

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞEBEKE BAĞLANTISIZ FOTOVOLTAİK SİSTEMLER İÇİN ÇOK AJANLI
AKILLI GÜÇ YÖNETİMİ**

DOKTORA TEZİ

Talat ÖZDEN

**OCAK 2014
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞEBEKE BAĞLANTISIZ FOTOVOLTAİK SİSTEMLER İÇİN ÇOK AJANLI
AKILLI GÜÇ YÖNETİMİ**

Talat ÖZDEN

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“DOKTOR (ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ)”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 11.12.2013
Tezin Savunma Tarihi : 16.01.2014**

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ

Trabzon 2014

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında
Talat ÖZDEN Tarafından Hazırlanan**

**ŞEBEKE BAĞLANTISIZ FOTOVOLTAİK SİSTEMLER İÇİN ÇOK AJANLI
AKILLI GÜÇ YÖNETİMİ**

**Başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 17 / 12 / 2013 gün ve 1534 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda**

**DOKTORA TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Adem Sefa AKPINAR

Üye : Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ

Üye : Prof. Dr. Vasif Vagifoğlu NABİYEV

Üye : Prof. Dr. Sadettin AKSOY

Üye : Doç. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ

**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ
Enstitü Müdürü**

ÖNSÖZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak gerçekleştirilen bu çalışma, normalden çok fazla yatırım yapılarak sağlanabilecek olan gerekli güç ihtiyacını karşılama zorunluluğu kısmen ortadan kaldırarak, daha düşük kurulum maliyetli “yönetilebilir” fotovoltaik enerji kaynaklı güç sistemleri oluşturmayı amaçlamaktadır.

Doktora Tez çalışmam süresince çok kıymetli zamanlarını ayırıp, gösterdiği ilgi, güler yüz, destek, emek ve yönlendirme çabalarından ötürü danışman hocam, Doç. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ’a çok teşekkür ederim.

Değerli zamanlarını ayırarak tezimi değerlendiren hocalarım, Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ, Prof. Dr. Vasif Vagifoğlu NABİYEYEV, Prof. Dr. Adem Sefa AKPINAR ve Prof. Dr. Sadettin AKSOY’a şükranlarımı sunarım.

Çalışmalarım boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. İhsan GÜNAYDIN, Yrd. Doç. Dr. Selami KESLER, Yrd. Doç. Dr. Adem BAYRAM, ve Öğr. Gör. Muhammet BAKİ’ye minnet borçluyum.

Akademisyenlik hayatımın boyunca, her türlü yardımı esirgemeyen ve sabır gösteren mesai arkadaşlarım Av. Ebubekir AYDOĞDU, Öğr. Gör. Osman KOMUT, Öğr. Gör. Adil ÇELİK, Öğr. Gör. Kurtuluş DEMİR, Öğr. Gör. Şenol KILIÇARSLAN, Öğr. Gör. Faruk DEMİR, Öğr. Gör. Ramazan DOĞAN, Yrd. Doç. Dr. Afşin Ahmet KAYA, Erkan YURTTAŞ, Hacı YILMAZ ve Av. Metin ASLAN’a şükran borçluyum.

Öğrenim hayatım boyunca üzerimde emeği olan hocalarıma teşekkür ederim.

Bu çalışmanın bu aşamaya gelmesine Teknogirişim Sermayesi Desteği programıyla 344-TGSD-2011 numaralı projeye destek olan Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı’na teşekkür ederim.

Bu çalışmayı yürütürken desteklerini esirgemeyen ve onları ihmal etmeme katlanan aileme teşekkür ederim.

Hayatım boyunca maddi ve manevi her türlü desteği sağlayan, bu günlere gelme sebebim canım annem ve merhum babam Seyfettin Selim ÖZDEN’e tüm kalbimle teşekkür eder ve bu eseri onlara atfederim.

Bu çalışmanın bilime, bölgemize ve ülkemize yararlı olmasını dilerim.

Talat ÖZDEN
Trabzon 2014

TEZ BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “**Şebeke Bağlantısız Fotovoltaik Sistemler için Çok Ajanlı Akıllı Güç Yönetimi**” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ’un sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.
16/01/2014

Talat ÖZDEN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ BEYANNAMESİ	IV
İÇİNDEKİLER	V
ÖZET	IX
SUMMARY	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
TABLolar DİZİNİ	XVI
SEMBOLLER DİZİNİ	XVII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Enerji	1
1.2. Fosil Yakıtlar ve İklim Değişimi	3
1.3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Önemi	4
1.4. Tezin Amacı ve Çözüm Yaklaşımı	6
1.5. Literatür Araştırması	8
1.5.1. Güç Yönetimine Yönelik Çalışmalar	8
1.5.2. Çok Ajanlı Sistemlere Yönelik Çalışmalar	11
1.6. Tezin Ana Hatları	17
2. FOTOVOLTAİK SİSTEM İLE GÜÇ ÜRETİMİ	20
2.1. Giriş	20
2.2. Fotovoltaik Modüller	20
2.2.1. Fotovoltaik Modüllerin Elektriksel Özellikleri	22
2.2.2. Fotovoltaik Modüllerin Eşdeğer Devre Modelleri	24
2.2.3. Fotovoltaik Modüllerin I-V Karakteristiği	28
2.2.4. Model Parametrelerinin Belirlenmesi	29
2.2.5. Genelleştirilmiş Fotovoltaik Modelin Simulink Benzetimi	30
2.2.6. Genelleştirilmiş Fotovoltaik Modelin Benzetim Sonuçları	34
2.3. Bataryalar	36
2.3.1. Kurşun-Asit Bataryalar	37
2.3.2. Kurşun Asit Batarya Türleri ve Dizaynı	38

2.3.3.	Batarya Kapasitesi	40
2.3.4.	Batarya Akımı	41
2.3.5.	Batarya Gerilimi	41
2.3.6.	Dolma (Şarj) ve Boşalma (Deşarj)	42
2.3.7.	Şarj Durumu	44
2.3.8.	Batarya Modeli	45
2.4.	Şarj Düzenleyiciler	48
2.4.1.	Omik Yüklü Fotovoltaikler	50
2.4.2.	DA-DA Çevirici	52
2.4.3.	Azaltan (Buck) Çevirici	53
2.4.4.	Artıran (Boost) Çevirici	56
2.4.5.	Diğer DA-DA Çeviriciler	57
2.4.6.	Maksimum Güç Noktası Takipçisi (MPPT)	59
2.5.	Bataryalı Sistemler	62
2.6.	Çok Ajanlı Sistemler (MAS – Multi Agent Systems)	66
2.6.1.	Basit Tepkili Ajanlar	68
2.6.2.	Model-Taban Tepkili Ajanlar	68
2.6.3.	Hedef Tabanlı Ajanlar	69
2.6.4.	Fayda Bazlı Ajanlar	69
2.6.5.	Öğrenme Ajanı	70
3.	DENETİM VE KARAR VERME YÖNTEMİ	72
3.1.	Amaç ve Genel İlkeler	72
3.2.	Bulanık Mantık Tabanlı Karar Verici Model	74
3.3.	Bulanık Mantık Kavramı	75
3.3.1.	Bulanık Mantık Yönteminin Gelişim Süreci	76
3.3.2.	Bulanık Kümeler ve İşlemleri	77
3.3.3.	Bulanık Mantık Kural Tabanı ve Bulanık Çıkarım	83
3.3.4.	Durulaştırma ve Kesin Karar	84
3.4.	Örnek Bir Bulanık Mantık Karar Verme Modeli	85
3.4.1.	Giriş Değerlerinin Bulanıklaştırılması	86
3.4.2.	Bulanık İşlemlerin Uygulanması	87
3.4.3.	Çıkarım Metodunun Uygulanması	87
3.4.4.	Tüm Kural Çıktılarını Birleştirmek	88

3.4.5.	Durulaştırma	89
4.	ÇOK AJANLI SİSTEM İLE GÜÇ YÖNETİMİ	91
4.1.	Giriş	91
4.2.	Güç Yönetimi ve Sistem Optimizasyonu	92
4.3.	Güç Yönetimi Sistem Modeli ve Simulink Benzetimi	96
4.3.1.	Denetimsiz Sistem Modeli	96
4.3.2.	Denetimli Karar Verme Modeli Sistem Benzetimi	101
4.3.3.	Denetimli Model Benzetim Sonuçları	109
5.	SİSTEM TASARIMI VE BİLEŞENLERİ	120
5.1.	Giriş	120
5.2.	Sistem Bileşenleri	121
5.2.1.	Fotovoltaik Üreteçler	121
5.2.2.	Depolama Birimi	122
5.2.3.	Şarj Düzenleyici Birim	122
5.2.4.	Yük Bankası	124
5.2.5.	Programlanabilir Zamanlayıcılı Yük Anahtarları	125
5.2.6.	Panel PC	125
5.3.	Ölçü Düzenekleri	127
5.4.	Ajan Tasarımı	132
5.4.1.	Yük Ajanı	134
5.4.2.	Kaynak Ajanı	138
5.4.3.	Haberleşme Ajanı	140
5.5.	Ajan Test Yazılımı	140
5.6.	Ajanların Ölçme Hataları Yönünden İncelenmesi	145
5.7.	Ajanların Elektromanyetik Uyumluluk Analizleri	148
6.	AKILLI GÜÇ YÖNETİM YAZILIMI	153
6.1.	Giriş	153
6.2.	Akıllı Güç Yönetimi Sistemi	153
6.3.	Akıllı Güç Yönetimi Sistemi Bileşenleri	157
6.3.1.	Ajanlar ile Bağlantı	157
6.3.2.	Ajan İŞlevleri	158
6.3.3.	Ölçüm Verileri	160
6.3.4.	Yük ve Kaynak Grafikleri	161

6.3.5.	Depolama Birimi Şarj Seviyesi Göstergesi	162
6.3.6.	Diğer Alanlar	163
7.	BULGULAR	164
7.1.	Giriş	164
7.2.	Normal Tüketim Süreci İçin Belirlenmiş Kullanıcı Tercihleri	164
7.3.	Bir Günlük Uygulama Süresince Elde Edilmiş Sistem Verileri	165
7.4.	Bir Günlük Uygulama İçin Elde Edilmiş Verilerin İrdelenmesi	170
7.5.	Aşırı Tüketim Süreci İçin Belirlenmiş Kullanıcı Tercihleri	174
7.6.	Aşırı Tüketim Süreci İçin Elde Edilmiş Sistem Verileri	175
8.	TARTIŞMA	181
9.	SONUÇLAR	186
10.	ÖNERİLER	189
11.	KAYNAKLAR	190
12.	EKLER	199
	ÖZGEÇMİŞ	

Doktora Tezi

ÖZET

ŞEBEKE BAĞLANTISIZ FOTOVOLTAİK SİSTEMLER İÇİN ÇOK AJANLI AKILLI GÜÇ YÖNETİMİ

Talat ÖZDEN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ
2014, 198 Sayfa, 13 Ek sayfa

Bu çalışmada, bağımsız yenilenebilir enerji kaynaklı güç sistemlerinde, kullanıcı konfor ve önceliklerine bağlı olarak kullanıcı tercihleri ile mevcut güç kaynaklarını uyumlu hale getiren Akıllı Güç Yönetim tasarımı sunulmaktadır. Güç yönetimi, her bir tüketim birimi için yük ajanları, üretim birimi için kaynak ajanı ve bu ajanlarla iletişim kurabilmek için haberleşme ajanından oluşan çok ajanlı yapıyla planlanmıştır. Güç yönetimi için ihtiyaç duyulan tüketim ve üretim bilgileri kablosuz iletişim kurabilen bu ajanlardan sağlanmaktadır. Ajan verileri, geliştirilen Akıllı Güç Yönetimi Algoritmasıyla toplanmaktadır. Kullanıcı konfor ölçütü her bir yük için “En yüksek”ten başlayarak “En düşük”e kadar beş kategoriyle oluşturulmaktadır ve her bir yük ajanı algoritmaya tanıtılırken kullanıcı bakımından konfor önceliği de belirlenmektedir. Yazılıma gömülü Bulanık Mantık Karar Verici, SOC’un ve tüketim birimlerinin değerlerine bağlı olarak verdiği karar ile yüklerden bazılarının devreye alınmasına bazılarının ise devre dışı bırakılmasına imkan tanımaktadır. Bu durum kullanıcı bakımından havanın uzun süreli kapalı olduğu en kötü senaryo oluştuğunda, en yüksek öncelikli kritik yük/yükleri daha uzun süre devrede kalmasını sağlamaktadır. Bu çalışmada sunulan model sistemdeki en yüksek öncelikli yük, SOC’un değeri % 42 ve hava uzun süre kapalıyken, klasik bir sisteme göre % 40 daha uzun süreli devrede kalabilmektedir. Bu süreç içinde SOC’un değeri yükselirse yük/yüklerin ertelenmiş görevleri kullanıcının takibine gerek kalmadan gerçekleştirilebilmektedir. Tasarlanan ajanlar için, hem ölçme hataları bakımından hem de radyo frekanslarının ürettiği elektromanyetik alanın insan sağlığı üzerindeki etkisi incelendi. Ölçme hataları yönünden sonuçların uygun olduğu ve elektromanyetik değerleri bakımından da hem Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu hem de Uluslararası İyonize Olmayan Radyasyondan Korunma Komitesi’nin sınır değerlerinden daha düşük olduğu tespit edildi. Çalışma Bulanık Mantık Karar Vericiye ait müzakere sürecini anlatmakta ve belli başlı benzetim ve gerçek sonuçları sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler : Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Fotovoltaik, Ajan, Çoklu Ajan Sistemi, Güç Yönetimi, Akıllı Güç Yönetimi, Bulanık Mantık, Bulanık Mantık Karar Verici, BMKV, RF, Akıllı Şebeke

PhD. Thesis

SUMMARY

SMART POWER MANAGEMENT WITH MULTI AGENT FOR STAND-ALONE
PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

Talat ÖZDEN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Electric – Electronics Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ
2014, 198 pages, 13 appendix pages

This study presents The Smart Power Management Design bringing user's preferences into available power sources depending on user's comfort and priority in stand-alone renewable energy powered systems. The power management is planned as multi-agent structure being composed of load agents for each consumption unit, source agents for generation unit, and communication agent to make contact with load and source agents. Consumption and generation quantities required for power management are gathered from these agents having wireless communication. The developed smart power management algorithm gathers data from the agents. User's comfort criterion is composed of five levels starting from "the most important" to "the least important" for each load, and the user's comfort priority is also specified while each load agent is introduced to the software designed for smart power management. The Fuzzy Logic Decision Maker embedded in the software enables certain loads to activate and deactivate together with the decision being made depending on the values of State of Charge (SOC) and consumption units. In this way, it is possible to enable critical load/loads having top priority to activate for a longer time in the cases in which weather becomes overcast for a long time with respect to the user. The top priority load in the model system represented in this study can be active 40% longer time in comparison with the conventional system, while the value of SOC is 42% and long-continued overcast weather is available. If the value of SOC increases in the process, the postponed missions of the load/loads can be implemented without user's follow-up. The designed agents were analyzed in terms of the measurement errors, and the effects of electromagnetic field generated by radio frequencies on human health were also examined. The result is satisfactory with respect to the measurement errors, and electromagnetic value is under the threshold proposed by the Information and Communications Technologies Authority and the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. The study represents the negotiation process of Fuzzy Logic Decision Maker and main simulation-real results.

Key Words : Renewable Energy Sources, Photovoltaic, Agent, Multi Agent System (MAS), Power Management, Smart Power Management, Fuzzy Logic, Fuzzy Logic, Fuzzy Decision Makers , FDM, RF, Smart Grid, Smart Grid Home

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Çeşitli enerji türlerinden elektriğe dönüşüm	3
Şekil 1.2. Yenilenebilir enerji akış yolları	4
Şekil 2.1. Elektron ve deliklerin pn birleşimi üzerinden nüfuzunda uzay yük bölgesi .	21
Şekil 2.2. Farklı anlardaki enerji bantları	21
Şekil 2.3. Kristal silikon güneş panelinin dizaynı ve işlevi	22
Şekil 2.4. BAY 45 silikon diyot için akım gerilim eğrileri	22
Şekil 2.5. Karanlıktaki eşdeğer devre diyagramı ve karakteristik eğriler	23
Şekil 2.6. Aydınlatılmış eşdeğer devre diyagramı ve karakteristik eğrileri	24
Şekil 2.7. FV hücrelerin eşdeğer devre modelleri	25
Şekil 2.8. Genelleştirilmiş FV modellerin eşdeğer devreleri	27
Şekil 2.9. Kristal silikon güneş hücresi için I-V karakteristik eğrisi	28
Şekil 2.10. FV eşdeğer devresine seri direnç eklendiğinde ortaya çıkan sonuç	29
Şekil 2.11. Genelleştirilmiş fotovoltaik panel modeli	30
Şekil 2.19. Fotovoltaik panel modeli için parametre girişi ara yüzü	31
Şekil 2.13. Gauss fonksiyonu ile oluşturulmuş günlük ışıma	32
Şekil 2.14. Gauss fonksiyonu için parametre giriş ara yüzü	32
Şekil 2.15. Temsili günlük ışıma için oluşturulan gauss fonksiyonu	33
Şekil 2.16. Bir gün boyunca ölçülmüş ışıma ve panel ısısının zamana göre değişimi ...	33
Şekil 2.17. Genelleştirilmiş fotovoltaik modülün Simulink diyagramı	34
Şekil 2.18. Genelleştirilmiş FV panelin giriş ve çıkış verileri	35
Şekil 2.19. Genelleştirilmiş FV panelin gerçek verilerle test için Simulink diyagramı ..	35
Şekil 2.20. FV panelin ölçülmüş giriş ve çıkış verileri ile modelleme sonuçları	36
Şekil 2.21. Kurşun asit bataryanın yaşam periyodu (VARTA)	38
Şekil 2.22. 100 Ah'lik bataryanın akım sabitli boşalma ve dolma boyunca gerilim süreci	42
Şekil 2.23. Şarj kesme geriliminin ısısal bağlılığı	43
Şekil 2.24. Kurşun-asit batarya eşdeğer devre modeli ve Simulink blok şeması	45
Şekil 2.25. Tipik deşarj eğrisi	46
Şekil 2.26. Batarya şarj kontrol şeması	48
Şekil 2.27. On/off kontrole dayalı batarya şarj etme	47

Şekil 2.28. Omik yüklü fotovoltaik hücre	51
Şekil 2.29. Farklı çalışma şartlarında omik yüklü fotovoltaik modül	51
Şekil 2.30. Fotovoltaik üreteç ile yük ve DA-DA çevirici	52
Şekil 2.31. Üç farklı çalışma noktası için sabit gerilim altında yüklü fotovoltaik modül	52
Şekil 2.32. Omik yüklü Azaltan (Buck) çevirici devresi	53
Şekil 2.33. Azaltan (Buck) çevirici için akım i_2 ve gerilim v_D	55
Şekil 2.34. Kondansatörlü Azaltan (Buck) çevirici	55
Şekil 2.35. Artıran (Boost) çevirici devresi	57
Şekil 2.36. Azaltan-Artıran (Buck – Boost) çevirici devresi	58
Şekil 2.37. Flyback çevirici devresi	58
Şekil 2.38. MPP izleyicinin yapısı	60
Şekil 2.39. 36 hücre ve iki baypas diyotlu bir FV modülün P-V karakteristiği	61
Şekil 2.40. Depolama birimli basit fotovoltaik sistem	62
Şekil 2.41. Fotovoltaik modülün işletme noktaları	63
Şekil 2.42. Seri şarj denetleyicili fotovoltaik batarya sistemi	64
Şekil 2.43. Paralel (Şönt) şarj denetleyicili fotovoltaik batarya sistemi	65
Şekil 2.44. Maksimum güç noktası takipli şarj denetleyicili fotovoltaik batarya sistemi	65
Şekil 2.45. Basit yapıli ajan	66
Şekil 2.46. Model-taban tepkili ajan	68
Şekil 2.47. Hedef tabanlı ajan	69
Şekil 2.48. Öğrenme ajanı	70
Şekil 3.1. Açık çevrimli denetim sistemi elemanları	72
Şekil 3.2. Kapalı çevrimli bir hız denetim sisteminin ilkesel modeli	73
Şekil 3.3. Bulanık mantık karar verici blok gösterimi	74
Şekil 3.4. Üçgen üyelik fonksiyonu	78
Şekil 3.5. Sinuzoid üyelik fonksiyonları	79
Şekil 3.6. Yamuk üyelik fonksiyonu	80
Şekil 3.7. Üyelik fonksiyonlarının bazı ortak özellikleri	80
Şekil 3.8. Bahşış problemi için Bulanık Mantık Karar Verme Modeli	85
Şekil 3.9. Kesin giriş değerinin bulanık kümedeki üyelik değerinin belirlenmesi	86
Şekil 3.10. VEYA bulanık işlemi	87
Şekil 3.11. Bulanık çıkarım	88
Şekil 3.12. Bir kural için tüm bulanık çıkışların birleştirilmesi	89

Şekil 3.13. BMKV adımları ve durulaştırma süreci	90
Şekil 4.1. Güç yönetimi yapılabilecek genel bir sistemin prensip şeması	91
Şekil 4.2. Optimizasyonu yapılmamış sistem modelinin Simulink benzetimi	96
Şekil 4.3. Zamanlayıcı blokların iç şeması	97
Şekil 4.4. Yükler için kullanıcı tercihlerini gösteren zamanlayıcı blok çıkışları	97
Şekil 4.5. Yük ajanı şematik gösterimi	98
Şekil 4.6. Kaynak ajanı verileri	99
Şekil 4.7. Yük ajanları verileri	99
Şekil 4.8. Yük ajanı bloğu maskesi	100
Şekil 4.9. BMKV üçgen üyelik kümeleri	102
Şekil 4.10. Denetimli sistem modeli benzetimi	104
Şekil 4.11. Denetleyici blok iç tasarımı	105
Şekil 4.12. BMKV çıkışının öncelik değer normalizasyonu	106
Şekil 4.13. Denetimli model benzetim sonuçları	109
Şekil 4.14. Denetimli sistem sonuçları (kaynak üretimi yok)	110
Şekil 4.15. Denetimli sistem sonuçları (kaynak üretimi var)	111
Şekil 4.16. BMKV yamuk üyelik kümeleri	112
Şekil 4.17. Yeni yükler ilave edilmiş ve yamuk üyelik fonksiyonlu BMKV'li benzetim	113
Şekil 4.18. Dokuz yüklü BMKV optimizasyonlu benzetim sonuçları	115
Şekil 5.1. Akıllı güç yönetimi sistem blok diyagramı	120
Şekil 5.2. Fotovoltaik üreteç yerleşimleri	121
Şekil 5.3. Deney platformu depolama birimi	122
Şekil 5.4. Şarj düzenleyici ve ekstra yük	123
Şekil 5.5. Yük bankası	124
Şekil 5.6. Programlanabilir zamanlayıcılı yük anahtarları	125
Şekil 5.7. Dokunmatik PanelPC	126
Şekil 5.8. Test sistemi bileşenleri	126
Şekil 5.9. Veri Kaydedici	127
Şekil 5.10. Hall etkili akım algılayıcıları	128
Şekil 5.11. Akım algılayıcılarının çıkış gerilimine karşın primer akımı	128
Şekil 5.12. Veri kaydedici için tasarlanmış gerilim bölücü devre	129
Şekil 5.13. Veri kaydediciyle elde edilen yaklaşık bir günlük sistem modeli verileri	130
Şekil 5.14. Meteoreolojik istasyon ve panel sıcaklık algılayıcısı	130

