

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

AKILLI ŞEBEKELERDE ENERJİ YÖNETİMİ İÇİN AKILLI PRİZ GELİŞTİRİLMESİ

GİRAY EŞREF KIRAL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK TESİSLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. MEHMET UZUNOĞLU**

İSTANBUL, 2014

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKILLI ŞEBEKELERDE ENERJİ YÖNETİMİ İÇİN AKILLI PRİZ GELİŞTİRİLMESİ

Giray Eşref KIRAL tarafından hazırlanan tez çalışması 11.07.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Mehmet UZUNOĞLU

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Mehmet UZUNOĞLU

Yıldız Teknik Üniversitesi



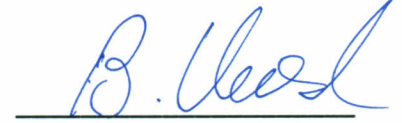
Prof. Dr. Nizamettin AYDIN

Yıldız Teknik Üniversitesi



Doç. Dr. Bülent VURAL

Yıldız Teknik Üniversitesi



Bu alışma, Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'nın 0102.STZ.2013-1 numaralı San-Tez projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Dünyamızda, yaşamın devamında en önemli ihtiyaçlarından biri de enerjidir. Her geçen gün ihtiyacı daha da artan enerjinin verimli kullanılması oldukça önemlidir.

Günümüzde en yaygın enerji türü olan elektrik enerjisinin daha verimli kullanılması için yapılan çalışmalar her geçen gün artmaktadır. Bu çalışmalardan biri de akıllı şebekelerdir. Akıllı şebekeler, haberleşme ve bilgi teknolojilerinin, enerji sistem mühendisliğine katılmasıyla ortaya çıkan bir kavramdır. Özellikle son zamanlarda akıllı şebekeler ile ilgili çalışmalar popüler hale gelmiştir. Akıllı şebekeler mevcut sistemi; izlenebilir, kaliteli, sürdürülebilir ve verimli bir sisteme dönüştürmeyi amaçlar. Akıllı şebekelerde üretimden tüketime kadar verimlilik göz önünde bulundurulmuştur. Akıllı şebekelerin alt birimi olan akıllı evler, tüketim tarafında enerji verimliliğini hedeflemektedir. Akıllı evlerde enerji verimliliğinin bir yöntemi de; cihazları akıllı hale getiren, tüketim bilgilerini tüketiciye gönderebilen, tüketici tarafından kontrol edilebilen akıllı prizlerdir. Bu çalışmamızda akıllı evlerin önemli başlıklarından biri olan akıllı prizler ele alınmıştır. Önerilen priz yapısı ile verimliliğin artırılması, gereksiz tüketimin önüne geçilmesi, tüketicinin bilinçlendirilmesi, kullanıcıya daha güvenli bir sistem sunulması vb. amaçlar hedeflenmiştir.

Bu çalışmamda desteğini esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Mehmet UZUNOĞLU'na, ilgi ve desteğini çalışmanın her aşamasında hiç eksik etmeyen hocam Arş. Gör. Onur ELMA'ya, Doç. Dr. Bülent VURAL'a, A. Tahir İNCE'ye ve SANTEZ projemizdeki diğer hocalarıma, VİKO ekibine ve maddi, manevi desteği ile sürekli yanımda olan sevgili annem Rukiye HATİPOĞLU'na teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs, 2014

Giray Eşref KIRAL

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT.....	xv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	5
1.3 Hipotez	6
BÖLÜM 2	
AKILLI ŞEBEKELER	8
2.1 Akıllı Şebeke Kavramı	8
2.2 Akıllı Şebekelere Geçiş Nedeni.....	9
2.3 Akıllı Şebeke Bileşenleri ve Teknolojileri.....	9
2.4 Akıllı Şebekenin Faydaları	11
2.5 Akıllı Şebeke Uygulamaları.....	12
2.6 Akıllı Şebeke Entegrasyonu	16
2.7 Türkiye Akıllı Şebeke Çalışmaları	18
BÖLÜM 3	
AKILLI EVLER.....	23
3.1 Akıllı Ev Konsepti	23
3.2 Türkiye’de Akıllı Ev Örneği	24

BÖLÜM 4

AKILLI SAYAÇLAR VE AKILLI PRİZLER	28
4.1 Akıllı Sayaç Tanımı ve Özellikleri	28
4.2 Türkiye’de Akıllı Sayaçlar	29
4.3 Akıllı Prizler	29
4.4 Akıllı Priz Yapısı	30
4.4.1 Ölçme	30
4.4.2 Değerlendirme	31
4.4.3 Haberleşme	32
4.4.4 Anahtarlama	33

BÖLÜM 5

AKILLI PRİZ TASARIMI	34
5.1 Prototip Tasarımı	34
5.1.1 Güç Katı	34
5.1.2 Haberleşme Katı	35
5.1.2.1 IEEE 802.15.4/Zigbee Wireless Network Protokolü	36
5.1.3 Ölçüm Katı	37
5.1.4 Kontrol Katı	40
5.1.5 Prototip Devre Düzenegi	42
5.1.6 Kullanıcı Arayüzü Yazılımı	43
5.2 Prototip Tasarımdan Ürüne	44
5.2.1 Kavramsal Tasarım	45
5.2.2 Donanım Tasarım	45
5.2.3 Yazılım Geliştirme	47
5.2.4 Mekanik Tasarım	47
5.2.5 Tümlleştirme Çalışmaları	48
5.2.6 Akıllı Prize Eklenen Adaptif Koruma Özelliği	49
5.3 Tasarlanan Akıllı Priz Test Sonuçları	54
5.3.1 Ölçüm Test Sonuçları	54
5.3.2 Koruma Test Sonuçları	56

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNGÖRÜLER	59
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ	66

SİMGE LİSTESİ

A	IEEE C37.112-1996 standartına göre verilen eğriden seçilen sabit değer
B	IEEE C37.112-1996 standartına göre verilen eğriden seçilen sabit değer
I_{pickup}	Rölenin ayarlandığı değer
I_{input}	Röle giriş akımı
I_n	Akımın anlık değeri
I_{rms}	Akım ortalama değeri
M	Giriş akımının röle ayarlanan değerine oranı
N	Örnek sayısı
P	IEEE C37.112-1996 standartına göre verilen eğriden seçilen sabit değer
P_{aktif}	Aktif Güç
P_{avg}	Aktif güç ortalama değeri
PF	Güç faktörü
Q_{avg}	Reaktif güç ortalama değeri
S	Görünür güç
t_1	Reset zamanı
V_n	Anlık gerilim değeri
V_{rms}	Ortalama gerilim değeri

3D	Three-Dimensional
AC	Alternative Current
ADC	Analog Digital Convertor
AMI	Automatic Metering Infrastructure
AMR	Automatic Metering Reading
ANSI	American National Standards Institute
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
CENELEG	European Committee for Electrotechnical Standardization
DC	Direct Current
DFT	Discrete Fourier transform
DSP	Digital Signal Processor
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
ENTSO-E	European Network of Transmission System Operators for Electricity
EPRI	Electric Power Research Institute
FFT	Fast Fourier transform
FPGA	Field Programmable Gate Array
FTDI	Future Technology Devices International
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
HEM	Home Energy Management
HEMS	Home Energy Management System
HES	Hall-Effect Sensor
HR	High Data Rate
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISA	Industry Standard Architecture
ISTKA	İstanbul Kalkınma Ajansı
KEK	Kısa Erişimli Kablosuz Haberleşme
LAN	Local Area Network
LR	Low Data Rate
MCU	Micro Controller Unit
MIC	Metrology Unit Information and Computer Science
MR	Medium Data Rate
NSF	National Sanitation Foundation

PCB	Printed Circuit Boards
PEV	Plug-in Electric Vehicle
PLC	Power Line Communication
PQ	Power Quality
RAM	Random Access Memories
RES	Rüzgâr Enerji Santralleri
RITM	Rüzgâr Gücü İzleme ve Tahmin Sistemi
ROM	Read-Only Memory
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
SR	Shunt Resistor
STATCOM	Static Shunt Compensator
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
US	United States
USTDA	United State Trade and Development Agency
Wimax	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network
WPAN	Wireless Personal Area Network
YTÜ	Yıldız Teknik Üniversitesi

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1. 1 Akıllı priz uygulaması	5
Şekil 2. 1 Akıllı şebeke bileşenleri	10
Şekil 2. 2 Akıllı şebeke teknolojileri.....	11
Şekil 2. 3 Avustralya Akıllı Şebeke çalışmaları.....	13
Şekil 2. 4 Kanada Akıllı Şebeke çalışmaları.....	13
Şekil 2. 5 Avrupa Akıllı Şebeke çalışmaları	14
Şekil 2. 6 Büyük Britanya Akıllı Şebeke çalışmaları	15
Şekil 2. 7 Ireland Cumhuriyeti ve Northern Ireland Akıllı Şebeke çalışmaları	15
Şekil 2. 8 Japonya Akıllı Şebeke çalışmaları	16
Şekil 2. 9 Akıllı Şebeke entegrasyon basamakları	17
Şekil 2. 10 Türkiye Elektrik Tüketimi	18
Şekil 2. 11 Türkiye iletim hattı haritası	18
Şekil 2. 12 Türkiye’de yapılan Akıllı Şebeke uygulamaları	20
Şekil 2. 13 İletim ve dağıtım hatlarındaki kayıp oranları.....	22
Şekil 3. 1 Türkiye yıllara göre meskenlerde tüketilen elektrik enerjisi oranları	24
Şekil 3. 2 Akıllı evin şematik gösterimi.....	25
Şekil 3. 3 Akıllı ev web arayüzü, anlık ve toplam yenilenebilir elektrik enerjisi değerleri.....	26
Şekil 3. 4 Akıllı ev genel yönetim yapısı	27
Şekil 4. 1 Akıllı priz genel yapısı	30
Şekil 5. 1 Güç katı şematik gösterimi	35
Şekil 5. 2 Zigbee haberleşme devresi şematik gösterimi.....	36
Şekil 5. 3 Kısa mesafe Wireless ağlarının sınıflandırılması.....	36
Şekil 5. 4 WPAN sınıfının kendi aralarında karşılaştırılması.....	37
Şekil 5. 5 Zigbee ağ topolojileri	37
Şekil 5. 6 Anlık gerilim, akım, aktif ve reaktif güç hesaplanması	38
Şekil 5. 7 Ortalama akım, ortalama gerilim, ortalama aktif güç, ortalama reaktif güç, görünür güç, güç faktörünün hesaplanması	39
Şekil 5. 8 Güç ölçüm devresi şematik gösterimi	40
Şekil 5. 9 Kontrol katı şematik gösterimi	40
Şekil 5. 10 Akıllı priz yazılım algoritması	41
Şekil 5. 11 Akıllı priz prototip devre düzeneği	42
Şekil 5. 12 Akıllı priz kalibrasyonu için kullanılan sistem	43
Şekil 5. 13 Akıllı priz kullanıcı arayüzü.....	44
Şekil 5. 14 Kavramsal tasarım çalışmaları	45

Şekil 5. 15 Donanımsal tasarım a) Bilgisayar ortamında oluşturulan güç ve ölçüm katı	
b) Bilgisayar ortamında oluşturulan haberleşme ve kontrol katı c) Bağlantıları biten güç ve ölçüm katı d) Bağlantıları tamamlanan haberleşme ve kontrol katı.....	46
Şekil 5. 16 Gateway devresi ve 3D PCB çizimi.....	47
Şekil 5. 17 Akıllı priz prototip kalıp.....	48
Şekil 5. 18 Güç&Ölçüm katının prototip kalıba edilmesi	48
Şekil 5. 19 Haberleşme&Kontrol katı ve Güç&Ölçüm katının prototip kalıba edilmesi .	49
Şekil 5. 20 Akıllı prizin son hali	49
Şekil 5. 21 Adaptif koruma akış diyagramı.....	51
Şekil 5. 22 Hatalı durumda kullanıcı arayüzü	52
Şekil 5. 23 B tipi sigorta açma karakteristiği (IEC 898).....	53
Şekil 5. 24 Akıllı prizden okunan gerilim değeri ile gerçek gerilim değerinin karşılaştırılması	54
Şekil 5. 25 Akıllı prizden okunan akım değeri ile gerçek akım değerinin karşılaştırılması	55
Şekil 5. 26 Akıllı prizden okunan gerilim değerindeki hata oranı	55
Şekil 5. 27 Akıllı prizden okunan akım değerindeki hata oranı	55
Şekil 5. 28 a) Çamaşır makinesi normal çalışma karakteristiği b) Hatalı akım çekilmesi durumunda çalışma makinasının çalışma karakteristiği	56
Şekil 5. 29 Test düzeneği.....	57
Şekil 5. 30 a) Hatalı durumda sigortanın verdiği tepki b) hatalı durumda akıllı prizin verdiği tepki	57

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1 Mevcut elektrik şebeke sistemi ile akıllı şebekelerin karşılaştırılması.....	10
Çizelge 4. 1 Farklı uygulama alanları için kullanılan ölçüm metodları	31
Çizelge 4. 2 Farklı uygulama alanları için kullanılan değerlendirme birimleri	32
Çizelge 4. 3 Farklı uygulama alanları için haberleşme metodları	33
Çizelge 4. 4 Kapalı alanlarda kullanılan haberleşme yapıları ve karşılaştırılması	33

AKILLI ŞEBEKELERDE ENERJİ YÖNETİMİ İÇİN AKILLI PRİZ GELİŞTİRİLMESİ

Giray Eşref KIRAL

Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet UZUNOĞLU

Elektrik enerjisinin daha verimli kullanımına yönelik yapılan çalışmalar, uygulamalar ve ürünler günümüzde önemini hızla artırmaktadır. Bu çalışmalarda tüketicinin talebini dikkate alarak, enerjinin verimli ve ekonomik bir şekilde kullanımını sağlamak amaçlanmaktadır. Son yıllarda akıllı şebekeler kapsamında akıllı şehirler, akıllı binalar ve akıllı evler ön plana çıkmaktadır. Yapılan çalışmalarda, akıllı şebekeler sayesinde evlerdeki elektrik enerjisi tüketim profillerine ait verilerin elde edilebileceği ve buna göre üretim tesisleri yönlendirilerek enerji akışının verimli bir şekilde gerçekleştirilebileceği belirtilmektedir. Akıllı şebekelerin alt bileşeni olarak “akıllı evler” düşünülebilir. Bu evlerin yerel şebekedeki diğer tüketicilerle ve evlerde bulunan elektrikli cihazlarla haberleşmesi sayesinde elektrik sistemi daha verimli bir şekilde işletilebilmektedir. Bunun en önemli nedeni, tüketim değerlerinin mevcut enerji üretimine oldukça başarılı bir şekilde adapte edilebilmesidir. Bu amaca yönelik uygulamalardan biri de akıllı prizlerdir.

Akıllı priz başlığı ile sunulan farklı ürün ve uygulamalar olmasına karşın, genel olarak akıllı priz; tüketilen enerjiyi, güç parametrelerini uzaktan izleme ve açma/kapama işlevine olanak sağlayan cihaz olarak tanımlanmaktadır. Akıllı priz örnekleri dünyanın farklı yerlerinde uygulanmaktadır. Bu tez ile Türkiye’de yerli imkânlarla kablosuz haberleşme altyapısına sahip özgün bir akıllı priz tasarımı gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir.

Akıllı prizlerde, prizin uzaktan izlenmesi ve prize erişim yaygın olarak ZigBee, PLC (power line communication), kablosuz M-bus ve Wi-Fi gibi haberleşme altyapıları ile

gerçekleştirilmektedir. ZigBee kablosuz haberleşme için kullanılan ve IEEE 802.15.4 standardı ile tanımlanmış bir uluslararası protokoldür. ZigBee, diğer kablosuz haberleşme altyapılarına kıyasla kısa mesafede düşük maliyetli ve az güç tüketen bir haberleşme imkânı sağlamaktadır. Bu yönüyle ZigBee evsel uygulamalar/ürünler için uygun bir kablosuz haberleşme protokolüdür.

Gerçekleştirilecek akıllı priz uygulamasında, kablosuz haberleşme altyapısına sahip, ev/bina içerisindeki prizlerin hepsine ulaşımın sağlandığı bir merkezi kontrol ünitesi tasarlanmıştır. Kullanılacak olan merkezi ünite ile tüm prizlerin izleme ve kontrolü gerçekleştirilecektir. Ayrıca geliştirilen akıllı priz, sıva üstü ve tak-çalıştır bir tasarımdır. Bu yönüyle akıllı priz sadece yeni yapılacak binalarda değil, mevcut binalar ve meskenlerde de kullanıma uygun olacaktır.

Geliştirilen akıllı prizin yurt dışında üretilen benzerlerine kıyasla önemli bir üstünlüğü olacaktır. Akıllı prize bağlanan cihazın özellikleri tanıtılarak, cihazın normal çalışma durumundan farklı bir şekilde çalışmasının tespit edilmesi sağlanacak ve böylece akıllı prize bağlı cihaza zarar verebilecek olan gerilim ve akım yükselmeleri tespit edilebilecektir. Bu özellikleri de düşünüldüğünde patent alınabilecek özgün bir tasarım ve uygulama olacaktır.

Geliştirilecek olan akıllı priz VİKO ve Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü ortak tasarımı olacak ve VİKO'nun ürün gamında yer alacaktır. Ayrıca, geliştirilecek akıllı priz üniversitemiz bünyesinde mevcut olan, araştırma ve test altyapısına uygun akıllı evde test edilmiştir. Bu tez çalışmasının sunacağı katkılar;

Yukarıda belirtilen özelliklere sahip bir akıllı priz Türkiye’de ilk defa geliştirilecektir. Sahip olduğu özgünlüğe ek olarak, ithal ikamesi sağlayarak ülke ekonomisine katkı potansiyeli vardır.

Akıllı evler, binalar ve akıllı şebekelere yönelik ileride geliştirilecek yeni ürünler için teknolojik bir altyapı oluşturacaktır.

Anahtar Kelimeler: Akıllı şebekeler, akıllı evler, akıllı priz, enerji verimliliği, gerçek zamanlı izleme, enerji yönetimi, prizlerde koruma, enerji tüketiminin azaltılması.

**DEVELOPMENT OF SMART PLUG FOR ENERGY MANAGEMENT SYSTEM IN
SMART GRID**

Giray Eşref KIRAL

Department of Electrical Engineering
MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Mehmet UZUNOĞLU

Today, the importance of energy efficiency studies, energy efficient applications and products has been on the rise. In these studies aim that the main goal of efficient and economic use of generated energy with consider consumer demand. Recently, ideas like smart cities, smart buildings and smart homes has been widely used under smart grid concept. With smart grid infrastructure, it will be possible to monitor electrical demand of a residential customer and control each electricity generation center for more efficient energy flow. The subcomponent of the smart grid can be considered as smart homes. Better utilization of the electrical grid can be achieved through the communication of the smart home with both other customers in the grid and appliances in the house itself since generation can effectively be scheduled by having more precise demand data. Smart plugs are used for the communication with the household appliances in the house.

Although there are various products and applications under smart plug concept, smart plug is mainly defined as a product that monitors consumed energy and power parameters with the possibility of turning the device on or off with a control signal from a distant location. Smart plug samples are applied in different places of the world. With this thesis, a novel national smart plug with wireless communication protocol will be designed and manufactured in Turkey. Main communication protocols are used for monitoring and control actions with the smart plug are ZigBee, Power Line

ZigBee is IEEE 808.15.4 based international communication protocols for wireless communication. Since both cost and energy consumption of ZigBee enabled device is low compared to other wireless communication products. On that sense ZigBee communication protocol is good for home applications/products.

Whole smart plugs inside a building/house will use ZigBee protocol for communication and a central unit (Master Unit) will be used for ZigBee-Computer integration. The central unit will be used for monitoring, control actions, and communication with all of the smart plugs. The developed smart plug will also have plug and play properties so that it can be used not only in new buildings/homes but in old buildings/homes as well.

The developed smart plug will be superior to smart plugs on foreign markets since the developed smart plug can determine abnormal, for example overcurrent or overvoltage, operation of the plugged device based on the pre-loaded device information. Thus, failure of the plugged device can be prevented. In this respect, the developed smart plug will be is a novel patentable product.

The smart plug will be developed by the collaborative work of VIKO and Yıldız Technical University Electrical Engineering Department and will be a part of VIKO products on the market. In addition, the developed smart plug will be tested in the existing research-test oriented smart house in our university. Contributions of the project can be summarized as:

A national smart plug will be developed for the first time in Turkey. The developed plug will be a substitution of imported plugs and thus will contribute to the Turkish economy.

Technological background for future products for smart buildings, smart homes and smart grid will be acquired.

Keywords: Smart grid, smart home, smart plug, energy efficiency, real-time monitoring, load energy management, plug protection, reduction energy consumption.

1.1 Literatür Özeti

Dünyanın birçok ülkesi, fosil yakıt kullanımının sınırlandırılması ve sera gazı salınımının azaltılması için "Sürdürülebilir Kalkınma" kavramı kapsamında çalışmalar yapmaktadır. Bu amaçla 2020 iklimlendirme ve enerji hedefleri olan 20-20-20 doğrultusunda, karbondioksit gazı (CO₂) salınımının 2020 yılına kadar yüzde 20 oranında azaltılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin toplam enerji üretimi içerisindeki oranının en az yüzde 20 seviyesine çıkarılması hedeflenmektedir [1]. Enerjinin verimli kullanılması, sürekli artan enerji ihtiyacını karşılayabilmek için yapılacak yatırımların ve açığa çıkan zararlı gazların azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Günümüzde elektrik enerjisinin daha verimli kullanılması amacıyla "akıllı şebekeler" kavramı ortaya çıkmıştır. Akıllı şebekeler mevcut geleneksel enerji sistemlerinin, haberleşme ve bilişim teknolojileri ile izlenebilir ve kontrol edilebilir hale getirilmesini kapsamaktadır. Bu da akıllı şebekelerin alt bileşeni olarak anılan "akıllı ev" kavramını doğurmuştur. Literatürde özellikle Avrupa'daki çalışmalarda evlerdeki enerji verimliliği için sunulan çözümler 4 başlık altında toplanmakta ve bunlar; enerji tüketimi-ölçümü, kontrol ve anahtarlama, ölçümlere erişme ve bunları yönetmek için gerekli bir ağ yapısı olarak sıralanmaktadır [2].

Akıllı evlerde veya binalarda kullanılan elektriksel cihazların enerji tüketiminin kontrol edilmesi ile enerji kullanımındaki arz-talep dengesinin sağlanmasına çok olumlu katkılar sağlanabilecektir. Bu sayede sistemin enerji verimliliğini arttırmanın yanında, karbon salınımında azalma ve pik (yüksek talep anları) zamanlarda yük talebi kontrol

edilebilecektir (demand-side management). Bunun sağlanabilmesi için en kolay ve uygulanabilir sistem ise mevcut akıllı şebeke ağı ile bağlantı sağlayabilecek evsel bir kontrol ve haberleşme ağı oluşturmaktır. Böylece enerji verimliliğinin yanında, güç tüketimi analizleri ile elektrik cihazlarını otomatik tanıma ve arıza tespitine ek olarak küresel enerji yönetimi de sağlanabilecektir [3].

Evsel enerji tüketimindeki verimliliğini arttırmak için bir diğer önemli etken de, tüketimin sürekli izlenebilir olmasıdır. Bu geri bildirim ile tüketicide enerji kullanımını sınırlama ihtiyacı oluşmakta ve bu sayede %5 ila %15 arasında enerji tüketiminde azalmalar sağlanabilmektedir [4]. Bu oranlar akıllı şebeke ve akıllı ev yapıları ile çok daha fazlasının başarılabileceğini göstermektedir. EPRI'nin 2011 yayınladığı "Estimating the Costs and Benefits of the Smart Grid: A Preliminary Estimate of the Investment Requirements and the Resultant Benefits of a Fully Functioning Smart Grid" adlı teknik raporuna göre, sadece akıllı şebeke kısmı göz önüne alındığında; tüketim farkındalığı %5-15 arası verimlilik artışı ve 20 yılda yapılan yatırımın 2,6-6,0 katı arasında getirisi olacağı belirtilmiştir.

Akıllı evlerdeki elektriksel cihazların kontrol edilebilip enerji tüketimlerinin sürekli izlenmesi için oluşturulan çözümlerin başında 'akıllı prizler' gelmektedir. Akıllı evler ile ilgili araştırmalar için Dünya'nın çeşitli ülkelerinde akıllı ev konseptleri oluşturulmuştur. 'Ecosystem For Smart Home' başlıklı çalışma bu konudaki örnek evlerden biridir [2]. Bu ev otomasyon sistemine sahip, uzaktan kontrol erişimi ve düşük enerji tüketimi ile aynı zamanda konforlu, güvenli ve verimli elektrikli ev aletleri ve internetin olduğu her yerden kontrol imkânı olan bir sistem içermektedir. Evdeki enerji kontrolü, akıllı prizler ve akıllı aydınlatma sistemleri ile sağlanmaktadır. Buradaki örnekte görüleceği üzere akıllı prizler, akıllı şebeke ve akıllı ev kavramlarını tamamlayan temel bir eleman olarak karşımıza çıkmaktadır.

