T.C
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKILLI ELEKTRİK ŞEBEKELERİ İLE DAĞILMIŞ ENERJİ ÜRETİM SİSTEMLERİNİN ETKİLEŞİMİ

OZAN GÜL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK ANABİLİM DALI

AĞUSTOS 2013

Tezin Başlığı: Akıllı Elektrik Şebekeleri ile Dağılmış Enerji Üretim Sistemlerinin Etkileşimi

Tezi Hazırlayan: Ozan Gül

Sınav Tarihi: 14.08.2013

Yukarıda adı geçen tez jürimizce değerlendirilerek Elektrik-Elektronik Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jüri Üyeleri

Tez Danışmanı: **Yrd. Doç. Dr. Asım KAYGUSUZ**
İnönü Üniversitesi .....

Prof. Dr. M. Salih MAMİŞ
İnönü Üniversitesi .....

Doç. Dr. Serdar E. HAMAMCI
İnönü Üniversitesi .....

Prof. Dr. Mehmet ALPASLAN
Enstitü Müdürü

ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum "Akıllı Elektrik Şebekeleri ile Dağılmış Enerji Üretim Sistemlerinin Etkileşimi" başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Ozan GÜL



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AKILLI ELEKTRİK ŞEBEKELERİ İLE DAĞIILMIŞ ENERJİ ÜRETİM SİSTEMLERİNİN ETKİLEŞİMİ

Ozan Gül

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Ensitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

80+x sayfa
2013
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Asım Kaygusuz

Akıllı şebekeler, gelişmiş ve otomatik bir enerji dağıtım ağı oluşturmak için elektrik ve bilginin iki yönlü akışını kullanan yeni nesil elektrik şebekeleri olarak kabul edilir. Akıllı şebekelerde enerji üretimindeki yönelim ise dağıtılmış enerji üretimi olacaktır. Dağıtılmış enerji üretiminin en önemli avantajı güneş ve rüzgar gibi enerji üretim süreksizliğine sahip yenilenebilir enerji kaynaklarının güç sistemine dağıtık entegrasyonudur. Bu nedenle, süreksiz kaynakların güç üretim değişkenliklerini göz önünde tutan yük akış analizlerine ihtiyaç vardır. Bu tip analizler, süreksiz dağıtık üretimimin yaygınlaştığı güç sistemlerinin yönetimi ve planlamasında önemli bileşenler haline gelecektir.

Bu tez çalışmasında akıllı şebekeler hakkında gelişmeler aktarıldıktan sonra saat-bazlı günlük ortalama üretim profilleri ile modellenebilen yenilenilir dağıtık kaynakların ve saat-bazlı günlük ortalama tüketim profilleri ile modellenebilen yüklerin sisteme katıldığı durumlar için 24 saatlik dinamik yük akış analizi yapılmıştır. Bu analiz için Newton-Raphson güç akış analiz yöntemi modifiye edilerek geliştirilmiş ve örnek sisteme uygulanmıştır. Bu yöntemi bilgisayar benzetimi yoluyla çözmek için literatürde sıkça kullanılan IEEE-39 baralı test sistemi seçilmiştir. Bu analizlerde, gün içi bara gerilim seviyesi, güç faktör değişimleri ve hat kayıpları analiz edilerek değerlendirilmiştir.

Çalışma sonunda dağıtık yenilenebilir kaynakların, gerilim seviyesinde ciddi bir değişime neden olmadığı, güç faktöründe ise artan üretim ile birlikte dikkate değer düşüşlerin olabileceği görülmüştür. Sisteme bağlanan yenilebilir enerji kaynaklarının gücünün artmasının hat üzerinde harcanan aktif güç kayıplarını arttırdığı gözlemlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Akıllı şebekeler, Newton-Raphson metodu, yük akış analizi, günlük saat bazlı yük akış analizi, dağıtık kaynaklar, yenilenebilir güç kaynak entegrasyonu

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

SMART ELECTRICITY NETWORKS AND DISTRIBUTED ENERGY GENERATION SYSTEMS IMPACT

Ozan Gül

Inonu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electric and Electronic Engineering

80+x sayfa
2013
Supervisor: Asst. Prof. Dr. Asım Kaygusuz

The Smart Grid, regarded as the next generation power grid, uses two-way flows of electricity and information to create a sophisticated and automated energy delivery network. A key power generation paradigm enabled by Smart Grid will be the distributed generation. Distributed generation takes advantage of dense integration of intermittent renewable energy sources based on solar and wind energy. Hence, there is need for the load flow analyses that consider the variability and fluctuations of discrete renewable sources. These analyses will be useful for management and planning of the power systems containing distributed renewable energy generation.

In this thesis work we mention about the latest developments in Smart Grid and then conduct 24-hours load flow analyses for power system containing intermittent renewable sources and loads. These sources and loads are modeled by hourly generation profiles. For this analyses, a algorithm which modified Newton-Raphson method used in test system. IEEE-39 bus test system commonly used in the literature is used to execute these methods. In these analysis bus voltage, power factor and line losses changes in buses are evaluated for a day.

It was found that bus voltages did not alter considerably; however, as increasing volume of distributed renewable generation, power factors could decrease. Increasing the power of renewable energy resources, system active power losses spent on the transmission line increase.

KEYWORDS: Smart grid, Newton-Raphson method, load flow analysis, load flow analysis based on daily hours, distributed sources, the integration of renewable power sources

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı yöneten ve çalışmanın her aşamasında ilgi ve desteğini esirgemeyen hocam Yrd. Doç. Dr. Asım KAYGUSUZ'a;

Tezde kullanılan güç akış analizi yazılımında ve simulasyon analizinde benden yardımlarını esirgemeyen bölümünüz doktora öğrecilerinden değerli arkadaşım Barış Baykant ALAGÖZ'e;

Çalışmalarım boyunca bana hep destek olan İnönü Akıllı Şebekeler Grubundaki arkadaşlarıma;

Maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve sürekli yanımda olup bana destek olan babam Sefer GÜL'e ve annem Sultan GÜL'e

sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET……...i
ABSTRACT……...ii
TEŞEKKÜR……..iii
İÇİNDEKİLER……iv
ŞEKİLLER LİSTESİ……vi
ÇİZELGELER LİSTESİ……viii
SİMGELER VE KISALTMALAR……...ix
1. GİRİŞ……1
1.1. Tezin Amacı ve Kapsamı 2
2. KURAMSAL TEMELLER……...4
2.1. Akıllı Şebeke (Smart Grid) Nedir? 4
2.2. Akıllı Altyapı Sistemi 7
2.2.1. Akıllı Enerji Sistemi.....7
2.2.2. Akıllı Bilgi Sistemi 9
2.2.3. Akıllı İletişim Sistemi 10
2.3. Akıllı Yönetim Sistemi 12
2.4. Akıllı Koruma Sistemi 13
2.4.1. Sistem Güveninirliği ve Arıza Koruması.....13
2.4.2. Güvenlik ve Gizlilik.....14
2.5. Akıllı Şebekede Gelecek Öngörüleri 17
2.6. Dünya'da Akıllı Şebekelere İlişkin Gelişmeler 19
2.7. Türkiye İçin Akıllı Şebeke Yol Haritası 21
2.8. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Akıllı Şebekelere Entegrasyonu 23
2.9. YEK'lerin Akıllı Şebekelere Entegrasyonu Konusunda Dünyadaki Gelişmeler 28
3. MATERYAL VE YÖNTEM……...30
3.1. Materyal 30
3.1.1. Güç Sistemi Verilerinin Hazırlanması 30
3.2. Yöntem.....34
3.2.1. Yük Akış (Güç Akış) Analizleri 34
3.2.2. Numerik Analiz Metodu 35
3.2.3. Güç Akış Denklemleri.....36
3.2.4. Newton-Raphson Metodu 37

3.2.5. Newton-Raphson Metodu Temelinde 24-Saatlik Dinamik Yük Akış Analizi. 39
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA……42
4.1. IEEE 39-Bus Test Güç Sistemi Üzerinde 24 saatlik Dinamik Yük Akış Analizleri 42
4.2. IEEE 39-Bus Test Güç Sistemi Üzerinde 24 saatlik Dinamik Yük Akış Sonuçları....44
4.3. Bara-15, Bara-27 ve Bara-28 İçin Yük Akışı Sonuç Analizleri....46
4.3.1. Bara-15 İçin Yük Akışı Sonuç Analizi 46
4.3.2. Bara-27 İçin Yük Akışı Sonuç Analizi 47
4.3.3. Bara 28 İçin Yük Akışı Sonuç Analizi....49
4.4. 24-Saatlik Dinamik Güç Akışı Analizlerinde Hat Kayıpları 50
5. SONUÇ VE ÖNERİLER…….52
6. KAYNAKLAR……54
7. EKLER…….58
ÖZGEÇMİŞ…….80

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Elektrik ve bilgi altyapısının birleşimi ile akıllı şebekenin oluşumu.... 5

Şekil 2.2. Akllı enerji sistemi 8

Şekil 2.3. Örnek bir akıllı şebeke sistemi genel yapısı 18

Şekil 2.4. Türkiye akıllı şebeke evrimi 22

Şekil 2.5. Türkiye yol haritası 22

Şekil 2.6. Akıllı şebeke uygulama adımları 23

Şekil 2.7. Yenilenebilir enerji kaynakları ve akıllı şebeke entegrasyonu 25

Şekil 2.8. Dağıtık üretim tesisleri ve bağlantılı fiderlerin bulunduğu bir dağıtım sistemi tek hat şeması 26

Şekil 2.9. DESERTEC projesi 29

Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan IEEE 39-baralı test sistemi diyagramı 31

Şekil 3.2. 24-Saatlik yük akış analizi için hesaplama adımları akış diyagramı .. 40

Şekil 4.1. Örnek uygulama için IEEE 39-bus test sistemi 43

Şekil 4.2. (a) Sanayi bölgelerinin güç tüketimini modelleyen az değişimli yük talep profili (P_{L1}, Q_{L1}) (b) Tüketici bölgeleri güç sarfiyatını modelleyen, yüksek değişkenlikli yük talep profili (P_{L2}, Q_{L2})..... 43

Şekil 4.3. (a) Sürekli enerji kaynakları üretim profili (G_{P1}, G_{Q1}) (b) Rüzgar enerji kaynakları üretim profili (G_{P2}, G_{Q2}) (c) Güneş enerji kaynakları üretim profili (G_{P3}, G_{Q3})..... 44

Şekil 4.4. (a) IEEE-39 bus test sisteminin MD senaryosu analizinde elde edilen Bara gerilim seviyeleri 24-saatlik profilleri. (b) Baraların günlük gerilim değişkenlikleri (c) Baraların günlük güç faktörü değişkenlikleri 45

Şekil 4.5. (a) IEEE 39-bus güç sisteminin MD, DU ve DU çeşitli enerji durum senaryoları için yapılan 24-saatlik yük akış analizinde elde edilen günlük gerilim değişkenlikleri (b) güç faktörü değişkenliklerinin karşılaştırması..... 46

Şekil 4.6. Bara-15 için hesaplanan 24-saatlik gerilim seviyeleri (a), güç faktörleri (b), aktif ve reaktif güç (c)-(d) profilleri 47

Şekil 4.7. Bara-27 için hesaplanan 24-saatlik gerilim seviyeleri (a), güç faktörleri (b), aktif ve reaktif güç (c)-(d) profilleri 48

Şekil 4.8. Bara-28 için hesaplanan 24-saatlik gerilim seviyeleri (a), güç faktörleri (b), aktif ve reaktif güç (c)-(d) profilleri 49

Şekil 4.9. MD,DU, DUx5, DUx8 seneryoları için aktif güç kayıpları……50

Şekil 4.10. MD,DU, DUx5, DUx8 seneryoları için reaktif güç kayıpları……...51

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 2. 1. Mevcut statik şebekeler ve akıllı şebeke karşılaştırması 6

Çizelge 2. 2. IEEE Akıllı şebeke standartları…… 15

Çizelge 3.1. Test sistemi bara verileri 31

Çizelge 3.2. Test sistemi hat verileri 32

Çizelge 7.1. MD senaryosu saat 14:00 için Newton-Raphson 24 saatlik dinamik güç akış analizi hat sonucu 58

Çizelge 7.2 DU senaryosu saat 14:00 için Newton-Raphson 24 saatlik dinamik güç akış analizi hat sonucu 63

Çizelge 7.3. DUx5 senaryosu saat 14:00 için Newton-Raphson 24 saatlik dinamik güç akış analizi hat sonucu 70

Çizelge 7.4. DUx8 senaryosu saat 14:00 için Newton-Raphson 24 saatlik dinamik güç akış analizi hat sonucu 75

SİMGELER VE KISALTMALAR

B	İletim hattı süseptansı
$\cos\theta_\sigma$	Güç faktöründeki değişkenlik
I_i	*i* barasının akımı
Ii^*	Akım eşleniği
J	Jacobian matrisi
m	İteratif çözüm adım numarası
n	Bara sayısı
P	Aktif Güç
p.u.	Taban değer (per unit)
Q	Reaktif Güç
R	İletim hattı direnci
X	İletim hattı reaktansı
Yi	*i* barasının gerilimi
y_{ij}	*i* ve *j* baraları arası iletim hattı admitansı
δ	Gerilim faz açısı
ΔV	Gerilimdeki değişim
$\Delta\delta$	Faz açısındaki değişim
θ	Admitans açı değeri
$\sigma(.)$	Bara geriliminin günlük standart sapması
$\mu(.)$	Bara geriliminin günlük ortalama değeri
V_σ	Değişkenlik faktörü
$\|V\|$	Bara gerilim genliği

Kısaltmalar

AMI	İleri Ölçüm Altyapısı (Advanced Metering Infrastructure)
AMR	Otomatik Sayaç Okuma (Automatic Meter Reading)
BPL	Elektrik hatları üzerinde geniş hat (Broadband over Power Lines

DOE	Amerika Enerji Departmanı (Department of America)
DoS	Hizmet Reddi (Denial of Service)
DU	Dağıtık üretim durumu
DUx5	Dağıtık enerji üretiminin 5 katına çıktığı durum
DUx8	Dağıtık enerji üretiminin 8 katına çıktığı durum
DÜ	Dağıtık Üretim
DÜS	Dağıtık Üretim Sistemleri
DSL	Sayısal Abone Hattı (Digital Subscriber Line)
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MD	Yenilenebilir dağıtık kaynakların bulunmadığı merkezi üretim durumu
RF	Radyo Frekansı
SG	Akıllı Şebeke (Smart Grid)
WMN	Kablosuz Örgü Ağları (Wireless Mesh Networks)
YEK	Yenilenebilir Enerji Kaynakları
YG	Yüksek Gerilim

1. GİRİŞ

Elektrik üretimi, doğal gaz, kömür, nükleer enerji, güneş ve rüzgâr gibi diğer enerji formlarından elektrik üretme sürecidir. 1820'li yıllar ve 1830'ların başlarında, İngiliz bilim adamı Michael Faraday elektriğin bir mıknatısın kutupları arasındaki tel bir halkanın veya bakır bir diskin döngü hareketi ile oluşturulabiliceğini göstererek elektrik üretiminin bugün de kullanılan temel ilkelerini keşfetti.

Elektrik şebekesi terimi geleneksel haliyle aşağıda belirtilen dört ayrı operasyonun bir kısmını veya tamamını destekleyen bir elektrik sistemi için kullanılır: elektrik üretimi, elektrik iletimi, elektrik dağıtımı ve elektrik kontrolü. Ülkemizde ve dünyanın bir çok ülkesinde elektrik şebekeleri; büyük enerji santrallerinin birbirlerine uzun iletim hatları ile enterkonnekte sistemi oluşturacak şekilde bağlandığı bir yapıdadır [1]. Yakın zamana kadar zengin doğal kaynakların bulunduğu coğrafi bölgelerde büyük miktarlarda üretilen elektrik enerjisi uzun iletim hatlarıyla tüketiciye ulaştırılmaktaydı [2]. Yeni yönelim ise elektrik enerjisinin merkezi değil dağıtılmış olarak üretilip tüketilmesidir. Hidrolik, jeotermal, biyogaz, güneş pilleri ve özellikle rüzgar türbinleri gibi yenilenebilir enerji üretim teknolojilerindeki gelişmeler dağıtık enerji üretimi konusunda kamuoyunu motive etmektedir.

Özellikle yenilenebilir dağıtık enerji üretiminin önem kazanması ile birlikte, gerçek zamanlı fiyatlamanın yapıldığı serbest piyasa sisteminde akıllı sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Böylelikle talep de gerçek zamanlı olarak kısmen dengelenebilecek ve tevzilenemeyen fakat öngörülebilen yenilenebilir elektrik üretiminin şebeke üzerinde neden olduğu olumsuz etkiler en aza indirmiş olacaktır [3]. Güç şebekelerinin eksiklerin giderilmesi ve geliştirilebilmesi akıllı şebekeler ile sağlanabilir. Akıllı şebekeler en basit anlamda mevcut şebekelere günümüzün ağ ve bilgisayar teknolojisinin bütünleştirilmesidir [4]. Akıllı şebekeler, otomatik ve gelişmiş bir enerji dağıtım ağı oluşturmak için iki yönlü (tüketiciden üreticiye, üreticiden tüketiciye) elektrik ve bilgi aktarımını kullanır. Bu sayede aşırı yüklenmeleri hissedebilecek, enerji akış yönlerini düzenleyecek, yenilenebilir enerji kaynakları kullanımını optimize edecek ve kullanıcı maliyetlerini aşağı çekecek çevreci bir sistem oluşturacaktır.

2003 yılında Amerika Birleşik devletlerinde meydana gelen enerji kesintisi komşusu Kanada da enerji kesintisine yol açmış ve kesinti nedeni ile yaklaşık 55.000.000 kişi [5], 2012 yılında Hindistan da meydana gelen enerji kesintisinde ise 300.000.000 kişi [5] enerjisiz kalmıştır. Bu olaylarla 1883 yılında kurulmaya başlanan elektrik şebekelerinin komple yenilenip akıllı yapılara dönüştürülmesine ihtiyaç duyulduğu belirlenmiştir.

1.1. Tezin Amacı ve Kapsamı

Rüzgar ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik üretiminin, küresel iklim ve çevre kirliliği üzerinde daha az olumsuz etkiye sahip olması, enerji üretimi için yakıt gerektirmemesi gibi önemli avantajlara sahip olmasından dolayı toplam enerji üretimindeki payı gün geçtikçe artmaktadır [6]. Bu tür yenilenebilir kaynakların, geleneksel güç sistemine entegre edilmesinin önündeki en önemli güçlük, üretim süreksizliği ve belirsizlikleri olarak gösterilmektedir. Üretim belirsizlikleri ve süreksizlikleri, sistemin yük akışlarında anlık değişimlere neden olabilmektedir. Bu değişimlerin sisteme negatif etkilerinin önceden tespit edilmesi, önleyici tedbirlerin ve planlamaların uygulanması, sağlıklı ve etkin güç dağıtımı için gereklidir. Bundan dolayı, yenilebilir dağıtık enerji kaynaklarının belirsizlik içeren karakterinin, sistemin yük akış kararlılığına etkilerinin incelenmesi oldukça önem kazanmaktır.

Yük akış analizi için şimdiye kadar farklı matematiksel teknikler kullanılmıştır. Bu teknikler Newton-Raphson [7], Fast-Decoupled [8,9], Gauss–Seidel [10] gibi matematiksel algoritmalardır. Bu algoritmalar arasından Newton-Raphson metodu yük akışı denklemlerinin çözümü için iteratif metotlara (Gauss, Gauss-Seidel) göre kuadratik yakınsama karakteristiğine sahiptir [11]. Özellikle büyük çaplı güç sistemleri için Newton-Raphson metodu çok daha verimli ve uygulanabilirdir.

Bu çalışmada, dağıtık yenilenebilir enerji kaynaklarının güç sistemi yük akışına etkileri Newton-Raphson metodu temelinde 24-saatlik dinamik yük akış analizleri yardımı ile incelenmiştir. Bu amaçla, güç üretim belirsizliği ve süreksizliği sergileyen yenilenebilir kaynaklar, 24-saatlik ortalama üretim profilleri ile tanımlanmıştır. Bu kaynaklar, IEEE 39 bara güç sistemine dağıtılarak, güç sisteminin yük akış analizi saatlik bazda günlük olarak incelenmiştir.

Bu analizlerde, güç sistemin gün içinde maruz kalabileceği değişken güç talep koşullarının analizlere yansıtılması için baralara bağlı yükler 24 saatlik ortalama güç talep profilleri yardımı ile dinamik olarak modellenmiştir. Bu sistemde çeşitli senaryolar için saatlik periyotla örneklenmiş yük akış analizleri, Newton-Raphson nümerik çözümleri temelinde gerçekleştirilmiş ve böylece hızlı ve düşük yakınsama hatalı, yük akış çözümlemeleri elde edilebilmiştir. Elde edilen çözümler üzerinde, istatistiki analizler yapılarak, gün içi bara gerilim seviyesi değişimleri ve bara güç faktörü değişimleri incelenmiş, değişkenlik faktörü analizleri yapılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Akıllı Şebeke (Smart Grid) Nedir?

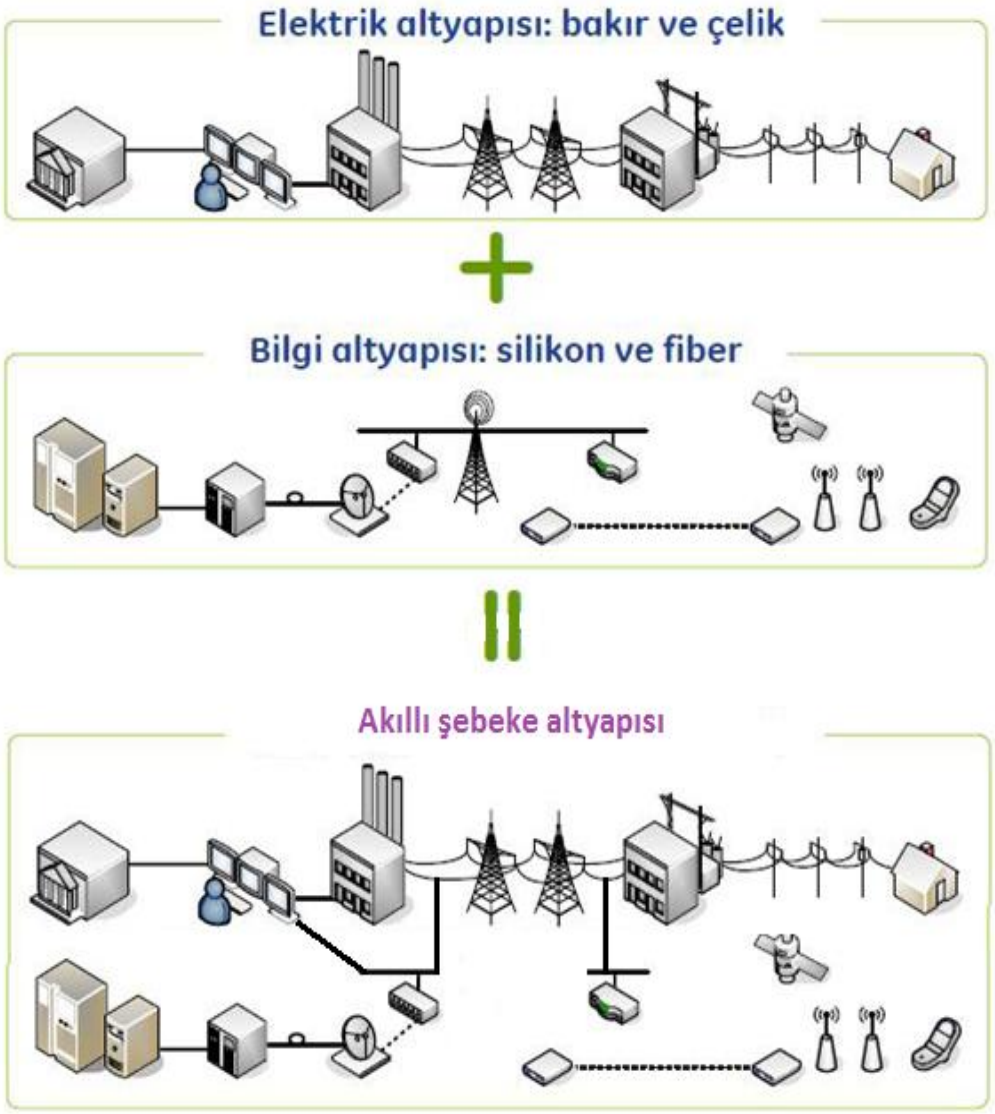
Güç şebekesi açısından düşünüldüğüne sistemdeki tüm noktaların uyanık, tepkili, adaptif, maliyet açısından uygun, çevre ile dost, eş-zamanlı, esnek, kuvvetli ve her sistemle bağlanabilen bir yapıda olması akıllı yapıyı oluşturmaktadır [12]. Zaten dinamik yapıya sahip olan elektrik enerjisi, akıllı şebeke yolu ile canlanmakta; akıllanmakta ve yaşayan bir sistem haline gelmektedir. Akıllı şebeke (SG), akım kontrolünü optimize eden ve alternatif enerji üretimini destekleyen enerji iletim ve dağıtım sistemlerinin dijital bir versiyon yükseltimi olarak kabul edilebilir. Akıllı şebekelerin faydaları, sadece işletme maliyetlerini düşürmekle sınırlı değildir. Ertelenen ya da değiştirilen yatırımlara uyumlu olabilme faydası da bulunmaktadır. Akıllı bir iletim sistemi problemli bölgeleri hızlı bir şekilde izole ederek geniş çaplı enerji kesintilerinin önüne geçmekle kalmaz, sistem çökmeleri sonrasında tekrar toparlanma sürecini düzenleyip otomatikleştirebilir ve hızlandırabilir [13].

Diğer bir ifadeyle akıllı şebeke otomasyon ve bilgi işlem teknolojileri kullanılarak elektrik ve bilgi altyapılarının bir araya getirilmesidir [14].

Bu yapı, dağıtım sistemlerinde hızlı iletişime sahip röleler ve kullanıcıyı bilinçlendiren kayıp kaçak oranlarını belirleyebilen ve çift yönlü okuma yapabilen sayaçlar ile oldukça etkin bir konumdadır. Ayrıca, klasik sistemlerden farklı olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının katılımı ile değişen yük akışı yapılarına uyum sağlayabilen bir yapıdadır.

Akıllı şebeke ile birlikte tüm koruma koordinasyonu ve anahtarlama yapıları değişebilecektir. Böyle bir değişimle klasik yapılar ile başa çıkmak neredeyse imkânsızdır. Bunun yanında, bağımsız enerji bölgelerini ifade eden mikro şebeke yapısı (Microgrid), gerçeğe dönüşmek için akıllı şebeke yapısına ihtiyaç duymaktadır. Mükemmel bir güç sistemi, tüketicilerini enerjisiz bırakmamalıdır. Yakıt açısından verimli ve doğa ile dost bir yapıda olmalıdır. Doğal afetlerde ayakta durmayı becerebilmeli ve terörist saldırılarda etkiyi minimize edici bir yapıya sahip olmalıdır. Böyle bir yapıya sahip olmanın maliyeti de minimize edilmiş olmalıdır. Gücün kalitesini iyileştirmek, daha fazla kaynağa sahip olma anlamına gelmemektedir. Güç iletim sisteminin ekonomikliği hesaplanırken

yaşanan enerji kesintileri göz önünde bulundurulmalıdır. Geleceğin yapıları bu nedenle, yenilenebilir enerji kaynaklı üretimlerin yoğunlaştığı dağıtılmış üretim yapısında depolama sistemlerine de sahip bir bütünü ifade edecektir. Akıllı bir şebekede kesici ve ayırıcıların otomatik koordinasyonu, oluşan bir arıza sonrası yüklere alternatif besleme yolları oluşturulabilir. Akıllı bir iletim sistemi için akıllı bir dağıtım altyapısının da olması, koordineli haberleşme ve koordineli anahtarlama açısından oldukça önem arzetmektedir [15,16]. Şekil 2.1'de akıllı şebekelerde otomasyon ve bilgi işlem teknolojilerinin bir araya getirilmesi gösterilmiştir [17].



