

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİK ENERJİ ŞEBEKELERİNDE ESNEK GÜÇ YÖNETİMİ
VE BİR UYGULAMA ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisi M. Ali AKCANCA

Anabilim Dalı : Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Programı : Elektrik-Elektronik

MANİSA 2013

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİK ENERJİ ŞEBEKELERİNDE ESNEK GÜÇ YÖNETİMİ
VE BİR UYGULAMA ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisi M. Ali AKCANCA

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 27 Mayıs 2013

Tezin Savunulduğu Tarih : 11 Haziran 2013

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Sezai TAŞKIN

Diğer Jüri Üyeleri : Yrd.Doç.Dr. İlker KILIÇ (CBÜ)

Yrd.Doç.Dr. Serkan AYDIN (CBÜ)

MANİSA 2013

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
SEMBOL LİSTESİ	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
ÇİZELGE LİSTESİ	vi
KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
TÜRKÇE ÖZET	ix
İNGİLİZCE ÖZET	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı ve Kapsam.....	1
1.2. Çalışma Konusu Üzerine Görüşler.....	2
2. ELEKTRİK ENERJİSİ VE ÖNEMİ.....	5
2.1. Enerji Verimliliği.....	5
2.2. Elektrik Enerji Sistemleri.....	6
2.1.1. Enerji Üretimi	6
2.1.2. Enerji İletimi ve Dağıtım.....	8
2.3. Elektrik Enerji Sistemlerinde Verimliliği Artırmak İçin Yapılan Çalışmalar... 10	
3. GELECEĞİN ŞEBEKE YAPISI: AKILLI ŞEBEKELER	12
3.1. Akıllı Şebeke Teknik Altyapısı	13
3.1.1. Haberleşme	15
3.1.2. Üretim	16
3.1.3. İletim	17
3.1.4. Dağıtım	19
3.1.5. Akıllı Sayaçlar	20
3.1.6. Akıllı Uygulamalar.....	21
3.2. Akıllı Şebekelerden Beklenen Faydalar	21
3.3. Bugünün Şebekesi ile Akıllı Şebeke Yapısının Karşılaştırılması	23
3.4. Akıllı Şebeke Uygulama Aşamaları ve Dünya'dan Örnekler.....	25
4. ŞEBEKELERDE ESNEK GÜÇ YÖNETİMİ	33
4.1. Şebeke Yönetim Sistemi	33
4.2. Şebeke Sisteminde Karşılaşılan Problemler	35
4.2.1. Arz-Talep Dengesizliği.....	37

4.2.2.	Enerji Kalitesi.....	38
4.2.3.	Gerilim Dalgalanmaları.....	39
4.2.4.	Harmonikler.....	40
4.2.5.	Arz Güvenliği.....	43
4.2.6.	Maksimum Y¼k Zamanı (Puant).....	44
4.3.	T¼rkiye Elektrik Sistemindeki Genel Durum.....	45
5.	ELEKTRİK ENERJİ SİSTEMLERİNDE ESNEK G¼Ç YÖNETİMİ.....	52
5.1.	Uygulama ile Hedeflenenler.....	52
5.2.	T¼keticilerin Şebeke Sisteminde Aktif Rol Almaları.....	54
5.3.	Akıllı Uygulamaların Yaygınlaştırılarak T¼ketic Davranışlarının Yönlendirilmesi.....	55
5.4.	Uygulama Çalışması.....	56
6.	SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....	63
	KAYNAKÇA.....	68
	EKLER.....	72
	ÖZGEÇMİŞ.....	72

SEMBOL LİSTESİ

KV	Kilovolt
MV	Megavolt
KW	Kilowatt
MW	Megawatt
KWh	Kilowatt saat
MWh	Megawatt saat
GWh	Gigawatt saat
I_n	Akım Harmonik Bileşenleri
V_n	Gerilim Harmonik Bileşenleri
P_{gi}	Toplam Üretilen Enerji
$P_{kayıplar}$	İletim ve Dağıtım Sistemindeki Kayıplar
$\sum P_i$	Toplam Yük ve Kayıplar

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1: 2012 yılı Türkiye kurulu gücü dağılımı.....	7
Şekil 3.1: Elektrik sistemi ile İletişim sisteminin entegre edilmesi.	13
Şekil 3.2: Akıllı şebeke topolojisi	14
Şekil 3.3: Fazör veri toplama altyapısı.....	16
Şekil 3.4: Akıllı Üretim	17
Şekil 3.5: Akıllı İletim	18
Şekil 3.6: Akıllı dağıtım	19
Şekil 3.7: Akıllı sayaç görünümü	20
Şekil 3.8: Klasik şebeke ile akıllı şebekenin karşılaştırılması.....	24
Şekil 3.9: Akıllı şebeke planlaması	25
Şekil 3.10: Akıllı şebekeler Avrupa stratejik uygulama öncelikleri.....	26
Şekil 3.11: Dünya’da akıllı şebeke yatırımları	31
Şekil 4.1: Arz – Talep dengesi.....	38
Şekil 4.2: Şebeke gerilimde görülen gerilim dalgalanması örneği.....	40
Şekil 4.3: Şebeke gerilimindeki harmonikler.....	42
Şekil 4.4: 3., 5. ve 7. Harmonik içeren gerilim dalgası	42
Şekil 4.5: Bir yerleşim yerine ait ortalama günlük yük eğrisi	44
Şekil 4.6: 2011 yılı elektrik enerjisi tüketiminin maksimum olduğu günde (28 Temmuz 2011) santrallerin enerji kaynağı türlerine göre çalışma durumları	47
Şekil 4.7: 2011 yılı elektrik enerjisi tüketiminin minimum olduğu günde (6 Kasım 2011) santrallerin enerji kaynağı türlerine göre çalışma durumları	47
Şekil 4.8: 2011 yılında her ayın üçüncü Çarşamba günlerinin saatlik yük grafiği	48
Şekil 4.8: 2011 yılında her ayın üçüncü Çarşamba günlerinin saatlik yük grafiği (Devamı)	49
Şekil 4.9: Türkiye Elektrik Sisteminde Yük Faktörü ve Baz Yükün Puant Yüke Oranının Yıllara Göre Değişimi.....	50
Şekil 5.1: Günlük yük eğrilerinin kararlılığı üzerine yapılan çalışmalar	53
Şekil 5.2: Arduino Uno geliştirme kiti	58

Şekil 5.3:	Çamaşır/bulaşık makinesi için tasarlanmış olan devre algoritması.....	60
Şekil 5.4:	Uygulama devresinin blok diyagramı.....	61
Şekil 5.5:	Uygulama çalışmasında ekonomik tarife önerisi	62
Şekil E.1:	Arduino Uno Geliştirme Kiti.....	73
Şekil E.2:	RTC (Real Time Clock) Modül.....	73
Şekil E.3:	Röle.....	74
Şekil E.4:	Bluetooth.....	74
Şekil E.5:	LCD - Keypad	75
Şekil E. 6:	Uygulamanın Çalışma Esnasındaki Görüntüleri.....	81
Şekil E. 6:	Uygulamanın Çalışma Esnasındaki Görüntüleri (Devamı).....	82
Şekil E. 6:	Uygulamanın Çalışma Esnasındaki Görüntüleri (Devamı).....	83
Şekil E. 6:	Uygulamanın Çalışma Esnasındaki Görüntüleri (Devamı).....	84

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1: Yıllara Göre Kurulu Güç Gelişimi (MW) – Senaryo 1	8
Çizelge 2.2: Güvenilir Enerji Üretimi (GWh) – Senaryo 1	8
Çizelge 3.1: Akıllı şebeke yapısı anahtar bileşenler	14
Çizelge 4.1: Gerilim dengesizliğinin neden olduğu verim kayıpları	36
Çizelge 4.2: 2002 – 2012 Yılları Türkiye Elektrik Sistemi Puant Güç ve Enerji Talebi.....	46
Çizelge 5.1: Elektrikli ev aletleri ve ortalama aylık enerji tüketimleri (Energy.gov, 2013)	57
Çizelge 5.2: EPDK tarafından belirlenen 01.04.2013 tarihinden itibaren geçerli olan mesken için elektrik tüketim tarifeleri.....	57
Çizelge 5.3: Arduino Uno geliştirme kiti genel teknik özellikleri.....	59
Çizelge 6.1: Çamaşır/bulaşık makinesi kullanımının aylık ve yıllık maliyet analizi.....	63
Çizelge 6.2: Yük öteleme sistemi ile çamaşır/bulaşık makinesi kullanımının aylık ve yıllık analizi	63
Çizelge 6.3: Çamaşır/bulaşık makinesi kullanımının aylık ve yıllık maliyet analizi.....	64
Çizelge 6.4: Yük öteleme sistemi ile çamaşır/bulaşık makinesi kullanımının aylık ve yıllık analizi	64
Çizelge 6.5: Çamaşır/bulaşık makinesi kullanımının aylık ve yıllık maliyet analizi.....	64
Çizelge 6.6: Yük öteleme sistemi ile çamaşır/bulaşık makinesi kullanımının aylık ve yıllık analizi	65
Çizelge 6.7: Senaryo 1-2-3 için çamaşır/bulaşık makinesi kullanımının yıllık maliyet analizi.....	65
Çizelge 6.8: Senaryo 1-2-3 için çamaşır/bulaşık makinesi kullanımının puanta etkisi	66
Çizelge E.1: TÜİK 2011 Türkiye Nüfus ve Enerji İstatistikleri	72

KISALTMALAR LİSTESİ

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AC	Alternatif Gerilim
AG	Alçak Gerilim
CIN/SI	Complex Interactive Networks/Systems Initiative
ÇYG	Çok Yüksek Gerilim
DSO	Dağıtım Sistemi Operatörleri
EDS	Elektrik Dağıtım Sistemi
EES	Elektrik Enerji Sistemi
EGY	Esnek Güç Yönetimi
EISA	Amerika Enerji Bağımsızlığı Yasası
EİS	Elektrik İletim Sistemi
EMS	Enerji Yönetim Sistemi
ENH	Enerji Nakil Hattı
ENTSO-E	European Network of Transmission System Operators for Electricity (Avrupa Elektrik İletim ve Dağıtım Sistemi)
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EPRI	Electric Power Research Institute (Elektrik Enerjisi Araştırma Enstitüsü)
EURO	Avrupa Para Birimi
EÜS	Elektrik Üretim Sistemi
EVSB	Enerji Verimliliği Strateji Belgesi
EC-JRC	European Commission Joint Research Centre (Avrupa Komisyonu Araştırma Merkezi)
LAN	Local Area Network (Yerel Alan Ağı)
OECD	Organisation For Economic Co-Operation And Development (Ekonomik Kalkınma Ve İşbirliği Örgütü)
OG	Orta Gerilim
PDC	Phasor Data Concentrator (Fazör Veri Toplayıcıları)
PLC	Programmable Logic Controller (Programlanabilir Mantıksal Denetleyici)
PMU	Phasor Measurement Unit (Fazör Ölçüm Birimleri)
QoS	Quality Of Service (Port Önceliği)
RTU	Remote Terminal Unit (Uzak Terminal Birimleri)
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition (Kapsamlı Veri Tabanlı Kontrol ve Gözetleme Sistemi)
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
THD	Total Harmonic Distortion (Toplam Harmonik Bozulma)
YG	Yüksek Gerilim

TEŞEKKÜR

“Elektrik Enerji Şebekelerinde Esnek Güç Yönetimi ve Bir Uygulama Örneği” konulu bu çalışma, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak gerçekleştirilmiştir.

Yüksek Lisans tez danışmanlığımı üstlenerek, çalışmalarım sırasında bilgi ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Sezai TAŞKIN'a teşekkür eder saygılarımı sunarım.

Celal Bayar Üniversitesi'nde görev yapmakta olan ve çalışmalarımın değişik aşamalarında yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Ahmet ONDUK'a, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünün Sayın Öğretim Üyelerine ve Araştırma Görevlilerine teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmanın özellikle uygulama kısmında yardımlarını esirgemeyen değerli meslektaşım Melih KUTLU, tez yazım aşamasındaki desteğinden dolayı ablam Dr. Fehime AKCANCA'ya ve ağabeyim Makine Mühendisi İmdat Ziya AKCANCA'ya şükranlarımı sunarım.

Çalışmamın her aşamasında sağladıkları maddi ve manevi destekten dolayı değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunar, bu çalışmanın bilim ve uygulama alanlarına faydalı olmasını dilerim.

Muhammet Ali AKCANCA

Manisa 2013

TÜRKÇE ÖZET

ELEKTRİK ENERJİ ŞEBEKELERİNDE ESNEK GÜÇ YÖNETİMİ VE BİR UYGULAMA ÖRNEĞİ

20.yy başından bu yana hızla sanayileşme sürecine giren dünyamızda, kullanılan ve gelişen teknoloji elektrik gücüne ihtiyaç duymaktadır. Bununla birlikte, enerji üretiminde kullandığımız fosil yakıtların rezervleri de aynı süreçte hızlı bir şekilde azalmaktadır. Enerji elde etmek ne kadar önemli ise enerjinin verimli kullanılması ve var olan enerji kaynaklarının çevreye zarar vermeden yaygınlaştırılması ve mevcut sistemle tümleşik olması da o kadar önemli hale gelmiştir. Bu beklentileri karşılamak için elektrik şebekelerinin daha akıllı hale getirilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda enerjinin verimli bir şekilde kullanılmasının sağlanması çok büyük bir önem arz eder.

Enerji insanların yaşam kalitesinin artırılmasında ve dolayısıyla endüstrinin gelişmesindeki en önemli unsurlardan birisidir. Enerjinin elde edilmesi, iletilmesi ve kullanılması sırasında, enerji verimliliğine ayrı bir özen göstermeliyiz. Enerji verimliliği konusunda en etkili yöntemlerden birisi de enerji yönetim sistemidir. Enerji yönetim sistemi, elektriğin üretiminden tüketimine kadar bütün aşamaları kapsayan bir sistemdir. Bu sistemin önemli bir parçası olan talep taraflı yönetim ise elektrik tüketicilerinin tüketim alışkanlıkları ile orantılıdır. Talep taraflı yönetimin sağlıklı işletilebilmesi için tüketicilerin elektrik taleplerinin gerçek zamanlı olarak izlenmesi önemlidir.

Ülkelerin teknolojik ve sosyo-ekonomik gelişim verilerine dayanılarak hazırlanan elektrik enerjisi talep tahminleri esas alınarak belirlenen üretim kapasite kestirimi ve uzun dönem üretim planlamalarının yapılması enerji arz güvenirliliği açısından oldukça önemlidir. Ayrıca, enerjinin üretimi, iletimi, dağıtımı ve tüketiminde de teknoloji odaklı planlamalar tasarlanmalıdır. Yeni enerji sistemlerinin uyarlanabilir, tüketici ile etkileşimli ve gerçek zamanlı olarak izlenip kontrol edilebilen bir yapıda olması istenmektedir. Bu kapsamda “akıllı şebekeler (smart grids)” kavramı gündeme gelmiş ve daha verimli ve daha etkin bir enerji yönetim sistemi olarak önem kazanmıştır.

Akıllı şebeke, tüketicinin talebi ile üreticinin arzı arasındaki dengeyi çift yönlü haberleşerek sürekli izleyen ve kontrol edebilen bir enerji yönetim sistemi olarak tanımlanmaktadır. Akıllı şebeke sistemi; elektrik enerjisi üretimi, iletimi-dağıtımı ve tüketiciler olmak üzere üç temel bileşenden oluşmaktadır. Akıllı şebeke sistemleri, akıllı ev uygulamaları için de önemli bir basamak oluşturacaktır. Tüketiciler, bazı elektrikli ev aletlerini çeşitli uygulamalar sayesinde kontrol edebilecek ve böylece anlık olarak ihtiyaç duyulmayan enerji taleplerinin birim fiyatlandırmanın daha ekonomik olduğu saatlerde karşılanması için programlayabileceklerdir. Bu sayede dağıtıcı firmalar kullanıcı taleplerine en uygun gerçek zamanlı tarifeler hazırlayarak enerjinin daha verimli kullanılmasını teşvik edebilecektir. Böylelikle gerçek zamanlı olarak yük talebi dengelenebilecek ve puant dilim zamanı da şebeke üzerinde daha geniş bir zamana yayılabilecektir.

Bu tez çalışmasında, elektrik şebekelerinde esnek güç yönetimi uygulanabilirliği açısından yeni bir uygulama fikri sunulmuştur. Bu kapsamda, çalışma zamanı ötelenebilir elektrikli ev aletlerinin mevcut sistemlerine yeni bir donanım eklenmiştir. Tasarlanan ve uygulama örneği burada sunulan bu sistem sayesinde puant zaman dilimindeki şebeke yükünü azaltmak hedeflenmiş ve dolayısıyla şebekedeki yükün dengeli bir dağılım göstermesinin sağlanması konusuna önem verilmiştir. Puant zaman dilimindeki enerji talebinin, geliştirilen Android tabanlı bir yazılım sayesinde tüketici ile etkileşimi sağlanarak yükün enerji birim fiyatının daha ekonomik olduğu zaman dilimine ötelenmesi gerçekleştirilmiştir.

Uygulama örneği olarak, akıllı şebeke işleyişine uygun yapıda ve tüketiciyi yönlendiren bir esnek güç yönetim sistemi gerçekleştirilmiştir. Günümüzde neredeyse tüm

evlerde bulunan ve kullanma sıklığına bağılı olarak enerji sarfiyatı da yoğun olan çamaşır/bulaşık makinesi gibi yüklerin puant zaman dilimindeki (17:00-22:00) kontrolü örnek bir uygulama olarak verilmiştir. Kontrol edilecek sistem üzerine entegre edilen mikro kontrolör tabanlı bir uygulama, puant zaman dilimine denk gelen saatler arasında bu yüklerin devreye alınmak istenmesi durumunda LCD ekran üzerinden kullanıcıya “pahalı enerji tarife diliminde” olduğuna dair uyarı mesajı vermektedir. Kontrolör, kullanıcının onaylaması durumunda bu yükün otomatik devreye alınması işlemini puant zaman dilimi bitiminde başlatmaktadır. Süreç tamamlandığında ise kullanıcıya bilgi mesajı iletilmektedir.

Böylece puant zaman dilimindeki enerji talebinin bu şekilde azaltılması yoluyla şebeke üzerindeki yükün dengeli bir şekilde yönlendirilmesi ile ilgili genelleştirilmiş sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışma ile mevcut şebeke sistemi için elektrik talebinin yoğunlaştığı puant saatlerdeki yükün bir kısmı puant dışına taşınarak, üretim yatırımlarının aşağı çekilmesini sağlamak ve elektrikte önemli oranda tasarruf etmek hedeflenmiştir. Ancak talebi günün saatlerine yaymak için öncelikle tüketim bilinci geliştirmeli ve akıllı teknolojilere geçmeli, akıllı elektrikli gereçler kullanımını yaygınlaştırılmalıdır.

Çalışma zamanı ötelenebilir bu tip yüklerin puant zaman dilimi dışında kullanımı için tüketiciler yönlendirilebilir ise puantın azaltılması adına önemli katkı sağlayacağı açıktır. Tüketicileri yönlendirmeye dayalı olan bu çalışmanın başarısı öncelikle tüketim alışkanlıklarının iyi bilinmesine bağlıdır. Bu kapsamda çalışmanın performansı elektrik tüketim alışkanlıkları için üç farklı senaryo üzerinden değerlendirilmiştir. Diğer bir önemli husus ise tüketicilerin yönlendirmelere vereceği tepkidir. Çünkü sistemin başarılı bir şekilde çalışması isteniyorsa tüketicinin bu yönlendirmelere uyması şarttır. Çamaşır/bulaşık makinesi yıllık enerji tüketim maliyeti; tek zamanlı ve üç zamanlı tarifeler için hesaplanmıştır. Üç zamanlı tarifede yük öteleme sistemi uygulandığında elde edilecek tasarruf miktarı dikkat çekici bir değerde olduğu görülmektedir. Aynı şekilde yük öteleme sisteminin, puantın azaltılmasında ne derece etkili olacağı gösterilmiştir. Çalışmanın hem tüketicilere hem de elektrik tedarikçilerine sağladığı faydalar Türkiye 2011 yılı nüfusu ve enerji talebi için hesaplanmıştır.

Çalışmanın sonuç kısmında ise elde edilen veriler yorumlanarak esnek güç yönetiminin enerjinin verimli kullanılması noktasında ne şekilde uygulanabileceği ve tüketicilerin enerji verimliliğindeki rolü ortaya konmuştur.

ANAHTAR KELİMELEER: Enerji Verimliliği, Enerji Yönetim Sistemi, Akıllı Şebekeler, Esnek Güç Yönetimi, Elektrik Puant Zaman Dilimi.

İNGİLİZCE ÖZET

FLEXIBLE POWER MANAGEMENT AND AN APPLICATION EXAMPLE FOR THE ELECTRICAL ENERGY NETWORKS

Our world entered a period of rapid industrialization since the beginning of the 20th century. The need for electrical power has increased immensely in used and developing technological equipment. However, reserves of fossil materials used in the production of energy decrease rapidly over the same period. In addition to generating energy, efficient utilization of it, expansion of existing energy resources without harming the environment and to their integration in the existing system has become very important. To meet these expectations electricity grids should be smarter. In this regard, ensuring the efficient use of energy has a great importance.

Energy is one of the most important elements enhancing the quality of life of the people and industrial development. Equal attention should be paid both to energy efficiency during the provision, transfer and use of energy. One of the most effective methods in energy efficiency is energy management system. Energy management is a system that covers all phases of the electricity production to consumption. An important part of this system, Demand Side Management, is proportional by the consumption habits of the electricity consumers. It is important to monitor the electricity demands of consumers in real-time for healthy operation of Demand Side Management.

Estimating the production capacity is very important considering the electricity generation capacity. Demand estimation is prepared on the basis of technological and socio-economic development of countries. It is a long-term production plan in terms of the reliability of energy supply. Additionally, technology-driven plans should be designed for generation, transmission, distribution and consumption of the energy. New energy systems with adaptive, real-time and interactive basis with the consumers are required for a structure that can be monitored and controlled. In this context, "intelligent networks (smart grids)" concept has been raised and it gains importance as an efficient and effective energy management system.

Smart grid is defined as an energy management system that is continuous monitoring and control of balance between consumer demand and producer supply by consistent two-way communication. Smart grid system consists of three main control units that are formed by electric power generation, transmission-distribution and consumers. Smart grid systems will form an important step for smart home applications. Consumers can control some of the electrical devices due to a variety of applications, programmed as more economical jobs which are not needed instantaneously. In this way, distribution companies will be able to encourage more efficient use of energy by preparing user requirements as the best real-time rates. Thus, the load demand can be balanced in real time, and the slice of peak-time on the network can be extended to a wider time.

In this study, the applicability of electrical networks for flexible power management, revealed the idea of a new application. In this context, a new hardware is added to existing systems, and the run-time of electrical household appliances is shifted. The proposed system, which is designed and applied in examples presented here, is aimed to reduce the burden of the network peak time period. Therefore, more emphasis is given on ensuring the balanced distribution of the load on the network. Peak energy demand in a specific time zone is postponed to a time frame with a more economical unit price. This is achieved by Android-based software which interacts with consumers.

As an example of the application, the appropriate structure and functioning of the smart grid is realized by a flexible power management system that directs consumer demand. Today, in almost all the houses the intensive energy consumption depends on the

frequency of use of washer / dishwasher peak loads in the time zone (17:00 to 22:00). This time frame is provided as a sample to the application control. The micro-controller based control system is integrated on the application, which corresponds to the time period between peak loads. If desired, it can be switched on the LCD display by the user, to "expensive energy tariff zone" which is given as a warning message. In the event of the user to approve the controller for the commissioning process, the peak load automatically shifted to the end of that time frame. When the process is complete, a message is transmitted to the user for information.

This way, the peak energy demand on the network load is reduced and balanced. The generalized results are obtained for this arrangement. In this study, the electricity demand in peak hours in the existing network system is moved out of this particular time frame, and thus it is aimed to significantly save in electricity production investments and consumed power. However, in order to uniformly spread consumer demand to 24 hours of a day, consumption awareness should be developed; smart technologies should be adopted, and use of smart electric tools must be expanded.

It is clear that a significant contribution can be made by reducing the peak demand if the consumers are to be directed to shift run-time peak loads outside the peak hours. The success of this study, which is based on the guidance of consumers, primarily depends on the information of their consumption habits. In this context, our study evaluates the performance of three different scenarios for electricity consumption habits. Another important issue is the reaction of consumers against guidance. Because if we want the system is to operate successfully, the consumer must comply with these referrals. The costs of the annual energy consumption of a washing/dishwashing machine have been calculated for a single time and three-time rates. It is seen that the amount of savings to be obtained from the load shift in three-time tariff is a remarkable value. Similarly, the efficiency of the load displacement system in reducing the peak demand has been presented. The benefits of this study to both consumers and suppliers have been calculated for 2011 Turkish population and energy demand.

As a conclusion, in the light of the obtained data, the possible applications of flexible power management are given. Moreover, the role of consumers in efficient energy consumption has been revealed.

KEYWORDS: Energy Efficiency, Energy Management System, Smart Grids, Flexible Power Management, Power Peak Time Zone.

1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji elektrik enerjisine olan bağımlılığı gün geçtikçe artırmaktadır. Bir zamanlar lüks olarak görülen elektrikli ev aletleri artık günümüzde her evde bulunması gereken olmazsa olmaz ihtiyaçlar arasına girmiştir. Sanayi devrimiyle beraber insan gücü yerini makinelere bıraktı, günümüzde ise daha da karmaşık hale gelen makineler neredeyse insan gücüne hiç ihtiyaç duymadan otomatik sistemler sayesinde çalışmaktadır. Bununla birlikte elektrik enerjisine olan talep de hızla artmaktadır. Özellikle fosil yakıtların sınırlı olduğu ülkelerde elektrik enerjisini elde etmek önemli bir sorundur. Çağımız dünyasında tüketiciler ve özellikle de sanayi, kaliteli ve kesintisiz elektrik enerjisi talep etmektedirler. Bu taleplere cevap verilememesi durumunda önemli sosyal ve ekonomik sıkıntıların meydana geleceği kesindir. Bu sebeple artan enerji talebini karşılamak kadar önemli bir diğer husus da, elektrik enerjisinin sürekli, kaliteli ve güvenilir bir şekilde arzının sağlanmasıdır. Mevcut güç sistemlerinin gelecek yıllarda bu gereksinimleri karşılamakta yetersiz kalabileceği tahmin edildiği için güç sistemlerinde yeni arayışlara gidilmekte ve farklı yaklaşımlara gereksinim duyulmaktadır.

Son yıllarda, akıllı şebeke kavramı karşımıza çıkan güç sistemlerinin yetersizliği gibi sorunlara çözüm olarak gündeme gelmiştir. Bilgi ve haberleşme teknolojilerinde meydana gelen gelişmeler akıllı şebeke sistemlerinin uygulanabilirliğini arttıran etken olmaktadır. Güç sistemleri elemanlarının bu yapı sayesinde birbirleri ile daha etkin ve hızlı bilgi alışverişinde bulunabileceği, verimli ve kaliteli bir şebeke altyapısı oluşturabileceği açıktır. Akıllı şebeke sistemlerinin, sadece tüketiciler açısından değil aynı zamanda da elektrik enerjisi tedarikçileri açısından büyük kolaylıklar sunacağı ve bunun yanı sıra enerji verimliliğine de büyük katkı sağlayacağı öngörülmektedir. Bu yolla, enerji tedariki tüketicilerin talepleri doğrultusunda yapılabilecek ve böylece üretim-tüketim dengesi sağlanabilecektir. Esnek güç yönetimi (EGY), akıllı şebekelere geçiş sürecinde hem büyük kolaylıklar sağlayacak hem de sağlam bir altyapı oluşturacaktır. Esnek güç yönetimi, enerjinin daha verimli kullanılması açısından önemli bir aşama olarak düşünülmektedir.

1.1. Tezin Amacı ve Kapsam

Günlük yaşantının ayrılmaz bir parçası olan enerji, ülkelerin sosyo-ekonomik yapıları içerisindeki yerini ve önemini giderek artırmaktadır. Elektrik talebinin zamanında, sürekli, ekonomik ve kaliteli bir şekilde karşılanması elektrik enerji sistemleri için oldukça önemlidir. Ekonomik kalkınma ve sosyal gelişme için gerekli olan enerji talebinin karşılanması sırasında enerjinin, üretildiği noktadan tüketiciye ulaştığı noktaya kadar, iletimin her aşamasında verimli

ve tasarruflu kullanılması, elektrik piyasasının sağlıklı işletilebilmesi için dağıtım şirketlerinin en önemli hedefi olmuştur.

Bu tez çalışması ile tüketiciyi yönlendiren bir esnek güç yönetim sistemi uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, örnek uygulama olarak elektrikli ev aletleri için esnek güç yönetim örneği verilmiştir. Günümüzde neredeyse tüm evlerde bulunan ve kullanma sıklığına bağlı olarak enerji sarfiyatı da yoğun olan çamaşır/bulaşık makinesi yükünün puant zaman dilimindeki (17:00 - 22:00) kontrolü örnek bir uygulama olarak yapılmıştır. Puant zaman dilimindeki enerji talebinin puant dışına kaydırılması yoluyla şebeke üzerindeki yükün dengeli bir şekilde yönlendirilmesi sağlanmıştır.

1.2. Çalışma Konusu Üzerine Görüşler

Akıllı şebeke (Smart Grid) çalışmalarının başlangıcı şaşırtıcıdır ki, 1980 yılının sonlarında bir İsrail pilotunun kullandığı F15 savaş uçağında yaşanan soruna dayanmaktadır. Pilotun beraberinde uçan arkadaşının oluşturduğu bir ters hava akımı sebebiyle F15 sağ kanadının kullanımını %90 oranında kaybetmiştir. Bu hava akımı uçağın sadece kontrol yüzeylerini kaybetmesine yol açmamış, aynı zamanda onu düşürebilecek bir simetrisizlik oluşturmuştur. Pilot uçağı zorlukla indirmeyi başarmasına rağmen McDonnell Douglas (yeni adıyla Boeing) firması, uçak üzerinde bir dizi dinamik testler yapma amacıyla rüzgâr tüneli çalışmalarını gerçekleştirmiştir.

Washington Üniversitesindeki bir araştırma grubu 1995–1998 yılları arasında optimizasyon ve kontrol projesi olarak bu olayı inceleme altına almıştır. NASA'nın da desteklediği bir projede kendi kendini düzeltebilen ve var olan sistemde meydana gelebilecek "k" kadar olayda (n-k) ile dengesini düzenleyebilecek akıllı bir yapı, yapay sinir ağları yöntemiyle (neural network technology) geliştirilmiştir. F15 üzerindeki bu çalışma, EPRI (Electric Power Research Institute) ve CIN/SI (Complex Interactive Networks/Systems Initiative) gruplarının elektrik güç endüstrisi için geliştirdiği programlara öncülük etmiştir. Güç şebekesi açısından bakıldığında, sistemdeki tüm noktaların uyanık, tepkili, adaptif, maliyet açısından uygun, çevre ile dost, eş-zamanlı, esnek, kuvvetli ve her sistemle bağlanılabilen bir yapıda olması "akıllı" yapıyı oluşturmaktadır (Amin et al, 2005).

Günümüzdeki güç sistemleri, Tesla tarafından 1883 yılında yayınlanan tasarım esaslarına göre kurulmuştur. Merkezi üretimler, talep kontrolü ve tek yönlü iletim sistemleri mantıklı olmasına karşın, günümüz ihtiyaçlarına göre artık eski kabul edilmektedirler. Dünyanın enerji ihtiyacının 2005'ten 2030'a kadar %50 artacağı tahmin edilmektedir. Dolayısıyla geleceğin güç şebekelerinin Tesla'nın düşündüğünden çok daha fazlasına sahip olacağı kesindir. Mevcut şebekelerin akıllı hale dönüştürülmesinin pek çok faydası vardır. 2030 yılında dünyanın enerji ihtiyacının %50 artacağı düşünüldüğünde mevcut karbon emisyonları

arttırılmadan bu ihtiyacın nasıl karşılanabileceği çözüm bekleyen bir sorundur. Yenilenebilir elektrik üretiminin önem kazanması ve talep artışı akıllı sistemlere duyulan ihtiyacı da arttırmaktadır. Akıllı şebekeleri, sayısal teknolojinin elektrik ağı ile tümleşmesi ve elektrik iletim ve dağıtımının eşgüdümünün iyileştirilmesi şeklinde kısaca tanımlamak mümkündür. Akıllı şebeke, her şeyin değiştirildiği, daha iyi ve verimli yapılmaya çalışıldığı yakın dönemde, teknolojinin elektriğe sunduğu bir yeniliktir. Akıllı Şebeke (Smart Grid) teknolojisinin, elektriksel verim açısından sistemi iyileştirmekle kalmayıp, küresel ısınma, enerji ihtiyacı ve enerji esnekliği gibi büyük sorunların çözümüne de ışık tutabileceği görülmüştür (Dinçer ve diğerleri, 2011).

Özellikle yenilenebilir elektrik üretiminin önem kazanması ile beraber, gerçek zamanlı fiyatlamamanın yapıldığı serbest piyasa sistemlerinde akıllı sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu şekilde, talep de gerçek zamanlı olarak kısmen dengelenebilecek ve tevzilenemeyen fakat öngörülebilir yenilenebilir elektrik üretiminin şebeke üzerinde neden olduğu olumsuz etkiler en aza indirilmiş olacaktır. Tüm bunların sonucunda ise CO₂ salınımı önemli ölçüde engellenecektir. Bu da akıllı şebekelerin çevre dostu bir teknoloji olduğunu göstermektedir. Örneğin General Electric'in araştırmasına göre, Amerika'daki evlerin %10'unda akıllı sayaçların kullanılması ile 3.724.197 ton CO₂ salınımı engellenmiştir. Bu oran %25'e çıktığında ise 9 milyon ton'un üzerinde salınımın önüne geçilecektir (Çetinkaya, 2009).

Güç sistemlerinin optimum işletilmesi ve koordinasyonunun sağlanabilmesi için sisteme ait tüm elemanların birbirleriyle iletişim içinde olmaları gerekmektedir. Ayrıca bu elemanların tümü merkezler tarafından kontrol edilmelidirler. Gelecekteki güç sistemlerinin optimum planlanması ve işletilmesi için akıllı tekniklerin kullanıldığı bu sistemlere akıllı şebeke adı verilmektedir. Akıllı şebekeler, var olan güç sistemlerini gerçek zamanlı çalışacak şekilde modernize etmektedirler. Akıllı şebekeler vasıtasıyla elektrik fiyatları ile ilgili bilgiler dağıtım şebekeleri tarafından kullanıcılara bildirilecektir ve son kullanıcı bu fiyatlandırmalara göre tüketimini ayarlayabilecektir. Akıllı şebekelerde, yük ve üretim santrallerine ait güç verileri iletişim araçları sayesinde anlık olarak elde edilebilecektir (Drews et al., 2007).