Akıllı priz ile güç talebi bilgileri gerçek zamanlı olarak kullanılabilir hale gelmektedir. Dağıtım şirketlerinin yükü hesaplaması ve bunu kullanıcıya ulaştırması sağlanabilmektedir [5]. Ayrıca akıllı prizler ile belirli bir zaman aralığı için (veya sürekli olarak) cihazların enerji tüketim verilerini kaydetmek mümkün olmaktadır [6]. Akıllı

prizler farklı başlıklar altında sınıflandırılmaktadır. Ancak, en genel kapsamda donanım, haberleşme ve yazılım olarak üç kısma ayrılmaktadır [7].

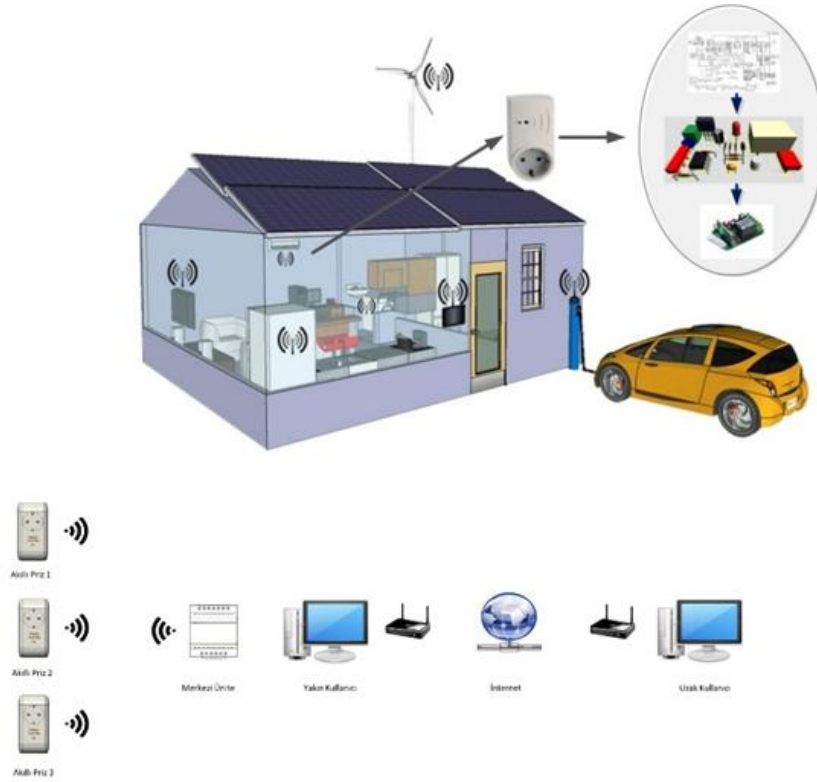
Yapılan çalışmalara bakıldığında evlerde tüketilen elektrik enerjisinin %10-50'si priz yüklerinden meydana gelmektedir [8], [9]. Akıllı prizler, priz yüklerinin azaltılması ve daha verimli kullanılması için oluşturulan çözümlerden birisidir. Akıllı prizler sayesinde elektrikli cihazlarda tüketilen elektrik enerjisi ölçülerek kullanıcıya görsel olarak iletilir. Bu sayede kullanıcı bilinçlendirilmiş olur. Buna yönelik yapılan bir çalışmada tüketim bilgisi kullanıcıya iletilerek farkındalık oluşturulmuş ve istenmeyen yükler devre dışı bırakılarak %15 tasarruf sağlanmıştır [10]. Akıllı prizlerle elektrik enerjisi daha verimli kullanılabilir ve gereksiz tüketimin önüne geçilebilir. Bunun yanında akıllı prizlerde yönetim algoritmaları oluşturmak da mümkündür. Bir başka çalışmada da [11] priz yüklerinde yapılacak enerji yönetim algoritmalarıyla, %10'a kadar tasarruf sağlanması öngörülmektedir. Ref. [12]'de yapılan çalışmada, akıllı prizin bağlı olduğu enerji yönetim sistemiyle yapılan kontrol sayesinde puant güçte toplamda %22 kadar bir azalma sağlanmıştır. Haberleşme olarak RS485 protokolü kullanan bu priz, bağlı olduğu cihazları önem sırasına göre (düşük-orta-yüksek-hayati), açma/kapama yapabilmektedir. Priz yüklerinden oluşan tüketim değerlerinin bir kısmı cihazların "stand by" veya "switched off" modlarında tükettikleri enerjiden kaynaklanmaktadır. Yapılan bir çalışmada cihazların "standby" konumunda tükettikleri enerjinin, tüketilen toplam toplam enerjinin 10%'u olduğu görülmüştür [13]. Akıllı prizler ile cihazların kullanılmadıkları zamanlarda kapatılması ile tasarruf sağlanabilmektedir. Bunun yanında, ticari binalarda kullanılan bazı cihazların tüketimleri izlenmiş, neredeyse tüketilen miktarın yarısının çalışma saatleri dışında gerçekleştiği tespit edilmiştir, akıllı priz ile gereksiz harcanan bu enerji kullanımının önüne geçilerek %60'a varan tasarruf sağlanmıştır [14]. Mevcut akıllı prizlere sensör (ışık, sıcaklık, nem, hareket) özellikleri eklenerek yapılan çalışmalar da vardır [15]. Farklı bir akıllı priz çalışmasında tüketicinin bilinçlendirilmesinin yanında akıllı prizlerde güvenlik ve maliyet göz önünde bulundurulmuş ve daha ucuza üretilebilecek daha güvenli bir priz sunulmuştur [16]. Ayrıca yenilenebilir enerji entegrasyonu için otomatik yük kontrolüne imkân sağlayan "intelligent outlet" çalışmaları da mevcuttur [17]. Akıllı priz ile ilgili yapılan bir başka çalışmada, haberleşme özelliği olmayan bir akıllı priz uygulaması

gerçekleştirilmiştir [18]. Haberleşme özelliği bulunmamasına gerekçe olarak ürünün Hindistan şartlarında kullanılabilmesi için daha ucuz ve bireysel çalışabilir olması gerektiği gösterilmiştir. Tasarlanan priz, şebekenin yük durumunu gerilim ve frekans ölçümleri üzerinden tespit edecek bir yapıdadır. Benzer bir diğer akıllı priz çalışmasında sadece frekansa bağlı puant zamanı algılayabilen ve tüketimi buna göre kontrol eden bir sistem gerçekleştirilmiştir. Bu tasarım 20 adet patente kaynak olmuştur [19]. Başka bir çalışmada ise internet üzerinden kontrol edilebilen bir akıllı priz geliştirilmiştir. Geliştirilen bu priz, puant zamanlarda klimaları kontrol edebilmektedir. Şebekenin çok yüklü olduğu puant zamanında, klima gibi yüksek güç çeken cihazları 15-30 dakika devre dışı bırakarak şebekeyi rahatlatırken, kullanıcı da ciddi olarak rahatsız edilmemiş olunur [20]. Bulut modeli (Cloud Model) ve kablosuz haberleşme tabanlı gelecekteki öngörülen akıllı ev modeli üzerinde değişik algoritmalar kullanılarak yapılan bir çalışmada ise %7,3 enerji tasarrufu sağlanmıştır [21]. Ayrıca tez konusu olan projenin yürütücüsü ve araştırmacılarının da içinde yer aldığı İstanbul Kalkınma Ajansı tarafından destekli akıllı şebekelere yönelik çevreci ve akıllı ev projesi, araştırma ve test altyapısına uygun olarak YTÜ Elektrik Mühendisliği bölümünde gerçekleştirilmiştir. Bu proje altyapısı kullanılarak geliştirilen algoritmalar ve çalışmalarda da [22], [23] enerjinin etkin ve verimli kullanılmasına yönelik çok iyi çıktılara ulaşılmıştır. NSF destekli bir proje (Proje yöneticiliğini Prof. Dr. Saifur Rahman'ın yaptığı) çerçevesinde Virginia Tech. Üniversitesi'nden bir grup öğretim üye ve lisansüstü araştırmacıları Eylül 2012'de başlayan proje kapsamında, Ocak 2013'de Elektrik Mühendisliği Bölümümüzde İstanbul Kalkınma Ajansı (ISTKA) desteği ile geliştirilen Akıllı Ev Laboratuvarı'nda ortak araştırma faaliyetlerinde bulunmuşlardır.

Akıllı evlerdeki elektriksel cihazların kontrolü için önemli bir araç olan akıllı prizlerle ilgili birçok çalışma ve bunun neticesinde ürünler ortaya konmuştur. Bu ürünlerden ticari ve çok yaygın olarak kullanılan bazıları zaten adı geçen projede (Akıllı Ev Laboratuvarı) kullanılmış ve mevcut özellikleri yakından test edilmiş, geliştirilmesi gereken yönleri de analiz edilmiştir. Özellikle gittikçe yaygınlaşan ZigBee haberleşmeli bir akıllı prizin ülkemiz koşullarında geliştirme çalışmalarının yapılıp ürüne dönüştürülmesi, enerji verimliliği ve akıllı şebekeler konusunda dünya ile rekabet edebilmemiz açısından önem arz etmektedir.

1.2 Tezin Amacı

Dünya literatüründe kabul edilen şekliyle bir akıllı priz genel olarak; prize bağlı olan evsel veya ofis cihazının tükettiği gücü, çektiği akımı ve cihaz bağlantı noktasındaki gerilimi bir haberleşme altyapısı ile uzaktan izleyip kaydetme ve gerekli durumlarda belirli bir enerji yönetim algoritmasına uygun olarak cihazın enerjisini yine uzaktan açıp-kapatma olanağı sağlayan bir cihaz şeklinde tanımlanmaktadır. Akıllı prizler ile ilgili uygulama Şekil 1.1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. 1 Akıllı priz uygulaması

Ayrıca günümüzde akıllı prizler, akıllı şebekeler ile uyumlu akıllı ev ve binaların önemli bir parçası haline gelmiştir. Özellikle akıllı şebeke altyapısı ile uygulanabilecek bir talep kontrolü için akıllı prizler mevcut cihazların kontrol edilebilmesi için büyük bir öneme sahiptir. Giderek artan enerji talebine karşın tüketilen enerjinin sadece izlemesi yeterli olmamaktadır. Literatürde talep kontrolü (demand side management) olarak açıklanan son kullanıcının elektrik enerjisi talebinin yönetilmesi ile ilgili çalışmalar önem kazanmaktadır.

Akıllı priz haberleşme altyapısı için Wi-Fi, kablosuz M-bus ve PLC (Power Line Communication) gibi seçenekler de mevcuttur. Ancak bu yöntemlerin üstünlüklerinin yanında bazı dezavantajları da bulunmaktadır. PLC yöntemi, şebekedeki enerji kalitesini bozan değişimlerden etkilenmektedir. Ayrıca ev ya da ofis elektrik tesisatındaki ekleme ve bağlantı noktaları, veri iletişimini olumsuz olarak etkileyebilmektedir.

Wi-Fi haberleşmenin kapsama alanı ZigBee'ye kıyasla daha geniş olmasına rağmen haberleşme ağına yeni cihaz ekleme işlemi, ZigBee ağındaki ekleme kadar kolay değildir. Ayrıca kapalı ortamlarda Zigbee'nin kapsama alanı yaklaşık 30 metredir ve bu değer ev ve ofis içinde haberleşme için oldukça yeterlidir. Kablosuz M-bus, diğerlerine kıyasla daha düşük maliyetli olmasına karşın, ZigBee daha az enerji tüketerek daha az radyasyon yaymakta ve daha dar bir frekans bandında çalışabilmektedir.

Bu çalışmada amaçlanan, yukarıda belirtilen genel özelliklere sahip ve bunlara ek olarak bağlı bulunduğu cihazın önceden tanımlanan elektriksel özelliklerini de dikkate alarak normal dışı çalışma durumunu da tespit edebilen, kablosuz haberleşme altyapısına sahip bir akıllı priz geliştirilmesidir. Bunlara ek olarak, ev ya da ofis ortamında tüm akıllı prizlerin mevcut otomasyon ve izleme sistemleriyle de haberleşmesini sağlayacak merkezi kontrol ünitesi elde edilmesi hedeflenmiştir.

1.3 Hipotez

Akıllı şebekeler, mevcut elektrik enerjisinin daha verimli üretilmesini, iletilmesini ve dağıtılmasını amaçlamaktadır. Bu anlamda birçok ülke akıllı şebekelere yüksek bütçelerde yatırımlar yapmaktadır. Elektrik şebekelerinde kesintilerin ve diğer arızaların çoğu dağıtım tarafında olduğundan, mevcut elektrik şebeke sisteminin akıllı şebekelere dönüştürülmesi daha çok dağıtım hattından başlamaktadır. Dağıtım hatlarında akıllı şebekelerin temel birimlerinden biri akıllı evlerdir. Akıllı evlerdeki enerji verimliliğinin artırılması ve tüketim değerlerinin azaltılması için enerji yönetimi yapılmaktadır. Enerji yönetiminin sağlanması için evde kullanılan elektriksel cihazların akıllı olması gerekmektedir. Akıllı cihazların çok az sayıda olması, akıllı prizleri çözüm olarak karşımıza çıkarmıştır. Akıllı prizler sayesinde, mevcut kullanılan cihazların tüketim bilgileri kullanıcıya iletilebilmekte ve istenilen zamanda cihazın kapatılması, çalışmasının ötelenmesi mümkün hale gelmektedir.

Akıllı prizler ile literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Fakat bu çalışmalarda priz güvenliği üzerinde çok fazla durulmamıştır. Akıllı evlerde verimli tüketimin yanında tüketici konforunun sağlanması da çok önemlidir. Akıllı prizlerde koruma özelliğinin geliştirilmesi ile tüketici konforunun artırılması, elektriksel kaynaklı can ve mal güvenliğini tehdit edici unsurların azaltılması, cihaz bazlı yapılacak koruma ile cihazların ömürlerinin artırılması öngörülmektedir.

BÖLÜM 2

AKILLI ŞEBEKELER

Elektrik enerjisi, en yaygın kullanılan vazgeçilemez bir kaynaktır. Günümüzde enerjinin doğru ve verimli kullanılması da ayrıca önemli hale gelmiştir. Kullanımı her geçen gün artan elektrik enerjisinin daha verimli kullanılması için ciddi teşvikler ve çalışmalar yapılmaya başlanmıştır [24]. Bunlardan biri de birçok ülkenin geniş çapta yatırımlarda bulunduğu “Akıllı Şebekeler” konusudur.

2.1 Akıllı Şebeke Kavramı

Akıllı şebekelerin fikir olarak ortaya çıkış kaynağı ilginç bir temele dayanmaktadır. 1980 yılında İsrail pilotu komutasındaki savaş uçağında bir arıza yaşanmış ve bu arıza sonucu oluşturulan çözüm akıllı şebekeler fikrine temel teşkil etmiştir [25].

Akıllı şebekeler ile ilgili çeşitli tanımlamalar yapılmaktadır. Bunlardan biri olarak da Türk Standartları Enstitüsü (TSE)’nin de içinde bulunduğu “European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC)” kuruluşunun ifadesine göre akıllı şebeke: Üretici ve tüketicilerin içinde bulunduğu, her kullanıcının bağlanabildiği ve bu kullanıcıların davranışlarıyla ve eylemleriyle entegre bir şekilde ekonomik verimliliği sağlayan, daha az kayba sebebiyet veren, daha kaliteli, güvenli, kesintisiz bir güç sistemi sunan bir ağ yapısıdır [26].

Akıllı yapıda sistemin kendi kendine karar verebilmesi, daha esnek bir kullanım sağlaması ön plandadır. Akıllı şebekelerde sistem içerisindeki cihazlardan alınan bilgiyle karar verme işlemi gerçekleştirilir. Bu bağlamda birlikte çalışabilirlik, akıllı şebekelerin anahtar kavramıdır [27]. Akıllı şebekeler, mevcut ve yeni elektrik enerji sistemlerinin, tüketici ile etkileşimli ve gerçek zamanlı olarak izlenip kontrol edilebilen bir yapıda

olmasını amaçlamaktadır [25]. Kısaca şebekelerin akıllı olması, kaynakla tüketicinin çift yönlü haberleşmesine izin vermekte ve internet, bilgisayar, otomasyon, kontrol elemanları gibi birçok yeni teknoloji ekipmanlarıyla hem elektrik talebi hem de enerji arzı birbirlerine uyumlu şekilde kontrol edilebilir hale gelmektedir [28].

2.2 Akıllı Şebekelere Geçiş Nedeni

Akıllı şebekelere duyulan ihtiyacın tek bir nedeni yoktur. Birçok farklı sebep akıllı şebekelere geçişi zaruri hale getirmiştir. En bilindik nedenlerin başında 2003 yılında klima yüklerinden dolayı Amerika Birleşik Devletleri'nde yaşanan enerji kesintisidir. 50 milyon kişinin yaşamının etkilendiği bu olaydan sonra mevcut elektrik şebekesinin yenilenmesi ve akıllı hale getirilmesi gündeme gelmiştir. Bunun dışında fosil yakıtların azalması, mevcut enerjinin daha verimli kullanılmasını teşvik etmiştir. 2030 yılında enerji ihtiyacının %30 artacağı göz önünde bulundurulursa bu ihtiyacın karbon salınımının arttırılmadan karşılanması önemli bir husustur. Bu kapsamda alternatif elektrik enerji üretimi gündeme gelmiştir. Mevcut elektrik şebekesinin alternatif üretilen elektrik enerjisiyle birlikte hizmet verememesi akıllı şebekelere geçiş sebeplerinden birini oluşturmaktadır. Bir diğer yandan Kyoto protokolünde sera etkisine sebep olan karbon emisyonunun çevreye verdiği ciddi boyutlardaki zarar da akıllı şebekelere geçişte önemli sebeplerin başında yer almaktadır.

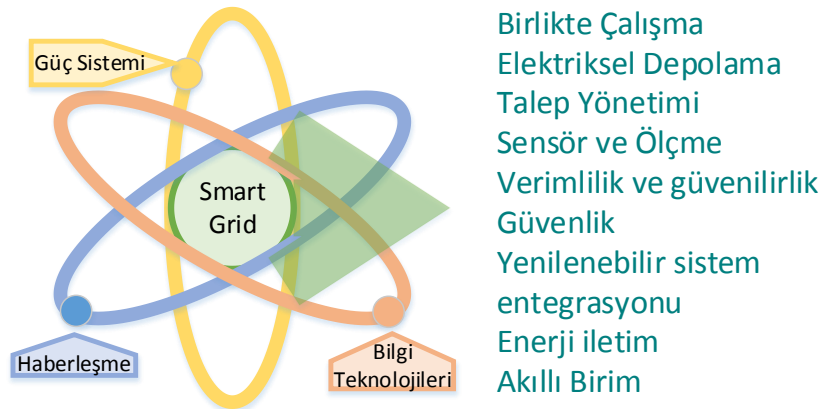
2.3 Akıllı Şebeke Bileşenleri ve Teknolojileri

Akıllı şebekelerin başlıca unsurlarından olan etkin kontrol ve gerçek zamanlı görüntüleme sistemlerinin mevcut şebekelerde gerçekleştirilebilmesi, disiplinler arası çalışmayı gerektirmektedir. Bu bağlamda enerji sistem mühendisliğinin, bilgi ve haberleşme teknolojileri bölümleriyle birlikte çalışması söz konusu olmuştur. Mevcut elektrik şebeke sistemleriyle akıllı şebekeler çizelge 2.1'de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 2. 1 Mevcut elektrik şebeke sistemi ile akıllı şebekelerin karşılaştırılması[29]

MEVCUT ŞEBEKE	AKILLI ŞEBEKE
<i>Elektromekanik</i>	<i>Dijital</i>
<i>Tek yönlü haberleşme</i>	<i>Çift yönlü haberleşme</i>
<i>Merkezi üretim</i>	<i>Dağıtık üretim</i>
<i>Hiyerarşik yapı</i>	<i>Ağ yapı</i>
<i>Birkaç sensör uygulaması</i>	<i>Tamamen sensör uygulaması</i>
<i>Kapalı sistem</i>	<i>Kendini gözleyen bir sistem</i>
<i>Manuel bakım</i>	<i>Kendini iyileştirebilen sistem</i>
<i>Bozulma ve kesinti</i>	<i>Uyarlanabilme ve adalanabilme</i>
<i>Tüketicieye sunulan birkaç seçenek</i>	<i>Birçok tüketici seçeneği</i>

Akıllı şebekelerin uygulamaları içinde çeşitli alt çalışma başlıkları bulunmaktadır. Söz konusu başlıklar; iletim otomasyonu, dağıtım otomasyonu, yenilenebilir enerji entegrasyonu, akıllı uygulamalar, depolama sistemleri, sistem koordinatörü değerlendirme istasyonu ve dağıtık üretim gibi alanlardan oluşmaktadır. Akıllı şebekelere geçiş için öngörülen bileşenler Şekil 2. 1’de verilmiştir.



Şekil 2. 1 Akıllı şebeke bileşenleri

Akıllı şebeke teknolojilerini; geliştirilmiş komponentler, geliştirilmiş kontrol metodları, sensör ve ölçüm, geliştirilmiş arayüz ve haberleşme olarak 5 ana başlık altında inceleyebiliriz [30]. Şekil 2.2’de ana başlıklar verilmiştir.



Şekil 2. 2 Akıllı şebeke teknolojileri

2.4 Akıllı Şebekenin Faydaları

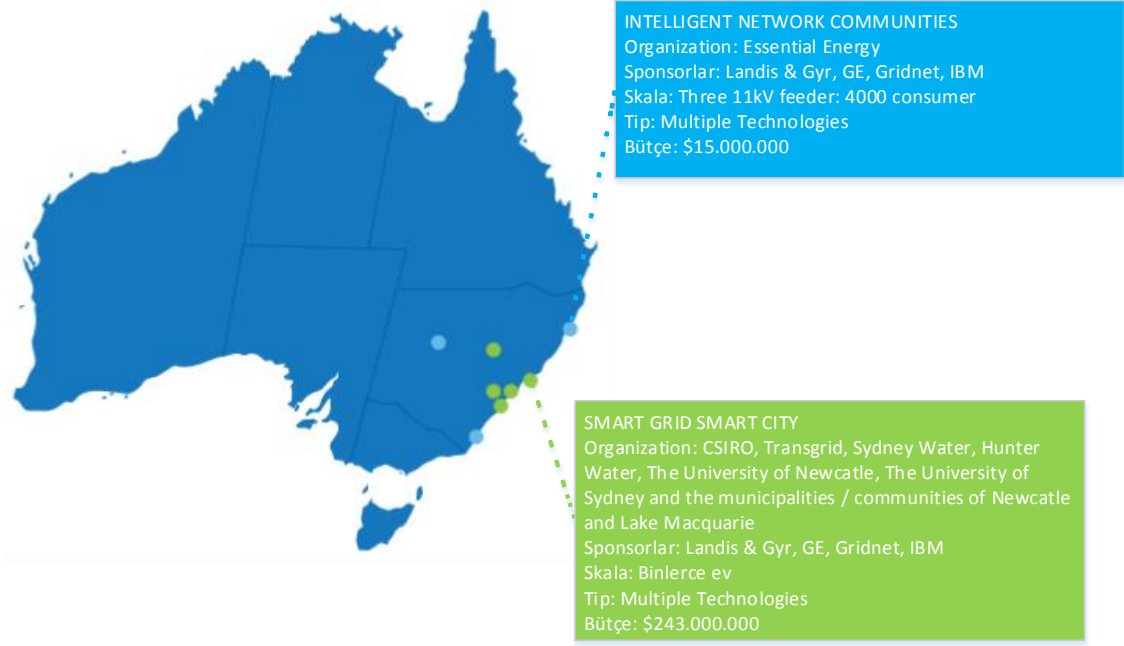
Akıllı şebekeler, enerji verimliliği altında değerlendirilmektedir. Akıllı şebekelerin başlıca faydalarını aşağıdaki gibi özetleyebiliriz [28], [31].

- Akıllı şebekeler, enerji tüketiminin uzaktan ve anlık olarak izlenebilmesine ve kontrol edilebilmesine olanak sağlayarak mevcut yapının daha verimli kullanılmasını, arızanın yerinde tespit edilip kayıpların azaltılmasını sağlar.
- Anlık alınan enerji verileri, ölçüm ve analizlerle daha ucuz enerji yatırımlarına imkân sağlamanın yanısıra gerçek zamanlı ücretlendirmeyeyle tüketicilere daha dinamik bir tarife imkânı sunar.
- Akıllı şebekelerle mevcut şebeke enerji taşıma kapasitesi güçleneceğinden, elektrikli araçlar ve ileride öngörülen akıllı cihazlar için güçlü elektrik altyapısı oluşturulmuş olur.
- Tüketiciler akıllı şebeke ile birlikte yenilenebilir kaynakları daha kolay evlerine adapte edebilecekler. Bu sayede fosil yakıtlara olan bağımlılık ve dolayısıyla karbon salınımı azaltılmış olacaktır.
- İşletme giderlerinde ve bakım maliyetlerinde azalma, ekipmanların ömründe ve şebeke güvenliğinde artış sağlanacaktır.

