryo için bütüncül bir sonuç ortaya çıkmaktadır. Nitel analizlerin, özellikle sayısal değerlere dayanmayan, belirsiz ve subjektif durumlarda dikkatli bir şekilde gerçekleştirilmesi önem arz etmektedir.

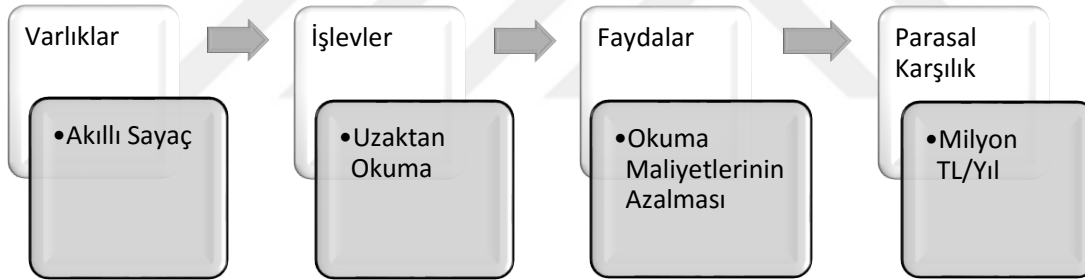
6.3. JRC Fayda Maliyet Analizi Yöntemi

Joint Research Centre (JRC) 2010 yılında EPRI tarafından geliştirilen yaklaşımı esas alarak, Şekil 6.4'te gösterildiği biçimde 7 adımdan oluşan bir fayda maliyet analizi (FMA) yöntemi belirlenmiştir. FMA sonuçları, belirlenmiş faktörlere uygulanacak hassasiyet analizi ile irdelenmelidir. EPRI modelinin temel yaklaşımı, yatırım varlıklarının hedeflenen işlevleri yerine getireceği, bu işlevlerin faydalara ve faydaların rakamlara ve de parasal karşılıklara dönüştürülmesi süreçlerine dayanmaktadır. Burada amaç, faydaların daha kapsamlı düşünülmesini ve mümkün olduğunca temel performans göstergeleri (key performance indicators) ile tarif edilmesini/ölçülebilir hale getirilmesini hedeflemektedir. Bu çerçevede, Şekil 6.5'te varlık-işlev-fayda ilişkisinin belirlenmesine örnek verilmektedir [107].

Akıllı şebeke yatırımlarında sıkça karşılaşılan ikilem, bu projelerde varlıklar ile faydalar arasındaki işlevsellik üzerinden kurulması gereken ilişkinin, her zaman çok açık ve ölçülebilir olmaktan uzak olmasıdır.



Şekil 6.4. Yedi adımdan oluşan JRC FMA yöntemi [107]



Şekil 6.5. Varlık – işlev – fayda ilişkisinin belirlenmesine örnek [107]

Sonuç olarak; Avrupa'daki gelişmeler ve teknolojik yenilikler göz önüne alındığında, akıllı sayaç sistemleri elektrik piyasasının seyrinde belirleyici rol oynama noktasına gelmiştir. AB direktifleri doğrultusunda üye ülkeler, akıllı sayaç sistemlerinden elde edilecek fayda öngörülerini oluşturmuş, gerekli fayda-maliyet analizi çalışmalarını büyük ölçüde tamamlamışlardır. AB ülkelerinde akıllı şebeke alanında yapılan çalışmalara ve projelere ilişkin bazı istatistiklerin yer aldığı Çizelge 6.2'de bu duruma işaret etmektedir.

Çizelge 6.2. AB ülkelerinde yapılan akıllı şebeke çalışmalarına dair bazı istatistikler [107]

Sayılar	Bütçe	Kurumlar	Uygulama
47 ülke 459 proje	Toplam 3,15 milyar €	1670 Kurum	578 proje mekanı
287 milli proje	Ortalama 7,5 milyon €	2900 katılımcı	33 ülke
172 uluslararası proje	221 devam eden proje, 2 milyar €	En aktif şirket, 45 proje (Danimarka)	Almanya 77 mekan, İtalya 72 mekan
Ortama proje süresi 33 ay	238 tamamlanan proje, 1,15 milyar €	Ortalama 6 katılımcı/proje	Aynı mekanda max. 30 proje
	En büyük yatırım Fransa ve İngiltere		

6.4. AB Ülkelerinde Gerçekleştirilen Detaylı Fayda-Maliyet Analizleri ve Yaygınlaştırma Projeleri

3. Enerji Paketi ve özellikle 2009/72/EC direktifinin etkisi ile AB ülkelerinde fayda-maliyet analizi çalışmaları ve yaygınlaştırma projeleri hayata geçirilmektedir. Buna göre, 16 ülke AB direktiflerinin önerdiği yaygınlaştırma planını onaylamış ve kurulum zaman planlarını oluşturmuşlardır [76].

Bu ülkelerden İtalya ve İspanya, resmi ve ayrıntılı bir fayda-maliyet analizi çalışması gerçekleştirilmeden yaygınlaştırma kararı vermiştir. İtalya'da dağıtım sistem operatörü ENEL, kendi bölgesindeki geniş çaplı yaygınlaştırma için bir fayda-maliyet analizi gerçekleştirmiştir. Ayrıca, İsveç ve İtalya'da yaygınlaştırma süreci sırasıyla 2009 ve 2011 yıllarında tamamlanmış, Finlandiya'da da 2013 sonu itibarıyla % 97'lik bir kapsama ulaşılmıştır.

7 ülkenin (Almanya, Belçika, Çek Cumhuriyeti, Letonya, Litvanya, Portekiz ve Slovakya) fayda-maliyet analizlerinde, akıllı sayaç sistemlerinin 2020'ye kadar en az % 80 oranında yaygınlaştırma (AB hedefi) senaryosu negatif ya da yetersiz sonuçlanmıştır. Bu ülkelerden Almanya, Letonya ve Slovakya'da bazı tüketici grupları için hedefin uygulanabileceği sonucu çıkmıştır.

Yaygınlaştırma stratejisinin düzenlenmesi anlamında; Malta ve İsveç gönüllülük esasına dayalı bir yaygınlaştırma stratejisi izlerken, İtalya, İzlanda ve Danimarka gönüllü olarak başladığı yaygınlaştırma sürecini sonrasında zorunlu hâle getirmiştir. Diğer üye ülkelerde ise zorunlu yaygınlaştırma stratejisi takip edilmiştir. Yaygınlaştırma çalışmalarını etkileyen kilit faktörler; sayaç kurulum yükümlülüğü ve sayaç mülkiyeti, sayaç verilerinin paylaşılması ve finansman seçenekleri olarak ifade edilebilir.

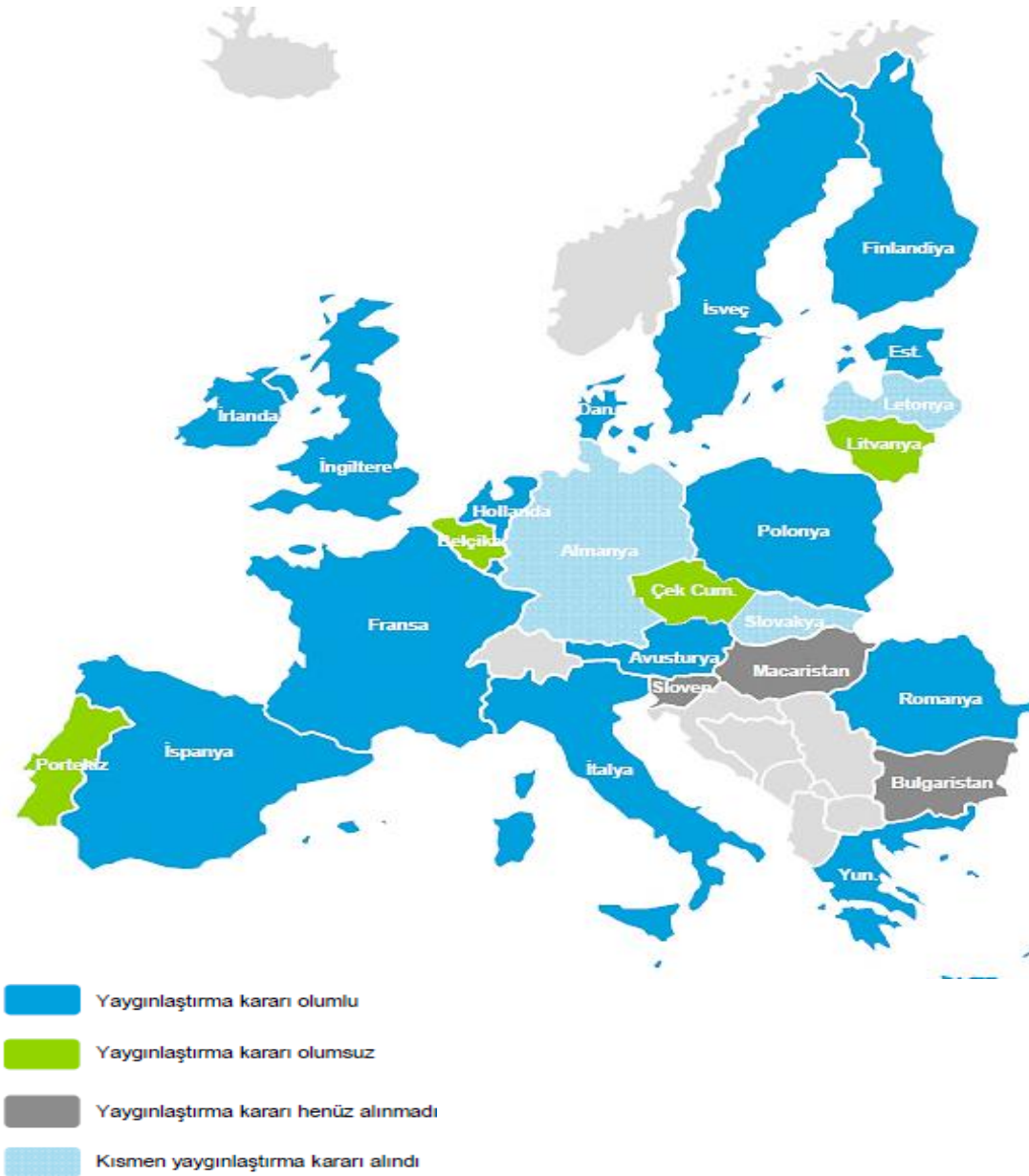
Sayaç mülkiyeti konusunda genelde izlenen model, dağıtım şirketlerinin sayaç mülkiyetine sahip olması ve kurulum işlemlerinin sorumluluğunu üstlenmesi şeklindedir. Finlandiya’da, dağıtım şirketi bu yükümlülüğü yerine getirirken alt yüklenicilerden hizmet alabilmektedir. Fransa’da, dağıtım şirketleri kurulum işlemlerinden sorumlu iken sayaç mülkiyeti belediye meclislerine aittir. İngiltere (Büyük Britanya) ve Almanya’da ise sayaç piyasası rekabete açık durumdadır ki bu noktada, hizmet sağlayıcıların maliyetleri düşürme eğiliminde olacağı öngörüsü etkili olmuştur. Bu durum, tedarikçilerin ya da sayaç operatörlerinin, müşterilerinin sayaçlarını temin etmesi ve kurulumlarını gerçekleştirme şeklinde yürütülmektedir. Dağıtım şirketleri, İngiltere’de sayaç mülk edinemez ve kurulum işlemi gerçekleştiremezken, Almanya’da sadece sayaç operatörü seçmemiş tüketiciler için (son kaynak olarak) bu sorumluluğu üstlenmektedir.

Sayaç verilerinin paylaşılmasında, genellikle dağıtım şirketlerinin verinin paylaşılması yükümlülüğünü üstlenip, ilgili paydaşlara iletmesi yöntemi tercih edilmiştir. Ancak, Danimarka, Estonya, Polonya, İngiltere (Büyük Britanya) ve Slovakya’da veri paylaşımından sorumlu ayrı bir merkezi yapı kurgulanmıştır. Çek Cumhuriyeti’nde, piyasa işletmecisi konumunda bulunan kurum bu yükümlülüğü üstlenmektedir. Merkezi veri paylaşım sistemi kurgusuyla, tedarikçi değişim süreçlerinin kolaylaştırılması ve enerji tedarikçileri arasındaki rekabetin güçlendirilmesi amaçlanmıştır.

Yaygınlaştırma projelerinin finansmanı, genellikle varlık bazlı dağıtım tarifeleri yoluyla güvence altına alınmış, bazı örneklerde de ayrı bir sayaç tarifesi uygulanmıştır. Avusturya’da ayrı bir sayaç tarife kalemi tanımlanmış, İspanya’da sayaç fiyatları taksitlendirilerek faturaya yansıtılmıştır. İtalya’da yatırımlar, 2004 yılında tanımlanan sayaç tarifesinden karşılanmıştır. Danimarka ve İsveç’te yatırımların bir kısmı dağıtım tarifesinden ikame edilmiştir. Malta’da da yatırımların finansmanı amacıyla dağıtım tarifesi kullanılmış, ancak

maliyetlerin tamamı tüketiciye yansıtılmamıştır. İngiltere’de (Büyük Britanya) kurulum ve sayaç maliyetlerinin özel yatırımlarla karşılanması öngörülmüştür.

Bu çerçevede, Şekil 6.6’da AB ülkelerinde fayda-maliyet analizleri sonucunda geniş kapsamlı (AB % 80 senaryosu) yaygınlaştırma çalışmalarına yönelim durumu gösterilmektedir. Buna göre, bazı ülkeler açısından geniş çaplı bir yaygınlaştırma olumsuz karşılanırken, birçok ülkede ise tüketicilerin % 80’inden fazlasını kapsayacak şekilde yaygınlaştırma kararı alınmıştır [76].



Şekil 6.6. AB ülkelerinde fayda-maliyet analizleri sonucunda geniş kapsamlı yaygınlaştırma (AB % 80 senaryosu) çalışmalarına yönelim durumu [108]

6.4.1. AB ülkelerinin fayda-maliyet analizlerinin detayları

Ülkelerin fayda-maliyet analizlerinin detaylarına ilişkin olarak, aşağıda belirtilen Çizelge 6.3'te çeşitli analiz bilgileri yer almaktadır. Bu kapsamda, AB ülkelerinin yapmış oldukları bu analizlerin detayları ve alınan kararlar şu şekildedir [76, 108]:

Almanya: Mevcut mevzuata göre yıllık tüketimi 6 MWh üzerinde olan tüketiciler, bağlantı gücü 7 kW üstü olan yenilenebilir enerji üretim tesisleri ve kombine çevrim santralleri, sisteme yeni bağlanan ve restore edilen tüketim tesisleri zorunlu akıllı sayaç sistemlerinin yaygınlaştırılması kapsamındadır.

Yapılan fayda-maliyet analizi çalışmasında, düşük tüketimli mesken tüketicileri için akıllı şebeke yatırımlarının çok uzun vadede enerji tasarrufu ile sağlanabileceği, bu yüzden AB yaygınlaştırma senaryosunun negatif çıktığı anlaşılmıştır. Bunun yerine, mevcut yaygınlaştırma stratejisinin genişletilmiş şekli pozitif çıkmıştır. Buna göre, yenilenebilir enerji üretim tesisleri ve kombine çevrim santralleri için kurulu güç sınır değerinin 7 kW'tan 250 W'a düşürülmesi, kapsam dışında kalan tüketim noktalarına (yıllık tüketimi 6 MWh'ten düşük) uzaktan okumaya haiz sayaçların (intelligent meters) takılması ve bu sayaçların da uzun vadede haberleşme altyapısına bağlanması stratejisi benimsenmiştir.

Avusturya: Fayda-maliyet analizi AB yaygınlaştırma senaryosu için pozitif çıkmış olup, yaygınlaştırma kararı veren ülkeler içerisinde en yüksek fayda-maliyet değerlerine ulaşılmıştır. Fayda kalemlerinin ağırlığını enerji tasarrufu sağlarken, operasyonel maliyetler ve yatırım maliyetleri en büyük maliyet kalemlerini oluşturmuştur.

Belçika: Merkezi yönetim 70 kV üzeri şebekenin iletim ve dağıtımından sorumlu iken, bu değer altındaki sorumluluk bölgesel yönetimlere aittir. Bu nedenle, Belçika'nın üç bölgesi için ayrı fayda-maliyet analizleri yapılmıştır. Bunlardan Flaman Bölgesi'nde, yaygınlaştırma oranının beş yıl içerisinde % 98 olarak hedeflendiği, elektrik ve gaz sayaçlarının birlikte kurulduğu senaryo için fayda-maliyet analizi periyodu otuz yıl alındığında sonuç pozitif çıkabilmiştir. Burada, ev-içi gösterim cihazlarının kurulumu kapsama alınmamış, enerji tasarrufu için tüketicinin dolaylı yollarla bilgilendirilmesi planlanmıştır.

Gaz ve elektrik sayaçlarının kurulumunun birlikte planlandığı Brüksel Başkent Bölgesi'nde, fayda-maliyet analizi periyodu yirmi yıl olarak alınmış, enerji tasarrufunu teşvik edici fonksiyonel gereksinimler hesaba katılmamış ve sonuç negatif çıkmıştır. Valon Bölgesi'nde ise iki farklı senaryo baz alınarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. AB yaygınlaştırma senaryosu negatif sonuç verirken; akıllı sayaç kurulmasını isteyen ve finansmanına katlanmaya gönüllü tüketicilerin, yeni bağlantı tesislerinin, sayaç değişimi yapılacak tüketim noktalarının önceliklendirildiği senaryo pozitif çıktı vermiştir. Bu bölgedeki senaryolarda, ödeme alışkanlığı zayıf olan tüketicilere ön ödemeli sayaç kurulması da yer almış, fayda kalemlerinin ağırlığını da bu yöntem ile alacak yönetimindeki iyileştirmeler oluşturmuştur.

Çek Cumhuriyeti: Isınma ve sıcak su kullanımı için elektrik tüketen müşterilere özel, hâlihazırda uzaktan kontrol edilebilen elektrikli aletlerin kullanıldığı bir tarife sistemi tanımlanmış ve dalgalı yük kontrol sistemi (Çekçe HDO) tasarlanmıştır. Buna göre, dağıtım şirketleri ile müşteriler arasında, ısınma ve sıcak su kullanımına ilişkin elektrik yükünün, daha önce tanımlanmış puant anından (yüksek tarife) tüketimin daha düşük olduğu ana (düşük tarife) kaydırılmasına olanak sağlayan sözleşme imzalanmaktadır. Böylece, dağıtım şebekesi ve şebeke operasyonları daha verimli hale getirilmektedir (düşük teknik kayıplar gibi).

Bu nedenle, akıllı sayaç sisteminin yaygınlaştırılmasından sağlanacak faydaların büyük kısmının mevcut sistem ile karşılandığı düşünülmüş ve analiz sonucu negatif çıkmış, 2018'den önce yaygınlaştırma çalışmasına başlanmaması ve bu sürecin pilot projelerle değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Analizdeki fayda kalemlerinin ağırlığını ise mevcut sistem ile tam olarak karşılanamayan ticari kayıplardaki iyileşme ve puant anı yük aktarımı (anlık) oluşturmuştur.

Danimarka: Toplamda yaklaşık 3,3 milyon elektrik sayacı bulunmakta olup, dağıtım şirketlerinin inisiyatifi ile mevcutta iki milyona yakın sayaç akıllı sayaçlarla değiştirilmiştir. Bu nedenle, fayda-maliyet analizinde 1,4 milyon sayaç baz alınmış ve sonuç pozitif çıkmıştır. Elektrik tedarikinde artan rekabet, saatlik tarife uygulamalarının artması ve rekabetin fiyatlara yansması önemli motivasyon noktaları olmuştur.

Finlandiya: 2000'lerin başında sektörde alınan inisiyatiflerle kurulum çalışması başlamış olup, 2008 yılında da akıllı sayaç sistemlerinin yaygınlaştırılmasına ilişkin fayda-maliyet

analizinden ziyade, talep esnekliği üzerine bir analiz çalışması yapılmıştır. Finlandiya Hükümeti de, dağıtım şirketlerine 2014'te % 80 yaygınlaştırmayı hedefleyen bir çalışma takvimi sunmuş, 2013 sonu değerlerine göre yaklaşık % 97'lik bir yaygınlaştırmaya ulaşılmıştır. Finlandiya'daki deneyimler, elektrik tedarik piyasasında tedarikçi değişimlerinin kolaylaşması, saatlik tarifelerin artması, dengesizlik maliyetlerinin azalması gibi başlıklar açısından, akıllı sayaç kurulumundan fazlasıyla yarar sağlandığını ortaya koymuştur. Ayrıca, sayaç teknolojisindeki değişimler, sayaç kurulumunda karşılaşılan durumlar ve müşterilerin kurulum çalışmalarına ikna edilmesi gibi konularda da inceleme örnekleri sunulmaktadır.

Fransa: Senaryolarda Linky pilot projesinin çıktıları kullanılmış ve analiz az farkla pozitif çıkmıştır. Hem analiz sonuçları hem de tüketicilerin elektrik şebekesinin dengede kalmasına sunacağı katkı göz önüne alınarak, merkezi yaygınlaştırmaya karar verilmiştir. Buna göre, ilk fazda 2013-2015 arası 7 milyon sayaç, ikinci fazda 28 milyon (yılda 7 milyon) sayaç olmak üzere toplam 35 milyon akıllı sayacın kurulumunun yapılması planlanmıştır.

Hollanda: Gaz ve elektrik sayaçlarının kurulumu birlikte ele alınmakta olup, kurulum stratejisi faturalarda gerçekleşecek olası değişiklik nedeniyle tüketici tepkisine göre şekillendirilmiştir. Buna göre, tüketicilere akıllı sayaç kurulumunu reddetme hakkı tanınırken, kurulumu kabul edenler için de üç seçenek sunulmaktadır: Sayacın dış haberleşmesini kapatma, standart (aylık) okuma, detaylı (saatlik) okuma. Sayacın dış haberleşmesinin kapatılması durumunda, tüketici yine kendi tüketimini sayacın tüketici portunu kullanarak izleyebilecek, üçüncü şahıslarla paylaşmayacaktır. Böylece, ev-içi gösterim cihazı olan tüketiciler yine enerji tasarrufu yapabilecektir. Tüketicilerin % 2'sinin akıllı sayaç kurulumunu reddetmesi ve kalan kısmının da standart okumayı tercih etmesi varsayımları ile oluşturulan senaryoya göre, sonuç pozitif çıkmıştır. Analiz sonucu, sayaç kurulumunun reddedildiği ya da dış haberleşme fonksiyonunun kapatılması durumunda maliyetler lehine değişirken, detaylı okumanın tercih edilme oranı arttığında da pozitif yönde ağır basmaktadır. Sağlanacak ek faydalar ve sunulacak servisler ön plana çıkarılarak, tüketicilerin detaylı okuma seçeneğinde yoğunlaşması sağlanmaya çalışılmaktadır.

İngiltere: Büyük Britanya ve Kuzey İrlanda için ayrı fayda-maliyet analizi çalışmaları yürütülmüştür. Büyük Britanya'da, elektrik ve gaz sayaçlarının birlikte kurulması

planlanmış ve analiz sonucu pozitif çıkmıştır. Buna göre, 2012'den 2020'ye kadar 60 milyon civarı elektrik (yaklaşık 33 milyonu) ve gaz sayacının kurulumunun bitirilmesi planlanmaktadır. Sayaç mülkiyetinin tedarik şirketlerine ait olması nedeniyle, kurulumlar ve maliyetlerin finansmanı tedarikçi tarafından karşılanacaktır. Tüketiciyi bağlayıcı anlaşmalar öngörülmediği için tüketicinin, kurulumlar sonrasında tedarikçi değiştirme ve dolayısıyla tedarikçilerin akıllı sayaç kaybetme riski bulunmaktadır. Ancak, seçilen yeni tedarikçinin akıllı sayacı da devralması gerekmektedir. Bunun yanı sıra, enerji tasarrufu hususu, projenin hem mesken hem mesken harici tüketim noktaları için önemli bir motivasyon noktası olmaktadır.

Kuzey İrlanda'da ise elektrik sayaçlarının kurulumuna ilişkin analiz pozitif sonuç verirken, gaz sayaçlarının sonucu negatif çıkmıştır. Ancak, gaz sayaçlarının artması durumunda kurulum seçeneği tekrar gündeme gelecektir. Bu nedenle, analiz senaryoları yalnızca elektrik sayaçlarının kurulumu ya da entegre kurulum ile haberleşme teknolojileri dikkate alınarak çeşitlendirilmiş, tüm sonuçlar pozitif çıkmıştır. Sayaç operasyonları regüle olduğu için zorunlu kurulum stratejisi izlenecek olup, sayaç mülkiyeti, kurulum ve sayaç verisine erişim sorumluluklarının hangi paydaşa olacağı henüz belirlenmemiş olmasına rağmen, en güçlü aday olarak dağıtım şirketleri görülmektedir.

İrlanda: Sayaç okuma ve faturalama sıklığı, haberleşme altyapısı ve ev içi gösterim cihazı parametreleri kullanılarak, 12 farklı senaryo üzerinden analiz gerçekleştirilmiş, hemen hepsinde sonuçlar pozitif olmuştur. Ev içi gösterim cihazının dahil edilip edilmemesi maliyetler üzerinde düşük etki oluştururken, haberleşme teknolojisi anlamında PLC-RF çözümü daha maliyet-etkin olmuştur.

İsveç: 2009 yılında devreye giren aylık faturalama sistemi öncesinde otomatik sayaç okuma sistemi yaygınlaştırılması gerçekleştirilmiş, yapılan fayda-maliyet analizi de pozitif sonuç vermiştir. Hâlihazırda, 63 A ve üzeri sigorta koruması olan tüketiciler (yüksek tüketimliler) saatlik, 63 A altı sigorta koruması olan tüketiciler de aylık okunmaktadır. Parlamento'ya iletilen yeni yasa teklifi ile akıllı sayaç sistemlerinden geniş anlamda faydalanılması için tüm tüketicilerin saatlik okunmasına dair düzenleme yapılması planlanmaktadır.

İtalya: 2001 yılında, en büyük dağıtım şirketi olan ENEL tarafından, %85'lik yaygınlaştırma oranını baz alan bir fayda-maliyet analizi çalışması yapılmıştır. Analizde sadece dağıtım şirketi faydaları esas alınmış, sonuç pozitif çıkmış, ENEL kendi tüketicilerine akıllı sayaç

kurulumuna başlamış ve 2006 yılında da kurulum çalışmaları tamamlanmıştır. Aynı yıl, düzenleyici kurum tarafından, 2008’de başlayıp 2011’de tamamlanan ve şebekenin %95’ini kapsayan şekilde zorunlu akıllı sayaç kurulumuna yönelik bir yol haritası belirlenmiş ve diğer dağıtım şirketlerine sunulmuştur. ENEL’in inisiyatifiyle yürütülen kurulum çalışmasının ardından geçen zaman içerisinde, tedarik piyasasının liberalleşmesi gerçekleşmiş ve akıllı sayaçlar bu süreci hızlandırıcı ve rekabeti teşvik edici rol oynamıştır. Tedarikçi değişiminin kolaylaşması, esnek tarifelendirme seçeneği, regüle tarifede kalmak isteyen tüketicilere yönelik tüketimin dengelenmesi ve puant tüketiminin sınırlandırılması gibi konularla ek faydalar sağlanmıştır. Ayrıca, akıllı sayaç sistemleri sayesinde, borçlu tüketicilere elektriğin tamamen kesilmesinden iki hafta öncesinde asgari tüketim servisi (0,5 kW gücünde) uygulaması ve ödemenin gerçekleşmesini takiben anlık açma servisi tanımlanmıştır.

Letonya: Fayda-maliyet analizi sonucu negatif çıkmasına rağmen, 2017 yılı itibari ile %23 oranında yaygınlaştırmanın hayata geçirilmesi planlanmıştır. Tüketicilerin büyük çoğunluğunun düşük tüketime sahip olması nedeniyle, puant anındaki yük aktarımı ve tarife çeşitlendirmesi, yaygınlaştırma çalışmaları için motivasyon noktası olarak görülmemektedir.

Litvanya: Tüketimin AB ülkeleri arasında en düşük seviyede olması ve şebekede önemli düzeyde boş kapasite olması gibi etkenler nedeniyle, fayda-maliyet analizi ve dolayısıyla yaygınlaştırma senaryosu negatif sonuçlanmıştır.

Malta: Akıllı sayaç sistemi yatırımı, elektrik dağıtım şirketi Enemalta inisiyatifinde 2009 yılında pilot proje olarak başlamıştır. 2010 yılında, aylık faturalama sisteminin maliyetlerinin azaltılması ve ticari kayıpların düşürülmesi amacıyla, pilot proje merkezi kurulum stratejisine dönüşmüş, 2014 yılı sonunda da kurulum çalışmalarının bitirilmesi şeklinde çalışma yapılmıştır.

Portekiz: Detaylı bir fayda-maliyet analizi gerçekleştirilmemiştir, ancak yürütülmekte olan pek çok pilot proje bulunmaktadır. Yerel kaynaklar tarafından, pilot proje deneyimlerine göre bazı fayda ve maliyet öngörülerinde bulunmaktadır. Buna göre, fayda öngörülerinin

büyük çoğunluğunu enerji tasarrufu oluştururken, tedarikçilerin kârlılığının azalması da maliyet tarafında ağırlık oluşturmaktadır.

Romanya: Fayda-maliyet analizinde alçak gerilimden bağlı tüketicilerin elektrik ve gaz sayaçları birlikte değerlendirilmiş, orta gerilimden bağlı tüketicilerin ise akıllı sayaç kurulumunun bitirildiği varsayılmıştır. Kurulumda hız-zaman eğrisi (doğrusal ya da ivmelendirilmiş) ve haberleşme topolojisi kullanılarak farklı senaryolar belirlenmiştir. Elektrik ve gaz sayaçları için ayrı ya da bütünleşik haberleşme altyapılarının kullanılması ve veri toplayıcıların dahil edilip edilmemesi, haberleşme topolojisi seçeneklerinde belirleyici olmuştur. Fayda-maliyet analizi elektrik sayaçları için pozitif sonuç vermiştir, ancak gaz sayaçları için maliyetlerin tümünün karşılanmasının riskli olduğu sonucu çıkmıştır. Bunun yanında, elektrik sayaçları için veri toplayıcıların kullanıldığı topoloji daha faydalı ve kârlı olmuştur. Analiz sonuçlarını etkileyen en önemli iki unsur, % 60 oranındaki ticari kayıplar ve iskonto oranı olarak alınan, ülkenin ağırlıklı ortalama sermaye maliyeti (WACC) olmuştur.

Slovakya: Fayda-maliyet analizi AB senaryosu için negatif çıkmıştır, ancak 2020 yılına kadar tüm tüketicilerin %53'üne denk gelecek, yıllık tüketimi 4 MWh üstünde olan tüketicilere akıllı sayaç sistemi kurulmasına karar verilmiştir. Gerçekleşmeler dikkate alınarak, yaygınlaştırma sürecinin ikinci yılının sonunda kapsam revizyonunun tekrar gündeme geleceği vurgulanmıştır.