Şekil 5.15. Meteorolojik istasyon iç ünitesi	131
Şekil 5.16. Meteorolojik istasyon iç ünitesinden eşzamanlı veri sağma	132
Şekil 5.17. Fotovoltaik ile enerji üretilen bir sistemin bir haftalık panel verileri	133
Şekil 5.18. Yük ajanı yapısal blok diyagramı	135
Şekil 5.19. Tasarlanmış yük ajanları	136
Şekil 5.20. Yük ajanı aygıt yazılımının akış diyagramı	137
Şekil 5.21. Kaynak ajanı yapısal blok diyagramı	138
Şekil 5.22. Tasarlanmış kaynak ajanları	138
Şekil 5.23. Batarya ajanı aygıt yazılımının akış diyagramı	139
Şekil 5.24. Haberleşme ajanları	140
Şekil 5.25. Test yazılımı ara yüzü	142
Şekil 5.26. Test yazılımı akış diyagramı	143
Şekil 5.27. Gerçekleştirilen ajanlara ait kendi ölçüm değerleri ve ölçülmüş veriler	144
Şekil 5.28. Yük ajanına ait ölçüm verileri için Gaussian hata dağılımı	147
Şekil 6.1. Akıllı Güç Yönetimi yazılımı için oluşturulan akış diyagramı	155
Şekil 6.2. Akıllı Güç Yönetimi yazılımı ara yüzü	156
Şekil 6.3. Ajan listesi penceresi	158
Şekil 6.4. Ajan ekleme penceresi	158
Şekil 6.5. Ajan listesi değişiklik penceresi	160
Şekil 6.6. Ajan ölçüm verileri penceresi	161
Şekil 6.7. Tüketim, üretim ve kaynak durumu veri pencereleri	162
Şekil 6.8. Ayarlar menüsü	163
Şekil 7.1. Yük bankası için model kullanıcı tercihleri ve konfor kriterleri	165
Şekil 7.2. Güneş ışıması, dış ortam ve panel sıcaklıkları	166
Şekil 7.3. Model sistemin belirlenen zaman aralığında FV paneller ile ürettiği güç	166
Şekil 7.4. BMKV optimizasyonlu model sistem sonuçları	167
Şekil 7.5. Temsili kullanıcı tercihlerinin değişimi “w”	168
Şekil 7.6. Model sistemdeki yüklerin varlık-yokluk durumları “x”	169
Şekil 7.7. Veri kaydedici ile takip edilen Kaynak ajanı ölçüm sonuçları	170
Şekil 7.8. Aşırı yüklenme için model kullanıcı tercihleri ve konfor kriterleri	174
Şekil 7.9. Aşırı yük durumu için ışıma, dış ortam ve panel sıcaklık değerleri	175
Şekil 7.10. Aşırı yüklü durumda BMKV optimizasyonlu model sistem sonuçları	176
Şekil 7.11. Aşırı yüklü durumda yüklerin varlık-yokluk durumları “x”	177

Şekil 7.12. Aşırı yüklü durumda kaynak ajanı ölçüm sonuçları	178
Şekil 8.1. Birinci uygulamaya ait saatlik üretim ve tüketim verileri	181
Şekil 8.2. İkinci uygulamaya ait saatlik üretim ve tüketim verileri	183

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. FV teknolojiye bağlı A faktörü	26
Tablo 2.2. Asit yoğunluğu ve hücre gerilimini ölçme ile şarj durumunu belirleme	44
Tablo 4.1. Yük öncelik listesi	100
Tablo 4.2. Her “j” örnekleme adımında BMKV için hazırlanmış kural tablosu	104
Tablo 5.1. Batarya gurubunun şarj durumu göstergesi	123
Tablo 5.2. Arşivleme aralıklarına göre kayıt saklama kapasitesi	131
Tablo 5.3. Geliştirilen iletişim komutları	141
Tablo 5.4. Geliştirilen iletişim komutlarına ait açıklamalar	142
Tablo 5.5. Bir grup ölçüm verisi için hesap edilen mutlak ve bağlı hata verileri	148
Tablo 5.6. Elektromanyetik alan oluşturan bazı yapay kaynaklar	149
Tablo 5.7. Ortam ve tek bir cihaz için belirlenen limit değerler	151
Tablo 5.8. PMM 8053B ile yapılan elektromanyetik alan ölçüm sonuçları	152

SEMBOLLER DİZİNİ

A	: İdeallik Faktörü
AA	: Alternatif Akım
AB-27	: 27 Avrupa Birliği Ülkesi
AGYS	: Akıllı Güç Yönetimi Sistemi
Ah	: Amper Saat
AM	: Hava Kütleli
AMT	: Ağırlık Merkezi Tekniği
ARCHON	: Ortak Heterojen Çevrimiçi Sistemler Mimarisi
A_v	: Gerilim Dönüşümü
BA	: Batarya Ajansı
BMD	: Bulanık Mantık Denetleyici
BMKV	: Bulanık Mantık Tabanlı Karar Verici
BTK	: Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu
COM	: Seri Port
DA	: Doğru Akım
DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
E_0	: Gerilim Sabiti
E_G	: Enerji Kuşağı Açıklığı
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
EJ	: Exajoule
EMA	: Elektromanyetik Alan
EMC	: Elektromanyetik Uyumluluk Kriterlerine
FIS	: Bulanık Çıkarım Sistemi (Matlab editöründe)
FV	: Fotovoltaik
g	: Yerçekimi İvmesi
G_{av}	: Ortalama Güneş Işınımı
GEPA	: Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
GW	: Giga Watt
h	: Yükseklik
I	: Akım
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı

I_P	: Primer Akım
I_{Ph}	: Güç Kaynağı Fotoelektrik Akımını
I_{PN}	: Nominal Primer Akım
I_{rs}	: Hücrenin Referans Sıcaklıktaki Ters Doyum Akımı
I_s	: Hücre Doygunluğunun Karanlık Akımı
I_{sc}	: Kısa Devre Akımı
k	: Boltzmann Sabiti
K	: Kelvin
K_I	: Hücrenin Kısa Devre Akımının Sıcaklık Katsayısı
K_v	: Polarizasyon Gerilimi
kWh	: Kilo Watt Saat
L	: Endüktans
LA	: Yük Ajanı
LVD	: Alçak Gerilim Güvenlik Standartları
m	: Kütle
MAHAS	: Multi-Agent Home Automation System
MAS	: Multi-Agent System
MavHome	: Yönetilebilen Uyarlanabilir Çok Yönlü Ev
MPP	: Maksimum Güç Noktası
MPPT	: Maksimum Güç Noktasının İzlenimi
MW	: Mega Watt
P	: Elektrik Enerjisi
Pb	: Kurşun
PbO_2	: Kurşundioksit
PGA	: Güç Şebekesi Ajanı
PID	: Oransal-İntegral-Türevsel
psh	: Yoğun Güneş Saatleri (Peak Sun Hours)
PVA	: FV Dizi Ajanı
q	: Elektron Yüğü
R	: Dünyanın Yarıçapı
a	: Transformatörün Dönüştürme Oranı
R_s	: Seri Direnç
R_{sh}	: Şönt Direnç

S	: Güneş Sabiti
SAR	: Özgül Emilim Oranı
SOC	: Şarj Durumu
t_c	: Gauss fonksiyonunun merkez değeri
T_c	: Pilin Çalışma Sıcaklığı
TEP	: Ton Eşdeğer Petrol
T_{ref}	: Hücrenin referans sıcaklığı
TW	: Tera Watt
TWh	: Tera Watt Saat
V	: Elektrik Akımı
v	: Hız
V_{oc}	: Açık Devre Gerilimi
W_i	: Potansiyel Enerji
W_k	: Kinetik Enerji
WTA	: Rüzgar Türbini Ajanları
YE	: Yenilenebilir Enerji
D	: Anahtarlama Oranı
μA	: Üyelik Fonksiyonu
θ_z	: Güneşin tepede olması durumu ile o anki bulunduğu konum arasındaki açı
i_{2o}	: Ortalama Çıkış Akımı
I_{PV}	: Fotovoltaik Akım
I_{SC}	: Kısa Devre Akımı
V_D	: Diyot gerilimi
V_{OC}	: Açık Devre Gerilimi
γ	: Hücre Doluluk Faktörü
η	: Verim
λ	: Güneş Işınımı
U	: Hücre Başına Batarya Gerilimi
ρ	: Özgül Direnç

1. GENEL BİLGİLER

Dünyada her geçen gün artan enerji talebi, teknik, ekonomik ve ekolojik sorunları da beraberinde getirmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) tahminleri, dünyada enerjiye olan talebin 2005-2030 yılları arasında %55 artacağı ve bu artıştaki en büyük pay ise %84 ile fosil yakıtlarda yani petrol, kömür ve doğalgazda olacağı yönündedir [1]. Sınırlı kaynaklar olan fosil yakıtların hızla tüketilmesi sadece enerji krizine değil ekolojik krize de yol açmaktadır. Fosil yakıtların kullanımı küresel ısınmanın sebebi olan sera gazlarının atmosfere bırakılmasında en büyük paya sahiptir.

1.1. Enerji

En temel seviyede, enerji biçimlerinin çeşitleri kinetik, yerçekimi, elektrik ve nükleer olarak dört gruba düşürülebilir.

Bunların ilki olan kinetik enerji; herhangi bir nesnenin hareket etmesiyle sahip olunan enerjidir. Bu ise bağıntı (1.1)'deki gibi ifade edilebilir.

$$W_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (1.1)$$

Burada kinetik enerjinin birimi joule (J), kütle birimi kilogram (kg) ve hızın birimi ise saniye başına metre (m/s)'dir. Daha açıkçası, materyalin bünyesindeki kinetik enerji onun hızı ile tanımlanır. Tüm maddeler atomlar veya molekül olarak adlandırılan atom kombinasyonları içerir. Örneğin bir tür gaz olarak bizi çevreleyen havada, atomlar özgür bir şekilde hareket eder. Sıvı veya katı maddelerde ise atomlar, her partikülü sabit bir şekilde titreşen az veya çok birbiri ile gevşek bağlanmış ağlar biçimindedir. Bu hızlı ve rastgele hareket ile ilişkilendirilmiş kinetik enerji için verilen isim, "Isıl (Termal) Enerji" veya ısıdır.

Enerjinin ikinci en temel biçimi yerçekimi enerjisidir. Dünyada bir cismin kaldırılabilmesi için bir enerji girişi gereklidir. Çünkü yerçekimi harekete karşı koyar. Eğer elma gibi bir nesne elinizin üzerine kaldırılır ise "Yerçekimi Potansiyel Enerjisi" (sıklıkla sadece 'potansiyel enerji' ya da 'yerçekimi enerjisi') olarak adlandırılan giriş enerjisi

depolanır. Yeryüzüne doğru bir nesneyi çeken yerçekimi ivmesi ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$) nesnenin ağırlığı olarak isimlendirilir. Ve onun “kütlesi” ile “yerçekimi ivmesinin” çarpımına eşittir. Bir nesnenin “m” kütlesini, h yüksekliğine, kaldırarak biriktirilen potansiyel enerji, bağıntı (1.2) yardımı ile hesap edilebilir.

$$W_i = m . g . h \quad (1.2)$$

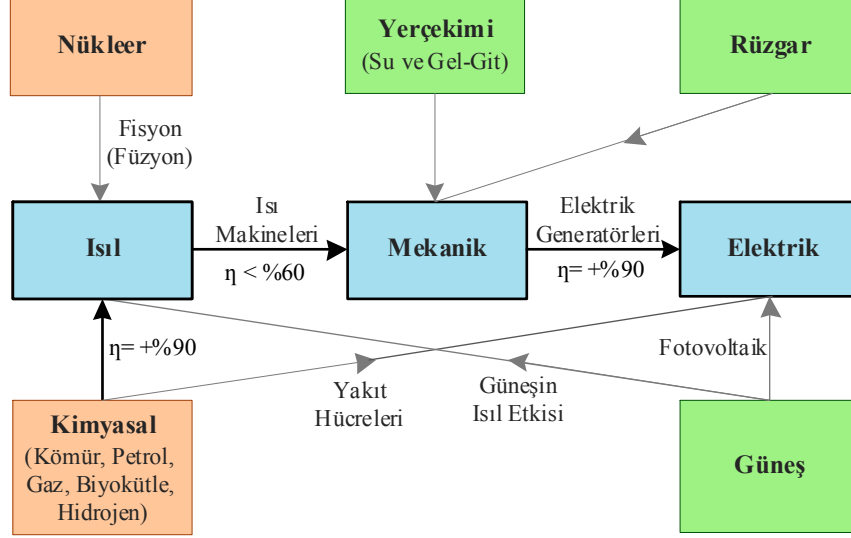
Bizi çevreleyen nesnelere etkileyen kuvvet sadece yerçekimi değildir. Göz ile görülmeyecek ölçekteki elektriksel kuvvetler tüm materyallerin moleküllerini ve atomlarını birlikte tutar. Bu kuvvetler ile oluşmuş elektrik enerjisi, temel biçimlerin üçüncüsüdür. Her atom merkezindeki çekirdek etrafında ani hareket eden elektronlar, elektrik yüklü tanecikler kümesi içerdiği kabul edilebilir. Atomlar katı materyaller veya moleküller biçiminde bir araya geldiğinde, elektronların dağılımı değiştirilebilir. Bu yüzden atomik düzeyde incelendiğinde kimyasal enerji, elektrik enerjisinin bir biçimi olarak kabul edilebilir. Elektrik enerjisi iki temel bileşenden oluşur. Bunlar elektrik akımı ve gerilimidir. Bu iki bileşenin çarpımı ile elektrik gücü bağıntı (1.3) yardımı ile bulunabilir.

$$P = V . I \quad (1.3)$$

Başka bir elektrik enerjisi biçimi ise elektromanyetik ışınla yoluyla taşınır. Güneş enerjisinin dünyaya erişmesinin örnek olarak gösterilebileceği bu biçimi elektromanyetik enerji olarak adlandırmak daha uygundur. Elektromanyetik enerji her nesne üzerine az veya çok miktarlarda ışın saçar. Boş uzay boyunca enerji taşıyabilen bir dalga olarak yol alır. Dalga uzunluğu (ki dalga boyu olarak adlandırılır) onun biçimini karakterize eder. Örneğin; X-ışınları, Ultraviyole ve kızılötesi ışınlar, görünür ışık, radyo dalgası ve mikro dalgalar gibi.

Dördüncü ve sonuncu temel enerji biçimi ise, “Nükleer Enerji” olarak adlandırılan atomun çekirdek merkezi ile ilgilidir. Bu enerjiyi serbest bırakma için gerekli teknoloji, askeri amaçlar doğrultusunda İkinci Dünya Savaşı süresince geliştirildi. Bilahare elektrik üretiminde de kontrol edilebilen versiyonu geliştirildi. Nükleer Güç santralleri, fosil yakıtlı santraller gibi aynı prensipler ile işletilirler. Sadece yakıt yanma odası ile uranyum atomlarını büyük miktarda ısı üretmek için fizyon süreci ile parçalandığı nükleer reaktör yer değiştirmiştir.

Güneşin enerji kaynağı da nükleer merkezlidir. Buradaki süreç nükleer fizyon değil nükleer füzyondur [2].



Şekil 1.1. Çeşitli enerji türlerinden elektriğe dönüşüm [3].

Bu enerji türlerinden elektrik enerjisi üretilebilir yollar Şekil 1.1'de verilmiştir. Dünyadaki elektriğin büyük bir kısmının üretim yolları kalın siyah çizgiler ile vurgulanmıştır.

1.2. Fosil Yakıtlar ve İklim Değişimi

Dünyanın yüzey sıcaklığı, güneşten gelen enerjinin yer yüzeyinden uzaya saçılan kızıl ötesi enerji ile dengede olduğu bir düzeyde kendini tutmaktadır. Eğer yeryüzü, bir atmosfere sahip olmasaydı ortalama yüzey sıcaklığının -18°C olacağı, bilimsel öngörüler arasındadır. Ancak, atmosfer çoğunlukla su buharı, karbondioksit ve metan gibi sera gazlarını (greenhouse gases) içerir. Bu gazlar, güneş ışınmasının girişine müsaade eden ancak kızıl ötesi ışımanın çıkışını engelleyen bir seranın tabakaları gibi davranır. Bunların sebep olduğu doğal "sera etkisi" yeryüzü sıcaklığının, yaşam için uygun bir seviyede yani 15°C 'de muhafaza edilmesinde önemlidir [2].

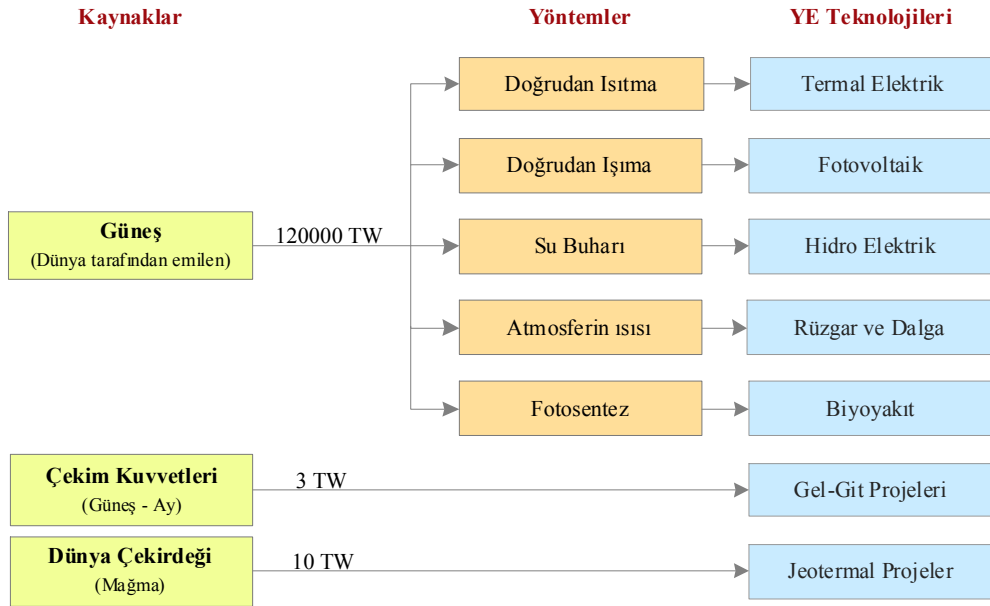
Ancak sanayi devriminden itibaren insan aktiviteleri atmosfere ilave sera gazları eklemiştir. Bu gaz salımı (emisyon) oranlarının artmasında birincil iştirakçi, fosil yakıtların kullanımından kaynaklanan karbondioksittir. Bilim adamları dünyanın ortalama yüzey

sıcaklığının son yüzyıl içerisinde 0,6 °C artışına, insan kökenli emisyonların sebep olduğunu tahmin etmektedirler [4]. İnsanoğlu, yaşam biçiminde önemli değişiklikler yapmadığı takdirde, bu tahmin oranları kötüleşme yönünde artmaya devam edecektir.

Küresel ısınmaya yol açan sera gazlarının hatırı sayılır bir bölümü enerji sektörüyle doğrudan ilgilidir. Kyoto protokolünün Ek-B bölümünde sıralanan ülkelerde [5], enerji sektörü kaynaklı sera gazlarının oranı %64 olarak tespit edilmiştir [6]. Ulaşım sektörü de dahil edildiğinde, bu oran %83'e kadar çıkabilmektedir [6]. Bu nedenle mevcut enerji kaynaklarının daha etkin ve daha verimli kullanılması ve Kyoto protokolünün Ek-A bölümünde belirtilen [5], karbondioksit başta olmak üzere sera gazları salımı sınırlı olan kaynaklara hızla yönelmek gerektiği, hayati önem taşımaktadır.

1.3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Önemi

Doğadaki enerji türleri, dönüşüm süreçleri sonunda; üç farklı yenilenebilir enerji kaynağına, çok farklı kullanım yöntemlerine ve dolayısıyla farklı enerji akış teknolojilerine sebep olur. Bu bakımdan sıvı veya katı biyo-yakıt ve okyanus akımı enerjilerinin yanı sıra, hidro elektrik ve rüzgar enerjisi gibi örnekler ile tüm teknolojiler Şekil 1.2'de gösterildiği gibi güneş enerjisinin az veya çok dönüşümünü temsil etmektedirler [7].



Şekil 1.2. Yenilenebilir enerji akış yolları [3].

Kolayca erişilebilen yenilenebilir enerjinin (YE) ana kaynağı güneştir. Dünya yüzeyine gelen ve atmosfer tarafından emilen güneş ışınması, dünyada mevcut tüketilen birincil enerjinin oranından yaklaşık 8000 kat daha büyüktür. Bu, dünyanın şu anki nüfusu göz önüne alındığında, kişi başına ortalama 20 MW gibi şaşırtıcı bir enerji miktarına karşılık gelmektedir [3].

Çeşitli teknolojiler kullanılarak güneş ışınması doğrudan faydalı enerjiye dönüştürülebilir. Kollektörlerle emilen güneş ile ortam ve su ısıtılabilir. Binalar, ihtiyaç duydukları ortam ısı ve aydınlatması için güneş enerjisinin katkısını artıracak “pasif güneş” özellikleri ile de tasarlanabilir. Güneş enerjisi; elektrik üretmek için ihtiyaç duyulan yüksek sıcaklıklı ısıyı odaklayan aynalarla da dönüştürülebildiği gibi, binaların cephelerine veya çatılarına monte edilmiş fotovoltaik modüller kullanılarak doğrudan elektrığe dönüştürülebilmektedir. Bununla birlikte, enerjinin diğer formlarını kullanarak güneş ışınması indirekt bir şekilde faydalı enerjiye dönüştürülebilir. Dünyanın yüzeyine erişen ışınmanın büyük bir kısmı suyun ısınması ve havaya su buharı eklenmesi sonucunu doğuracak biçimde okyanuslar tarafından emilir. Su buharı nehirleri beslemek için yağmur olarak yoğunlaşır ve türbinler yardımı ile enerji elde edebilmek için barajlarda tutulurlar. Benzer şekilde rüzgar gücü ve biyo-enerji de güneş ışınmasından dolayı ortaya çıkan enerji türleridir. Gel-git ya da jeotermal enerji türü ise güneş ile doğrudan ilişkili olmamakla birlikte, özellikle ayın hareketleri gel-git enerji türünde doğrudan etkilidir [2].

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre oldukça şanslı durumdadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nde (DMİ) bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerine dayanarak Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından yapılan çalışmaya göre, Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresinin 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), yıllık ortalama toplam ışınım şiddetinin 1311 kWh/m² (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir [8,9]. Bu çalışmada elde edilen verilere dayanarak, 2008 yılında Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli atlası (GEPA) tamamlanmış ve tematik harita görüntüleri EİE'nin web sayfasında yayınlanmıştır. Ölçümler güncellendiğinde, yatay yüzeye gelen ortalama günlük ışınım değeri 4,17 kWh/m² ve yıllık ortalama güneşlenme süresi de 2740 saat olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada, topografyaya göre sabit yıllık metrekare başına ışınım şiddeti, 1.650 kWh 'ten fazla olan yerler en iyi alanlar olarak kabul edilmektedir. GEPA verilerine göre, Türkiye'de güneş enerjisi yatırımlarına uygun, toplam 4.600 km² kullanılabilir alan belirlenmiştir [9,10].

1.4. Tezin Amacı ve Çözüm Yaklaşımı

Hava koşullarının zamana göre değişimi, yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrik enerjisinin dalgalanmasını telafi edebilmek için çevre şartlarından daha az etkilenen sağlam sistem tasarımını gerektirir. Geleneksel olarak, bu dalgalanmaları giderebilmek için batarya, yakıt pili gibi depolama birimi ya da rüzgar, biyoenerji, fotovoltaiik gibi birden çok güç kaynağı ile problem aşılmaya çalışılmaktadır. Depolama birimleri de güç kaynağı olarak sayıldığında, bahsi geçen bu kaynaklar arasındaki en doğru tüketim stratejisini belirleyebilmek için “Güç Yönetimine” ihtiyaç vardır. Kısım 1.5.1’de sunulan yapılmış bilimsel çalışmalarda, kaynaklar arasında yapılmış birçok güç yönetimin uygulamaları ve teorilerinden bahsedilmektedir. Hava koşullarına göre güç üretiminin en iyi olacak biçimde kaynaklar arasında optimal geçişi sağlayan bu yöntemler, sistem boyutlandırılmasında azalma ve yüklerin en kötü durumda da uzun süre enerjili kalabilmesini sağlayabilmişlerdir.

Ancak üretim tarafında yapılan bu güç yönetimi, her sistem için uygun olamamaktadır. Örneğin; bu tür sistemler genelde büyük güçlü üretim sistemleri için tasarlanmış olması, birçok kaynağı barındırdığı için yüksek kurulum maliyetleri olması ve güç ihtiyacı karşılanacak tüketici birimi için her zaman uygun kurulum alanı olmayışı gibi dezavantajlara sahiptir. Bu sistemler “tek bir kaynak için ve yük tarafına yönelik güç yönetimi de” yapamamaktadır. Üstelik üretim taraflı güç yönetimini mevcut YEK sistemler için uygulamak pek mümkün olamamaktadır.

Öte yandan, tek kaynaklı şebeke bağlantısız fotovoltaiik dizinlerle enerji üreten sistem için öngörülen en kötü senaryo, güneş ışığının gün boyunca az olması ve bu durumun enerji yoksunluğuna yol açmasıdır. Enerji üretim sürecinin sadece belli bir dönemde rastlanan bu en kötü senaryo dikkate alınarak tasarlanan bağımsız güç sistemleri, günümüz şartlarında kurulum maliyeti açısından halen büyük finansal problemler doğurmaktadır. Üstelik bu en kötü senaryonun dışındaki durumlarda tasarlanan sistemin güç üretimi, çoğu kez ihtiyaçtan fazla olmaktadır.

Dolayısıyla,

- Daha düşük maliyetli,
- Tek kaynaklı sistemlerde de kullanılabilen,
- Üretim tarafından ziyade yük tarafını esas alabilen,
- Kullanıcı tercih ve konfor ölçütlerini dikkate alabilen,

- Gerektiğinde önceliği düşük yükleri enerji seviyesinin daha uygun olduğu periyotlara erteleyebilen,
- Ertelenmiş yükleri enerji seviyesi uygun olduğunda kullanıcının takip etmesi gerekmeden icra edebilen, böylelikle kritik yükleri daha uzun süre besleyebilen,
- Mevcut tüketici sistemlerinde bir değişikliğe ihtiyaç duymadan uygulanabilen,

akıllı bir güç yönetimine ihtiyaç vardır.