- Yeni iş fırsatları ve iş alanları oluşturularak ekonomik ve sosyal gelişime katkı sağlayacaktır.

2.5 Akıllı Şebeke Uygulamaları

Akıllı şebekelerle ilgili geniş çapta ilk uygulama Malta’da gerçekleştirilmiştir. “Enemalta” projesi olarak adlandırılan proje ile 250.000 sayaç kurulumu yapılmış ve bunun yanında halkın bu konuda bilinçlenmesi için eğitimler düzenlenmiştir [32]. Öne çıkan ilk çalışmalardan bir diğeri de İtalya da gerçekleştirilen “Telegestro” projesidir. Bu proje kapsamında 2.100.000 £ harcama ile yaklaşık 30.000.000 sayaç kurulumu gerçekleştirilmiştir. Faturalandırma, müşteri takip, arıza tespit gibi özellikleri ile birlikte talep yönetiminin sağlanması amaçlanmıştır. Günümüzde akıllı şebekelerle ilgili çalışmalar Dünya’nın dört bir yanında devam etmektedir. Özellikle “OG&E Positive Energy Smart Grid Project” (US), “Townsville Queensland Solar City” (Australia), “Smart Grid, Smart City” (Australia), “Leading utility” (US), “Yokohama Smart City Project” (Japan), “Búzios Smart City Project” (Brazil) başlıkları kapsamında gerçekleştirilen projeler 2013 yılında akıllı şebekeleri Dünya’da popüler hale getirmiştir [33]. Bunun yanında Global Smart Grid Federation 2012 yılı raporuna göre bir çok ülkenin akıllı şebekeler ile ilgili ciddi yatırımları bulunmaktadır (Şekil 2.3), (Şekil 2.4), (Şekil 2.5), (Şekil 2.6), (Şekil 2.7), (Şekil 2.8). Bu ülkelerin yanında Güney Kore’de “Jeju Smart Grid System Demonstration Complex”, “Smart Transportation (\$18M)”, “Renewable Energy Source Operating System”, “Consumer-participating smart place (\$30M)” başlıkları altında projeler yürütülmektedir. Son olarak Amerika’da da “Pacific Northwest Smart Grid Demonstration Project(\$180M)”, “Houston’s Smart Grid (\$640M)”, “Smart Texas(\$3.4M)” projeler başta olmak üzere birçok çalışma bulunmaktadır [34].



Şekil 2. 3 Avustralya Akıllı Şebeke çalışmaları



Şekil 2. 4 Kanada Akıllı Şebeke çalışmaları

ADDRESS (ACTIVE DISTRIBUTION NETWORK WITH FULL INTEGRATION OF DEMAND AND DISTRIBUTED ENERGY RESOURCES)
 Organization: The utilities UK Power Networks, Enel Distribuzione, Iberdrola Distribucion, Vattenfall, the energy suppliers Enel Distributie Dobrogea and Electricité de France, the universities and research institutes of Università degli Studi di Cassino, Universidad Pontifical Comillas, Consentec, Enel Ingegneria ed Innovazione SpA - Research division, Kema Nederland, Fundación Tecnalia Research & Innovation, University of Manchester, Università degli Studi di Siena, VITO NV, VTT
 Sponsorlar: ABB, Landis & Gyr, ZIV PmasC, Electrolux Italia, Philips Electronics Nederland, Rltel, Alcatel Lucent Italia, Current, Ericsson Espana
 Skala: Demonstration project involving 400 customers
 Tip: Multiple Technologies
 Bütçe: €16.000.000

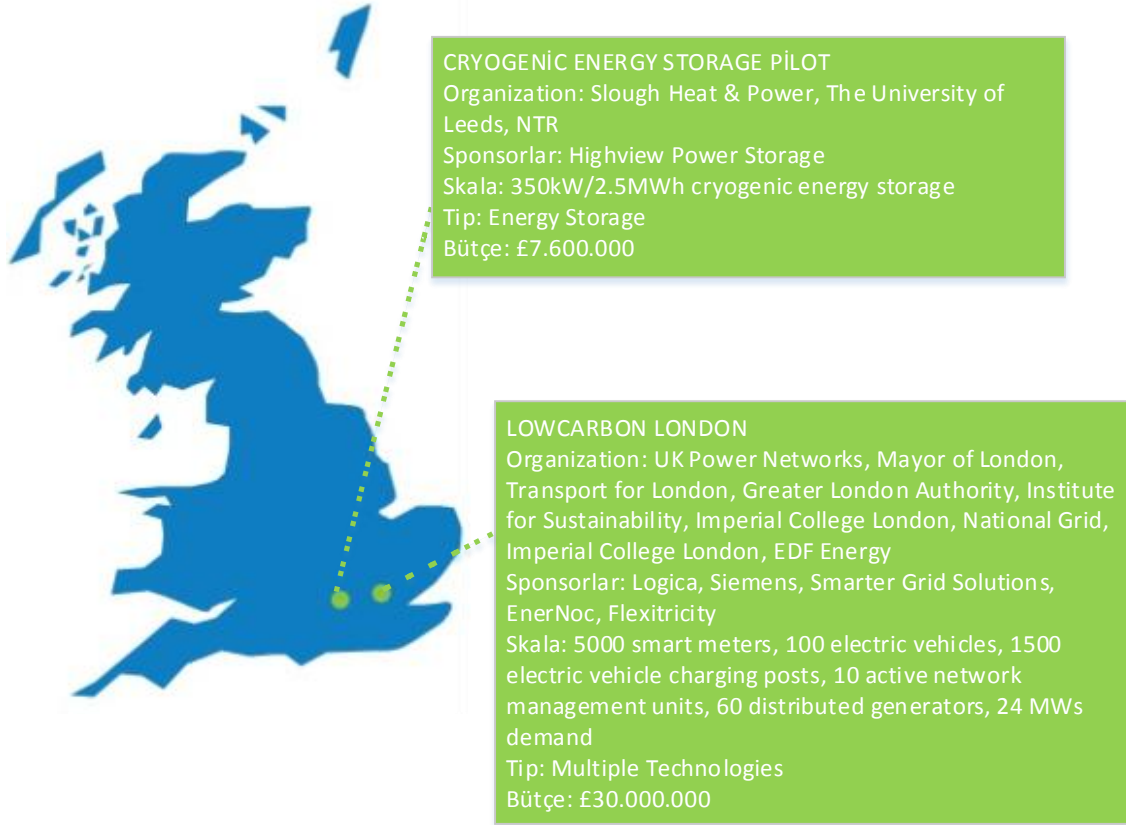
GRID4EU
 Organization: ERDF, Enel, Vattenfall, Eldistribution, Cez Distribuce, Rwe, Iberdrola, EDF, Iberdrola Generacion, Cez
 Sponsorlar: ABB, Alstom Grid, Cisco, Current, Emeter, Itron, Landis&Gyr, Ormazabal, Selta, Siemens, Telvent, Ziv, the universities / research institutes Armines, Comillas, Tud, Rse, Kth, Kul
 Skala: R&D pilot with 6 demonstration sites
 Tip: Multiple Technologies
 Bütçe: €54.000.000

GREENEMOTION
 Organization: Danish Energy Association, EDF, Endesa, Enel, ESB, Eurelectric, Iberdrola, RWE, PPC and the municipalities of Barcelona, Berlin, Bornholm, Copenhagen, Cork, Dublin, Malaga, Malmö, Rome
 Sponsorlar: Alstom, Better Place, Bosch, IBM, SAP, Siemens, BMW, Daimler, Micro-Vett, Nissan, Renault, Cartif, Cidaut, CTL, DTU, ECN, Imperial, IREC, RSE, TCD, Tecnalia, DTI, FKA, TÜV Nord
 Skala: 9 electric mobility demonstration projects across Europe
 Tip: Multiple Technologies
 Bütçe: €24.200.000

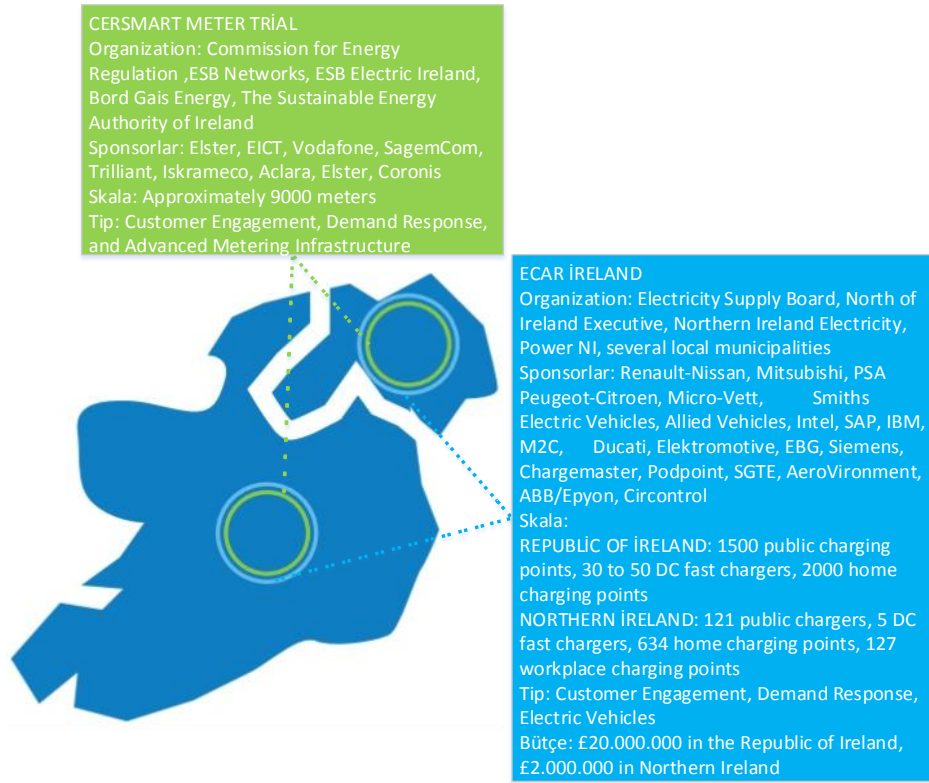
ECOGRID
 Organization: DSOs Energinet.dk, ELIA, EDP, Østkraft, EANDIS (+ORES), Center for Electric Technology, DTU, Austrian Institute of Technology, Tallinn University of Technology (TUT), SINTEF ER, Tecnalia, ECN, TNO
 Sponsorlar: Siemens, IBM, Landis+Gyr
 Skala: 28,000 residential customers, 300 large customers & 56MW renewable generation
 Tip: Multiple Technologies
 Bütçe: €21.000.000



Şekil 2. 5 Avrupa Akıllı Şebeke çalışmaları



Şekil 2. 6 Büyük Britanya Akıllı Şebeke çalışmaları



Şekil 2. 7 İreland Cumhuriyeti ve Northern Ireland Akıllı Şebeke çalışmaları

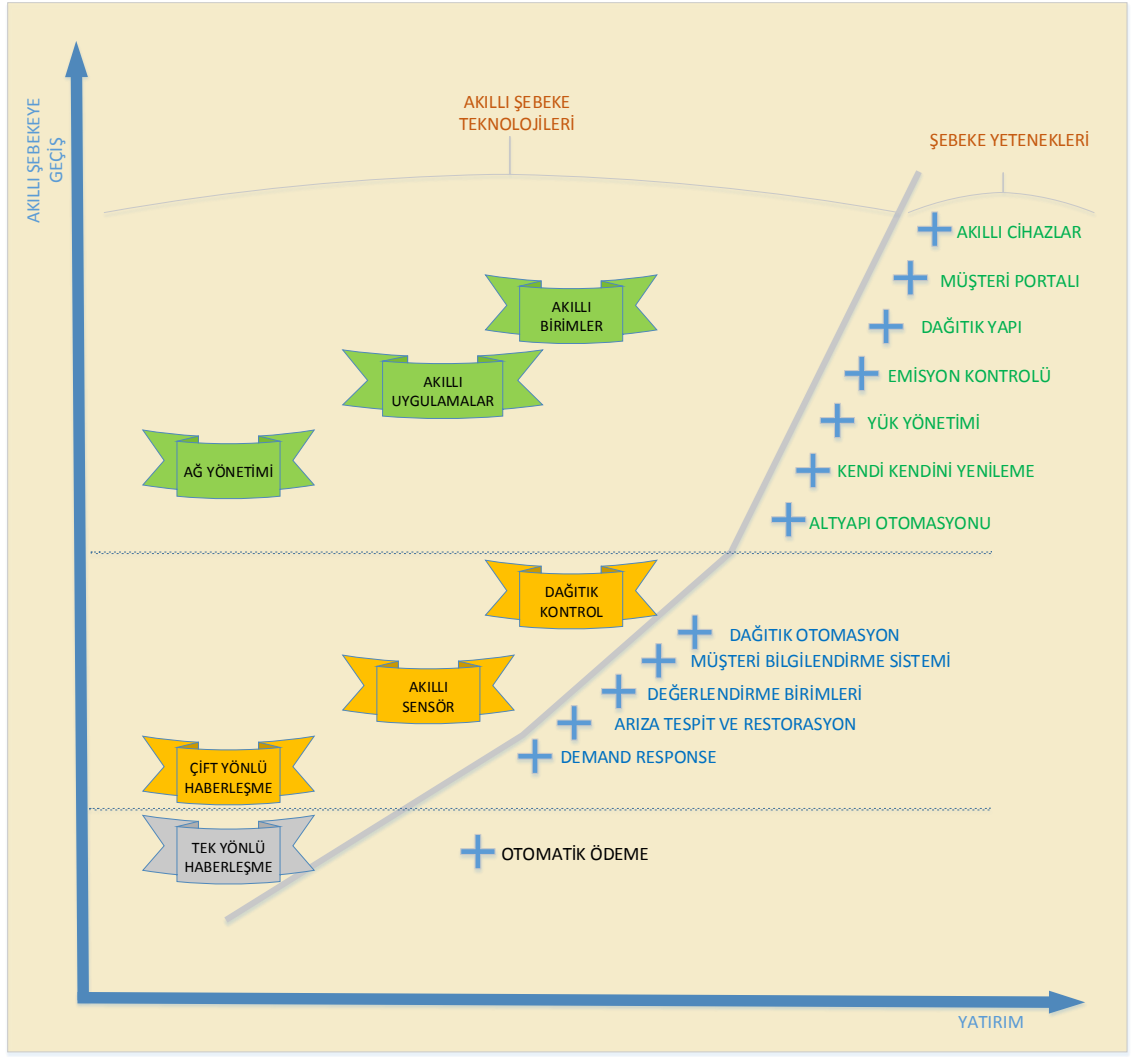


Şekil 2. 8 Japonya Akıllı Şebeke çalışmaları

2.6 Akıllı Şebeke Entegrasyonu

Mevcut şebeke sistemini kaldırıp yeni şebeke sistemini akıllı olarak inşa etmek imkânsız olduğu için, mevcut şebekeler üzerinde basamak basamak iyileştirmeler yaparak akıllı şebekeye geçiş planlanmaktadır (Şekil 2.9). Bu basamakların ilki, dağıtım tarafındaki iyileştirmelerdir. Enerji kesintilerinin ve diğer elektrik arızalarının neredeyse %90'ı dağıtım tarafında meydana gelmektedir [29]. Bu kapsamda dağıtım sisteminin akıllı şebekelere geçişte ilk basamağı olan akıllı sayaç alt yapısı, akıllı şebeke entegrasyonunun temelini oluşturmaktadır.

Akıllı şebeke entegrasyonu için pilot çalışmalar kurulmakta ve bu çalışmalar sürekli izlenmektedir. Pilot çalışmalar sırasında meydana gelen sorunlarla ilgili çözümler üretilmekte ve bu şekilde akıllı şebekelere geçişte yol haritası oluşturulmaktadır.

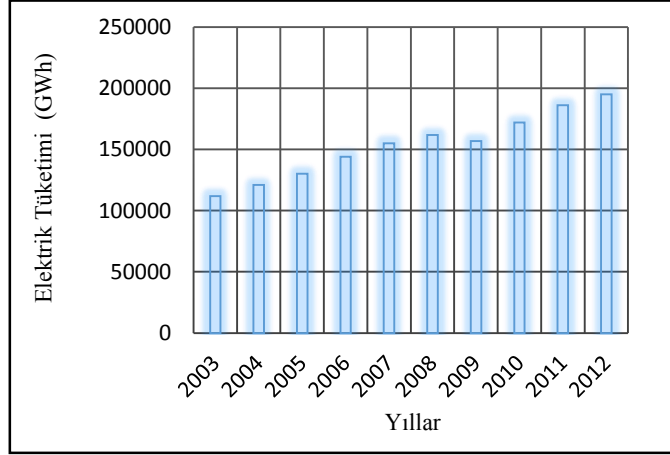


Şekil 2. 9 Akıllı Şebeke entegrasyon basamakları [29]

Akıllı şebekelere geçiş uzun bir süreç olarak değerlendirilebilir. Bu süreci azaltmak pilot uygulamalardan alınan geri dönüşlerle ve akıllı şebeke altyapısının oluşturulması için standartların hızlı bir şekilde sağlanmasıyla mümkün olmaktadır. Akıllı şebekelere geçiş için gündemdeki belli standartlar; IEC61970 / IEC61968 (bilgi teknolojileri entegrasyonu için oluşturulan standart), IEC61850 (gerçek zamanlı fider otomasyonu, dağıtık enerji entegrasyonu, gerçek zamanlı müşteri ve araç (vehicle) bilgilendirme sistemi standardı), IEEE C37.118 (PMUs-Fazör ölçüm birimleri standardı), SAE/61850 (elektrikli araç (PEVs) standardı), ANSI C12 (sayaç standardı), ASHRAE/ANSI 135 (Bina otomasyonu standardı), ISA (endüstri standardı) standartlarıdır.

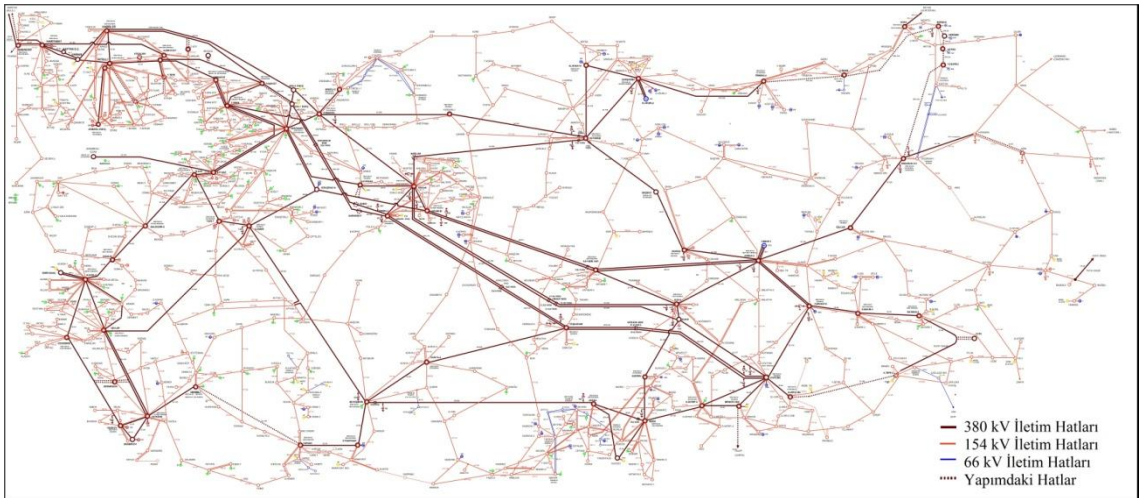
2.7 Türkiye Akıllı Şebeke Çalışmaları

Gelişmekte olan ülkeler arasında yer alan Türkiye'nin elektrik enerjisi talebi her geçen yıl artmaktadır. Türkiye'nin özellikle son 10 yıldaki elektrik enerji talebi Şekil 2. 10'da verilmiştir [44].



Şekil 2. 10 Türkiye Elektrik Tüketimi

Türkiye'nin elektrik şebeke sistemi, 2013 sonu itibariyle 64.044 MW Kurulu güce, 112.846 MVA kurulu trafo gücüne sahip hale gelmiştir [35]. Türkiye elektrik şebekesinin 50.418,4 km enerji iletim hattı uzunluğuyla (Şekil 2.11) yıllık 242 milyar kWh tüketim kapasitesiyle ENTSO-E ile senkron paralel çalışmaktadır ve ENTSO-E'nin en büyük 5. Şebekesidir [35].



Şekil 2. 11 Türkiye iletim hattı haritası

Türkiye elektrik şebeke sistemi; üretim, iletim ve dağıtım alt sektörleri olarak üçe ayrılmıştır. 2005 yılında dağıtım sektörü devlete ait 21 dağıtım şirketine bölünmüş ve 2006'dan itibaren aşamalı olarak özelleştirilmiştir [36].

Akıllı şebekeler kavramı Türkiye'de dağıtım sektörünün özelleşmeye başlamasıyla hız kazanmakta ve daha çok gündeme gelmektedir [36]. Türkiye'de akıllı şebekeler ile ilgili yapılan çalışmaların temelini, mevcut sayaçların akıllı sayaçlarla değiştirilmesi ve otomatik sayaç okuma sistemi ile bu sayaçların uzaktan okunması oluşturmaktadır. Türkiye Elektrik İletim A. Ş. (TEİAŞ) tarafından gerçekleştirilen Otomatik Sayaç Okuma projesi kapsamında iletişim kanallarının (ADSL, GPRS) temin ve tesisi ile ilgili olarak çalışmalara devam edilmektedir [35]. Ayrıca bu sistemin iletişim alt yapısı ile ilgili olarak, sağlıklı işletilmesine yönelik çalışmalar da yapılmaktadır. TEİAŞ bünyesinde, elektrik iletim sistemi kullanıcılarına ait sayaçların uzaktan otomatik okunması amacıyla yürütülen Otomatik Sayaç Okuma Sistemi (OSOS) projesinin geçici kabulü ile, 2012 yılı sonu itibarıyla toplam 948 farklı yerde kurulu bulunan yaklaşık 2.761 adet dijital elektrik sayaçtan ölçüm verilerinin OSOS vasıtasıyla otomatik toplanması gerçekleştirilmiştir [35]. Enerji verilerinin internetten okunmasına ilişkin 349 adet web ara yüzü kullanıcılarına, sisteme giriş yaparak kendisine ait bilgileri görebilmek için gerekli olan kullanıcı adı ve şifreleri verilmiştir [35]. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı koordinatörlüğünde hazırlanan "Enerji Verimliliği Strateji Belgesi" kapsamında enerji ve güç miktarına göre kademelendirilmiş tarife, çok terimli sayaç ve akıllı şebeke uygulamalarının yapılması, bunun yanında ulaşımda enerji verimliliğinin artırılması için akıllı trafik yönetimi uygulamaları ve akıllı ulaştırma sistemlerinin yaygınlaştırılması gündeme getirilmiştir [37]. Ayrıca Ulusal Elektrik İletim Sisteminde akıllı şebeke uygulamaları konusunda ABD Ticareti Geliştirme Ajansı (USTDA) tarafından önerilen fizibilite çalışmalarına katkıda bulunulmuştur [37].

Ülkemizde geniş kapsamda enerjinin gerçek zamanlı izlenmesi konularında da çalışmalar mevcuttur. Türkiye Elektrik İletim Sistemi'nde IEC 61000-4-30 standardında A-sınıfı ölçüm gerekliliklerine uygun Güç Kalitesi (PQ) bileşenlerini, reaktif güç ve enerji akışlarını sürekli ve kesintisiz bir biçimde izlemek amacıyla "Türkiye Milli Güç Kalitesi Projesi (National Power Quality Project)" yürütülmüştür [38]. Bu proje kapsamında ülke çapında gerçek zamanlı bir izleme sistemi geliştirilmiş, söz konusu izleme

sisteminde, dağıtım sistemlerinin arabirimleri dahil olmak üzere elektrik iletim sisteminin tüm elektriksel büyüklükleri ve güç kalitesi (PQ) parametrelerinin ülke çapında gerçek zamanlı izlenmesi gerçekleştirilmiştir [39]. Söz konusu proje kapsamında akıllı şebekelerin önemli başlıklarından biri olan elektriksel büyüklüklerin izlenebilir olması sağlanmıştır. Bunun yanında “Türkiye’de Rüzgârdan Üretilen Elektriksel Güç İçin İzleme ve Tahmin Sistemi Geliştirilmesi Projesi (RITM)” adlı proje kapsamında, geniş ölçekte Rüzgar Enerji Santrallerinin (RES) Türkiye Elektrik Sistemine entegrasyonunun sağlanması amaçlanmaktadır [40]. Rüzgâr ve güneş enerjisi ile ortaya çıkan “Dağıtık Enerji” ile enerji iletim hatlarındaki röle koordinasyonu bozulmaktadır. Bunun önüne geçilmesi için Y.T.Ü. öğretim üyelerinin de içinde bulunduğu TÜBİTAK tarafından desteklenen AB projesi bulunmaktadır. “Güç Elektroniği Arayüzlü Alçak Gerilim Dağıtık Üretim Şebekelerinin Korunması” isimli söz konusu projede, dağıtık enerji üretimi sonucu bozulan röle koordinasyonunun, dinamik olarak değiştirilerek iyileştirilmesi üzerinde çalışmalar yapılmaktadır [41]. Yukarıda bahsedilen projeler ile ilgili gösterim Şekil 2. 12’de verilmiştir.