Yunanistan: Haberleşme altyapı seçenekleri ile elektrik ve gaz sayaçlarının bütünleşik haberleşme altyapısı kullanıp kullanmaması kriterlerine göre, altı farklı senaryo kullanılarak yapılan fayda-maliyet analizi pozitif sonuç vermiştir. Haberleşme altyapılarında PLC yönetiminin ön plana çıktığı görülmektedir. Senaryoların tamamında ev içi gösterim cihazlarının kullanılması öngörülmüş olup, analizin en önemli motivasyon noktasını da tüketicilerin sisteme aktif katılımı ve enerji tasarrufu beklentileri oluşturmuştur.

Çizelge 6.3. AB ülkelerinde yapılan fayda-maliyet analizlerinin detayları [76, 108]

Ölke	Toplam sayaç sayısı / Yayılma oranı	Fayda-maliyet / Sayaç (€)	Temel faydalar	Temel maliyetler	Kurulum süresi / FMA vadesi	İletişim topolojisi / Asgari gereksinim listesi
Almanya	11,9 M (2022)	F: 546	Enerji Tasarrufu: %33	CAPEX: %30	Kurulum: 2014-Belirsiz FMA: 20 yıl (2012-2022)	GPRS/UMTS/LTE: %80
	15,8 M (2032)	M: 493	Puant Arı Yük Aktarımı: %15	Veri İletişim Maliyeti: %20		PLC/BPL: % 20
	%23 (2022)		Gelecek Yatırımlar Tasarrufu: %13	BT: %8		DSL: %5
	%31 (2032)					Fiber Optik: %5 Fonksiyonlar: G hariç hepsi
Avusturya	5,7 M	F: 654	Enerji Tasarrufu: %55	OPEX: %30	Kurulum: 2012-2019 FMA: 15 yıl	Sayaç-Veri Toplayıcı Arası: %70 PLC, %30 GPRS
	%95 (2020)	M: 590	Tedarikçi Değişim Sürecinde Verimlilik: %19 Sayaç Okuma Maliyetleri Azalması: %13	CAPEX: %26 Dolaylı Maliyetler (Müşterilerin tüketim eğrisinin değişmesi sonucu oluşan dengesizlikler): %24		Veri Toplayıcı-Veri Merkezi Arası: %100 Fiber Optik Fonksiyonlar: Hepsi
Belçika – Flaman Bölgesi	3,45 M	F: 600	Enerji Tasarrufu: %19	Sayaç ve Kurulum Maliyetleri: %50	Kurulum: 2015-2019 FMA: 30 yıl (2015-2045)	Sayaç-Veri Toplayıcı Arası: %80 PLC, %20 GPRS+MUC Kablo
	%98 (2020)	M: 560	Sayaç Okuma Maliyetleri Azalması: %17	Veri İletişim Altyapısı Yatırımı: %23		Veri Toplayıcı-Veri Merkezi Arası: Kablo ve GPRS
			Kaçak Tespit: %13	Veri Merkezi Yatırımı: %24		Fonksiyonlar: Hepsi
Belçika – Brüksel Başkent Bölgesi	620 k	F: 615	Enerji Tasarrufu: %46	Sayaç ve Kurulum Maliyetleri: %43	Kurulum: 2015-2018 FMA: 20 yıl (2015-2035)	PLC (Öncelikli)
		M: 740	Ticari Kayıpların Azaltılması: %22 Saha Operasyon Yönetimi: %16	Veri İletişim Altyapısı Yatırımı: %24 Bakım: %17		UMTS WiMAX Fonksiyonlar: B hariç Hepsi
Belçika – Valon Bölgesi (Negatif)	1,9 M	F: 1076	Ön Ödemeli Sayaç ile Alacak Yönetimi: %49	Kurulum: %37	Kurulum: 2015-2019 FMA: 30 yıl (2012-2041)	Sayaç-Veri Toplayıcı Arası: %80 PLC, %20 GPRS+MUC
	%80 (2020)	M: 1175	Uzaktan Kesme-Açma: %15	Bakım: %23		Veri Toplayıcı-Veri Merkezi Arası: GPRS
			Talep Tarafı Katılımı: %13	Donanım: %16 Kaçak Tespit: %11		Fonksiyonlar: Hepsi
Belçika – Valon Bölgesi (Pozitif)	1,9 M	F: 805	Ön Ödemeli Sayaç ile Alacak Yönetimi: %64	Kurulum: %35	Kurulum: 2015-2019 FMA: 30 yıl (2012-2041)	Sayaç-Veri Toplayıcı Arası: %80 PLC, %20 GPRS+MUC
	%15 (2020)	M: 500	Uzaktan Kesme-Açma: %15	Bakım: %18		Veri Toplayıcı-Veri Merkezi Arası: GPRS
			Talep Tarafı Katılımı: %13	Donanım: %15 Kaçak Tespit: %6	Fonksiyonlar: Hepsi	

Çizelge 6.3. AB ülkelerinde yapılan fayda-maliyet analizlerinin detayları (devamı) [76, 108]

Ölke	Toplam sayaç sayısı / Yayılma oranı	Fayda-maliyet / Sayaç (€)	Temel faydalar	Temel maliyetler	Kurulum süresi / FMA vadesi	İletişim topolojisi / Asgari gereksinim listesi
Çek Cumhuriyeti	5,7 M %100 (2020)	F: 499 M: 766	Ticari Kayıpların Azaltılması: %53 Puant Anı Yük Aktarımı: %42 Ertelenen Üretim Kapasite Yatırımları: %5	Sayaç Maliyetleri: %24 BT ve Veri İletişim Altyapısı Yatırımı: %10 Veri İletişim Maliyeti: %9	Kurulum: 2020-2026 FMA: 26 yıl	Sayaç-Veri Toplayıcı Arası: PLC (Öncelikli) + GPRS Veri Toplayıcı-Veri Merkezi Arası: GPRS + Fiber Optik Fonksiyonlar: Hepsi
Danimarka	1,38 M %100 (2020)	F: 233 M: 225	Sayaç Yatırımları Tasarrufu: %29 Artan Rekabet: %21 Enerji Tasarrufu: %16	CAPEX: %67 OPEX: %4	Kurulum: 2014-2020 FMA: 10 yıl	PLC GPRS/GSM WiFi RF Fonksiyonlar: Hepsi (B fonksiyonu kısmen saatlik)
Estonya	709 k %100 (2020)	F: 269 M: 155	Şebeke Kayıplarında Azalma Gelecek Yatırımlar Tasarrufu Sayaç Operasyonları Maliyetlerinde Azalma	OPEX Merkezi İşletim Sistemi Bakımı Veri İletişim Maliyeti	Kurulum: 2013-2017 FMA: -	PLC: %90 GPRS: %10 Fonksiyonlar: Hepsi (B fonksiyonu kısmen saatlik)
Finlandiya	3,3 M %97 (2020)	F: - M: 210	Talep Tarafı Katılımı Operasyon Maliyetlerinde Azalma (Uzaktan Okuma Kaynaklı) Elektrik Ticareti ve Yeni Servis Alanları	Sayaç Maliyeti: %40-55 Sayaç Ek Donanımları (Kesme-Açma Rölesi, Anahtar gibi): %5-25 Kurulum ve Bakım: %10-25 Veri İletişim Maliyeti: %5-40	Kurulum: 2009-2013 FMA: 15 yıl	GPRS: %60 PLC: %30 RF: %10 Fonksiyonlar: A fonksiyonu ek ücrete tâbi ve B fonksiyonu saatlik
Fransa	35 M %95 (2020)	F: - M: 135	Sayaç Yatırımları Tasarrufu: %30 Şebeke Kayıplarında Azalma: %25 Sayaç Okuma Maliyetleri Azalması: %15	Sayaç ve Kurulum Maliyetleri: %80 Veri Toplayıcı Maliyetleri (Kurulum dahil): %10 BT Sistemi: %10	Kurulum: 2014-2020 FMA: -	PLC Fonksiyonlar: Hepsi

Çizelge 6.3. AB ülkelerinde yapılan fayda-maliyet analizlerinin detayları (devamı) [76, 108]

Ülke	Toplam sayaç sayısı / Yayılma oranı	Fayda-maliyet / Sayaç (€)	Temel faydalar	Temel maliyetler	Kurulum süresi / FMA vadesi	İletişim topolojisi / Aşgari gereksinim listesi
Hollanda	7,6 M %100 (2020)	F: 270 M: 220	Enerji Tasarrufu: %15 Çağrı Merkezi Hizmetlerinde Tasarruf: %15 Tedarikçi Değişim Sürecinde Verimlilik: %8	Sayaç ve Kurulum Maliyetleri: %25 Veri Merkezi Sistem Maliyeti: %16 İletişim Altyapısı (PLC): %14	Kurulum: 2012-2020 FMA: 50 yıl	PLC + GPRS Fonksiyonlar: Hepsi
	32,9 M %97 (2020) %100 (2030)	F: 377 M: 161	<u>Mesken:</u> Tedarikçi Maliyetlerinde Tasarruf: %54 Enerji Tasarrufu: %28 Karbon Emisyonu: %7 <u>Mesken Dışı:</u> Enerji Tasarrufu: %60 Karbon Emisyonu: %19 Tedarikçi Maliyetlerinde Tasarruf: %15	<u>Mesken:</u> Sayaç CAPEX + OPEX: %43 İletişim CAPEX + OPEX: %23 Kurulum Maliyetleri: %15 <u>Mesken Dışı:</u> Sayaç CAPEX + OPEX: %49 İletişim CAPEX + OPEX: %31 Kurulum Maliyetleri: %16	Kurulum: 2012-2020 FMA: 18 yıl (2012-2030)	Merkezi Veri İletişim sorumlusu (DCC-Capita PLC) tarafından farklı İletişim topolojileri hazırlanmakta Fonksiyonlar: Hepsi
İngiltere (GB)	860 k >%80 (2020)	F: 502 M: 489	Enerji Tasarrufu: %39 Sayaç Okuma Maliyetleri Azalması: %19 Enerji Maliyetlerinde Azalma (Tüketim kaydırmaları kaynaklı): %17	Donanım ve Kurulum Maliyetleri: %52 Ev içi Gösterge Cihazları: %10 BT Sistem Yatırımları: %8	Kurulum: 2014-2020 FMA: 25 yıl	PLC (Henüz Kesinleşmedi) Fonksiyonlar: Hepsi
İrlanda	2,2 M %100 (2020)	F: 551 M: 473	Enerji Tasarrufu Ertelenen Üretim Kapasite Yatırımları Tedarikçi Maliyetlerinde Tasarruf	CAPEX + OPEX Tedarikçi Maliyetleri (Karmaşık tarife ve fiyatlandırma sistemleri)	Kurulum: 2014-2019 FMA: 21 yıl (2011-2032)	PLC / RF Fonksiyonlar: Hepsi
İsveç	5,2 M %100 (2020)	F: 323 M: 288	-	-	Kurulum: 2003-2009 FMA: -	Sayaç-Veri Toplayıcı Arası: %67 PLC+GPRS+RF, %37 Sadece PLC, %17 Sadece RF, %1 Sadece GPRS Veri Toplayıcı-Veri Merkezi Arası: %33 GPRS, %33 Fiber Optik, %9 RF, %8 PLC, %17 Diğer Fonksiyonlar: Hepsi (8 fonksiyonu meskenlerde saatlik)

Çizelge 6.3. AB ülkelerinde yapılan fayda-maliyet analizlerinin detayları (devamı) [76, 108]

Ülke	Toplam sayaç sayısı / Yayılma oranı	Fayda-maliyet / Sayaç (€)	Temel faydalar	Temel maliyetler	Kurulum süresi / FMA vadesi	İletişim topolojisi / Asgari gereksinim listesi
İtalya	36,7 M %99 (2020)	F: 176 M: 94	Gelir Artışı (Ticari Kayıpların Azalması) Sayaç Operasyonları Maliyetlerinde Azalma Satın Alma & Lojistik Kazanımları Müşteri Hizmetleri (Faturalama, Alacak Yönetimi) Verimliliği	Donanım ve Kurulum Maliyetleri: %95 BT Sistem Yatırımları: %5	Kurulum: 2001-2011 FMA: -	Sayaç-Veri Toplayıcı Arası: PLC Veri Toplayıcı-Veri Merkezi Arası: GSM/GPRS Fonksiyonlar: Hepsi (B kısmen)
Letonya	1,09 M %23 (2020)	F: 18 M: 302	Enerji Tasarrufu: %57 Dağıtım Operasyonları Maliyetlerinde Azalma: %24 Karbon Emisyonu: %11	Sayaç Maliyetleri: %32 İletişim Altyapısı Maliyetleri: %16 Kurulum Maliyetleri: %8	Kurulum: 2015-2017 FMA: 10 yıl (2015-2025)	Sayaç-Veri Toplayıcı Arası: PLC Veri Toplayıcı-Veri Merkezi Arası: GSM Fonksiyonlar: Hepsi
Litvanya	1,6 M %80 (2020)	F: 128 M: 254	Enerji Tasarrufu: %26 Ticari Kayıpların Azalması: %22 Tüketim Kayması: %14	Sayaç Maliyetleri: %38 Sayaç Kurulum Maliyetleri: %18 Veri Toplayıcı Maliyetleri: %8	Kurulum: 2014-2020 FMA: 18 yıl (2011-2029)	Sayaç-Veri Toplayıcı Arası: PLC, GPRS Veri Toplayıcı-Veri Merkezi Arası: GPRS Fonksiyonlar: Hepsi
Lüksemburg	260 k %95 (2020)	F: 162 M: 142	Dağıtım Operasyonları Maliyetlerinde Azalma Enerji Tasarrufu	Sayaç Maliyetleri Sayaç Kurulum Maliyetleri BT Altyapısı Maliyetleri	Kurulum: 2015-2018 FMA: 20 yıl	PLC, GPRS Fonksiyonlar: C, D, E, H
Polonya	16,5 M %80 (2020)	F: 177 M: 167	Enerji Tasarrufu: %27 Teknik ve Ticari Kayıpların Azalması: %25 Sayaç Okuma Maliyetleri Azalması: %24 Puant Anı Kapasite Yatırımlarının Ertelenmesi: %15	Sayaç Okuma Maliyetleri: %24 Yeni Altyapı Yatırımları: %7 Müşteri Hizmetleri Maliyetleri: %3	Kurulum: 2012-2022 FMA: -	PLC Fonksiyonlar: Hepsi
Portekiz	6,5 M %80 (2020)	F: 202 M: 99	Enerji Tasarrufu: %55,3 Puant Anı Tüketiminin Azalması: %13,3 Ticari Kayıpların Azalması: %11,1	Tedarikçi Kârlılığının Azalması: %47,4 Sayaç ve Kurulum Maliyetleri: %31 İletişim Altyapısı: %14,6	Kurulum: 2014-2022 FMA: 40 yıl	PLC: %85 GPRS: %15 Fonksiyonlar: Hepsi

Çizelge 6.3. AB ülkelerinde yapılan fayda-maliyet analizlerinin detayları (devamı) [76, 108]

Ölke	Toplam sayaç sayısı / Yayılma oranı	Fayda-maliyet / Sayaç (€)	Temel faydalar	Temel maliyetler	Kurulum süresi / FMA vadesi	İletişim topolojisi / Asgari gereksinim listesi
Romanya	9 M %80 (2020)	F: 77 M: 99	Sayaç Okuma Maliyetleri Azalması: %36 Ticari Kayıpların Azalması: %33,6 Dağıtım Yatırımların Tasarrufu: %12,9 Dağıtım Operasyonları Maliyetleri Azalması: %7,7	Yatırım ve Kurulum Maliyetleri: %57,53 Sistem Operasyonları ve Bakım Maliyetleri: %37,78 Finansman Maliyetleri: %4,69	Kurulum: 2013-2022 FMA: 20 yıl (2012-2032)	Sayaç-Veri Toplayıcı Arası: PLC Veri Toplayıcı-Veri Merkezi Arası: GSM/GPRS, WIFI/WiMAX, Fiber Optik Fonksiyonlar: Hepsi
Slovakya	2,6 M %23 (2020)	F: 118 M: 114	Tüketim Kayması Sonucu Enerji Maliyetinin Azalması: %26 Sistem Dengeleme Maliyetleri Azalması: %23 Enerji Tasarrufu: %16	Sayaç Maliyetleri: %69 Sayaç Kurulum Maliyetleri: %17 BT Altyapısı Maliyetleri: %7	Kurulum: 2013-2020 FMA: 20 yıl	Sayaç-Veri Merkezi (Doğrudan İletişim): GSM/GPRS/ETHN Ara Katmanlı İletişim: PLC, RF ve/veya WAN Fonksiyonlar: E ve J hariç Hepsi
Yunanistan	7 M %80 (2020)	F: 436 M: 309	Enerji Tasarrufu: %44 Sayaç Okuma Maliyetleri Azalması: %14 Karbon Emisyonu: %11	Sayaç ve Kurulum Maliyetleri: %55 Ev İçi Gösterge Cihazı: %20 İletişim Altyapısı (PLC): %7	Kurulum: 2014-2020 FMA: 25 yıl	Sayaç-Veri Toplayıcı Arası: PLC Veri Toplayıcı-Veri Merkezi Arası: PLC Fonksiyonlar: Hepsi

6.5. Türkiye İçin Fayda Maliyet Analizi Yaklaşımı

Mevcut durumda, Türkiye elektrik piyasasında akıllı sayaç uygulamalarına ilişkin merkezi bir yaygınlaştırma stratejisi oluşturulmamıştır. Dağıtım şirketlerinin OSOS kurulumlarını, kendi yatırım stratejileri doğrultusunda planlamaları beklenmektedir. Avrupa'da izlenen yola benzer şekilde, Türkiye'de de akıllı sayaç yaygınlaştırma çalışmalarının fayda-maliyet analizleri doğrultusunda planlanmasının ve hayata geçirilmesinin önem kazandığı düşünülmektedir. Bu doğrultuda, öncelikle, Türkiye elektrik piyasasında akıllı sayaç yaygınlaştırmalarına yönelik, fayda-maliyet analizine dayanan bir ekonomik etki değerlendirme modelinin oluşturulması gereksinimi öne çıkmaktadır [76].

Geliştirilecek ekonomik etki modelinin, elektrik tarifelerini de etkileyecek bir yatırım programını içeren, akıllı sayaç yaygınlaştırma çalışmaları hakkında öngörü sağlaması bakımından fayda-maliyet analizine dayanması gerekmektedir. Bu nedenle, fayda-maliyet analizi çalışmalarında, akıllı sayaç sistemlerinin diğer sistemlerle entegrasyonunun

yaratacağı sinerji de göz önünde bulundurularak, uzun vadeli faydalar tüm paydaşlar açısından ele alınmalı, paraya dönüştürülebilir tüm somut fayda ve maliyetler hesaplamaya katılmalıdır. Bunun yanı sıra, yaygınlaştırma çalışmalarının toplam ekonomiye etkisinin de göz önünde bulundurulması, kolaylıkla paraya dönüştürülemeyecek sosyo-ekonomik etkilerin de analizlerde dikkate alınması gerekmektedir. Bu açıdan, nicel analiz sonuçlarını tamamlayacak şekilde ekonomik ve sosyal etki analizi çalışmalarının uygulanması önem taşımaktadır.

Bu doğrultuda, Türkiye Elektrik Piyasası'na özgü geliştirilecek olan fayda-maliyet analizinin nicel analiz ve nitel analiz olmak üzere, iki boyut olarak ele alınması gerekmektedir [76]. Nicel analiz, Avrupa Komisyonu'nun önerdiği yöntem (JRC67961-EUR 25103 EN) benzer şekilde, tüm fayda ve maliyet kalemlerinin titizlikle belirlendiği, senaryo ve kritik değerlerin tanımlanıp yerel koşullara uyarlandığı, fayda ve maliyetler parasal değere dönüştürülerek gerekli hesaplamaların yapıldığı ve duyarlılık analizleri ile sonuçların pekiştirildiği adımları içeren, özgün bir yapıda tasarlanmalıdır.

Fayda maliyet analizine ilişkin başarılı örnekler ve sıklıkla başvuru alan kılavuzlar incelendiğinde, kapsamlı bir değerlendirmeye ancak nicel analiz sonucu elde edilen bulguların, nitel analiz yöntemleri ile desteklenmesi sonrasında ulaşılabileceği görülmektedir. Akıllı sayaç uygulamalarının, nicel yöntemler ile ulaşılamayan sosyal etkilerinin değerlendirilebilmesi ve üst düzey politika belgeleri ile ulaşılmak istenen hedeflerin ne kadarının gerçekleşebileceği, bu hedeflerin gerçekleşmesine engel teşkil edebilecek hususlar gibi konular, nitel analizler ile yansıtılmalıdır. Bu bağlamda, öncelikle üst düzey politika belgeleri (stratejiler, eylem planları, orta vadeli hükümet programları vb.) incelenerek, ulaşılmak istenen hedefler özetlenmelidir. Politika belgelerinde ulaşılmak istenen hedefler ve olası etkilere yönelik nitel analiz değerlendirme eksenleri belirlenmeli, sonrasında da akıllı sayaç uygulamalarının uluslararası uygulamaları vaka analizi yöntemi ile belirlenen eksenlerde incelenmelidir. Uluslararası uygulama örnekleri bulgularından yola çıkılarak, akıllı sayaç uygulamalarının Türkiye özelinde olası sosyal etkilerine yer verilmesi de çalışmayı tamamlayıcı bir nitelik taşıyacaktır.

Türkiye'ye özgü bir fayda-maliyet analizi yaklaşımı geliştirildikten sonra, bölgesel ya da merkezi analizlerin hayata geçirilmesi gerekmektedir. Çalışmalarda Türkiye koşulları

değerlendirilirken, toplanan verilerin güvenilirliği, elektrik piyasasındaki belirsizlikler, yapılan varsayımların gelişen teknoloji ve pilot uygulamalarla desteklenmesi, ucuz işçilik nedeniyle Türkiye'deki sayaç okuma maliyetlerinin Avrupa ülkelerine kıyasla daha düşük olduğu gibi konular göz önünde bulundurulmalıdır.

Bunların yanı sıra, Türkiye elektrik piyasasında, sayaç mülkiyetinin hangi paydaşa ait olacağı çözümlenmiş, dağıtım şirketlerinin özelleştirilme süreci tamamlanmış, elektrik dağıtım ve tedarik faaliyetleri ayrıştırılmış, serbest tüketici limiti 2019 yılı itibari ile 1600 kWh/yıl olmuş ve liberalleşme süreci hızlanmıştır. Ticari kayıp konusu ise gündemdeki sıcak yerini hâlâ korumaktadır. Bu doğrultuda, gerçekleştirilecek çalışmalarda Türkiye'nin tüm kazanımlarının ve gelişime açık alanlarının titizlikle incelenmesi büyük önem arz etmektedir.

6.5.1. Örnek bir akıllı sayaç fizibilite çalışması

Viko-Panasonic ile bir elektrik dağıtım şirketi tarafından yapılmış olan, pilot proje mahiyetindeki akıllı sayaç fizibilite çalışmasına ilişkin bilgiler aşağıda yer almaktadır. Bu çalışma kapsamında, mevcut sistemdeki bazı zorluklar, elde edilecek faydalar vs. belirlenmiş ve bu şartlar çerçevesinde oluşturulan 2 farklı senaryo yaklaşımı ile Çizelge 6.4 ve Çizelge 6.5 fizibilite çıktısı olarak elde edilmiştir [109].

AG (Alçak Gerilim) şebekesindeki zorluklar

Mevcut zorluklar, artan enerji talebi, yenilenebilir enerjilerden kaynaklı sorunlar ve yeni teknolojilerin sisteme entegrasyonu sonrasında;

1. Dağıtım trafolarındaki problemler,
2. Kesinti ve güç kalitesi problemleri,
3. Kayıplar (teknik ve teknik olmayan) ortaya çıkmaktadır.

Bu problemleri çözümlemek adına, birkaç başlık altında akıllı şebeke kavramının sisteme sağlayacağı faydaların değerlendirilmesi gerekmektedir.

Elde edilecek faydaların değerlendirilmesi

- ✓ Sayaç okuma:
 - Okuma maliyetlerini % 99 azaltmak mümkün olacaktır.
 - Hatalı okuma oranı sıfıra düşürülecektir.
- ✓ Kesme/Açma:
 - Uzaktan kesme/açma olanağı sağlanacaktır.
 - Kesme/Açma süreleri kısaltılacaktır.
 - Puant yük talebi dengelenecektir.
- ✓ Kesinti:
 - Kesinti değerlendirme ve müdahale sürelerinde iyileştirmeler olacaktır.
 - Hatalı kesinti çağrılarında iyileştirmeler sağlanacaktır.
- ✓ Volt/VAr (Reaktif güç):
 - Gerilim takip kaynaklarında iyileştirme yaşanacaktır.
- ✓ Dengeli yüklenme:
 - Trafo bazlı dengeli yüklenmelerin takibi yapılacaktır.
 - Dengeli yüklenme çalışmaları sonrasında tasarruf elde edilecektir.
- ✓ Faturalama:
 - Tahakkukta artış yaşanacaktır.
 - Tahakkuk/Tahsilat oranında artış olacaktır.
 - Faturalama süreçlerinde iyileştirme sağlanacaktır.
- ✓ Müşteri ilişkileri yönetimi:
 - Müşteri dönüşlerinde/şikâyetlerinde düşüş olacaktır.
 - Katma değerli servislere olanak sağlanmaktadır.
- ✓ Varlık yönetimi:
 - Yatırım maliyetlerinde ve envanter yönetiminde iyileşme yaşanacaktır.
 - Acil bakım maliyetlerinde düşüş sağlanacaktır.
 - Enerji hattı bozulma maliyetlerinde iyileşme olacaktır.
- ✓ Kayıp/Kaçak:
 - Hassasiyet oranında iyileşme gerçekleşecektir.
 - Trafo bazlı kaçak takibi sağlanacaktır.
 - Kayıp/kaçak oranında azalma sağlanacaktır.

Elde edilen sonuçlar / senaryolar

Çizelge 6.4. Genel görünüm senaryo 1 (standart yaklaşım)

Anahtar Faydalar – Saha Operasyonları ve Kesinti Yönetimi:	Fayda Tutarı (\$)
Sayaç Yönetimi Faydaları	4.958.640
Kesinti Yönetimi Faydaları	1.925.866
Volt-VAr (Reaktif Güç) Faydaları	3.984.000
Varlık Yönetimi Faydaları	950.000
Toplam:	11.818.506
Anahtar Faydalar – Tahakkuk/Tahsilat, Faturalama, Müşteri İlişkileri ve Diğer Faydalar:	
Dinamik Fiyatlandırma	269.366
Tahakkuk/Tahsilat, Faturalama ve Müşteri İlişkileri	10.621.200
Kayıp/Kaçak Yönetimi Faydaları	9.912.274
Toplam:	20.802.840
Toplam Faydalar Tutarı:	32.621.346
Öngörülen Toplam Fayda (Proje Ömrü 10 yıl):	326.213.456
Proje Maliyeti:	191.310.000

Çizelge 6.5. Genel görünüm senaryo 2 (agresif yaklaşım)

Anahtar Faydalar – Saha Operasyonları ve Kesinti Yönetimi:	Fayda Tutarı (\$)
Sayaç Yönetimi Faydaları	6.636.080
Kesinti Yönetimi Faydaları	1.925.866
Volt-VAr (Reaktif Güç) Faydaları	5.712.000
Varlık Yönetimi Faydaları	950.000
Toplam:	15.223.946
Anahtar Faydalar – Tahakkuk/Tahsilat, Faturalama, Müşteri İlişkileri ve Diğer Faydalar:	
Dinamik Fiyatlandırma	389.084
Tahakkuk/Tahsilat, Faturalama ve Müşteri İlişkileri	14.024.400
Kayıp/Kaçak Yönetimi Faydaları	295.843.267
Toplam:	310.256.751
Toplam Faydalar Tutarı:	325.480.696
Öngörülen Toplam Fayda (Proje Ömrü 10 yıl):	3.254.806.963
Proje Maliyeti:	273.910.000

Türkiye’de, akıllı sayaç sistemleri yaygınlaştırma çalışmalarının stratejik bir yol haritası doğrultusunda, planlı bir şekilde yürütülmesi için atılması gereken adımlar olduğu gözlenmektedir. Birçok toplam fayda öngörüsü ve iyi uygulama örnekleri olmasına rağmen, yaygınlaştırma stratejisi mevcut yapı gereği dağıtım şirketlerinin inisiyatifinde yürütülmektedir. Bunların yanı sıra, son birkaç yıl içerisinde, düzenleyici kurum inisiyatifinde paydaş temsilcilerinin katılımıyla bir akıllı şebeke komisyonu oluşturulmuş, akıllı sayaç uygulamalarını da içerecek şekilde strateji ve yol haritası belirleme çalışmaları başlatılmış olup, halihazırda TAŞ 2023 projesine ilişkin faaliyetler devam etmektedir.

Serbest tüketici limitlerinin düştüğü, dağıtım şirketlerinin özelleştirme sürecinin tamamlandığı, üretim tesislerinin özelleştirilmesi sürecinin hız kazanarak devam ettiği, dağıtım ve tedarik şirketlerinin yasal ayrıştırmasının gerçekleştirildiği Türkiye’de, Avrupa elektrik piyasasına benzer bir çizgi izlenmekte ve elektrik piyasası liberalleştirilmektedir. Bu bağlamda, akıllı sayaç sistemleri fayda öngörülerinin Türkiye açısından önemi daha net ortaya çıkmaktadır.

Sonuç olarak; Türkiye akıllı sayaç sistemleri stratejisi belirlenmeli ve planlı yaygınlaştırmaya başlanması için gerekli çalışmalara hız verilmelidir. Toplam fayda düşünülerek, piyasanın tüm paydaşlarının eşgüdüm içerisinde ilgili sorumlulukları yerine getirmesini sağlayacak ortamlar oluşturulmalıdır.

7. TÜRKİYE'DE YAPILAN UYGULAMA ÇALIŞMALARI VE PİLOT PROJELER İLE ÇEŞİTLİ PROJEKSİYONLAR

7.1. Başkent EDAŞ-Enerjisa Pilot Proje Çalışmaları

Akıllı şebeke çalışmaları kapsamında; hayata geçirilmesi planlanan projelerin ve bu doğrultuda yapılacak olan yatırımların fizibilitésinin ortaya konulması, sistemsal olarak ihtiyaç duyulan özelliklerin/donanımların araştırılması, ilgili analizlerin yapılması vs. amaçlar çerçevesinde, Başkent EDAŞ tarafından yapılmış pilot projeler [37] incelenmiş olup, söz konusu pilot projelere dair detaylı bilgilere bu başlık altında aşağıda yer verilmiştir.⁶

7.1.1. Akıllı şebekeler fizibilite çalışması (USTDA projesi)

Akıllı Şebekeler fizibilite çalışması kapsamında; teknik, ekonomik, mevzuatsal ve çevresel analizler gerçekleştirilmiş olup, akıllı şebekeler yol haritası ve pilot proje önerileri ortaya konmuştur. Yapılan beş yıllık planlar çerçevesinde; optimize edilmiş ana harcama (CAPEX) ve azaltılmış operasyonel harcama (OPEX), geliştirilmiş enerji verimliliği, gelişmiş operasyonel verimlilik, müşteri memnuniyeti ve dağıtım pazar payında iyileşme hedeflenmektedir. Bu projede, bilgi teknolojilerinin kullanımı ve akıllı şebeke teknolojilerinin özellikle elektrik dağıtım şirketleri tarafında uygulanması ile şebekenin geliştirilmesi ve daha iyi kontrol edilebilmesi amaçlanmakta olup, bu çerçevede analizler yapılmıştır.

