T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKILLI DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE SEZGİSEL ALGORİTMA YÖNTEMİYLE ANAHTARLAMA OPTİMİZASYONU ve YENİDEN YAPILANDIRMA

İLKER DURSUN

DOKTORA TEZİ
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK TESİSLERİ PROGRAMI

DANIŞMAN
PROF. DR. NURETTİN UMURKAN

İSTANBUL, 2016

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKILLI DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE SEZGİSEL ALGORİTMA YÖNTEMİYLE ANAHTARLAMA OPTİMİZASYONU ve YENİDEN YAPILANDIRMA

İlker DURSUN tarafından hazırlanan tez çalışması 23.08.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Nurettin UMURKAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Nurettin UMURKAN
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Özcan KALENDERLİ
İstanbul Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Nur DÖNMEZTÜRK BEKİROĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Yrd. Doç. Dr. Adem ÜNAL
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Yrd. Doç. Dr. Gürkan SOYKAN
Bahçeşehir Üniversitesi _____

ÖNSÖZ

Uzun süreçli ve sabır gerektiren bu yolda, yoğun çalışmalarım boyunca her zaman yanımda olan çok değerli tez danışmanım Prof. Dr. Nurettin UMURKAN'a ve çok kıymetli jüri üyelerim Prof. Dr. Özcan KALENDERLİ ve Yrd. Doç. Dr. Adem ÜNAL'a teşekkürü bir borç bilirim.

Yoğun geçen çalışma ve öğrenim hayatım boyunca bana her zaman destek olan sevgili eşim Elif DURSUN'a, değerli aileme, çalışmalarımda büyük emeği geçen değerli çalışma arkadaşlarım Feyzi KARAOSMANOĞLU, Ali Özgün ÇETİN ve Murat Can SİNİM'e teşekkür ederim. Bu çalışmanın, ülkemizde ve dünyada enerji dağıtım faaliyetlerinde ve akıllı şebeke çalışmalarında faydalı olmasını temenni ediyorum ve bu alanda çalışmaya yeni başlacaklar için temel bir kaynak olmasını ümit ediyorum.

Ağustos, 2016

İlker DURSUN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....vii

KISALTMA LİSTESİ.....viii

ŞEKİLLER LİSTESİ.....ix

ÇİZELGE LİSTESİ x

ÖZET.....xi

ABSTRACT.....xii

BÖLÜM 1

GİRİŞ.....1

1.1 Literatür Özeti 5

1.2 Tezin Amacı 7

1.3 Bilimsel Katkılar 8

BÖLÜM 2

AKILLI ŞEBEKELER 10

2.1 ABD'de Akıllı Şebeke Gelişimi 11

2.2 Avrupa'da ve Dünyada Akıllı Şebeke Gelişimi 14

2.3 Türkiye'de Akıllı Şebeke Gelişimi ve Akıllı Şebeke Uygulamaları..... 19

BÖLÜM 3

AKILLI ŞEBEKE BİLEŞENLERİ 23

3.1 Gelişmiş Ölçme Altyapısı ve Akıllı Sayaçlar (AMI and Smart Meters) 23
3.1.1 PLC Teknolojilerine Genel Bakış 26
3.1.2 Kablosuz Teknolojilerine Genel Bakış 28
3.1.3 Sayaç Veri Yönetimi (MDM) Teknolojilerine Genel Bakış 28
3.2 Dağıtık Üretim Kaynakları ve Şebeke Entegrasyonları 29
3.3 Elektrikli Araçlar ve Şebeke Entegrasyonları 34
3.4 Enerji Depolama Sistemleri 35
3.5 SCADA-DMS-OMS Sistemleri 41
3.6 Coğrafi Bilgi Sistemi, Abone Bilgi Sistemi ve Varlık Yönetimi 43
3.7 Birlikte Çalışabilirlik ve Entegrasyon 48
3.8 Siber Güvenlik 50
3.9 Standardizasyon 52
3.10 Optimizasyon ve Yeniden Yapılandırma 54
BÖLÜM 4
AKILLI ŞEBEKELERDE SEZGİSEL ALGORİTMA YÖNTEMİYLE ANAHTARLAMA OPTİMİZASYONU VE YENİDEN YAPILANDIRILMA 58
4.1 Anahtarlama Optimizasyonu ile Yeniden Yapılandırma 59
4.2 Problem Tanımı 61
4.3 Anahtarlama Optimizasyonu ile Yeniden Yapılandırma Yöntemleri 62
4.3.1 Temel Sezgisel Yöntemler 62
4.3.2 Rastlantısal Yöntemler 65
4.3.3 Yeni Sezgisel Yöntemler ve Hibrit Yapılandırma Algoritmaları 68
4.3.4 Dinamik Yapılandırma 71
4.4 Kullanılan Yöntem ve Önerilen Algoritma 77
4.4.1 Statik Şebeke Yapılandırma Yöntemi 78

4.5 Referans Sistem ile Geliştirilen Algoritmanın Doğrulanması 85

4.6 Geliştirilen Yöntemin Referans Çalışmalar ile Karşılaştırılması 88

4.7 CYME Güç Sistemleri Analiz Yazılımında BEDAŞ'ın Gerçek bir Şebeke Kesitinin Oluşturulması ve Sonuçların Kullanılan Algoritma ile Karşılaştırılması.....90

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER 97

KAYNAKLAR 99

ÖZGEÇMİŞ 105

SİMGE LİSTESİ

kW	Kilo-Watt
kWh	Kilo-Watt Saat
kVA	Kilo Volt Amper
kVAR	Kilo Volt-Amper Reaktif
P	Aktif güç
V	Gerilim
S	Görünür güç
I	Akım
Q	Reaktif güç
G	Hattın iletkenlik değeri
B	Hattın Süseptans değeri
Cos Ø	Aktif güç çarpanı
Sin Ø	Reaktif güç çarpanı
S	Görünür güç

KISALTMA LİSTESİ

AG	Alçak Gerilim
AMI	Gelişmiş Sayaç Altyapısı
AMM	Otomatik Sayaç Yönetimi
AMR	Otomatik Sayaç Okuma
APN	Erişim Noktası Adı
BPL	Güç Hatları Üzerinden Geniş Bant
CENELEC	Avrupa Elektroteknik Standardizasyon Komitesi
COSEM	Enerji Ölçümü için Şartnameler Birliği
DCSK	Diferansiyel Kod Değiştirme Anahtarı
DES	Dağıtık Enerji Santrali
DLMS	Cihaz Dili Mesaj Özellikleri
DSO	Dağıtım Sistemi Operatörü (DNO) (Dağıtım Şirketi)
FCC	Federal Haberleşme Komisyonu
GPRS	Genel Paket Radyo Hizmeti
HAN	Mesken içi Ağ
HES	Veri Yönetim Sistemi
HSPA	Yüksek Hızlı Paket Erişimi
IEC	Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
IEEE	Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
LP	Yük Profili
MAC	Medya Erişim Kontrolü
MDM	Sayaç Verisi Yönetimi
OFDM	Dikey Frekans Bölmeli Çoklayıcı
PHY	OSI'nın fiziksel katmanı
PLC	Elektrik Hatları Üzerinden Haberleşme
OG	Orta Gerilim
RD	Kayıt Verisi
RF	Radyo Frekansı
SaaS	Servis Yazılımı
S-FSK	Frekans Dağılımı Kaydırmalı Anahtarlama
SNR	İşaret Gürültü Oranı
SSCS	Hizmete Özel Yakınsaklık Katmanı
UMTS	Evrensel Mobil Telekomünikasyon Sistemi
VPN	Sanal Özel Ağ
YG	Yüksek Gerilim

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa
Şekil 2.1 Örnek akıllı şebeke veri modeli 21
Şekil 3.1 Akıllı elektrik sayaçların AB'deki fayda maliyet analizlerinin durumu 24
Şekil 3.2 PLC türevlerinin genel teknik özelliklerinin karşılaştırılması 27
Şekil 3.3 Dağıtık üretim tesislerinin şebeke gösterimi 30
Şekil 3.4 DES'lerin OG bağlantı şeması 33
Şekil 3.5 Farklı enerji depolama tekniklerinin özellikleri ve kullanım yerleri 37
Şekil 3.6 Şebekedeki enerji depolama sistemlerinin tipik kullanım yerleri 38
Şekil 3.7 Batarya enerji depolama sisteminin şematiği 39
Şekil 3.8 GIS, ERP ve SCADA sistemlerinin entegre çalışması 45
Şekil 3.9 Cyme programı dağıtım şebekesi modeli 47
Şekil 3.10 Amerika'daki akıllı şebeke yatırımların yıllara göre analizi 49
Şekil 3.11 Sistemler arası veri akışı 50
Şekil 3.12 Cyme BEDAŞ OG şebeke modeli..... 55
Şekil 4.1 YG-OG-AG örnek şebeke modeli 59
Şekil 4.2 Geliştirilen algoritmanın blok diagram 80
Şekil 4.3 IEEE'nin referans 33 baralı normal işletme durumunda anahtarlamaları 81
Şekil 4.4 IEEE'nin referans 33 baralı tüm anahtarlarının kapatılması 81
Şekil 4.5 IEEE'nin referans 33 baralı şebeke kesitinin radyal hale getirilmesi 82
Şekil 4.6 IEEE'nin referans 33 baralı en düşük akım taşıyan anahtarların açılması 83
Şekil 4.7 IEEE'nin referans 33 baralı en düşük akım taşıyan 2. anahtarların açılması .. 83
Şekil 4.8 IEEE'nin referans 33 baralı şebeke kesitinin optimizasyon sonundaki anahtarlamaları 84
Şekil 4.9 M. E. Baran ve F. F. Wu tarafından 1988'de kullanılan 33 baralı sistem 86
Şekil 4.10 BEDAŞ Bayrampaşa 94 Baralı 34.5 kV Şebeke Kesiti 91
Şekil 4.11 94 baralı BEDAŞ şebeke kesitinin optimizasyon sonucunda açılıp kapatılan anahtarların görseli 93
Şekil 4.12 Toplam kaybın normal işletmedeki anahtarlamalara göre seçimi..... 94
Şekil 4.13 Toplam kaybın anahtarlama adımlarına göre değişimi..... 95

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Avrupa Birliği komisyonu akıllı sayaç kurulum hedefleri 19
Çizelge 3.1 Kaynak ve güçlerine göre LES ve DES tanımları 33
Çizelge 4.1 Referans sistem anahtarlama optimizasyonu sonuçları 87
Çizelge 4.2 CYME yazılımından alınan analiz sonuç çizelgeleri..... 87
Çizelge 4.3 Referans çalışmayla geliştirilen algoritmanın kıyaslanması 90
Çizelge 4.4 BEDAŞ şebeke kesiti anahtarlama optimizasyonu sonuçları..... 92
Çizelge 4.5 CYME anahtarlama optimizasyonu anahtar değişiklikleri..... 95
Çizelge 4.6 CYME anahtarlama optimizasyonu sonrası şebeke analizi özeti..... 96

ÖZET

AKILLI DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE SEZGİSEL ALGORİTMA YÖNTEMİYLE ANAHTARLAMA OPTİMİZASYONU ve YENİDEN YAPILANDIRMA

İlker DURSUN

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nurettin UMURKAN

Bu tez çalışmasında, "Akıllı Şebeke" kavramı ve tarihçesi genel olarak incelenmiş, dünyadaki akıllı şebeke gelişimi ve ülkemizde bu konudaki çalışmalar özetlenmiş, sonrasında da akıllı şebekenin önemli konularından biri olan, elektrik dağıtım şebekelerinde anahtarlama optimizasyonu ve yeniden yapılandırma konusu ele alınmıştır.

Anahtarlama optimizasyonu yapılırken, literatürde en çok atıfta bulunulan ve incelenen IEEE 33 baralı örnek test sistemi referans alınmış ve şebeke modellemeleri için de "CYME Dist" güç sistem analiz programından yararlanılmıştır. Referans seçilen IEEE örnek test sisteminde ve CYME analiz programında yapılan modellemelerde elde edilen sonuçlar, minimum akım açma ve anahtar değiş-tokuşu yöntemleri kullanılarak geliştirilen hibrit sezgisel algoritma yöntemi ile karşılaştırılmış, iterasyon sayısı ve hesaplama hızı bakımından daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Daha sonra, geliştirilen bu sezgisel algoritma, Boğaziçi Elektrik Dağıtım A.Ş.'ye ait 94 baralı gerçek bir şebeke kesiti üzerinde sabit yükler girilerek uygulanmış, bir anahtarlama optimizasyonu yapılmış, girilen parametrelere göre minimum hat kayıpları ve optimum anahtarlama konumları elde edilmiştir. Tüm bu çalışma sürecinde elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, akıllı şebeke yatırımlarının fayda-maliyet analizi çerçevesinde somut yararları gösterilmiş, anahtarlama optimizasyonu yapılarak teknik kayıplarda

önemli oranlarda bir iyileşme elde edilebileceği görülmüştür. Bu çalışmanın ülke çapında yapıldığı düşünüldüğünde, yapılacak olan tasarrufun ve elde edilecek verimliliğin yadsınamaz olduğu aşikârdır.

Anahtar Kelimeler: Akıllı şebekeler, anahtarlama optimizasyonu, yeniden yapılandırma, enerji verimliliği, teknik kayıp, minimum akım, sezgisel algoritmalar.

ABSTRACT

SWITCHING OPTIMIZATION and RE-CONFIGURATION WITH HEURISTIC METHOD ON SMART DISTRIBUTION GRIDS

İlker DURSUN

Department of Electrical Engineering

PhD. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Nurettin UMURKAN

In this thesis study, “Smart Grid” concept and its historical development is examined generally, local and global smart grid improvements and studies are summarized, after that, switching optimization and reconfiguration subject on electic distribution grids, which is one of the important issues of smart grids, are examined.

While switching optimization is made, IEEE’s 33 bus test system, which is cited very often in the literature, is used and for the network modelling purposes “CYME DIST” power system analysis program taken advantage of. The results obtained from IEEE’s reference 33 bus test system and CYME analysis program, compared with hybrid heuristic algorithm which is gained by minimum current carrying and branch exchange methods, obtained more successful results in terms of iteration numbers and calculation speed. Additionally, the developed heuristic algorithm in this study, is implemented on Boğaziçi Elektrik Dağıtım A.Ş’s real 94 bus network with the constant loads, a switching optimization is made and depending on the parameters given, minimum feeder losses and optimum switching positions are gained. When the results obtained by this study are examined, tangible benefits of smart grid investments in terms of cost-benefit analysis are shown, significant decrease of the technical losses by switching optimization is proved. In terms of benefits gained from switching optimization throughout the country, the saved energy would be significant obviously.

Keywords: Smart grids, switching optimization, reconfiguration, energy efficiency, technical loss, minimum current, heuristic algorithms.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Ülkemizdeki kalkınma hızı ve buna paralel olarak büyüyen sanayi, artan lüks tüketim cihazları, elektrik tüketimini de aynı oranda yükseltmektedir. Enerji üretiminde, sınırlı doğal kaynaklarımız nedeniyle maalesef enerji üretimi konusunda büyük oranda dışa bağımlı bir ülke durumundayız. Son yıllarda yenilenebilir enerjiye ve enerji verimliliğine büyük teşvikler verildiği görülmektedir. Bugün gelinen teknolojiyle, rüzgâr, güneş, jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımların 5-8 yıl gibi bir süre zarfında kendilerini amorti ettikleri görülmektedir. Bu, yatırımcılar için yeni iş alanları ve istihdam oluşturmakta, enerjide dışa bağımlılığı asgariye indirmekte ve cari açığı düşürmek için önemli katkı sağlamaktadır.

Almanya ve Fransa gibi dev ekonomilere sahip AB ülkelerinin, Japonya depremi ve Fukishima nükleer santrali felaketini sonrası nükleer güçlerini aşamalı olarak azaltma kararı almalarının ardından, doğalgaz, AB ülkelerinde kömür ve nükleer enerji kullanılarak elektrik üretiminin yerine geçen enerji seçeneği haline gelmektedir.

AB hükümetlerinin, Kyoto Protokolü ve karbondioksit salınımı hedeflerini tutturabilmesi, kömür yerine doğalgaz yakması veya yenilenebilir enerji kullanması ile mümkün olacaktır. Doğalgaz, karbondioksit salınımını kömüre göre yüzde 50, yenilenebilir enerji ise yüzde 100 oranında azaltmaktadır. Bu sebeple doğalgaz, kömür ve fosil kaynaklara nispeten daha çevre dostu bir yakıttır. Doğalgaza dayalı elektrik enerjisi santrali kurulum maliyetinin düşüklüğü ve ülkelerin enerjini talebini karşılama baz yükü karşılama yeteneği hesaba katıldığında doğalgaz, AB ülkelerinin enerji talebini karşılamada çok stratejik bir hale gelmektedir. Tüm bu gerçeklerin yanı sıra doğalgaz

açısından tüketici konumunda olan AB ülkelerinde, ihtiyaca yetecek doğalgaz bulunmamaktadır. Dolayısıyla doğalgaz, üretici ülkelerden AB ülkelerine doğalgaz boru hatları ile transfer edilmektedir. Tüm bu gelişmeler Türkiye'nin ve Ortadoğu'nun enerji koridorları oluşturma konusunda sahip olduğu jeopolitik önemi bir kez daha gözler önüne koymaktadır.

Ülke olarak doğalgaz da maalesef tamamen dışa bağımlı durumdayız. Hızla artan nüfus, ilerleyen sanayi ve büyüme hızımız, bu bağımlılığın kolay kolay azalmayacağını göstermektedir. Ekonomi ve sanayimizin en büyük riskini teşkil eden doğalgaz bağımlılığını azaltmanın en önemli yolu, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonudur [1].

Ülke kalkınmasının, toplumsal gelişimin ve ferahlık düzeyinin, sanayi üretiminin günümüzde en önemli ve vazgeçilmez konusu ucuz, kaliteli, güvenilir ve sürdürülebilir enerji teminidir. Aksi takdirde küresel piyasada rekabet gücü sağlanamaz, sanayi üretimi yavaşlar ve üretici bir toplumdan tüketici bir topluma geçilir. İthal yakıtlara ağırlık verilerek gelişen elektrik enerjisi üretim yatırımlarımızda, yıllık maliyeti milyar dolarları bulan kayıp-kaçak elektrik enerji açıklarının bütçelere kazandırılması, enerji kalitesinin ve verimliliğinin arttılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaştırılması gibi yöntemlerle, ülke ekonomisine büyük katkılar sağlanacağı aşikârdır. Kayıp-kaçak elektrik enerjisi oranlarının ülkemiz genelinde ortalama %15 olduğu hesaplanmaktadır. Bu, takriben üretilen enerjinin altıda birinin tüketilemediği, dolayısı ile esasen verimsiz kullanılan (çevrim santrallerinde maksimum %52) ithal yakıtların daha da yüksek maliyetlerle enerji üretimine katıldığını göstermektedir.

Ülkemizin daha hızlı bir gelişme sağlayabilmesi için; bugünkü sosyal ve ekonomik yaşamın en başında gelen temel gereksinimlerinden elektrik enerjisi ihtiyacının tam, zamanında ve ucuz karşılanması ve en önemlisi mevcut enerjinin tasarruflu şekilde kullanılması büyük önem taşımaktadır. Artan elektrik enerjisi taleplerinin karşılanması için büyük yatırım maliyetlerine, ileri teknolojiye ve yetişmiş insan gücüne ihtiyaç vardır. Standartlara uygun olmayan malzemelerin kullanılmasından veya teknolojiden yeterince faydalanılmamasından kaynaklanan kayıpların bedeli tüketici tarafından ödendiği gibi, bu durum can ve mal güvenliği açısından da büyük tehlike doğurmaktadır. Bu riskleri ve kayıpları asgariye indirmek ve enerji sarfiyatını minimum

seviyede tutmak ülkemiz menfaatleri için vazgeçilmez milli bir hedef olmuştur. Bu hedefi gerçekleştirmenin en etkili yolu; elektrik enerjisinin üretildiği, iletildiği, dağıtıldığı ve tüketildiği tüm elektrik tesislerinde, sistemin izlenebildiği, kontrol altında tutulduğu ve uygun senaryolara göre yönetilebildiği akıllı şebeke yatırımları yapmaktır. Böylelikle, en ucuz enerjinin, tasarruf edilen enerji olduğu varsayımından, ülkemizde ortalama %15 olarak kabul edilen kayıp-kaçak oranını göz önüne aldığımızda, bu oran üzerinden %1'lik bir iyileştirme ile yaklaşık 2.3 milyar kWh bir tasarruf sağlanacağı, bunun da 262 MW'lık kurulu güce sahip bir üretim santraline eşdeğer olduğu görülmektedir [1]. Günümüzde elektrik iletiminde ve dağıtımında teknik kayıp oranını azaltmak için dünya genelinde birçok çalışma yapıldığı görülmekte ve bununla birlikte elektrik dağıtımında da kaçak miktarını azaltabilmek için ciddi çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Akıllı şebeke kavramıyla birlikte elektrik şebekesinin izlenebilirliği ve kontrol edilebilirliğinin artması ve bu yatırımlarla litetürde kayıp-kaçak olarak geçen; teknik ve teknik olmayan kayıpların azaltılması akıllı şebekelerin kazanımlarından biri olarak görülmektedir [2].

Geleneksel elektrik dağıtım sistemlerinde yükler radyal olarak yalnızca tek bir kaynaktan beslenmektedir. Ancak olası kısıtlılık durumlarında yüklerin alternatif kaynaklardan beslenebilmesi, hizmet sürekliliğinin sağlanabilmesi ve arıza sürelerinin mümkün olan en düşük seviyede tutulması açısından büyük önem taşımaktadır [3]. Bu nedenle yük yoğunluğunun görece yüksek olduğu bölgelerde dağıtım altyapısı genellikle yüklerin birden fazla kaynaktan beslenebildiği ring şebeke mimarisinde inşa edilmektedir. Normal işletme durumunda belirli anahtarlama noktalarından açık tutularak radyal (açık ring) şekilde işletilen bu şebekelerde, arıza durumlarında gerekli anahtarlamalar yapılarak yükler alternatif kaynaklardan beslenebilmektedir [3]. Arıza durumun giderilmesiyle şebeke eski besleme şekline döndürülerek normal işletme haline devam edilmektedir.

Tek kaynaktan beslenen dağıtım şebekesi fiderleri üzerinde yüklerin dengeli olarak dağıtılmış olması büyük önem taşımaktadır. Fiderlerin dengesiz yüklenmesi fiderlerin taşıdığı akım değerlerinin olması beklenen ortalama değerlerden sapmasına sebep olur. Dağıtım şebekelerindeki kayıpların çoğunluğunu oluşturan akıma bağlı kayıplar, akımın karesi ile orantılıdır ve aynı miktarda yükü besleyen toplam akımın kollar

arasında dengesiz dağılımı toplam kaybın artmasına yol açmaktadır. Bu nedenle şebekedeki fiderler üzerindeki yük dengesizliği, toplam kayıpların artması anlamına gelmektedir. Dağıtım şebekeleri planlanırken anahtarların açık işletildiği noktalar fiderler üzerinde dengeli yük dağılımını sağlayacak şekilde seçilmektedir. Ancak şebekede yaşanan değişiklikler ve yük profillerinin zamana bağlı farklılık gösteren karakteristikleri sebebiyle yük dağılımı dengesi bozulmaktadır [3]. Şebekenin yüklerin beslenebileceği optimum mimariden sapmasıyla, şebeke aynı miktarda yükün daha fazla kayıpla beslenebildiği bir duruma geçmektedir. Şebekenin sürekli olarak mümkün olan en az kayıba sebebiyet veren konfigürasyonda işletilebilmesi için şebekenin sürekli olarak izlenerek yük dağılımı değişimlerine göre anahtarlama noktalarının değiştirilmesi gerekmektedir.

Dağıtım şebekesi fiderlerinin anahtarlama optimizasyonu ile yeniden yapılandırılması sayesinde konvansiyonel şebeke işletme felsefesinden farklı olarak, ölçümlenen yük değerlerine göre şebekenin işletilebileceği en doğru konfigürasyon hesaplanarak anahtarlama noktaları değiştirilebilir. Bu süreçte, yüklerden alınan ölçüm değerleri oluşturulan şebeke modeli üzerine işlenerek sistemde yük akış analizleri yapılmaktadır. Yük akışından alınan sonuçlar bir algoritma yardımıyla işlenerek, en az kayıbı, minimum gerilim düşümünü, en yüksek güvenilirliği ya da belirlenecek herhangi başka bir kritere göre mevcut şebekede yükleri radyal olarak besleyebilecek en iyi konfigürasyon ve bu konfigürasyonu sağlamak için gerekli anahtarlama hamleleri belirlenir. Tasarlanabilecek tüm şebekelerde, ortaya çıkabilecek tüm işletme koşullarında evrensel olarak optimum besleme şeklini bulabilmenin en temel yöntemi, olası tüm radyal konfigürasyonların simüle edilerek yük akışı sonuçlarına göre en az kayıplı konfigürasyonun seçilmesidir. Ancak bu yöntem için gereken hesaplama süresi şebeke büyüdükçe çok yükseldiği için pratik değildir. Anahtarlama optimizasyonu ile dağıtım şebekesinin yeniden yapılandırılmasında kullanılmak üzere hızlarına, işlemci gücü ihtiyaçlarına ve farklı özelliklerine göre değişen doğruluklarda sonuçlar veren birçok yöntem geliştirilmiştir. (Bu yöntemler Bölüm 4'te detaylı olarak açıklanmıştır).

Yapılan bu doktora çalışmasında, minimum akım açma ve anahtar değiş-tokuşu yöntemleri kullanılarak geliştirilen hibrit bir sezgisel algoritma yöntemi, literatürdeki yöntemler ile karşılaştırılmış, iterasyon sayısı ve hesaplama hızı bakımından daha iyi

sonuçlar elde edilmiştir. Geliştirilen bu sezgisel algoritma ile dağıtım şebekesinin gerçek bir kesitinde sabit yükler girilerek anahtarlama optimizasyonu yapılmış, girilen parametrelere göre minimum hat kayıpları ve optimum anahtar konumları elde edilmiştir.

Bu çalışmada, akıllı şebeke kavramı ve bileşenleri ele alınmış, sonrasında da anahtarlama optimizasyonu ve yeniden yapılandırma konusu incelenerek, mevcut algoritmalardan daha hızlı sonuç veren ve doğruluğu daha yüksek hibrit bir sezgisel algoritma geliştirilmiştir.

1.1 Literatür Özeti

Elektrik enerjisinin genellikle yerleşim merkezlerinden uzak yerlerde üretilerek yüksek gerilim iletim hatları ile tek yönlü olarak tüketicilere ulaştırıldığı klasik elektrik enerjisi iletim ve dağıtım anlayışı, yenilenebilir enerji esaslı dağıtık enerji kaynaklarının yaygınlaşarak devreye alınmasıyla değişmeye başlamıştır. Bu değişim özellikle dağıtım seviyesinde iki yönlü enerji akışının olduğu, alt sistemlerin birbiriyle haberleşerek mevcut sistemin en verimli şekilde işletildiği akıllı şebekeler (smart grids) kavramını gündeme getirmiştir.

EPRI'nin (Elektirik Güçü Araştırma Enstitüsü) yaptığı tanıma göre Akıllı şebekeler, uygulama ve kapsam genişliğine göre farklılıklar arz etse de, genel olarak bir elektrik şebekesinin esnek, erişilebilir, izlenebilir, yönetilebilir, güvenilir ve ekonomik olmasını sağlayan teknolojilerin geniş bir koleksiyonu olarak ifade edilebilir. Dağıtık üretim, talep yönetimi, enerji depolama, uzaktan izleme ve kontrol sistemleri, şebeke varlıklarının en uygun şekilde genişletilmesi ve yönetimi gibi arzu edilen faaliyetler, akıllı şebekeler sayesinde kolayca yönetilebilmekte ve gerçekleştirilebilmektedir [4].

Akıllı şebekenin önemli konularından birisi de, anahtarlama optimizasyonu ve yeniden yapılandırmadır [5]. Değişken yükler, artan enerji talebi, dağıtık üretim kaynakları, mevcut dağıtım şebekesini daha karmaşık ve yönetilmesi zor bir yapıya dönüştürmektedir. En düşük teknik kaybın, esnek, güvenilir ve kararlı bir yapının hedeflendiği bir şebekede, optimum anahtarlama noktasının belirlenmesinin sağlanması, bu çalışmanın ana konusudur.

Litetürde anahtarlama optimizasyonu ile dağıtım şebekesinin yeniden yapılandırılması üzere birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler genel olarak aşağıda özetlenmiştir:

Temel sezgisel yöntemler M.Baran ve F.F. Wu [6] Şebekenin normal işletme durumunda açık olarak tutulan anahtarlama noktalarının sıra ile kapatılarak, en az kayıplı anahtarlama noktalarını belirtmeyi amaçlamakta olduğu ve diğer sezgisel yöntemlere temel oluşturduğu görülmüştür [6]. Rastlantısal Yöntemler K. Prasad, R. Ranjan, N.C. Sahoo ve A. Chaturvedi tarafından 2005 yıllarında bilgisayar teknolojilerinin gelişmesiyle modellenmesi zor ancak simüle edilmesi hızlı olan problemlerin çözümü için kullanılmaya başlanmış, karışık durumların modellenerek analitik bir çözümünün bulunması yerine, rastlantısal olarak oluşturulan bir örnekleme grubunun sonuçları değerlendirilerek, optimizasyonun hedef fonksiyonuna uygunluğu yüksek olan örneklerin tercih edilmesiyle en iyi sonuca ulaşılması hedeflendiği yöntemler olarak ön plana çıkmaya başlamıştır [7]. Yeni sezgisel yöntemler veya hibrit yapılandırma algoritmaları, temel sezgisel yöntemlere ve bilgisayar dünyasındaki hızlı gelişim ile her alanda yaygınlığı artan rastlantısal yöntemlere ek olarak, temel sezgisel yöntemlerin çözüm avantajlarının bir arada kullanıldığı hibrit yöntemler A.K. Ferdavani, A.A.M. Zin, A.Khairuddin, M.M. Naeini tarafından yeni sezgisel algoritmalar geliştirilmiştir [8]-[12]. Dağıtım şebekesinin yeniden yapılandırılması ile literatür de belirtilen yöntemlerin bahsedilen çoğunda problemi basitleştirmek adına sabit yükler ve oturmuş şebeke şartları temel alınmıştır. Fakat dağıtım şebekesindeki koşullar, zamana bağlı olarak dinamik şekilde değişiklik gösterirler. Bu sebepten dolayı şebekenin optimum işletme koşullarının sağlanması için en uygun besleme şekli, akım ve gerilim değerlerindeki değişikliklere göre dinamik olarak belirlenmesini temel alan yöntemler, M.H. Shariatkhah, M.R Haghifam ve A. Arefi tarafından geliştirilmiştir [13]-[15]. Yapılan çalışmalar incelendiğinde akıllı şebeke kavramının yani şebekenin izlenebilirliğinin ve kontrol edilebilirliğinin önem kazandığı görülmüş ve gelişen ihtiyaçlara konvansiyonel tekniklerin yetersiz kaldığı görülmüştür. Yapılan bu doktora tezinin, akıllı şebekenin uygulama alanlarından biri olarak tanımlanabilen, anahtarlama optimizasyonun optimum olarak yapılmasına dönük bir algoritma geliştirilerek literatüre katkı sağlaması beklenmektedir.

1.2 Tezin Amacı

Günümüzde akıllı şebeke kavramı ve getirdiği uygulanabilirlik alanları hızlıca artıyor. Özellikle çift taraflı yük akışı, yani yukarıdan aşağı yük akışı anlayışı yerine, dağıtık olarak aşağıdan yukarı doğru bir yük akışı gündeme gelmekte. Bu çalışmada akıllı şebeke bileşenleri tanıtılarak dünyadaki uygulamaları incelenecek ve bunların Türkiye deki uygulama alanları araştırılacak, enerjinin verimli kullanılması hususunda, teknik ve teknik olmayan kayıpların azaltılabilmesini amaçlayan ve akıllı şebekelerin en önemli olan konulardan birisi olarak görülebilen anahtarlama optimizasyonu irdelenecektir. Akıllı şebeke kavramının dayanağı olan kontrol edilebilirlik ve izlenebilirliğinin uygulama alanı olarak görülebilecek olan elektrik dağıtım şebekelerinde anahtarlama optimizasyonun sağlanması, literatürdeki yöntemlerden; teknik kayıp oranlarında belirtilen diğer metotlara göre iyileşme olarak ve yapılan yük akışı sayısındaki azalma, hızındaki iyileşme olarak daha iyi sonuçlar elde edilmesini sağlayan bir algoritmanın geliştirilmesi hedeflenmektedir.

Bu tez çalışması, Boğaziçi Elektrik Dağıtım A.Ş.'nin OG şebekesinin kısmi bir modeli üzerinde gerçekleştirilmiştir. Analizde kullanılan yük modelleri de BEDAŞ sistemindeki mevcut yüklerin gerçek ölçümleri ve yük profillerine göre oluşturulmuştur. Anahtarlama optimizasyonunun hedef fonksiyonu, bu çalışmada olduğu gibi literatürdeki çalışmaların çoğunda, şebekedeki rezistif kaybı en aza indirmek olarak tanımlanmıştır. Ancak optimizasyonun hedef fonksiyonu olarak minimum gerilim düşümü ya da ekipmanların dengeli yüklenmesi gibi farklı kriterler de tercih edilebilmektedir. Bu çalışmada minimum rezistif kayıp kriterinin tercih edilme sebebi, Boğaziçi Elektrik Dağıtım şebekesinde kayıpların en düşük oranlara düşürülmesinin yanısıra, dolaylı olarak şebeke yüklerinin görece dengeli dağılımının sağlanması gerekliliği sıralanabilir. Rezistif kayıp minimizasyonu ile şebekedeki teknik kayıplardan kaynaklanan finansal kaybın azaltılmasına ek olarak, şebeke elemanlarının daha dengeli yüklenmesi sağlanarak ekipmanların ekonomik ömürlerinin uzaması ve şebekedeki arıza sıklığının azaltılması ile yatırım ve operason giderlerinin azaltılabileceği düşünülmektedir.

Gerçek bir şebeke kesiti ve gerçek yükler kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışmanın, literatüre ve elektrik dağıtım şebekelerindeki çalışmalara katkı sağlaması beklenmektedir.

1.3 Bilimsel Katkılar

Akıllı şebeke kavramı son 10 yılda popüler bir kavram gibi görünmekle birlikte, ülkemizde akıllı şebekenin ne olup ne olmadığı ya da neyi kapsayıp neyi kapsamadığı üzerine herhangi bir Türkçe kaynak bulunmamaktadır. Bu çalışmada ülkemizde bir farkındalık yaratarak, dünyada gelinen noktayı ve dünyanın akıllı şebekeler konusunda nereye doğru gitmekte olduğu belirtilmeye çalışılmış sonrasında da akıllı şebekenin yararlarının somut bir göstergesi sayılabilecek olan elektrik dağıtım şebekelerinde anahtarlama optimizasyonu konusu incelenmiştir. Elektrik dağıtım şebekelerinde uygulanabilecek anahtarlama optimizasyonu problemiyle ilgili yapılan bu tez çalışması, sistemdeki birçok problemin çözümüne de katkı sağlanması amaçlanmaktadır. Bu çalışmada, bu alanda günümüze değin yapılan çalışmalar incelenmiş, her çalışmanın olumlu ve olumsuz yönleri vurgulanmış, sonuç olarak da mevcut çalışmalardan yük akışı sayısı ve hızı bakımından daha iyi sonuçlar alınabilen hibrit bir sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Bu bağlamda, yapılan tez çalışması ile literatüre kazandırılan katkılar şu şekilde sıralanabilir:

- Akıllı şebeke kavramının ne olup ne olmadığı tanımlanmış ve akıllı şebeke kavramın dayanakları; kontrol edilebilirlik ve izlenebilirlik özellikleri belirtilmiştir. Böylelikle de Türkçe kaynak eksikliği giderilmeye çalışılmış, akıllı şebeke kavramının ne olup ne olmadığı belirtilmeye çalışılarak, Türkiye'deki literatüre eksikliğini kısıtlı da olsa gidermeye katkı sağlanması amaçlanmıştır.
- Akıllı şebeke kavramının neden ortaya çıktığını, enerji sektöründeki değişimin özellikle de dağıtık üretim santrallerin artmasının mevcuttaki dağıtım sistemine etkileri incelenerek, çift yönlü yük akışının yönetilmesinin akıllı şebeke bileşenleriyle mümkün olduğu anlatılmış, mevcuttaki dağıtım şebeke yapısının yakın gelecekteki zorluklara akıllı şebeke bileşenleri olmadan yetersiz kalacağı nedenleriyle gösterilmiştir.

- Akıllı şebeke bileşenlerinin yatırımların planları yapılırken hangi noktalara dikkat edilmesi gerektiği, fayda-maliyet analizinin neden önemli olduğunu, akıllı şebeke bileşenlerinin birlikte çalışmasının, akıllı şebeke yatırımlarının başarılı olabilmesi için ön şart olduğu ve bu bileşenlerin standartlarının belirlenmesinin önemi vurgulanarak regülasyon yapan kurumlara bir fikir vermesi hedeflenmiştir.
- Elektrik dağıtım şebekesinde anahtarlama optimizasyonu için literatürde hangi metotların kullanıldığı, bunların hangi ölçüde başarılı oldukları, kısıtlarının neler olduğu gösterilmiştir.
- Elektrik dağıtım şebekesinde anahtarlama optimizasyonu kullanılarak, şu anki şebeke işletme yöntemleri yerine kullanılarak işletilmesi çerçevesinde BEDAŞ'ın örnek bir şebeke kesiti alınarak teknik kayıplarda nasıl bir kazanım sağlanacağı somut olarak gösterilerek elektrik dağıtım firmalarının farkındalıklarının aratılması, teknik kayıplardaki kazanımların ülkedeki enerji verimliliğine etkisi gösterilmesi çalışılmıştır.
- Geliştirilen algoritma ile literatürdeki anahtarlama optimizasyonu metotlarından teknik kayıp oranlarında elde edilen iyileşme ve anahtarlama optimizasyonu için yapılan yük akışı sayısının önemli oranda azalma ve dolayısıyla hesaplama hızındaki iyileşmeyle öne çıkan bir metot geliştirilmiştir.

Yukarıda belirtilen katkılara ek olarak da uluslararası hakemli dergilerde ve ulusal/uluslararası konferanslarda sunulmuş, akademik çerçevede tartışılarak tez içerisinde nihai haliyle birlikte belirtilmiştir.

BÖLÜM 2

AKILLI ŞEBEKELER

Akıllı şebeke, bir elektrik şebekesinin esnek, erişilebilir, güvenilir ve ekonomik olmasını sağlayan teknolojilerin geniş bir koleksiyonudur. Dağıtık üretim, talep yönetimi, enerji depolama sistemleri, şebeke varlıklarının en uygun şekilde genişletilmesi ve yönetimi gibi arzu edilen faaliyetleri kolaylaştırır. Akıllı şebekeyi en iyi temsil eden "Smart Grid" tanımı, Amerikan Elektrik Araştırma Enstitüsü (U.S. Electric Power Research Institute - EPRI) tarafından önerilmiştir [4].

Çevresel kaygıları azaltmak, eskiyen altyapıyı yenilemek, enerji darboğazlarını gidermek gibi mevcut ihtiyaçlarını karşılamak adına, A.B.D. ve Avrupa'daki büyük enerji şirketleri, "Smart Grid" kavramını öne çıkardılar ve 2003'den bu yana konuyla ilgili bir takım çalışmalar yürüttüler. Bu çalışmalardan en önemlileri; "Avrupa Akıllı Şebeke Teknoloji Platformu"[2] ve "A.B.D. 2030 Akıllı Şebeke Vizyonu" dur [16].