Şekil 2.1. Elektrik ve bilgi altyapısının birleşimi ile akıllı şebekenin oluşumu

Günümüzde kullanılan şebekelerle, akıllı şebekeler arasında birçok fark vardır. Günümüzde kullanılan şebekelerde enerji kesintileri müşteri tarafından merkeze bildirilirken, akıllı şebekelerde elektrik şirketi kesintiyi görür, yalıtır, otomatik olarak uzaktan yeniden besler. Bu kesintiler akıllı şebekelerde her tarafta kullanılan sensörler sayesinde farkedilir. Bu sistemin mevcut sistem ile karşılaştırmaları ise Çizelge 2.1 'de verilmiştir [17].

Çizelge 2.1. Mevcut statik şebekeler ve akıllı şebeke karşılaştırması [17]

ESKİ ŞEBEKE	AKILLI ŞEBEKE
Enerji kesintisini müşteri çağrı merkezine bildirir	Elektrik şirketi kesintiyi görür, yalıtır, otomatik ve/veya uzaktan yeniden besler
Elektrik şirketi puant talebini karşılamak için ne gerekiyorsa yapar	Elektrik şirketi puant talebini yönetir, CAPEX'ini azaltır
Yenilenebilir/Dağıtılmış enerji kaynaklarını şebekeye bağlamak zordur	Yenilenebilir/Dağıtılmış enerji kaynaklarını şebekeye bağlamak için gerekli altyapı hazırdır
OG / AG kayıpları %10 civarında kabul edilir	OG / AG kayıpları %7 – 8 mertebelerine indirilir

Akıllı şebekeleri üç ana konu başlığı altında inceleyebiliriz. Bunlar akıllı altyapı, akıllı yönetim ve akıllı koruma sistemleridir.

Akıllı altyapı sistemi: Akıllı altyapı sistemi SG altında yatan enerji, bilgi ve iletişim altyapısıdır. Bu altyapı elektrik ve bilgilerin iki yönlü akışını destekler. Elektriğin iki yönlü akışı kavramı elektrik enerjisi dağıtımının artık tek yönlü olmadığını anlatmaktadır [18].

Örneğin, enerji geleneksel elektrik şebekesi içerisinde, elektrik santrali tarafından oluşturulup, dağıtım şebekesi ve elektrik iletim şebekesi tarafından taşınır ve son olarak kullanıcılara teslim edilir. Bir SG sisteminde ise, elektrik aynı zamanda kullanıcılar tarafından şebekeye verilebilir. Örneğin, kullanıcılar evlerinde güneş panelleri kullanarak elektrik üretebiliyor durumda olabilirler ve şebeke içerisine bu elektriği geri verebilirler ya da yükün dengelenmesi hususunda yardımcı olacak şekilde güç sağlayabilirler. Akıllı altyapı sistemini üç alt sistem halinde bölümlere ayırabiliriz: akıllı enerji sistemi, akıllı bilgi sistemi ve akıllı iletişim sistemi.

• Akıllı enerji sistemi gelişmiş elektrik üretimi, dağıtımı ve tüketiminden sorumludur.

• Akıllı bilgi sistemi SG sisteminde gelişmiş bilgi ölçümü, izlemesi ve yönetiminden sorumludur.

• Akıllı iletişim sistemi SG sisteminde uygulamalar arasında iletişim bağlantısı ve bilgi iletiminden sorumludur.

Akıllı yönetim sistemi: Akıllı yönetim sistemi, gelişmiş yönetim ve kontrol hizmetleri ve işlevlerini sağlayan SG alt sistemidir. SG'nin elektrik şebekesinde bir devrim olabilmesinin en önemli nedeni akıllı altyapıya dayalı teknolojik gelişmelerde meydana gelen değişimlerdir. Teknolojiyi etkin hale getirebilecek yeni yönetim uygulamaları ve hizmetlerin geliştirilmesi ile birlikte elektrik şebekesi daha "akıllı" hale gelmektedir.

Akıllı yönetim sistemi çeşitli gelişmiş yönetim hedeflerini sürdürme amaçlı olarak hazırlanmış akıllı altyapının avantajlarını kullanır. Şimdiye kadar, bu hedefler enerji verimliliğinin artırılması, arz ve talep dengesi, emisyon kontrolü, işletme maliyeti azaltma ve fayda maksimizasyonu ile ilgilidir.

Akıllı koruma sistemi: Akıllı koruma sistemi; gelişmiş elektrik şebekesi güvenirlik analizi, arıza koruma, güvenlik ve gizlilik gibi hizmetleri sağlayan bir SG alt sistemidir. Akıllı altyapının avantajların kullanarak akıllı koruma sistemi, etkin ve verimli bir şekilde arıza koruma mekanizmalarını destekler, siber güvenlik sorunlarını belirler [14].

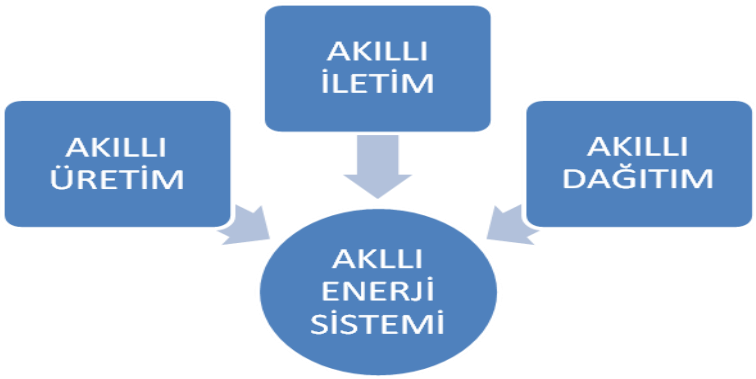
2.2. Akıllı Altyapı Sistemi

2.2.1. Akıllı Enerji Sistemi

Bir akıllı enerji sisteminin bileşenleri ve teknolojileri, Amerika Enerji Departmanı'na göre (DOE) Şekil 2.2.'de görüldüğü gibi akıllı üretim, akıllı iletim ve akıllı dağıtım yapılarına sahip olmalıdır [19].

Elektrik üretimi: Yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynaklarından sağlanmaktadır. Bu kaynaklar aynı zamanda yenilenebilir-kararsız kaynaklar güneş ve rüzgâr enerjisi gibi, yenilenebilir-sabit kaynaklar hidrolik, biokütle, jeotermal gibi ya da yenilenemez-sabit kaynaklar nükleer, kömür ve gaz vb. olarak sınıflandırılabilir. Geleneksel elektrik şebekesinde ki güç üretiminin aksine, akıllı enerji üretimi iki yönlü olarak elektriğin ve bilginin akışı desteklendiği

durumda mümkün olabilir [20]. SG tarafından ortaya konan etkin bir temel enerji üretim yapısı dağıtık üretim olacaktır.



Şekil 2.2. Akllı enerji sistemi

Akıllı İletim: Güç iletim tarafında, altyapı sorunları (artan yük talepleri ve hızlı bir şekilde eskiyen iletim hatları gibi) ve yenilikçi teknolojiler (yeni malzemeler, gelişmiş güç elektroniği ve iletişim teknolojileri) gibi faktörler akıllı iletim şebekelerinin geliştirilmesi hususunda ana etkenlerdir [21].

Akıllı güç iletim ağları kavramsal olarak mevcut elektrik iletim altyapısı üzerine inşa edilmiştir. Ancak yeni teknolojilerin ortaya çıkması (yeni malzemeler, elektronik, algılama, iletişim, bilgisayar ve sinyal işleme) iletim şebekeleri için yeni bir çerçeve mimarisinin geliştirilerek; güç kullanımı, güç kalitesi ve sistem güvenliği ve güvenilirliğini artırmak konularında yardımcı olabilir.

Akıllı dağıtım: Dağıtım şebekesi için en önemli sorun son kullanıcılara daha iyi bir şekilde hizmet etmek için elektriğin nasıl sağlanacağıdır. Gelecekte çok sayıda dağıtık jeneratörlerin akıllı dağıtım şebekesi içerisine entegre edileceği düşünülmektedir. Bu işlem bir yandan elektrik üretimi için sistemin esnekliğini artırırken diğer taraftan da akıllı güç dağıtım ve teslim mekanizmalarının incelenmesini gerektirecek şekilde güç akışı kontrolünü çok daha karmaşık hale getirir [22].

Bundan dolayı akıllı dağıtım sistemi kendi kendini iyileştiren, dengeleyici ve optimize edici yapıda olmak durumundadır. Otomatik izleme ve analiz etme özelliği ile hava durumu ve enerjisiz kalma geçmişine bağlı olarak arızaları tahmin edebilmelidir.

2.2.2. Akıllı Bilgi Sistemi

SG sistemi içerisinde varlıklardan bilgi edinilmesini sağlayan akıllı sayaçlar, sensörler ve sensör ağları mevcuttur. Bu bilgiler genellikle faturalandırma, şebeke durum kontrolü ve kullanıcı teçhizat kontrolü için kullanılır. Bu konuda veri modelleme, bilgi analizi, entegrasyon ve optimizasyon faliyetlerini yöneten bilgi yönetimi önem kazanır.

Akıllı sayaçlar, SG içerisinde kullanılan en önemli mekanizmadır. Cihazların davranışlarını kontrol ederken aynı zamanda son kullanıcının cihaz ve teçhizatlarından bilgi toplamaya yarar. *Otomatik Sayaç Okuma* sistemlerinin (AMR) üzerine inşa edilmiş olan *Otomatik Sayaç Alt Yapısı* (AMI) sistemleri genel olarak SG'nin hayata geçirilmesi için bir mantıksal strateji olarak ele alınmaktadır [23]. AMR, enerji sayaç cihazlarından elde edilen tüketim ve durum verilerinin otomatik olarak toplanmasını ve bu işlemin ardından faturalama, sorun giderme ve analiz amacıyla bu verileri merkezi bir veri bankasına gönderilmesini sağlayan teknolojidir. AMI geleneksel AMR'den, sayaç ile iki yönlü iletişim sağlayabilmesi nedeniyle farklılık gösterir. Bu nedenle bu bilgilerin neredeyse tamamına yakını, sistem operasyonlarını ve müşteriye yönelik güç talep yönetimini sağlayacak şekilde gerçek zamanlı veya isteğe bağlı olarak elde edilir.

Sayaç ile merkezi sistem arasındaki iki yönlü iletişimi destekleyen akıllı sayaçlar birçok açıdan AMI sayaçlarına benzerdir veya bazı durumlarda AMI'nın parçası olarak ele alınırlar. Bir akıllı sayaç genellikle, bir saatlik veya daha az aralıklar ile tüketim değerini kaydeden ve izleme veya faturalandırma amacı ile bu bilgileri en azından günlük olarak merkeze gönderen bir elektronik sayaçtır. Aynı zamanda akıllı sayaç, geleceğin "akıllı binalarında" yükleri ve talepleri yönetme üzere kullanıcının cihazlarına ve teçhizatlarına uzaktan bağlantı yapabilen ve bu bağlantıyı kesebilen ve ayrıca bu cihazları kontrol edebilen yeteneklere de sahiptir.

Tüketicinin bakış açısından bakıldığında, akıllı sayaç kullanmak birkaç potansiyel fayda sunmaktadır. Örneğin son kullanıcılar faturaları tahmin ederek fatura miktarını azaltmak için kendi enerji kullanımlarını yönetebilirler. Bir elektrik dağıtım tesisinin bakış açısından kullanıcılarının taleplerini pik yük zamanlarında azaltmaya yönlendirecek veya gelen talep bilgileri ışığında güç

akışını optimize edecek şekilde gerçek zamanlı ücretlendirmeyi gerçekleştirmek amacıyla akıllı sayaçları kullanabilirler.

SG'nin vizyonunda bulunan bir önemli fonksiyon ise enerji dağıtım şebekesinin durumunun izlenmesi ve ölçülmesidir. Sensörler veya sensör ağları, farklı amaçlarda izleme ve ölçüm yapmak için hali hazırda kullanılmakta olan sistemlerdir.

Gelecekte sensör ağlarının elektrik dağıtım şebekesi içerisine gömülü olması planlanılmaktadır. Böylece iletim hatlarının mekanik ve elektriksel durumlarının gerçek zamanlı olarak değerlendirilebilinecek, gerçek zamanlı olarak güç sisteminin elektriksel ve fiziksel fotoğrafını elde edilebilecek, geçici ve kalıcı arızalar ile ilgili tanı yapabilecek ve iletim hatlarında herhangi bir mekanik hata ortaya çıkar çıkmaz sistem operatörü otomatik olarak devreye sokulacaktır [24].

SG'de sayaç okuma, algılama, izleme ve benzeri konularda çok yüksek miktarda veri ve bilgi ortaya çıkar. Bu verilerin SG'nin gelişmiş bilgi yönetimi tarafından değerlendirilmesi gereklidir. SG'de bilgi yönetiminin faaliyetleri veri modelleme, bilgi analizi, entegrasyon ve optimizasyondur.

SG'de veri modellemenin asıl amacı ortaya çıkan veriler içerisinde kullanılmak üzere kalıcı, görüntülenebilir, uyumlu, transfer edilebilir ve düzenlenebilir verilerin oluşturulmasıdır.

Bilgi analizindeki amaç ise SG içerisinde oldukça geniş kapsamlı olarak faaliyete geçirilecek olan sayaç ve izleme sistemleri tarafından yüksek miktarda üretilen verilerin işlenmesi, değerlendirilmesi ve korelâsyonunun sağlanmasını desteklemektir.

2.2.3. Akıllı İletişim Sistemi

Akıllı iletişim sistemindeki en önemli soru *"Hangi ağ ve haberleşme teknolojisi kullanılmalıdır?"* sorusudur. Bir elektrik dağıtım şebekesinde bulunan çeşitli varlıkların arasında iki yönlü bilgi akışını desteklemek üzere bir iletişim ağının kurulması gerektiğine dair bir genel kabul bulunmasına rağmen, SG uygulama etki alanı içerisinde hangi özel teknolojilerin kullanılması gerektiği ve bu teknolojilerin nasıl sisteme dâhil edilmesi gerektiği konusunda halen bir tartışma söz konusudur.

Akıllı şebekelerde temel olarak iki tip bilgi altyapısına gereksinim vardır. İlk gereksinim sensörler ve elektrikli araçlardan akıllı ölçerlere, ikincisi ise akıllı

ölçerlerden veri merkezlerine olan altyapıdır. İlk veri akışı BPL üzerinden veya ZigBee, Z-wave gibi kablosuz haberleşme teknolojileri kullanılarak sağlanabilir. Akıllı ölçerler ve veri merkezi arasındaki bilgi akışı için ise hücresel ağlar veya internet kullanılabilir.

ZigBee 2.4 GHz bandında çalışan kablosuz bir teknolojidir. Akıllı şebekeler için ZigBee yi avantajlı kılan özelliklerden bir tanesi kolay ve düşük maliyetle entegre edilebilmesidir. Aynı zamanda kullandığı 2.4 GHzfrekans bandı lisanssız bir banddır [25].

ZigBee kullanımının avantajlarının yanında dezavantajlarıda vardır. Kullanılan band da girişimler olabilir. Mikrodalga, ISM bandı ve Bluetooth ile aynı frekans bandını kullanır. Bu da girişime sebep olur. Bunu önlemek için girişim girişimalgılama şemaları entegre edilmelidir [26].

Hücresel ağlar da akıllı şebekeler de kullanılabilir. Akıllı ölçerler ve diğer düğümler arasındaki iletişim hüresel ağ üzerinden gerçekleşebilir. Zaten günümüzde hazır kurulmuş bir hücresel ağ sistemi olduğu için yeniden bir altyapı çalışmasına gerek duyulmadan ve ekstradan bir maliyeti olmadan sistem kullanılabilir. Akıllı ölçerlerden sisteme gönderilen veri boyutları genelde fazla olduğundan yüksek veri aktarım oranları gerekmektedir. Bu da hücresel ağlar ile gerçekleştirlebilir. Daha önce de bahsedildiği gibi hücresel bağların kullanılmasının bir avantajı zaten mevcutta var olmalarıdır. Sisteme entegre edilmesi için herhangi bir altyapı çalışmasına gerek yoktur. Akıllı şebekelerde bir diğer önemli özellik ise güvenliktir. Hücresel ağlar güvenilir veri transferi için güvenlik kontrollerine sahiptir. Gönderilen veri güvenilir bir şekilde karşı tarafa iletilebilir. Ayrıca şu anki sistemde kırsal kesimde veya diğer alanlarda hücresel ağlar geniş bir kapsama alanı sağlamaktadırlar. Akıllı şebekede haberleşme sisteminin geniş bir alanı kapsaması önemli bir etkendir.

Hücresel ağların dezavantajı ise servis kalitesinin sürekliliğinin garanti edilememesidir. Akıllı şebekelerde veri iletimi krtitik derecede önem arz etmektedir. Fakat bazı durumlarda hücresel ağ kesintiye uğramaktadır ve bu durumda akıllı şebekedeki veri iletimi de kesintiye uğrayacaktır.

Hücresel ağlar, wimax gibi teknolojilerin yanı sıra BPL(Broadband over Power Lines) teknolojisi de sık sık gundeme gelmektedir. BPL (elektrik hatları üzerinden genis hat) sistemi son zamanlarda yeniden yeni bir ivme kazanmıstır.

BPL ile birlikte örneğin bilgisayarınızı elektrik çıkışına bağladığınız anda yüksek hızda internete bağlanmış olursunuz. Radyo, kablosuz ağ ve modemlerin teknolojik ilkeleri birleştirilerek enerji hatları üzerinden 500 kbps ve 3mbps veri gönderimi gerçekleştirilmiştir.

Bölgelere internet erişimi için servis sağlayıcıları bu bölgelere yeni bir kablo veya DSL altyapısını sağlamak içino bölgeye gerekli altyapıyı kurmaları gerekir. Fakat genişbant güç hatları üzerinden verilebilirse, yeni bir altyapı inşa etmeye gerek kalmayacaktır. Herhangi bi yerde elektrik hatları varsa o bölgede genişbant teknolojisi sağlanabilecektir [27,28].

Elektrik güç tesisine geldiğinde oradan trafoya iletilir ve yüksek gerilim iletim hatlarına dağıtılır. Genişbant iletimini gerçekleştirirken bu yüksek gerilim hatları ilk engeldir. Yüksek gerilim hatlarında gerilim 155.000- 765.000 Volt arasında değişir. Bu güç miktarı data iletimi için uyumlu değildir, çok gürültülüdür.

Elektrik ve veri iletimi için kullanılan RF belirli frekanslarda titreşirler. Datanın noktadan noktaya iletilebilmesi için radyo spektrumunun diğer kaynaklardan müdahalesi olmaksızın titreşmeye sahip olması gerekir. BPL bu sorunu yüksek gerilim hatlarından kaçınarak atlatır. Sistem veriyi daha yönetilebilir olan 7.200 Volt orta-gerilim hatları üzerinden gönderir [27].

2.3. Akıllı Yönetim Sistemi

Akıllı Yönetim Sistemi enerji verimliliğinin artırılması, kaynak optimizasyonu işletme maliyetlerinin azaltılması, talep ve üretim dengesinin sağlanması, emisyon kontrolü gibi çeşitli fonksiyonların ve yönetim hedeflerinin gerçekleştirilmesini amaçlayan iki yönlü elektrik ve bilgi akışı tarafından desteklenen yapıdır.

Akıllı şebeke sayesinde geleneksel elektrik dağıtım şebekelerinde hayata geçirilmesi zor ve muhtemelen ekonomik yönden verimsiz olan birçok yönetim hedefi olası ve ucuz hale gelecektir. Günümüze kadar, akıllı yönetim konusunda yapılmış olan çalışmalar üç hedefe genel olarak yoğunlaşmıştır: Enerji verimliliği ve talep profilinin geliştirilmesi, maliyet optimizasyonu ve fiyat kararlılığı ve emisyon kontrolü [29].

Akıllı şebekelerin yönetim planlanması ve modellenmesinde güç elektroniği, karar destek sistemleri, şebeke otomasyonu, varlık yönetimi, sayaç yönetim sistemi ve benezeri yapılardan faydalanılır.

2.4. Akıllı Koruma Sistemi

SG içerisindeki akıllı koruma sistemi yalnızca kullanıcı hataları, ekipmanların arızası ve doğal felaketler nedeniyle elektrik şebekesi altyapısında meydana gelecek sorunları değil aynı zamanda hoşnut olmayan çalışanlar, endüstri casusları ve teröristler gibi kişilerden gelebilecek siber saldırıları da dikkate almalıdır [30]. Bu bölümde, SG içerisindeki akıllı koruma sistemini inceleyeceğiz. İlk önce sistem güvenilirlik analizleri ve arıza koruma mekanizmaları ile ilgili konuları ve ardından da akıllı şebekelerde güvenlik ve gizlilik konularını inceleyeceğiz.

2.4.1. Sistem Güveninirliği ve Arıza Koruması

Güvenilirlik, bir bileşen veya sistemin belirtilen bir zaman aralığında belirtilen koşullar altında gerekli fonksiyonları yürütebilme yeteneğidir. Sistem güvenilirliği, elektrik dağıtım şebekesi araştırmaları ve tasarımında önemli bir konu başlığıdır. Gelecekte akıllı şebekelerin daha güvenilir sistem operasyonu ve daha akıllı koruma mekanizmaları sağlaması beklenmektedir.

Dağıtık üretimin (DÜ) SG içerisinde oldukça geniş kapsamlı olarak kullanılacağı beklenmektedir. Bazı salınımlı ve sürekliliği olmayan yenilenebilir kaynakların kullanılmasının elektrik şebekesinin stabilitesine olumsuz etki edebilmesi sistem güveninirliliği konusunda en temel sorunlardan biridir. Yakın gelecekte yaratıcı mimarilerin ve tasarımların güvenilirlikten ödün vermeden DÜ'lerin şebekeye bağlanmasında çok avantajlı ortamlar sağlayabileceği öngörülmektedir [31].

Sistem güvenilirlilik analizi için önemli bir araç simülasyon yönteminin kullanılmasıdır. Bir simülasyon platformunun SG mimarisinin davranışı ve performansını simüle ederek daha kesin olarak belirlemesi ile bu yapının avantajlarını ve potansiyel sorunlarını daha iyi anlayacağız. Ancak yeterince kesin, esnek, adapte edilebilir ve ölçeklenebilir bir simülasyon sistemini nasıl oluşturacağımız çözülmemiş bir sorundur.

Hata koruma makenizması ise akıllı şebekelerde hataları olmadan önlemek için, enerji sistemi içerisindeki zayıf noktaları veya istikrarlı bölgeleri tahmin etmek etkili bir yaklaşımdır. Verilen bir güç ağı içerisinde statik yük dağılımı açısından en muhtemel hata tiplerini etkin bir şekilde tanımlayacak bir yaklaşım geliştirilmelidir [32]. Böylece zayıf hatları ve kapasitesinde çalışan veya

çalışmayan jeneratörleri tespit edebilir ve herhangi bir güç sisteminin güvenilirliğinin geliştirilmesi için tahmin edilebilirlik sağlanabilir.

Gelecekte trafolara ve/veya saha cihazlarına etkili bilginin önceden yüklenerek, bir sistem hatası durumunda merkezi kontrol ünitesinden talimat beklemeden otomatik karşılık verebilmeleri düşünülmektedir.

2.4.2. Güvenlik ve Gizlilik

Güvenlik akıllı şebeke haberleşmesinde son derece önemlidir. Bilginin güvenli bir şekilde saklanması ve iletimi özellikle ücretlendirme ve şebeke kontrolünde önemlidir. Gelebilecek saldırıları önlemek için güvenlik mekanizmaları geliştirilmeli ve güvenlik ile ilgili standardizasyon çalışmaları yapılmalıdır.

International Electro Tehnical Commision (IEC) Smart Grid Standardization, IEEE Power & Energy Society (PES), National Institute Of Standarts and Technology (NIST) ve National Standart of People's Republic Of China gibi kurumlar akıllı şebekelerde güvenlik standartları üzerine çalışmaktadırlar. IEC grubu 2008 yılında kurulmuştur. IEC smart grid standardizasyonu güvenlik, haberleşme, dağıtımı yönetimi, dağıtık enerji kaynakları, ileri ölçüm mimarisi, akıllı evler, yük yönetimi gibi birçok konuyu içermektedir. Çizelge 2.2'te IEEE standartları gösterilmiştir [33].

Siber güvenlik SG içindeki en büyük zorluklardan biri olarak bilinmektedir [34]. Zayıflıklar bir saldırganın sistem içine sızmasına, kullanıcı gizliliğini elde etmesine, yazılımın kontrolünü eline geçirmesine ve şebekeyi öngörülemeyen şekilde istikrarsızlaştırmak için yük koşulları değiştirmesine neden olur [35]. SG içinde kullanılan ileri alt yapının bir yanda bizi saldırılara karşı savunmada ve hataları ele almada güçlendirirken diğer yanda yeni açıklara neden olabileceği unutulmamalıdır.

Güvenlik sorunlarından biri de yeni konuşlandırılmış akıllı sayaçlardan kaynaklanmaktadır. Akıllı sayaçlar kötü niyetli bilgisayar korsanları için oldukça çekici hedeflerdir zira zayıf noktaları kolaylıkla paraya çevrilebilir. Bir akıllı sayaca müdahale edebilen korsanlar kendi enerji maliyetlerini değiştirebilir veya para kazanmak için üretilmiş enerji saati okumalarını değiştirebilirler. Dahası, akıllı sayaçların yaygın olarak kullanımı potansiyel rakiplere büyük sayıda fırsatlar sağlayabilir [36].

Çizelge 2.2. IEEE Akıllı şebeke standartları [33]

Standart Grubu	Standart Kodu	Açıklama
-Ev için Ağ İletişimi Standartları (ev içi iletişim) -Elektrikli Araç Standartları (Araçlar arası iletişim)	IEEE 802	IEEE 802, yerel alan ağı ve metropolitan alan ağı standardıdır. Ağlar büyüklüklerine göre LAN (Local Area Network), WAN (Wide Area Network) ve MAN (Metropolitan Area Network) olarak adlandırılır.
-Akıllı Şebekelerde Ev Aletleri Standartları	IEEE 1675	"Standard for Broadband over Power Line Hardware" isimli çalışma grubudur. Powerline donanım kurulumu ve güvenlik konuları üzerinde çalışan IEEE çalışma grubudur.
-Akıllı Sayaçlar Standartları	IEEE 1701-5	Akıllı Sayaçlarla ilgili standların belirlenmesini sağlayan standartlardır.
- Akıllı Şebekelerde Ev Aletleri Standartları	IEEE 1775	"Powerline Communication Equipment - Electromagnetic Compatibility (EMC) Requirements - Testing and Measurement Methods" isimli çalışma grubudur. Power Line Communations malzemeleri – Elektromanyetik uyumluluk gereksinimleri (EMC) test ve ölçüm metotları ile ilgilenen standartlardır.
--Ev için Ağ İletişimi Standartları	IEEE 1805	Ev içi iletişim ağla ilgili standartları belirler.
- Elektrikli Araç Standartları (Araçlar arası iletişim) --Ev için Ağ İletişimi Standartları (ev içi iletişim) -Akıllı Şebekelerde Ev Aletleri Standartları	IEEE 1901	Bu standart ile elektrik şebekesi üzerinden 500 Mbps'ye varan hızlara kadar veri aktarımı yapmak mümkün olabilecektir. IEEE tarafından onaylanan bu standart ile elektrik hatları üzerinden daha hızlı veri iletimi yapmaya olanak sağlayacaktır.
3D Video Standartları	IEEE P3333	İnsan faktörlerine dayalı üç boyutlu (3D) görüntüler, 3D içerik, ve 3D cihazların kalite değerlendirmesi için bir standarttır.