AC (Alternatif akım) sistemlerde, güç bir yerde üretilerek bir başka yere taşınmaktadır. Bu sistemlerin temeli, 20. yüzyılın son çeyreğine kadar hep büyük bir üretim noktasından belirli prensipler çerçevesinde kontrol edilemeyen bir tüketim gücünün karşılanması üzerine kurulmuştur. Bu belirli prensiplerin en başında şüphesiz frekansın izlenmesi gelmektedir (Şanlı ve Hınç, 2009).

Puant saatlerde enerji tüketimini azaltmak için müşteriye güç transferi sınırlandırılabilir. Müşteri kritik sınıra ulaştığında kendisine bir uyarı mesajı gönderilerek bilgilendirilebilir. Eğer kullanılan enerji yoğun saatlerde kritik sınırı aşarsa müşterinin elektriği kesilebilir. Müşterinin puant saatlerde sadece asgari ihtiyaç duyduğu cihazları kullanması gerekmektedir. Bu yöntem hem enerjide büyük miktarda tasarruf sağlar hem de elektrik faturalarının azaltılmasına yardımcı olur (Devidas et al, 2010).

Gelecekteki Şebeke yapısı çift yönlü haberleŐmeyi ve enerji akıŐını sağlayacak akıllı bir yapı temelinde geliŐtirilecektir. Bu akıllı yapı, tüketicilerin talepleri doğrultusunda Őekillenecek bir enerji yönetim sistemi ile gerçek zamanlı kontrol sağlanarak, var olan enerji kaynakları optimize edilecek ve daha verimli bir enerji kullanımı gerçekleŐtirilmiŐ olacaktır (Kolhe et al, 2012).

Enerji depolama teknolojilerinin gelişmesine paralel olarak enerji üretim ve talep yönetim sistemleri de daha aktif bir Şekilde kullanılabilircektir (Kolhe et al, 2012).

Belirli bir yörenin elektrik kullanım alışkanlıkları göz önünde tutularak zamana bağlı elektrik enerjisi talep kestirimi yapılacak ve bu tahminlere paralel yapılacak dinamik fiyatlandırma ile enerji daha verimli bir Şekilde kullanılabilircektir. Bu sistemle evdeki her bir ev aleti zamana göre kontrol edilerek tüketicilerin en az elektrik maliyeti ile ihtiyaçlarını görebilmesi sağlanacaktır. Fakat bu durumda, kullanıcılar bu kısıtlamaları kabul edecekler ve dağıtım Őirketinin yönlendirmesine bağlı kalacaklardır (Ozturk et al, 2013).

2. ELEKTRİK ENERJİSİ VE ÖNEMİ

Enerji yaşamın konforlu bir şekilde devam ettirilebilmesi için gereken temel ihtiyaçlardan bir tanesidir. Enerji kaynaklarının tükenmesi ve artan dünya nüfusu ile beraber var olan enerji kaynaklarının düzgün bir şekilde yönetilmesi hususu önemli hale gelmiştir (Kocatepe ve diğerleri, 2006).

İş yapma kapasitesi olarak tanımlanan enerjiye sadece gelişmiş ülkelerin değil aynı zamanda gelişmek isteyen ülkelerin de gereksinimi vardır. Türkiye’de gerçekleştirilen sanayileşme atılımları, çağdaş medeniyetleri yakalama hedefi ve sürdürülebilir bir kalkınma ve büyüme politikaları doğal olarak enerjiye olan talebi artırmaktadır. Bütün bunların yanı sıra nüfus artışı ve şehirleşme hareketleri enerjiyi olmazsa olmaz bir stratejik kaynak haline getirmektedir.

Teknoloji çağı olan çağımızda elektrik enerjisinin önemi gün geçtikçe artmaktadır. Elektrik enerjisinin üretimi, iletimi ve dağıtımı ile yükümlü kuruluşların amacı, üretilen enerjinin tüketicilere ucuz ve kaliteli olarak sunulmasını sağlamaktır. Bundan dolayı elektrik enerji sisteminin planlamasının, ekonomik, güvenilir, geleceğe yönelik ve esnek olması şarttır.

2.1. Enerji Verimliliği

Enerji verimliliği ve tasarrufu için uygulamaların geçmişi sanayi devrimine kadar götürülebilir (Rosenfeld et al, 2001), ancak 1970’li yıllarda petrol ambargosu sonrasında yaşanan enerji fiyatlarındaki büyük artış, enerji kullanımının azaltılması ve enerji kaynaklarının daha etkin kullanılmasına yönelik büyük bir ilginin doğmasına yol açmıştır. Enerji verimliliği, enerji tasarrufunu da kapsayan geniş bir kavramdır. Enerji verimliliği, enerji kaynaklarının üretimden tüketime kadar tüm safhalarda en yüksek etkinlikte değerlendirilmesini ifade eder.

Enerjinin, ekonomik ve sosyal kalkınmanın önemli bileşenlerinden biri olduğu, yaşam standartlarının yükseltilmesinde önemli bir rol oynadığı bilinmektedir. Sürdürülebilir kalkınma ancak sürekli ve kaliteli bir enerji arzıyla mümkün olacaktır. Fakat mevcut en önemli enerji kaynağı olan fosil yakıtların (kömür, petrol, doğalgaz) hızla azalmakta oluşu, diğer yandan bu kaynakların yarattığı çevresel problemler, hem bu kaynakların rasyonel ve ekonomik biçimde kullanım olgusunu, hem de enerji verimliliği kavramını gündeme getirmiştir.

Bir yandan hızla tükenen fosil yakıtların yerine alternatif enerji kaynakları aranırken, diğer yandan mevcut kaynakların etkin biçimde değerlendirilmesi gündeme gelmekte ve enerji tüketiminin konforu etkilemeden düşürülmesi yönünde eğilimler oluşmaktadır. Bu eğilimlerin oluşturulabilmesi için enerji tüketim talebinin tahmin ve kontrol edilebilir olması gerekmektedir.

Enerji verimliliği hem enerjinin üretimi ve iletimi, hem de tüketimi alanında genel etkinlik çalışmalarının tümünü kapsayan bir husustur. Bir tarafta daha az maliyet ve daha az birincil kaynak kullanımıyla daha çok enerji üretimi yönünde çalışmalar sürerken, diğer tarafta aynı miktar enerjiyle daha çok iş yapılması veya aynı miktar için daha az enerji tüketilerek yapılması konularında çeşitli çalışmalar yürütülmekte, tedbirler geliştirilmekte, politika ve stratejiler üretilmektedir (Kavak, 2005).

2.2. Elektrik Enerji Sistemleri

Tasarlanıp planlanmış güç santralleri, inşa edilmiş binlerce kilometre iletim hattı ve yükleri beslemek üzere üretilen gücün dağıtımı ve kontrolü olmamış olsaydı, hayatımızın önemli bir parçası olan istikrarlı ve güvenilir bir elektrik enerji sistemi olamazdı.

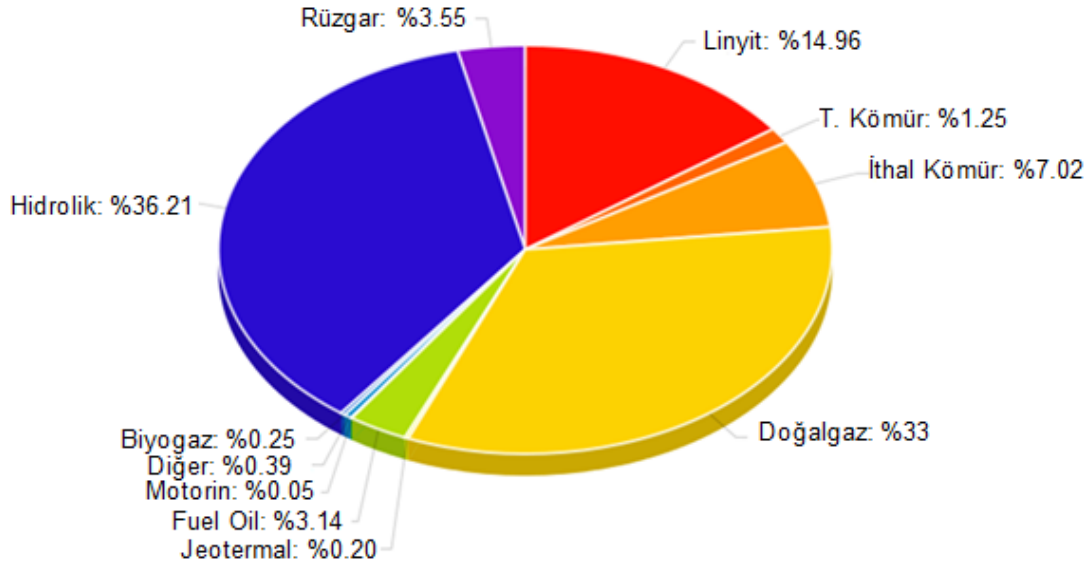
Artan elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanabilmesi için yeni üretim tesislerinin kurulması ve iletim hatlarının organize edilmesi gerekli olmuştur. Bu şekilde elektrik enerjisi sistemleri gelişerek enerji üretimi, iletimi ve dağıtımı birer mühendislik dalı haline gelmiştir. Aşağıda bu konulara kısaca değinilmiştir.

2.1.1. Enerji Üretimi

Türkiye'nin özellikle akışkan fosil yakıtların görünür rezervleri yeterli düzeyde olmamasına rağmen, kömür, jeotermal ve hidrolik enerji rezerv ve potansiyeli dünya kaynak varlığının %1'i civarındadır. Çok çeşitli birincil enerji kaynaklarına sahip bir ülke olan Türkiye'de taşkömürü, linyit, asfaltit, ham petrol, doğal gaz, uranyum ve toryum gibi fosil kaynak rezervleri ile hidrolik enerji, jeotermal enerji, güneş enerjisi, rüzgâr enerji gibi tükenmez kaynak potansiyelleri bulunmaktadır.

2012 sonu itibarıyla, Türkiye'nin kurulu gücü 58.042 MW'tır. Türkiye, ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisinin %59'unu termik kaynaklardan (doğalgaz, kömür vb. gibi fosil yakıtlar ile) karşılamakta iken, %41'lik kısmını ise hidrolik ve yenilenebilir enerji kaynaklarından (rüzgâr, hidrolik, jeotermal gibi) karşılamaktadır. Şekil 2.1 Türkiye'nin 2012 yılına ait kurulu güç dağılımını göstermektedir. Türkiye'de bulunan bütün elektrik üretim santralleri enterkonnekte sisteme bağlı olarak çalışmaktadır (TEİAŞ, 2012).

Türkiye'nin mevcut kurulu gücü yıllık ortalama enerji ihtiyacını karşılayabilmekle beraber anlık enerji talebini (Puant) karşılamakta kimi zaman yetersiz kalabilmektedir. Bu durumda elektrik enerjisi ihtiyacı komşu ülkelere ithalat yoluyla karşılanmakta, ihtiyaç fazlası üretilen elektrik de ihtiyaç duyan komşu ülkelere verilmektedir.



Şekil 2.1: 2012 yılı Türkiye kurulu gücü dağılımı

Mevcut elektrik üretim sistemi ile günlük, aylık ve yıllık bazdaki enerji talepleri, geçmiş yıllardaki talepler ve buna ek olarak ekonomik büyüme gibi faktörler dikkate alınarak karşılanmaya çalışılır. Bu tahminlerin doğruluk payının ne ölçüde gerçekleştiğini kestirmek güç olduğundan enerji arz güvenliği noktasında bazı sorunlar ortaya çıkabilmektedir. Enerji arz güvenliğini sağlamak için de ihtiyaçtan fazla üretim yapılmaktadır. Üretim noktasındaki bu durumun önüne geçmek için talep edilen enerjinin gerçek zamanlı olarak belirlenmesi ve bu doğrultuda enerji üretiminin gerçekleştirilmesi gerekmektedir (Akcanca ve Taşkın, 2013).

Çizelge 2.1 'de Türkiye'nin yıllara göre kurulu güç gelişim senaryosunu göstermektedir. Çizelge 2.2 ise güvenilir enerji üretimi ile ilgili bir senaryoyu göstermektedir. Çizelge 2.1 ve 2.2'yi incelediğimizde 2011-2021 yılları arasında kurulu güç kapasitesinin %55 oranında artış göstereceği öngörülmektedir. Türkiye'nin yıllık büyüme oranı ile paralel bir artış göstermektedir. Elektrikte arz güvenliği açısından en az yıllık büyüme oranında kurulu güç kapasitesinin artırılması gerekmektedir. Verilere göre, 2011-2021 yılları arasında kurulu güç kapasitesinin hidrolikte %97, termikte %34 ve doğalgazda %24 oranında artırılması planlanmaktadır. Bu verilere bakıldığında fosil yakıtlara olan bağımlılık azaltılmaya çalışılırken, yenilenebilir, nükleer ve hidrolik kaynaklardan üretilen enerjinin artırılması planlanmaktadır.

Aşağıda verilen Senaryo-1, Türkiye'nin önümüzdeki 10 yıl için planlanan kurulu güç gelişim ve güvenilir enerji üretim çizelgeleridir. Bu çizelgelere göre yenilenebilir, hidrolik ve nükleer enerji üretiminde, termik kaynaklara göre daha büyük oranda artış öngörülmektedir.

Çizelge 2.1: Yıllara Göre Kurulu Güç Gelişimi (MW) – Senaryo 1

YILLAR	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
LİNYİT	8274	8281	8319	8375	9857	9857	9857	9857	9857	9857	9857
T.KÖMÜR+ASFALTİT	690	690	690	690	960	960	960	960	960	960	960
İTHAL KÖMÜR	3881	3881	3881	3881	5081	5681	5681	5681	5681	5681	5681
DOĞAL GAZ	19324	20575	20806	22376	23417	24042	24042	24042	24042	24042	24042
JEOTERMAL	114	114	148	197	197	197	197	197	197	197	197
FUEL OIL	1706	1406	1406	1406	1406	1406	1406	1406	1406	1406	1406
MOTORİN	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
NÜKLEER	0	0	0	0	0	0	0	0	1200	2400	3600
DİĞER	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215
TERMİK TOP.	34230	35188	35492	37166	41159	42384	42384	42384	43584	44784	45984
BİOGAZ+ATIK	115	168	175	185	185	185	185	185	185	185	185
HİDROLİK	17137	20470	21461	24291	28003	31606	33394	33815	33815	33815	33815
RÜZGAR	1729	1881	2165	2646	2646	2646	2646	2646	2646	2646	2646
TOPLAM	53211	57706	59292	64288	71993	76821	78609	79030	80230	81430	82630

Çizelge 2.2: Güvenilir Enerji Üretimi (GWh) – Senaryo 1

YILLAR	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
LİNYİT	34973	34984	44118	48600	52676	56651	56748	57260	57260	57260	57260
T.KÖMÜR+ASFALTİT	3738	3738	3857	3857	4829	5801	5801	5801	5801	5801	5801
İTHAL KÖMÜR	25461	25461	25426	25002	29474	36481	38272	38311	38311	38311	38311
DOĞAL GAZ	134625	141708	145475	150184	162289	167216	167848	168184	168184	168184	168184
JEOTERMAL	802	802	912	1212	1402	1402	1402	1402	1402	1402	1402
FUEL OIL	6805	6805	9034	9034	9034	9034	9034	9034	9034	9034	9034
MOTORİN	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148
NÜKLEER	0	0	0	0	0	0	0	0	4200	12600	21000
DİĞER	1408	1408	1408	1408	1408	1408	1408	1408	1408	1408	1408
TERMİK TOP.	207959	215053	230376	239443	261259	278139	280659	281547	285747	294147	302547
BİOGAZ+ATIK	804	945	1111	1166	1196	1196	1196	1196	1196	1196	1196
HİDROLİK	53317	56661	44940	48717	54932	62536	67210	68946	69386	69386	69386
RÜZGAR	5002	5180	5764	6907	7644	7644	7644	7644	7644	7644	7644
TOPLAM	267081	277840	282192	296234	325031	349516	356709	359334	363974	372374	380774

2.1.2. Enerji İletimi ve Dağıtımı

Elektrik iletim hatları, elektrik santralinden elde edilen elektrik enerjisinin santrallerden dağıtım hatlarına iletilmesini sağlayan hatlardır. Elektrik üretim tesisleri ile elektrik tüketim bölgeleri yakınlarındaki transformatör istasyonları; transformatör istasyonları ile son tüketici arasında elektrik enerjisi iletimini sağlayan sistemdir. Elektrik hatlarının döşenmesinde maliyet, iletim hattının güzergâhı, coğrafik durum, arazi durumu, hattın güvenlik konumu gibi hususlar incelenir. Elektrik hattının güvenli bir şekilde yapımı ve elektriğin minimum kayıplarla iletilmesi çok önemlidir (Wikipedia, 2013).

Türkiye, enterkonnekte bir iletim hattına sahiptir. Enterkonnekte sistemler birbiriyle bağlantılı ve birbirini besleyen birden fazla hattın bağlantılı olmasıdır. Ülkemiz bazı komşularıyla ve kendi içinde iller arasında bu tarz bağlantılara sahiptir. Toplamda 771 santral ile üretilen enerji 55.000 km'yi aşan iletim hattı ile Türkiye'nin enerji ihtiyacını karşılamaktadır. Elektrik enerjisinin bir noktadan başka bir noktaya aktarılmasındaki verim enerji üretiminin sağlıklı yapılması kadar önemlidir. Enerji iletimi havai hatlar ile sağlanmaktadır. İletim hatlarında iletkenin direncinden dolayı kaynaklanan enerji kayıpları ortaya çıkmaktadır. Enerji üretim merkezi ile enerji talep eden tüketici arasındaki mesafe ne kadar az ise ortaya çıkan iletim ve dağıtım kayıpları da o derecede az olmaktadır. Diğer bir ifade ile iletim kayıpları açısından tek merkezli büyük enerji santralleri yerine dağıtılmış orta ölçekli üretim merkezleri de daha yaygın olarak sistemde yer almaya başlamıştır. Dağıtılmış enerji üretim merkezlerinin yenilenebilir enerji kaynakları için de gelecekte daha büyük öneme sahip olması düşünülmektedir. Bu sayede iletim kayıp oranı daha düşük enerji transferi gerçekleştirilebilecektir (TEİAŞ, 2012).

Elektrik enerji transferlerinde kayıplar kadar enerji kalitesi de büyük önem arz etmektedir. Teknolojik hassas cihazlar kaliteli, güvenli ve sürdürülebilir enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Türkiye mevcut enerji iletim sisteminde gerilim dalgalanmaları, frekans değişimleri ve aşırı yüklenme sonucu ortaya çıkan enerji kesintileri nedeniyle Avrupa iletim ve dağıtım sistemine (ENTSO-E) henüz tam olarak entegre edilememiştir. Bu sorunları çözmek için ulusal enerji yönetim merkezi kurularak belirli enerji nakil hatlarının primer tarafında enerji analizörleri kurularak enerji kalitesi izlenmiştir. Bu sayede gerekli iyileştirmeler yapılmış ve ENTSO-E sistemine uyum sağlamak için gerekli enerji kalite standardı sağlanmaya çalışılmaktadır (Akcanca ve Taşkın, 2013).

Türkiye iletim hatlarındaki gerçek zamanlı izleme sistemini yaygınlaştırarak tüm iletim hatlarının izlenebilmesi için çalışmalara devam etmektedir.

Elektrik iletim hatları yüksek ve düşük gerilim olmak üzere ikiye ayrılır. Bunlar taşıdıkları enerjinin gerilimine göre adlandırılırlar. Yüksek gerilim hatları genellikle santral ile yerleşke arasına döşenir. Düşük gerilim hatları ise şehir içi elektrik dağıtımında kullanılır. Enerji yükü ve gerilimine bağlı olarak boyutlandırılırlar. Modern çağda; açık arazide, uzun Enerji Nakil Hatları (ENH) havai hat; yerleşim yerlerinde ise yeraltı ENH olarak tesis edilirler. Yer altı ENH yüksek yalıtım gerektirdiğinden, hava hattına oranla oldukça pahalıdır ancak güvenlik ve görsellik açısından daha çok tercih edilirler. ENH; alüminyum iletken, taşıyıcı direk ve direk ile iletken arasındaki bağlantıyı sağlayan yalıtkan izolatörden meydana gelir. Elektrik üretim tesisleri ile transformatör istasyonları arasındaki hatlar yüksek gerilim; büyük transformatör istasyonları ile küçük transformatör istasyonları arasındaki hatlar orta gerilim, küçük transformatör istasyonları ile son tüketici arasındaki hatlar ise alçak gerilim olarak adlandırılır. Türkiye'deki ENH sistemleri Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) tarafından tesis edilip işletilmektedir.

İlk dönemlerde kW'lar mertebesindeki güçlerin iletimi söz konusu olduğundan gerilim kademesi de Volt 'lar mertebesindeydi. Bugün Türkiye'deki iletim gerilimleri 154-380 kV'dur. Her geçen gün gelişen izolasyon tekniği sayesinde dünyada 1 MV seviyesinde enerji üretimi yapılması düşünülmektedir.

Enerji iletiminde yüksek gerilimin kullanılması bir zorunluluktur. Yüksek gerilim kullanılarak akımın düşürülmesi yolu ile kayıpların azaltılması, iletken kesitinin düşürülmesi, izolatör ve direklerin daha ekonomik yapılması mümkün olmaktadır. Türkiye'de yüksek gerilim kullanımının gelişimine bakıldığında, enerji iletim ve dağıtım hatlarının yoğunlaşmasına bağlı olarak arttığı gözlenmektedir. Türkiye enerji ağının en yüksek gerilimi 400 kV'tur. Şu an Türkiye ve dünyadaki pek çok ülkede var olan gerilim seviyeleri iletim hatlarında arttırılmak suretiyle kayıpların azaltılması sağlanmaya çalışılmaktadır (Elektrikport, 2011).

2.3. Elektrik Enerji Sistemlerinde Verimliliği Artırmak İçin Yapılan Çalışmalar

1970'li yıllarda yaşanan petrol krizinden sonra enerjinin verimli ve akılcı kullanımı, enerji tasarrufu, enerji temini ve enerjinin bedeli gibi enerji tüketimiyle ilgili kavramlar bütün dünyanın gündemine yerleşmiştir. 1970'lerde yaşanan krizin sonuçlarından birisi de, üretici/dağıtıcı kurumlar ve enerji konusunda karar alıcılar, müşteri ihtiyaç ve talebinin neler olduğuna dair öngörünün yapılmasına ihtiyaç duymuşlardır (Gellings, 2000).

Enerji tasarrufuna yönelik olarak, teknolojiye dayanan yük yönetimi yerine, talep yönetimi, ilk defa tüketicileri odak noktasına koyan bir planlama ve pazarlama stratejisi olarak ortaya çıkmıştır. Talep yönetimi kısaca, tüketicilerin enerjisi, kurumun yük şeklinde arzulan değişikliği yapmalarını mümkün kılan bir yolla kullanmalarını sağlayabilmek için tasarlanan bütün etkinliklerdir. Talep yönetimi, teknolojik seçenekler, müşteri ihtiyacı ve kurumun ihtiyaçları ile kapasitesi arasında bütünleşik bir yaklaşım ortaya koyar. Fosil yakıtların sınırlı miktarda oluşu, nükleer enerji ile ilgili çevre ve insan sağlığı konusundaki çekinceler, Kyoto Protokolü'ne göre CO₂ salınımını azaltma hedefi, sürdürülebilir enerji arzı ve tüketimi gibi nedenlerden dolayı "talep yönetimi" (Demand Management) ya da "talep tarafı yönetimi" (Demand Side Management) konusu enerji sektörünün öncelikli konularından birisi haline gelmiştir (Özil, 2004).

Yük kontrolü/yük aktarması programlarında, enerji firması ödeme ya da faturada indirimi önerir. Karşılığında ise müşterinin enerji tüketim araçlarını doğrudan kontrol etme ya da elektrik sistemi üzerindeki talebinin zamanlamasını değiştirecek bir aletin kurulumu için müşteriye destekte bulunma olanağı elde eder. Yük-kontrol programlarında, enerji talebinin yüksek olduğu, örneğin, aşırı sıcak günlerde serinlemek için harcanan enerjinin ağır güç sistemi yüküne neden olduğu zamanlarda, enerji firmaları bazı müşterilerin enerji tüketim aletlerini doğrudan kontrol eder. Yenilikçi tarife programları, enerji kullanım zamanlarını değiştirerek ya da enerji

kullanımını azaltarak, müşteriler için maliyeti etkili hale getiren programlardır. Bu tarifeler, müdahale edilebilir oranlar, kullanım zamanı oranları ve gerçek zaman fiyatlandırmasını içerir. Müdahale edilebilir oran, yük-kontrol programına benzer; müşterinin, kurum istediği zaman yükü azaltması karşılığında, düşük bir oranda ödeme yapmayı kabul etmesidir. İstek geldiğinde hangi yükün azaltılacağını kurum değil müşteri belirler. Kullanım zamanı oranlarından kasıt, günün farklı zamanlarında kullanılan enerji için, bu zamanlarda üretilen gücün kuruma olan maliyetine bağlı olarak farklı fiyatlandırmanın oluşturulmasıdır. Gerçek zaman fiyatlandırması ise, kullanım zamanı oranlarının daha karmaşık bir şeklidir. Burada kurum, müşteriye, bir gün önceden, yirmi dört saatlik enerji fiyatlarını önceden bildirir. Hem kullanım zamanı oranları hem de gerçek zaman fiyatlandırması ile müşteriler, maliyetlerini düşürmek için enerji kullanımlarını düşürme yoluna giderler. Yenilikçi tarife programları, öncelikli olarak, sanayi ve büyük ticari işletmeleri hedefler (Ergen ve Yıldırım, 1997).

Enerji verimliliğini artırmak için teknik altyapı çalışmaları yapılarak güç çevrim sistemlerinde de çalışmalar yapılmıştır. Üretim noktalarındaki teknolojik iyileştirmelerin yanı sıra iletim ve dağıtım noktalarında da teknik kayıpları azaltmaya yönelik iyileştirmeler yapılmaktadır. Enerji verimliliği noktasında yapılan bir diğer önemli çalışma ise kayıp/kaçak oranlarının enerji iletim sistemlerinin gerçek zamanlı olarak izlenmesi yoluyla azaltılması hedefidir.

Sanayi işletmelerinde çokça rastlanılan kompanzasyon sorunlarına da yasal düzenlemeler ile belirli standartlar getirilmiştir. Bu düzenlemeler ile gerekli ve yeterli kompanzasyonu sağlayamayan (şebekeyi reaktif yük ile yoran) işletmelere reaktif yük cezası uygulanmaktadır.

Elektrik iletim ve dağıtım hatlarında meydana gelebilecek sistem çökmesi (black-outs), geniş kitleleri etkileyecek ve büyük ekonomik kayıplara neden olabilecek potansiyel sorunları da barındırmaktadır. Frekans, ani gerilim değişiklikleri, kırpışmalar (flickers), trafo ve şalt tesislerinde meydana gelebilecek arızalar gibi birçok neden enerji kesintilerine ve güç kayıplarına neden olabilmektedir. Hatlarda ve düğüm noktalarında meydana gelen kompanzasyon sorunlarına bağlı olarak reaktif güç, harmonik akımlar ve gerilim sapsmaları neticesinde önemli güç kayıpları ve şebekede dengesizlikler meydana gelebilmektedir.

Böyle durumlarda bir hattın devreden çıkmasıyla genel şebekede yüksek seviyelerde ilave güce ihtiyaç duyulabilmektedir. Ulusal ve bölgesel güç kalitesini izlemek ve sorunları daha iyi tespit edebilmek için önemli adımlar atılmıştır. 12 Avrupa ülkesinin inisiyatifi ile kurulan SmartGrids platformu 2020 yılına kadar geçiş sürecini tamamlamayı öngörmektedir. Microsoft, Google gibi bilişim şirketlerinin ev pazarına yönelik enerji yönetim yazılımları hazırlamaya başlamış olmaları, ABD pazarının yönünü gösteren örneklerdir. Akıllı sayaçlar, tasarruf yazılımları ve akıllı ev sistemleri gibi yeni nesil tüketici ürünlerin yeni piyasalar oluşturacağı günler uzak değildir (EVSb, 2010).

3. GELECEĞİN ŞEBEKE YAPISI: AKILLI ŞEBEKELER

En önemli enerji kaynakları olarak bilinen fosil yakıtların azalması ile enerji maliyetlerinde büyük bir artış olmuştur. Bunun sonucunda enerji verimliliği ön plana çıkmış ve teknik kayıplar giderilmeye çalışılmıştır. Ancak verimlilik konusunda önemli gelişmeler kaydedilse de yeterli bulunmamış ve farklı arayışlar içerisine girilmiştir.

Günlük yaşantının ayrılmaz bir parçasını oluşturan enerji, ülkelerin sosyo-ekonomik yapıları içerisindeki yerini ve önemini gün geçtikçe daha da artırmaktadır. Elektrik enerji sistemlerinde, elektrik talebinin zamanında, sürekli, ekonomik ve kaliteli bir şekilde karşılanması oldukça önem arz etmektedir. Ekonomik kalkınmanın ve sosyal gelişmenin ihtiyaç duyduğu enerji talebi karşılanırken enerjinin, üretildiği noktadan tüketiciye ulaştığı noktaya kadar, her safhasında verimli ve tasarruflu kullanılması elektrik piyasasının sağlıklı işletilebilmesi açısından dağıtım şirketlerinin başlıca hedefi olarak benimsenmiştir.

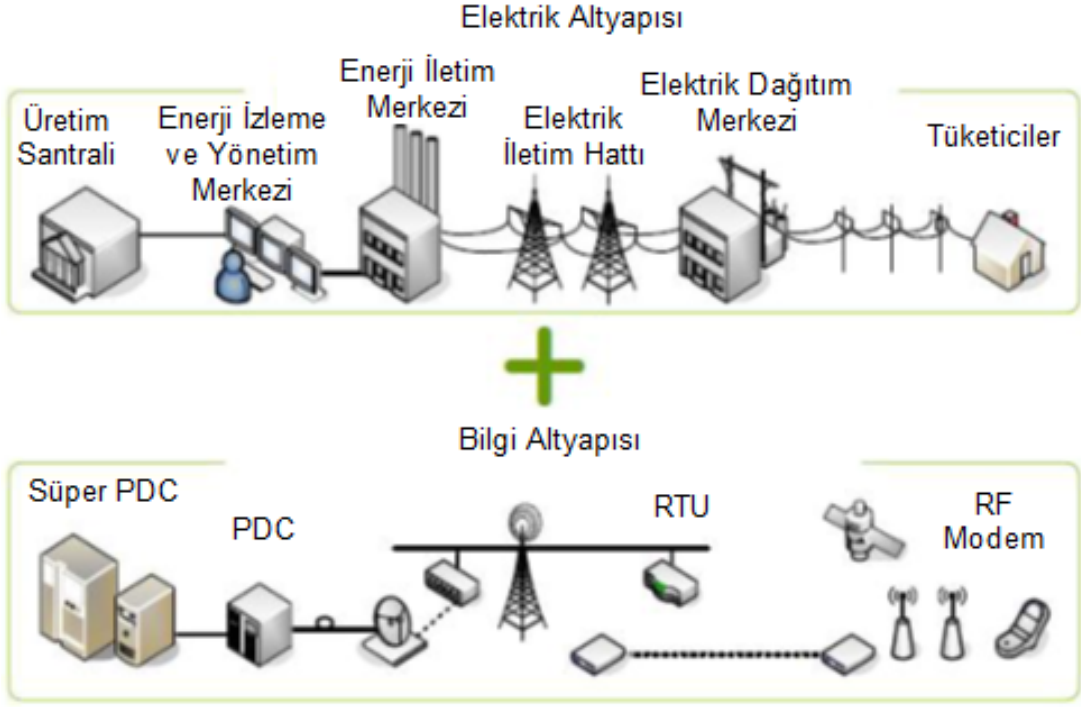
Ülkelerin teknolojik ve sosyo-ekonomik gelişim verilerine dayanılarak hazırlanan elektrik enerjisi talep tahminleri esas alınarak belirlenen üretim kapasite kestirimi ve uzun dönem üretim planlamalarının yapılması enerji arz güvenirliliği açısından oldukça önemlidir. Bilindiği gibi günümüzde kullanılan elektrik altyapısı 60 yıl önceki yapı ile tasarım olarak çok farklı değildir. Teknolojinin gelişmesine rağmen elektrik sisteminde devrim niteliğinde bir değişim söz konusu olmamıştır. Bilişim teknolojilerinin gelişmesine paralel olarak elektrik sisteminde yeni fikirler ortaya atılmıştır. Elektrik sistemine iletişim teknolojilerinin entegrasyonu ile yeni bir şebeke yapısı tasarlanabileceği üzerine durulmuştur. Yeni enerji sistemlerinin teknoloji odaklı olmasının yanı sıra, uyarlanabilir, tüketici ile etkileşimli ve gerçek zamanlı olarak izlenip kontrol edilebilen bir yapıda olması planlanmaktadır. Bu kapsamda “akıllı şebekeler (smart grids)” kavramı gündeme gelmiş ve daha verimli ve etkin bir enerji yönetim sistemi olarak önem kazanmıştır.

Akıllı şebekeler; tüketicinin talebi ile üreticinin arzı arasındaki dengeyi çift yönlü haberleşerek sürekli izleyen ve kontrol eden bir enerji yönetim sistemi olarak tanımlanabilir.

Akıllı şebekeler, kendisine bağlı tüm kullanıcılara verimli, sürekli, ekonomik ve güvenilir elektrik enerjisi sağlamak amacıyla çalışacak bir elektrik şebekesidir. Şekil 3.1’de akıllı şebeke işleyişine ait bir sistem gösterilmiştir.

Klasik bir elektrik sistemi, gerçek zamanlı olarak izlenip kontrol edilerek ve geri bildirim yoluyla sürekli ayarlanarak akıllı hale getirilebilir.

İletim, dağıtım, üretim ve son tüketiciler noktasında güvenirliliği sağlayarak enerji kullanımını optimize etmek veya en aza indirmek hedeflenmiştir.



Şekil 3.1: Elektrik sistemi ile İletişim sisteminin entegre edilmesi.