"Smart Grid" kavramı, her geçen gün daha popüler hale gelmiş, tüm dünyanın ilgisini üzerinde toplamaya başlamıştır. Smart Grid gelişiminin öncüleri olan A.B.D. ve Avrupa'da, bu gelişim birbirinden farklıdır. A.B.D, eskiyen elektrik şebeke altyapısının yenilenmesine ve modernize edilmesine odaklanmışken, Avrupa yenilebilir enerji kaynaklarına, enerji verimliliğine ve dağıtık enerji kaynaklarının geliştirilmesi, şebekeye entegrasyonu konularına yoğunlaşmıştır.

Akıllı şebeke esas olarak; Otomatik Sayaç Okuma Sistemi (AMR), Gelişmiş Ölçme Altyapısı (AMI), Coğrafi Bilgi Sistemi (GIS), SCADA ve Dağıtım Otomasyonu (DMS), Abone Bilgi Sistemi (CIS), Çağrı Merkezi (Call Center), Arıza Yönetim Sistemleri (OMS), Talep Yönetimi (Demand Response), Enerji Kalitesi İzleme Sistemleri, Risk Tabanlı Varlık

Yönetimi (Risk BasedAsset Management), Elektrikli Araçlar ve şarj altyapılarının şebekeye entegrasyonu, Dağıtık Üretim Kaynakları (DG) gibi sistemlerin, klasik tek yönlü şebekeye entegrasyonuyla oluşan yeni bir şebeke mimarisidir. Tüm bu uygulamalar birbirleriyle uyumlu ve birlikte çalışabilir, haberleşebilir, çift yönlü veri akışına izin verebilir özelliklerde olmalıdır. Akıllı şebeke her şirkete, şirket yöneticisine veya bölgeye göre değişik şekillerde yorumlanmaktadır. Burada, şirketin öncelikleri, ihtiyaçları, gereksinimleri, bütçesi, insan kaynakları vb. parametreler çok önemlidir.

2.1 ABD'de Akıllı Şebeke Gelişimi

"A.B.D. 2030 Akıllı Şebeke Vizyonu"na göre akıllı şebeke; "Şebekedeki her düğümün görüntülenip kontrol edilebildiği, güç santrallerinde, teçhizatta ve her bir düğümde bilgi ve enerjinin çift yönlü olarak taşınabildiği, tamamen otomatik bir elektrik şebekesi" olarak tanımlanmıştır [16].

ABD'deki akıllı şebeke gelişmeleri, ilk olarak Bush yönetimine dayanır. 2002'deki Amerikan Enerji Departmanı'nın (DOE) bir çalışmasında, ABD güç sisteminde, iletim sistemi darboğazları ve ilgili iletim sistemi uygulamaları nedeniyle, yüz milyonlarca dolarlık bir ekonomik maliyeti gereksinimi vurgulandı. DOE Eylül 2003'te, 2030 yılına kadar inşa edilmesi için, yenilenmiş ve dönüştürülmüş bir ulusal elektrik şebekesi önerisini kapsayan bir çalışma düzenledi. Bu "2030 Şebekesi Vizyonu" özetine göre;

"2030 elektrik şebekesi, enerji piyasası için rekabetçi bir Kuzey Amerika Pazarını harekete geçiren, herkese, her zaman ve her yerde, bol, uygun fiyata, temiz, verimli ve güvenilir elektrik enerjisini sağlayan, ayrıca dünyadaki en iyi ve en güvenli elektrik hizmetlerine olanak sağlayan bir yapıya" sahip olmalıdır [16].

Temmuz 2003'te, 2030 vizyonunun uygulanması için bir faaliyet gündemi geliştirmek adına, "Ulusal Elektrik Dağıtım Teknolojileri Yol Haritası Çalıştayı" yapılmıştır [18]. Bu girişim, (The Gridwise Initiative) [19], ABD DOE'nin, Elektrik Dağıtımı ve Enerji Güvenilirliği Ofisi'nin bir faaliyetidir. Elektrik şebekesinin dönüşümünü destekleyen araştırmalara ve uygulama projelerine önderlik etmeyi amaçlamaktadır. Bu çalıştay şu konulara odaklanmıştır:

- Haberleşme mimarileri ve standartları,

- Simülasyon ve analiz araçları,
- Akıllı teknolojiler,
- Test katmanları ve uygulama projeleri,
- Yeni düzenleyici ve pazar çalışma çerçeveleri.

“GridWise” Mimarisi Konseyi [20], akıllı, interaktif sistem standartlarının ve açık mimarilerin gelişimi için önemli bir itici güçtür. Bu grup, akıllı şebekede birlikte çalışabilirlik üzerine büyük konferanslar ve çalışma grupları koordine eder. “The EPRI Intelligrid” (Electric Power Research Instutue) ise [21], akıllı şebeke girişiminin teknik detaylarını geliştirmeye odaklanmıştır. “Intelligrid” mimarisi, "gelişmiş ölçüm, dağıtım otomasyonu ve talep yanıtlama" gibi IT tabanlı sistemleri planlamaya ve sağlamaya yardım eden standartlar için, yöntem, araç ve tavsiyeler sağlar. 2007’deki Enerji Bağımsızlık ve Güvenlik Yasası’nda (EISA) “Smar Grid” teknolojisi, özellikle tanınmıştır. Aşağıdaki özellikleri kapsayan akıllı bir güç sistemi geliştirmek için ABD şunları taahhüt etmektedir [22]:

- Elektrik şebekesinin güvenilirliğini, güvenliğini ve verimliliğini arttırmak için, dijital bilgi ve kontrol teknolojilerinin kullanımının artması,
- Şebeke operasyonlarının ve üretim kaynaklarının, tam bir siber güvenliği içinde dinamik optimizasyonu,
- Yenilenebilir enerji kaynaklarını içeren dağıtık üretim kaynaklarının gelişimi ve entegrasyonu,
- Talep yanıtlarının, talep yakınındaki kaynakların ve verimli enerji kaynaklarının gelişimi ve birleştirilmesi,
- Şebeke operasyonları ve durumlarıyla ilgili haberleşme, ölçme ve dağıtım otomasyonu için akıllı teknolojilerin gelişimi (ekipmanların fiziksel işletmelerini ve müşteri cihazlarını optimize eden, gerçek zamanlı, otomatik, interaktif teknolojiler),
- Akıllı ev aletlerinin ve müşteri cihazlarının entegrasyonu,

- %100 elektrikli ve hibrit elektrikli araçları ve termal depolamalı klimaları içeren, ileri elektrik depolama ve pik kaydırma çözümlerinin gelişimi ve entegrasyonu,
- Tüketicilere güncel bilgi ve kontrol seçeneklerinin sağlanması,
- Elektrik şebekesine bağlı, şebekeye hizmet veren altyapıya sahip alet ve ekipmanların haberleşme standartlarının ve birlikte çalışabilirliğinin gelişimi,
- Akıllı şebeke teknolojilerinin, uygulamalarının ve servislerinin adaptasyonu için, mantıksız veya gereksiz engellerin tanımlanması ve azaltılması.

"2007 Enerji Bağımsızlığı ve Güvenliği Kanunu"na göre (EISA), " Smart Grid cihazlarının ve sistemlerinin birlikte çalışabilmesini sağlamak adına bilgi yönetimi için model standartları ve protokolleri içeren bir çalışma çerçevesinin geliştirilmesini koordine edilmesi için birincil sorumluluk", A.B.D.'nin "Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü"ne (NIST) verilmiştir [20]. NIST, Ocak 2010'da "Akıllı Şebeke Birlikte Çalışabilirlik Standartları" için bir yol haritası yayınlamıştır [23].

Bu yol haritası çok kapsamlı olmakla beraber, akıllı sayaçlar gibi pilot bir çalışmanın ötesinde büyük ölçeklerde yaygınlaşan uygulamalara hızlı cevap verebilmek adına, ilk başlangıç olarak üç başlık altında toplanmıştır:

1. Uygulanabilir standartları ve gereksinimleri, mevcut standartlardaki boşlukları ve ilave standardizasyon faaliyetlerinin önceliklerini tanımlamak için, katılımcı bir kamu sürecinde paydaşların bir araya getirilmesi.

2. Uzun dönemli bir ilerlemeyi sürdürebilmek için bir "Akıllı Şebeke Birlikte Çalışabilirlik Paneli" Kurulması.

3. Uygunluk testleri ve belgelendirme için bir çalışma planının geliştirilmesi ve uygulanması.

Gerçek çalışma koşulları altında güvenliği ve birlikte çalışabilirliği sağlamak için, akıllı şebeke cihazlarında, sistemlerinde ve süreçlerinde standartların nasıl uygulandığının test edilmesi ve belgelendirilmesi zorunludur. NIST bu bağlamda, paydaşlarla istişare ederek, test ve belgelendirme için genel bir çerçeve planlamaktadır.

U.S. Electric Power Research Institute (EPRI) Mart 2011'de, Smart Grid'in tahmini maliyetleri ve faydalarıyla ilgili, "Tamamen akıllı bir şebekenin, yatırım

gereksinimlerinin ve bileşke faydalarının bir ön tahmini" başlıklı bir teknik rapor yayınlamıştır [24].

Bu rapora göre önümüzdeki 20 yılda, akıllı şebeke için tahmini dağıtım sistemi yatırım ihtiyacı, 309-403 milyar USD$ arasında değişmektedir. Bu yatırımlar; haberleşme, dağıtım otomasyonu, fider otomasyonu, akıllı evrensel trafolar, ileri ölçme altyapısı (AMI) ve yerel enerji ağları (LEN) başlıkları altında toplanmıştır. U.S.'de 165 milyon elektrik dağıtım sistemi müşterisi mevcuttur. Yukarıda bahsedilen yatırımlar gerçekleştiğinde, 2030 yılında tahminen 56-203 milyar kWh arasında bir enerji tasarrufu ve yıllık 60-211 milyon ton CO_2 salınımı azaltılacaktır. Bu da, U.S.'de her yıl 14-50 milyon aracın sıfır karbon emisyonu salınımına karşılık gelmektedir [24].

2.2 Avrupa'da ve Dünyada Akıllı Şebeke Gelişimi

Avrupa'da akıllı şebeke araştırma ve kurma çalışmaları 2004 yılında başladı. A.B. üyesi ülkelerdeki elektrik şebekesi sahiplerinin, operatörlerin ve kullanıcıların yaşadığı sıkıntıları gidermek adına, 2005 yılında "Avrupa Akıllı Şebeke Teknoloji Platformu" kurulmuştur. Bu platform tarafından, Avrupa elektrik şebekesinin 2020 yılına kadar, daha esnek, kolay erişilebilir, güvenilir ve ekonomik olmasını öngören "Akıllı Şebeke Projesi Vizyonu" ortaya konulmuştur [2]. Bu vizyona göre Avrupa'da;

Esnek: Değişikliklere ve sorunlara cevap verirken, bir yandan da müşterilerin ihtiyaçlarının yerine getirebilen;

Erişilebilir: Tüm şebeke kullanıcılarına bağlantı erişimi verebilen (özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarına, sıfır veya düşük karbon emisyonlu yüksek verimlilikteki yerel üretimler için),

Güvenilir: Dijital çağın taleplerine uygun, tutarlı, tehlikelere ve belirsizliklere karşı esnek, tedarik sürekliliği, enerji kalitesi ve güvenliğini garanti eden ve geliştiren,

Ekonomik: Yenilikçi, enerji verimliliğini etkin bir şekilde yöneten, rekabet ve yönetmelik yoluyla en yüksek değeri sağlayan bir elektrik altyapısı öngörmektedir.

"Avrupa Teknoloji Platformu" tarafından ise, akıllı şebeke tanımı; "Bir elektrik şebekesinin, verimlilik, sürdürülebilirlik, ekonomiklik ve tedarik güvenliği amaçlarıyla,

sisteme bağlı tüm kullanıcıların (üreticiler, tüketiciler, her ikisini de yapanlar) faaliyetlerini akıllıca birleştirebilmesi" olarak yorumlanmıştır [2].

Bu vizyonu gerçekleştirmek için gerekli kilit noktalar şunlardır:

- Şebekelere, tüm enerji kaynaklarının sisteme girişini kabul etmesine olanak sağlayan, hızla uygulanabilen ve etkin maliyetli, teknik çözümleri kanıtlanmış bir araç kutusunun oluşturulması;
- Üretim ve dağıtım şebekesi hizmetlerinin her ikisinin de sınır ötesi ticaretini kolaylaştırmak için, Avrupa'daki düzenleyici ve ticari çerçevelerin uyumlulaştırılması;
- Ortak protokollerin ve teknik standartların kurulması;
- İş verimliliğini ve müşteri hizmetlerini arttıran bilgi işlem ve haberleşme sistemlerinin geliştirilmesi;
- Eski ve yeni şebeke ekipmanlarının, haberleşme ve kontrol parametrelerinin birlikte çalışabilmesine olanak sağlayan, başarılı arayüzlerin geliştirilmesi.

AB'ye üye ülkelerin, bu çalışmalar kapsamında 2030 yılına kadar enerji altyapısına 500 milyar euro harcaması beklenmektedir. Bu tutar, üretim ve iletim-dağıtım şebekeleri arasında eşit olarak bölünecektir. Avrupa Teknoloji Platformu ayrıca, çevresel hedefleri destekleyen, sürdürülebilirlik taahhüt eden, Avrupa'nın rekabetçi pozisyonunu yükseltecek şekilde elektrik şebekesinin gelişimini hedefleyen, gelecek araştırma programı için, bir çalışma çerçevesi öneren, bir stratejik araştırma takvimi (SRA-Strategic Research Agenda) oluşturmuştur [25]. Araştırma alanları ve görevler 5 ana başlık altında toplanmıştır:

1. Akıllı dağıtım altyapısı,

2. Akıllı işletme, çift yönlü enerji akışı ve müşteri uyumu,

3. Akıllı şebeke varlıkları ve varlık yönetimi,

4. Avrupa elektrik şebekesinin akıllı şebeke birlikte çalışabilirliği,

5. Akıllı şebeke ile kesişen konular ve katalizörler.

Avrupa ve dünyada akıllı şebekeler kapsamında yapılan çalışmalar incelendiğinde öne çıkan yatırımlar şu şekildedir:

Brezilya: Brezilya'da pek çok şirket akıllı şebeke ile ilişkili pilot çalışmalar yürütmektedir. 2012 itibariyle 1 milyonu aşkın uzaktan okumalı sayaç kurulumu yapılmıştır. 2021 yılı sonuna kadar 63 milyon elektrik sayacının, akıllı sayaç ile değiştirilmesi planlanmaktadır [26].

Hindistan: Hindistan Enerji Bakanlığı'nın yapmış olduğu araştırmada, dünyadaki en büyük iletim ve dağıtım kayıpları oranı Hindistan elektrik şebekelerindedir. Bu kayıpların, kaçaklar da dâhil edildiğinde ortalama % 50 civarında olduğu ifade edilmektedir. Bu nedenle 2008 yılında "Smart Grids India" konferansı ile ilk adım atılarak akıllı şebekeler üzerindeki çalışmalarını başlatmışlardır. Ülkede 2020 yılına kadar 130 milyondan fazla akıllı sayacın kurulumu planlanmaktadır [26].

Çin: Çin, nüfusu ve sanayisi sebebiyle elektrik enerjisinin verimli kullanımını birincil politika haline getirmiştir. Çin'in Akıllı Şebeke Yol Haritası, üç aşamada tanımlanmıştır. Bunlar; planlama ve pilot (2009-2010), kurulum (2011-2015), geliştirme'dir (2016-2020). Çin'de enerji üretimi yapılan kaynaklar, enerji tüketiminin yoğun olduğu bölgelere çok uzak olduğu için, yatırımların çoğu daha verimli bir şekilde enerji taşınabilmesi amacıyla iletim ağlarına yapılmıştır [26]. Çin Devleti, her hafta, Dallas veya San Diego'daki tüm ev uygulamalarını karlılayacak büyüklükte kömür santralleri kurmaktadır. Çin'de akıllı şebeke çalışmaları 2007 yılındaki MIT (Massachusetts Intitute of Technology) forumundan sonra başlatılmıştır. 2009-2020 yılları arası akıllı şebeke teknolojisinin geliştirilmesi için 101 milyar dolar yatırım planlanmıştır [26].

Japonya: Japonya'da büyük endüstri ortakları tarafından kurulmuş "Japonya Akıllı Toplum İttifakı", Japonya'nın akıllı şebeke haritasının çıkarılmasında önemli rol oynamaktadır. Japonya, 1990'lardan bu yana, akıllı şebeke için çok büyük yatırımlar yapmış ve dünya lideri konumuna gelmiştir. Yatırımlarına çok önceden başladığı için de, akıllı şebeke çalışmalarına, talep tarafında devam etmektedir. 2010 yılında, 4 şehirde akıllı şebeke kapsamında akıllı şehir pilot uygulamalarına başlamışlardır [26].

Güney Kore: Güney Kore Hükümeti, 3 aşama ve 5 fazdan oluşan programıyla, 2030 yılına kadar akıllı şebeke uygulamasına tamamen geçmeyi planlamıştır. Aşamalar;

2010-2012, 2012-2020 ve 2021-2030 olarak ayrılmış, fazlar ise akıllı şebeke, akıllı tüketici, akıllı taşımacılık, akıllı yenilenebilirler ve akıllı elektrik hizmetleri olarak adlandırılmıştır. Bu yol haritasında, şebekenin uzaktan izlenebilmesi, akıllı evlerin enerji yönetimlerinin yapılabilmesi ve pilot araç şarj ünitelerinin kurulması gibi adımlar bulunmaktadır. Program tamamlandığında ise, şebekenin kendi kendini onarabilmesi, gerçek zamanlı fiyatlandırmanın mümkün kılınması ve enerji depolama cihazlarının yaygınlaştırılması gibi pek çok akıllı sistemi kapsaması beklenmektedir [26].

Rusya: Rusya'da 1,5 milyonu aşkın apartman dairesi akıllı elektrik şebekesine bağlanmıştır. (Ericsson Şirketi) Dairelerin her birine, elektrik tüketiminin enerji şirketi tarafından kontrol edilmesine imkân veren sayaçlar kurmuştur [26].

Avustralya: Avustralya Enerji Piyasaları Düzenleme Kurumu tarafından elektrik dağıtım şirketlerine, tüketicilere akıllı sayaç bağlama zorunluluğu getirilmiştir. Buna ek olarak, Avustralya Devleti, "Akıllı Şebeke, Akıllı Şehirler" projesi kapsamında enerji sektörü ile ortak bir proje yürütmekte ve bu pojeye 52,5 milyon Euro ayırmış durumdadır [26].

Avrupa Birliği Ülkeleri: Avrupa Birliği müktesebatında 3. Enerji Paketi hükümleri ve buna bağlı 2009/72/EC no'lu Enerji Direktifi'nin Ek 1.2 maddesi kapsamında Avrupa Birliği üye ülkelerinin akıllı şebeke yatırımları yapmaları teşvik edilmektedir. Paket kapsamında 2020 yılına kadar Avrupalı tüketicilerin % 80'inin akıllı sayaçlara sahip olması gerekiyor. Bu direktifler ve yönetmelikler neticesinde, son 10 yılda 300 kadar akıllı şebeke projesine yaklaşık 5,5 Milyar Euro yatırım yapılmıştır. 2020 yılına kadar ise toplam 240 milyon akıllı sayacın Avrupa genelinde aktif olması beklenmektedir [26].

İtalya: 2005 yılında tamamlanan “Telegestore Projesi” kapsamında İtalya, Avrupa’da akıllı şebekeler ile ilgili olarak ilk adımı atan ülke olmuştur. Bu proje ile 27 milyon adet sayaç uzaktan okunabilen akıllı sayaç ile değiştirilmiştir [26].

Fransa: Ağustos 2010'da çıkan mevzuat ile birlikte "Linky" projesi kapsamında 2016 yılının sonuna kadar ülkenin % 95'ini kapsayacak şekilde akıllı sayaç kurulması hedeflenmektedir [26].

İspanya: 2008 yılında çıkardığı yasa ile dağıtım şirketleri tarafından tüketicilerin kullandığı sayaçlar yerine, tüketicilere ek yük olmaksızın, akıllı sayaç yerleştirmelerini

zorunlu kılmıştır. Bu yasa çerçevesinde, Endesa dağıtım şirketi 2010-2015 yılları arasında 13 milyon tüketicisine akıllı sayaç kurulumu yapacağını açıklamıştır [26].

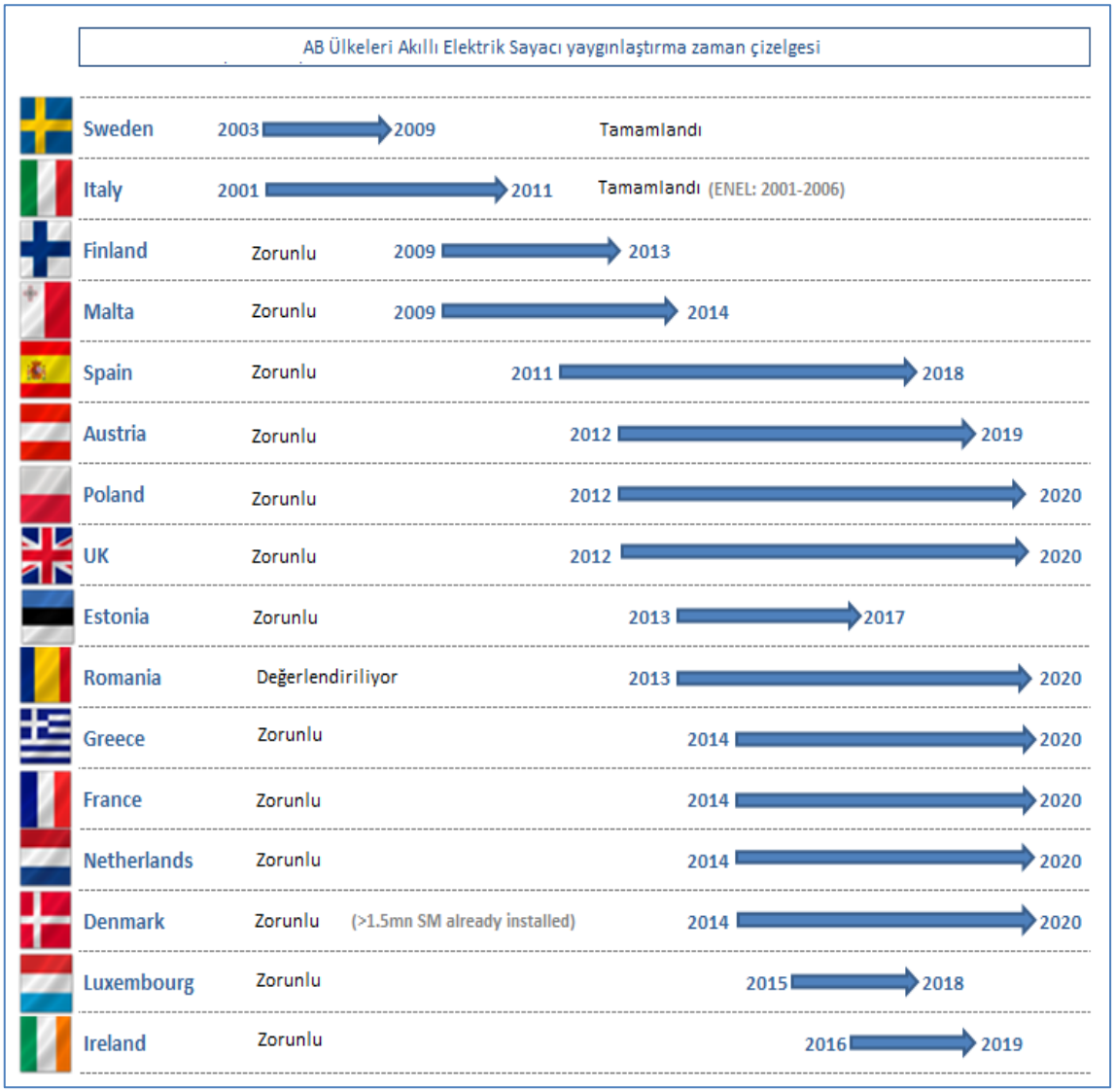
İngiltere: Akıllı şebekelere geçiş için 2 aşamalı bir program uygulayacaktır. Programın ilk aşaması olan 2010-2015 yılları arasında akıllı şebeke tasarımının araştırılması ve gerçekleştirilmesi, 2015-2020 yılları arasında ise ikinci aşama olarak akıllı sayaç kullanımının yaygınlaştırılarak 2019 yılının sonuna kadar 50 milyon elektrik ve gaz akıllı sayacının sisteme entegre edilmesi hedeflenmektedir [26].

Malta: Akıllı şebeke uygulamasına başlayan ilk ülke olarak nitelendirilir. Malta Devleti, vatandaşların elektriği ne zaman ve nasıl kullanacaklarına ilişkin halkın eğitimine büyük önem vermiştir. Tüketiciler, 250.000 akıllı sayaç kurulumu ile elektrik tüketimleri gerçek zamanlı izlenerek daha uygun tarifelere yönlendirilmiş ve buna uyarak az enerji tüketenler ödüllendirilmiştir [26].

Almanya: 2010 yılı itibarıyla ülkedeki tüm binaların akıllı ölçüm cihazlarıyla donatılmasına karar vermiş, 2011 itibarıyla da "Demand Response" ve "Time of Use" gibi programları tüketiciye sunmuştur. Hükümet teşviğinin yanı sıra birçok sektör devi şirket Yello Strom gibi hizmet şirketlerinin katılımıyla Almanya'nın akıllı şebeke yatırımlarının 2020'ye kadar 40 milyar Euro'ya ulaşacağı öngörülmektedir [26].

AB ülkelerinin akıllı sayaç kurulum hedefleri, Çizelge 2.1’de 2020 yılına kadar detaylı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 Avrupa Birliği komisyonu akıllı sayaç kurulum hedefleri [27]



2.3 Türkiye'de Akıllı Şebeke Gelişimi ve Akıllı Şebeke Uygulamaları

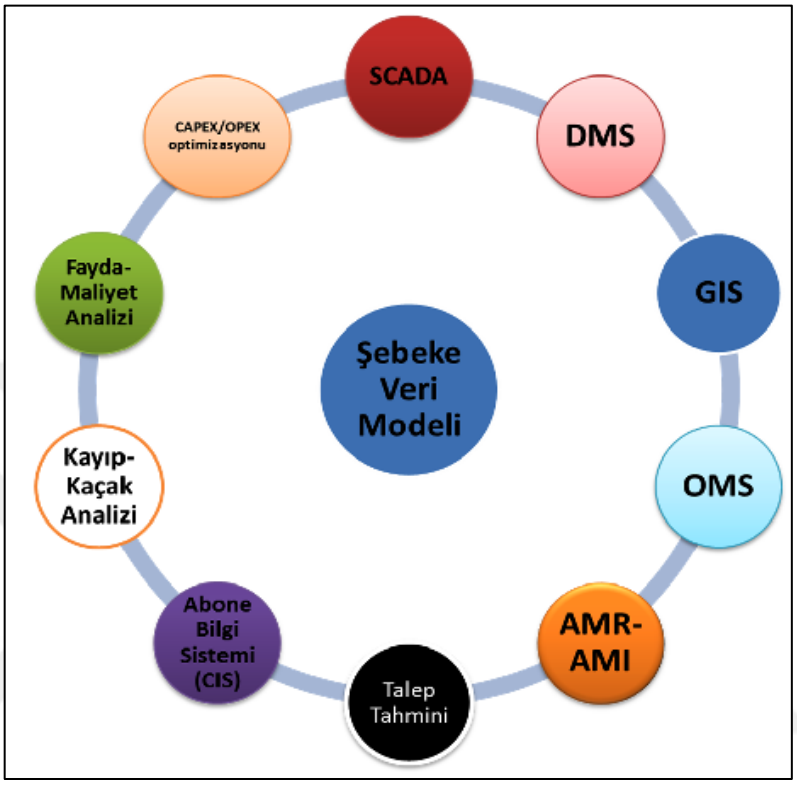
1970 yılında TEK (Türkiye Elektrik Kurumu) kurulmuş olup, 1994 yılına kadar üretim, iletim ve dağıtım TEK çatısı altında birlikte yürütülmüştür. TEK, 1994 yılında TEDAŞ ve TEAŞ olarak ikiye ayrılmış olup, TEAŞ ise 2001 yılında TEİAŞ, EÜAŞ ve TETAŞ olarak 3 ayrı şirkete bölünmüştür. Tüm bu şirketler, 2001 yılından itibaren Enerji Piyasası Mevzuatı'na tabi olmuşlardır. 2004 yılında dağıtım şirketleri özelleştirme kapsamına alınmış ve 2006 yılından itibaren 21 dağıtım şirketi dağıtım faaliyeti lisansına sahip olmuşlardır. Mayıs 2013'ten itibaren 21 elektrik dağıtım şirketinin özelleştirme işlemi tamamlanmıştır.

Elektrik dağıtım şirketlerinde özelleşmelerin tamamlanmasıyla, EPDK tarafından belirlenen 5 yıllık tarife dönemleri, yapılması zorunlu olan yatırımlar ve yakalanması gereken hedefler bulunmaktadır. Bu hedefler genel olarak, tedarik sürekliliği, hizmet kalitesi, kayıp-kaçak oranlarının düşürülmesi, müşteri memnuniyeti olarak sıralanabilir. Yatırımları ise şebeke yatırımları ve teknolojik yatırımlar diye adlandırdığımız akıllı şebeke yatırımları olarak iki ayrı gruba ayırabiliriz. Şebeke yatırımları genel olarak, yenileme, iyileştirme, kapasite artışı ve şebeke işletim sistemi yatırımları olarak sıralanırken, teknolojik yatırımlar ise genel olarak şöyle sıralanabilir:

- Coğrafi Bilgi Sistemleri,
- Uzaktan veri izleme, kontrol ve kumanda sistemleri (SCADA),
- Dağıtım yönetim sistemleri (DMS),
- Arıza Yönetim Sistemleri (OMS),
- Çağrı merkezleri (Call Center),
- Abone bilgi sistemleri (CIM - Customer Information Systems)
- OSOS - otomatik sayaç okuma sistemleri (AMR).

Burada en kritik konulardan birisi, birbirinden bağımsız olarak, farklı tarihlerde kurulmuş olan, farklı sistemlerin, ortak paydada buluşturulması, sistemlerin aynı dili konuşuyor hale getirilmesi yani sistem entegrasyonunun iki yönlü olarak sağlanabilmesi, bir başka ifade ile birlikte çalışabilir olmasıdır (interoperable). Bu entegrasyon, yazılım veya donanımın eski mimariye sahip olması, uygun protokol ve platformları desteklememesi vb. nedenlerden ötürü çok kolay olmamaktadır. Hatta birçok mevcut uygulama ve sistemden, enrtegrasyonun sağlanamaması nedeniyle vazgeçilmekte, yenileri ile değiştirilmektedir. Bu da çok ciddi maliyetlere ve zaman kaybına yol açmaktadır. Avrupa, Amerika ve diğer ülkelerde akıllı şebeke çalışmalarına göz atıldığında, farklı öncelikler ve uygulamalar görülmektedir. Örneğin Amerika'da daha çok akıllı sayaç uygulamalarına ağırlık verilirken, Avrupa'da enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji entegrasyonu konularına yönelim daha fazladır. Birbirinden farklı çalışan onlarca sistemin ve bu sistemlerde dolaşan milyonlarca verinin olduğu bir yerde, verinin sahipliği, yeknesaklığı, yönetilmesi ve sistem için anlamlı hale getirilmesi

oldukça karmaşık ve zor bir süreçtir. Bunun için sistemlerin çok iyi tasarlanması ve birbirleriyle uyumlu çalışmaları için gerekli önlemlerin baştan alınması gerekmektedir. Farklı birçok sistemden gelen verilerin birbirleriyle olan etkileşimi, Şekil 2.1'de detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Örnek akıllı şebeke veri modeli [28]

Ülkemizde, tamamlanmış veya devam etmekte olan akıllı şebeke yatırımlarına baktığımızda, bunlar genel olarak; SCADA-DMS-OMS projeleri, Enerji Kalitesi İzleme Sistemleri, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Abone Yönetim Sistemleri ve Faturalama Sistemleri, Akıllı Sayaç pilot uygulamaları, mikro şebekeler, elektrikli araçların kısa, orta ve uzun vadede şebekeye etkileri ve analizi, dağıtım üretim ve enerji depolama optimizasyon ve pilot uygulamaları olarak sıralanabilir. Yürütülmekte olan Akıllı Şebeke ARGE pilot projeleri genel olarak şu başlıklar altında toplanmaktadır:

- Hibrit haberleşme altyapısı ile akıllı sayaç uygulamaları (PLC, RF, GPRS, Wimax vb.)
- Talep tarafı yönetimi (Demand Response, Peak Shaving),
- Dağıtık üretim tesislerinin şebekeye entegrasyonu (Distributed Generation),

- Elektrikli araçlar ve şebekeye entegrasyonu,
- Enerji depolama sistemleri ile yük ve tarife yönetimi,
- Güç sistem analiz yazılımları ile oluşturulan şebeke modelleri, yük akışı ve planlama çalışmaları,
- AG/OG fider otomasyon sistemleri,
- Akıllı röleler ile çift yönlü enerji akışı ve koruma felsefesi,
- Radyal şebekeden ring şebeke mimarisine geçiş uygulamaları,
- Şebeke optimizasyonları ve yeniden yapılandırma (anahtarlama optimizasyonu, kayıp-kaçak optimizasyonu, dağıtık üretim optimizasyonu).

Özel sektörde yürütülen bu çalışmaların yanında, kamuda Akıllı Şebekeler ile ilgili yürütülen mevzuat ve düzenlemelere bakıldığında, bu konuda Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile EPDK'nın çeşitli çalışmaları olduğu görülmektedir. Enerji Verimliliği Strateji Belgesi'nde (2012-2023), akıllı şebeke uygulamaları, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı koordinatörlüğünde kamu, özel sektör ve sivil toplum kuruluşlarının katılımları ile hazırlanan eylemlerden biri olarak gösterilmektedir. SA-04/SH-02/E-01 kodlu eylemin konusu, enerji ve güç miktarına göre kademelendirilmiş tarife, çok terimli sayaç ve akıllı şebeke uygulamalarının yapılması olarak belirtilmiştir.

EPDK elektrik piyasası mevzuatında yer alan Elektrik Dağıtımı ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliği uyarınca, tedarik sürekliliği kalitesi ile ticari ve teknik kalitenin denetlenmesi için otomatik izleme sistemlerinin gerekliliği açıkça ortaya konmaktadır. Ayrıca, Coğrafi Bilgi Sistemleri'ne ilişkin yatırımların da başlatılmasına yönelik mevzuat düzenlemeleri bulunmaktadır. Dağıtım şirketleri tarafından otomatik sayaç okuma sistemi (OSOS) yatırımlarına mevzuat gereklilikleri nedeni ile başlanmıştır. Tüm bunların yanında, EPDK başkanlığında ve ELDER koordinasyonunda, CLK Enerji Grubu, Enerjisa Enerji Grubu ve Bereket Enerji Grubu tarafından yürütülmekte olan "Türkiye Akıllı Şebeke 2020 Stratejisi ve Vizyonu" AR-GE projesi kapsamında, ülke çapında bir Akıllı Şebeke Yol haritası çıkarılması ve buna göre ilgili mevzuat düzenlemelerinin yapılması beklenmektedir. Bu proje, akıllı şebekeler konusunda ülke çapında yürütülen en kapsamlı çalışmadır.

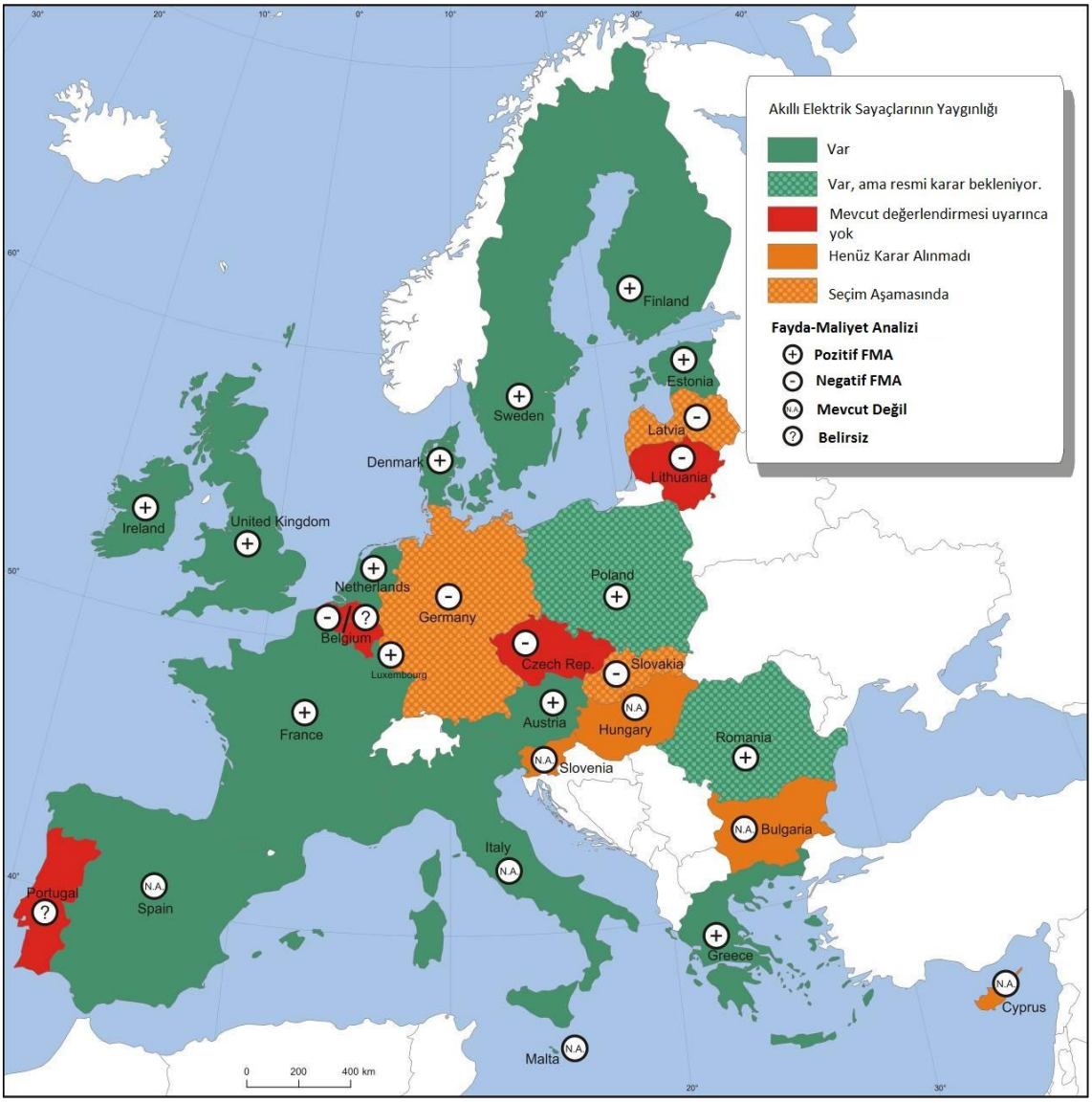
BÖLÜM 3

AKILLI ŞEBEKE BİLEŞENLERİ

Akıllı Şebeke, enerji sektörünün en popüler terimi haline gelmiştir ve popülerliği her geçen gün daha da artmaktadır. Yukarıdaki bölümlerde detaylı olarak akıllı şebeke tanımları yapılmış ve farklı ülkelerde bu alandaki çalışmalar özetlenmeye çalışılmıştır. Bu bölümde, akıllı şebekenin temel bileşenleri ele alınacak ve bu bileşenler genel olarak tanıtılacaktır.