Yük tarafı güç yönetimi, tüketici davranışlarına bağlı tüketim güç değerleri ve kaynağın güç değerini dikkate alarak akıllı bir yazılım ile güç yönetimi yapabilmek için tüm yüklerin ve kaynağın anlık güç bilgisi gereklidir. Mevcut tüketici sistemlerinde yapısal bir değişiklik yapmadan bu bilgileri alabilmek için ajanlara ihtiyaç vardır.

Bu çalışma; “Normalden çok fazla yatırım yapılarak sağlanabilecek olan gerekli güç ihtiyacını karşılama zorunluluğu kısmen ortadan kaldırarak, daha düşük kurulum maliyetli ‘yönetilebilir’ fotovoltaik enerji kaynaklı güç sistemleri oluşturmayı” amaçlamaktadır.

Bu amaca yönelik,

- Enerji üretim sürecinin sadece belli bir döneminde rastlanan en kötü senaryo dikkate alınarak tasarlanan bağımsız güç sistemlerinde, kullanıcı konfor ve kriterine göre yük erteleme yapmak,
- Sistemin bu gibi durumlardaki güç talebini, güç üretiminin hatta fazlalığının olduğu daha sonraki periyoda yaymak,
- Birçok depolama birimine sahip (cep telefonu, dizüstü ve tablet bilgisayarlar gibi) cihazlarda kullanılan güç yönetimi yazılımının, fotovoltaik kaynaklı sistemler için bir benzerini geliştirmek,

Böyle bir sistemi gerçekleştirmek üzere,

- Tüm yük ve kaynak durumlarını tespit edebilmek için çok ajanlı bir yapı oluşturmak,
- Ajanlarla elde edilecek bu verileri çok ajanlı tasarıma dayalı optimizasyon yazılımıyla, kullanıcı konfor ve öncelik kriterleri de dikkate alınarak, akıllı güç yönetimini yapmak,
- Geliştirilecek ajanların mevcut sistemlerde de bir değişikliğe ihtiyaç duymadan kullanılabilmesi için, ajan haberleşmesini kablosuz veri iletişimiyle gerçekleştirmek,
- Yük ve kaynak ajanından gelen verilerle Bulanık Mantık Tabanlı bir karar verici

optimizasyon yazılımını gerçekleştirmek,

- Kullanıcı, güç yönetimi yazılımını koşturduğu bilgisayarı kullanarak veya uzaktan bağlanarak arzu ettiği yükü istediği süre kadar manüel olarak devre dışı bırakmasına veya devreye almasına imkan sağlamak,

Böylece,

- Kullanıcı konfor ve öncelik kriterleri açısından ön tanımları yapılmış kritik yüklerin daha uzun süre enerjili kalmalarını sağlamak ve güç sisteminin ihtiyacını karşılamak üzere kurulum esnasında en kötü durum için yapılan hesaplarda ön görülemeyen ve/veya çevresel etkiler nedeniyle maruz kalınabilecek olan kötü durum senaryoları için enerji üretim/tüketim planlamasının daha az maliyetli olarak yapılabilmesi,

mümkün olacaktır.

Gerçekleştirilecek bu çalışma, öncelikle “üretim tarafı” yerine “yük tarafında” bir güç yönetimi hedeflediği için literatürdeki çoğu çalışmadan farklıdır. İkinci olarak, bu güne kadar tasarlanmış ancak gerçekleştirilmemiş az sayıdaki teorik yük tarafı güç yönetimi çalışmalarından, hem çözüm yaklaşımı olan Bulanık Mantık Karar Verici bir optimizasyonla kullanıcı öncelik tercihine bağlı olarak yük denetimi yapabildiği, hem de ajanlar ve güç yönetim yazılımının gerçekleştirilmesi ile başlı başına yapılan çalışmalara göre farklılık sunmaktadır.

1.5. Literatür Araştırması

1.5.1. Güç Yönetimine Yönelik Çalışmalar

Natsheh ve arkadaşları, fotovoltaik, yakıt pili ve bataryadan oluşan 3 enerji kaynağı arasında hiyerarşik bir denetleyici kullanarak çevrimiçi bir enerji yönetimi sunmuşlardır. Bu yeni metot üç katmandan oluşmaktadır. Birincisi; farklı tip fotovoltaik paneller için en yüksek güç noktasını elde edebilmek için oluşturulmuş ileri beslemeli yapay sinir ağlarını içerir. İkinci katmanda, şarj/deşarj akımlarını yöneterek ve karma sistem içerisinde gücü dağıtarak performansı olması gereken en iyi duruma getirecek bulanık mantık denetleyiciden oluşur. Son katmanda ise, en iyi performansa erişmek için yakıt pili ve batarya çalışma noktalarını düzenleyen yerel bir denetleyiciden oluşur.

Gerçek zamanlı ölçülmüş parametreler ve yük profilleri, geliştirilen güç yönetimi

için giriş olarak kullanmışlardır. Geliştirilen sistem üzerinde yapılan benzetim çalışmalarında, şarj durumu uygun bir seviyede sürdürülebilmiş ve farklı çalışma koşulları altında mükemmel bir performans sergilediğini ifade etmektedirler [11].

Li ve arkadaşları, yakıt pili ve bataryadan oluşan depolama birimlerine sahip karma kaynaklı sistemler için güç dağıtımında kullanılacak bulanık bir denetleyici sunmuşlardır. Tasarlanan denetleyici ile gerçekleştirdikleri benzetim çalışmasında, en uygun hale getirilmiş bulanık denetim stratejisiyle batarya ve yakıt pili arasında verimli bir şekilde güç dağıtımı yapılabildiği gözlemlenmiştir. Diğer taraftan, oluşturulan bulanık mantık denetleyici parametreleri farklı işletme koşulları için uygun olduğunu tespit etmişlerdir ve gerçek işletme koşullarında da iyi sonuç vereceğini ifade etmişlerdir [12].

Younsi ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada ise, şebeke bağlantılı yenilenebilir karma enerji kaynaklı sistemin en iyi işletme durumu için yapay sinir ağları modeli kullanarak yeni denetim metodundan bahsetmişlerdir. Karma sistem, rüzgar generatörü, dizel generatör ve volan enerji depolama sistemini (VEDS) içermektedir. VEDS'nin enerji transfer tipini (şarj / deşarj / enerji transferi yok gibi) belirlemek ve dizel generatörün aç/kapa durumu üzerinde karar almak için yapay sinir ağı bir denetim tasarlanmıştır. Bu denetim sistemi, şebeke tarafından talep edilen güce cevap verebilmek için, karma sistem ve şebeke arasındaki enerji naklini yönetebilmek için, rüzgar enerjisinin kullanımını en iyi düzeye getirebilmek için ve dizel generatörün yakıt tüketimini azaltabilmek için geliştirmişlerdir.

Simulink ortamında oluşturulan benzetimle elde edilen sonuçlar, ademi merkeziyetçi üretim kaynakları olan rüzgar generatörlerinin üretim problemleri için tasarlanan denetim çözüm olabilmektedir. Bu yol rüzgar güç kalitesini iyileştirmiş ve kararlılıklarını herhangi bir risk olmaksızın bozmadan rüzgar generatöründen şebekeye enerji naklini başarmışlardır [13].

Haruni ve arkadaşları, rüzgar türbini, yakıt pili, batarya ve elektrolizör ünitesinden oluşan karma bir yenilenebilir enerji kaynaklı sistemde yeni bir işletme ve denetim stratejisinden bahsetmişlerdir. Bu yapı iki seviyeye dayalı bir stratejiden oluşmaktadır. Birinci seviye güç düzenleyici sistem ve enerji yönetimini içerir. Yük ve rüzgar durumuna bağlı olarak düşük seviyeli bireysel alt sistemler için dinamik işletme noktası referansı üretmektedir. Enerji yönetimi ve güç düzenleyici sistemi, elektrik kesilmesinden kaçınmak için yetersiz enerji depolama altında elverişsiz rüzgar durumları süresince de yük planlama işlemini denetleyebilmektedir.

Matlab Simpower yazılımı kullanılarak yapılan benzetimde farklı yük koşulları ve rüzgar durumu altında; rüzgar generatörünün en yüksek verimde çalışabildiğini, bataryanın çift yönlü çevirisinin başarılı bir şekilde denetlenebildiğini, yakıt pili ve elektrolizör ünitesinin artırıcı ve azaltıcı çeviriciler kullanılarak denetlenebildiğini elde edilen sonuçlardan tespit edebilmişlerdir. Geliştirilen enerji yönetimi ve güç düzenleyici sistem tarafından ortalama şartlarda, tüm kaynaklar ve yüklerin denetlenebildiği gözlemlendi [14].

Zhou ve arkadaşları, sürekli olmayan güneş ışması ile zamanla değişen elektrik enerjisi ihtiyacı miktarı arasındaki uyumsuzluğu, yüksek enerji verimliliği elde edebilmek için şebeke bağlantısız PV-H₂ sisteminde karşılıklı denetim planlı en ideal enerji yönetimiyle incelemiştir. Sistem elemanlarının en düşük kapasiteyle belirlenebilmesi için bahsedilen en iyi enerji yönetimi stratejisine dayalı olarak, sistem boyutlandırma metodu geliştirmişlerdir. Bu yolla, sistem donanım maliyetini geliştirilmiş sistem boyutlandırma metodu kullanılarak daha düşük değerli olarak hesaplayabilmişlerdir. Yapılan örnek çalışmayla, sunulan enerji yönetim stratejisi ve sistem boyutlandırma metodunun geçerliliklerinin doğrulaması sağlanabilmiştir. Çalışmanın benzetim sonuçları, şebeke bağlantısız PV-H₂ sistemlerinin işletilmesi ve tasarımsal hesapları için anlaşılabilir iyi bir çözüm sağlamıştır [15].

Dursun ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, şebeke bağlantısız fotovoltaik, rüzgar, batarya ve yakıt pilinden oluşan karma güç sistemi için farklı bir güç yönetimi stratejisi sunmuşlardır. Enerji akışının sürekliliğini sağlayabilmek ve yakıt pili mebranının işletme zamanını artırabilmek için, güç yönetim stratejisi önermişlerdir. Bu strateji temel olarak, batarya grubu şarj durumunun en yüksek ve en düşük seviyelerinin yakıt pilinin işletilmesine bağlı olarak belirlenmesi esasına dayandırılmaktadır. Önerilen güç yönetimiyle batarya grubu enerji verimliliğini (%85'e ulaştırarak) iyileştirmişlerdir [16].

Ipsakis ve arkadaşları, rüzgar generatörü ve fotovoltaik kaynaklı, yakıt pili ve batarya gurubu depolama birimine sahip bir şebekeden bağımsız sistem için histerezis banttan faydalanarak iki adet güç yönetim stratejisini dört ay boyunca takip ederek değerlendirmişlerdir. Bataryaların şarj seviyesi yakıt pili ve elektrolizörün işletilmesi için denetleyici ana parametresi olarak belirlemişlerdir. Batarya gurubunun şarj durumu sınır değerleri için sunulan histerezis bant, batarya gurubu, yakıt pili ve elektrolizörün işletilmesi için daha geniş bir esneklik sağlamıştır. Bu yolla, birimler düzensiz işletme (başlatma ve durdurma sıklıklarında azalama) ya da zorunlu olmayan ve çok miktarda kullanımlara karşı korunabildi. Diğer taraftan bu çalışmayla, bir entegre denetleyicili

stratejinin geliştirilmesi için önemli bir özellik olarak, histerezis bant değerlerinin değişimiyle sistem performansı üzerinde oluşan etkiyi de tanımlayabilmişlerdir [17,18].

Tofighi ve arkadaşları, ana kaynak olarak karma güç kaynağı ve ikincil kaynak olarak Li-ion depolama birimi arasındaki güç elektroniği arabirimlerini, Euler eLagrange yapısına bağlı olarak modellemişlerdir. Sonrasında pasiflik tabanlı denetleyici, azaltıcı enjeksiyon ve enerji biçimleme tekniği kullanılarak sentezlediler. Yerel sonuçmaz kararlılık iyi bir şekilde sağladılar. Ek olarak, güç yönetim sistemini elemanlar arası güç akış yönetimi için tasarladılar. Karma sistemin benzetimini ve önerilen denetimin değerlendirmesini Matlab/Simulink kullanılarak yaptılar. Elde ettikleri sonuçlar, tasarlanan karma sistemin çıkışının aşma, kısa oturma zamanı ve sıfır kararlı hal hatası cevaplarını iyi bir şekilde takip ettiğini gözlemlediler. Daha sonra doğrusal PI denetleyicilerle, pasiflik tabanlı denetleyici cevaplarının bu sonuçlarla karşılaştırılmasını yaptılar ve referans doğru akım gerilimi ve değişken yük direnci için önerilen denetleyicinin yüksek sağlamlıkla çalıştığını tespit ettiler [19].

1.5.2. Çok Ajanlı Sistemlere Yönelik Çalışmalar

Abras ve arkadaşları, kullanıcı rahatına ve maliyet ölçütlerine göre güç tüketimini mevcut güç kaynaklarına adapte eden güç yönetimine adanmış bir ev otomasyon sisteminin prensiplerini sunmaktalar. Sistem çok ajanlı paradigmaya dayanmaktadır. Her bir ajan bir güç kaynağının ya da teçhizatın içine gömülüdür. Bunlar da bir donanım (hava ısıtma, su ısıtma, havalandırma, aydınlatma) ya da bir servis olabilir (yıkama, pişirme). Yine her bir ajan kabul edilebilir en optimum çözümü bulmak için diğerleri ile kendi aksiyonunu işbirliği ile uyum içerisinde yerine getirebilir. Kontrol algoritması birbirini tamamlayan iki mekanizmaya ayrılmaktadır: baskı ihlallerinden koruyan bir “acil durum mekanizması” ve önceden tahmin edilen tüketimlere ve üretimlere ve de kullanıcı ölçütlerine göre en iyi gelecek ayar noktalarını hesaplayan bir “önsezi mekanizması”. Çalışma her iki mekanizma tarafından kullanılan bir müzakere protokolünü detaylandırmaktadır ve bazı belli başlı benzetim sonuçlarını sunmuşlardır [20].

Ha ve arkadaşları, çalışmalarında yeni 3 katmanlı ev enerji kontrol sistemi için maksimum kullanıcı konfor kriterleri ve mümkün olan tatmin edici elektrik enerjisi sınırlandırması özelliklerinden bahsetmişlerdir. Donanım, koruma ve önsezi mekanizmasından oluşan bu üç katmanı tanımlamışlardır ve bu ev otomasyon istemindeki

önceden tahmin edilen olayların problemini çözmek için, Bellman-Ford'un algoritmasını kullanmışlardır. Bu kontrol mekanizması evde toplam güç tüketiminin daha esnek bir denetimini sahip olmayı mümkün kılmışlardır [21].

Yine Abras ve arkadaşları başka bir çalışmada, daha önceki uygulamalarına ek olarak Tabu araştırma algoritmasına dayalı genel bir tüketim planı nasıl hesap edilebilir ve problemlerin tümünü bağımsız alt problemlere bölerek karmaşık problemleri nasıl azaltılabileceğini belirlemeye çalışmışlardır. Özellikle çalışmalarında, karmaşık problemlerinin azaltılması yolları ve çözüm stratejileri üzerine odaklanan “Çok Ajanlı Ev Otomasyon Sistemi” (MAHAS, Multi-Agent Home Automation System) sunmuşlardır. Ancak yaptıkları her iki çalışmayı da benzetimden ileri götürememişlerdir [22].

Zeng ve arkadaşları, bir dizi ekolojik bina birimlerinin dağıtılmış yenilenebilir enerji yönetimi için çoklu ajan sisteminin (MAS) uygulamasını sunmuşlardır. İlk olarak tipik bir ekolojik binanın yenilenebilir enerji sistemine girişini, ikinci olarak anahtar problemler ve sistemdeki mevcut gereksinimlerin analizi, üçüncü olarak ise yenilenebilir enerji yönetim sistemini tasarlamak için karma MAS önermektedirler. Daha sonrada genel bir çerçeve ajan tasarımı ve sürekli karar verme algoritması sunmuşlardır [23].

Zeng ve arkadaşları, renklendirilmiş petri ağları modeli ile dağıtılmış yenilenebilir enerji üretim sisteminde enerji yönetimi için çok ajanlı sistem ile analiz ve modelleme için bir çözüm sunmuşlardır. Çalışmada yük ajanı (LA), FV dizi ajanları (PVA), Rüzgar türbini ajanları (WTA), batarya ajanları (BA), güç şebekesi ajanı (PGA) gibi bir çok ajan kullanmışlardır. Çoklu ajan sistemli işbirliği ve optimizasyon modelinin benzetim sonuçlarını da göstermişlerdir [24].

Yunusov ve arkadaşları, çok ajanlı enerji yönetim sistemi ile daha düşük emisyon ve maliyetli, sağlam ve verimli şebekeyi desteklemek için dağıtılmış üretim ve talep edilen gücün yönetimini kontrol etmeyi amaçlayan bir sistem üzerinde çalışmışlardır. Üstelik bu sistem bu amaçların yanı sıra, kullanılan uygun strateji ile geniş şebekedeki en yüksek talepleri azaltmayı da hedeflemektedir. Çalışma ile yeni çok ajanlı enerji yönetim sistemi, şebekenin esnek ve güvenilirliğini iyileştirirken şebeke elemanlarının (yani yük, generatör, depolama birimi vb.) ademimerkeziyetçi denetimi yardımıyla şebekenin kullanımını optimize etmeye çalışmışlardır. Bahsi geçen çok ajanlı enerji yönetim sistemi ayarlanmış seçili davranışlara göre desteklenecek elemanları seçebilmektedir [25].

Jennings, enerji dağıtımı için ilk Çoklu Ajan Sistemi (MAS) yaklaşımını sunmuşlardır. Çalışmasında ARCHON (Ortak Heterojen Çevrimiçi Sistemler Mimarisi) ile

entegre yaklaşım tarzını kullanarak mevcut sistemlerde yapılacak değişikliklerle tasarımcıların isteklerini yerine getirme kolaylığı sağlamak istemiş ve ajanların ayrı ayrı ve bütün olarak etkileşimini geliştirerek mevcut sistemlerdeki verimsiz yönleri iyileştirmeyi hedeflemişlerdir [26].

Li ve arkadaşları, belirli yük ve güneş ışığı altında panelin toplam enerji çıkışını maksimum yapan, kaynak-izleyen güç yönetim stratejisi sunmuşlardır. Güç verimliliğini kapsamlı ölçümle doğrulamışlardır. Geleneksel güneş enerjisi sistemlerine karşı kullandığımız yük eşleştirme (load matching) stratejisi, görüntü işleyen ve kablosuz iletişim sağlayan taşınabilir bir sistem için güç kullanımını %132 geliştirmişlerdir [27].

Celaya ve arkadaşları, çoklu-ajan sistemlerin analizi, dizaynı ve modellenmesi için taslak inceleme oluşturmuşlardır. Çoklu-ajan sistemleri ayrık-hal dinamik sistemler olarak kabul edilmiş ve Petri Ağları, çoklu-ajan sistemlerin yapısal özelliklerinin değerlendirilmesi için modelleme araçları gibi kullanmışlardır. Yöntemleri akıllı ajanların teorik mimarisine dayalı basit bir çoklu-ajan sistemin tanımlanması şeklinde gerçekleştirmişlerdir. Teorik mimari, Petri Ağlarını kullanan ayrık-hal sistem olarak modellenmesi ve ağı yapısal analizi, çoklu-ajan sistemin iletişim ve koordinasyon özellikleri için bir değerlendirme oluşturabilmişlerdir. Çoklu-ajan sistemlerde durgunluktan sakınma, başlangıç anahtar özellik olarak ele alınmış ve Petri Ağ Modelinin canlılık ve bağımlılık özelliklerini kullanarak ölçümler gerçekleştirmişlerdir [28].

Yine Ha ve arkadaşları, yerleşim bölgesine uygulanmış müşteri tarafı yük Yönetimi üzerine odaklandılar ve müşteri tarafı yük yönetimi için çok ölçekli optimizasyon mekanizması sunmuşlardır. Enerjinin Etkin Yönetimini oluşturan, tüm ev aletlerine uygulanacak toplam enerji sarfiyatının dinamik limitini hesaplayarak evin enerji dağıtımını sağlamışlardır. Tüm ev aletlerine entegre edilmiş Ev Otomasyon Sistemi, yenilenebilir ve kontrol edilebilir olasılıklarına sahip servis değişkenliğini kullanarak evdeki tüm enerji sarfiyatını kontrol etme rolünü gerçekleştirmişlerdir. Kullanıcılardan ev otomasyon sistemi ile alınan memnuniyet geri bildirimini sayesinde Etkin Yönetim tüm ev aletlerinin güç sarfiyat limitlerini yeniden düzenleyebilmişlerdir. Bu kontrol mekanizması dinamik olarak kullanıcıların memnuniyetini hesaba katmıştır. Bu kontrol mekanizmasının performansını göstermek üzere 200 konutluk simülasyon da yapılmışlardır [29].

Das ve arkadaşları, Yönetilebilir Uyarlanabilir Çok Yönlü Ev (MavHome) projesi ile akıllı bir ev ajanlar yardımıyla oluşturmayı amaçlamışlardır. Bu ajanları, ev halkının memnuniyetinin maksimum ve işlem maliyetinin de minimum olması yönünde araştırabilir

özelliklerde oluşturmuşlardır. Bu hedeflere ulaşmak için kişilerin hareketlilik modellerini ve cihaz kullanımlarını tahmin edecek algoritma geliştirmeye çalışmışlardır. Çalışmalarının nihayetinde gerçek veya yapay akıllı ev verileri üzerinde bu algoritmanın etkinliğini gösterebilmişlerdir [30].

Qiang ve arkadaşları, enerji depolama (batarya) üniteli dağıtılmış rüzgar, fotovoltaik ve şebekeden oluşan karma yenilenebilir enerji üretim sistemi için çok yönlü güç dönüştürücüsünün teorik analizini yaptılar ve PSpice ve Matlab programları vasıtasıyla teorik analizi teyit etmişlerdir [31].

Kati ve arkadaşı, Hindistan'ın uzak bir bölgesinde bulunan Madhya Pradesh eyaletindeki küçük bir köyünün enerji ihtiyacının karşılanması için ulusal meteoroloji bürosundan topladıkları on yıllık verilerle fotovoltaik, rüzgar ve küçük ölçekli su gücünden oluşan bütünleşik yenilenebilir enerji sisteminin analizini yapmışlardır. Sistemin davranışı farklı işletim stratejileri için benzetim yoluyla gözlemlenildi ve kırsal alanlar için tasarımı yapılan bu sistemin faydalarını tartışmışlardır [32].

Shuyun ve Jiang, “Çok Ajanlı Kontrol Metodu ve Rüzgâr-Güneş Karma Güç Üretim Sisteminde Gerçekleştirme” isimli çalışmalarında karma bir güç üretim sisteminden elde edilen enerjinin yönetimi, çok ajanlı teknoloji ile yapılmışlardır. Bu ajanlar fonksiyonlarına göre alt ajan modüllerine ayrılmış ve her ajan modülü de tekrar detaylandırılarak farklı ajanlara bölünmüşlerdir. Örneğin; yük ajanı modülü; AA yük ajanı ve DA yük ajanı olarak ikiye, güneşten güç üretim ajan modülü; FV dizi ajanı ve MPPT ajanı olarak ikiye, bilgi yönetim ajan modülü; izleme ajanı, teknik destek ajanı ve bilgi işleme ajanı olarak üçe bölünmüş ve daha bunun gibi birçok ajan modülü ve alt kategori tanımlanmışlardır.

Bazı ajan modüllerinin görevleri ise kısaca şöyle tanımlanmışlardır;

- Bilgi toplayan ve işleyen ajan modülü; güneş ve rüzgâr güç üretim elemanlarından aldığı bilgileri kontrol modülüne ve bilgi yönetim modülüne rapor etmektedir.
- Kontrol ajan modülü; görev, karar verme, karşılaştırma, onarma, güneş ve rüzgâr kontrol ajanlarını içerisinde bulundurarak, güneş ve rüzgâr gücü üretme elemanlarının çıkış ve girişini ayrıca diğer ajan modüllerini de kontrol eder.
- Bilgi yönetim ajan modülü; içerisinde izleme, teknik destek, bilgi işleme ajanlarını bulundurur.
- Bilgi kaynağı ajanı ise içerisinde veri tabanı ve bilgilendirme ajanlarını içerir ve bütün ajanların bilgi ve verilerini güncelleyerek sisteme bilgi sağlar.
- Bölge ajan modülü ise içerisinde rüzgâr ve güneş güç üretim, batarya ve yük ajan

modüllerini ve eviriciyi içerir.