Şekil 2. 12 Türkiye’de yapılan Akıllı Şebeke uygulamaları

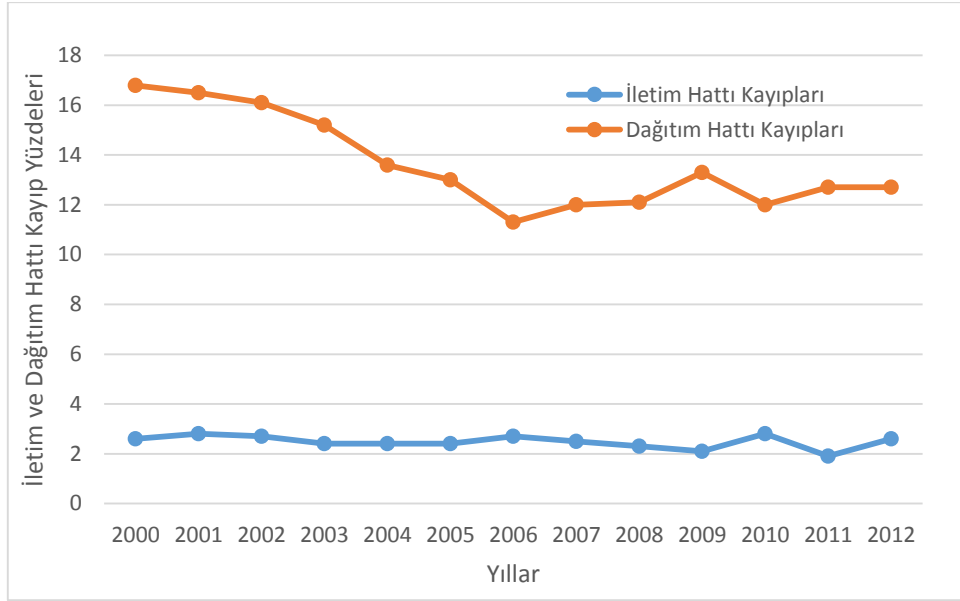
Enerji verimliliği kapsamında Türkiye’de gerçekleştirilen ve devam eden birçok proje bulunmaktadır. Türk sanayinde enerji verimliliğinin gerçekleştirilmesi için “Sanayide Enerji Verimliliğinin Artırılması Projesi”, enerji verimli elektrikli ev aletlerinin kullanımının yaygınlaştırılması ve piyasa dönüşümünün hızlanması için “Enerji Verimli Elektrikli Ev Aletlerinin Piyasa Dönüşümü Projesi”, izleme ve değerlendirme çalışmalarına destek kapsamında “Türkiye’de Enerji Verimliliği İzleme Ve Değerlendirmesinin Geliştirilmesi Projesi(Hollanda /Türkiye İşbirliği)”, bina sektöründe enerji verimliliğinin arttırılmasına ilişki “Binalarda Enerji Verimliliğinin Artırılması Projesi” devam eden projeler arasındadır [37].

Türkiye’de kabul edilen “Dokuzuncu Kalkınma Planında”, enerjinin üretimden nihai tüketime kadar her safhada en verimli ve tasarruflu şekilde kullanılması ve üretim sistemi içinde yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının payının azami ölçüde yükseltilmesi ifadeleri yer almaktadır [42]. Yine “Orta Vadeli Program” başlığı altında “Elektrik üretimi, iletimi ve dağıtımında kayıp/kaçakların asgari seviyeye indirilmesi, Enerji Verimliliği Kanunu çerçevesindeki destekleme imkânlarının artırılması, talep tarafı yönetimi, yüksek verimli kojenerasyon ve yalıtım gibi uygulamaların yaygınlaştırılması yönünde politikalar izlenecektir.” ifadelerine yer verilmiştir [43]. Türkiye Sanayi Strateji Belgesi’nde ise “Enerji verimliliği hususunda alınacak tedbirlerle 2020 yılına kadar sanayide, binalarda ve ulaştırma sektöründe daha az enerji kullanımının sağlanması öngörülmektedir. Bu kapsamda kısa vadede, aydınlatma, izolasyon, ulaşım ve elektrikli cihazlarla ilgili olarak yürütülen enerji verimliliği çalışmalarının sürdürülmesi; mevcut santrallerde yeni teknolojiler kullanılarak verimin yükseltilmesi ve üretim kapasitesini artırmak için yapılan rehabilitasyon çalışmalarının tamamlanması; yüksek verimli kojenerasyon uygulamalarının yaygınlaştırılmasının sağlanması planlanmaktadır.” ifadelerine yer verilmiştir [44]. Bu amaçlar doğrultusunda ve Enerji Verimliliği Kanunu gereği Türkiye’de 2023 yılına kadar tüketilen enerji yoğunluğunun %20 azaltılması hedeflenmektedir [37]. Türkiye’de yapılan program ve öngörülen hedefler, enerji verimliliğini ve izlenebilirliği temel alan akıllı şebekelere geçişi zorunlu kılmaktadır.

Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaşması amacıyla çıkarılan teşvik yasası sonucunda 1MW’a kadar lisansız enerji üretimine izin verilmiştir. Yenilenebilir

enerji kaynakları sayesinde, tüketiciler kendi enerjilerini üretebilen hatta şebekeye enerji aktaran üretici konumu da kazanmışlardır. Bu sebeple, yenilenebilir enerji kaynaklarının şebeke ile entegrasyonu ve gerçek zamanlı fiyatlandırmanın yapılması açısından Türkiye'nin akıllı şebekeler ile ilgili çalışmaları ayrı öneme sahiptir.

Türkiye'de akıllı şebekelere geçilmesi halinde sağlanan faydalardan biri de mevcut elektrik şebekesindeki iletim ve dağıtım kayıplarının azaltılması olacaktır. Şekil 2. 13'de de görüldüğü gibi dağıtım hattındaki kayıplar iletim hattındaki kayıplara göre daha fazladır.



Şekil 2. 13 İletim ve dağıtım hatlarındaki kayıp oranları [45]

Dağıtım hattındaki bu kayıpları akıllı şebeke sistemine geçerek azaltılabileceği muhtemeldir. Akıllı Şebekelerle birlikte dengeli yük dağıtımı yapıldığında hem iletim, hem de dağıtım hatlarında kayıpların minimize edilmesi gerçekleştirilebilecektir.

AKILLI EVLER

Akıllı Evler, klasik ev konseptinin bilgi ve haberleşme teknolojileriyle donatılarak izlenip kontrol edilebilir haldeki yerleşim meskenleri olarak tanımlanabilir.

3.1 Akıllı Ev Konsepti

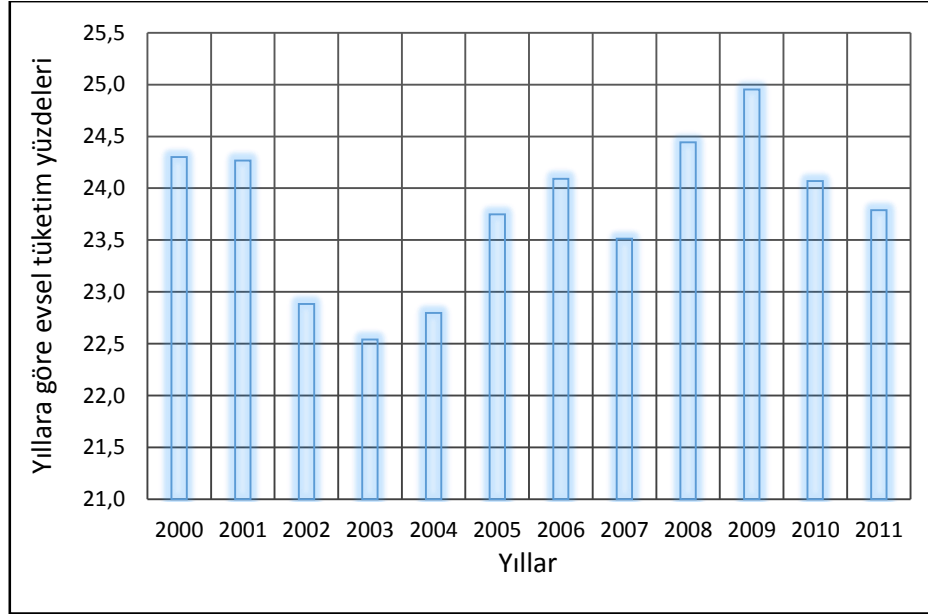
Gelişen bilgi ve haberleşme teknolojileri evlerimizin daha akıllı hale gelmesine imkân sağlamaktadır. Dünyanın birçok yerinde akıllı şebekelerin bir alt başlığı olarak incelenen ve tüketici ile şebeke arasında köprü vazifesi gören akıllı evler için birçok yeni yazılım ve bu yapıya uygun cihazlar geliştirilmektedir. Akıllı evlerdeki temel yapı, akıllı şebeke teknolojileriyle beraber şebeke operatörleri ile son tüketici arasındaki interaktif ilişkinin kurulmasına dayanmaktadır [28]. Akıllı evlerde haberleşme altyapısının da kurulmasıyla çift yönlü bir veri akışı, elektronik cihazlara uzaktan erişebilme ve kontrol edebilme, bunun yanında gerçek zamanlı fiyatlandırma yapılmasını mümkün olmaktadır. Bu sayede şebeke verileri evlerimizdeki akıllı sistem tarafından takip edilecek ve şebeke durumuna göre elektriksel cihazların çalışmasını düzenleyecektir. Bu durumun getirisi olarak şebekedeki puant yüklenmeler azalacak ve hem maliyet, hem de güvenlik açısından daha verimli bir sistem ortaya konacaktır.

Akıllı evler, sensör donanımına sahip cihazlar, bu cihazlar ile şebeke arasında çift taraflı haberleşme yapısı, kullanıcı tarafından ayarlanabilen kontrol sistemi olarak üç bölüme ayrılabilir [46]. Bunun dışında akıllı ev konseptini, sensör, “Local Area Network (LAN)” kart, dijital sayaç ve işlemci içeren akıllı kart sistemi olarak formülize etmek de mümkündür [47]. Muhtemel akıllı ev konseptine; yenilenebilir elektrik enerji sistemleri, elektrik enerjisi depolama sistemleri, tahmin sistemleri, akıllı sayaçlar, akıllı prizler,

akıllı aydınlatma sistemleri, elektrikli araçlar için şarj sistemleri, aynı zamanda araçlardan evi beslemek için kurulan ek sistemler de dâhil edilebilir [48], [49].

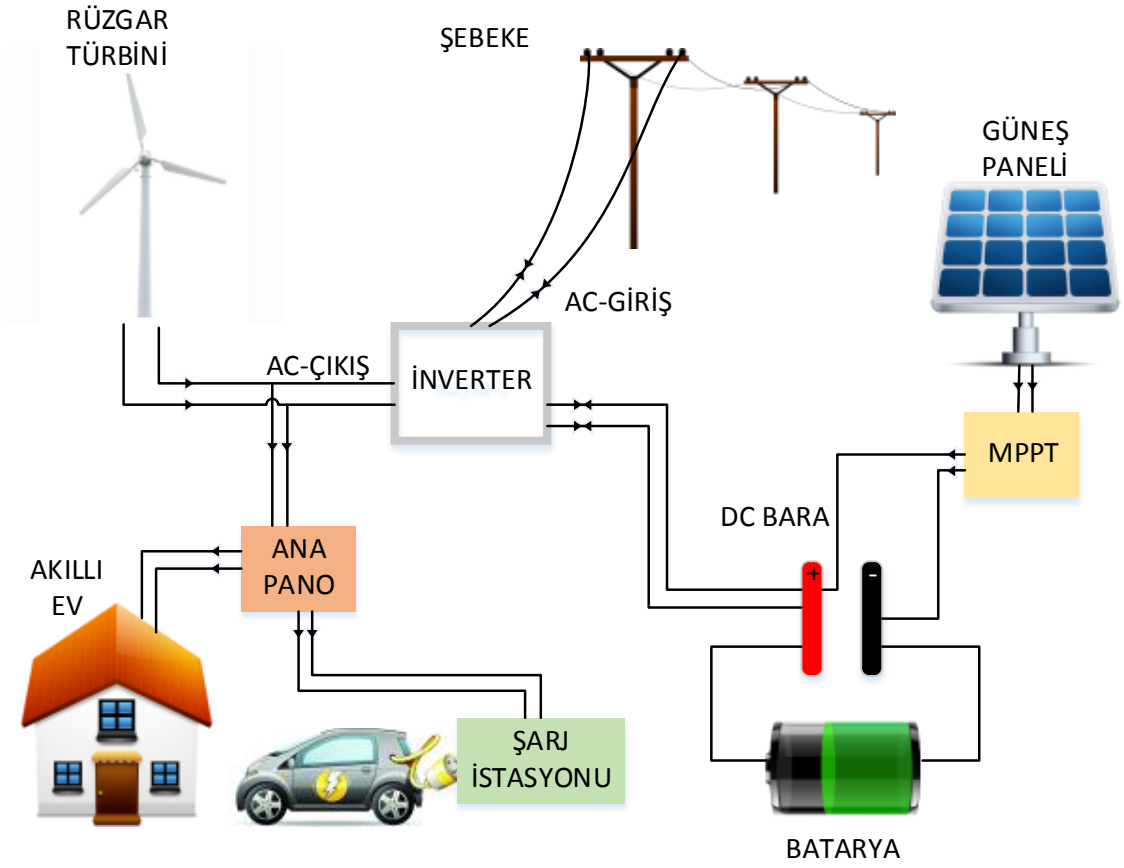
3.2 Türkiye’de Akıllı Ev Örneği

Türkiye’de tüketilen toplam elektrik enerjisinin %23,8’i meskenlerde harcanmaktadır [45]. Geçtiğimiz yıllara ait diğer verilen Şekil 3. 1’ de verilmiştir.



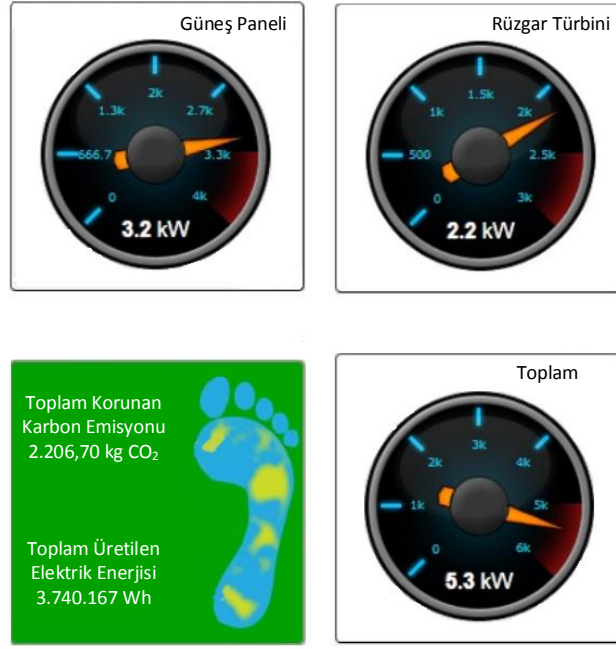
Şekil 3. 1 Türkiye yıllara göre meskenlerde tüketilen elektrik enerjisi oranları

Meskenlerdeki elektrik enerjisi tüketiminde yapılacak kontrol ve izleme ile daha verimli bir şebeke oluşturmak mümkün olacaktır. Bu ise akıllı evlerle mümkün olmaktadır. Mevcut evlerdeki yapı “akıllı” hale geldiğinde, tüketimde yüksek miktarlarda tasarruf ve verimlilik elde edilmiş olacaktır. Bu kapsamda Yıldız Teknik Üniversitesinde başlatılan çevreci akıllı ev projesi Türkiye’de ilk denebilecek çalışmalardan biridir. Akıllı ev şematiği Şekil 3.2’de görülmektedir. Bu proje ile beraber, Türkiye’de akıllı şebekeler ile ilgili çeşitli çalışmaların yapılması hız kazanmıştır.



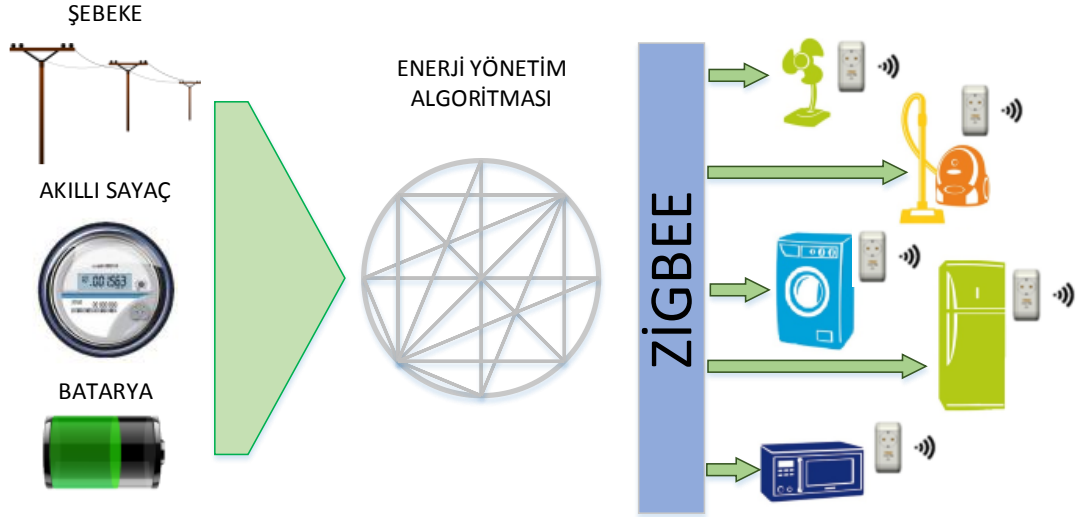
Şekil 3. 2 Akıllı evin şematik gösterimi

Gerçekleştirilen proje kapsamında akıllı evde yenilenebilir enerji sistemleri kullanılmış, enerji verimliliğinin artırılması ve karbon emisyonunun azaltılması amaçlanmıştır. Kurulduğu 2012 yılından itibaren Şekil 3. 3'te görüleceği gibi yenilenebilir kaynaklardan üretilen toplam enerji 3.740.167 Wh ve bu sayede korunan karbon salınımı 2.206,7 kg olmuştur.



Şekil 3. 3 Akıllı ev web arayüzü, anlık ve toplam yenilenebilir elektrik enerjisi değerleri

Yenilenebilir kaynaklardan elde edilen elektrik enerjisi süreklilik arz etmediğinden depolanması gerekmektedir. Bu bağlamda proje kapsamında akıllı evde bir batarya grubu oluşturulmuştur. Akıllı evde yenilenebilir elektrik enerji kaynaklarının ürettiği enerji sürekli izlenmekte ve kayıt altına alınmaktadır. Aynı zamanda hava tahmin istasyon kurulumu yapılmış, bu sayede ileriye dönük üretim tahminleri yapılabilmekte ve evde daha hassas enerji yönetimi uygulanabilmektedir. Güneş panelleri tarafından üretilen elektrik enerjisinin (DC) evde kullanılması için uygun inverter kurulumu gerçekleştirilmiştir. Kurulumu yapılan inverter aynı zamanda evin hem şebekeyle, hem de şebekeden bağımsız çalışmasına olanak sağlamaktadır. Yenilenebilir kaynaklardan elektrik enerjisi üretiminin gerçekleşmediği durumlarda (rüzgâr türbininde ve güneş panelinde elektrik üretimi olmadığında) ve enerjinin pahalı olduğu puant zamanlarda, şebekeden minimum enerji alımını gerçekleştirebilecek bir enerji yönetim algoritması oluşturulmuştur. Enerji yönetiminin yük tarafındaki kontrolü, elektrikli ev aletlerinin önüne yerleştirilmiş ve saniyeler mertebesinde örnek alabilen akıllı prizler sayesinde yapılmaktadır (Şekil 3.4).



Şekil 3. 4 Akıllı ev genel yönetim yapısı

Evde kısa erişimli kablosuz (KEK) haberleşme teknolojilerinden IEEE 802.15.4 ZigBee protokolü kullanılmıştır. Evde bulunan tüm prize akıllı priz kurulumu gerçekleştirilmiştir. Ayrıca sıcaklık, nem ve aydınlatma verileri de sensörler yardımıyla merkez bilgisayara aktarılmaktadır.

Proje kapsamında kullanıcıların internete bağlandığı herhangi bir noktadan rahatlıkla erişebilecekleri web ara yüzü bir yazılım geliştirilmiştir. Geliştirilen bu ara yüz, toplanan rüzgâr, güneş ve hava tahmini verilerini, bununla birlikte ev içi tüketim bilgilerini kaydetmekte ve analiz etmektedir.

Gerçekleştirilen bu projeyle yenilenebilir enerji ve elektrik enerji yönetimi kullanılarak akıllı evlerin temel mantığı oluşturulmuş, enerjinin verimliliğine, izlenebilirliğine, güvenilirliğine ve sürdürülebilirliğine katkı sağlanmıştır. İlgili proje ile oluşturulan enerji yönetim algoritmasıyla elektrik faturasında %25'e yakın tasarruf sağlanabildiği ortaya konulmuştur [22].

AKILLI SAYAÇLAR VE AKILLI PRİZLER

Mevcut elektrik şebekemizin izlenebilir, güvenli, kendi kendini onarabilen, çift yönlü haberleşmeye imkân sağlayan ve bunun yanında daha birçok özellekle donatılabilmesi için güçlü bir altyapı kurulması gerekmektedir. Kurulacak altyapının en önemli basamağını akıllı sayaçlar oluşturmaktadır.

4.1 Akıllı Sayaç Tanımı ve Özellikleri

Elektrik şebekesiyle tüketici arasındaki ilişkiyi kurmak için en gerekli uygulamalardan biri akıllı sayaçlardır. Akıllı sayaçlar enerji sağlayıcı ile tüketici arasında “Akıllı Şebeke Ara Yüzü” olarak çalışır [48]. Akıllı sayaçlar ile çeşitli haberleşme protokolleri kullanılarak enerji tüketimi uzaktan izlenebilmekte, ayrıca akıllı sayaçlar sayesinde hem dağıtıcı firma, hem de tüketici anlık olarak bilgilendirilebilmektedir. Akıllı evlerle ilgili, Ev Enerji Yönetimi (Home Energy Management-HEM), uzaktan erişimde zigbee, bluetooth, wi-fi vb. kablosuz haberleşme kullanılması, güç tüketiminin okunması, otomatik fatura oluşturulması ve kesintilerin tespit edilmesi gibi alanlarda çalışmalar yapılmaktadır [21]. Akıllı sayaçlarla izlenebilir hale gelen tüketimle “bir şey ölçülebilirse kontrol de edilebilir” prensibi gereği, ölçülebilen ve izlenen elektrik enerjisinin kontrolü için enerji yönetim algoritmaları geliştirilmektedir. Enerji yönetim algoritması, ev içerisindeki uygun haberleşme ağları ve akıllı uygulamalar sayesinde oluşturulabilmektedir. Bu sayede hem daha kontrollü, hem de daha verimli bir enerji tüketimi gerçekleştirilebilir. Enerji yönetim algoritmaları ile esnek zamanlı yüklerin çalışması ötelenebilir, bu sayede elektriğin pahalı olduğu puant zamanlarda şebeke tarafındaki aşırı yüklenme azaltılabilir, böylece enerji kayıplarının önüne geçilerek daha

verimli bir enerji tüketimi gerçekleştirilebilir. Tüm bunların sonucu olarak da, doğaya oldukça zararlı olan CO₂ gazının salınımı da azaltılmış olur. “General Electric”in yapmış olduğu bir çalışma sonrası, Amerika’daki evlerin %10’unda akıllı sayaç kullanılmasıyla 3.724.197 ton karbon salınımının önüne geçileceği vurgulanmıştır [50].

4.2 Türkiye’de Akıllı Sayaçlar

Türkiye’de akıllı sayaç çalışmaları, “otomatik sayaç okuma sistemi (OSOS)” projesi kapsamında yürütülmektedir. TEİAŞ bünyesinde gerçekleştirilen bu proje ile ilgili ADSL ve GPRS gibi iletişim kanallarının temin ve tesisi ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. 2012 yılı sonu 948 farklı yerde 2.761 adet akıllı sayaç kurulumu gerçekleştirilmiştir. Proje kapsamında bu sayaçlardan veriler, sağlıklı bir şekilde okunmuştur. 349 adet kullanıcıya kendi sayaçlarına ait enerji verilerini görmeleri için web tabanlı yazılım geliştirilmiştir. “Enerji Verimliliği ve Strateji Belgesi” kapsamında enerji ve güç miktarına göre kademelendirilmiş tarife, çok terimli sayaç başlıkları gündeme getirilmiştir.