3.1 Gelişmiş Ölçme Altyapısı ve Akıllı Sayaçlar (AMI and Smart Meters)

Akıllı şebeke kavramının belki de çıkış noktası akıllı sayaçlardır. Zira yapılan akıllı şebeke yatırımlarının çok önemli bir oranı akıllı sayaçlar için harcanmaktadır. Akıllı sayaçlar; geleneksel sayaçtan farklı olarak, çift yönlü enerji ölçümü yapabilen, kablolu ve/veya haberleşme özelliği bulunan, yazılım ile uzaktan programlabilen ve yönetilebilen, dağıtım şirketlerinin müşteri tarafındaki sensörleridir. Akıllı sayaç yatırımlarında birçok ülkede fayda-maliyet analizleri ve fizibilite çalışmaları yapılmaktadır. Fayda-maliyet analizi açısından akıllı sayaçların avrupadaki kurulumlarının genel durumları Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Akıllı elektrik sayaçların AB'deki fayda maliyet analizlerinin durumu [27]

Yapılan fayda/maliyet analizlerine göre Akıllı Sayaç yatırımından beklenen en önemli hedefler genel olarak şöyledir:

- Kayıp-kaçak oranlarının düşürülmesi,
- Şebekenin daha verimli ve optimum işletilmesi,
- Dağıtık üretimin ve tüketimin izlenebilmesi ve en uygun şekilde yönetilmesi,
- Yeni enerji bağlantı taleplerinin en uygun şekilde gerçekleştirilebilmesi,
- Enerji kesintilerinin noktasal olarak tespit edilebilmesi ve müşteri memnuniyetinin arttırılması,

- Talep tarafı katılımının sağlanması ve talep tarafı yönetimi,
- Esnek ve saatlik tarife uygulamalarına geçilerek enerji maliyetlerinin optimize edilmesi.

Akıllı sayaçların sağlıklı olarak çalıştırılabilmesi için gereken altyapı literatürde "gelişmiş ölçme altyapısı" (AMI-advanced metering infrastructure) olarak geçmektedir. Sayaçlar kablolu ve kablosuz olmak üzere iki farklı haberleşme altyapısına sahiptir. Bunlar genel olarak, PLC (power line carrier – elektrik hatları üzerinden haberleşme), RF (radyo frekansı), GPRS, Ethernet, RS485 gibi farklı haberleşme arayüzlerdir. Sayaçlardan alınan veriler; saatlik, 15 dakikalık ya da istenilen zaman aralığında, genellikle trafo merkezlerinde yer alan veri toplayıcı (veri konsantratör) vasıtasıyla toplanır ve toplanan bu veriler de operasyon merkezine GPRS modem veya farklı bir haberleşme altyapısı üzerinden gönderilir.

Tüketici sayaç okuması, manuel ve yerinde okumadan Otomatik Sayaç Okuma (AMR)'ya ve oradan da gerçek zamanlı İleri Sayaç Okuma Altyapısı (AMI)'na evrildi. Teknoloji harikası AMI elektrik şirketlerine tüketici tüketim verisinin kendi ağları üzerinden akıllı şebekeyle bütünleştirebilme olanağı sağlarken, aynı zamanda akıllı sayaç ve HAN (mesken içi ağ) yük yönetim sistemi sayesinde tüketiciye de ev içi enerji tüketim yönetimi olanağı sağlar. 2009 yılında yayınlanan bir AB yönergesi, 2020 yılına kadar akıllı sayaçların bütün sayaçlar içerisindeki oranının en az %80'e çıkarılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu yönerge çerçevesinde Avrupa'da elektrik dağıtım şirketlerinin önemli bir kısmının çalışma yaptıkları görülmektedir. Enerji hattı üzerinden iletişim teknolojileri (PLC), AMR ve AMI için bugün kullanılan çözümlerin çok büyük bir bölümünü teşkil ediyor olsa da GPRS ya da radyo frekansı, ya da bu radyo frekansı ve PLC'nin karışımı temelli hibrit bir takım yeni kablosuz teknolojiler pazar paylarını arttırmaktadır [29].

Bu teknolojiler (GPRS ve CDMA ile birlikte) dünya genelinde akıllı sayaç piyasasında hâkim olan başlıca teknolojiler olsa da operasyonel maliyetlerinin fazla olması sebebiyle buna alternatif olabilecek ve gelişmekte olan diğer teknolojiler de önem kazanmaktadır. Amerika'da ve İngiltere'de CDMA teknolojileri ön plana çıksa da Avrupa'da yoğun olarak PLC ve RF teknolojilerinin hibrit halleri öne çıkmaktadır. PLC teknolojilerinin içerisinde G3 ve PRIME en ileri seviyedeki teknolojilerken DCSK ve S-

FSK en sık kullanılan ve kendini kanıtlamış teknolojilerdir. RF de akıllı sayaç piyasasında yükselmekte olan bir trende sahip olduğundan özellikle hem RF hem de PLC'nin birlikte kullanıldığı hibrit (RF + PLC) seçenekler de fayda-maliyet analizlerinde, özellikle operasyonel maliyetlerin GPRS, CDMA ile karşılaştırıldığında ciddi oranda az olmasından dolayı ön plana çıkmaktadır. Hibrit (RF + PLC) kullanan seçenekler son dönemde dünyada AMI yapısının yeni kurulmaya başlanıldığı projelerde rastlanmakta, özellikle pilot projelerde denenmektedir [29].

Elektrik şirketleri birlikte çalışılabilirliği koruyabilmek için yeni haberleşme şebekesi yönetim becerilerine sahip olmak durumundadır. CIGRE 2014'ün D2-106 maddesinde belirtildiği gibi, akıllı sayaç telekom altyapısı teknik performans ile alakalı değil de daha çok uzun zaman boyunca tedarik, fiyat kararlılığa, güvenlik ve esneklik gibi konular üzerinde yoğunlaşan aşağıda belirtilen temel gerekliliklere sahip olmak durumundadır [30].

PLC ve RF gibi teknolojiler ile elektrik dağıtım şirketleri kendi alt yapısını kullanmasına olanak sağladığı için GPRS, CDMA gibi Telekom alt yapısına ihtiyaç duyulan, dolayısıyla telekom alt yapısının kullanılmasını gerektiren ve özellikle de kullanılan AMI sayısının artmasıyla paralel bir biçimde artacak olan operasyonel maliyetlerden kurtulacaklardır. Tüm bunlara rağmen tek başına (PLC + RF) hibrit çözümlerinin de bazı noktalarda yetersiz kalabileceği ve bazı noktalarda GPRS, CDMA kullanımın da yararlı olacağı dikkat edilmesi gereken bir noktadır.

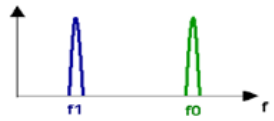
3.1.1 PLC Teknolojilerine Genel Bakış

Akıllı sayaç çözümleri için kullanılabilecek PLC teknolojilerinin sınıflandırılması taşıyıcının kullandığı modülasyon türü ve bant genişliği temel alınarak yapılabilir. İlk kullanılan teknolojiler Faz/Frekans Kaydırmalı Anahtarlama (PSK/FSK) tekniklerini kullanmaktaydı, bugünlerde geliştirilen teknolojiler genellikle kaynakların birçok alt taşıyıcı yoluyla dağıtılmasını esas alan Dikey Frekans Bölmeli Çoklayıcı (OFDM) tekniğini kullanmaktadır.

S-FSK kullanan PLC teknolojileri için verilebilecek bir örnek, 5 Kbps'den küçük bir aktarım hızına sahip olan IEC TC57 tarafından desteklenen IEC 61334-5-1'dir. Dar bantlı OFDM PLC teknolojileri için verilebilecek örnekler de PRIME ve G3'tür [29].

PRIME teknolojisi PRIME Birliği (PRIME Alliance) tarafından kontrol edilmektedir. PRIME, birçok tedarikçiden alınabilecek yonga setlerine ve cihaz tedarikçilerine sahip bir açık standart teknolojisidir. Bugün itibariyle 6 milyondan fazla PRIME sayacı dünya çapında yerleştirilmiştir, İspanyol Iberdrola şirketi bu sayıya en büyük katkıyı yapan şirkettir. 47 KHz bant genişliğine sahip olan CENELEC-A frekans bandı PRIME'ın 128Kbps'ye kadar hızda ham veri transferine olanak sağlar.

G3 (Üçüncü kuşak mobil telekomünikasyon teknolojisi olan 3G ile karıştırılmamalıdır.) teknolojisi dar bantlı OFDM çözümleri için verilebilecek bir diğer örnektir ve G3-PLC Birliği (G3-PLC Alliance) tarafından kontrol edilmektedir. G3, IP bazlı açık standartlı bir PLC teknolojisidir ve bu teknolojiyi en çok kullanan kurum, birçok ülkede yaptığı pilot projelerle ERDF'dir. G3 CENELEC-A/B frekans bandı üzerinde çalışır ve 55 Khz'lik bant genişliği 46Kbps hızında veri transferine olanak sağlar, bu teknoloji ayrıca Kuzey Amerika'da 298 Kbps'lik aktarım hızı sağlayan FCC'yi de desteklemektedir. Şekil 3.2' de PLC teknolojilerin teknik özellikleri görülmektedir.

S-FSK PLC	G3 PLC	PRIME PLC
		
S-FSK	G3	PRIME
2.4 kbps*	30 kbps	128 kbps*
FSK(Tekli Taşıyıcı)	OFDM(Çoklu Taşıyıcı)	OFDM(Çoklu Taşıyıcı)
Limitli/FEC Yok	2 Katmanlı FEC	1 Katmanlı FEC
Olgun Teknoloji	AES128	AES128
	IPv6 Uyumlu	IPv4 Uyumlu
	Güçlü Mod	

Şekil 3.2 PLC türevlerinin genel teknik özelliklerinin karşılaştırılması [29]

Elektrik şebekesinin kapilaritesi ve fiziki özellikleri BPL (Güç Şebekesi Üzerinden Geniş Bant) teknolojisini özel kablolu ağların hangi sinyallerden sonra enjekte edileceğini belirlemede mükemmel bir alternatif haline getirmektedir. Bu hem OG hem de AG montajlarında kullanılabilir; en önemli özelliklerinden biri de bant genişliğindeki stabilitedir. Bu tarz teknolojiler yüksek hızlı iletişimi mümkün kılar ve alanda bulunan elektrik şebekesi sebebiyle ulaşılamayan bölgelere uzaktan ulaşılabilmesini sağlar. Bu sebeple, elektrik şirketi, telekomünikasyon hizmet sağlayıcısına herhangi bir ekstra ücret ödemek durumunda kalmaksızın bütün AMI altyapısı üzerinde bağımsız bir kontrole sahiptir.

3.1.2 Kablosuz Teknolojilerine Genel Bakış

AMI'ların kurulmasında kullanılan başlıca kablosuz teknolojiler GPRS ve RF'dir. GPRS var olan bir altyapının olduğu durumlarda iyi bir çözüm olabilir ancak birçok ülkedeki GPRS çözümleri yakın gelecekte UMTS ve HSPA ile değişecektir. RF bir noktadan bir noktaya (sekme) ve bir noktadan birçok farklı noktaya (merkezi) gibi sayaç verisine erişim uygulamalarını baz alarak kullanılabilir. Uygulanması kablolu çözümlere göre daha ucuz olabilir ancak bu teknolojinin karşılaşabileceği en olası tehdit kullanılan bir frekans bulmaktır çünkü bu teknoloji veri aktarımını genellikle lisans gerektirmeyen RF spektrumunda yapmaktadır.

3.1.3 Sayaç Veri Yönetimi (MDM) Teknolojilerine Genel Bakış

Genel itibariyle Sayaç Veri Yönetim Sistemi (MDM) sayaca ait enerji tüketim bilgisini ve teknik bilgileri toplayan, doğrulayan ve saklayan bir BT (Bilgi Teknolojileri) çözümüdür. Sistem diğer sayaçlardan gelen verileri bir araya toplayıp diğer bir sisteme göndermekle görevlidir. Sistem, farklı sistemlere veri gönderebilir, alabilir ve HES için diğer sistemlere talep gönderebilir.

Bir veri toplama sistemi (HES), sayaçların verilerini alan ve bu verileri AMI üzerinden elektrik idaresine aktaran bir donanım ve yazılım birleşimidir. Veri toplama sistemi (HES), eldeki verinin başka bir sistemin ulaşımına ya da başka bir sisteme gönderilmeye uygun olup olmadığını denetlemek için kısıtlı bir seviyede veri doğrulaması yapabilir.

Bir MDM sisteminin en önemli rolü HES'ten gelen parça parça ve yüksek miktardaki sayaç okumalarını olabildiğince kısa bir süre içerisinde ön işleme tabi tutmaktır. Akıllı sayaçlar kuruldukça, MDM faturalandırmayla alakalı olmayan verileri de ele almalı ve çift yönlü komutları, kesinti alarmlarını, arıza alarmlarını, talep değerlendirme verilerini işlemeli, saklamalıdır. Bütün bunlara ek olarak MDM, verileri işler ve elektrik şebekesinin durumu ile verilen enerjinin kalitesini tespit eder (örneğin kesinti sayıları, gerilim dalgalanmaları).

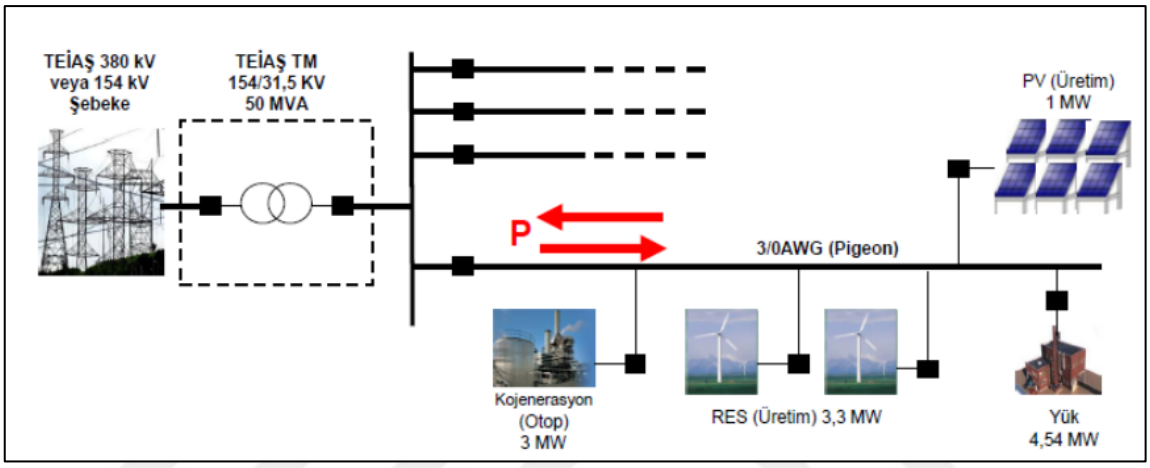
HES'ten gelen sayaç verisi MDM Sistemi tarafından doğrulanacaktır. Çakışma ve gereksiz miktarda fazla veri toplanması gibi anormallikleri kontrol etme esnekliği ile birlikte yapılan okumalar sonucu çıkan periyodik ölçüm verileri arasındaki farkı (hata payı) uygun bir işlemle kontrol etmek MDM'nin bir diğer özelliğidir. Doğrulama ayrıca eksik değerlerin tahmin edilmesini de içermektedir, örneğin; mantık dışı sayaç okumalarının yerine periyodik ölçüm verilerine uygun tahminlerin yerleştirilmesi. Bütün bu rutin süreçlerden geçen veriler farklı sürümlere ayrılarak saklanacaktır. Değerler değiştirildiğinde, yeni değerleri içeren yeni sürümler yaratılacaktır. Sayaç verilerinin birkaç farklı sürümü her daim ulaşılabilir olacaktır.

Bu verilerin tamamı genelde farklı sistemlerde dağınık olarak var olduğundan MDM bütün bu verileri bir araya toplayacak ve sayaç okumalarını değerlendirmeyi kolaylaştıracaktır. Bunlara ek olarak bu değerler daha ileri düzeyde değerlendirmeler yapılabilmesi için diğer verilerle de bir araya getirilebilecektir (Örneğin coğrafi veriler).

3.2 Dağıtık Üretim Kaynakları ve Şebeke Entegrasyonları

Akıllı şebekelerin en önemli konularından birisi de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması, enerji verimliliğinin arttırılması ve böylece çevre dostu, ucuz, güvenilir ve sürdürülebilir bir enerji altyapısı oluşturulması hedeflenmektedir. Bu konuda özellikle Avrupa'da çok önemli adımlar atılmakta, 2020 yılı için, toplam enerji tüketiminin %30'unun yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması hedeflenmektedir. Avrupa ülkelerinde bu konuda başı çeken ülkelerden birisi Almanya olup, ülkedeki tüm nükleer santrallerin kapatılması ve enerji ihtiyacının tamamının yenilebilir kaynaklardan sağlanması gibi oldukça zor bir hedefi ortaya koymuştur.

Dağıtık üretimin tanımı konusunda 1990'lı yılların sonlarına kadar CIRED tarafından üye ülkeler arasında yapılan bir ankette ortak bir görüşe ulaşılamamıştır. Literatürde kullanılan ifadelerdeki değişiklikler nedeniyle dağıtık üretimin tanımını kesinleştirmek için amacı, yerleşimi, kapasite oranı, güç dağıtım alanı, teknolojisi, çevresel etkisi, çalışma şekli, mülkiyeti ve dağılımı konuları irdelenerek bir tanım oluşturulmuştur. Buna göre dağıtık üretim; tüketici merkezlerine yakın dağıtım şebekesine bağlı ya da bağımsız çalışan üretim kaynaklarını içermektedir. Şebekede dağıtık üretim tesislerinin gösterimi şekil 3.3'te gösterilmiştir [30].



Şekil 3.3 Dağıtık üretim tesislerinin şebeke gösterimi

Geniş bir uygulama alanında gereksinimleri karşılayabilmek için çeşitli dağıtılmış üretim teknolojilerinden yararlanılmaktadır. Uygulamalar yük gereksinimlerine göre farklılık göstermektedir. Sonuç olarak kullanılacak dağıtılmış üretim birimleri de farklılaşmaktadır. Bu uygulamaların bazılarından aşağıda bahsedilmektedir:

- Yedek çalışma: Dağıtık üretim birimi, kesinti süresince hastanelerde ve proses endüstrilerinde olduğu gibi hassas yüklerin enerji ihtiyaçlarının karşılanmasında yedek güç kaynağı olarak kullanılabilir.
- Bağımsız çalışma: Şebekeye bağlantılarının pahalı olduğu ve coğrafi açıdan birçok engelin bulunduğu bölgelerin enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla, dağıtık üretim birimleri kullanılabilir.
- Azami yük paylaşımı: Elektrik enerjisi maliyetleri yük talep eğrilerine ve o andaki üretime göre değişim göstermektedir. Bu nedenle, azami yük talebinin olduğu peryotlarda maliyeti azaltacak dağıtılmış üretim birimleri kullanılabilir.

- Kırsal ve uzak uygulamalar: Dağıtık üretim birimi, şebekeden bağımsız olarak aydınlatma, ısıtma, soğutma, komünikasyon ve küçük endüstriyel kuruluşların enerji ihtiyaçlarını karşılama amacıyla kullanılabilir.
- Birleşik ısı-güç üretimi: Dağıtık üretim biriminden elde edilen ısı enerjisi; hastanelerde, büyük ticari sahalarda ve imalat endüstrisinde kullanılabilir.
- Temel yük: Şebekeye ait dağıtık üretim birimleri, gereksinim duyulan temel yükü sağlayarak sistem gerilim profilini yükseltir, güç kayıplarını azaltır ve sistemin güç kalitesini arttırır.
- Besleme süresi ve güç tipi: Çıkış gücü süresi, dağıtık üretim biriminin büyüklüğüne, tipine ve uygulama alanına göre değişim gösterir. Besleme süresi temel yük uygulamaları için uzun, yenilenebilir kaynaklardan elde edilen enerji için kararsız ve şebeke kesintileri anında kısa olabilir.
- Kapasite: Dağıtılmış üretim birimlerinin kapasiteleri tam olarak belirtilmemekle birlikte en genel sınıflandırma kullanıcı tipine ve uygulamaya göre değişim göstermektedir.
- Üretilen enerji tipi: Elde edilen elektrik akımı doğru akım veya alternatif akım olabilir. Yakıt pilleri, fotovoltaikler ve bataryalar doğru akım üretirlerken mikro türbin ve rüzgâr enerjisi santralleri alternatif akım üretirler.
- Teknoloji: Dağıtık üretim birimlerinin sınıflandırılmasında kullanılan yakıtın fosil yakıt olup olmadığı da bir karşılaştırma konusu olarak ele alınabilir. Yapısal ve kullanılan teknoloji açısından farklı birçok dağıtık üretim birimi mevcuttur. Dağıtık üretim teknolojileri sınıflandırmasında genel olarak aşağıdaki gibi bir gruplandırma yapılabilir:
    - İçten Yanmalı Motor
    - Mikro Türbin
    - Gaz Türbini
    - Yakıt Pilleri
    - Yenilenebilir Enerji Kaynakları

- Rüzgâr Enerjisi
- Mikro Hidrolik Enerji
- Güneş Enerjisi
- Biyokütle Enerjisi
- Jeotermal Enerji

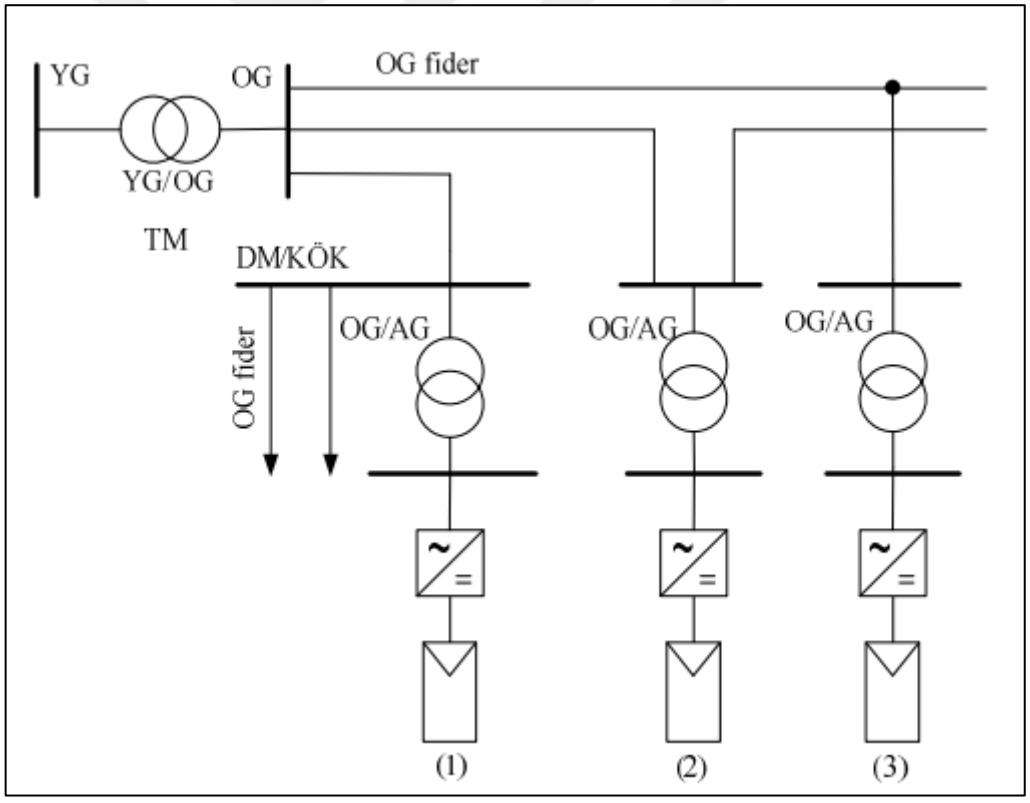
Teknolojik gelişmelerle birlikte elektrik enerjisini daha uzun mesafelere iletme imkânı veren geleneksel elektrik enerji sistemleri artan üretimle ile birlikte ortalama maliyetleri düşürmüştür. Ancak, günümüze kadar gelen bu yapıda kapasite ve enerji kalitesi konuları çerçevesinde baş gösteren değişimler, alternatif enerji arayışlarını beraberinde getirmektedir. Mevcut yapının tekrar yapılanmasının da çok zor olması nedeniyle, dağıtık üretim tesislerinin yoğun bir şekilde sisteme entegrasyonu çözüm olarak ön plana çıkmaktadır. Ülkemizde dağıtım üretim uygulamaları, lisanslı ve lisanssız olmak üzere iki ana başlık olarak ele alınmaktadır. 2011 yılında Türkiye'de Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmeliğin yürürlüğe girmesiyle, enerji üretim santrallerinin alçak gerilim seviyesinden dağıtım sistemine bağlantısının önü açılmıştır. Konvansiyonel yapıda yüksek gerilimden alçak gerilime doğru, yukarıdan aşağıya tek yönlü enerji akışı için planlanan mevcut güç dağıtım sistemleri, alçak gerilim seviyesinden sisteme bağlanacak santrallerle çift yönlü enerji akışına açık hale gelmiş ve klasik analiz, işletme ve planlama yöntemlerinin yetersiz kaldığı girift bir yapıya bürünmeye başlamıştır. Kaynak ile tüketici arasındaki son bağlantı katmanını teşkil eden elektrik dağıtım sistemine yapılacak her türlü müdahale, tüketicinin temin ettiği enerjinin sürekliliği ve kalitesine doğrudan etki edeceğinden, dağıtık enerji santrallerinin sisteme entegrasyonu sürecinde yapılacak yanlış uygulamaların faturası çok ağır ve hataların telafisi çok zor olacaktır. Bu nedenle sürecin titizlikle gözlenmesi, anlaşılması ve yönetilmesi gerekmektedir [31].

Kaynağı ne olursa olsun, elektrik sistemine dağıtım sisteminden bağlanan küçük güçlü santraller, "Dağıtık Üretim (Distributed Generation)" olarak tanımlanmaktadır. Türkiye'de 1 MW'tan küçük ve yenilenebilir kaynaklı santrallerin lisanssız olarak üretim yapma hakkı nedeniyle DES'ler genellikle "Lisanssız Elektrik Santrali (LES)" olarak kurulmaktadır. Kaynaklarına ve güçlerine göre santrallerin DES ve LES sınıflandırmaları

Çizelge 3.1'de verilmiştir. Uluslararası literatürde "distributed generation" üzerine yapılan yayınlardan hangilerinin Türkiye'deki LES'lere uyarlanabileceğine Çizelge 3.1'de belirtilen güç miktarılarına göre EPDK tarafından karar verilir [32].

Çizelge 3.1 Kaynak ve güçlerine göre LES ve DES tanımları [32]

No	*Enerji Kaynağı*	*Santral Gücü (kW)*	*DES*	*LES*
1	Yenilenebilir kaynaklar	$0 < P \leq 50$	Evet	Evet
2	Fosil yakıtlar	$0 < P \leq 50$	Evet	Evet
3	Yenilenebilir kaynaklar	$50 < P \leq 1{,}000$	Evet	Evet
4	Fosil yakıtlar	$50 < P \leq 1{,}000$	Evet	Hayır
5	Yenilenebilir kaynaklar	$1{,}000 < P \leq 5{,}000$	Evet	Hayır
6	Fosil yakıtlar	$1{,}000 < P \leq 5{,}000$	Evet	Hayır
7	Yenilenebilir kaynaklar	$5{,}000 < P$	Hayır	Hayır
8	Fosil yakıtlar	$5{,}000 < P$	Hayır	Hayır



Şekil 3.4 DES'lerin OG bağlantı şeması [32]

Şekil 3.4'te farklı kurulu güçlere sahip dağıtık üretim santrallerinin dağıtım şebekesine bağlanma şekillerinin gösterildiği bağlantı şeması görülebilir.

3.3 Elektrikli Araçlar ve Şebeke Entegrasyonları

Elektrikli araçlar ile ilgili olarak yürürlükteki mevcut düzenleme ve mevzuatlar şu şekildedir: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu tarafından 2 Ocak 2014 tarihli ve 28870 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan; "Elektrik Piyasası Dağıtım Yönetmeliği, ikinci kısım, dağıtım sistemine bağlantı, birinci bölüm, üretim faaliyeti gösteren tüzel kişiler dışındaki kullanıcılar için bağlantı esasları, bağlantı başvurusu, Madde 5 – Fıkra 2"de yer alan metin şu şekildedir: "Kullanıcılar tarafından yapılan bağlantı başvurularında; başvurunun niteliğine göre motor ve elektrojen gruplarının sayısı ve güçleri, elektrikli taşıtların şarj edilebilmesi için kurulacak hızlı, orta hızlı ve yavaş şarj ünitelerinin sayısı ve güçleri, aydınlatma ve ısıtma tesisatı ve güçleri, koruma sistemleri gibi diğer tesis ve/veya teçhizatla ilgili teknik özellikleri de içeren elektrik projesi dağıtım şirketine sunulur. Dağıtım şirketi sunulan proje çerçevesinde kullanıcıdan gerekli olan ilave bilgileri de talep edebilir".

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın Planlı Alanlar Tip İmar Yönetmeliği, Akaryakıt, Şarj ve Servis İstasyonları, Madde 40 kapsamında ise (RG-8/9/2013-28759); "İmar planlarında akaryakıt istasyonu olarak belirlenen alanlarda istasyonlar arası mesafe ve diğer kriterlerle ilgili mevzuata uyulması şartıyla; akaryakıt ve servis istasyonları, CNG otogaz istasyonları, LPG otogaz istasyonları, hidrojen üretim ve dolum istasyonları yapılabilir. Yapı yüksekliği 2 katı geçmemek şartıyla; bünyelerinde kullanıcıların asgari ihtiyaçlarını karşılayacak oto-market, çay ocağı, büfe, oto elektrik, lastikçi, yıkama-yağlama gibi fonksiyonlar yer alabilir. Yakıt tankı ve borulama sistemlerinin bakım, tadilat veya onarımlarının, TSE standartları ve ilgili kurumların görüşü doğrultusunda yapılması zorunludur. Elektrik enerjisi ile çalışan araçların şarj edilmeleri için, ilgili elektrik kurumunun, olumlu görüşü ile otoparklar, akaryakıt istasyonları veya diğer uygun yerlerde elektrikli araç şarj yeri yapılabilir" ifadeleri yer almaktadır. Yukarıdaki iki mevzuattan görüleceği üzere, elektrikli araçlarla ilgili kapsamlı ve detaylı bir çalışma ve yol haritası bulunmamakta, oldukça genel ifadeler kullanılmaktadır. Elektrikli araçlara geçiş için üniversiteler, özel sektör temsilcilikleri, dağıtım şirketleri, otomotiv ve şarj istasyonu üreticileri, TÜBİTAK, ilgili diğer kurumlar ve bakanlıklar ile ortak çalıştaylar yapılarak, genel bir ülke stratejisi ve tatmin edici bir teşvik yapısı oluşturulmalıdır. Kamu kurumları, belediyeler, ticari taksiler ve araç filoları olan büyük kurumlar için

devlet teşvikiyle ve gerekli düzenlemelerle elektrikli araç kullanımının özendirilmesi gerekmektedir. Genel olarak izlenmesi gereken adımlar şu şekilde olmalıdır:

- AVM'ler, petrol istasyonları, otoparklar, şehirlerarası otoyollar vb. yerlerde şarj istasyonu kurulum planının, belirlenen strateji ve öncelikler çerçevesinde oluşturulması,
- Şarj istasyonu kurulumu planlanan yerlere kısa, orta ve uzun vadede gelebilecek enerji yoğunluğuna göre, ilgili dağıtım şirketleri ile ortaya çıkacak enerji altyapı ihtiyaçlarının belirlenmesi ve planlanması,
- Kentsel dönüşüm ile beraber inşa edilecek yeni konut alanlarında ve belirli sayıda otopark alanı bulunan mevcut konutlarda, elektrikli araçlar ve şarj istasyonları için özel alanların tahsis edilmesi,
- Otoparkı olmayan ve araçlarını sokağa park eden kullanıcılar için de, belediye vb. yerel kurumlar ile şarj imkânlarının oluşturulması.

Tüm bu adımlar çerçevesinde, elektrik dağıtım şirketinin gerekli önlemleri alıp enerji alt yapısını planlaması gerekmektedir. Düşük, orta ve yüksek senaryoya göre, literatür taraması yapılıp dünya örnekleri de incelenerek bir master plan çerçevesinde elektrikli araç kullanım ve parklanma senaryoları belirlenmeli, bu senaryolara göre de hızlı, normal ve yavaş şarj altyapıları elektrik dağıtım şirketleri tarafından planlanmalı ve gerekli yatırımlar yapılmalıdır. Günümüzde TESLA marka elektrikli aracın 2017 yılında yeni çıkaracağı bir modelden, daha şimdiden 300.000'den fazla ön sipariş toplaması, elektrikli araçların hayatımıza yaygın olarak girişinin çok da uzaklarda olmadığını göstermektedir.

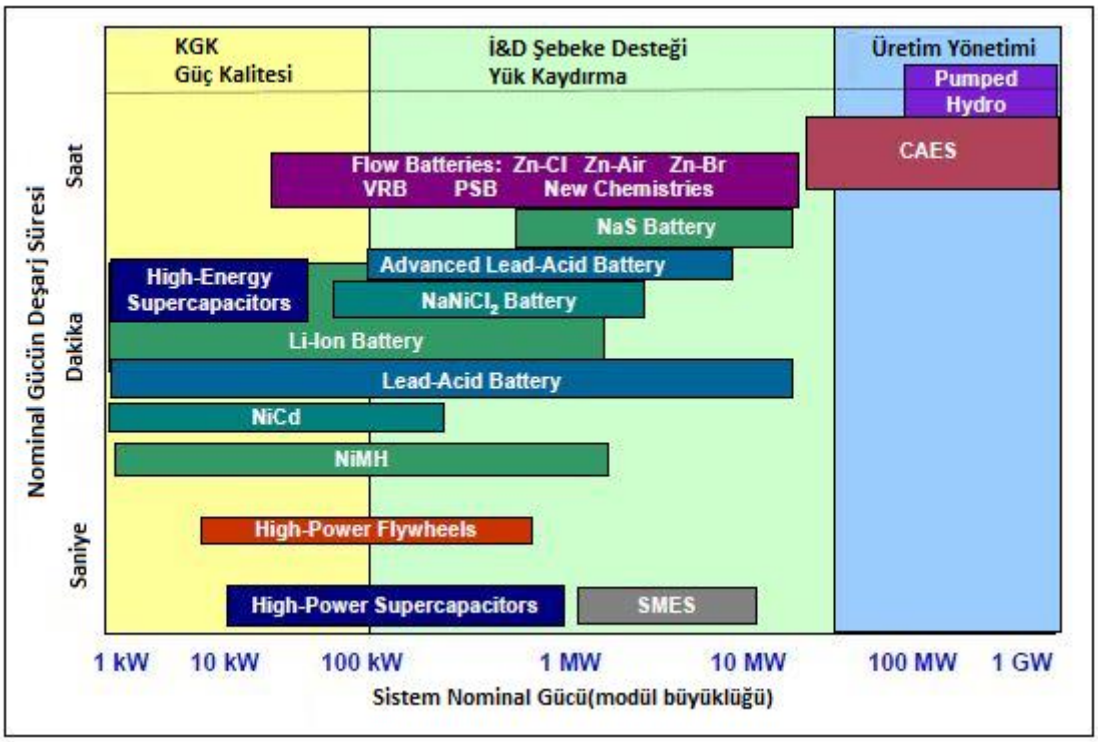
3.4 Enerji Depolama Sistemleri

Akıllı şebekeler genel olarak kayıpların azaltılmasını, yüksek kullanılabilirlik düzeyi ile ekonomik, verimli ve entegre bir sistem kurmayı hedefler. Bunu yaparken tüm piyasa katılımcılarının arz ve talep alışkanlıklarını temel alır [33]. Artan enerji talebi ile birlikte, CO2 emisyonlarının azaltılması için, dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarının öne çıkmasına ve bu teknolojilerin yaygınlaşmasına yönelik yeni hedefler belirlenmeye başlanmıştır. Yenilebilir kaynaklarının şebekeye entegrasyonu ile birlikte enerji

depolama sistemleri büyük önem kazanmıştır. Merkezi olmayan, kurulu gücü konvansiyonel santrallere göre daha düşük olan ve üretimde sürekliliği olmayan ve düzensiz rejimde çalışan yenilebilir enerji kaynakları, faydalarının yanı sıra geleneksel güç akışı kontrolünde yeni zorlukları da beraberinde getirmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye entegre edilmeye başlamasıyla birlikte, geleneksel olarak (üretim-iletim-dağıtım şeklinde) tek yönlü olan güç akışı, yerini merkezi olmayan, çift yönlü bir güç akışına bırakmıştır. Bu akışın yönetilmesinde ve kararlı bir hale getirilmesinde enerji depolama sistemleri önemli bir yer almaktadır. Şekil 3.5'te faklı enerji depolama teknolojilerinin kullanım yerleri, deşarj olma süreleri ve güç kapasitelerine göre aşağıdaki gibi konumlandırılmıştır. Enerji depolama sistemlerinde ilk büyük ölçekli kurulum, 1929 yılında, 31 MW kurulu güce sahip olan Connecticut Light & Power tarafından kurulan, hazneli pompalı hidrolik depolama (Pumped Hydro Energy Storage) sistemidir. Hazneli Pompalı hidrolik depolama, günümüzde halen enerji depolama sistemlerinin toplam kurulu güç olarak çoğunluğunu oluşturur ve bu sistemlerin kurulu gücü yaklaşık olarak 130 GW civarındadır. Bu kurulu gücün 20 GW'ı Amerika'da bulunmaktadır [34]. Enerji depolama teknolojilerinin avantajları ve dezavantajları performans ve maliyetleri esas alınarak tanımlanabilir. Batarya sistemlerinin analizinde;

- Kullanım süresi (batarya kullanılamaz hale gelene kadar şarj olma ve şarjın boşalması sayısı),
- Kullanım ömrü,
- Şarjın boşalma ve dolma verimliliği,
- Farklı sıcaklıklardaki çalışma verimliliği,
- Depolama sisteminin boyutu,
- Kullanılan depolama teknolojisi,

gibi parametreler göz önünde bulundurularak, ihtiyaç ve kısıtlara yönelik olarak seçim yapılması gerekmektedir.



Şekil 3.5 Farklı enerji depolama tekniklerinin özellikleri ve kullanım yerleri [35]

Enerji depolama teknolojileri elektriksel, kimyasal, mekanik ve ısıl enerji depolama teknolojileri olarak gruplandırılabilirler. Tüm enerji depolama sistemlerinde ortak amaç; üretilen enerjinin belirli bir zaman aralığında depolanmasını sağlamak, sonrasında başka bir zaman aralığında istenilen amaç doğrultusunda depolanmış enerjiyi kullanmaktır. Buradaki önemli nokta ise, depolama sisteminin hangi amaçlarla kullanıldığıdır. Dünya genelindeki uygulamalar incelendiğinde, batarya sistemlerinin kullanım oranının arttığı görülmüştür.