Bütün modüller ve alt grup ajanlar birbirleri iletişim halinde kalarak güç üretim görevini verimli bir şekilde yerine getirecek biçimde tasarlamışlardır. Bu ajanların esnek iletişim ve işbirliği ile sistem karar verme süreci oluşturmuşlardır.

Çoklu ajan sistemi ile tasarlanmış güç yönetim sistemini denetlemek için geliştirdikleri algoritmanın çalışma stratejisi dört çeşittir;

- Bilgi toplayan ve işleyen ajan modülünden edinilen bilgiye göre rüzgâr enerjisinin yeterli, güneş enerjisinin yetersiz olduğu durumda, sistem rüzgâr enerjisi güç üretim ajanlarını devreye sokar. Daha sonra yük kapasitesini hesaplayarak direk olarak yükü besler. Eğer sistemde enerji fazlalığı veya azlığı varsa batarya boşaltma ya da doldurma ajanlarını devreye sokar.
- Aynı işleri güneş enerjisi fazla rüzgâr enerjisi yetersiz ise yapar.
- Eğer her iki enerji kaynağı da yeterli miktarda ise sistemi karma çalıştırır.
- Eğer her iki enerji kaynağı da yetersiz ise bu sefer bataryalar sisteme enerji sağlar.

Çoklu ajan sistemi ile oluşturulan bu kontrol mekanizması rüzgâr-güneş karma güç üretim sisteminin temel sorunlarından olan düşük güvenilirlik, sistemin doğrusal olmayışından kaynaklanan zayıf sürdürülebilirlik gibi bazı kontrol zorluklarını çözümlenebileceklerini ifade etmektedirler. Çalışmada ileri düzey yapay zekâ (ajan teknolojisi) yeni güç hesaplama yöntemi uygulamışlardır. Ve bu teknoloji ile sistemin çıkışı daha kararlı, daha iyi performanslı yapabilmişler ve sistemi optimize edebilmişlerdir [33].

Jeremy ve arkadaşları, “Bulanık Mantık Temelinde Çoklu Ajanlı Karma Sistemlerin Enerji Yönetimi” isimli çalışmalarında; fotovoltaik enerji kaynaklı, batarya, yakıt pili ve süper kondansatörlü depolama birimlerine sahip bağımsız bir sistemin bulanık mantık ve çoklu ajan yardımı ile enerji yönetiminden bahsetmişlerdir.

Geliştirilen sistemde; üretim, yük, batarya gibi ajanların yanı sıra iletişim için karatahta “blackboard” olarak adlandırılan bir yapı kullanmışlardır. Ajanların temel işlevi karatahta’ya devamlı veri akışı sağlayacak şekilde sistemi tasarlamışlardır.

Yapının en önemli elemanı, bulanık mantık temeline sahip bir algoritma ile çalışan batarya ajanıdır. Bu ajanın bulanık mantık yapısı iki girişli ve 25 kurallı üçgen üyelik fonksiyonları şeklindedir. Bulanık mantığın dolayısı ile batarya ajanlarının girişleri batarya ve DA hattının şarj seviyesidir. Bu girişler beş farklı bulanık üyelik fonksiyonlarıyla, çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek gibi tanımlamışlardır. Bu ajanın çıkışı ile DA hat

gücünü değiştirebilen eviriciyi kontrol etmişlerdir. Çıkışı yedi bulanık üyelik fonksiyonuyla, negatif yüksek, negatif orta, negatif düşük, sıfır, pozitif düşük, pozitif orta, pozitif yüksek gibi tanımlanmışlardır.

Yakıt pili ajanıyla ise; farklı bir algoritma ile çalışarak, bataryayı şarj durumunda ve en verimli noktada çalışmasını sağlamak için yakıt hücrelerini kontrol etmişlerdir. Bu ajan ile üretim ve tüketimi tahmin etmişlerdir. Bu tahmin yazarlar tarafından enerji ihtiyacı olarak tanımlanmıştır.

Tasarlanan sistem için oluşturulan ajan yazılımlarını üç farklı çalışma durumu için test etmişlerdir. İlk durumda sistem de tanımlanan ajanların tasarlanan durumlarda çalıştığı, ikinci olarak bataryalarda arıza olduğu ve son olarak da yakıt hücrelerinde arıza olduğu durumları tasarım üzerinde gözlemlemişlerdir. Birbirinden farklı olan her durumda da sistemin arzulanan performansta çalıştığını ifade etmişlerdir [34].

Jeremy ve arkadaşları, “Dağıtılmış Güç Kaynaklarının Enerji Yönetimi İçin Çoklu Ajan Sistemi” isimli çalışmalarında farklı bir enerji yönetimi önermişlerdir. Bu yönetimde enerji yönetim alanları üretim ve depolama (1), dağıtım (2) ve tüketimden (3) oluşan üç şekilde sınıflandırılmıştır. Sistemin elektriksel mimarisi ise üretim birimi olarak şebeke ve fotovoltaik paneller, depolama birimi olarak ise batarya ve süper kondansatörden oluşturmuşlardır.

Yazarlar bu mimarinin üzerine çoklu ajanları eviricileri kontrol edecek biçimde konumlandırmışlardır. Ajanlar tüm üretim ve depolama birimlerini kontrol edebilmekte ancak yükler üzerinde her hangi bir kontrole sahip değillerdir.

Tasarlanan ajanların davranışlarını âdem-i merkeziyetçi olarak geliştirilmişlerdir. Her bir ajanın genel davranışını ise, durum akış diyagramı ile tanımlamışlardır.

Bu durum-akış diyagramı; enerji akışının nasıl ve hangi eleman tarafından sağlanacağını denetimini sağlayan bir belirtecin (Anahtarın-Token) ajanlar arasındaki geçişi ile sağlayacak şekilde oluşturulmuştur. Bu geçiş ile aktif ajan ve ona bağlı eleman değişmektedir. Bu durum-akış diyagramındaki yapı yazarlar tarafından anahtarlı ve anahtarsız olmak üzere iki farklı biçimde modellenmiştir. Sonrasında şebeke ajanını da tasarıma ekleyerek yeni bir yapı oluşturmuşlardır.

Bu çalışmada bahsi geçen yaklaşım test edilip ve doğrulanarak merkezileştirilmiş sistemler için bir alternatif olabildiği gösterilmiştir. Yine bu çalışmada, benzer elemanlar ile sürekli kontrol edilmeyen DA hat gerilimli bir sistem oluşturmanın mümkün olduğu gösterilmiştir. Bu durumu ajanlar arasındaki işbirliği ve iletişim prensipleri yardımı ile

mümkün kılabilmişlerdir. Sistemi daha güvenilir yapabilmişlerdir ve ayrıca bu yaklaşımla daha basit bir sistem elde etmişlerdir [35].

Zhang ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada; ajanlar yardımı ile bir binadaki gereksiz enerji tüketiminin önüne geçecek bir sistem tasarlamışlardır. Bu sistemi personel, çevre, oda, yönetim ajanları ile tasarlamışlardır. Tüm ajanlar birbirleri ile iletişim sağlayarak yönetim ajanına bilgi aktarmakta ve yönetim ajanından buldukları ortamı kontrol edecek geri bildirimler almaktadırlar. Ayrıca yönetim ajanıyla bir merkeze bu tüm bilgileri ileterek o merkezde bu bilgileri görselleştirmektedirler. Sistemi sadece ajanların bulunduğu ortamları kontrol etmenin yanı sıra, örneğin binada kimsenin olmadığı durumda hidroforun enerjisini de kesecek ve bunun gibi ekstra enerji yönetim algoritmaları da içerecek biçimde oluşturmuşlardır. Yönetim ajanıyla tüm binadaki enerji tüketimini optimize edebilmektedirler ve elde ettiği tüm bilgileri ki, bunlar; insanların konumları, ısı vb. gibi durumlardır, görselleştirebilmektedirler [36].

Panasetsky ve arkadaşları yaptıkları “Güç Sisteminin Acil Kontrolü İçin Çoklu Ajan Yaklaşımı” isimli çalışmada, güç sistemindeki enerji kesintilerinde ortaya çıkan kararsızlıkları ve buna bağlı riskleri ortadan kaldırmak için çoklu ajan sistemi ile yeni bir sistem tasarlamışlardır. Bu tasarım üç katmanlı hiyerarşik kontrol yapısına sahiptir ve katmanlar, onların karmaşıklığına bağlı olarak farklı karar verme zamanlarına sahiptirler. Çoklu ajanları ise katmanların içlerinde oluşturmuşlardır. Tasarlanan bu acil kontrol sistemiyle enerji iletim hatlarında kesintilerde meydana gelen gerilim kararsızlıklarını başarılı bir şekilde ortadan kaldırmayı başarmışlardır [37].

CN101834755A sayılı Çin Patent başvurusunda akıllı güç dağıtım ünitesi sayesinde birçok ajandan aldığı verileri kontrol eden bir sistemden bahsetmişlerdir. Sistem ajanlardan aldığı verileri kayıt altına alarak, daha sonra oluşabilecek kullanım profilleri için altyapı hazırlanması üzerine kurulmuştur. Buluş sayesinde yük ajanının çeşitli operasyonlarının kontrolünün mümkün olduğundan bahsetmişlerdir [38].

1.6. Tezin Ana Hatları

Çalışma genel olarak, kaynaklar ve ekler dahil edilmediğinde on bölümden oluşmaktadır. Bu bölümlerin kısa özeti aşağıda verilmiştir.

Birinci bölümde; enerjicinin önemi, fosil yakıtlar, iklim değişimi ve yenilenebilir enerji kaynaklarından bahsedilmiştir. Devamında çalışmanın önemi, hedefi, çözüm

yaklaşımı ve literatürdeki diğer çalışmalardan farkı ortaya koyularak, güç yönetimi ve çok ajanlı yapı ile güç yönetimi alanında konuyla ilgili yapılmış ulusal ve uluslar arası çalışmalara yer verilmiştir.

İkinci bölümde; fotovoltaik sistemler ile güç üretiminde kullanılacak devre elemanlarını (fotovoltaik modüller, bataryalar, şarj düzenleyicileri ve bu elemanları birlikte oluşturduğu bataryalı sistemler) tanımlanmış ve matematiksel modeller verilmiştir. Fotovoltaik modüller için verilen matematiksel modelin, gerçek ve benzetim sonuçları da bu bölümde verilmiştir. Ayrıca, çözüm yaklaşımında bahsedilen çok ajanlı sistemlerin yapıları da bu bölümde sunulmuştur.

Üçüncü bölümde; enerji yönetimindeki karar verme sürecinde kullanımı tercih edilen “Bulanık Mantık Karar Vericinin” neden tercih edildiğinden ve geri bildirimsiz bir denetleyici olarak nasıl kullanıldığından bahsedilmiştir. Akabinde örnek bir bulanık mantık karar verme modelinin nasıl işlediği ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde; tüketim birimleri olan basit bir güç sistemi, sırt çantası probleminde faydalanılarak modellenmiştir. Ayrıca bu güç sisteminin, ikinci bölümde verilen matematiksel modeller de kullanılarak Matlab/Simulink programıyla benzetimi oluşturulmuştur. Denetimsiz olarak oluşturulan benzetimin sonuçları incelendikten sonra denetim için kullanılacak bulanık mantık karar vericinin giriş ve çıkış parametreleri için oluşturulan bulanık kümeler ve çıkış değerine bağlı normalleştirme ara birimden bahsedilerek üçgen ve yamuk üyelik kümeli benzetimler için denetim sonuçları irdelenmiştir.

Beşinci bölümde; yük tarafı enerji yönetimi için tasarlanan bulanık mantık karar vericinin, gerçek sistemdeki sonuçlarını elde edebilmek için kurulan fotovoltaik güç üretim platformu ve ölçü düzeneklerinden bahsedilmiştir. Devamında ise, güç yönetimi yapabilmek için geliştirilen yük, kaynak ve haberleşme ajanlarının donanımsal tasarımlarıyla, ajanlar için gerçekleştirilen gömülü aygıt yazılımları sunulmuştur. Ek olarak, ajanlar ile altıncı bölümde anlatılan güç yönetim yazılımı arasındaki iletişim komutlarını geliştirebilmek için oluşturulan geçici test yazılımından ve ona ait yazılım akış diyagramından da bahsedilmiştir. Tüm ajanlar kablosuz olarak RF ile veri iletişimlerini yaparken yaydıkları elektro manyetik sinyallerin insan sağlığına zararı ölçülerek, sonuçları irdelenmektedir. Diğer taraftan, kaynak ve yük ajanı ilettikleri verileri ölçerek elde ettikleri için, bu ölçümlerin hata analizi de bu bölümde ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

Altıncı bölümde; ajanlardan gelen bilgileri tasarlanan bulanık mantık karar verici ile sistemin güç yönetimini gerçekleştirebilmek için oluşturulan Akıllı Güç Yönetimi Yazılımından ve bileşenleri ayrıntılı bir şekilde ifade açıklanmıştır.

Yedinci bölümde; geleneksel yöntemle en kötü senaryoyu dikkate alarak kurulum hesapları yapılan beşinci bölümde bahsedilen test platformunun üzerinde ajanlar ve Akıllı Güç Yönetimi Yazılımıyla gerçekleştirilen, normal yüklü bir günlük ve aşırı yüklü bir buçuk günlük deneylerin sonuçları sunulmuştur.

Sekizinci bölümde; enerji yönetimi yazılımından umulan tepkilerle bir önceki bölümde elde edilen bulgular değerlendirilerek elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

Dokuzuncu bölümde; bu çalışma ile elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur.

Son bölümde ise; elde edilen sonuçlar ile bu sonuçların iyileştirilmesine ve gelecekte yapılacak yeni çalışmalara yönelik öneriler sunulmuştur.

2. FOTOVOLTAİK SİSTEM İLE GÜÇ ÜRETİMİ

2.1. Giriş

Fransız fizikçi Alexandre-Edmond Becquerel, elektrik akımının ışığın kimyasal reaksiyonuyla oluşabileceğini fark etti ve 1839 yılında bir makale yayınladı [39]. Bu makaleye dayanılarak “fotovoltaik etkiyi” keşfettiği kendisine izafe edilir. Sonrasında birçok bilim insanının katkıları ile bugünkü haline gelen fotovoltaik hücreler ‘p’ (pozitif) ve ‘n’ (negatif) tip olarak bilinen birbirine benzemeyen yarıiletken materyallerin iki ince katmanları arasındaki birleşim yüzeyinden (jonksiyon) oluşmaktadır. Bu yarıiletkenler genellikle silikondan yapılırlar.

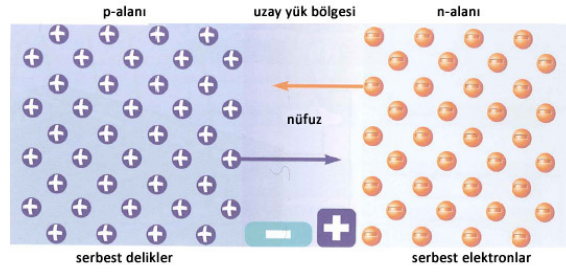
Fotovoltaik (FV) enerji üretimi hareketli parça içermediğinden ve işletme-bakım masraflarının düşüklüğünden dolayı büyük önem arz etmektedir. Fotovoltaik sistemlerin işletimi sessizdir ve oluşturulması herhangi bir atmosferik kirliliğe neden olmaz. Fotovoltaik sistemler modülerdir ve kolaylıkla kurulabilir. Güç her istenilen yerde kablo ile taşımaya gerek kalmaksızın üretilmeye müsaittir.

Fotovoltaik sistemlerin tasarımı belirli bir alandaki güneş ışınımı dikkatli bir şekilde incelenmesine bağlıdır. Dünyanın birçok yerindeki güneş ışınımı bilgileri kayıt altında olmasına rağmen, fotovoltaik sistemlerin kurulacağı yerin verimli bir şekilde kesin olarak güneş ışınımı analizleri yapılmalıdır [40].

2.2. Fotovoltaik Modüller

Işık foton adı verilen enerji parçacıklarından meydana gelmiştir. Fotonlar uygun bir dalga boyu ile P-N birleşimine çarptıkları zaman sahip oldukları enerji, madde içerisindeki elektronlara aktarabilirler, buda elektronları bir üst enerji seviyesine ulaştırır. Normalde bu elektronlar valans bağı ile maddeyi bir arada da tutmaya yardımcı olurlar. Buna ek olarak elektronlar hareket ettiğinde arkalarında madde içerisinde bir boşluk bırakır.

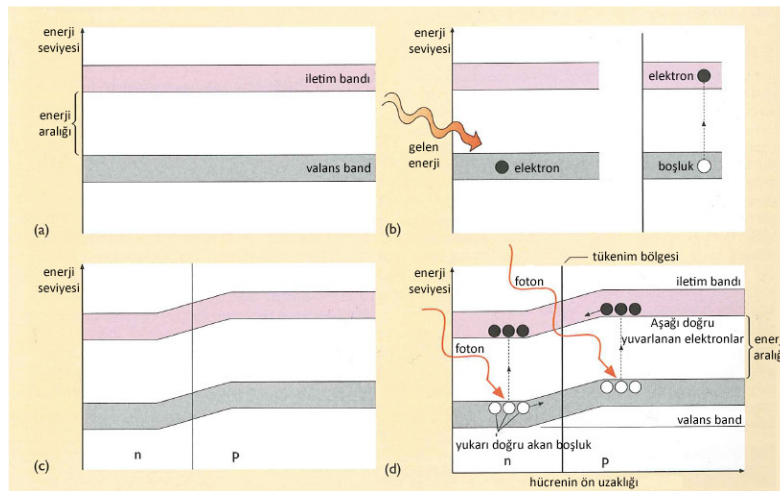
P-N birleşimi oluşturulduğunda birleşim noktasına komşu elektronların bazıları N tarafından P tarafına yakın olan deliklerle birleşmeleri için çekilirler. Benzer bir şekilde de P tarafında birleşim noktasında yakın olan delikler N tarafına yakın olan elektronlarla birleşmeleri için çekilirler.



Şekil 2.1. Elektron ve deliklerin p-n birleşimi üzerinden nüfuzunda uzay yük bölgesi [41].

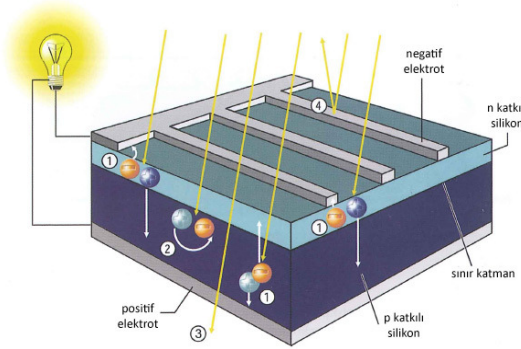
Bu bölge Şekil 2.1'de görülebileceği gibi uzay yük bölgesi olarak adlandırılır. Geçişin N tarafına biriken atomlar pozitif bir şekilde ve geçişin P tarafındaki atomlar ise negatif bir şekilde yüklenmiş olurlar. Bir elektrik alanı yük akışına zıt yönde oluşur, bunun sonucu olarak difüzyon belli bir süre sonra son bulur.

Bu süreç madde içerisindeki enerji seviyeleri açısından on görülebilir. Gelen fotonlar tarafından uyarılan elektronlar, aşağıya doğru yuvarlanarak iletim bandına, benzer şekilde N bölgesindeki boşluklar yukarıya doğru akarak P bölgesine, birleşimdeki elektrik alanının etkisi altında geçerler. N bölgesindeki elektron akımı elektrik akımı olarak tanımlanır. Eğer akımın akabileceği harici bir devre bulunursa hareket eden elektronlar, yarıiletken bir metal bağlantı yoluyla dışarı akacaktır. Bu esnada delikler iletken metalik bağlantı ile ters yönde madde içerisinde yarıiletken hücrenin altına doğru harici devrenin diğer yarısından gelen elektronlarla birleşmek üzere akırlar.



Şekil 2.2. Farklı anlardaki enerji bantları [2].

Güç elde edebilmek için fotovoltaik hücre elektronların akabileceği kadar gerilim oluşturmalıdır. Aslında, bu gerilim P-N birleşim alanı içerisindeki dâhili elektrik alanı tarafından oluşturulur. Görebiliriz ki, basit bir kristal silikon fotovoltaik hücre tipik bir şekilde 0,5 V değerinde gerilim ve 3 A değerinde bir akım oluşturur. Bu da 1,5 W'lık maksimum bir güce denk gelmektedir (Bazı fotovoltaik hücrelerin üretim veya dizaynına bakıldığında bu güçten daha fazla veya daha az güç üretebilirler).

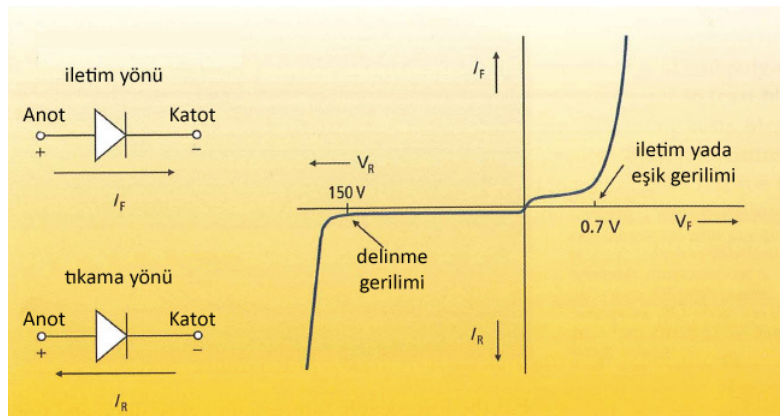


1. Yük ayrımı
2. Yeniden birleştirme
3. Kullanılmayan foton enerjisi
4. Ön elektrottan dolayı yansıyan ve gölgelenen

Şekil 2.3. Kristal silikon güneş panelinin dizaynı ve işlevi

2.2.1. Fotovoltaik Modüllerin Elektriksel Özellikleri

Prensipde, P ve N katkılı silikon malzemesi içeren bir güneş paneli büyük ölçekli bir silikon diyottur. Her iki malzemede benzer elektriksel özelliklere sahiptirler. Örnek olarak; BAY 45 silikon diyotunun karakteristik eğrileri Şekil 2.4'te görülebilir.



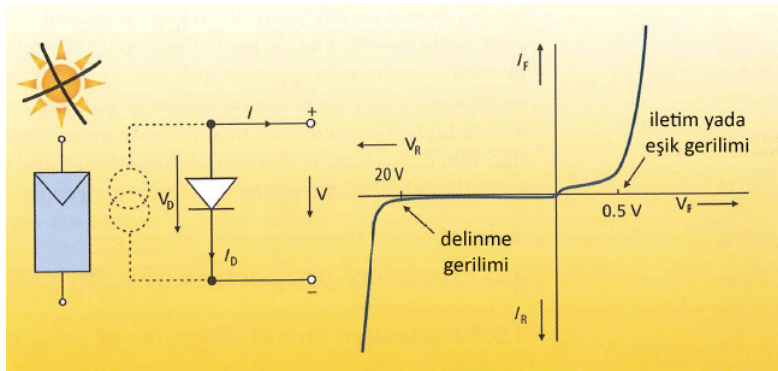
Şekil 2.4. BAY 45 silikon diyot için akım gerilim eğrileri [42].

Eğer P katkılı anoda pozitif bir gerilim ve negatif bir gerilimde N katkılı katoda uygulanırsa diyot iletim yönünde bağlanmış olur. Bu durumda güneş panelini birinci bölgedeki karakteristik eğrisinin uygulamasıdır. Belirli bir başlangıç gerilimi ile akım akmağa başlar. Eğer diyot tıkama yönünde bağlanırsa akımın bu yöndeki akışı engellenmiş olur. Bu durumda güneş panelini üçüncü bölgedeki karakteristik eğrisinin uygulamasıdır. Bu yönde diyot sadece yüksek bir eşik geriliminde iletme geçer (150V gibi). Bu durumda diyotun delinme yani imha olma durumudur.

$$V = V_D \quad (2.2)$$

$$I = -I_D = -I_0 \left(e^{\frac{V}{VT}} - 1 \right) \quad (2.3)$$

Güneş panellerinin eşdeğer devre modellerine geçmeden önce karanlıkta ve aydınlıktaki karakteristik davranışını incelemek gereklidir. Aydınlatılmamış bir güneş paneli benzer devre içerisinde bir diyot karakteristiği gibi davranır. Dolayısıyla diyotla sembolize edilir. Mono kristal bir güneş paneli için iletim gerilimi yaklaşık olarak 0.5V ve kırılma gerilimi 12V ile 50V arasında farz edilir [41]. Panelin karanlıktaki davranışı Şekil 2.5’de görülebilir. Bu karakteristik durum bağıntı (2.2) ve (2.3)’deki gibi ifade edilebilir.



Şekil 2.5. Karanlıktaki eşdeğer devre diyagramı ve karakteristik eğriler [42].