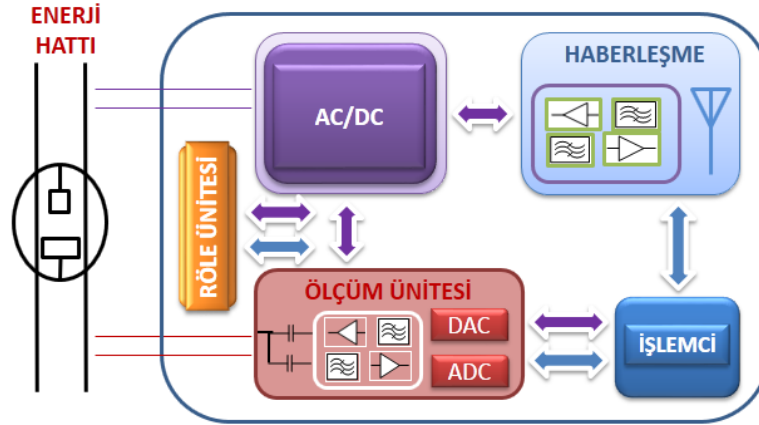
4.3 Akıllı Prizler

Amerika Birleşik Devletleri’nde üretilen elektrik enerjisinin %54’ü binalarda harcanmaktadır [51]. Bunun yanında Avrupa’da elektrik tüketiminin neredeyse yarısı evlerde, ofislerde ve ticari binalarda harcanmaktadır [52]. Verilen bu bilgilere bakarak akıllı şebekelerde önemli başlıklardan birinin de akıllı evler olduğunu söylemek doğru olacaktır. Evlerde enerji verimliliğinin sağlanmasıyla, tüketimde de verimlilik yüksek oranda sağlanabilecektir. Diğer bir açıdan, konutlardaki ve işyerlerindeki priz yükleri toplam yüklerin neredeyse %60’ını oluşturmaktadır [9]. Priz yüklerinden dolayı ortaya çıkan bu oranın belli bir kısmı cihazların sürekli prizlerde takılı kalmasından kaynaklanmaktadır. Bunu önlemek için priz yükleri yönetim algoritmaları oluşturmak gerekir. Prizlere takılan elektrikli cihazların yönetim algoritmalarına dahil olabilmeleri için “akıllı” olmaları gerekmektedir. Mevcut sistemde cihazlar henüz akıllı yapıda olmadığı için akıllı prizler kullanılmaktadır. Akıllı prizler, cihazların kontrol edilebilir ve izlenebilir hale gelmesini sağlar. Ayrıca akıllı prizlerden alınan verilerin elektrik üretim şirketlerine iletilmesi ile pik talep azaltılabilir ve fiyata göre tüketim yönlendirilebilir.

4.4 Akıllı Priz Yapısı

Akıllı ev sistemlerinde, ev içerisinde bulunan tüm elektrikli aletlerin enerji yönetim algoritmasına dahil olabilmesi için “akıllı” olması gerekmektedir.

Bu kısımda Şekil 4.1’de ana hatları verilen akıllı prizlerin yapısı; ölçme, değerlendirme, haberleşme ve anahtarlama olarak 4 başlık altında incelenmiştir.



Şekil 4. 1 Akıllı priz genel yapısı

4.4.1 Ölçme

Enerji tasarrufu sağlayabilmemiz için doğru bir şekilde ölçüm yapmamız gerekmektedir. Ölçme ünitesi, akıllı prizlerin pasif ünitelerinden birini oluşturmaktadır. Enerji ölçümü hesabında akım ve gerilim bilgilerini doğru okuyabilmemiz gerekmektedir. Gerilim ölçümü bilgisi, gerilim bölücü devre üzerinden analog dijital konvertör (ADC) yardımıyla kolayca hesaplanmıştır. Ama akım ölçümü için birkaç farklı ölçüm metodu bulunmaktadır. En basit şekilde bir şönt direnç (SR) ile üzerindeki gerilim düşümünden yararlanarak akımı hesaplanabilmıştır. Bu çözüm maliyet yönünden ekonomik ve boyut olarak küçük yer kaplamasına rağmen, yükün yüksek akım çekmesi durumunda dirençteki gerilim düşümü, aynı zamanda direnç üzerinde ısıdan dolayı oluşan kayıp enerji sistemin verimini kötü şekilde etkilemektedir. Ayrıca yükün yüksek akım çekmesi durumunda alınan sonuçlar sıcaklıktan etkilenmektedir. Akım ölçümünde ikinci bir yöntem akım trafosu kullanmaktır. Birebir sarımlı trafodan direnç yardımıyla akım değeri okunabilir. Bu çözüm izolasyon bakımından avantaj sağlamasına rağmen çok yer kaplaması ve sistemin istikrarlı olmaması dezavantaj oluşturmaktadır. Akım ölçümü için bir diğer çözüm ise “hall-effect (HES)” sensör kullanmaktır. Bu yöntem birçok

uygulamada kullanılmaktadır. Tercih edilen ölçüm topolojileri doğrultusunda alınan bilgiler, değerlendirme merkezi olan işlemciye yönlendirilmektedir.

Güç ölçümünde yukarıda bahsedilen yöntemlerin dışında diğer bir yöntemde “güç ölçüm entegresi (MIC)” kullanılmasıdır. Güç ölçüm entegreleri sayesinde entegre girişine sadece akım ve gerilim örneği verilmesi yeterlidir. Güç ölçüm entegresi, bu girişleri içerisindeki delta-sigma yapılarıyla çözümleyerek aktif güç, reaktif güç, görünür güç, faz farkı vb. gibi sonuçları hesaplayabilmektedir. Bu sonuçlar da yine değerlendirme birimi tarafından işlenmek üzere işlemciye gönderilmektedir. Farklı uygulama alanları için kullanılan ölçüm metodları çizelge 4.1’de verilmiştir [7].

Çizelge 4. 1 Farklı uygulama alanları için kullanılan ölçüm metodları

<i>Ev Uygulamaları</i>	<i>Eğlence Amaçlı Uygulamalar</i>	<i>Genel Uygulamalar</i>	<i>Akıllı Şebeke Uygulamaları</i>
<i>HES, MIC</i>	<i>HES, MIC</i>	<i>HES, MIC, SR</i>	<i>HES, MIC, SR</i>

4.4.2 Değerlendirme

Yazılım ve haberleşme biriminin olması, akıllı prizleri normal prizlerden ayıran ve onları “akıllı” hale getiren en temel iki unsurdur. Akıllı prizlerde gerekli değerlendirmeler yazılım tarafında işlemciler üzerinden yapılmaktadır. İşlemcide gerçekleştirilen yazılım algoritmaları ile prizi farklı çalışma modlarında kullanmak mümkün hale gelmektedir. Bu özellik sayesinde akıllı prizler ile ev içerisinde enerji yönetim algoritmaları gerçekleştirilebilir. Enerji yönetim sistemi basit anlamda enerji fiyatına bağlı olarak yük veya talebi planlama olarak ifade edilebilir. Prizler ile ilgili olan yönetim sistemi ise (Ev Enerji Yönetim Sistemi (Home Energy Management System-HEMS) olarak adlandırılmaktadır. HEMS girişleri: Tüketim profili, şebekenin anlık ve ortalama durumu olarak sıralanabilir. Bu sistemden beklenen bu verileri kullanarak tüketimin zamanına karar verebilmesi, bu kararları bir arayüz yardımıyla kullanıcıya sunabilmesidir.

Genel olarak akıllı yapılarda değerlendirme birimi olarak MCU, DSP, FPGA, ARM olarak 4 farklı yapı birimi vardır [7].

Micro Controller Unit (MCU): Maliyet ve verim bakımından akıllı uygulamalarda oldukça ön plana çıkmaktadır. Giriş ve çıkış değerleri 8-64 bit arası değişken seçeneklere sahip ve dataları RAM, ROM, EEPROM ve FLASH olarak depolayabilme imkânı sağlamaktadır.

Digital Signal Processor (DSP): MCU ile benzer özelliklere sahip fakat FFT, DFT ya da dijital filtre gibi yoğun hesaplama yapabilme özelliğine sahiptir. Matematiksel yada kompleks alanda, bölgesel bir uygulama için en uygun çözümdür. Ayrıca güç tüketim detaylarını da hesaplayıp monitöre işleme özelliği de sunmaktadır.

Field Programmable Gate Array (FPGA): Lojik devrelerde programlanabilir, paralelde hızlı çözümler koşturmanıza olanak tanır. MCU ve DSP'den daha hızlıdır. Bu seçenek akıllı uygulamalarda maliyet bakımından ve programlamasının karışık olmasından dolayı genelde tercih edilmez.

Advanced RISK Machine (ARM): Akıllı telefonlarda ve uygulamalarda yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Güç profili ve tüketim optimizasyonuna olanak tanır. Farklı uygulama alanları için kullanılan değerlendirme birimleri çizelge 4.2 de verilmiştir [7].

Çizelge 4. 2 Farklı uygulama alanları için kullanılan değerlendirme birimleri

<i>Ev Uygulamaları</i>	<i>Eğlence Amaçlı Uygulamalar</i>	<i>Genel Uygulamalar</i>	<i>Akıllı Şebeke Uygulamaları</i>
<i>MCU</i>	<i>MCU, DSP, ARM</i>	<i>MCU</i>	<i>MCU, DSP, ARM</i>

4.4.3 Haberleşme

Akıllı şebekelerde en önemli konulardan bir diğeri de haberleşmedir. Haberleşme başlığı altında uygulama alanlarına göre birçok seçenek bulunmaktadır. Bu seçenekler arasında farklı uygulama alanlarına ait haberleşme teknikleri çizelge 4.3'de verilmiştir. Akıllı prizler ile ilgili haberleşme, ev içi haberleşme sisteminin içerisine dahil olmaktadır. Ev içerisinde kapalı alanlarda kullanılan genel haberleşme yöntemleri çizelge 4.4'de yer almaktadır.

Çizelge 4. 3 Farklı uygulama alanları için haberleşme metodları

<i>Ev Uygulamaları</i>	<i>Eğlence Amaçlı Uygulamalar</i>	<i>Genel Uygulamalar</i>	<i>Akıllı Şebeke Uygulamaları</i>
<i>ZigBee, PLC</i>	<i>ZigBee, PLC</i>	<i>ZigBee, PLC</i>	<i>GSM, GPRS, WiMAX, PLC, ZigBee</i>

Çizelge 4. 4 Kapalı alanlarda kullanılan haberleşme yapıları ve karşılaştırılması

<i>Characteristics</i>	<i>Standard</i>	<i>Data Rate</i>	<i>Coverage Distance (m)</i>	<i>Operating Frequency</i>	<i>Power Consumption</i>
<i>Wi-Fi</i>	<i>IEEE 802.11n</i>	<i>72.5, 150 Mbps</i>	<i>Up to 100</i>	<i>2.4-5 GHz</i>	<i>Very High</i>
<i>ZigBee</i>	<i>IEEE 802.15.4g</i>	<i>20, 40, 250 Kbps</i>	<i>10-75</i>	<i>868, 915 MHz 2.4 GHz</i>	<i>Low</i>
<i>Z-Wave</i>	<i>ITU-T G.9959</i>	<i>9.6, 200 Kbps</i>	<i>Up to 30</i>	<i>868, 915 MHz</i>	<i>Medium</i>
<i>EnOcean</i>	<i>ISO/IEC 14543-3-10</i>	<i>120 Kbps</i>	<i>Up to 30</i>	<i>315, 868 MHz</i>	<i>Very Low</i>
<i>Dash7</i>	<i>ISO/IEC 18000-7-2004</i>	<i>27.7 to 200 Kbps</i>	<i>Over 100</i>	<i>433 MHz</i>	<i>Low</i>
<i>PLC (Narrow-Band)</i>	<i>IEEE 1901.2</i>	<i>Up to 500 Kbps</i>	<i>25-50</i>	<i>1-500 KHz</i>	<i>N/C</i>

4.4.4 Anahtarlama

Anahtarlama, akıllı prizlerde cihazın uzaktan kontrolünde aktüatör olarak kullanılmaktadır. Anahtarlama, röle üzerinden cihazın enerjisinin kesilmesi işlevini yerine getirmektedir. Anahtarlama elemanı olarak rölenin dışında triyak kullanılan devre sistemleri de literatürde mevcuttur [12].

AKILLI PRİZ TASARIMI

Akıllı prizler üzerine dünya genelinde, hem akademik, hem de endüstriyel alanda çok sayıda çalışma yapılmaktadır. Ülkemizde ticari olarak akıllı prizler mevcut olmasına rağmen, tez çalışmasında geliştirilen prizin benzeri yerli olarak üretilmemektedir. Akıllı priz tasarlamak üzere başlatılan, söz konusu SANTEZ projemizdeki adımlar bu bölümde anlatılacaktır.

5.1 Prototip Tasarımı

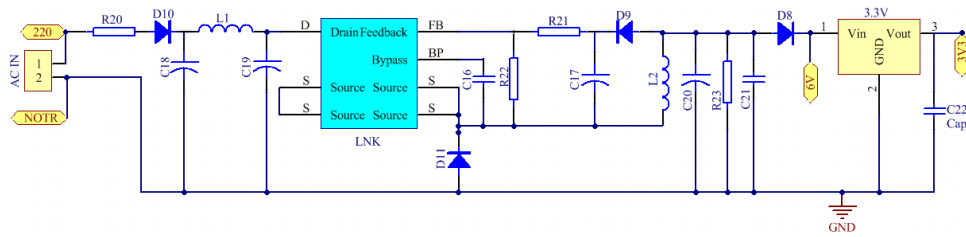
Tasarlanan ürünün devreye alınmadan önce simüle edilmesi, karşılaşılan zorlukları oldukça azaltmaktadır. Bir ürün oluşturulmak istenildiği zaman, belli parçalara ayrılmalı her parça ayrı ayrı optimize edilmeli, daha sonra bu parçalar birleştirilmelidir. Bu şekilde çalışmak, karşılaşılabilecek olan hataları azaltmaktadır.

Akıllı priz ile ilgili prototip tasarımı, dört farklı bölüme ayrılmış, her bölüm kendi içerisinde optimize edildikten sonra birleştirilerek prototip tasarımı tamamlanmıştır.

5.1.1 Güç Katı

Güç katı, prototip devre üzerindeki aktif devre elemanlarına enerjinin verilmesi için tasarlanmıştır. Akıllı priz üzerinde birden fazla aktif devre elemanı bulunmaktadır ve bu devre elemanları farklı besleme gerilimlerine sahiptir. Devre elemanlarının en verimli şekilde çalışması için güç katı çıkış gerilim değerinin kararlı olması çok önemlidir. Ayrıca söz konusu güç katı devresi priz içerisinde kullanılacağı için, gerek estetik açıdan gerekse ticari açıdan mümkün olduğunca küçük boyutlarda olması gerekmektedir. Genel olarak güç katı devresinin görevi, priz girişi olan 220V AC gerilim değerini 3,3V ve

5V DC gerilim seviyelerine indirmektir. Bu gerilim seviyelerine trafo kullanarak inmek her ne kadar mümkün olsa da, çok fazla yer kaplayacağı için bu çözüm kullanılmamıştır. Bunun yerine içerisinde anahtarlama devre elemanlarının yer aldığı “link-switch” entegre kullanılmıştır. Kullanılan entegrenin devre gereksinimleri sağlanmıştır. Entegrenin çalışması gerçekleştirildikten sonra, tasarlanacak prototipin çalışma topolojisine uygun yeniden dizayn edilmiştir. Şekil 5.1’de tasarlanan güç katı devresinin şematiği verilmektedir.

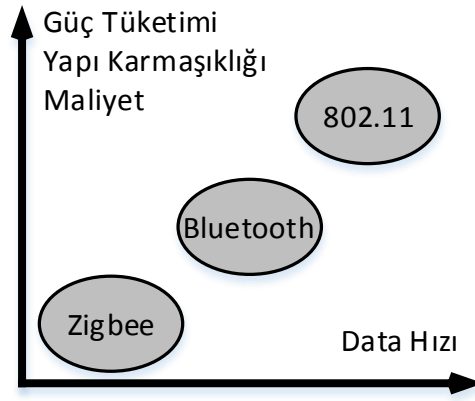


Şekil 5. 1 Güç katı şematik gösterimi

Şekil 5.1’de görüldüğü gibi 220V şebeke gerilimi, diyot üzerinden doğrultulduktan sonra “link-switch (LNK)” entegresine gelmektedir. Entegre çıkışından 6V değeri alındıktan sonra bu değer regüle edilerek 3,3V seviyelerine indirilmektedir. Bu topoloji ile prototip devrenin güç katı trafo kullanılmaksızın tasarlanabilmektedir. Devreden alınan 6V değeri röle için, 3,3V değeri ise diğer devre elemanlarının beslenmesi için gerekli gerilim değeridir.

5.1.2 Haberleşme Katı

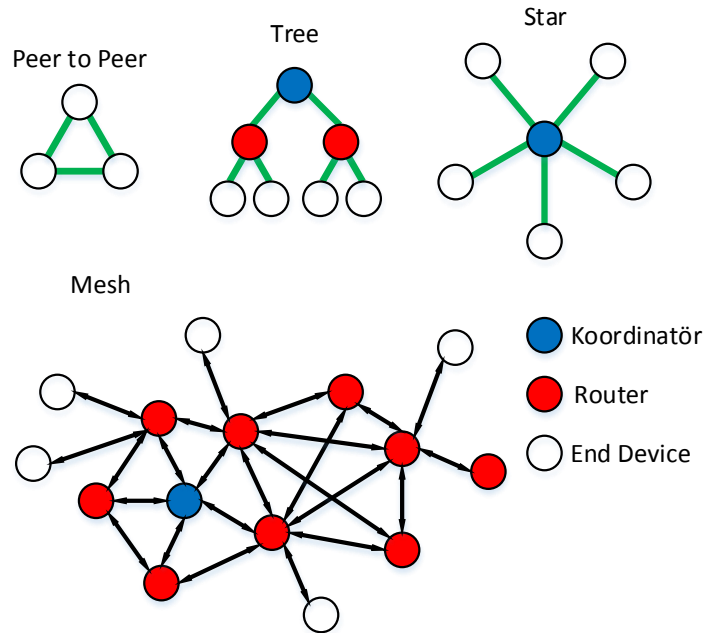
Akıllı prizlerde, priz tarafından gönderilen verilerin doğru iletilmesi için haberleşme katı oldukça önem arz etmektedir. Haberleşme katında hangi topolojinin kullanılacağı, data hızı, enerji tüketimi, data güvenilirliği, maliyeti vb. gibi parametreler üzerinden belirlenmektedir. Kapalı alanlar için kullanılan haberleşme yöntemlerinde çeşitli örnekler çizelge 4.4’de verilmiştir. Akıllı priz içerisinde kullanılan devre elemanlarının düşük güç tüketimine sahip olması oldukça önemlidir. Zigbee, kablosuz haberleşme yapıları arasında en düşük güç tüketimine sahip seçeneklerden biridir. Prototip devresinde haberleşme yapısı olarak Zigbee seçilmiştir. Haberleşme için oluşturulan şematik Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5. 4 WPAN sınıfının kendi aralarında karşılaştırılması

Şekil 5.4’de verilen yapıya daha sonradan farklı telsiz sensör ağ protokolleri (ANT, 6LoWPAN vb.) eklense de şu anda yaygınlaşan teknolojiler bunlardır.

IEEE 802.15.4 tanımlandığında 2003 ve 2006 yıllarına kadar sadece “point-to-point” ile “star-network” yapısına izin verebilmekte iken Zigbee 2007 ‘PRO’ sürümü standartlaştıktan sonra ‘Tree’ ve ‘Mesh’ ağları da genel yapıya dahil olmuştur. Ağ topolojileri Şekil 5.5’de verilmiştir.

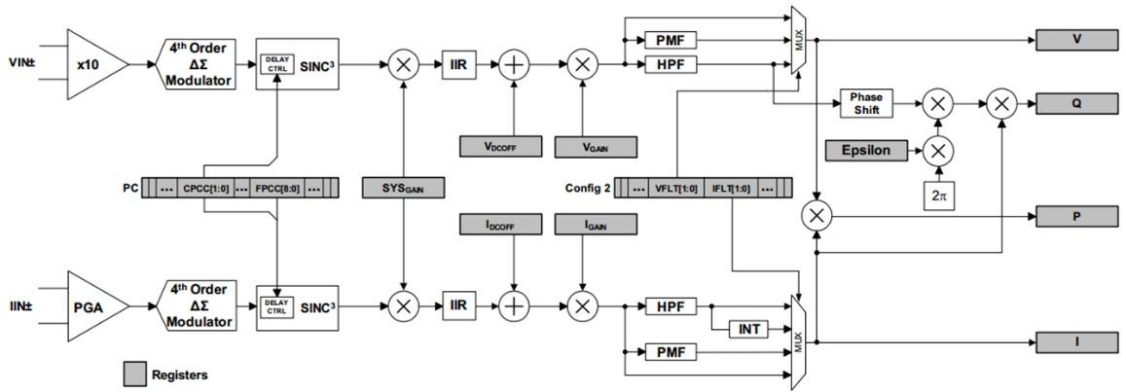


Şekil 5. 5 Zigbee ağ topolojileri

5.1.3 Ölçüm Katı

Ölçüm katı, akıllı prizlerin üzerine takılan cihazların, tüketim bilgilerinin öğrenilmesi için gerekli olan işlemcileri gerçekleştiren birimdir. Ölçüm katı için prototip devrede Cirrus

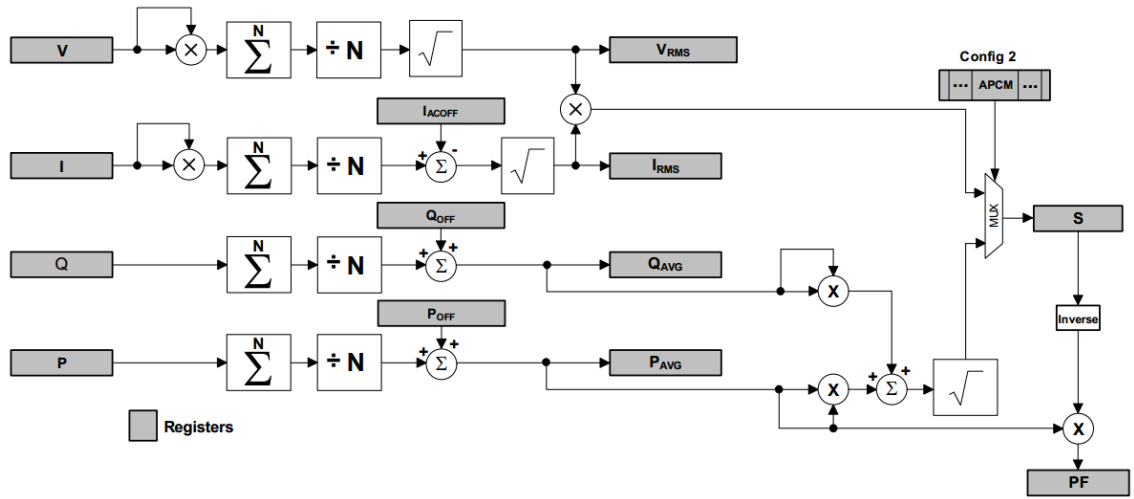
firmasına ait CS5490-ISZ adlı güç ölçüm entegresi kullanılmıştır. Güç ölçüm entegresinin, ölçüm amacı ile 4 adet giriş pini bulunmaktadır. Bu pinlerden ikisi akım bilgisi için diğer ikisi ise gerilim bilgisi kullanılmıştır. Ayrıca yapılacak ölçüme referans değer sağlanabilmesi için 2 adet referans giriş pini bulunmaktadır. Entegrenin akım, gerilim, aktif güç ve reaktif güç değerlerini hesaplarken kullandığı sinyal akışı Şekil 5.6’da verilmiştir.



Şekil 5. 6 Anlık gerilim, akım, aktif ve reaktif güç hesaplanması

Hem gerilim, hem de akım için ayrı ayrı delta-sigma (4th Order Delta-Sigma Modulator) modülü kullanılmıştır. Ölçümün parazitlerden etkilenmemesi için, dışarıdan alınan sinyal delta-sigma modülünden sonra filtre bloklarından geçirilip, gerilim ve akım bilgileri hesaplanmaktadır. Ölçümü etkileyen parazitler, şebeke ya da entegrenin beslendiği gerilimden kaynaklanabilmektedir.

Entegre içerisinde ayarlanabilen “örnek sayısı (N)” değişkeni ile belli sınırlar dahilinde (N değişken değeri en az 100 en fazla 8.388.607 değerini alabilmektedir) istenilen aralıklarda ortalama değer hesaplanabilmektedir. Entegre, anlık ölçülen akım ve gerilim değerlerini toplayarak ortalama değeri hesaplamaktadır. Ortalama değerin hangi aralıklarla hesaplanacağı $N/4000$ formülünden yararlanılarak hesaplanmaktadır. Örneğin N değeri 2000 olarak ayarlanırsa $2000/4000=0,5$ saniyede bir ortalama değer hesaplanabilir. Ortalama akım, ortalama gerilim, aktif güç, reaktif güç, görünür güç, güç faktörünün hesaplanması ile ilgili entegre içerisindeki akış diyagramı Şekil 5.7’de verilmiştir. Bu doğrultuda ilgili formüller (5.1), (5.2), (5.3), (5.4), (5.5), (5.6), (5.7) oluşturulmuştur.