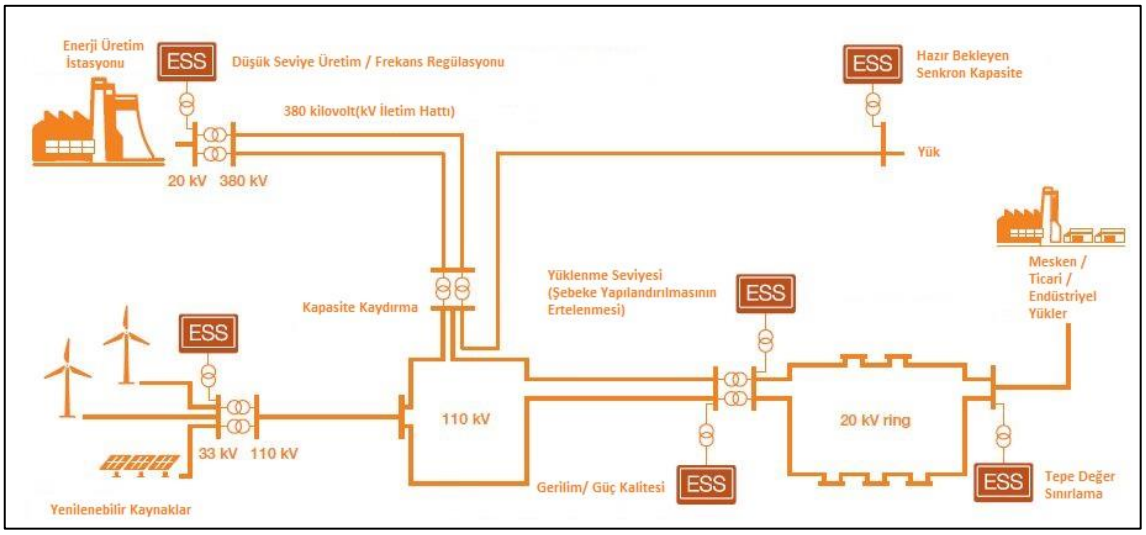
Kullanım çeşitliliği aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Frekans ayarı,
- Literatürde " Döner Yedek "olarak geçen (Spinning Reserve),
- Güç Kalitesi,
- Literatürde "Kapasite Sıkılaştırıcı" olarak geçen (Capacity Firming),
- Gerilim Desteği,
- Güç kalitesi iyileştirme,
- Yük dengeleme,

- Literatürde “ Yük Puantını Kırpma” olarak geçen (Peak Shaving),

Kullanım çeşitliliği aşağıdaki gibi özetlenebilir:

Depolama sistemleri, bu gibi amaçlarla şebekeyi destekleyerek, düzensiz rejimdeki dağıtık üretim potansiyelini, kararlı ve düzenli hale getirerek şebekenin daha verimli kullanılmasına katkı sağlar. Ayrıca, düşük tarife zaman diliminde üretilen enerjiyi depolayıp, puant saatte şebekeye vererek enerji maliyetlerini düşürme konusunda da fayda sağlanmaktadır. Şekil 3.6 ‘da batarya sistemlerinin farklı amaçlarda kullanımı gösterilmiştir.



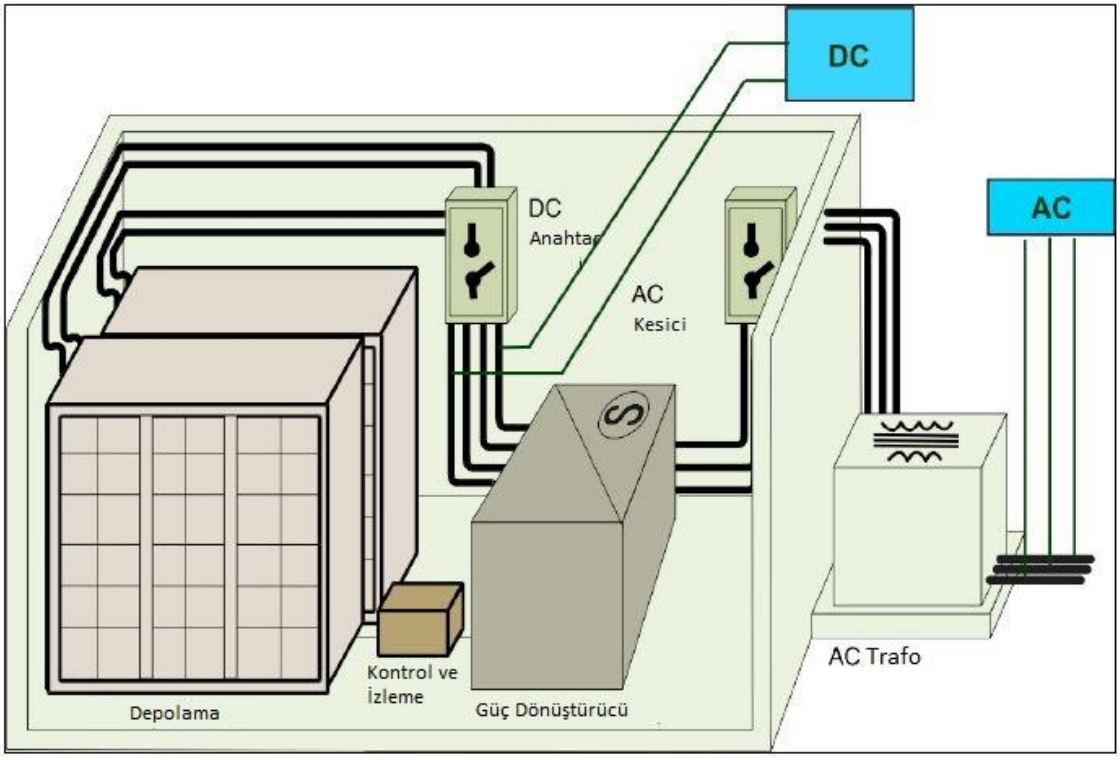
Şekil 3.6 Şebekedeki enerji depolama sistemlerinin tipik kullanım yerleri [36]

Şekil 3.6’da ESS olarak belirtilen kısaltma; “Enerji depolama sistemleri” (Energy Storage System) anlamında kullanılmıştır.

Lityum-iyon bataryaları; elektro-kimyasal depolama teknolojileri arasında şebekeyi destekleme amaçlı olarak kullanılan ve kullanımı günden güne artan bir enerji depolama biçimidir. Son yıllarda özellikle Güney Kore, Japonya ve Amerika’da lityum-iyon bataryalarının kullanım oranının ciddi bir şekilde arttığı gözlenmektedir. Bunun sebebi olarak da, lityum-iyon bataryalarının diğer uygulamalara göre kısmen daha hızlı devreye girmesi, frekans regülasyonu yapması ve tekrar depolamak için 4 saatten az bir süreye ihtiyaç duyması gösterilebilir. Elektrik şebekelerinde lityum-iyona ek olarak sodyum-sülfür bataryaları ve redoks-akış bataryaları da, şarjlarının boşalma süresinin daha fazla olması nedeniyle alternatif olarak gösterilebilir. Enerji depolama sistemleri arasında dünyadaki farklı uygulama ve kurulum örnekleri incelendiğinde, en dikkat

çekici kurulum örneği KEPCO'nun (Kore Elektrik Güç Şirketi "Korea Electric Power Corporation") yakın bir zamanda yapmış olduğu, ulusal elektrik şebekesinde frekans kontrolü yapmak amaçlı olarak kurulan, "LiNiMnCo; Lityum nikel magnezyum kobalt oksit"(NCM) elektro-kimyasal enerji depolama sistemidir.

Şekil 3.7'de, Batarya enerji depolama sisteminin şematik bir örneği olarak gösterilmiştir:



Şekil 3.7 Batarya enerji depolama sisteminin şematiği [35]

Elektro-kimyasal enerji depolama sistemleri arasında en çok gelecek vaat eden NMC'leri, KEPCO firması, 2017 yılına kadar toplamda 500 MW kurulu güç olmak üzere, yaygınlaştırmayı planlamaktadır. Bu da, dünyadaki şebeke frekansı dengeleme amaçlı kurulacak olan en büyük elektro-kimyasal enerji depolama sistemi olacaktır [37].

Bu kurulumla KEPCO, literatürde "Döner Yedek" (Spinning Reserve) olarak tabir edilen; şebeke frekansı düzenleme amaçlı olarak, emre amade olarak bekletmiş olduğu santrallerle (milisaniyeler veya dakikalar içerisinde devreye girebilen), şebekeye yük verebilecek durumda hazır olarak beklettiği konvansiyonel santrallere yapmakta olduğu maliyeti yüksek ödemeler yerine, kurulmakta olan 500 MW'lık NCM

elektrokimyasal enerji depolama sistemleriyle maliyetlerini ve CO_2 emisyonlarını ciddi oranda düşürmeyi öngörmektedir [37].

Bu doğrultuda; KEPCO'nun 2015 Ağustos ayında devreye aldığı, 6 MW/5 MWh'lık lityum-titanat oksit enerji depolama sistemlerine ek olarak, 2016 Ocak ayında iki adet; 24 MW/9 MWh ve 6 MW/6 MWh'luk olmak üzere NMC elektro-kimyasal enerji depolama sistemini daha devreye almıştır. KEPCO; kurulmuş olan ve kurulacak olan bu elektro-kimyasal enerji depolama sistemleriyle ulusal elektrik şebekesinin frekansı dengelemeyi, bu yatırımlarla yıllık, batarya sistemlerinin kullanım ömürleri boyunca, $13 milyonluk bir yakıt tasarrufu sağlamayı, daha iyi bir frekans dengeleme fırsatı sunmayı ve daha başarılı bir yenilenebilir kaynak entegrasyonunu öngörmektedir [37].

Akıllı şebekeler açısından enerji depolama sistemlerinin birçok avantajı bulunmaktadır. Bunlar; talep tarafı yönetiminin desteklenerek enerji ticaretine yeni bir boyut kazandırılması, düzensiz yüklenme eğrilerinin düzleştirilmesine ve kararlı hale dönüştürülmesine destek verilerek kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlaması, yenilenebilir kaynakların sisteme entegrasyonu gibi başlıklar altında toplanabilir. Batarya sistemleri ve elektrikli araçlar konusunda öne çıkan Tesla firması, batarya sistemlerinin mesken kurulumları için $ 350 kWh (evirici ve kurulum maliyetleri hariç), endüstriyel kurulumları için $250 kWh bir satış fiyatı belirlemiş durumdadır[38]. Ancak her bir batarya sisteminin gerekliliği ve kısıtları farklı olduğundan dolayı bu maliyetleri baz almak doğru sonuç vermeyebilir. Amerika Birleşik Devletleri Enerji Departmanı (DOE) verilerine göre, Amerika'da devam eden şebeke bağlantılı elektro-mekanik ve elektro-kimyasal enerji depolama projeleri 2015 Eylül ayı itibariyle 462 MW'a ulaşmış durumdadır. Toplam kurulu gücün 0.04 % üne tekabül eden bu oran düşük gibi gözükse de yakın gelecekte yüksek bir potansiyel göstermesi açısından oldukça büyük bir değerdir [35].

Tüm bu gelişmelere rağmen; Amerika Elektrik Araştırma Merkezi (EPRI) Enerji depolama programı yöneticisi Haresh Kamath, enerji depolama sistemlerinin elektrik endüstrisi için bir devrim yaratacağı ancak bu geçişin 2-3 yıllık bir süre içerisinde gerçekleştirilmesinin mümkün olmadığını, sürdürülebilir bir geçiş için, 10-15 yıllık bir süreye ihtiyaç olduğunu belirtmektedir [38].

3.5 SCADA-DMS-OMS Sistemleri

SCADA-DMS-OMS sistemleri, akıllı şebekelerin en temel bileşimleri olarak sıralanabilirler ve birbirleriyle entegre olarak çalışan sistemlerdir, o yüzden birleşik olarak isimlendirilirler. Enerjinin kesintisiz, sürekli ve kaliteli bir şekilde nihai tüketiciye ulaştırılmasında, bu sistemlerin önemi her geçen gün artmaktadır. SCADA'nın (Supervisory Control and Data Acquisiton) açılımına bakıldığında, "Denetleme Kontrol ve Veri Toplama" sistemi olarak adlandırılmaktadır. SCADA sistemleri ile şebekeyi uzaktan izleme, denetleme ve yönetme gibi birçok fonksiyon yerine getirilmekte, belirli senaryolara göre alarmlar oluşturulabilmekte, arızalara çok hızlı müdahale edilebilmekte ve fider otomasyonu olan yerlerde ise, arıza durumunda isteğe göre otomatik ve manuel olarak başka bir kaynaktan tekrar besleme imkânı bulunmaktadır. Literatürde FLR (Fault Localization, Isolation and Restoration) olarak tanımlanan bu sistem, arıza yeri belirleme, arızayı izole etme ve tekrar yapılandırarak besleme yapma görevini yerine getirmektedir.

Akıllı şebekelerle birlikte SCADA sistemlerinin daha önemli hale gelmesinin sebebi denetleme ve kontrol mekanizmalarının artması ve buna paralel olarak da toplanan veri miktarındaki artışın çok daha fazla bir hale gelmesidir. ERDF "Linky"(Fransa'da Smart Meter uygulaması için akıllı sayaç üretimi ve sahada testi) projesi kapsamında, birinci fazda 300.000 akıllı sayacın kurulumu ve sonrasında da bu sayının 4,6 milyon arttırılması öngörülmektedir [39]. Bununla yanında, yine aynı raporda SCADA sistemleri için kullanılan 70.000 düğüm noktasının, akıllı sayaçların yerleştirilmesinden sonra 500.000 düğüme arttırılacağı öngörülmektedir. Bu da şu an ve ilerde toplanacak verinin miktarı, bu verilerin kontrolü ve yönetimi gibi fonksiyonları ile SCADA'nın akıllı şebekedeki yerini ve önemini göstermesi açısından iyi bir örnek sayılabilir. SCADA uygulamalarının gerçek zamanlı olması ve operasyonları gerçek zamanlı olarak yürütmesi, akıllı sayaçlarla birlikte SCADA sisteminin daha efektif olarak kullanım olanağı sağlaması oldukça önemlidir. Akıllı sayaçlar, kullandığı haberleşme altyapısı gereği, verileri 15 dakikalık,30 dakikalık veya saatlik peryotlar ile veya gün sonunda veri merkezine iletmektedir. DMS (Distribution Management Systems) "Dağıtım Yönetim Sistemleri" ise; elektrik dağıtım sisteminin en uygun seviyede işletilmesine destek olmak amacıyla, sistem kontrol odasını ve sahadaki personeli yönetimini sağlayarak,

enerjinin kesintisiz, sürekli ve kaliteli olarak dağıtılmasını, elektrik şebekesindeki varlıkların yönetilmesine ve şebeke güvenliğini ön planda tutacak şekilde planlayarak şebekenin en ideal şekilde çalışmasını destekler. Elektrik dağıtım sistemlerinin yönetimi, geleneksel olarak, telefon veya telsiz görüşmeleriyle, ilgili birimlerin birbirini haberdar etmesi veya bilgisayar sistemlerinde görülen kısıtlı bilgilerin, sahadaki sensörlerden alınan verilerin değerlendirilmesi şeklinde yürütülmektedir. Akıllı Şebeke uygulamalarıyla birlikte, DMS, sahada bulunan birbirinden bağımsız tüm farklı sistemlerin ve cihazların bütünleşmiş bir biçimde konsolide edilerek, merkezi olarak elektrik dağıtım sisteminin en yüksek performansta çalışmasını destekleyerek, şebekenin ve insan kaynaklarının daha verimli kullanılması ve işletme maliyetlerin azami sınırlara çekilmesine destek sağlamaktadır. OMS (Outage Management System) "Kesinti Yönetim Sistemi" ise, genel olarak arıza verilerini, kesinti bildirimlerini ve arıza ilişkili nesneleri, ekipleri ve vardiyaları yönetmek için kullanılır. Elektrik dağıtım sisteminde yapılacak olan planlamalar, iyileştirmeler, bakımlar yine bu sistem üzerinden planlanırlar. Akıllı şebekeye uygulamalarına geçildikçe, sistemler birbirleriyle daha iyi entegre olmakta ve daha hızlı tepki veren sistemlere dönüşmektedir. Kesinti yönetim sistemi de, kuşkusuz şebekenin akıllı bir şebekeye dönüştüğü ölçüde ve sistemlerin birbirleriyle entegre çalıştığı ölçüde başarılı olacaktır.

SAIDI (System Average Interruption Duration Index); şebekedeki ortalama elektrik kesinti süresini, SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) ise şebekedeki ortalama elektrik kesintisi sayısını gösteren anahtar performans göstergeleridir (KPI). Bu iki endeksin değerlendirilip kesinti yönetim sisteminin bu endeksler doğrultusunda desteklenmesi için aksiyon alınması önemlidir. Bu endekslerin düşük olması, dağıtım şirketlerinin başarı göstergeleridir ve bu endeksler ile şirketlerin kesinti süre ve sıklığında ne derecede başarılı olduğu ölçülebilmektedir. Dağıtım merkezleri cihazları ve elektrik dağıtım sahasından alınan veriler SCADA sistemine gelmekte, aynı zamanda da AMI sistemi ile kesintinin olup olmaması ya da AMI sisteminden alınan verilerin durumuna göre alınmak istenen aksiyon çerçevesinde GIS (Geographic Information System) olarak tanımlanan Coğrafik Bilgi Sistemi ile lokasyon belirlenmektedir. Bu çift yönlü bilgi akışı ile OMS ve SCADA sistemine aktarılan veriler, DMS ile bütünleşerek istenen aksiyon gerçekleştirilir ve elektrik dağıtım sisteminin maksimum performansta

çalışması desteklenir, bu da şebekenin ve insan kaynaklarının daha verimli kullanılmasını, fayda-maliyet analizi açısından da en ideal şekilde işletilmesine olanak sağlar.

3.6 Coğrafi Bilgi Sistemi, Abone Bilgi Sistemi ve Varlık Yönetimi

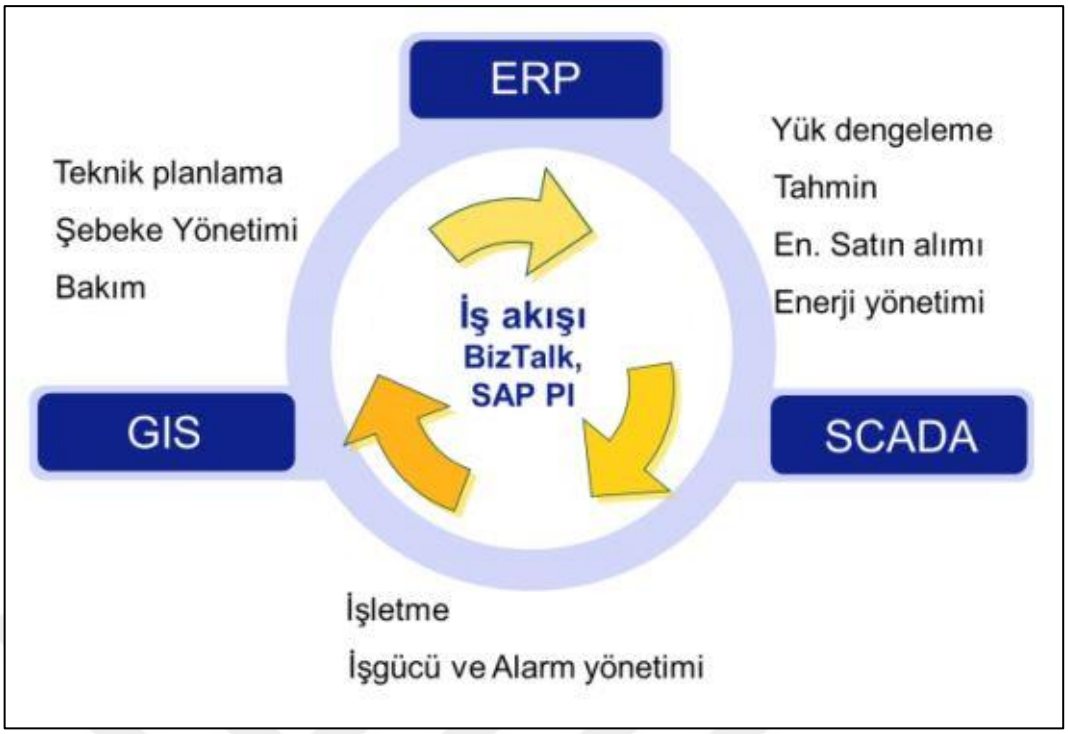
Coğrafi bilgi sistemleri, belediyeler, elektrik, su, gaz, telekom gibi altyapı kuruluşları, askeriye vb. birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Coğrafi bilgi sistemlerinin temel fonksiyonu, ilgili işletmenin varlıklarını coğrafi olarak konumlandırmak, belirli bilgileri ve etiket değerlerini bu sistem üzerinde saklamak ve bu sistem üzerinden planlamaları yapabilmektir. Elektrik şebekelerinde kullanımına baktığımızda; transformatör merkezleri, direkler, hatlar, kablolar, binalar, aboneler gibi kritik öneme sahip birçok varlığın verisinin saklandığı sistemlerdir. Diğer sistemlerde olduğu gibi, CBS sistemlerinde de, Abone Bilgi Sistemi, Varlık Yönetimi, OMS, DMS, OSOS (otomatik sayaç okuma sistemleri) gibi farklı sistemlerle bütünleşmiş bir biçimde çalışması, akıllı şebekelerin en temel yapı taşlarından birini oluşturmaktadır. Genel olarak CBS, şebeke planlama, saha işgücü yönetimini planlama, filo yönetimi, varlık yönetimi, arıza yönetimi, şebekenin en güncel durumunu görme, şebekede mevcut olan ekipmanların tanımlanması gibi birçok amaç için kullanılan, şebekenin omurgası niteliğinde temel bir sistemdir. Bu sistem; bilgisayar tabanlı bir yazılım olarak analiz yapan, girilen verilerin coğrafik olarak işlenmesini sağlayan, işlenmiş verileri harita üzerinden coğrafi olarak görselleyen bir yazılım olarak da tanımlanabilir. CBS sistemi 4 temel fikre dayanır, bunlar;

- Coğrafi veri oluşturma,
- Oluşturulan veriyi yönetme,
- Oluşturulan veriyi analiz etme,
- Oluşturulan veriyi haritada görme

olarak sıralanabilir. “Abone Bilgi Sistemi” olarak bilinen (CRM- Customer Relationship Management) ise, abonelerin bilgilerinin tek bir ekrana gelmesini sağlayan ve müşterilerle ilgili her türlü kaydın saklanabildiği ve yönetilebildiği bir sistemdir. Müşteri memnuniyeti ve buna göre gerekli aksiyonların alınması, akıllı şebekenin entegrasyonu

ile müşteriden alınan bilgilerin analizinin yapılmasına ve gelişmiş raporlama araçları ile birimlerin işlemlerini kolaylaştırıp verimlerinin artması gibi süreçler de bu sistem aracılığıyla yönetilebilmektedir.

"Varlık Yönetimi" (Asset Management), son 20-30 yıllık sürede devreye alınan varlıkların ömürleri sonlarına yaklaşırken, özellikle Türkiye'deki dağıtım firmaları bir takım işletme zorluklarıyla karşı karşıya gelmeye başlamıştır. Trafolar, anahtarlama elemanları, kablolar vb. ekipmanlar yaşlandıkça bakımı veya yenilenmesine yönelik, elektrik dağıtım şirketlerine önemli bir mali yük getirmektedir. Özellikle de giderek artan dağıtık üretim sistemlerinin artması ve şebekeye dâhil olmaya başlaması, elektrik dağıtım sistemlerini, şebeke yönetimi bakımından daha zor ve karmaşık bir duruma sokmaya başlamıştır. Yaşlanan varlıkların arıza oluşturana kadar çalışmalarına izin verilmesi ve varlıkların durumlarına tam hâkim olunmaması, varlıkların istatistiki verilerinin bulunmayışı, dağıtım firmalarının maliyetlerini artırıcı bir etki yapmakta ve elektrik kesintilerine sebep olup müşteri memnuniyetsizliğine sebep olmaktadır. Varlık Yönetimi Sistemleri, varlıkları kayıt altına alarak, yatırım tarihi, arıza geçmişi, bakım geçmişi gibi verileri saklamakta ve bu verilere göre varlıkları en ideal şekilde yönetmeye imkân sağlamaktadır. Bu sistemler ile bakım periyotlarının düzenlenmesi, şebekenin yetersiz kaldığı yerlerde gerekli yatırımların yapılarak varlıkların ömürleri uzatılması, maliyetlerin düşürülüp, müşteri memnuniyetin artırılması gibi birçok operasyon yapılabilmektedir. Varlık yönetimi literatürde ERP (Enterprise Resource Planning) olarak geçmektedir ve dünyadaki farklı elektrik dağıtım firmaları incelendiğinde genelde SAP ve Oracle'ın ana tedarikçiler olduğu görülmektedir. Şekil 3.8'de, GIS, ERP, SCADA sistemlerinin birbirleriyle entegrasyonunu gösteren şema görülülebilir.



Şekil 3.8 GIS, ERP ve SCADA sistemlerinin entegre çalışması [28]

Akıllı şebeke kavramının gelişmeye başlamasıyla birlikte, literatürde "Dağıtım Yönetim Sistemleri" (DMS: Distribution Management System) olarak adlandırılan sistemlerin temelini oluşturan, YG/AG şebeke modelinin oluşturulması ihtiyacı doğmuştur. YG/AG şebeke modeli kullanılarak şebeke analizlerinin dinamik olarak yapılabilmesi böylece şebeke ile ilgili gerekli operasyonların ve yatırımların en doğru şekilde yapılması bakımından dağıtım firmaları için büyük önem arz etmektedir. Şebeke modeli DMS uygulamalarının alt yapısını oluşturur ve içerik olarak da şebeke elemanlarının tanımlarını, bu elemanlar arasında bağlantıları içerir. Şebeke modelinin oluşturulmasıyla birlikte, güç transformatörü, dağıtım transformatörü, dağıtım hatları gibi, dağıtım şebekesi ekipmanlarının teknik ve coğrafik bilgileri gerçeğe yakın bir biçimde elde edilir. Dağıtım şebekelerinin topolojisiyle ilgili gerçeğe yakın öngörüler, şebekelerin yönetimi için önemlidir [39].

Geleneksel uygulamalarda dağıtım şebekesi topolojisi, tek hat şemaları ve CBS gibi sistemlerde saklı bulunmaktadır ve mevcuttaki bu uygulamalar kullanılarak yük akışı koşulması, teknik kayıpların analizinin yapılması, optimum yük akışının sağlanabilmesi, trafoların ve fiderlerin yüklenmesi vb. analizlerin yapılması mümkün değildir. Elektriksel şebeke analizlerinin yapılabilmesi için, şebeke topolojisinin bir güç sistemleri

analizi programına entegre olması gerekmektedir. Böylece şebekede yapılan değişikliklerin CBS'ye eklenmesiyle birlikte doğrudan şebeke analizi simülasyonu yapılabilir, şebeke analizleri de, güncel şebeke uzunlukları ve karakteristiklerine göre en doğru şekilde gerçekleştirilebilir. Akıllı şebeke geçiş sürecinin en önemli parçası olan akıllı sayaçların şebekeye entegrasyonuyla, akıllı sayaçlardan gelen verilerin analizinin yapılması, trafo yüklenmelerinin, fiderlerin yüklenme durumlarının izlenebilmesi, gerçek zamanlı olarak akıllı sayaçlardan alınan verilerinin analizi gibi süreçler şebekenin optimum olarak işletilebilmesini sağlar.

Dünyadaki örnekler incelendiğinde, AG/YG şebeke modelinin oluşturulması süreçleri sırasıyla aşağıdaki gibidir:

- GIS (Coğrafi Bilgi Sistemi) oluşturularak, şebeke elemanlarının coğrafi koordinatlarına göre işlenmesi,
- Literatürde "Güç Sistemi Analiz Programları" olarak geçen (Power System Analysis Software) yazılımların, GIS ile entegre edilerek, şebeke elemanlarına elektriksel özelikler girilmesi,
- Akıllı sayaçlar ve sensörlerden alınan verilerin, güç sistemi programlarına aktarımı ve analizlerinin yapılması.

Burada dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan bir tanesi, şebeke topolojisinin, şebeke elemanlarının GIS sistemine doğru bir şekilde işlenmesi ve GIS sisteminin de Güç Sistemi Analiz Programlarına doğru bir biçimde entegre edilmesidir.

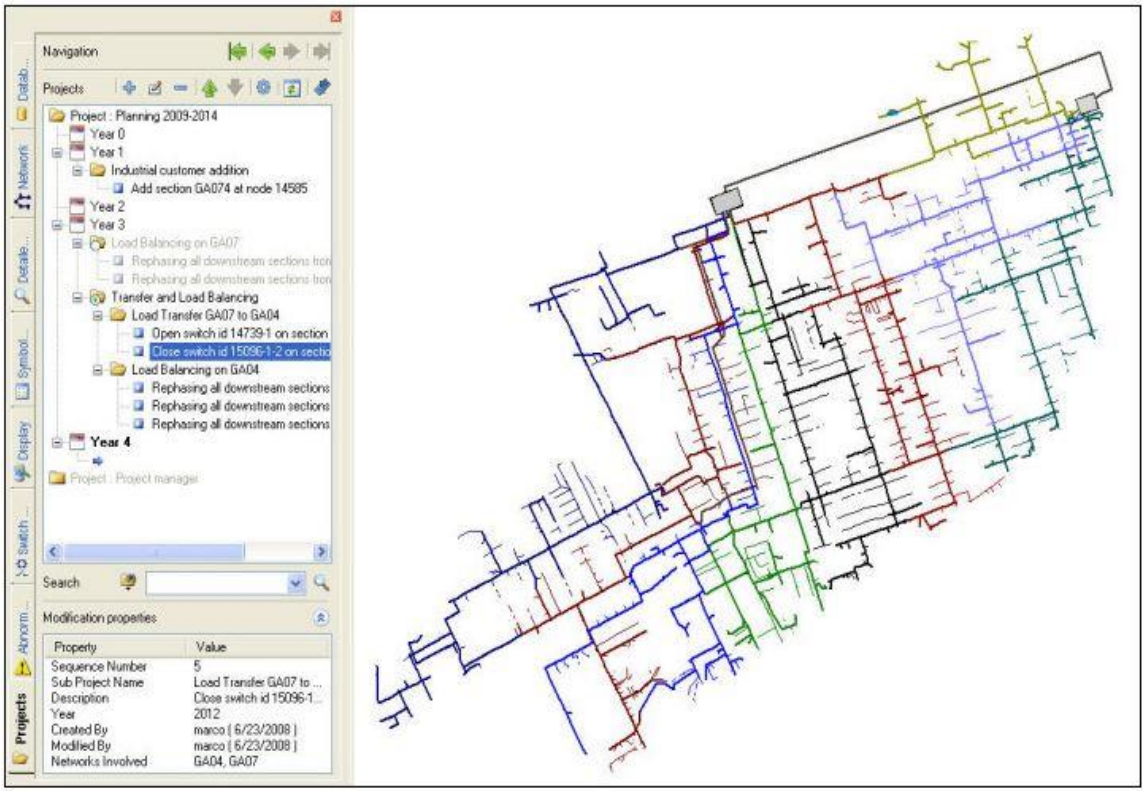
Şebeke topolojisinin ve şebeke elemanlarının bilgisayar ortamında tutulup, güncel bir biçimde sürekli olarak ulaşılabilir olması; teknik analizlerin, yatırım planlamalarının, alınacak aksiyonların belirlenip şebekenin tüm paydaşlara maksimum fayda sağlayabilmesi açısında oldukça önemlidir. Dünyadaki örnekler incelendiğinde dağıtım firmalarının benzer güç sistemleri analiz programlarını kullandığı gözlenmektedir.

Bunlardan bazıları;

- "CYME" ; Cooper Power System CYMDIST engineering analysis software,
- "DEW" ; Distributed Engineering Workstation,
- PSS/E,

- DlgSilent Power Factory,
- “WindMil”; Software by Milsoft Integrated Solutions, Inc,
- NEPLAN,
- Sincal,
- ETAP

olarak gösterilebilir. Şekil 3.9’da BEDAŞ’ın bir dağıtım bölgesinin CYME güç sistemleri analiz programındaki modellenmiş hali görülmektedir.



Şekil 3.9 Cyme programı dağıtım şebekesi modeli

AG/YG şebeke modelinin oluşturulması ve şebeke analizlerinin dinamik olarak yapılmasıyla;

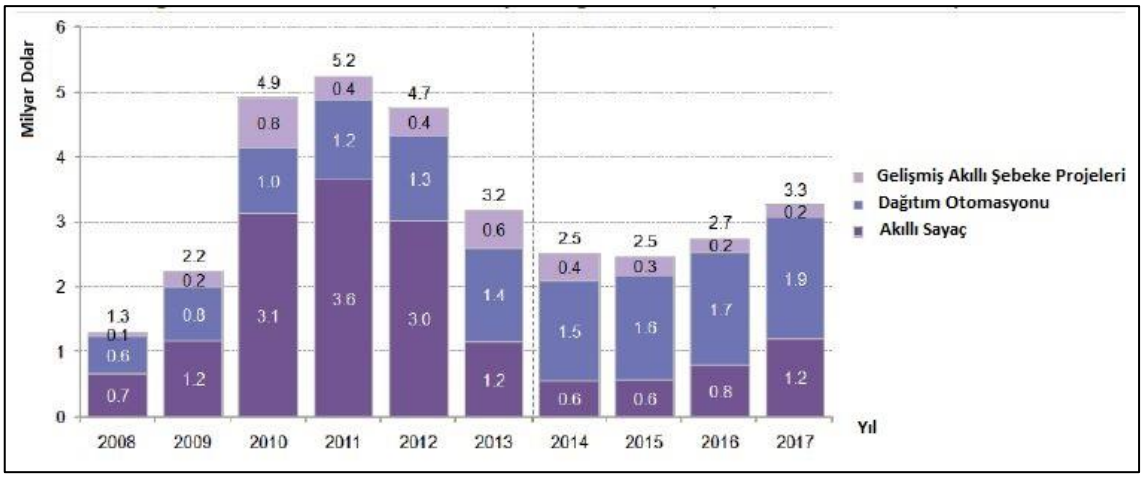
- Şebeke içinde tanımlanmış trafo, ayırıcı, kesici vb. elektriksel elemanları bulmak,
- Şebeke elemanlarının nasıl beslendiğini bulmak ve uygun beslenme şekillerini elde etmek,
- Şebeke elemanlarının yaşlarını, verimlilik durumlarını belirlemek,

- Teknik kayıpları hesaplamalarını yapmak ve minimal düzeye indirgemek,
- Şebekeyle ilgili gelecek dönem planlamalarını yapmak, farklı akıllı şebeke elemanlarının şebekeye entegrasyonunu modelleme ve analizlerini yapmak,

vb. süreçler uygulanıp denenerek, şebeke tüm paydaşlara maksimum fayda verecek bir biçimde kurgulanıp, revize edilebilir.

3.7 Birlikte Çalışabilirlik ve Entegrasyon

Akıllı şebekelere geçiş ile birlikte birçok sistemin birbiriyle çift taraflı haberleşme yaparak, entegre bir biçimde çalışması hayati önem taşımaktadır. Güç sistemi ekipmanlarının izlenmesi, görüntülenmesi ve performanslarının gerçek zamanlı olarak, ya da gerçek zamana yakın olarak takip edilmesi, sistemlerin verimli çalışabilmesi, operasyonel maliyetlerini düşürmesi ve ekipmanların ömürlerini uzatması gibi sebeplerden dolayı oldukça önemlidir. Literatürde "interoperability" olarak tanımlanan birlikte çalışabilirlik ve entegrasyonun en önemli kısmı akıllı sayaçlardır. Türkiye'de de BEDAS bünyesinde devam etmekte olan AR-GE faaliyetleri kapsamında yürütülen "Akıllı Sayaç Pilot Uygulama Projesi" ile müşterilerin tüketimlerinin uzaktan ölçülmesi, yük profillerinin oluşturulması, uzaktan açma-kapama veya güç limitleme yapılması gibi birçok fonksiyon test edilmiş olacak ayrıca farklı haberleşme altyapıları farklı şebeke koşulları altında test edilmiş olacaktır. Dünyadaki örnekler incelendiğinde, özellikle liberalleşmiş elektrik piyasalarında SCADA, ERP, CBS sistemlerinin ortak olarak kullanıldığı ve akıllı şebekelere geçişin akıllı sayaçlarla birlikte başladığı, sonraki süreçlerde de akıllı sayaçlardan alınan verilerin yönetiminin önemli hale geldiği görülmektedir. Bu durum özellikle Amerika'daki yatırım durumunun analizleriyle incelenebilir. Amerika'da elektrik endüstrisinin, 4 yıllık bir dönem de akıllı şebeke teknolojilerini hayata geçirdiği, 2010-2013 yılları arasındaki dönemde 18 milyar dolarlık bir yatırım yapılmıştır [17]. Şekil 3.10'da bu yatırımın kırılımları gösterilmektedir.



Şekil 3.10 Amerika'daki akıllı şebeke yatırımların yıllara göre analizi [16]

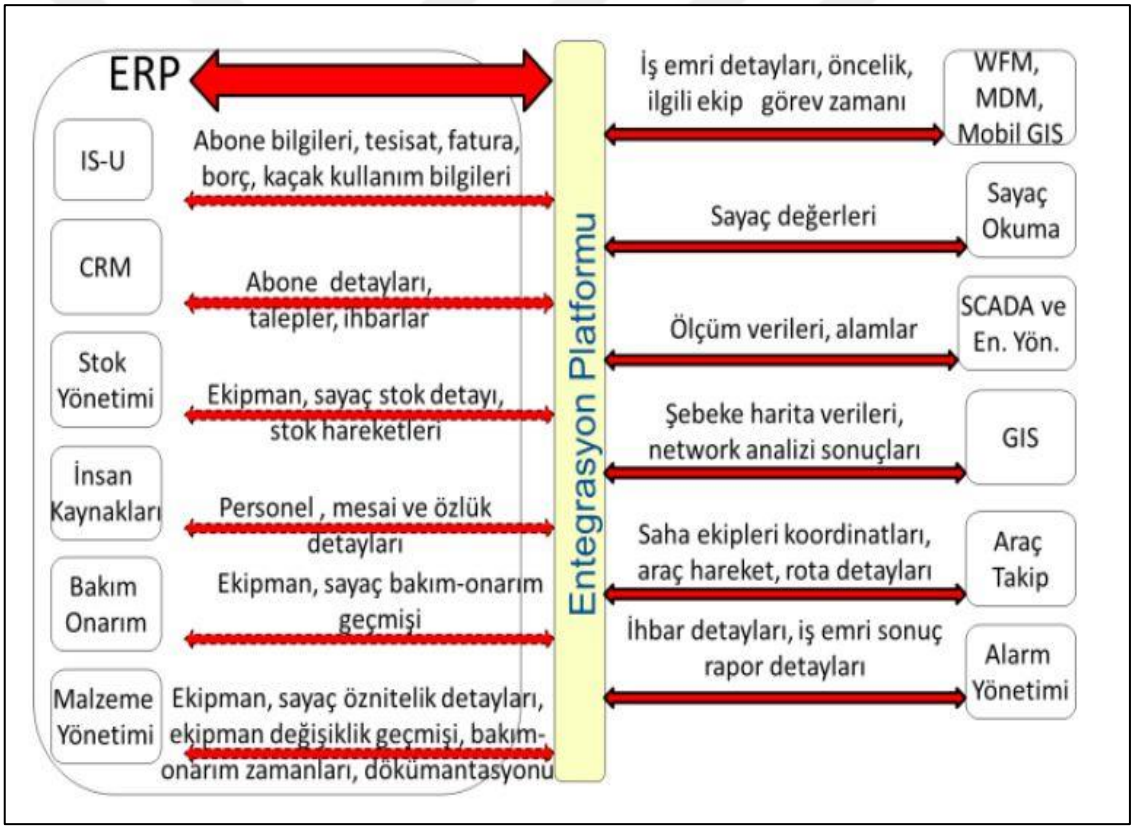
Şekilde 3.10'da görüldüğü üzere yapılan yatırımlar ve ileriye dönük projeksiyonların 3 gruba ayrılmış olduğu görülmektedir.

1. İleri düzeyde akıllı şebeke projeleri,
2. Dağıtım tarafı otomasyonu,
3. Akıllı sayaç.