3.1. Akıllı Şebeke Teknik Altyapısı

Akıllı şebeke yapısının üç temel bileşeni vardır (Şanlı ve Hınç, 2009). Çizelge 3.1’de görüldüğü üzere, akıllı şebekeler, daha iyi kalitede gerçek zamanlı veri toplanması temeline dayanmaktadır (İmeryüz, 2011). Toplanan bu verinin bilgisayarlar tarafından çok hızlı kararlar için analizi sayesinde sistem meydana gelebilecek olumsuzlukları önlemekte ve kendini onarmaktadır. Tüm bunlar ise gelişmiş bir sayaç yapısı ile mümkün olmaktadır. Bu şebekelerin:

- 1) Talep yönetimi
- 2) Yenilenebilir kaynakların daha fazla entegrasyonu
- 3) Kaynakların verimli kullanımı (üretim ve tüketim tarafında)
- 4) Enerji tasarrufu ve fiyat avantajı
- 5) Sistem dengesi

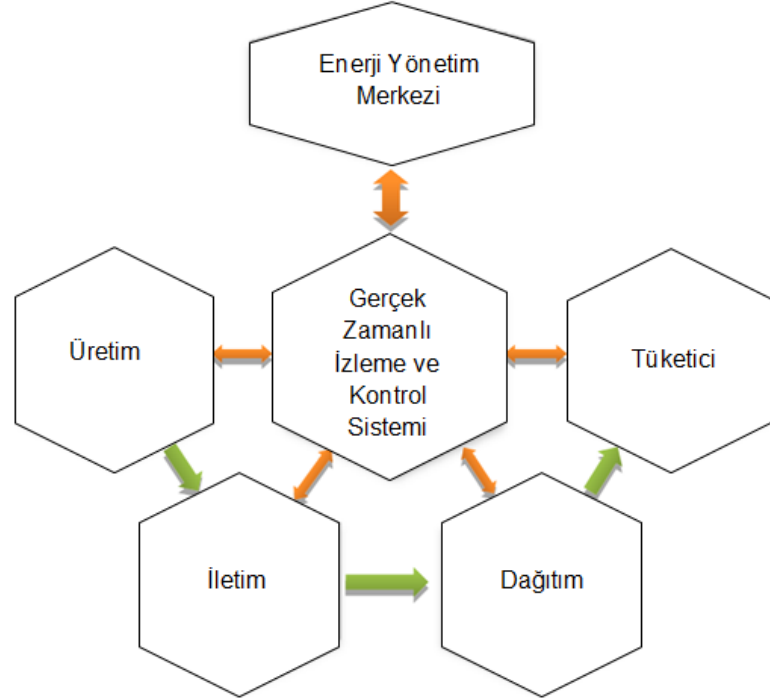
konularında faydalar sağlayacağı düşünülmektedir.

Akıllı şebekeler gerçek zamanlı haberleşme altyapısı ile aşırı yüklenmeleri hissedebilecek, enerji akış yönlerini düzenleyecek, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını optimize edecek ve kullanıcı maliyetlerini aşağı çekecek çevreci bir sistem oluşturmaktadır.

Çizelge 3.1. bir akıllı şebeke yapısının anahtar bileşenlerini göstermektedir. Şekil 3.2'de de akıllı şebeke topolojisi gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Akıllı şebeke yapısı anahtar bileşenler

Olay Önleme	Kendini Onaran Şebeke	Gelişmiş Sayaç
<ul style="list-style-type: none"> • Uzaktan yük yönetimi • Şebeke aktiviteleri incelemesi • Gelişmiş veri analizi • Şebeke durum ölçümü ve kestirimci tepki 	<ul style="list-style-type: none"> • Gelişmiş varlık yönetimi • Gerçek zamanlı şebeke durumunun izlenmesi • Otomatik şebeke anahtarlama • Sensör olarak sayaç • Trafo yük yönetimi • Duruma bağlı insan kaynağı yönlendirmesi 	<ul style="list-style-type: none"> • Sayaçlar • Sayaç sorgulaması • Sayaç açma/kapama • Elektrik kesintisi uyarısı • Sayaçlar ile iki yönlü haberleşme



Şekil 3.2: Akıllı şebeke topolojisi

3.1.1. Haberleşme

Akıllı şebeke sistemi, enerjinin üretilmesinden tüketilmesine kadar geçen sürecin her noktasında bulunmalıdır. Bu süreçler, enerjinin üretim, iletim, dağıtım, akıllı ölçüm, akıllı uygulamalar, akıllı yönetim/kontrol sistemi ve tüketici davranışlarından oluşmaktadır. Bu sistemde tüketici davranışları büyük rol oynamaktadır. Akıllı ölçüm (sayaç) ile tüketilen enerji verileri toplanarak yönetim sisteminde değerlendirilir. Bu değerlendirme sonucu, tüketilecek enerji kadar üretim yapılır. İletim ve dağıtım hatları ile ihtiyaç duyulan enerji, tüketim noktasına transfer edilir. Böylece tüketicilere anlık talepleri doğrultusunda enerji üretimi yapılmış olur. Akıllı bir şebeke için özellikle fosil yakıtlardan sağlanan enerji üretimi, trafolar, röleler gibi tüm sistem elemanlarının akıllı olması gerekmektedir. Koruma ve haberleşme teknolojisinin, elektromekanik yapıdan dijital yapıya geçmesi gerekmektedir. Ayrıca yüksek band seviyesine sahip yüksek hızlı iletişim gereksinimi vardır, çünkü tüm sistemin birbiri ile haberleşmesi gerekir. Bütün bunlara ek olarak, bu kadar büyük sistem ve haberleşme ile başa çıkabilecek (saniyede milyonlarca veri) bir bilgisayar gücü de gerekmektedir. Bu koşullar günümüzde artık sağlanabilir duruma gelmiştir. Dijital röleler, fiber teknolojisi, kablosuz iletişim gibi teknolojik gelişmeler akıllı şebekeleri mümkün kılmıştır.

Sayısal iletim teknolojileri güç üretim, dağıtım, kontrol ve işlemlerinde önemli bir role sahiptir ve Akıllı Şebeke teknolojilerinde temel yapıtaşlarını oluşturmaktadır. Gelecek nesil güç şebekesi veri merkezli bir altyapıdadır ve üretici-abone tabanlı bir yazılımla haberleşme ağının kullanımından faydalanılmıştır (Fazlıoğlu, 2010).

Akıllı Şebeke kontrol ve veri transferi uygulamaları veri-merkezli, esnek ve etkili bir ağ platformu gerektirir. Merkezi hale getirilmiş, veri merkezli bilgi altyapısı veri iletimini ve kontrol trafiğini desteklemelidir. Veri işleme zaman sınırlaması ve verinin yeri bakımından kritiktir. Veri konumsal olarak tanımlanmalıdır. Temel amaç; bilgi altyapısı ile tasarlanan sistemin doğru miktarda ölçülmüş ve hesaplanmış veriyi doğru zamanda makul bir maliyetle, güvenli biçimde iletmektir.

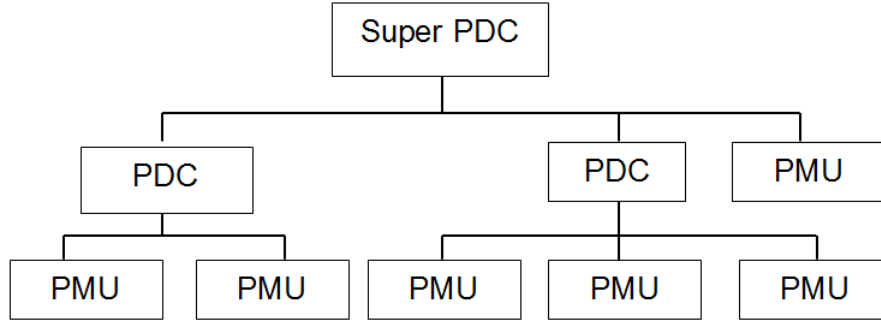
Haberleşme altyapısı iki seviyeye ayrılabilir. Her trafo yüksek hızlı yerel alan ağına (LAN) sahiptir. Her trafoda bulunan sunucu sayesinde yüksek seviyede haberleşme ağlarına bir yönlendirici (router) aracılığıyla bağlanılır. En önemli eleman SCADA-Enerji Yönetim Sistemi (EMS) kontrol merkezidir. SCADA, tüm alt trafolarla veriyi Uzak Terminal Birimleri (RTU) ile sorgulayarak bir araya getirir ve merkezde toplama görevini yürütür.

Ağ yapılandırılması yıldız yapılandırılması ile ifade edilip, sorgulama da bir üretici-abone sistemi tarafından gerçekleşirse, trafodan uygulamaya doğru veri akışı gerçekleşir ve bu da Akıllı Şebeke veri altyapısının genel kontrol mekanizmasını oluşturmuş olur.

Paralel bir haberleşme düzenlemesi ile Fazör Ölçüm Birimleri'nden (PMU) gelen veriler toplanır. Tüm PMU'ları bir araya getiren bir Fazör Veri Toplayıcı (PDC) ve tüm PDC'lerin de bir

Super-PDC'ye bağılı olduğu bir yıldız yapılandırılması oluşur. Fazör ölçümlerin çok olması halinde PDC sistemi kullanışsız hale gelip yetersiz kalmaktadır. Şekil 3.3.'te Fazör Veri Toplama altyapısı verilmiştir.

Kontrol merkezi tüm katmanlardan gelen veriye ihtiyaç duyar. Sistem izlenmesi ile şebekelerin risklere karşı durumu, risk analizi ve otomatik kontroller gibi işlemler gerçekleştirilir. Kontrol merkezinde yönlendiriciler yönetim amaçlı QoS birimlerini oluşturur ve verinin hareket kontrolü bu sayede yapılmış olur. QoS birimleri en etkili veri yolunu seçerek üretici-abone iletişimini sağlamaktadırlar. Tüm cihazlar mikroişlemci temellidir, veri toplama ve depolama bilgileri sayısaldır. Trafolar arası haberleşme LAN'lar ile sağlanmaktadır. Haberleşme protokolü 61850 standardı ile yapılmıştır. Şekil 3.3'de fazör veri toplama alt yapısına ait diyagram verilmiştir.



Şekil 3.3: Fazör veri toplama altyapısı

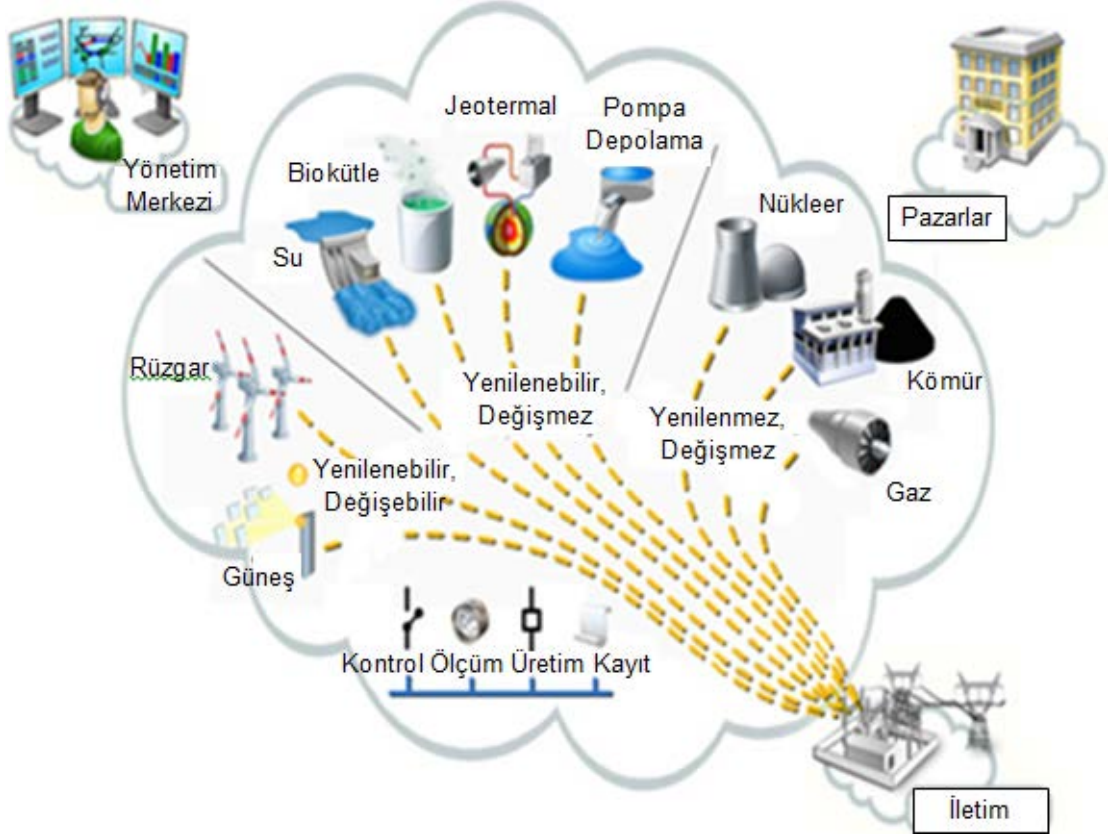
Gerçek zamanlı veri ölçülmüş ya da ölçümden hesaplanmış veridir. Statik veri ise, sistem donanımını tanımlar ve veri tabanı SCADA-EMS kontrol merkezinde bulunmaktadır (Dinçer ve diğerleri, 2011).

3.1.2. Üretim

Elektrik üretimi, yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları olmak üzere iki şekilde sağlanmaktadır. Bu kaynaklar aynı zamanda yenilenebilir-kararsız kaynaklar güneş ve rüzgâr enerjisi gibi, yenilenebilir-sabit kaynaklar hidro, biokütle, jeotermal ve pompa depolama gibi, ya da yenilenemez-sabit kaynaklar nükleer, kömür ve gaz gibi kaynaklar olarak sınıflandırılabilir.

Şebekenin birçok noktasından alınan geri beslemeler ile enerji üretiminin optimize edilmesi ve gerilim, frekans ve güç faktörünün otomatik olarak ayarlanabilme özelliklerine sahip güç üretimini sağlamak amaçlanmıştır. Mevcut kapasite, gerçek zamanlı talep ve tüketim

miktarları takip edilerek ihtiyaçları karşılayabilecek en uygun kaynaklar istenilen oranlarda aktif hale getirilerek birim enerji üretim maliyetinin en az olacağı şekilde güç üretimi yapılır. Böylece üretim-tüketim dengesi sağlıklı bir şekilde sürdürülmüş olur ve gereksiz enerji sarfiyatından kaçınılır. Şekil 3.4'de şekilsel bir anlatımla akıllı üretimin nasıl gerçekleştirildiğini gösterilmektedir.

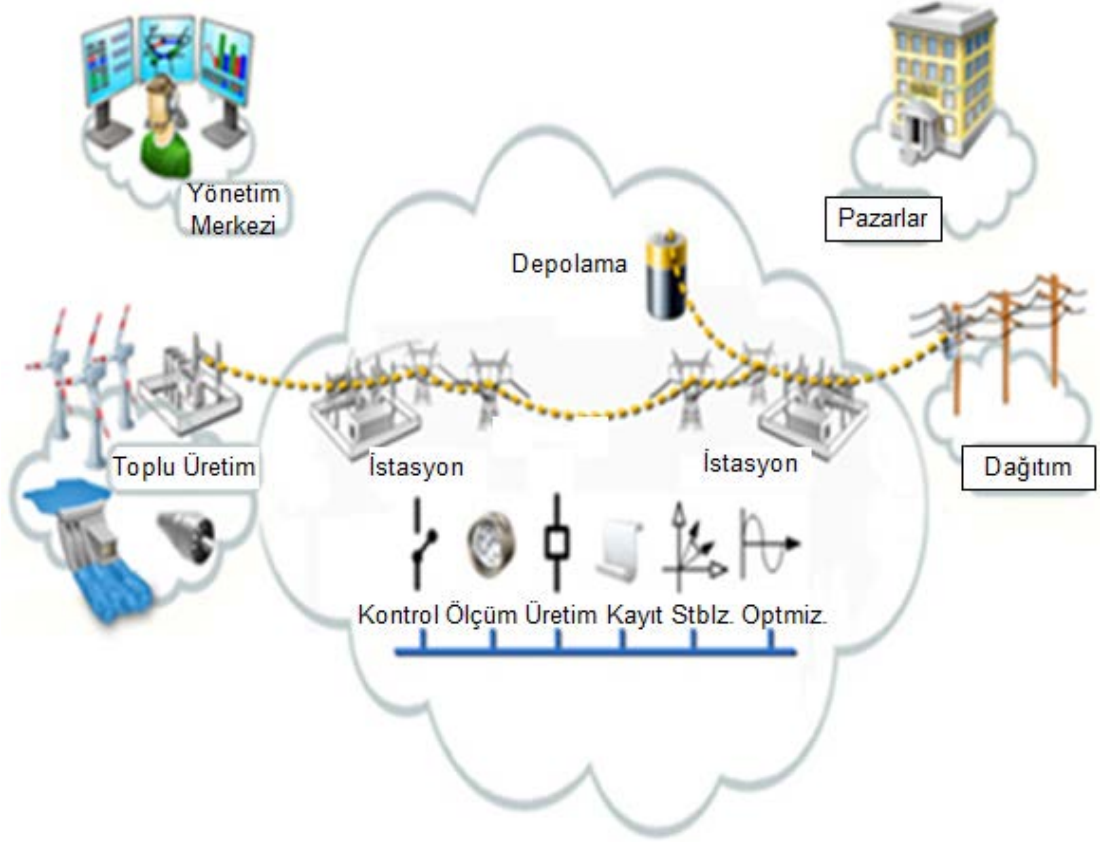


Şekil 3.4: Akıllı Üretim

3.1.3. İletim

Smart grid iletimde, mevcut iletim hattının kapasitesinin üstünde elektrik ve güç çok daha uzak mesafelere taşınabilmesinin yanında üretime bağlanabilen enerji tüketim merkezleri de kurulabilmektedir. İletimde ve dağıtımda aynı zamanda, güç sistem trafo merkezleri, iletim ve dağıtım trafo merkezleri de kurulu olacaktır. İletim sırasında enerji depolama birimlerine ve alternatif enerji kaynağı dağıtım birimlerine de bağlanabilecektir.

Güç faktörü performansı, kesici, trafo ve akü durumunun izlenmesi, kritik ve kritik olmayan işlem kontrolünü sağlamaktadır. Şekil 3.5'de örnek bir akıllı iletimin nasıl gerçekleştirildiği resimlerle anlatılmıştır.



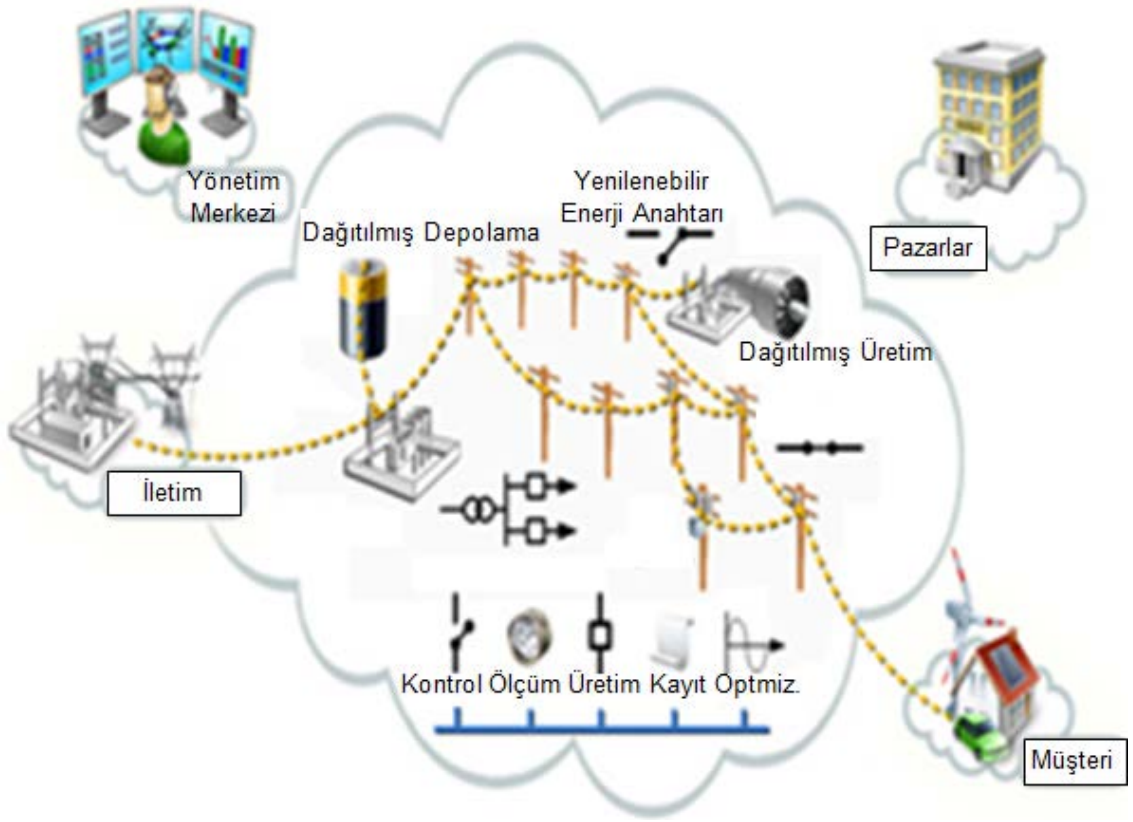
Şekil 3.5: Akıllı İletim

İletim sisteminin primer tarafına kurulan PMU'lar ile alınan bilgiler doğrultusunda kayıp oranları izlenmekte ve gerekli müdahaleler yapılmaktadır. Buradan alınan veriler doğrultusunda sistem performansını artırmak amacıyla yeni tasarımlar geliştirilmektedir.

Enerjinin verimli bir şekilde iletilmesinin yanı sıra enerji kalitesi de önem arz etmektedir. PMU'lardan alınan veriler işlenerek elektriksel büyüklükler ile güç kalitesi takip edilmektedir. Özellikle frekans kontrolü yapılarak üretim noktasındaki düzenleyici birimler frekansın sabit kalması adına görevlerini yerine getirmeleri amaçlanmaktadır.

3.1.4. Dağıtım

Dağıtım ağı, akıllı sayaçlara ve akıllı saha cihazlarına bağlanarak onları yönetebilecek ve haberleşme ağını kablolu ya da kablosuz çift yönlü kontrol edebilecektir. Ayrıca dağıtım esnasında enerji depolama birimlerine ve alternatif enerji kaynaklarına bağlanarak en verimli minimum kayıplı enerji dağıtımını gerçekleştirecektir. Bu sistemin, kendi kendini iyileştiren, dengeleyici ve optimize edici yapıda olduğu görülmüştür. Örnek bir akıllı dağıtımın nasıl yapıldığı simgesel bir anlatımla şekil 3.6'da görülebilmektedir.



Şekil 3.6: Akıllı dağıtım

Aynı zamanda otomatik izleme ve analiz etme özelliği ile hava durumu ve enerjisiz kalma geçmişine bağlı olarak arızaları tahmin edebilecek yapıya sahip sistemlerdir.

Akıllı dağıtım, şebekenin sağlıklı olduğunu ve bütünlüğünü koruduğunu tanımlayacak verileri toplar. Akıllı bir şebekede, şebekenin sağlığı, kritik noktalar anlık olarak yansımaktadır. Hattın sıcaklığı, yüklenme seviyesi, rüzgâr hızı, yerden uzaklığı (yüklendikçe azalır) izlenebilmektedir. Otomatik okuma, online enerji maliyetinin bilinmesini sağlamakta ve enerji

hırsızlığını engellemektedir. Şebekedeki kaçak oranları düşünülduğünde böyle bir yapıya sahip olunmasının önemi daha iyi görülmüştür. Çünkü üretim, iletim, tüketim ve kayıpları bilen bir yapının kaçakları kolaylıkla hesaplayabileceği tespit edilmiştir.

Dağıtım sistemi içerisinde kurulacak izleme istasyonları; güç faktörü performansı, kesici, trafo ve akü durumunun izlenmesi, kritik ve kritik olmayan işlem kontrolünü sağlamaktadır.

3.1.5. Akıllı Sayaçlar

Akıllı sayaçlar, tüketici ve gücü sağlayan kuruluş arasında iki yönlü iletişimi sağlamış ve ödeme verilerinin toplanmasına, güç kesintilerinin belirlenmesine ve tamircilerinin hızlı bir şekilde doğru lokasyona yönlendirilmesine imkân tanımıştır. Mevcut şebekelerde arızalar tüketicilerin telefonları aracılığıyla belirlenerek ekiplerin yönlendirilmesi ile giderilmekte olup, bu durumun arızaların giderilmesinde 1-2 saatlik gecikmelere neden olduğu görülmüştür (Dinçer ve diğerleri, 2011). Şekil 3.7'de bir akıllı sayaç örneği görülmektedir.



Şekil 3.7: Akıllı sayaç görünümü

Kullanıcı ev, ticari binalar ve endüstri olabilir. Bunlar yani kullanıcılar, elektriklerini akıllı sayaçları sayesinde belli bir elektrik dağıtım şebekesine bağlanarak alabilirler. Akıllı sayaçlar, akan elektrik enerjisini kullanıcıya kadar ve kullanıcıdan sonra kontrol edip yönetebilirler ve enerji kullanım şablonunu çıkararak enerji bilgisi verebilirler. Bu sayede her müşteri, çift yönlü haberleşme ve önceden kullanım şablonu çıkarılarak önerilen elektrik enerjisinde oluşan kendine ait bir bilgi ortamına sahip olmuş olur.

3.1.6. Akıllı Uygulamalar

Akıllı uygulama, önceden belirlenmiş kullanıcı tercihlerine bağlı olarak gücün ne zaman tüketileceğini belirlemektedir. Akıllı uygulamalar sayesinde elektrik üretimi ve emisyonlar üzerinde oldukça önemli bir etkiye sahip olan tepe yükleri düşürülmüştür. Üretimdeki en önemli maliyetlerden biri bu tepe yükleri karşılanırken oluşur. Bunun için devreye girip çıkan ek santraller bulunmaktadır. Yapılan araştırmalar, elektrik kullanımı ve bu kullanım bilgisinin kullanıcıya verilmesiyle, tepe yüklerde %25 oranında tasarruf sağlandığını göstermiştir (Çetinkaya, 2009).

Akıllı ev otomasyonları ve ev enerji yönetim programlarının kullanım oranı oluşturulacak akıllı şebeke ile artması beklenmektedir. Tüketiciler enerji tüketimlerini anlık olarak izlemesinin yanında geçmişe dönük tüketim alışkanlıklarını da görebilecek ve satın aldıkları enerjiyi daha verimli kullanabilmek için tüketim alışkanlıklarını uyarlayabileceklerdir. Özellikle gerçek zamanlı fiyatlandırmaya geçildiğinde tüketiciler kullanıcı profilleri oluşturarak enerjiyi daha verimli kullanabileceklerdir.

Dağıtım süreci açısından bakıldığında, tüketicilerin kullanım profilleri çıkartılarak enerji yönetim programları geliştirebilecekler ve tüketicilere daha ucuz elektrik sunabileceklerdir. Tüketicilerin izin vermesi halinde bazı elektrikli ev aletlerinin uzaktan kontrolü yapılarak yük atma-kaydırma işlemlerini yaparak sistemin dengesini koruyabileceklerdir. Tüketiciler enerji yönetim sisteminde aktif olarak rol alabileceklerdir.

Akıllı uygulamaların oluşturulma sürecinde en önemli adım tüketicilerin elektrik tüketim alışkanlıklarının sağlıklı bir şekilde belirlenmesi ve bu alışkanlıkların etkin bir şekilde yönlendirilmesidir. Tüketicilerin katılmadığı bir enerji yönetim sisteminin başarıya ulaşması oldukça zordur.

Akıllı uygulamalar sayesinde sadece enerjinin verimli kullanılması değil aynı zamanda üretim-tüketim dengesi sağlanacağından enerji kalitesi de artacaktır. Enerji kalitesinin artması, mevcut sistemde enerji kalitesini artırmak amacıyla sisteme entegre edilerek çalıştırılan ek güç santrallerine olan ihtiyaç azalacak ve bu bakımdan da tasarruf sağlanması beklenmektedir. Çünkü düzenleyici ek güç santrallerinin şebekeye giriş-çıkışında bazı zorluklarla karşılaşmaktadır.

3.2. Akıllı Şebekelerden Beklenen Faydalar

Dünya genelinde artan enerji tüketimi yenilenebilir enerji kaynaklarının az olması ve akıllı şebeke teknolojisinin doğayla dost bir teknoloji olması Akıllı Şebekelerin en üstün yanı olmuştur. Bunun yanında verimli kaynak kullanımı ile elektrik üretiminde yenilenebilir

kaynakların kullanımını artırarak fosil kaynakların daha verimli kullanılması amaçlanmıştır. İleri teknoloji şebeke kontrol sistemleri kullanarak iletim ve dağıtımdaki kayıpları azaltmıştır. Tüketicilerin elektrik kullanımlarını ve tüketim maliyetlerini daha iyi kontrol etmelerini sağlayarak elektrik üretim şirketlerinin yüksek üretim taleplerini daha iyi yönetebilmelerini sağlayarak ve yüksek üretim talebi için yapmaları gereken ekstra yatırımlara olan ihtiyaçlarını azaltarak tüketim verimliliği sağlamıştır.

Akıllı şebeke, ileri düzey izleme ve teşhis teknolojileri kullanarak varlıkların potansiyelinin ve performansının üst düzeylere çıkmasını sağlayarak varlıkların verimliliğini artırmaktadır. Uzaktan izleme ve kontrol teknolojilerini kullanarak enerji şirketlerinin kaynaklarını daha güvenilir ve verimli kullanmasını sağlamaktadır. Sayısal haberleşme sayesinde Akıllı Şebeke'de insan hatası ya da doğal afetler sonucu meydana gelen herhangi bir hata ya da kesinti anında sistemin olabildiğince az zararla tekrar çalışabilir hale gelmesi sağlanmıştır.

Akıllı şebeke, mevcut elektrik altyapısını günümüz otomasyon ve bilişim teknolojileri ile birleştirip 21. yüzyıl enerji ihtiyaçlarının karşılanmasına destek olacak bir sistemdir. Akıllı şebeke, özünde eş zamanlı data ve bilgi sunan bir "enerji interneti" veya "enernet" olarak da tanımlanmaktadır (Metcalf, 2009).

Akıllı şebekenin sağlayacağı ana faydalar şöyle sıralanabilir (Gellings, 2009), (Borlase et al, 2013), (Ekanayake et al, 2012):

- ✓ Tüketicilere daha kapsamlı bilgi ve enerji tüketim tarifeleri sunabilir.
- ✓ Akıllı ev otomasyon projelerinin hayata geçirilebilmesine olanak sağlayarak tüketicinin elektrik sistemindeki işletme optimizasyonunda kendi rollerini oynama imkânı tanınabilir.
- ✓ Tüketiciler daha dinamik fiyatlandırma ile elektrik satın alabilir.
- ✓ İletim ve dağıtım altyapısının iyileştirilmesi ve geliştirilmesini sağlayacaktır.
- ✓ Dağıtım sisteminde ve son kullanıcı bağlantılarında mikro üretimin eklenmesi ile şebekedeki güç kalitesi optimize edilebilecektir.
- ✓ Elektrik tüketim oranları belirli noktalarda gerçek zamanlı olarak karşılaştırılarak elektrik kayıp-kaçak oranı azaltılabilecektir.
- ✓ Dağıtım ve iletim şirketlerine daha fazla şebeke yönetim imkânı sunacaktır.
- ✓ Elektrikli araçlar için sağlam bir altyapı oluşturacaktır.
- ✓ Düşük kullanım maliyetlerinin yanı sıra üretim yönetim sistemine de büyük kolaylıklar sağlayacaktır. En önemlisi de mevcut kapasite daha etkin ve doğru bir şekilde kullanılacaktır.
- ✓ Gerçek zamanlı izleme ile daha etkin talep yönetimi,
- ✓ Yenilenebilir enerji kaynaklarının optimize edilerek sisteme entegrasyonunun kolaylaştırılması, dolayısıyla yenilenebilir kaynaklardan daha fazla yararlanılması,
- ✓ Üretimden tüketime kadar olan süreçte kaynakların daha verimli kullanılması,

- ✓ Tüketicilere yaşam tarzlarından ödün vermeden enerji kullanımlarını yönetme ve gerekli tasarruf etme yetkisinin verilmesi ve buna bağlı olarak ödedikleri fatura miktarının azalması,
- ✓ Üretim santrallerinin sisteme bağlantısını kolaylaştırmak ve çalışma verimliliğini artırmak,
- ✓ Sistem güvenliği ve enerji kalitesinin artırılması,
- ✓ Bakım ve hizmet verimliliğinin artırılması,
- ✓ Kullanıcı merkezli yaklaşımların artması ve yeni hizmetlerin sunulması,
- ✓ Serbest Pazar ve rekabet ortamının oluşturulabilmesi,
- ✓ Dağıtık üretim yapısının geliştirilmesine yardımcı olması,
- ✓ Toplumsal ve siyasi yönlendirmelerin daha hızlı bir şekilde karşılanabilmesi,
- ✓ Enerji üretiminde ve kullanımında başlıca sorunlardan olan CO₂ salınımının azaltılmasına katkı sağlaması,
- ✓ Çift yönlü enerji akışına olanak sağlaması,
- ✓ Varlık yönetimi ve veri kullanılabilirliği ile stratejik planlamaların yapılmasını kolaylaştırması,
- ✓ Tüketicilere daha güvenli ve ekonomik enerji hizmeti sunulması,
- ✓ Kesintilere karşı müdahale süresinin azaltılması,
- ✓ Sayaç okuma otomasyonları,
- ✓ Tüketici tanımlı tarifelerin oluşturulabilmesi,
- ✓ Ön ödemeli tarifelerin kullanım kolaylığı sağlaması,
- ✓ İleride yapılacak olan şebeke yatırımlarının ekonomik olarak verimli olmasını,
- ✓ Puant yük kontrolünün yapılabilmesi,
- ✓ Elektrik üretiminde fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılması,
- ✓ Yeni iş fırsatları ve iş alanları yaratılarak ekonomik ve sosyal gelişime katkı sağlaması.

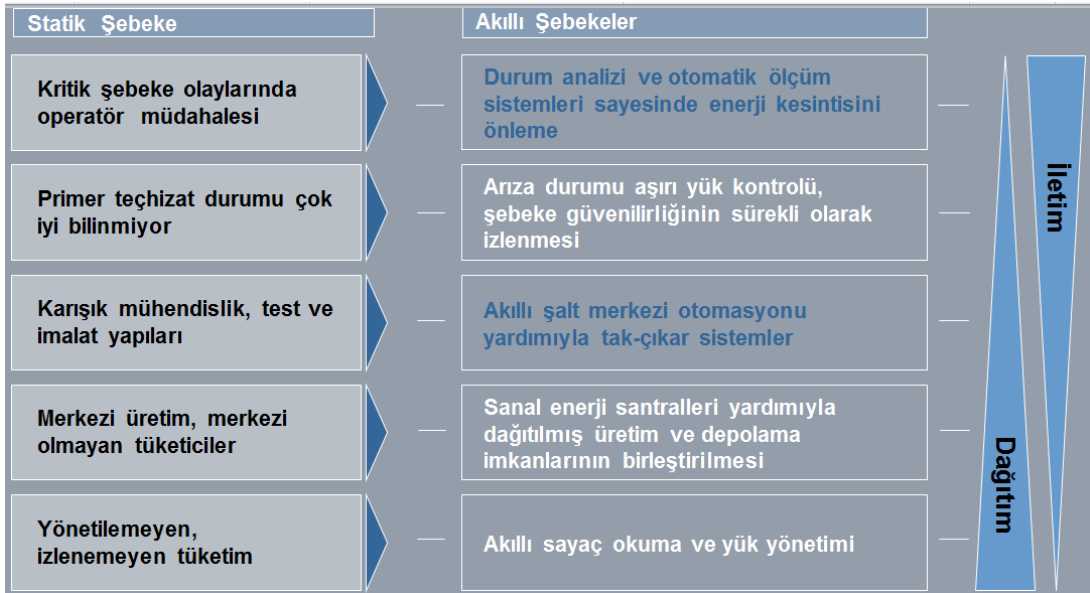
3.3. Bugünün Şebekesi ile Akıllı Şebeke Yapısının Karşılaştırılması

Bugünün şebekesi ile akıllı şebeke yapısı arasında maddeler halinde bir karşılaştırma Çizelge 3.2'de görülebilmektedir. Bu çizelgedeki veriler ışında diyebiliriz ki akıllı şebekeler klasik şebekelere göre, hem tüketici hem de enerji üreticileri açısından daha az maliyetli ve çevreye çok daha duyarlıdır.