Akıllı şebekeler fizibilite çalışmasının bileşenleri:

- 200,000\$ USTDA (U.S. Trade and Development Agency) hibe fonu.
- Teknik analiz.
- Ekonomik, finansal, yasal ve çevresel analiz.

⁶ Söz konusu pilot proje çalışmaları hakkındaki bilgi ve verilere ilişkin ilgili dokümanlar, Başkent EDAŞ-Enerjisa/Ar-Ge ve Otomasyon Müdürlüğü'nden alınmıştır. Enerji Otomasyon ve Ar-Ge Müdürü Sn. Okan BENLİ ve Proje Yönetimi Takım Yöneticisi Sn. Özden ERÇİN ile birkaç kez toplantı/görüşme gerçekleştirilmiştir. İlâveten, telefon görüşmeleri ve e-posta yoluyla bilgi alışverişi sağlanmıştır.

- Akıllı şebekeler yol haritası ve pilot proje önerileri.
- Beş yıllık plan ve kalkınma etkileri.

Stratejik hedefler:

- Optimize edilmiş ana harcama (CAPEX) ve azaltılmış operasyonel harcama (OPEX).
- Geliştirilmiş enerji verimliliği.
- Gelişmiş operasyonel verimlilik.
- Daha fazla müşteri memnuniyeti.
- Dağıtım pazar payında artış.

Yapılan çalışmalar neticesinde değerlendirmeler

- Siber güvenlik hususu büyük önem arz etmekte olup, baştan sona kadar sistem planlaması içerisinde yer almalıdır ve teknoloji yönetim planlarına dahil edilmek zorundadır.
- Akıllı şebekenin temeli şu hususlar çerçevesinde tesis edilmelidir:
 - ✓ Detaylandırılmış stratejik plan.
 - ✓ Kuruluş mimarisi, proje yönetim ofisi (PMO) ve yönetim modeli.
 - ✓ Ölçeklendirilebilir ve güvenli bir hibrid ağ yapısı.
 - ✓ Sistem genelinde durumsal farkındalık (GIS).
- Mevcut haberleşme modeli ile sistem fonksiyonları artırılabilir ve geliştirilebilir. Fakat, gelecek dönemde “Gelişmiş Ölçüm Altyapısı (AMI)” ile birlikte bu durum yüksek maliyetler gerektirebilir.
- Yeni haberleşme platformları test edilmeli ve uygulanmalıdır. Örneğin; güç hattı üzerinden genişbant haberleşmesi veya özel kablosuz haberleşme yöntemi.
- SCADA sistemi, pilot projeler ile dağıtım sistemi otomasyonu şeklinde dönüştürülmelidir.
- Sayaç okuma/AMI, düzenleyici kurum (EPDK) direktiflerini karşılayabilmek için zorunlu hale gelecektir.

Projenin somut faydaları

- Özel iletişim ağı projesi (Private Communication Network) ile işletme maliyetinde (OPEX) % 80 fayda sağlanabilecektir.
 - ✓ Yıllık işletme giderleri - \$450.000
 - ✓ Yıllık tasarruf - \$360.000
- Kesinti/Devre dışı kalma cezalarında % 10 azalma sağlanabilecektir.
 - ✓ Mevcut durumda - \$300.000
 - ✓ Yıllık tasarruf - \$30.000
- GIS verilerinin ve kesinti yönetim sisteminin (OMS- Outage Management System) şebekeye entegrasyonu ile OPEX giderlerinde azalma sağlanabilecektir. (GIS data/ OMS integration opex reduction)
 - ✓ İş gücünde azaltım, hızlı devreye alma, envanter tasarrufu (in manpower reduction, faster deployment, inventory savings) - \$850.000
- AMI ile birlikte OPEX giderlerinde % 5 azaltım sağlanırken, müşteri tarafında % 10 tasarruf sağlanabilir.
 - ✓ 5 yıllık AMI işletiminden tasarruf - \$7.3 milyon.
 - ✓ Alacaklarda azalma sağlanması - \$1.82 milyon/yıl.
- Akıllı şebeke entegrasyonu ile birlikte kayıp-kaçak miktarında (Reduction of T&L due to Smart grid integration) önemli azalma sağlanacaktır.
 - ✓ Yıllık sağlanan fayda - \$14.6 milyon.

Bu bilgiler kapsamında, Çizelge 7.1’de söz konusu projelere ilişkin olarak 5 yıllık zaman dilimi içerisinde planlanan yatırımlar ve bunların maliyetleri yer almakta olup, sağlanacak teknolojik iyileştirmeler neticesinde elde edilecek faydalar belirtilmektedir.

Çizelge 7.1. Beş yıllık bütün proje maliyetleri ve faydaları⁷[37]

Proje Adı	Tahmini Yatırım Maliyeti (USD)	Ortalama Yıllık Faydalar (USD)	ROI İlk 5 Yıl	ROI 6-10 Yıl
Özel İletişim Ağı (PCN)	15.647.000	360.000	% 5.7	
Dağıtım Otomasyonu (FID)	46.016.000	30.000	% 3.7	
Dağıtım Otomasyonu (GIS)	500.000	850.000	% 167.2	
Gelişmiş Ölçüm Altyapısı (AMI)	100.065.000	7.300.000	% 4.7	
Elektrikli Taşıtlar (EV) – Pilot	233.000	Teknoloji Testi		
Kayıp-Kaçak Azaltımı		14.600.000		
Toplam	162.461.000	23.140.000		% 8.5

- Akıllı şebeke yol haritasındaki projeler ile sistem bütününde ekonomik ve finansal faydalar sağlanması amaçlanmaktadır. Bu kapsamda, 5 yıllık periyot baz alındığında, doğrudan işletme giderlerinde 100 milyon USD civarında fayda sağlanacağı öngörülmektedir.
- Beş yıllık yol haritası projelerinin yaklaşık maliyeti 163 milyon USD olarak hesaplanmakta olup, bu noktada Başkent EDAŞ kendi kaynaklarını kullanırken diğer yandan da önemli miktarda uluslararası finansman (örn: U.S. Export Import Bank) sağlanmaktadır.

Proje sonucu ortaya konulan akıllı şebeke yol haritası

Yukarıda ifade edilen çalışma ve veriler çerçevesinde, ortaya konulmuş olan akıllı şebeke yol haritası Şekil 7.1’de gösterilmektedir. Bu noktada, proje üç temel noktaya dayandırılmaktadır:

- Elektrik dağıtım şirketi için akıllı şebeke vizyonu,
- Akıllı şebeke teknoloji yönetimi,

⁷ PCN : Private Communication Network - Özel İletişim Ağı.
 FID : Fault Indicating Device - Hata/Arıza Gösterge Cihazı (AGD).
 GIS : System-wide Situational Awareness - Sistem Genelinde Durumsal Farkındalık.
 AMI : Advanced Metering Infrastructure- Gelişmiş Ölçüm Altyapısı.
 EV : Electric Vehicles - Elektrikli Taşıtlar.
 ROI : Return of investment – Yatırım geri dönüşü.

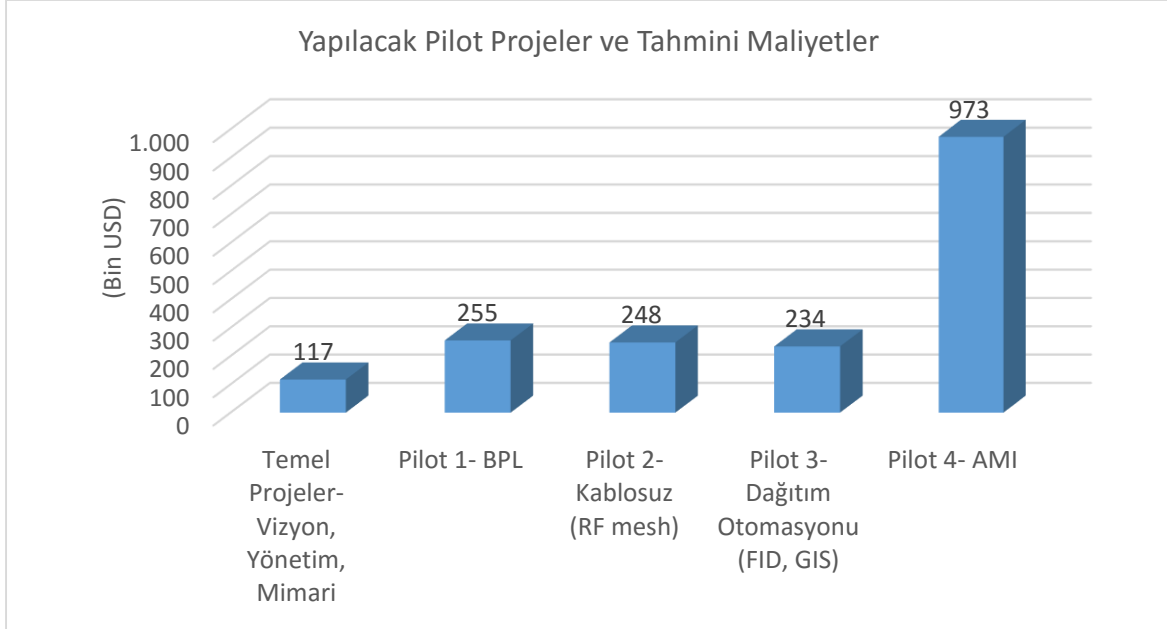
- Akıllı şebeke mimarisi oluşturmak.



Şekil 7.1. Akıllı şebeke yol haritası [37]

- Fizibilite çalışmaları sırasında, özel iletişim ağı için birkaç teknoloji değerlendirilmiş ve güç hatları üzerinden genişbant-broadband over power lines (BPL) teknolojisinin uygun bir tercih olacağı tespit edilmiş ve pilot çalışmalar buna dayandırılmıştır.
- GTM Şirketi araştırmasına göre, 2014-2015 yılları arasında Avrupa’da 8.5 milyar USD yıllık akıllı şebeke yatırımları yapıldığı tahmin edilmekte ve bunun büyük bir kısmının akıllı sayaç ve dağıtım sistemi otomasyonu üzerine olduğu ifade edilmektedir.
- B-PLC: Teknoloji açısından uygun ve faydalı olan yenilikçi bir sistem olarak belirtilmektedir. SCADA sistemini de daha yararlı ve fonksiyonel bir hale getirmektedir. Teknolojisi sayesinde, dağıtım ve iletim hattından haberleşme sağlamak mümkün olmaktadır. Diğer teknolojiler ve kablosuz sistemler ile karşılaştırıldığında B-PLC, iletişim gereksinimleri bakımından daha maliyet etkin bir yol olarak değerlendirilmektedir.

- Şekil 7.2’de, bahse konu yapılması planlanan yatırımlara ve teknoloji araştırmalarına ilişkin olarak yapılan/yapılacak pilot çalışmalar ve bunların tahmini maliyetleri yer almaktadır.



Şekil 7.2. Yapılan/yapılacak pilot projeler ve tahmini maliyetler [37]

7.1.2. Uzaktan sayaç okuma pilot projesi

Projeye ilişkin genel bilgiler

Proje tanımı: Bu proje, elektrik hattından haberleşme (PLC) ve radyo frekansı (RF) haberleşme teknolojilerini kullanarak, sayaç okumalarının uzaktan yapılmasına yönelik bir pilot çalışma niteliği taşımaktadır.

Proje kapsamında 540 adet mevcut elektrik sayacı, PLC haberleşme altyapısına sahip 200 adet ve RF haberleşme altyapısına sahip 340 adet yeni sayaçla değiştirilmiştir. Sayaçlardan elde edilen ve trafo noktalarında konumlandırılan veri toplayıcı üniteler tarafından toplanan tüm veri, GPRS aracılığıyla Head-End yazılımlarına gönderilmekte ve performans analizleri yapılabilmektedir.

Projenin amacı

- Uzaktan sayaç okuma amacıyla kullanılan, farklı haberleşme teknolojilerine sahip ürün performanslarının mevcut şebeke koşullarında test edilmesi,
- Güncel sayaç operasyonları göz önüne alınarak akıllı sayaç sistemlerinin mevcut süreçler üzerinde oluşturacağı etki ve değişikliklerin belirlenmesi,
- Çift yönlü haberleşme altyapısına sahip akıllı sayaç sistemleri için geleceğe dönük yaygın uygulamaların planlanmasında yararlanılacak, nitelikli veri ve sonuçların oluşturulması amaçlanmaktadır.

Bu doğrultuda, elektrik hattından haberleşme (PLC) ve kablosuz (RF) haberleşme teknolojilerinin karşılaştırılması ve en uygun çözüm senaryolarının tespiti amacıyla proje başlatılmıştır.

Projenin faydaları

- Türkiye'ye tedarik sunabilen dünyanın önde gelen akıllı sayaç firmalarına ait ürünlerin, mevcut saha koşullarında denenmesi ve performanslarının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu ve benzeri projelerin, akıllı sayaç sistemlerinin yaygınlaşması konusunda Türkiye'ye uygun yol haritasının belirlenmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.
- Türkiye'yi akıllı şebeke alt yapısına hazırlamak için yapılan ön çalışmalar sonucunda, akıllı sayaçlar için uygun haberleşme altyapısının belirlenmesi, doğru ve etkin tercihlere ulaşarak ülkenin enerji sisteminde katma değer oluşturulması hedeflenmektedir.
- Türkiye genelinde akıllı sayaç ürünlerine ait standartların belirlenmesiyle birlikte yerli üretimi nitelikli çözümlere yönlendirmek, iç ve dış pazarlar için ülke ekonomisine önemli katkı sağlayacaktır.
- Bu proje kapsamında, dünyada önemli referanslara sahip şirketlerle çalışılmıştır. Bu sayede, dünyada kullanılan ticari ürünlerin Türkiye şartlarına ve ihtiyaçlarına uygunluğu teknik olarak test edilmiştir.

Proje yöntemi ve kapsamı

Proje kapsamı, iş paketlerine bölünerek tanımlanmıştır. Her iş paketi kapsamında yer alacak sayaç ve veri toplayıcı sayısı, pilot bölge tanımlamaları yapılmıştır. Pilot bölge belirlenmelerinde, Başkent EDAŞ sayaç operasyonlarının öncelikleri göz önüne alınarak, yaygın uygulamaya yön verecek özelliklere sahip trafo bölgeleri tespit edilmiştir.

Yakın gelecekte, akıllı sayaç yaygınlaştırma ve yatırım projeleri kapsamında gerçekleştirilebilecek çalışmalara ışık tutması hedeflenmiş; coğrafi farklılıklar, yerleşim tipi ve dağılımları, teknik altyapı farklılıkları (örn. Havai-yeraltı hat) gibi kriterler baz alınarak akıllı sayaç haberleşme ve operasyonel performans ölçüm ve değerlendirmeleri gerçekleştirilmiştir.

Bu bağlamda; elektrik hattından haberleşme (PLC) teknolojisinin test edildiği iş paketleri için en önemli seçim kriterleri şebeke altyapısı ve yerleşim yoğunluğu olarak değerlendirilmiştir. Trafo çıkışından son müşteriye kadar ilerleyen elektrik hattının fiziksel durumu, trafoda konumlanan PLC veri toplayıcının bölgesindeki sayaçlarla arasındaki haberleşme başarısını belirleyen en önemli faktördür. Trafo bölgesindeki hat tipi ve kullanılan malzeme kalitesi, hat üzerinde yapılan onarımlar, havai hatlarda direk bağlantı noktalarının fiziksel durumu, trafo bölgesinin şebeke yapısı gibi etkenler sebebiyle, PLC haberleşme performansı önemli ölçüde etkilenebilmektedir.

Buna ek olarak, dağıtım şebekesinden beslenen tüketim noktalarında (mesken, hafif ticari ya da ticari) bulunan elektronik cihaz ve makineler, ürün karakteristiklerinden dolayı şebekede elektriksel gürültü yaratmaktadır. Oluşan bu gürültü, PLC haberleşme kalitesini düşürerek performansı etkileyen bir faktördür. Bu durumları göz önüne alarak, PLC haberleşme pilot bölgelerinin hem havai, hem yeraltı hat tipine sahip, şehir merkezinde bulunan bina ve müstakil evlerin ağırlıklı olduğu bölgeler olması kararlaştırılmıştır. Bu özelliklere sahip toplam 3 adet trafo bölgesi tespit edilmiştir.

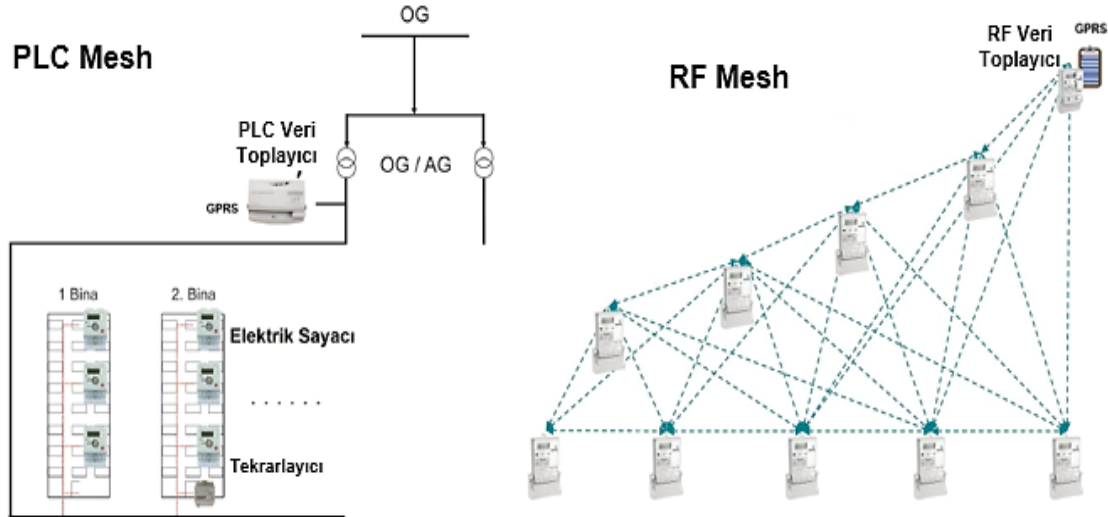
Radyo frekans (RF) haberleşme teknolojisinin testi için ise değerlendirmeye esas önemli kriterler, sinyal iletimini kısıtlayabilecek coğrafi ve fiziksel ortam koşullarıdır. Bu sebeple, RF akıllı sayaçların montajının yapıldığı pilot bölgeleri belirlerken engebeli arazi yapısı, sayaçların bölge ve bina içindeki konumları ve dağılımları, bölgedeki bina tipleri, sayaç

noktası (müşteri) yoğunluğu gibi kriterler esas alınmıştır. Bu sebeple 4 adet pilot bölge tespit edilmiştir.

Proje teknik kapsamı

Projede PLC ve RF Mesh (ağ) yapısı kullanılmıştır. Mesh yapısında; PLC veri toplayıcılar trafo içerisinde alçak gerilim baralarına, RF veri toplayıcılar trafo içerisine veya açık görüşe sahip en iyi noktada konumlandırılmıştır.

Buna ilişkin olarak Şekil 7.3'te RF/PLC mesh yapısı belirtilmektedir. PLC mesh mimarisinde, sayaçlar birbiri üzerinde atlama (hopping) yaparak gürültünün en az olduğu yolu seçmekte ve elektrik hattı üzerinden sayaç verilerini veri toplayıcıya iletmektedir. RF mesh mimarisinde ise sayaçlar hopping yaparak sinyal seviyesinin en iyi olduğu yolu seçmekte ve kablosuz ortamda sayaç verilerini veri toplayıcılara iletmektedir. Sinyal seviyesinin düşük olduğu ve gürültünün çok olduğu yerlerde, her bir sayaç tekrarlayıcı (repeater) görevi görmektedir ve sinyal seviyesini artırarak diğer sayaca verisini aktarabilmektedir.



Şekil 7.3. PLC mesh ve RF mesh yapısı [37]

Proje kapsamında uygulama bilgileri

Çizelge 7.2.'de, proje kapsamında yapılan seçimlere ve bu çerçevedeki uygulamalara ilişkin veriler ile PLC ve RF teknolojileri hakkında teknik bilgiler yer almaktadır.

Çizelge 7.2. Proje kapsamında uygulamalara ilişkin bilgiler⁸[37]

Firma	Haberleşme Teknolojisi	Kapsam	Teknik Özellikler	Bölge Özellikleri	Birim Sayaç Bedeli*
A	PLC-Mesh	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Toplam 100 adet PLC haberleşmeli sayaç kurulumu <ul style="list-style-type: none"> ▪ 50 Monofaze ▪ 50 Trifaze ▪ 2 adet Veri Toplayıcı (GPRS) ▪ Head-End Yazılım Kurulumu 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Çift Yönlü Haberleşme (2.4 kbps) ▪ Modülasyon Teknolojisi: S-FSK ▪ PLC Haberleşme: CENELEC 50065-1/A1 ▪ WAN :128-bit şifreleme. PLC : 96-bit şifreleme. ▪ Açma / Kesme / Yük Limitleme / Müdahale Tespiti / Güç Kalitesi Ölçümü 	İki bölgede 50'şer adet sayaç kurulumu <ul style="list-style-type: none"> ▪ Bölge 1: Şehir Merkezi ▪ Bölge 2: Villa Bölgesi 	Monofaze ~500 TL Trifaze ~700 TL
B	PLC-Mesh	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Toplam 100 adet PLC haberleşmeli sayaç kurulumu <ul style="list-style-type: none"> ▪ 15 Monofaze ▪ 85 Trifaze ▪ 1 adet Veri Toplayıcı (GPRS) ▪ Head-End Yazılım Kurulumu 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Çift Yönlü Haberleşme (3.6 kbps) ▪ Modülasyon Teknolojisi: BPSK ▪ PLC Haberleşme: Genişletilmiş ANSI/EIA 709.1 over CENELEC A band (EN 50065.1) ▪ WAN :128-bit şifreleme. PLC : 96-bit şifreleme. ▪ Açma / Kesme / Yük Limitleme / Müdahale Tespiti / Güç Kalitesi Ölçümü 	Tek bölgede 100 sayaç kurulumu <ul style="list-style-type: none"> ▪ Bölge 1: Şehir Merkezi 	Monofaze ~450 TL Trifaze ~650 TL
C	RF-Mesh	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Toplam 340 adet RF haberleşmeli sayaç kurulumu <ul style="list-style-type: none"> ▪ 155 Monofaze ▪ 185 Trifaze ▪ 4 adet Veri Toplayıcı (GPRS) ▪ Head-End Yazılım Kurulumu 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Çift Yönlü Haberleşme ▪ Frekans Bandı: 444 MHz 500 mW ▪ RF Haberleşme: Her sayaç için ayrı AES 128 bit şifreleme , WAN : AES 256 bit şifreleme ▪ Açma / Kesme / Yük Limitleme / Müdahale Tespiti / Güç Kalitesi Ölçümü 	Dört bölgede Toplam 340 adet sayaç kurulumu <ul style="list-style-type: none"> ▪ Bölge 1: Şehir Merkezi ▪ Bölge 2: Kırsal/Köy ▪ Bölge 3: Toplu Konut ▪ Bölge 4: Villa Bölgesi 	Monofaze ~650 TL Trifaze ~850 TL

Çizelge 7.3'te ise PLC & RF teknolojilerinin kullanımına ilişkin olarak seçilen modülasyon tipleri ve bunların frekans bant aralığı ile veri aktarım hızı özellikleri yer almaktadır.

⁸ Proje hacmine göre birim sayaç bedelleri değişiklik gösterebilmektedir.

Çizelge 7.3. Modülasyon teknolojileri hakkında teknik bilgiler [37]

Standartlar	Modülasyon Tipi	Frekans Bant Aralığı	Bit Hızı (kbps)
G3-PLC	OFDM	36 – 90.6 kHz	5.6 – 45 kbps
PRIME	OFDM	42 – 89 kHz	21.4 – 128.6 kbps
IEEE P1901.2	OFDM	9 – 500 kHz	52.3 kbps
ANSI/EIA 709.1,2	BPSK	86 – 131 kHz	3.6 – 5.6 kbps
KNX	S-FSK	125 – 140 kHz	1.2 kbps
IEC61334	S-FSK	3 – 95 kHz	2.4 kbps

Yurtdışı konsorsiyumlar tarafından geliştirilmekte olan G3-PLC ve PRIME haberleşme standartlarına dayalı ürünler, konsorsiyum üyeleri tarafından kullanılmakta ve Türkiye pazarında bulunmamaktadır. Bu proje kapsamında, referans projelerle kendini ispatlamış firmalara ait olan ürünler değerlendirilmiştir. OFDM modülasyon tipi kullanılan ürünler daha hızlı olmasına rağmen, diğerlerine göre daha maliyetli olmaktadır.

PLC pilot proje bölgesi (şehir merkezi) – Firma A

Şekil 7.4’te görüldüğü üzere, proje kapsamında PLC teknolojisi ile şehir merkezinde havai hat marifeti ile 50 trifaze sayacı uzaktan okuma çalışması yapılmıştır. Modülasyon tipi olarak da S-FSK kullanılmıştır. Sinyal seviyesine ve iletim ortamındaki gürültü vb. fiziki şartlara göre, sayaçlar üzerinde atlama işlemi gerçekleşmekte olup, veri iletimi en ideal yoldan sağlanmaya çalışılmaktadır. Bu noktada, atlama sayısı arttıkça açma/kapama işlem süresinin uzadığı gözlemlenmiştir.

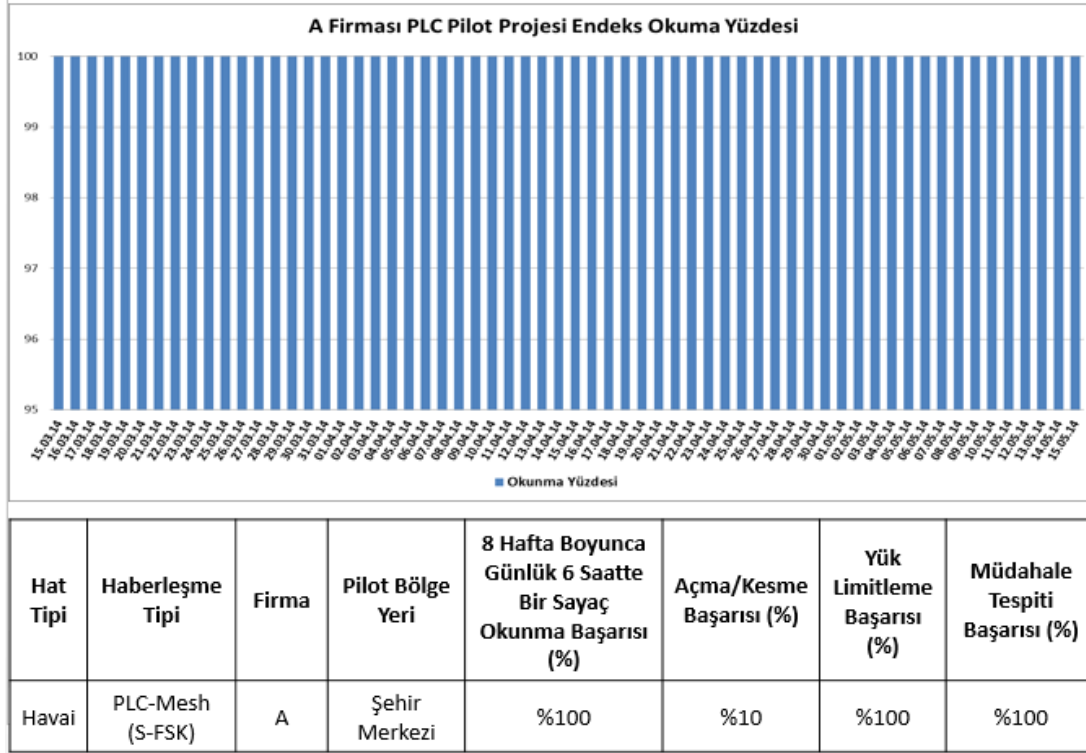
Bölge 1: Şehir Merkezi / Firma A**Kapsam:** 50 Trifaze Sayaç**Haberleşme Teknolojisi:** PLC (S-FSK)**Şebeke Tipi:** Havai Hat

Bina No	Atlama Sayısı	Sinyal Seviyesi	Açma/Kesme İşlem Süresi
41	0	-80 dbm	~7 sn.
3	1	-101 dbm	~12 sn.
5	1	-118 dbm	(Tekrarlayıcı)
7	1	-117 dbm	~11 sn.
9	2	-116 dbm	~14 sn.
11	2	-93 dbm	~20 sn.
13	3	-117 dbm	~24 sn.
15	6	-116 dbm	~28 sn.
12	7	-105 dbm	~30 sn.

Şekil 7.4. PLC pilot proje bölgesi (şehir merkezi) – Firma A verileri⁹[37]

Şekil 7.5'te ise yukarıda belirtilen şartlardaki uzaktan sayaç okuma çalışmasına ilişkin performans sonuçları yer almaktadır. 8 hafta boyunca günlük 6 saatte bir sayaç okuma işlemi gerçekleştirilmiştir.

⁹ Dbm kısaltmasının açılımı "Decibel Milliwatt" şeklindedir. Dbm; Bir kablosuz sisteminin sinyal gücünü belirleyebilmek amacı ile kullanılan bir kavramdır (birimdir). Herhangi bir sinyalin, gerçek güç değerine ilişkin bilgi veren birim dBm'dir. Sinyal gücüne göre, 0'dan eksi değerlere doğru gidebilir ve rakam eksiye doğru büyüdükçe sinyal kalitesi düşer. (0 dBm = 1 mW, -10 dBm = 0,1 mW).

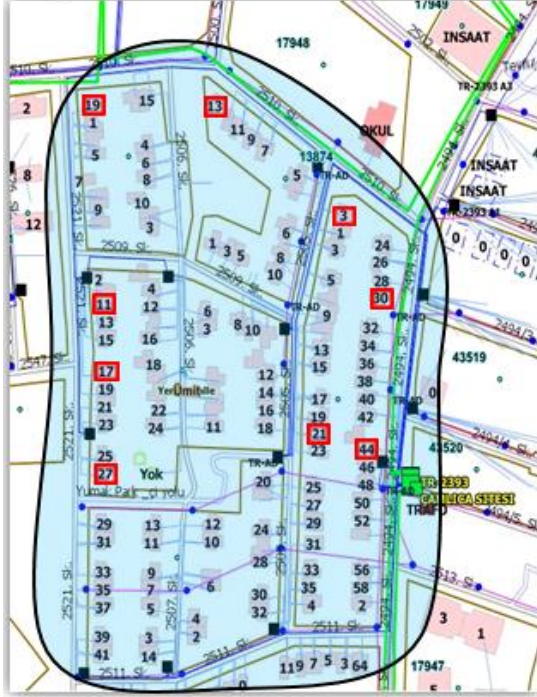


Şekil 7.5. PLC pilot proje bölgesi – Firma A performans test sonuçları (şehir merkezi) [37]

PLC pilot proje bölgesi (villa bölgesi) – Firma A

Şekil 7.6’da görüldüğü üzere, proje kapsamında PLC teknolojisi ile diğer bir pilot alan olarak seçilen villa bölgesinde, yeraltı hattı marifeti ile 50 monofaze sayacı uzaktan okuma çalışması yapılmıştır. Modülasyon tipi olarak yine S-FSK kullanılmıştır. Bu çalışmada, PLC yeraltı hattı uygulaması ile sayaca ilişkin işlem sürelerinin daha kısa olduğu ve PLC teknolojisinde yeraltı hattı kullanımının daha ideal bir seçim olacağı sonucuna ulaşılmıştır. Şekil 7.7’de ise uzaktan okuma çalışmasına ilişkin performans sonuçları yer almaktadır.