Yurtdışındaki uygulamalar incelendiğinde, akıllı şebeke yatırımlarının hemen hepsinde ilk göze çarpan şey, akıllı sayaç maliyetleridir. İlk yatırım maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı, diğer yatırımlardan ziyade akıllı sayaç yatırımlarıyla ilgili fizibilite ve fayda-maliyet analizi çalışmaları yapılmakta, bu yatırımın finansmanı için farklı modeller uygulanmaktadır. Diğer teknolojilerin, kapsam ve maliyet bakımından akıllı sayaç maliyetlerine oranla çok daha düşük oranlarda kaldığı görülmektedir. Tüm bu maliyet karşılaştırmalarının yanında, kurulan farklı sistemlerin birbirleriyle entegre olması çok kritiktir. Entegrasyon süreçlerinde en kritik olan nokta, sistemlerin her zaman ve sürekli olarak birbirleriyle haberleşebilir olmalarıdır. Entegrasyon süreçlerinde karşılaşılan bir takım sıkıntılar şu şekilde özetlenebilir:

- Birimlerin birbirinden kopuk çalışması,
- Birimlerin iş yüklerinin fazla olmasında dolayı entegrasyon için önemli fakat kendi iş süreçleri için önemli görülmeyen süreçlerin ihmal edilmesi,
- Farklı birimler arasındaki entegrasyonun sürekli olarak incelenmemesi,

- Birimlerin yapılan entegrasyon süreçlerinden sadece bir kısmını bilmesi, bunun sonucu olarak da entegrasyon sürecini tam olarak kavrayamaması,
- Birimlerin ilgili bilgi birikime sahip olmamasından dolayı, entegrasyon süreçlerine ilave iş yükü olarak bakması, iş yapış alışkanlıklarında bir değişim gerektirdiği için de olumsuz yaklaşmaları,
- Birimlerin yeni sistemleri tanımaması, eğitimli personelin sayısının az olması,
- Entegrasyon sürecinde farklı markaların ürünlerinin birbirleriyle entegre olmamaları, gibi sebepler entegrasyon süreçlerini olumsuz etkilemektedir. Şekil 3.11'te sistem entegrasyonunun nasıl olduğunu gösteren basitleştirilmiş bir grafik yer almaktadır.



Şekil 3.11 Sistemler arası veri akışı [28]

3.8 Siber Güvenlik

Akıllı şebekelere geçiş süreçleriyle birlikte, geleneksel elektrik şebekesinden farklı olarak öne çıkan, "Bilişim ve Haberleşme Teknolojileri" (ICT- Information and Communication Technologies), şebekenin sorunsuz bir biçimde çalışabilmesi, kesintisiz

elektrik arzını sağlaması, tüketicilerin üretime katılması, enerji verimliliğini ve kontrolünü sağlaması vb. durumlar açısından kritik bir hale gelmiştir. Bunun sebebi akıllı şebeke bileşenlerinden elde edilecek bilgilerin; bilgi teknolojileri ve telekomünikasyon altyapısıyla birlikte işlevsel hale gelebilmesidir.

Siber güvenlik, elektronik bilgi, iletişim sistemleri, hizmetler ve bu sistemlerin ve hizmetlerin yer aldığı bilgilerin güvenliğini içerir. Siber güvenlik, genel olarak 3 alt bölüme ayrıştırılabilir:

1. Bilgi işleme; sisteme girerek bilgi ekleme, çıkarma, değiştirme veya bilgilerin silinerek yok edilmesi,
2. Depolama; kâğıtlara yazılarak bilginin tutulması, elektronik dokümantasyon halinde ya da farklı kanallar vasıtasıyla bilgilerin depolanması,
3. İletişim; elde edilen verilerin farklı birimlerle paylaşılması, dağıtılması.

Bu altyapı içerisinde yer alan bileşenler; bilgisayar sistemleri; kontrol sistemleri (SCADA vb.); ağ, internet ağı gibi bilgisayar ağı servisleri (yönetilen güvenlik hizmetleri), siber altyapının birer bileşenleri olarak görülebilir. Geleneksel olarak siber güvenlik, bilgi teknolojileri odaklı güvenliği sağlamak üzere tanımlanırken, akıllı şebekelerdeki siber güvenlik tanımı daha kapsamlı olmak durumundadır. Akıllı şebekelerde, hem güç sistemleri teknolojileri, hem siber teknolojiler ve bunların bilgi teknolojileriyle olan süreçleri ve güç sistemleri operasyonlarının kontrol edilmesi siber güvenliğin konusudur. Akıllı şebekelerdeki siber altyapıya örnek olarak:

- Kontrol/kumanda sistemleri,
- Sensörler,
- Koruma ekipmanları/röleler,
- Sayaçlar ve faturalama sistemleri,
- Abone bilgileri gösterilebilir.

Bu siber altyapıların giderek artması ve ciddi risklerin ortaya çıkması sebebiyle Amerika'da, Ulusal Standartlar ve Teknolojiler Enstitüsü (NIST), Milli Güvenlik Departmanı (Department of Homeland Security), Enerji Departmanı (DOE), Federal Enerji Regülasyon Komitesi (FERC) gibi kurumlar birleşerek akıllı şebekelerle ilgili olarak

yayınladıkları strateji belgesi yayınlamışlardır[40]. Bu belgede akıllı şebekeler için öncelikli olarak uygulamaya alınacak başlıklar arasında siber güvenlik konusu yer almaktadır. Kısaca strateji belgesi; akıllı şebekelere geçerken bilişim teknolojilerinin ve telekomünikasyon altyapılarının oluşturulmasında, her aşamanın güvenilirliği sağlama açısından önemi üzerinde durulması gerektiği ve sistemlerin buna göre kurulması gerektiği vurgulanmaktadır. Siber güvenlik açısından özellikle AMI altyapısı ve SCADA sistemleri, üzerinde durulması gereken hususlardır.

3.9 Standardizasyon

Akıllı şebeke kavramının ortaya çıkma sürecine bakıldığında, yapılacak yatırımların yüksek maliyetli olmaları sebebiyle, elektrik şebekesinin şu anki, orta ve uzun vadedeki ihtiyaçlarını karşılaması temel alınmaktadır. Bu sebepten dolayı da kurulacak olan ya da kurulmakta olan akıllı şebeke yatırımlarının bu gereksinim ve ihtiyaçlara cevap verebilecek bir biçimde kurulması, entegre edilmesi gereklidir, bu da akıllı şebekenin her sisteminde ve alt kırılımda bir standardizasyonu zorunlu kılmaktadır.

Akıllı şebeke kavramı soyut bir kavram gibi gözükse de akıllı şebeke kavramıyla birlikte vurgulanması gereken en önemli nokta, elektrik şebekesindeki tüm bileşenlerin artan ölçülebilirliği ve kontrol edilebilirliğidir.

Bu durum güç sistemindeki mevcut olan ve yakın gelecekte kurulacak olan birbirinden farklı ürün ve çözümlerin birlikte çalışabilirlik içerisinde olmasını gerektirmektedir.

Akıllı şebekenin amaçlanan bir işlevsellik içinde olabilmesi için, standartların tüm alt kırılımlarıyla sağlam bir çerçeveye oturtulması gereklidir.

Dünyadaki örnekler incelendiğinde, akıllı şebeke kavramıyla birlikte önemi artan standardizasyon süreçlerinin, ülkelerin “Akıllı Şebeke Yol Haritası” şeklinde belirttiğini ve akıllı şebeke yapısını bu çerçeve içerisinde geliştirdiği görülmektedir. Amerika’da “NİST” (Ulusal Teknolojiler ve Standartlar Enstitüsü) tarafından birçok ulusal kurum ve akıllı şebeke paydaşlarından oluşan bir konsorsiyum tarafından şekillendiği ve standartların oluşturulduğu görülebilir. Aynı zamanda literatürde “IEC” Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (International Electrotechnical Comission) tarafından da akıllı şebeke standartlarının, birlikte çalışabilirlik temelinden yola çıkarak, alt kırılımlarının

spesifik bir biçimde belirlendiği ve her geçen gün bu standartların geliştiği görülebilir [41].

Dünyadaki akıllı şebekelerle ilgili farklı "Yol Haritaları" incelendiğinde, öncelikli yatırım alanlarının belirlendiği ve akıllı şebeke yatırımlarının, yatırım yapılacak olan ülkelerin gereksinimleri temel alınarak incelendiği görülebilir.

Özellikle IEC'nin akıllı şebeke bileşenleriyle ilgili olarak belirlediği kilit alanlar için; standartlar, öneriler, hemen alınması gerekli olan tedbirler, bunların tanımları ve açıklamaları ve geçmişten bugüne gelen standartlar, IEC'nin hazırlamış olduğu "Akıllı Şebeke Yol Haritası" bulunabilir ve standartlar ile ilgili ana konular aşağıdaki gibidir [42]:

- Yüksek gerilim doğru akım uygulamaları (HVDC - iletim),
- Kesinti engelleme sistemi / EMS,
- İleri düzeyde dağıtım yönetimi,
- Dağıtım otomasyonu,
- Akıllı trafo merkezi otomasyonu,
- Dağıtık enerji kaynakları,
- Akıllı sayaç altyapısı,
- Talep tarafı yönetimi ve yük yönetimi,
- Akıllı bina otomasyonu,
- Elektrik depolama,
- Elektromobilite ve durum izleme.

IEC'nin geliştirdiği akıllı şebeke bilişenlerinin birbirleriyle entegre bir biçimde çalışabilmesi için farklı kısımlara böldüğü standartlardan en önemlileri aşağıdaki gibi sıralanabilir[42]:

- IEC/TR 62357: Güç otomasyonu standartları ve tanımları "SOA"(servis odaklı mimari) ,
- IEC 61850: İndirici trafo merkezi otomasyonu ve haberleşmesi,

- IEC 61970: Enerji yönetim sistemi,
- Literatürde “CIM” Ortak bilgi sistemi (common ınformation model),
- Literatürde “GID” genel arayüz tanımı (generic ınterface definition),
- IEC 61968: Dağıtım Yönetim Sistemi,
- Literatürde “CIM” ortak bilgi sistemi (common information model),
- Literatürde “CIS” bileşen arayüzü özellikleri (component ınterface specification),
- IEC 62351: Güvenlik olarak sıralanabilir. [42]

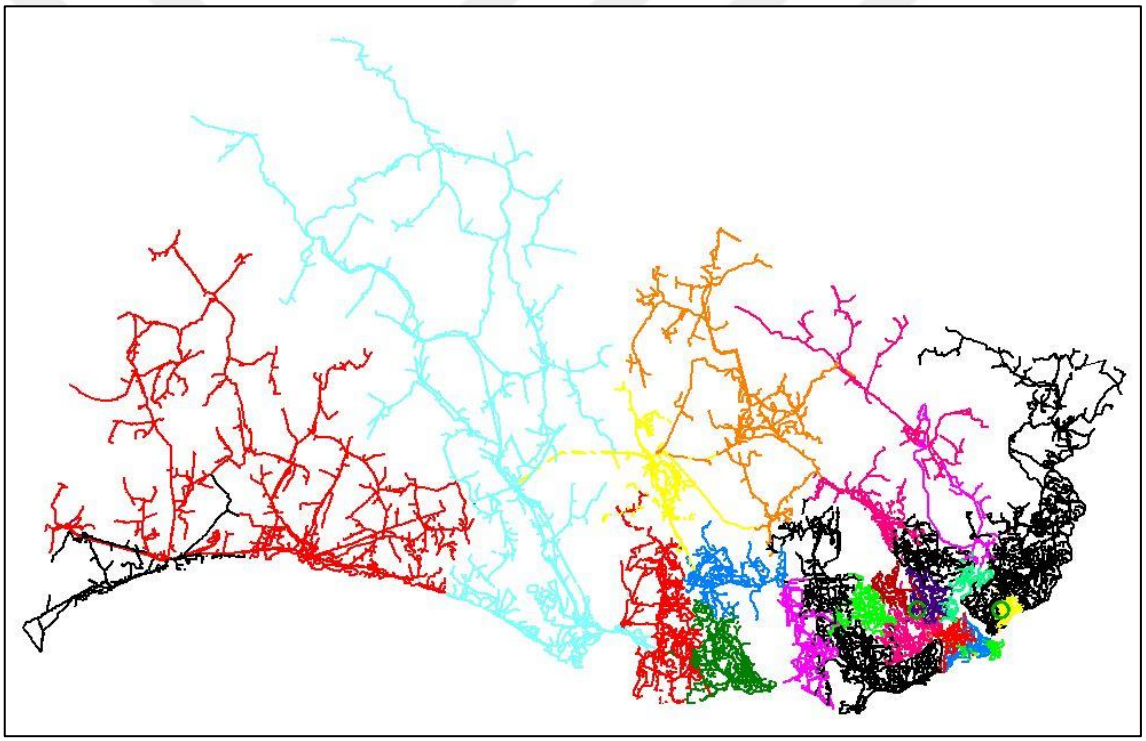
Akıllı şebeke kavramı, derinlemesine incelendiğinde en önemli hususlardan birinin, birbirinden farklı sistemlerin birbirleriyle entegre bir biçimde çalışabilir olması olduğu açıkça görülmektedir. Ülkelerin akıllı şebekelerle ilgili herhangi bir yatırıma başlamadan evvel, kendi gereksinimlerini belirlemesi ve bu sistemlerin birbirleriyle entegre bir biçimde çalışabilmesi için gerekli olan standartları belirlemiş olması, akıllı şebekeye geçiş sürecinin başarılı olabilmesi için ön şart olarak görülebilir. Bütünün birer parçaları olan akıllı şebeke bileşenlerinin birbirleriyle haberleşememesi, birbirinden bağımsız olarak çalışması durumunda, akıllı bir şebekeden bahsetmek mümkün değildir.

3.10 Optimizasyon ve Yeniden Yapılandırma

Elektrik dağıtım şebekesi, her gün milyonlarca kişinin elektrik ihtiyacını karşılamak için kurulmuş, her geçen gün artan elektrik talebiyle büyüyen, oldukça karmaşık ve ileri teknoloji ürünü bir sistemdir. Buna rağmen; çoğu zaman yaşlanmış, miadını doldurmuş ve olması gerektiğinden daha fazla elektrik yüküne maruz kalabilen bir sistemdir. Elektrik şebekesinde hali hazırda kullanılan ekipmanların çoğunluğu 25-30 yıl ya da daha fazla bir süredir şebekede kullanılmaktadır [30]. Ekonomik ömrünü tamamlamış ya da tamamlamak üzere olan birçok ekipmanın yenilenmesi gerekliliğiyle birlikte, şebekenin artan enerji talebi artışına da yanıt vermesi gerekmektedir. Bu yeniden yapılandırma süreçleri fayda-maliyet analizleri yapılarak incelendiğinde, yapılacak olan yatırımların iyi planlanması ve bu yatırımların; kısa, orta ve uzun vadedeki etkilerini inceleme gerekliliğini ortaya koymaktadır. Akıllı şebeke kavramıyla başlayan elektrik şebekesindeki değişim, yeniden yapılandırma ve şebeke optimizasyonu süreçleriyle

birlikte elektrik dağıtımı ve iletimi yapan firmalar için yeni fırsatları ve yeni zorlukları açığa çıkarmaktadır. Bu süreçte önem kazanan, yapılan analizlerle birlikte elektrik şebekesinin ihtiyaçlarını belirlemek ve bu doğrultuda doğru yatırımları yaparak şebekeyi geleceğe hazırlamaktır. Yeniden yapılandırmanın hedefi ise, şebekenin optimum bir seviyede çalışmasını, şebeke ihtiyaçlarını, enerji talep artışını, dağıtık üretim kaynaklarının artışını vb. süreçleri göz önünde bulundurulup şebekeyi bugünün ve geleceğin koşullarına hazırlamaktır.

Optimizasyon ve yeniden yapılandırmanın uygulanabilmesi için şebeke modelinin güç sistmeleri analiz programlarında modellemesi gerekmektedir. Şekil 3.12'de BEDAŞ şebekesinin modellenmiş og dağtım fiderleri görülebilir.



Şekil 3.12 Cyme BEDAŞ OG şebeke modeli

Şebeke optimizasyonunun hedefleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Minimum enerji kaybı,
- Güç kalitesinin belirli değerin üzerinde olması,
- Maksimum şebeke güvenilirliği,
- Minimum kesinti süresi ve sıklığı,

- Maksimum erişilebilirlik ve bağlanabilirlik,
- Dengeli yüklenme.

Şebekenin optimum bir biçimde çalışabilmesinin ön koşulu olarak, şebeke topolojisinin bilinmesi, AG/YG modelinin oluşturulması ve güç sistem analiz programlarıyla şebeke analizlerinin dinamik olarak yapılabilmesi ve bu analiz sonuçlarına göre aksiyon alınması gereklidir. Akıllı sayaçlar, sensörler vb. haberleşme teknolojilerinin yaygınlaşmaya başlaması ve bu teknolojilerin birbirleriyle entegre olarak çalışması, elektrik şebekesinin yeniden yapılandırma ve elektrik şebeke optimizasyon süreçlerini yönlendirmek açısından oldukça önemlidir. Günümüzde ve yakın gelecekte özellikle;

- Artan enerji talebi,
- Artan dağıtık yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye entegrasyonu,
- Kaynaktan yüke doğru tek yönlü geleneksel enerji akışı yerine, çift taraflı enerji ve bilgi akışının yönetimi,
- Talep tarafı katılımıyla birlikte artan müşteri katılımı,
- Enerji depolama sistemleri,
- Bilişim sistemleri kullanımının artması

vb. konuların önemi artacaktır. Yukarıda belirtilen sebepler şebekenin yeniden yapılandırılması ve bunun öncesinde de şebekenin optimizasyonu için şebekenin analiz edilerek, yeniden yapılandırmaya; fayda, maliyet çerçevesinde yapılacak olan yatırımların düzenlenmesi elektrik dağıtım firmaları açısından zorunlu bir hale gelmektedir. Bu süreçte, şebeke elemanlarının eskiden dağıtım şebekesinde, hali hazırda kurulu olan ekipmanlarla değiştirmek yerine, yeni akıllı şebeke ekipmanlarıyla değiştirilip şebekenin daha verimli kullanılması, bazı ekipmanların da ömürlerinin uzatılması sağlanabilir. Böylece eskiyen şebekenin yenilenmesi sağlanırken, akıllı şebeke unsurları da şebekeye kazandırılmış olacaktır. Dünyadaki örnekler incelendiğinde, Amerika'da "Akıllı Şebeke Yatırım Fonu Programı" (Smart Grid Investment Grant Program), Avrupa'da ise "Avrupa Komisyonu" (European Commission) ile elektrik şebekesinin optimizasyon süreçleri özellikle akıllı şebekenin temeli olan akıllı sayaçların şebekeye entegrasyon süreçleriyle hız kazanmıştır [27].

Akıllı sayaçlar ile şebekedeki elektrik ekipmanlarının ölçüm verileri alınarak; verimleri, yüklenme durumları, teknik kayıpları vb. elektriksel özellikleri belirlenerek, uygun anahtarlamaların yapılmasıyla şebekeyi optimize etmek veya yeniden yapılandırmak için gerekli olan aksiyonlar özellikle akıllı sayaçların entegrasyonu sonrası dağıtım firmaları tarafından sağlanabilir.

"CIRED" (Uluslararası Elektrik dağıtım Firmaları Sergi ve Konuşmaları Toplantısı)'a göre; "Elektrik şebekesinin geçmişten günümüze olan kurulumlarında, şebeke, maksimum elektrik talebi temel alınarak kurgulandığından dolayı akıllı şebekelere geçiş ile birlikte, şebekeden alınan verilerin artması, şebekenin durumunun gözlenebilmesi, şebekeyi büyütmek veya şebekeyi yenilemek yerine, hali hazırda kurulu olan şebeke daha verimli kullanılarak, şebeke ekipmanlarının ömürleri artırılabilir, bunun sonucu olarak da elektrik dağıtım şebekesi hem artan enerji talebine yanıt verebilecek hale getirilebilir hem de şebekeye yeni yatırımlar yapılması engellenebilir veya yapılacak yatırımlar ötelenebilir" [30]. Kısacası şebeke optimizasyonunu yapabilmek için, elektrik şebekesi topolojisinin güncel olarak sağlanması, analizlerin güç sistemleri analiz programlarıyla yapılarak matematiksel olarak en optimum koşulların hangi durumlarda sağlanabileceği kesinleştirilmesi, elde edilen veriler ile de yeniden yapılanma süreçleri şebekenin geleceği baz alınarak planlanabilir.

BÖLÜM 4

AKILLI ŞEBEKELERDE SEZGİSEL ALGORİTMA YÖNTEMİYLE ANAHTARLAMA OPTİMİZASYONU VE YENİDEN YAPILANDIRILMA

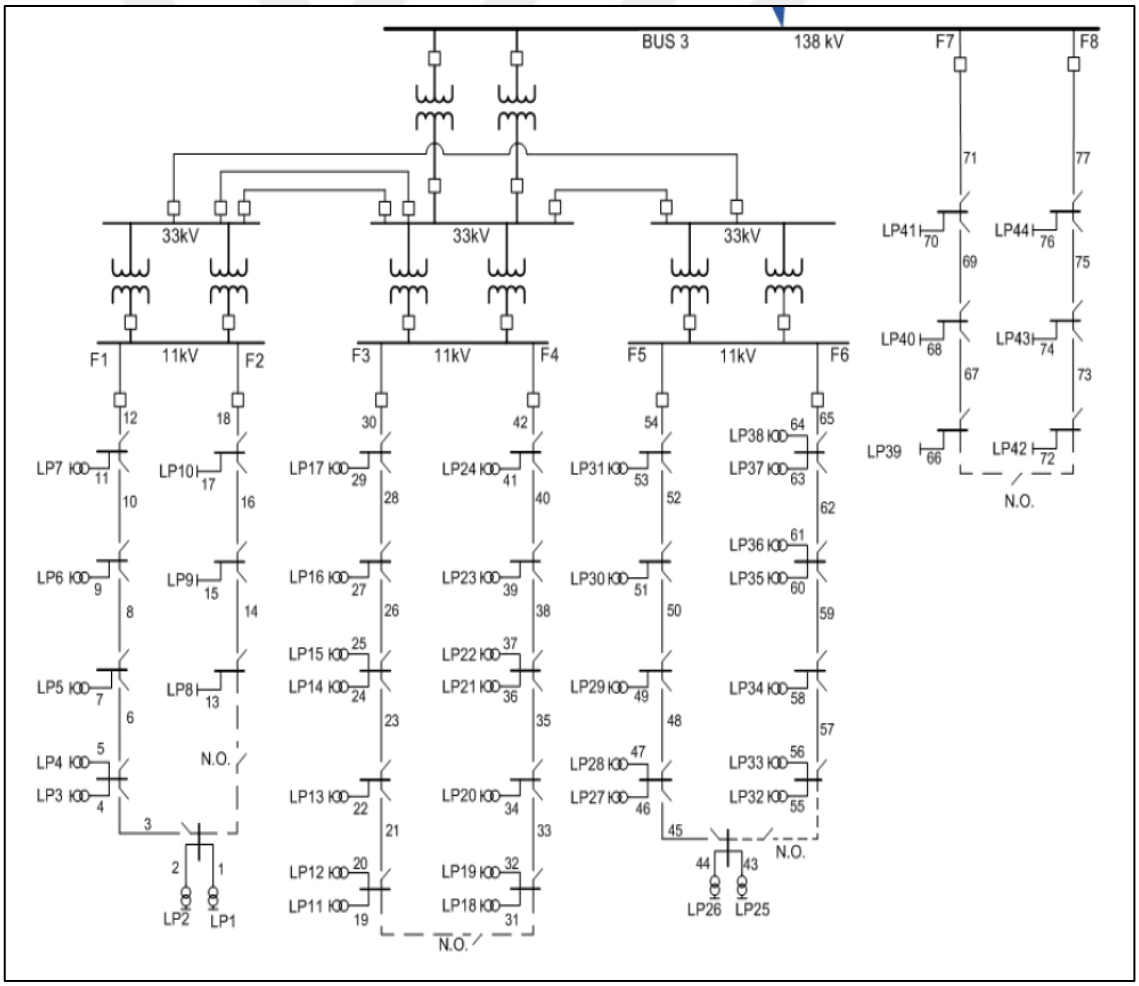
Elektrik dağıtım şebekeleri geleneksel olarak kaynaktan yüke doğru tek yönlü bir yük akışını sağlamayı amaçlamaktadır ve bu nedenle işletme kolaylığı ve maliyetler açısından radyal olarak tasarlanmışlardır. Ancak servis sürekliliğinin önem kazanmasıyla beraber dağıtım şebekelerinde de herhangi bir arıza durumunda alternatif kaynaklardan beslenmeyi mümkün kılmak adına ring şebekeler oluşturulmuş, fakat işletme kolaylığı, kurulum maliyetleri ve servis sürekliliği bir arada incelendiğinde geleneksel tek yönlü dağıtım şebekelerinde en uygun çözümün şebekenin açık ringler halinde işletilmesi olduğu görülmüştür. Dağıtım şebekelerindeki fiderlerin, birden fazla kaynağa bağlanarak ya da tek kaynaktan ring şeklinde yapılandırılması, radyal işletmeyi sağlamak adına fiderlerin herhangi bir noktadan ayrılmasını zorunlu kılmaktadır. Birden fazla besleme alternatifi olan şebekelerde, bu ayırma noktalarını değiştirerek birçok farklı besleme şekilleri elde etmek mümkündür. Bu besleme şekilleri farklı akım ve gerilim seviyelerine, farklı yüklenmelere, farklı kayıp değerlerine ve farklı fider uzunluklarına sahip olacaktır. Bu ayırma noktalarının doğru seçilmesi, dağıtım şebekelesindeki ekipmanların dengeli yüklenmelerini sağlayarak daha az kayıplı, daha güvenilir ve daha uzun süre sağlıklı çalışmalarına olanak verecektir.

Bu çalışmada, mevcut BEDAŞ dağıtım şebekesinin gerçek bir kesiti üzerinde, anahtarlama noktalarının doğruluğu, uygulanabilecek manevralar ve anahtar noktalarında yapılabilecek değişiklikler değerlendirilerek, seçilen şebeke kesitinde optimum besleme şeklinin elde edilmesi amaçlanmaktadır. Bu çalışmada, mevcut

BEDAŞ dağıtım şebekesinin gerçek bir kesiti üzerinde, anahtarlama noktalarının doğruluğu, uygulanabilecek manevralar ve anahtar noktalarında yapılabilecek değişiklikler değerlendirilerek, seçilen şebeke kesitinde optimum besleme şeklinin elde edilmesi amaçlanmaktadır. Şekil 4.1'de görüleceği üzere iletim seviyesinden 138 kV'luk gerilim seviyesinden dağıtım merkezine gelerek 33 kV indirilir, sonrasında da beslenecek olan müşteriye göre dağıtım şebekesinde 33 kV – 0,4 kV kadar farklı gerilim seviyelerinde müşteriler beslenir. BEDAŞ'ta OG fiderleri açık ring bir biçimde radyal olarak şebeke beslenir.

4.1 Anahtarlama Optimizasyonu ile Yeniden Yapılandırma

Geleneksel elektrik dağıtım sistemlerinde yükler radyal olarak Şekil 4.1'de görüldüğü üzere yalnızca tek bir kaynaktan beslenmektedir.



Şekil 4.1 YG-OG-AG örnek şebeke modeli [43]

Ancak olası kısıtlılık durumlarında yüklerin alternatif kaynaklardan beslenebilmesi, hizmet sürekliliğinin sağlanabilmesi ve arıza sürelerinin mümkün olan en düşük seviyede tutulması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle yük yoğunluğunun görece yüksek olduğu bölgelerde dağıtım altyapısı genellikle yüklerin birden fazla kaynaktan beslenebildiği ring şebeke mimarisinde inşa edilmektedir.

Normal işletme durumunda belirli anahtarlama noktalarından açık tutularak radyal (açık ring) şekilde işletilen bu şebekelerde, arıza durumlarında gerekli anahtarlamalar yapılarak yükler alternatif kaynaklardan beslenebilmektedir. Arıza durumun giderilmesiyle şebeke eski besleme şekline döndürülerek normal işletme haline devam edilmektedir. Tek kaynaktan beslenen dağıtım şebekesi fiderleri üzerinde yüklerin dengeli olarak dağıtılmış olması büyük önem taşımaktadır. Fiderlerin dengesiz yüklenmesi fiderlerin taşıdığı akım değerlerinin olması beklenen ortalama değerlerden sapmasına sebep olur. Dağıtım şebekelerindeki kayıpların çoğunluğunu oluşturan akıma bağlı kayıplar, akımın karesi ile orantılıdır ve aynı miktarda yükü besleyen toplam akımın kollar arasında dengesiz dağılımı toplam kaybın artmasına yol açmaktadır. Bu nedenle şebekedeki fiderler üzerindeki yük dengesizliği, toplam kayıpların artması anlamına gelmektedir. Dağıtım şebekeleri planlanırken anahtarların açık işletildiği noktalar fiderler üzerinde dengeli yük dağılımını sağlayacak şekilde seçilmektedir. Ancak şebekede yaşanan değişiklikler ve yük profillerinin zamana bağlı farklılık gösteren karakteristikleri sebebiyle yük dağılımı dengesi bozulmaktadır. Şebekenin yüklerin beslenebileceği optimum mimariden sapmasıyla, şebeke aynı miktarda yükün daha fazla kayıpla beslenebildiği bir duruma geçmektedir. Şebekenin sürekli olarak mümkün olan en az kayıba sebebiyet veren konfigürasyonda işletilebilmesi için şebekenin sürekli olarak izlenerek yük dağılımı değişimlerine göre anahtarlama noktalarının değiştirilmesi gerekmektedir.

Dağıtım şebekesi fiderlerinin anahtarlama optimizasyonu ile yeniden yapılandırılması sayesinde konvansiyonel şebeke işletme felsefesinden farklı olarak, ölçümlenen yük değerlerine göre şebekenin işletilebileceği en doğru konfigürasyon hesaplanarak anahtarlama noktaları değiştirilebilir. Bu süreçte, yüklerden alınan ölçüm değerleri oluşturulan şebeke modeli üzerine işlenerek sistemde yük akış analizleri yapılmaktadır. Yük akışından alınan sonuçlar bir algoritma yardımıyla işlenerek, en az kayıbı, minimum

gerilim düşümünü, en yüksek güvenilirliği ya da belirlenecek herhangi başka bir kritere göre mevcut şebekede yükleri radyal olarak besleyebilecek en iyi konfigürasyon ve bu konfigürasyonu sağlamak için gerekli anahtarlama hamleleri belirlenir. Tasarlanabilecek tüm şebekelerde, ortaya çıkabilecek tüm işletme koşullarında evrensel olarak optimum besleme şeklini bulabilmenin en temel yöntemi, olası tüm radyal konfigürasyonların simüle edilerek yük akışı sonuçlarına göre en az kayıplı konfigürasyonun seçilmesidir. Ancak bu yöntem için gereken hesaplama süresi şebeke büyüdükçe çok yükseldiği için pratik değildir. Anahtarlama optimizasyonu ile dağıtım şebekesinin yeniden yapılandırılmasında kullanılmak üzere hızlarına, işlemci gücü ihtiyaçlarına ve farklı özelliklerine göre değişen doğruluklarda sonuçlar veren birçok yöntem geliştirilmiştir.

4.2 Problem Tanımı

Dağıtım şebekelerinde anahtarlama noktalarının değiştirilerek besleme şeklinin değiştirildiği durumlarda, öncelikle şebekenin radyal yapısının korunması için yüklerin seçilen anahtarlama durumunda yalnızca tek kaynaktan beslenmekte olduğundan emin olunmalıdır. Kapalı ringlerden ve fiderler ile birbirine bağlanan farklı kaynaklardan oluşan, zayıf bir ağ yapı olarak tanımlayabileceğimiz dağıtım şebekelerinde, radyal işletmenin sağlanabilmesi için şebeke üzerindeki herhangibir noktadan başka herhangi bir noktaya yalnızca bir tek elektriksel yol olmalıdır ve bunu sağlayabilmek için şebekede hiçbir kapalı ringin kalmaması gerekmektedir. Şebekenin anahtarlama noktalarında herhangi bir değişiklik yapılacağı zaman radyal işletmenin sağlanmasının yanısıra, tahmin edilebileceği gibi tüm yüklerin de besleniyor olması gerekmektedir. Ayrıca bu farklı beslemeler esnasında hatlar, tansformatörler, ölçü ve koruma ekipmanları başta olmak üzere sistemdeki hiçbir eleman, izin verilen akım değerlerinin üzerinde akımlara maruz kalmamalı ve şebekenin hiçbir noktasındaki gerilim seviyesi, şebekenin işletme şartlarında müsade edilen gerilim seviyelerinin dışına çıkmamalıdır. Sistemin optimum çalışması için, dağıtım şebekelerininişletmeleri sırasındaki genel yüklenme durumları değerlendirilerek, yukarıda belirtilen sınırlamalar dahilinde şebekeye en uygun beslemeyi sağlayan noktalarda anahtarlama yapılmalıdır. Dağıtım şebekelerinin besleme şekilleri, normal işletme koşullarında ortalama yüklenmeler göz önüne alınarak, şebekenin genel optimizasyonunu sağlamak üzere planlanmaktadır.

Ancak şebekelerdeki güç akışları kararlı değildir ve birçok faktöre göre değişiklik gösterir. Saatlik, günlük, aylık, mevsimlik ve yıllık yük profillerine göre değişkenlik gösteren yüklenmeler, sisteme yeni eklenen kaynaklar ve yükler, arıza ya da bakım onarım sebebiyle değiştirilen bağlantı noktaları, şebekenin çalışma şartlarını planlandığı durumun dışına çıkarır. Özellikle İstanbul gibi çok hızlı büyüyen bir metropolde, hızla gelişen ve değişen elektrik talebi karşısında, mevcut şebeke besleme şeklinin optimum şebeke yüklenmesini çok uzun süre muhafaza etmesi mümkün değildir. Bu nedenle şebekenin işletme koşulları değişiklik gösterdiğinde yeni durum için ideal besleme şeklinin hesaplanarak yeni anahtarlama noktalarının hesaplanması gerekmektedir.

Bu çalışma mevcut anahtarlama operasyonlarındaki verimsizlik ve şebekedeki değişken akışın optimizasyonu f(x) hedef (amaç) fonksiyonu olarak tanımlanmış bunun sonucunda da minumum teknik kaybın elde edilmesini amaçlanmıştır. Anahtarlama optimizasyonu için geliştirilen algortima 2 adımdan oluşmaktadır. Problemin çözümündeki 1. Adımda literatürde "Minimum akım geçen kol yöntemi" olarak tanımlanan ve anahtarlama optimizasyon problemlerinin ortak ilk adımını oluşturan bir algoritma kullanılmış, 2. Adımında ise literatürde "Anahtar değiş-tokuş yöntemi" olarak belirtilen bir yöntem kullanılarak optimizasyonun hassaslığını artırmak için lokal bir optimizasyon yapılmıştır. Kısıt fonksiyonu olarak da;

- Enerjisiz bir yük (düğüm) kalmayana kadar, fiderdeki tüm yüklerin beslenmesi,
- Baralardaki akım (I) ve gerilim (V) değerlerinin limitlendirilerek bunların aşılması durumunda seçilecek anahtarın değiştirilmesi,
- Her fider de radyallığı sağlayacak şekilde sadece bir anahtarın açılması, aynı fider üzerinde birden fazla anahtarın açılmasının engellenmesi belirlenmiştir.

4.3 Anahtarlama Optimizasyonu ile Yeniden Yapılandırma Yöntemleri

4.3.1 Temel Sezgisel Yöntemler

Elektrik dağıtım şebekelerindeki kayıpları azaltmak için, dağıtım fiderlerinin yeniden yapılandırılması ile ilgili S. Civanlar tarafından 1988 yılında yayınlanan çalışmada [44], yük değerlerine göre en az kayıplı şebeke konfigürasyonunu bulmak üzere faydalanılan yöntem, şebekenin normal işletme durumunda açık olarak tutulan anahtarlama

noktalarının sıra ile kapatılarak, en az kayıplı anahtarlama noktalarını belirlemeyi amaçlamaktadır. Kayıpları azaltmak için geliştirilen dağıtım şebekesi yeniden yapılandırma yöntemlerinin ilklerinden ve en fazla atıflananlarından biri olan bu algoritmanın mantığı, anahtarın kapatılması sonucu şebekede oluşan ring üzerindeki alternatif anahtarların açık olduğu konfigürasyonların kayıplarını inceleyerek, minimum kayıba sebep olan anahtarı seçmeye dayanır. Sıra ile şebekede açık işletilen tüm anahtarlar kapatılıp, ringler üzerindeki anahtarlar değerlendirilir ve en iyi konfigürasyon bulunmaya çalışılır. Son derece sade bir mantığa dayanarak oldukça başarılı sonuçlar elde eden bu yöntem bu alandaki birçok çalışmanın önünü açmıştır. Ancak bu yöntem şebekenin normal işletme şeklini temel aldığı için, şebeke konfigürasyonun değişimi elde edilecek sonucu etkilemektedir. Ayrıca hesaplama kolaylığı için anahtarlar kapatılarak oluşturulan ringler üzerindeki analizler fiderlerdeki besleme değişikliklerin kayıplara karşılıklı etkisini gözardı edilmektedir. Bu nedenle bu yöntem küresel olarak optimum sonuçları verememektedir [45].

M. Baran ve F.F. Wu 1989 yılında yayınladıkları çalışmada [6] S. Civanlar'ın çalışmasına paralel bir anahtar değiş-tokuş algoritması kullanmışlardır. Bu çalışmada öncekilere ek olarak kaybı azaltmak için yük akışı analizlerine yük dengeleme hedefi eklenerek çözüm algoritmasına dâhil edilmiştir, ancak bu yeni anahtar değiş tokuş yöntemi de aynı dezavantajları taşımaktadır [46].

Temel şebeke yeniden yapılandırılması yöntemlerinden biri de radyal olarak işletilen şebekede açık işletilen anahtarlama noktalarının tümünün kapatılarak analiz edilmesi ve anahtarların teker teker kapatılarak belirlenen kriterlere göre en uygun radyal şebeke konfigürasyonun elde edilmeye çalışılmasıdır. Bu yöntem [47] ilk olarak D. Shirmohammadi ve H. W. Hong tarafından 1989 yılında yayınlanmıştır ve anahtar değiş-tokuş yönteminden farklı olarak, şebekenin normal işletme durumundan bağımsız bir çözüm yolu sunmaktadır. Sistemde bütünsel olarak optimum yük akış analizi yapılarak ağ yapıdaki şebekenin en az akım taşıyan kolları belirlenmektedir. Bu çalışmada elektriğin en az kayıplı yolu tercih ederek aktığı kabulüne dayanarak, ağ halindeki şebekenin optimum güç akışını en az bozacak olan anahtarlamanın en az kayıba sebebiyet vereceği belirtilmiştir. Çalışmada tüm anahtarların kapalı olduğu ağ şebekeden, radyal şebekeye ulaşıncaya kadar optimum yük akışı çalıştırılarak en düşük

akım taşıyan anahtar belirlenip açılmaktadır, anahtarın açılması sonucu şebekedeki limit ve kısıtların sağlanamaması durumunda bir başka anahtar açılarak sürece devam edilmektedir. Bu yöntem ile sadece açılması gereken anahtar sayısı kadar yük akışı analizi yapılarak çözüm elde edilebildiği için oldukça hızlı bir yöntemdir, ancak yüksek hızı ile birlikte çözüm kesinliğinden feragat etmektedir ve bazı çalışmalarda [45] kullanılan referans şebeke mimarilerinde optimum sonucu sağlamayı başaramamıştır.

Goswami ve Basu tarafından 1992 yılında yayınlanan çalışmada [48] şebeke yeniden yapılandırma yönteminde Shirmohammadi ve Hong tarafından yayınalanan çalışmada [47] kullanılan optimum güç akış analizinden faydalanmışlardır. Ancak referans çalışmadaki [47] hesaplamalarda faydalanılan optimum güç akışları henüz şebekenin radyal konuma gelmediği, halen açık anahtarların bulunduğu ve yüklerin birden fazla fider üzerinden beslenebildiği konfigürasyonlara dayanmaktadır. Şebekenin işletileceği nihai durum radyal besleme olacağı için bu çalışmada [48] referans hesaplamaların şebekenin nihai durumu için en doğru sonucu garanti edemeyeceği belirtilmiştir. Bu nedenle Goswami ve Basu'nun çalışmasında optimum güç akışı analizleri Civanlar [44] ve Baran'ın [6] çalışmalarında olduğu gibi anahtar-değiş tokuşu yönteminde kullanılmıştır. Bu çalışmada mevcut radyal şebeke üzerinde açık anahtarların kapatılmasıyla elde edilen ring üzerindeki ideal anahtar belirlenirken optimum güç akışından faydalanılmaktadır. Ring üzerindeki tüm anahtarların tek tek açılarak yük akışı sonuçlarının karşılaştırılmasındansa optimum güç akışı sonucunda en az akımlı anahtarın seçilmesi ihtiyaç duyulan güç akışı analizi sayısını Civanlar ve Baran'ın yöntemlerine göre azaltarak hesaplama zamanını ciddi oranda kısaltmaktadır [47].