Örneğin yanlış bir bilginin sisteme sokulması elektrik şirketinin yerel veya bölgesel kullanım ve kapasite ile ilgili olarak yanlış kararlar vermesine neden olabilir. Mesela basit fakat muhtemelen etkin bir Denial-of-Service (DoS) (Hizmettin Reddi) saldırısını göz önüne alalım. Bir düşman akıllı bir sayacın sahte bir talep isteğini oluşturur ve çok büyük miktarda enerji talebinde bulunmaya devam eder. SG'nin şebeke çerçevesinde elektrik şirketinin bu sayaca bağlı olan tüm cihazların bağlantısını keserek bu kullanıcı için tüm güç hizmetlerini reddetmesi muhtemeldir.

Bu zamana kadar kritik üretim, aktarım ve dağıtım hususlarına yapılacak saldırılarla ilgili akla yatkın tek yol çok iyi bir savunma sistemi oluşturmaktı. Bununla beraber akıllı sayaçların ortaya çıkması oyunu değiştirmektedir. Kâbus senaryosu bir ülkenin on milyonlarca akıllı sayaç kurup bunları yalnızca bir kaç komuta merkezinden kontrol etmesidir. Saldırgan bu bilgisayarları ele geçirebilir ve sayaçların gücü kesebileceği komutlar silsilesini gönderebilir. Bu tür bir saldırı felaket sonuçlara neden olabilir.

Bilgi Aktarımı: Bilindiği üzere kullandığımız iletişim teknolojileri bazı durumlarda yeterince güvenli değillerdir. Genel iletişim ağlarında (örneğin internet ve kablosuz ağlar) kullanılan güvenlik ve gizlilik hususlarının akıllı şebekelerde kullanılabileceği beklenmektedir.

Özellikle kablosuz iletişim teknolojilerine odaklanmamız gerekmektedir zira kablosuz ağların SG içerisinde daha yaygın kullanımı beklenmektedir. Örneğin kablosuz örgü ağları (WMN) oldukça güvenilir kabul edilir çünkü oldukça fazla iletişim yolları sağlarlar ama WMN'ler siber saldırılara oldukça açıktırlar. ZigBee düşük maliyetli, düşük güç kullanan IEEE 802.15.4 standardını temel alan bir kablosuz ağ standardıdır. Bununla birlikte IEEE 802.15.4 uygulamaları [37] ile ilgili de zafiyetler mevcuttur.

SG deki bilgi aktarımına karşı kötü niyetli saldırılar amaçlarına göre üç ana tipte kategorilere ayrılabilir [38]:

- Bilgiyi elde etmek maksadı ile örneğin müşterinin hesap numarası ve elektrik kullanımı gibi SG içindeki iletişime kulak misafiri olmaya yönelik saldırılardır.

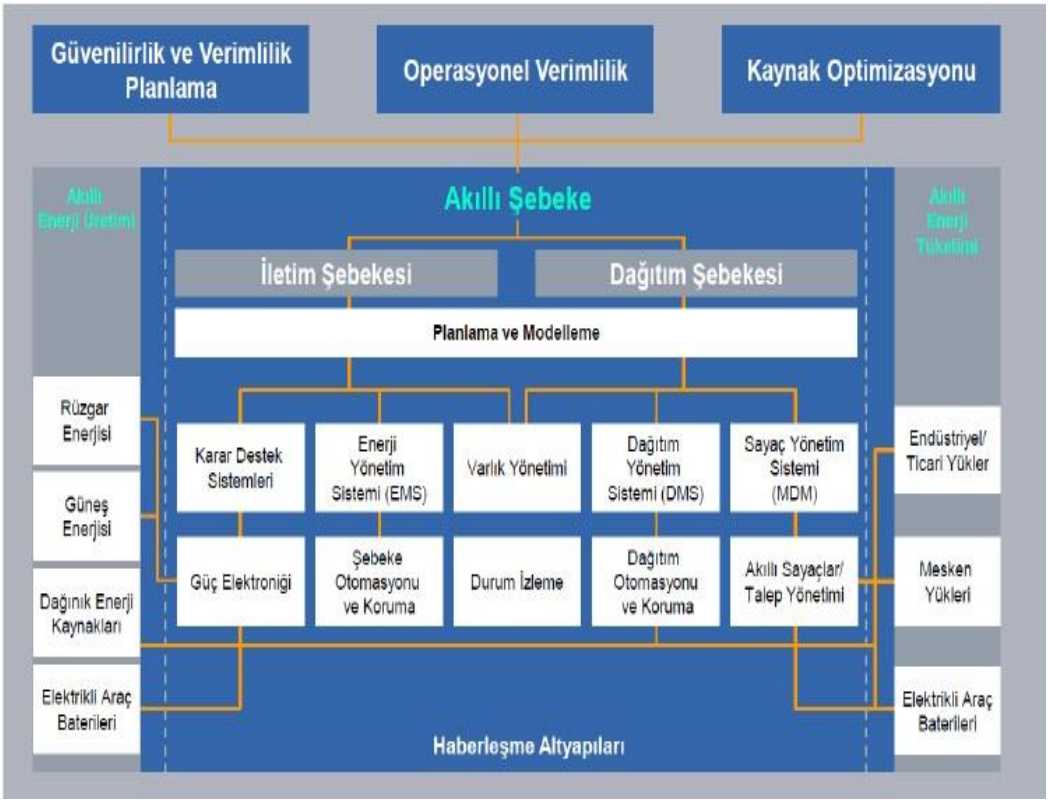
- Veri bütünlüğü saldırıları SG ile paylaşılan bilgini kasıtlı olarak değiştirilmesi veya bilgi aktarımın kesilmesine yöneliktirler ve SG içinde çok tahrip edici olabilirler.
- Ağ durumunu hedef alan kötü niyetli saldırılar SG üzerinde bilgi aktarımı yapmak durumunda olan ağ kaynaklarını kullanılamaz yaparak bilgi aktarımını geciktirmeye, engellemeye veya kesmeye çalışırlar.

2.5. Akıllı Şebekede Gelecek Öngörüleri

Akıllı şebeke, sistemdeki paydaşların çift yönlü olarak birbirleri ve kontrol merkezi ile haberleşebildiği, enerjinin anlık olarak takip edildiği ve dinamik olarak yönetildiği bir sistemdir. Bunun yanında alternatif enerji üretimini destekleyen ve akım kontrolünü optimize eden bir enerji iletim ve dağıtım sistemlerinin bütünü şeklinde de ifade edilmektedir. Akıllı bir iletim sistemi ile problemli bölgeler hızlı bir şekilde izole edilerek geniş çaplı enerji kesintilerinin önüne geçilebilmektedir [39]. Akıllı şebekeler gerçek zamanlı haberleşme altyapısı ile aşırı yüklenmeleri hissedebilecek, enerji akış yönlerini düzenleyecek, yenilenebilir enerji kaynakları kullanımını optimize edecek ve kullanıcı maliyetlerini aşağı çekecek çevreci bir sistem oluşturacaktır [40]. Şekil 2.3'te örnek bir akıllı şebeke sistemi genel yapısı gösterilmiştir [41].

Bu yapı, dağıtım sistemlerinde hızlı iletişime sahip röleler ve kullanıcıyı bilinçlendiren kayıp kaçak oranlarını belirleyebilen ve çift yönlü okuma yapabilen sayaçlar ile oldukça etkin bir konumdadır. Ayrıca, klasik sistemlerden farklı olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının katılımı ile değişen yük akışı yapılarına uyum sağlayabilen bir yapıdadır. Tüm koruma koordinasyonu ve anahtarlama yapılarını değiştirebilecektir. Böyle bir değişimle klasik yapılar ile başa çıkmak neredeyse imkânsızdır. Bunun yanında, bağımsız enerji bölgelerini ifade eden mikro şebeke filozofisi (Microgrid), gerçeğe dönüşmek için akıllı şebeke yapısına ihtiyaç duymaktadır [41].

Tedarikçiler açısından teknolojik ve hükümet politikası olarak makro alanda değişikliklere ihtiyaç varken, talep açısından (veya en azından enerji tasarrufu açısından) bakıldığında daha çok tüketici seviyesinde mikro kararlara ihtiyaç olduğu görülmektedir.



Şekil 2.3. Örnek bir akıllı şebeke sistemi genel yapısı [41]

Akıllı bir şebeke için trafo ve röleler gibi tüm sistem elemanlarının akıllı olması ve koruma ve haberleşme teknolojisinin elektromekanik yapıdan dijital yapıya geçmesi gerekmektedir. Ayrıca, tüm sistemin birbiri ile haberleşmesi gereksiniminden yüksek bant seviyesine sahip hızlı iletişime ihtiyaç bulunmaktadır. Böylesine büyük bir sistem ve haberleşme talebine cevap verebilecek bir bilgisayar gücü de gerekmektedir. Bu koşullar, günümüzde artık sağlanabilir durumdadır. Dijital röleler, fiber teknolojisi, kablosuz iletişim gibi teknolojik gelişmeler akıllı şebekeleri mümkün kılmaktadır [42].

Bu nedenle eski sistem elemanları revize edilirken ya da yeni sistem elemanları eklenirken bu yapılara uygun sistemlerin entegre edilmesi bu geçişi hızlandıracaktır. Yön değiştiren güç akışlarına adapte olabilen farklı koruma yöntemleri uygulayabilen ve oluşabilecek büyük çaplı enerji kesintilerini hissedip farklı anahtarlama davranışları sergileyebilen iletim sisteminin akıllı bir yapıda olması gerekir. Böylece, arızalar daha iyi lokalize edilip daha etkin kontrol ve korumanın gerçekleştirilmesi sağlanarak, sistem düzenleyicileri üzerindeki yük

azaltılmış olacaktır. Amerika‟da 2003 yılının Ağustos ayında yaşanan enerji kesintisi, 50 milyon kişinin enerjisiz kalmasına neden olmuştur. Birbirini takip eden zincirleme olaylar sonucu oluşan büyük çökme, 7 dakika gibi uzun bir sürede oluşmuştur. Bu çökmenin nedenleri arasında akıllı bir yapıya sahip olunmaması ve birbirini takip eden olayların yeteri kadar iyi izlenememiş olması bulunmaktadır. Gelecekte hedeflenmesi gereken en önemli kriterlerden biri dizayn edilecek enerji sistemini, Amerika, Avrupa, Hindistan ve Çin gibi ülkelerin yaptığı şekilde akıllı şebeke teknolojisine uygun seçmektir. Dünya var oldukça kullanılabilecek tek sürdürülebilir yapı olarak gözüken yenilenebilir enerjiye ve büyük şebeke entegrasyonlarına duyulan ihtiyaç akıllı şebeke teknolojisini şart kılacaktır [41].

2.6. Dünya'da Akıllı Şebekelere İlişkin Gelişmeler

Amerika'da birçok örneği bulunan akıllı şebeke bileşenlerinin Avrupa'da da birçok uygulaması bulunmaktadır. Avrupa'nın güneş enerjisini güneyden, dalga enerjisini batıdan ve rüzgâr enerjisini kuzeyden getirecek akıllı şebekesini nasıl kuracağını ifade eden "European Technology Platform (ETP) Smart Grids" raporu bulunmaktadır. Güncel yayına göre (Dispower, Distributed Generation with High Penetration of Renewable Energy Sources), Avrupa şebekesi yakın gelecekte bir değişikliğe giderek, KYOTO protokolüne göre Avrupa, yenilenebilir enerji kaynaklarından sağladığı üretimi 2010 yılına kadar 2 katına çıkarmayı planlamıştır. Almanya'nın "DENA-I" isimli çalışmasına göre Almanya hükümeti 2008-2012 yılları arasında karbon emisyonlarının 859 milyon ton/yıl'dan, 846 milyon ton/yıl'a düşürmeyi hedeflemektedir. Bunun için 2004 yılında %10 olan yenilenebilir enerji kaynaklarının oranının 2010'da %12.5, 2020 yılında %20 olacağı planlanmıştır [43].

2020'deki bu oran daha sonra yayınlanan "DENA-II" çalışmasında yenilene bilir enerji kaynaklarının oranını %30'a çıkarılmıştır. Asıl amaç ömrünü dolduran santrallerin yerine belli bir oranda yenilenebilir enerji kullanabilmek olmuştur. Öncelikle zayıf noktalar hedeflenmiş olup, bunlar için gerekli şebeke yenilenmesi ve büyümesi için yeni YG hatların ilavesi ile aktif ve reaktif güç kontrolü planlanmıştır. 2015'e kadar tüm sistemin kararlılık ve güvenilirlik kontrolü yapılacak olup, kritik şebeke durumlarının belirlenmesi hedeflenmiştir.

Hindistan dünyadaki en zayıf şebekelerden birine sahiptir. Hindistan Enerji Bakanlığı'na göre dünyadaki en büyük iletim ve dağıtım kayıplarına sahip durumdadır (%26, bazı bölgelerinde %62). Bu kayıpların, kaçaklar dâhil edildiğinde ise %50 olduğu ifade edilmektedir. Bu nedenle 2008 yılındaki "Smarts Grids India" konferansı ile akıllı şebekeler üzerindeki çalışmalar başlatılmıştır.

Çin'de ise yeni üretimler ve yeni hatlar çok hızlı oluşturulmaktadır. Dolayısıyla akıllı ve gelişime müsait bir şebekeye en fazla ihtiyacı olan ülkelerden biri konumundadır. Çin devleti, her hafta, Dallas veya San Diego'daki tüm ev uygulamalarını karşılayacak büyüklükte kömür santralleri kurmaktadır. Çin'de akıllı şebeke çalışmaları 2007 yılındaki MIT (Massachusetts Institute of Technology) forumundan sonra başlatılmıştır [44].

Rusya'da İsveç telekomünikasyon araçlarının başlıca üreticisi olan Erikson şirketi Rusya'nın "Skolkovo" invasyon kentinde bilim – araştırma merkezinin kurulmasını öngören projeyi hayata geçirmeyi planlamıştır. Bu proje kapsamındaki çalışmalar bu yıl başlayacaktır. Akıllı elektrik şebekelerinin geliştirilmesine ilişkin sorunların çözümü, bilim araştırma merkezinde yürütülecek çalışmaların başlıca yönünü oluşturmaktadır. İki yıl önce Erikson şirketi, ortakları olan İtalyan şirketleriyle birlikte 1 milyon 500 binden çok apartman dairesini akıllı elektrik şebekesine bağlamıştır. Bu apartman dairelerinden her birinde elektrik tüketiminin 24 saat içinde enerji şirketi tarafından kontrol edilmesine imkân veren sayaç konulmuştur.

Amerika Chicago'da ise bina sahipleri son gelişmelerden yararlanmak için bir plan geliştirmiştir: 'Akıllı Ağ (Smart- Grid) Teknolojileri'. Söz konusu 'Akıllı Ağ Teknolojileri' kentin sembolikleşmiş siluetini, hem çok katlı binaları 'retrofitting' ile hem de mevcut elektrik ağının yerine yeni bir hiper-bağlantılı akıllı iletişim omurgası inşa ederek sponsorların 'Sanal Yeşil Jeneratör' adını verdikleri oluşuma dönüştürmeyi planlamıştır. Söz konusu ileri teknolojiye sahip 'Akıllı Ağ Teknolojileri'nin gelişimine 'Illinois Teknoloji Enstitüsü' (Illinois Institute of Technology) ve 'Illinois Üniversitesi Urbana-Champaign Yerleşkesi' (University of Illinois Urbana-Champaign) başta olmak üzere yerel üniversiteler de katkı sağlamaktadır.

Dünyada Akıllı Şebeke Yatırımları: Çin 2010 yılında Akıllı Şebeke Sistemi için 7.3 milyar dolar harcayacağını belirtmiştir. Amerikan araştırma ve

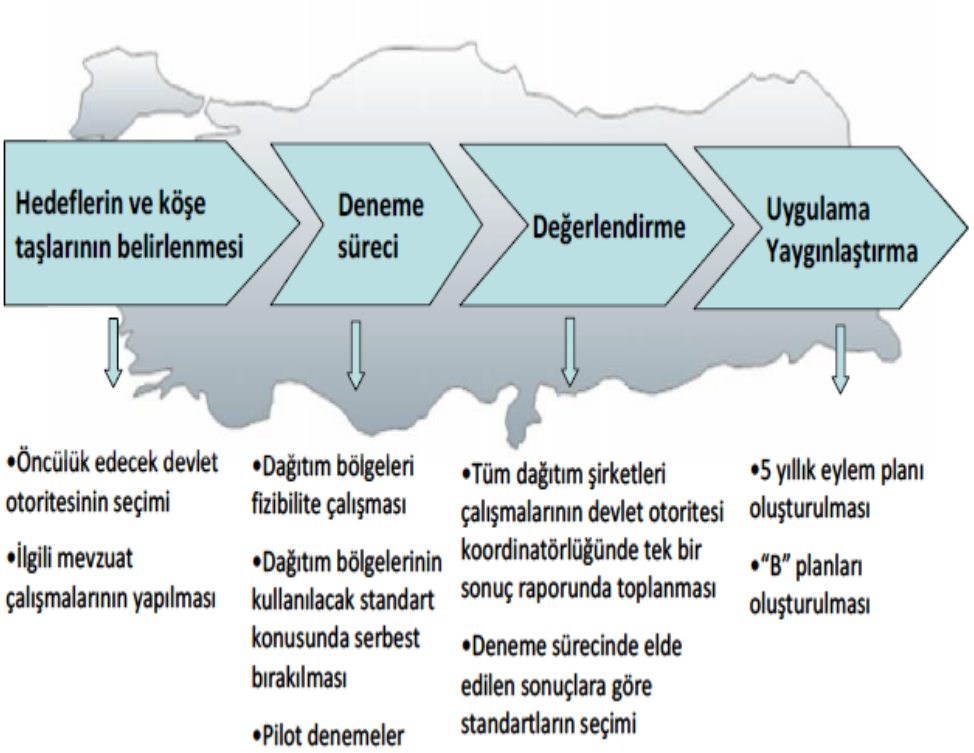
danışmanlık şirketi Zpyrme tarafından hazırlanan bir çalışmaya göre Çin akıllı şebeke sistemlerine 2010 yılında dünyadaki tüm ülkelerden daha fazla yatırım yapacağını ifade etmiştir. Kuruluşun çalışmasına göre 2010'da Çin bu alan için 7.3 milyar dolarlık yatırım harcaması gerçekleştirecekken ABD 7.1 milyar doları bu alana yatırım amacı ile kullanacak. Aynı amaç için diğer ülkelerin yatırım harcamaları şu şekilde planlanmıştır; Japonya: 849 milyon dolar, Güney Kore: 824 milyon dolar, İspanya: 807 milyon dolar, Almanya: 397 milyon dolar, Avustralya: 360 milyon dolar, İngiltere: 290 milyon dolar, Fransa: 265 milyon dolar, Brezilya: 204 milyon dolar. Fransa ve İngiltere gibi ülkelerin yatırımlarının düşük kalmasının nedeninin ise bu ülkelerin enerji altyapılarının çok daha gelişmiş olmasından kaynaklanmaktadır.

2.7. Türkiye İçin Akıllı Şebeke Yol Haritası

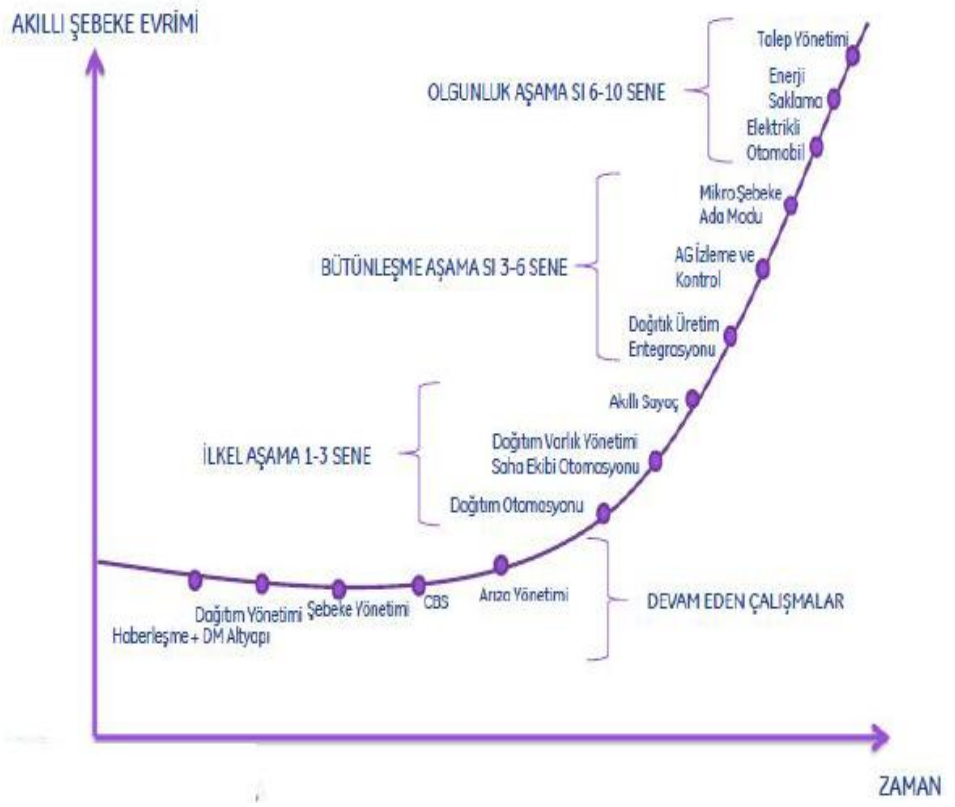
Bu teknolojinin uygulanması sıfırdan başlanıp yaratılmayacağı gibi tepeden de inmeyecektir, mevcut şebekelerimiz yıllar içinde evrimleşip gelişerek hedeflenen akıllı şebekelere dönüşecektir. Her ülkede kanunlar ve düzenleyici kurum yönetmelikleri farklıdır. Şekil 2.4'de akıllı şebekelerin gelişim süreci gösterilmiştir.

Akıllı şebeke uygulamaları, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının ilgi sayı yazıları dikkate alınarak; Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı koordinatörlüğünde kamu, özel sektör ve sivil toplum kuruluşlarının katılımları ile hazırlanan Enerji Verimliliği Strateji Belgesi'nde (2012-2023) 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. Şekil 2.5'de akıllı şebekelerin Türkiye için yol haritası verilmiştir [17].

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. Türkiye'de bütünleşmiş bir bilgi sistemini gerekli kılan akıllı şebeke yatırımlarına kısa süre içinde tüm dağıtım bölgelerinde hız verileceğini söylemek de gayet yerinde olacaktır. Bu durumda yeni bir dağıtım sistemi analiz, koruma ve planlama felsefesinin gelistirilmesi zorunludur.



Şekil 2.4. Türkiye akıllı şebekenin gelişim süreci



Şekil 2.5. Türkiye yol haritası

Akıllı şebeke sürecinde devletin teşvik ve planında izleyeceği yol haritasının henüz netlik kazanmamış olması öncelik verilecek yatırımların kararlaştırılmasını zorlaştırmaktadır. Şekil 2.6.'de ise akıllı şebeke uygulama adımları gösterilmiştir [17].



Şekil 2.6. Akıllı şebeke uygulama adımları

2.8. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Akıllı Şebekelere Entegrasyonu

Günümüzde gelişmiş ülkeler enerji ihtiyaçlarının büyük bir kısmını fosil yakıt kullanan, suyun potansiyel enerjisinden faydalanan veya nükleer enerjiden yararlanan büyük ölçekli ve merkezi enerji üretim tesisleri vasıtasıyla sağlamaktadır. Bu tesisler her ne kadar üretim verimi açısından parlak rakamlar ortaya koysa da genellikle üretilen enerjinin yerleşim birimlerine ve sanayi tesislerine iletimi için uzun enerji iletim hatlarına ihtiyaç duyarlar ve bu durum da iletim kayıplarına sebep olur [45].

Ayrıca elektrik enerjisi üretim tesislerinin kurulacakları yerlerin seçilmesinde ekonomik, tıbbi, coğrafi, politik ve güvenliğe dayalı endişelerden kaynaklanan pek çok faktör göz önünde bulundurulmaktadır. Örneğin; bir hidroelektrik santralinin yapısı gereği kendisini taşıyabilecek özelliklere sahip bir akarsuyun

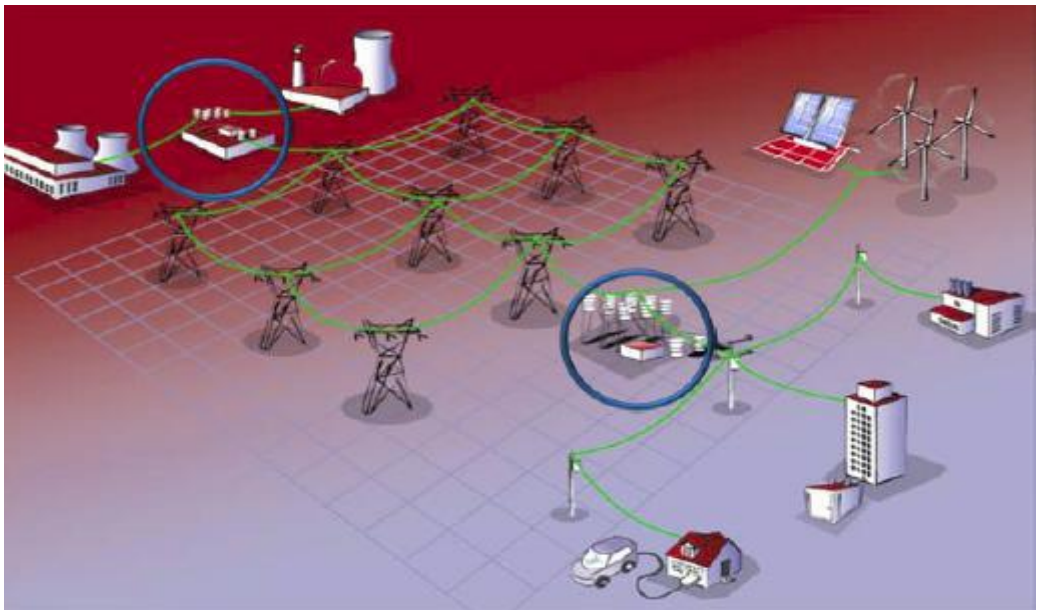
üzerine kurulması gerekirken bölgenin jeolojik ve ekolojik yapısı ile bölgede yaşayan insanların hayatlarına sosyal boyutta etkileri de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu ve benzeri durumlar enerji üretiminin önünde birer doğal sınır olarak geçerliliğini korumaktadır. Üstelik günümüzde gittikçe artan çevresel duyarlılık nedeniyle bu santrallerin salınımları ve hava kirliliğine olan etkileri de birer soru işareti olarak akıllarda yer bulmaktadır.