Bölge 2: Villa Bölgesi / Firma A



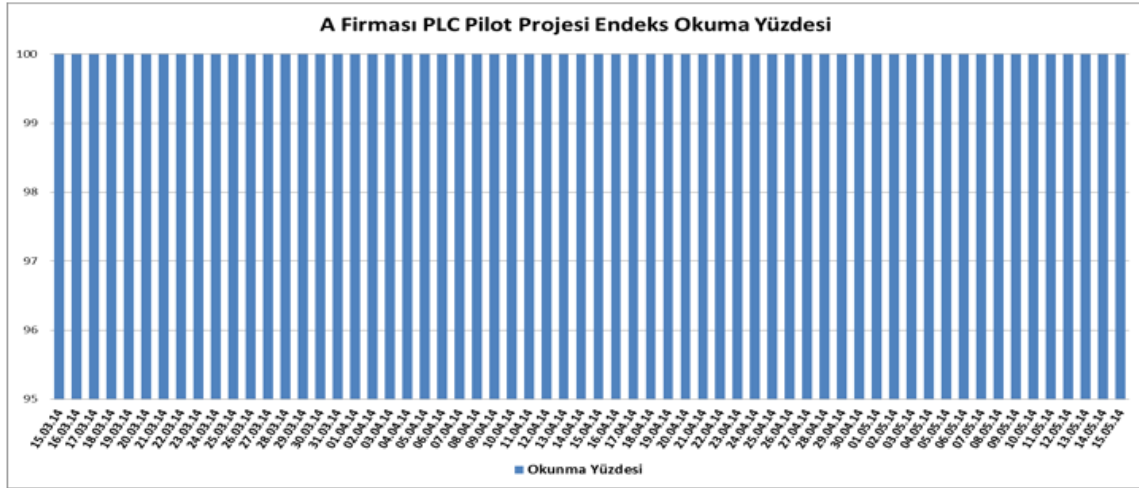
Kapsam: 50 Monofaze Sayaç

Haberleşme Teknolojisi: PLC (S-FSK)

Şebeke Tipi: Yeraltı Hat

Bina No	Atlama Sayısı	Sinyal Seviyesi	Açma/Kesme İşlem Süresi
44	0	-118 dbm	~4 sn.
30	0	-91 dbm	~6 sn.
3	1	-110 dbm	~6 sn.
21	2	-105 dbm	~9 sn.
13	1	-88 dbm	~8 sn.
19	2	-108 dbm	~9 sn.
11	3	-104 dbm	~11 sn.
17	3	-97 dbm	~14 sn.
27	4	-112 dbm	~16 sn.

Şekil 7.6. PLC pilot proje bölgesi (villa bölgesi) – Firma A verileri [37]



Hat Tipi	Haberleşme Tipi	Firma	Pilot Bölge Yeri	8 Hafta Boyunca Günlük 6 Saatte Bir Sayaç Okunma Başarısı (%)	Açma/Kesme Başarısı (%)	Yük Limitleme Başarısı (%)	Müdahale Tespiti Başarısı (%)
Yeraltı	PLC-Mesh (S-FSK)	A	Şehir Merkezi	%100	%100	%100	%100

Şekil 7.7. PLC pilot proje bölgesi – Firma A performans test sonuçları (villa bölgesi) [37]

PLC pilot proje bölgesi (şehir merkezi) – Firma B

Bu çalışmada ise PLC teknolojisi, şehir merkezindeki pilot alanda daha farklı şartlarda tecrübe edilmiş olup, 15 Monofaze ve 85 Trifaze sayacı uzaktan okuma işlemi yapılmıştır. Şekil 7.8’de görüldüğü üzere, modülasyon tipi olarak BPSK kullanılmıştır. Ayrıca, hem havai hat üzerinden hem de yeraltı hattı üzerinden pilot çalışma yapılmıştır.

Bölge 1: Şehir Merkezi / Firma B

Bina No	Atlama Sayısı	Sinyal Seviyesi	Açma/Kesme İşlem Süresi	Bina No	Atlama Sayısı	Sinyal Seviyesi	Açma/Kesme İşlem Süresi
H#1	0	- 89 dbm	~6 sn.	Y#1	0	-118 dbm	~4 sn.
H#2	1	-88 dbm	~8 sn.	Y#2	0	-91 dbm	~6 sn.
H#3	2	-94 dbm	~11 sn.	Y#3	1	-110 dbm	~6 sn.
H#4	3	-92 dbm	~16 sn.	Y#4	2	-105 dbm	~9 sn.
				Y#5	3	-97 dbm	~14 sn.
				Y#6	4	-112 dbm	~9 sn.



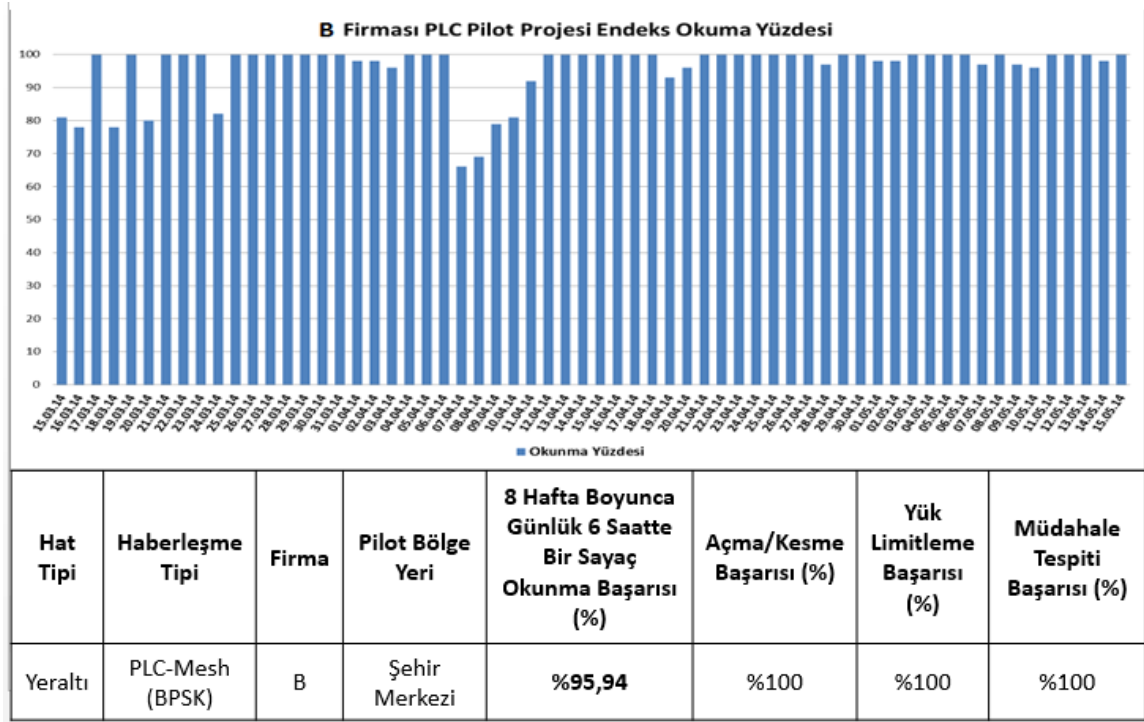
Kapsam: 15 Monofaze Sayaç, 85 Trifaze Sayaç

Haberleşme Teknolojisi: PLC (BPSK)

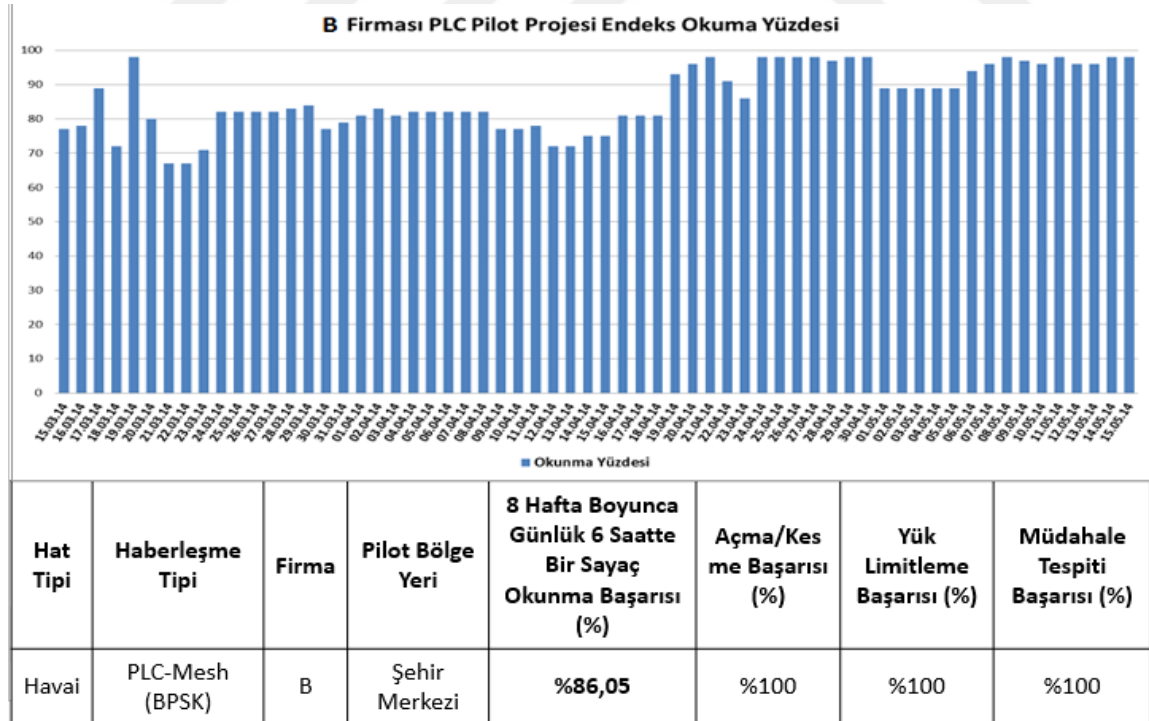
Şebeke Tipi: Havai + Yeraltı Hat

Şekil 7.8. PLC pilot proje bölgesi (şehir merkezi) – Firma B verileri [37]

Şekil 7.9’da ve şekil 7.10’da ise yukarıda belirtilen şartlardaki uzaktan sayaç okuma çalışmasına ilişkin performans sonuçları yer almaktadır. Diğer PLC pilot çalışmalarındaki sonuçlar ile kıyaslama yapıldığında, BPSK modülasyon tipinde sayaç okuma sonuçlarında başarı oranının düştüğü, havai hat uygulaması yapıldığı takdirde ise işlem performansının daha da azaldığı gözlemlenmiştir.



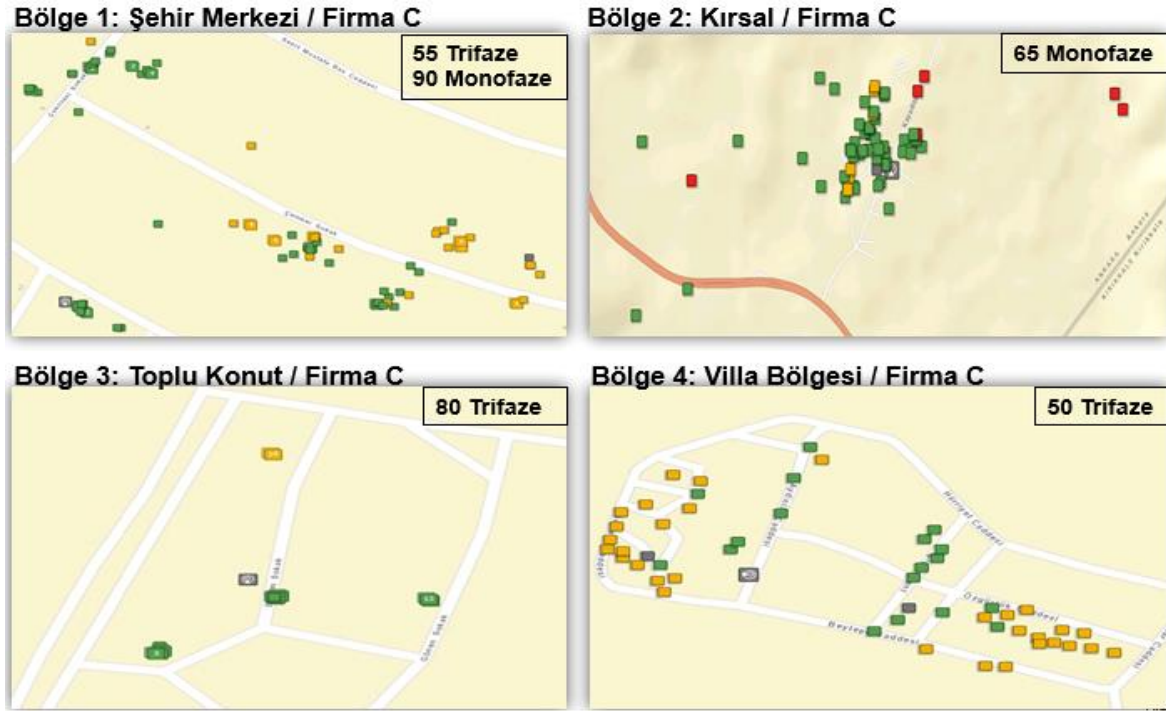
Şekil 7.9. PLC pilot proje bölgesi – Firma B performans test sonuçları (şehir merkezi/ yeraltı) [37]



Şekil 7.10. PLC pilot proje bölgesi – Firma B performans test sonuçları (şehir merkezi/ havai) [37]

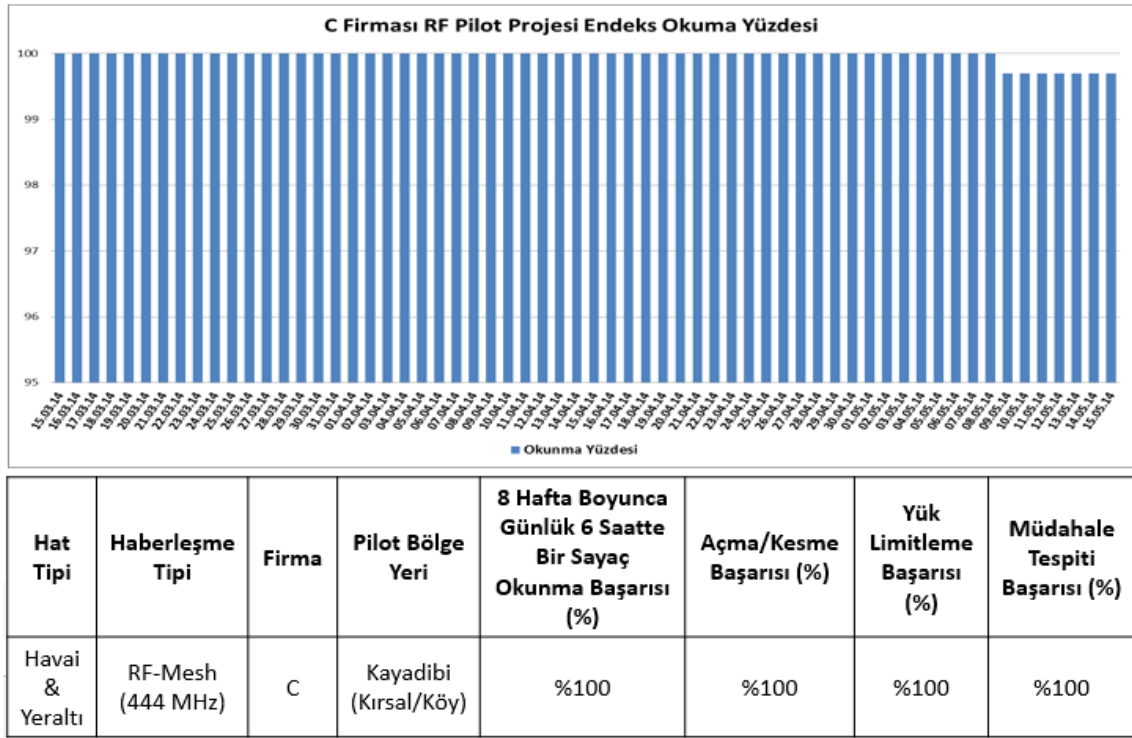
RF pilot proje bölgesi

Proje kapsamında, diğer bir haberleşme teknolojisi olarak RF pilot çalışmaları yapılmıştır. Bu noktada; Şekil 7.11’de belirtildiği üzere, abone yoğunluğu, hat mesafesi, coğrafi koşullar vs. durumlar açısından 4 farklı özellikte bölge belirlenmiştir. Toplamda 340 adet sayaç üzerinden pilot çalışma yürütülmüştür.



Şekil 7.11. RF pilot proje bölgelerine ilişkin veriler [37]

Şekil 7.12’de ise belirtilen şartlar altında, uzaktan okuma çalışmasına ilişkin performans sonuçları yer almaktadır. 4 RF pilot bölgesinde de genel itibari ile başarılı bir sayaç okuma performansı elde edilmiş olmakla birlikte, sinyal kalitesi açısından kırsal alan ile villa bölgesi tipindeki açık alanların RF teknolojisi için daha ideal bir çalışma ortamı olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 7.12. RF pilot proje bölgesi performans test sonuçları¹⁰[37]

Çizelge 7.4'te ise proje kapsamında yapılmış olan tüm çalışmaların performans sonuçları yer almaktadır. Seçilen haberleşme teknolojisinin, modülasyon tipinin, pilot bölgenin coğrafi/fiziki koşullarının ve havai hat ya da yeraltı hattı uygulaması yapılmasının, sayaç okuma performansı açısından direkt etkiye sahip olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca, kullanılan ürünlerin özellikleri de (Firma A - Firma B) göz önünde bulundurulması gereken faktörlerden biridir.

¹⁰ Sayaç okuma yapılan son hafta, sayaç sigortası müşteri tarafından kapatıldığı için 3 sayaç enerjisiz kalmış ve performans %97'ye düşmüştür.

Çizelge 7.4. RF pilot proje geneli tüm performans sonuçları [37]

Hat Tipi	Haberleşme Tipi	Firma	Pilot Bölge	8 Hafta Boyunca Günlük 6 Saatte Bir Sayaç Okunma Başarısı (%)	Açma/Kesme Başarısı (%)	Yük Limitleme Başarısı (%)	Müdahale Tespiti Başarısı (%)
Yeraltı	PLC-Mesh (S-FSK)	A	Şehir Merkezi	%100	%100	%100	%100
Yeraltı	PLC-Mesh (BPSK)	B	Şehir Merkezi	%95,94	%100	%100	%100
Havai	PLC-Mesh (S-FSK)	A	Şehir Merkezi	%100	%100	%100	%100
Havai	PLC-Mesh (BPSK)	B	Şehir Merkezi	%86,05	%100	%100	%100
Havai & Yeraltı	RF-Mesh (444 MHz)	C	Şehir Merkezi	%100	%100	%100	%100
	RF-Mesh (444 MHz)	C	Kırsal/Köy	%100	%100	%100	%100
	RF-Mesh (444 MHz)	C	Toplu Konut	%100	%100	%100	%100
	RF-Mesh (444 MHz)	C	Villa Bölgesi	%100	%100	%100	%100

Proje genel değerlendirmesi ve gelecek projeler için öneriler

Uzaktan sayaç okuma pilot projesi kapsamında yürütülen çalışmalar sonucunda, dağıtım şebekesinde akıllı sayaç uygulamalarının geleceğiyle ilgili önem arz edebilecek güncel bilgi ve çıkarımlar elde edilmiştir. Ticari düzeyde Türkiye piyasasında mevcut ürünler arasında kısıtlı seçenekler bulunmakta olup, bu ürün ve sistemlerin yüksek performansla çalışabilmesi için ise belirli koşullar altında çalışması gerekmektedir. PLC akıllı sayaç sistemlerinin şebeke yapısına yüksek bağımlılığı, bu sistemleri mevcut şebeke yapısında yeraltı hatlar için daha uygun kılmaktadır. Havai hat uygulamaları için ise montaj yapılacak bölgedeki şebeke yapısının iyi analiz edilmesi başarılı sonuçları doğuracaktır. RF akıllı sayaç sistemlerinin ise özellikle açık görüş alanına ve dağılık şebeke yapısına sahip kırsal bölgelerde yüksek haberleşme performansı sağlayabileceği görülmüştür.

Gelecek projelerde aşağıdaki maddelere önem verilmesinin, proje yönetimi açısından yaşanabilecek belirli zorlukları azaltabileceği öngörülmektedir:

- Yaygın uygulama projelerinde montaj, bakım, işletme açısından yaşanabilecek sorunları göz önüne alarak, detaylı ve gerçekçi kurulum planlarının hazırlanması.

- Haberleşme altyapısı için gerekli kurumlarla görüşerek, tüm yasal izinlerin kalıcı şekilde önceden alınması.
- Sayaç montajları öncesinde ve esnasında, sorunların en aza indirgenmesi için müşterilerin bilgilendirilmesi.

Çizelge 7.5'te, proje kapsamında elde edilmiş olan bilgiler ışığında "RF/PLC/GSM Haberleşme Teknolojilerinin Karşılaştırılması" yer almaktadır. Tercih edilecek olan teknolojinin avantajları ve dezavantajları ayrıntılı olarak görülmektedir.

Çizelge 7.5. RF/PLC/GSM haberleşme teknolojilerinin karşılaştırılması

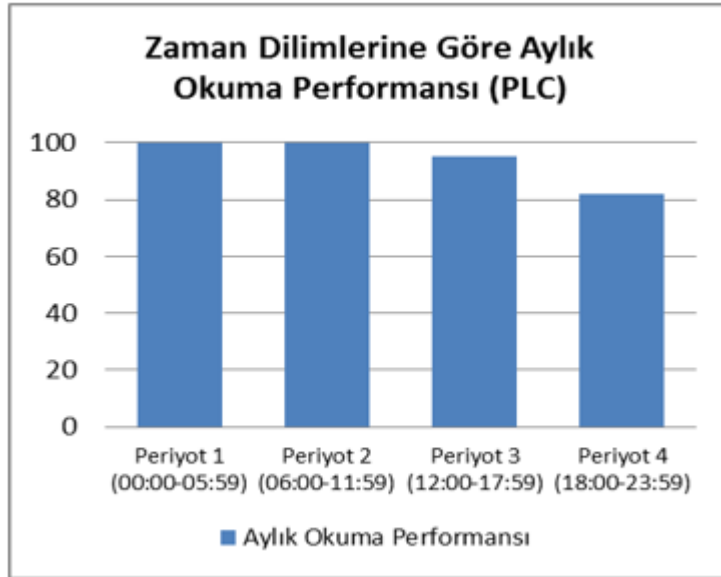
RF Haberleşmesi		Dar Bant PLC Haberleşmesi		GSM/GPRS Haberleşmesi	
Avantajlar	Dezavantajlar	Avantajlar	Dezavantajlar	Avantajlar	Dezavantajlar
Fiziksel altyapı ihtiyacı yok	Sistem tasarımı ve maliyeti arazi koşullarına bağımlı	Sistem tasarımı ve maliyeti arazi koşullarına bağımlı değil	Fiziksel altyapı (Elektrik Şebekesi) ihtiyacı var	Yeni haberleşme altyapısı ihtiyacı yok	Sistem tasarımı ve maliyeti arazi koşullarına bağımlı
Noktadan noktaya haberleşmede daha başarılı	Elektrik topoloji bilgisi için kullanılamaz, güncel CBS bilgisine ihtiyaç vardır	Elektrik topoloji bilgisi için kullanılabilir, güncel CBS bilgisini destekleyicidir.	Noktadan noktaya uzak mesafede haberleşme sağlanamıyor	Noktadan noktaya haberleşmede kısmi başarı	Elektrik topoloji bilgisi için kullanılamaz, güncel CBS bilgisine ihtiyaç vardır
Şebeke yapısı ve oluşan gürültü haberleşme performansını etkilemez	Performans hava koşulları ve parazitlerden etkilenmektedir	Performans hava koşullarından etkilenmez	Enerji kullanımı, sinyal zayıflaması ve gürültü haberleşme performansını önemli ölçüde etkilenmektedir	Şebeke yapısı ve oluşan gürültü haberleşme performansını etkilemez	Performans hava koşulları ve parazitlerden etkilenmektedir
PLC'ye göre yüksek veri iletişim hızı. (2 – 100 kbps)	Yüksek operasyonel maliyet (Frekans tahsisi ve sayaç başına kullanım bedeli)	Düşük operasyonel maliyet	RF'e göre düşük veri iletişim hızı (2.4 – 5.6 kbps)	PLC ve RF'e göre daha yüksek veri iletişim hızı (144 kbps – 3 mbps)	Yüksek Operasyonel Maliyet (Aylık kullanım bedelleri ve vergiler)
Tek trafo bölgesine bağımlı değil, geniş alanda haberleşme imkanı	Kurulum ve işletme için daha yüksek uzmanlık gereksinimi	Kurulum ve işletme için orta seviye uzmanlık gereksinimi	Tek trafo bölgesine bağımlı	Hızlı Kurulum, düşük seviye uzmanlık gereksinimi	Afet, Acil durum vb. zamanlarda kullanım dışı

Akıllı sayaç sistemlerinin performansı, haberleşme teknolojisi altyapısına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Yapılan pilot çalışma analizlerine göre:

PLC akıllı sayaçların;

- Yeraltı hatlarda haberleşme performansı oldukça yüksektir.
- Havai hatlardaki performans şebeke yapısına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.
- Haberleşme performansının yetersiz olduğu noktalarda tekrarlayıcı kullanılması gerekmektedir.
- Tekrarlayıcı ünite kullanımı, sayaç operasyonları için ek arıza kaynağı oluşturmaktadır.
- Şebekedeki kullanım ve yüklenme durumuna bağlı olarak gün içerisinde haberleşme performansı değişmektedir.

Aşağıdaki şekilde görüldüğü üzere, puant saatlerde, şebekede bilgi kirliliği olmakta ve sayaç okuma verimi düşmektedir. Ev aletleri, elektronik eşyalar vb. araçlar parazitlenme yapmakta ve performansta düşüşe sebep olmaktadır.



Şekil 7.13. PLC teknolojisinde zaman dilimine göre performans değişimi [37]

RF akıllı sayaçların;

- Haberleşme performansı şebeke yapısından bağımsızdır.
- En iyi haberleşme performansı açık görüş ile sağlanmaktadır. (Örnek: köy/kırsal bölge, villa bölgesi)
- Haberleşme için anten vb. ek donanım ihtiyacı düşüktür.
- Sık yerleşim bölgelerinde, yansıma ve sinyal kirliliği sebebiyle sinyal kalitesi düşmektedir.

Bu çerçevede nihai bir değerlendirme yapılacak olursa; “şehir merkezleri gibi yoğun, gürültülü ve kalabalık alanlar için PLC Yeraltı Hattı Uygulaması, açık görüşün olduğu kırsal ve geniş/dağınık alanlarda ise RF Havai Hat Uygulaması teknolojisinin daha avantajlı ve optimum tercihler olacağı” sonucuna ulaşılmıştır.

7.1.3. DAGSİS projesi

DAGSİS: Dağıtım Gömülü Sistemlerin Etki Analizi ve Optimizasyonu Projesi;

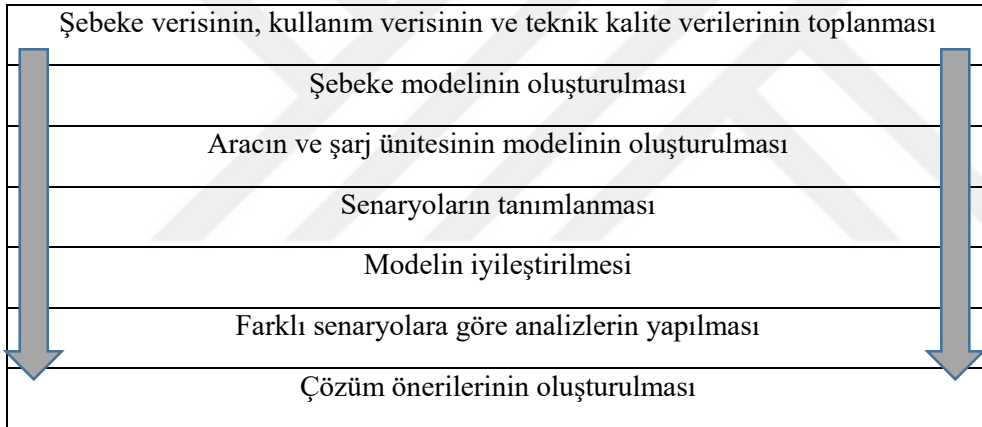
- Süre : 22 ay.
- Bütçe : 2,3 Milyon TL (Başkent EDAŞ) / 6,8 Milyon TL (Toplam Bütçe).
- Paydaşlar : Boğaziçi EDAŞ, Çamlıbel EDAŞ, Meram EDAŞ, Dicle EDAŞ, Aras EDAŞ.
- Fon Kaynağı : EPDK
- Danışman: Dr. Mithat Kısacıkoğlu, Hacettepe Üniversitesi.
- Kapsam: Şebekeye teknik kalite anlamında etki analizi;
 - ✓ Lisanssız üretim tesisleri
 - ✓ Elektrikli araçlar
 - ✓ Depolama üniteleri
 - ✓ Optimum konumlandırma
- Proje Koordinatörü: Başkent EDAŞ.

Kontrolsüz ve plansız bir şekilde elektrikli araçların (EA) şarj edilmesinin, elektrik dağıtım sistemi tarafında önemli etkileri olacağı öngörülmektedir ve bu durum, elektrik dağıtım sistemi elemanlarının ömrünü doğrudan etkileyecektir. Bu proje ile araştırılan;

- Evlerdeki batarya şarj istasyonlarının oluşturacağı fazladan yükün ve voltaj bozulmalarının dağıtım sistemlerine etkilerini incelemek,
- Batarya şarj istasyonunun dağıtım trafosunun ömrüne olan etkisini gözlemlemek,
- Batarya şarj istasyonlarının dağıtım araçlarına etkisini gözlemlemek.

Bu amaçlar kapsamında, proje çerçevesinde 17 elektrikli araç (BMW-i3) kullanılmıştır. Farklı kullanıcı profilleri ve senaryoları, günlük kullanım alışkanlıkları pratiğe dökülerek simule edilmiştir. Proje kapsamında, elektrikli araçların şebekeye entegrasyonu için çözüm olarak, genel çerçevede Çizelge 7.6'da belirtilen adımlardan oluşan bir yöntem benimsenmiştir.