Şekil 5. 7 Ortalama akım, ortalama gerilim, ortalama aktif güç, ortalama reaktif güç, görünür güç, güç faktörünün hesaplanması

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N-1} V_n^2}{N}} \quad (5.1)$$

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N-1} I_n^2}{N}} \quad (5.2)$$

$$P_{AVG} = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N-1} (V_n \times I_n)^2}{N}} \quad (5.3)$$

$$Q_{AVG} = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N-1} (Q_n \times I_n)^2}{N}} \quad (5.4)$$

$$S = V_{RMS} \times I_{RMS} \quad (1. \text{Yöntem}) \quad (5.5)$$

$$S = \sqrt{Q_{AVG}^2 + P_{AVG}^2} \quad (2. \text{Yöntem}) \quad (5.6)$$

$$PF = \frac{P_{AKTİF}}{S} \quad (5.7)$$

Prototip devremizde şebeke gerilimi, gerilim bölücü devre üzerinden hesaplanmaktadır. Akım bilgisi okunması için ise düşük değerde (0,002 ohm) direnç kullanılmıştır. Priz üzerine takılan cihazın çektiği akım değerine göre direnç üzerinde meydana gelen değişken gerilim düşümünden faydalananarak ölçüm yapılmaktadır. Güç

[illegible]

40

bilgilerini içeride derledikten sonra kullanıcı arayüzüne iletilmesi için Zigbee'ye göndermektedir.

İşlemci içerisinde 4 temel görev yapısı bulunmaktadır. Bunlar ölçüm, komuta, zamanlayıcı ve koruma yapılarıdır. Güç ölçüm entegresi 24 bit olan ölçüm bilgilerini UART ile işlemciye aktarmaktadır. İşlemci yazılımındaki ölçüm yapısı ile bu bilgiler alınmakta ve gerekli düzenlemeler yapılmaktadır. Komuta yapısı ile ölçüm yapısı tarafından düzenlenen veriler değerlendirilmekte ve "Wireless Sensor Network (WSN)" modülü (Zigbee) ile kablosuz olarak kullanıcı arayüzüne aktarmaktadır. Ayrıca komuta yapısı içerisinde, yük aç-kapa, priz reset, kalibrasyon ayarları vb. gibi önceden tanımlanan komutlar bulunmaktadır. Bu sayede sadece akıllı prizden kullanıcıya değil, aynı zamanda kullanıcıdan da komutlar almak mümkün hale gelmektedir. Zamanlayıcı yapısında işlemcinin "timer" özelliği kullanılmaktadır. Bu özellik ile işlemci içerisinde sürekli saydırma yapılmakta ve belirlenen değere geldiğinde işlemci tarafından "çıkış" üretilmesi sağlanmaktadır. Koruma yapısında ise prizlerin üzerine takılan yüklerin sınıflandırılması yapılmaktadır. Sınıflandırma sonucunda örneğin normal değerinde fazla akıma ya da gerilime maruz kalan cihazın korunması adaptif bir şekilde sağlanmaktadır. Priz içerisindeki yazılım algoritması Şekil 5. 10'da verilmiştir.

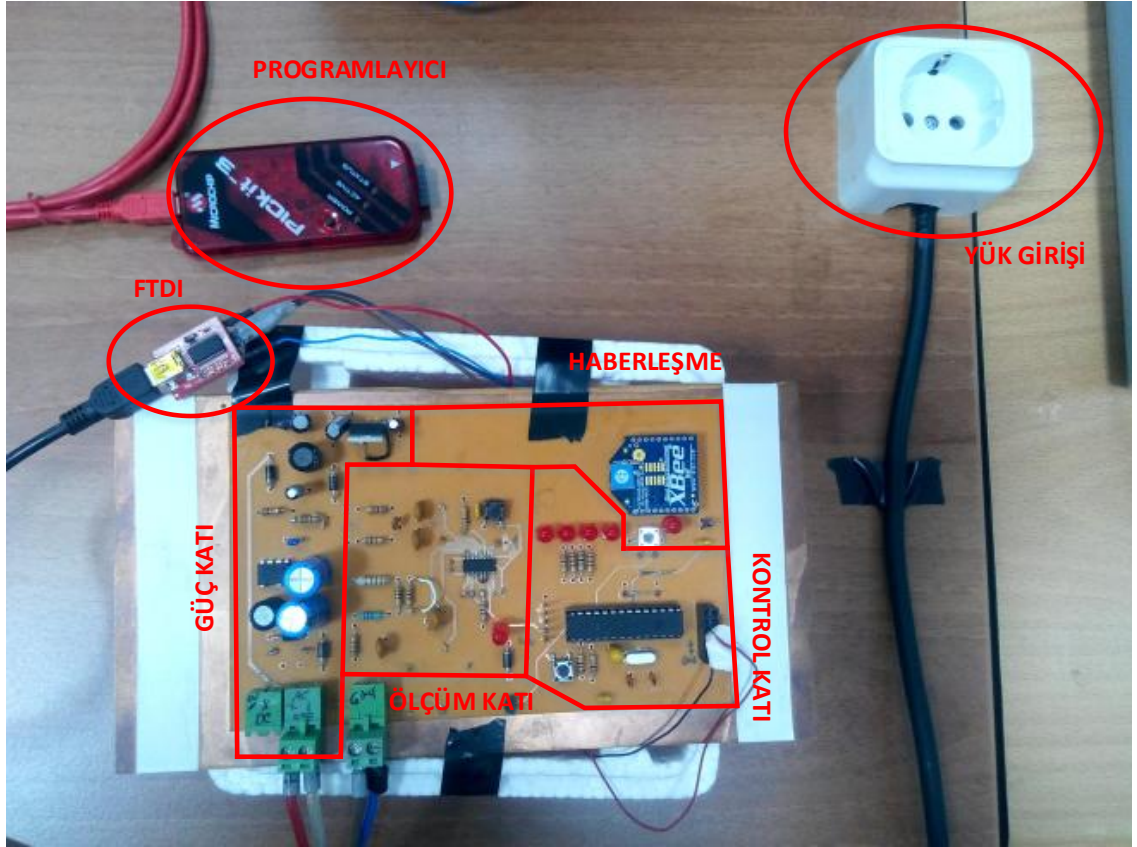
```
int main(void)
{
    system_setup(); // sistem ayarları yapılıyor (I/O vb.)
    timers_setup(); // task yapısı için gereken timer ayarları yapılıyor
    measurement_setup(); // Ölçüm ve kalibrasyon değerleri giriliyor
    bool return_SystemCheck= system_test();

    if (return_SystemCheck) // Eğer tüm değerler doğru ise sistem başlatılıyor
    {
        while(true)
        {
            task_protection(); // koruma task'ı devreye giriyor
            // Belirli aralıklar ile timer task'ı kullanılarak(250, 500, 1000, 5000 ms) ölçümler alınarak
            // karşılaştırma yapılıyor
            if (protection_error==true) // Eğer ölçüm sonuçları belirli aralıkta değilse hata oluşuyor
            {
                task_command(); // Hata mesajının monitor ve kontrol birimine ulaştırılması için
                //command task devreye giriyor
                if (HEM_command_event==true) // Eğer kontrol ve monitor biriminden komut gelmiş ise
                {
                    task_measurement(); // Ölçüm task'ı devreye girip gerekli ölçümleri yapıyor
                    send_data_frame_to_HEM(); // Karşı tarafa veriyi gönderiyor
                }
            }
        }
    }
    else
        system_reset();
}
```

Şekil 5. 10 Akıllı priz yazılım algoritması

5.1.5 Prototip Devre Düzeneği

Ayrı ayrı tasarımları tamamlanan prototip katmanlarının optimize edilmesinden sonraki aşama, bu devre katlarının birleştirilmesidir. Güç katı, haberleşme katı, ölçüm katı ve kontrol katı birleştirilmesi sonucunda oluşan prototip devre Şekil 5.11’de gösterilmektedir.



Şekil 5. 11 Akıllı priz prototip devre düzeneği

Test düzeneğinde görülen prototip devre üzerinde 3 adet soket bulunmaktadır. Bunlardan iki tanesi besleme girişleri bir tanesi de yük girişı için kullanılmaktadır. Prototip devre normalde 220V AC gerilim ile çalışmaktadır. Denemelerde test amaçlı bir de DC beslenmesi için soket kullanılmıştır. Şekilde gösterilen FTDI kablo ile işlemci ve güç ölçüm entegresinin çalışma performansı izlenmiştir. Bağlantıları bitirilen akıllı priz prototipin ölçümlene ayarları, Şekil 5.12’de gösterilen deney setleri kullanılarak yapılmıştır.

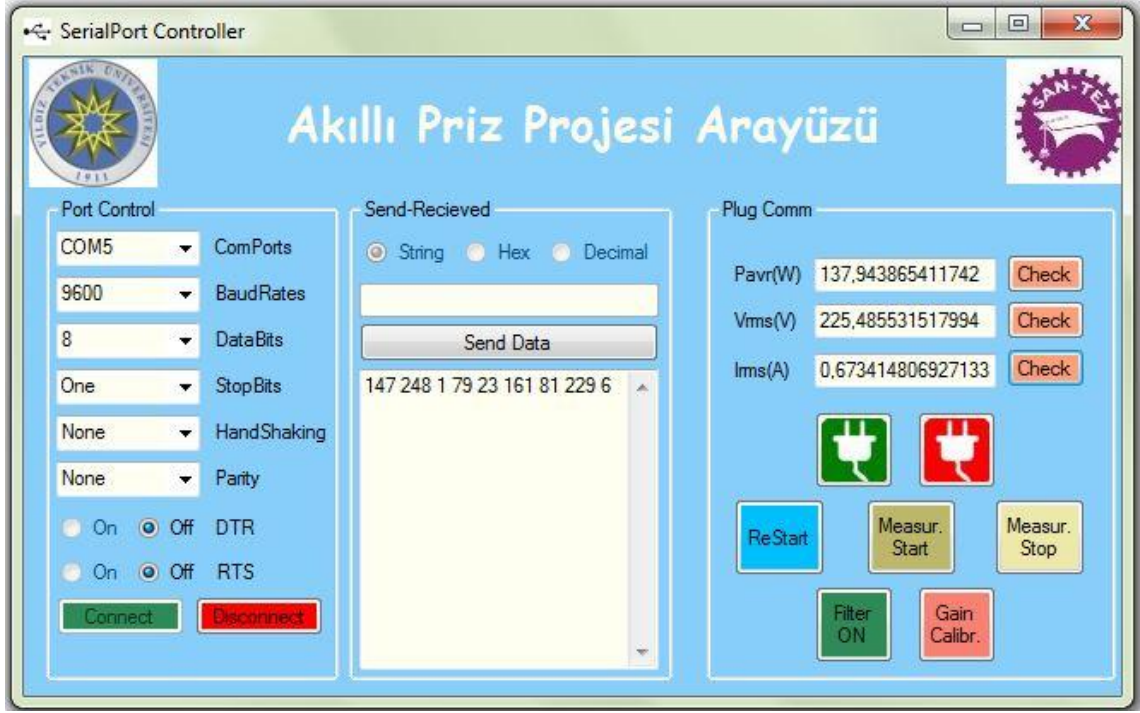


Şekil 5. 12 Akıllı priz kalibrasyonu için kullanılan sistem

5.1.6 Kullanıcı Arayüzü Yazılımı

Akıllı sistemlerin sadece ölçüm alması, haberleşmesi, bilgileri depo edebilmesi yeterli olmamaktadır. Akıllı sistemlerin, çevreyle uyumlu, değişen koşullara dinamik bir şekilde cevap verebilen yapıda olmaları gerekmektedir. Bu duruma, sistemin çevre ile etkileşimi sonucu elektronik anahtarlar yardımıyla on/off çalışması, örnek olarak verilebilir.

Akıllı prizlerde, tüketim bilgisini kullanıcıya ileterek enerji verimliliğini sağlamak ön planda tutulmaktadır. Bunun dışında dışarıdan alınan yeni koşullar ile priz çalışması değiştirilebilir, prize bağlı bulunan yükler ötelenebilir ve bu sayede gereksiz tüketimin önüne geçilebilir. Akıllı prize bağlı cihazların güç bilgilerinin iletilmesi için kullanıcı arayüzü oluşturulmuştur. Bu arayüz üzerinden hangi prizin ne kadar güç tükettiği öğrenilebilir, kullanıcı tarafından prize aç/kapa komutu gönderilebilir. Bunun yanında aktif güç, rekatif güç, akım ve gerilim değerlerinin anlık ve ortalama değerleri, kullanıcının istediği bir zamanda öğrenilebilir. Ayrıca arayüz oluşturulması sayesinde internet bağlantısı bulunan herhangi bir noktadan ana bilgisayara bağlanabilir ve arayüz buradan da aktif olarak kullanılabilir. Hazırlanan arayüz Şekil 5.13’de gösterilmektedir.



Şekil 5. 13 Akıllı priz kullanıcı arayüzü

Arayüzün sol tarafı, akıllı prizin içerisindeki haberleşme protokolüne bağlanabilmek için gereken ayarların yapılabileceği alan için ayrılmıştır. Arayüzün orta kısmında ise akıllı priz tarafından gelen dataların karakter karşılıkları görüntülenmektedir. Arayüzün sağ tarafı ise akıllı priz tarafından gönderilen akım, gerilim ve güç bilgileri için ayrılmıştır. Ayrıca bu kısımda kırmızı ve yeşil priz simgeleri kullanılarak priz aç/kapa fonksiyonu gerçekleştirilebilmektedir. Aynı zamanda çeşitli kalibrasyon ayarları da fiş simgelerinin altında bulunan diğer ayar butonlarından faydalanılarak yapılabilmektedir.

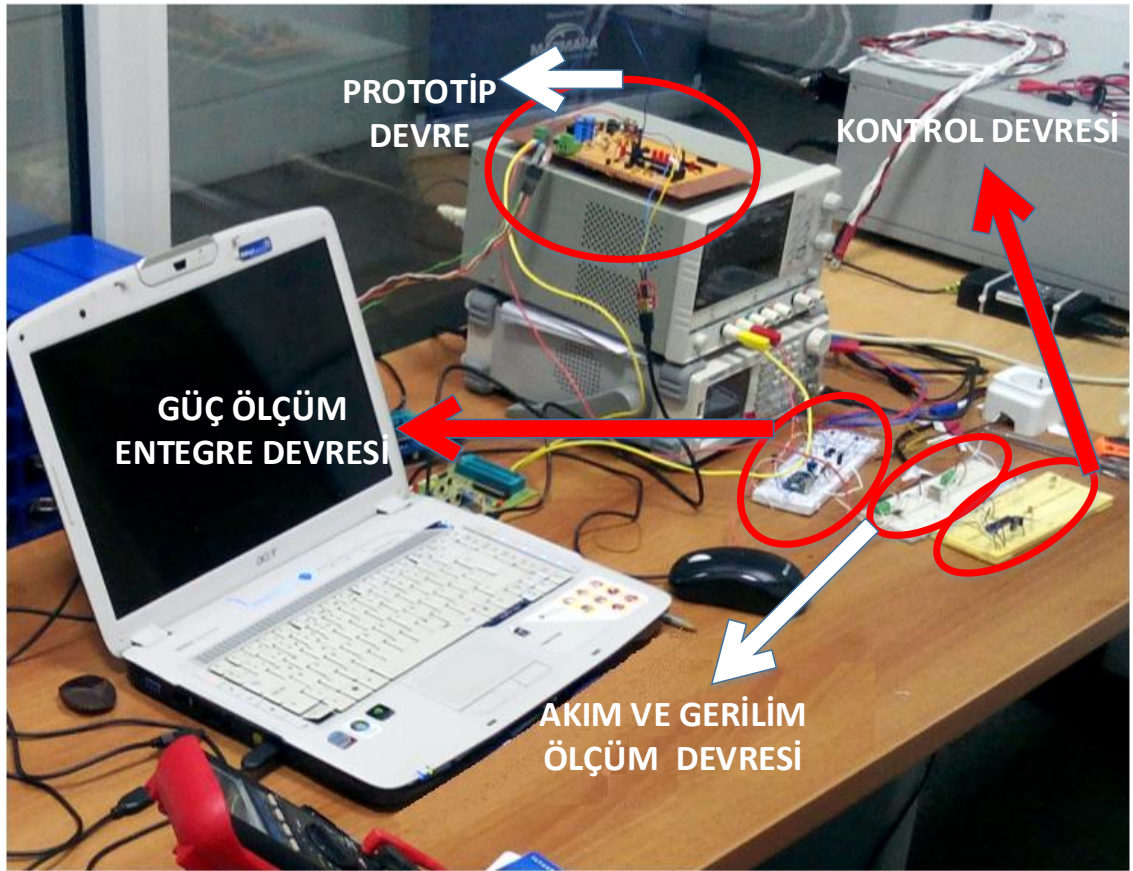
5.2 Prototip Tasarımdan Ürüne

Prototip tasarım sonunda devre tamamen optimize edildikten sonra ürün aşamasına geçilmiştir. Prototipi tamamlanan bir devrenin ürün aşamasına gelmesi, başlı başına ayrı bir iş kolunu oluşturmaktadır. Tasarlanan prototip devrenin ürün olması bir çok iş kolunun paralel çalışması ile mümkün olmaktadır. Devrenin performansının çok iyi olmasının yanında estetik olması, az yer kaplaması, standartlara uygun devre elemanlarının seçilmesi, devrenin standartlara uygun olarak tasarlanması, daha düşük maliyet açısından devre elemanlarının mümkün olduğu kadar özenle seçilmesi vb. gibi özellikleri de beraberinde taşıması gerekmektedir.

Akıllı prizin ürün olarak tasarımı, birkaç başlık altında gerçekleştirilmiştir. Bu başlıklar, kavramsal tasarım, donanım tasarımı, yazılım geliştirme, mekanik tasarım, tümleştirme çalışmaları olarak belirlenmiştir.

5.2.1 Kavramsal Tasarım

Kavramsal tasarım başlığı altında, güç katı, haberleşme katı, ölçüm katı, kontrol katı olarak alt başlıklara ayrılan akıllı priz tasarımının simülasyon ortamında çalışmaları ve çizimleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5. 14 Kavramsal tasarım çalışmaları

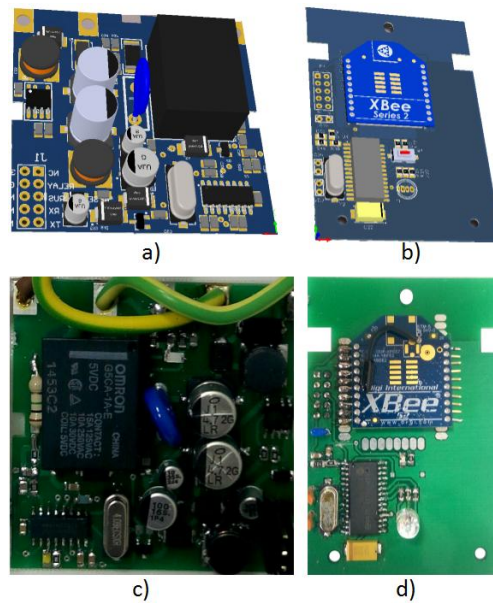
Şekil 5.14’de görüldüğü gibi kavramsal tasarım aşamasında, akıllı priz katları “breadboard” üzerinde çalıştırılmış, sonrasında prototip devre tasarımına geçilmiştir.

5.2.2 Donanım Tasarım

Kavramsal tasarımın sonlarına doğru, donanımsal tasarıma geçiş yapılmıştır. Akıllı prizin bu aşamasında ürün tasarımı çalışmalarına ağırlık verilmiştir. Prototip devre üzerindeki

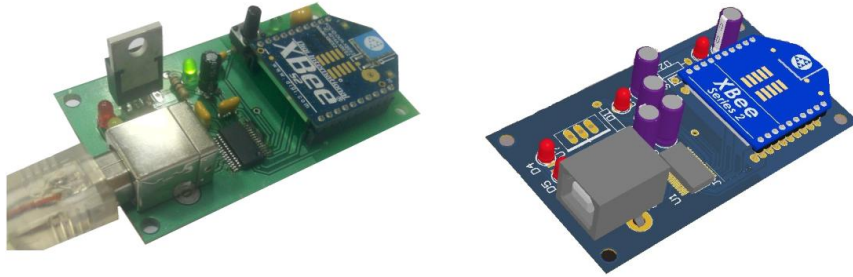
devre elemanlarının daha küçük paket örnekleri ile devre tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada devre elemanlarının güç, gerilim vb. özellikleri, daha da önem kazanmaktadır. Örneğin prototip devre üzerinde gerilim bölücü devre için $1M\Omega$ ve 680Ω değerleri kullanılmıştır. Ürün için tasarlanan devre üzerindeki hemen hemen tüm direnç ve kapasite devre elemanlarının paketleri yüzey montaj (805 kasa) olarak seçilmiştir. Aynı malzemelerin küçük olan paket yapıları ile devre tasarlanırken, devreye $1M\Omega$ değeri, 4 eş parçaya bölünerek konulmaktadır. Bunun sebebi, 805 kasa $1M\Omega$ direnç direk konulduğunda, 220V AC gerilimin direnç üzerinden atlama yapabilmesidir. Bu atlamayı önlemek adına devrede $250K\Omega$ değerine sahip 4 direnç seri bağlanmıştır. Bu durumdan da anlaşılacağı gibi donanım kısmında ürün tasarımı yaparken, prototip devreden daha dikkatli bir tasarım yapılması gerekmektedir. Ayrıca her devre elemanı büyük paket yapısı ile küçük paket yapısında aynı özellikleri taşımayabilir. Örneğin 500mA değerine dayanan bir devre elemanının küçük paketi 250mA değerine kadar çalışabilmektedir. Donanım tasarımında küçük parametreler devrenin çalışmasını oldukça etkilediği için her devre elemanı dikkatli seçilmelidir.

Akıllı priz tasarımında güç katı, ölçüm katı ile haberleşme katı ise kontrol katı ile birleştirilerek iki ayrı devre katı oluşturulmuştur. Donanım tasarımı ile ilgili PCB çizimleri ve oluşturulan devre katları Şekil 5.15’de gösterilmiştir.



Şekil 5. 15 Donanımsal tasarım a) Bilgisayar ortamında oluşturulan güç ve ölçüm katı b) Bilgisayar ortamında oluşturulan haberleşme ve kontrol katı c) Bağlantıları biten güç ve ölçüm katı d) Bağlantıları tamamlanan haberleşme ve kontrol katı

Akıllı prizin bir diğer donanım gereksinimi ise “gateway” tasarımıdır. “Gateway”, akıllı prizlerden gelen verilerin toplandığı yerin adıdır. Ayrıca akıllı priz ile kullanıcı arayüzü arasındaki bağlantı “gateway” üzerinden yapılmaktadır. Bilgisayar ortamında oluşturulan “gateway” çizimleri ve bağlantıları tamamlanan “gateway” devresi Şekil 5.16’da gösterilmektedir.



Şekil 5. 16 “Gateway” devresi ve 3D PCB çizimi

5.2.3 Yazılım Geliştirme

Yazılım geliştirme, donanım tasarımı ile paralel devam eden bir süreç olarak yürütülmüştür. Akıllı priz içerisindeki gömülü yazılım ile donanım tasarımı şekillenmektedir. Bazı noktalarda donanımsal tasarıma göre yazılımın değiştirilmesi de söz konusudur. Gömülü yazılımda öncelikle sistemin en kötü şartlar altında dahi kararlı çalışması esas alınmaktadır. Yazılım, akıllı priz değerlendirme ve yönetme birimi olarak ele alınabilir. Akıllı priz içerisinde yapılan yazılımın yanında, akıllı priz ile haberleşebilmek ve akıllı prizdeki verileri alabilmek için de yazılıma ihtiyaç duyulmaktadır. Priz içerisinde farklı katların birarada çalışması yazılımla mümkün olmaktadır. Yine yazılım sayesinde akıllı priz dış ortam ile “konuşabilir” hale gelmektedir. Yazılım akıllı priz içerisinde “yönetim”, dışında ise “arayüz” olarak şekillenmiştir.