Tam da bu noktada uzun zamandır düşük üretim kapasiteleri nedeniyle görmezden gelinen yenilenebilir enerji kaynaklarının efektif bir şekilde kullanılmasına yönelik fikirler canlanmıştır. Akıllı şebekeler, akıllı şebekenin sistem yöneticisine elindeki sistemi bir orkestra şefi gibi ayrıntılı olarak yönetim olanağı sağlamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları (YEK) açısından da bu çok önem taşımaktadır. Orkestra şefi parçaya göre hangi noktada hangi tonda ve ne düzeyde çalınması gerektiğini nasıl yönetirse akıllı şebeke ile yapılmış bir elektrik altyapısında yönetici, hangi elektrik üretim kaynağından ne zaman, ne kadarelektrik alıp, sisteme elektrik besleyebileceğini yönetme şansına sahip olmaktadır [46]. Geçmişte rüzgar ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmak için geniş alanlarda güneş tarlaları ya da rüzgar çiftlikleri kurmak gerekirken artık bu tesislerin daha düşük kapasiteli ve dağınık bir şekilde kurulmuş bile olsalar etkin bir biçimde şebekeye entegre edilmesi söz konusudur. Akıllı şebeke altyapısı ve onun getirdiği çift yönlü enerji aktarımı, etkin ve hızlı hata kontrolü gibi özellikler sayesinde yerel enerji kaynakları (rüzgar, güneş, jeotermal vs) atıl olarak beklemekten kurtulmuştur. Bu şekilde dağınık halde kurulan ve yoğun çeşitlilik arz eden tesisler vasıtası ile enerji üretimi özelliklerinden de anlaşılabileceği gibi yaygın olarak "dağıtık üretim" şeklinde adlandırılmaktadır. Şekil 2.7'de yenilenebilir enerji kaynakları ve akıllı şebeke entegrasyonu gösterilmiştir.

Varlıkları eski olmasına karşın dağıtık üretim santrallerinin şebekeye büyük miktarda ve sayıda bağlanmaları 2000' li yıllarda artış getirmiştir. Dağıtık üretim santrallerinin belirli başlı avantajlarının en başında sistem çökmelerinde dahi DÜS'lerin yakınlarındaki müşterilerin enerji sürekliliği sağlanmaktadır. Dağıtık üretim santralleri ile Avrupa da ve Amerika da neredeyse 50 yıllık ve dalbudak şebeke yapısında olan dağıtım şebekelerinin DÜS'ler le birlikte yenilenme ihtiyacı doğmuştur. Dağıtık üretim santrallerinin şebeke bağlantılarında aşağıdaki problemler görülmektedir.

- İki yönlü enerji akışından dolayı reaktif gücün kontrolünün zorlaşması,
- Değişen aktif ve reaktif güçten dolayı şebekede istenmeyen gerilim değişimlerinin olması,
- Şebeke üzerindeki transformatörlerin bağlantı gruplarına göre kısa devre akımlarının etkilerinin artması ve röle seçim kriterlerinin sürekli değişmesi,
- Mevcut şebeke elemanların kısa devre akım limitleri ile ısıl dayanım kapasiteleri zorlanması,
- Fliker ve harmonik üretiminin kabul edilebilir sınırlar içinde olmaması,
- Anahtarlama olaylarından ve anlık devreye girme olayları gibi geçici durumlarda şebeke kararlılığının limit değerleri içerisinde olmamasıdır.

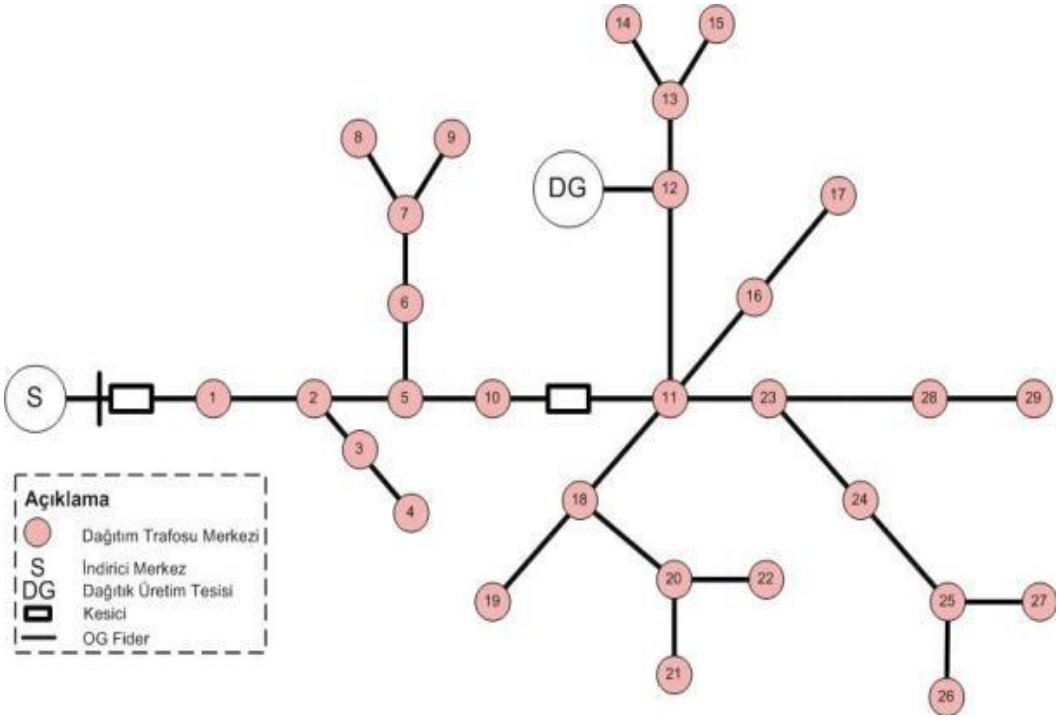
Dağıtık üretim yatırımlarını cesaretlendirmek için temiz ve güvenli enerji üretiminin de dahil olduğu pek çok sebep bulunsa da üretim dağıtık olmasına rağmen (üçüncü parti firmaların veya doğrudan tüketicinin elinde olacak şekilde) kontrolden hâlâ merkezi sistemin sorumlu olması akla şebeke ile dağıtık üretim merkezleri arasındaki uyumsuzluklardan kaynaklanabilecek kimi sorunları getirebilir. Akıllı Şebekeler güvenlik, güç kalitesi, izolasyon senaryoları, altyapı yönetimi, sistem planlaması ve kontrolü gibi konuları da kapsayan bu soruların çoğuna olumlu cevap verebilmek için hayati öneme sahiptir.



Şekil 2.7. Yenilenebilir enerji kaynakları ve akıllı şebeke entegrasyonu

Beklenmeyen bir arıza anında dağıtık üretim sistemleri tesisler, personel, kullanıcılar ve diğer üçüncü parti uygulayıcılar için güvenli sağlayabilecek yapıda olmalıdır. Akıllı sayaçlar ve haberleşme tekniklerinin entegrasyonu, özel veya genel kullanıma açık Wi-Fi, WiMAX uygulamaları gibi çözümler sayesinde akıllı şebekeler tersine güç akışını, sıra dışı durumları ve üretimin anlık değerlerini denetleyebilir. Akllı şebeke haberleşme çözümleri standart denetleme mekanizmaları ile kombine edildiğinde önceden sahip olmadığımız kadar net bir bakış açısı ve daha sağlıklı ön görülere sahip olabileceğiz. Şekil 2.8'de dağıtık üretim tesisleri ve bağlantılı fiderlerin bulunduğu bir dağıtım sistemi tek hat şeması gösterilmiştir [45].

Ana şebeke ile bağlantının kopması gerekli kalite, seviye ve frekansta güç iletimini zora soktuğu için endüstride dağıtık üretim tesislerinin kapalı bir şebeke içinde çalışması genellikle istenmeyen bir durumdur. Dağıtık üretim tesislerinin güvenli olarak sistemden ayrıştırılabilmeleri için ek kontrol mekanizmalarına ihtiyaç duyulur.



Şekil 2.8. Dağıtık üretim tesisleri ve bağlantılı fiderlerin bulunduğu bir dağıtım sistemi tek hat şeması [45]

Ana şebeke ile bağlantının kopması gerekli kalite, seviye ve frekansta güç iletimini zora soktuğu için endüstride dağıtık üretim tesislerinin kapalı bir şebeke içinde çalışması genellikle istenmeyen bir durumdur. Dağıtık üretim tesislerinin güvenli olarak sistemden ayrıştırılabilmeleri için ek kontrol mekanizmalarına ihtiyaç duyulur. Uzun süredir erkin olarak kullanılmakta olan güvenlik sinyali temelli yöntemler maliyetlerinin yüksekliği nedeniyle yerini akıllı şebekelerin beraberinde getirdiği nispeten ucuz ve güvenilir haberleşme çözümlerine bırakacak gibi görünmekte. Örneğin geniş alanda WiMAX çözümlerine yönelecek tesisler bu yüksek hızlı haberleşme tekniği sayesinde klasik yöntemlere kıyasla çok düşük bir maliyeti göze alarak bu sorunu çözebilecektir.

Çoğu tesis çeşitli seviyelerde dağıtık otomasyon kontrol sistemlerine ve SCADA çözümlerine sahip olarak yüksek hassasiyetle akım kontrolü ve analizine uygun olanaklara sahiptir. Ancak daha düşük seviyede kontrol altında tutulan bir şebekeye dağıtık üretim tesisleri bağlandığında kimi sorunlar ortaya çıkabilir: dağıtık üretim çıktısı minimum veya maksimum üretim anlarında stabilizasyon kaybına yol açabilir. Daha çok yenilenebilir dağıtık üretim kaynağı şebekeye entegre edildikçe bu etkiler katlanarak artacaktır. Bu noktada akıllı şebekelerin getireceği yüksek hassasiyetli haberleşme çözümleri bu etkileri anlamak ve minimalize etmek için gerekli verileri sağlayabilecektir.

Tesisler ayrıca akıllı şebeke dağıtım yönetim sistemlerini de kontrol merkezlerine entegre edebilmek için yakın takip altında tutarlar. Bu sistemler akıllı alarm uygulamaları, yük yönetimi ve daha iyi güvenli çalışma şartlarını sağlamalıdır. Ayrıca heterojen dağılımlı dağıtık üretim kaynakları arasında eş güdüme de izin vermelidir. (Rüzgar, Güneş, Biyokütle vs.)

Enerji depolama teknolojileri geliştikçe pik noktalarında üretim dalgalanmalarını ortadan kaldırmak için hem yük hem kaynak gibi davranabilen uygulamalar geliştirileceği için akıllı şebekelerin sistem etkilerini hem üretici hem tüketici gözünden inceleyebilecek seviyeye gelmesi gerekmektedir.

Dağıtık üretim kaynaklarının yükselen kullanım eğilimi kapasite faktörü, voltaj ve frekans kontrolü gibi hesaplamaların önemini artırmaktadır. Rüzgar ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kendi doğaları sonucu ortaya çıkan diğer zorluklar da hesaba katılınca uzun dönemli dağıtık enerji üretiminin kontrol altında tutulabilmesi bütün dağıtık enerji kaynaklarının özelliklerinin ve karakteristiklerinin dikkatlice incelenmesini gerekliliğini de beraberinde getiriyor.

Şebekelerin bu şartlar altında güvenli bir çalışma sağlayabilmesi için gerçek zamanlı verilere ve bu verilerin uygun biçimde işlenmesine ihtiyaç duyduğu görülebilir.

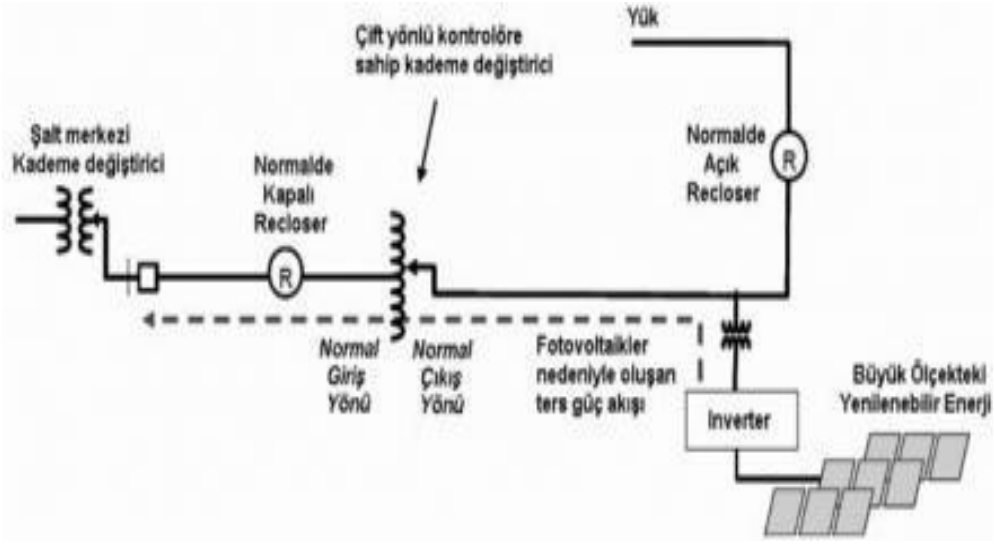
Dağıtık üretim tesislerinin akıllı şebekelere entegrasyonunda bir diğer anahtar nokta da tesislerin kaynağın kendisinden ve şebekenin geri kalan kısmından gelen bilgileri okuma, işleme ve buna göre hareket etme yeteneğinde yatmaktadır. Gelişen bilgi teknolojileri ve getirdikleri yeni çözümler sayesinde -bilgi işleme araçlarının da yardımıyla- sensör bilgileri ile hareket bilgileri arasındaki zaman aralığı gittikçe daralmakta, daha hızlı ve etkili tepki veren sistemler mümkün olmaktadır.

2.9. YEK'lerin Akıllı Şebekelere Entegrasyonu Konusunda Dünyadaki Gelişmeler

Yenilenebilir enerji entegrasyonu çalışmaları tüm dünyada hız kazanmıştır. Her ülkenin kendine ait çalışmalarının ve raporlarının bulunmasının yanında ülkeler arası ölçekte yenilenebilir enerji dizaynları da yapılmaktadır. Bunların en önemlilerinden biri, Türkiye'nin de dâhil olduğu DESERTEC olarak bilinen projedir (Şekil 2.9) [45]. Projenin tanıtım cümlesi oldukça çarpıcıdır. "İnsanoğlunun 1 yılda tükettiği enerjiyi çöller, 6 saat içerisinde almaktadır". Bu tür projeler açıkça göstermektedir ki gelecekteki enerji yapısında yenilenebilir enerji kaynaklarının katkısı oldukça yüksek olacaktır. Ayrıca adalaşan enerji yapıları yerine elektrik enerjisinin bulunabilirliğinin ve güvenirliliğinin arttığı uluslararası enerji yapıları oluşturulacaktır. Ayrıca bu yapılar, ülkeler arası enerji pazarının oluşmasını da sağlayacaktır [2].

Dünya, artık tek bir enerji sistemine doğru gitmektedir. İletim sistemimiz için en güncel bağlantı, 2005 yılında imzaladığımız ve 2010 yılı başında da deneme çalışmalarına başlanacak olan eski adı ile UCTE, yeni adı ile ENTSO-E olan Avrupa Birliği İletim Sistem Operatörleri Birliği'dir. ENTSO-E'nin bazı bağlantı şartları bulunmaktadır. Bu şartların temel amacı; entegreolunan sistemi ve entegre olunacak sistemi bu büyük sistemin herhangi bir noktasında meydana gelebilecek arızaların etkisinden etkisinden korumaktır. Bu etkiler, güç alışverişinin yüksek olduğu durumlarda sistemlerin ayrılmasına; sistemler içinde jeneratörlerin devreden çıkmasına ve enerji kesintilerine neden olabilecek büyüklükte olabilmektedir .

Dünya, artık tek bir enerji sistemine doğru gitmektedir. İletim sistemimiz için en güncel bağlantı, 2005 yılında imzaladığımız ve 2010 yılı başında da deneme çalışmalarına başlanacak olan eski adı ile UCTE, yeni adı ile ENTSO-E olan Avrupa Birliği İletim Sistem Operatörleri Birliği'dir. ENTSO-E'nin bazı bağlantı şartları bulunmaktadır. Bu şartların temel amacı; entegre olunan sistemi ve entegre olunacak sistemi bu büyük sistemin herhangi bir noktasında meydana gelebilecek arızaların etkisinden etkisinden korumaktır. Bu etkiler, güç alışverişinin yüksek olduğu durumlarda sistemlerin ayrılmasına; sistemler içinde jeneratörlerin devreden çıkmasına ve enerji kesintilerine neden olabilecek büyüklükte olabilmektedir [45].



Şekil 2.9. DESERTEC projesi [45]

İletim sistemindeki yapıların kontrol özellikleri, sistem kararlılığı üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Bu yapılar içinde jeneratörlerin hız (türbin) ve gerilim (ikaz) kontrolörleri birinci derece öneme sahiptir. Ülkemizde, Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliği'nde 29 Haziran 2006 tarihli değişiklik ile detaylandırılan primer frekans kontrolü, 20 Şubat 2008 tarihli değişiklik ile UCTE'ye uygun biçime getirilmeye çalışılmıştır. Aynı değişiklikte jeneratörlerin uyartım kontrolörü yapıları da belirlenmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Güç Sistemi Verilerinin Hazırlanması

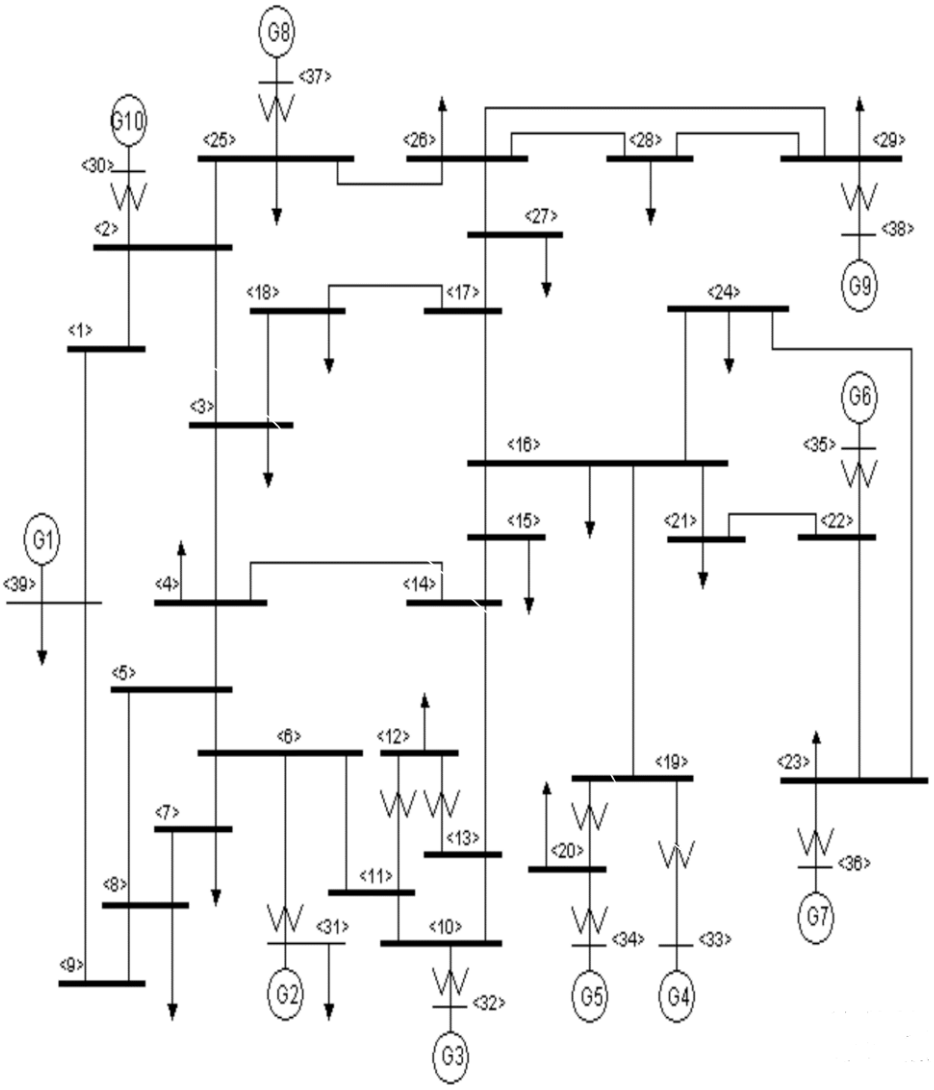
Güç sistemlerinin analizinde kullanılan gerilim ve güç gibi değerler çok yüksek değerlere sahip olduğundan öncelikle bu verilerin hesaplama kolaylığı açısından referans bir değere göre (taban değer) ifade edilmesi gerekir. Bu yüzden güç sistemlerinin analizizinde per unit (p.u.) değerler kullanılır. Referans değer olarak 100 MVA'lık güç değeri ve 60 Hz kullanılarak diğer değişkenler bu taban değere göre normalize edilir.

Bara verileri baraların karakteristik değerlerini içerir. Bara adı, bara numarası, bara tipi (salınım barası, yük barası, generatör barası), bara gerilim genliği, bara gerilim faz açısı, baraya bağlı yüklere ve generatörlere ait değerler, şönt admitansı gibi değerler bu verilerde belirtilir.

Baraların bağlantı yapısı ve hatlara ait karakteristik değerleri ise hat verilerinde mevcuttur. Baraların birbiriyle olan bağlantısı, hatların sahip olduğu direnç değerleri, hatların reaktans değerleri, hatların süseptansları, transformatör tap ayarı değerleri bu verilerde belirtilir.

Güç sistemlerinin analizinde kullanılacak metodları uygulamak için önceden belirlenmiş standartlarda hazır test sistemleri kullanılır. Bu test sistemleri kullanılarak önerilen çözümün verimliliği tartışılır. Yeni geliştirilen yöntemler bu test sistemleri üzerinden denenerek önceki yöntemlere olan katkıları ve varsa dezavantajları tespit edilir. Bu amaçla, yapılan çalışmada IEEE 39-Baralı Test Sistemi kullanılmıştır. Güç sisteminin verileri de yine bu test sisteminden hazır olarak alınmıştır. Klasik çözümü elde etmek üzere Hadi Saadat tarafından geliştirilen ve modifikasyonuna izin verilen güç akış analizi yazılımı ele alınmış ve bu yazılım modifiye edilerek iyileştirilip 24 saatlik saat bazında dinamik yük akış çözümleri elde edilmeye çalışılmıştır. Sonraki sayfadaki Şekil 3.1'de bu çalışmada kullanılan test sistemi görülmektedir.

Çalışmada kullanılacak güç sistemine ait bara verileri Çizelge 3.1.'de görülmektedir



Şekil 31. Çalışmada kullanılan IEEE 39-baralı test sistemi diyagramı

Çizelge 3.1. Test sistemi bara verileri

Bara No	Bara Tip	Voltage Değeri	Açı Derece	Yük MW	Yük Mvar	Üretim MW	Üretim Mvar	Gen. Numa.
1	0	1	0	0.0	0.0	0.0	0.0	
2	0	1	0	0.0	0.0	0.0	0.0	
3	0	1	0	322.0	2.4	0.0	0.0	
4	0	1	0	500.0	184.0	0.0	0.0	
5	0	1	0	0.0	0.0	0.0	0.0	
6	0	1	0	0.0	0.0	0.0	0.0	
7	0	1	0	233.8	84.0	0.0	0.0	
8	0	1	0	522.0	176.0	0.0	0.0	

Çizelge 3.1. (Devam)

9	0	1	0	0.0	0.0	0.0	0.0	
10	0	1	0	0.0	0.0	0.0	0.0	
11	0	1	0	0.0	0.0	0.0	0.0	
12	0	1	0	7.5	88.0	0.0	0.0	
13	0	1	0	0.0	0.0	0.0	0.0	
14	0	1	0	0.0	0.0	0.0	0.0	
15	0	1	0	320.0	153.0	0.0	0.0	
16	0	1	0	329.0	32.3	0.0	0.0	
17	0	1	0	0.0	0.0	0.0	0.0	
18	0	1	0	158.0	30.0	0.0	0.0	
19	0	1	0	0.0	0.0	0.0	0.0	
20	0	1	0	628.0	103.0	0.0	0.0	
21	0	1	0	274.0	115.0	0.0	0.0	
22	0	1	0	0.0	0.0	0.0	0.0	
23	0	1	0	247.5	84.6	0.0	0.0	
24	0	1	0	308.6	-92.0	0.0	0.0	
25	0	1	0	224.0	47.2	0.0	0.0	
26	0	1	0	139.0	17.0	0.0	0.0	
27	0	1	0	281.0	75.5	0.0	0.0	
28	0	1	0	206.0	27.6	0.0	0.0	
29	0	1	0	283.5	26.9	0.0	0.0	
30	2	1.0475	0	0.0	0.0	250.0	0.0	Gen 10
31	1	0.9820	0	9.2	4.6	0.0	0.0	Gen 2
32	2	0.9831	0	0.0	0.0	650.0	0.0	Gen 3
33	2	0.9972	0	0.0	0.0	632.0	0.0	Gen 4
34	2	1.0123	0	0.0	0.0	508.0	0.0	Gen 5
35	2	1.0493	0	0.0	0.0	650.0	0.0	Gen 6
36	2	1.0635	0	0.0	0.0	560.0	0.0	Gen 7
37	2	1.0278	0	0.0	0.0	540.0	0.0	Gen 8
38	2	1.0265	0	0.0	0.0	830.0	0.0	Gen 9
39	2	1.0300	0	1104.0	250.0	1000.0	0.0	Gen 1

Bara verileri içerisinde 1. sütun elemanları bara numaralarını, 2. sütun elemanları (yük baraları için 0, salınım barası için 1, generatör baraları için 2 olmak üzere) bara tipini, 3-4. sütun elemanları sırasıyla bara gerilim genlik ve faz açısı değerlerini, 5-6. sütun elemanları baralara bağlı yük değerlerini, 7-8. sütun elemanları generatör değerlerini, 9. sütun elemanları ise hangi generatöre olduğuna ait değerleri ihtiva etmektedir.