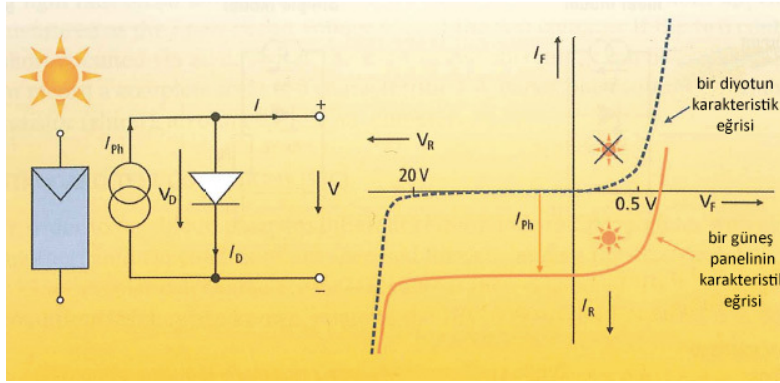
Işık güneş paneline çarptığı zaman fotonların enerjisi serbest yük taşıyıcılarını oluşturur. Aydınlatılmış bir güneş paneli, eşdeğer devrede birbirine paralel güç kaynağı ve bir diyot ile temsil edilir.

Güç kaynağı fotoelektrik akımını (I_{Ph}) teşkil eder. Bu akımın seviyesi ışımaya bağlıdır. Diyot karakteristik eğrisi tıkama yönündeki fotoakımın büyüklüğü ile değişir.

$$V = V_D \quad (2.4)$$

$$I_{Ph} = c_0 E \quad (2.5)$$

$$I = I_{Ph} - I_D \quad (2.6)$$



Şekil 2.6. Aydınlatılmış eşdeğer devre diyagramı ve karakteristik eğrileri

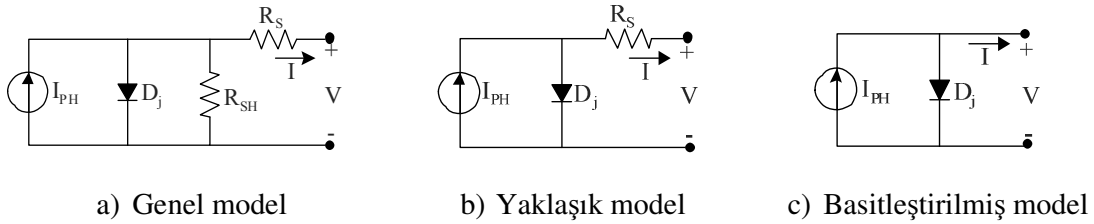
Panelin aydınlıktaki karakteristiği ise Şekil 2.6'de görülebildiği gibidir. Bu karakteristik durumu ifade eden tanımlardan bazıları ise bağıntı (2.4), (2.5) ve (2.6)'da görülebilir.

2.2.2. Fotovoltaik Modüllerin Eşdeğer Devre Modelleri

FV modüller temel güç dönüşümü ünitesi olan FV generatör sistemlerini temsil etmektedir. FV modüllerin çıkış karakteristikleri güneş ışınımı, hücre sıcaklığı ve FV modülün çıkış gerilimine bağlıdır. FV modüller doğrusal olmayan bir karakteristiğe sahip olduklarından dolayı, FV sistem uygulamalarında maksimum güç noktasının izleniminin (MPPT) benzetimi için bir model tasarlamak gerekmektedir. Neredeyse iyi geliştirilmiş bütün FV modeller de çıkış karakteristiği başlıca güneş ışınımı, hücre sıcaklığı ve yük geriliminden etkilenmektedir.

Basitçe, güneş hücreleri bir p-n bağlantısının yarı iletken silikon bir tabaka olarak üretilmesidir. Güneş enerjisinin elektromanyetik ışınımı fotovoltaik etki ile direk olarak elektriğe dönüştürülebilir. Güneş ışığına maruz kaldıklarında yarı iletkenin enerji kuşağından daha büyük enerjiye sahip olan fotonlar ışınım ile orantılı olarak elektron boşlukları oluştururlar. FV sistemleri doğal olarak doğrusal olmayan bir I-V ve P-V karakteristiği sergiler [43].

FV pillerinin I-V çıkış karakteristiği, eşdeğer devre modelinin MPPT teknolojisinde kullanıldığı gibi on yıllardır matematiksel olarak tanımlanmıştır. Genelleştirilmiş modellerin eşdeğer devresi fotoakımı, bir diyot, sızıntı akımını karşılamak üzere paralel bir direnç ve iç direnci temsil etmek için bir seri dirençten oluşur. Bu eşdeğer devre modeli Şekil 2.7a'da görülmektedir [44-46].



Şekil 2.7. FV hücrelerin eşdeğer devre modelleri [41,43].

Güneş pillerinin akım gerilim karakteristiği bağıntı (2.7)'de sunulmuştur.

$$I = I_{ph} - I_s \left[\exp \left(\frac{q(V+IR_s)}{kT_c A} \right) - 1 \right] - \frac{V+IR_s}{R_{sh}} \quad (2.7)$$

Burada; daha önce tanımlandığı gibi I_{ph} ışıkla üretilmiş akım veya fotoakımı, I_s hücre doygunluğunun karanlık akımı, $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C elektron yükü, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K Boltzmann sabiti, T_c pillin çalışma sıcaklığı, A ideallik faktörü, R_{sh} şönt direnç ve R_s seri dirençtir. Fotoakımı başlıca güneş ışınımına ve hücre sıcaklığına bağlı olarak bağıntı (2.8)'deki gibi ifade edilebilir.

$$I_{ph} = [I_{sc} + K_I(T_c - T_{ref})]\lambda \quad (2.8)$$

Burada; I_{sc} 25C° derecede ve 1 kW/m²'deki kısa devre akımı, K_I hücrenin kısa devre akımının sıcaklık katsayısı, T_{ref} hücrenin referans sıcaklığı ve λ , 1 kW/m²'deki güneş

ışınımdır. Diğer bir taraftan hücrenin doyum akımı sıcaklıkla değişmektedir ve bağıntı (2.9) verildiği gibidir.

$$I_s = I_{RS}(T_c/T_{Ref})^3 \exp \left[\frac{qE_G \left(\frac{1}{T_{Ref}} - \frac{1}{T_c} \right)}{kA} \right] \quad (2.9)$$

Burada; I_{RS} hücrenin referans sıcaklıkta ve solar ışıınımdaki ters doyum akımı, E_G hücrede kullanılan yarı iletkenin enerji kuşağı açıklığıdır. A ise FV teknolojisine bağlıdır değerleri Tablo 2.1’de verilmektedir.

Tablo 2.1. FV teknolojiye bağlı A faktörü [43].

Teknoloji	A
Si-mono	1,2
Si-poly	1,3
a-Si:H	1,8
a-Si:H tandem	3,3
a-Si:H triple	5
CdTe	1,5
CIS	1,5
AsGa	1,3

Şönt direnç R_{sh} toprağa akan şönt sızıntı akımı ile ters orantılıdır. Genel olarak FV verimi R_{sh} direncinin değişiminden etkilenmez ve şönt sızıntı direncinin toprağa akan sızıntı akımı olmaksızın sonsuza yaklaştığı varsayılabilir. Diğer taraftan R_s ’deki ufak değişiklikler bile FV çıkış gücünü büyük oranda etkilemektedir. Mevcut karmaşıklıktaki uygun FV güneş hücresi modeli Şekil 2.7b’de görülmektedir. Dolayısı ile bağıntı (2.7) ve (2.10)’da ki gibi yeniden yazılabilir.

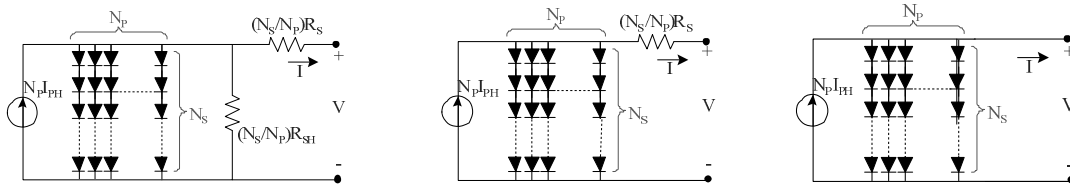
$$I = I_{ph} - I_s \left[\exp \left(\frac{q(V+IR_s)}{kT_c A} \right) - 1 \right] \quad (2.10)$$

Basitleştirilmiş yani ideal bir FV hücrede, seri direnç kayıpları ve toprağa akan sızıntı akımı bulunmaz bu durumda $R_s=0$ ve $R_{sh}=\infty$. Bu durum dikkate alındığında FV

güneş hücrelerinin Şekil 2.7b'deki eşdeğer devre daha da basitleştirilerek Şekil 2.7c'de verilen eşdeğer devre elde edilir [40, 44, 47]. Bağntı (2.7), bu kez basitleştirilmiş FV hücre dikkate alınarak tekrar yazıldığında bağntı (2.11) elde edilir.

$$I = I_{ph} - I_s \left[\exp\left(\frac{qV}{kT_C A}\right) - 1 \right] \quad (2.11)$$

Tipik bir FV hücresi yaklaşık olarak 2W, 0.5 V olarak üretildiğinden, yeterli miktarda yüksek güç elde etmek için hücreler seri veya paralel bağlanarak modüller oluşturulmalıdır. Bir FV dizisi yeterli miktarda akım ve gerilim elde etmek için FV modüllerin seri veya paralel olarak bağlanması ile oluşturulur. Şekil 2.8a'da paralel (N_p) ve seri (N_s) olarak düzenlenmiş FV modüllerin eşdeğer devresi görülmektedir.



a) Genel model

b) Genelleştirilmiş model

c) Yaklaşık model

Şekil 2.8. Genelleştirilmiş FV modellerin eşdeğer devreleri [48-51].

Dizinin akım ve gerilimi bağntı (2.12)'deki gibi elde edilir [48-51];

$$I = N_p I_{ph} - N_p I_s \left[\exp\left(\frac{q\left(\frac{V}{N_s} + \frac{I R_s}{N_p}\right)}{kT_C A}\right) - 1 \right] - (N_p V / N_s + I R_s) / R_{sh} \quad (2.12)$$

FV veriminin R_s 'deki ufak değişikliklere çok duyarlı olduğu fakat R_{sh} 'daki değişimlerden etkilenmediği bilinen bir gerçektir. FV modülü ya da dizisi için seri dirençler oldukça önemli olmakta ve şönt dirençler açık devre varsayılacak kadar sonsuza ulaşmaktadır. Birçok ticari FV üretiminde, istenilen çalışma gerilimini elde etmek için FV hücreler seri bağlanarak FV modüller oluşturulur. Daha sonra FV modüller seri veya paralel bağlanarak istenilen güç çıkışı elde edilir. FV hücrelerin, modüllerin ya da dizilerin genelleştirilmiş eşdeğer devresi Şekil 2.8b'de görülmektedir. Görülmektedir ki bir FV

hücrede $N_p=1$, $N_s=1$ ve N_p , N_s FV dizisindeki seri-paralel hücre sayısıdır. Genelleştirilmiş modelin matematiksel denklemi şu şekildedir;

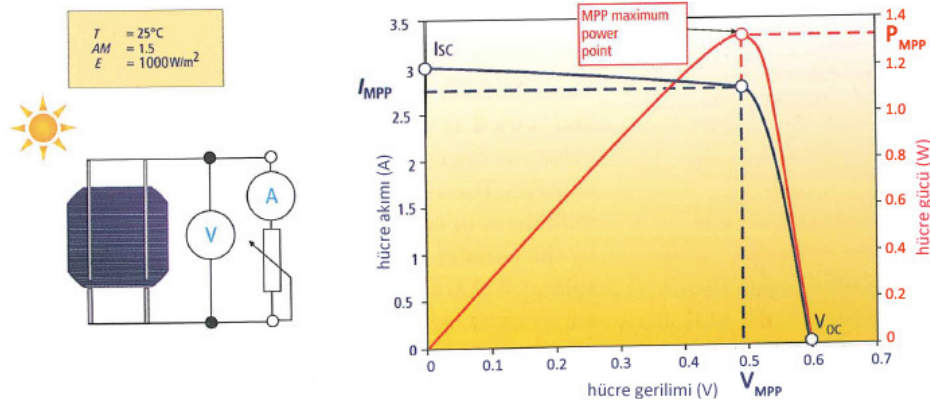
$$I = N_p I_{ph} - N_p I_s \left[\exp \left(\frac{q \left(\frac{V}{N_s} + \frac{I R_s}{N_p} \right)}{k T_C A} \right) - 1 \right] \quad (2.13)$$

Genelleştirilmiş FV modülün en basit model ise [47, 52] Şekil 2.8c’de görülebildiği gibidir. Bu eşdeğer devre bağıntı (2.14)’de belirtildiği gibi matematiksel olarak tanımlanabilir.

$$I = N_p I_{ph} - N_p I_s \left[\exp \left(\frac{qV}{N_s k T_C A} \right) - 1 \right] \quad (2.14)$$

2.2.3. Fotovoltaik Modüllerin I-V Karakteristiği

Eğer yük direnci sıfır ile sonsuz arasında değiştirilirse, Şekil 2.9’da görülebildiği gibi akım (I) ve gerilim (V) arasındaki değişim elde edilir. Bu değişim grafiği “I-V eğrisi” veya “I-V karakteristiği” olarak bilinir. Güç çıkışı (gerilim ve akımın çarpımı ile elde edilir) V_{oc} noktasında sıfırdır (çünkü $I=0$ ’dır) ve I_{sc} noktasında da sıfırdır (çünkü $V=0$ ’dır). Bu noktaların arasında ise güç, artar ve daha sonra azalır. Bundan dolayı hücrenin maksimum güç veren bir noktası vardır. I-V eğrisi üzerindeki bu nokta maksimum güç noktası (MPP) olarak isimlendirilir [2].



Şekil 2.9. Kristal silikon güneş hücresi için I-V karakteristik eğrisi [42].

Eğer ışık yüksüz bir güneş hücresine düşerse, 0.6 voltluk bir gerilim oluşur. Bu iki bağlantı ile açık devre gerilimi (V_{oc}) olarak ölçülebilir. Eğer bu iki bağlantı bir ampermetre ile kısa devre edilirse kısa devre akımı olan I_{sc} hesaplanabilir. Bir güneş hücresinin I-V karakteristik eğrisini tamamen elde bilmek için bir değişken direnç, bir voltmetre ve bir ampermetreye ihtiyaç duyulur.

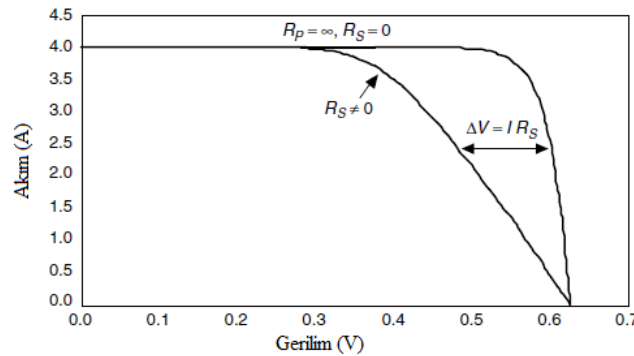
2.2.4. Model Parametrelerinin Belirlenmesi

Bütün model parametreleri FV ürünlerinin üretici şartnamesinin testi ile bulunabilir. En sık kullanılan ve en önemli parametreler hücrenin elektriksel karakteristiğini belirten açık devre gerilimi (V_{oc}) ve kısa devre akımıdır (I_{sc}). Söz konusu denklemler üstü kapalı ve doğrusal değildir, bundan dolayı belirli sıcaklık ve ışınımda model parametrelerinin çözümüne ulaşmak oldukça zordur. Normalde $I_{ph} \gg I_s$ olduğundan dolayı küçük diyot akımı ve sıfır uç geriliminde toprak sızıntı akımı ihmal edilir. Böylelikle kısa devre akımı yaklaşık olarak fotoakıma (I_{ph}) eşit olmaktadır.

$$I_{ph} = I_{sc} \quad (2.15)$$

Diğer taraftan V_{oc} parametresi açık devre akımının sıfır olduğu varsayılarak bulunur. Referans sıcaklıkta verilen açık devre gerilimi ve şönt sızıntı akımlarının ihmal ile referans sıcaklıktaki ters doyum akımı yaklaşık olarak bağıntı (2.16) ile bulunabilir.

$$I_{RS} = I_{sc} \left[\exp\left(\frac{qV_{oc}}{kT_C A N_S}\right) - 1 \right] \quad (2.16)$$



Şekil 2.10. FV eşdeğer devresine seri direnç eklendiğindeki sonuç [53].

Genelleştirilmiş FV modeli oluştururken belirlenmesi gereken diğer parametre ise R_s 'dir. Bağlantı (2.10)'daki R_s 'nin etkisi, Şekil 2.10'da görülebildiği gibi, verilmiş herhangi bir akım değerinde $\Delta V = IR_s$ kadar sola kaydırılmış gerilim ile ideal FV I-V eğrisi olarak yorumlanabilir.

Bir FV hücre için seri direnç sebebi ile kayıplar %1'den daha az olduğundan, R_s yaklaşık bağlantı (2.17)'e göre hesap edilebilir [53].

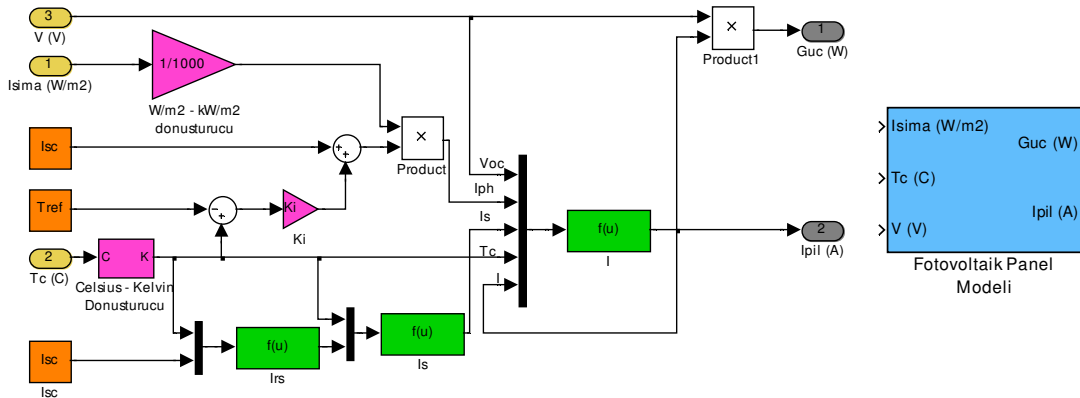
$$R_s < \frac{0,01 \cdot V_{oc}}{I_{sc}} \quad (2.17)$$

$$P_{max} = V_{max} I_{max} = \gamma V_{oc} I_{sc} \quad (2.18)$$

Maksimum güç ise bağlantı (2.18)'deki gibi ifade edilebilir. Burada V_{max} ve I_{max} , FV modülün maksimum güç noktasındaki terminal gerilimi ve çıkış akımı ve γ hücrenin kalite ölçütü olan hücre doluluk faktörüdür.

2.2.5. Genelleştirilmiş Fotovoltaik Modelin Simulink Benzetimi

Bağlantı (2.8), (2.9), (2.14) ve (2.16) kullanılarak gerilime, ışımaya ve panel sıcaklığına bağlı dinamik modelleme Şekil 2.11'deki gibi Matlab/Simulink programı kullanılarak oluşturulabilir [54,55].



Şekil 2.11. Genelleştirilmiş fotovoltaik panel modeli [53,54].

Bu yapının kullanıcılar tarafından rahatlıkla kullanılabilmesi için Simulink'in maskeleyme özelliği kullanılarak Şekil 2.12'de görülen veri giriş ara yüzü oluşturulmuştur. Bu ara yüz yardımı ile açık devre gerilimi, kısa devre akımı, kısa devre akımı sıcaklık katsayısı, seri ve paralel hücre sayısı, elektron yükü, boltzman sabiti, yarı iletken enerji aralığı (E_G), referans sıcaklığı, seri direnç parametreleri rahatlıkla sisteme girilebilmekte ve değiştirilebilmektedir [55].

Şekil 2.12'de görülebilen parametre ara yüz tasarımındaki veriler Lorentz marka 24 Volt'luk monokristal bir panelin veri sayfasından alınmıştır. Bu paneli ile ilgili tüm bilgiler Ek-1'de görülebilir [56]. Bu panel bu tezin çalışmalarını yürütebilmek için oluşturulan enerjisini bağımsız sağlayan sistemde enerji kaynağı olarak hali hazırda kullanılmaktadır. Bununla birlikte panelin üretim ve panel sıcaklık verileri de bir adet veri kaydedici ile sürekli olarak 1 dakikalık aralıklar ile kayıt altına alınmaktadır.

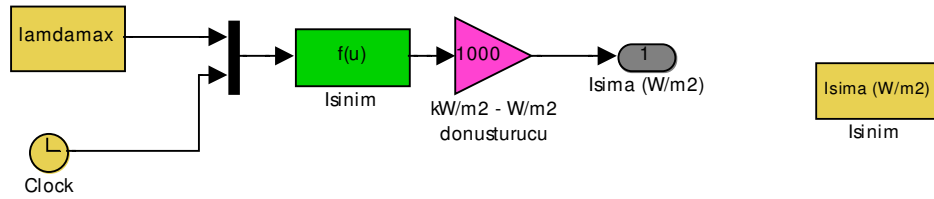
Tasarlanmış olan bu genelleştirilmiş fotovoltaik panel modeli bahsedilen esnek özelliği sayesinde her türlü panel çeşidi için kullanılabilir.

Şekil 2.12. Fotovoltaik panel modeli için parametre girişi ara yüzü

Bu model sabit ışınma değeri ile test edilebileceği gibi; bağıntı (2.19)'da verilen gauss fonksiyonu ki günlük ışınma eğrisine benzemektedir, kullanılarak da test edilebilir.

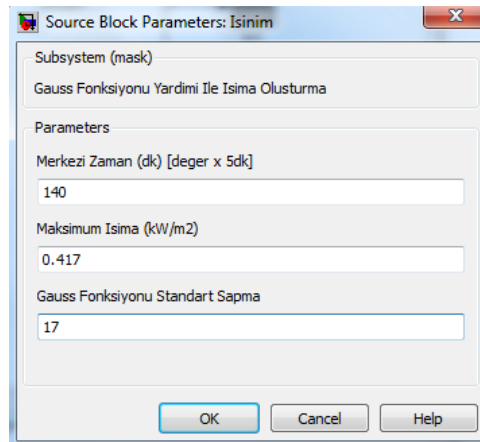
$$\lambda(t) = \lambda_{\max} \cdot \exp[-(t - t_c)^2/2\sigma^2] \quad (2.19)$$

Bağıntı (2.19)'un Simulink benzetimi ise Şekil 2.13'teki gibi tasarlanabilir [53,54].

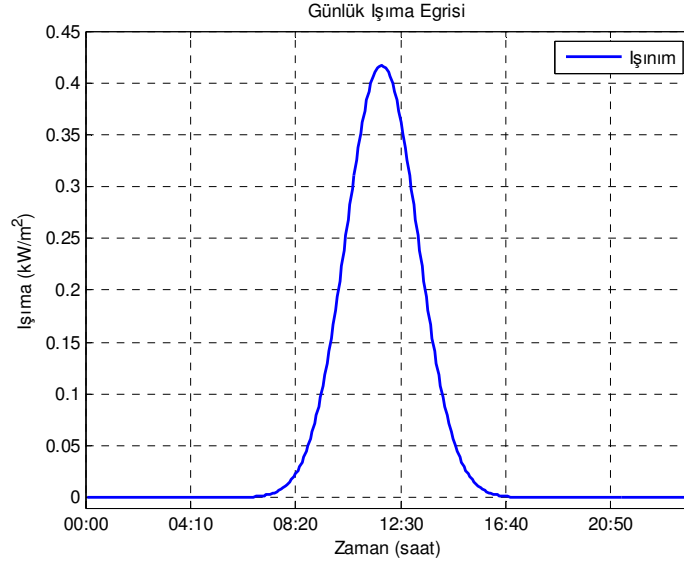


Şekil 2.13. Gauss fonksiyonu ile oluşturulmuş günlük ışınma [53,54].

Şekil 2.13'te verilen Simulink tasarımı koşturulduğunda veri üretebilmesi için, lamdamax, t_c (oluşturulacak Gauss fonksiyonunun merkez değeri) ve standart sapma parametrelerine ihtiyaç duyar. Bu parametrelerin tanımlanabilmesi için Şekil 2.13'te görülen ışınım bloğuna Simulink'in maskeleme fonksiyonu kullanılarak Şekil 2.14'teki ara yüz tasarımı yapılmıştır. Bu ara yüz sayesinde oluşturulmak istenen ışınım parametreleri kolaylıkla değiştirilebilerek farklı ışınma eğrileri elde edilebilir.