Şekil 3.8'de ise klasik (statik) şebeke ile akıllı şebekenin iletim ve dağıtım sistemleri arasında İmeryüz (2011) tarafından yapılan bir karşılaştırılması verilmiştir.

Çizelge 3.2: Klasik Şebeke ve Akıllı Şebeke Karşılaştırılması

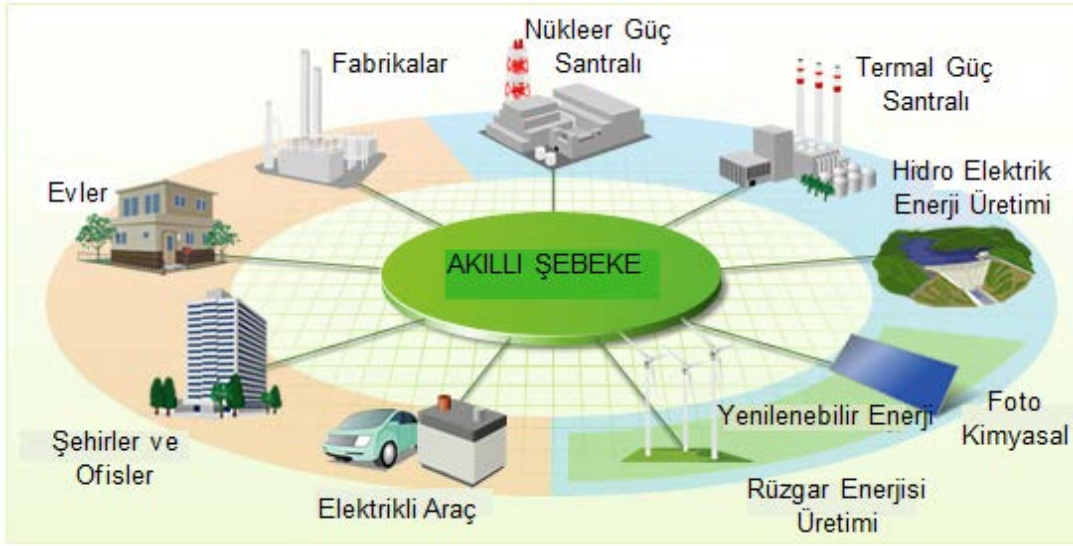
Mevcut Klasik Şebekeler	Akıllı Şebekeler
<ul style="list-style-type: none"> • Büyük güç santralleri, • Uzun iletim ve dağıtım hatları, • Devreye girip çıkmaları zor olduğu için termik santrallerin temel yük santrali olarak çalıştırılmaları, • Ülke genelinde üretim, iletim, dağıtım ve işletme maliyetleri ve kayıp maliyetlerinin bütün kullanıcılara bölüştürülmesi (tek zamanlı tarife), • CO2 azaltımının önemsenmemesi, • Enerjinin hidroelektrik, doğalgaz ve termik kaynaklara bağlı olması gibi sorunlar mevcut elektrik şebekesinde karşılaşılan en önemli sorunlardandır. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Otomatik dengeleme ve kendi kendini izleme özelliği ile her türlü yakıt türünü (kömür, güneş, rüzgâr, doğal gaz) kaynak olarak alabilir, son kullanıcının hizmetine (ısı, aydınlatma, sıcak su vb. gibi) minimum insan müdahalesi ile sunabilir. ➤ Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını optimize eder ve çevresel etkileri azaltır. ➤ Sistemin herhangi bir bölümünde oluşan aşırı yüklenmeyi hissedebilir ve enerji akış yönlerini düzenleyebilir, bu sayede olası bir kesintinin ve arızanın önüne geçilebilir. ➤ Tüketiciler ile şebeke operatörleri arasında sağlanan gerçek zamanlı haberleşme yardımıyla, tüketicinin yenilenebilir enerji temelli veya uygun fiyatlı enerji kullanım taleplerini yönetebilir.



Şekil 3.8: Klasik şebeke ile akıllı şebekenin karşılaştırılması

3.4. Akıllı Şebeke Uygulama Aşamaları ve Dünya'dan Örnekler

Tercih edilebilir, mükemmel bir güç sistemi, tüketicilerini enerjisiz bırakmamalı, yakıt açısından verimli ve doğa ile dost bir yapıda olmalıdır. Doğal afetlerde ayakta durmayı becerebilmeli ve siber saldırılarda etkiyi minimize edici bir yapıya sahip olmalıdır. Gücün kalitesini iyileştirmek, daha fazla kaynağa sahip olma anlamına gelmemektedir. Güç iletim sisteminin ekonomikliği hesaplanırken yaşanan enerji kesintileri göz önünde bulundurulmalıdır. Akıllı bir şebekede kesici ve ayırıcıların otomatik koordinasyonu, oluşan bir arıza sonrası yüklerle alternatif besleme yolları oluşturulabilmektedir. Akıllı bir iletim sistemi için akıllı bir dağıtım altyapısının da olması, koordineli haberleşme ve koordineli anahtarlama açısından oldukça önem arz etmektedir. Şekil 3.9'da yenilenebilir enerji kaynakları, akıllı binalar ve tüketicilerin de üretime dâhil olduğu giderek karmaşıklaşan akıllı şebeke gösterilmiştir.



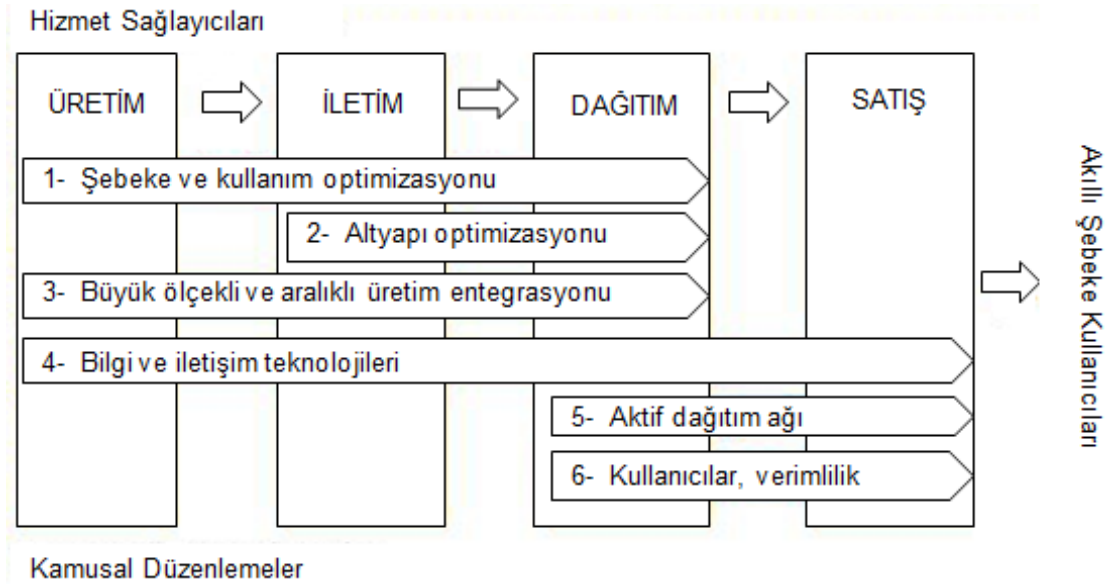
Şekil 3.9: Akıllı şebeke planlaması

Akıllı bir şebeke için trafo ve röleler gibi tüm sistem elemanlarının akıllı olması, 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 kılmıştır.

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 seçenekleri uygulayabilen ve oluşabilecek büyük çaplı enerji kesintilerini hissedip farklı anahtarlama davranışları sergileyebilen iletim sisteminin akıllı bir yapıda olması gereklidir. Böylece, arızalar daha iyi lokalize edilip daha etkin kontrol ve korumanın gerçekleştirilmesi sağlanmış olur. Bu şekilde de, sistem düzenleyicileri üzerindeki yük azaltılmış olacaktır.

Dünya var oldukça kullanılacak tek sürdürülebilir yapı olarak gözüken yenilenebilir enerjiye ve büyük şebeke entegrasyonlarına duyulan ihtiyaç akıllı şebeke teknolojisini şart kılmıştır (Ateş ve diğerleri, 2011).

Akıllı şebeke sistemlerine geçiş 20-30 yıllık bir süreç alabileceği öngörülmektedir. Ancak bazı önlemler ile bu sürecin kısaltılması mümkün kılınabilir. Akıllı sistemler için yasal düzenlemeler, standart yapılar belirlenmeli ve çerçevede tüm insanları kapsayan bir bilinç verilmelidir. İnsanlar konu ile ilgili bilinçlendirilmelidir. Kısa, orta ve uzun vadeli planlar yapılmalıdır. Mevcut sistem tümünden atılamayacağı için, burada önemli olan ve yapılması gereken bundan sonra sisteme entegre edilmesi planlanan yapıların akıllı sisteme uygun inşa edilmesi olacaktır. Şekil 3.10'da Avrupa Birliği'nin akıllı şebeke uygulamasına geçiş önceliklerinin sıralaması verilmiştir.



Şekil 3.10: Akıllı şebekeler Avrupa stratejik uygulama öncelikleri.

2008 yılında Avrupa Birliği Komisyonu, 2020 yılı ve ötesi için iklim değişikliği ile mücadele ve yenilenebilir enerjiyi teşvik çerçevesinde kapsamlı bir teklif paketi hazırlamıştır. Bu pakete göre, 2020 yılına kadar öngörülen hedef, sera gazı emisyonlarını yüzde 20 oranında azaltmak; toplam enerji üretiminin yüzde 20'sini yenilenebilir kaynaklardan sağlamak ve enerji verimliliğini yüzde 20 artırmaktır. Diğer bir deyişle 2020 yılında bütün oranlar 20-20-20 olacaktır. Son olarak Avrupa Birliği üyesi ülkeler, ekonomik durgunluğun etkisini azaltmak, istihdam yaratmak ve mevcut altyapıyı iyileştirmek için 200 milyar Euro'luk ekonomiyi destekleme paketini açıklamışlardır. Bu yaklaşık olarak toplam AB gayri safi yurtiçi hasılatının yüzde 1,5'ini temsil etmektedir. AB'nin yapmış olduğu toplantıda, 2020 yılı için iklim değişikliği ve enerji politikası hedefleri doğrultusunda elektrik altyapısının büyük bir dönüşüm gerektiği vurgulanmıştır. Mevcut ağları güçlendirme ve yükseltme, şebeke güvenliğinin artırılması, iç enerji piyasasının geliştirilmesi, enerji tasarrufu bilincini artırmak ve enerji verimliliğini geliştirmek, yenilenebilir enerji üretimini artırarak sisteme entegre etmek büyük önem taşımaktadır. Bu hedeflere ulaşmak için yalnızca yeni hatlar ve trafolar inşa etmek yeterli değildir. Bilgi ve iletişim teknolojileri entegrasyonu ile tüm elektrik sistemini akıllı yapıya dönüştürmek gerekmektedir (Giordano et al,2011).

Son birkaç yıldır, Akıllı şebekeler ile ilgili girişimler farklı amaç ve sonuçları ile Avrupa'da sayısı ve kapsamı artmaktadır. Önemli kamu ve özel sektör kuruluşları akıllı şebekelerin tanıtımı ve yaygınlaştırılması için araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) faaliyetleri yapmaktadırlar. Bu aşamada yapılan çalışmaların ve projelerin uygulanmasında karşılaşılabilecek zorlukların ve bu zorlukları aşmak için yapılan mücadelelerin açıkça izlenmesi ve başarısının objektif olarak karşılaştırılması gerekmektedir. Bu sonuçların da paylaşılarak bilgi birikiminin artırılması ve inovasyon sürecinin hızlandırılması sağlanmalıdır.

Çok Disiplinli İşbirliği:

Elektrik sisteminin artan karmaşıklığı yetkinlikleri paylaşmak ve riskleri azaltmak için çok disiplinli konsorsiyumlar gerektirir. Toplanan projeler farklı kuruluşlar arasında verimli bir işbirliğini vurgulamaktadır. Vurgulanan bu kuruluşlar ağ operatörleri, akademi, araştırma merkezleri, üreticiler ve bilgi teknolojileri şirketleridir. Akıllı şebekeler projesinin uygulanması, yeni teknolojilerin üretilmesi ve ihracatını, global teknoloji liderliğini korumak için Avrupa sanayisi için önemli bir fırsat olduğu düşünülmektedir.

Sistem Entegrasyonu:

Çoğu akıllı şebekenin faydaları doğada sistematik bir şekilde teknolojik, düzenleyici, ekonomik ve davranışsal değişikliklerin birleşiminden ortaya çıkmaktadır. Bu araştırmada neredeyse incelenen bütün ülkelerde yatırımların önemli bir miktarı farklı akıllı şebeke teknolojileri ve uygulamaları için tahsis edildiği görülmektedir. Çoğu teknolojilerin bilinmesine karşın bu projelerin sisteme entegre edilmesi zorluğu ile karşı karşıya kalınmıştır.

Yönetmeliğin Rolü:

Dağıtım sistemi operatörleri (DSOs) Avrupa'da akıllı şebekelerin konuşlandırılmasında önemli bir rol oynadığı bu araştırma verilerinde onaylanmaktadır. DSO ya yönelik projeler, tüm projelerin yaklaşık %27'sini ve tüm yatırımların yaklaşık %67'sini temsil etmektedir. AB üyesi ülkeler akım regülasyonunu genellikle şebekeleri akıllı bir sisteme doğru yükseltmekten ziyade işletme maliyetlerini azaltarak işletme verimliliğini artırmak amacı ile dağıtım ağ sahipleri/işletmelerine teşvik edici düzenlemeler sağlamaktadır. Düzenleyici teşvik modeli ağ sahipleri / işletmecileri yatırım potansiyelini hızlandırmak ve onlara daha fazla hizmet tabanlı iş modeli taşımak, teşvik etmek amacıyla gözden geçirilmelidir. Yönetmelik aynı zamanda, hizmet tabanlı pazar platformların kurulum maliyetlerin ve faydaların adil paylaşımını sağlamalıdır. Ağ sahipleri/işletmecilerinden, pazarda operasyonel hale geldiklerinde birçok faydalar elde edebilmesi için yatırımların çoğunluğunu sürdürmesi beklenmektedir.

Tüketicilerin farkındalığı ve katılımı:

Tüketicilerin farkındalığı ve katılımı akıllı şebekeler projelerinin başarısı için çok önemlidir. Çoğu proje, projenin ilk aşamalarından itibaren tüketicileri sürece dahil etmek için tüketicilerin katılım düzeylerinin özgürce seçilmesi, veri gizliliği ve korunması gerektiğini vurgulamaktadır. Akıllı şebeke uygulamalarından net somut faydalar sağlamak için tüketicilerin güvenini kazanması şarttır. Bu faydalar şu şekilde sıralanabilir: Enerji tasarrufu, kesintilerin azaltılması, daha şeffaf ve daha sık fatura bilgileri, toplayıcılar aracılığıyla elektrik piyasasına katılımı, elektrikli araçların ve akıllı ev aletlerinin özendirilmesi için daha iyi bir iş yönetimi.

Enerji politikası hedeflerine katkı:

Toplanan projelerin sonuçları Akıllı Şebekelerin AB enerji politikası hedeflerine ulaşılmasına yapabileceği sayısız katkıları göstermektedir. Bir akıllı şebeke, CO₂ emisyonlarının azaltılmasını kolaylaştırmak, büyük çaplı yenilenebilir enerjinin entegrasyonunu sağlamak ve enerji sektöründe verimliliği artırarak sürdürülebilirliğe katkıda bulunabilir. Dağıtık enerji sisteminde tedarikçileri artırılarak tüketicilerin daha esnek ve aktif bir şekilde farklı tedarikçilerden enerji talep edilerek pazarda rekabeti artıracak ve tüketiciler açısından daha ekonomik seçenekler ortaya çıkarılabilecektir. Bu şekilde arz güvenliği ve kalitesine, sisteme gerekli teknolojileri / mekanizmaları entegre ederek esnek üretim dengelenebilir ve kesinti sürelerini azaltmak amacıyla şebeke izlenebilirlik ve kontrol edilebilirlik artırılarak katkıda bulunulur. Bütün bu potansiyel faydalar izlenmeli ve daha iyi sonuçlar elde etmek için çerçeve program ayarlanarak doğrulanması gerekir.

Bilgi ve iletişim teknolojilerinin rolü:

Açık ve güvenli bir bilişim altyapısı akıllı şebekenin başarılı bir şekilde uygulanmasının çekirdeğini oluşturur. Veri gizliliği ve güvenliği, bilişim altyapısının tamamen açık ve güvenli bir altyapıya sahip olması ve akıllı şebeke kullanıcıları arasında işlem maliyetlerinin azaltılması önemli gereksinimlerdir. Toplanan projelere bakıldığında etkisi kanıtlanmış bilişim standartlarına

ve endüstrinin en iyi uygulamalarını destekleyebilecek bir sistem işaret edilmektedir(örn: İnternet Erişim Protokolleri). Ancak bu alanda daha koordineli ve ciddi çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Standardizasyon gelişmeleri doğru yönde atılmış önemli bir adımdır. Ayrıca veri işleme üzerinde odaklanarak diğer sektörlerde başarılı bir şekilde yürütülen işlemler(örn: bankacılık sektör işlemleri) akıllı şebekelere uygulanması için projeler geliştirilmesi faydalı olabilir.

Veri toplama ve bilgi paylaşımı:

Son olarak, etkili bilgi paylaşımı ve Akıllı Şebeke paydaşlar arasında iyi uygulamaların yaygınlaştırılması, Avrupa Akıllı Şebeke programının başarısı için çok önemlidir. Bu çalışmada, veri toplama sürecinde karşılaşılan güçlükler, terminoloji tanımları, kategorileri ve kriterleri vb. açısından koordineli bir şekilde depolarda veri toplanması için ortak bir yapı üzerinden veri toplama / değişimi gibi bazı iyileştirmelere ihtiyaç olduğunu göstermektedir (Giordano et al, 2011).

Akıllı şebeke vizyonu “yeni ürünlerin, süreçlerin ve hizmetlerin ortaya çıkması, sanayide verimliliğin artması ve daha temiz enerji kaynaklarının kullanımı ile Avrupa'nın küresel pazarda rekabet gücünü artırması” olarak belirlenmiştir. AB'nin belirlediği akıllı şebekeler vizyonu AB'nin ekonomik ve çevresel hedeflerinde akıllı şebekelerin öncü rol oynayacağını göstermektedir. 2013 sonbahar içerisinde ENTSO-E ile entegrasyonun sağlanıp Avrupa şebekesine dâhil olunmasının planlandığı Türkiye için de AB'deki akıllı şebekeler ile ilgili gelişmeleri yakından takip etmek önem arz etmektedir. Türkiye şebekesi AB ile enterkonnekte olmak istiyorsa, akıllı şebeke vizyonu doğrultusunda iletim hatta dağıtım seviyesinde akıllı şebeke teknolojilerinin uygulanmasının AB tarafından talep edileceği gerçeği kaçınılmaz olmuştur.

2000 yılında başlayıp 2005 yılında tamamlanan Telegestore projesi kapsamında İtalya, akıllı şebekeler ile ilgili olarak ilk adımı atan ülke olmuştur. Bu proje ile 27 milyon adet sayaç uzaktan okunabilen akıllı sayaçlar ile değiştirilmiştir (Sergio, 2006).

Aşağıda akıllı şebekeler konusu ile ilgili olarak yapılan ve planlanan çalışmalar özetlenmiştir (Deloitte, 2013).

ABD: Akıllı şebeke mevzuatı Amerikan Kongresinde 2007 yılında yürürlüğe giren Enerji Bağımsızlığı Yasası (EISA) ile düzenlenmiş ve ulusal iletim ve dağıtım sisteminin modernleştirilmesine karar verilmiştir. Bu yasa kapsamında, elektrik şebekesinin güvenliği, kalitesi ve verimliliğini sağlamak için hayata geçirilmesi gereken dijital bilgi ve kontrol teknolojileri, şebeke faaliyetleri ve kaynaklarının dinamik optimizasyonu, enerji verimliliğini ve talep tepkisini sağlayacak donanım ve uygulamaların şebekeye entegrasyonu konularında çalışmalar yapılacaktır.

Avrupa: Avrupa Birliği müktesebatında 3. Enerji Paketi hükümleri ve buna bağlı 2009/72/EC no'lu Enerji Direktifi'nin Ek I.2 maddesi kapsamında Avrupa Birliği üye ülkelerinin akıllı şebeke yatırımları yapmaları teşvik edilmektedir. Bu direktifler ve yönetmelikler

neticesinde, son 10 yılda 300 kadar akıllı şebeke projesine yaklaşık 5,5 Milyar Euro yatırım yapılmıştır. 2020 yılına kadar ise toplam 240 Milyon akıllı sayacın Avrupa genelinde aktif olması beklenmektedir.

Brezilya: Brezilya'da 2012 itibariyle 1 milyonu aşkın uzaktan otomatik okumalı sayaç kurulumu yapılmıştır. 2021 yılı sonuna kadar 63 milyon elektrik sayacı akıllı sayaçlar ile değiştirilmesi planlanmaktadır.

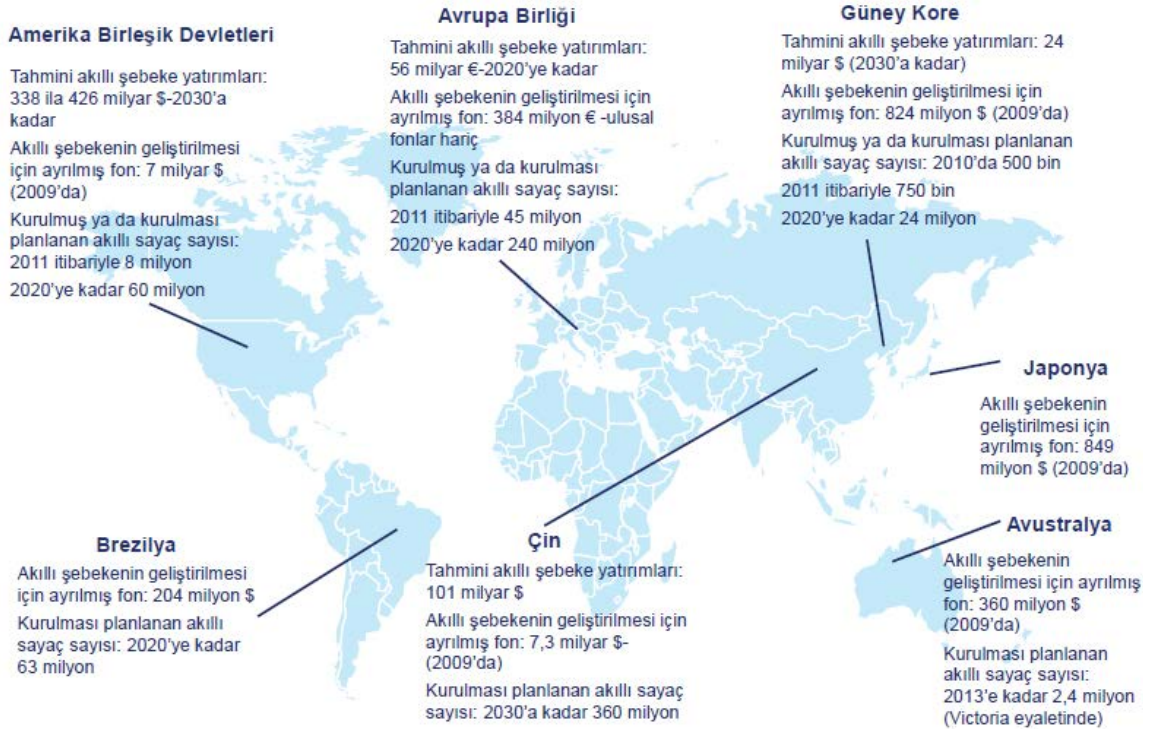
Çin: Çin, nüfusu ve sanayisi sebebiyle elektrik enerjisinin verimli kullanımını birincil politika haline getirmiştir. Çin'in Akıllı Şebeke yol haritası, üç aşamada tanımlanmıştır: Planlama ve Pilot (2009-2010), Kurulum (2011-2015), Geliştirme (2016-2020)'dir. Çin'de enerji üretimi yapılan kaynaklar, enerji tüketiminin yoğun olduğu bölgelere çok uzak olduğu için, yatırımların çoğu daha verimli bir şekilde enerji taşınabilmesi amacıyla iletim ağlarına yapılmıştır. 2009-2020 yılları arası akıllı şebeke teknolojisinin geliştirilmesi için 101 milyar dolar yatırım planlanmıştır.

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

Güney Kore: Güney Kore hükümeti, 3 aşama ve 5 fazdan oluşan programıyla, 2030 yılına kadar akıllı şebeke uygulamasına tamamen geçmeyi planlamıştır. Aşamalar, 2010-2012, 2012-2020 ve 2021-2030 olarak ayrılmış, fazlar ise akıllı şebeke, akıllı tüketici, akıllı taşımacılık, akıllı yenilenebilirler ve akıllı elektrik hizmetleri olarak adlandırılmıştır. Bu yol haritasında, şebekenin uzaktan izlenebilmesi, akıllı evlerin enerji yönetimlerinin yapılabilmesi ve pilot araç şarj ünitelerinin kurulması gibi adımlar bulunmaktadır. Program tamamlandığında ise, şebekenin kendi kendini onarabilmesi, gerçek zamanlı fiyatlandırmanın mümkün kılınması ve enerji depolama cihazlarının yaygınlaştırılması gibi pek çok akıllı sistemi kapsamı beklenmektedir.

Avustralya: Avustralya enerji piyasaları düzenleme kurumu tarafından elektrik dağıtım şirketlerine, tüketicilere akıllı sayaç bağlama zorunluluğu getirilmiştir. Buna ek olarak, Avustralya devleti, "akıllı şebeke, akıllı şehirler" projesi kapsamında enerji sektörü ile ortak bir proje yürütmekte ve bu projeye 52,5 milyon Euro ayırmış durumdadır.

Şekil 3.11'de ABD, Avrupa Birliği, Güney Kore, Brezilya, Çin, Japonya ve Avustralya'daki akıllı şebeke yatırımlarının hangi aşamalarda olduğunu özetle göstermektedir.



Şekil 3.11: Dünya'da akıllı şebeke yatırımları

Rusya: Rusya'da 1,5 milyonu aşkın apartman dairesi akıllı elektrik şebekesine bağlanmıştır. Dairelerin her birine, elektrik tüketiminin enerji şirketi tarafından kontrol edilmesine imkân veren sayaçlar kurulmuştur.

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

Fransa'da Ağustos 2010'da çıkan mevzuat ile birlikte 2016 yılının sonuna kadar ülkenin %95'ini kapsayacak şekilde akıllı sayaç kurulması hedeflenmektedir.

İspanya, 2008 yılında çıkardığı yasa ile dağıtım şirketleri tarafından tüketicilerin kullandığı sayaçlar yerine, tüketicilere ek yük olmaksızın, akıllı sayaç yerleştirmelerini zorunlu kılmıştır. Bu yasa çerçevesinde, Endesa dağıtım şirketi 2010-2015 yılları arasında 13 milyon tüketicisine akıllı sayaç kurulumu yapacağını açıklamıştır.

İngiltere, akıllı şebekelere geçiş için 2 aşamalı bir program uygulayacaktır. Programın ilk aşaması olan 2010-2015 yılları arasında akıllı şebeke tasarımının araştırılması ve gerçekleştirilmesi, 2015-2020 yılları arasında ise ikinci aşamasında olarak akıllı sayaç

kullanımının yaygınlaştırılarak 2019 yılının sonuna kadar 50 milyon elektrik ve gaz akıllı sayacının sisteme entegre edilmesi hedeflenmektedir.

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

Hollanda, Amsterdam pilot çalışması aslında Avrupa Birliği Avrupa Bölgesel Kalkınma Fonu tarafından finanse edilmiştir. Projenin amacı 2020 yılına kadar %20 oranında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasını arttırmaktır. Bu proje aslında akıllı şehir projesinin bir parçasıdır. Pilot program katılımcıları kullandıkları akıllı sayaçlar sayesinde enerji kullanımlarını anlık olarak görebilecek ve buna uygun değişiklikleri kendileri yapabilecekler. Bunun sonucunda kullanılan enerjinin maliyetinde düşüş ve CO₂ emisyonların da azalma sağlanması planlanmıştır (European Commission JRC-IE, 2011).

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

Almanya'da evlerde bulunan kombiler, hem ısıtma hem de elektrik üretme amaçlı kullanılıyor. Elektrik dağıtım şirketi, Akıllı Sayaç vasıtası ile istediği kombiyi aktive ederek, müşterilerinden elektrik satın alabiliyor. Müşteriler; yıllık, aylık veya günlük tüketimlerini firmanın web sitesinden ya da evlerde bulunan dijital ekranlardan görerek, tasarruf önlemlerini alabiliyorlar.

Enerji politikasındaki hedefler, elektrik sektöründeki güncel dönüşümlerin kalbidir. Yenilenebilir enerji kaynakları, daha verimli ve güvenli bir elektrik hizmeti sunan bir iç enerji piyasasına sahip tüketicilerin tam olarak dâhil olabildiği bir enerji sistemi ülkemizin öncelikli hedefi olmalıdır. Bu amaçla, yeni hatlar, trafo ve enerji santralleri inşa ederek bugün sahip olunan elektrik sistemi güçlendirilmelidir. Buna paralel olarak bilişim teknolojilerinin entegrasyonu ile elektrik sistemi daha akıllı hale getirilmesi gereklidir. Akıllı elektrik şebekesi, bir yerde elektrik sisteminde faydalı yeni uygulamalara kapı açar: şebeke ve piyasa koşullarına elektrik talebinin adaptasyonu, kesintileri tahmin etme ve arızaları otomatik olarak gidererek yeniden devreye alma, elektrikli araçlar için dağıtılmış yenilenebilir enerjinin büyük ölçekli planlaması ve sisteme sorunsuz entegrasyonu gibi (Giordano, 2011).

Akıllı şebeke sisteminin fiziksel olarak kurulması enerji yönetim sistemi için yeterli değildir. Yasal düzenlemeler, yeni uygulamalar, tüketicilerin davranışları ile sosyal yapı gibi soyut unsurlara da bağlıdır. Bu geçiş işlemi zor ve uzun bir zaman gerektirir.

4. ŞEBEKELERDE ESNEK GÜÇ YÖNETİMİ

Bugünün elektrik şebekeleri güneş ve rüzgâr santralleri gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını sisteme entegre etmek ve bunlardan optimum fayda sağlamak için elverişli değildir. Gelecekte milyonlarca elektrik üreticisinin küçük üretim santralleri ile elektrik beslemesi yapacağı düşünülmektedir. Şebekeler çok yönlü enerji akışı için henüz yeterli donanıma sahip değildir. Bu gereksinimlerin karşılanabilmesi için enerji sisteminin akıllı bir yapıya dönüştürülmesi gerekmektedir. Enerji sisteminin akıllı yapıda olması çok yönlü işletme optimizasyonlarına imkân tanımaktadır. Sistemin performansını artırmak amacıyla çeşitli senaryo yaklaşımları ile şebeke sistemindeki teknik olmayan kayıplara çözümler üretilebilmektedir. Dağıtık üretim, talep yönetimi, yük atımı, yük kaydırılması, puant yükün azaltılması veya kaydırılması, tüketicilerin yönlendirilmesi, alternatif enerji kaynaklarının sistemle daha uyumlu çalışmasını sağlamak bu yaklaşımlar içerisinde sayılabilir.

4.1. Şebeke Yönetim Sistemi

En genel halde bir enerji sistemi; Elektrik üretim sistemi (EÜS), elektrik iletim sistemi (EİS) ve elektrik dağıtım sistemlerinden (EDS) meydana gelir. EÜS'lerinde üretilen ve EİS ile tüketim merkezlerinin yakınına kadar yüksek gerilimle iletilen enerjini gerilim seviyesi düşürülerek tüketicilere ait servis bölümlerine kadar sevk edilmesine enerji dağıtım ve aradaki sisteme de EDS adı verilir.

EDS, enerji iletim sistemi ile tüketiciler arasında bulunan ve elektrik enerji sistemlerinin son aşaması olan tesisidir. Bu tesis enerji iletim sisteminden alınan gerilimi alt iletim gerilimine dönüştüren, yapısında güç ve dağıtım transformatörleri ile bunlara ait bağlantı elemanları bulunan güç postalarından başlayarak, en son alt iletim sistemine kadar olan bölümü yani tüketicileri de kapsayan çok karmaşık bir yapıya sahiptir. Alt iletim sistemleri ise Orta Gerilim (OG) şebekelerinden alınan enerjiyi gerek yer altı gerekse havai hat kablolarıyla elektrik enerjisini tüketim bölgelerine ulaştıran sistemlerdir (Peşint, 2001).

Enerji dağıtım sistemleri en genel ifade ile bir veya çok kademeli OG sistemi ile transformatör merkezleri ve Alçak Gerilim (AG) sistemlerinden meydana gelmektedir. Bugün ülkemizde enerji dağıtım 34,5 - 15,8 - 10,5 - 6,3 - 3,3 ve 0,4 KV'luk gerilim seviyelerinde yapılmaktadır (Pekiner, 1993).