Sisteme ait hat verileri ise sonraki çizelge Çizelge 3.2.'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Test sistemi hat verileri

Bar. i	Bar. j	R (p.u.)	X (p.u.)	1/2 B (p.u.)	Tap Ayar
1	2	0.0035	0.0411	0.6987	1.000
1	39	0.0010	0.0250	0.7500	1.000
2	3	0.0013	0.0151	0.2572	1.000
2	25	0.0070	0.0086	0.1460	1.000
3	4	0.0013	0.0213	0.2214	1.000
3	18	0.0011	0.0133	0.2138	1.000
4	5	0.0008	0.0128	0.1342	1.000
4	14	0.0008	0.0129	0.1382	1.000
5	6	0.0002	0.0026	0.0434	1.000
5	8	0.0008	0.0112	0.1476	1.000
6	7	0.0006	0.0092	0.1130	1.000
6	11	0.0007	0.0082	0.1389	1.000
7	8	0.0004	0.0046	0.0780	1.000
8	9	0.0023	0.0363	0.3804	1.000
9	39	0.0010	0.0250	1.2000	1.000
10	11	0.0004	0.0043	0.0729	1.000
10	13	0.0004	0.0043	0.0729	1.000
13	14	0.0009	0.0101	0.1723	1.000
14	15	0.0018	0.0217	0.3660	1.000
15	16	0.0009	0.0094	0.1710	1.000
16	17	0.0007	0.0089	0.1342	1.000
16	19	0.0016	0.0195	0.3040	1.000
16	21	0.0008	0.0135	0.2548	1.000
16	24	0.0003	0.0059	0.0680	1.000
17	18	0.0007	0.0082	0.1319	1.000
17	27	0.0013	0.0173	0.3216	1.000
21	22	0.0008	0.0140	0.2565	1.000
22	23	0.0006	0.0096	0.1846	1.000
23	24	0.0022	0.0350	0.3610	1.000
25	26	0.0032	0.0323	0.5130	1.000
26	27	0.0014	0.0147	0.2396	1.000
26	28	0.0043	0.0474	0.7802	1.000
26	29	0.0057	0.0625	1.0290	1.000
28	29	0.0014	0.0151	0.2490	1.000
12	11	0.0016	0.0435	0.0000	1.006
12	13	0.0016	0.0435	0.0000	1.006
6	31	0.0000	0.0250	0.0000	1.070
10	32	0.0000	0.0200	0.0000	1.070
19	33	0.0007	0.0142	0.0000	1.070
20	34	0.0009	0.0180	0.0000	1.009
22	35	0.0000	0.0143	0.0000	1.025
23	36	0.0005	0.0272	0.0000	1.000
25	37	0.0006	0.0232	0.0000	1.025
2	30	0.0000	0.0181	0.0000	1.025

Çizelge 3.2. (Devam)

29	38	0.0008	0.0156	0.0000	1.025
19	20	0.0007	0.0138	0.0000	1.060

Çizelge 3.2.'deki veriler aracılığıyla hatlar tanımlanmaktadır. 1-2. sütun verileri birbiriyle bağlantılı bara numaralarını, 3-4-5. sütun verileri hat direncini, reaktansı ve hat süseptansının yarı değerini, 6. sütun verileri ise transformatör tap ayarlarını (normal hatlar için 1) içerir.

3.2. Yöntem

3.2.1. Yük Akış (Güç Akış) Analizleri

Güç sistemlerinin işletilmesi ve planlanmasında hayati öneme sahip güç akış analizi uygulamaları, gelişen yeni yöntemler çerçevesinde sürekli yenilenmektedir. Güç akış analizi, anormal ve beklenmedik durumlar sonrasında ihtiyaç duyulan normal çalışma şartlarındaki sistem parametrelerini elde etmek için yapılır.

Yük akış analizi için farklı matematiksel teknikler kullanılmıştır. Bu teknikler Newton-Raphson [7], Fast-Decoupled [8,9], Gauss–Seidel [10] gibi matematiksel algoritmalardır. Bu matematiksel algoritmaların yanı sıra parçacık sürü optimizasyonu [47], bulanık mantık algoritması [48], diferansiyel evrim algoritması [49], tabu araştırma algoritması [50], bakteri kolonisi optimizasyonu [51] gibi modern sezgisel metotlar da kullanılmıştır.

Özellikle 1960'lı yıllarda dijital bilgisayarın icadı ve kullanımının yaygınlaşmasıyla yük akış problemleri için birçok yöntem geliştirilmiştir [7]. Özellikle nümerik yöntemler üzerinde çalışılmış, fast-decoupled gibi Newton metodunun farklı versiyonları da yaygın olarak kullanılmaya başlanılmıştır [9]. Ray D. Zimmerman ve Hsiao-Dong Chiang da bu yöntemi kullanarak dengesiz radyal dağıtım sistemleri üzerinde yük akış çalışması yapmıştır [8].

Nümerik yöntemler özellikle Newton-Raphson metodu analizi, çözüme yakınsama hızı ve doğruluğu bakımından en yaygın kullanıma sahip temel bir metot haline gelmiştir. Newton-Raphson yöntemi çok değişkenli lineer olmayan denklemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılan bir analiz yöntemidir. Bu metoda göre başlangıçta, değişkenlerin değerleri rastgele belirlenir. Bu değerlerin kullanılması ile yeni değerler üretilir. En son üretilen iki değer arasında kabul

edilebilir küçük bir fark sağlanana kadar iteratif olarak çalışma devam ettirilir. Newton-Raphson yük akışının amacı, tüm yük baralarının gerilim genlik değerleri ile salınım barası dışındaki tüm baraların açı değerlerini belirlemektir. D. Shirmohammadi, H.W. Hong, A. Semlyen ve G.X. Luo [52] tarafından 1988'de yapılan çalışmada çok girişli kompanzasyon tekniği ve Kirchoff yasasının temel formasyonu kullanılarak zayıf ağlı dağıtım ve iletim şebekelerinin çözümü için bir yük akış metodu tarif edilmiştir. Bahsedilen metod çok iyi bir yakınsamaya sahip olup bu metodun uygulandığı bir bilgisayar programı geliştirilmiş ve radyal zayıf ağlı birkaç dağıtım ve iletim şebekesine başarıyla uygulanmıştır. Sözü edilen metod tek fazlı (dengeli) şebekelerin yanı sıra üç fazlı (dengesiz) şebekelerin çözümüne de uygulanabilmiştir. 1995 yılında Carol S.Cheng ve D. Shirmohammadi'nin [53] birlikte yaptıkları çalışmada ana dağıtım sistemlerinin gerçek zamanlı analizi için üç fazlı durumda yük akış çözümü sunulmuştur. Bu yöntem tek fazdan üç faza zayıf ağlı dağıtım sistemleri için kompanzasyon tabanlı yük akış metodunun (önceki kısımda açıklanan çalışma) doğrudan bir açılımı olup dengesiz ve dağıtılmış yükler, gerilim regülâtörleri ve otomatik kontrollü paralel kapasitörler üzerine vurgu yapılmıştır. Kompanzasyon fikri, üretim baralarında gerilim genlik uyumsuzluğunu giderebilmek için başarılı bir şekilde ele alınmıştır. Bu metot dağıtım otomasyon sistemlerinde gerçek zamanlı uygulama için gereken yüksek çalışma hızını sağlamıştır.

Yakın bir gelecekte, akıllı şebeke (Smart Grid) uygulamaları ile yenilenebilir dağıtık kaynakların dağıtım şebekesine entegrasyonunun gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir [54]. Bu noktada, enerji üretim süreksizliği ve belirsizliği olan enerji kaynaklarının (güneş ve rüzgar enerjisi gibi) güç dağıtım şebekesine etkilerinin analizi önem kazanmaktadır. Bu sistemlerin neden olduğu üretim dalgalanmaları durumunda şebeke koşullarının kabul sınırlar içinde çalışmasının sağlanması için analiz ve yönetim metotlarının geliştirilmesi gerekmektedir.

3.2.2. Numerik Analiz Metodu

Güç sistemlerinin analizinde karşılaşılan problemlerin çözümünde lineer olmayan denklemlerle karşılaşılır. Bu denklemleri çözmek için nümerik yöntemler kullanılır. Yük akış analizinin temel amacı verilen bir güç sisteminde,

üretim ve tüketim değerleri için, baralar üzerindeki kompleks gerilim ve hatlar üzerinde akan kompleks güç değerlerini bulmaktır.

Yük akış probleminin çözümü, her bir baradaki gerilimin genliği, faz açısı ve her bir hatta akan aktif ve reaktif gücün belirlenmesini sağlar. Bir yük akış problemi çözülürken sistemin normal, dengeli şartlar altında çalıştığı ve tek hat diyagramıyla temsil edildiği kabul edilir. Her bir barada ele alınması gereken değişkenler, gerilim genliği (|V|), gerilim faz açısı (δ), aktif güç (P) ve reaktif güçtür (Q). Bazı baralar jeneratörlerle beslenir ve bu baralar üretim barası olarak isimlendirilir. Bu baralarda gerilim genliğinin ve aktif gücün bilindiği (sabit) kabul edilir. Jeneratöre bağlı olmayan diğer baralar yük barası olarak adlandırılır. Tüm baralarda kompleks yük gücünün bilindiği kabul edilir. Kısaca özetlemek gerekirse bir güç sistemindeki baralar 3 gruba ayrılır:

i-Referans bara olarak da adlandırılan salınım barası, gerilimin genliğinin (|V|) ve faz açısının (δ) bilindiği aktif (P) ve reaktif gücün (Q) bulunacağı baradır. Güç sistemindeki kayıpların neden olduğu üretilen güç ile planlanan yük arasındaki fark bu bara üzerinden değerlendirilir.
ii-P-Q barası olarak da adlandırılan yük baraları, aktif (P) ve reaktif gücün (Q) bilinip bara geriliminin genliğinin (|V|) ve faz açısının (δ) arandığı baralardır. Yük baralarında güç harcandığı için aktif ve reaktif güç değerleri negatif değerler alır.
iii-P-V barası ya da gerilim kontrollü bara adıyla da bilinen üretim baraları, aktif güç (P) ve gerilim genliğinin (|V|) bilindiği, gerilim faz açısının (δ) ve reaktif gücün (Q) belirleneceği baralardır.

3.2.3. Güç Akış Denklemleri

Bir güç sistemindeki güç akış denklemleri sistemdeki her bir baraya Kirchoff Akımlar Yasası'nın uygulanmasıyla elde edilebilir. İletim hatları admitanslarının ortak bir tabandeğerine bağlı olarak birim (per unit, p.u.) değere dönüştürülerek π eşdeğer devresiyle temsil edilir. Bir *i* barası ve bu baraya bağlı diğer baralara Kirchoff Yasası'nı uygulayalım [55].

$$I_i = y_{i0}V_i + y_{i1}(V_i - V_1) + y_{i2}(V_i - V_2) + ... + y_{in}(V_i - V_n) \qquad (3,1)$$

Buradan

$$I_i = (y_{i0} + y_{i1} + y_{i2} + ... + y_{in})V_i - y_{i1}V_1 - y_{i2}V_2 - ... - y_{in}V_n \qquad (3,2)$$

şeklindeki düzenlemeyle

$$I_i = V_i \sum_{j=0}^{n} Y_{ij} - \sum_{j=1}^{n} Y_{ij} V_j \qquad j \neq i \qquad (3,3)$$

elde edilir. Bu baradaki aktif ve reaktif güç yazılacak olursa;

$$P_i + jQ_i = V_i I_i^* \qquad (3,4)$$

$$I_i = \frac{P_i - jQ}{V_i^*} \qquad (3,5)$$

bulunur ve üstteki denklemde yerine yazılırsa;

$$\frac{P_i - jQ}{V_i^*} = V_i \sum_{j=0}^{n} Y_{ij} - \sum_{j=1}^{n} Y_{ij} V_j \qquad (3,6)$$

elde edilir. Bu ifade nonliner bir yapıya sahip olup iteratif denklemlerle çözülmesi gereken güç akış denklemidir.

3.2.4. Newton-Raphson Metodu

Newton metotları yük akışı denklemlerinin çözümü için iteratif metotlara (Gauss, Gauss-Seidel …) göre kuadratik yakınsama karakteristiğine sahiptir [56]. Özellikle büyük çaplı güç sistemleri için Newton-Raphson metodu çok daha verimli ve uygulanabilirdir. En belirgin üstünlüklerinden birisi de çözüme ulaşmak için gereken adım sayısının sistemin boyutundan bağımsız olmasıdır. Fakat bu sırada çözümü elde ederken adım başına harcanan işlem yükü fazladır. Yük akış analizinde gerilim kontrollü baralar için aktif güç ve gerilim genliği bilindiğinden yük akış denklemleri kutupsal formda ifade edilir. Newton-Raphson (NR) yük akış analiz metodunu burada kısaca özetlemek gerekirse [57]:

Bir *i* barası ve bu baraya bağlı hatlar dikkate alınarak Kirchoff Akım yasası'ndan

$$I_i = \sum_{j=1}^{n} Y_{ij} V_j = \sum_{j=1}^{n} |Y_{ij}||V_j| \angle_{ij} + \delta_j \qquad (3,7)$$

ifadesi kutupsal formda elde edilir. Bara *i*'deki kompleks güç,

$$P_i - jQ_i = V_i I_i \tag{3,8}$$

olarak ifade edilir. Denklem (3,7) ve denklem (3,8) kullanılırsa

$$P_i - jQ_i = (|V_i| \angle -\delta_i) \sum_{j=1}^{n} |Y_{ij}||V_j| \angle_{ij} + \delta_j \tag{3,9}$$

elde edilir. Burada, Y_{ij} i ve j baraları arasındaki admitans değeridir. Baralar arasındaki admitans değerleri, Bara admitans matrisinde (Y_{BARA}) tanımlanarak, güç sistemi, yük akış analizi için tanımlanır. Denklem (3,9)'da görülen kompleks güç ifadesi gerçek ve sanal kısımlarına ayrılarak aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$P_i = \sum_{j=1}^{n} |Y_{ij}||V_i||V_j| \cos(\angle_{ij} - \delta_i + \delta_j) \tag{3,10}$$

$$Q_i = -\sum_{j=1}^{n} |Y_{ij}||V_i||V_j| \sin(\angle_{ij} - \delta_i + \delta_j) \tag{3,11}$$

Elde edilen (3,10) ve (3,11) denklemleri, bağımsız değişkenler (gerilim genliği ve gerilim faz açısı) içeren çözülecek olan nonlineer denklem sistemini oluşturur. Her bir yük barası için P_i ve Q_i denklemleri, her bir jeneratör barası için P_i denklemi kullanılır. Bu iki denklem yüksek dereceli terimler ihmal edilerek başlangıç değeri civarında Taylor serisine açılmak sureti ile denklem (3,12) ile temsil edilen lineer bir denklem sistemine dönüştürülür.

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta P_n^{(k)} \\ \Delta Q_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta Q_n^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \cdots \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \cdots \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & & & \\ \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \cdots \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \cdots \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \cdots \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \cdots \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & & & \\ \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \cdots \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \cdots \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta \delta_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta \delta_n^{(k)} \\ \Delta |V_2^{(k)}| \\ \vdots \\ \Delta |V_n^{(k)}| \end{bmatrix} \tag{3,12}$$

Aşağıdaki denklemde *J*, Jacobian matrisi olarak adlandırılır. Burada Jacobian matrisi gerilim faz açısı ve gerilim genliğindeki değişim oranıyla aktif ve reaktif güçteki değişim oranı arasındaki ilişkiyi belirler. Jacobian matrisi bir üstteki aktif ve reaktif güç denklemlerinin açı ve genlik değişimlerine göre kısmi türevlerinden oluşur ve aşağıdaki gibi verilir;

$$J = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P}{\partial \delta} & \frac{\partial P}{\partial V} \\ \frac{\partial Q}{\partial \delta} & \frac{\partial Q}{\partial V} \end{bmatrix} \tag{3,13}$$

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \tag{3,14}$$

Denklem (3.14) ile ifade edilen lineer denklem sistemi, iteratif olarak aşağıdaki çözüm adımları ile hesaplanır.

$$\delta^{m+1} = \delta^m + \Delta\delta \tag{3,15}$$

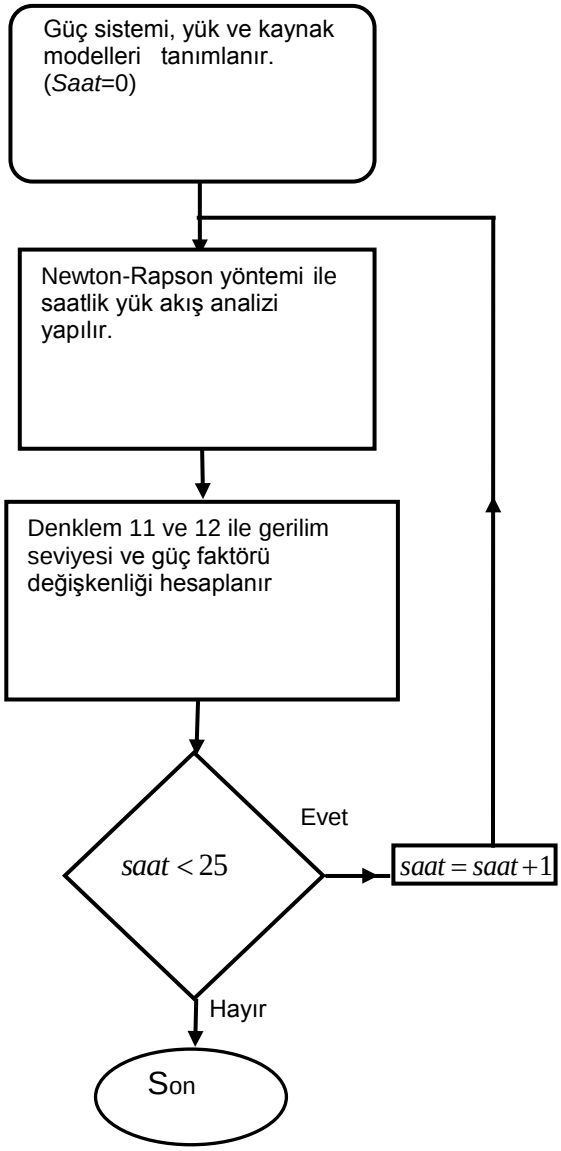
$$|V|^{m+1} = |V|^m + \Delta V \tag{3,16}$$

Hesaplamalar, bir *m* iterasyon adımında, gerilim ve faz açısındaki değişim (ΔV ve Δδ) önceden belirlenmiş bir hata eşiğinden küçük olunca kadar devam ettirilir.

3.2.5. Newton-Raphson Metodu Temelinde 24-Saatlik Dinamik Yük Akış Analizi

24-saatlik dinamik yük akışı analizlerini gerçekleştirmek için bir önceki bölümde kısaca özetlenen Newton-Raphson yük akış analiz metodundan faydalanılmıştır. Bu amaçla, dağıtık kaynaklar sürekli ve süreksiz kaynaklar olmak üzere iki farklı tipte modellenmiştir. Sürekli kaynakların, aktif ve reaktif güç değerlerinin 24 saat boyunca bir ortalama değer civarında nerede ise sabit kalabildiği varsayılmıştır. Örneğin barajların, termik santraller çıkış güçleri gibi. Süreksiz kaynaklar ise kaynak tipine (Rüzgar, güneş..vs) göre 24 saatlik aktif ve reaktif güç üretim profilleri 24 bileşenli G_p ve G_Q vektörleri ile temsil edilmiştir. Bu kaynakların aktif ve reaktif güç değerlerinin 24 saat boyunca değişkenlik gösterdiği varsayılmıştır. Benzer yaklaşımla, bara yükleri az değişken ve değişken güç talep profillerine uygun olarak iki farklı tipte modellenmiştir. Az değişken

yükler, sanayi bölgeleri gibi, gece vardiyaları nedeni ile 24 saat boyunca yüksek salınım göstermeyen yük modelleri için kullanılmıştır. Değişken güç talebi profilleri ise hane tüketicileri gibi 24 saatlik zaman dilimi içinde ciddi salınımlar gösteren yük modelleri için kullanılmıştır. Değişken yükler 24 bileşenli P_L ve Q_L vektörleri ile tanımlanmıştır. Saatlik bazda günlük yük akış analizleri, günün her saati için (1'den 24'e kadar) ilgili kaynak ve yük değerleri önceden tanımlanmış G_P, G_Q, P_L, Q_L vektörlerinden alınarak, Newton-Raphson metodu kullanılmak sureti ile gerçekleştirilmiştir. 24-Saatlik yük akış analizi için hesaplama adımları Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. 24-Saatlik yük akış analizi için hesaplama adımları akış diyagramı

Bara gerilim ve güç faktörü değişimlerinin değerlendirilmesi için dinamik yük akış analizleri sonucunda her yük barasına ait gerilim değerleri (V_d) ve güç faktörü ($\cos\theta_d$) saatlik bazda elde edilmiştir. Yük baralarında, gün içinde gerçekleşen gerilim ve güç faktörü değişimleri, istatistiki değişkenlik katsayısı (Coefficient of Variation) hesaplanmasında kullanılmıştır.

$$V_\sigma = \sigma(V_d) / \mu(V_d) \tag{3,17}$$

Burada σ(.) bara geriliminin günlük standart sapması ve μ(.) ise bara geriliminin günlük ortalama değeridir. V_σ değişkenlik faktörü, baralardaki günlük gerilim değişimleri hakkında karşılaştırılabilir bir istatistiki veri sunmuştur. Benzer bir yaklaşımla, baralardaki güç faktöründeki değişkenlik,

$$\cos\theta_\sigma = \sigma(\cos\theta_d) / \mu(\cos\theta_d) \tag{3,18}$$

denklemi ile ifade edilmiştir. Burada $\cos\theta_\sigma$ güç faktöründeki değişkenliği temsil etmektedir.

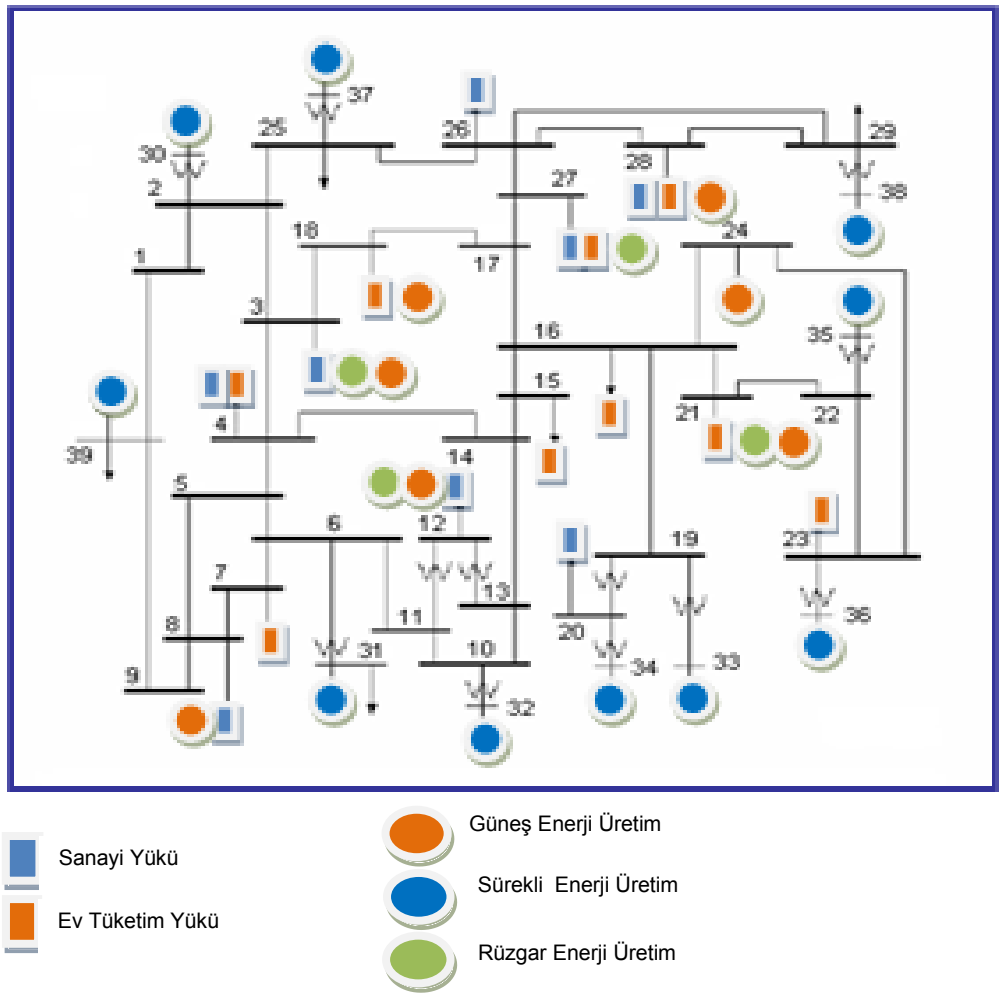
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. IEEE 39-Bus Test Güç Sistemi Üzerinde 24 saatlik Dinamik Yük Akış Analizleri

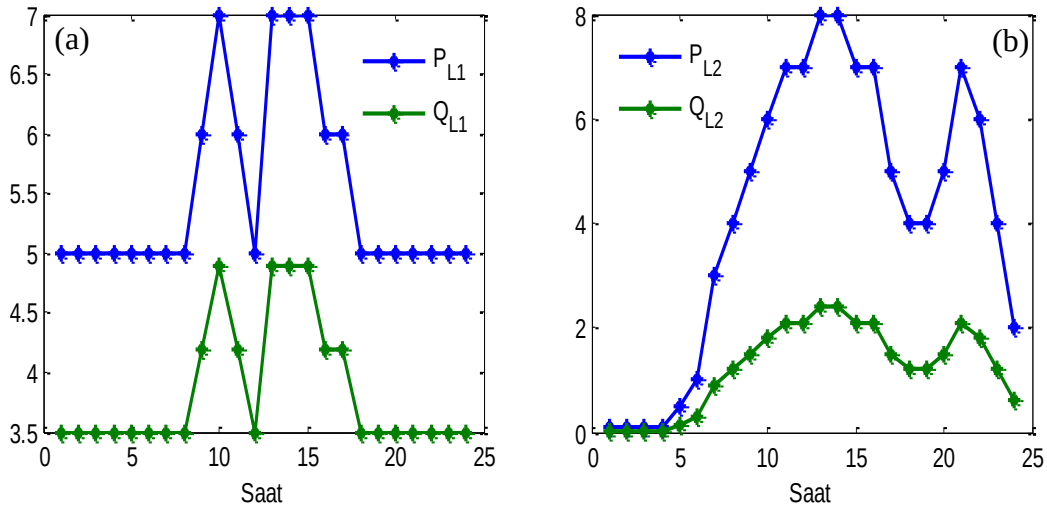
Güç sisteminde yük akış kararlılığının sürdürülebilmesi için, sistemde oluşabilecek olumsuz durumlarının önceden görülmesi ve gerekli tedbirlerin alınması, güç sisteminin doğru ve etkin yönetimi için gerekli bir adımdır. Bu çalışmada örnek bir uygulama için enerji pazarı problemleri için sıkça kullanılan Şekil3.1.'de gösterilen IEEE 39-bus test sistemi üzerinde saatlik bazda yük akış analizi testleri yapılmıştır. Bu test sistemine Şekil 4.1'de görüldüğü gibi dinamik yükler ve yenilenebilir dağıtık kaynaklar eklenerek farklı test senaryoları kurgulanmıştır. Bu amaca dönük olarak, iki tip dinamik test yükü tanımlanmıştır. Birincisi, sanayi bölgeleri gibi güç tüketim değişkenliği nispeten düşük olan yük talep profili, P_{L1}, Q_{L1} vektörleri ile temsil edilmiş ve Şekil 4.2.a'da gösterilmiştir. Diğer yük modeli ise hane tüketici bölgeleri gibi güç sarfiyatı yüksek değişkenlik gösteren yük talep profili P_{L2}, Q_{L2} ile vektörleri ile temsil edilmiş ve Şekil 4.2.b'de gösterilmiştir.

Bu çalışmada güç kaynak profilleri tüketici davranışlarına uygun olarak varsayımsal olarak belirlenmiştir. Bu yük analizi testi simulasyonunda güç sistemine enerji sağlayan üç tip kaynak profili tanımlanmıştır. Sürekli enerji kaynakları (Hidro enerji, termik enerji, nükleer enerji ...vs) için üretim profili G_{P1}, G_{Q1} vektörü ile tanımlanmıştır. Süreksiz ve yüksek belirsizlik gösteren yenilenebilir kaynaklardan rüzgar enerji üretim profili G_{P2}, G_{Q2} vektörü, güneş enerji üretim profili ise G_{P3}, G_{Q3} vektörü ile tanımlanmıştır. Bu profiller, kaynakların saatlik davranışlarına uygun ve varsayımsal olarak belirlenmiştir.