McDermott'un 1999 yılında yayınlanan çalışmasında [49] yukarıda bahsedilen şebeke yeniden yapılandırma yöntemlerine alternatif olarak şebekedeki en az kayıplı konfigürasyonun bulunabilmesi için yüklerin en az kayıba sebebiyet verecek şekilde teker teker beslendiği bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntemde şebeke analizi yapılmadan önce tüm anahtarlar açılmakta ve optimum radyal şebeke konfigürasyonuna tüm yükler besleninceye kadar anahtarların kapatılması ile ulaşılmaktadır. Algoritmanın her adımında yalnızca bir tarafında gerilim olan anahtarlar, kapatılabilecek anahtarlar olarak belirlenir ve bu muhtemel anahtarların her birinin kapatıldığı durum için yük akışı analizi yapılır. Yük akışı sonucuna göre öncelikle aday konfigürasyonun akım

gerilim limitleri gibi şebeke işletme koşullarını sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir ve ardından anahtarın kapatılması durumunda beslenen yük başına oluşan kayıp hesaplanır. Belirlenen kısıtları sağlayan ve yük başına en az kayıba sebebiyet veren anahtar bu adımda kapatılmak üzere seçilir. Bu süreç şebekedeki tüm yükler beslenineceye kadar devam etmektedir. Her adımda yalnızca tek tarafında gerilim olan anahtarlar kapatılmasıyla şebekenin radyal işletme koşulunun sağlanması garanti altına alınmıştır. Sunulan algoritmada analize başlanırken şebekenin normal işletme durumundan bağımsız olarak tüm anahtarlar kapatıldığı için çözüm sürecinin sonunda elde edilen konfigürasyon şebekenin başlangıç koşulundan bağımsızdır. Ancak anahtar seçim adımlarında tüm muhtemel durumlar için yük akışı çalıştırıldığı için bu yöntemin hesaplama zamanı [47] ve [48] ya göre daha uzun sürmektedir. Bu çalışmada kullanılan yöntem bazı şebeke modellerinde daha yavaş olduğu [47] ve [48] ya göre daha iyi sonuçlar verirken bazı durumlarda [45] ise performans olarak da bu yöntemlerin altında kalmaktadır.

4.3.2 Rastlantısal Yöntemler

Bilgisayar teknolojisinin gelişmesi ve hesaplama hızlarının dramatik yükselişi ile birlikte ile birlikte Civanlar tarafından 1988'de yayınlanan çalışmadan bu yana optimizasyon problemlerinin çözümülerinde bir çok yeni yöntemin kullanılabilmesi mümkün kılınmıştır. Özellikle modellenmesi zor ancak simüle edilmesi hızlı olan ptoblemlerin çözümü için birçok raslantısal iteratif yöntem başarıyla uygulanmaktadır. Evrimsel gelişim, sinir ağları ve sürü zekâsı gibi doğada mevcut olan çözüm yöntemlerinden esinlenen algoritmaları da içeren birçok rastlantısal yöntem güç sistemleri analizlerindeki farklı problemlerin çözümünde uygulanmıştır.

Rastlantısal yöntemlerden biri olan genetik algoritmalar evrimsel gelişimden esinlenerek geliştirilmiştir. Genetik algoritmalarda da diğer rastlantısal yöntemlerde olduğu gibi karışık durumların modellenerek analitik bir çözümünün bulunması yerine, rastlantısal olarak oluşturulan bir örneklem grubunun sonuçları değerlendirilerek, optimizasyonun hedef fonksiyonuna uygunluğu yüksek olan örnekler tercih edilerek evrimsel süreçte olduğu gibi en iyi sonuca ulaşılmak amaçlanmaktadır.

Örneklem grubu, aynı türün farklı genetik özelliklere sahip farklı bireylerinden esinlenerek oluşturulmaktadır. Örneklem grubundaki bireylerin özellikleri en iyi sonuca ulaşmak için çaprazlama ve mutasyon gibi genetik yöntemlerin algoritmaya uygulanmasıyla değiştirilmektedir. Rastgele olarak seçilen farklı konfigürasyonlar şebeke modeline uygulanarak yük akışı analizleri yapılmakta ve konfigürasyonlar belirlenen özelliklere göre değerlendirilmektedir. Bu değerlendirmelerin sonuçlarına göre en iyi performansa sahip olan konfigürasyonlara en yüksek ihtimalin atandığı bir mekanizma ile tüm konfigürasyonların özellikleri harmanlanarak en iyi sonuç bulunmaya çalışılmaktadır. Rastlantısal yöntemlerde genellikle sonuca yakınsayamama ya da yerel optimum sonuçlara saplanma riski mevcuttur. Algoritmadaki deneme sayısı arttırılarak bu risklerin üstesinden gelmek mümkündür ancak bu durum hesaplama süresinin uzamasına sebep olmaktadır.

K. Prasad, R. Ranjan, N. C. Sahoo ve A. Chaturvedi tarafından 2005 yılında yayınlanan çalışmada genetik algoritma ile dağıtım şebekelerinin yeniden yapılandırması konusunda [50] dikkat edilmesi gereken temel noktalar kromozom yapısının ve uygunluk fonksiyonunun en doğru şekilde belirlenmesi olarak listelenmiştir. Bu çalışmada kromozom yapısının şebeke konfigürasyonunu en doğru şekilde yansıtabilmesi ve oluşacak yeni konfigürasyonların radyalliğinin garanti altına alınması için kromozomlar şebekedeki ringleri temsil eden parçalara ayrılmıştır. Kromozomlar bu parçaların her birinde ilgili ring üzerinde hangi anahtarın açık olacağı bilgisini içermektedir. Bu sayede oluşturulan her yeni konfigürasyonda her ring üzerinden kesinlikle bir anahtar açık bırakılarak tüm yükler beslenmiş ve radyal işletme şekli korunmuş olacaktır. Bu çalışmada ayrıca örneklem grubunun uygunluk ortalaması ve uygunluk dağılımına göre değişen bir mutasyon katsayısı kullanılarak algoritmanın sonuca yakınsayamama ve yerel optimumlara takılma karakteristikleri iyileştirilmiştir. Ancak 69 baralı test şebekesinde istenilen sonuçları elde edilebilmesi için maksimum adım sayısı 200 olarak belirlenmiştir ve bu nedenle hesaplama süresi temel sezgisel yöntemlerin üzerindedir.

A. Asrari ve S. Lotfifard tarafından 2014 yılında yayınlanan çalışmada [51] ise Parsad'ın çalışmasında [49] değişken olan mutasyon katsayısına ek olarak çaprazlama mekanizması da değişken olarak tanımlanmıştır. Ancak bu yöntemle de M. Baran

tarafından sunulan 33 baralı referans sistemin çözümü için adım sayısı 100 olarak belirlenmiştir ve gereken yük akışı sayısı bu çalışma için de temel sezgisel yöntemlere göre oldukça yüksektir.

Rastlantısal yöntemlerden biri olan uyum arama yöntemi de dağıtım şebekesinin yeniden yapılandırılmasındanda kullanılmaktadır [50]. Bu yöntemde öncelikle amaç fonksiyonu kayıp ve kesinti maliyetlerini en aza indirmek olarak tanımlanmakta, ardından bu amaca ulaşmak için konfigürasyonları temsil eden çözüm vektörleri rastlantısal olarak oluşturulmaktadır. Bu konfigürasyonların radyal yapıyı sağlayıp sağlamadıkları şebekedeki ringler listelenerek kontrol edilmekte, radyal olmayan çözümler yerine yeni vektörler oluşturulmaktadır. Oluşturulan çözümler diğer rastlantısal yöntemlerde de olduğu gibi uygunluk fonksiyonuna göre değerlendirilerek mevcut vektörlere dayanan yeni çözümler üretimlekte ve istenen koşullar sağlanıncaya kadar süreç devam etmektedir.

M. Assadian, M. Farsangi, H.Nezamabadi-pour ve S. Bahonar 2007 yılında yayınladıkları çalışmalarında [52] dağıtım şebekesi yeniden yapılandırma uygulaması için parçacık sürü optimizasyonu ile genetik algoritmayı karşılaştırmışlardır. Parçacık sürü optimizasyonu da genetik algoritma gibi yaygın kullanılan rastlantısal optimizasyon yöntemlerinden biridir. Kuş sürülerinden esinlenen bu yöntemde genetik algoritmadaki bireylerden oluşan örneklem kümesi gibi parçacıklardan oluşan bir örneklem grubu oluşturulur. Genetik algoritmalardaki uygunluk fonksiyonu gibi parçacık sürü optimizasyonunda da parçacıkların en iyi sonuca ve birbirlerine uzaklıkları hesaplanarak tüm parçacıkların en uygun sonuca yönelmesi amaçlanmaktadır. Bu çalışmada [52] yapılan karşılaştırmlara göre referans şebekelerde genetik algoritma parçacık sürü optimizasyonuna göre daha iyi sonuçlar elde etmiştir ve parçacık sürü optimizasyonun problemin karmaşıklığının arttığı bazı durumlarda zamansız yakınsamalara neden olduğu için doğru sonuca ulaşamadığı görülmüştür.

Şebeke yeniden yapılandırılması alanında sürü zekasına dayanan bir başka optimizasyon yöntemi olan karınca kolonisi optimizasyonundan faydalanan çalışmalar da yayınlanmıştır. Karınca kolonisi yönteminde en kısa yolu bulmaya çalışan karıncalardan esinlenen bir örneklem grubu oluşturulmaktadır. Parçacık sürü optimizasyonunda olduğu gibi örneklem grubu elemanlarının sağladığı sonuçlar

değerlendirilerek en kısa yol, yani optimum çözüm bulunmaya çalışılmaktadır. L.C. Daniel, I. H. Khan ve S. Ravichandran tarafından 2005 yılında yayınlanan çalışmada [53] faydalanılan 14 baralı referans sistemde daha az hesaplama eforu ile optimum sonucun elde edildiği belirtilmiştir. Ancak diğer rastlantısal yöntemlerde olduğu gibi doğru sonuca ulaşmak için algoritmada daha fazla adıma ve dolayısıyla görce uzun hesaplama zamanına ihtiyaç duyulmaktadır.

Sürü zekâsı üzerine geliştirilen bir başka algoritma da yapay arı kolonisi algoritmasıdır. Yine karınca kolonisi ve parçacık sürü optimizasyonu yöntemleri ile benzerlikler gösteren bu yöntem şebeke yapılandırılmasında ve çok amaçlı şebeke optimizasyonu çalışmalarında kullanılmıştır. H. Nasiraghdam ve S. Jadid tarafından 2012 yılında yayınlanan çalışmada [54] yapay arı kolonisi algoritması kullanılarak şebekede fotovoltaik, rüzgâr türbini ve yakıt hücresi boyutlandırmasını içeren bir yeniden yapılandırma çözümü sunulmuştur. Önerilen yönteminin çok amaçlı optimizasyon dahilinde yapılan çalışmalardaki yetkinlikleri değerlendirilirken şebeke yapılandırma konusunda alternatif yöntemler ile karşılaştırılmış ve değerlendirilen referans sistemlerde temel sezgisel yöntemler ile aynı ya da daha iyi performans sergilemiştir. Bu sonuçları sağlarken kullanılan yapay arı kolonisi algoritmasının maksimum iterasyon sayısı 300 olarak belirlenmiştir. Yüksek iterasyon ihtiyacından da görülebileceği gibi yapay arı kolonisi algoritması da diğer rastlantısal yöntemler gibi daha iyi performans gösterdiği yöntemlerden daha uzun hesaplama zamanına ihtiyaç duymaktadır.

4.3.3 Yeni Sezgisel Yöntemler ve Hibrit Yapılandırma Algoritmaları

Dağıtım şebekelerinin yeniden yapılandırılması probleminin çözümünde faydalanılan ilk yöntemler olan temel sezgisel yöntemlere ve bilgisayar dünyasındaki hızlı gelişim ile her alanda yaygınlığı artan rastlantısal yöntemlere ek olarak, temel sezgisel yöntemlerin çözüm avantajlarının bir arada kullanıldığı hibrit yöntemler ya da farklı kuralların eklendiği yeni sezgisel algoritmalar da geliştirilmiştir.

2010 yılında Babu, Vanamali, Kumar ve Hemachandra tarafından yayınlanan çalışmada [55] şebekenin en uygun konfigürasyonunu belirlenirken Civanlar [44] ve Goswami [48]'nin çalışmalarındaki anahtar değiş tokuşu yöntemi ve McDermott [49]'un en yüksek gerilim farkına sahip anahtarı kapatması yönteminin farklı avantajlarından

faydalanılmıştır. Bu çalışmada şebekedeki ringler üzerinde açık işletilen anahtarların değiştirildiği bir yöntem kullanılmaktadır, ancak diğer referans çalışmalardan farklı olarak, aday anahtarları limitlemek için optimum konfigürasyon araştırılırken mevcut açık anahtarın komşuları değerlendirilerek ilerlenmektedir. Döngü giderme (loop elimination) olarak isimlendirilen bu yöntemde öncelikle şebekedeki açık anahtarların tümünün gerilim farkı hesaplanarak en yüksek gerilim farkına sahip anahtar seçilmektedir. Bu anahtar kapatılarak anahtarın komşularından gerilimi daha düşük olan taraftaki anahtar açılarak oluşturulan yeni konfigürasyon değerlendirilmekte ve daha iyi sonuçlar verirse anahtar değişimi onaylanmaktadır. Açıklanan bu süreç daha iyi konfigürasyon bulunamayıncaya kadar devam ederek tüm anahtarlara uygulanmakta ve bu şekilde mümkün olan en iyi konfigürasyonu elde etmek amaçlanmaktadır. Farklı yöntemlerin faydalarını barındıran bu yöntem [44] ve [48]'da olduğu gibi analize şebekenin normal işletme durumundan başladığı için şebeke şekline göre farklı sonuçlara sebebiyet verme riski taşımaktadır.

Temel sezgisel yöntemlere kurallar eklenerek geliştirilen çalışmalardan biri de 2005 yılında Gomes, Carneiro, Pereira, Vinagre ve Garcia tarafından yayınlanan [45] yeni sezgisel algoritmadır. Bu çalışmada Shirmohammadi [47]'nin çalışmasında olduğu gibi sistemdeki tüm anahtarlar kapatılarak, ağ şebeke üzerinden açılacak anahtarlar seçilerek en iyi konfigürasyon bulunmaya çalışılmaktadır. Farklı olarak bu çalışmada normal yük akışlarından faydalanılmakta ve her adımda en az akım taşıyan anahtar açılırken, en yakın kaybı veren iki anahtar da daha sonra değerlendirilmek üzere komşuluk listesine eklenmektedir. Minimum akım taşıyan anahtarların açılarak konfigürasyonun ve komşuluk listesinin belirlenmesi algoritmanın birinci prosedürü olarak tanımlanmıştır. İkinci prosedür olarak tanımlanan kısımda ise elde edilen konfigürasyonda seçilen her anahtar, diğer anahtarlar açık tutulurken sırayla kapatılmaktadır. Kapatılan anahtarın yerine komşuluk listesinde bu anahtara eşlenik olarak eklenen anahtarlar teker teker açılmaktadır. Yeni anahtarın açık olduğu konfigürasyonda daha düşük kayıp elde edilmesi durumunda bu adım için bu yeni anahtar seçilmekte ve seçilen diğer anahtarların kontrolü sürecine devam edilmektedir. Tüm anahtarların kontrolünün ardından en az kaybı veren konfigürasyon belirlenmektedir. Yenilik olarak eklenen ikinci prosedürile bu algoritmanın optimuma

yakın noktalara saplanarak en iyi çözümü kaçırmasının önüne geçilmesi hedeflenmektedir. Bu yöntem ile bahsedilen diğer çalışmalara göre daha fazla hesaplama zamanı kullanılarak referans sistemler üzerinde temel yöntemlere ile paralel ya da daha iyi sonuçlar elde edilebilmiştir. Bu çalışmada kullanılan algoritma, 16 baralı IEEE referans şebekesini çözebilmek için 36 yük akışı hesaplamasına [6] ihtiyaç duymaktadır.

Anahtar değiş-tokuşu yönteminin geliştirilmesiyle Peng ve Low tarafından 2013 yılında yeni bir sezgisel yöntem [56] sunulmuştur. Bu çalışmada sunulan yöntem Goswami'nin çalışmasında olduğu gibi optimum güç akışına dayalı anahtar değiş-tokuşu ile en iyi konfigürasyonu bulmayı hedeflemektedir. Ancak tüm adayları optimum güç akışı ile belirlemek verimli olmadığı için ek olarak, döngü giderme [55] yöntemine benzer şekilde seçilen anahtarların komşuları da yük akışının yönüne göre değerlendirilmektedir. Bu sayede çözüm için gereksiz optimum yük akışlarının koşulmasının önüne geçilmektedir. Sunulan bu yöntem ile açılacak her anahtar için en fazla 3 optimum yük akışı koşularak sonuca ulaşmak mümkündür. Bu yöntemin hesaplama ihtiyacına göre sağladığı sonuçlar makul kabul edilebilir. Çalışmada referans sistemlere uygulama sonuçları sunulmadığı için diğer yöntemlerle karşılaştırabilmek mümkün değildir. Ancak bu yöntem optimum sonucu yalnızca tüm bara gerilimlerinin eşit olması koşulunda garanti edebilmektedir ve bu koşulun gerçek şebekelerde sağlanabilmesi imkansıza yakındır.

Raju ve Bijwe tarafından 2008 yılında yayınlanan çalışmada güç akışına göre en az akım taşıyan anahtar seçimi ile anahtar değiş tokuşu yöntemleri biraraya getirilerek iki aşamalı hibrit bir yeniden yapılandırma yöntemi [57] elde edilmiştir. Ancak bu çalışmada en az akımlı anahtar seçiminde Shirmohammadi [47]'nin yönteminden farklı olarak anahtarlar seçilirken standart yük akışı kullanılmıştır. Geliştirilen algoritmada tüm anahtarların kapatılarak en az akım taşıyan anahtarların sıra ile açılmasının ardından elde edilen şebekeye anahtar değiş tokuşu uygulanarak en iyi sonuca ulaşmak amaçlanmaktadır. Algoritmanın başında şebekedeki tüm anahtarlar kapatıldığı için sonuç şebekenin mevcut durumundan etkilenmemektedir. Buna ek olarak minimum akımlı anahtarlara göre elde edilen konfigürasyona anahtar-değiş tokuşu uygulanarak elde edile sonucun optimuma yakın noktalara takılmasının önüne geçilmesi

amaçlanmıştır. Her adımda gerçekleştirilen anahtarlamanın ardından güç akışı koşularak elde edilen sonuçlara göre eçılacak anahtar belirlenmektedir. Anahtar değiş tokuşu sırasında daha fazla kayıp önlemek için paralel olarak, döngü giderme [55] yönteminde olduğu gibi, seçilen anahtarın komşusu olan anahtarlar da değerlendirilmektedir. Bu yöntem görece az yük akışı ve hesaplama zamanı ile makul sonuçlar sağlayabilmektedir.

Yeni sezgisel yöntemler ve hibrit algoritmalar başlığı altında incelenecek son çalışma, A.K. Ferdavani, A.A.M. Zin, A. Khairuddin, M. M. Naeini tarafından 2013 yılında sunulan yöntem [9] olacaktır. Bu çalışmada kullanılan algoritma Raju ve Bijwe'nin çalışması [57] ile oldukça benzer şekilde çalışmaktadır. Bu yöntemde de ilk adımda Shirmohammadi [47]'nin çalışmasında olduğu gibi tüm anahtarları kapatılan şebekede optimum güç akışı sonuçlarına göre en az akım taşıyan anahtarların açılmasının ardından komşu dizi güncelleme süreci (neighbour-chain updating process) adı verilen bir yöntem uygulanarak doğru konfigürasyon elde eilmeye çalışılmaktadır. Bu yöntem döngü giderme yöntemine benzer şekilde seçilen anahtarın komşularının kontrol edilmesi sürecini içermektedir. Ancak bu çalışmada, hesaplama zamanı ve kesinlik dengesinde farklı noktalarda bulunan iki alternatif çalışma algoritması sunmaktadır. Birincisi; seçilen alternatif anahtarların denenmesinin ardından sonucun elde edilmesi, ikincisi ise; alternatif anahtarlar denenirken herhangi daha iyi bir sonuç elde edildiği durumda baştan tüm anahtarların tekrar kontrol edildiği ve hiçbir adımda anahtar değişimi gerçekleşmeyinceye kadar sürecin devam etmesi şeklindedir. Bu yöntemin sonuçları birinci alternatif için oldukça hızlı ancak kesinliği kısıtlı olurken, ikinci alternatif hibrit yöntemler arasında görece yavaş ancak oldukça doğru sonuçlar sağlamaktadır.

4.3.4 Dinamik Yapılandırma

Dağıtım şebekesinin yeniden yapılandırılması ile ilgili bahsedilen yöntemlerin hepsinde, sabit yükler ve oturmuş şebeke şartları için şebekenin en uygun besleme şeklini bulma amacı güdülmektedir. Bu durum yüklerin ve şebekenin sabit kabul edilerek problemin basitleştirilmesinden kaynaklanmaktadır. Ancak gerçek sistemlerde çekilen yükler ve tüm şebeke şartları oldukça dinamiktir. Aylara, haftanın günlerine ve günün saatlerine göre akım ve gerilimler büyük değişiklik göstermektedirler. Bu şartlar altında şebekenin

optimum işletme koşullarının sağlanması için en uygun besleme şeklinin de akım ve gerilim değerlerindeki değişikliklere göre dinamik olarak belirlenmesi gerekmektedir.

Dağıtım şebekelerinde yeniden yapılandırma konusunda 1997 yılında Peponis ve Papadopoulos tarafından yapılan çalışma [58] dağıtım şebekelerinin yeniden yapılandırılması konusunda yayınlanan ilk dinamik yöntemlerden biridir. Bu çalışmada dağıtım şebekelerinin çok yıllık planlanması amacına yönelik olarak dinamik bir anahtar değiş tokuş yöntemi geliştirilmiştir. Farklı ekonomik karakteristiklere sahip konfigürasyonlardan oluşan bir set oluşturularak, uzun vadeli çalışma süresinin tamamı için optimum konfigürasyonların belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu çalışmada şebeke ekipmanlarının ve yüklerin detaylı ekonomik ve teknik modelleri hazırlanmış, işletme kısıtları da modellere dâhil edilmiştir. Yük profilleri mevsimlere ve yük tiplerine göre değişiklik gösterecek şekilde oluşturulmuştur. Çalışmada hesaplanan enerji kayıpları doğrusallaştırılmadan hesaplanmıştır. Anahtarlama, işletme, bakım, yıpranma payı gibi giderler, hatta enerji fiyatlarındaki artışlar bile operasyonel maliyetlere dâhil edilmiştir. Bunlara ek olarak mimarisindeki değişikliklerden kaynaklanan giderler de yatırım maliyetleri olarak optimizasyona dâhil edilmiştir. Bu çalışma uzatılmış hassasiyet analizleri için de kullanılabilecek şekilde geliştirilmiştir, ancak güvenilirlik maliyetleri konfigürasyonlar üzerinde büyük etki yaratmadığı için çalışmaya dâhil edilmemiştir. Çalışma dâhilinde öncelikle problem statik ve dinamik olarak iki kısma ayrılmıştır. Statik problemin çözümü için planşlama dönemi dahilindeki her yıl için en uygun maliyetli konfigürasyon hesaplanmaktadır. Ardından dinamik olarak nitelenen problemin çözümüsürecinde bu konfigürasyonları elde etmek için gerekli değişikliklerin maliyetleri ve elde edilecek kazanımlar değerlendirilerek çok yıllık peryot için en uygun konfigürasyon değerleri belirlenmektedir.

Dağıtım şebekelerinin dinamik yeniden yapılandırması üzerine erken dönem çalışmalarından biri de C. Booth, J.R. McDonald, P. Verster tarafından 1999 yılında yayınlanan çalışmadır [59]. Bu çalışmada dinamik yapılandırma yönteminden Peponis ve Papadopoulos'un çalışmasında olduğu gibi planlama sürecinde değil, şebekede olası arızaların ardından kaynakların restorasyonu ve sistemin ayağa kaldırılması amacıyla faydalanılmıştır. Bu yöntem daha çok tek bir orta gerilim şalt merkezlerinin beslediği yükler üzerinde kullanılmak üzere geliştirilmiştir, ancak yöntemin büyük şebekelere

uygulanabilme altyapısına sahip olduğu belirtilmiştir. Geliştirilen algoritma ile herhangi bir şebeke ekipmanının devre dışı kalması durumunda mümkün olan en fazla yükün beslenebilmnesi amaçlanmaktadır. Bu çalışmada kullanılan algoritmanın amaç fonksiyonu arıza sonrası beslenen yüklerin maksimizasyonu olduğu için şebeke yeniden yapılandırması algoritması daha önce bahsedilen, kayıp minimizasyonu hedefleyen yöntemlere göre temel farklılıklar barındırmaktadır. Bu yöntemde öncelikle arıza durumunda ilgili bölüm devre dışı bırakıldığı zaman sağlanabilecek tüm besleme alternatifleri listelenmektedir.

Alternatiflerin uygunluğu, şebeke mimarisi, akım gerilim seviyeleri gibi kısıtlara göre incelendikten sonra bu konfigürasyonların sağlanması için gerekli manevralar (anahtarlama değişiklikleri) belirlenmektedir. Aşırı yüklenmelerin kaçınılmaz olduğu durumlarda acil durum limitleri gözetilerek gereken durumlarda yük atma yoluna gidilmektedir. Şebekenin yeni durumunda tüm alternatif besleme şekilleri, en fazla yükün en az anahtarlama ile beslenebilmesi kriterine göre değerlendirilerek en uygun konfigürasyon belirlenmektedir.

Yang HuPing, Peng YunYan, Xiong Ning tarafından 2008'de yayınlanan çalışmada [15] dağıtım şebekelerinin dinamik yeniden yapılandırılması ile ilgili olarak yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan model sistemin işletme giderlerini en aza indirmek için yüklerdeki değişimlere göre şebeke konfigürasyonunun ve belirlenen yapının şebekeye uygulanacağı zamanın belirlenmesini amaçlamaktadır. Belirlenen bir zaman dilimi için en uygun şebeke besleme şeklinin belirlenmesinde uygulanacak konfigürasyonlar kadar bu konfigürasyonların hangi süre ile uygulanacağının hesaplanması da önem taşımaktadır. Bu çalışmada uygulanması planlanan manevralar optimum konfigürasyon dizisine göre zamana yayılmıştır. Kullanılan yöntemde öncelikle incelenen her zaman dilimi için statik yöntemler kullanılarak kaybı en aza indiren konfigürasyon belirlenmektedir. Bu konfigürasyonların incelenen zaman diliminin tamamı için optimum besleme şeklini sağlayacak şekilde sıralanması için belirlenen anahtarlama sayısı limiti, anahtarlama maliyetleri, konfigürasyonlar arasında iln adımda ve daha sonra gerçekleşecek geçişlerin fayda maliyetleri hesaplanmaktadır. Anahtarlama sayısının yeterli olmadığı durumda en az fayda sağlayan konfigürasyon değişimi elenerek adım adım optimum seri elde edilmeye çalışılmaktadır. Bu çalışmada

şebeke konfigürasyonunun belirlenmesinde kullanılan statik algoritma hakkında detay verilmemiş, her zaman dilimi için belirlenen besleme şekillerinin bir araya getirilerek en az kayıplı serinin belirlenmesi problemi üzerinde durulmuştur.

M. H. Shariatkhah, M. R. Haghifam ve A. Arefi tarafından 2011 yılında geliştirilen bir başka dinamik yapılandırma yönteminde [13], değişken yük profillerine göre kayıp, kesinti, anahtarlama maliyetleri ve güvenilirliğin etkileri değerlendirilerek belirlenen zaman aralığı için en uygun işletme şeklinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada kullanılan yöntemde, incelenen tüm zaman aralığı için konfigürasyonların değerlendirileceği zaman dilimi hesaplama süresi ve cevap çözünürlüğü arasında bir denge sağlamak adına 1 gün olarak seçilmiştir. Zaman aralığı dâhilindeki her gün için en az kayıplı konfigürasyonların belirlenmesinde parçacık sürü optimizasyonu temelli bir statik yöntemden faydalanılmıştır. Kullanılan parçacık sürü optimizasyonunun amaç fonksiyonu, kayıpların ve kesinti maliyetlerinin minimize edilmesi olarak tanımlanmıştır. Tüm zaman dilimleri için anahtarlama maliyetleri gözardı edilerek, birbirinden bağımsız besleme şekilleri seçilmektedir. Bu besleme şekillerinin tüm zaman aralığını kapsayan bir konfigürasyon dizisine döndürülebilmesi için, gerekli manevralara ve aktif kullanılan anahtarlara göre konfigürasyonların uygunlukları değerlendirilmektedir. Bu değerlendirmenin sonucunda uygun olmayan konfigürasyonlar elenerek optimum dizinde kullanılmaya uygun konfigürasyonlar elde edilmektedir.

Seçilen konfigürasyonların yük eğrilerine göre zaman aralığının tamamını kapsayan bir dizine dönüştürülmesi, dinamik yapılandırma sürecinin temelini oluşturmaktadır. Bu süreçte zaman aralığı daha kısa periyotlara ayrılarak bu periyotların ilkinden sonuncusuna kadar her biri için en uygun konfigürasyon dönemler arası geçişlerdeki manevra maliyetleri de hesaplanarak belirlenmektedir. Bu şekilkde her peryot için en uygun konfigürasyonun belirlenmesi ile zaman aralığının tamamı için uygulanacak optimum besleme şekli elde edilmiş olmaktadır. Ancak bu yöntemde yalnızca ileriye doğru hesaplama yapıldığı için mevcut anahtarlama şekli ve ilk periyotlardaki optimum konfigürasyonlar daha sonraki periyotlarda seçilecek konfigürasyonları direk olarak etkilemektedir.

F. Shahnia, P.J. Wolfs, A. Ghosh tarafından 2014 yılında yayınlanan çalışmada [60] dinamik yapılandırma, şimdiye kadar sunulan çalışmalardan farklı olarak, alçak gerilim fiderlerinde fazlar arasındaki dengesizliği azaltmak içik kullanılmıştır. Bu çalışmada belirlenen aday yükler fazlar arasında tranfer edilerek fazlar arasında denge sağlanması amaçlanmaktadır. Değerlendirilen zaman dilimi 15 dakika olarak belirlenerek yüksek çözünürlüklü bir sonuç hedeflenmiştir. Aynı zamanda anahtarlama sayısının makul seviyede tutlabilmesi için izin verilen dengesizlik bandı basit fayda maliyet hesaplamalarına göre belirlenmiştir. Bu çalışmada ilgili problemin çözümünde genetik algoritmadan da faydalanılmış ancak anahtarlama sayısının yüksekliği sebebiyle tercih edilmemiştir. Bu yöntemin uygulanması ile Matlab üzerinde modellenen örnek şebekede fazlar arası dengesizliğin ciddi oranda azaldığı görülmektedir.

Zamana göre değişen talep altında dağıtım şebekesinin yeniden yapılandırması konusunda H. Opazo, L. García-Santander, J.E. Pezoa tarafından 2012 yılında yayınlanan çalışmada [61] yük karakteristikleri incelenerek manevra zamanlarının talebe bağlı olarak belirlenmesi amaçlanmıştır. İncelenen zaman aralığının tamamına yönelik optimum beslemeyi sağlarken gereksiz sıklıkta manevra yapılmasının önüne geçebilmek için talebin zamana bağlı birinci ve ikinci derece karakteristikleri incelenmiştir. Bu çalışmada McDermott'un yöntemine [49] benzer bir mantık ile kaynaktan itibaren yükler eklenerek şebekedeki en az kayıplı konfigürasyonun elde edilmesi amaçlanmaktadır. Ancak diğer çalışmalardan farklı olarak, konfigürasyon belli zaman aralıklarında değil, yük eğrisindeki değişiklikler belirlenen limitin üzerine çıktığı zaman gerçekleştirildiği için yük karakteristiğine en uygun konfigürasyon değişimleri hedeflenmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda, yük eğrilerinin zamana bağlı birinci ve ikinci derece istatistikleri yüklerdeki değişimi etkili bir şekilde temsil etmek için kullanılabildiği gösterilmiştir. Yüke bağlı konfigürasyon değişiminin ise yalnızca yüklerde ciddi değişiklikler yaşandığı durumlarda gerekli olduğu ve bu çalışmada incelenen yük profillerine göre günde en fazla iki kere yaşandığı belirtilmiştir. Bu yöntemin model şebekeye uygulanması ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde dinamik yapılandırmanın kayıp seviyesinin azaltılmasına sıra dışı bir katkıda bulunmadığı ancak yüklerin dinamik yapısı sebebiyle değerlendirilmesi gerekliliği bir kez daha görülmüştür.

M.H. Shariatkhah, M.R. Haghifam, J. Salehi, A. Moser tarafından 2012 yılında [13]'in devamı niteliği taşıyan çalışmada [62], Opazo'nun çalışmasında [61] olduğu gibi konfigürasyonların şebekeye uygulanacağı sürelerin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada süre bazlı bir yapılandırma yöntemi geliştirilmiştir. Manevra sırasında ortaya çıkan maliyetler detaylı bir şekilde hesaplanarak toplam anahtarlama maliyeti adı altında kayıp ve kesinti maliyetleri ile birlikte optimizasyona dâhil edilmiştir. Bu çalışmada en az kayıplı konfigürasyonların belirlendiği statik yapılandırma sürecinde uyum arama yönteminden (Harmony Search Algorithm), anahtarlama süreleri ve konfigürasyon dizilerinin belirlenmesini içeren dinamik yapılandırma sürecinde ise dinamik programlama yönteminden fayadalanılmaktadır. Yapılan çalışmada kullanılan bir yıllık referans yük eğrileri birer günlük dilimlere bölünerek [13]'de olduğu gibi modellenen 95 baralı şebekede her gün için en az kayıba sebeiyet verecek konfigürasyonlar belirlenmiştir. Bu konfigürasyonların değerlendirilmesi ile bütün sene boyunca günlük bazda en az kaybı sağlamak için 69 farklı konfigürasyonun yeterli olduğu görülmüştür. Çalışmada referans olarak alınan anahtarlama maliyetleri ve önlenebilecek kayıp miktarları göz önüne alındığında, dinamik yapılandırmanın haftalık dilimler halinde değerlendirilmesi kararlaştırılmıştır. Haftalık değerlendirmelere göre anahtarlama maliyetleri göz önüne alınmadığı durumda 52 hafta için 49 manevralı bir konfigürasyon serisi elde edilirken, toplam anahtarlama maliyetleri de göz önüne alındığında yıl boyunca yalnızca 10 anahtarlama ile optimum sonuca ulaşılmıştır. Kayıp ve kesinti maliyetleri tek bir konfigürasyon değişikliği ile mevcut duruma göre %0.129 azaltılmıştır. Yıl boyunca 10 manevra ile sağlanan optimum çözüm kayıplarda %2.242'lik azalma sağlamaktadır. Anahtarlama sayısının limitlenmediği çözümde ise anahtarlama maliyetleri 5 katına çıkarken kayıp ve kesinti maliyetlerinde optimuma oranla sadece %0.057 avantaj sağlamaktadır. Dinamik yapılandırmalarda konfigürasyonların şebekeye uygulanacağı zaman diliminin belirlenmesi konusunda bu çalışma oldukça önemli bir referans olmaktadır.

Dinamik yapılandırma konusuna girişte de bahsedildiği gibi, dağıtım şebekesindeki koşullar zamana bağlı olarak oldukça dinamik şekilde değişiklik gösterebildikleri için en az kayıplı işletmenin sağlanabilmesi yalnızca şebekenin besleme yapısının da değişen koşullara uyum sağlayabilmesi ile mümkündür. Bu nedenle bu çalışmada şebeke

yapılandırılmasının dinamik bir yöntem ile gerçekleştirilmesi planlanmaktadır. Açıklanan referans çalışmalarda olduğu gibi, değerlendirilecek zaman aralığı günlük dilimlere ayrılarak uygulanabilir konfigürasyonlar belirlenecektir. Olası konfigürasyonların belirlenmesinin ardından toplam anahtarlama maliyetleri, kesinti maliyetleri ve kayıplar göz önüne alınarak en uygun konfigürasyon dizisi ve gerekli manevraların elde edilmesi amaçlanmaktadır. Bu çalışmadaki analizler BEDAŞ orta gerilim şebekesinin kısmi bir modeli üzerinde gerçekleştirilmektedir. Analizde kullanılşan yük modelleri de BEDAŞ sistemindeki mevcut yüklerin gerçek ölçümleri ve yük profillerine göre oluşturulmuştur. Anahtarlama optimizasyonunun hedef fonksiyonu, bu çalışmada olduğu gibi literatürdeki çalışmaların çoğunda, şebekedeki rezistif kaybı en aza indirmek olarak tanımlanmaktadır. Ancak optimizasyonun hedef fonksiyonu olarak minimum gerilim düşümü ya da ekipmanların dengeli yüklenmesi gibi farklı kriterler de tercih edilebilir.

Bu çalışmada minimum rezistif kayıp kriterinin tercih edilmesinin sebebi olarak, Boğaziçi Elektrik Dağıtım şebekesinde kayıp azaltmanın amaçlanmasının yanı sıra, ortalama bir dağıtım şebekesinde kayıp minimizasyonu sağlanırken, dolaylı olarak şebeke yüklerinin görece dengeli dağılımının sağlanması gerekliliği sıralanabilir. Rezistif kayıp minimizasyonu ile şebekedeki teknik kayıplardan kaynaklanan finansal kaybın azaltılmasına ek olarak, şebeke elemanlarının daha dengeli yüklenmesi sağlanarak ekipmanların ekonomik ömürlerinin uzaması ve şebekedeki arıza sıklığının azaltılması ile yatırım ve operason giderlerinin azaltılabileceği düşünülmektedir.

4.4 Kullanılan Yöntem ve Önerilen Algoritma

Bu çalışmada optimum şebeke konfigürasyonunun bulunması için kullanılan yöntem de hibrit bir algoritma olarak tasarlanmıştır. Bahsedilen hibrit algoritmaların bir kısmında olduğu gibi temelde minimum akımlı anahtarın açılması ve anahtar değiş tokuşu adımlarından oluşan bir algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritmada kontrol edilmek üzere komşuluk listesine eklenen anahtarlar döngü giderme [55] yönteminde olduğu gibi seçilen anahtarın bitişiğinde bulunan anahtarlardan değil, Gomes'in çalışmasında [45] olduğu gibi akım değeri seçilen anahtara en yakın olan anahtarlardan seçilmektedir. Ayrıca [57]'de tanımlanan "komşu dizi güncelleme süreci"nde olduğu gibi, bu

yöntemde de ikinci basamakta anahtar değiş tokuşu yöntemiyle yapılan kontrollerde daha az kayıp yaratan herhangi bir konfigürasyona rastlandığı durumda süreç başa dönmektedir. Bu sayede şebekedeki ringlerden herhangi birinin konfigürasyonunda oluşan değişikliklerin diğer kısımlar üzerindeki etkisi göz ardı edilmemiş olmaktadır. Bu algoritmanın detayları, 33 baralı referans sistem ve BEDAŞ dağıtım şebekesi parçası üzerinde elde edilen sonuçları çalışmanın ilerleyen kısımlarında sunulmuştur.