5.2.4 Mekanik Tasarım

Mekanik tasarımda akıllı priz, kalıp tasarımı firma tarafından yapılmıştır (Şekil 5.17). Tasarlanan kalıbın standartlara uygun kalıp yapısında olmasının yanında estetik olarak da uygun olması göz önünde bulundurulmuştur. Kalıp tasarımı da donanımsal tasarım ile beraber yürütülmüştür. Kalıp içerisine konulacak elektronik devrenin kapladığı alan,

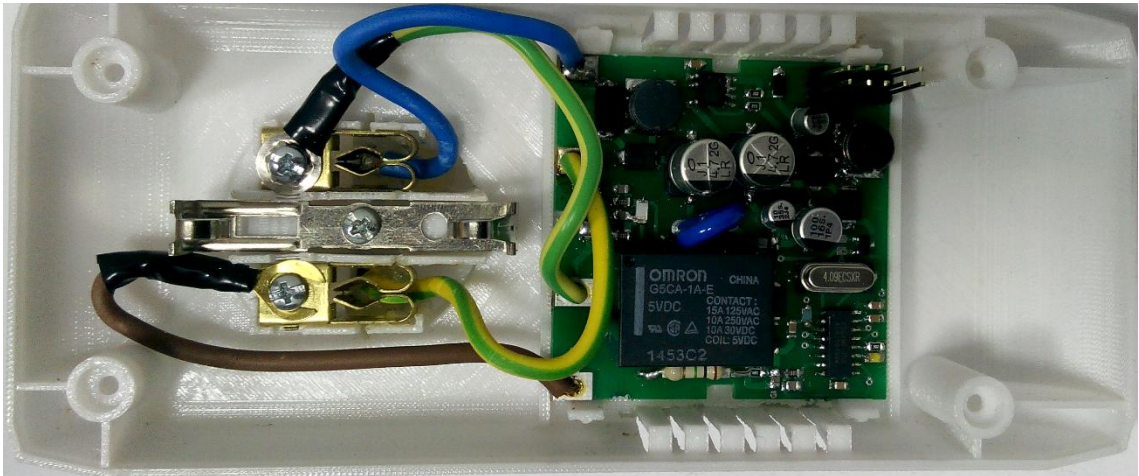
buton konumu vb. özellikleri kalıp tasarımı için önemli parametrelerin başında yer almaktadır.



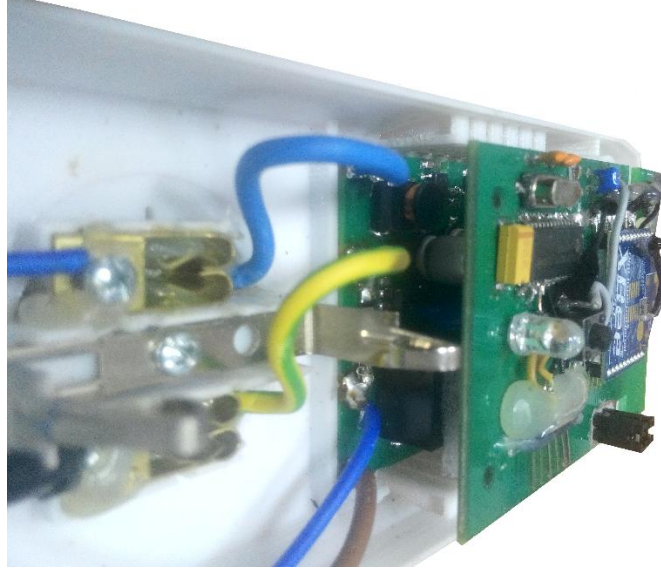
Şekil 5. 17 Akıllı priz prototip kalıp

5.2.5 Tümleştirme Çalışmaları

Tümleştirme çalışmalarında, kavramsal tasarım sonucu oluşturulan donanımsal tasarım ile paralel yazılım geliştirilmesi ve mekaniksel tasarım başlıklarının birbirleri ile bütünleştirilmesini kapsamaktadır. İlk prototip kalıp üzerine monte edilen güç&ölçüm katı Şekil 5.18’de görülmektedir.



Şekil 5. 18 Güç&Ölçüm katının prototip kalıba yerleştirilmesi



Şekil 5. 19 Haberleşme&Kontrol ve Güç&Ölçüm katlarının prototip kutuya yerleştirilmiş şekli

Akıllı priz donanımı için yapılan PCB tasarım, priz kalıp boyutu göz önünde bulundurularak iki farklı katmanda (Haberleşme&Kontrol ve Güç&Ölçüm katları) tasarlanmıştır. Şekil 5.19'da da gösterildiği gibi bu katlar üst üste pin vasıtası ile birbirine geçmeli olarak tasarlanmıştır. Prizin son hali Şekil 5.20'de verilmiştir.



Şekil 5. 20 Akıllı prizin son hali

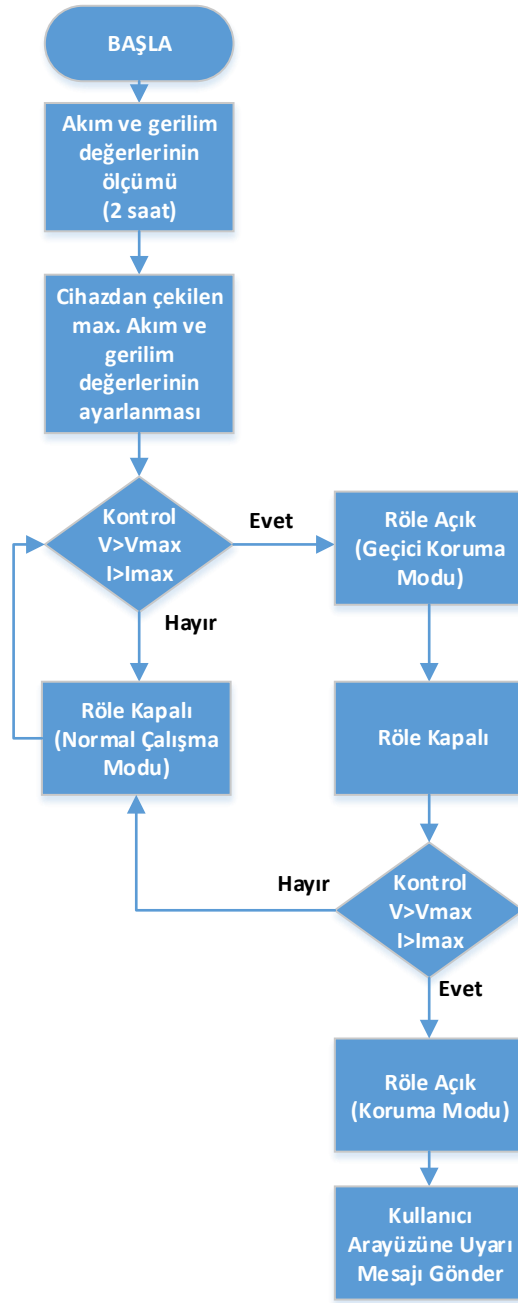
5.2.6 Akıllı Prize Eklenen Adaptif Koruma Özelliği

Güvenlik ve koruma özelliği, insan hayatı ve konforu için oldukça önemli olmasına rağmen, akıllı priz ile ilgili yapılan çalışmaların çoğunda korumaya detaylı olarak yer verilmemiştir. Akıllı evler, enerjinin verimli kullanılmasının yanında, kullanıcılara güvenli yaşam alanı da sunmaktadır.

Elektrik kaynaklı oluşan yangınların oranı oldukça yüksektir. Örnek verecek olursak İstanbul için elektrik kontağı nedeniyle çıkan yangınlar %23,9 ile ikinci sırada yer almaktadır [53]. Bunun yanında 2011 yılı için Amerika’da, elektriksel hatalar sonucu 47700 ev yangını meydana gelmiştir. Malesef bu yangınların sonucunda 418 ölüm, 1570 yaralanma ve 1,4 milyar \$ maddi hasar meydana gelmiştir [54]. İngiltere ile ilgili verilere baktığımızda elektriksel kaynaklı oluşan yangınların, evde çıkan yangınlara oranı yaklaşık %54 civarındadır [55].

Önermiş olduğumuz akıllı prizde, “cihaza özel adaptif koruma” modeli sunulmaktadır. Önerilen priz, aynı zamanda mevcut sigortalara göre daha hassas çalışmaktadır. Bu sayede enerjinin verimli kullanılmasının yanında can ve mal kaybına sebebiyet veren elektrik sebebiyle oluşan yangınların azaltılması hedeflenmektedir. Verimlilik sadece tüketimin azaltılmasıyla değil cihaz ömrünün uzatılmasıyla da sağlanabilir. Önerdiğimiz priz, hassas yapılan koruma sayesinde cihazların daha uzun ömürlü çalışmasına destek olmaktadır. Bu sayede dolaylı olarak enerji verimliliğine katkı sağlanmaktadır.

Cihaza özel adaptif koruma için Şekil 5.21’de verilen akış diyagramı kullanılmaktadır.



Şekil 5. 21 Adaptif koruma akış diyagramı

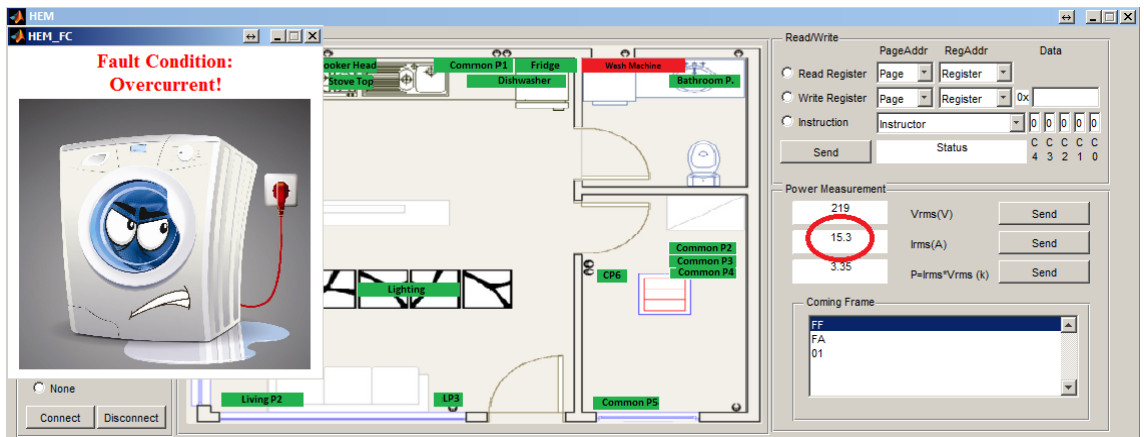
Adaptif koruma özelliği için işlemci içerisinde yukarıdaki algoritma işletilmektedir. Cihaz prize takıldığında ilk çalışmada, 2 saat süresince bağlı bulunduğu cihazın akım ve gerilim bilgilerini kaydetmektedir. 2 saatin sonunda kaydedilen akım ve gerilim değerlerinden maksimum değerler tespit edilmekte ve akıllı prizin koruma özelliği bu değerler baz alınarak ayarlanmaktadır. Daha sonrasında her 10 saniyede bir sistem çalışması kontrol edilmektedir.

IEEE C37.112-1996 nolu (Inverse-Time Characteristic Equations for Overcurrent Relays) standartta göre, aşırı akım koruma rölesinin reset zamanı formülde (5.8) verilmiştir.

$$t_I = \left(\frac{A}{M^{p-1}} + B \right) \quad (5.8)$$

$$M = I_{input} / I_{pickup} \quad (5.9)$$

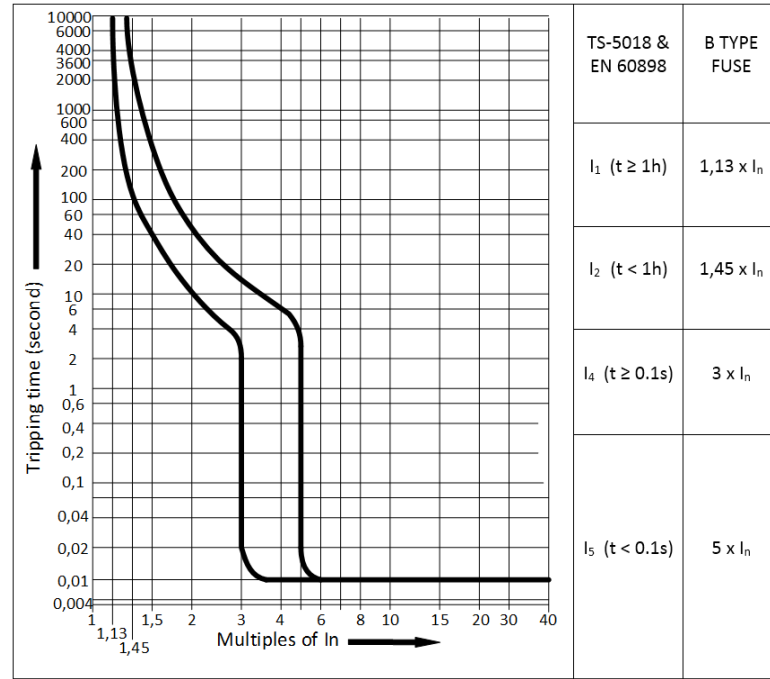
IEEE C37.112-1996 nolu standartta göre A=28,2 B=0,1212 and p=2 alındığı zaman, reset zamanı (t_I) 29,1 saniye olarak hesaplanmaktadır [56]. Standartta bulunan bu değer baz alınarak akıllı priz içerisinde cevap süresi 30 sn olarak belirlenmiştir. 30 saniyenin üzerinde, ayarlanan maksimum değerlerin üzerinde akım veya gerilim değeri ölçüldüğünde, akıllı priz röle durumunu açık konuma getirmekte, cihazın çalışmasını bu sayede engellemektedir. Bir başka ifade ile cihaz aşırı akım/gerilime karşı korunmaktadır. Maksimum değerlerin aşılması sadece hatalı durumlarda olmayabilir, geçici olarak şebekede gerilim yükselmiş ya da cihaz aşırı akım çekmiş olabilir. Oluşan hatanın, geçici arıza durumu olup olmadığını anlamak için 30 saniye sonra priz açık konuma aldığı röleyi tekrardan kapalı konuma getirerek cihazın çektiği akım/gerilim değerlerini izlemektedir. Eğer hata devam etmiyorsa, cihaz çalışmasına devam edecektir. Eğer hata devam ediyorsa (30 saniye boyunca) kullanıcıya hata mesajı gönderilecektir. C# ortamında oluşturulan arayüzde kullanıcıya gönderilen hatalı durum uyarısı Şekil 5.22’de gösterilmektedir.



Şekil 5. 22 Hatalı durumda kullanıcı arayüzü

Akıllı prize eklenen adaptif koruma özelliği sayesinde evlerde koruma amacı ile kullanılan sigortalar ile birlikte daha hassas koruma yapılabilmektedir.

Otomatik sigortalar B, C ve D tipi olmak üzere üçe ayrılırlar. Evlerde ise koruma amacı ile B tipi sigortalar kullanılmaktadır. IEC standartlarına göre B tipi sigortaların açma karakteristikleri Şekil 5.23’de verilmiştir.



Şekil 5. 23 B tipi sigorta açma karakteristiği (IEC 898)

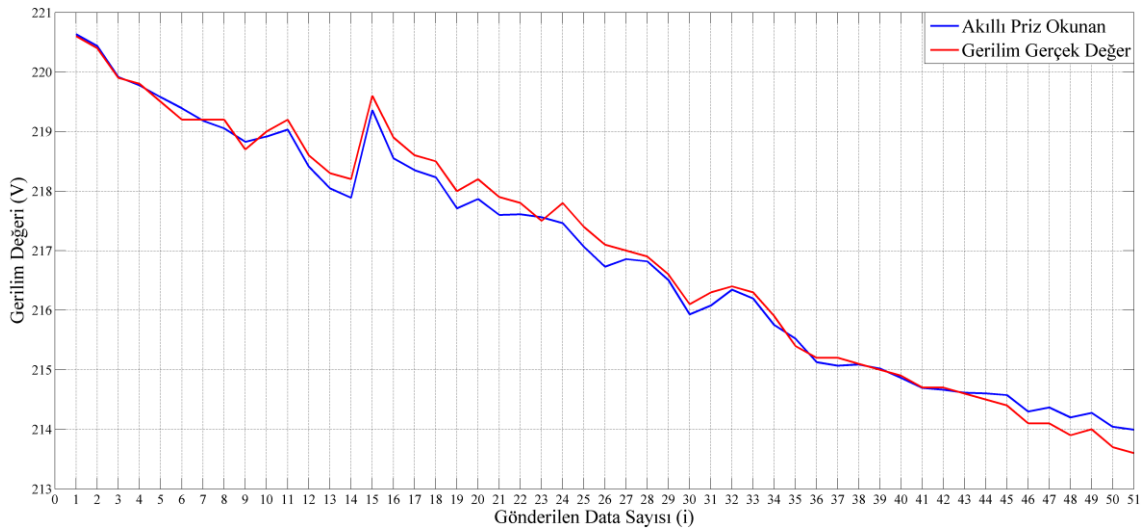
Otomatik sigortalarda koruma termik ve elektromagnetik anahtarlar üzerinden yapılmaktadır. B tipi sigortalar IEC 898 standartına göre nominal akımlarının 1,13 katından itibaren koruma yaparlar. Nominal akımın 3 ve 5 katına kadar termik anahtarlar ile koruma yapılmaktadır. Termik anahtarlar Şekil 5.23’de görüldüğü gibi belli bir süre sonunda devreyi açarak koruma yaparlar. Nominal akımlarının 3 ve 5 katından itibaren magnetik anahtarlar devreye girmektedir ve Şekil 5.23’de görüldüğü gibi 0,01 saniyede açma yapmaktadır.

Akıllı prize eklenen adaptif koruma, işlemci yardımıyla belirlenen zamanda rölenin açık konuma getirilmesi ile yapılmaktadır. İşlemcinin programlanması ile B tipi röle karakteristiği taklit edilebilmektedir. Örneğin prizden geçen akım cihazın nominal akımının 3 katı ise 0,01 saniye içinde, 2 katı ise 5 saniye içinde devreyi aç vb. röleye komut gönderilebilir. Adaptif koruma, akıllı prizde program üzerinden yapıldığı için B tipi röle karakteristiğinden daha esnek karakteristikte çalışma sağlanabilir.

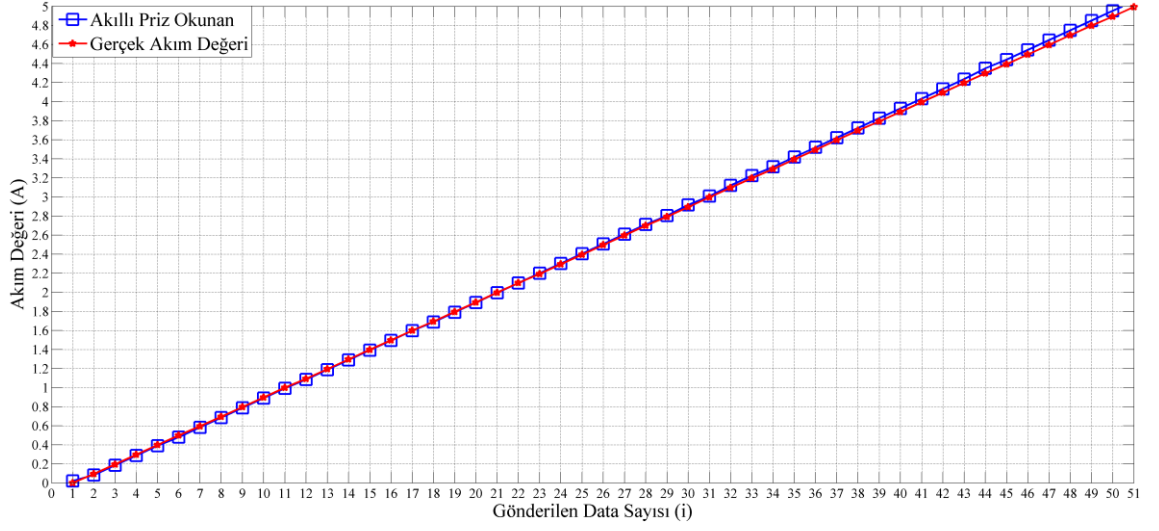
5.3 Tasarlanan Akıllı Priz Test Sonuçları

5.3.1 Ölçüm Test Sonuçları

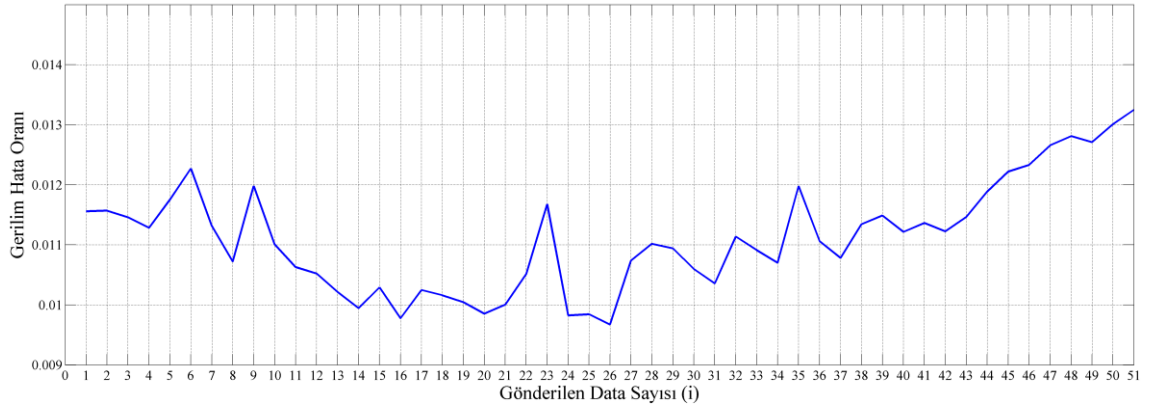
Tasarlanan akıllı priz YTÜ bünyesinde Akıllı Şebekeler Laboratuvarında test edilmiştir. Ölçüm testi için Şekil 5.12’de gösterilen yük bankası kullanılmıştır. Bilgisayar üzerinden, program yardımı ile yük bankasından 0,1A aralıklarla 5A değerine kadar yük çektirilmiştir. Bilgisayar tarafından her gönderilen datada, yük bankası kendini güncelleştirmekte ve 0,1A adımlarla yük çekmektedir. 5A değerine kadar toplamda 51 adet data gönderilmiştir. Ayrıca bilgisayar üzerinden her data gönderildiğinde aynı anda hem akıllı prizdeki veriler, hem de yük bankasından veriler okunmuştur. Akıllı priz tarafından alınan akım ve gerilim değerleri ile yük bankasından alınan akım ve gerilim değerlerinin karşılaştırılması ve bu değerlerdeki hata oranı Şekil 5.24, Şekil 5.25, Şekil 5.26 ve Şekil 5.27 da verilmiştir.



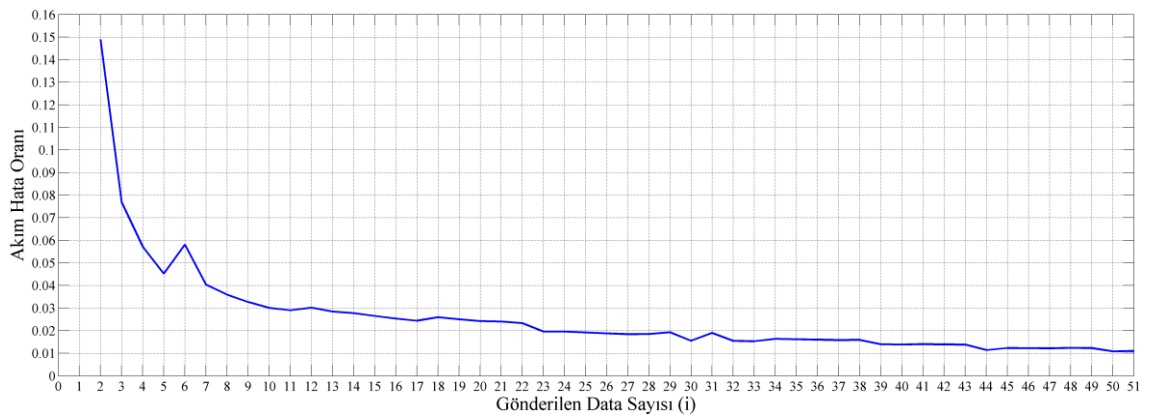
Şekil 5. 24 Akıllı prizden okunan gerilim değeri ile gerçek gerilim değerinin karşılaştırılması



Şekil 5. 25 Akıllı prizden okunan akım değeri ile gerçek akım değerinin karşılaştırılması



Şekil 5. 26 Akıllı prizden okunan gerilim değerindeki hata oranı

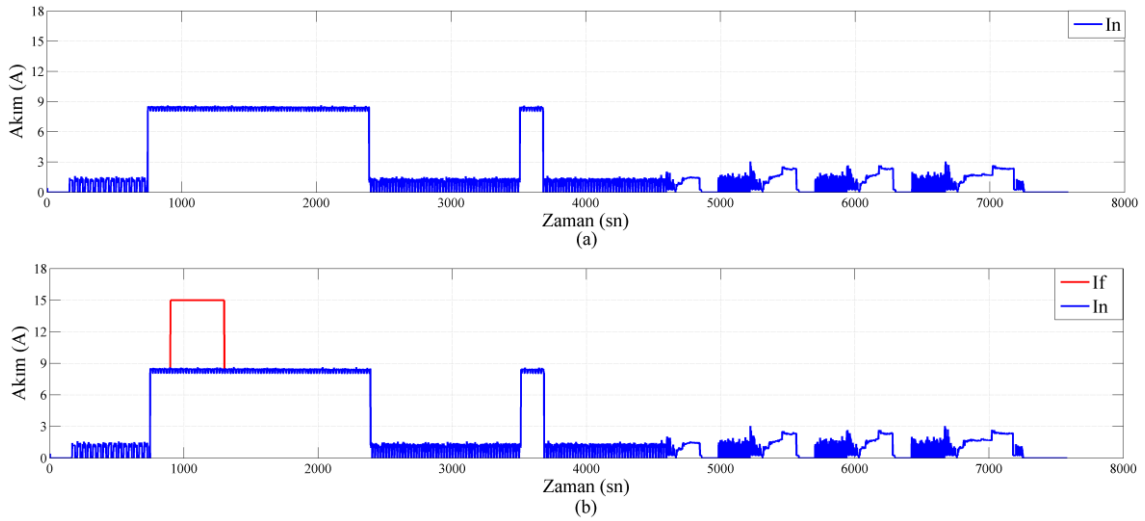


Şekil 5. 27 Akıllı prizden okunan akım değerindeki hata oranı

Ölçüm sonuçlarında şekillerde görüldüğü gibi hata oranı %1'in üzerine çıkmamıştır.