Yenilenebilir dağıtık kaynaklarının, bara gerilim ve güç faktörü kararlılığına etkileri iki test senaryosu kullanılarak, saatlik bazda incelenmiştir. Birince test senaryosu, yenilenebilir dağıtık kaynakların bulunmadığı merkezi üretim durumu için yapılmıştır. Bu test senaryosu *mevcut durum* (MD) olarak adlandırılmıştır. İkinci test senaryosu, yenilenebilir dağıtık kaynakların sisteme Şekil 4.1.'de gösterildiği gibi dağıtılması sonucu ortaya çıkan durumların analizi için hazırlanmıştır. Bu test senaryosu *dağıtık üretim durumu* (DU) olarak adlandırılmıştır.

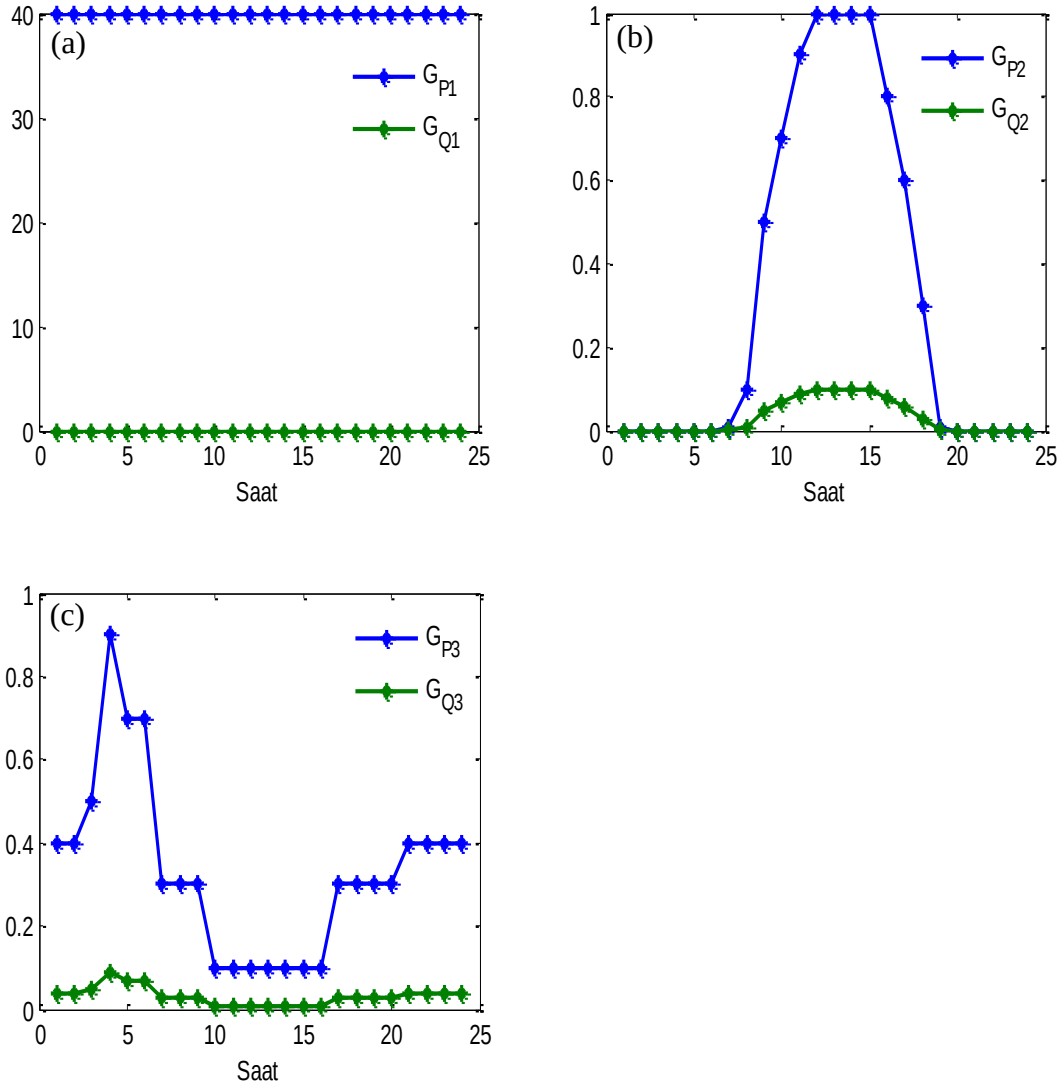


Şekil 4.1. Örnek uygulama için IEEE 39-bus test sistemi



Şekil 4.2. (a) Sanayi bölgelerinin güç tüketimini modelleyen az değişimli yük talep profili (P_{L1}, Q_{L1}) (b) Tüketici bölgeleri güç sarfiyatını modelleyen, yüksek değişkenlikli yük talep profili (P_{L2}, Q_{L2})

Şekil 4.3.'de üç tip enerji üretim kaynağı için analizde kullanılan üretim profilleri gösterilmiştir. Bu profiller, kaynakların saatlik davranışlarına uygun ve varsayımsal olarak belirlenmiştir.

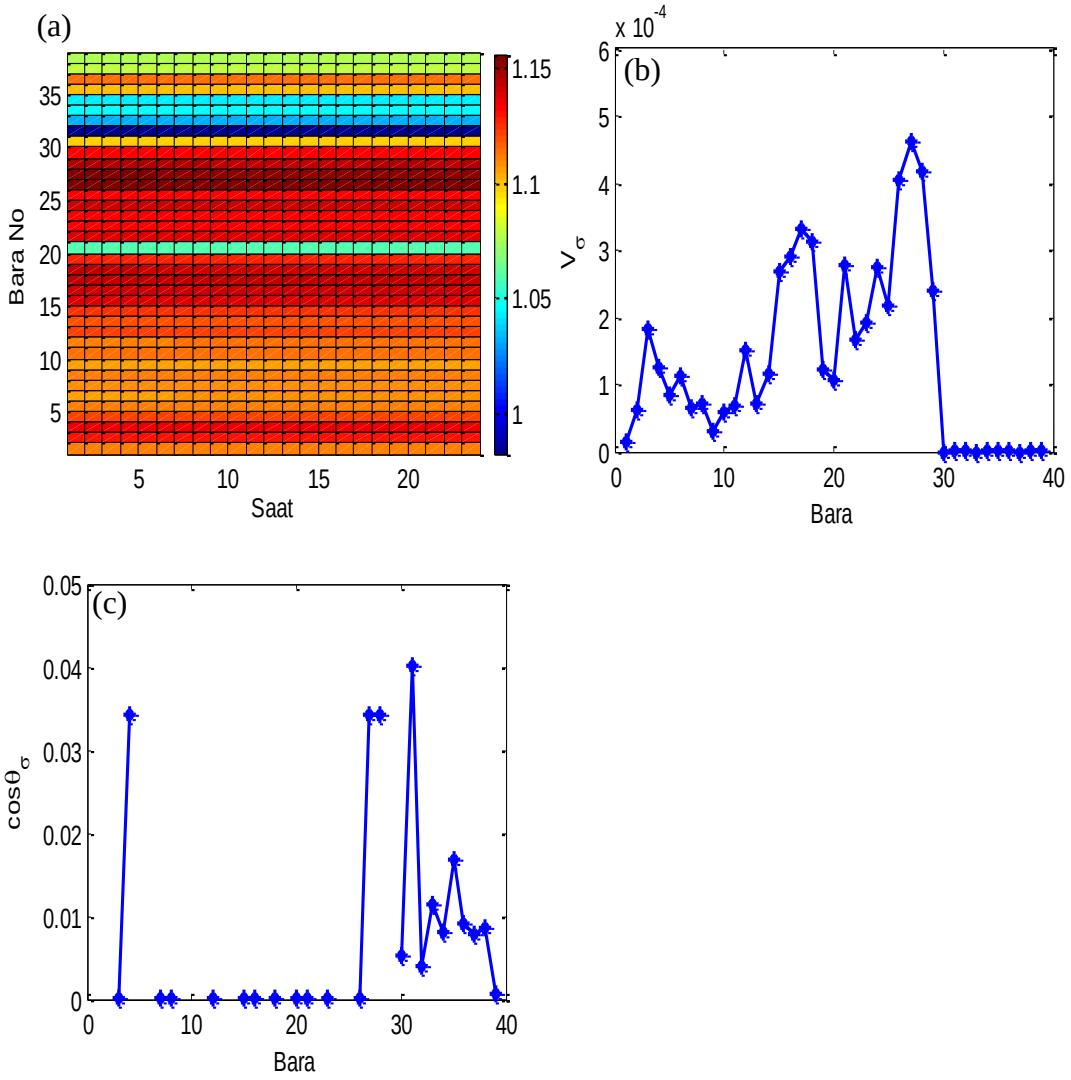


Şekil 4.3. (a) Sürekli enerji kaynakları üretim profili (G_{P1}, G_{Q1}) (b) Rüzgar enerji kaynakları üretim profili (G_{P2}, G_{Q2}) (c) Güneş enerji kaynakları üretim profili (G_{P3}, G_{Q3})

4.2. IEEE 39-Bus Test Güç Sistemi Üzerinde 24 saatlik Dinamik Yük Akış Sonuçları

Şekil 4.4.a.'da MD senaryosu için 24-saatlik yük akış analiz sonuçları verilmiştir. Şekil 4.4.b.'de bara numarası 30 ve daha yüksek baralar sadece üretim baraları olduğu için burada gerilim değişkenliği sıfır düzeyinde kalmıştır. Daha küçük bara numaralı baralarda ise yük baraları ile yük barası olmayan geçiş

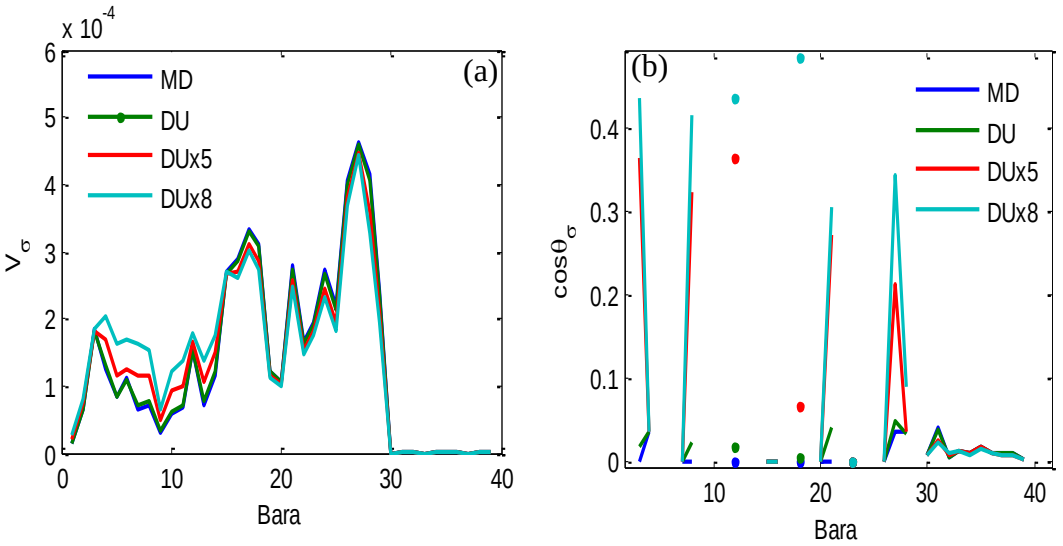
baraları mevcuttur. Bu analizde, Bara-27 de, %0.05 düzeyinde en yüksek günlük gerilim değişkenliği görülmüştür. Şekil 4.4.c'de en fazla %4 düzeyinde güç faktörü değişkenliği görülmektedir. Geçiş baralarında, yük veya kaynak bağlı olmadığı için, güç faktörleri hesaplanmamıştır. Bu durum Şekil 4.4.c'deki karakteristikte güç faktör değeri hesaplanmamış baralar olarak görülmektedir.



Şekil 4.4. (a) IEEE-39 bus test sisteminin MD senaryosu analizinde elde edilen Bara gerilim seviyeleri 24-saatlik profilleri. (b) Baraların günlük gerilim değişkenlikleri (c) Baraların günlük güç faktörü değişkenlikleri

Şekil 4.5.a. ve 4.5.b.'de mevcut durum (MD) ile dağıtık üretim senaryo varyantlarının (DU, DUx5, DUx8) karşılaştırılması yapılmıştır. Burada DUx5 ve DUx8 senaryoları, yenilenebilir dağıtık kaynakların enerjisinin DU'daki seviyesinin 5 katına ve 8 katına çıktığı test koşullarını temsil etmektedir. Buna

göre, DU düşük güçlü yenilenebilir enerji üretim koşullarını, DUx5 orta düzey yenilenebilir enerji üretim koşullarını, DUx8 ise yaklaşık olarak bütün lokal tüketime cevap verebilecek yüksek düzeyli yenilenebilir enerji üretim koşullarını temsil etmektedir. Şekil 4.6.a'da görüldüğü üzere, yenilenebilir kaynaklar ile dağıtık üretim, bara gerilim seviyelerinin günlük değişkenliğini (V_σ) dikkate değer ölçüde etkilememiştir. Güç faktörlerinde ise bazı baralarda günlük ortalama değişkenlikte ($\cos\Theta_\sigma$), %2-3 civarındaki artış dikkat çekmektedir. Bunun nedenini daha detaylı görmek için, baraların 24-saatlik gerilim seviyesi, güç faktörü, aktif ve reaktif güç profillerini daha detaylı incelememiz gerekir. Bu amaçla, gelecek bölümde örnek baralar Bara-15, Bara-27 ve Bara-28'in gerilim seviyeleri, güç faktörleri, aktif ve reaktif güç durumları hesaplanmış ve yenilenebilir kaynakların üretimi ile dağıtık üretiminin etkileri tartışılmıştır.

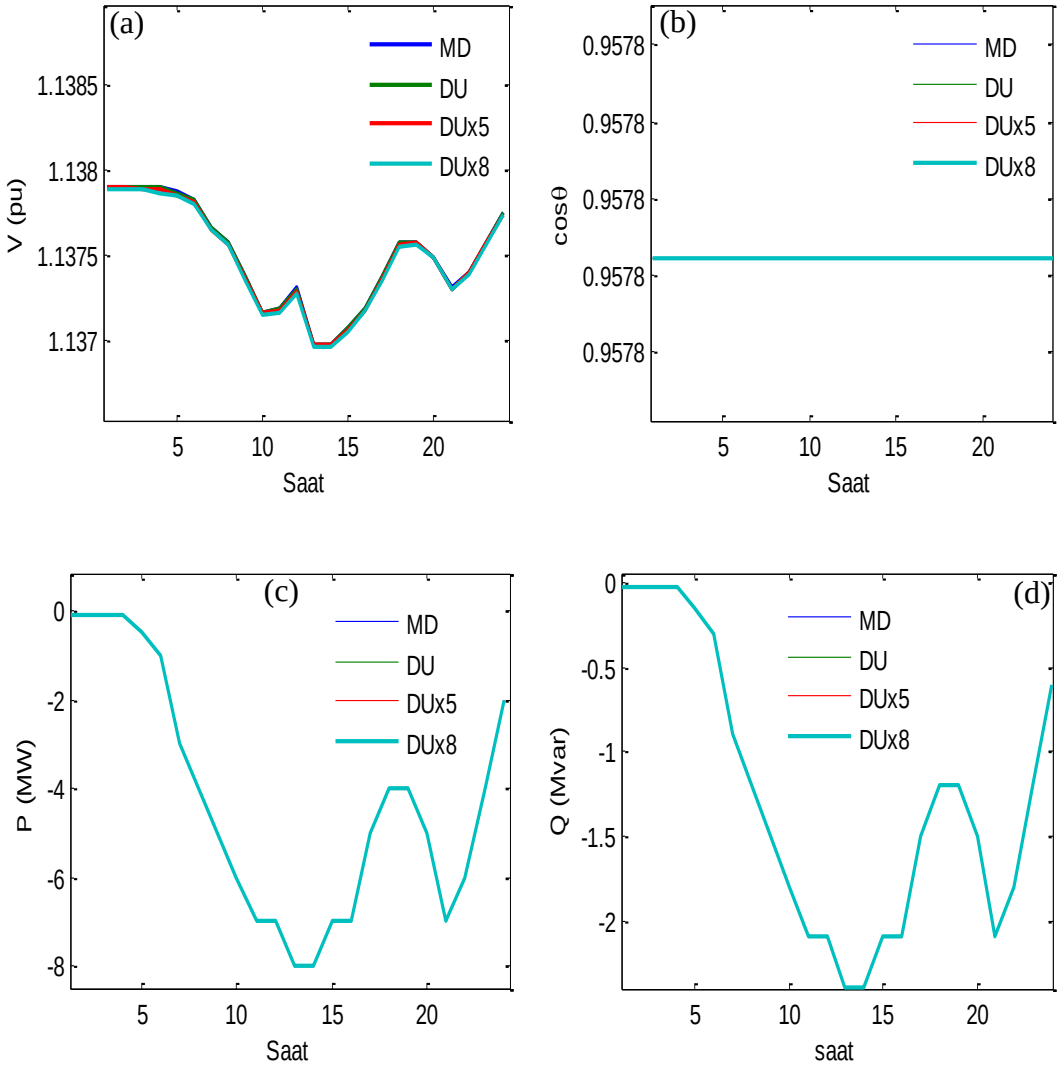


Şekil 4.5. (a) IEEE 39-bus güç sisteminin MD, DU ve DU çeşitli enerji durum senaryoları için yapılan 24-saatlik yük akış analizinde elde edilen günlük gerilim değişkenlikleri (b) güç faktörü değişkenliklerinin karşılaştırması

4.3. Bara-15, Bara-27 ve Bara-28 İçin Yük Akışı Sonuç Analizleri

4.3.1. Bara-15 İçin Yük Akışı Sonuç Analizi

Bara-15'e sadece hane tüketim modelini (P_{L2}, Q_{L2}) temsil eden yük bağlıdır. Yenilenebilir dağıtık kaynak barındırmayan sadece dinamik yük içeren Bara-15, diğer baralara bağlanan yenilenebilir dağıtık kaynakların üretimlerinden pek etkilenmemiştir (Şekil 4.6.a, b, c, d). Barada aktif ve reaktif güç profilinin negatif değerli olması, bu barada güç tüketimi olduğuna işaret eder.

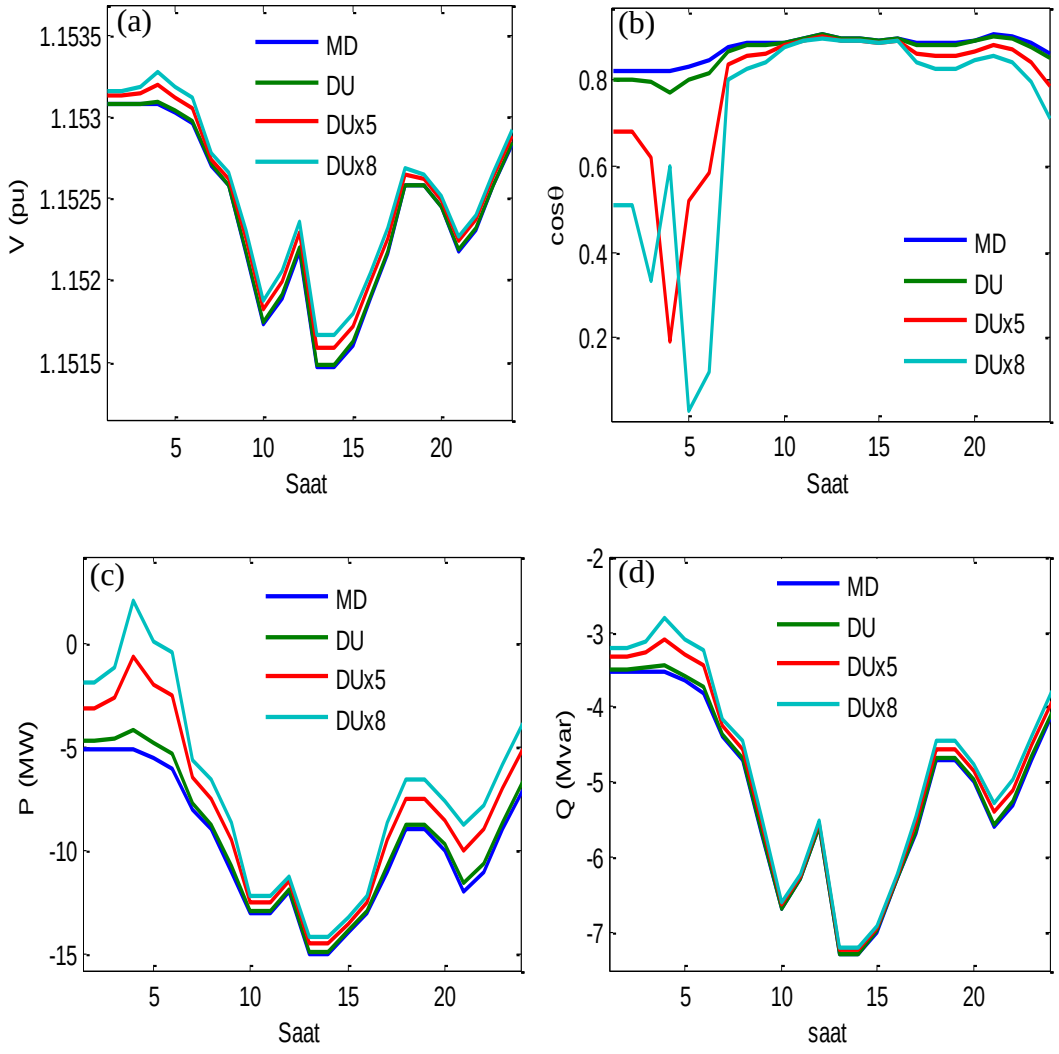


Şekil 4.6. (a) Bara-15 için hesaplanan 24-saatlik gerilim seviyeleri (b) güç faktörleri (c)-(d) aktif ve reaktif güç profilleri

4.3.2. Bara-27 İçin Yük Akışı Sonuç Analizi

Bara-27'de ise hem sanayi tüketim modeli (P_{L1}, Q_{L1}) hem de hane tüketim modelini (P_{L2}, Q_{L2}) temsil eden iki dinamik yük bağlıdır. Ayrıca bu barada rüzgar üretim modeline (G_{P2}, G_{Q2}) sahip kaynak bağlanarak, yenilenebilir enerjiden faydalanılmıştır. Şekil 4.7.b görüldüğü üzere rüzgar enerji üretiminin tepe değerlerine ulaştığı 4:00-7:00 saatleri arasında, orta ve yüksek rüzgar gücü üretim koşullarında (DUx5 ve DUx8) güç faktöründe sert düşüşler görülmüştür. Ayrıca, bu zaman diliminde, DUx8 senaryosunda sağlanan yüksek rüzgar enerji üretimi, bu baradaki lokal tüketimin tamamını karşılayabilmiş, diğer bir ifade ile

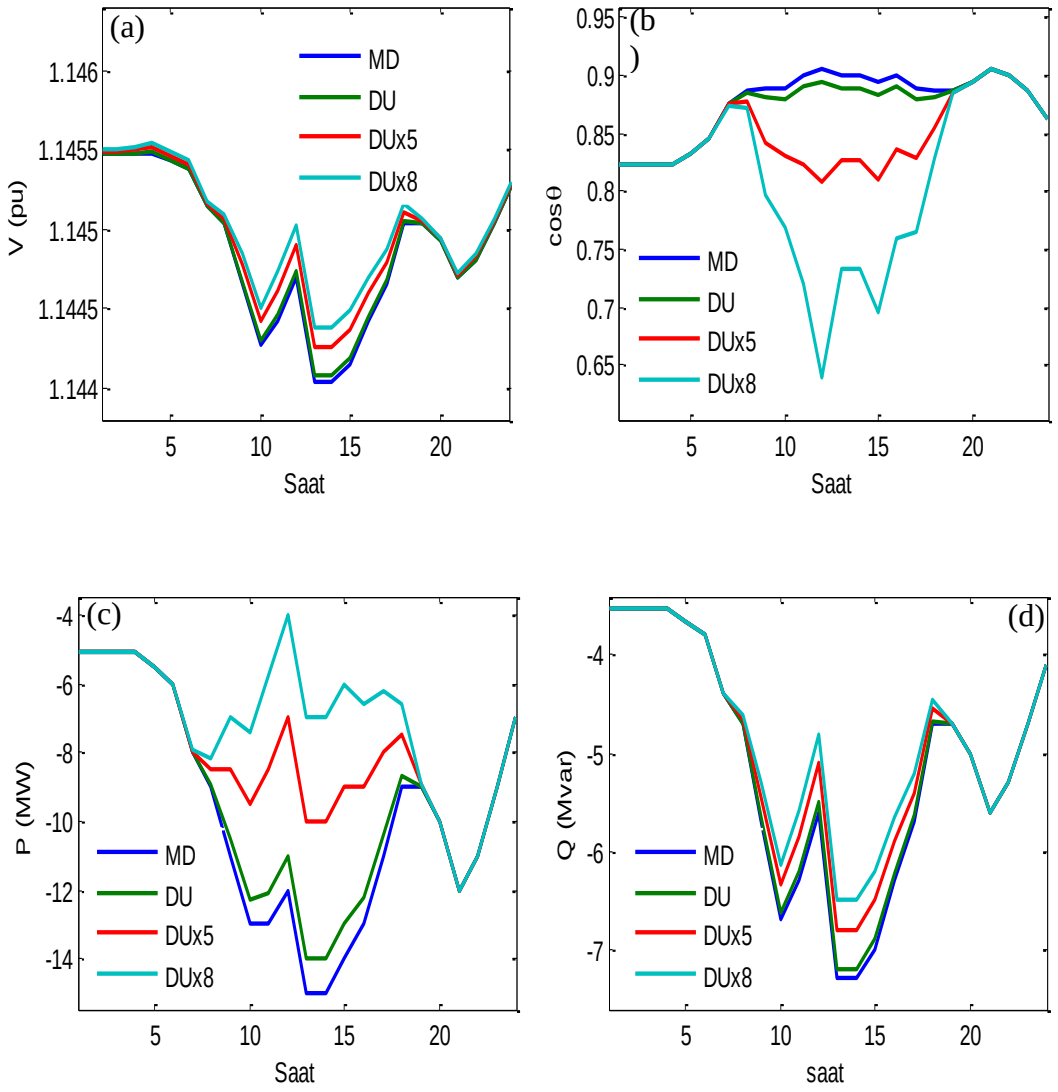
Bara-27'yi bu saatler arasında kendi kendine yetebilir duruma (Islanded Operation) gelmiştir. Bu saatler arasında DUx8 seneryosunda görülen pozitif güç değerleri, üretim baralarından güç çekmeye ihtiyaç duymadan lokal talebin karşılanabildiğini ve hatta bu baranın üretici konuma gelebildiğini göstermiştir. Ancak bu saatlerdeki güç faktöründe görülen sert değişimin kompanze edilmesine dönük tedbirlerin önceden alınması, Bara-27'de enerji dağıtımı ve tüketimini daha sağlıklı ve güvenilir kılacaktır. Bara-27 için MD, DU, DUx5, DUx8 seneryoları için gerilim seviyeleri, güç faktörleri, aktif ve reaktif güçlerdeki değişimleri aşağıda (Şekil 4.7.a, b, c, d) görebilirsiniz.