Çizelge 7.6. Elektrikli araçların şebekeye entegrasyonu için çözüm yöntemi [37]



Proje kapsamında CBS ile analiz programının entegrasyonu yapılmıştır. Şebeke verisinin doğrudan analiz programına alınabileceği kod geliştirilmiştir. Proje kapsamındaki senaryolar, Gölbaşı bölgesindeki belirlenmiş bir trafo üzerinde analiz edilmiştir.

Veri toplama ve kullanım

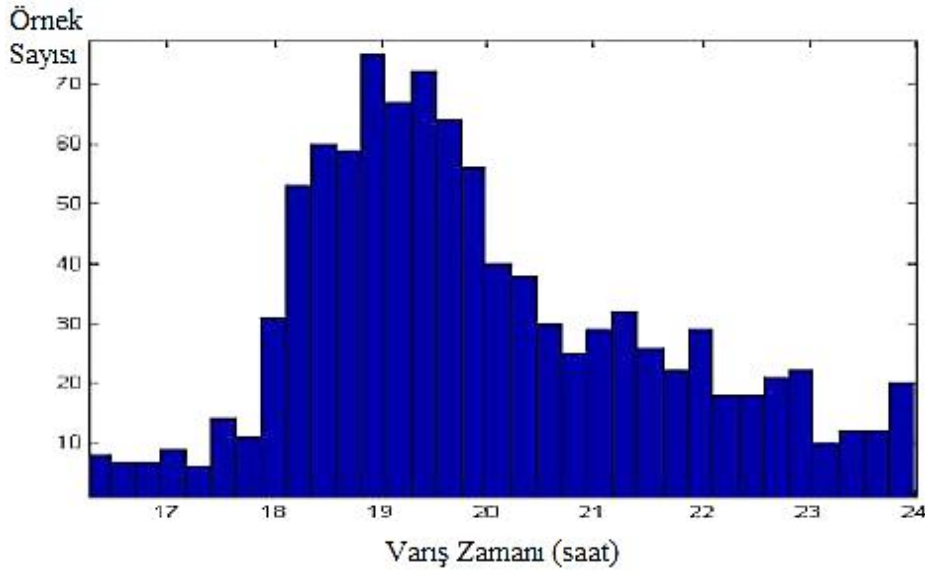
Araç takip sistemi ile tüm araçlar takip edilmiştir. Farklı profillerdeki kullanım durumları ve bunlara ilişkin veriler toplanmıştır. Bu farklı kullanım durumu profilleri:

- 1) Beyaz yaka,
- 2) Mavi yaka,

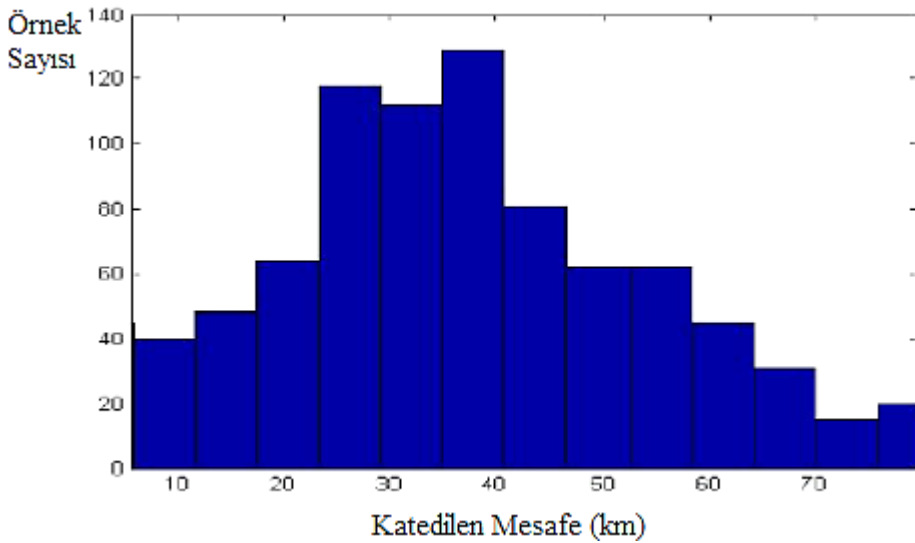
- Endeks okuma
- Açma-kesme
- Kalibrasyon

3) Yönetici,

şeklinde kullanıcı (personel) dağılımı göstermektedir. Şekil 7.14'te bu kullanıcıların eve geliş zamanları, Şekil 7.15'te ise günlük kat ettikleri mesafeleri gösterilmektedir [39].



Şekil 7.14. Elektrikli araç kullanıcılarının eve geliş zamanı [37]

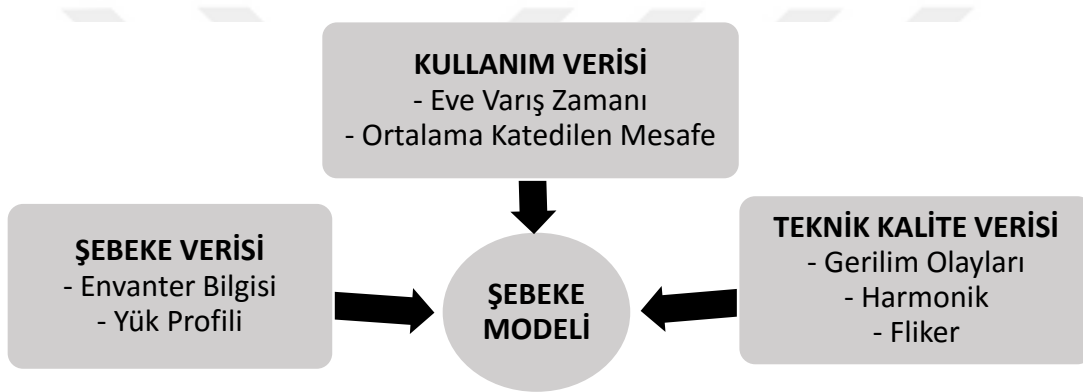


Şekil 7.15. Elektrikli araç kullanıcıları tarafından günlük katedilen mesafe [37]

Veri setinde anormal veriler hesaba katılmamıştır. Günlük 10-80 km arası mesafe yapan ve 16.00 sonrasında eve gelen araç kullanıcıları hesaplamaaya dahil edilmiştir. Elde edilen veriler Gauss dağılımını vermiştir. Buna göre;

- Eve geliş zamanı: Ortalama (mean) 19.55, standart sapma (standart deviation) 01.40,
- Günlük katedilen mesafe: Ortalama (mean) 39.5 km, standart sapma (standart deviation) 15.8 km olarak hesaplanmıştır.

Bu çerçevede, Şekil 7.16’da belirtilen ve üç kısımdan oluşan veri setlerinin değerlendirilmesi sonucunda şebeke modeli ortaya çıkarılmıştır.



Şekil 7.16. Dağıtım şebeke modeli¹¹[37]

Senaryoların tanımlanması

Tüm dağıtım şebekesinin analizi için birçok farklı senaryo, proje kapsamında tanımlanmıştır. Ön çalışma olması açısından, projeye ilişkin olarak yayımlanmış olan bildiri (Examination of EV-Grid Integration Using Real Driving and Transformer Loading Data) [39] çerçevesinde 6 farklı senaryo tanımlanarak analiz edilmiştir. Bildiride kullanılan veriler güç kalitesi izleme sisteminden çekilmiş ve bir aylık dönem yüklenme verileri baz alınmıştır.

¹¹ Teknik kalite verileri, Hacettepe Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde kurulan Enerjisa Laboratuvarı'nda hazırlanan düzenek ile ölçülmüştür. Düzenek; osiloskop, elektrikli araç simülatörü ve şarj ünitesinden oluşmaktadır. Gerçek ortamı birebir yansıtmakta olup, ayrıca sahada da güç kalitesi cihazları ile ölçüm alınmıştır.

Çizelge 7.7’de, küresel elektrikli araç pazarında tercih edilen bazı modellerin karakteristik özellikleri yer almaktadır. Bu kapsamda, araçların batarya özellikleri, elektrik yük profilleri vb. hususlar göz önüne alınarak, şebekede oluşacak yük eğrisini görmek amacı ile “Normal Seviyede Şarj Etme (Case 1) ve Daha Yüksek Güçte Şarj İhtiyacı (Case 2)” şeklinde iki farklı senaryo oluşturulmuştur. Bu çerçevede de, araçların pazar payındaki dağılımı Çizelge 7.8’de belirtilmektedir [39].

Çizelge 7.7. EA marka-model çeşitleri ve karakteristik özellikleri [39]

Araç Markası ve Modeli	Batarya Kapasitesi (kWh)	Araç Menzili (km)	Şarj Gücü (kW)
Opel Ampera	15	56	3.3
Mitsubishi MiEV	16	100	3.3
Toyota Prius PHEV	4.4	24	2.0
BMW i3	22	160	7.4
Renault Zoe	22	100	43
Renault Twizy	7	80	2.2
Tesla Model S	42	250	20

Çizelge 7.8. İki farklı EA şarj senaryosu: normal seviyede şarj etme (case 1) ve daha yüksek güçte şarj ihtiyacı (case 2) [39]

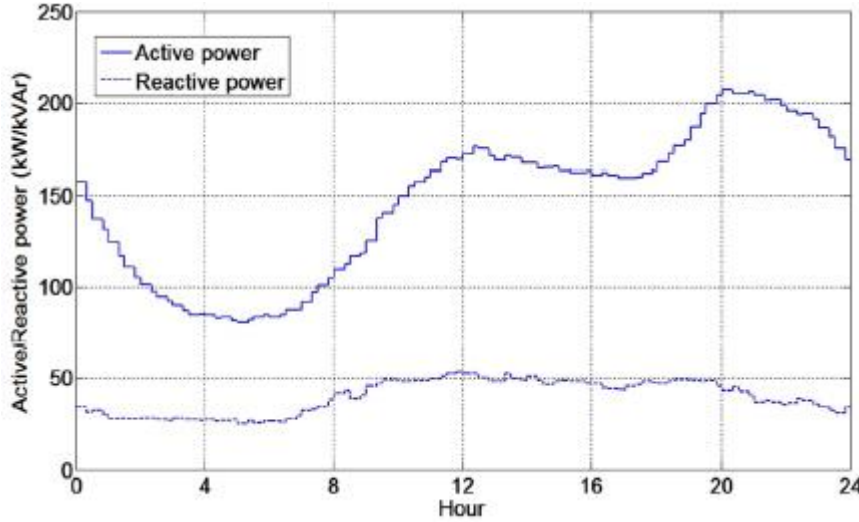
Araç Markası ve Modeli	EA Pazar (Satış) Payı	
	Senaryo 1 (Case 1)	Senaryo 2 (Case 2)
Opel Ampera	14	8
Mitsubishi MiEV	14	8
Toyota Prius PHEV	14	8
BMW i3	14	8
Renault Zoe	14	30
Renault Twizy	14	8
Tesla Model S	14	30

Senaryolar: 3 farklı penetrasyon oranı ile analiz yapılmıştır:

- Case 1: %10, %20, %30 penetrasyon durumu.
- Case 2: %10, %20, %30 penetrasyon durumu.

Analiz sonuçları (şekil 49-54) ve öneriler

Analiz yapılan TR2789 trafosunun, günlük ortalama yük profili Şekil 7.17’de yer almaktadır.



Şekil 7.17. TR2789 trafosunun günlük ortalama yük profili [37]

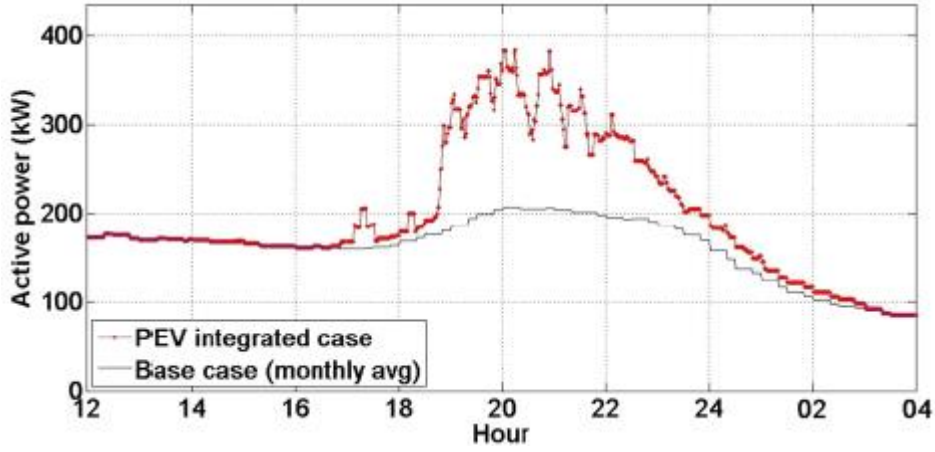
Analiz başlangıç durumu: Case 0, % 0 penetrasyon.

TR2789: 34,5/0,4 kV, 1000 kVA, yaklaşık 900 müşteri (% 90 mesken - % 10 ticarethane).

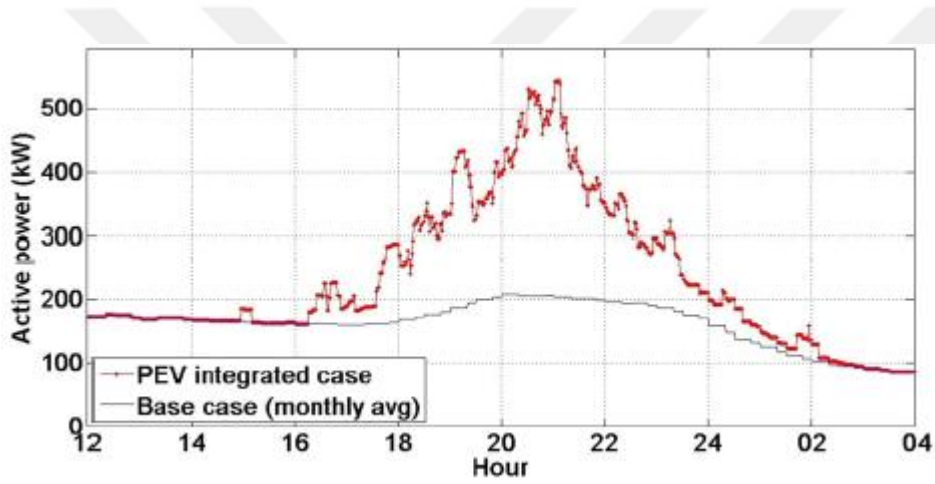
Analiz sonuçları incelendiğinde; elektrikli araçların şarj edilmesi esnasında, trafo yükleme grafiklerine göre önemli boyutlarda harmonikler oluştuğu ve şebekede voltaj dalgalanmaları meydana geldiği anlaşılmaktadır. Bu noktada, ihtiyaç duyulan şarj gücünün ve EA pazarındaki penetrasyon oranının, söz konusu yük profilindeki değişime doğrudan etkisi olduğu açık bir şekilde gözlemlenmiştir.

Aşağıda yer alan Şekil 7.18 – Şekil 7.23’te analiz sonuçları gösterilmektedir [37, 39]. Özellikle puant saatlerde yük profilinde ortaya çıkan pik seviyelerin, elektrik şebekesi açısından problem oluşturabilecek düzeyde olduğu gözlemlenmektedir.

Analiz sonuçları: %10 penetrasyon durumu

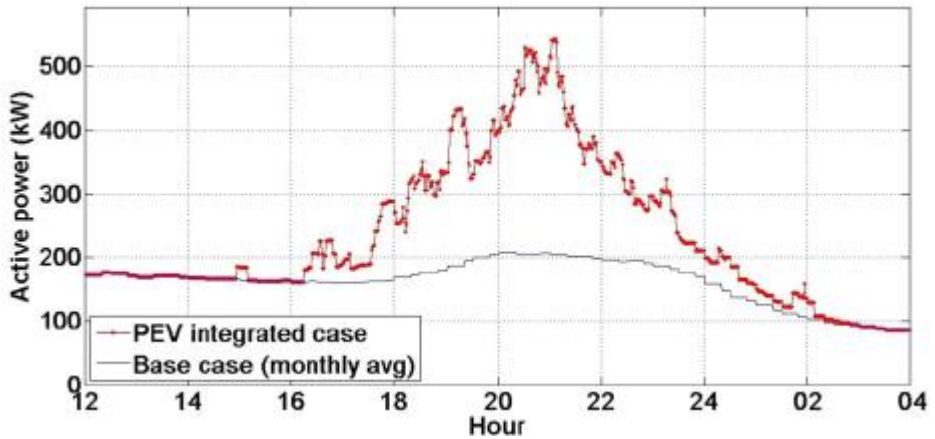


Şekil 7.18. % 10 EA penetrasyon (case 1) durumu için trafo yükleme sonucu [37, 39]

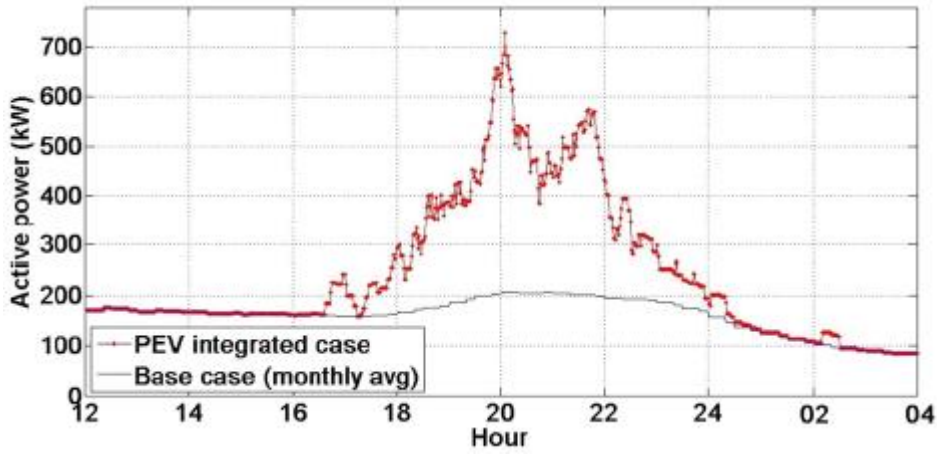


Şekil 7.19. % 10 EA penetrasyon (case 2) durumu için trafo yükleme sonucu [37, 39]

Analiz sonuçları: % 20 penetrasyon durumu

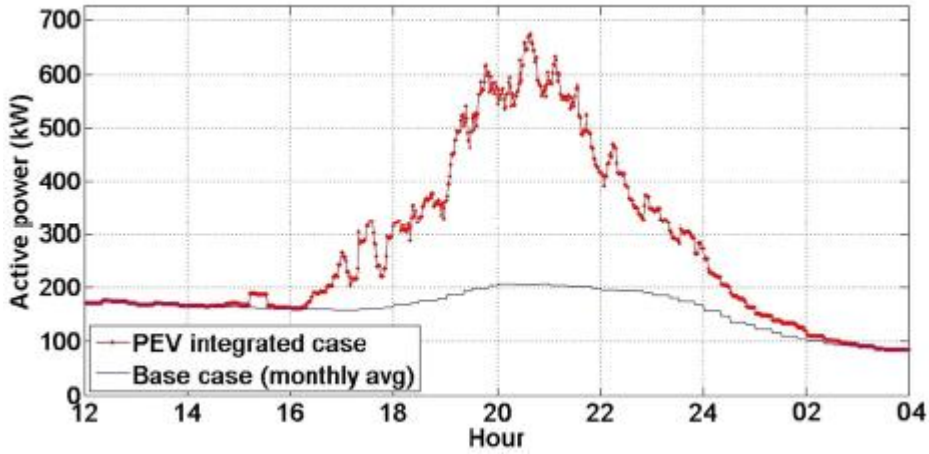


Şekil 7.20. % 20 EA penetrasyon (case 1) durumu için trafo yükleme sonucu [37, 39]

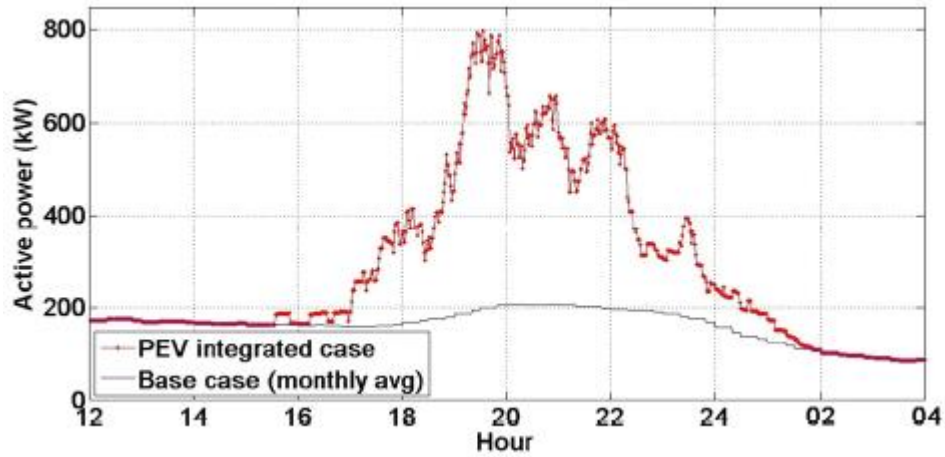


Şekil 7.21. % 20 EA penetrasyon (case 2) durumu için trafo yükleme sonucu [37, 39]

Analiz sonuçları: %30 penetrasyon durumu



Şekil 7.22. % 30 EA penetrasyon (case 1) durumu için trafo yükleme sonucu [37, 39]



Şekil 7.23. % 30 EA penetrasyon (case 2) durumu için trafo yükleme sonucu [37, 39]

Proje sonucu kapsamında, elde edilen bilgiler doğrultusunda elektrikli araçlar ve şebeke entegrasyonuna ilişkin olarak yapılan çıkarımlar ile yapılması gereken düzenlemelere dair öneriler Çizelge 7.9’da yer almaktadır.

Çizelge 7.9. Elektrikli araçların şebekeye entegrasyonuna ilişkin sonuçlar ve öneriler [37, 40]

	Mevzuat	Teşvikler	Yönetmelik	Teknik Kurallar
Siyasi-Resmi Otorite	<ul style="list-style-type: none"> • Strateji Belgesi Hazırlanmalı ve Hedefler Belirlenmeli • Genel Kanun ve Tamamlayıcı Düzenlemeler Yapılmalı 	<ul style="list-style-type: none"> • Doğrudan ve Dolaylı Mali Destek Verilmeli • Devlet Filolarında EA Kullanılmalı • Ar-Ge Desteği Verilmeli 		<ul style="list-style-type: none"> • Teknik Konuları Genel Olarak Tanımlayan Kanun Düzenlenmeli
Kurumlar, Üniversiteler, Ar-Ge Ens. vb.				<ul style="list-style-type: none"> • Halka Açık ve Kapalı Yerlerdeki Kurulum, İşletme, Test, Ödeme, Güvenlik vb. Konularla İlgili Kuralların Belirlenmeli
EPDK	<ul style="list-style-type: none"> • Elektrik Dağıtım ve Perakende Şirketlerinin Görevleri, Sorumlulukları, Şarj İstasyonlarının Özellikleri vb. Konularda İkincil Mevzuat Çalışmaları Tamamlanmalı 		<ul style="list-style-type: none"> • Elektrik Dağıtım ve Perakende Sektörünün Adaptasyonu İçin İlgili Yönetmelik Hazırlanmalı 	
Belediyeler	<ul style="list-style-type: none"> • Şehir Planlamasında EA Kullanımı İçin Yerel Kurallar Belirlenmeli • Halka Açık Park Alanlarından EA İçin Ayrı Tahsis Yapılmalı 	<ul style="list-style-type: none"> • EA İçin Öncelikli Yollar, Park Alanları vb. Oluşturulmalı • Belediye Filolarında EA Kullanılmalı 		
21 EDAŞ				<ul style="list-style-type: none"> • EA Şarj İhtiyacı ve Şebekeye Etkilerinin Teknik Analizi • Pilot Çalışmalar Yapılmalı

7.1.4. SEAS-akıllı enerji farkındalık sistemleri projesi

Akıllı enerji duyarlı sistem; kullanıcı davranış şeklini, enerji tüketimini ve enerji kaynağını, sistem ve koşulların semantik anlayışına bağlı olarak yarı-otomatik ya da otomatik olarak adapte etme yeteneğine sahip sistem olarak tanımlanabilir. Bina ve mikro şebekelerde, enerji verimliliği ve sürdürülebilirliğinin akıllı enerji duyarlı sistemler ile artırılması

amaçlanmaktadır. Özetle, söz konusu proje kapsamında tüketici ile sistem arasında otomatik olarak bilinçli ve şartların farkında olduğu bir dil oluşturulması hedeflenmektedir.

Projeye ilişkin genel bilgiler

Projeye ilişkin genel bilgiler Çizelge 7.10’da yer almakta olup, çalışmaların konsorsiyum halinde yürütüldüğü belirtilmektedir.

Çizelge 7.10. SEAS projesine ilişkin genel bilgiler [37]

Başlangıç Tarihi	05.02.2014
Bitiş Tarihi	31.01.2017
Süre	36 ay
Toplam Efor	269,4 Kişi-yıl
Toplam Bütçe	21.877.000 € (Başkent EDAŞ’ın bütçesi: 1.2 Milyon TL)
Konsorsiyum Lideri	CNR (GDF Suez Group)
<ul style="list-style-type: none"> ❖ 22 M€ Bütçe ❖ 7 Ülke, 34 Firma ❖ TÜBİTAK desteği ❖ Tüketicilerin enerji değer zincirine aktif katılımı ❖ Enerji Verimliliği ❖ Akıllı Bina& Mikro Şebeke 	<p>Türkiye Konsorsiyumu</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ INNOVA Bilişim Çözümleri AŞ. ➤ Başkent Elektrik Dağıtım AŞ. ➤ LNL Elektrik Elektronik Bilişim ➤ Defne Bilgi İşlem Ürünleri ➤ SimBT Simülasyon Bilim ve Teknolojileri

Projenin amacı

- Enerji arz-talep dengesinin semantik (anlam bilimi) modellemeler kullanılarak analiz edilmesiyle, sistem ve kullanıcı davranışlarının yönlendirilmesi,
- Tüketim merkezlerindeki enerji, ICT (bilgi ve iletişim teknolojileri) ve otomasyon sistemlerinin birlikte çalışabilirliğinin sağlanması,

- Enerji piyasa oyuncularının müşteri ve mikro şebeke katılımlarını sağlayacak, yeni iş modelleri ve çözümlerin araştırılması,
- Tüketim davranışlarının enerji maliyetleri, enerji kaynaklarının kullanılabilirliği, meteorolojik faktörlere bağlı olarak proaktif adaptasyonuna olanak sağlayan servislerin araştırılması ve geliştirilmesidir.

Projenin odak noktaları

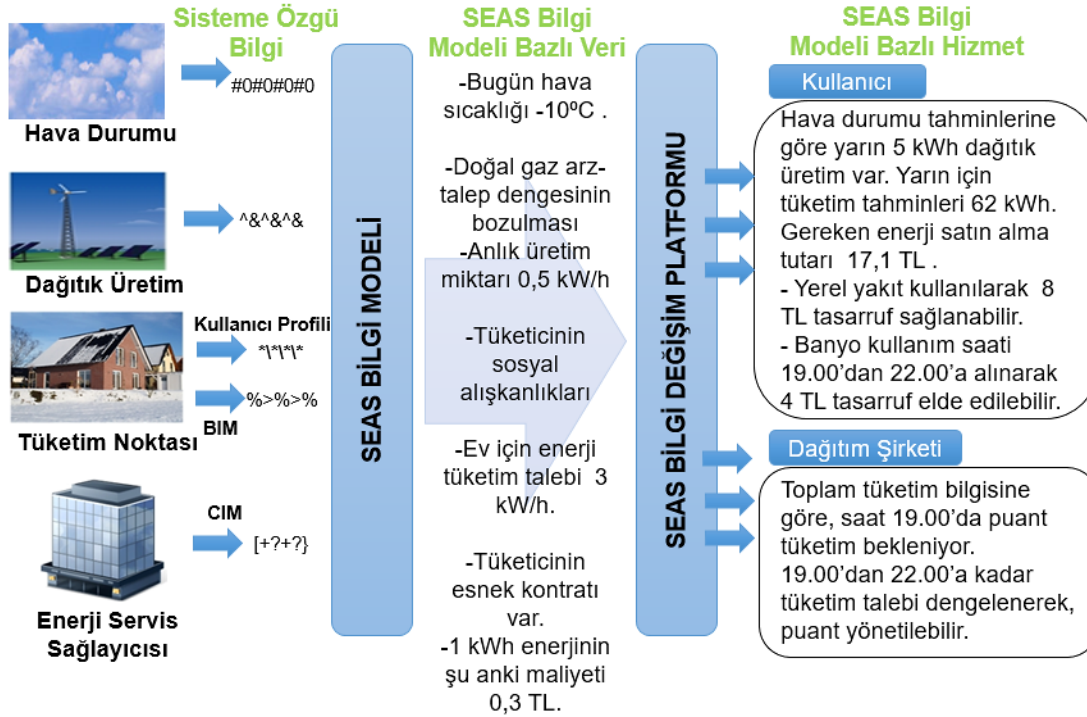
- Tüketicilerin enerji değer zincirine aktif katılımı,
- Ücret bilgisine, hava koşullarına ve enerji kaynaklarının uygunluğuna göre arz-talep dengesinin sağlanması,
- Enerji tedarik maliyetlerinin azaltılması,
- Etkin ve güvenilir bilgi akışını sağlayacak ICT servislerinin geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Projenin beklenen çıktıları

- SEAS bilgi modeli,
- SEAS bilgi değişim platformu,
- Bina ve mikro şebekelerde akıllı enerji duyarlı sistemlerin uygulanması,
- Simülasyonlar ve saha denemeleri,
- Standartların oluşturulması,
- Makale, patent.

SEAS örnek senaryosu

Şekil 7.24'te proje kapsamında örnek bir senaryo gösterilmektedir. Bu şekilde bir bilgi akış modeli oluşturulması ve uygulanabilir çözümlerin geliştirilmesi ile birlikte, tüketici tarafında enerji kullanımlarına ilişkin farkındalık oluşturulması ve yönlendirmenin sağlanmasına, mikro şebekeler aracılığıyla tüketim noktasına yakın yenilenebilir ve konvansiyonel dağıtık üretim ünitelerinin yaygınlaşmasına katkı sağlanacaktır.



Şekil 7.24. SEAS projesi örnek senaryo gösterimi [37]

Bu bağlamda geliştirilecek çözümlerin, enerji verimliliğinin artırılması ve sürdürülebilirlik için gerçekleştirilen araştırma ve geliştirme faaliyetlerine de önemli katkılarda bulunacağı öngörülmektedir. Böylelikle, yurtiçindeki enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanımı ile enerjide dışa bağımlılığın azaltılması hususunda fayda sağlanması amaçlanmaktadır.

7.2. Turkcell Akıllı Sayaç Simülasyonu ve Reaktif Ceza Önleme Çalışması

Akıllı şebeke teknolojileri ile birlikte, mevcut sistemlerde meydana gelen birçok önemli problemin ortadan kaldırılması mümkün olmaktadır. Söz konusu teknoloji adımlarından biri olan “Uzaktan Sayaç Okuma (OSOS)” hususu, sistemdeki cihazlar arasında haberleşmenin sağlanması noktasında çalışmalar yapan bir iletişim operatörü perspektifinden değerlendirilecek olursa:

- Kayıp/Kaçaklar önlenir,
- Kesme/Açma maliyeti sıfırlanır,
- Yanlış okuma maliyetleri ortadan kalkar,
- Okuma personelleri daha kalifiye biçimde kullanılır,

- Arızalı sayaçların güvenlik riski ve gelir kaybı engellenir,
- Sızıntı, yüksek tüketim, sayaca müdahale, düşük pil durumlarında anında alarm üretilir.