4.4.1 Statik Şebeke Yapılandırma Yöntemi

Anahtarlama optimizasyonu yöntemleri açıklanırken bahsedildiği gibi, bu çalışmada dağıtım şebekesinin optimum yapısını elde etmek için, mevcut şebekedeki tüm anahtarlar kapatılarak yük akışı sonuçlarına göre en az akım taşıyan anahtarların açılması ile, minimum rezistif kayba sebebiyet veren anahtarlama noktalarının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu temel düşüncenin arkasında yatan prensip, akımın en az kayıplı yoldan akma eğiliminde olmasıdır. Dağıtım şebekesinin tamamen kapalı ring olarak çalıştığı durumda, yüksek akım taşıyan bir anahtarı açmak, şebekede dolaşan yüksek miktarda akımı daha yüksek kayıplı yollardan akmaya mecbur bırakmak anlamına gelmektedir. Bu nedenle radyal işletme sağlanıncaya kadar en az akım taşıyan anahtarları açarak, kayıp artışını olabildiğince düşük tutmak hedeflenmektedir. Bu yöntem, şebekenin mevcut anahtarlama noktalarından bağımsız olduğu için, optimizasyon sonuçlarının şebeke başlangıç durumundan etkilenmesi mümkün değildir. Bu çalışmada yük akışları, şebeke için hesaplanan admitans matrisi ile Newton-Raphson metodu kullanılarak hesaplanmıştır. Her baradaki P ve Q değerlerinin, gerilimin büyüklüğü ve açısına göre değişimi hesaplanarak, iteratif olarak şebekenin gerilim değerleri bulunmuş ve bu değerlere karşılık gelen akım değerleri hesaplanmıştır.

$$\mathrm{P(i)} = \mathrm{V(i)V(k)}\left[\mathrm{G(i,k)cos}\left(\theta_{\mathrm{i}}\text{-}\theta_{\mathrm{k}}\right) + \mathrm{B(i,k)cos}\left(\theta_{\mathrm{i}}\text{-}\theta_{\mathrm{k}}\right)\right] \quad (4.1)$$

$$Q(i) = V(i)V(k)[G(i,k)sin(\theta_i - \theta_k) - B(i,k)cos(\theta_i - \theta_k)] \quad (4.2)$$

P(i): i barasının aktif güç değeri

Q(i): i barasının reaktif güç değeri

V(i): i barasının gerilim değeri

V(k): k barasının aktif güç değeri

G(i,k): i barasından k barasına olan hattın İletkenlik değeri

B(i,k): i barasından k barasına olan hattın süseptans değeri

θ_i: i barasının gerilim açısı

θ_k: k barasının gerilim açısı

Anahtarlama optimizasyonunun hedef fonksiyonu, daha önce de belirtildiği gibi şebekedeki rezistif kayıpların minimize edilmesidir.

$$min \sum_1^{Nhat} Reel(S_{hat}\,(i,k) - S_{hat}(k,i)) \tag{4.3}$$

Denklem 4.3 ifadesinde;

N_{hat}: Şebekedeki hat sayısı

i: Hattın başında bulunan baranın numarası

k: Hattın sonunda bulunan baranın numarası

S_{hat} : i barasından k barasına akan görünür güç

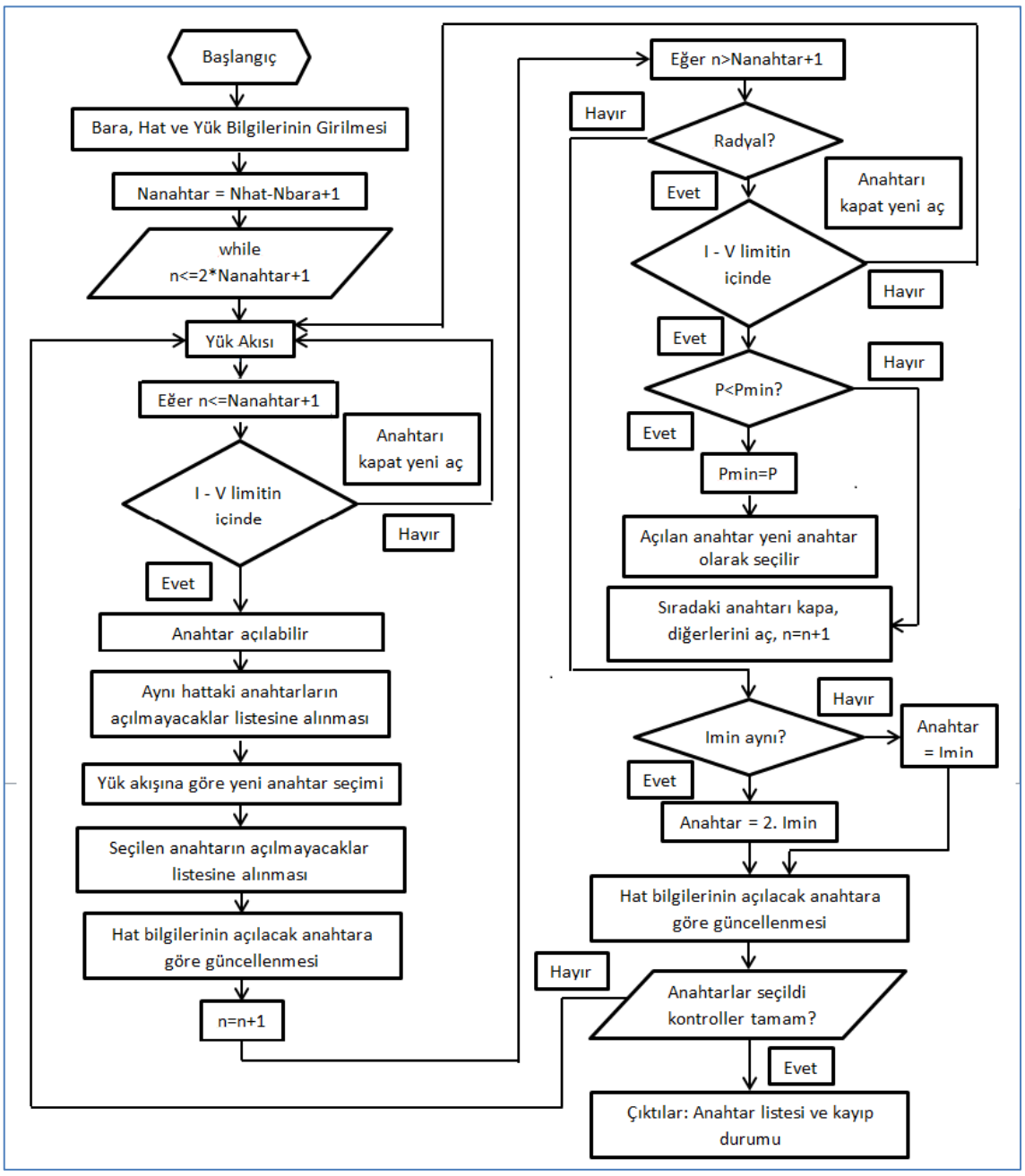
Her hatta akan görünür güç hesaplanan gerilim ve akım değerleri ile aşağıdaki formülde gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır.

$$S_{hat}(i,k) = V(i) * I^*_{hat}(i,k) \tag{4.4}$$

$I^*_{hat}(i,k)$ = i barasından k barasına akan akımın karmaşık eşleniği

Şebekede radyal işletmenin sağlanabilmesi için, şebeke üzerindeki herhangi bir noktadan başka herhangi bir noktaya yalnızca bir tek elektriksel yol olmalıdır. Matematik alanında detaylıca işlenen Çizge Kuramı'nda (Graph Theory), üzerinde kapalı döngü bulunmayan ve yol tekrarı yapılmadığı sürece, her noktası birbiri ile yalnızca bir yol ile bağlı olan bu yapı "Ağaç" (Tree) olarak adlandırılır. Bir şeklin ağaç olarak nitelendirilebilmesi için, üzerindeki köşe sayısının, kenar ya da yol sayısından bir fazla olması gerekmektedir. Bu durumda, bir elektrik şebekesinin radyal olarak işletilebilmesi için, şebekedeki mevcut düğüm noktası sayısının, bu noktalar arasındaki

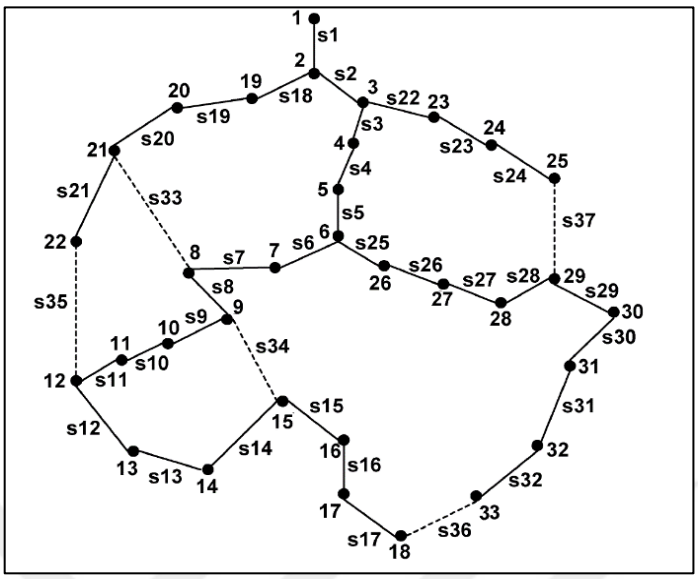
hat sayısının 1 fazlasına eşit olması gerekmektedir. Şekil 4.2'de bu çalışmada geliştirilen algoritmanın akış diagramı gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Geliştirilen algoritmanın blok diagram

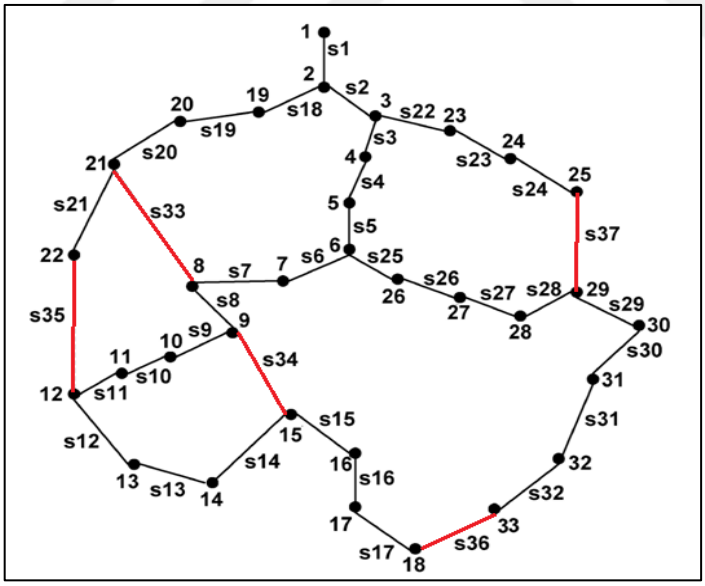
Bu çalışmada sunulan anahtarlama optimizasyonu algoritmasında, Şekil 4.3'te görüleceği üzere, IEEE'nin 33 baralı referans sistemindeki normal işletme koşullarında açık olan anahtarların hepsi kapatılarak, ağ şebeke (Meshed Network) haline getirilir (Şekil 4.3'te kesik noktalar ile gösterilen kısımlar, normal işletme şartlarındaki anahtarlama yerlerini göstermektedir). Tüm anahtarları kapatılan şebekede, düğüm

noktası sayısından bir eksik sayıda hat kalıncaya kadar en az akım taşıyan anahtarlar açılarak radyal şebeke haline getirilir.



Şekil 4.3 IEEE'nin referans 33 baralı normal işletme durumunda anahtarlamaları [63]

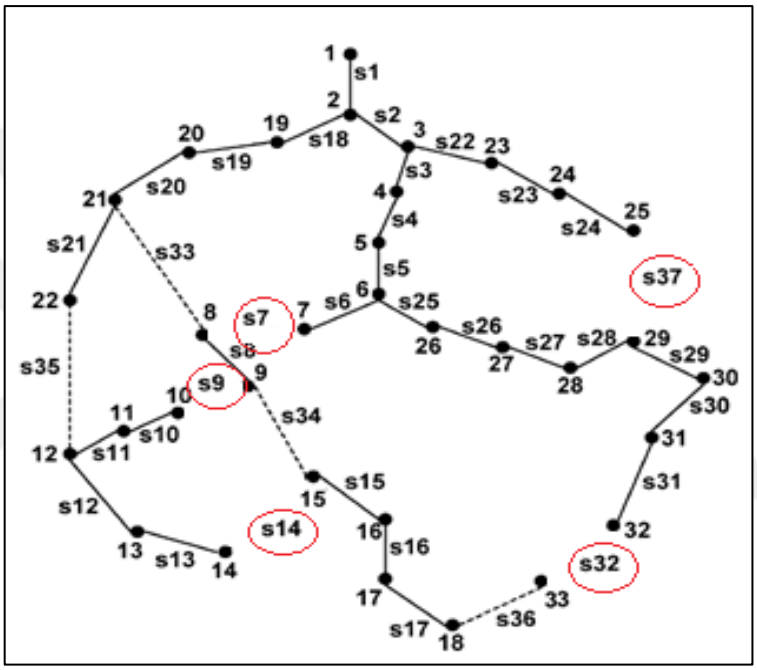
Şekil 4.4'te IEEE'nin referans 33 baralı tüm anahtarları kapatılarak ağ şebeke modeli elde edilmektedir.



Şekil 4.4 IEEE'nin referans 33 baralı tüm anahtarlarının kapatılması [63]

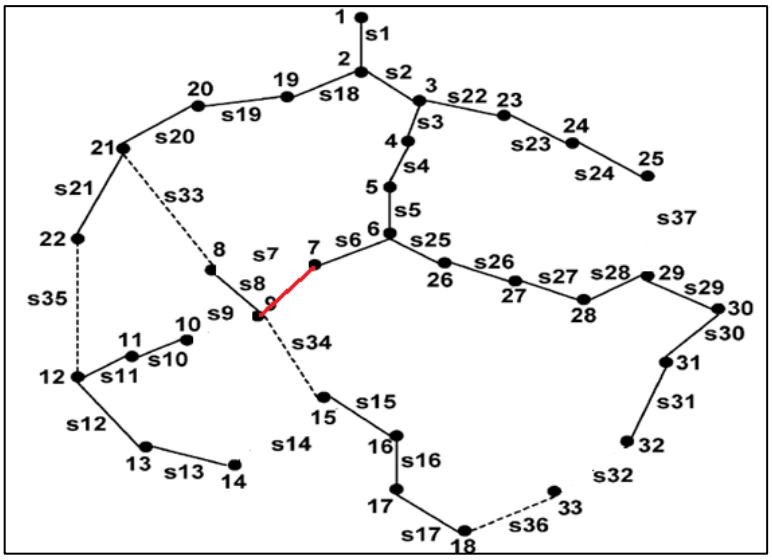
Algoritma mevcut açık anahtar sayısından bağımsız olarak, tüm bağlantıları modellenen şebeke radyal hale gelinceye kadar anahtarları birer birer açmaya devam eder. Tüm bağlantıları modellenen şebekede radyal konfigürasyon elde edilinceye kadar algoritma bu anahtar açma adımlarına devam eder. Her anahtar açıldıktan sonra, yeni durumda tüm yüklerin beslendiği, akım ve gerilim limitlerinin aşılmadığı kontrol edilir. Açılan

anahtar eğer herhangi bir limit aşımına sebebiyet vermiyor ve şebeke çalışma koşullarını sağlıyor ise, anahtar şebeke yapısına açılacak anahtar olarak eklenir. Açılan anahtarın limitleri aşması ya da herhangi bir sebeple işletme koşullarını sağlayamaması durumunda, açılan anahtar kapatılarak bir üst akım değerine sahip olan anahtar açılır ve süreç tekrarlanır. Şekil 4.5'te minumum anahtarlama noktaları açılarak radyal hale getirilen IEEE'nin referans 33 baralı şebeke kesitinin son hali bulunmaktadır (Kırmızı daire içine alınmış numaralar, minimum akım taşıyan kol metodu sonucu açılmasına karar verilen anahtarları göstermektedir).



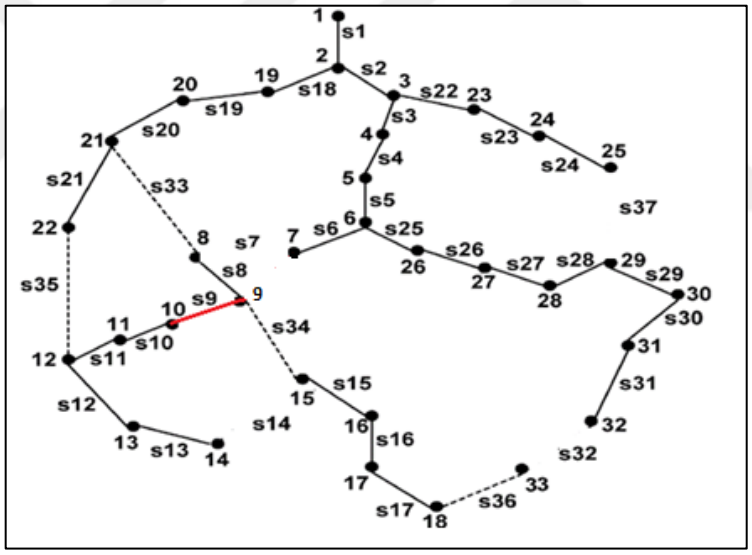
Şekil 4.5 IEEE'nin referans 33 baralı şebeke kesitinin radyal hale getirilmesi [63]

Şekil 4.6'da görülebileceği üzerine de, bu çalışmada geliştirilen algoritmanın ikinci adımına geçilir. Bu adımda da birinci adımda elde edilen çözümün hassasiyeti artrılır ve daha da iyileştirilir. (İkinci adımın gerçekleştirilme nedeni, birinci adımda seçilen her anahtarın birbirlerine olan etkisidir. Şebeke kesitinin bütününde teknik kayıbın değişme ihtimali temel alarak seçilecek olan anahtarın hassaslığı ikinci adım ile artırılır.)



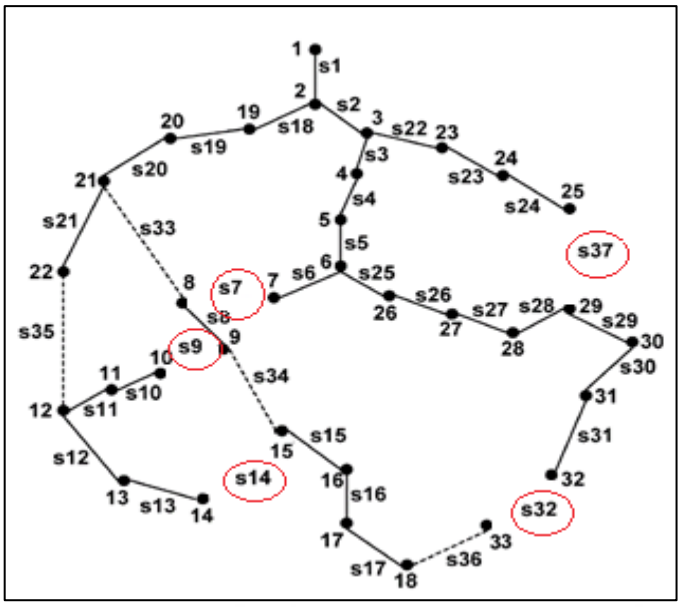
Şekil 4.6 IEEE'nin referans 33 baralı en düşük akım taşıyan anahtarların açılması [63]

Şekil 4.7'de görüleceği üzere geliştirilen algoritmanın ikinci adımı, anahtar değiş-tokuş yöntemine devam edilerek algoritma kısıtları doğrultusunda süreçler tekrarlanır.



Şekil 4.7 IEEE'nin referans 33 baralı en düşük akım taşıyan 2. anahtarların açılması [63]

Şekil 4.8'de de görüleceği üzere, geliştirilen algoritmanın ikinci adımı sonrasında yerel optimizasyon da tamamlanarak anahtarlama optimizasyonu tamamlanmış olur. IEEE'nin referans 33 baralı sistemde yapılan anahtarlama optimizasyonun da elde anahtarların birinci adımı sonunda elde edilen anahtarlamalar ile aynı olduğu görülmektedir. Referans 33 baralı sistemde, geliştirilen algoritmanın ikinci adımının bir değişiklik yaratmadığı görülmekle birlikte, 94 bara veya bara sayısı daha fazla olan şebeke modellerinde ikinci adımla seçilen anahtarın değiştiği gözlenmiştir.



Şekil 4.8 IEEE'nin referans 33 baralı şebeke kesitinin optimizasyon sonundaki anahtarlamaları [63]

Yukarıda şekillerle ifade edilen algoritmanın kısıtları ve çalışma mantığı aşağıda detaylı bir şekilde anlatılmıştır: Bir dağıtım fideri ya da arka arkaya bağlanmış tek bir hat gibi yapılanmış fiderler üzerinde, birden fazla anahtar açıldığı takdirde, anahtarların arasında kalan yükler beslenemeyeceği için bu hatlarda en fazla bir anahtar açılabilir. Aksi durumları önlemek ve tüm yüklerin beslenmesini sağlamak için, açılacak anahtar olarak seçilen bir anahtar ile aynı hat üzerindeki diğer anahtarlar, açılamaz olarak listelenirler. Herhangi bir anahtarın seçilip, aynı güzergâh üzerindeki diğer anahtarların listelenmesinin ardından, şebekenin bu yeni durumunda hesaplanan akım değerleri ile açılabilir durumdaki anahtarlardan en düşük akım taşıyan anahtar seçilerek süreç tekrarlanır. Burada açıklanan yöntemle anahtar seçimi ardarda yapılmaktadır. Şebekede açılan her anahtar, şebeke yapısını değiştirerek diğer anahtarlar üzerindeki akımları etkileme potansiyeline sahip olduğu için, farklı anahtarların açılmasının ardından daha önceki bir anahtar seçimi, en az akımlı anahtar olmaktan çıkabilmektedir. Dağıtım şebekelerindeki yapının zayıf ağ şeklinde olması, anahtar seçimlerinin birbiri üzerindeki etkilerini limitleyerek, bu durumun anahtar seçimleri üzerinde sıra dışı değişiklikler yaratmasını engellemektedir. Ancak algoritmanın temel mantığı sebebiyle anahtar seçimleri sırayla yapılmak zorundadır ve bu durum bir çok şebeke modelinde optimum şebeke yapısının bulunmasını engelleyebilmektedir. Bu çalışmada optimum şebeke yapısını bulmak için, öncelikle bahsedilen problemin

çözülmesi gerekmektedir. Bu nedenle önce anahtar seçimine rastlantısallık katılması denenmiş ve anahtar seçimleri, en düşük akımlı anahtarın direkt olarak seçilmesi yerine, daha yüksek seçilme olasılığına sahip olduğu bir model uygulanmıştır.

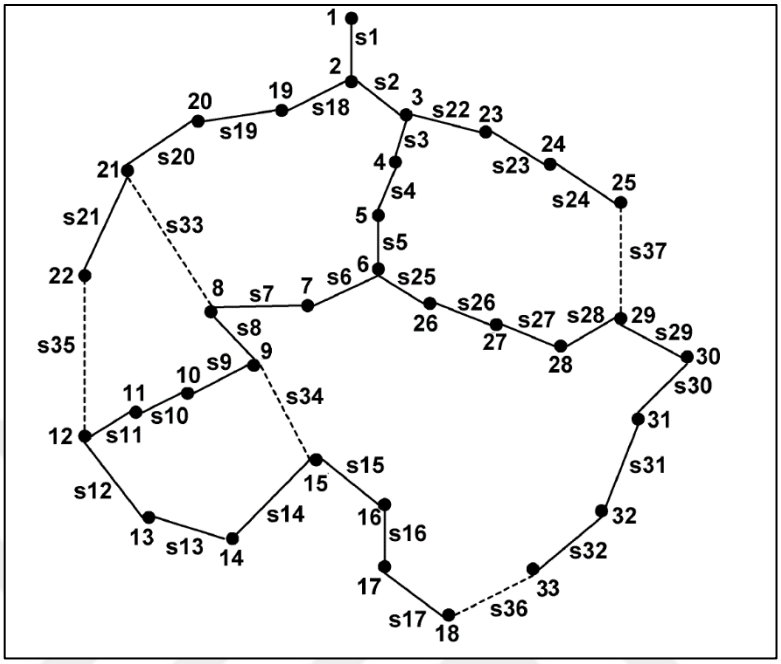
Bu modelde anahtar seçimi esnasında daha yüksek akım taşıdığı halde, diğer anahtarlamaların ardından en iyi anahtar konumuna geçebilecek yani optimum çözümün parçası olan anahtarların bulunabilmesi hedeflenmiştir. Ancak bu rastlantısal temelli çözüm ile optimum sonucun bulunabilirliğini garanti etmek için, çok sayıda deneme yapılması gerektiğinden optimizasyon süreleri marjinal artış göstermiştir. Bu nedenle olasılıksal bir çözüm uygulamak yerine algoritmada kullanılan minimum akım yöntemine, anahtar değiş-tokuşu temelli bir lokal optimizasyon adımı eklenerek hibrit bir model oluşturulmuştur. Bu adımda, minimum akım kriterine göre seçilen “n” adet anahtardan her biri sıra ile kapatılarak, diğer “n-1” anahtarın kapatılmasının seçilen anahtara etkisi incelenmektedir. Bunun için seçilen anahtarın açık, diğer “n-1” anahtarın kapalı olduğu durumda, yük akışı çalıştırılıp yeni konfigürasyonda minimum akım taşıyan anahtar tekrar bulunarak değişiklik olup olmadığı kontrol edilmektedir. Minimum akım taşıyan anahtarın önceki anahtardan farklı olduğu durumlarda, yeni anahtar açılarak kayıp değerleri kontrol edilmekte ve radyal işletme esnasında daha az rezistif kayba sebebiyet veren anahtar seçilmektedir.

Minimum akımlı anahtarın değişmediği durumlarda ise bir üst akım değerine sahip olan anahtar denenerek, tekrar rezistif kayıplar karşılaştırılmakta ve düşük kayıba sebebiyet veren anahtar seçilmektedir. Bu kontrolün amacı algoritmanın optimuma yakın bir çözümü seçerek, sistemin genel optimumunu kaçırmasını önlemektir. Daha karmaşık şebekelerde optimum konfigürasyonun sağlanmasından şüphe edildiği taktirde, bu adımda kontrol edilecek olan hatların sayısı arttırılabilir. Lokal optimizasyon esnasında anahtar değişimi yapıldığı taktirde, bu değişim diğer anahtarlar üzerinde etkiye sebep olabileceği için bu kontroller anahtar değişimi kalmayıncaya kadar tekrarlanmalıdır.

4.5 Referans Sistem ile Geliştirilen Algoritmanın Doğrulanması

Bu çalışmada uygulanan anahtarlama optimizasyonunun doğruluğunu göstermek için M. E. Baran ve F. F. Wu tarafından yayınlanan makalede tanıtılan [6] ve literatürde birçok anahtarlama optimizasyonunda referans olarak kullanılan 33 baralı şebeke

kullanılmıştır. Bu referans sistem için verilen yük ve hat değerlerine göre, rezistif kaybı en aza indiren ideal anahtarlamanın S7, S9, S14, S32 ve S37 anahtarlarının açılarak elde edildiği belirtilmiştir [6],[64],[44],[45][47],[48],[49].



Şekil 4.9 M. E. Baran ve F. F. Wu tarafından 1988'de kullanılan 33 baralı sistem [64]

Bu çalışmada geliştirilen anahtarlama optimizasyonu algoritması, M. E. Baran ve F. F. Wu tarafından kullanılan 33 baralı referans şekil 4.9'da görüleceği üzere, MATLAB ortamında çalıştırıldığında sadece 11 yük akışı koşarak S7, S9, S14, S32 ve S37 anahtarlarını açarak optimum sonuca ulaşmıştır. Bu sırada başlangıç durumu olan S33, S34, S35, S36, S37 konfigürasyonunda elde edilen kayıp değeri 191.8 kW olurken, hesaplanan optimum anahtar konfigürasyonu ile elde edilen kayıp değeri %31.18 düşüşle 132 kW olmuştur ve bu sonuçlar diğer referans makalelerde elde edilen kayıp değerleri ile örtüşmektedir.

Çizelge 4.1 Referans sistem anahtarlama optimizasyonu sonuçları

	IEEE 33 Baralı Referans Şebeke Kesitinin Normal İşletme Halindeki Anahtarlama Durumu	Geliştirilen Algoritmanın IEEE 33 Baralı Referans Şebeke Kesitinde anahtarlama optimizasyonunda kullanılması
Açık Anahtar	33, 34, 35, 36, 37	**7, 9, 14, 32, 37**
Kayıp (kW)	191.8	132
Kayıp Farkında ki Değişim Yüzdesi	Yok	31.18%

Referans sistemin bir modeli de CYME yazılımında mevcut olan anahtarlama optimizasyonu modülünde bir doğrulama vakası olarak bulunmaktadır. CYME anahtarlama optimizasyonu modülünün referans şebeke için bulduğu optimum anahtar seçiminin, bu çalışmanın ve kullanılan referansların sonuçları ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.2 CYME yazılımından alınan analiz sonuç çizelgeleri

Switching Optimization Report

Parameters

Objective	Minimize kW losses
Lock regulators	No
Allow initial exceptions	Yes
Cost of energy	13.000 $/kWH

Switching operations

Section Id	Action	Switch Id
33	Close	S33
35	Close	S35
34	Close	S34
36	Close	S36
9	Open	S9
14	Open	S14
32	Open	S32
7	Open	S7

Network summary

	Initial Load		Final Load		Initial Losses	Final Losses	Initial Length	Final Length
Feeder Id	kVA	%	kVA	%	kW	kW	m	m
FEEDER_32BUS	4574.9	208.64	4505.5	205.47	197.37	135.52	37000.0	37000.0

System losses

Initial Losses	Final Losses	Savings		
(kW)	(kW)	(kW)	(%)	($/year)
197.37	135.52	61.85	31.34	7043114

4.6 Geliştirilen Yöntemin Referans Çalışmalar ile Karşılaştırılması

Bu çalışmada geliştirilen şebeke rekonfigürasyon optimizasyonu farklı bir çok optimum konfigürasyon arama yöntemi ile [9], [15], [14], [62], [65], [66], [67], [68], [69], [70], [71], [72], [73], [74] detaylı olarak karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar ile bu çalışmada geliştirilen algoritma ve referans çalışmaların aralarındaki farklar incelenmiş, avantajları, dezavantajları değerlendirilmiş ve bu çalışmada geliştirilen yöntemin sonucu bulmak için ihtiyaç duyduğu yük akışı sayısı ve hesaplama hızı ile aynı doğruluğu sağlayan referans çalışmalardan ayrıldığı görülmüştür. İncelenen farklı olasılıksal yöntemler optimum sonucu bulmak için açık anahtar sayısının 20 katı mertebesinde yük akışı koşulması gerekmektedir. Bu durum ilgili algoritmaların büyük şebekeler üzerinde koşulması durumunda hesaplama sürelerini dramatik olarak arttırmaktadır.

Bu çalışmada geliştirilen algoritmanın bir diğer avantajı ise şebekenin mevcut durumunun hesaplamalara etki etmemesi ve her anahtarlama konfigürasyonu için aynı sonucun elde edilebilmesidir.

Güncel literatürün araştırılması ve çalışmaların karşılaştırılması sırasında Ferdavani, Zin, Khairuddin ve Naeini tarafından 2013 yılında yayınlanan çalışma [9] ile bu çalışmada geliştirilen yöntem arasında büyük benzerlik olduğu görülmüştür. İlgili referans çalışmada bu çalışmada geliştirilen algoritmada olduğu gibi iki aşamalı bir anahtar belirleme yöntemi ile optimum konfigürasyon elde edilmeye çalışılmaktadır. İki aşamalı referans yöntemin ilk adımında, bu çalışmada geliştirilen algoritmanın ilk aşamasında ve farklı birçok çalışmada kullanılan ve ilk olarak D. Shirmohammadi ve H. W. Hong [13] tarafından sunulan en az akımlı anahtarın açılarak ringlerin ortadan kaldırılması yönteminden faydalanılmıştır. İlgili referans yöntemin ikinci aşamasında ise, anahtarlama adımları sonucunda optimum konumun ilk aşamada seçilen anahtarların komşularına kayması beklenerek, ikinci aşamada seçilen anahtarların komşularının kontrol edilmesi ile optimum sonuca ulaşılmaya çalışılmıştır.

İlgili referans çalışmada konfigürasyonun bulunabilmesi için ilk aşamada ring sayısından bir fazla, ikinci aşamada ise ring sayısının iki katı kadar, toplamda ring sayısının üç katı artı bir adet yük akışı koşulması gerekmektedir. Ayrıca bu çalışmada sonucun doğruluğunu arttırmak için anahtarlamalarda değişiklik oldukça ikinci aşamanın yenilenerek daha doğru sonuca ulaşılması amaçlanmaktadır. Ancak bu döngüsel

yöntem ile ikinci aşamanın tekrarlanması yük akışı sayılarını ve hesaplama süresini ciddi oranda arttırmaktadır.

Geliştirilen çalışmada kullanılan algoritmada ise, ikinci aşamada her adımda yük akışı koşularak en düşük akımlı anahtar bulunduğu ve yeni anahtarın ilk aşamada bulunan anahtardan farklı olduğu durumlarda yeni anahtar, aynı olduğu durumlarda ise en az akım taşıyan ikinci alternatif seçilerek yük akışı koşulmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada da toplamda aynı sayıda yük akışı koşulmaktadır. Ancak referans çalışmadan farklı olarak kontrol edilecek anahtarlar komşular ile kısıtlı değildir. Modellenen şebekenin optimum konfigürasyonu referans çalışmanın algoritması ile çözülmeye çalışıldığında, kayıplarda belli oranda iyileşme sağlanmaktadır. Ancak referans algoritma, bu çalışmada geliştirilen algoritmanın ve CYME yazılımının verdiği minimum kayıp konfigürasyonunun performansına ulaşılamamaktadır. Referans algoritmanın optimum sonucu bulabilmesi için ikinci aşamayı bir kez daha çalıştırması ve modellenen şebeke için toplamda 66 yük akışı koşması gerekmektedir. Ancak bu çalışmada geliştirilen algoritma ile optimum sonuç 40 yük akışı koşularak elde edilebilmektedir.

Çizelge 4.3'te de görülebileceği üzere Ferdavani, Zin, Khairuddin ve Naeini tarafından 2013 yılında yayınlanan çalışma ile bu çalışmada geliştirilen algoritmanın 94 baralı BEDAŞ şebeke kesitinde karşılaştırılması yapılmış, hem BEDAŞ'ın normal operasyonel şartlarda yaptığı anahtarlamalar gösterilmiş, hem de referans çalışma sonucu elde edilen farklarla bu çalışmada sonucunda geliştirilen algoritmanın sonuçları görülmüştür. Bu çizelgede kırmızı ile gösterilen anahtarlama numaraları, açık anahtarlamaları ya da yapılan anahtarlama optimizasyonu sonucu açılan anahtarlara vurgu yapmak için gösterilmiş olup, sarı renkile altı çizili kısım ise referans olarak alınan çalışma ile bu çalışma sonrasında geliştirilen algoritmanın seçmiş olduğu farklı anahtarı vurgulamak üzere kullanılmıştır.

Çizelge 4.3 Referans çalışmayla geliştirilen algoritmanın kıyaslanması

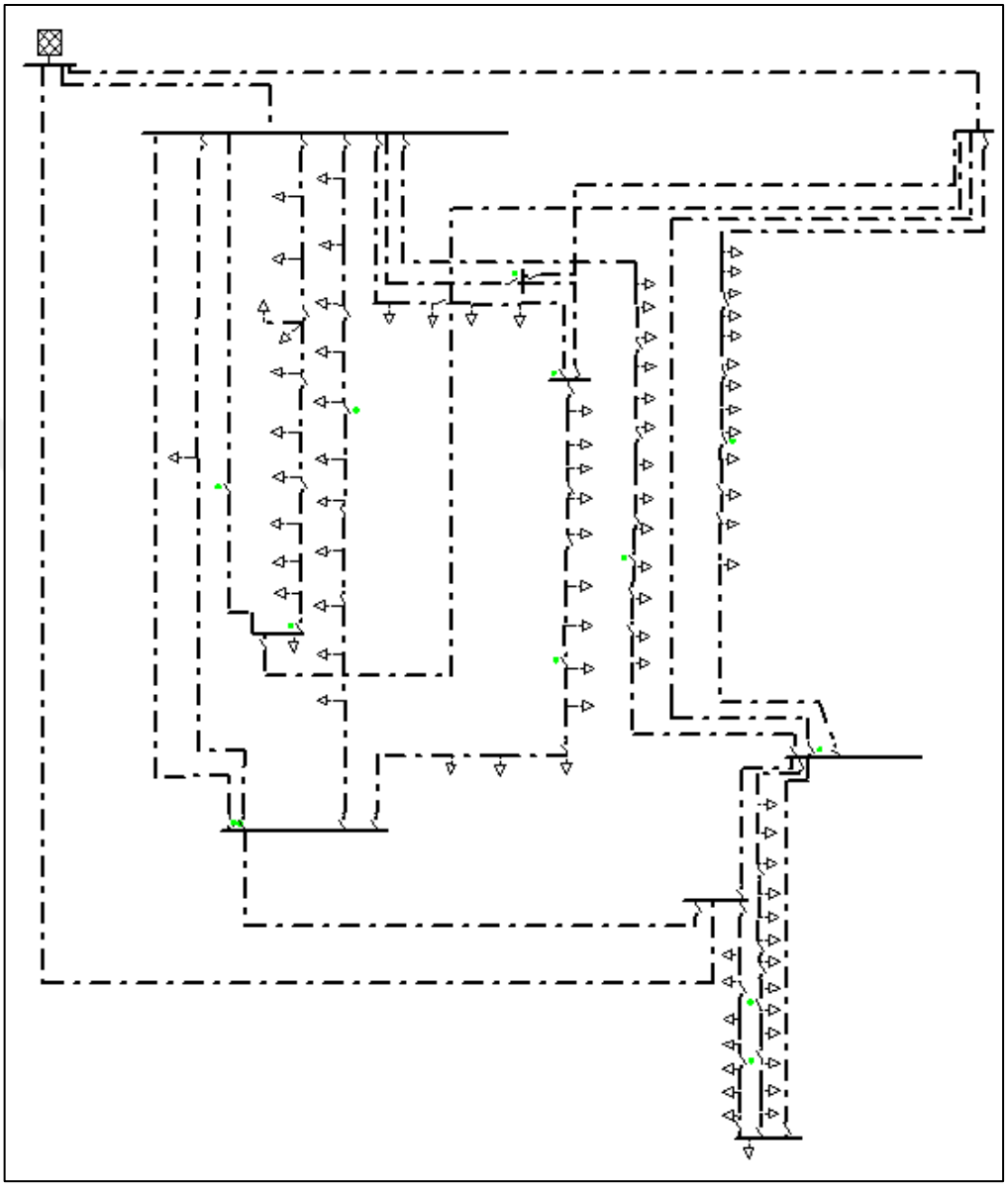
	94 Baralı BEDAŞ Şebeke Kesitinin Normal İşletme Durumu	Ferdavani, Zin, Khairuddin ve Naeini tarafından 2013'te oluşturulan referans çalışmanın BEDAŞ Şebeke Kesitinde Uygulanması	Geliştirilen Algoritmanın BEDAŞ Şebeke Kesitinde Uygulanması
Açık Anahtar	334, **483**, **426**, 497, **12_49**, 239, **272**, **249**, **274**, **286**, **312**, 359, 408	**231**, 483, 426, **411**, **498,** 12_49, 272, 249, **290,** 274, 286, 312, **357**	**231**, 483, 426, **411**, **498**, 12_49, 272, 249, **290**, 274, 286, 312, **358**
Kayıp (kW)	264.89	221,1	216,84
Kayıp Farkındaki İyileştirme (kW)	Yok	43,79	48,05
Yük Analizi Sayısı	Yok	66	40

Çizelge 4.3'te de görüleceği üzere, anahtarlama optimizasyonu yöntemlerinin doğru anahtar noktalarının seçimiyle ortalama %17'e varan bir teknik kayıp iyileşmesini sağladığı görülmüştür. Ayrıca bu çalışma sonucunda geliştirilen algoritma ile referans çalışma kıyaslandığında da, yük analizi sayısı ve elde edilen teknik kayıp iyileşmesi bakımından çok daha başarılı olunduğu gösterilmiştir.