Şekil 4.7. Bara-27 için hesaplanan 24-saatlik gerilim seviyeleri (a), güç faktörleri (b), aktif ve reaktif güç (c)-(d) profilleri

4.3.3. Bara 28 İçin Yük Akışı Sonuç Analizi

Bara-28'de ise hem sanayi tüketim modeli (P_{L1}, Q_{L1}) hem de hane tüketim modelini (P_{L2}, Q_{L2}) temsil eden yükler bağlıdır. Ayrıca bu barada güneş üretim modeline (G_{P2}, G_{Q2}) sahip kaynak bağlanarak, yenilenebilir enerjiden faydalanılmıştır. Yenilenebilir kaynaklar gerilim sevilerinde dikkate değer değişime neden olmamalarına rağmen yüksek üretim gücünde, artan reaktif güç üretimi sonucu güç faktöründe düşüşlere neden olduğu analiz sonuçlarında görülmüştür. Bara-28 için MD, DU, DUx5, DUx8 seneryoları için gerilim seviyeleri, güç faktörleri, aktif ve reaktif güçlerdeki değişimleri aşağıda (Şekil 4.8.a, b, c, d) görebilirsiniz.

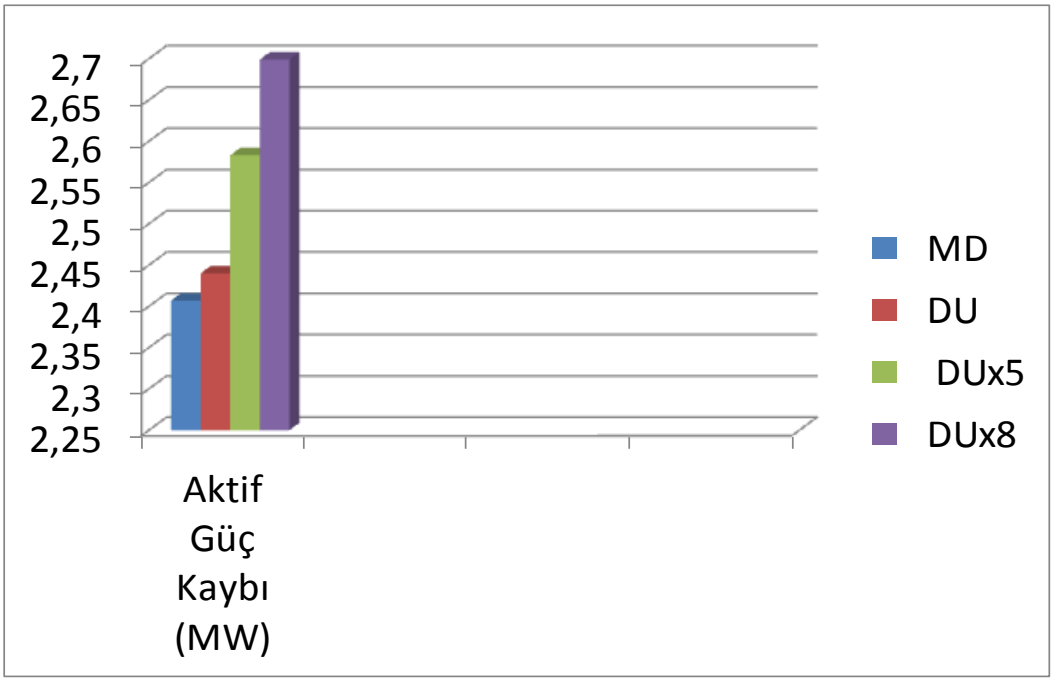


Şekil 4.8. Bara-28 için hesaplanan 24-saatlik gerilim seviyeleri (a), güç faktörleri (b), aktif ve reaktif güç (c)-(d) profilleri

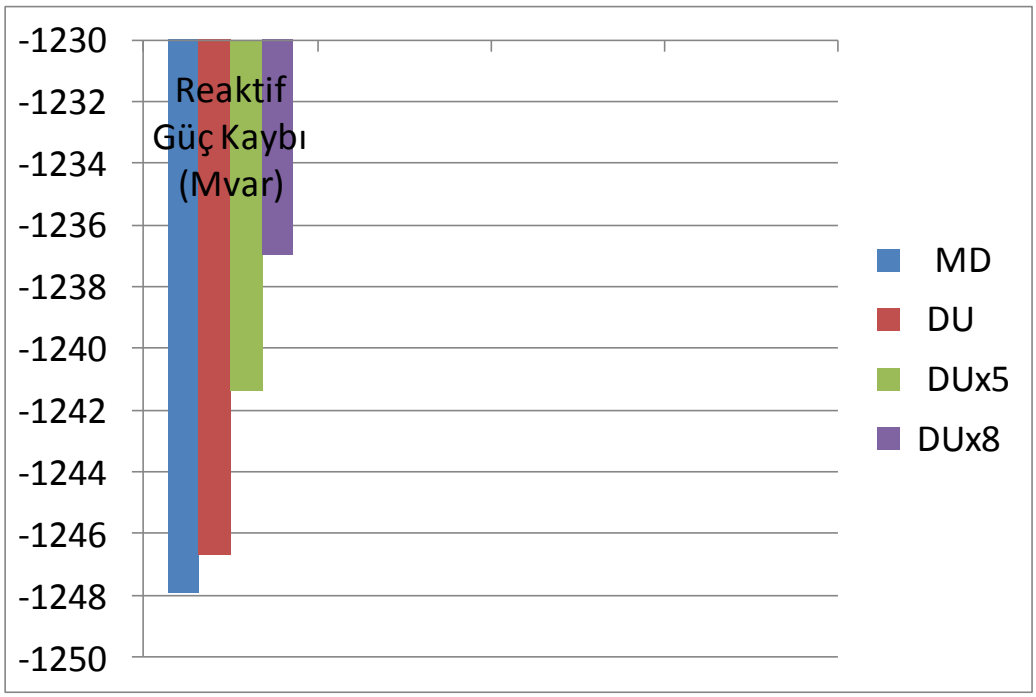
Şekil 4.8.b'de saat 9:00-16:00 arasında güneş enerjinden yüksek güç üretim koşullarında (DUx8), güç faktöründe düşüş açıkça görülmektedir. Ancak, düşük üretim koşullarında (DU) bu etkinin önemsenmeyecek derecede zayıf kaldığı görülmektedir. Bu saatlerde bu baralarda güç-faktörü kararlılığına dönük tekniklerin uygulanması, güç kalitesinin korunması açısından faydalı olacaktır.

4.4. 24-Saatlik Dinamik Güç Akışı Analizlerinde Hat Kayıpları

Yenilenebilir enerji kaynaklarının güç sisteminin çalışma koşullarına etkisini incelemek amacıyla örnek zaman diliminde (14:00) Ek-1 de sonuçlarının gösterildiği yük akış analizleri yapılmıştır. Şekil 4.9'da Ek-1 verilen veriler ışığında aktif güç kayıpları incelendiği zaman yenilenebilir enerji kaynaklarının mevcut şebekeye bağlanması durumu DU senaryosunda MD seneryosuna göre hatlardaki aktif güç kaybının %1.35'e varan oranda arttığı, yenilenebilir enerji kaynaklarının aktif ve reaktif güçleri 5 katına çıkarıldığında (DUx5 senaryosu) hatlardaki aktif güç kaybının %7.31'e varan oranda arttığı, 8 katına çıkarıldığında (DUx8 senaryosu) ise hatlardaki aktif güç kaybının %12.13'e varan oranda arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.10 gösterilen reaktif güç kayıplarında ise DU senaryosunda % 0.98, DUx5 seneryosunda %5.25 ve DUx8 seneryosunda %8'lik azalma gözlemlenmiştir.



Şekil 4.9. MD, DU, DUx5, DUx8 seneryoları için aktif güç kayıpları



Şekil 4.10. MD, DU, DUx5, DUx8 seneryoları için reaktif güç kayıpları

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, süreksiz dağıtık üretim ve değişken güç talep durumları altında gün içi dinamik yük akış analizleri gerçekleştirilmiş ve baraların elektriksel parametrelerinin saatlik bazda değişimi hesaplanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının hat üzerinde harcanan aktif ve reaktif güç kayıplarına etkisi incelenmiştir. Üretim süreksizliği gösteren kaynaklardan teşkil edilen dağıtık üretimin, gün içi değişen güç talepleri karşısında baraların gerilim ve güç faktörleri kararlığına etkileri analiz edilebilmiştir.

Bu analizlerde, yenilenebilir dağıtık kaynakların gerilim seviyesi kararlığına ciddi bir olumsuz etkisinin olmadığı görülmüştür. Bunun nedeni, bütün sistemde enerji dengesinin (Energy Balance) sağlanmasıdır. Enerji dengesi, kayıplar dahil olmak üzere sistemde tüketilen gücün, jeneratörlerden çekilen güce eşit olması halidir. Baraya eklenen dağıtık yenilenebilir kaynak, bu enerji dengesi nedeni ile sadece bu baraya diğer kaynak baralarından akan gücü azaltmıştır. Böylece, bara gerilimi seviyesinin korunabilmesi sağlanabilmiştir. Ancak, lokal yenilenebilir kaynak, tüketimin önemli bir kısmını karşıladığı durumda, kendi aktif ve reaktif güç karakteri nedeni ile bağlı olduğu baranın toplam aktif ve reaktif bara gücünü etkileyebilmekte ve bara güç faktöründe anlık değişimlere neden olabilmektedir. Süreksiz lokal kaynakların yüksek üretim sağladıkları zaman dilimlerinde güç faktör değişimini kompanze edecek tedbirlerin alınmış olması, bara güç faktörü kararlığının korunması için yeterli olacaktır. Bu amaçla, yenilenebilir lokal kaynakların, yüksek üretim koşullarında reaktif güç üretimleri sınırlanarak güç faktör kararlığı korunabilir. Sistemde yenilebilir enerji kaynaklarının üretimimnin artmasının hatlardaki aktif güç kaybını arttırdığı gözlemlenmiştir.

Bu tür analiz yöntemleri, süreksiz dağıtık kaynaklara sahip güç sistemlerinin yönetimi sırasında çıkabilecek problemlerinin çözümünde büyük öneme sahip olacaktır. Ortalama üretim ve güç talep profilleri ile tanımlanan dinamik güç sistemi modellerinde, saatlik veya daha düşük örnekleme periyotlu yük akış analizleri ile yük akış dengesizliklerinin ve güç dağıtımındaki kalite bozukluklarının önceden tahmin edilmesi mümkün olabilecektir. Böylece önleyici tedbirleri içeren 24-saatlik güç yönetim planlamaları daha güvenilir olarak yapılabilecektir.

Her ülkeye ait farklı şebeke yapısı olduğundan, gerek akıllı sistemler gerek yenilenebilir enerji kaynakları entegrasyonunda sistem analizleri devam ettirilerek en uygun koşullar araştırılmalıdır. Mevcut şebekenin dinamik analizlerinin alt yapısı oluşturularak, rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir enerji sistemlerinin yük akışı ve kısa devre katkısının yanında, dinamik yapıları da incelenmesi gerekmektedir.

Bunların yanında, gelecekte artacak yenilenebilir enerji katkısı da düşünülerek, yön değiştirebilecek güç akışları ve adalaşma konumları için koruma koordinasyonun alt yapısı hazırlanarak, iletişim protokolleri de gelecekteki şebeke yapısına uygun seçilmesi gerekmektedir. Uzaktan enerji izleme ve ölçme yapısı dizayn edilerek, modern ve hızlı olmasına dikkat edilmelidir. Aktif ve reaktif güç kontrolü yapabilen sistemler için şebekenin uygun noktaları ve farklı senaryoların da incelenmesi gerekmektedir.

6.KAYNAKLAR

[1] K**.** Tanrıöven, S. Yararbaş, H. Cengiz, Geleceğin Elektrik Dağıtım Şebekesi Smart Grid, Fırat Üniversitesi, FEEB 2011, Elazığ, (2011).

[2] H. Dinçer ve ark., 2011, Sayısal Teknolojinin Elektrik Şebeke Ağına Katılması: Akıllı Şebeke, IV.Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, Kocaeli, 1-8 Mayıs (2011).

[3] H.B. Çetinkaya. (2009). Akıllı Şebeke Teknolojisi "Smart Grid" http://www.guneshaber.net/haber/254-uzman-gozuyle-akilli-sebeke teknolojisi. html (Ziyaret Tarihi: 28 Kasım 2012).

[4] A. Hınç. (2009). Paydaşların Bakış Açısıyla Akıllı Şebekeler ve Türkiye İçin Yol Haritası Önerisi http://www.barissanli.com/ (Ziyaret Tarihi: 4 Aralık 2012).

[5] Anonim. (2003). http://en.wikipedia.org/wiki/Northeast_Blackout_of_2003 (Ziyaret Tarihi: 6 Aralık 2012).

[6] J. A. Pecas Lopes, N. Hatziargyriou, J. Mutale, P. Djapic and N. Jenkins, Integrating distributed generation into electric power systems: A review of drivers, challenges and opportunities, Electric Power Systems Research, 77 (2007) 1189-1203.

[7] W. F. Tinney and C. E. Hart, Power Flow Solution by Newton's Method, IEEE Trans. Power App. Syst., 86 (1967) 1449-1460.

[8] R. D. Zimmerman and H. D. Chiang, Fast Decoupled Power Flow for Unbalanced Radial Distribution Systems, 1995 IEEE PES Winter Meeting, (1995) 95.

[9] B. Stott and O. Alsaq, Fast Decoupled Load Flow, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 93 (1974) 859-869.

[10] Selva Moorthy, Majid Al-Dabbagh and Michael Vawser, Improved Phase–Cordinate Gauss-Seidel Load Flow Algorithm, Electric Power System Research, 34 (1995) 91-95.

[11] K. Abacı, M. A. Yalçın ve Y. Uyarlıoğlu, Güç Sistemlerinde Farklı Salınım Barası Seçiminin Gerilim Kararlılığı Açısından İncelenmesi, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, Bursa, 8-12 Aralık (2010).

[12] S.Massoud and B. Wollenberg, Toward a Smart Grid, IEEE power & energy magazine, (2005).

[13] A smart grid for Intelligent Energy Use. www.ieee.org (Ziyaret Tarihi: 6 Aralık 2012).

[14] F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci, A survey on sensor networks. IEEE Communications Magazine, 40:8 (2002) 102–114.

[15] B. Şanlı, Smart Grid (Akıllı Sebekeler) : Turkiye'de Neler Yapılabilir?, Türkiye 11. Enerji Kongresi, Tepekule-İzmir, 21-23 Ekim (2009).

[16] A. Hınç, Paydaşlar Yönünden Akıllı Şebekeler ve Türkiye İçin Yol Haritası Önerisi, ICCI, İstanbul, 1-4 Mayıs (2010).

[17] M. İmeryüz, Akıllı Şebekeler ve Verimlilik, 2. Ulusal Enerji Verimliliği Forumu, İstanbul, 13-14 Ocak (2011).

[18] H. Gharavi and R. Ghafurian, Smart grid: The electric energy system of the future, *Proc. IEEE*, 99:6 (2011) 917 – 921.

[19] DOE Modern Grid Strategy, Engineering&Technical Services SCE in Engineering Insights, 2008.

[20] H. Farhangi, The path of the smart grid, IEEE Power & Energy Mag., 8:1 (2010) 18–28,

[21] F. Li, W. Qiao, H. Sun, H. Wan, J. Wang, Y. Xia, Z. Xu, and P. Zhang, Smart transmission grid: Vision and framework, IEEE Trans. Smart Grid, 1:2 (2010) 168–177

[22] T. Takuno, M. Koyama and T. Hikihara, In-home power distribution systems by circuit switching and power packet dispatching, IEEE SmartGridComm'10, (2010) 427–430.

[23] D. G. Hart, Using AMI to realize the smart grid, IEEE Power andEnergy Society General Meeting 2008 - Conversion and Delivery ofElectrical Energy in the 21st Century, 2008 1-2

[24] V. C. Gungor, B. Lu, and G. P. Hancke, Opportunities and challenges of wireless sensor networks in smart grid, IEEE Trans. Ind. Electron., 57:10 (2010) 3557– 3564.

[25] Y. Peizhong, A. Iwayemi, and C. Zhou, Developing ZigBee deployment guideline under WiFi interference for smart grid applications, IEEE Trans. Smart Grid, 2:1 (2011) 110 – 120.

[26] C. Gezer and C. Buratti, A ZigBee smart energy implementation for energy efficient buildings, Proc. IEEE 73rd Veh. Technol. Conf.(VTC Spring), (2011).

[27] National Communications System, Technical Information Bulletin 07-1, Broadband over Power Lines , (2007).

[28] H. Gharavi and R. Ghafurian, Smart grid: The electric energy system of the future, Proc. IEEE, 99:6 (2011) 917 – 921.

[29] S. Kishore and L. V. Snyder, Control mechanisms for residential electricity demand in smartgrids, IEEE SmartGridComm'10, (2010) 443–448.

[30] K. Moslehi and R. Kumar, A reliability perspective of the smart grid, IEEE Trans. Smart Grid, 1:1 (2010) 57–64.

[31] J. Driesen and F. Katiraei, Design for distributed energy resources, IEEE Power & Energy Mag., 6:3 (2008) 30–40.

[32] M. Chertkov, F. Pan and M. G. Stepanov, Predicting failures in power grids: The case of static overloads, IEEE Trans. Smart Grid, 2:1 (2011) 162–172.

[33] İnönü Üniversitesi Akıllı Şebekeler Çalışma Grubu. (2013). http://iys.inonu.edu.tr/?web=smartgrid (Ziyaret Tarihi: 13 Mart 2013).

[34] P. McDaniel and S. McLaughlin, Security and privacy challenges in the smart grid. IEEE Security & Privacy, 7:3 (2009) 75–77.

[35] A. R. Metke and R. L. Ekl, Security technology for smart grid Networks, IEEE Trans. Smart Grid, 1:1 (2010) 99–107.

[36] R. Anderson and S. Fuloria, Who controls the off switch? , IEEE Smart Grid Comm'10, (2010) 96–101.

[37] H. Khurana, R. Bobba, T. Yardley, P. Agarwal and E. Heine, Design principles for power grid cyber-infrastructure authentication protocols, Hawaii International Conference on System Sciences, (2010) 1–10.

[38] Z. Lu, X. Lu, W. Wang and C. Wang, Review and evaluation of security threats on the communication networks in the smart grid, Military Communications Conference'2010, (2010) 1830–1835.

[39] S.A.M. Javadian and M.R. Haghifam, Implementation of a New Protection Scheme on a Real Distribution System inPresence of DG, Joint International Conference on Power System Technology and IEEE Power India Conference POWERCON, India, 1-7 October (2008).

[40] Challenges of Demand Response and Distributed Generation, IBM . htttp://www.UtilitiesProject.com/10709%20%20 (Ziyaret Tarihi: 6 Şubat 2013).

[41] Y. Ateş, ve ark., Dağıtık Üretim Tesislerinin Şebekeye Entegrasyonunda Akıllı Şebekelerin Rolü ve Gelecek Öngörüleri, IV.Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, Kocaeli, 1-4 Mayıs (2011).

[42] S. Massoud Amin and B.F. Wollenberg, Toward a smart grid: Power delivery for the 21st century, IEEE Power and EnergyMagazine, 3:5 (2005) 34-41.

[43] Giordano, V. Gangale, F. Fulli and G. Jiménez, S. Smart Grid Projects in Europe, European Commission, Reference Report by the Joint Research Centre, Publications Office of the European Union, (2011).

[44] S. Rogai, Telegestore Project Progress & Results, ENEL Distribuzione S.p.A., Pisa , (2007)

[45] Y.Ç. Cirit. (2011) http://www.bthaber.com.tr/?p=7420 (Ziyaret Tarihi: 12 Şubat 2013).

[46] H.B. Çetinkaya, H.B. (2009). http://www.kontrolkalemi.com/forum/guc-kalitesi-enerji-verimliligiharmonikler/26102-uluslararasi-enerji-baglantilarinda-akilli-sebeke.html (Ziyaret Tarihi: 6 Aralık 2012).

[47] W. Zhang and Y. Liu, Reactive Power Optimization Based on PSO in a Partical Power System, Power Engineering Society General Meeting, 2004 IEEE, 1 (2004) 239-243

[48] J. G. Vlachogiannis, Fuzzy Logic Application in Load Flow Studies, IEE Proc. Generation, Transmission and Distribution, 148 (2001) 34-40.

[49] R. Storn and K. Price, Differential Evolution-a Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Spaces, Journal of Global Optimization, 11 (1997) 341-359.

[50] Z. Li, J. Shi and Y. Liu, Distributed Reactive Power Optimization and Programming for Area Power System, International Conference on Power System Technology, 2 (2004) 1447-1450.

[51] H. Wei, Z. Cong, Y. Jingyan, Z. Jianhua, W. L. Zifa, Zhilian and P. Dongli, Using Bacterial Chemotaxis Method for Reactive Power Optimization, Transmission and Distribution Conference and Exposition, 21-24 April 2008, pp. 1-7.

[52] D. Shirmohammadi, H.W. Hong, A. Semlyen and G.X. Luo, Compensation-Based Power Flow Method for Weakly Meshed Distribution and Transmission Networks, IEEE Transactions on Power Systems, 3 (1988) 753-762

[53] S. Cheng Carol and D. Shirmohammadi, Three-phase Power Flow Method for Realtime Distribution System Analysis, IEEE Transactions on Power Systems, 10 (1995) 671-679.

[54] B. B. Alagoz, A. Kaygusuz and A. Karabiber, A User-Mode Distributed Energy Management Architecture for Smart Grid Applications, Energy, 44 (2012) 167–177.

[55] Murat Esen. Bulanık Mantık Destekli Güç Akış Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 2006.

[56] K. Abacı, M. A. Yalçın ve Y. Uyarlıoğlu, Güç Sistemlerinde Farklı Salınım Barası Seçiminin Gerilim Kararlılığı Açısından İncelenmesi, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, Bursa,8-12 Aralık 2004.

[57] H. Saadat, Power Systems Analysis, McGraw Hill, Boston, 1999, 189-240.

7. EKLER

EK 1. MD, DU, DUx5, DUx8 Senaryoları Örnek Zaman Dilimi Saat 14:00'da Dinamik Güç Akış Analizi Uygulaması

Çizelge 7.1.'de MD senaryosu için örnek zaman diliminde (14:00) Newton-Raphson 24 saatlik dinamik güç akış analizi hat sonuçları gösterilmiştir. Çizelge 7.2'de DU senaryosu için örnek zaman diliminde (14:00) Newton-Raphson 24 saatlik dinamik güç akış analizi hat sonuçları gösterilmiştir. Çizelge 7.3'de DUx5, senaryosu için örnek zaman diliminde (14:00) Newton-Raphson 24 saatlik dinamik güç akış analizi hat sonuçları gösterilmiştir. Çizelge 7.5.'de ise DUx8 senaryosu için örnek zaman diliminde (14:00) Newton-Raphson 24 saatlik dinamik güç akış analizi hat sonuçları gösterilmiştir

Çizelge 7.1. MD senaryosu saat 14:00 için Newton-Raphson 24 saatlik dinamik güç akış analizi hat sonucu

--Hat--		Bara Güçleri & hat akışları			--Hat Kayıpları--		Transf.
i	j	MW	Mvar	MVA	MW	Mvar	tap
1		0.000	0.000	0.000			
	2	-11.920	-94.699	95.447	0.079	-86.962	
	39	11.920	94.699	95.447	0.162	-86.043	
2		0.000	0.000	0.000			
	1	11.999	7.737	14.277	0.079	-86.962	
	3	63.782	-47.671	79.629	0.051	-32.420	
	25	-35.781	2.292	35.855	0.077	-18.611	
	30	-40.000	37.642	54.926	0.000	0.448	1.025
3		-7.000	-4.900	8.545			
	2	-63.731	15.251	65.530	0.051	-32.420	
	4	90.558	46.088	101.612	0.120	-26.242	
	18	-33.827	-66.239	74.377	0.033	-27.283	
4		-15.000	-7.300	16.682			
	3	-90.439	-72.330	115.805	0.120	-26.242	

Çizelge 7.1. (Devam)

	5	101.111	94.476	138.380	0.132	-14.608	
	14	-25.672	-29.445	39.065	0.007	-17.341	
5		0.000	0.000	0.000			
	4	-100.979	-109.083	148.647	0.132	-14.608	
	6	111.163	116.932	161.339	0.043	-4.771	
	8	-10.184	-7.849	12.857	0.001	-18.177	
6		0.000	0.000	0.000			
	5	-111.119	-121.703	164.800	0.043	-4.771	
	7	-26.378	-31.500	41.086	0.006	-13.779	
	11	-92.095	-71.132	116.367	0.071	-16.274	
	31	229.593	224.335	320.997	0.000	24.064	1.070
7		-8.000	-2.400	8.352			
	6	26.385	17.721	31.783	0.006	-13.779	
	8	-34.385	-20.121	39.839	0.005	-9.551	
8		-7.000	-4.900	8.545			
	5	10.185	-10.329	14.505	0.001	-18.177	
	7	34.389	10.570	35.977	0.005	-9.551	
	9	-51.574	-5.141	51.829	0.056	-45.786	
9		0.000	0.000	0.000			
	8	51.630	-40.645	65.709	0.056	-45.786	
	39	-51.630	40.645	65.709	0.128	-140.074	
10		0.000	0.000	0.000			
	11	89.189	41.934	98.556	0.033	-8.686	
	13	-49.189	-85.848	98.942	0.029	-8.768	
	32	-40.000	43.914	59.401	0.000	0.651	1.070
11		0.000	0.000	0.000			
	6	92.166	54.858	107.257	0.071	-16.274	

Çizelge 7.1. (Devam)

	10	-89.157	-50.620	102.525	0.033	-8.686	
	12	-3.009	-4.238	5.198	0.000	0.009	
12		-7.000	-4.900	8.545			
	11	3.009	4.248	5.206	0.000	0.009	1.006
	13	-10.009	-9.148	13.560	0.002	0.064	1.006
13		0.000	0.000	0.000			
	10	49.219	77.080	91.454	0.029	-8.768	
	14	-59.230	-86.293	104.664	0.066	-20.922	
	12	10.012	9.212	13.605	0.002	0.064	
14		0.000	0.000	0.000			
	4	25.679	12.104	28.389	0.007	-17.341	
	13	59.297	65.371	88.258	0.066	-20.922	
	15	-84.976	-77.475	114.993	0.145	-45.076	
15		-8.000	-2.400	8.352			
	14	85.121	32.399	91.078	0.145	-45.076	
	16	-93.121	-34.799	99.411	0.064	-21.487	
16		-8.000	-2.400	8.352			
	15	93.185	13.312	94.131	0.064	-21.487	
	17	35.513	-64.059	73.244	0.023	-17.198	
	19	-72.789	57.960	93.047	0.140	-37.365	
	21	-36.087	-4.516	36.368	0.009	-32.912	
	24	-27.822	-5.098	28.285	0.002	-8.798	
17		0.000	0.000	0.000			
	16	-35.490	46.861	58.783	0.023	-17.198	
	18	41.876	24.317	48.424	0.015	-17.039	
	27	-6.386	-71.178	71.463	0.025	-42.020	

Çizelge 7.1. (Devam)