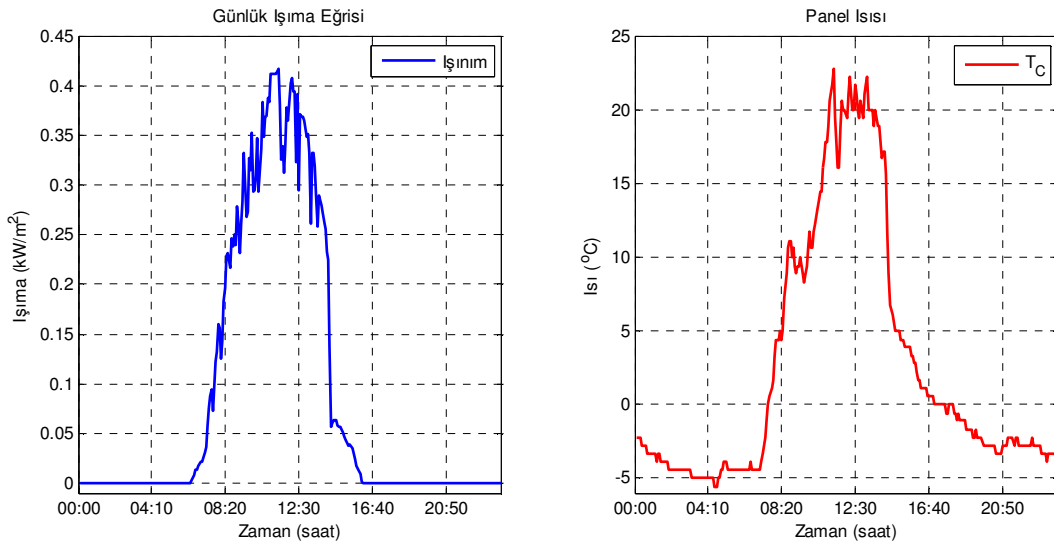
Şekil 2.14. Gauss fonksiyonu için parametre giriş ara yüzü



Şekil 2.15. Temsili günlük ışıma için oluşturulan gauss fonksiyonu

Şekil 2.14'teki ara yüz vasıtası ile girilen parametreler ile Şekil 2.13'teki Simulink tasarımı koşturulduğunda elde edilecek ışıma verileri Şekil 2.15'te görülebildiği gibidir.

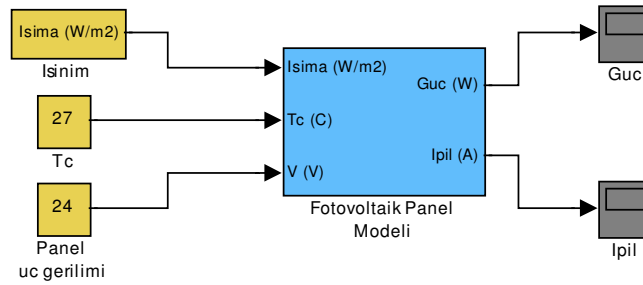
Diğer taraftan, modellenen FV panelin, Şekil 2.16'da görülebilen ölçülmüş gerçek veriler ile testi yapılabilir. Kısım 5.1'de ayrıntısı verilen ölçüm düzeneği ile elde edilen bu veriler Ek-3'te verilmiştir.



Şekil 2.16. Bir gün boyunca ölçülmüş ışıma ve panel ısısının zamana göre değişimi
Gümüşhane – Türkiye (09/12/2012, +40° 26' 11.19" K, +39° 30' 47.87" D)

2.2.6. Genelleştirilmiş Fotovoltaik Modelin Benzetim Sonuçları

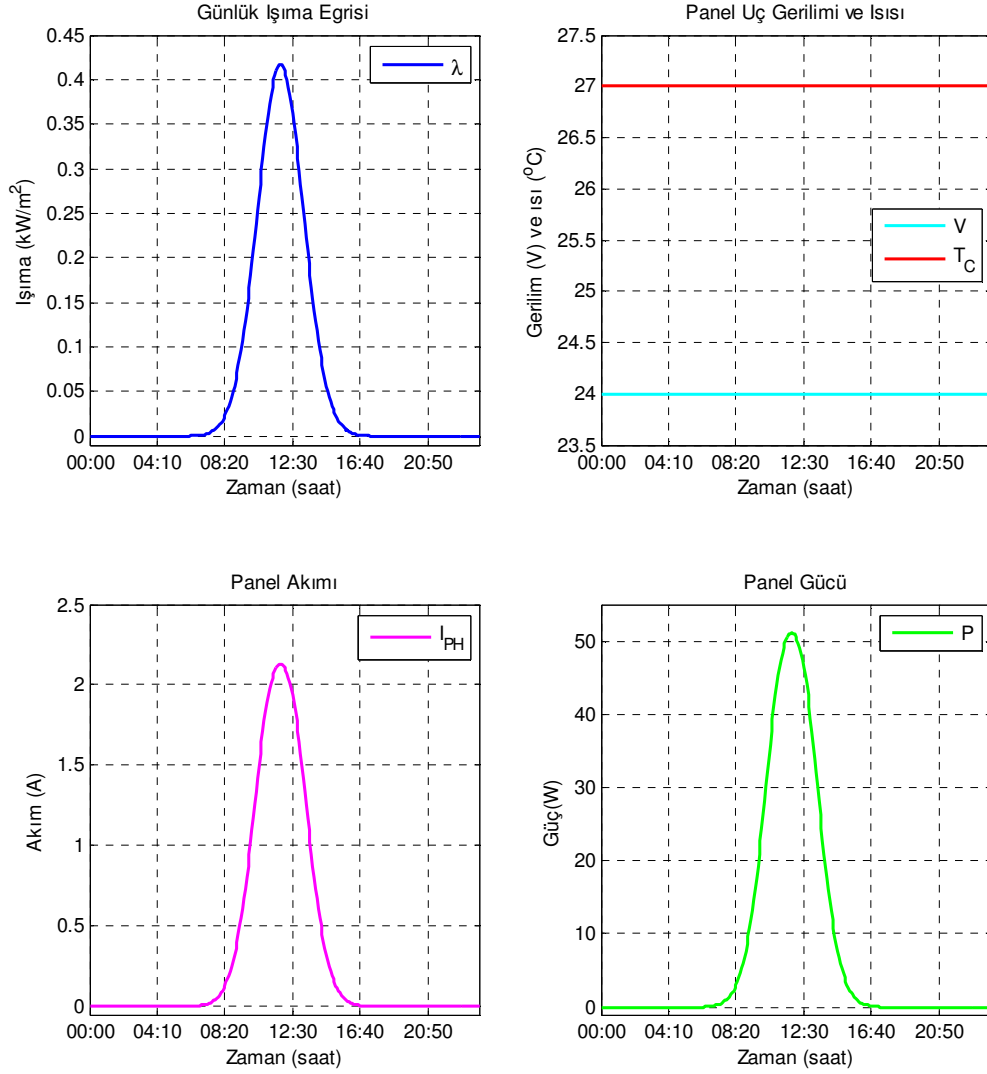
Sabit panel ısısı (T_c) ve uç gerilimi (V) ile Şekil 2.15'te verilen ışıma (λ) verileri giriş parametreleri olarak tanımlanarak, Şekil 2.11'de tasarımı sunulan genelleştirilmiş fotovoltaik modülün Matlab/Simulink blok yapısıyla Şekil 2.17'deki gibi bağlandığında benzetim test edilebilir [53,54].



Şekil 2.17. Genelleştirilmiş fotovoltaik modülün Simulink diyagramı

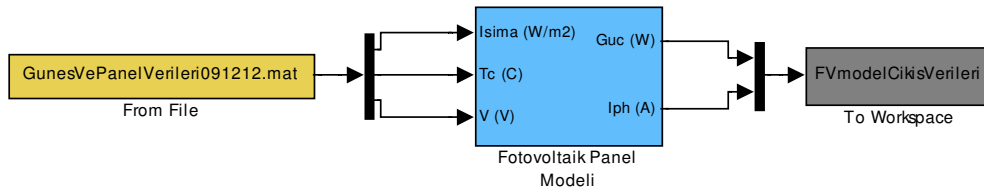
Şekil 2.18'de bahsedilen T_c , V ve λ giriş parametrelerinin değişimleri görülebilmektedir. Bu giriş verilerine karşın modelimizin çıkış verilerinin değişimi ise yine aynı şekilde I_{PH} ve P olarak görülebilmektedir. $27\text{ }^\circ\text{C}$ 'lik sabit ısı ve 24 V 'luk sabit uç gerilimi ile en yüksek 400 W/m^2 'lik ışıma değerlerine karşılık modellenen panel en yüksek 2 A 'lık akım ve buna karşılık en yüksek değeri 50 W olan anlık güç üretmiştir.

Geliştirilen bu model bir kısmı Şekil 2.16'da görülen ve Ek-2'de sunulan ölçülmüş veriler ile de test edilmiştir. Bunlardan panel ısısı ve gün ışıma verilerinin nasıl elde edildiği konusunda bilgi verilmişti. Ancak panelin uç gerilimi ile testin sonucunu karşılaştırmak için panelin bu verilere karşı ürettiği akım değeri de yine Gümüşhane Meslek Yüksekokulunda kurulan, Bölüm 5'te ayrıntılı anlatılan, enerjisini yenilenebilir kaynaktan (Güneş) sağlayan bağımsız güç kaynaklı model sisteminden elde edilmiştir. İhtiyaç duyulan verileri takip etmek için geliştirilmiş ölçü düzenekleri Kısım 5.2'de anlatılan akım, gerilim algılayıcıları ve algılayıcıların ürettiği verileri önceden tanımlanmış aralıklar ile kayıt altına alabilen veri kaydedici cihazını bünyesinde barındıran bu sistemde elde edilen veriler Ek-2 ve Ek-3'te görülebilir. Bu verilerin bir dosyaya kayıt edilerek Şekil 2.11'de verilen genelleştirilmiş fotovoltaik panele uygulanması sağlayacak Simulink tasarımı Şekil 2.19'da görülebildiği gibidir.

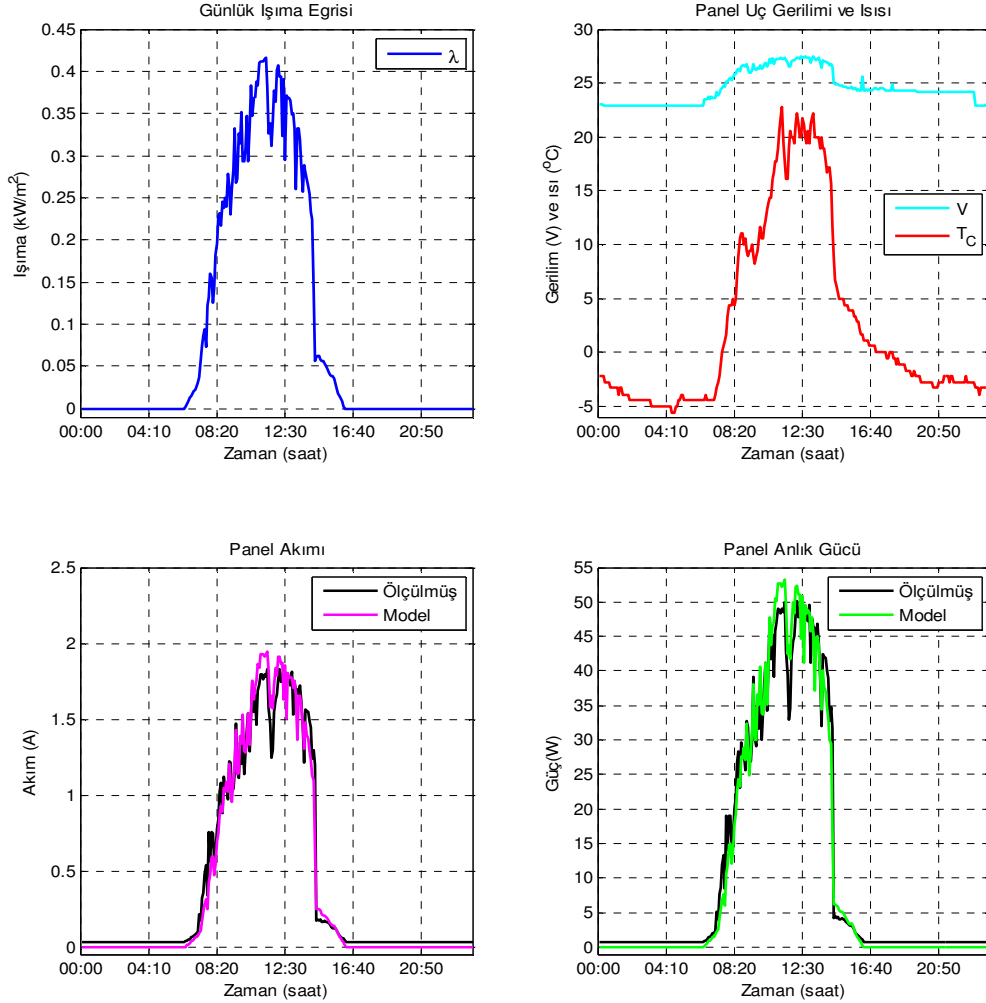


Şekil 2.18. Genelleştirilmiş FV panelin giriş ve çıkış verileri

Panel ısısı (T_c), panel uç gerilimi (V) ve yatay olarak ölçülen günlük ışıma (λ) gibi ölçülmüş giriş parametrelerinin değişimleri Şekil 2.20’de görülebilmektedir. Ayrıca modellenmiş FV panelin teknik özellikleri Ek-1’de sunulmuştur.



Şekil 2.19. Genelleştirilmiş FV panelin gerçek verilerle test için Simulink diyagramı



Şekil 2.20. FV panelin ölçülmüş giriş ve çıkış verileri ile modelleme sonuçları

Genelleştirilmiş FV panel modelinin ürettiği çıkış akımını (I_{PH}) ile anlık güç üretimi (P) Şekil 2.20’de görülebildiği gibidir. Geliştirilen modelin çıkışları büyük oranda ölçülmüş çıkışlarını karşılamakta veya yakın değer olarak yaklaşmaktadır. FV panelin anlık güç çıkış değerlerinin modelin çıkış değerleri ile arasındaki küçük farklılıklar güç denkleminin panelin ürettiği akıma bağlı olmasındandır. Çıkış akımındaki küçük farklılıklar ise, R_s direnci, A ideal faktörün gibi bazı parametrelerin iyi belirlenememesine bağlanabilir. Yine de model büyük ölçüde gerçeği temsil edebilmiştir.

2.3. Bataryalar

Enerji depolama üretimin ve tüketimin aynı anda olmadığı birçok bağımsız sistemler

için gereklidir. Güneş gücü gün içerisinde üretilirken genellikle kullanım gün içerisinde olmayabilmektedir, buda geçici depolamayı gerekli kılmaktadır. Uzun periyotlu bulutlu havalar da ihtiyaç karşılanmalıdır. Birçok bağımsız sistem bataryalara sahiptir, su pompalama sistemleri istisna alınabilir çünkü yeterince güneş ışığı alan arazi için su pompalanmalıdır.

Bağımsız güneş sistemlerindeki en yaygın batarya türü yeniden şarj edilebilir kurşun-asit bataryalardır. Bunlar taşınabilirlik, küçük akım değişimlerine karşı yüksek verimlilikler ve fiyat avantajı sağlarlar. FV sistemlerde, birkaç sistemin MWh'ler seviyesinde uygulanmasına rağmen yüklerin kapasiteleri genellikle 0,1 kWh ile 100 kWh arasındadır. Diğer mevcut geleneksel yeniden şarj edilebilir batarya türleri; nikel-kalsiyum, nikel metal hidrat ve lityum iyon bataryalarıdır. Bunlar genellikle radyo, saat ve laptoplar gibi küçük uygulamalarda kullanılırlar.

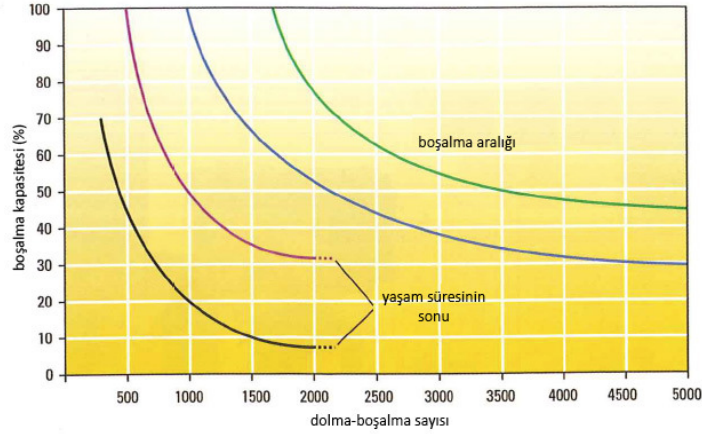
2.3.1. Kurşun-Asit Bataryalar

Kurşun-asit bataryalar her biri nominal 2V değerince birçok bireysel hücre içerir. Bir blok kurulacağı zaman, hücreler bir yeri seri bağlı bir şekilde paylaşırlar. Geniş batarya bankalarında sayı ve genişlikten dolayı ayrı bireysel hücreler kullanılır. Bunlar daha sonra kurulumda birbirlerine bağlanırlar. Bu durumda, hücreleri seri veya paralel bağlama durumlarında farklı sistem gerilimi ve kapasitansı elde edilebilir.

Bir batarya hücresi farklı polariteli, birleştirilmiş iki plaka içerisindeki seyreltilmiş sülfürik asitten yapılmış elektrotlarla doldurulmuş bir kaptır. Katmanlar elektrot gibi çalışmakta ve aktif madde ile ızgara şeklindeki kurşun taşıyıcılarını içermektedir. Boşluklu aktif madde asıl enerji depolayıcıdır ve süngerimsi yapısı elektrokimyasal reaksiyonlar için yer teşkil etmektedir. Şarj edilmiş alanda, negatif elektrottaki aktif kütle kurşun (Pb) ve pozitif elektrottaki ise kurşun dioksittir (PbO₂). Pozitif ve negatif elektrotları birbirinden ayırmak için 'ayırıcılar' kullanılmıştır.

Elektrik çekildiği zaman, katmanlar ve sülfürik asit arasındaki kimyasal reaksiyondan dolayı elektronlar yüklü bir şekilde negatif kutuptan pozitif kutba akarlar. Bunun sebebi olarak tabakaların her iki yüzeyinde kurşun sülfat oluşur. Bu yüzden batarya boşalırken elektrolit tükenir. Bu değişim batarya yüzeylerindeki değişimi kontrol eden hidrometre ile ölçülebilir.

FV modüller kullanılarak mevcut batarya geriliminden yüksek bir gerilimle bataryalar dolduruldukları zaman, elektronlar diğer yönde hareket eder. Bu tersine kimyasal reaksiyon boşalma süresince devam eder. Bu işlem tamamıyla iki taraflı değildir. Küçük miktardaki kurşun sülfat tekrar çözülmez. Bu boşalma-dolma işlemleri ile batarya kapasitesi yavaşça azalır. Bu kapasite düşümü boşalma sırasında en yüksektir.



Şekil 2.21. Kurşun asit bataryanın yaşam periyodu (VARTA)

Şekil 2.21’de görülen kuşun-asit batarya karakteristik eğrisi solar bataryalarının dönüşüm direncini gösterir. %70’lik boşalma derinliğinin anlamı, batarya %70’lik kapasitesindeyken düzenli olarak boşalmakta servis ömrü sadece 200 dönüşüme erişmektedir. %50 boşalma derinliğinde servis ömrü 400 dönüşümün üzerinde ve %20’lik oranla 1000 dönüşüm olmaktadır. Bu tür bataryalar düzensiz uygulamalar için uygundur. Bununla birlikte dolma-boşalma sayısı deşarj derinliğine ve batarya tipine bağlıdır.

2.3.2. Kurşun Asit Batarya Türleri ve Dizaynı

Kuşun-asit bataryalar kullanılan plaka çeşitlerine ve elektrolit çeşitlerine göre farklı türlere ayrılabilirler. Güneş enerjisi kurulumunda, genellikle çelik ızgara levhalı bataryalar, akışkan elektrolitle, jel bataryalarla, boru şeklindeki tabakalı bataryalarla ve blok bataryalarla birlikte kullanılırlar.

2.3.2.1 Sıvı Elektrolitli Çelik Izgara Bataryaları

En genel kullanılan batarya çeşidi çelik ızgaralı sıvı elektrolitli kurşun-asit bataryalarıdır. Araçlarda marş bataryası olarak kullanıldığından, üretim hacmi oldukça geniş ve bunlardan dolayı başlama-aydınlatma-ateşleme bataryası olarak adlandırılmıştır.

Pozitif ve negatif elektrotların her ikisi de çelik ızgaralı ve sıvı elektrolitlidir. Bir araç marş bataryası birçok sayıda ince tabakalardan oluşturulur. Bu çok geniş aktif yüzey alanı sağlar. Sonuç olarak, çok yüksek başlangıç akımı kısa sürede üretilebilmektedir. Kısa süre içerisinde yüksek performans elde edebilmek için dönüşüm esnekliği düşer. Bundan dolayı, normal dönüşümlü, güneş sistemindeki bir marş bataryası boşalma derinliğinin %50'sini kullandığından batarya birkaç günde kullanılmaz hale gelir. Bataryanın kapasitesi küçük kapasitelerle azaltılmalıdır. Bundan dolayı genellikle araç marş bataryaları bağımsız güneş sistemleri için uygun değildir ve sadece bu tür bataryalar mevcut ise kullanılmalıdır.

Bir bataryanın kapasitesi hem onu boşaltan akım direncine hem de sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklık düşerse kapasite düşer, sıcaklık artarsa kapasitede artmaktadır. Örneğin; eğer sıcaklık 20 °C'den 0 °C'ye düşerse mevcut kapasite yaklaşık olarak %25 azalır [41].

2.3.2.2 Kurşun-Asit Jel Bataryalar

Geleneksel kurşun-asit bataryaların en avantajlı versiyonlarından biride çelik ızgaralı jel bataryalardır. Burada, asit ek katkı maddeleri ile jele dönüşmüştür. Bunun belirli avantajları da;

- Problem yaratmayan asit tabakası; sülfatasyonun düşürülmesi,
- Yüksek dönüşüm direnci,
- Zehirlenmenin olmaması, zayıf havalandırma kullanmaya olanak sağlaması,
- Tamamıyla sızdırmaz kaplama; her yerde yalıtma,
- Servis ömrü boyunca elektrolite ihtiyaç duymadığından ücretsiz idame,

Sıvı elektrolitli bataryalar çevrili bir dizayn ile kapalı bir kabın içerisinde üretilirler. Sadece conta kapakları açılıp elektrolit seviyesi buradan ölçülür. Karşılaştırsak, jel bataryalar normal çalışma şartlarında su ekleme ihtiyacı bulunmadığından conta kapaklarına ihtiyaç duymazlar. Sonuç olarak, bu tür bataryalar kapalı kap olarak ve üzerine aşırı şarj durumunda çalışması için güvenlik valfleri monte edilerek üretilirler. Bu nedenle jel bataryalar kullanım sırasında bakım gerektirmez.

Dikkate alınması gereken bir nokta vardır ki bu tür bataryalar aşırı yüklemeye karşı oldukça duyarlı olduklarından bir şarj kontrol devresine ihtiyaç duyarlar. Şarj kesme gerilimi bataryayı kuru tutacak şekilde gaz çıkışını engellemelidir. Bu kapalı tasarımdan dolayı asit konsantrasyonunu ölçerek şarj durumunu anlamak mümkün değildir. Şarj durumunu anlamamanın en yakın yolu bataryanın gerilimini ölçmektir.

2.3.2.3 Sabit Tüp Katmanlı Bataryalar

Yıl boyu büyük boyutlu kullanımlarda ve yüksek sabit güç uygulamalarında aşırı dönüşümlü tüp plakalı bataryaların kullanımı tavsiye edilir. Büyük hacmi ve kütlesi ve kullanımda daha pahalı olması iki veya üç kat daha fazla tedarik masrafı gerektirir. Tüp plakalı bataryalar sıvı elektrolitli ve özel ayıraçlı OP_ZS türü bataryalarla ve jel elektrolitli bataryalarla ilişkilendirilebilir. Bunlar özellikle solar sistemleri için değil de, daha çok acil güç sistemleri için geliştirilmiştir. On yıllardan beri yapılmış olan bu ürün sabit değişmez güneş enerjisi uygulamaları için mükemmel bir seçimdir.