Elektrik enerjisinin üretildiği santraller çoğu zaman yerleşim birimlerine uzak noktalarda kuruludur hatta bazı yerleşim bölgelerinde hiç santral yoktur. Bu nedenle üretilen elektrik enerjisini verimli bir şekilde iletmek ve tüketim bölgelerine dağıtmak gerekir. Elektrik enerjisinin tüketicilere ulaştırılması için tesis edilen iletim ve dağıtım şebekeleri iletim ve dağıtımın

yapılacağı tüketici bölgelerinin özelliklerine göre en uygun, güvenli ve kesintisiz enerji verebilecek nitelikte tesis edilmesi şarttır. Elektrik dağıtım şebekeleri köy, kasaba, şehir, sanayi vb. durumdaki yerleşim ve iş merkezlerinde bulunan alıcıların elektrik enerjisi ihtiyaçlarını karşılamak için tesis edilen ve çok sayıda hat parçalarının bir araya gelmesinden oluşan hatlar topluluğu olarak düşünülebilir. Yerleşim birimleri ve sanayilerdeki cadde, yol, meydan ve geçitler boyunca döşenen hat parçalarının birbirine eklenmesinden, kollar ve kolların birbirine eklenmesinden de dağıtım şebekeleri meydana gelir (Şerifoğlu, 2003).

Elektrik dağıtım şebekelerinin kurulmasında alıcıların teknik yönden uygun ekonomik ve ergonomik bir şekilde beslenmesi ana kuraldır. Bu kuralları yerine getirebilmek için değişik şebeke tipleri geliştirilmiştir. Dağıtım sistemine uygun olarak şebekeler aşağıda verilmiştir.

- a) Radyal şebekeler
- b) Dal - Budak şebekeler
- c) Halka şebekeler
- d) Gözlü şebekeler
- e) Enterkonnekte şebekeler

Gerilimlerine göre şebekeler ise 4 ana grup altında incelenir. Bunlar;

- a) Alçak Gerilim (AG) (0 - 1 kV)
- b) Orta Gerilim (OG) (1 – 36 kV)
- c) Yüksek Gerilim (YG) (36 – 110 kV)
- d) Çok Yüksek Gerilim (ÇYG) (154 kV ve üstü)

Enerji dağıtımında izolasyon ve güvenlik nedeniyle genel olarak OG ve AG şebekeleri kullanılmaktadır. Türkiye’de OG şebekelerinin karakteristiklerine bakıldığında büyük bir çoğunlukla açık ring şebeke olarak tesis edildiğini, AG şebekelerinin ise dal-budak şebekelerden oluştuğunu görürüz (Üstünel ve diğerleri, 2001).

1973’teki petrol krizi ile başlayan süreç elektrik enerjisi üretiminde maliyetleri arttırmış, 1973’e kadar petrolün sınırsız ve ucuz olacağı gibi görünmez bir kural piyasaya hakim iken durumun öyle olmadığı petrol krizi ile ortaya çıkmıştır. Daha sonra petrol fiyatlarının düşmesine karşın petrole dayalı elektrik enerjisi üretimi riskli olarak kabul edilerek petrole dayalı elektrik üretiminden bir kaçış başlamıştır. İşte bu 1973 petrol krizinin değişik olumlu etkileri de olmuştur. Bunlardan ilki elektrik enerjisi üretiminde güneş, rüzgâr ve jeotermal gibi yeni seçeneklere yönelmelerin başlaması ve bu konudaki araştırma-geliştirme çalışmalarının hızlanmasıdır. İkinci önemli etkisi ise enerjinin sonsuz olmadığı ve bu yüzden verimli kullanılması gerektiğini ortaya çıkarmış olmasıdır. Bir diğer etkisi de enerji kaynaklarının olabildiğince ulusal sınırlar içinden sağlanması fikrinin gelişmesini sağlamış olmasıdır. Son olarak diğer sanayi üretimlerinde olduğu gibi enerjinin de çevre boyutunu gündeme getirmesini de olumlu etkiler olarak sayabiliriz. Geçmişten günümüze kadar gelen bu süreçte bütün bu etkiler, enerjide planlama ve verimlilik

kavramlarını ön plana çıkararak, elektrik enerjisi üretimi, iletimi, dağıtımı ve tüketiminde verimliliğin devletlerin birinci önceliği haline gelmesini sağlamıştır.

Verimlilik, enerjinin etkin ya da rasyonel kullanımı olup enerji tasarrufunun bir sonucudur. Ayrıca verimlilik savurganlığı kaldırarak talebin abartılmış biçimde ortaya çıkmasını da engeller. Enerji tasarrufu ise, ekonomik büyümeden ve yaşam koşullarından ödün vererek enerjinin az kullanılması değil, enerji üretim, iletim, dağıtım ve tüketiminin maksimum verimle gerçekleştirilmesi, enerji kayıplarının minimuma indirilmesi, ekonomik büyümeyi ve yaşam konforunu engellemeden enerji talebinin kontrol altına alınması ve enerji talep artış hızının düşürülmesidir. Yukarıdaki tanıma bağlı olarak enerji tasarrufu, enerjinin etkin kullanımı ve verimlilik artışı biçiminde ele alınarak elektrik enerji sistemlerinde (EES) meydana gelen kayıpları asgari seviyeye indirmek demektir (Sargın, 2006). Buna göre EES'nde meydana gelen kayıplar teknik ve teknik olmayan kayıplar olarak ikiye ayırabiliriz:

Teknik kayıplar, daha çok mevcut sistemin yapısından kaynaklanan kayıplar olup bu kayıplar engellenemez fakat azaltılabilir olan kayıplardır. Teknik olmayan kayıplar ise enerji sisteminde fiziksel ve fonksiyonel özelliği bulunmayan ve tamamen tüketim sistemiyle alakalı olarak meydana gelen kayıplar olup bu kayıplar önlenemez kayıplar mertebesinde.

4.2. Şebeke Sisteminde Karşılaşılan Problemler

Bu karmaşık ağ yapısı, her geçen gün artan ihtiyaçlar doğrultusunda genişlemeye devam etmektedir. Bu ağın işleyişinde kesintisizlik kadar verimlilik de artık birinci öncelik haline gelmiştir. Bir insanın vücudundaki damar ve sinir sisteminin yaşamsal önemi ne kadar önemli ise; enerji şebekeleri de ülkeler ve ekonomiler için o kadar önemlidir. Enerji akışının hammadeden, üretime ve oradan kullanılacağı yere ulaşıncaya kadar tüm süreçlerin verimli çalışması şarttır. Henüz depolanamayan elektrik için iletim-dağıtım çok daha kritiktir. Türkiye elektrik kayıp-kaçak oranı bakımından OECD ülkeleri içinde %14,4 oranla birinci sıradadır. Bazı bölgelerimizde bu oran %70'lere dayanmıştır. Bu kayıplar teknik kayıp ve kaçak olarak sınıflandırılmaktadır. Bir yandan günümüz teknolojileri ve iş yaklaşımları ile enerjinin iletimi, dağıtımı alanlarında teknik kayıpları aşağıya çekmeye çalışmalı diğer yandan sosyal politikalarla kaçığın önüne geçilmelidir. Hesaplara göre %5 civarında bir iyileştirme 10 milyar kWh elektrik tasarrufu demektir. Elektrik enerjisine tıraş makinesinden sanayideki motorlara kadar bağımlı olarak kurduğumuz yaşam düzenimizde eğer elektrikli alet ve ekipmanlar işlev görüyorsa sorun yoktur algılaması hakimdir. Oysa gerilim dalgalanmaları, akım dengesizliği, harmonikler, kayıplar, güç faktörü, güç kesintileri ve faz kaybından kaynaklanan sorunlar elektrikli ekipmanlarda arızalar oluşturmakta ve bunun sonucunda, artan bakım onarım giderleri ve buna ilaveten daha fazla elektrik faturası olarak karşımıza çıkmaktadır (EVSB, 2010).

Tüketicilerin, işletme ya da evlerinde güç kalitesi sorunu olduğu veya enerji tasarrufu yapmanın mümkün olduğu yönünde bilinçlendirilmeleri gereklidir. İnsanlara; ışıklarının yanmakta olmasına ve bilgisayarlarının iyi çalışır görünmesine rağmen hala gereğinden fazla elektrik faturası ödemekte ve elektrik kalitesi sorunlarından dolayı daha fazla bakım-onarım giderleri olduğu gerçeğini anlatmak, bilgi vermek ve eğitmek aslında enerji verimliliğinde ilk adımdır.

Elektrik enerjisi üretildiği santraldan ev ve işyerlerine ulaşana kadar kilometrelerce yol kat etmekte ve bu esnada kalitesini etkileyen hava şartları, gerilim oynamaları, kapasite kaybı ve ani dalgalanmalarla karşı karşıya kalmaktadır. Ev ya da işyerine ulaşabildiğinde de, bu sefer alet ve ekipmanların durumu, tesisatın kuruluş biçimi, kablolama, özellikle elektronik cihazların yaygın kullanımından kaynaklanan çağımızın elektrik hastalığı harmonik de verimliliği etkilemektedir.

Harmonikler başlıca bilgisayar sistemlerine, sayaçlara zarar vermekte en önemlisi de daha fazla elektrik tüketilmesine sebep olmaktadır.

Diğer önemli bir konu da elektrik enerjisinin seyahati sırasında kapasitesinin kaybı yani diğer bir ifadeyle aktif olarak kullanılacak elektrik enerji biriminin düşmesi konusudur. Yalnız gerilimle ilgili sorunlar bile konunun önemini göstermektedir. %5'lik gerilim dengesizliği ciddi kayıplar oluşturmaktadır. %4 gerilim dengesizliği %25, %3 gerilim dengesizliği %15, enerji kaybına sebep olur. Motorun nominal ısısının 10°C artması, yalıtım ömrünün %50 azalmasına sebep olur. Aynı şekilde 200°C ısı artışı, yalıtım ömrünü %75 azaltır. Çizelge 4.1'de gerilim dengesizliğinin sebep olduğu verim kayıpları görülebilmektedir.

Çizelge 4.1: Gerilim dengesizliğinin neden olduğu verim kayıpları

Gerilim Dengesizliği Türü	Verim Kaybı (%)
Gerilim Dengesizliği	%5
Isınma Artışı	%50
Güç Azalması	%25
3 Fazlı Motorlarda Enerji Kaybı	%35

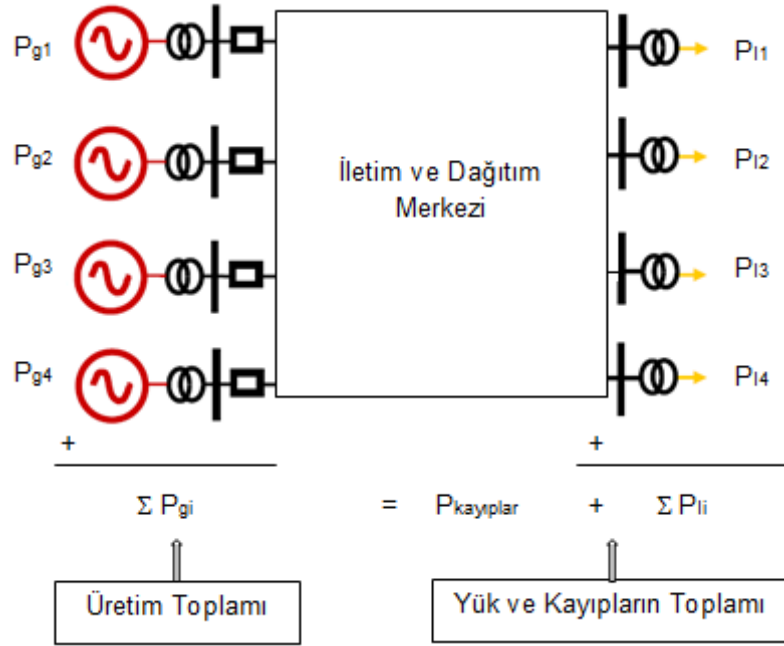
Elektrik enerjisinde belirlenen sorunların hemen hemen tümü ısınma olarak karşımıza çıkar. Elektriksel parametrelerin düşük ya da yüksek olması ile değil belirlenen optimal şartların elde edilmesi ile önüne geçilebilecek olan bu sorunlar günümüz ve geleceğimizi büyük riske atmakta olan küresel ısınmaya katkı sağlamaktadır. Elektriksel kayıpların %10'a varan büyüklüğü, turizm ihracat gelirimizin ancak enerji talebini karşılayabildiği Türkiye'de, azaltılıp ekonomiye kazandırılması gereken çok önemli bir konu olarak önümüzde durmaktadır. Daha

ötesi elektrik enerjisi yetersizliği yüzünden yapılması gereken ilave ithalat ve kurulması hedeflenen enerji santrallerini kurmanın bedeli ile enerjiyi verimli kullanabilmek için alınacak önlemlerinin maliyet farkı verimlilik lehine 1'e 5 oranındadır. Enerjiyi verimli kullanmak yatırımın geri dönüş süresini de çok daha kısaltır (EVSB, 2010). Aşağıda elektrik şebeke sistemlerinde karşılaşılan başlıca problemlere kısaca değinilmiştir.

4.2.1. Arz-Talep Dengesizliği

Elektrik enerjisini olan talep yıllar boyunca devamlı artmış ve artmaya da devam edeceği düşünülmektedir. Artan enerji talebini karşılayabilmek için enerji arzının da artırılması gerekmektedir. Türkiye'de her yıl %6-%7 aralığında artan enerji talebini karşılayabilmek için yeni enerji santralleri kurulmaktadır. Enerjide arz-talep dengesini sağlamak enerji yöneticilerinin önemli sorumluluğudur. Arz-talep dengesi sağlanamadığı durumlarda fiyat dalgalanmalarının yanı sıra frekans değişimlerine de neden olmaktadır. Enerji kalitesinin önemli olduğu bu zamanda frekans değişimlerinin fazla olması tüketiciler açısından olumsuz bir durumdur. Frekans değişimlerine bağlı olarak elektrikli ev aletleri ve motorlar daha verimsiz çalışmakla birlikte arıza çıkarma riskleri artmaktadır. Arz – talep dengesinin sağlanması için enerjinin üretildiği anda ve üretildiği miktarda tüketilmesi gerekmektedir. Yani sunulan enerji daima tüketime eşit olmalıdır. Arz – talep dengesinin korunması amacıyla ani ve beklenmeyen bir arıza durumuna karşın yeterli üretimin yapılması önemli bir ilkedir.

Şekil 4.1'de arz-talep dengesinin nasıl olduğu bir diyagram olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.1: Arz – Talep dengesi

Sistem frekansının başlıca koruyucusu arz-talep dengesidir. Sistem frekansındaki sapmalar arz-talep dengesizliğinin en önemli göstergesidir (Bali, 2008).

4.2.2. Enerji Kalitesi

Elektrik enerji transferlerinde kayıplar kadar enerji kalitesi de büyük önem arz etmektedir. Teknolojik hassas cihazlar kaliteli, güvenli ve sürdürülebilir enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Elektrik güç sistemlerinde enerji kalitesi tanımı, şebekenin gerilim ve frekansındaki değişimler ile şebekeden çekilen akımdaki dalga şekli bozukluklarının belirtilmesi amacıyla kullanılır. Elektrikli cihazların birçoğu şebekedeki gerilim ve frekans değişmelerine karşı hassas değildir. Bununla birlikte, son yıllarda yaygın olarak kullanılmaya başlanan elektronik devreler tarafından kontrol edilen cihazlar enerji kalitesine karşı son derece duyarlıdır. Bu kontrol devrelerinden bazıları, alternatif akım ve doğru akım motor sürücülerini ve anahtarlamalı moda çalışan güç kaynakları gibi enerji dönüştürmede kullanılan devreler ve yardımcı kontrol devreleri olarak kullanılan bilgisayarlarla programlanabilir lojik kontrolörlerdir (PLC). Böyle karmaşık devreler şebekedeki bozucu etkilerden önemli ölçüde etkilenmektedirler [1]. Bu etkilenme sonucu elektronik devreler ile kontrol edilen cihazlar veya endüstriyel tesisler hatalı çalışabilir ve hatta devre dışı kalabilirler. Bu nedenle hızlı bir şekilde gelişen sanayi tesisleri ile elektrikli cihazların düzenli olarak çalışabilmesi için gerek tüketiciler gerekse şebeke açısından enerji

kalitesi konusunda bazı sınırlandırmaların yapılması gerekmektedir. Elektrostatik boşalma olayları, elektromanyetik dalgalar ve işletme sırasında oluşan hatalar sonucu oluşan bozucu etkiler büyük çoğunlukla tüketici kaynaklıdır. Ayrıca, aşırı sıcaklık yükselmesi, istenmeyen titreşimler ve iletken bağlantılarındaki gevşeklikler gibi mekanik veya elektriksel hatalar sonucu da bozucu etkiler oluşmaktadır (Bayrak, 2008).

Kaliteli bir enerjinin sağlanabilmesi için; enerjinin sürekliliği, gerilim ve frekansın tolere edilebilir seviyelerde olması, güç faktörünün bire (1) yakınlığı, faz gerilimlerinin dengeli olması, gerilim ve akımdaki harmonik miktarının belirli değerlerde kalması gibi bir takım kriterlerin göz önüne alınması gereklidir. Avrupa Birliği tarafından yapılan araştırmalarda endüstriyel ve ticari alanda meydana gelen kaybın, her yıl milyonlarca Euro civarında olduğu tahmin edilmektedir. Bu duruma karşın kalite problemlerinin giderilmesine yönelik harcamalar bu sayının %5'i civarındadır.

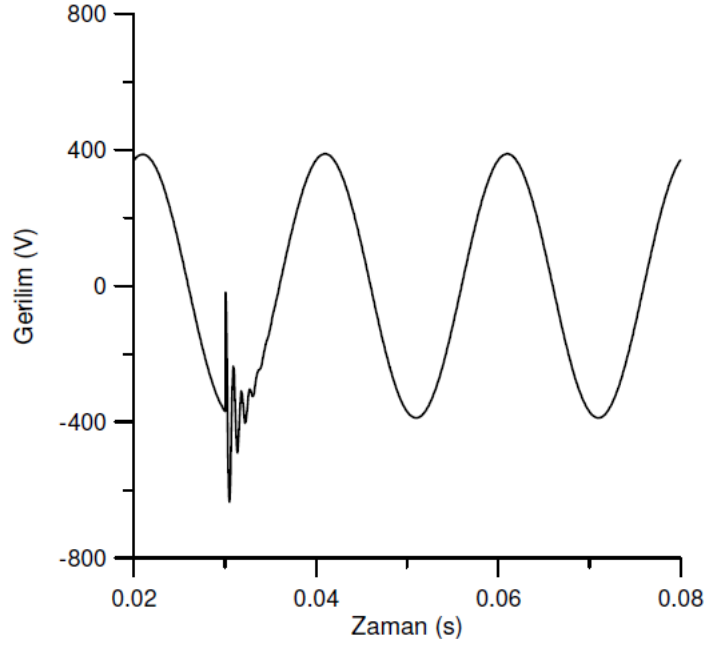
Elektrik enerji kalitesindeki düşüş, hem enerji ağını, hem de kullanıcıları olumsuz etkilemekte ve ekonomik kayıplar doğurmaktadır. Enerji kalitesi problemleri özellikle sanayi kuruluşlarını çok olumsuz yönde etkilemektedir (Kocatepe, 2006).

Elektrik enerjisinin, talep edilen ve istenilen her noktaya istenilen düzeyde iletilmesi için gözlemlenerek kontrol edilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. Enerjinin kalitesindeki bozukluklar üreticiyi de tüketiciyi de olumsuz yönde etkilemektedir. Üreticinin ihtiyaç duyulandan daha büyük ve daha çok salt malzemeler kullanmasına ve dolayısı ile yatırım maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Tüketicinin de üretimindeki kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. Elektrik enerjisinde toplam kalite önemlidir, dolayısı ile üretici ve tüketicinin her birine sorumluluklar düşmektedir.

4.2.3. Gerilim Dalgalanmaları

Bozucu etkiler genellikle şebeke gerilimindeki geçici dalgalanmalardan kaynaklanmakta ve cihazların yanlış çalışması veya tüketicilerin devre dışı kalmasına neden olmaktadır. Anahtarlama olayları ve atmosferik olaylar sonucu gerilimin yarı periyodunda görülen gerilim yükselmeleridir.

Şekil 4.2'de görüldüğü gibi bu tür bozucu etkiler genellikle şebeke veya tüketicideki kondansatörlerin devreye girmesi veya devreden çıkması sonucu oluşmaktadır.



Şekil 4.2: Şebeke geriliminde görülen gerilim dalgalanması örneği

4.2.4. Harmonikler

Günümüzde, elektrik enerji kalitesi problemlerinde en sık rastlanan problemlerden biri de harmoniklerdir. Elektrik enerji sisteminde akım, gerilim büyüklüklerinin dalga şekli sinüzoidal bir değişime sahip olmalıdır. Bunun için sistemin sinüzoidal kaynakla beslenmesi ve lineer yüklerle yüklenmesi gereklidir. Ancak, güç sistemine bağlanan ve sayıları gittikçe artan nonlineer yükler, sistemdeki akım ve gerilim büyüklüklerinin nonsinüzoidal olmasına neden olurlar. Nonlineer yüklerin güçleri düşük değerlerde olsa bile, yine de geriliminin dalga şeklini bozarlar. Enerji sistemlerinde çok sayıda düşük güçlü nonlineer yük bulunduğu düşünülürse, ek kayıpların, harmonik gerilimlerin ve bozulma değerlerinin yüksek değerlere ulaşması kaçınılmaz bir gerçektir (Kocatepe, 2006).

Harmonik bozulma, enerji sisteminde ve enerji sistemine bağlanan elemanlar üzerinde olumsuz etkiler meydana getirir. Teknik ve ekonomik pek çok etkisi olan harmoniklerin bu etkilerinin bilinmesi ve işletmelerde analizlerinin yapılması hem enerji kalitesi açısından hem de işletmenin sürekliliği açısından son derece önemlidir. Harmonikler; motorlar, generatörler, kondansatörler, transformatörler ve enerji iletim hatlarında ilave kayıplara neden olurlar. Bazı durumlarda da harmonikler, güç sistem elemanlarının zarar görmesine veya devre dışı kalmalarına yol açabilirler. Ayrıca harmonikler nedeniyle sistemde çeşitli frekansta akım ve gerilim bileşenleri bulunacağından, rezonans olayının meydana gelme olasılığı da artacaktır.

Rezonans sonucu oluşabilecek aşırı akım ve gerilimler, işletmedeki elemanlara büyük zararlar verecektir.

Gerilim ve akımın dalga şeklinin sinüzoidal formdan uzaklaşmasının yani bozulmanın derecesini Toplam Harmonik Distorsiyonu ile tanımlanır (Uzunoğlu, 2001).

Gerilim için Toplam Harmonik Distorsiyonu:

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \quad (4.1)$$

Akım için Toplam Harmonik Distorsiyonu:

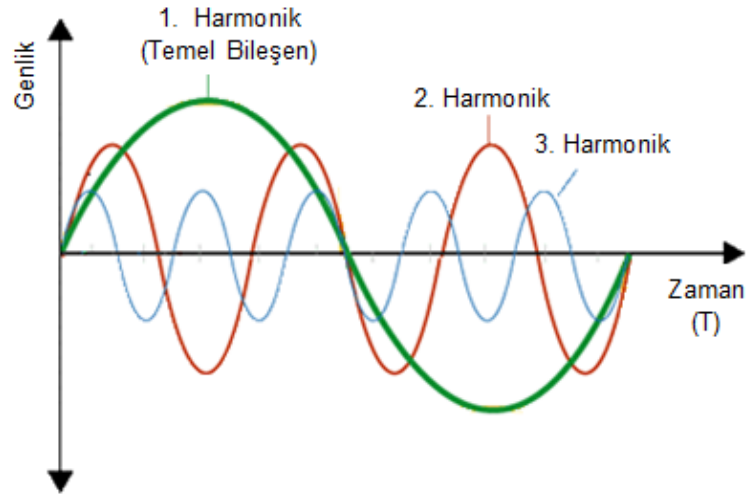
$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (4.2)$$

olarak ifade edilmektedir.

Bu formüllerde; V_n ve I_n harmonik bileşenleri, V_1 ve I_1 ise temel bileşeni ifade etmektedirler. Görüldüğü gibi THD, harmonik bileşenlerin efektif değerlerinin, temel bileşen efektif değerine oranıdır ve genellikle yüzde olarak ifade edilir. Bu değer, harmonikleri içeren periyodik dalga şeklinin, tam bir sinüs dalga seklinden sapmasını tespit için kullanılır. Sadece temel frekanstan oluşan tam bir sinüs dalga seklisi için THD sıfırdır.

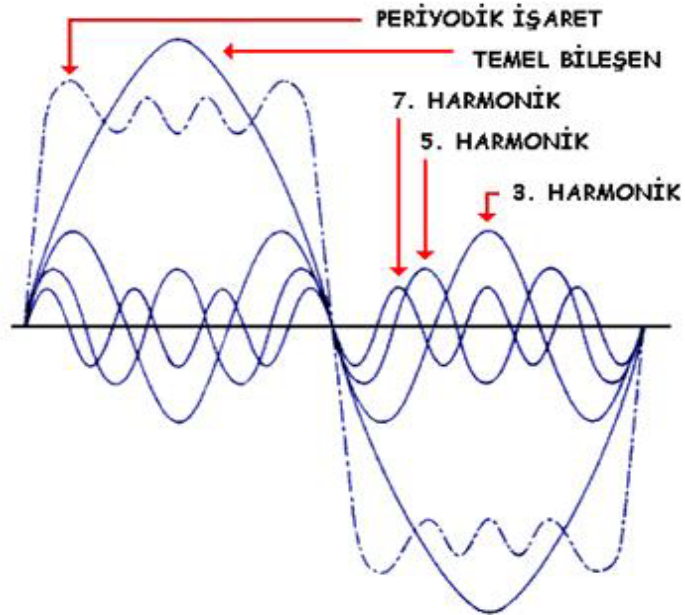
Harmonik bozulma, gerilim veya akımın sürekli durumda şebeke frekansının katları şeklinde şebeke frekansından daha büyük frekansta bileşenler içermesidir.

Şekil 4.3'de şebeke gerilimindeki harmonikler (1., 2. ve 3. Harmonikler) gösterilmektedir. Şekil 4.4'de ise 3., 5. ve 7.harmonik içeren şebeke geriliminin dalga şekli görülmektedir.



Şekil 4.3: Şebeke gerilimindeki harmonikler

Harmoniklerin neden olduğu problemlerin başlıcaları, güç kesicilerinin açıklanamayan nedenlerle açması, transformatör ve motorların aşırı ısınması, kontrol devrelerinin, bilgisayarların ve koruma rölelerinin hatalı çalışmasıdır.



Şekil 4.4: 3., 5. ve 7. Harmonik içeren gerilim dalgası

4.2.5. Arz Güvenliği

Türkiye'nin elektrik enerjisi talebinin önümüzdeki 20 yıllık projeksiyonu; yıllık ortalama %8 ve %6 artacak şekilde iki alternatif senaryo olarak hesaplanmıştır. Elektrik enerjisi üretilir üretilmez tüketilmesi gereken ve depolanamayan bir enerji çeşidi olup diğer enerji kaynaklarından farklılıklar göstermektedir. Mevcut teknolojilerle elektrik enerjisinin depolanması ve daha sonraki ihtiyaçları karşılamak amacıyla kullanılması mümkün değildir. Bu nedenle taleple üretimin birbirine en uygun şekilde senkronize edilmesi gerekmektedir. Elektrik enerjisi tüketimi değişken olup gün boyu daima aynı miktarda sabit kalmamaktadır. Elektrik enerjisi tüketimi bölgelere, aylara, günlere ve günün saatlerine göre değişkenlik göstermektedir. Tüketimde görülen dalgalanmalardan dolayı en yüksek anlık talebi karşılayabilecek seviyede kapasitenin her an kullanıma hazır bulundurulması gerekmektedir. Bunun için üretimde daima belirli bir yedek kapasite hazır bulundurulmalıdır. Bu nedenle elektrik enerjisi talebini belirli bir yedekle karşılayacak üretim sistemi kompozisyonunun ve zamanlamasının minimum maliyetle belirlenmesi için ülke enerji politikalarının yansıtıldığı üretim planlama çalışmalarının değişik senaryolarda yapılması ve sonuçlarının karar vericiler tarafından dikkate alınması arz güvenliği açısından çok önemlidir.

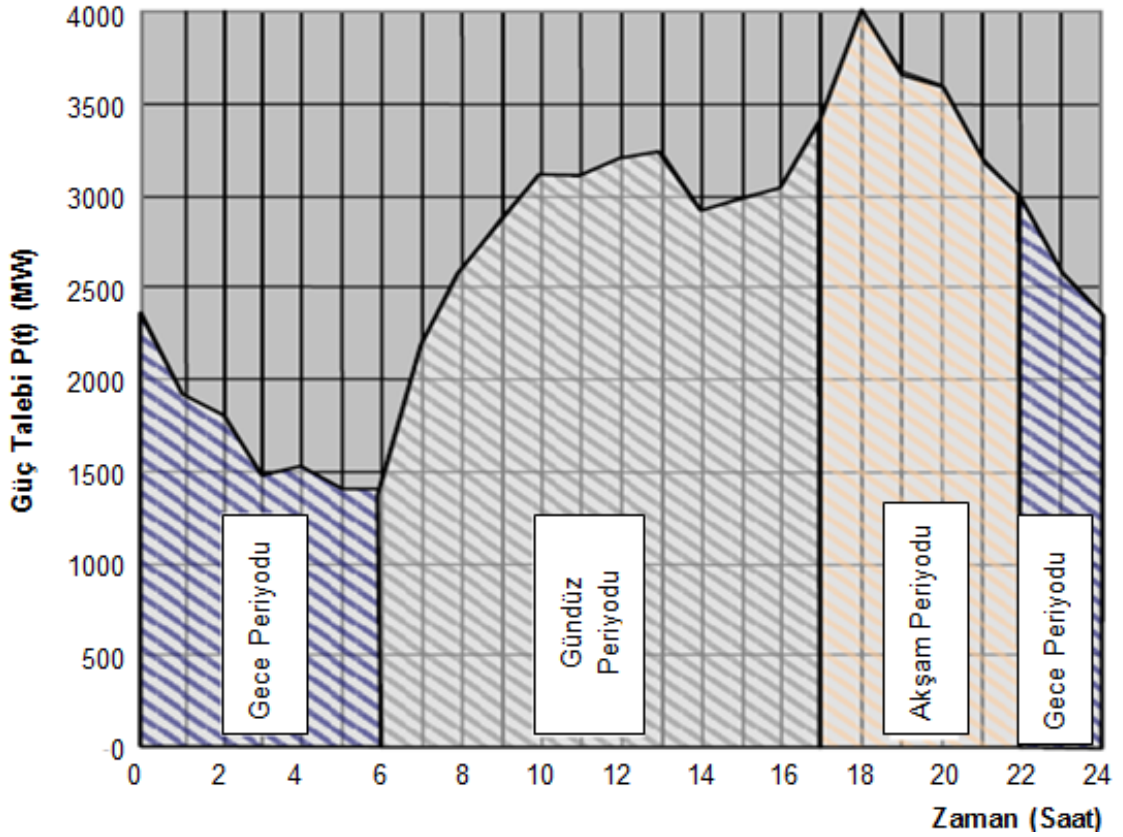
Elektrik sistemi planlaması, üretim, iletim ve dağıtım olarak bir bütünlük içerisinde ele alınmalı ve yakıt temini, elektrik üretim tesisleri, iletim tesisleri ve dağıtım tesisleri yatırımlarının eşgüdüm halinde gerçekleştirilmeleri gerekmektedir.

Hidrolik, rüzgâr üretimi gibi değişken (programlanamayan) üretim payının ağırlıklı olduğu üretim sistemlerinde arz güvenliğinin sağlanması üretim sistem yedeğinin artmasıyla mümkün olabilmektedir. Liberal piyasada arz güvenliğinin sağlanması açısından üretim veya arz planlama çalışmaları yapılmaktadır. Bu plan çalışması sonuçları dikkate alınarak lisansların verilmesi ve yatırım kararlarının alınması yine arz güvenliği açısından önemli bir husustur. Elektrik sektöründeki tüm belirsizlikler; gerek mevcut yani işletmede olan üretim tesislerinin gelecekteki durumlarında gerekse ileriye dönük talebin karşılanması için gerekli kapasite ilavesi için işletmeye girecek yeni üretim tesislerinin zamanlama ve kompozisyonlarındaki belirsizlikler arz güvenliğini olumsuz yönde etkileyebilecektir (TEİAŞ, 2012).

Uluslararası elektrik sistemleri bağlantısı önemli ekonomik ve teknik yararlarının ve rekabete dayalı ticari boyutunun yanında bir tür kaynak çeşitlendirmesi olup arz güvenliğinin artmasına katkı sağlayacak bir durum olarak düşünülmelidir. Uluslararası enterkoneksiyonlar, özellikle senkron paralel çalışabilenler, arz güvenliği açısından önemli olup ülkemiz bu konuda bölgedeki en güçlü ve güvenilir sistem olan ENTSO-E sistemine bağlanmak üzere gerekli adımları atmış ve önemli bir gelişme kaydetmiş bulunmaktadır.

4.2.6. Maksimum Yük Zamanı (Puant)

Elektrik yüklerinin temel bir özelliği talebin sabit olmayıp zamana göre değişken olmasıdır. Diğer bir ifadeyle, talep saate, güne, haftaya ve mevsimsel koşullara göre değişmektedir. Şekil 4.5.'de görüldüğü gibi, talep günün saatine göre büyük değişimler göstermektedir. Akşam periyodunda maksimum yük talep (Puant) edilmiştir.



Şekil 4.5: Bir yerleşim yerine ait ortalama günlük yük eğrisi

Bir ülkede puant yükün kontrolsüz olarak artması, o ülkenin puant yükünü karşılayabilmek için mali kaynaklarından önemli bir kısmını yılda 1500-2000 saat çalışarak elektrik üretimi yapacak santrallere ayırmasına neden olacağından, puant yük artışı kaçınılması gereken bir husustur. Sistem yük eğrilerini değiştirmek, diğer bir deyişle yük talebindeki puant değerlerini törpüleyip yük eğrisini yassılaştırmak için, talebin azaltılması veya talebin zamana bağlı olarak kaydırılması yollarına gidilebilir.

4.3. Türkiye Elektrik Sistemindeki Genel Durum

Türkiye 2012 sonu itibariyle 57.071,5 MW kurulu güce sahiptir. Toplamda 771 santral ile üretilen enerji 55.000 km'yi aşan iletim hattı ile enerji ihtiyacını karşılamaktadır. Türkiye, ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisinin %74'ünü termik kaynaklardan (doğalgaz, kömür vb. gibi fosil yakıtlar ile) sağlarken %26'lık kısmını ise hidrolik ve yenilenebilir enerji kaynaklarından (rüzgâr, güneş, jeotermal gibi) karşılamaktadır. Türkiye'de bulunan bütün elektrik üretim santralleri enterkonnekte sisteme bağlı olarak çalışmaktadır (TEİAŞ, 2012).