7.2.1. Akıllı sayaç simülasyon çalışması: Suyubol örnek şehri

Şehirlerin su şebekeleri üzerinde akıllı şebeke teknolojisini kullanmak sureti ile elde edilebilecek faydaları/tasarruf miktarlarını ortaya koymak amacıyla, iletişim operatörü tarafından genel su abone bilgileri kullanılarak bir simülasyon çalışması yapılmıştır [41].

- Şehir nüfusu (abone sayısı): 100.000
- Abone sayacından kaynaklanan kayıp-kaçak: %8
- Ortalama yıllık su geliri: 60 milyon TL

Çizelge 7.11. Su abone dağılımı ve bilgileri [41]

Ortalama Aylık Fatura Bedeli (TL)	Abone Oranı	Abone Sayısı	Ortalama Yıllık Gelir (TL)
15	% 41	41.000	7.380.000
30	% 36	36.000	12.960.000
80	% 18	18.000	17.280.000
300	% 4	4.450	16.020.000
800	% 0,4	400	3.840.000
1500	% 0,1	150	2.700.000
<i>Toplam =</i>	<i>% 100</i>	<i>100.000</i>	<i>60.180.000</i>

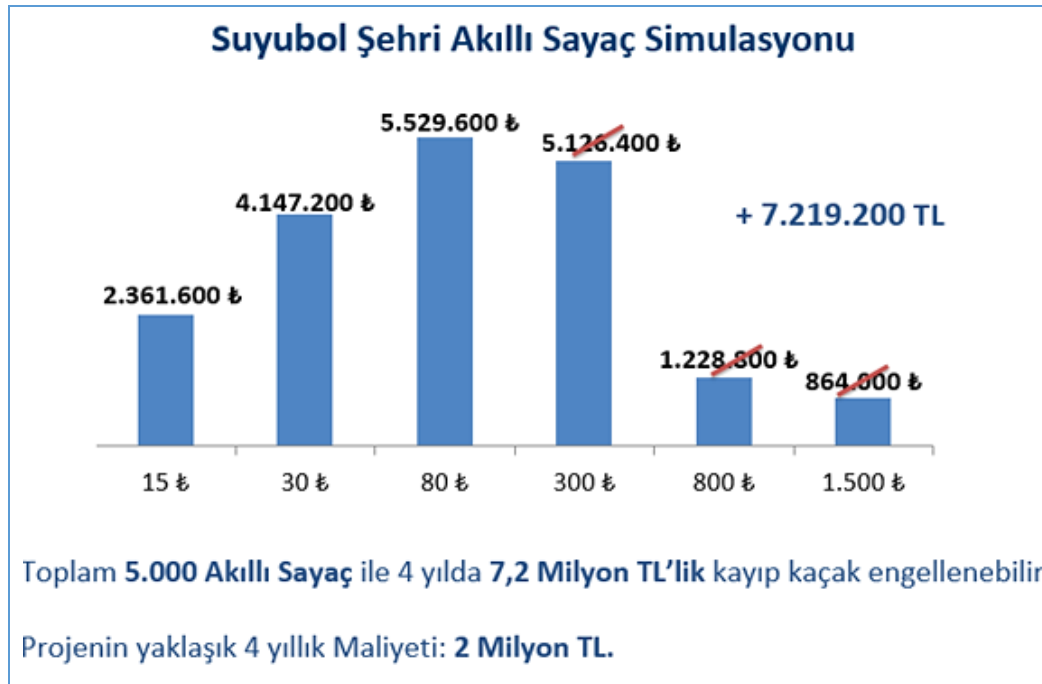
Abone sayısının % 4,5'i, toplam tahakkukun % 37'sine karşılık gelmektedir.

Çizelge 7.11'de görüldüğü üzere, abone sayısının yaklaşık %5'lik kısmı, toplam tahakkukun %37'sini oluşturmaktadır. Simülasyon çalışmasında, abone sayacından kaynaklanan ortalama kayıp-kaçak oranı %8 olarak alınmaktadır. Bu oran çerçevesinde ortaya çıkan sonuçlar 4 yıllık bedel olarak hesaplandığında, Çizelge 7.12'de belirtilen meblağlar ortaya çıkmaktadır. Söz konusu abone sayısından kaynaklı kayıp-kaçak bedeli ise 7.2 milyon TL olmaktadır.

Çizelge 7.12. Dört yıllık kayıp-kaçak su bedelinin hesaplama tablosu [41]

Ortalama Aylık Fatura Bedeli (TL)	Ortalama Yıllık Gelir (TL)	Ortalama Kayıp-Kaçak Oranı	4 Yıllık Kayıp-Kaçak Bedeli (TL)
15	7.380.000	% 8 x 4 yıl	2.361.600
30	12.960.000	% 8 x 4 yıl	4.147.200
80	17.280.000	% 8 x 4 yıl	5.529.600
300	16.020.000	% 8 x 4 yıl	5.126.400
800	3.840.000	% 8 x 4 yıl	1.228.800
1500	2.700.000	% 8 x 4 yıl	864.000
<i>Toplam =</i>	<i>60.180.000</i>		<i>19.257.600</i>

Şekil 7.25'te görüldüğü gibi abone sayısının yaklaşık % 5'ine tekabül eden sadece 5.000 mekanik sayacın akıllı sayaç ile değişimi sayesinde, 4 yılda 7,2 milyon TL kar elde edilmiş olacaktır. Proje ve sayaç maliyeti yaklaşık 2 milyon TL olup, 4 yılda net 5,2 milyon TL tasarruf/gelir elde edilmesi mümkün olmaktadır.



Şekil 7.25. Suyubol şehri simülasyon sonucu [41]

Simülasyon çalışmasında da anlaşıldığı üzere; akıllı şebeke teknolojileri, elektrik ve doğalgaz şebekesi uygulama çalışmalarında olduğu gibi şehirlerin su şebekelerine de uygulanabilir durumdadır. Böyle bir sistem entegrasyonu sağlandığı takdirde, ortaya çıkacak olan pozitif değerler bu simülasyonda açıkça görülebilmektedir. Akıllı şebeke su yönetimi ile elde edilebilecek değerler; su hattında kayıp-kaçak önleme, saha yönetimi, anlık sayaç okuma, sızıntı/kesinti takip, kuyu izleme, baraj/nehir seviye takip vb. olarak ifade edilebilir.

7.2.2. Reaktif cezayı önleme: Okullarda tasarruf projesi (APİS)

Alternatif akım ile beslenmekte olan bir sistem, kendi iç nitelikleri çerçevesinde devreden akım çekmektedir. Reaktif elektrik enerjisi, aktif (enerjiye dönüşen) elektrik enerjisinden hariç olarak, sistemin şebekeden çektiği ancak enerjiye dönüşmeyen, söz konusu iç tüketimde kullanılan elektriktir. Reaktif güç kompanzasyonu kullanıldığı takdirde ise sistem, reaktif elektrik çekimini minimuma indirmektedir.

Bağlantı sözleşme gücü, ilgili mevzuat ile belirlenmiş kapasite üzerinde olan (9kW üzeri için reaktif sayaç) işletmeler için TEDAŞ tarafından, reaktif elektrik kullanım oranına bir limit getirilmiştir. Bahse konu limit üzerinde elektrik tüketen aboneler, reaktif enerji tüketimleri aktif enerji tüketimlerinin yasal düzenleme ile belirlenmiş oranını aşarsa “Reaktif bedel” ödemek durumunda kalmaktadırlar. Elektrik faturasının tüketim fiyatı/bedeli satırında “endüktif/kapasitif” ve/veya “reaktif” başlıklı kısmında bir tutar yer alıyorsa, işletme reaktif cezası ödüyor demektir. Şekil 7.26’da reaktif cezalı ve cezasız elektrik faturası örnekleri karşılaştırmalı olarak yer almaktadır. (Elektrik fatura hesaplama metodolojisi ve ana maliyet kalemleri ilgili mevzuat kapsamında standart biçimde olsa da yıllara ve elektrik dağıtım bölgelerine/şirketlerine göre fatura görselinde/şablonunda farklılıklar görülebilmektedir.)

Reaktif enerji bedelleri, kompanzasyon sistemi olmayan ya da kompanzasyon sistemini takip edemeyen tüketiciler açısından her daim problemlidir. Birtakım tüketiciler kompanzasyon yapmamakta olup, bazı kullanıcılar ise kompanzasyonlarını profesyonel uygulama biçiminde yaptırmadıklarından ve bir kısım tüketiciler de bir defaya mahsus kompanzasyon yaptırılmasını yeterli bulduklarından dolayı, söz konusu problemleri devam ettirmektedir.

CEZALI FATURA ÖRNEĞİ

ELEKTRİK FATURASI				
BOĞAZICI ELEKTRİK DAĞITIM A.Ş. GENEL MÜDÜRLÜĞÜ		Fatura No./Tarih :		
Tesisat No:	Karne No:	Sıra No:	Tarife kodu:	İşletme kodu:
Sözleşme Gücü 50.000		İlk Okuma Tarihi 01/01/2003		Son Okuma Tarihi 01/02/2003
ÖRNEKTİR				
Sayacın No	Aktif Sayaç kWh	End.Reak.Say.KVARh	Kap.Reak.Say.KVARh	
Sayacı No	1	1	1	
İlk Endeks	6887	4067	2137	
Son Endeks	13370	6228	3434	
Tüketim Miktarı	6483	2161	1297	
Ek Tüketim(kWh)				
Birim Fiyat	154.250	77.125		
Tüketim Bedeli	1000002750	166667125		
	T1	T2	T3	
İlk Endeks				
Son Endeks				
Tüketim (kWh)	6483			
Ek Tüketim(kWh)				
Birim Fiyat				
Tük. Bed. (TL)				
Top. Tük. (kWh)		Mesken Aboneleri		
Dernant		Zamsız Birim Fiyatı		
Güç Asımı		Zamli Birim Fiyatı		
Güç Bedeli	4.000.000	Zamsız Tük.		
Güç Asım Bedeli		Zamli Tük.		
Bel. Tük. Vergisi	50.000.137	Tebliğ Tarihi	02/02/2003	
Muhtelif İlave		Tebliğ Saati	14.55.24	
Muhtelif Tenzil		İlk Od. Tarihi	04/02/2003	
K.D.V.	219.000.602	Son Od. Tarihi	19/02/2003	
Fatura Tutarı	1.435.670.614	Ekip No		
AVCILAR İŞL.MD. ARIZA TEL : 186 - (0212) 676 28 77-78-79				
KAÇAK İHBAR İÇİN : (0212) 235 32 92				
ARKA YÜZÜNDEKİ BANKA ŞUBELERİNE ÖDEMENİZİ YAPABİLİRSİNİZ				
Sayın Abonemiz, Ayrıca Geçmiş DönemdenTL Borcunuz Vardır. Elektrikli Kesilmeden Öceyiniz				

CEZASIZ FATURA ÖRNEĞİ

ELEKTRİK FATURASI				
BOĞAZICI ELEKTRİK DAĞITIM A.Ş. GENEL MÜDÜRLÜĞÜ		Fatura No./Tarih :		
Tesisat No:	Karne No:	Sıra No:	Tarife kodu:	İşletme kodu:
Sözleşme Gücü 50.000		İlk Okuma Tarihi 01/01/2003		Son Okuma Tarihi 01/02/2003
ÖRNEKTİR				
Sayacın No	Aktif Sayaç kWh	End.Reak.Say.KVARh	Kap.Reak.Say.KVARh	
Sayacı No	1	1	1	
İlk Endeks	6887	4067	2137	
Son Endeks	13370	6167	3434	
Tüketim Miktarı	6483	2100	1297	
Ek Tüketim(kWh)				
Birim Fiyat	154.250			
Tüketim Bedeli	1000002750			
	T1	T2	T3	
İlk Endeks				
Son Endeks				
Tüketim (kWh)	6483			
Ek Tüketim(kWh)				
Birim Fiyat				
Tük. Bed. (TL)				
Top. Tük. (kWh)		Mesken Aboneleri		
Dernant		Zamsız Birim Fiyatı		
Güç Asımı		Zamli Birim Fiyatı		
Güç Bedeli	4.000.000	Zamsız Tük.		
Güç Asım Bedeli		Zamli Tük.		
Bel. Tük. Vergisi	50.000.137	Tebliğ Tarihi	02/02/2003	
Muhtelif İlave		Tebliğ Saati	14.55.24	
Muhtelif Tenzil		İlk Od. Tarihi	04/02/2003	
K.D.V.	189.000.519	Son Od. Tarihi	19/02/2003	
Fatura Tutarı	1.239.003.407	Ekip No		
AVCILAR İŞL.MD. ARIZA TEL : 186 - (0212) 676 28 77-78-79				
KAÇAK İHBAR İÇİN : (0212) 235 32 92				
ARKA YÜZÜNDEKİ BANKA ŞUBELERİNE ÖDEMENİZİ YAPABİLİRSİNİZ				
Sayın Abonemiz, Ayrıca Geçmiş DönemdenTL Borcunuz Vardır. Elektrikli Kesilmeden Öceyiniz				

Şekil 7.26. Reaktif cezalı ve cezasız örnek elektrik faturası [110]

Bu çerçevede bir çalışma olan, iletişim operatörünün “Reaktif enerji servisi” ile reaktif bedel riski oluşmadan önce, uyarı alarmları SMS ve e-mail ile işletmeye iletilmektedir. Bu durumda, tüketicilere hem enerji tüketimlerini izleme ve analiz etme imkânı sağlanmakta hem de abonelerin reaktif ceza bedeli ödemeleri önlenmektedir.

Bursa Okullarda Tasarruf Projesi (APİS) kapsamında, iletişim operatörünün Bursa Yeşilyayla Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi ile yapmış olduğu çalışmada, bölge kalkınma ajansının fonu ile 20 devlet okulunda bir pilot çalışma gerçekleştirilmiştir. Söz konusu okulların bir yıldaki toplam 39.000 TL'lik reaktif ceza bedeli, oluşturulan işletme alarm sistemi ile ideal kompanzasyon uygulaması sonucunda 0 TL'ye indirilmiş ve önemli miktarda tasarruf sağlanmıştır [42].

7.3. Akıllı Sayaç Kurulumu ile Elektrik Şebekesindeki Kayıp-Kaçak Oranının Azaltılmasına ve Elde Edilecek Tasarruf Miktarının Hesaplanmasına Yönelik Senaryo Çalışması ve 2030 Projeksiyonları

Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı'nda, elektrik enerjisinde teknik ve teknik olmayan kayıp yüzdesinin yaklaşık % 5 düşürülmesi ve akıllı şebeke teknolojilerinin kullanılması ile elektrik iletim sisteminde enerji verimliliğinin yükseltilmesi amaçlanmaktadır [94]. ETKB 2015-2019 Stratejik Planı başta olmak üzere, ortaya konulmuş birçok resmi belgede/planda elektrik iletim ve dağıtım sistemindeki kayıp oranlarının düşürülmesi hedeflenmektedir [98, 99].

Tezin bu kısmına kadar yapılan araştırmalar ve ortaya konulan pilot proje/fizibilite çalışmaları incelendiğinde, akıllı şebeke uygulamaları ile söz konusu hedeflere ulaşılabileceği ve önemli miktarda tasarruf/fayda sağlanabileceği sonucuna ulaşılmaktadır [37, 62, 109, 110]. Çünkü akıllı şebeke uygulamaları ile elektrik enerjisi tüketim miktarları belli noktalarda gerçek zamanlı şekilde karşılaştırılarak, trafo ve mesken bazlı kaçak takibi sağlanabilmekte ve şebekedeki kayıp-kaçak oranı azaltılabilmektedir. Sistem kaynaklarının verimliliğinin artırılması bakımından da iyileşme sağlanmaktadır [46, 47, 63].

Bu çerçevede, akıllı şebeke teknolojileri ve akıllı sayaçların kurulumu ile elektrik şebekesindeki kayıp-kaçak oranının düşürülmesini, elde edilecek tasarruf miktarını ve gerekli yatırım tutarını sayısal bir biçimde gösterebilmek adına bir senaryo çalışması ve çeşitli projeksiyonlar ortaya konulmuştur. Microsoft Excel programında yapılan hesaplamalarda; Türkiye elektrik şebekesinin geçmiş yıllara ait kayıp-kaçak yüzdeleri, elektrik üretim-tüketim değerleri, enerji talebindeki artış durumu, elektrik abone sayısındaki artış, söz konusu hususlardaki resmi raporlarda yer alan hedefler ve Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD) ülkelerinde gerçekleşmiş kayıp-kaçak oranları dikkate alınmıştır [96, 97]. Senaryo çalışması kapsamında kullanılan veriler ve yapılan varsayımlar şunlardır:

- ✓ Elektrik enerjisi talebine ilişkin olarak, ETKB Türkiye Elektrik Enerjisi Talep Projeksiyonu Raporu'ndaki baz (normal) senaryoda yer alan veriler kullanılmıştır [45]. Buna göre, 2018'de 303,3 TWh olan talebin, 2030 yılında 481,7 TWh olacağı kabul edilmiştir.
- ✓ EPDK'nın Elektrik Piyasası Sektör Raporu'nda, 2018 sonu itibari ile 43.653.910 elektrik abonesi olduğu ve kullanıcı sayısının yılda % 3 civarında arttığı

belirtilmektedir [105]. Senaryo kapsamında, kurulacak akıllı sayaç adedine ilişkin olarak, yıllara göre abone sayısındaki bu artış göz önüne alınmış ve yeni abone sayısının yarısı miktarında akıllı sayaç kurulumu yapılacağı varsayılmıştır.

- ✓ Başkent EDAŞ pilot projeleri başta olmak üzere, gerçekleştirilmiş olan saha çalışmaları ile teknik testlerden elde edilen veriler ve dağıtım şirketi çalışanları ile yapılmış olan kişisel görüşmelerde ifade edilen bilgiler neticesinde, akıllı sayaç kullanımı sayesinde elektrik şebekesindeki kayıp-kaçak miktarında yaklaşık % 40 oranında düşüş sağlanabileceği anlaşılmıştır [37]. Bu noktada, senaryo içerisinde daha rasyonel bir yaklaşım olması bakımından, akıllı sayaç kullanılması ile sağlanacak iyileşme oranı % 35 olarak kabul edilmiştir.

Bahse konu verilerin ve yukarıda belirtilen varsayımların senaryo çerçevesinde Microsoft Excel programında işlenmesi/hesaplanması sonucunda, Çizelge 7.13'te yer alan projeksiyonlar/veriler elde edilmiştir.

Çizelge 7.13. Akıllı sayaç kurulumu ile elektrik şebekesindeki kayıp-kaçak oranının azaltılmasına ve elde edilecek tasarruf miktarının hesaplanmasına yönelik senaryo çalışmasında kullanılan varsayımlar ve elde edilen projeksiyonlar-1

Yıllar	Baz Senaryo (TWh)	Baz Senaryo Değişim (%)	Abone Sayısı	Kurulacak Akıllı Sayaç Adedi	Kayıp Oranı (%)
2018	303,3	0,0	43.653.910	0	14,50
2019	315,2	3,9	44.963.527	654.809	13,99
2020	329,6	4,6	46.312.433	674.453	13,48
2021	344,4	4,5	47.701.806	694.686	12,97
2022	359,6	4,4	49.132.860	715.527	12,46
2023	375,8	4,5	50.606.846	736.993	11,95
2024	392,1	4,3	52.125.051	759.103	11,44
2025	406,9	3,8	53.688.803	781.876	10,93
2026	421,8	3,6	55.299.467	805.332	10,42
2027	436,6	3,5	56.958.451	829.492	9,91
2028	451,7	3,5	58.667.205	854.377	9,40
2029	466,8	3,3	60.427.221	880.008	8,89
2030	481,7	3,2	62.240.037	906.408	8,38
Toplam				9.293.064	

- ✓ Akıllı sayaç ile önlenebilecek kayıp enerji miktarı hesaplanırken, ETKB Türkiye Elektrik Enerjisi Talep Projeksiyonu Raporu'ndaki baz senaryoda belirtilen değişim yüzdeleri esas alınmıştır [45]. Buna göre de yıllık tasarruf edilebilecek enerji miktarı hesap edilmiştir.
- ✓ Akıllı sayaç ile önlenebilecek kayıp enerji miktarı üzerinden, tahakkuk edilebilecek meblağ hesaplanmıştır. Bu noktada, EPDK'nın 1/7/2019 tarihi itibari ile geçerli olan güncel perakende elektrik satış tarifeleri esas alınmıştır. Söz konusu tarife tablosundaki alçak gerilim-tek terimli-tek zamanlı tarife üzerine güç bedeli ilave edilmiş fiyatlar kullanılmış ve sistem kullanıcılarının/abone gruplarının ortalaması birim fiyat olarak kabul edilmiştir.
- ✓ Buna ilave olarak, hesap edilmiş olan tahakkuk meblağına vergiler ve fonlar eklenerek ayrı bir hesap daha ortaya konulmuştur.
- ✓ Kurulacak akıllı sayaç maliyetine ilişkin olarak, haberleşme altyapısı ve yazılım dahil 225 Dolar tutarında bir varsayımda bulunulmuştur. Bu hususta, Uluslararası İstanbul Akıllı Şebekeler, Şehirler Kongre ve Fuarı'nda yapılmış olan görüşmelerdeki firma beyanları ve ürün fiyatları ile çeşitli literatür araştırmaları göz önünde bulundurulmuştur [111].

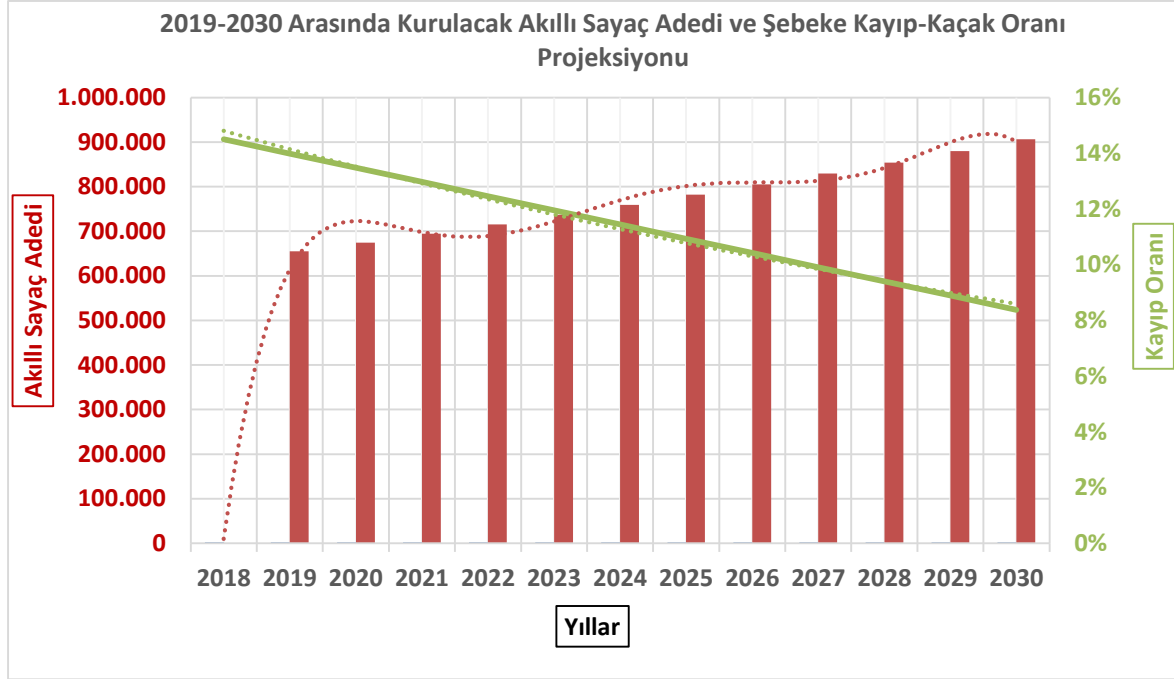
Söz konusu verilerin ve yukarıda belirtilen varsayımların senaryo çerçevesinde Microsoft Excel programında işlenmesi/hesaplanması sonucunda, Çizelge 7.14'te yer alan projeksiyonlar/veriler elde edilmiştir.

Çizelge 7.14. Akıllı sayaç kurulumu ile elektrik şebekesindeki kayıp-kaçak oranının azaltılmasına ve elde edilecek tasarruf miktarının hesaplanmasına yönelik senaryo çalışmasında kullanılan varsayımlar ve elde edilen projeksiyonlar-2

Yıllar	Akıllı Sayaç ile Önlenebilecek Kayıp Enerji Miktarı (TWh)	Tahakkuk Edilecek Meblağ (Milyar TL)	Vergi-Fon Dahil Tahakkuk Edilecek Meblağ (Milyar TL)	Kurulacak Akıllı Sayaç Maliyeti (Milyon \$)
2018	0,00	0,00	0,00	0,00
2019	1,58	0,81	1,00	147,33
2020	1,65	0,85	1,04	151,75
2021	1,72	0,89	1,09	156,30
2022	1,80	0,92	1,14	160,99
2023	1,88	0,97	1,19	165,82
2024	1,96	1,01	1,24	170,80
2025	2,03	1,05	1,29	175,92
2026	2,11	1,08	1,33	181,20
2027	2,18	1,12	1,38	186,64
2028	2,26	1,16	1,43	192,23
2029	2,33	1,20	1,48	198,00
2030	2,41	1,24	1,52	203,94
Toplam	23,91	12,30	15,13	2090,94

Yapılan senaryo çalışması ve projeksiyon sonuçlarına göre;

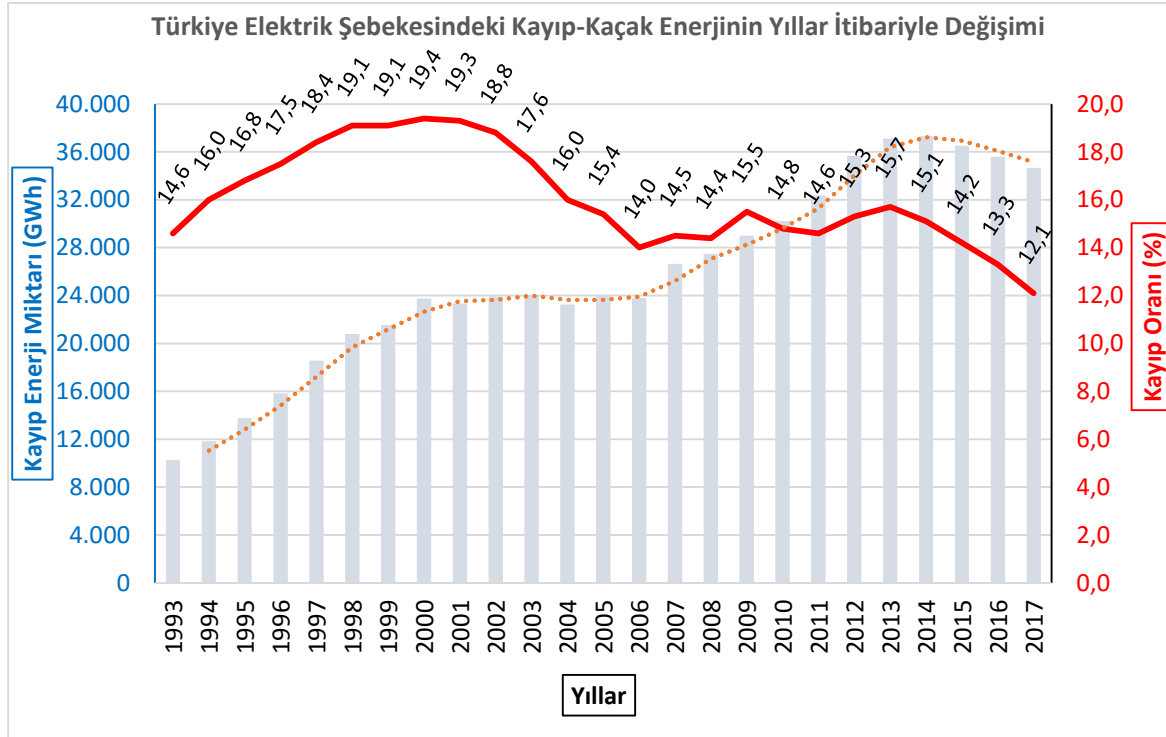
- ✓ 2019-2030 yılları arasında 9,29 milyon akıllı sayaç kurulumu ve yaklaşık 2,1 milyar Dolar akıllı sayaç yatırımı ile toplamda 23,9 TWh enerji tasarrufu sağlanabileceği,
- ✓ Elektrik şebekesindeki kayıp enerji oranının 2018 yılındaki % 14,50 değerinden 2030 yılında % 8,38'e düşürülebileceği ortaya konulmuştur (Şekil 7.27).
- ✓ Bu iyileşme sonucunda da 12,3 milyar TL tutarında tahakkuk edilebilecek bir meblağ hesap edilmiştir.
- ✓ Söz konusu tutara vergi ve fonlar ilave edildiğinde (nihai kullanıcı fiyatı), tahakkuk miktarı 15,1 milyar TL olmaktadır.



Şekil 7.27. 2019-2030 yılları arasında kurulacak akıllı sayaç adedi ve şebeke kayıp-kaçak oranı projeksiyonu

- ✓ Elde edilen sonuçlara göre; yapılacak yatırım tutarına ilişkin olarak güncel kur fiyatı dikkate alınarak basit bir geri ödeme hesabı yapıldığında, yaklaşık 11 yıllık geri ödeme (amortisman) süresi ortaya çıkmaktadır.

TEİAŞ verileri derlenerek hazırlanmış olan Şekil 7.28’de yer alan grafik incelendiğinde, 1993-2017 yılları arasında Türkiye elektrik şebekesindeki kayıp oranı ortalamasının % 16,1 olduğu görülmektedir. İçerisinde Türkiye’nin de bulunduğu OECD üyesi 34 ülkenin ortalama elektrik kayıp-kaçak oranı ise % 6,4’tür [111].



Şekil 7.28. Türkiye elektrik şebekesindeki kayıp-kaçak enerjinin yıllar itibariyle değişimi

- ✓ Söz konusu tablo ve hesaplamalar bir bütün olarak değerlendirildiğinde, akıllı sayaçların kullanılması/yaygınlaştırılması ile kayıp-kaçak oranında önemli ölçüde düşüş yaşanacağı ve elektrik şebekesinde ciddi anlamda enerji verimliliği sağlanacağı görülmüştür.
- ✓ Akıllı şebeke teknolojileri ile akıllı sayaçlar kullanılmaksızın, mevcut sistem şartlarında elektrik şebekesi faaliyetlerine devam edilirse, elektrik enerjisi kayıp oranlarında kayda değer bir iyileşme sağlanamayacağı sonucuna ulaşılmaktadır.
- ✓ Yapılan senaryo çalışmasında görüldüğü üzere, 2019-2030 yılları arasında toplam 9,29 milyon akıllı sayaç kurulumu yapıldığı takdirde bile elektrik şebekesi kayıp oranı % 8,38 olmaktadır.
- ✓ Senaryo hesaplamasında kabul edilen varsayımlar ve elde edilen sonuçlar dikkate alındığında; senaryodaki temel yaklaşım ile akıllı şebeke yatırımlarının gerçekleştirilmesi halinde, Türkiye'nin elektrik şebekesi kayıp oranında OECD ülkeleri ortalamasına ulaşabilmesi yaklaşık olarak 2034 yılında mümkün olabilmektedir.