Sabit tüp plakalı bataryalar tüp silindir şekline konulmuş pozitif elektrotlarının dizaynından dolayı güneş ve marş bataryalarından farklıdır. Bu plakalarda bulunan çubuklar içinden elektrolitin geçebileceği geçirgen tüplerle çevrilidirler. Koruma tüpü, içerisindeki boşlukta aktif maddenin mekaniksel güvenliğini sağlar ve çökelmeyi sınırlandırır. Tüp plakalar özellikle sabittir ve bataryanın dönüşüm esnekliğini yüksek olduğunu garanti eder. OP_ZS ve OP_ZV bataryalarının dönüşüm esnekliği diğer bataryaların dönüşüm esnekliğinden daha yüksektir. %50'lik boşalma derinliğinde ömürleri yaklaşık olarak 3500 dönüşümdür, 5000 dönüşüme ulaşmaları sadece nominal kapasite boşalımı %45 olduğunda olur. OP_ZS bataryaları her 3 ile 3,5 yıl arasında bakıma ihtiyaç duyar, OP_ZV bataryalarının bakımları ücretsizdir [41].

2.3.3. Batarya Kapasitesi

Akünün kapasitesi olan C, uygun boşalma şartlarında batarya tam boşalana kadar enerji veren elektriğin niteliğidir. Nominal kapasite sabit boşalma akımından ve boşalma zamanından elde edilir.

$$C_n = I_n \cdot t_n \quad (2.20)$$

Nominal kapasite paralel bağı hücrelerin sayısı ve geometrisi ile belirlenir. Fakat bu sabit bir değer değildir. Sıcaklığa, boşalma kesim gerilimine ve boşalma akımının hepsine bağlıdır. Düşük boşalma akımı ile plakalardaki sülfür birikimi oldukça yavaştır. Büyük boşalma akımı ile sülfür molekülleri takip eden nüfuz molekülleri ile hızlı bir şekilde blok halini alırlar. Bunun sonucu olarak, yavaş bir şekilde düşük akımla boşalan bataryadan daha hızlı ve yüksek akımla boşalan batarya daha yüksek bir güç verebilir. Bu nedenle, üretim uygun şartlar altında bir nominal kapasite belirler (örneğin, batarya tam doluyken uyguladığı elektrik). Nominal kapasite genellikle boşalma akımı ile boşalma zamanı arasındaki ilişki ile ilgilidir.

2.3.4. Batarya Akımı

Kapasite gibi akım da boşalma ve dolma periyoduna bağlı olarak belirlenir. Şarj akımı FV modüller tarafından üretilirken boşalma akımı da yüke bağlıdır. Güneş sistemlerindeki tipik batarya akımı aşağıdaki gibidir.

Maksimum şarj akımı:

$$I_{20} = C_{20}/20h \quad (2.21)$$

Orta dolma akımı:

$$I_{50} = C_{50}/50h \quad (2.22)$$

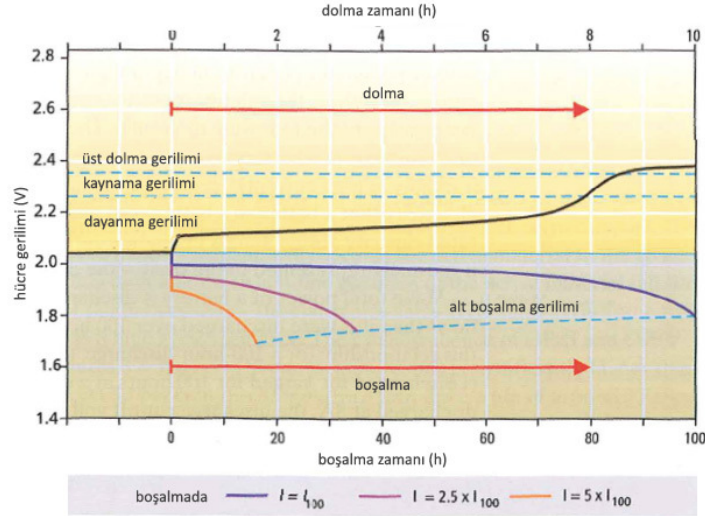
Orta boşalma akımı:

$$I_{120} = C_{120}/120h \quad (2.23)$$

2.3.5. Batarya Gerilimi

Kurşun asit bataryalardaki nominal gerilim değeri hücre başına 2 V'tur. Dolayısıyla 12 V'luk batarya 6 hücreye, 24 V'luk batarya seri 12 hücreye sahiptir. OP₂S ve OP₂V bataryaları genellikle tek hücreli olarak sunulur. Uygulamada, elektrotların gerilimi çalışma şartlarına bağlıdır.

Bataryayı korumak için kendisine ait iki sınır değeri tanımlanmalıdır. Dolma sırasında, şarj kesme gerilimi üst limittir. Boşalma sırasında, deşarj kesme gerilimi alt limittir. Diğer bir parametre ise gaz çıkışı gerilimidir ve başlama gerilimi Şekil 2.22’de detaylı bir şekilde görülmektedir.



Şekil 2.22. 100 Ah'lik bataryanın akım sabitli boşalma ve dolma boyunca gerilim süreci (C_{100})

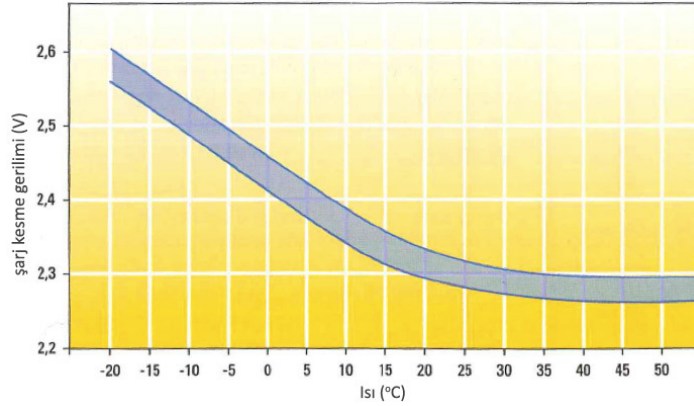
Açık devre veya yüksüz devre batarya gerilimi dayanma gerilimi olarak adlandırılmaktadır ve boşalma ve dolma sürecinden sonra termodinamik düzen sağlanıncaya kadar ölçülemez. Dayanma gerilimi elektrolit konsantrasyonuna bağlıdır. Şarj durumuna ve batarya türüne bağlı olarak hücre başına 1,96 V ile 2,12 V değerleri arasında değişir. Pratikte, örneğin 12 V'luk bataryalar için 12 V ile 12,7 V arasındadır [41].

2.3.6. Dolma (Şarj) ve Boşalma (Deşarj)

Dolma işlemi sırasında, batarya gerilimi giderek artar. Öyle bir değere ulaşır ki bu değerden sonra gaz çıkışı gözlemlenmeye başlar. Çıkan bu gaz karışımı oldukça patlayıcı bir özelliğe sahiptir. Bu gaz gerilimini kapatmak için üreticiler özel batarya şarj kesme gerilimi ayarlarlar. Bu voltaj bir şarj kontrolü tarafından denetlenmelidir. Böylece bataryanın pahalı asit karışımı ve sıvı boşalımı ile zarar veremeyecek ve oxy-hidrojen gazı

riski minimize edilmiş olur. Şarj kesme gerilimi sıcaklığa da bağlı olduğundan, şarj denetimi kontrol algoritmasına katmak için sıcaklığı da ölçmek zorundayız.

Güneş bataryaları diye adlandırılan bataryalar gündüz dolup gece boşaldıklarından dolayı genellikle günlük dönüşüm karakteristiğine sahiptirler. Tipik günlük boşalan batarya, kapasitesinin %2 ile %20 arasındaki bir değeri kullanır. Ek olarak birde mevsimlik dönüşüm vardır. Kış günlerinde düşük güneş ışınımından dolayı düşük enerji üretimi olur. Şarj kontrolü tarafından müsaade edilen boşalma derinliğine bağlı olarak batarya durumu kapasitesinin %20 altına düşer. Düşük ışınımın yaşandığı uzun periyotlarda FV tarafından üretilen enerji bataryayı tam doldurmaya yeterli olmayacağından dönüşüm şarj alanı içerisinde oldukça düşük bir yer teşkil eder. Yüksek ışınımın yaşandığı yaz günleri ile karşılaştırsak tipik olarak batarya %80 ile %100 lük bir kapasite alanında çalışır. Buradaki tehlike ise aşırı yüklemedir. Buradaki ters gereksinimlere göre şarj durumu ayarlanmalı fakat aşırı yükleme gerçekleşmeden planlayıcı kesme gerilimi denetleyici ile ayarlamalıdır. Kurşun asit bataryalarda tipik maksimum hücre geriliminin başlangıç değeri hücre başına 2,4 V değerindedir. Bazı denetleyiciler tarafından kısa süreliğine bu değer aşılmasına izin verilir.



Şekil 2.23. Şarj kesme geriliminin ısısal bağılılığı

Şekil 2.23'te görüldüğü gibi batarya 20 °C iken şarj kesme gerilimi hücre başına 2,3 V ile 2,35 V arasındadır. Bu değer yüksek sıcaklıklarda düşer ve düşük sıcaklıklarda ise yükselir. Bataryanın yaşı da ayrıca bu şarj kesme gerilimini etkilemektedir. Eski bataryalarda yeni bataryalara göre bu değere daha çabuk ulaşılır. Akıllı şarj denetim devreleri buna olanak sağlar.

Batarya boşalırken çıkış gerilimi değişir. Omik kayıptan dolayı başlangıçtaki yapılan sıçrama olayından sonra düşerek devam eder, boşalma gerilim kesimi oluncaya dek boşalma işleminin sonuna kadar azalır. Eğer batarya daha çok boşalır yani gerilim, kesme gerilimin altına düşerse konsantrasyonu güçlü bir tepkime geçirir ve sülfatlaşma oluşur. Bu nedenle her koşulda derin boşalım önlenmelidir. Şekil 2.23'te görüldüğü gibi boşalma akımının değeri gerilim değişimini ve boşalma kesim gerilimi değerini belirler. Yüksek boşalma akımlarında boşalma kesim geriliminin düşmesi doğrudur. Fakat bu durumda daha düşük enerji boşalır.

2.3.7. Şarj Durumu

Hali hazırda mevcut batarya kapasitesinin bölümlerine şarj durumu denir. Özellikle özerk güç uygulayıcılarında bataryanın içinde ne kadar enerjinin kaldığının bilinmesi önemlidir.

Açık bataryalarda asit yoğunluğunu hidrometre veya başka özel sensor yardımıyla ölçmek mümkündür. Asit yoğunluğunun oranına göre şarj durumunu direk olarak belirlemek mümkündür. Limit değerleri Tablo 2.2'deki gibi batarya türüne göre değişmektedir.

Tablo 2.2. Asit yoğunluğu ve hücre gerilimini ölçüyle şarj durumunu belirleme (VARTA)

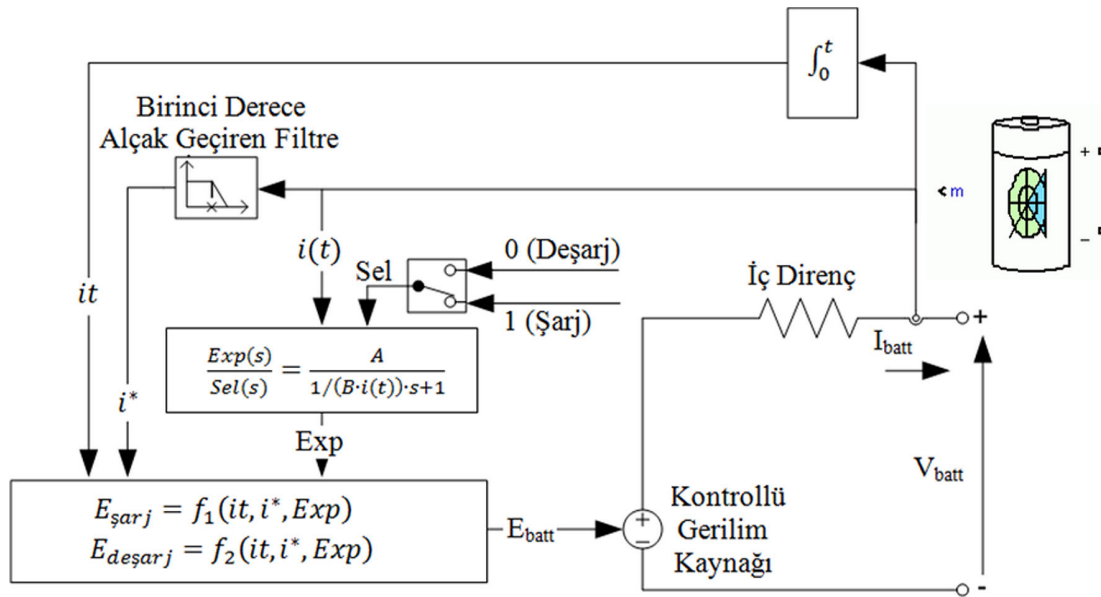
Şarj Durumu [%]	Kurşun ızgara plakalı batarya için asit yoğunluğu (ρ_{in}) [g/cm ³]	Üst şarj gerilimi (V_0) [V]	OPzS batarya asit yoğunluğu (ρ) [g/cm ³]
0	1,10	1,96	1,10
20	1,13	1,99	1,13
40	1,16	2,01	1,16
60	1,20	2,05	1,19
80	1,24	2,08	1,22
100	1,28	2,12	1,24

Kapalı bataryalarda ise asit yoğunluğunu ölçmek mümkün değildir. Burada şarj durumu sadece batarya gerilimi ölçülerek belirlenebilir. Fakat Tablo 2.2'den şarj

durumunu belirlerken ilk olarak hücre gerilimleri dingin bir gerilim değerine getirilmelidir. Bundan dolayı, batarya açık devre şartlarında en az dört saat bekletildikten sonra ölçüm yapılmalıdır. Batarya yaşının burada da etkili olmasından dolayı burada kesin bir sonuç elde edilmesi mümkün değildir. Büyük bağımsız sistemlerde, hassas bir ölçüm için sadece gerilimi ölçmenin yeterli olmadığı aynı zamanda şarj ve boşalma akımının da kontrol edilmesi gerekir. FV sistemlerde kullanılan bataryanın kendi kendine boşalma oranı aylık %3'ten az olmalıdır [41].

2.3.8. Batarya Modeli

FV dizi ve batarya arasındaki kesişimi incelemek için batarya modeli akım, gerilim ve şarj durumu (SOC – State of Charge) arasındaki ilişkinin sebeplerinin açıklanmasını destekleyebilmelidir [57]. Bu modellerden ilki, birincil ve ikincil hücre tiplerinin deşarj aralığı için uygulanabilir bir genel modeldir [58]. Bu modelin gelişimi Copett ve Chenlo tarafından tamamlanmıştır. Geliştirdikleri model aşırı şarj bölgesini de içeren şarj ve deşarj için geçerlidir. Bununla birlikte şarj ve deşarj oranlarındaki değişimin etkisi ile sıcaklık için bir düzeltme terimi de içermektedir [59]. Bir diğer model ise doğrusal olmayan devre elemanları kullanılarak devre tabanlı bir modeldir [60]. Bu tip modeller ampiriktir ve parametreleri ölçüm sonucu eğri uydurma ile bulunmak zorundadır.



Şekil 2.24. Kurşun-asit batarya eşdeğer devre modeli ve Simulink blok şeması

Bataryanın içindeki fiziksel modelin eklendiği daha fazla detaylandırılmış modeller de üretilmiştir. Bu modellerde hücrenin elektrik iletimi, elektrolitin taşınması ve kimyasal reaksiyonlar tek ve iki boyutta tamamen modellenmiştir. Bu yaklaşımla sadece batarya hücresinin işlemesi ortaya koyulmadı aynı zamanda şarj ve deşarjın karmaşık dinamiklerini de Şekil 2.24'te görülen eşdeğer devreyi esas alarak modellendi [61, 62]. Kurşun-asit batarya için yapılan bu modelleme, Simulink ile gerçekleştirilmiştir [58, 63, 64].

Bu eşdeğer devrede şarj ve deşarj durumlarını ifade eden fonksiyonlar bağıntı (2.24) ve (2.25) görülebilir.

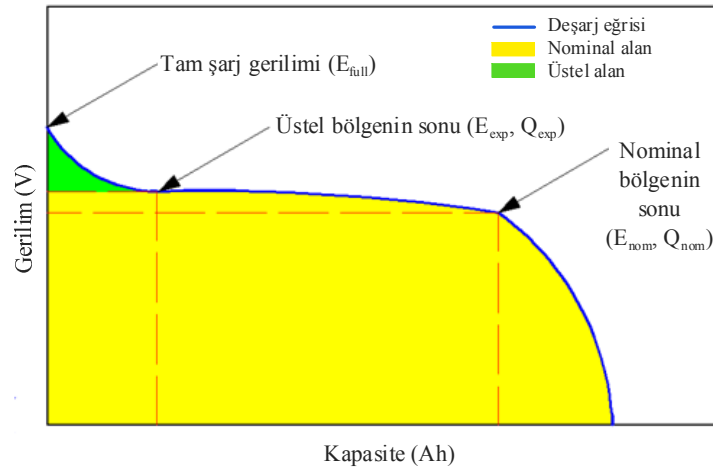
Şarj modeli için ($i^* > 0$);

$$f_1(it, i^*, i, Exp) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{Q-it} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q-it} \cdot it + Laplace^{-1} \left(\frac{Exp(s)}{Sel(s)} \cdot 0 \right) \quad (2.24)$$

Deşarj modeli için ($i^* < 0$);

$$f_2(it, i^*, i, Exp) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{it+0.1 \cdot Q} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q-it} \cdot it + Laplace^{-1} \left(\frac{Exp(s)}{Sel(s)} \cdot \frac{1}{s} \right) \quad (2.25)$$

olarak tanımlanmıştır.



Şekil 2.25. Tipik deşarj eğrisi

Bağıntı (2.24) ve (2.25)'de verilen fonksiyonlardaki kestirilmesi gereken parametrelerden gerilim sabiti (E_0), üstel bölge süresince gerilim düşümü (A), üstel

bölgenin sonunda şarj ($3/B$) ve polarizasyon gerilimini (K) gibi model parametrelerini bulabilmek için Şekil 2.25'den yararlanır [63, 64].

Üstel bölge süresince gerilim düşümü (A_v) (2.26) ile bulunabilir ve birimi Volt'tur.

$$A_v = E_{full} - E_{exp} \quad (2.26)$$

Üstel bölgenin sonunda şarj $3/B$ 'ye eşittir. Buradan "B" bağıntı (2.27) yardımı ile bulunabilir ve birimi Ah^{-1} 'dir.

$$B = \frac{3}{Q_{exp}} \quad (2.27)$$

Polarizasyon gerilimini (K_v) ise tam şarj durumunda bağıntı (2.28) ile bulunur ve birimi Volt'tur.

$$K_v = \frac{(E_{full} - E_{nom} + A(\exp(-B \cdot Q_{nom}) - 1)) \cdot (Q - Q_{nom})}{Q_{nom}} \quad (2.28)$$

Sonrasında gerilim sabiti (E_0) bağıntı (2.29) ile hesap edilebilir ve birimi Volt'tur.

$$E_0 = E_{full} + K_v + R_i - A_v \quad (2.29)$$

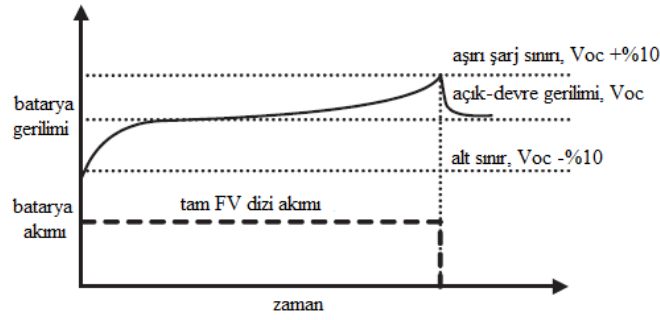
Bağıntı (2.29)'un kullanılabilmesi için bataryanın iç direncinin de bilinmelidir. Ortalama verime ve hücre gerilimine bağlı olarak iç direnç bağıntı (2.30) ile bulunabilir.

$$R_i = V_{nom} \cdot \frac{1-\eta}{0.2 \cdot Q_{nom}} \quad (2.30)$$

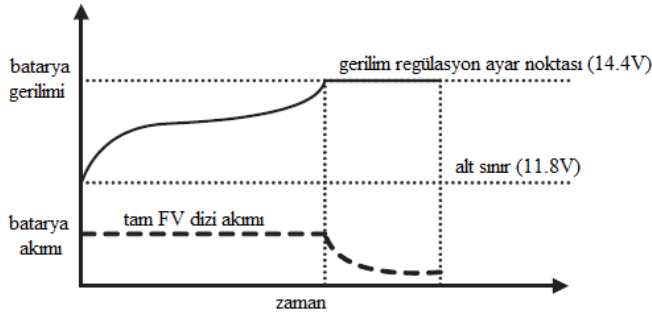
Tüm bu parametreler elde edildikten sonra batarya modelini oluşturmak mümkün olabilmektedir. Ancak bu çalışmada, Simulink'te hazır bulunan batarya bloku kullanıldığından, sadece nominal gerilim (V), oranlanmış kapasite (Ah) ve şarj durumu (%) giriş verisi olarak girildiğinde kurşun-asit bataryalar için (2.26), (2.27), (2.28), (2.29) ve (2.30) bağıntıları kullanılarak batarya parametrelerinin kullanıcı tarafından hesabına gerek kalmadan, Simulink blokuyla hesap yapılabilmektedir [64].

2.4. Şarj Düzenleyiciler

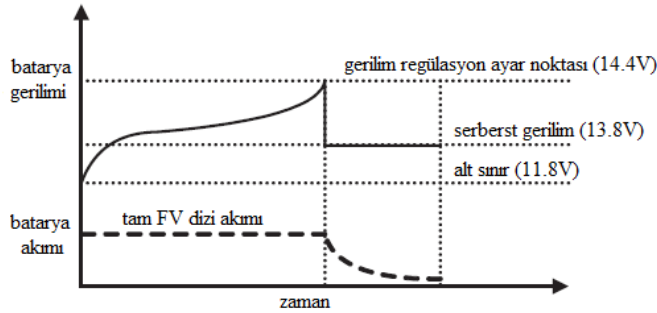
Fotovoltaik sistemlerde yaygın bir şekilde kullanılan batarya şarj yaklaşımı, batarya ünitelerine FV dizileri doğrudan bağlama esasına dayanır [65]. Altı hücreli bir batarya için Şekil 2.26a'da görülebildiği gibi bataryanın şarj durumuna bağlı olarak mümkün olan maksimum FV akım ile desteklenir. Ön ayarlı aşırı şarj sınırına erişildiğinde batarya güç kaynağından ayrılır.



(a)



(b)

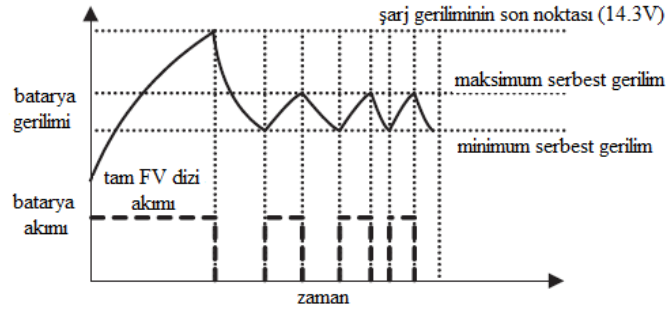


(c)

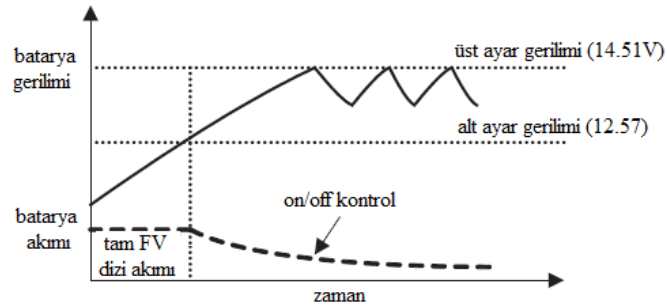
Şekil 2.26. Batarya şarj kontrol şeması a) Güç kaynağı aşırı şarj gerilim sınırında bağlantı keser, b) Ayarlanmış gerilim seviyesine regüle eder, c) Düşük serbest gerilime regüle eder

Benzer olarak FV dizi akımının tamamı, batarya gerilimi regülasyonu ayar noktasına artana kadar batarya desteklenir. Daha sonra Şekil 2.26b ve 2.26c’de sırası ile görüldüğü gibi şarj sürecini bitirmek için ya düşük serbest gerilimde ya da regüle edilmiş bir değerde batarya gerilimi kalır [57, 66, 67]. Bu metotların dezavantajları aşırı şarj sınırı veya gerilim regülasyonu ayar noktası, bataryanın %100 SOC durumu için uygun olmamaktadır. Çünkü, batarya aşırı şarj olduğunda gerilim atmosferik koşullara göre değişen şarj oranına bağlıdır.

Bu yüzden, batarya tam şarj edilene kadar uzun bir süre serbest şarj olma durumunda kalır. Ek olarak gerilim regülasyonu büyük batarya dizilerinde etkili değildir. Çünkü bu durum, batarya bakım zamanı performansını azaltma sebebinden bireysel hücrelerin düzensiz şarj olması ile sonuçlanır [68].