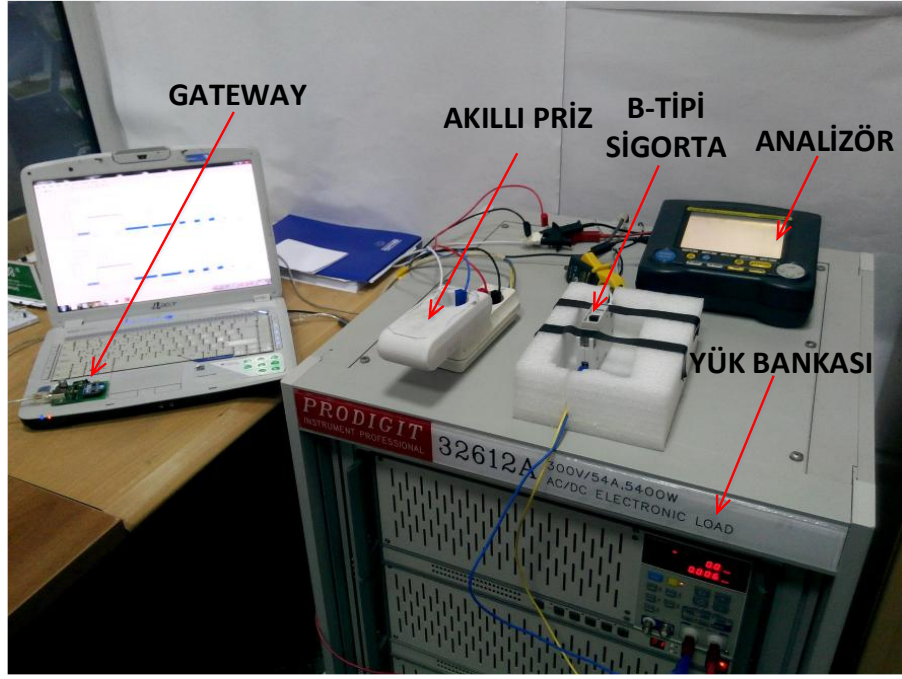
5.3.2 Koruma Test Sonuçları

Adaptif koruma testi için Akıllı Şebekeler Laboratuvarında bulunan “Akıllı Ev” içerisindeki çamaşır makinesinin verileri kullanılmıştır. Analizör yardımıyla çamaşır makinesinin çalışma karakteristiği tespit edilmiş ve bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Çamaşır makinesinin en fazla 8A çektiği tespit edilmiş, bu yüzden 10 A değerinde B tipi sigorta kullanılması uygun görülmüştür. Çamaşır makinalarını korumak için kullanılan B tipi sigortanın (10A) ve tasarlanan akıllı prizin adaptif koruma özelliğinin test edilmesi için çamaşır makinası verilerine hata akımları eklenmiştir. Çamaşır makinesinin normal çalışmasında çekilen akım karakteristiği (I_n) ve hatalı akım eklenmesi durumundaki çekilen akım karakteristiği (I_f) Şekil 5.28’de görülmektedir.



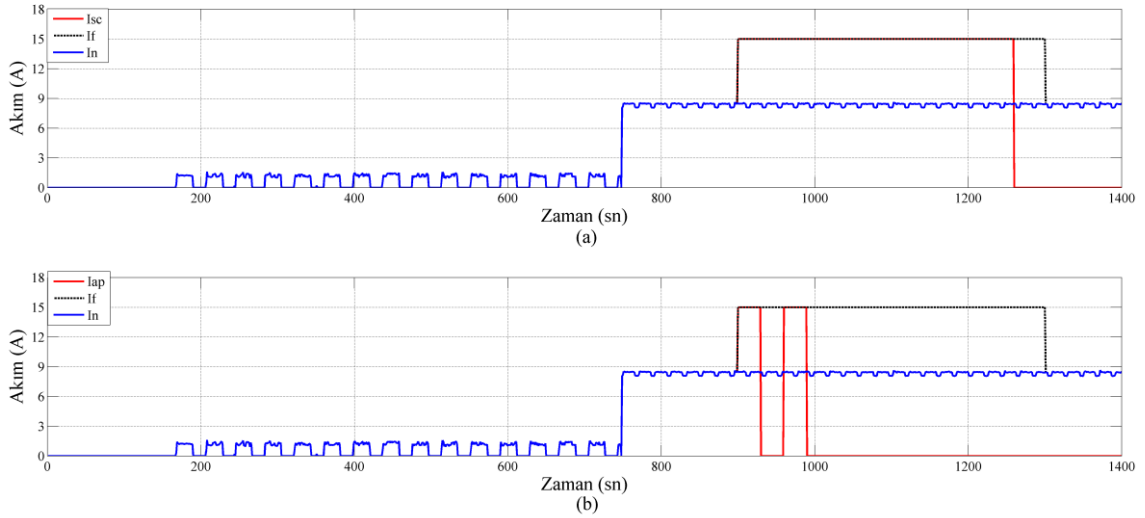
Şekil 5. 28 a) Çamaşır makinesi normal çalışma karakteristiği b) Hatalı akım çekilmesi durumunda çalışma makinasının çalışma karakteristiği

B tipi sigorta ve tasarlanan akıllı prizin karşılaştırılması için çamaşır makinesi yük bankasında modellenmiştir. Yük bankası bilgisayar ortamında programlanmıştır. Test düzeneği Şekil 5.29’de gösterilmiştir.



Şekil 5. 29 Test düzeneği

Yük bankası, çamaşır makinası olarak programlandıktan sonra hatalı durum için akıllı prizin ve sigortanın vermiş olduğu tepkiler (Iap, Isc) gözlemlenmiştir (Şekil 5.30).



Şekil 5. 30 a) Hatalı durumda sigortanın verdiği tepki b) hatalı durumda akıllı prizin verdiği tepki

Şekil 5.30'de görüldüğü gibi sigorta 360 saniye sonra hatayı algılamış ve devreyi korumaya almıştır. Akıllı priz ise hatalı akımı tespit ettikten 30 saniye sonra devreyi korumaya almıştır. Aradan 30 saniye geçtikten sonra hatanın geçici olup olmadığını anlamak için tekrardan rölesini kapatmıştır. Hata 30 saniye boyunca devam ettiği için

tekrardan rölesini açmış ve devreyi koruma altına almıştır. Sonuç olarak tasarlanan akıllı priz, sigortadan daha hassas bir koruma gerçekleştirmektedir.

Aşırı akım, cihazların zarar görmesine ve bu nedenle ömürlerinin azalmasına sebep olmaktadır. Tasarlanan akıllı priz, evlerde kullanılan sigortalara göre daha hassas koruma yapmakta, dolaylı olarak cihazın ömrünü artırmakta ve bu sayede enerji verimliliğine katkıda bulunmaktadır.

SONUÇ VE ÖNGÖRÜLER

Akıllı şebekelerin amacı daha verimli, kaliteli, sürdürülebilir, kesintisiz enerji sağlamaktır. Elektrik enerjisi; son kullanıcıya kadar üretim, iletim ve dağıtım aşamalarından geçmektedir. Bu aşamaların her birinde, ayrı akıllı sistemler bulunmakta ve günden güne bununla ilgili çalışmalar artmaktadır. Dağıtım kısmında akıllı şebekelerin alt birimi olarak akıllı evler ön plana çıkmaktadır. Akıllı evlerin topolojisinde, evi akıllı yapan sebeplerden biri de içerisinde bulunan cihazların akıllı olmasıdır. Günümüzde akıllı cihazların çok yaygın olmaması akıllı prizlerin çıkmasına neden olmuştur. Akıllı prizler sayesinde her cihaz “akıllı” kimliği kazanabilmektedir. Akıllı prizler ile cihaz tarafından gerçekleştirilen tüketim takip edilebilmekte, kullanıcıya bununla ilgili bilgi sunulmakta, kullanıcının prizi kontrol etmesine imkan sağlanmaktadır. Ülkemizde akıllı prizlerin satışı yapılmasına rağmen üretimi yapılmamaktadır. Akıllı priz üretiminin ülkemizde de yapılabilir olduğunu göstermek üzere söz konusu SANTEZ projesi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada prototip olarak akıllı priz dizaynı dışında ürün olarak da akıllı priz tasarımı yapılmıştır. Ayrıca tasarlanan prize yurtdışındaki uygulamalardan farklı olarak cihaza özel adaptif koruma özelliği eklenmiştir.

Evlerde kullanılan cihazların korunması B tipi sigortalar ile gerçekleştirilmektedir. Test sonuçlarında da görüldüğü gibi sigortalar cihaza zarar verecek aşırı akım değerlerinde çok hassas koruma yapamamaktadırlar. Tasarlanan akıllı priz sayesinde sigortadan daha hassas koruma gerçekleştirilerek cihaza zararlı olan aşırı akım engellenmiş, bu sayede cihazın ömrü arttırılmış ve dolaylı olarak enerji verimliliğine katkı sağlanmıştır.

Kullanıcıların bilinçlendirilmesi ile enerji verimliliğinin doğrudan ilişkisi bulunmaktadır. Bu çalışmada akıllı priz tasarımının son kullanıcıya hitap etmesi için kullanıcı arayüzü tasarlanmıştır. Hazırlanan arayüz yardımıyla kullanıcının bilinçlendirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca tasarlanan arayüz ile akıllı prize bağlı olan cihazların kontrol imkânı kullanıcıya sunulmuştur.

Enerji sağlayan kuruluşların da “akıllı” sistemlere sahip olması ile kullanıcı arayüzü bir sonraki çalışmalarda bu kuruluşlar ile haberleşebilir. Çift yönlü haberleşme ile akıllı prize bağlı okunan toplam tüketim bilgileri enerji sağlayan kuruluşa bildirilebilir. Bu sayede tüketiciler tarafından talep edilen güç, analiz edilmesi ile arz talep dengesi sağlanabilir. Aynı zamanda, sistemde birden fazla enerji tedarikçisinin bulunması halinde, tüketici, arayüz sayesinde bu tedarikçilerden kendine en ucuz enerji sağlayan tedarikçiyi seçebilme imkânına sahip olabileceklerdir.

Sonraki çalışmalarda evsel uygulamalar için gerçekleştirilen bu çalışmanın, dağıtım şebekesi üzerinde etkileri incelenebilir. Dağıtım şebekesinde birden fazla üretici kuruluş ve birden fazla tarife imkanı olması halinde, tüketicilerin kendilerine en uygun tarife ile en ucuz enerji teklifi sunan kuruluştan yararlanabilmesi konusunda çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] European Commission, Climate Action, http://ec.europa.eu/clima/policies/package/index_en.htm, 12 Aralık 2013.
- [2] Mrazovac, B., Bjelica, M.Z., Teslic, N. ve Papp, I., (2011). "Towards ubiquitous smart outlets for safety and energetic efficiency of home electric appliances", ICCE IEEE International Conference, 6-7 September 2011, Berlin.
- [3] Serra, H., Correia, J., Gano, A.J., Campos, A.M. ve Teixeira, I., (2005). "Domestic Power Consumption Measurement and Automatic Home Appliance Detection", IEEE International Workshop on Intelligent Signal Processing, 1-3 September 2005, Faro.
- [4] Environmental Change Institute, Smart Metering Report, <http://www.eci.ox.ac.uk/research/energy/>, 11 Aralık 2013.
- [5] Choi, I.H., Lee, J.H. ve Hong, S.H., (2011). "Implementation and Evaluation of the Apparatus for Intelligent Energy Management to Apply to the Smart Grid at Home", Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 10-12 May 2011, Binjiang.
- [6] Veleva, S. ve Davcev, D., (2012). "Data Mining as an Enabling Technology for Home Energy Management System", IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), 16-20 January 2012, Washington.
- [7] Elmenreich, W. ve Egarter, D. (2012). "Design Guidelines for Smart Appliances", 10th International Workshop on Intelligent Solutions in Embedded Systems, 5-6 July 2012, Klagenfurt.
- [8] Behringer, A., (2010), Results from the Residential Appliance and Equipment Survey, http://www.esource.com/members/RES-RB-5/Research_Brief/APSAT, 21 Mart 2013.
- [9] Roberson, J., Webber, C., McWhinney, M., Brown, R., Pinckard, M., ve Busch, J., After-hours power status of office equipment and inventory of miscellaneous plug-load equipment, <http://eetd.lbl.gov/sites/all/files/lbnl-53729.pdf>, 23 ocak 2014.
- [10] Shajahan, A.H., ve Anand, A., (2013). "Data acquisition and control using Arduino-Android Platform: Smart plug", International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability (ICEETS), 10-12 April 2013, Nagercoil.

- [11] Guo, Y., Wu, J., ve Long, C., (2013). "Agent-based multi-time-scale plug load energy management in commercial building", 10th IEEE International Conference on Control and Automation (ICCA), 12-14 June 2013, Hangzhou, 1884-1889.
- [12] Morsali, H., Shekarabi, S.M., Ardekani, K., Khayami, H., Fereidunian, A., Ghassemian, M. ve Lesani, H., (2012). "Smart plugs for building energy management systems", 2nd Iranian Conference Smart Grids (ICSG), 24-25 May 2012, Tehran, 1-5.
- [13] IEA, (2007). Fact Sheet: Standby Power Use and the IEA "1 Watt Plan", US.
- [14] Ghosh, A., Patil, K.A., ve Vuppala, S.K., (2013). "PLEMS: Plug Load Energy Management Solution for Enterprises," IEEE 27th International Conference on (AINA) Advanced Information Networking and Applications, 25-28 March 2013, Barcelona, 25-32.
- [15] Morimoto, N., Fujita, Y., Yoshida, M., Yoshimizu, H., Takiyamada, M., Akehi, T., ve Tanaka, M., (2013). "Smart Outlet Network for Energy-aware Services Utilizing Various Sensor Information", 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA), 25-28 March 2013, Barcelona, 1630-1635.
- [16] Horvat, G., Vinko, D., ve Zagar, D., (2013). "Household Power Outlet Overload Protection and Monitoring using Cost Effective Embedded Solution", 2nd Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO), 15-20 June 2013, Budva, 242-246.
- [17] Lentine, A.L., Ford, J.R., Finn, J.R., Furrer, C.T., Bryan, J.R., Gonzalez, S., Spires, S. V., ve Goldsmith, S. Y., (2012). "An intelligent electrical outlet for autonomous load control for electric power grids with a large percentage of renewable resources", IEEE Power and Energy Society General Meeting, 22-26 July 2012, San Diego, 1-8.
- [18] Seetharam, D.P., Arya, V., Kunnath, R., Hazra J., Husain, S.A., De Silva, L.C. ve Kalyanaraman, S., (2012). "nPlug: A Smart Plug for Alleviating Peak Loads", Third International Conference Future Energy Systems: Where Energy, Computing and Communication Meet (e-Energy), 9-11 May 2012, Madrid, 1-10.
- [19] Pacific Northwest National Laboratory, Grid friendly appliance controller, <http://www.pnl.gov/news/release.aspx?id=856>., 20 Nisan2014.
- [20] Voltais, Bluepod, <http://www.voltais.com>, 15 Eylül 2013.
- [21] Byun, J., Hong, I. ve Park, S. (2012). "Intelligent Cloud Home Energy Management System Using Household Appliance Priority Based Scheduling Based on Prediction of Renewable Energy Capability", IEEE Transactions on Consumer Electronics, 4(58):1194-1201.
- [22] Boynuegri, A., Yagcitekin, B., Baysal, M., Karakas, A., Uzunoglu, M., (2013). "Energy Management Algorithm for Smart Home with Renewable Energy

- Sources", 4th International Conference on Power Engineering Energy and Electrical Drives POWERENG, 13-17 May 2013, İstanbul.
- [23] Tascikaraoglu, A., Uzunoglu, M., Tanrioven, M., Boynuegri, A., Elma, O., (2013). "Smart Grid-Ready Concept of a Smart Home Prototype: A Demonstration Project in YTU", 4th International Conference on Power Engineering Energy and Electrical Drives POWERENG, 13-17 May 2013, İstanbul.
- [24] Zhang, P., Li, F., ve Bhatt, N., (2010). "Next-Generation Monitoring, Analysis, and Control for the Future Smart Control Center", IEEE Transactions Smart Grid, 2(1):186-192.
- [25] Amin, S.M., ve Wollenberg, B.F., (2005). "Toward a smart grid: power delivery for the 21st century", IEEE Power and Energy Magazine, 5(3):34-41.
- [26] European Commission, Smart Grid, http://ec.europa.eu/energy/gas_electricity/smartgrids/doc/xpert_group1_security.pdf, 11 Ekim 2013.
- [27] European Commission, Smart Grid Architecture, http://ec.europa.eu/energy/gas_electricity/smartgrids/doc/xpert_group1_reference_architecture.pdf, 11 Ekim 2013.
- [28] U.S. Department of Energy website, Smart Grid, http://smartgrid.gov/the_smart_grid, 11 Ekim 2013.
- [29] Farhangi, H., (2010). "The path of the smart grid", IEEE Power and Energy Magazine, 1(8):18-28.
- [30] Virginia Tech Advanced Research Institute, Smart Grid, <http://www.sgiclearinghouse.org>, 11 Ekim 2013.
- [31] Yuexin,, L., Haoqing, X., Hanwu, L., Ningxi, S., (2010). "Investment-benefit Analysis and Evaluation Model of the Smart Grid", China International Conference on Electricity Distribution, 13-16 Sept. 2010, Nanjing, 1-5.
- [32] IBM, Smarter Planet, http://www.ibm.com/smarterplanet/ie/en/smart_grid/examples/index.html, 12 Ekim 2013.
- [33] Vaasaett and Ventyx, Smart Grid Impact, <http://www.smartgridimpact.com>, 12 Ekim 2013.
- [34] GSGF, (2012). 2012 Report, Yayın No:1, Canada.
- [35] TEİAŞ, Faaliyet Raporları, <http://www.teias.gov.tr/FaaliyetRaporlari.aspx>, 13 Ekim 2013.
- [36] The Deloitte, Smart Grid, <http://www.deloitte.com>, 12 Ekim 2013.
- [37] T.C. Resmi Gazete, 5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunu (26510), 02.05.2007, 1.
- [38] Güç Kalitesi Milli Projesi, Güç Kalitesi, <http://www.guckalitesi.gen.tr/tr/about/mission.php>, 13 Ekim 2013.

- [39] Demirci, T., Kalaycıoğlu, A., Küçük, D., Salor, Ö., Güder, M., Pakhuylu, S., T., Atalık, Inan, T., Çadircı, I., Akkaya, Y., Bilgen, S. ve Ermiş, M., (2011). "Nationwide real-time monitoring system for electrical quantities and power quality of the electricity transmission system", IET Generation, Transmission & Distribution, 5(5):540-550.
- [40] Rith Project, Power Monitoring and Forecasting, <http://www.ritm.gov.tr/aboutUs/ritm.php>, 16 Şubat 2014.
- [41] Avrupa Birliği Projesi, Güç Elektroniği Arayüzlü Alçak Gerilim Dağıtık Üretim Şebekelerinin Korunması, <https://www.simula.no/departement/networks/projects/protection-of-power-electronically-interfaced-lv-distributed-generation-networks-pronet>, 30 Mayıs 2014.
- [42] T.C. Resmi Gazete, Dokuzuncu Kalkınma Planı Stratejisi (10399), 13.05.2006.
- [43] BUMKO, Orta Vadeli Program, <http://www.bumko.gov.tr/TR,42/orta-vadeli-program.html>, 16 Şubat 2014.
- [44] Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Sanayi Strateji Belgesi, http://www.sanayi.gov.tr/Files/Documents/sanayi_stratejisi_belgesi_2011_2014.pdf, 16 Şubat 2014.
- [45] TEİAŞ, Elektrik İstatistikleri, <http://www.teias.gov.tr/T%C3%BCrkiyeElektrik%C4%B0statistikleri/istatistik2012/istatistik%202012.htm>, 16 Şubat 2014.
- [46] NHPC, Smart Home, http://www.nhpci.org/publications/NHPC_White-paper-Making-Sense-of-Smart-Home_20131015.pdf, 16 Şubat 2014.
- [47] Shahid, B., Ahmed, Z., Farooqi, A. Ve Navid-ur-Rehman R.M., (2012). "Implementation of smart system based on smart grid Smart Meter and smart appliances", 2nd Iranian Conference on Smart Grids (ICSG), 24-25 May 2012, Tehran, 1-4.
- [48] Al-Ali, A.R., El-Hag, A.H., Dhaouadi, R. ve Zainaldain, A., (2011). "Smart Home Gateway for Smart Grid", International Conference on Innovations in Information Technology (IIT), 25-27 April 2011, Abu Dhabi, 90-93.
- [49] EPRI, Smart House, <http://www.smartgrid.epri.com/UseCases/NEDO%20L4%20SmartHouse%20UseCase%20Ver5.1.pdf>, 16 Şubat 2014.
- [50] GE, Smart Meters, http://ge.ecomagination.com/smartgrid/#/smart_meters, 16 Şubat 2014.
- [51] Zhu, T., Mishra, A., Irwin, D., Sharma, Shenoy, N.P. ve Towsley, D., (2011). "The Case For Efficient Renewable Energy Management In Smart Homes", BuildSys 11 Proceedings of the Third ACM Workshop on Embedded Sensing Systems for Energy-Efficiency in Buildings, 11 January 2011, New York, 67-72.
- [52] Kok, K., Karnouskos, S., Ringelstein, J., Dimeas, A., Weidlich, A., Warmer, C., Drenkard, S., Hatziaargyriou, N. ve Lioliou, V., (2011). "Field-Testing Smart

Houses for a Smart Grid”, 21st International Conference on Electricity Distribution CIRED, June 2011, Frankfurt.

- [53] İBB İtfaiye Daire Başkanlığı, Yangın İstatistikleri, <http://www.ibb.gov.tr/sites/itfaiye/workarea/Pages/istatistikler.aspx>, 17 Şubat 2014
- [54] NFPA, Fire Statistic, <http://www.nfpa.org/>, 17 Şubat 2014
- [55] DCLG, Fire Statistics Great Britain, <https://www.gov.uk/>, 17 Şubat 2014
- [56] IEEE C37.112-1996, (1997). Inverse-Time Characteristic Equations for Overcurrent Relays, IEEE, US.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Giray Eşref KIRAL
Doğum Tarihi ve Yeri : 23/07/1990 Bursa
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : gekiral@yildiz.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Elektrik Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2012
Lise	Fen Bilimleri	Bursa Erkek Lisesi	2007

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2013- Devam ediyor	Yıldız Teknik Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

YAYINLARI

Makale

1. Kiral, G.E., Elma, O., İnce, A.T., Vural, B., Selamogullari, U.S., Uzunoğlu, M., (Gönderildi). “A Novel Smart Plug with Adaptive Protection Feature for Safe and Efficient Energy Management”, Energy and Buildings.

Bildiri

1. Kiral, G.E., Elma, O., İnce, A.T., Vural, B., Selamogullari, U.S., Uzunoğlu, M., (Gönderildi). “Overview of Smart Grid Application in Turkey”, 4th International Workshop on Computer Science and Engineering, 22-23 August 2014, Dubai.
2. İnce, A.T., Elma, O., Kiral, G.E., Vural, B., Selamogullari, U.S., Uzunoğlu, M., (Gönderildi). “The Analysis of True Electrical Power Consumption Efficiency on a Smart Plug by ZigBee WSN Protocol”, International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering, 25-29 October 2014, Antalya.
3. Kiral, G.E., Elma, O., İnce, A.T., Vural, B., Selamogullari, U.S., Uzunoğlu, M., (Gönderildi). “A New Smart Plug for Monitoring and Home Energy Management”, International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering, 25-29 October 2014, Antalya.

Proje

1. Akıllı Şebekelerde Enerji Yönetimi İçin Akıllı Priz Geliştirilmesi. SAN-TEZ, Proje No: 0102.STZ.2013-1, Bütçe: 148.320,00 TL (Bursiyer)