7.4. Türkiye Elektrik Enerjisi Üretim-Tüketim Projeksiyonu ve Yenilenebilir Enerji Kullanımının Bu Projeksiyon İçerisindeki Değişim Senaryosu ile 2035 Projeksiyonları

Türkiye'nin ekonomi alanında büyüme göstermesi, nüfusun artması, sanayileşme ve hayat şartlarının iyileşmesine paralel olarak, enerji talebi de her yıl artış gösteren bir eğilim içerisindedir. Türkiye enerji talebinde trendin uzun vadede artış eğiliminde olacağı öngörülmekle birlikte, ülkenin ekonomisinde yaşanan gelişmelere göre de söz konusu talep artışındaki değişim oranı direkt olarak etkilenmektedir [45].

Artan tüketici talebini karşılamak için büyük fosil yakıtlı santraller yerine, çok sayıda ve şebeke içerisinde dağıtık konumlarda çevreci yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmaya başlanması, günümüzün enerji üretim eğilimidir [18, 49, 50]. Bu yenilenebilir kaynaklı üretimin giderek yaygınlaşması için ülkeler çeşitli teşvik paketleri yayımlamıştır ve kendi üretim portföylerinin belirli yüzdelere yenilenebilir kaynaklardan oluşturmak üzere uluslararası taahhütler vermişlerdir [29, 48].

Ancak, mevcut şebekeler teknik kısıtlar çerçevesinde, toplam üretim portföyünün yalnızca belli bir kısmının yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşabilmesine izin vermektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı şebeke güvenilirliği problemini de beraberinde getirmekte olup, bunların arasında yatırım maliyetinin düşük ve inşaa süresinin kısa olması sebebiyle en sık tercih edilen kaynak da rüzgar enerjisidir. Ayrıca, hidrolik ve güneş gibi diğer yenilenebilir enerji kaynakları da incelendiğinde, genel olarak bu kaynakların kesintisiz ve planlı elektrik üretimi sağlayan özellikte olmadığı görülmektedir [3-5].

Geleneksel şebekelerin teknik anlamda değişmesini zorlayan bu hususlar sonrasında, elektrik sistemi içerisinde dağıtık üretim-mikro şebekeler kavramı ortaya çıkmıştır. Bu noktada, akıllı şebeke yatırımları sayesinde anlık haberleşme sistemi ile aşırı hat yüklerini analiz edebilen, enerji akış yönlerini düzenleyebilen, yenilenebilir kaynaklardan daha fazla yararlanılması bakımından şebekede gerekli optimizasyonu sağlayabilen ve tüketici maliyetlerini daha aza indirgeyen çevre odaklı bir elektrik sistemi meydana gelmesine imkan sağlanacaktır [17, 47].

Bu kapsamda, Türkiye’de gelecek yıllardaki muhtemel elektrik enerjisi üretim-tüketim değerlerini, ülkenin ekonomik büyüme endeksine göre enerji talebindeki değişimi, ülkenin yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik üretim miktarını ve üretimdeki yenilenebilir enerji oranını sayısal bir biçimde hesaplayabilmek ve bulunan sonuçlar çerçevesinde akıllı şebekenin önemini ifade edebilmek adına bir senaryo çalışması ve çeşitli projeksiyonlar ortaya konulmuştur.

Microsoft Excel programında yapılan hesaplamalarda; Türkiye elektrik şebekesinin geçmiş yıllara ait elektrik üretim-tüketim değerleri, Türkiye’nin resmi ekonomik büyüme oranları, enerji talebindeki artış yüzdeleri, önceki yıllara ait yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik üretim miktarları, söz konusu hususlardaki resmi belgelerde yer alan hedefler, gerçekleştirilmiş olan Yenilenebilir Kaynak Alanları (YEKA) ihaleleri ve yapım aşamasında olan nükleer enerji santrali dikkate alınmıştır [89, 90, 92, 94]. Senaryo çalışması kapsamında kullanılan veriler ve yapılan varsayımlar şunlardır:

- ✓ Ticaret Bakanlığı’nın Ekonomik Görünüm Haziran 2019 Raporu’na göre, 2003-2018 döneminde Türkiye ekonomisinde yıllık ortalama % 5,5 oranında büyüme kaydedilmiştir [112]. Yapılan hesaplamalarda bu oran üzerinden varsayımda bulunulmuştur.
- ✓ Elektrik enerjisi üretim-tüketim değerlerine ilişkin olarak, ETKB Türkiye Elektrik Enerjisi Talep Raporu’nda yer alan enerji talep değişimleri kullanılmış ve bu veri ile Türkiye’nin resmi büyüme oranları arasında korelasyon sağlanarak 2035 yılına kadar bir talep projeksiyonu ortaya konulmuştur.
- ✓ Söz konusu projeksiyon kapsamında da elektrik üretimi ve elektrik talebine (tüketimi) ilişkin olarak 2035’e kadar yıllar bazında hesaplama yapılmıştır.
- ✓ Türkiye yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik olarak, ETKB Elektrik Enerji Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesi’nde yer alan 2023’te elektrik enerjisinin minimum % 30 oranında yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmesi hedefi dikkate alınmıştır [89].
- ✓ Yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik üretimi miktarı hesaplanırken; geçmiş yıllardaki üretim miktarları, enerji talebindeki değişim ve ülkenin büyüme oranı dikkate alınmıştır [90].

- ✓ Buna ilave olarak, Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı'nda yer alan 2023 hedefleri göz önünde bulundurulmuştur. Söz konusu planda, 2023'te 159 TWh yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik üretimi sağlanması hedeflenmektedir [94].
- ✓ Ayrıca, YEKA modeli kapsamında yakın tarihlerde ihaleleri gerçekleştirilmiş ve önümüzdeki yıllarda inşası planlanmış olan 1.000 MW rüzgar, 1.000 MW güneş ve 4 adet 250 MW'lık rüzgar enerjisi kaynaklı elektrik üretim santralleri de senaryo çerçevesinde hesaplamada göz önünde bulundurulmuştur.
- ✓ İlaveten, elektrik üretim santralleri içerisinde önemli bir yere sahip olacağı ve enerji üretim-tüketim istatistikleri açısından ciddi bir etki oluşturacağı düşüncesi ile Mersin-Akkuyu'da yapımı devam eden nükleer enerji santrali de hesaplamalara dahil edilmiştir.
- ✓ Söz konusu nükleer enerji santralinin projesi, 4 adet 1.200 MW'lık üniteler şeklinde tasarlanmıştır [113]. Yapılan senaryo çalışmasında, temkinli bir yaklaşım ile ilk ünitenin 2024 yılında devreye alınacağı, diğer ünitelerin ise ikişer yıl ara ile inşa edileceği varsayılmıştır.
- ✓ Yıllar bazında elektrik üretim değerleri hesaplanırken, şebekeye yeni eklenecek santrallerin muhtemel enerji üretim hesaplamalarında kapasite faktörleri; nükleer enerji santrali için % 90, rüzgar enerjisi santrallerinde % 35 ve güneş enerjisi santrallerinde ise % 18 olarak kabul edilmiştir [113].

Bahse konu verilerin ve yukarıda belirtilen varsayımların senaryo çerçevesinde Microsoft Excel programında işlenmesi/hesaplanması sonucunda, Çizelge 7.15'te yer alan projeksiyonlar/veriler elde edilmiştir.

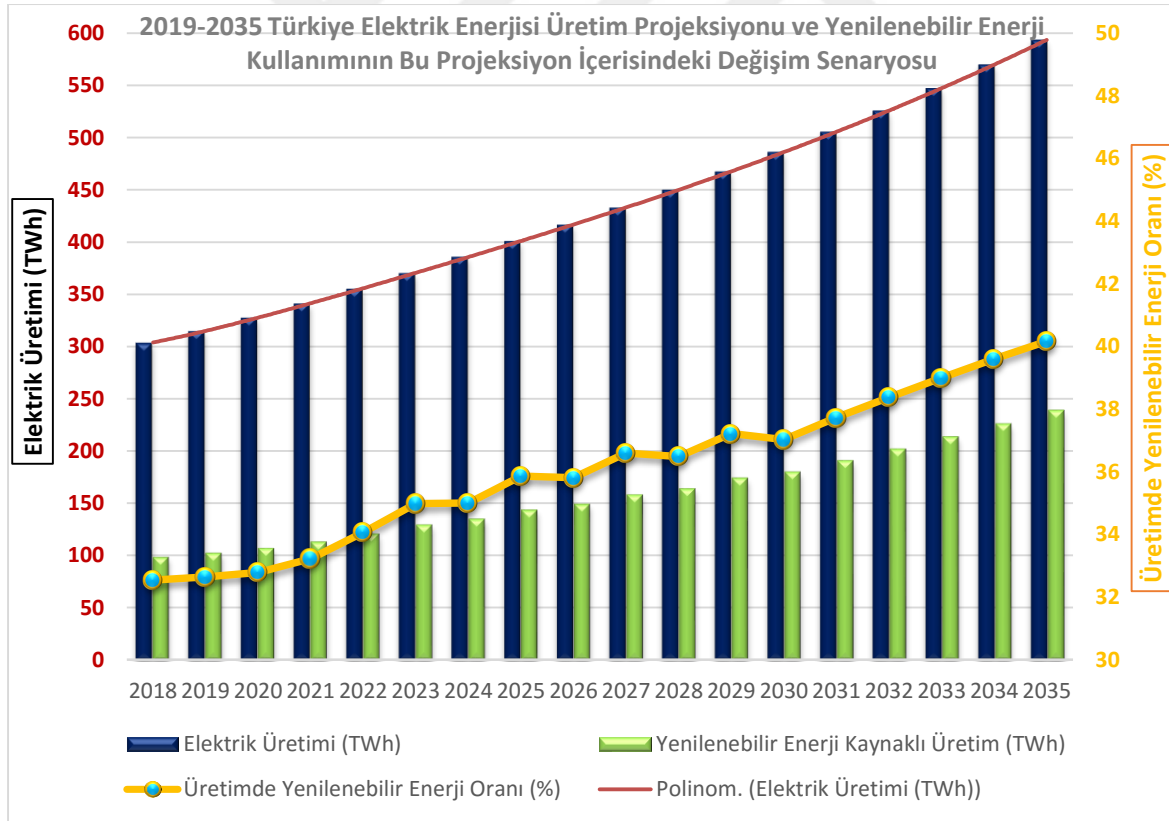
Çizelge 7.15. Türkiye elektrik enerjisi üretim-tüketim projeksiyonu ve yenilenebilir enerji kullanımının bu projeksiyon içerisindeki değişim senaryosu kapsamında kullanılan varsayımlar ve elde edilen projeksiyonlar

Yıllar	Ülkenin Büyüme Oranı (%)	Elektrik Talep Değişimi (%)	Elektrik Üretimi (TWh)	Elektrik Talebi (Tüketimi) (TWh)	Yenilenebilir Enerji Kaynaklı Üretim (TWh)	Üretimde Yenilenebilir Enerji Oranı (%)
2018	2,87	0	303,89	303,28	98,89	32,54
2019	3,03	3,9	314,86	314,23	102,76	32,64
2020	3,19	4,6	327,87	327,21	107,50	32,79
2021	3,37	4,5	341,39	340,70	113,44	33,23
2022	3,56	4,4	355,45	354,73	121,11	34,07
2023	3,75	4,5	370,55	369,81	129,66	34,99
2024	3,96	4,3	386,06	385,29	135,16	35,01
2025	4,17	3,8	401,22	400,41	143,87	35,86
2026	4,40	3,6	416,74	415,90	149,25	35,81
2027	4,65	3,5	432,92	432,05	158,44	36,60
2028	4,90	3,5	450,09	449,19	164,26	36,49
2029	5,17	3,3	467,75	466,81	174,11	37,22
2030	5,46	3,2	486,24	485,26	180,06	37,03
2031	5,76	3,1	505,62	504,60	190,79	37,73
2032	6,07	3,0	525,97	524,91	201,86	38,38
2033	6,41	2,9	547,37	546,27	213,48	39,00
2034	6,76	2,8	569,92	568,77	225,67	39,60
2035	7,13	2,7	593,72	592,53	238,50	40,17
Ortalama	4,70	3,6	433,20	432,33	156,23	36,07

Yapılan senaryo çalışması ve projeksiyon sonuçlarına göre;

- ✓ 2019-2035 yılları arasında, Türkiye ekonomisinin yıllık ortalama % 4,7 oranında büyüme sağlayacağı, bu büyümeye paralel olarak da elektrik talebinde yıllık ortalama % 3,6 oranında artış yaşanacağı ortaya konulmuştur.
- ✓ Projeksiyon çalışmasına göre, 2035 yılında Türkiye elektrik enerjisi üretiminin 593,72 TWh ve elektrik enerjisi talebinin (tüketiminin) ise 592,53 TWh olacağı hesaplanmıştır (Şekil 29). Planlanan-varsayılan yatırımlar yapıldığı takdirde, elektrik enerjisi arzında problem yaşanmayacağı sonucuna ulaşılmaktadır.

- ✓ Ülkenin yenilenebilir kaynaklarının kullanılmasına ilişkin olarak; ETKB Elektrik Enerji Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesi'nde yer alan 2023'te elektrik enerjisinin en az % 30 oranında yenilenebilir kaynaklardan üretilmesi hedefinin gerçekleştirilebilir olduğu, bununla birlikte Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı'nda yer alan 2023'te 159 TWh yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik üretimi hedefinin gerçekleşmesinin mümkün olmadığı sonucuna varılmıştır.
- ✓ Projeksiyona göre; 2019-2035 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik üretim miktarı her yıl önemli ölçüde artış gösterirken, 2024 yılı itibari ile nükleer enerji santral ünitelerinin devreye alınmasıyla birlikte, toplam elektrik üretimi içindeki yenilenebilir oranının artış hızında yavaşlama meydana gelmektedir.
- ✓ 2035 yılında, yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik üretim miktarının 238,5 TWh olacağı ve toplam üretimdeki yenilenebilir enerji oranının % 40 seviyesine ulaşacağı hesap edilmiştir (Şekil 29).



Şekil 7.29. 2019-2035 Türkiye elektrik enerjisi üretim projeksiyonu ve yenilenebilir enerji kullanımının bu projeksiyon içerisindeki değişim senaryosu

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünyadaki akıllı şebeke çalışmaları incelediğinde, 2000’li yıllardan beri yapılmakta olan planlamalar ile mevcut durumdaki bazı projeler ve uygulamalar gözlemlenmektedir. Birçok ülkede yatırım planlamaları tamamlanmış, akıllı sayaçlar, akıllı şehirler modeli vb. çalışmalarla bu konuda önemli ölçüde yol almışlardır. Türkiye’de de ivedilikle bu minvalde çalışmalara devam edilmesi ve enterkonnekte sistemin akıllı şebeke teknolojileri ile entegre hale getirilmesi önem arz etmektedir. Sistem olarak Türkiye’ye benzerlik gösteren İtalya, Almanya gibi Avrupa devletleriyle kademeli programlar yapmış olan Güney Kore, Brezilya vb. ülkeler örnek alınarak doğru pilot çalışmalar yapılmasının birçok yarar sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu bağlamda, en önemli unsurlardan biri de akıllı şebeke sisteminin kurulması için yerli ürün ve projeler geliştirilmesidir. İhtiyaç duyulan Ar-Ge çalışmalarının ve yerli imalatın gerçekleşmediği bir süreçte, ithal ürünlerin fiyatına göre hareket etmek durumunda kalınacaktır ki bu da farklı sorunları beraberinde getirmektedir (Cari açığa artış, fiyatların düşmesini bekleme ve sonucunda zaman kaybetme, dışa bağımlı olma vb.). Sonuç olarak, şebekenin/sistemin bu evrilmeyi yaşamamasının kaçınılmaz olduğu ve sürecin ülke öz kaynakları ile yönetilmesinin en ideal tercih olacağı değerlendirilmektedir.

Akıllı şebeke çalışmalarına dair yapılan çalışmalara geniş bir ölçekte bakıldığında görülmüştür ki; bu alanda verilecek olan kararlar hem milli güvenlik hem de ülke ekonomisi açısından ciddi sonuçları ve gelişmeleri de beraberinde getirecektir. Bazı ülkelerde akıllı şebekeler “smart and strong grid” olarak adlandırılmaktadır. Yani haberleşme/internet bağlantıları ile dışarıdan erişime açık hale gelen şebekenin/sistemin, siber saldırılara, dış etkenlere karşı güçlü ve sağlam bir yapıda tasarlanmış olması zorunlu bir durumdur. Bu bakış açısından hareketle; gerek milli güvenliğin sağlanmasını gerekse yerli üretimin/yerli firmaların desteklenmesini teminen, “Yerli Ar-Ge Modeli” şeklinde bir konsept belirlenmesinin, ülke adına faydalı olacağı sonucuna ulaşılmaktadır.

Örneğin; kamu kurumları/kuruluşları çatısı altında yürütülen çalışmalarda, belli bir mal-hizmet alımı noktasında “Yerli Ar-Ge İhalesi” ilan edilir ve yarışmaya katılacak firmalarda spesifik özellikler aranır. Başka bir metot olarak ise yenilenebilir enerji kaynak alanları

modeli vb. uygulamalar örnek alınarak, yatırımcıya yer tahsisi ve birtakım kolaylıklar sağlanıp, buna karşılık ilgili şartnamede yerli/yurtiçi teknoloji gelişimine esas teşkil edecek düzenlemelere yer verilir. Başvuru sahiplerinden şu özellikleri sağlaması talep edilebilir:

- ✓ Şirketin/Firmanın ana merkezi Türkiye’de olacak.
- ✓ Şirketin/Firmanın Türkiye’de x mühendis sayısı olacak.
- ✓ Şirket/Firma Türkiye’de x adet/yıl kapasiteli üretim bandı oluşturacak.
- ✓ Şirketin/Firmanın Ar-Ge merkezi Türkiye’de olacak vb.

Yarışma sonucunda, yükümlülükleri sağlayan firmaların hepsine de Ar-Ge ödeneği verilir. Daha sonra bu firmalardan, belirlenen özelliklerde (üretilecek akıllı sayaçlarda en az % 80 yerli teknoloji kullanılmış olması vb.) pilot projeler/çalışmalar gerçekleştirmeleri istenir. Söz konusu firmalar, belirlenen süre boyunca denetime tabi tutulur. Nihai aşamaya gelindiğinde, kazanan firmaya temsili alım garantisi verilir. Misalen; yerli akıllı sayaç ihalesi sonucunda yeterliliği sağlayan ve Ar-Ge çalışmaları sonucunda başarılı olan firmadan, ülke genelinde değiştirilecek olan elektrik sayacı adedinin % 5’i alım garantisi kapsamında tedarik edilir. Böylece, teknoloji yoğun bir ürüne dair yerli imalat bandı oluşturulması ve alım garantisi ile de ilgili firmaya can suyu verilmesi sağlanacaktır. Alım garantisinin temsili oranlarda tutulması ve yapılacak olan yarışma detaylarının özenli bir şekilde belirlenmesi ile uluslararası hukuktan doğan yükümlülükler/engeller de aşılmış olacaktır.

Ulusal ölçekte söz konusu projelerin hayata geçirileceği vakitte ve yol haritası ilan edildiğinde, muhakkak “yerli imalat, yerli ürünlerin kullanılması, bu ürünlerin teşvik edilmesi, söz konusu teknolojik ekipmanları kullanabilir personel yetisi için eğitim programları” ve bu kapsamdaki hususların, yol haritası içerisinde öncelikli başlıklar altında yer alması zaruridir. Buna ilaveten, bahse konu teknolojilerin uygulanması sıfırdan başlanıp yaratılamayacağı gibi tepeden inme bir şekilde de olmayacaktır. Mevcut şebeke, yıllar içinde ve yapılan planlar çerçevesinde evrilerek, hedeflenen akıllı şebeke yapısına dönüşecektir.

Tez çalışması kapsamında, çeşitli kaynaklardan detaylı literatür taraması yapılmış ve akıllı şebeke alanında gerçekleştirilmiş pilot proje çalışmaları/saha uygulamaları incelenmiş olup, bu çerçevede elde edilen sonuçlar, önemli bulgular özetlenerek aşağıda verilmektedir:

- Akıllı şebeke teknolojilerinin gelişim trendleri incelendiğinde, dünya genelinde farklılıklar meydana geldiği gözlemlenmiştir. Şebeke alt yapısının kurulması/geliştirilmesi ve teknoloji seçimleri aşamasında; “ülkelerin politik/teknik öncelikleri, sistemsal sorunları, coğrafi koşulları ve finansal unsurları”, söz konusu gelişim trendini etkileyen en önemli faktörler olarak sıralanmaktadır.
- Ülkelerin kendi sektörel şartları, yatırım maliyetleri, öncelikli olarak istenilen özellikleri, fiziki şartları vb. durumları değerlendirerek teknoloji seçimleri yaptığı anlaşılmıştır. Almanya, Hollanda vb. ülkeler, veri iletim kapasitesi ve işletme maliyeti bakımından avantajlı bir haberleşme teknolojisi olan PLC’yi tercih ederken, İngiltere ve A.B.D. gibi iletim mesafelerinin uzun olduğu ve yerleşkenin daha geniş bir alana yayıldığı ülkelerde, GPRS veya RF teknolojilerinin tercih edildiği ve bunun daha ideal bir seçim olduğu sonucuna varılmıştır.
- AB ülkelerinde, fayda-maliyet analizi çalışmalarının Eylül 2012’ye kadar tamamlanarak, olumlu sonuçlanan ülkelerde “akıllı sayaç sistemlerinin 2020 yılı itibari ile yüzde 80 seviyesinde yaygınlaştırılması” şeklinde bir hedef ortaya konulmuştur. Buna göre, 16 ülke AB yaygınlaştırma planını onaylamış ve kurulum zaman planlarını oluşturmuşlardır. Bununla birlikte, bazı AB ülkelerinde, düşük tüketimli mesken tüketicileri için akıllı şebeke yatırımlarının uzun vadede geri dönüş sağlayacağı, bu yüzden AB yaygınlaştırma senaryosunun negatif çıktığı anlaşılmıştır.
- Söz konusu yaygınlaştırma kapsamında, 2009/72/EC direktifinde belirtilen “Asgari 10 Temel Akıllı Sayaç Fonksiyonel Gereksinim Listesi” tez içerisinde irdelenmiş olup, bu listenin Türkiye’de yapılacak olan çalışmalar için iyi bir örnek teşkil edeceği tespit edilmiştir.
- Genişleme ve kurulum noktasında, elektrik şebekesinin ulaştığı her yere ulaşabilme ve mevcut hatları kullanabilme olanağı bakımından, PLC teknolojisi diğer haberleşme yöntemlerine göre bir adım öne çıkmaktadır. Şu an PLC teknolojisinin gelişmekte olması ve genel bir uygulama şeklinin kabul edilmemesi nedeniyle, çeşitli altyapıya haiz protokoller ile standartlar yayımlanmaktadır. Özellikle bu protokollerin beraber çalışabilirlik özellikleri geliştirildikçe, tercih edilen protokol sayısında azalma olacağı ve en ideal sistemin oluşacağı anlaşılmaktadır.
- Akıllı sayaç sistemlerinin performansının, haberleşme teknolojisi altyapısına bağlı olarak değişkenlik gösterdiği gözlemlenmiştir. Yapılan pilot çalışmalara ve teknolojilerin nümerik analizlerine göre; şehir merkezleri gibi yoğun, gürültülü ve

kalabalık alanlar için “PLC Yeraltı Hattı Uygulaması”, açık görüşün olduğu kırsal ve geniş/dağınık alanlarda ise “RF Havai Hat Uygulaması” teknolojisinin daha avantajlı ve optimum tercihler olacağı sonucuna ulaşılmıştır.

- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2015 - 2019 yılları Stratejik Planı kapsamında, elektrik iletim-dağıtım sistemindeki kayıp oranlarının düşürülmesi hedeflenmektedir. Bu noktada, yapılan pilot projeler ve akıllı sayaç fizibiliteleleri incelendiğinde, akıllı şebeke uygulamaları ile bu hedefe ulaşılabileceği ve ciddi miktarda tasarruf/fayda sağlanabileceği sonucuna ulaşılmaktadır. Çünkü elektrik tüketim miktarları belli noktalarda gerçek zamanlı şekilde kıyaslanarak, trafo ve mesken bazlı kaçak takibi sağlanacak ve elektrik kayıp-kaçak oranı azaltılabilecektir.
- Başkent EDAŞ elektrikli araç pilot proje sonuçları incelendiğinde; elektrikli araçların şarj edilmesi esnasında, trafo yükleme grafiklerine göre önemli boyutlarda harmonikler oluştuğu ve şebekede voltaj dalgalanmaları meydana geldiği anlaşılmaktadır. Bu noktada, ihtiyaç duyulan şarj gücünün ve elektrikli araç pazarındaki penetrasyon oranının, söz konusu yük profilindeki değişime doğrudan etkisi olduğu açık bir şekilde gözlemlenmiştir. Özellikle puant saatlerde yük profilinde ortaya çıkan pik seviyelerin, elektrik şebekesi açısından ciddi problem oluşturabilecek düzeyde olduğu sonucuna varılmıştır.
- Simülasyon çalışmasında da görüldüğü üzere, akıllı şebeke teknolojilerinin, elektrik şebekesi uygulama çalışmalarında olduğu gibi şehirlerin su şebekelerine de uygulanabilir durumda olduğu gösterilmiştir. Akıllı şebeke su yönetimi ile elde edilebilecek değerler; su hattında kayıp-kaçak önleme, saha yönetimi, anlık sayaç okuma, sızıntı/kesinti takip, kuyu izleme, baraj/nehir seviye takip vb. olarak belirtilmiştir.
- Akıllı sayaç ile elektrik şebekesindeki kayıp-kaçak oranının azaltılmasına yönelik yapılan senaryo çalışması sonucunda; 2019-2030 yılları arasında 9,29 milyon akıllı sayaç kurulumu ve yaklaşık 2,1 milyar Dolar akıllı sayaç yatırımı ile toplamda 23,9 TWh enerji tasarrufu sağlanabileceği ve elektrik şebekesindeki kayıp enerji oranının 2018 yılındaki % 14,50 değerinden 2030 yılında % 8,38'e düşürülebileceği ortaya konulmuştur. Bu iyileşme sonucunda da 12,3 milyar TL tutarında tahakkuk edilebilecek bir meblağ hesap edilmiştir. Söz konusu tutara vergi ve fonlar ilave edildiğinde (nihai kullanıcı fiyatı), tahakkuk miktarı 15,1 milyar TL olmaktadır.

- Yapılan senaryo çalışmasında görüldüğü üzere, 2019-2030 yılları arasında toplam 9,29 milyon akıllı sayaç kurulumu yapıldığı takdirde bile elektrik şebekesi kayıp oranı % 8,38 olmaktadır. Senaryo hesaplamasında kabul edilen varsayımlar ve elde edilen sonuçlar dikkate alındığında; senaryodaki temel yaklaşım ile akıllı şebeke yatırımlarının gerçekleştirilmesi halinde, Türkiye'nin elektrik şebekesi kayıp oranında OECD ülkeleri ortalamasına ulaşabilmesi yaklaşık olarak 2034 yılında mümkün olabilmektedir.
- Türkiye elektrik enerjisi üretim-tüketim projeksiyonu ve yenilenebilir enerji kullanımının bu projeksiyon içerisindeki değişim senaryosu kapsamında yapılan çalışma sonucunda; 2019-2035 yılları arasında, Türkiye ekonomisinin yıllık ortalama % 4,7 oranında büyüme sağlayacağı, bu büyümeye paralel olarak da elektrik talebinde yıllık ortalama % 3,6 oranında artış yaşanacağı ortaya konulmuştur.
- Projeksiyon çalışmasına göre, 2035 yılında Türkiye elektrik enerjisi üretiminin 593,72 TWh ve elektrik enerjisi talebinin (tüketiminin) ise 592,53 TWh olacağı hesaplanmıştır. Planlanan-varsayılan yatırımlar yapıldığı takdirde, elektrik enerjisi arzında problem yaşanmayacağı sonucuna ulaşılmaktadır.
- Ülkenin yenilenebilir kaynaklarının kullanılmasına ilişkin olarak; ETKB Elektrik Enerji Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesi'nde yer alan 2023'te elektrik enerjisinin en az % 30 oranında yenilenebilir kaynaklardan üretilmesi hedefinin gerçekleştirilebilir olduğu, bununla birlikte Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı'nda yer alan 2023'te 159 TWh yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik üretimi hedefinin gerçekleşmesinin mümkün olmadığı sonucuna varılmıştır.
- Projeksiyona göre; 2019-2035 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik üretim miktarı her yıl önemli ölçüde artış gösterirken, 2024 yılı itibari ile nükleer enerji santral ünitelerinin devreye alınmasıyla birlikte, toplam elektrik üretimi içindeki yenilenebilir oranının artış hızında yavaşlama meydana gelmektedir.
- 2035 yılında, yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik üretim miktarının 238,5 TWh olacağı ve toplam üretimdeki yenilenebilir enerji oranının % 40 seviyesine ulaşacağı hesap edilmiştir.

Yapılan araştırmalar ve elde edilen tüm bilgiler/bulgular ışığında, tez çalışması nihayetinde, Türkiye'de yapılacak olan akıllı şebeke çalışmalarına katkı sağlaması amacı ile örnek bir akıllı şebeke yol haritası ve strateji belgesi ortaya konulmuş olup, aşağıda yer almaktadır.

✓ Örnek bir akıllı şebeke yol haritası:

Söz konusu yol haritasının uygulanması sonucunda nihai amaç; “Türkiye elektrik şebekesinin, nihai tüketiciden iletim seviyelerine kadar modern teknolojiye uygun bir şekilde geliştirilerek, bilgi ve iletişim teknolojileri şebekeye entegre edilerek, tüketici faydası ön plana alınarak, daha dayanıklı, dinamik ve kendini onaran bir şebeke sistemi haline getirilmesi”dir. Bu kapsamda, “Alt Yapı Hazırlık Projeleri - Yakın Dönem Projeler - İleri Seviye Akıllı Şebeke Projeleri” şeklinde 3 seviyeden oluşan bir planlama yapılmasının uygun bir yaklaşım olacağı sonucuna varılmıştır. Bunlar:

- 1) Alt yapı hazırlık projeleri: Akıllı şebekeler vizyonu, teknoloji yönetimi ve akıllı şebeke mimarisi oluşturulması.
- 2) Yakın dönem projeler: Özel haberleşme ağı, dağıtım sistemi otomasyonu, gelişmiş OSOS (AMI), elektrikli araçlar entegrasyonu.
- 3) İleri seviye akıllı şebeke projeleri: Özel genişbant haberleşme, mikro-şebeke uygulamaları, tüketimin yönlendirilmesi, dağıtık üretim, sosyal medya uygulamaları.