Türkiye'nin mevcut kurulu gücü yıllık ortalama enerji ihtiyacını karşılayabilmesine rağmen anlık enerji talebini (Puant) karşılamakta yetersiz kalabilmektedir. Bu durumda elektrik enerjisi ihtiyacını komşu ülkelerden ithalat yoluyla karşılamakta, ihtiyaç fazlası ürettiği elektriği de ihtiyaç duyan komşu ülkelere vermektedir. Mevcut elektrik üretim sistemi enerji talebini, geçmiş yıllardaki talepler ile ekonomik büyüme gibi faktörleri dikkate alarak tahmine dayalı olarak karşılamaya çalışmaktadır.

2002 – 2012 Yılları Türkiye Elektrik Sistemi Puant Güç ve Enerji Talebi:

Türkiye elektrik enerjisi brüt tüketimi (Türkiye brüt üretimi + dış alım–dış satım) 2011 yılında %9.4 artarak 230.3 Milyar kWh, 2012 yılında ise %5.1 artış ile 241.9 Milyar kWh olarak gerçekleşmiştir.

Türkiye enterkonnekte sistemi yıllar itibariyle ani puant talebi ve enerji gelişimi Tablo 4.2'de verilmektedir. 2010 yılında puant talep 33392 MW, Minimum Yük 13513 MW olarak gerçekleşmiştir. Minimum yükün maksimum yüke oranı %40.5 olmuştur. 2011 yılında puant talep 36122 MW, Minimum Yük 14822 MW olarak gerçekleşmiştir. 2011 yılında minimum yükün maksimum yüke oranı %41 olmuştur. 2012 yılında ise puant talep 39045 MW, Minimum Yük 19239 MW olarak gerçekleşmiştir. 2012 yılında minimum yükün maksimum yüke oranı %49 olmuştur. Bu oranlarla yük eğrisinin 2012 yılında düzleştiğini görmekteyiz. Bu eğrinin düzleşmesinde Türkiye'de üç zamanlı tarife kullanımının artış göstermesi önemli bir etkidir.

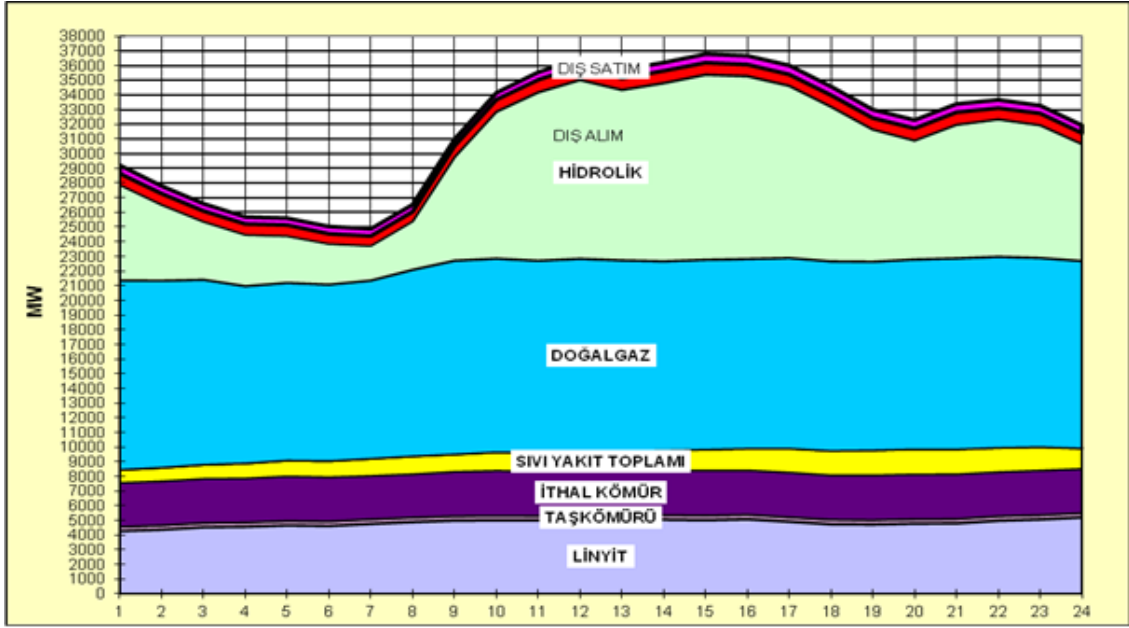
Çizelge 4.2'de 2002 ile 2012 yılları arasında Türkiye'nin elektrik sistemi puant güç ve enerji talebi görülebilmektedir.

Çizelge 4.2: 2002 – 2012 Yılları Türkiye Elektrik Sistemi Puant Güç ve Enerji Talebi

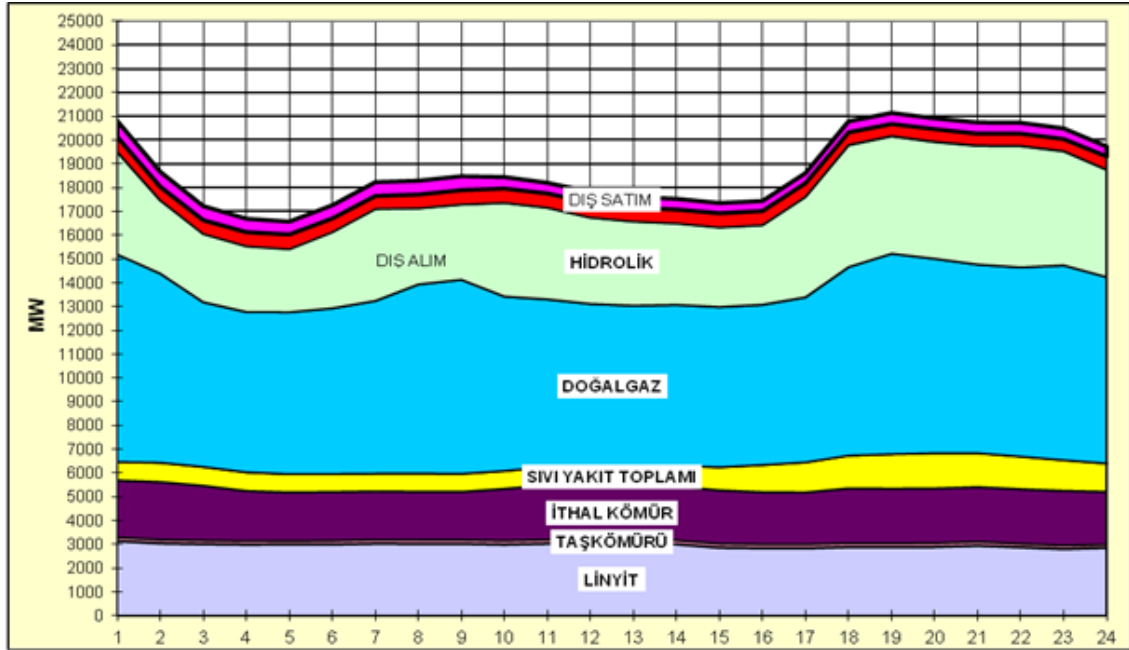
YILLAR	PUANT GÜÇ TALEBİ (MW)	ARTIŞ (%)	ENERJİ TALEBİ (GWh)	ARTIŞ (%)
2002	21006	7,1	132553	4,5
2003	21729	3,4	141151	6,5
2004	23485	8,1	150018	6,3
2005	25174	7,2	160794	7,2
2006	27594	9,6	174637	8,6
2007	29249	6,0	190000	8,8
2008	30517	4,3	198085	4,3
2009	29870	-2,1	194079	-2,0
2010	33392	11,8	210434	8,4
2011	36122	8,2	230306	9,4
2012	39045	8,1	241974	5,1

2011 Yılı Elektrik Enerjisi Tüketiminin Günlük İncelemeleri

2011 yılında elektrik enerjisi talebinin maksimum ve minimum olduğu günlerin yük eğrisi Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de verilmektedir.

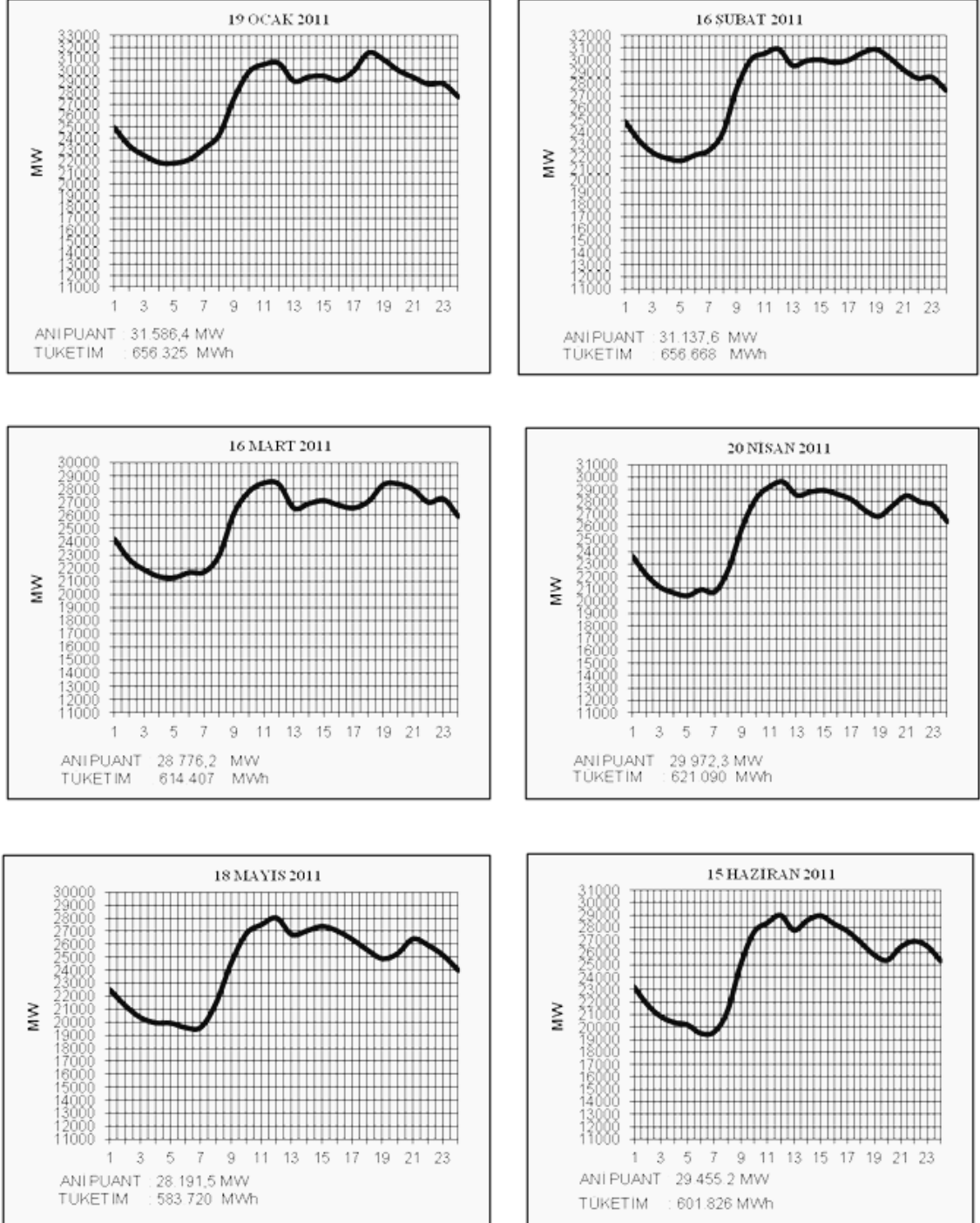


Şekil 4.6: 2011 yılı elektrik enerjisi tüketiminin maksimum olduğu günde (28 Temmuz 2011) santrallerin enerji kaynağı türlerine göre çalışma durumları

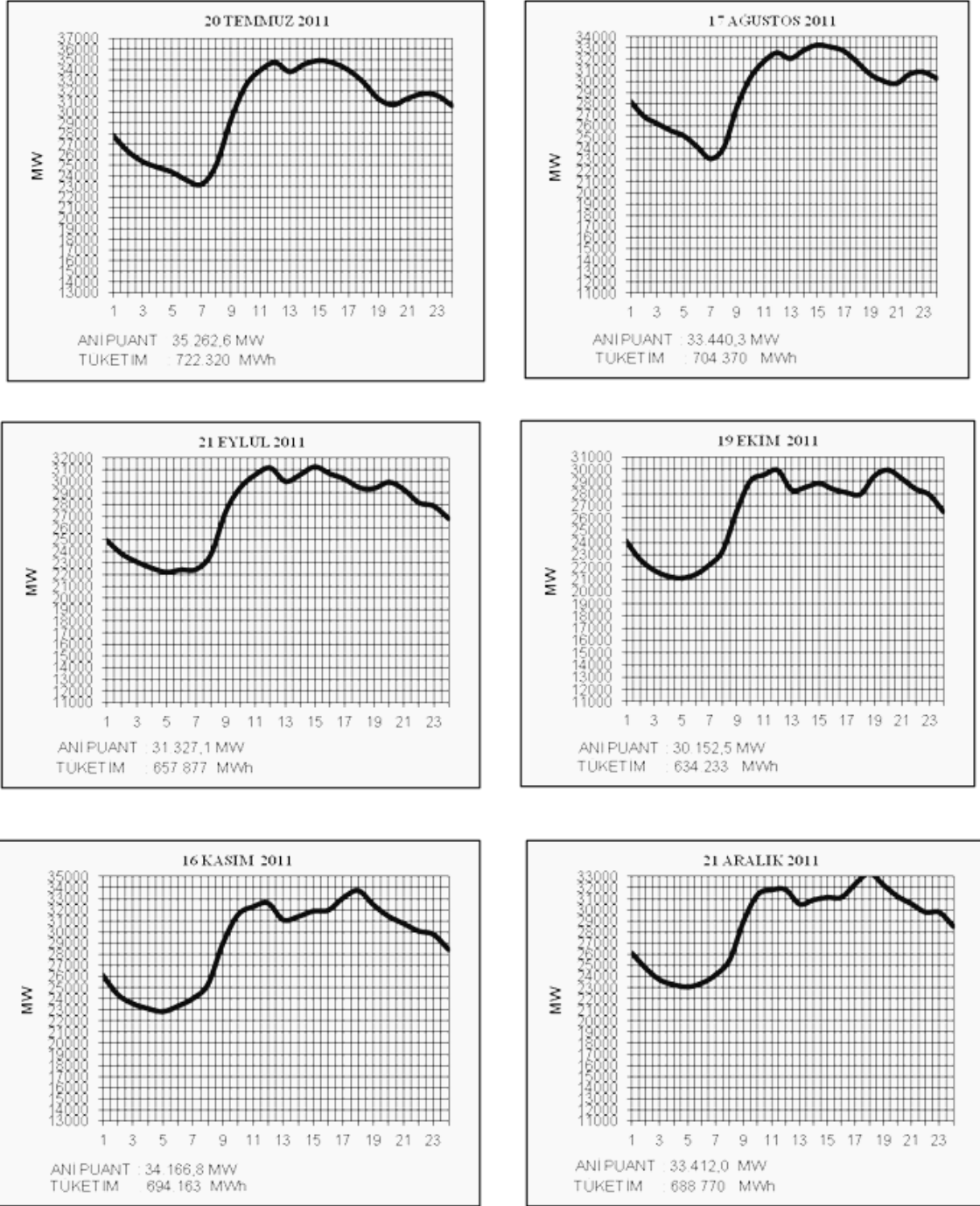


Şekil 4.7: 2011 yılı elektrik enerjisi tüketiminin minimum olduğu günde (6 Kasım 2011) santrallerin enerji kaynağı türlerine göre çalışma durumları

2011 yılında her ayın 3. Çarşamba gününe ait elektrik enerjisi talebinin yük eğrileri Şekil 4.8'de verilmektedir.



Şekil 4.8: 2011 yılında her ayın üçüncü Çarşamba günlerinin saatlik yük grafiği

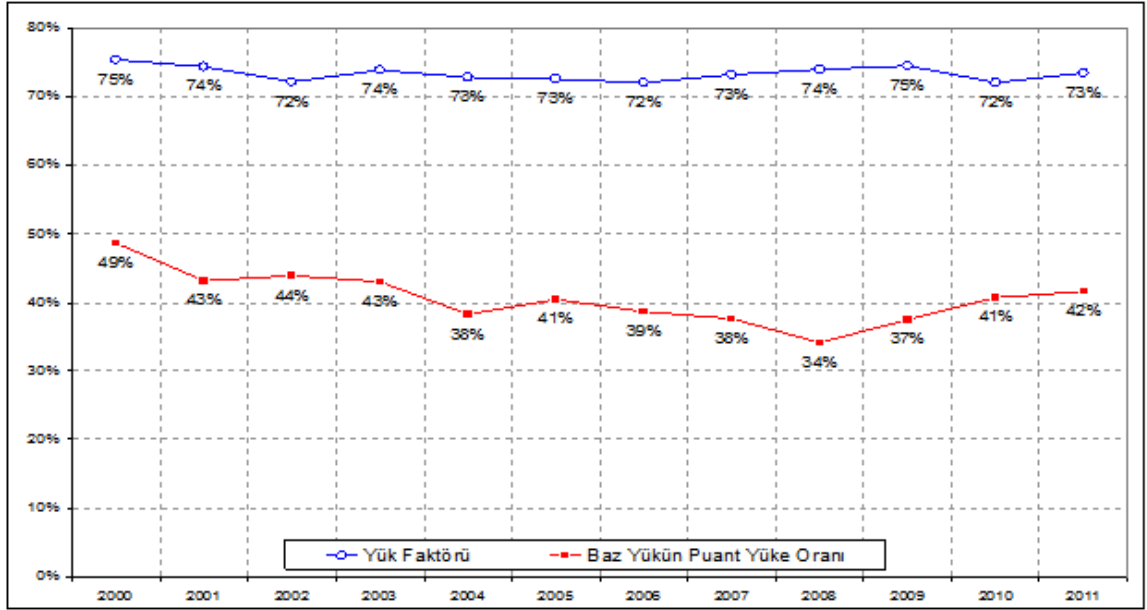


Şekil 4.8: 2011 yılında her ayın üçüncü Çarşamba günlerinin saatlik yük grafiği (Devamı)

Şekil 4.8'den de görüldüğü gibi yük talebi yaz aylarında gündüz daha fazla iken kış aylarında akşam saatlerinde artmaktadır. Her mevsimde minimum tüketim gece saatlerinde görülmektedir.

Tertiplenmiş Yük - Zaman Eğrisi

Elektrik tüketiminin yıllık karakteristiğinin incelenbilmesi ve yıllara göre bu karakteristiğin değişiminin izlenebilmesi için yıl içindeki tüm saatlik tüketim değerlerini temsil eden Tertiplenmiş Yük Eğrisi önemli bir göstergedir. Tertiplenmiş Yük Eğrisi çizildiğinde eğrinin altında kalan alan, yıl içinde kullanılan elektrik enerjisinin puant yük seviyesinin tüm yıl boyunca oluşturacağı alana oranını göstermektedir. Bu oran Yük Faktörü olarak adlandırılmaktadır. Sistem Yük Faktörünün mümkün olduğunca yüksek olması elektriğin verimli olarak kullanıldığı anlamına gelmektedir. Elektrik enerjisi kullanımında verimliliğin artması ile Yük Faktörü büyüyecektir. Yük faktörünün büyüklüğü yanı sıra Baz Yük değerinin Puant Yük değerine oranı da verimli kullanım açısından önemli bir göstergedir. Bu oranın yüksek olması, daha da önemlisi yıl geçtikçe artması elektrik enerjisinin kullanılmasındaki verimlilik artışı için oldukça önemlidir. Puant Yük değeri düşürülürken Baz Yük değerinin artırılması, Puant Yük dönemlerindeki tüketimin minimum tüketim dönemlerine kaydırılması ile Sistem Yük Faktörü yükselmiş ve elektrik enerjisi tüketiminde verimlilik artmış olacaktır. Aşağıda Şekil 4.9'da Sistem Yük Faktörünün ve Baz Yükün Puant Yüke Oranının yıllara göre gelişimi gösterilmiştir.



Şekil 4.9: Türkiye Elektrik Sisteminde Yük Faktörü ve Baz Yükün Puant Yüke Oranının Yıllara Göre Değişimi

Şekilden de açıkça görüleceği üzere Türkiye elektrik sisteminde Yük Faktörü 2000 yılından 2011 yılına kadar olan dönemde %72 ile %75 arasında değişmektedir. Yıllara göre Yük Faktöründeki değişimin büyük olması beklenemez ise de her yıl daha iyiye gitmesi veya en

azından bir önceki yılın seviyesini koruması elektrik enerjisinin verimli kullanılmasının bir göstergesi olması açısından önemlidir.

Baz Yükün Puant Yüke oranı 2000 yılındaki %49 değerinden 2004 yılında %38 seviyesine gerilemiş iken 2005 yılında %41 seviyesine yükselmiş daha sonra 2008 yılına kadar %34 seviyesine düşmüştür. 2009 yılından itibaren artış eğilimi göstererek 2011 yılında %42 seviyesine yükselmiştir. 2012 yılında ise %49 seviyesine çıkarak büyük bir artış göstermiştir.

Yük Faktörü ile Baz Yükün Puant Yüke oranındaki düşüş elektrik enerjisi tüketiminde verimliliğin azaldığını, artış ise verimliliğin arttığını göstermektedir (TEİAŞ, 2012).

5. ELEKTRİK ENERJİ SİSTEMLERİNDE ESNEK GÜÇ YÖNETİMİ

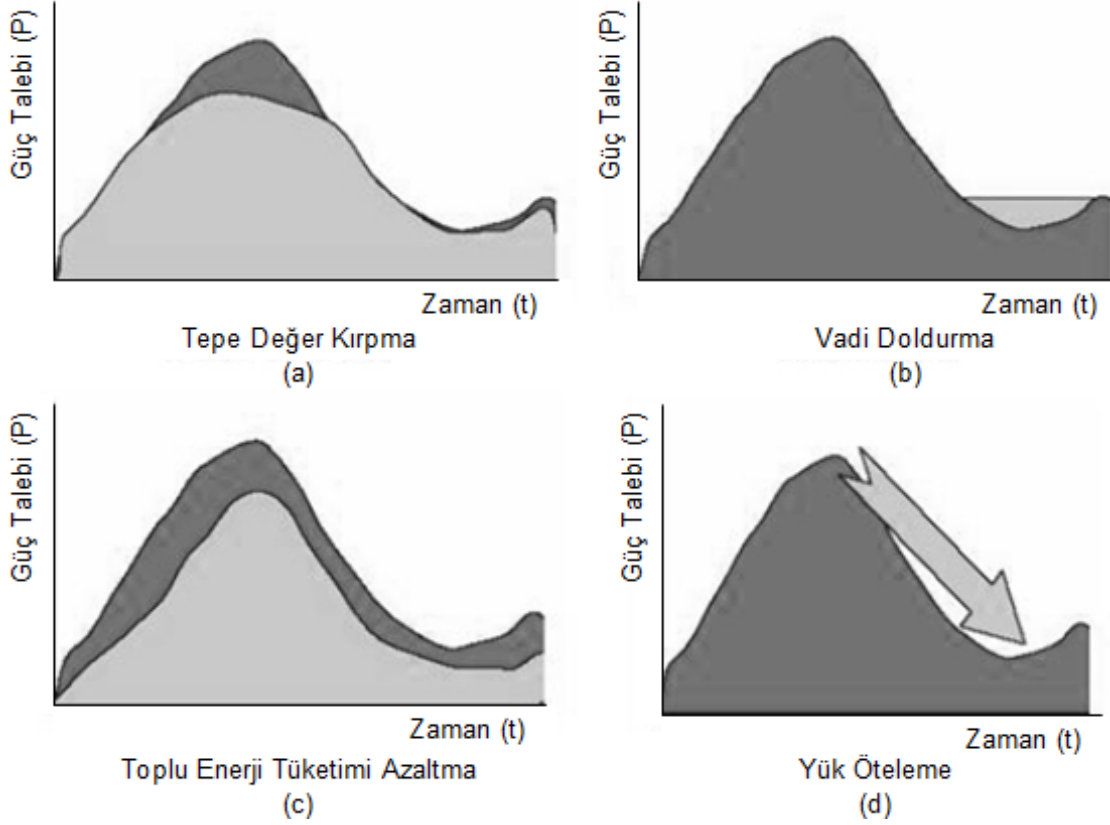
Türkiye’de 1999 yılına kadar tek zamanlı elektrik tarifesi kullanılmaktaydı. Tek zamanlı tarife elektrik tedarikçilerine bir takım zorluklar çıkarmıştır. Bu sorunların en başında gün içerisinde yük talebinin çok büyük değişimler göstermesi olmuştur. Talepteki bu değişimler üretim santrallerinin çok fazla devreye alma-çıkma anahtarlamaları yapılmasına ve dolayısıyla ani ve istenmeyen gerilim dalgalanmalarına sebep olmuştur. Ayrıca maliyet açısından da büyük kayıplar meydana gelmiştir. Bu sorunu çözmek üzere üç zamanlı elektrik tarifesine geçilerek elektrik kullanım oranları ile ters orantılı fiyatlandırmaya gidilmiştir. Üç zamanlı tarifeye geçilmesi için tüketiciler teşvik edilmiştir.

5.1. Uygulama ile Hedeflenenler

Günümüzde kullanılan üç zamanlı tarife veya ileride kullanılması düşünülen çok zamanlı-gerçek zamanlı tarife sistemlerine uygun akıllı uygulamalar geliştirilerek, tüketicilerin de etkin bir şekilde katılımını sağlayarak dengesiz olan yük talep eğrisinin düzeltilmesi mümkün olacaktır.

Bilindiği üzere yük eğrisinin tepe değerinin mümkün olduğunca azaltılması istenir. Bazı elektrik üretim santralleri sadece puant zamanlarda devreye alınmaktadır. Dolayısıyla daha kararlı bir yük eğrisine sahip bir bölgeye enerji temin etmek için daha az kurulu güç yeterli olabilmektedir. Böylece normalden fazla, atıl durumda kalan puant kurulu güç kapasitesi azalacak ve tasarruf sağlanacaktır. Bu bağlamda, yük eğrisi üzerindeki tüm çalışmalar, bu eğrinin tepe değerini minimize etmeye yöneliktir. Tepe değerini minimize etmenin çeşitli yöntemleri mevcuttur. Bu yöntemleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- Tepe Değer Kırpma
- Toplu Enerji Tüketiminin Azaltılması
- Vadi Doldurma
- Yük Öteleme



Şekil 5.1: Günlük yük eğrilerinin kararlılığı üzerine yapılan çalışmalar

Yukarıda yer alan kararlılık çalışması tiplerinden hangisinin kullanılacağına seçimi yapılmalıdır. Bu seçim, sanayi, mesken, tarım ve ticarethane gibi hedef kitlelerine uygun ve enerji kullanım gerekliliğine göre yapılmalıdır. Yük öteleme stratejisi; yük eğrisinin tepe değer yaptığı periyot içerisinde, bu tepe değerinin mümkün olduğunca aşağıya çekilerek yükün daha düşük olan talep zamanına kaydırılmasını hedefler. Vadi doldurma ise puantın azaltılmadığı durumlarda bazı yüklerin en az güç talebi olduğu zamana kaydırılması yöntemidir. Toplu enerji tüketimini azaltma; tüm tüketicilerin daha verimli elektrikli aletler kullanması teşvik edilerek zamanın her anındaki güç talebinin azaltılmasıdır. Son olarak tepe değer kırpma yöntemi ise puant zamanında önceden belirlenmiş bazı yüklere enerji verilmemesi yoluyla yapılmaktadır. Aslında, bahsi geçen tüm yöntemler aynı amaca hizmet ederler. Tepe değer kırpma, vadi doldurma, toplu enerji tüketiminin azaltılması ve yük öteleme, ilgili bölgenin sahip olduğu yük dağılım eğrisinin tepe noktası değerini olabildiğince aşağıya çekmek ve yük eğrisini olabildiğince kararlı hale getirebilmeyi hedefler (Onar, 2008).

Talep eğrisinin yassılaştırılmasıyla, yeni yatırım yapma zorunlulukları azaltılmış olmaktadır. Çok zamanlı tarife, sistem yük eğrisinde yatırım maliyetini artıran günlük puant

talebini yataylaştırmayı hedefleyen bir uygulamadır. Günlük elektrik talebinin puant zaman dilimlerinde elektriğin daha pahalı satılması olarak uygulanan ve böylece söz konusu saatlerde daha az elektrik kullanılmasını teşvik eden bu sistemde şimdilik üç zamanlı bir tarife kullanılmaktadır. Talep yönetiminin en önemli ayaklarından biri olan çok zamanlı tarife uygulamasının, Türkiye’de elektrik sektöründeki serbestleşmeye paralel olarak yaygınlaşacağı düşünülmektedir. Piyasa fiyatlarında meydana gelen/gelebilecek değişikliğe tüketim tarafı da karşılık verebilmelidir. Bu tepkiyi;

- Talep Azaltma (Yük atma),
- Yük Kaydırma (Örneğin, Puant 'tan Gece'ye),
- Kaynak Değiştirme (Alternatif yakıt ve/veya kendi üretimi)

şeklinde verebilir.

Talep tarafının gerçek zamanlı piyasa fiyatını belirlemede aktif rol oynaması kısa ve uzun vadeli piyasa etkileri yaratmaktadır. Kısa vadede, özellikle puant saatlerin fiyatını düşürdüğünden talep tarafının gerçek zamanlı piyasa fiyatının belirlenmesinde aktif rol oynaması, puant fiyatların düşmesine ve genel anlamda üreticiden tüketiciye gelir transferinin gerçekleşmesini sağlar. Bir başka deyişle, üretimde ekonomik verimlilik artmadan daha düşük fiyata aynı hizmetin sunulması sağlanır. Dolayısıyla, puant yük için fazladan yeni arz yatırımını erteler. Orta ve uzun vadede ise elektrik enerji fiyatı ve puant fiyatının düşmesini sağlar. Piyasanın yeni kapasiteye ihtiyaç duyduğu sinyal, daha düşük puantta ancak bu puantın daha fazla saate yayılması suretiyle verilmektedir (Karamanlı, 2007).

5.2. Tüketicilerin Şebeke Sisteminde Aktif Rol Almaları

Tüketimde talep planlamasının yapılması kayıpları azaltmada etkili bir yoldur. Türkiye’de elektrik enerji tüketiminin net dağılımına bakıldığında en büyük pay sahiplerinin sanayi ve meskenler olduğu görülmektedir. Bu durum enerji tüketiminde verimsizliği beraberinde getirmektedir. Çünkü ülkemizde puant yük, kış aylarında özellikle akşam saatlerinde yoğunlaşmakta, yaz aylarında ise gündüz enerji tüketiminde artış olduğu görülmektedir. Bir ülkede puant yükün kontrolsüz olarak artması veya azalması o ülkenin enerji kaynaklarını puant yükü karşılamak amacıyla, yılda az da olsa santrallerin bazılarını bu iş için kullanmalarına sebep olmaktadır. Bu nedenle talep yönetimi kontrol mekanizmasına gelişmiş ülkeler büyük önem vermekte ve uygulanması için çeşitli primler sunarken Türkiye’de bu soruna çözüm aranmakta fakat işletme bakımından kurulu gücü arttırma çabasına girilmektedir. Bunun yerine ülkemizde talep yönetiminin gelişmesini özendirerek abonelerin enerji kullanımlarının en düşük olduğu saatler göz önüne alınıp bu aşamada talebin bu saatlere kaymasını sağlamak gerekir.

Ülkemizde gelişen teknolojiler ışığında elektronik sayaçlarında devreye girmesi ile bu tip konular da çalışmalar yapılmaya başlanmış ve puant tarife uygulamasına geçilerek enerjinin

farklı saatlerde farklı fatura edilmesinin yolu açılmıştır. Ülkemizde uygulanan üç zamanlı elektrik tarifelerine ait zaman dilimleri aşağıda verilmiştir.

- Puant tarifesi : 17:00 – 22:00
- Gece tarifesi : 22:00 – 06:00
- Gündüz tarifesi : 06:00 – 17:00

Puant zamanındaki yük taleplerinin azaltılması sonucu puant yük diliminde talebin düşmesine neden olacak, böylece puant yükü karşılamak için hazırda bekletilen santraller devreye alınmayarak hem çevresel hem de ekonomik açıdan birçok yararlar sağlanacaktır.

Elektrikli ev aletleri günümüzün vazgeçilmez araçları haline gelmişlerdir. Hayat standartları yükseldikçe bu araçların kullanımları yaygınlaşmakta, dolayısıyla bu araçların elektrik tüketimdeki payları %60 – 65'ler mertebesine kadar ulaşmaktadır (DPT, 2001).

Ülkemizde elektrik tüketim alışkanlıkları bölgelere göre farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle her bölgenin tüketici elektrik kullanım alışkanlıklarının iyi belirlenmesi önemlidir. Hayata geçirilmesi düşünülen çok zamanlı tarifelerin her bölgenin tüketim alışkanlıklarına uygun şekilde fiyatlandırma yapılması sistemin kararlılığı açısından büyük önem taşımaktadır. Örneğin; sanayi kuruluşlarının çok olduğu yerlerdeki tüketim profilleri genellikle gündüz saatlerde gerçekleşirken, sanayi kuruluşlarının olmadığı daha çok mesken olarak kullanılan bölgelerde akşam saatlerinde yük talebi daha fazla olmaktadır. Bu örnekten de anlaşılacağı üzere tüketicilerin kullanım alışkanlıkları yük talep eğrisini oluşturmaktadır. Tüketicilerin taleplerini daha dengeli bir hale getirmek için çok zamanlı tarife sisteminde özendirici fiyatlandırmalar yapılmalıdır. Bu sayede hem tüketici daha az elektrik faturası ödemiş olacak hem de elektrik tedarikçisi daha dengeli bir yük talebi ile sistemde ani yük değişimlerinin olumsuzluklarına maruz kalmayacaktır.

5.3. Akıllı Uygulamaların Yaygınlaştırılarak Tüketici Davranışlarının Yönlendirilmesi

Elektrik üretim, iletim ve dağıtım sisteminin işletilmesi yıllık, aylık ve günlük tahminlerle yürütülmektedir. Günlük tahminlerde bir önceki günün puantı göz önüne alınarak ertesi günün puant tahmini meteorolojik durum ve haftanın günü de dikkate alınarak yapılmaktadır. Ani durum olaylarında ise elektrik enerjisi ithal edilerek talep karşılanmaktadır. Bu durum, tahminlerin ne derece sağlıklı olduğunu düşündürmekte ve farklı arayışlara yönlendirmektedir. Son zamanlarda gündeme gelen akıllı şebekeler bu sorunun çözümünde önemli bir adım olarak görülmektedir. Akıllı şebekeler sayesinde tüketiciler ile elektrik tedarikçileri arasında gerçek zamanlı iletişim ile veri alışverişi yapılarak anlık talep izlenebilecektir. Böylece sistem yük dengesinin korunması daha kolay ve etkin bir şekilde sağlanabilecektir. Tüketiciler elektrik tedarikçilerinden gelen fiyat sinyallerine göre çeşitli akıllı uygulamalar geliştirilerek tüketimlerini ayarlayabilecek ve ne kadar tasarruf yaptığını görebileceklerdir. Tüketicilerin elektrik enerjisini verimli kullanması için yardımcı veya hatırlatıcı uyarılara (uygulamalara) ihtiyaç vardır.