18		-8.000	-2.400	8.352			
	3	33.861	38.956	51.615	0.033	-27.283	
	17	-41.861	-41.356	58.844	0.015	-17.039	
19		0.000	0.000	0.000			
	16	72.929	-95.326	120.023	0.140	-37.365	
	33	-39.974	50.689	64.555	0.026	0.533	1.070
	20	-32.955	44.637	55.484	0.019	0.375	1.060
20		-7.000	-4.900	8.545			
	34	-39.974	39.361	56.100	0.026	0.515	1.009
	19	32.974	-44.261	55.194	0.019	0.375	
21		-8.000	-2.400	8.352			
	16	36.096	-28.397	45.927	0.009	-32.912	
	22	-44.096	25.997	51.189	0.023	-32.700	
22		0.000	0.000	0.000			
	21	44.119	-58.697	73.429	0.023	-32.700	
	23	-4.119	6.984	8.108	0.002	-23.662	
	35	-40.000	51.712	65.377	0.000	0.500	1.025
23		-8.000	-2.400	8.352			
	22	4.121	-30.646	30.922	0.002	-23.662	
	24	27.849	-49.875	57.124	0.026	-46.175	
	36	-39.970	78.122	87.753	0.030	1.634	
24		0.000	0.000	0.000			
	16	27.824	-3.700	28.069	0.002	-8.798	
	23	-27.824	3.700	28.069	0.026	-46.175	
25		0.000	0.000	0.000			
	2	35.859	-20.903	41.507	0.077	-18.611	
	26	4.050	-109.648	109.723	0.147	-65.595	

Çizelge 7.1. (Devam)

37	-39.908	130.551	136.515	0.092	3.541	1.025
26	-7.000	-4.900	8.545			
25	-3.902	44.054	44.226	0.147	-65.595	
27	21.421	4.708	21.932	0.009	-31.750	
28	-10.453	-25.869	27.901	0.026	-102.758	
29	-14.065	-27.793	31.149	0.080	-133.735	
27	-15.000	-7.300	16.682			
17	6.411	29.158	29.854	0.025	-42.020	
26	-21.411	-36.458	42.280	0.009	-31.750	
28	-15.000	-7.300	16.682			
26	10.479	-76.889	77.600	0.026	-102.758	
29	-25.479	69.589	74.107	0.086	-31.351	
29	0.000	0.000	0.000			
26	14.145	-105.943	106.883	0.080	-133.735	
28	25.565	-100.941	104.128	0.086	-31.351	
38	-39.709	206.883	210.660	0.291	5.666	1.025
30	40.000	-37.193	54.620			
2	40.000	-37.193	54.620	-0.000	0.448	
31	-229.593	-200.271	304.666			
6	-229.593	-200.271	304.666	0.000	24.064	
32	40.000	-43.264	58.922			
10	40.000	-43.264	58.922	0.000	0.651	
33	40.000	-50.156	64.153			
19	40.000	-50.156	64.153	0.026	0.533	
34	40.000	-38.846	55.758			
20	40.000	-38.846	55.758	0.026	0.515	

Çizelge 7.1. (Devam)

35		40.000	-51.213	64.983		
	22	40.000	-51.213	64.983	0.000	0.500
36		40.000	-76.487	86.315		
	23	40.000	-76.487	86.315	0.030	1.634
37		40.000	-127.010	133.160		
	25	40.000	-127.010	133.160	0.092	3.541
38		40.000	-201.218	205.155		
	29	40.000	-201.218	205.155	0.291	5.666
39		40.000	-361.462	363.668		
	1	-11.758	-180.742	181.124	0.162	-86.043
	9	51.758	-180.719	187.985	0.128	-140.074
Toplam Kayıp					2.407	-1247.919

Çizelge 7.2. DU senaryosu saat 14:00 için Newton-Raphson 24 saatlik dinamik güç akış analizi hat sonucu

--Hat--		Bara Güçleri		& hat akışları	--Hat Kayıpları--		Transf.
i	j	MW	Mvar	MVA	MW	Mvar	tap
.							
1		0.000	0.000	0.000			
	2	-12.578	-94.626	95.459	0.079	-86.957	
	39	12.578	94.626	95.459	0.162	-86.043	
2		0.000	0.000	0.000			
	1	12.657	7.669	14.799	0.079	-86.957	

Çizelge 7.2. (Devam)

	3	63.829	-47.772	79.726	0.051	-32.418	
	25	-36.486	2.556	36.575	0.081	-18.607	
	30	-40.000	37.547	54.861	-0.000	0.447	1.025
3		-5.900	-4.790	7.600			
	2	-63.777	15.353	65.599	0.051	-32.418	
	4	93.052	46.156	103.870	0.124	-26.164	
	18	-35.175	-66.299	75.052	0.034	-27.274	
4		-15.000	-7.300	16.682			
	3	-92.928	-72.320	117.753	0.124	-26.164	
	5	104.142	94.510	140.633	0.136	-14.542	
	14	-26.215	-29.490	39.457	0.007	-17.337	
5		0.000	0.000	0.000			
	4	-104.006	-109.052	150.697	0.136	-14.542	
	6	114.733	116.965	163.843	0.045	-4.753	
	8	-10.727	-7.913	13.330	0.001	-18.175	
6		0.000	0.000	0.000			
	5	-114.688	-121.718	167.239	0.045	-4.753	
	7	-27.491	-31.556	41.851	0.007	-13.773	
	11	-94.781	-71.213	118.553	0.074	-16.238	
	31	236.960	224.487	26.412	0.000	24.886	1.070
7		-8.000	-2.400	8.352			
	6	27.498	17.783	32.747	0.007	-13.773	

Çizelge 7.2. (Devam)

	8	-35.498	-20.183	40.834	0.005	-9.547	
8		-6.000	-4.800	7.684			
	5	10.728	-10.261	14.845	0.001	-18.175	
	7	35.502	10.636	37.061	0.005	-9.547	
	9	-52.230	-5.175	52.486	0.057	-45.764	
9		0.000	0.000	0.000			
	8	52.287	-40.589	66.192	0.057	-45.764	
	39	-52.287	40.589	66.192	0.129	-140.060	
10		0.000	0.000	0.000			
	11	91.137	42.000	100.350	0.034	-8.673	
	13	-51.137	-85.753	99.843	0.030	-8.761	
	32	-40.000	43.753	59.282	-0.000	0.648	1.070
11		0.000	0.000	0.000			
	6	94.854	54.975	109.634	0.074	16.238	
	10	-91.104	-50.673	104.248	0.034	-8.673	
	12	-3.751	-4.302	5.707	0.000	0.011	
12		-5.900	-4.790	7.600			
	11	3.751	4.313	5.716	0.000	0.011	1.006
	13	-9.651	-9.103	3.267	0.002	0.062	1.006
13		0.000	0.000	0.000			
	10	51.167	76.993	92.444	0.030	-8.761	

Çizelge 7.2. (Devam)

14	-60.821	-86.157	105.462	0.068	-20.907
12	9.654	9.165	13.311	0.002	0.062
14	0.000	0.000	0.000		
4	26.222	12.153	28.901	0.007	-17.337
13	60.888	65.250	89.247	0.068	-20.907
15	-87.110	-77.404	116.531	0.150	-45.013
15	-8.000	-2.400	8.352		
14	87.260	32.391	93.078	0.150	-45.013
16	-95.260	-34.791	101.414	0.067	-21.458
16	-8.000	-2.400	8.352		
15	95.327	13.333	96.255	0.067	-21.458
17	35.470	-64.077	73.240	0.023	-17.199
19	-72.789	58.021	93.084	0.140	-37.365
21	-37.072	-4.525	37.347	0.009	-32.906
24	-28.936	-5.152	29.391	0.002	-8.796
17	0.000	0.000	0.000		
16	-35.447	46.878	58.771	0.023	-17.199
18	42.224	24.288	48.711	0.015	-17.038
27	-6.777	-71.166	71.488	0.025	-42.021
18	-7.000	2.300	7.368		
3	35.209	39.026	52.561	0.034	-27.274
17	-42.209	-41.326	59.071	0.015	-17.038

Çizelge 7.2. (Devam)

19	0.000	0.000	0.000			
16	72.929	-95.386	120.071	0.140	-37.365	
33	-39.974	50.731	64.587	0.026	0.533	1.070
20	-32.955	44.655	55.499	0.019	0.376	1.060
20	-7.000	-4.900	8.545			
34	-39.974	39.380	56.113	0.026	0.515	1.009
19	32.974	-44.280	55.208	0.019	0.376	
21	-6.900	-2.290	7.270			
16	37.082	-28.381	46.696	0.009	-32.906	
22	-43.982	26.091	51.139	0.023	-32.701	
22	0.000	0.000	0.000			
21	44.005	-58.793	73.437	0.023	-32.701	
23	-4.005	6.988	8.055	0.002	-23.663	
35	-40.000	51.804	65.450	-0.000	0.501	1.025
23	-8.000	-2.400	8.352			
22	4.007	-30.651	30.912	0.002	-23.663	
24	27.963	-49.917	57.216	0.026	-46.174	
36	-39.970	78.169	87.795	0.030	1.636	
24	1.000	0.100	1.005			
16	28.938	-3.644	29.166	0.002	-8.796	
23	-27.938	3.744	28.187	0.026	-46.174	

Çizelge 7.2. (Devam)

25		0.000	-0.200	0.200		
	2	36.566	-21.163	42.249	0.081	-18.607
	26	3.342	-109.627	109.678	0.147	-65.599
	37	-39.908	130.589	136.551	0.092	3.543	1.025
26		-7.000	-4.900	8.545		
	25	-3.195	44.028	44.144	0.147	-65.599
	27	21.712	4.686	22.212	0.009	-31.750
	28	-11.076	-25.857	28.130	0.026	-102.758
	29	-14.441	-27.757	31.288	0.080	-133.734
27		-14.900	-7.290	16.588		
	17	6.803	29.146	29.929	0.025	-42.021
	26	-21.703	-36.436	42.409	0.009	-31.750
28		-14.000	-7.200	15.743		
	26	11.102	-76.901	77.699	0.026	-102.758
	29	-25.102	69.701	74.084	0.086	-31.353
29		0.000	0.000	0.000		
	26	14.521	-105.977	106.967	0.080	-133.734
	28	25.188	-101.054	104.146	0.086	-31.353
	38	-39.709	207.031	210.805	0.291	5.673	1.025
30		40.000	-37.100	54.556		
	2	40.000	-37.100	54.556	-0.000	0.447

Çizelge 7.2. (Devam)

31	-236.960	-199.602	309.824		
6	-236.960	-199.602	309.824	0.000	24.886
32	40.000	-43.105	58.805		
10	40.000	-43.105	58.805	-0.000	0.648
33	40.000	-50.197	64.185		
19	40.000	-50.197	64.185	0.026	0.533
34	40.000	-38.864	55.771		
20	40.000	-38.864	55.771	0.026	0.515
35	40.000	-51.303	65.054		
22	40.000	-51.303	65.054	-0.000	0.501
36	40.000	-76.533	86.355		
23	40.000	-76.533	86.355	0.030	1.636
37	40.000	-127.046	133.194		
25	40.000	-127.046	133.194	0.092	3.543
38	40.000	-201.358	205.293		
29	40.000	-201.358	205.293	0.291	5.673
39	40.000	-361.318	363.525		
1	-12.416	-180.669	181.095	0.162	-86.043
9	52.416	-180.649	188.099	0.129	-140.060
Toplam kayıp				2.440	-1246.686

Çizelge 7.3. DUx5 senaryosu saat 14:00 için Newton-Raphson 24 saatlik dinamik güç akış analizi hat sonucu

--Hat--		Bara Güçleri		& hat akışları	--Hat Kayıpları--		Transf.
i	j	MW	Mvar	MVA	MW	Mvar	tap
1		0.000	0.000	0.000			
	2	-15.211	-94.390	95.607	0.081	-86.936	
	39	15.211	94.390	95.607	0.162	-86.039	
2		0.000	0.000	0.000			
	1	15.291	7.454	17.011	0.081	-86.936	
	3	64.034	-48.047	80.055	0.052	-32.412	
	25	-39.325	3.228	39.458	0.093	-18.592	
	30	-40.000	37.365	54.737	-0.000	0.445	1.025
3		-1.500	-4.350	4.601			
	2	-63.982	15.635	65.865	0.052	-32.412	
	4	103.028	46.532	113.049	0.144	-25.829	
	18	-40.546	-66.517	77.900	0.038	-27.231	
4		-15.000	-7.300	16.682			
	3	-102.884	-72.361	125.782	0.144	-25.829	
	5	116.263	94.721	149.964	0.153	-14.260	
	14	-28.379	-29.660	41.049	0.008	-17.320	
5		0.000	0.000	0.000			
	4	-116.109	-108.980	159.242	0.153	-14.260	
	6	129.010	117.153	174.265	0.050	-4.676	
	8	-12.900	-8.173	15.271	0.001	-18.163	
6		0.000	0.000	0.000			
	5	-128.959	-121.829	177.406	0.050	-4.676	
	7	-31.941	-31.789	45.064	0.008	-13.746	
	11	-105.518	-71.570	127.500	0.086	-16.084	
	31	266.417	225.188	348.838	0.000	28.437	1.070

Çizelge 7.3. (Devam)

7		-8.000	-2.400	8.352			
	6	31.949	18.043	36.692	0.008	-13.746	
	8	-39.949	-20.443	44.876	0.006	-9.530	
8		-2.000	-4.400	4.833			
	5	12.901	-9.990	16.317	0.001	-18.163	
	7	39.955	10.913	41.418	0.006	-9.530	
	9	-54.856	-5.323	55.114	0.062	-45.670	
9		0.000	0.000	0.000			
	8	54.918	-40.347	68.146	0.062	-45.670	
	39	-54.918	40.347	68.146	0.130	-140.002	
10		0.000	0.000	0.000			
	11	98.925	42.312	107.594	0.039	-8.618	
	13	-58.925	-85.391	103.748	0.032	-8.731	
	32	-40.000	43.078	58.785	0.000	0.637	1.070
11		0.000	0.000	0.000			
	6	105.604	55.487	119.294	0.086	-16.084	
	10	-98.887	-50.931	111.232	0.039	-8.618	
	12	-6.717	-4.556	8.117	0.001	0.023	
12		-1.500	-4.350	4.601			
	11	6.718	4.579	8.130	0.001	0.023	1.006
	13	-8.218	-8.929	12.135	0.002	0.052	1.006
13		0.000	0.000	0.000			
	10	58.958	76.659	96.709	0.032	-8.731	
	14	-67.178	-85.640	108.844	0.073	-20.843	
	12	8.220	8.981	12.175	0.002	0.052	

Çizelge 7.3. (Devam)

14		0.000	0.000	0.000			
	4	28.387	12.340	30.953	0.008	-17.320	
	13	67.251	64.797	93.388	0.073	-20.843	
	15	-95.637	-77.137	122.869	0.172	-44.745	
15		-8.000	-2.400	8.352			
	14	95.809	32.392	101.137	0.172	-44.745	
	16	-103.809	-34.792	109.484	0.079	-21.336	
16		-8.000	-2.400	8.352			
	15	103.888	13.457	104.756	0.079	-21.336	
	17	35.305	-64.233	73.296	0.023	-17.201	
	19	-72.788	58.282	93.247	0.140	-37.362	
	21	-41.014	-4.546	41.265	0.011	-32.879	
	24	-33.391	-5.360	33.818	0.003	-8.784	
17		0.000	0.000	0.000			
	16	-35.282	47.032	58.795	0.023	-17.201	
	18	43.600	24.152	49.842	0.016	-17.034	
	27	-8.318	-71.183	71.668	0.026	-42.024	
18		-3.000	-1.900	3.551			
	3	40.584	39.285	56.484	0.038	-27.231	
	17	-43.584	-41.185	59.965	0.016	-17.034	
19		0.000	0.000	0.000			
	16	72.929	-95.644	120.276	0.140	-37.362	
	33	-39.974	50.908	64.727	0.026	0.536	1.070
	20	-32.955	44.736	55.564	0.019	0.377	1.060

Çizelge 7.3. (Devam)

20		-7.000	-4.900	8.545			
	34	-39.974	39.459	56.169	0.026	0.516	1.009
	19	32.974	-44.359	55.272	0.019	0.377	
21		-2.500	-1.850	3.110			
	16	41.025	-28.333	49.858	0.011	-32.879	
	22	-43.525	26.483	50.949	0.023	-32.706	
22		0.000	0.000	0.000			
	21	43.548	-59.189	73.484	0.023	-32.706	
	23	-3.548	7.005	7.852	0.002	-23.665	
	35	-40.000	52.185	65.751	0.000	0.505	1.025
23		-8.000	-2.400	8.352			
	22	3.550	-30.670	30.875	0.002	-23.665	
	24	28.420	-50.095	57.595	0.026	-46.170	
	36	-39.970	78.364	87.969	0.030	1.642	
24		5.000	0.500	5.025			
	16	33.393	-3.425	33.569	0.003	-8.784	
	23	-28.393	3.925	28.663	0.026	-46.170	
25		0.000	-0.200	0.200			
	2	39.419	-21.821	45.055	0.093	-18.592	
	26	0.489	-109.422	109.423	0.146	-65.622	
	37	-39.908	131.042	136.984	0.092	3.565	1.025
26		-7.000	-4.900	8.545			
	25	-0.343	43.800	43.801	0.146	-65.622	
	27	22.854	4.659	23.324	0.010	-31.750	
	28	-13.567	-25.778	29.131	0.028	-102.761	
	29	-15.943	-27.580	31.857	0.083	-133.729	

Çizelge 7.3. (Devam)

27		-14.500	-7.250	16.211		
	17	8.344	29.159	30.329	0.026	-42.024
	26	-22.844	-36.409	42.982	0.010	-31.750
28		-10.000	-6.800	12.093		
	26	13.596	-76.982	78.174	0.028	-102.761
	29	-23.596	70.182	74.043	0.086	-31.360
29		0.000	0.000	0.000		
	26	16.026	-106.149	107.352	0.083	-133.729
	28	23.681	-101.542	104.267	0.086	-31.360
	38	-39.707	207.691	211.453	0.293	5.707 1.025
30		40.000	-36.920	54.434		
	2	40.000	-36.920	54.434	-0.000	0.445
31		-266.417	-196.751	331.194		
	6	-266.417	-196.751	331.194	0.000	28.437
32		40.000	-42.441	58.320		
	10	40.000	-42.441	58.320	0.000	0.637
33		40.000	-50.373	64.323		
	19	40.000	-50.372	64.323	0.026	0.536
34		40.000	-38.943	55.826		
	20	40.000	-38.943	55.826	0.026	0.516
35		40.000	-51.679	65.351		
	22	40.000	-51.679	65.351	0.000	0.505

Çizelge 7.3. (Devam)

36		40.000	-76.722	86.523		
	23	40.000	-76.722	86.523	0.030	1.642
37		40.000	-127.477	133.606		
	25	40.000	-127.477	133.606	0.092	3.565
38		40.000	-201.984	205.906		
	29	40.000	-201.984	205.906	0.293	5.707
39		40.000	-360.777	362.988		
	1	-15.049	-180.429	181.055	0.162	-86.039
	9	55.049	-180.348	188.563	0.130	-140.002
Toplam kayıp					2.583	-1241.367

Çizelge 7.4. DUx8 senaryosu saat 14:00 için Newton-Raphson 24 saatlik dinamik güç akış analizi hat sonucu

--Hat--		Bara Güçleri		& hat akışları	--Hat Kayıpları--		Transf.
i	j	MW	Mvar	MVA	MW	Mvar	tap
1		0.000	0.000	0.000			
	2	-17.185	-94.205	95.760	0.082	-86.917	
	39	17.185	94.205	95.760	0.162	-86.035	
2		0.000	0.000	0.000			
	1	17.267	7.288	18.742	0.082	-86.917	
	3	64.188	-48.218	80.281	0.052	-32.408	
	25	-41.455	3.724	41.622	0.103	-18.581	
	30	-40.000	37.206	54.628	0.000	0.444	1.025
3		1.800	-4.020	4.405			
	2	-64.136	15.810	66.055	0.052	-32.408	
	4	110.509	46.858	120.033	0.161	-25.555	
	18	-44.574	-66.688	80.213	0.041	-27.195	

Çizelge 7.4. (Devam)

4		-15.000	-7.300	16.682			
	3	-110.348	-72.413	131.986	0.161	-25.555	
	5	125.349	94.912	157.229	0.168	-14.027	
	14	-30.001	-29.799	42.286	0.009	-17.306	
5		0.000	0.000	0.000			
	4	-125.182	-108.939	165.947	0.168	-14.027	
	6	139.712	117.318	182.436	0.055	-4.612	
	8	-14.530	-8.378	16.773	0.001	-18.152	
6		0.000	0.000	0.000			
	5	-139.657	-121.930	185.394	0.055	-4.612	
	7	-35.277	-31.975	47.612	0.009	-13.723	
	11	-113.567	-71.876	134.401	0.097	-15.957	
	31	288.501	225.781	366.346	-0.000	31.376	1.070
7		-8.000	-2.400	8.352			
	6	35.286	18.252	39.727	0.009	-13.723	
	8	-43.286	-20.652	47.961	0.007	-9.517	
8		1.000	-4.100	4.220			
	5	14.532	-9.774	17.513	0.001	-18.152	
	7	43.293	11.136	44.702	0.007	-9.517	
	9	-56.825	-5.462	57.087	0.066	-45.596	
9		0.000	0.000	0.000			
	8	56.891	-40.134	69.623	0.066	-45.596	
	39	-56.891	40.134	69.623	0.132	-139.957	
10		0.000	0.000	0.000			
	11	104.765	42.600	113.094	0.043	-8.574	
	13	-64.765	-85.107	106.947	0.034	-8.706	
	32	-40.000	42.508	58.369	0.000	0.628	1.070
11		0.000	0.000	0.000			
	6	113.664	55.919	126.674	0.097	-15.957	
	10	-104.722	-51.174	116.557	0.043	-8.574	
	12	-8.942	-4.745	10.123	0.001	0.036	
12		1.800	-4.020	4.405			
	11	8.943	4.781	10.141	0.001	0.036	1.006
	13	-7.143	-8.801	11.335	0.002	0.045	1.006
13		0.000	0.000	0.000			
	10	64.799	76.402	100.181	0.034	-8.706	
	14	-71.944	-85.248	111.549	0.077	-20.790	
	12	7.145	8.846	11.371	0.002	0.045	

Çizelge 7.4. (Devam)

14		0.000	0.000	0.000			
	4	30.010	12.494	32.506	0.009	-17.306	
	13	72.021	64.458	96.653	0.077	-20.790	
	15	-102.031	-76.952	127.796	0.189	-44.527	
15		-8.000	-2.400	8.352			
	14	102.220	32.425	107.240	0.189	-44.527	
	16	-110.220	-34.825	115.591	0.089	-21.236	
16		-8.000	-2.400	8.352			
	15	110.309	13.589	111.142	0.089	-21.236	
	17	35.182	-64.343	73.333	0.023	-17.202	
	19	-72.788	58.455	93.354	0.141	-37.360	
	21	-43.970	-4.576	44.208	0.013	-32.857	
	24	-36.732	-5.524	37.145	0.003	-8.775	
17		0.000	0.000	0.000			
	16	-35.158	47.141	58.808	0.023	-17.202	
	18	44.631	24.063	50.704	0.016	-17.030	
	27	-9.473	-71.204	71.831	0.026	-42.026	
18		0.000	-1.600	1.600			
	3	44.615	39.493	59.583	0.041	-27.195	
	17	-44.615	-41.093	60.655	0.016	-17.030	
19		0.000	0.000	0.000			
	16	72.929	-95.815	120.412	0.141	-37.360	
	33	-39.974	51.026	64.819	0.026	0.537	1.070
	20	-32.955	44.789	55.607	0.019	0.377	1.060
20		-7.000	-4.900	8.545			
	34	-39.974	39.512	56.206	0.026	0.517	1.009
	19	32.974	-44.412	55.315	0.019	0.377	
21		0.800	-1.520	1.718			
	16	43.983	-28.280	52.290	0.013	-32.857	
	22	-43.183	26.760	50.802	0.023	-32.710	
22		0.000	0.000	0.000			
	21	43.206	-59.471	73.509	0.023	-32.710	
	23	-3.206	7.018	7.715	0.002	-23.667	
	35	-40.000	52.453	65.964	-0.000	0.509	1.025
23		-8.000	-2.400	8.352			
	22	3.208	-30.684	30.852	0.002	-23.667	
	24	28.762	-50.217	57.870	0.027	-46.167	
	36	-39.970	78.501	88.091	0.030	1.647	

Çizelge 7.4. (Devam)

24		8.000	0.800	8.040		
	16	36.735	-3.250	36.879	0.003	-8.775
	23	-28.735	4.050	29.019	0.027	-46.167
25		0.000	-0.200	0.200		
	2	41.558	-22.304	47.165	0.103	-18.581
	26	-1.651	-109.263	109.275	0.145	-65.636
	37	-39.907	131.367	137.295	0.093	3.581 1.025
26		-7.000	-4.900	8.545		
	25	1.796	43.626	43.663	0.145	-65.636
	27	23.709	4.647	24.160	0.010	-31.750
	28	-15.436	-25.722	29.998	0.030	-102.759
	29	-17.070	-27.452	32.326	0.085	-133.724
27		-14.200	-7.220	15.930		
	17	9.499	29.178	30.685	0.026	-42.026
	26	-23.699	-36.398	43.433	0.010	-31.750
28		-7.000	-6.500	9.552		
	26	15.466	-77.037	78.574	0.030	-102.759
	29	-22.466	70.537	74.028	0.086	-31.364
29		0.000	0.000	0.000		
	26	17.154	-106.272	107.648	0.085	-133.724
	28	22.552	-101.902	104.367	0.086	-31.364
	38	-39.706	208.174	211.927	0.294	5.732 1.025
30		40.000	-36.762	54.327		
	2	40.000	-36.762	54.327	0.000	0.444
31		-288.501	-194.405	347.888		
	6	-288.501	-194.405	347.888	-0.000	31.376
32		40.000	-41.879	57.913		
	10	40.000	-41.879	57.913	0.000	0.628
33		40.000	-50.489	64.414		
	19	40.000	-50.489	64.414	0.026	0.537
34		40.000	-38.995	55.862		
	20	40.000	-38.995	55.862	0.026	0.517

Çizelge 7.4. (Devam)

35		40.000	-51.944	65.561		
	22	40.000	-51.944	65.561	-0.000	0.509
36		40.000	-76.855	86.641		
	23	40.000	-76.855	86.641	0.030	1.647
37		40.000	-127.786	133.900		
	25	40.000	-127.786	133.900	0.093	3.581
38		40.000	-202.442	206.356		
	29	40.000	-202.442	206.356	0.294	5.732
39		40.000	-360.330	362.544		
	1	-17.023	-180.240	181.042	0.162	-86.035
	9	57.023	-180.091	188.903	0.132	-139.957
Toplam kayıp					2.699	-1236.967

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Ozan GÜL

Doğum Yeri ve Tarihi: Ankara / 12.11.1984

Adres: Bingöl Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi

E-Posta: ozan.m.r.gul@hotmail.com

Lisans: Gaziantep Üniversitesi

Mesleki Deneyim ve Ödüller: Bingöl Üniversitesinde Araştırma Görevlisi (2 yıl 8 ay)

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

Asım Kaygusuz, Ozan Gül, Barış Baykant Alagöz, EMO Bilimsel Dergi, Elektrik, Elektronik, Bilgisayar, Biyomedikal Mühendisliği Bilimsel Dergi, Cilt 2, Sayı 4, syf. 77-85, Aralık 2012.