Her seviye içinde atılması gereken adımlar ve uygulanacak teknoloji çalışmaları ayrı başlıklar olarak ifade edilmektedir. Bu noktada; seçilecek teknolojiler, öncelik verilecek projeler/hususlar, belirlenecek genel konseptte ve ülke politikalarına göre değiştirilebilir durumdadır.

✓ Örnek bir Türkiye akıllı şebekeler strateji belgesi:

Nihai amaç: Türkiye elektrik şebekesinin/enerji sisteminin modernizasyonu.

İlgi strateji belgesi kapsamında, “Akıllı Şebeke Yol Haritası”nda belirtilmiş olan hususların/projelerin hayata geçirilebilmesini ve gerekli koordinasyonun sağlanabilmesini teminen, bütüncül bir yaklaşım ile ülke çapında akıllı şebeke çalışmalarına dair ilgili otoritenin/paydaşların belirlenerek, yapılması gerekli çalışmaların adım adım ortaya konulması amaçlanmıştır.

Koordinatör ve sorumlu kurumlar: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK).

İlgili paydaşlar: Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK), Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ), Elektrik Üretim A.Ş. (EÜAŞ), Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. (TEDAŞ), Elektrik Dağıtım Hizmetleri Derneği (ELDER), Elektrik Dağıtım Şirketleri (EDAŞ), Aselsan A.Ş., Havelsan A.Ş., Üniversiteler, Türkiye’de faaliyet gösteren Haberleşme Operatörleri, Özel Sektör Temsilcileri.

Dönem 1- Alt Yapı Hazırlıkları:

- 1- Akıllı şebeke vizyonunun belirlenmesi, düşünülen mimari yapının oluşturulması, ana hedefler ve amaçların ortaya konulması, mevcut durum analizi, beklenen faydaların belirlenmesi.
- 2- Bu çerçeve içinde gerekli, yol açıcı mevzuatsal çalışmalar/düzenlemeler yapılması, taslak strateji belgesi oluşturulması ve konunun kamuoyuna/sektöre duyurulması (Ayrıca, yerli üretim hususunun değerlendirmeye alınması).

Dönem 2- Yakın Dönem Hazırlıkları/ Projeleri:

- 3- Koordinatör kurumlar bünyesinde, ilgili paydaşların katılımı ile bir üst komisyon kurulması.
- 4- Üst komisyona bağlı olarak, alt çalışma gruplarının kurulması, bu gruplar tarafından belirli süreler ile raporlar/çalışmalar hazırlanması.
- 5- Alt komisyon ve üst komisyon karar alma kriterlerinin/yetkilerinin sürecin başında belirlenmesi.
- 6- Alt komisyon örnekleri: Sayaç Komisyonu, Standartlar Komisyonu, Dağıtım Altyapısı Yol Haritası Komisyonu, Siber Güvenlik Komisyonu vb.
- 7- Üst komisyon koordinesinde, alt komisyondaki çalışma grupları tarafından, dünyada yapılan uygulamalara, pilot projelere, ortaya konulan sonuçlara dair geniş bir tarama/ inceleme yapılması.
- 8- Bu incelemeler sonucunda kapsamlı bir değerlendirme raporu hazırlanması.
- 9- Akabinde Türkiye’ye dair gerekli ana konu ve proje başlıklarının belirlenmesi.
 - 9.1- Özel haberleşme ağı
 - 9.2- Dağıtım sistemi otomasyonu
 - 9.3- Gelişmiş sayaç altyapısı (AMI)
 - 9.4- Elektrikli araçlar vb.

- 10- Dağıtım bölgelerinde ayrı ayrı fizibilite çalışmalarının yapılması.
 - 10.1- Pilot projelerin doğru bir şekilde yapılmasını ve konuya ilişkin mevcut verilerin elde edilmesini teminen, dağıtım şirketleri tarafından yurtdışındaki benzer çalışmaların incelenmesi.
 - 10.2- Pilot proje çerçevesinin (yöntemler, olası faydalar vb.) çizilmesi ve her dağıtım şirketinin kendi bölgesinde pilot çalışmalar yapılması.
 - 10.3- Fayda-maliyet analizlerinin ve nihai tüketici faydalarının ortaya konulması.
 - 10.4- Mali ve teknik açıdan tespitler.
- 11- Değerlendirme ve kararlar aşaması.
 - 11.1- Tüm pilot proje çıktılarının tek bir rapor haline getirilmesi.
 - 11.2- Tüm çalışmaların ve araştırmaların koordinatör kurum başkanlığında, komisyonlar ve tüm paydaşlar ile değerlendirilmesi.
 - 11.3- Stratejik kararların alınması ve standartların belirlenmesi, teknolojik seçimlerin yapılması. (Ayrıca, yerli üretime dair kararlar.)
 - 11.4- X yıllık eylem planı oluşturulması ve faaliyete geçilmesi.
 - 11.5- Belirlenen periyodik tarihlerde, kontrol süreci ve iyileştirmeler yapılması.

Dönem 3- İleri Seviye Hazırlıkları/Projeleri:

- 12- Tüketimin yönlendirilmesi.
 - 13- Mikro şebekeler ve dağıtık üretim uygulamaları.
 - 14- Tüm kamu ve özel inşaat projelerinin yenilenebilir enerji bakımından tasarlanması.
 - 15- Akıllı şehirler, şebeke bilgilerinin şehir ortak platformunda birleştirilmesi (Entegre Şebekeler Bilgi Ağı).
 - 16- Sosyal medya uygulamaları vb.
- Sonuç itibari ile “net tüketici yararı” hususu, fayda-maliyet analizi yapılarak açıkça ortaya konulmalıdır. Yapılacak yeniliklerin etkilerini en iyi şekilde gözlemlemek için de pilot projeler muhakkak uygulanmalıdır ve elde edilecek veriler ışığında, deneme-öğrenme-ilerleme metodu doğrultusunda gerekli kararlar alınmalıdır.
 - Çalışma sürecinin sonunda, net bir biçimde nihai “Türkiye Akıllı Şebekeler Strateji Belgesi ve Uygulama Yol Haritası” hazırlanmalıdır.
 - Uygulama rehberi hazırlanarak, dağıtım şirketleri, iletim şirketi ve sektördeki paydaşlar başta olmak üzere, hazırlanan yol haritası tüm kamuoyuna sunulmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Akcanca, M.A., Taşkın, S. (2013). *Akıllı Şebeke Uygulanabilirliği Açısından Türkiye Elektrik Enerji Sisteminin İncelenmesi*, Akıllı Şebekeler ve Türkiye Elektrik Şebekesi'nin Geleceği Sempozyumu, Ankara.
2. İnternet: Kırmızıoğlu, E. Akıllı Şebeke ve İleri Ölçüm Altyapısı. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fanahtar.sanayi.gov.tr%2Ftr%2FNews%2Fakilli-sebeke-ve-ileri-olcum-altyapisi%2F387&date=2019-05-23>, Son Erişim Tarihi: 23.05.2019.
3. Ova, A. (2017). *Güç Sistemlerinde PV-QV Eğrisi Yöntemi ile Statik Gerilim Kararlılığı Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-2.
4. Sulaiman, M., Nor, A.F.M. (2015). PV and QV Curves Approach for Voltage Instability on Mesh-Type Electrical Power Networks Using Digsilent. *MAGNT Research Report*, 3(6), 36-42.
5. İnternet: Minkel, J.R. The 2003 Northeast Blackout-Five Years Later. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.scientificamerican.com%2Farticle%2F2003-blackout-five-years-later%2F&date=2019-05-10>, Son Erişim Tarihi: 10.05.2019.
6. Gabash, A., Li, P. (2014). *On the Control of Main Substations Between Transmission and Distribution Systems*, 14th Environment and Electrical Engineering International Conference (EEEIC), Krakow.
7. Jahangiri, M., Ghaderi, R., Haghani, A., Nematollahi, O. (2016). Finding the Best Locations for Establishment of Solar-Wind Power Stations in Middle-East Using GIS: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66, 38-52.
8. Soberanis, M.A.E., Bassam, A., Merida, W. (2016). Analysis of Energy Dissipation and Turbulence Kinetic Energy Using High Frequency Data for Wind Energy Applications. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 151, 137-145.
9. Bayındır, R., Demirbaş, Ş., Irmak, E., Çetinkaya, Ü., Ova, A., Yeşil, M. (2016). *Effect of Renewable Energy Sources on the Power Systems*. Power Electronics and Motion Control Conference, Varna.
10. Vilchez, E., Stenzel, J. (2013). *Impact of Renewable Energy Generation Technologies on The Power Quality of the Electrical Power Systems*, 22nd International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (CIRED), Stockholm.
11. Shafiullah, G.M. (2016). *Impacts of Renewable Energy Integration into the High Voltage (HV) Networks*, 4th International Conference on the Development in the in Renewable Energy Technology (ICDRET), Dhaka.

12. Mosobi, R., Chichi, T., Gao, S. (2014). *Modeling and Power Quality Analysis of Integrated Renewable Energy System*. IEEE Eighteenth National Power Systems Conference (NPSC), Guwahati.
13. Khani, N.G., Abedi, M., Gharehpetian, G. B., Riahy G. (2015). Analyzing the Effect of Wind Farm to Improve Transmission Line Stability in Contingencies. *Indian Journal of Science and Technology*, 8(11), 150-156.
14. Atabey, G. (2017). *Rüzgar Santrallerinin İletim Sistemi Üzerindeki Etkilerinin Analizi ile Balıkesir 1- Şamli Enerji İletim Hattı Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2-3.
15. Güler, N., Öztemur, M., Müftüoğlu, Z. (2014). *Akıllı Sayaçlar Koruma Profili*, Uluslararası İstanbul Akıllı Şebekeler Kongre ve Fuarı, İstanbul.
16. Bayindir, R., Yesilbudak, M., Cetinkaya, R. (2015). Modeling and Analyzing of Electricity Transmission Infrastructure of Ankara, Turkey: A Case Study on the Critical Line Scenarios. *Gazi University Journal of Science*, 28(4), 587-597.
17. Georgilakis, P.S., Hatziargyriou, N.D. (2015). A Review of Power Distribution Planning in the Modern Power Systems Era: Models, Methods and Future Research. *Electric Power Systems Research*, 121(2015), 89-100.
18. You, S., Segerberg, H. (2014). Integration of %100 Micro-Distributed Energy Resources in the Low Voltage Distribution Network: A Danish Case Study. *Applied Thermal Engineering*, 71(2), 797-808.
19. Tie, C.H., Gan, C.K., Ibrahim, K.A. (2015). Probabilistic Impact Assessment of Electric Vehicle Charging on Malaysia Low-Voltage Distribution Networks. *Indian Journal of Science and Technology*, 8(3), 199–207.
20. Nour, M., Ali, A., Farkas, C. (2018). Evaluation of Electric Vehicles Charging Impacts on A Real Low Voltage Grid. *International Journal on Power Engineering and Energy (IJPEE)*, 9(2), 837-842.
21. Joshi, D. (2018). *Electric Vehicles in Malaysia? Hold Your Horsepower*, Penang Institute Report, Kuala Lumpur, 10-22.
22. Shabadin, A., Johari, N.M., Jamil, H.M. (2017). Car Annual Vehicle Kilometer Travelled Estimated from Car Manufacturer Data - An Improved Method. *Pertanika Journal of Science and Technology*, 25(1), 171-180.
23. Başkent Enerjisa. (2016). *E-Mobility and Electric Vehicles in Turkey*, R&D and Automation Directorate, Pilot Practice Studies Report, Ankara.
24. Yapıcı, R., Güneş, D., Yörükeren, N. (2016). *Elektrikli Şarj İstasyonlarının Dağıtım Şebekesine Olası Etkileri*, Elektrik-Elektronik ve Biyomedikal Mühendisliği Konferansı (ELECO), Bursa.
25. Briggs, H.G., Kian, L.H. (2016). *Malaysia Stocktaking Report on Sustainable Transport and Climate Change*, German International Cooperation Institution (GIZ), Kuala Lumpur, 22-26.

26. Deloitte Southeast Asia Ltd. (2016). *Jakarta's Smart City Vision- A Megacity on A Mission*, GovLab Report, Singapore, 3-10.
27. Dudiak, J., Kolcun, M. (2014). *Integration of Renewable Energy Sources to the Power System*, 14th Environment and Electrical Engineering International Conference (EEEIC), Krakow.
28. İnternet: European Commission. Number of Smart Grid Projects by Country. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fses.jrc.ec.europa.eu%2Fnumber-smart-grid-projects-country&date=2019-05-27>, Son Erişim Tarihi: 27.05.2019.
29. Fadaeenejad, M., Saberian, A.M., Fadaee, M., Radzi, M.A.M. (2014). The Present and Future of Smart Power Grid in Developing Countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 828-834.
30. Tuballa, M.L., Abundo, M.L. (2016). A Review of the Development of Smart Grid Technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 710-725.
31. Colak, I., Sagiroglu, S., Fulli, G., Yesilbudak, M., Covrig, C.F. (2016). A Survey on the Critical Issues in Smart Grid Technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 396-405.
32. Yıldırım, N., Tacer, M.E. (2016). The Future's Power System: Smart Grid. *International Journal of Electronics, Mechanical and Mechatronics Engineering*, 6(1), 1047-1055.
33. Young, J.R. (2017). *Smart Grid Technology in the Developing World*, Seattle Pacific University Report, Washington.
34. Berends, P., John, M., Medeiros, N., Petitcolas, S., Ton. W. (2016). *Identification and Selection of Best Available Techniques for the 10 Common Minimum Functional Requirements Related to the Smart Metering System Roll-out Under a Cyber-Security and Privacy Perspective*, European Commission Document, Brussels.
35. İnternet: European Commission. Smart Grids and Meters. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fec.europa.eu%2Fenergy%2Fen%2Ftopics%2Fmarkets-and-consumers%2Fsmart-grids-and-meters&date=2019-05-27>, Son Erişim Tarihi: 27.05.2019.
36. İnternet: European Commission. Smart Metering Deployment in the European Union. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fses.jrc.ec.europa.eu%2Fsmart-metering-deployment-european-union&date=2019-05-27>, Son Erişim Tarihi: 27.05.2019.
37. Başkent Elektrik Dağıtım A.Ş. (2016). *Enerjisa Pilot Proje Çalışmaları Verileri*, Ar-Ge ve Otomasyon Müdürlüğü Raporları, Ankara.
38. Saadatmand, M., Ramezy, B., Mozafari, B. (2017). *Review of Communication Technologies for Smart Grid Applications*, The National Conference on: New Approaches in Power Industry, At Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran.

39. Erden, F., Kisacikoğlu, M.C., Güreç, O.H. (2015). *Examination of EV-Grid Integration Using Real Driving and Transformer Loading Data*, 9th International Conference on Electrical and Electronics Engineering-ELECO 2015, Bursa.
40. Burunkaya, M., Demirkol, O.F. (2019). *Increase in the Use of Electric Vehicles and Its Potential Effects on Electricity Distribution Network and Situation Analysis for Turkey*, 6th International Conference on Electrical and Electronics Engineering-ICEEE 2019, İstanbul.
41. Özdemir, D. (2013). *Akıllı Şebekelerde Örnek Uygulamalar*, Uluslararası İstanbul Akıllı Şebekeler Kongre ve Sergisi, İstanbul.
42. Özdemir, D. (2014). *Akıllı Şebekelerde İletişim Teknolojileri*, Uluslararası İstanbul Akıllı Şebekeler Kongre ve Fuarı, İstanbul.
43. Kırmızıoğlu, E. (2014). *Ülkemizin 2023 Stratejik Vizyonu Doğrultusunda Akıllı Şebekeye Geçilmesi İçin Öneriler*. Uluslararası İstanbul Akıllı Şebekeler Kongre ve Fuarı, İstanbul.
44. İnternet: Electric Power Research Institute. Smart Grid Resource Center. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fsmartgrid.epri.com%2F&date=2019-05-10>, Son Erişim Tarihi: 10.05.2019.
45. İnternet: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. Türkiye Elektrik Enerjisi Talep Projeksiyonu Raporu. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.enerji.gov.tr%2Ftr-TR%2FEIGM-Raporlari&date=2019-05-10>, Son Erişim Tarihi: 10.05.2019.
46. Eroğlu, A. (2010). *Akıllı Şebekelerde Birlikte Çalışabilirlik*, Uzmanlık Tezi, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Ankara, 17-19, 2-3.
47. Çoksürer, Y. (2013). *Akıllı Şebekeler ve Orta Gerilim Uygulamaları*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 13-16, 29-30.
48. International Energy Agency. (2011). *Technology Roadmap Smart Grids*, Paris, 28, 6.
49. Ou, X., Zhang, X., Chang, S. (2010). Scenario Analysis on Alternative Fuel Vehicle for China's Future Road Transport: Life-Cycle Energy Demand and GHG Emissions, *Energy Policy*, 38(8), 3943-3956.
50. Shiau, C.S.N., Samaras, C., Hauffe, R., Michalek, J.J. (2009). Impact of Battery Weight and Charging Patterns on the Economic and Environmental Benefits of Plug-in Hybrid Vehicles, *Energy Policy*, 37(7), 2653-2663.
51. Aydemir, T. (2014). *Elektrikli Araçların Çevresel Etkilerinin ve Yakıt Avantajlarının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 28.
52. Zehir, M.A. (2013). *Akıllı Şebekelerde Termostat Kontrollü Yükler İçin Gelişmiş Yerel Talep Yönetim Sistemi Tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 12-13.

53. The European Road Transport Research Advisory Council. (2010). *European Roadmap Electrification of Road Transport*, Germany, 14.
54. International Energy Agency. (2017). *Global Electric Vehicle Outlook 2017*, France, 5-13.
55. İnternet: Young, A. Global Electric Car Market: About 43% of All Electric Passenger Cars Were Bought in 2014. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.ibtimes.com%2Fglobal-electric-car-market-about-43-all-electric-passenger-cars-were-bought-2014-say-1857670&date=2019-05-10>, Son Erişim Tarihi: 10.05.2019.
56. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century-REN21. (2018). *Renewables 2018 Global Status Report*, Paris, 162, 41-43.
57. İnternet: International Energy Agency. Technology Roadmap-Electric and Plug-in Hybrid EV. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Factions-incidentatives.ifsttar.fr%2Ffileadmin%2Fuploads%2Ffrecherches%2Fgeri%2FPFI_VE%2Fpdf%2FEV_PHEV_AIE_Roadmap.pdf&date=2019-05-10, Son Erişim Tarihi: 10.05.2019.
58. International Renewable Energy Agency. (2015). *Renewable Energy Target Setting*, Abu Dhabi, 14-15.
59. International Energy Agency. (2018). *Renewables Energy 2018*, Press Conference, London, 6.
60. Akçin, M., Kaygusuz, A., Keleş, C. (2013). *Akıllı Şebekelerde Kontrol ve Haberleşme: Günümüzden Geleceğe Fırsatlar*, Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı ve Sergisi, Malatya.
61. Tanrıöven, K., Yazarbaş, S., Cengiz, H. (2011). *Geleceğin Elektrik Dağıtım Şebekesi Smart Grid*, Fırat Üniversitesi Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, Elazığ.
62. Deloitte Türkiye Yayınları. (2013). *Elektrik Sektöründe Akıllı Şebekeler: Dünya ve Türkiye Uygulamaları*, Türkiye, 2-9.
63. Öztemür, M., Soysal, B. (2013). *Akıllı Şebekeler Yolunda Akıllı Sayaçlar*, Akıllı Şebekeler ve Türkiye Elektrik Şebekesi'nin Geleceği Sempozyumu, Ankara.
64. İnternet: Ekoyapı Dergisi. Dijital Teknoloji Tabanlı Entegre Elektrik Ağları Şehir Yaşamını Kolaylaştırıyor. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.ekoyapidergisi.org%2F185-dijital-teknoloji-tabanlı-entegre-elektrik-aglari-sehir-yasamini-kolaylastiriyor.html&date=2019-05-10>, Son Erişim Tarihi: 10.05.2019.
65. Rogai, S. (2006). *Enel's Metering System and Telegestore Project*, National Association of Regulatory Utility Commissioners Conference, Washington.
66. Giordano, V., Gangale, F., Fulli, G. (2011). *Smart Grid Projects in Europe*, JRC Reference Reports, Netherlands, 13-15.

67. İnternet: Ekoyapı Dergisi. Akıllı Şehirlere Dünyadan Örnekler. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.ekoyapidergisi.org%2F186-akilli-sehirlere-dunyadan-ornekler.html&date=2019-05-10>, Son Erişim Tarihi: 10.05.2019.
68. Kırmızıoğlu, E. (2013). *Akıllı Şebeke Stratejileri ve Örnek Projeler*, Akıllı Şebekeler ve Türkiye Elektrik Şebekesi'nin Geleceği Sempozyumu, Ankara.
69. German Energy Agency. (2010). *Integration of Renewable Energy Sources in the German Power Supply System from 2015-2020 with an Outlook to 2025*, Berlin, 454.
70. International Eenergy Agency. (2018). *Denmark-2018 Update-Bioenergy Policies and Status of Implementation*, Country Reports, Paris, 5.
71. İnternet: Galvin Electricity Initiative. The Electric Power System is Unreliable. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fgalvinpower.org%2Fresources%2Flibrary%2Ffact-sheets-faqs%2Felectric-power-system-unreliable&date=2019-05-10>, Son Erişim Tarihi: 10.05.2019.
72. Mohsenian-Rad, H. (2012). *Communications and Control in Smart Grid-Topic 2: Introduction to Smart Grid*, Department of Electrical and Computer Engineering Texas Tech University, Texas, 27.
73. Energy Information Administration, Science Applications International Corporation. (2011). *Smart Grid Around the World-Selected Country Overviews*, United States, 5.
74. Gangale, F. (2015). *A Helicopter Overview of Smart Grid Projects in Europe*, Smart Grid Workshop, İstanbul.
75. Tokgöz, E. (2015). *Düşük Karbon Ekonomisine Geçiş ve Rekabet Politikası*. Uzmanlık Tezi, Rekabet Kurumu, Ankara, 36-37.
76. Deloitte Türkiye Yayınları. (2015). *Akıllı Sayaç Sistemleri, Avrupa Uygulamaları Analizi ve Türkiye Uygulamaları Üzerine Düşünceler*, Türkiye, 2-24.
77. Deloitte Türkiye Yayınları. (2011). *Akıllı Sayaç, Akıllı Şebeke ve İleri Ölçüm Altyapısının Kurulması, Etkileri ve Yönetilmesi*, Türkiye, 3-4.
78. İnternet: Elektromed. Excellence in Metering. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.elektromed.com.tr%2FUploads%2Fpdf%2F2012_AMR_TR.pdf&date=2019-05-10, Son Erişim Tarihi: 10.05.2019.
79. World Energy Council. (2012). *Smart Grids: Best Practice Fundamentals for a Modern Energy System*, London, 10.
80. Ghune, P., Ghune, R.N., Pandey, P. (2013). *Application of Wireless Sensor Networks in Smart Grid-Opportunities, Challenges and Technologies Available*, Malwa Institute of Technology, Madhya Pradesh.
81. Vadi, S., Güler, N., Bayındır, R. (2014). Endüstriyel Alanlarda Kullanılan Veri İletim Tekniklerinin Karşılaştırılması, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1), 181-188.

82. Milli Eğitim Bakanlığı. (2013). *Bilişim Teknolojileri Haberleşme Teknikleri*, Ankara, 4-5.
83. Usta, Ö., Yumak, K. (2013). *Smart Grid and Data Communications*, İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği, İstanbul.
84. Kuzlu, M., Pipattanasomporn, M., Rahman, S. (2014). *Communication Network Requirements for Major Smart Grid Applications in HAN, NAN and WAN*, Virginia Tech, Advanced Research Institute, Virginia.
85. Bumiller, G., Sauter, T., Pratl, G. (2005). *Secure and Reliable Wide-Area Power-Line Communication for Soft-Real-Time Applications within REMPLI*, International Symposium of Power Line Communications and Its Applications, U.S.A., 57.
86. İnternet: Kablosuz Ağ Teknolojileri. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fslideplayer.biz.tr%2Fslide%2F2918620%2F&date=2019-05-13>, Son Erişim Tarihi: 13.05.2019.
87. United States Department of Energy. (2010). *Communications Requirements of Smart Grid Technologies*, Washington, 63.
88. İnternet: Enerji Hatları Üzerinden Haberleşme Teknolojisinin Kullanımı. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.3eelectrotech.com.tr%2Farsiv%2Fyazi%2F148-akilli-sebeke-uygulamalarinda-enerji-hatları-uzerinden-haberleşme-teknolojisinin-kullanımı%2F&date=2019-05-13>, Son Erişim Tarihi: 13.05.2019.
89. Yüksek Planlama Kurulu, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2009). *Elektrik Enerji Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesi*, Ankara, 9.
90. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji Arz Güvenliği, Piyasalar ve İstatistik Daire Başkanlığı. (2019). *2018 Yılı Üretim-Tüketim Değerleri*, Ankara.
91. İnternet: Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü. Kurulu Güç Raporu. URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.teias.gov.tr%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2F2019-05%2Fkurulu_guc_nisan_2019.pdf&date=2019-05-13, Son Erişim Tarihi: 13.05.2019.
92. İnternet: Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.mevzuat.gov.tr%2FMevzuatMetin%2F1.5.5346.pdf&date=2019-05-13>, Son Erişim Tarihi: 13.05.2019.
93. İnternet: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. Türkiye Elektrik Enerjisi Talep Projeksiyonu Raporu. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.enerji.gov.tr%2Ftr-TR%2FEIGM-Raporlari&date=2019-05-13>, Son Erişim Tarihi: 13.05.2019.
94. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2014). *Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı*, Ankara, 8-19.

95. Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü Planlama ve Yatırım Yönetimi Dairesi Başkanlığı. (2018). *Türkiye Elektrik Enerjisi 5 Yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu (2018-2022)*, Ankara, 43, 7-25, 82.
96. İnternet: Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü Yük Tevzi Dairesi Başkanlığı. Sektör/İşletme Faaliyet Raporları. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.teias.gov.tr%2Ftr%2Fsektor-raporlari&date=2019-05-13>, Son Erişim Tarihi: 13.05.2019.
97. İnternet: Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü. Türkiye Elektrik Enerjisi Üretim Tüketim ve Kayıplarının Yıllar İtibariyle Gelişimi. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.teias.gov.tr%2Ftr%2Fiii-elektrik-enerjisi-uretimi-tuketimi-kayıplar-0&date=2019-05-13>, Son Erişim Tarihi: 13.05.2019.
98. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2017). *Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2015-2019 Stratejik Planı*, Ankara, 52-59.
99. Yüksek Planlama Kurulu, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2012). *Enerji Verimliliği Strateji Belgesi 2012-2023*, Ankara, 8-9.
100. İnternet: Uzmanpara. Akıllı Şebekelere 10 Milyar Euro Harcanacak. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fuzmanpara.milliyet.com.tr%2Fhaber-detay%2Fgundem%2Fakilli-sebekelere-10-milyar-euro+harcanacak%2F40519%2F&date=2019-05-14>, Son Erişim Tarihi: 14.05.2019.
101. İnternet: Türkiye Akıllı Şebekeler 2023 Vizyon ve Strateji Belirleme Projesi. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.elder.org.tr%2FContent%2Fyayinlar%2FTAS%2520TR.pdf&date=2019-05-14>, Son Erişim Tarihi: 14.05.2019.
102. İnternet: Otomatik Sayaç Okuma Sistemlerinin Kapsamına ve Sayaç Değerlerinin Belirlenmesine İlişkin Usul ve Esaslar. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.resmigazete.gov.tr%2Fmain.aspx%3Fhome%3Dhttp%3A%2F%2Fwww.resmigazete.gov.tr%2Feskiler%2F2011%2F04%2F20110410.htm%26main%3Dhttp%3A%2F%2Fwww.resmigazete.gov.tr%2Feskiler%2F2011%2F04%2F20110410.htm&date=2019-05-14>, Son Erişim Tarihi: 14.05.2019.
103. İnternet: Dağıtım Şirketlerince Kurulacak OSOS Kapsamına Dahil Edilecek Sayaçların, Haberleşme Donanımının ve İlave Teçhizat ve Altyapının Ortak Asgari Teknik Özellikleri. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.resmigazete.gov.tr%2Filanlar%2Feskiiilanlar%2F2011%2F11%2F20111104-4.htm%23%25C3%25A708&date=2019-05-14>, Son Erişim Tarihi: 14.05.2019.
104. Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü Erişim ve Uygulamalar Daire Başkanlığı. (2014). *Otomatik Sayaç Okuma Sistemi*, Ankara.
105. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. (2018). *Elektrik Piyasası Sektör Raporu*, Ankara, 23.

- 106.Deloitte Türkiye Yayınları. (2015). *Akıllı Sayaç Sistemleri, Avrupa Birliği Fayda-Maliyet Analizi Yaklaşımı*, Elektrik Dağıtım Hizmetleri Derneği Ar-Ge Çalıştay, Türkiye, 2-9.
- 107.Elektrik Dağıtım Hizmetleri Derneği. (2014). *Akıllı Şebeke Yatırımlarında Fayda-Maliyet Analizi Yöntemi*, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu Akıllı Şebekeler Fizibilite Çalıştay, Ankara.
- 108.European Commission. (2014). *Cost-Benefit Analyses & State of Play of Smart Metering Deployment in the EU-27*, Commission Staff Working Document, SWD 189 Final, Brüksel, 12, 32-51.
- 109.Sünney, İ. (2014). *Akıllı Sayaç Fizibilite Çalışması*, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu Akıllı Şebekeler Fizibilite Çalıştay, Ankara.
- 110.İnternet: Reaktif Ceza Bedeli. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fsigmaelektrikltd.com%2Freaktif-ceza%2F&date=2019-05-14>, Son Erişim Tarihi: 14.05.2019.
- 111.Düzgün, B. (2018). An Assessment of Transmission and Distribution Grid Efficiency in Turkey with Projections to 2023. *Journal of Polytechnic*, 21(3), 621-632.
- 112.Ticaret Bakanlığı. (2019). *Ekonomik Görünüm Haziran 2019 Raporu*, Ankara, 8.
- 113.Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2013). *Nükleer Santraller ve Ülkemizde Kurulacak Nükleer Santrale İlişkin Bilgiler Raporu*, Ankara, 30-33.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : DEMİRKOL, Ömer Faruk
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 01.11.1986, Kahramanmaraş
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 212 64 20
 Faks : 0 (312) 223 69 84
 e-mail : demirkol@enerji.gov.tr



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi/ Elektrik-Elektronik Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Erciyes Üniversitesi/ Elektrik-Elektronik Mühendisliği	2009
Lise	Kahramanmaraş Süleyman Demirel Fen Lisesi	2004

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2017-Halen	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı	ETK Uzmanı
2012-2017	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı	ETK Uzman Yardımcısı
2011-2012	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı	Mühendis
2010-2011	Demirkol İnşaat	Mühendis

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Burunkaya, M., Demirkol, O.F. (2019). *Increase in the Use of Electric Vehicles and Its Potential Effects on Electricity Distribution Network and Situation Analysis for Turkey*, 6th International Conference on Electrical and Electronics Engineering-ICEEE 2019, İstanbul.

Hobiler

Futbol, Sinema, Yüzme, Gastronomi Turu



GAZİ GELECEKTİR..