Geliştirilecek tarife sistemine tüketicilerin katılımı ve yönlendirilmesi başarıya ulaşmak için en önemli etkidir. Bu yüzden akıllı uygulamalar ile tüketiciler yönlendirilmelidirler. Kullanıcıların bütün elektrikli cihazlarını çeşitli uygulamalar sayesinde kontrol edebilecek ve bununla birlikte anlık olarak ihtiyaç duyulmayan işlerini daha ekonomik olan saatlerde karşılanması için programlayabilecektir. Bu sayede dağıtıcı firmalar kullanıcı taleplerine en uygun gerçek zamanlı tarifeler hazırlayarak enerjinin daha verimli kullanılmasını teşvik edebilecektir. Böylece gerçek zamanlı olarak yük talebi dengelenebilecektir (Energinet, 2013).

5.4. Uygulama Çalışması

Bu çalışmanın, deneysel kısmı olarak, üç zamanlı tarife ve gelecekte öngörülen çok zamanlı–gerçek zamanlı tarife sistemlerine uygun olarak tüketici tarafından yönlendirilen bir esnek güç yönetim sistemi uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, günümüzde neredeyse tüm evlerde bulunan ve kullanma sıklığına bağlı olarak enerji sarfiyatı da yoğun olan çamaşır ve bulaşık makineleri için gerekli enerji talebinin puant zaman dilimindeki (17:⁰⁰-22:⁰⁰) kontrolü örnek bir uygulama olarak yapılmıştır. Burada örneği verilen çamaşır ve bulaşık makinesi uygulaması dışında sistem, çalışma zaman dilimi otomatik olarak kaydırılabilecek yükler için de uygulanabilir.

Bu tez çalışmasında, tüketicilerin isteği dahilinde enerji maliyetlerinin düşürülmesi ile özendirilmiş ve yük öteleme yöntemi kullanılarak puant dilimindeki yükün ötelenmesi sağlanmıştır. Tüketiciler gündüz daha çok işyerlerinde oldukları için evdeki ihtiyaçlarını daha çok akşam saatlerinde gidermektedirler. Bu kapsamda çamaşır ve bulaşık makinesi yüklerinin ötelenmesi ile hem tüketicinin elektrik faturasında tasarruf sağlanacak hem de elektrik tedarikçileri açısından puantın azaltılarak daha kararlı ve dengeli bir yük talebi karşılanabilecektir. Çamaşır ve bulaşık makinesi örneği, ötelenebilecek en uygun yükler olması nedeniyle seçilmiştir. Ayrıca bir evin günlük ortalama yük talebi içerisinde önemli bir paya sahiptirler. Çizelge 5.1’de bir evin aylık ortalama enerji tüketimi her bir elektrikli ev aleti için yaklaşık olarak hesaplanmıştır (Siemens ve Bosch, 2012). Bu tabloya göre çamaşır ve bulaşık makinesinin toplam tüketime oranı yaklaşık %36 olarak hesaplanmıştır. Buradan da yük öteleme için iyi bir seçim yapılmış olduğu görülmektedir.

Bir elektrikli ev aletinin enerji kullanımının tahmin edilmesi için kullanılan formül:

$$(\text{Güç} \times \text{Günlük Kullanım Saati} \times \text{Aylık Kullanım Günü}) \div 1000 = \text{Aylık elektrik tüketimi (kWh)} \quad (5.1)$$

Yukarıdaki denkleme göre, aylık kullanım gün sayısı ile çarpılarak aylık ve yıllık elektrik tüketimi hesaplanmıştır.

Elektrikli ev aletleri ve ortalama aylık enerji tüketimleri Çizelge 5.1’de ve EPDK tarafından belirlenen 01.04.2013 tarihinden itibaren geçerli olan mesken için elektrik tüketim tarifeleri ise Çizelge 5.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 5.1: Elektrikli ev aletleri ve ortalama aylık enerji tüketimleri (Energy.gov, 2013)

Elektrikli Ev Aletleri (A Sınıfı)	Gücü (Watt)	Ortalama Aylık Kullanım Saati (Saat)	Ortalama Aylık Enerji Tüketimi (kWh)
Buzdolabı	70	15*30	31,5
Çamaşır Makinesi	1500	2,5*10	37,5
Bulaşık Makinesi	1200	2*15	36
Fırın	2000	1*8	16
Su Isıtıcısı	2000	0,2*20	8
LCD Televizyon	100	5*30	15
Klima	1000	2*8	16
Ütü	2000	1*5	10
Süpürge	2000	0,5*5	5
Bilgisayar	90	4*30	10,8
Aydınlatma (Toplam)	200	2*30	12
Kombi	150	1*30	4,5
Toplam	12120		202,3

Çizelge 5.2: EPDK tarafından belirlenen 01.04.2013 tarihinden itibaren geçerli olan mesken için elektrik tüketim tarifeleri

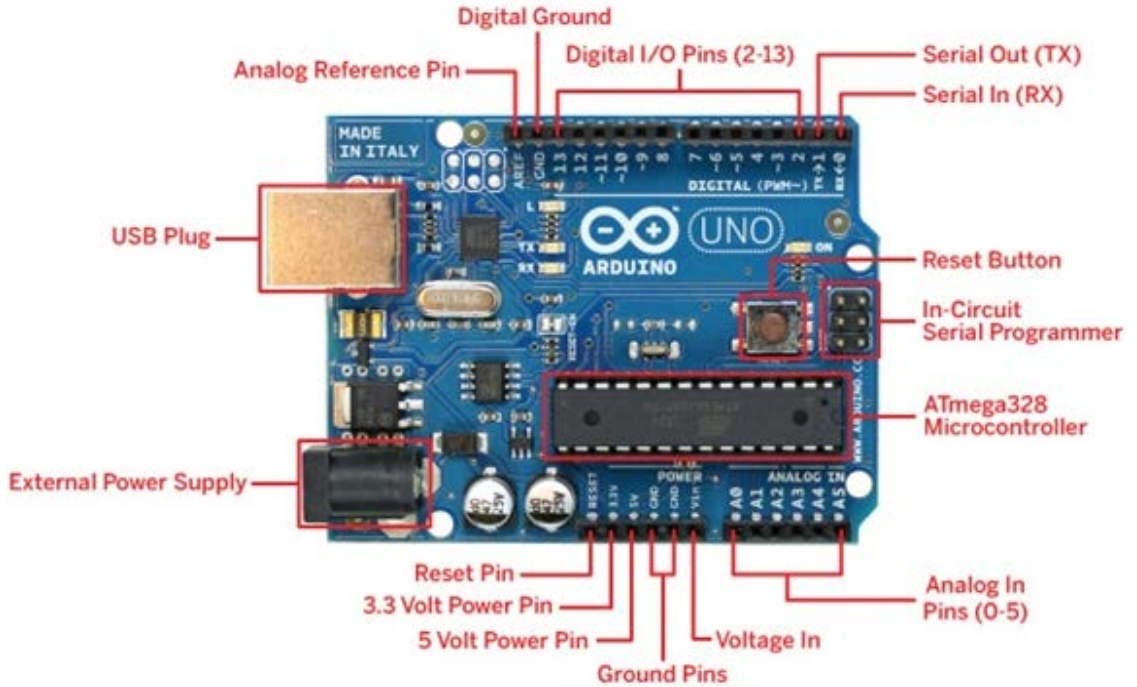
Elektrik Tüketim Tarifeleri (Kr/kWh)			
Tek Zamanlı	Gündüz	Puant	Gece
28,39	26,73	42,07	15,67

Çamaşır ve bulaşık makineleri üzerine entegre edilecek mikro denetleyici tabanlı bir uygulama ile günümüz teknolojisinde hızlıca kullanılmaya başlanan Android işletim sistemi üzerinden haberleştirilmiştir. Buna göre puant zaman dilimine denk gelen saatler arasında çamaşır/bulaşık makinesinin çalıştırılmak istenmesi durumunda makine üzerindeki dijital ekran üzerinden kullanıcıya “pahalı enerji tarife diliminde” olduğuna dair uyarı mesajı vermektedir. Bunun yerine daha ekonomik bir zaman dilimi olan gece veya gündüz zaman diliminde makinenin otomatik olarak çalıştırılmasını önermektedir. Denetleyici, kullanıcının onaylaması

durumunda çamaşır/bulaşık makinesinin otomatik olarak puant zaman dilimi bitiminde veya gündüz zaman dilimi içerisinde devreye alarak yıkama işlemini başlatmaktadır. Yıkama işlemi tamamlandığında ise kullanıcıya bluetooth haberleşme teknolojisi ile bilgi mesajı iletmektedir. Bu bilgi mesajında, yapmış olduğu tercih ile elektrik faturasında ne kadar tasarruf yaptığını görebilecektir.

Uygulama Çalışması İçin Kullanılan Geliştirme Kiti:

Arduino Uno Atmega-328 mikrokontrolör tabanlı bir board'tur. 14 digital giriş-çıkış ve 6 analog giriş pinine sahip olan bu boardda 16 Mhz kristal osilatör, Usb bağlantısı ve güç girişi mevcuttur. Bu sayede kolayca bir bilgisayar bağlanabileceği gibi bir güç kaynağına ya da bataryaya bağlanabilir. Arduino, Programlama/Geliştirme dilini kullanarak çevre elemanları ile temel giriş çıkış uygulamalarını gerçekleştiren açık kaynaklı fiziksel programlama platformudur. Arduino ile bağımsız olarak interaktif uygulamalar gerçekleştirilebilir. Aynı zamanda Arduino'yu bilgisayar ile Flash, Processing, MaxMSP, C Sharp gibi bir çok yazılım üzerinden ya da kendi yazdığımız yazılımlarla haberleştirerek de kullanabiliriz. Açık kaynaklı arayüz yazılımı internet sitesinden Windows, Mac OS X ve Linux platformları için indirilebilmektedir. Şekil 5.2'de Arduino Uno'nun bir örneği görülebilmektedir.

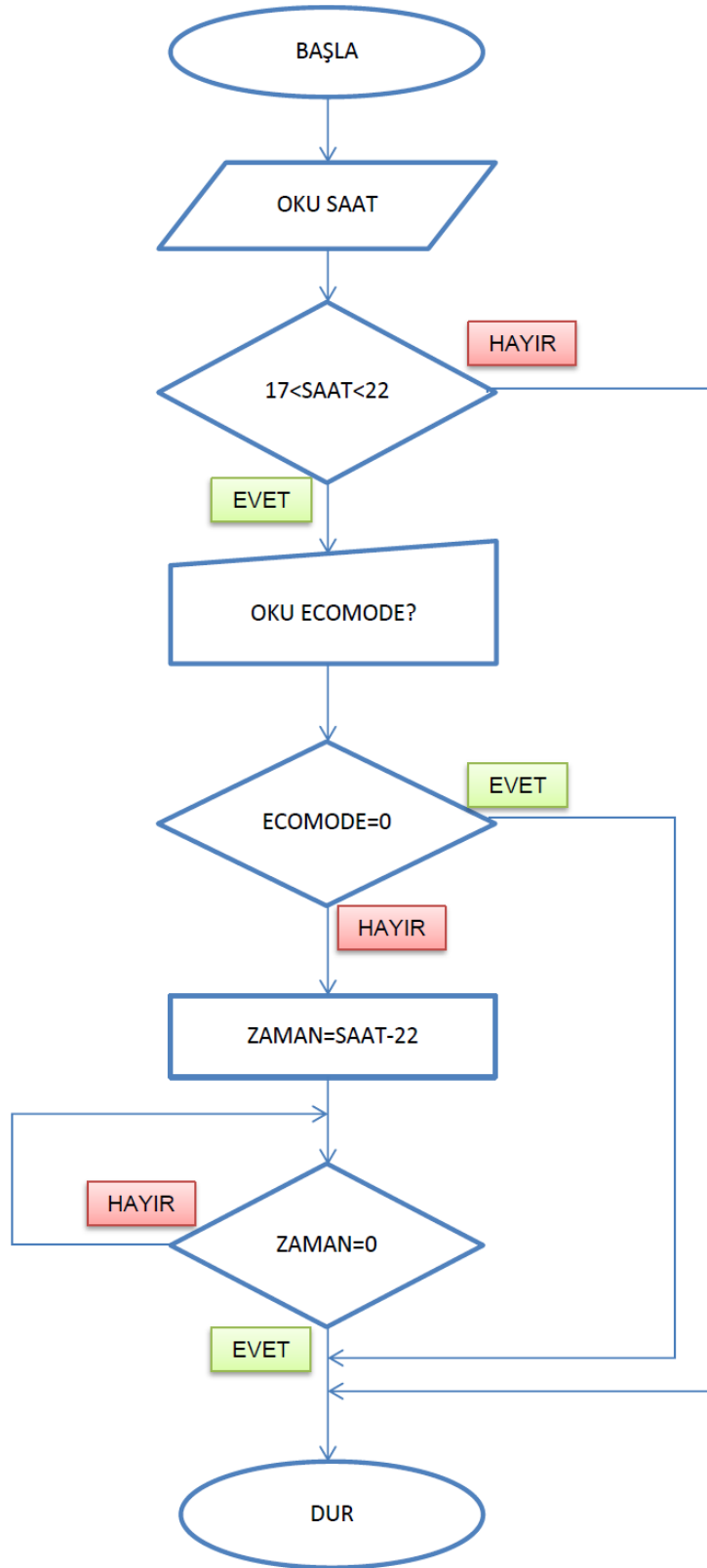


Şekil 5.2: Arduino Uno geliştirme kiti

Çizelge 5.3'de Arduino Uno geliştirme kiti ile ilgili genel teknik özellikler verilmektedir.

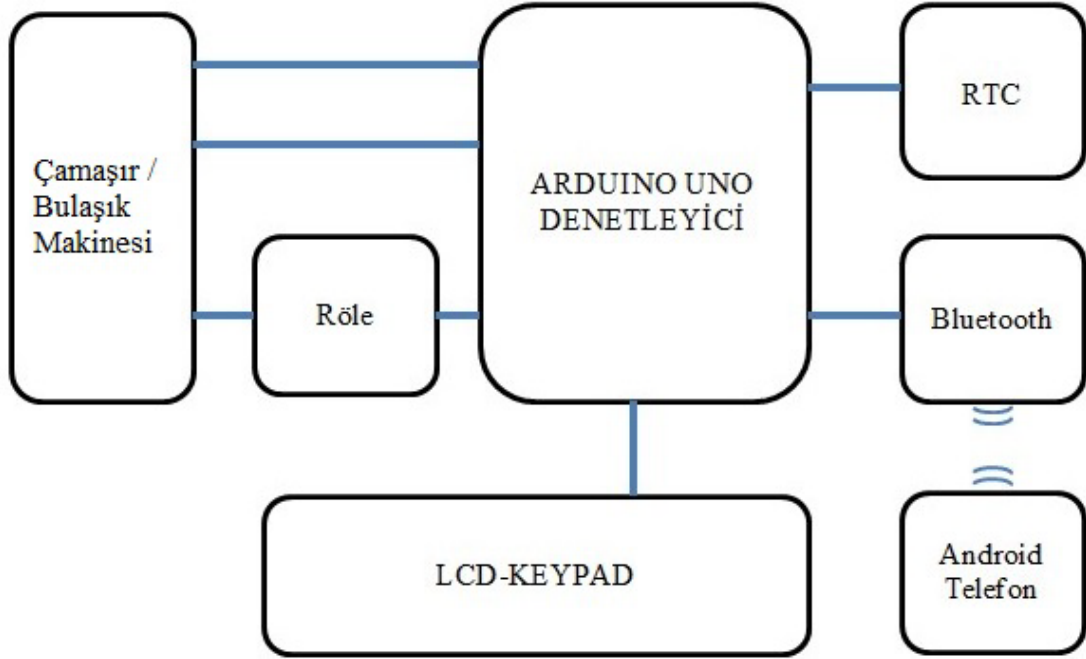
Çizelge 5.3: Arduino Uno geliştirme kiti genel teknik özellikleri

Mikro denetleyici: Atmega-328	Giriş/çıkış pini başına akım: 40mA
Çalışma gerilimi: 5V	3.3V pini için akım: 50mA
Tavsiye edilen besleme gerilimi: 7-12V	Flash: 32KB
Besleme gerilimi için alt ve üst sınırlar: 6-20V	SRAM: 2KB
Dijital giriş/çıkış pinleri: 14 pin (6'sı PWM)	EEPROM: 1KB
Analog giriş pinleri: 6 pin	Saat frekansı: 16MHz



Şekil 5.3: Çamaşır/bulaşık makinesi için tasarlanmış olan devre algoritması

Şekil 5.3'de çamaşır ve bulaşık makinesi yüklerinin puant zaman diliminden ötelenerek tasarruf sağlanması ve puantın azaltılması için yapılan devrenin çalışma algoritması verilmiştir. Buna göre, çamaşır/bulaşık makinesinin güç düğmesine basıldığında devre çalışmaya başlamakta ve gerçek zaman saatinden saat bilgisi okunmaktadır. Okunan saat, puant diliminde ise ekonomi seçeneği LCD ekranda gösterilerek tüketici uyarılmakta ve tüketicinin onayına göre devrenin çalışması belirlenmektedir. Şayet puant diliminde değil ise devre herhangi bir uyarı vermeyerek devre dışı kalmaktadır. Tüketicinin, "evet=1" seçeneğini seçmesi durumunda devre, puant dilimin biteceği zamana kadar kalan süreyi hesaplayarak bir zamanlayıcı kurmaktadır. Zamanlayıcı sıfıra eşit olduğunda yani saat 22:00 olduğu anda röle üzerinden çamaşır/bulaşık makinesi çalıştırılmaktadır. Tüketici "hayır=0" seçeneğini seçerse devre çamaşır/bulaşık makinesini röle üzerinden hemen çalıştırmaktadır. Bu sistem ile tüketici, konforundan ödün vermeden isteği doğrultusunda tasarruf yapmaya yönlendirilmektedir. Ayrıca uygulamada, makinenin çalışmasını istediğimiz bir zamana kurabilme opsiyonu eklenerek tüketici konforu artırılmıştır. Çalışma saatini programlarken ekranda hangi tarife diliminde yıkama yapılacağı gösterilerek kullanıcı bilgilendirilmektedir. Şekil 5.4'de uygulamanın blok diyagramı verilmiştir.



Şekil 5.4: Uygulama devresinin blok diyagramı



Şekil 5.5: Uygulama çalışmasında ekonomik tarife önerisi

Uygulama devresi Arduino Uno geliştirme kiti üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu geliştirme kitine DS1302 real time clock (RTC) (gerçek zaman saati) bağlanarak devrenin her an saat kontrolü yapması sağlanmıştır. Ayrıca devreye çamaşır/bulaşık makinesinin başlatılması için bir adet röle bağlanmıştır. Kullanıcı konforunu artırmak ve tüketiciyi bilinçlendirmek adına yıkama işlemi bittiğinde, bluetooth haberleşme protokolü ile Android tabanlı bir cep telefonuna bilgi mesajı gönderilmektedir. Bu mesajda yıkama işleminin bittiği bilgisinin yanı sıra ekonomik tarifenin seçilmesinden dolayı elektrik faturalandırılmasında puant tarifeye göre ne kadar tasarruf sağladığı hesaplanarak gönderilmektedir. Devrede kullanılan malzemeler, uygulamanın açık kaynak kodları ve çalışma esnasındaki görüntüler ek olarak verilmiştir*.

*EK – 2: Uygulamada kullanılan malzemeler

*EK – 3: Uygulamanın açık kaynak kodları

*EK – 4: Uygulamanın çalışma esnasındaki görüntüleri

6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

TÜİK 2011 verilerine* göre Türkiye nüfusu 74.724.269 olarak belirlenmiştir. Toplam hane sayısı ise 19.481.678'dir. Bu verilere göre toplam hane büyüklüğü 3.9 olarak hesaplanmıştır. Yani bir evde ortalama 3.9 kişi yaşamaktadır. Yine bu verilerin yanında kişi başı mesken elektrik tüketiminin yıllık 592 kwh olduğu verilmektedir. Buradan Türkiye ortalamasına bakıldığında bir evin yıllık ortalama elektrik tüketiminin 2309 kwh olduğunu hesaplayabiliriz. Bu da aylık 192,42 kwh tüketime tekabül etmektedir. Bu tez çalışması için hazırlanmış olduğumuz Çizelge 5.1'deki A enerji sınıfı elektrikli ev aletlerinin güçleri ve bir evin ortalama aylık elektrik tüketim verileri (192,42 / 202,3) %95 doğruluk payına sahip olduğu görülmektedir. TÜİK verileri ışığında, bir evin çamaşır ve bulaşık makinesi kullanım alışkanlıkları da üç farklı senaryo ile verilmiştir. Tasarlanmış olduğumuz devrede, kullanıcı önerileri dikkate alırsa aylık ve yıllık olarak ne kadar tasarruf edeceği üç farklı senaryo için aşağıdaki çizelgelerde hesaplanmıştır.

“Senaryo-1:Çamaşır ve bulaşık makinesinin gün içerisinde puant zaman diliminde kullanım oranı %70 olarak alınmıştır. %30 oranında ise gündüz zaman dilimi olarak hesaplanmıştır.”

Çizelge 6.1: Çamaşır/bulaşık makinesi kullanımının aylık ve yıllık maliyet analizi

Tarife	Kullanım Oranı (%)	Elektrik Tüketimi (kWh)	Aylık Maliyet (TL)	Yıllık Maliyet (TL)
<i>Tek Zamanlı</i>	100	73,5	20,87	250,4
<i>Gündüz</i>	30	22,05		
<i>Puant</i>	70	51,45	27,54	330,5
<i>Gece</i>	0	0		

Çizelge 6.2:Yük öteleme sistemi ile çamaşır/bulaşık makinesi kullanımının aylık ve yıllık analizi

Tarife	Kullanım Oranı (%)	Elektrik Tüketimi (kWh)	Aylık Maliyet (TL)	Yıllık Maliyet (TL)
<i>Gündüz</i>	30	22,05		
<i>Puant</i>	0	0	13,96	167,5
<i>Gece</i>	70	51,45		

*EK-1: TÜİK 2011 yılına ait Türkiye Nüfus ve Enerji tablosu

“Senaryo-2:Çamaşır ve bulaşık makinesinin gün içerisinde puant zaman diliminde kullanım oranı %50 olarak alınmıştır. %50 oranında ise gündüz zaman dilimi olarak hesaplanmıştır.”

Çizelge 6.3: Çamaşır/bulaşık makinesi kullanımının aylık ve yıllık maliyet analizi

Tarife	Kullanım Oranı (%)	Elektrik Tüketimi (kWh)	Aylık Maliyet (TL)	Yıllık Maliyet (TL)
Gündüz	50	36,75		
Puant	50	36,75	25,28	303,4
Gece	0	0		

Çizelge 6.4:Yük öteleme sistemi ile çamaşır/bulaşık makinesi kullanımının aylık ve yıllık analizi

Tarife	Kullanım Oranı (%)	Elektrik Tüketimi (kWh)	Aylık Maliyet (TL)	Yıllık Maliyet (TL)
Gündüz	50	36,75		
Puant	0	0	15,57	187
Gece	50	36,75		

“Senaryo-3:Çamaşır ve bulaşık makinesinin gün içerisinde puant zaman diliminde kullanım oranı %30 olarak alınmıştır. %70 oranında ise gündüz zaman dilimi olarak hesaplanmıştır.”

Çizelge 6.5: Çamaşır/bulaşık makinesi kullanımının aylık ve yıllık maliyet analizi

Tarife	Kullanım Oranı (%)	Elektrik Tüketimi (kWh)	Aylık Maliyet (TL)	Yıllık Maliyet (TL)
Gündüz	70	51,45		
Puant	30	22,05	23,03	276,3
Gece	0	0		

Çizelge 6.6:Yük öteleme sistemi ile çamaşır/bulaşık makinesi kullanımının aylık ve yıllık analizi

Tarife	Kullanım Oranı (%)	Elektrik Tüketimi (kWh)	Aylık Maliyet (TL)	Yıllık Maliyet (TL)
Gündüz	70	51,45		
Puant	0	0	17,2	206,5
Gece	30	22,05		

Çizelgelerden de görüldüğü üzere sadece çamaşır/bulaşık makinesinin tek zamanlı tarife göre yıllık kullanım bedeli 250,4 TL iken tüketici üç zamanlı tarife geçip tüketim alışkanlığını değiştirmez ise kullanım bedeli artarak 330,5 TL olacaktır. Yapmış olduğumuz uygulama ile tüketici yönlendirildiği takdirde yıllık kullanım bedeli Senaryo-1'e göre 167,5 TL'ye kadar düşmektedir. Yani tüketici tek zamanlı tarife sistemine göre yıllık 82,9 TL, üç zamanlı tarife sistemine göre ise 163 TL daha az fatura ödeyecektir. Çizelge 6.7'de senaryo 1-2-3 için yapılan tüm hesaplamalar karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6.7: Senaryo 1-2-3 için çamaşır/bulaşık makinesi kullanımının yıllık maliyet analizi

Yıllık Maliyet Analizi (TL)	Tek zamanlı sayaç	Çok zamanlı sayaç	Çok zamanlı Sayaç Yük Öteleme
Senaryo-1	250,4 TL	330,5 TL	167,5 TL
Senaryo-2	250,4 TL	303,4 TL	187 TL
Senaryo-3	250,4 TL	276,3 TL	206,5 TL

Çizelge 6.7'ye göre üç zamanlı tarife kullanımının her 3 senaryo için de daha pahalı olduğu görülmektedir. Ancak yük öteleme sistemi ile tüketim alışkanlıklarının değiştirilmesiyle senaryo 1-2-3 için sırasıyla %49-%38-%25 tasarruf sağladığı görülmektedir. Burada sağlanan tasarruf, yük öteleme sisteminin tüketiciye sağladığı faydadır. Çizelge 6.8'de ise çamaşır ve bulaşık makinesi yüklerinin ötelenmesi ile elektrik tedarikçilerine sağlayacağı fayda verilmiştir.

Türkiye 2011 puant güç talebi 28 Temmuz 2011 tarihinde gerçekleşmiş olup puant değeri 36122 MW verilmektedir (TEİAŞ,2012). TÜİK verilerine göre mesken tüketimin toplam tüketime oranı 0,23 olduğu hesaplanmıştır. Mesken tüketiminin de 0,36 oranında çamaşır ve

bulaşık makinesi olduğu Çizelge 5.1'den görülmektedir ve toplam yükün 0,083'ü çamaşır ve bulaşık makinesi yükünden kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla çamaşır/bulaşık makinesinin puant yükteki miktarı 2990 MW olduğu tahmin edilmektedir. Bu verilere göre Çizelge 6.8'de puantın azalma miktarları ve oranları verilmiştir.

Çizelge 6.8: Senaryo 1-2-3 için çamaşır/bulaşık makinesi kullanımının puanta etkisi

Puant	Tek zamanlı sayaç puant yükü	Çok zamanlı Sayaç Yük Öteleme	Toplam Puantın Azaltılmasına Etkisi (%)
Senaryo-1	2093 MW	2093 MW	%5,79
Senaryo-2	1495 MW	1495 MW	%4,13
Senaryo-3	897 MW	897 MW	%2,48

Çizelge 6.8'den görüleceği üzere üç farklı senaryo için yük ötelemesi yapılmış ve bu senaryolara göre en az %2.48 oranında puant güç talebinin azalacağı hesaplanmıştır. Bu hesaplamaların gerçekleşme oranını artırmak için her bölgenin hatta her ilin detaylı elektrikli ev aletlerinin envanteri çıkarılarak tüketim alışkanlıkları da belirlenmelidir. Bu sayede hangi elektrikli ev aletinin puant yüke ne kadar etki ettiği görülecektir. Bu tez çalışmasında kontrol edilebilirliği ve tüketici konforunu en az etkileyecek olan elektrikli ev aletlerinden olan çamaşır ve bulaşık makineleri seçilmiştir. Bunun yanı sıra kurutma makinesi ve iklimlendirme sistemleri de yük öteleme yöntemi ile kontrol edilerek puant güç talebi daha yüksek oranlarda azaltılabilir.

Bu tez çalışmasında uygulama örneği verilen esnek güç yönetimi modeli, bir haberleşme protokolü üzerinden sistemdeki yük durumuna ait verileri de elde ederek tüketicinin kendi inisiyatifine bırakılan puant zaman dilimi sonrasında yükün (talebin) kaydırılması belki tüketicie bırakılmadan da önceden tüketiciler ile anlaşarak sistem tarafından zorunlu olarak otomatik yük ötelemesi yaptırılabilir.

Tüketicilerin özendirilmesi açısından dağıtım firmalarınca hazırlanan aylık faturalandırmalara, tüketiciye puant zaman dilimindeki tüketim miktarı daha detaylı ve grafiksel bir analiz raporu eklenebilir. Böylelikle tüketiciler, puant zaman diliminde elektrik tüketiminin mümkün olduğu kadar azaltılmasına yönlendirilmiş olacaklardır.

Şebeke sisteminin bir bütün olarak üretimden tüketime kadar olan her aşamada gerçek zamanlı olarak izlenip akıllı cihazlarla donatılması ile akıllı bir yapıya dönüştürülmesi, akıllı uygulamaların hayata geçirilmesi ve uygulama kolaylığı sağlaması açısından son derece önemlidir.

Akıllı Şebeke sistemi ile gerçek zamanlı tarife (dinamik fiyatlandırma) ile hem tüketiciler hem de elektrik tedarikçileri açısından enerji maliyetinin azaltılmasının yanı sıra güç talebi de dengeleneceği öngörülmektedir.

Yapılan alıŐma bütün elektrikli ev aletlerine uygulanması için elektrikli ev aletleri üreticilerine üç zamanlı tarife sistemine uygun seçeneklerinin eklenme zorunluluğu getirilmesi konusunda politikalar üretilmelidir.

Elektrik enerjisinde verimlilik sağlamak için tüketicilerin taleplerine uygun tarifeler üretilmeli, tüketiciler bu tarifelere yönlendirilmelidir.

Sonraki alıŐmalar için sadece enerji talep zamanı dikkate alınmadan aynı zamanda frekans ve gerilim kararlılığına bağlı gerçek zamanlı fiyatlandırma opsiyonu sunabilen akıllı sistemler için de benzer uygulamalar geliştirilebilir.

KAYNAKÇA

- Akcanca M. A., Taşkın S., "Akıllı Şebeke Uygulanabilirliği Açısından Türkiye Elektrik Enerji Sisteminin İncelenmesi", Akıllı Şebekeler ve Türkiye Elektrik Şebekesinin Geleceği Sempozyumu, 26-27 Nisan, Ankara, 2013.
- Ateş, Y., Uzunoğlu M., Yumurtacı R., "Dağıtık Üretim Tesislerinin Şebekeye Entegrasyonunda Akıllı Şebekelerin Rolü ve Gelecek Öngörülleri", IV.Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, Kocaeli, 1-4, 2011.
- Bali T., "Kısa, Orta Ve Uzun Vadeli Talep Tahminleri Sunumu", TOBB-ETÜ, Maliye Bakanlığı, KAMAG 106G133 Projesi, 2008.
- Bayrak M., "Elektrik Güç Sistemlerinde Enerji Kalitesi", Sakarya Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 2008.
- Borlase S., "Smart Grids: Infrastructure, Technology, and Solutions", Taylor & Francis Group, 2013.
- Çetinkaya, H.B., 2009, Akıllı Şebeke Teknolojisi "SMART GRID" <http://www.guneshaber.net/haber/254-uzman-gozuyle-akilli-sebeke-teknolojisi.html>, [Erişim Tarihi: 13 Şubat 2013].
- Çetinkaya H.B., YEK'lerin Entegrasyonunda ve Uluslararası Enerji Bağlantılarında Akıllı Şebekeye Duyulacak İhtiyaç, <http://www.kontrolkalemi.com/forum/guc-kalitesi-enerji-verimliliği-harmonikler/26102-uluslararası-enerji-bağlantılarında-akilli-sebeke.html> [Erişim Tarihi: 30 Mart 2013].
- Deloitte Türkiye Yayınları, "Elektrik Sistemlerinde Akıllı Şebekeler: Dünya ve Türkiye uygulamaları", sy.5-8 <http://www.deloitte.com>, 2013
- Devidas, A.R. ; Ramesh, M.V. Sensor Technologies and Applications (SENSORCOMM), Fourth International Conference, 2010 [Ziyaret Tarihi: 11 Ocak 2013], 1-8, 2009.
- Diñer H., Mutlu F., Kuzlu M., Sayısal Teknolojinin Elektrik Şebeke Ağına Katılması: Akıllı Şebeke, IV.Enerji Verimliliği Ve Kalitesi Sempozyumu, Kocaeli, 1-8, 2011.
- D.P.T.: "Elektrik Enerjisi Özel İhtisas Komisyonu Raporu 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı", ANKARA, 2001.
- Drews, A. et al., 2007, Monitoring and Remote Failure Detection of Gridconnected PV Systems based on Satellite Observations, Solar Energy, 81(4): 548-564.
- Ekanayake J., Liyanage K., Wu J., Yokoyama A., Jenkins N., "Smart Grid Technology and Applications", John Wiley & Sons Publications, 2-13, 113-139, 143-165, 2012.
- Elektrikport, "Enerji İletim Hatları 1-2", <http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/enerji-iletim-hatlar-1-bolum/4176#ad-image-0> , 2011, [Erişim Tarihi: 17 Mart 2013].
- Energinet.dk, Smart Grid Denmark, <http://www.youtube.com/watch?v=J-j5NYD-DFw> [Erişim Tarihi: 03.04.2013].