4.7 CYME Analiz Yazılımında BEDAŞ'ın Gerçek Bir Şebeke Kesitinin Oluşturulması ve Sonuçların Kullanılan Algoritma ile Karşılaştırılması

BEDAŞ dağıtım şebekesinin besleme şekillerinde uygulanabilecek iyileştirmeleri araştırmak üzere, Bayrampaşa Bölgesi 34.5 kV dağıtım şebekesinin 94 baradan oluşan bir kısmı seçilmiştir. Bu kesitin optimum besleme şeklini belirlemek için şebekenin hat, komponent ve yüklenme bilgileri algoritmaya girdi olarak verilmiş ve doğrulama çalışmaları için şebeke CYME yazılımında modellenmiştir.

Şekil 4.10'da BEDAŞ'a ait 94 baralı 34.5 kV şebeke kesitinin tek hat şeması görülmektedir. Burada gösterilen yeşil renkli anahtarlamalar, normal işletme şartlarındaki açık anahtarlamaları göstermektedir.



Şekil 4.10 BEDAŞ Bayrampaşa 94 Baralı 34.5 kV Şebeke Kesiti

Şebeke modelinin normal besleme durumunda hatlarda meydana gelen rezistif kayıplar 264.9 kW olarak hesaplanmaktadır. Şebeke modeline anahtarlama optimizasyonu uygulandığında mevcut durumda açık olan 13 anahtardan 6'sı kapatılarak yerlerine alternatif anahtarların açılması öngörülmüştür. Optimizasyon sonrası bu yeni durumda kayıplar %18 azalarak 217.3 kW'a inmiştir.

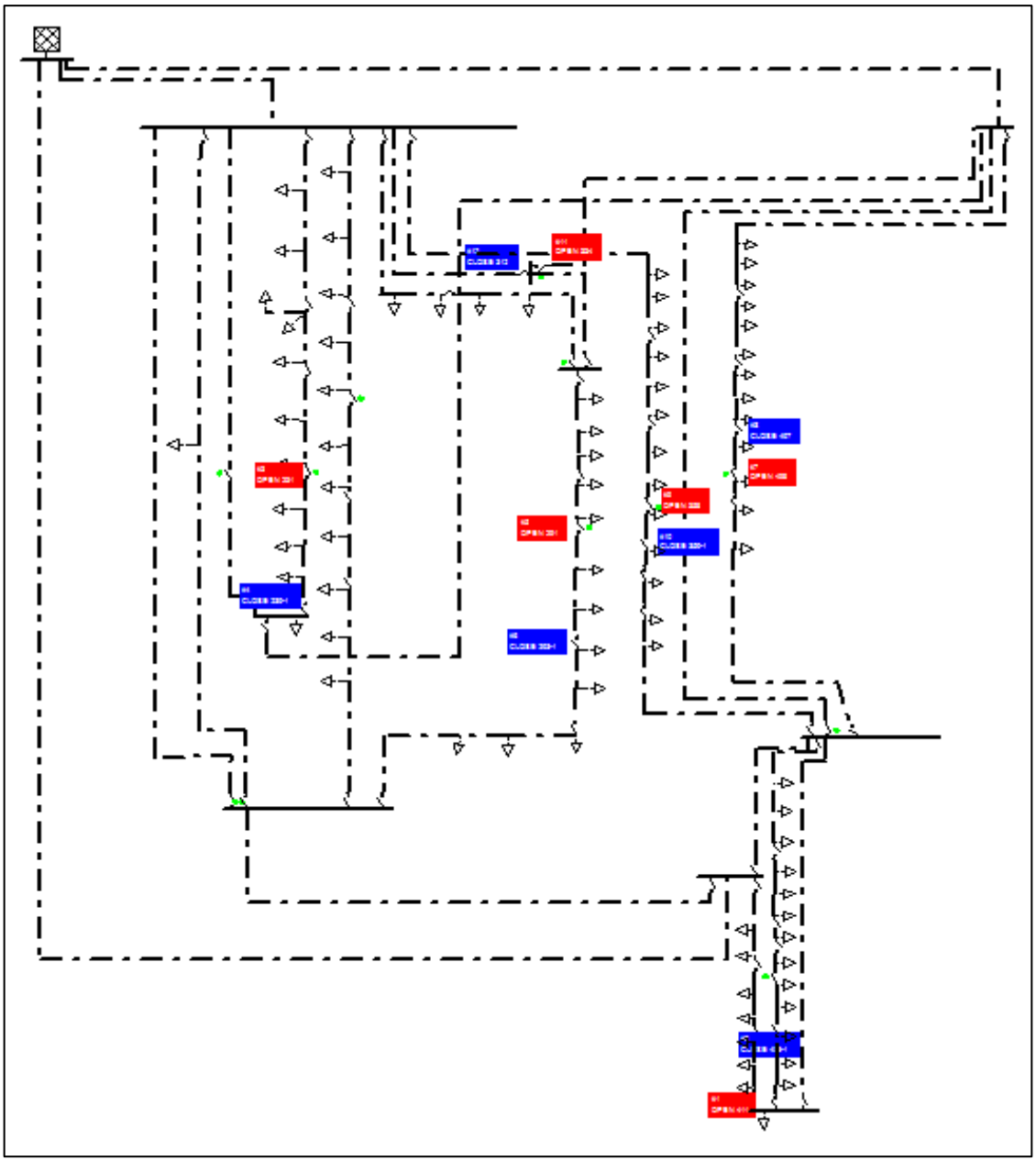
Çizelge 4.4 BEDAŞ şebeke kesiti anahtarlama optimizasyonu sonuçları

	94 Baralı BEDAŞ Şebeke Kesitinin Normal İşletme Durumu	Geliştirilen Algoritmanın BEDAŞ Şebeke Kesitinde Uygulanması	"CYME DIST" Analiz Programı, Anahtarlama Modülünün BEDAŞ Şebeke Kesitinde Uygulanması
Açık Anahtar	334, 483, 426, 497, 12_49, 239, 272, 249, 274, 286, 312, 359, 408	**231**, 483, 426, **411**, **498**, 12_49, 272, 249, **290**, 274, 286, 312, **358**	**231**, 483, 426, **411**, **498**, 12_49, 272, 249, **290**, 274, 286, 312, **358**
Kayıp (kW)	264.89	216,84	217,34
Kayıp Farkındaki İyileştirme (kW)	Yok	48,05	47,55

Çizelge 4.4'te görüleceği üzere, 94 baralı BEDAŞ şebeke kesitinin normal şartlardaki operasyonel durumlarının, geliştirilen algoritma ile "CYME DIST" güç sistemleri analiz programındaki anahtarlama optimizasyonu sonuçları görülmektedir. Geliştirilen algoritma ve "CYME DIST" analiz programının sonuçlarında farklılık olduğu görülmekte fakat açılan anahtarların aynı olduğu görülmektedir.

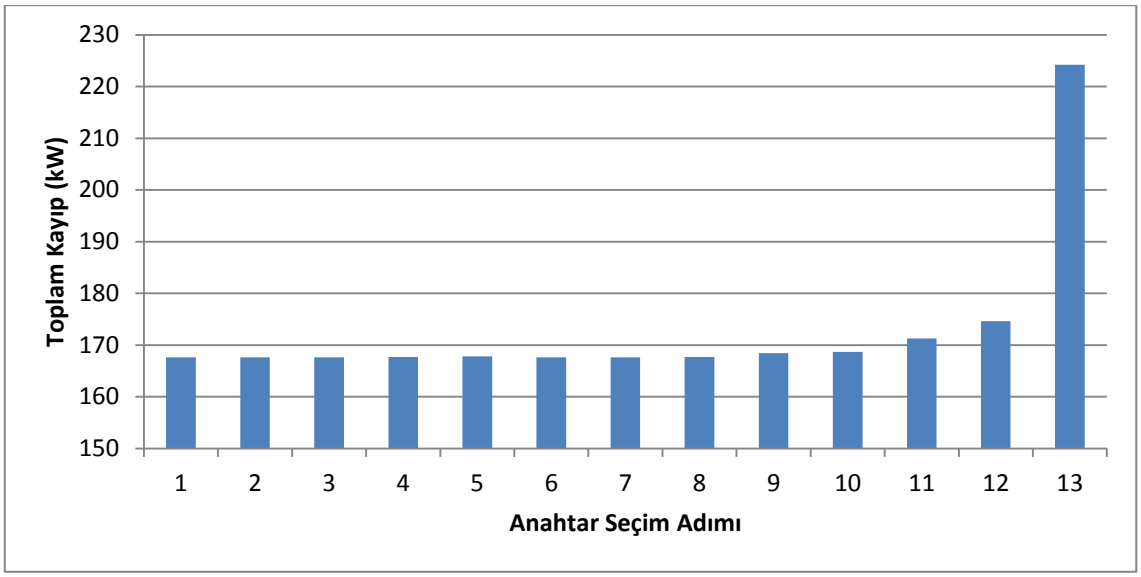
Teknik kayıp oranlarındaki farklılığın, "CYME DIST" programının kullandığı empedans değerlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bununla birlikte, dünyaca kabul görmüş bir güç sistemi analiz programının açtığı anahtarların aynı olması da geliştirilen algoritmanın çıktılarını teyit eder nitelikte olarak görülebilir.

Anahtarlama optimizasyonu adımlarında ise, şebeke normal işletme koşullarında iken, rezistif kayıpların düşürülmesi amacıyla geliştirilen algoritma uygulanmış ve teknik kayıp oranlarında iyileşme olduğu görülmektedir.



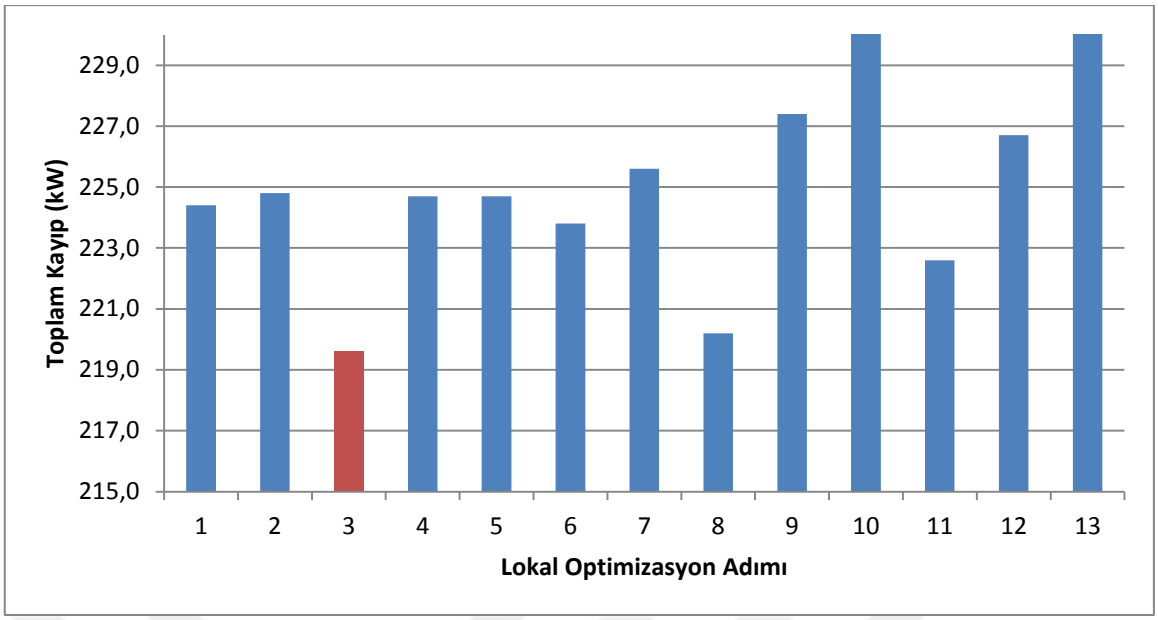
Şekil 4.11 94 baralı BEDAŞ şebeke kesitinin optimizasyon sonucunda açılıp kapatılan anahtarların görseli

Şekil 4.11'de optimizasyon sonucuna göre açılması gereken 6 yeni anahtar (231, 411, 498, 290, 358) kırmızı kutularla işaretlenmiştir. Normal besleme durumunda açık olup, yeni durumda kapatılması gereken 6 anahtar ise mavi kutularla işaretlenmiştir. Şebekedeki bütün anahtarların kapalı olduğu tam kapalı sistemden itibaren, 13 anahtarın da açıldığı radyal konuma geliceye kadar, her anahtar açma adımı sonrasında kayıplarda yaşanan değişim aşağıdaki şekil 4.12'de görülebilir.



Şekil 4.12 Toplam kaybın normal işletmedeki anahtarlamalara göre seçimi

Anahtar seçim adımına göre sıralanan sütunlarda, 0 numaralı sütun tüm şebekenin kapalı olduğu durumdaki kayıp değerini göstermektedir. 1'den 13'e kadar numaralandırılan sütunlarda ise, anahtarların birer birer açılmasıyla, 1 anahtarın açık 12 anahtarın kapalı olduğu konumdan, 13 anahtarın da açık olduğu radyal konuma gelinceye kadar, her anahtar açma adımı sonrası elde edilen toplam kaybı görmek mümkündür. Son seçilen anahtarın açılmasının ardından toplam kayıp değeri 224.2 kW olarak hesaplanmıştır. Ancak optimum değeri bulmak için lokal optimizasyon sürecinde anahtar değiş-tokuşu ileher anahtar kapatılarak, seçilen alternatifin anahtar açılmakta ve elde edilen kayıp değerleri kontrol edilmektedir. Lokal optimizasyon adımlarında elde edilen kayıp değerleri de sıradaki grafikte sunulmuştur. İlk aşamada elde edilen 219.6 kW kayıp değeri, grafikte 0 numaralı sütunda gösterilmiştir. 1'den 13'e kadar sıralanan sütunlarda ise, her anahtar değiş-tokuşu sonrasında yeni oluşan radyal şebekenin toplam kayıp değerleri gösterilmiştir. Elde edilen yeni kayıp değerinin mevcut değerden daha küçük olması durumunda, anahtar değiş-tokuşu onaylanarak besleme şekli güncellenmiştir. Şebekenin mevcut kayıp değerinden daha küçük kayıp elde edilen 3 numaralı sütun grafikte kırmızı renk ile şekil 4.13'te gösterilmiştir.



Şekil 4.13 Toplam kaybın anahtarlama adımlarına göre değişimi

Anahtarlama optimizasyonu ile elde edilen bu sonuçların doğrulamasının yapılabilmesi için, CYME yazılımında hazırlanan şebeke modeli kullanılmıştır. CYME yük akışı sonuçlarına göre şebekenin mevcut kaybı 264.9 kW olarak hesaplanmış ve CYME anahtarlama optimizasyonu modülü ilebu çalışmada kullanılan algoritma sonucunda, aynı anahtar seçimleri ve şebeke konfigürasyonu elde edilmiştir. CYME optimizasyonunda yapılan anahtarlamalar ve analiz sonuçları aşağıdaki Çizelgelarda görülebilir.

Çizelge 4.5 CYME anahtarlama optimizasyonu anahtar değişiklikleri

			Load Transfered				Losses
Section Id	Action	Switch Id	From	To	Cust.	kW	kW
411	AÇ	411					264.9
408	KAPA	408-1	1	1		2685	244.5
232	AÇ	232					232.3
239	KAPA	239-1	1	1		2950	232.3
290	AÇ	290					221
334	KAPA	334	1	1		2569	221
498	AÇ	498					218.8
497	KAPA	497	1	1		2020	218.8
231	AÇ	231					217.8
232	KAPA	232	1	1		1438	217.8
358	AÇ	358					217.3
359	KAPA	359-1	1	1		757	217.3

Çizelge 4.6 CYME anahtarlama optimizasyonu sonrası şebeke analizi özeti

	Capacity	Initial Load		Final Load		Initial Length	Final Length
Feeder Id	kVA	kVA	%	kVA	%	m	m
1	100000	97173.3	97.17	97242.2	97.24	60741.3	60741.3

CYME anahtarlama optimizasyonu modülü ile elde edilen sonuçlar, şebeke modeli için bu çalışmada kullanılan algoritma ile aynı konfigürasyonu önererek aynı şekilde %18 kayıp azaltma hesaplamaktadır. Bu sonuçlar, kullanılan algoritmanın doğruluğunu teyit eder niteliktedir.

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada akıllı şebeke kavramları tanıtılmış, dünyadaki farklı uygulamalar göz önünde bulundurularak akıllı şebekede gelinen en son durum özetlenmeye çalışılmış ve sezgisel algoritma yöntemiyle yeni bir metot geliştirilerek anahtarlama optimizasyonuyla yeniden yapılandırılma yapılmış, anahtarlama optimizasyonun akıllı şebekeyle ilişkisi incelenmiştir. Akıllı şebekeler kavramı son yıllarda popüler bir kavram olarak öne çıksa da, dünyada nasıl uygulandığı dikkatle incelenmeli ve Türkiye'de nasıl uygulanabileceği, uygulanırken nelere dikkat edilmesi gerektiği netleştirilmelidir. Akıllı şebeke birçok farklı paydaşa yarar sağlasa da, fayda-maliyet analizlerine bakıldığında, maliyetlerin faydalardan daha yüksek olduğu göze çarpmakta ve yatırımların uzun vadelere yayıldığı gözükmektedir. Dolayısıyla hangi yatırımların yapılacağı ve bunların birlikte çalışabilir olması, sürdürülebilirlik, verimlilik ve fayda açısından önemli gözükmektedir. Anahtarlama optimizasyonu çerçevesinde modellenen şebeke için önerilen optimum durumun sahaya uygulanabilmesi, çoğu zaman şebekenin mevcut anahtarlama ekipmanlarının uygun olmaması veya işletme kolaylığı gibi sebeplerle kısıtlanabilmektedir. Bu nedenle algoritmanın gerçekte kullanılabilir çıktılar vermesi ve ideal durumun yanında, uygulanması mümkün olan en iyi anahtar konfigürasyonunu da sunması büyük önem taşımaktadır. Bu çıktıları sağlayabilmek adına, atıfta bulunan algoritmalar incelenmiş, en ideal çözümü sağlayan algoritmalar tespit edilmiş, anahtarlama ekipmanının özellikleri ve herhangi bir kullanım engeline göre anahtarlar gruplandırılarak daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Algoritma bu sayede mevcut şebekede uygulanabilecek gerçek manevraları önererek herhangi bir şebeke yenileme yatırımına ihtiyaç duymadan elde edilebilecek iyileştirmeleri hesaplayabilmektedir.

Anahtarlama optimizasyonu ile bulunan en iyi konfigürasyonun, mevcut durumda uygulanabilecek en iyi besleme şekli ile karşılaştırılması, yapılacak yenileme yatırımları için bir fayda-maliyet analizini mümkün kılmaktadır. Bu çalışma dâhilinde şebeke konfigürasyonunda elde edilebilecek iyileştirmelerin, ekonomik kazanımlarının, şebeke yenileme maliyetleri ile karşılaştırılarak, kayıp ve yatırım giderlerinin dengelenerek bir dağıtım şebekesi için en uygun çözümün elde edilmesi amaçlanmaktadır.

Bu çalışmada ile büyük şebekelerde yüksek hızda optimum konfigürasyon hesaplamaya imkan sağlayan bir algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritmanın kullanılması ile gerçek bir şebekenin incelenen mevcut bir fiderinde OG hat kayıplarının %18 oranında azaltılabileceği ispatlanmıştır. Sabit yükler üzerinde test edilip geliştirilen ve mevcutlardan daha iyi sonuçlar elde edilen bu çalışma, ileride daha da geliştirilip, dinamik yükler için de uygulanarak (saatlik, günlük, aylık, mevsimlik ve yıllık), dinamik anahtarlama yapılmasına imkân sağlayacaktır. Ayrıca, çeşitli arıza senaryoları ve özel yükler tanımlanarak, dağıtım sistemlerinde olabilecek tüm kritik durumların analiz edilebileceği ve optimum sonuçların elde edilebileceği oldukça faydalı ve kapsamlı bir çalışma için bir optimum dağıtım planlama platformu için bir temel oluşturacağı, özellikle akıllı şebeke bileşenlerinin şebekede daha etkin kullanımı ile de daha etkin kullanılabileceği, yeni uygulama potansiyellerini de beraberinde getireceği öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, (2016). ETKB 2015–2019 Stratejik Plan, Ankara.

[2] European Commission, (2006). Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future, Energy Production and Distribution Systems, Unit 2, Belgium.

[3] United States Department of Energy, (2013). Electricity Delivery and Energy Reliability, USA.

[4] Electric Power Research Institue, American Electric Power Service Corporation (AEP) Smart Grid Demonstration, http://smartgrid.epri.com, 12 Aralık 2014.

[5] ETAP, Smart Grid Switching Optimization Software | Switching Sequence Management Software, http://etap.com/smart-grid/smart-grid-switching-optimization.htm, 3 Mart 2016.

[6] Baran, M. E. ve Wu, F. F., (1989). "Network Reconfiguration in Distribution Systems for Loss Reduction and Load Balancing", IEEE Trans Power Delivery, vol. 4, no. 2, April 1989, 1401-1407, USA.

[7] Prasad, K., Ranjan, R., Sahoo, N. C. ve Chaturvedi, A., (2005). "Optimal Reconfiguration of Radial Distribution Systems Using a Fuzzy Mutated Genetic Algorithm", IEEE Trans. Power Del. vol. 20, no. 2, 1211-1213, Malaysia.

[8] Hui, Y., Hua, N., Wang, C., Gong, J. ve Li, X., (2010). "Research on Distribution Network Reconfiguration", IEEE 2010 International Conference on Computer, Mechatronics, Control and Electronic Engineering (CMCE), vol. 1, 176 – 180, China.

[9] Ferdavani, A. K., Zin, A. A. M., Khairuddin, A. ve Naeini, M. M., (2013). "Reconfiguration of distribution system through two minimum-current, neighbour-chain updating methods", IET Gener. Transm. Distrib. vol. 7, iss. 12, 1492-1497, Malaysia.

[10] Nasiraghdam, H. ve Jadid, S., (2012). "Optimal hybrid PV/WT/FC sizing and distribution system reconfiguration using multi-objective artificial bee colony (MOABC) algorithm", Solar Energy, Volume 86, Issue 10, 3057–3071, Iran.

[11] Daniel, L. C., Khan, I. H. ve Ravichandran, S., (2005). "Distribution Network Reconfiguration For Loss Reduction Using Ant Colony System Algorithm", 2005 Annual IEEE INDICON, pp. 619-622, 11-13 Dec. 2005, India.

[12] Assadian, M., Farsangi, M., Nezamabadi, H. ve Bahonar, S., (2007). "Optimal Reconfiguration of Distribution System by PSO and GA using graph theory", 6th WSEAS International Conference on Applications of Electrical Engineering, USA.

[13] Shariatkhah, M. H., Haghifam, M. R. ve Arefi, A., (2011). "Load profile based determination of distribution feeder configuration by dynamic programming", 2011 IEEE Trondheim PowerTech, pp.1-6, Iran.

[14] Shahnia, F., Wolfs, P. J. ve Ghosh, A., (2014). "Voltage unbalance reduction in low voltage feeders by dynamic switching of residential customers among three phases", IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 5, no. 3, pp. 1318-1327, Australia.

[15] HuPing, Y., YunYan, P. ve Ning, X., (2008). "Gradual Approaching Method for Distribution Network Dynamic Reconfiguration", Workshop on Power Electronics and Intelligent Transportation System, PEITS '08, pp.257-260, China.

[16] United States Department of Energy Office of Electric Transmission and Distribution, (2003). " "Grıd 2030" A National Vision For Electricity's Second 100 Years", USA.

[17] IEEE Smart Grid Research Commission, (2013). "Vision for Smart Grid Controls:2030 and Beyond", IEEE 3 Park Avenue New York, USA.

[18] U.S. Department of Energy Office of Electric transmission and Distribution, (2004). "National Electric Technologies Delivery Roadmap – Transforming the Grid to Revolutionize Electric Power in North America", USA.

[19] GridWise. (n.d.), GridWise Architecture Council, http://www.gridwiseac.org, 22 April 2015.

[20] (GWAC) The GridWise Architecture Council. (n.d.), (2015). "Valuation of Transactive Energy Systems Technical Meeting Proceedings", Washington.

[21] Electric Power Research Institue, Electricity Use and Delivery, http://www.epri.com/Our-Work/Pages/Electricity-Use-and-Delivery.aspx, 19 July 2016.

[22] U.S. Government Printing Office, (2007). "Energy Independence and Security Act of", 110th Congress Public Law 140, pp 121 stat. 1492, USA.

[23] Office of the National Coordinator for Smart Grid Interoperability, (2010). NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 1.0, NIST Special Publication 1108, Gaithersburg, USA.

[24] Electric Power Research Institue, (2011). Estimating the Costs and Benefits of the Smart Grid, A Preliminary Estimate of the Investment Requirements and the Resultant Benefits of a Fully Functioning Smart Grid, num. 1022519, Final Report, USA.

[25] European Commission, (2007). “Strategic Research Agenda for Europe’s Electricity Networks of the Future”, European Technology Platform SmartGrids, book. num. 92-79-03727-7, Belgium.

[26] Demirkol, Ö. F., (2014). “Akıllı Şebekelerin Gerekliliği ve Dünyada Uygulamaları”, 2. Uluslararası İstanbul Akıllı Şebekeler Kongre Fuarı, Bildiri Kitabı, 8-9 Mayıs 2014, sayfa 158-160, Ankara.

[27] European Commission Joint Research Centre Institute for Energy and Transport, (2014). Smart Grid Projects Outlook 2014, book. num. 978-92-79-38374-8, Netherlands.

[28] Dönmez, M. (2013). “Akıllı Şebekeler ve Entegrasyon, Akıllı Şebekeler ve Türkiye Elektrik Şebekesinin Geleceği Sempozyumu”, Ankara.

[29] Lu, X. ve Monnier, O., (2005). “Developing robust power line communications (PLC) with G3”, Texas Instruments White Paper Presentation num. 021, USA.

[30] International Conference on Electricity Distribution, CIRED Smart Grids on the Distribution Level – Hype or Vision?, http://www.cired.net/working-groups/smart-grids-on-the-distribution-level-hype-or-vision, 24 September 2016.

[31] Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu, Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik, http://www.epdk.org.tr/tr/anasayfa, 06 Ağustos 2016.

[32] Şimşek, B. ve Bizkevelci E., (2013). “Fotovoltaik Güneş Elektrik Santrallerinin Alçak Gerilim Şebekesine Bağlantı Esasları”, III. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre Ve Sergisi Bildirileri, İzmir.

[33] Bossart, S. ve Giordano, V., (2012). “Assessing Smart Grid Benefits and Impacts: EU and U.S. Initiatives Joint Report”, pp. 6-7, Netherlands.

[34] Yang, C. ve Jackson, R., (2011). “Opportunities and barriers to pumped-hydro energy, storage in the United States”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 15, no. 1, pp. 839-844, USA.

[35] Akhil, A. A., Huff, G., Currier, A.B., Kaun, B. C., Rastler, D. M., Chen, S. B., Cotter, A. L., Bradshaw, D. T. ve Gauntlett, W. D., (2013). “DOE/EPRI 2013 Electricity Storage Handbook in Collaboration with NRECA”, Sandia Report SAND2013-5131, rev.0, USA.

[36] ABB, Energy Storage Keeping Smart Grids in Balance, http://www.abb.com, 2 February 2013.

[37] Crespo, P., “Kokam's 56 Megawatt Energy Storage Project Features World’s Largest Lithium NMC Energy Storage System for Frequency Regulation", http://www.prnewswire.com/news releases/kokams-56-megawatt-energy-storage-project-features-worlds-largest-lithium-nmc-energy-storage-system-for-frequency-regulation-300229219.html, 03 June 2016.

[38] Hering, G., A Reality Check on Energy Storage - EPRI Journal , EPRI Journal, http://eprijournal.com/a-reality-check-on-energy-storage, 07 December 2015.

[39] Baudot, C., Roupioz, G. ve Billet, A., (2015). “Modernizing Distribution Network Management With Linky Smart Meters - Lessons Learned in Greenlys Project”, 23rd International Conference on Electricity Distribution, PP. 1205, France.

[40] International Electrotechnical Commission, (2016). “Smart Grid Standardization Roadmap”, pp.13-24., Switzerland.

[41] International Electrotechnical Commission, (2013). “World Smart Grid Forum 2013”, num. 2013-09, Germany.

[42] International Electrotechnical Commission, (2010). “Smart Grid Standardization Roadmap”, pp.110, Switzerland.

[43] National Certificate in Technology, Distribution Engineering Fundamentals, http://www.ncttech.edu.lk, 24 May 2010.

[44] Civanlar, S., Grainger, J. J., Yin, H. ve Lee, S. S. H., (1988). “Distribution feeder reconfiguration for loss reduction,” IEEE Trans. Power Del. vol. 3, no. 3, pp. 1217–1223, USA.

[45] Gomes, F. V., Carneiro, S., Pereira, J. L. R., Vinagre, M. P. ve Garcia, P. A. N., (2005). “A new heuristic reconfiguration algorithm for large distributionsystems”, IEEE Trans. Power Syst. vol. 20, no. 3, pp. 1373–1378, Brazil.

[46] IEEE 2011 4th International Conference on Modeling , (2011). “A Review On Reconfiguration Of Radial Electrical Distribution Network Through Heuristic Methods”, Simulation and Applied Optimization (ICMSAO), 19-21 April 2011, Malaysia.

[47] Shirmohammadi, D. ve Hong, H. W., (1989). “Reconfiguration of electric distribution for resistive line loss reduction”, IEEE Trans. Power Del. vol. 4, no. 2, pp. 1492–1498, USA.

[48] Goswami, S. K. ve Basu, S. K., (1992). “A new algorithm for the reconfiguration of distribution feeders for loss minimization”, IEEE Trans. Power Del. vol. 7, no. 3, pp. 1484–1491, India.

[49] McDermott, T. E., Drezga, I. ve Broadwater, R. P., (1999). “A heuristic nonlinear constructive method for distribution system reconfiguration”, IEEE Trans. Power Syst. vol. 14, no. 2, pp. 478–483, USA.

[50] Prasad, K., Ranjan, R., Sahoo, N. C. ve Chaturvedi, A., (2005). “Optimal Reconfiguration of Radial Distribution Systems Using a Fuzzy Mutated Genetic Algorithm”, IEEE Trans. Power Del. vol. 20, no. 2, pp. 1211-1213, Apr. 2005, Malaysia.

[51] Asrari, A. ve Lotfifard, S., (2014). “Optimal distribution network reconfiguration using dynamic fuzzy based genetic algorithm”, 2014 IEEE Innovations in Technology Conference, pp.1 – 7, USA.

[52] Assadian, M., Farsangi, M., Nezamabadi-pour, H. ve Bahonar, S., (2007). “Optimal Reconfiguration of Distribution System by PSO and GA Using Graph Theory”, 6th WSEAS International Conference on Applications of Electrical Engineering, Iran.

[53] Daniel, L. C., Khan, I. H. ve Ravichandran, S., (2005). “Distribution Network Reconfiguration For Loss Reduction Using Ant Colony System Algorithm”, 2005 Annual IEEE INDICON, pp. 619-622, 11-13, India.

[54] Nasiraghdam, H. ve Jadid, S., (2012). “Optimal hybrid PV/WT/FC sizing and distribution system reconfiguration using multi-objective artificial bee colony (MOABC) algorithm”, Iran.

[55] Babu, P. R., Vanamali, M. P. R., Kumar, M. P. V. V. R. ve Hemachandra, V. S., (2010). “Network Reconfiguration in Distribution Systems Using L-E Method”, 2010 Annual IEEE India Conference (INDICON), pp. 1-4, India.

[56] Qiuyu Peng ve Steven H. Low, (2013). “Optimal Branch Exchange for Feeder Reconfiguration in Distribution Networks”, 52nd IEEE Conference on Decision and Control, pp.2960-2965, USA.

[57] Raju, G. K. V. ve Bijwe, P. R., (2008). “Efficient reconfiguration of balanced and unbalanced distribution systems for loss minimisation”, IET Gener. Transm. Distrib. Jan. 2008, vol. 2, iss. 1, pp. 7-12, India.

[58] Peponis, G. J. ve Papadopoulos, M. P., (1997). “New dynamic, branch exchange method for optimal distribution system planning”, IET Gener. Transm. Distrib. vol. 144, iss. 3, pp. 333-339, Greece.

[59] Booth, C., McDonald, J. R. ve Verster, P., (1999). “Dynamic Network Reconfiguration for Medium Voltage System Automation”, IEEE Transmission and Distribution Conference, vol.2, pp.746-752, U.K.

[60] Ferdavani, A. K., bin Mohd Zin, A. A. ve Azhar bin Khairuddin, (2011). “A Review On Reconfiguration Of Radial Electrical Distribution Network Through Heuristic Methods”, IEEE 2011 4th International Conference on Modeling, Simulation and Applied Optimization (ICMSAO), Malaysia.

[61] Opazo, H., García-Santander, L. ve Pezoa, J. E., (2012). “Minimal Loss Reconfiguration of Power Distribution Networks Under Time-varying Demand”, International Conference on Computational Engineering in Systems Applications (CESA), U.K.

[62] Shariatkhah, M. H., Haghifam, M. R., Salehi, J. ve Moser, A., (2012), “Duration based reconfiguration of electric distribution networks using dynamic programming and harmony search algorithm”, International Journal of Electrical Power & Energy Systems vol.41, iss 1, pp.1-10, Iran.

[63] Mehdi Assadian, Malihe M. Farsangi, Hossein Nezamabadi-pour, (2007). “Optimal Reconfiguration of Distribution System by PSO and GA using graph theory”, Proceedings of the 6th WSEAS International Conference on Applications of Electrical Engineering, Istanbul, Turkey, 85, Iran.

[64] Baudot, C., Roupıoz, G. ve Bıllet, A., (2015). “Modernizing Distribution Network Management With Linky Smart Meters - Lessons Learned In Greenlys Project”, 23rd International Conference on Electricity Distribution, pp. 105, France.

[65] Rashtci, V. ve Pashai, S., (2012). “Network Reconfiguration in Distribution Power System with Distributed Generators for Power Loss Minimization”,

International Conference on Advances in Computer and Electrical Engineering, India.

[66] Pavani, P. ve Singh, S. N., (2013). “Reconfiguration of radial distribution networks with distributed generation for reliability improvement and loss minimization”, IEEE Power and Energy Society General Meeting (PES), India.

[67] Franco, J. F., Rider, M. J., Lavorato, M. ve Romero, R., (2013). “A mixed-integer LP model for the reconfiguration of radial electric distribution systems considering distributed generation”, Electric Power Systems Research vol. 97, pp. 51-60, Brazil.

[68] Ahmadi, H. ve Marti, J. R., (2010). “Mathematical representation of radiality constraint in distribution system reconfiguration problem”, International Journal of Electrical Power & Energy Systems vol.32, iss 2, pp.126-132, Canada.

[69] Mello, A. P. C., Bernardon, D. P. ve Pfitscher, L. L., (2013). “Reconfiguration of Distribution Network considering Distributed Generation and Multivariables Criteria”, IEEE Power Engineering Conference (UPEC), Mongolia.

[70] Rao, R. S., Ravindra, K., Satish, K. ve Narasimham, S. V. L., (2013). “Power Loss Minimization in Distribution System Using Network Reconfiguration in the Presence of Distributed Generation”, IEEE Transactions on Power Systems, vol:28, iss 1, pp. 317 – 325, India.

[71] Chandramohan, S., Atturulu, N., Devi, R. P. K. ve Venkatesh, B., (2010). “Operating cost minimization of a radial distribution system in a deregulated electricity market through reconfiguration using NSGA method”, International Journal of Electrical Power & Energy Systems vol.32, iss 2, pp.126-132, Canada.

[72] Zhanga, P., Lib, E. ve Wangc, S., (2012). “Reliability-oriented distribution network reconfiguration considering uncertainties of data by interval analysis”, International Journal of Electrical Power & Energy Systems vol.34, iss 1, pp.138-144, Canada.

[73] Rao, R. S. ve Narasimham, S. V. L., (2009). “A New Heuristic Approach for Optimal Network Reconfiguration in Distribution Systems”, International Journal of Computer, Electrical, Automation, Control and Information Engineering Vol:3, No:9, Egypt.

[74] Hussain, I. ve Roy, A. K., (2012). “A new heuristic approach for optimal reconfiguration of distribution systems for improvement of power delivery efficiency through loss reduction”, International Conference on IEEE Advances in Engineering, Science and Management (ICAESM), India.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : İlker DURSUN

Doğum Tarihi ve Yeri : 30.06.1981 / Samsun

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : idursun@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	**Alan**	**Okul/Üniversite**	**Mezuniyet Yılı**
Y. Lisans	Elektrik Mühendisliği	Sakarya Üniversitesi	2006
Lisans	Elektrik-Elektronik Mühendisliği	Sakarya Üniversitesi	2003
Lise	Fen Bilimleri	A. Rıfat Canayakın Lisesi	1999

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	**Firma/Kurum**	**Görevi**
2013-	Boğaziçi Elektrik Dağıtım A.Ş.	AR-Ge ve İnovasyon Direktörü
2011-2013	IDS Piomak A.Ş.	Genel Müdür Yrd.
2004-2011	Boğaziçi Elektrik Dağıtım A.Ş.	Proje Mühendisi / Etüt ve Proje Müdürü

YAYINLARI

Makaleler

1. ICT Enerji, Uluslararası Enerji Dergisi / Ekim 2014 / Sayı 6 / Sayfa 54-61, Smart Grid Nedir ve dünyadaki uygulamalar nelerdir? / İ.Dursun
2. International Journal of Electronics and Electrical Engineering Vol. 4, No. 1, February 2016, Reconfiguration of Actual Distribution Network with Optimum Power Flow for Loss Reduction, İ.Dursun, F.Karaosmanoğlu, Prof.Dr. N.Umurkan

Projeler

1. Dağıtım Şebekesinde AG/OG Şebeke Modelinin Oluşturulması ve Teknik Kayıpların Dinamik Olarak Hesaplanması Projesi
2. DAGSİS Projesi (Dağıtıma Gömülü Sistemlerin-Dağıtık Üretim, Elektrikli Araçlar ve Enerji Depolama- Şebeke Üzerindeki Etkileri ve Optimizasyonunu Projesi)
3. Hibrit Haberleşme Altyapısı ile Pilot Akıllı Sayaç Uygulaması, Fizibilitesi ve Yaygınlaştırma Yol haritası Belirleme Projesi
4. BEDAŞ Orta Gerilim Şebekesinin Kapalı Ring İşletimi İçin Koruma/Kontrol Sisteminin Tasarımı, OG Şebekenin Kapalı Ring İşletimi İçin Yeniden Yapılandırılması ve Pilot Bölge Uygulaması Projesi
5. Yeraltı Kablolarının Aşırı Yüklenme Kaynaklı Arıza ve Ömür Kısalması Durumlarının Analizi ve Çözüm Önerilerinin Sunulması Projesi
6. OG havai hat ve kablo şebekelerinde gerilim regülasyonu ve hat kayıplarının minimizasyonu için otomatik gerilim regülatörü (booster trafo) pilot uygulaması
7. Türkiye Akıllı Şebeke 2020 Vizyon ve Strateji Belirleme Projesi (T.A.Ş. 2020)

Konferans ve Sunumlar

1. ICSG 2015 – Smart Metering Pilot Project
2. ICSG 2016 – Smart Grid Studies and Pilot Project