- Energy.gov, Estimating Appliance and Home Electronic Energy Use, <http://energy.gov/energysaver/articles/estimating-appliance-and-home-electronic-energy-use>, 2013 [Erişim Tarihi: 04.05.2013].
- Ergen A. ve Yıldırım N., "Talep Yönetimi Çalışmaları", Türkiye 7. Enerji Kongresi: Enerjide Verimlilik, Cilt:IV, World Energy Council Turkish National Committee, Ankara, s.27-37, 1997.
- European Commission JRC-IE, Smart Grid projects in Europe: Lessons learned and current developments, 2011.
- EVSB (Enerji Verimliliği Strateji Belgesi), Türkiye Enerji ve Enerji Verimliliği Çalışmaları Raporu; Yeşil Ekonomiye Geçiş", sy: 47-49, Temmuz – 2010.
- EVSB (Enerji Verimliliği Strateji Belgesi), Türkiye Enerji ve Enerji Verimliliği Çalışmaları Raporu; Yeşil Ekonomiye Geçiş", "İletim Sisteminde Verimlilik", sy: 45, Temmuz – 2010.
- EVSB (Enerji Verimliliği Strateji Belgesi), Türkiye Enerji ve Enerji Verimliliği Çalışmaları Raporu; Yeşil Ekonomiye Geçiş", "Şebeke ve Tesisat Verimsizlikleri", sy: 63, Temmuz – 2010.
- Fazlıoğlu, M., 2010, Akıllı Şebekenin Sinir Sistemi, <http://www.elektrikhaber.net/haber/1466-teknik-bilgiler-akilli-sebekenin-sinir-sistemi.html>, [Erişim Tarihi: 16 Aralık 2012].
- İmeryüz M., Akıllı Şebekeler ve Verimlilik, 2. Ulusal Enerji Verimliliği Forumu, İstanbul, 1-13, 2011.
- Gellings, C., "Before demand-side Management is discarded, let's see what pieces should be kept", OPEC Review, s. 61-70, 2000.
- Gellings C.W., "The smart grid: enabling energy efficiency and demand response", The Fairmont Press, 7-56, 2009.
- Giordano V.,Gangale F.,Fulli G., "Smart Grid Projects in Europe", JRC Reference Reports, sy: 8,13-15, 47-49, Netherlands, 2011.
- Karamanlı A.İ., "Tüketim Tarafının Piyasaya Katılması Nedir?", Sunum, Eskişehir Enerji Forumu, 2007.
- Kavak, K., Dünya'da ve Türkiye'de Enerji Verimliliği ve Türk Sanayinde Enerji Verimliliğinin İncelenmesi, DPT yayınları, Yayın No. 2689, Ankara, 2005
- Kocatepe, C.; Umurkan, N.; Attar, F.; Yumurtacı, R.; Uzunoglu, M., Karakas, A.; Arıkan, O.; Baysal, M.; "TMMOB Elektirik Mühendisleri Odası Enerji Kalitesi ve Harmonikler Kurs Notları"; sy: 7 – 135, Ocak 2006.
- Kolhe M., Smart Grid: Charting a New Energy Future: Research, Development and Demonstration, Volume 25, Issue 2, March, Pages 88–93, The Electricity Journal, 2012.
- Metcalfe B., "Enernet -a smart-grid vision from a Net tycoon", http://news.cnet.com/8301-11128_3-10203683-54.html, 2009 [Erişim Tarihi: 16 Ocak 2012].

- Onar G., "Pilot Bir Bölgede Talep Yönlü Yönetim Stratejilerinin Uygulanması Yoluyla Konutlarda Enerji Tasarrufu Elde Edilmesi", sy:8-9, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2008.
- Ozturk Y.,Kumar S., Lee G., An Intelligent Home Energy Management System to Improve Demand Response, IEEE TRANSACTIONS ON SMART GRID, 2013
- Özil E. , "Talep Yönetiminin Genel İlkeleri ve Ulusal Talep Yönetimi Planı Önerisi", 2004.
- Özil E., "Talep Yönetiminin Genel İlkeleri ve Ulusal Talep Yönetimi Planı Önerisi", 2004.
- Pekiner O.F.," Kablololu Enerji Dağıtım Sistemlerinde Maliyet Minimizasyonuna Ait Yeni Bir Yaklaşım" ,Doktora Tezi , İtÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1993.
- Peşint M.A., "Elektrik Santralleri Enerji İletimi Ve Dağıtımı" , 9. Baskı, M.E.B Basımevi, İstanbul, 2001.
- Reid E.W., "Power Quality Issues-Standards and Guidelines", IEEE Trans on IA, Vol 32 No 1, May/June 1996.
- Rosenfeld, A. H., Kaarsberg, T. M. ve Romm, J. J., 2001, "Efficiency of Energy Use", Macmillan Encyclopedia of Energy, der. John Zumerchik, s. 369-377, Macmillan Reference, New York, 2011
- Sargın Ş., "Üretimden Tüketime Elektrik Enerji Sistemlerine Meydana Gelen Kayıplar ve Giderilmesine Yönelik Çalışmalar", Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üni., İstanbul, sy:87-88, 2006
- Sergio R., "Enel's Metering System and Telegestore Project", ENEL Distribuzione S.p.A. NARUC Conference, Washington, 2006.
- Siemens ve Bosch, Siemens Elektrikli Ev Aletleri, Bosch Elektrikli Ev Aletleri, A Sınıfı, <http://www.siemens-home.com/tr/>, <http://www.bosch-home.com/tr/%C3%BCr%C3%BCnler.html> , [Erişim Tarihi: 04.05.2013].
- Smart Grid, U.S. Department of Energy, <http://energy.gov/oe/technology-development/smart-grid> [Erişim Tarihi: 26 Mart 2013].
- Şanlı, B., Hınç A., Smart Grid (Akıllı Sebekeler) : Türkiye'de Neler Yapılabilir?, Türkiye 11. Enerji Kongresi, Tepekule-İzmir, 1-12, 2009.
- Şerifoğlu N., "Elektrik Enerji Sistemleri Cilt 1 Sürekli Çalışma Durumları" , Papatya Yayıncılık , İstanbul, 2003.
- Tanrıöven K., Yararbaş S., Cengiz H., "Geleceğin Elektrik Dağıtım Şebekesi Smart Grid", Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, Cilt 12, sy.53, Elazığ, 2011.
- TEİAŞ, Türkiye Elektrik Enerjisi 10 Yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu (2012 – 2021), APK Dairesi Başkanlığı, Sy:2-9, 2012.
- TEİAŞ, Yük Tevzi Raporu, Kurulu Güç Kapasitesi, 2011-2015 Planlaması, 2012.

Toward a Smart Grid", S.Massoud Amin, B. Wollenberg, IEEE power & energy magazine / october 2005.

TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu 2011 yılına ait Nüfus ve Enerji Verileri, 2012.

Uzunoğlu M., Kocatepe C., Elektrik Güç Sistemlerinde Harmonik Büyüklüklere Ait Tanımlar ve Kavramlar, KAYNAK Elektrik Dergisi, Sayı 145, s.108-110, 2001.

Üstünel M., Altın M., Kızılgedik M., "Endüstriyel Elektrik" , D.K. Ostim Mesleki Eğitim Merkezi, Ankara, 2001.

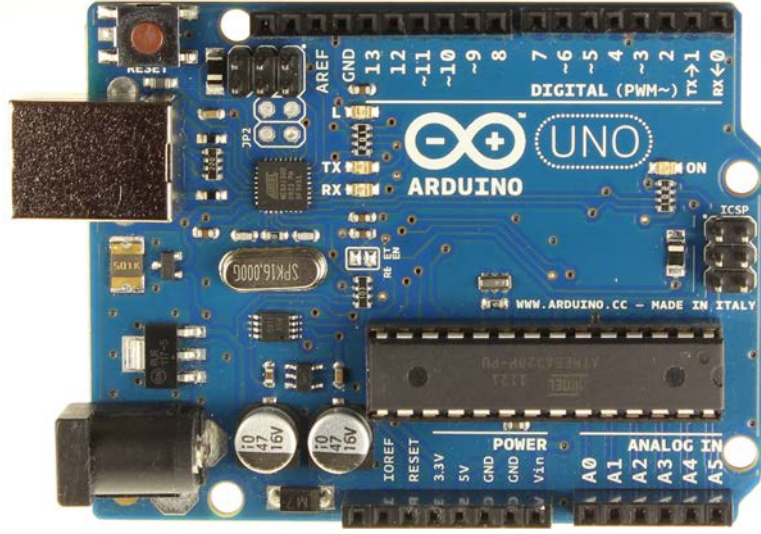
EKLER

EK – 1

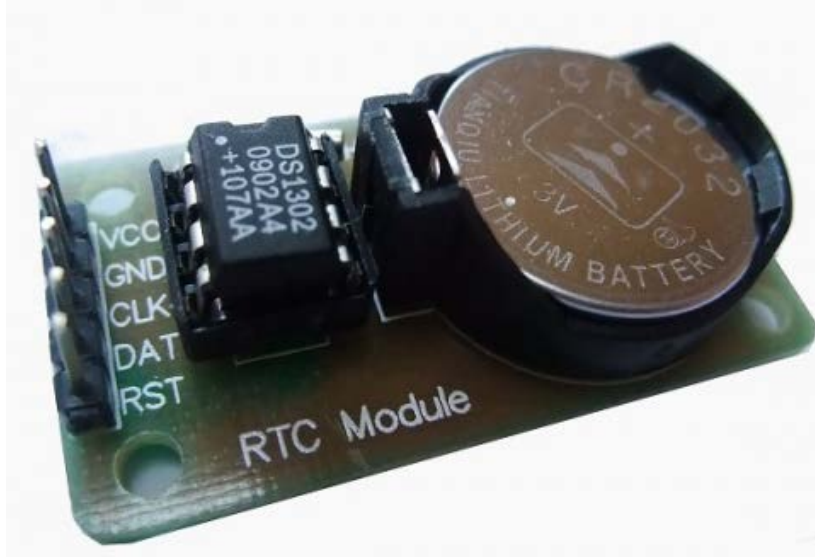
Çizelge E.1: TÜİK 2011 Türkiye Nüfus ve Enerji İstatistikleri

Referans Yılı	Değer	Bölge Adı	Değişken Adı
2011	186099551	Türkiye	Kullanım yerlerine göre elektrik tüketimi: Toplam tüketim (MWh)
2011	7272436	Türkiye	Kullanım yerlerine göre elektrik tüketimi: Resmi daire (MWh)
2011	87980191	Türkiye	Kullanım yerlerine göre elektrik tüketimi: Sanayi işletmesi (MWh)
2011	30525233	Türkiye	Kullanım yerlerine göre elektrik tüketimi: Ticarethane (MWh)
2011	44271092	Türkiye	Kullanım yerlerine göre elektrik tüketimi: Mesken (MWh)
2011	3813908	Türkiye	Kullanım yerlerine göre elektrik tüketimi: Tarımsal sulama (MWh)
2011	3986130	Türkiye	Kullanım yerlerine göre elektrik tüketimi: Sokak aydınlatma (MWh)
2011	8250560	Türkiye	Kullanım yerlerine göre elektrik tüketimi: Diğer (MWh)
2011	74724269	Türkiye	Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemine göre yaş grubu ve cinsiyete göre nüfus: Toplam
2011	2490	Türkiye	Kullanım yerlerine göre elektrik tüketimi: Kişi başına toplam elektrik tüketimi (KWh)
2011	1177	Türkiye	Kullanım yerlerine göre elektrik tüketimi: Kişi başına sanayi elektrik tüketimi (KWh)
2011	592	Türkiye	Kullanım yerlerine göre elektrik tüketimi: Kişi başına mesken elektrik tüketimi (KWh)
2011	19481678	Türkiye	Hane Sayısına Göre Hanehalkı Büyüklüğü, 2 Ekim 2011: Hane sayısı
2011	3,90	Türkiye	Hane Sayısına Göre Hanehalkı Büyüklüğü, 2 Ekim 2011: Ortalama hanehalkı büyüklüğü

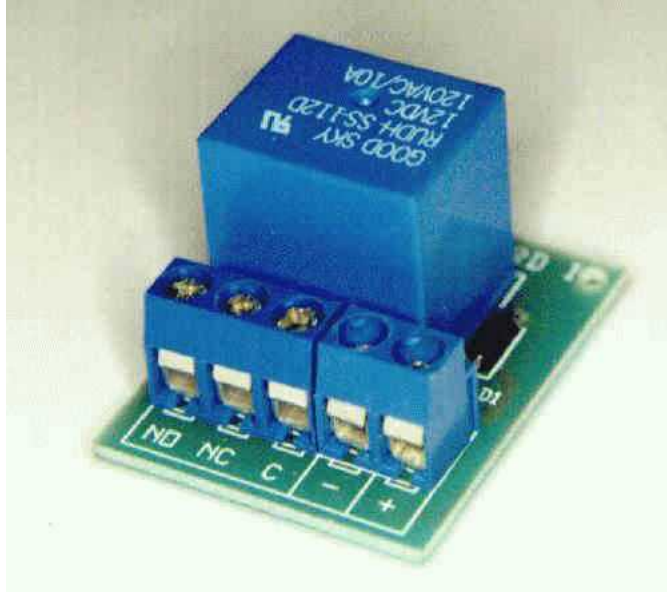
EK - 2



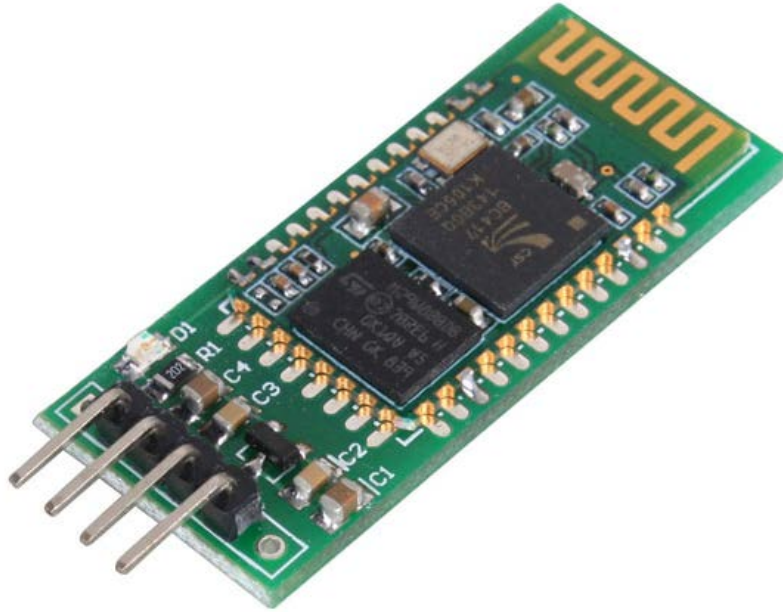
Şekil E.1: Arduino Uno Geliştirme Kiti



Şekil E.2: RTC (Real Time Clock) Modül



Şekil E.3: Röle



Şekil E.4: Bluetooth



Şekil E.5: LCD - Keypad

EK – 3

Uygulamanın Arduino Uno Geliştirme Kiti İçin Yazılmış Program Kodları

Esnek Güç Yönetimi Yük Öteleme Uygulaması

```

#include <SimpleTimer.h>
SimpleTimer timer; //Saati her saniye göstermek için.
SimpleTimer timerWait; //Belli bir süre sonra makinayı başlatmak için
SimpleTimer KalanZaman;

#include <LiquidCrystal.h> // LCD kütüphanesi
LiquidCrystal lcd(8, 9, 4, 5, 6, 7); // LCDnin kullandığı pinler

int CursorX = 0;
int CursorY = 0;
int durum = 0;
int makinadurumu = 0; // 0 makina kapalı, 1 makina açık. (Çamaşır/bulaşık makinası açık)
int saatekle = 13; // Saat ayarı için kullanılıyor.
int saat = 0;
int relayPin = 13; // Rölenin bağlı olduğu pin.
int programSaat = 22; // Programlanan Saat
int programDakika = 0; // Programlanan Dakika
int reading = 0;
int buttonState = 0; // the current reading from the input pin
int lastButtonState = 0; // the previous reading from the input pin
long lastDebounceTime = 0; // the last time the output pin was toggled
long debounceDelay = 50; // the debounce time; increase if the output flickers

void setup() {
  lcd.begin(16, 2); lcd.cursor(); lcd.blink(); // Ekran ayarları yapıldı.
  timer.setInterval(1000, SaatiEkkrandaGoster); // Saatin her saniye gösterimi için timer aç.
  SaatiEkkrandaGoster();
  AnaEkkraniGoster();
}

void loop() {

  timer.run();
  timerWait.run();
  KalanZaman.run();

  //Basılı butonu tespit eder.
  int ButtonVoltage = analogRead(0); // Analog 0'a bağlı buton değerini ölçer

  if (ButtonVoltage > 800) reading = 0; // Buton basılı değilse
  else if (ButtonVoltage > 500) reading = 1; // select basılı
  else if (ButtonVoltage > 400) reading = 2; // sağ basılı
  else if (ButtonVoltage > 250) reading = 3; // aşağı basılı
  else if (ButtonVoltage > 100) reading = 4; // yukarı basılı
  else reading = 5; // sol basılı

```

```

if (reading != lastButtonState) lastDebounceTime = millis(); // reset the debouncing timer
if ((millis() - lastDebounceTime) > debounceDelay) {
if (reading != buttonState) {
    buttonState = reading;
    if (buttonState!=0){

// Buton basılmış ise işlem yapar
switch (durum) {
case 0: // Ana Ekranda ise
    if (buttonState == 2) CursorX = 5;
    if (buttonState == 5) CursorX = 9;
    if (buttonState == 4) if (CursorX == 9) {saatekle = saatekle + 1; SaatiEkrandaGoster() ; }
    if (buttonState == 3) if (CursorX == 9) {saatekle>0} {saatekle = saatekle - 1;SaatiEkrandaGoster() ; }
    if (buttonState == 1) if (CursorX == 5) {
        if (makinadurumu==0) SecimEkraniniGoster();
        if (makinadurumu==1) {makinadurumu=0; digitalWrite(relayPin, LOW); AnaEkraniniGoster();}}
    break;

case 1: // Ayar Ekranında ise
    if (buttonState == 1) { AnaEkraniniGoster(); durum = 0;}
    break;

case 3: // Programla Ekranında ise
    if (buttonState == 2) CursorX = 1;
    if (buttonState == 5) CursorX = 5;
    lcd.setCursor(CursorX, CursorY);
    if (buttonState == 1 && CursorX == 1) {
        lcd.setCursor(0,0); lcd.print("Tarife: [ GECE ]");
        lcd.setCursor(0,1); lcd.print("Basla 22:00 [Ok]");
        CursorX = 14; CursorY = 1; lcd.setCursor(CursorX, CursorY);
        durum = 4;} //Programla [E] seçilirse ekranı
    if (buttonState == 1 && CursorX == 5) {
        Working();} //Programla [H] seçilirse ekranı
    break;

case 4: //Programla [E] seçilirse ekranı
    if (buttonState == 5 && CursorX == 10) {CursorX = 14; lcd.setCursor(CursorX, CursorY);}
    if (buttonState == 5 && CursorX == 7) {CursorX = 10; lcd.setCursor(CursorX, CursorY);}
    if (buttonState == 2 && CursorX == 10) {CursorX = 7; lcd.setCursor(CursorX, CursorY);}
    if (buttonState == 2 && CursorX == 14) {CursorX = 10; lcd.setCursor(CursorX, CursorY);}

    if (buttonState == 4 && CursorX == 7) { programSaat = (programSaat + 1) % 24 ;
        lcd.setCursor(6,1);
        if (programSaat < 10 ) lcd.print("0");
        lcd.print(programSaat);
        lcd.setCursor(CursorX,CursorY);}
    if (buttonState == 3 && CursorX == 7) { programSaat = (programSaat - 1) ;
        if (programSaat<0) programSaat=23;
        lcd.setCursor(6,1);

```

```

        if (programSaat < 10 ) lcd.print("0");
        lcd.print(programSaat);
        lcd.setCursor(CursorX,CursorY);}
    if (buttonState == 4 && CursorX == 10) { programDakika = (programDakika + 1) % 60 ;
        lcd.setCursor(9,1);
        if (programDakika < 10 ) lcd.print("0");
        lcd.print(programDakika);
        lcd.setCursor(CursorX,CursorY);}
    if (buttonState == 3 && CursorX == 10) { programDakika = (programDakika - 1) ;
        if (programDakika<0) programDakika=59;
        lcd.setCursor(9,1);
        if (programDakika < 10 ) lcd.print("0");
        lcd.print(programDakika);
        lcd.setCursor(CursorX,CursorY);}
    if (programSaat>=22 || programSaat<= 5){lcd.setCursor(9,0); lcd.print(" GECE ");
    lcd.setCursor(CursorX,CursorY);}
    if (programSaat>= 6 && programSaat<=16){lcd.setCursor(9,0); lcd.print("GUNDUZ");
    lcd.setCursor(CursorX,CursorY);}
    if (programSaat>=17 && programSaat<=21){lcd.setCursor(9,0); lcd.print("PUANT ");
    lcd.setCursor(CursorX,CursorY);}

    if (buttonState == 1 && CursorX == 14) {
        lcd.setCursor(0,1); lcd.print("Kalan Sure 00:00");
        kalanSureyiGoster();
        durum = 5;} //Kalan Süreyi Sayan Kısım
break;

case 5: //Kalan Süreyi Sayan Kısım
    KalanZaman.setInterval(60000, kalanSureyiGoster);
break;

case 6: //Makina şu an çalışıyor.
    if (buttonState == 1){
        lcd.clear();
        lcd.print(" Yıkama Bitti ");
        CursorX = 13; CursorY = 0; lcd.setCursor(CursorX, CursorY);
    }
break;

case 7: //Ekomode Ekranında ise
    if (buttonState == 2 && CursorX==14) CursorX = 10;
    if (buttonState == 5 && CursorX==10) CursorX = 14;
    lcd.setCursor(CursorX, CursorY);

    if (buttonState == 1 && CursorX == 14){ //Ekomode [H] seçilirse olacaklar.
        Working();} //Programla [H] seçilirse ekranına gider.
    if (buttonState == 1 && CursorX == 10){ //Ekomode [E] seçilirse olacaklar.
        lcd.setCursor(0,0); lcd.print("Tarife: [ GECE ]");
        lcd.setCursor(0,1); lcd.print("Basla 22:00 [Ok]");

```

```
CursorX = 14; CursorY = 1; lcd.setCursor(CursorX, CursorY);
durum = 4;} //Programla [E] seçilirse ekranına gider.
```

```
break;
```

```
}
```

```
void SaatiEkranGoster(){ //Saati EkranGösterir
if (durum==4 || durum==5 || durum==7) durum=durum; else{
int saniye = (millis() / 1000) % 60;
int dakika = ((millis() / 1000) / 60) % 60;
saat = (((millis() / 1000) / 60) / 60) % 60 + saatekle;
lcd.setCursor(8,1);
if (saat < 10) lcd.print("0"); lcd.print(saat) ; lcd.print(":"); //Saat
if (dakika < 10) lcd.print("0"); lcd.print(dakika); lcd.print(":"); //Dakika
if (saniye < 10) lcd.print("0"); lcd.print(saniye); //Saniye
lcd.setCursor(CursorX, CursorY);
}
}
```

```
void AnaEkranGoster(){
```

```
if (saat >= 6 && saat <= 16) {
lcd.clear();
lcd.print("Programla?");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("[E]/[H]");
CursorX = 5; CursorY = 1; lcd.setCursor(CursorX, CursorY);
durum=3; //Programla menüsü ekranda.
}
```

```
if (saat >= 17 && saat <= 21) {
lcd.clear();
lcd.print("Tarife: PUANT!!!");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Ecomode? [E]/[H]");
CursorX = 10; CursorY = 1; lcd.setCursor(CursorX, CursorY);
durum=7; //Ecomode menüsü ekranda.
}
```

```
if (saat >= 22 || saat <= 5) {
lcd.clear();
lcd.print(" Tarife: GECE ");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(" Ekomomik Zaman ");
Working();
}
```

```
void Working(){
lcd.clear();
lcd.print("Basladi...");
```

```

    CursorX = 9; CursorY = 0; lcd.setCursor(CursorX, CursorY);
    makinadurumu = 1; digitalWrite(relayPin, HIGH);
    durum = 6; //Makina şu an çalışıyor.
}

void kalanSureyiGoster(){
    int gercekSaat = 17;
    int gercekDakika = 0;
    int gercekZaman = gercekSaat * 60 + gercekDakika ;
    int programZaman= programSaat* 60 + programDakika;
    int kalanZaman = 0;
    int kalanSaat = 0;
    int kalanDakika= 0;

    if (programZaman >= gercekZaman) kalanZaman = programZaman - gercekZaman;
    if (programZaman < gercekZaman) kalanZaman = (programZaman - gercekZaman) + ( 24 * 60 );

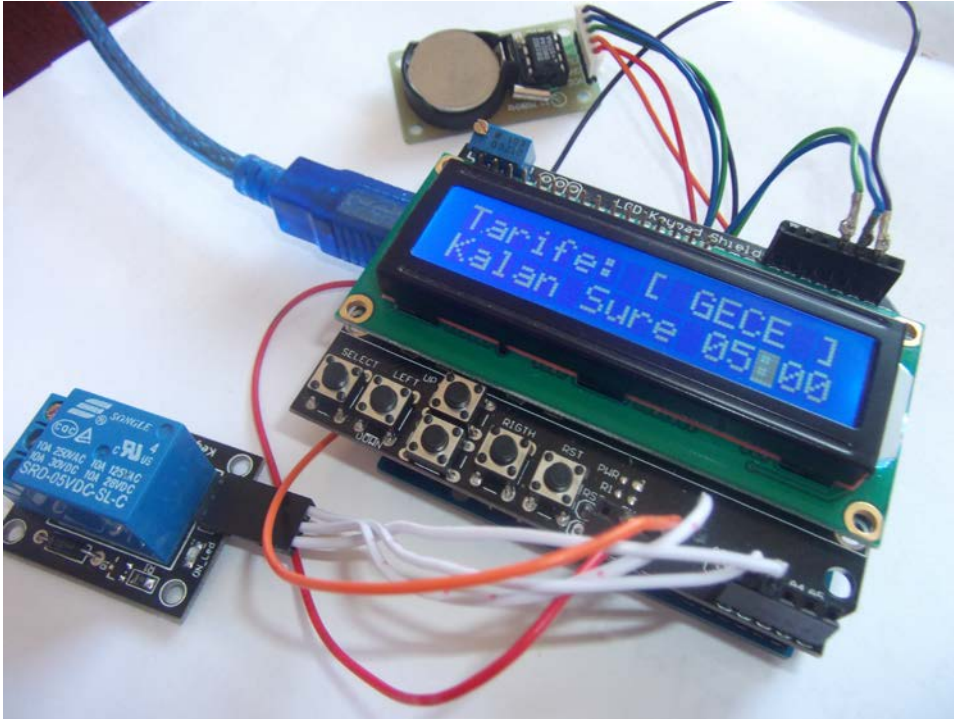
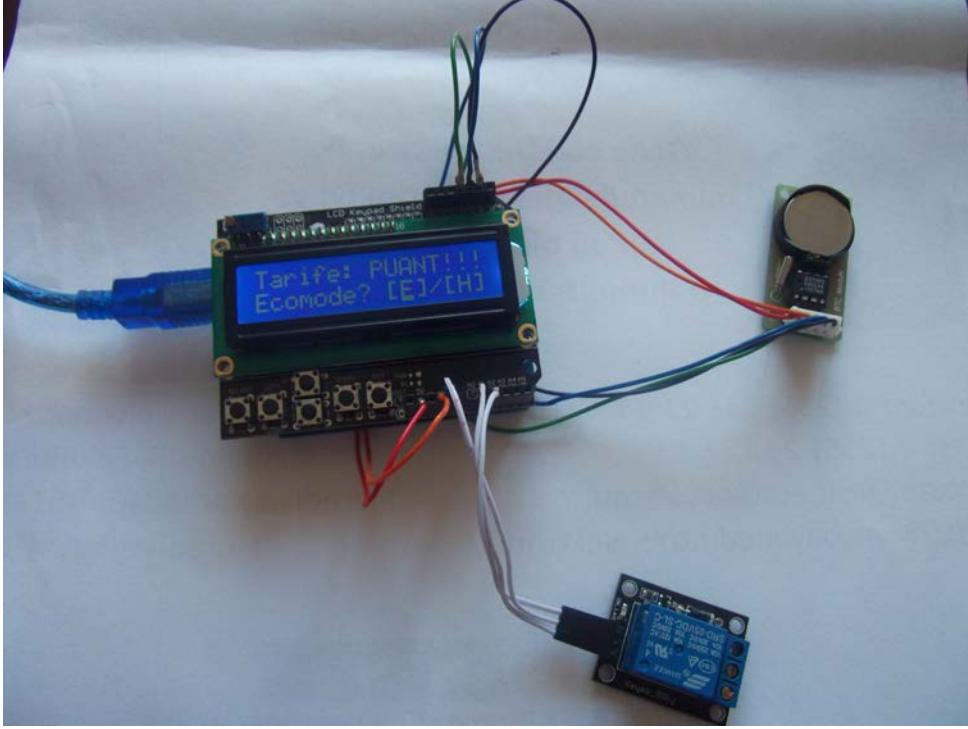
    kalanSaat = (kalanZaman / 60) % 60 ;
    kalanDakika = kalanZaman % 60;

    lcd.setCursor(11,1);
    if (kalanSaat < 10) lcd.print("0"); lcd.print(kalanSaat) ; lcd.print(":"); //KalanSaat
    if (kalanDakika< 10) lcd.print("0"); lcd.print(kalanDakika); lcd.print(":"); //KalanDakika
    lcd.setCursor(13,1);

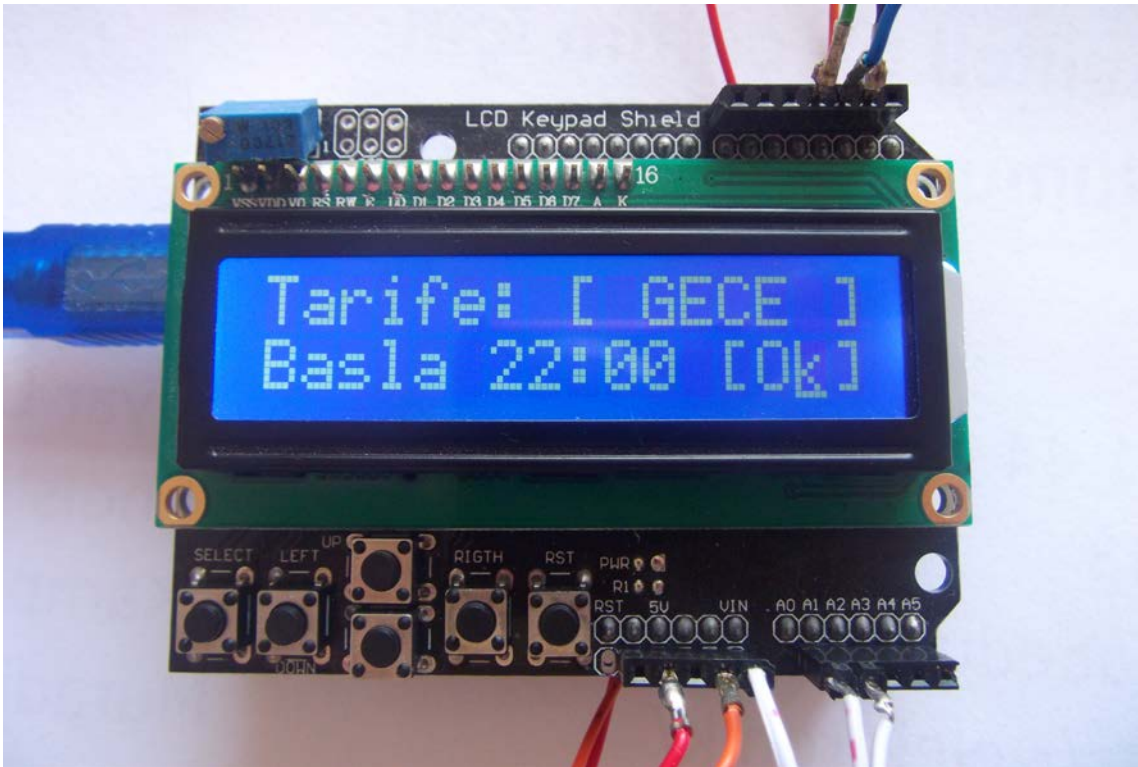
    if (kalanZaman <= 0) Working();
}

```

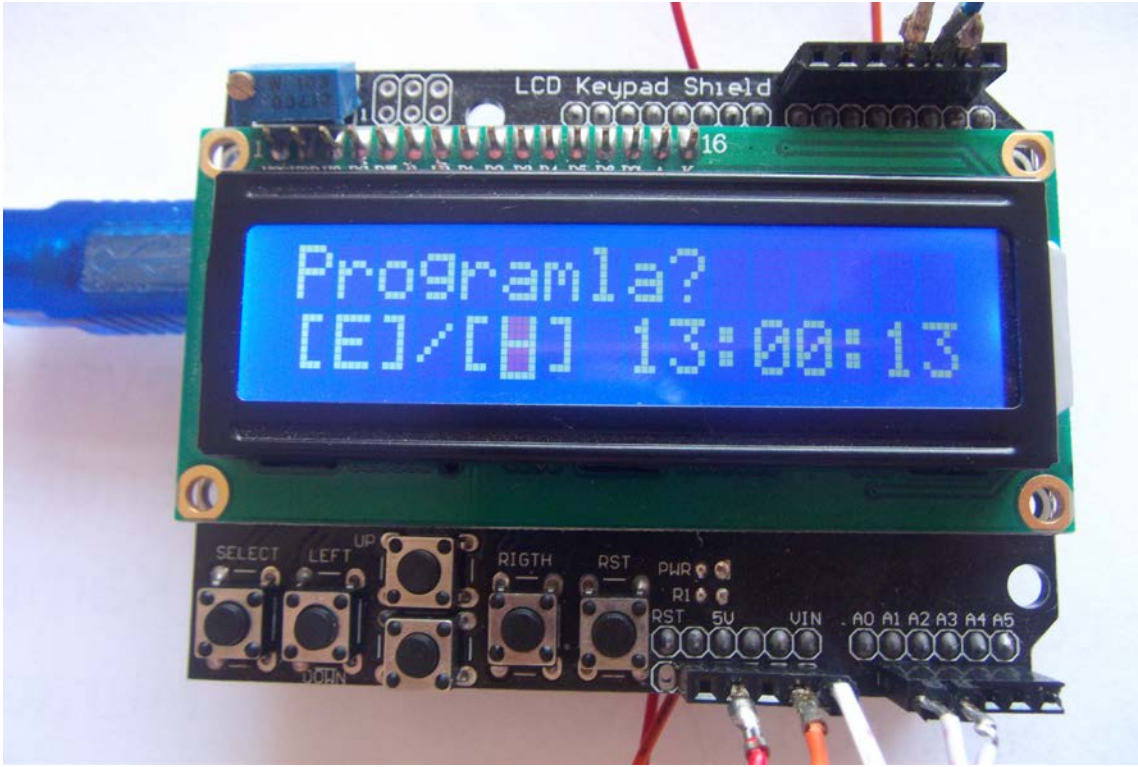
EK - 4



Şekil E. 6: Uygulamanın Çalışma Esnasındaki Görüntüleri



Şekil E. 6: Uygulamanın Çalışma Esnasındaki Görüntüleri (Devamı)



Şekil E. 6: Uygulamanın Çalışma Esnasındaki Görüntüleri (Devamı)



Şekil E. 6: Uygulamanın Çalışma Esnasındaki Görüntüleri (Devamı)

ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında Rize’de doğmuştur. İlk ve orta öğrenimini Rize’de tamamlamıştır. 2004 yılında Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Bölümü’nü kazanmıştır. 2010 yılında Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Bölümü lisans programından mezun olmuştur. 2011 yılında Yüksek Lisans programına başlamış ve 2013 yılında Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı’ndan mezun olmuştur. 2011 yılından itibaren Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Bölümü’nde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.