(a)



(b)

Şekil 2.27. On/off kontrole dayalı batarya şarj etme a) Serbest gerilim ile batarya gerilim regülasyonu, b) Üst ayar noktalı batarya gerilim regülasyonu

Alternatif bir şarj metodu batarya bankası için ya tam şarj akımı ya da tam şarj akımsız uygulama ile on/off kontrol temelindedir. Şekil 2.27a’da on/off akım kontrol süreci görülebilir. Batarya gerilimi şarj gerilimin son noktasına yükseldikten sonra düşük

serbest gerilim seviyesi için regüle etmeyi amaçlar [69]. Şekil 2.27b’de ise, batarya gerilimi düşük ayar seviyesi üzerine yükseldikten sonra üst ayar seviyesinde batarya gerilimini regüle etmek için on/off kontrol ile batarya şarj edici akımını sınırlandırır [70].

On/off kontrol algoritmalarının dezavantajı şudur; SOC’a göre artmış kapama zamanı süresince bataryaya enerji transfer edilmez. Buda şarj sürecini bitirmek için gerekli zamanın uzaması ile sonuçlanır. Bu yüzden ziyadesi ile değişken atmosferik koşullarda, batarya gün sonunda %100 SOC’a erişemeyebilir [71].

Amper-saat ölçümlerine dayalı bir batarya şarj algoritmasındaki SOC kestirimi denklem (2.31)’deki gibidir.

$$SOC_{k+1} = SOC_k + \frac{\sum_t (I_{bat}(t) - I_{gas}) \Delta t}{C} \quad (2.31)$$

Burada, SOC_k ve SOC_{k+1} , k ve $k+1$ ’inci adımlarda bataryanın şarj durumudur. $I_{bat}(t)$, batarya akımıdır. I_{gas} , batarya kayıp faktörünü ifade eder. Δt , iterasyon zaman aralığıdır. C ise ampersaat (ah) olarak nominal kapasitedir.

Temel batarya kayıp faktörü, gazlanma olarak tanımlanmaktadır [72]. Gazlanma gerilim ve sıcaklığa bağlıdır. Aynı zamanda 2.32’de verilen denklem (düzeltilmiş Tafel denklemi) ile ifade edilebilir.

$$I_{gas} = \frac{c_{10}}{100Ah} \cdot I_{G0} \cdot e^{c_U \cdot (U - 2,23) + (c_T \cdot T_{batt} - 20)} \quad (2.32)$$

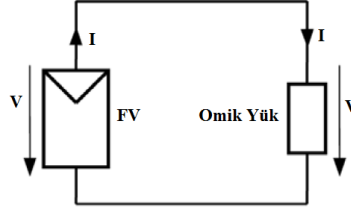
Burada; I_{G0} normalleştirilmiş gazlanma akımı (Ah), c_U ve c_T gerilim (V^{-1}) ve sıcaklık (K^{-1}) sabitleri, U hücre başına batarya gerilimi (V), T_{batt} batarya sıcaklığıdır ($^{\circ}C$).

2.4.1. Omik Yüklü Fotovoltaikler

Fotovoltaik modüller elektrik üretirler ki, elektrikli yükler ile tüketiciler kullanabilsinler. Bunların arasındaki en basit yük Şekil 2.28’de görülebilen omik dirençli yüküdür. Dosdoğru bir çizgi omik direnç karakteristiğini açıklar. Ohm kanunu ise akım ile gerilim arasındaki ilişkiyi bağıntı (2.33) sunulduğu gibi açıklar.

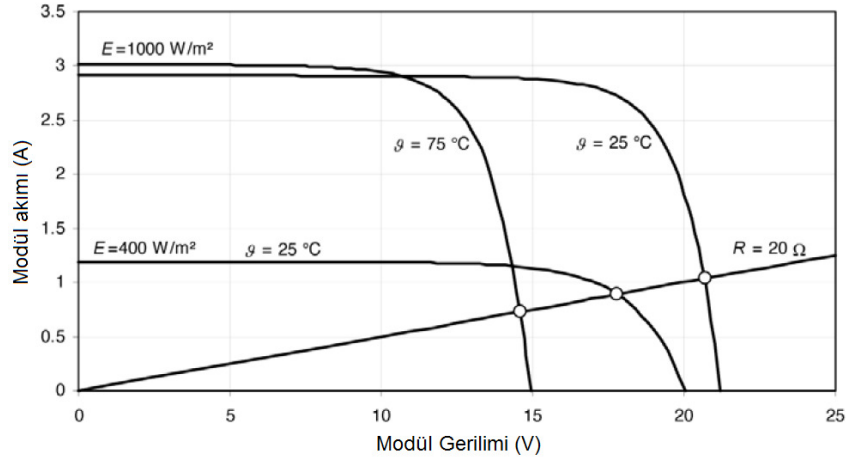
$$I = \frac{1}{R} \cdot V \quad (2.33)$$

Eğer omik yükten akan akım denklem (2.14)'te verilen fotovoltaik hücrenin akımına eşit ise ortak gerilim ve çalışma noktası gerilim (V) için denklem çözülerek bulunabilir.



Şekil 2.28. Omik yüklü fotovoltaik hücre

Omik yük ve fotovoltaik hücrenin I-V karakteristikleri çalışma noktasının grafiksel kestirimi için aynı grafikte çizilebilir. Daha sonra her iki karakteristiğin kesişimleri çalışma noktasını verir.

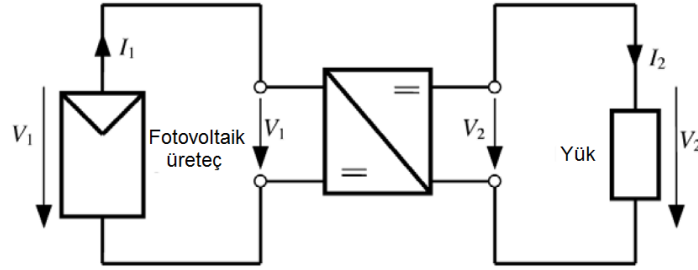


Şekil 2.29. Farklı çalışma şartlarında omik yüklü fotovoltaik modül

Bir fotovoltaik modülün çalışma noktası Şekil 2.29'da gösterildiği gibi işletme şartlarıyla fazlasıyla değişir. Burada modül $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık ve 400 W/m^2 'lik ışımda MPP yakın işletilebilir. Diğer sıcaklık ve ışımalarda modül, standart altı işletilebilir ve çıkış gücü maksimum güçten daha azdır. Omik yük üzerindeki gerilim ve güç önemli bir şekilde değişir [73].

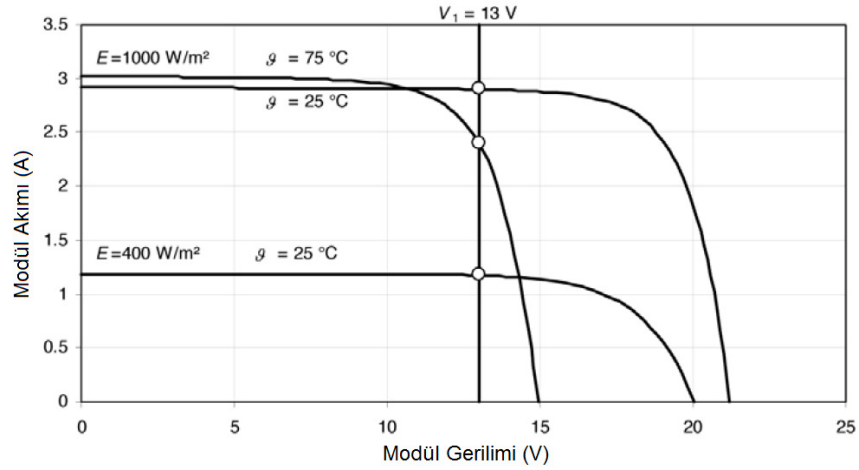
2.4.2. DA-DA Çevirici

Eğer bir DA-DA (Doğru Akım) çevirici Şekil 2.30'da gösterildiği gibi fotovoltaik üreteç ile yük arasında bağlanırsa modülün çıkış gücü artırılabilir.



Şekil 2.30. Fotovoltaik üreteç ile yük ve DA-DA çevirici

Çeviricinin yük tarafındaki gerilim fotovoltaik üreteç tarafındaki gerilimden farklıdır. Eğer fotovoltaik üreteç sabit gerilimde işletilirse önceki omik yüklü Fotovoltaikler örnek alındığında Şekil 2.31'de görülebildiği gibi modülün çıkış gücü yüksek ışımalarda da artırılır. Eğer fotovoltaik üreteç sıcaklık düşürülürse çıkış gücü daha da artırılabilir.



Şekil 2.31. Üç farklı çalışma noktası için sabit gerilim altında yüklü fotovoltaik modül

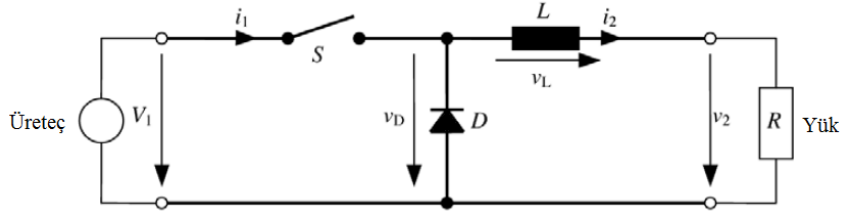
İyi bir DA-DA çevirici %90'dan daha fazla verime sahiptir. Sadece üretilen gücün küçük bir kısmı ısı olarak boşa harcanır. Giriş gücü P_1 ve çıkış gücü P_2 olmak üzere %100 verimli ideal bir çevirici için şu şekilde tanımlanabilir;

$$P_1 = I_1 \cdot V_1 = I_2 \cdot V_2 = P_2 \quad (2.34)$$

Bağıntı (2.14)'te gerilimler farklı olduğu için akımlar da farklıdır [73].

2.4.3. Azaltan (Buck) Çevirici

Eğer yük gerilimi fotovoltaik üreteçten daha düşükse *Azaltan (Buck) çevirici* olarak adlandırılan ve Şekil 2.32'de sunulan devre kullanılabilir.



Şekil 2.32. Omik yüklü Azaltan (Buck) çevirici devresi

Anahtar ve diyot aşağıdaki hesaplamada ideal olarak düşünülmüştür. S anahtarı T_E periyodunca kapatıldığında ve i_2 akımı akarken L endüktansında enerji depolanır. Endüktansta düşen gerilim:

$$v_L = L \cdot \frac{di_2}{dt} \quad (2.35)$$

Daha sonra anahtar T_A periyodunca açıldığında, endüktansta biriken enerji R yük direnci üzerinde harcanır. Diyottaki eşik gerilimi göz ardı edildiğinde, yükün düğüm noktalarındaki çıkış gerilimi v_2 bağıntı (2.36)'daki gibi olur.

$$v_2 = \begin{cases} v_D - v_L = V_1 - v_L & v_L > 0 \text{ ise} & 0 \leq t \leq T_E \text{ için} \\ v_D - v_L \approx -v_L & v_L < 0 \text{ ise} & T_E \leq t \leq T_E + T_A \text{ için} \end{cases} \quad (2.36)$$

$T_S = T_E + T_A$ periyodundan sonra prosedür aynen devam eder. Anahtarlama oranı $D = T_E/T_S$ ile ortalama gerilim v_o :

$$v_o = V_1 \cdot \frac{T_E}{T_S} = V_1 \cdot D \quad (2.37)$$

$I_N = V_1 / R$ ve $\tau = L / R$ olduğuna göre, yük ve endüktanstan akan i_2 akımı denklem (2.38)'deki gibi olur.

$$i_2(t) = \begin{cases} I_N - (I_N - I_{\min}) \cdot \exp(-t/\tau) & 0 \leq t \leq T_E \text{ için} \\ I_{\max} \cdot \exp(-(t - T_E)/\tau) & T_E \leq t \leq T_S \text{ için} \end{cases} \quad (2.38)$$

i_2 akımı denklem (2.39)'daki maksimum akım ve denklem (2.40)'daki minimum akım arasındadır. Maksimum akım;

$$I_{\max} = I_N - (I_N - I_{\min}) \cdot \exp(-T_E/\tau) = I_N \cdot \frac{1 - \exp(-T_E/\tau)}{1 - \exp(-T_S/\tau)} \quad (2.39)$$

Minimum akım;

$$I_{\min} = I_{\max} \cdot \exp(-T_A/\tau) = I_N \cdot \frac{\exp(-T_A/\tau) - \exp(-T_S/\tau)}{1 - \exp(-T_S/\tau)} \quad (2.40)$$

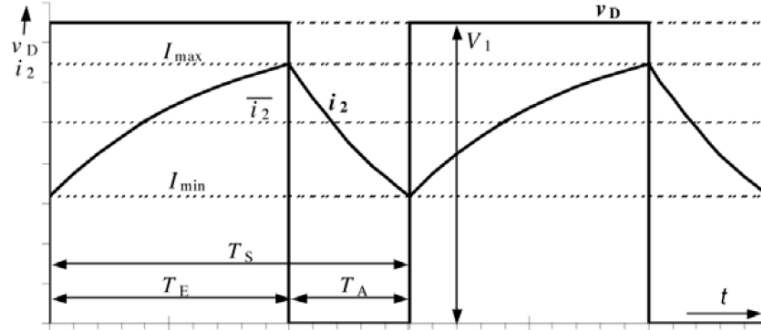
I_{\min} ve I_{\max} kullanıldığında i_2 akımı [74];

$$i_2(t) = \begin{cases} I_N + I_N \cdot \frac{\exp(-T_A/\tau) - 1}{1 - \exp(-T_S/\tau)} \cdot \exp(-t/\tau) & 0 \leq t \leq T_E \text{ için} \\ I_N \cdot \frac{1 - \exp(-T_E/\tau)}{1 - \exp(-T_S/\tau)} \cdot \exp(-(t - T_E)/\tau) & T_E \leq t \leq T_S \text{ için} \end{cases} \quad (2.41)$$

Akımın i_{2o} ortalama değeri ise;

$$i_{2o} = I_N \cdot \frac{T_E}{T_S} = I_N \cdot D \quad (2.42)$$

Pratikte, çıkış gerilimi nispeten sabit olmalıdır. Bu yüzden, C_1 ve C_2 kondansatörleri Şekil 2.34’de görüldüğü gibi devreye eklenirler. C_1 kondansatörü anahtar açıkken fotovoltaik enerji üreticini destekler.

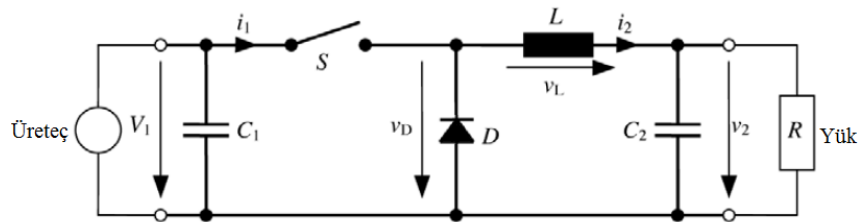


Şekil 2.33. Azaltan (Buck) çevirici için akım i_2 ve gerilim v_D

İdeal endüktans L için, anahtarlama oranı D ve giriş gerilimi V_1 olmak üzere ortalama çıkış gerilimi bağıntı (2.43)’teki bağıntı ile hesap edilebilir.

$$V_2 = v_{2o} = V_1 \cdot \frac{T_E}{T_s} = V_1 \cdot D \quad (2.43)$$

Devredeki elektronik elemanların ideal olduğu farz edilirse, ortalama çıkış akımı i_{2o} bağıntı (2.44) ile elde edilir.



Şekil 2.34. Kondansatörlü Azaltan (Buck) çevirici

Bu karşılıklı anahtarlama oranı ve ortalama giriş akımından elde edilir. Eğer akımın ortalama değeri denklem (2.45)’den küçük olursa, faz anahtarlama durdurulur ve endüktanstan akan akım sifıra erişinceye kadar azalır.

$$I_2 = i_{2o} = i_{1o} \cdot \frac{T_s}{T_E} = i_{1o} \cdot \frac{1}{D} \quad (2.44)$$

$$I_{2,lim} = \frac{T_s}{2 \cdot L} \cdot V_2 \cdot \left(1 - \frac{V_2}{V_1}\right) \quad (2.45)$$

Sonrasında diyot akımı bloke edecek ve endüktans üzerindeki gerilim sıfır olacaktır. Bu sebepten akım ve gerilim kesikli bir çalışma moduna girer. Devre elemanlarının uygun değerlerde seçilmesi bu durumdan sakındırabilir. Eğer sınırlayıcı alt akım $I_{2,lim}$ bilinirse, endüktans değeri denklem (2.46)'daki gibi belirlenebilir.

$$L = T_s \cdot \left(1 - \frac{V_2}{V_1}\right) \cdot \frac{V_2}{2 \cdot I_{2,lim}} \quad (2.46)$$

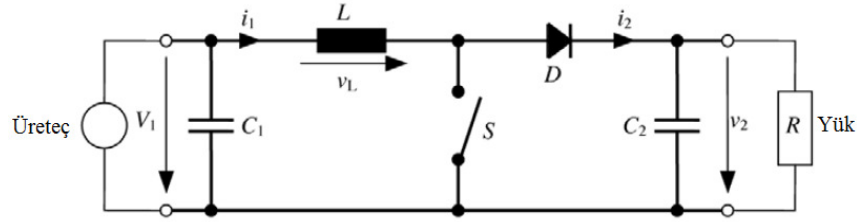
20 kHz ve 200 kHz arasındaki anahtarlama frekansı ($f = 1/T$) iyi bir uyuşma olarak gözüktür. Çıkış kapasitansı C_2 ise;

$$C_2 = \frac{T_s \cdot I_{2,lim}}{4 \cdot \Delta V_2} \quad (2.47)$$

V_2 çıkış geriliminin dalgalanmasını, yani maksimum istenen gerilim dalgalanması ΔV_2 , kullanarak (2.47)'deki bağıntı ile bulunabilir. Yüksek güçler için yarı iletken devre elemanları; örneğin iki kutuplu alan etkili güç transistörleri veya tristörler, çoğunlukla S anahtarı olarak kullanılırlar. Görev süresince bu anahtarlama elemanlarını doğrudan kontrol edebilir bazı entegre devreler mevcuttur. Küçük güçlü uygulamalar için transistörler bazı entegre devrelerin içine gömülüdürler [73].

2.4.4. Artıran (Boost) Çevirici

Artıran (Boost) çeviriciler çıkış (yük) geriliminin giriş (kaynak) geriliminden daha yüksek olan uygulamalarda kullanılır. Artıran (Boost) çeviricinin yapısal prensibi diyot, anahtar ve endüktans konumlarının değişimini haricinde Azaltan (Buck) çevirici ile aynıdır. Artıran (Boost) çeviricinin devre şeması Şekil 2.35'te gösterilmiştir.



Şekil 2.35. Artıran (Boost) çevirici devresi

Eğer anahtar kapatılırsa, endüktans gerilimi $v_L = V_1$ ($v_L > 0$) olur. Anahtar açıldığında ise $v_L = V_1 - v_L$ ($v_L < 0$) gerilimi yük uygulanır. Bu gerilim, V_1 giriş geriliminden daha yüksektir. Bu durumda diyotun üzerindeki gerilim düşümü göz ardı edilmiştir. Anahtar kapatıldığında, C_2 kondansatörü yük gerilimini devam ettirir. D diyotu S anahtarı kapalı olduğu süre boyunca kondansatörün anahtar üzerinden deşarj olmasını önler.

Çıkış gerilimi V_2 bağıntı (2.48) ile bulunabilir.

$$V_2 = V_1 \cdot \frac{T_s}{T_A} \quad (2.48)$$

Akım $I_{2,lim} = \frac{1}{2} \cdot V_1 \cdot (1 - V_1/V_2) \cdot T_s/L$ olmak üzere L ve C_2 'nin büyüklüğü:

$$L = U_1 \cdot \left(1 - \frac{V_1}{V_2}\right) \cdot \frac{T_s}{2 \cdot I_{2,lim}} \quad (2.49)$$

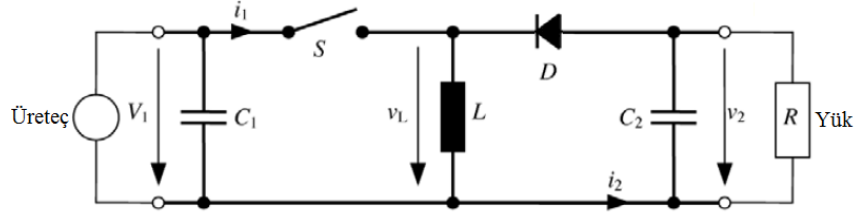
$$C_2 = \frac{T_s \cdot I_{2,lim}}{\Delta V_2} \quad (2.50)$$

bağıntıları ile bulunabilir.

2.4.5. Diğer DA-DA Çeviriciler

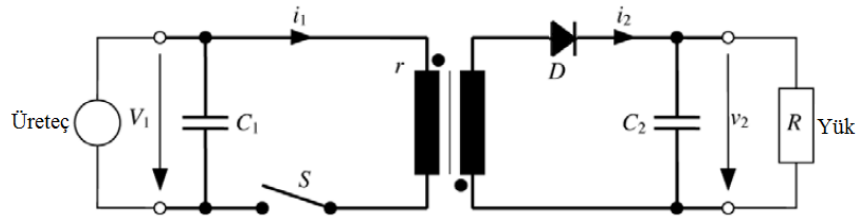
Azaltan (Buck) ve Artıran (Boost) çeviricilerin yanı sıra, diğer DA-DA çeviricilerde mevcuttur. Bunlardan biri Şekil 2.36'da görülebilen "Azaltan-Artıran (Buck-Boost)" çeviricidir ve çıkış gerilimi denklem (2.51)'deki bağıntı ile hesaplanabilir.

$$V_2 = -V_1 \cdot \frac{T_E}{T_A} \quad (2.51)$$



Şekil 2.36. Azaltan-artıran (Buck-Boost) çevirici devresi

Bir diğeri ise “Manyetik Kublajlı (Flyback)” çeviricilerdir ve Şekil 2.37’de devresi görülebilir.



Şekil 2.37. Flyback çevirici devresi

Bu tür çeviricilerde endüktans yerine bir transformatör kullanılır. Çıkış gerilimi transformatörün dönüştürme oranı a hariç tutulduğunda Azaltan-Artıran (Buck-Boost) çeviriciler gibi aynı yol ile hesap edilebilir.

$$V_2 = V_1 \cdot \frac{T_E}{T_A} \cdot \frac{1}{a} \quad (2.52)$$

Bu (a) transformatörün her iki kenarındaki sargılarının tur sayılarının oranı olarak tanımlanır. Bunun sonucu olarak çıkış gerilimi (2.52)’deki bağıntı ile bulunabilir.

Yüksek güçlü uygulamalar için, bir anahtardan daha fazla anahtarlı Push-Pull çevirici kullanılır. Eğer kondansatörler endüktanslar ile değişirse, şarj pompası prensibi kullanan bir çevirici gerçekleştirilebilir [73].

2.4.6. Maksimum Güç Noktası Takipçisi (MPPT)

Önceki başlıklarda açıklanmış olan çeviriciler farklı gerilimli yük ve fotovoltaik üreteç birlikte çalıştırabilir. Eğer fotovoltaik üreticinin gerilimi (Şekil 2.31) seçilmiş bir anahtarlama oranı ile belirlenmiş bir değere set edilirse, enerji üretimi basit omik yüklerden daha fazla olur. Diğer taraftan, optimal işletme gerilimi sıcaklık ve ışımaya bağlı olarak değişir. Bu yüzden DA-DA çeviricinin anahtarlama oranındaki değişim fotovoltaik üreteç gerilimini değiştirir ve bu sebeple üretilen enerjinin kalitesi artar.

Sıcaklıktaki " θ " dalgalanma optimal fotovoltaik üreteç gerilimi üzerinde çok yüksek etkiye sahiptir. FV üreticinin arkasına eklenmiş bir sıcaklık algılayıcısı ile modülün sıcaklığı ölçülebilir. Açık devre geriliminin sıcaklık sabiti, yani silikon güneş hücresi için $\alpha_{VOC} = -3 \cdot 10^{-3} / ^\circ C$ ile $-5 \cdot 10^{-3} / ^\circ C$ arasında alındığında, bir Azaltan (Buck) çevirici için anahtarlama oranı bilinen çıkış gerilimi " V_2 " ve referans sıcaklıktaki MPP gerilim " V_{MPP} " ile denklem (2.53)'deki gibi kestirilebilir.

$$D = \frac{V_2}{V_1} = \frac{V_2}{V_{MPP}(\theta)} = \frac{V_2}{V_{MPP}(\theta=25^\circ C) \cdot (1 + \alpha_{VOC} \cdot (\theta - 25^\circ C))} \quad (2.53)$$

Eğer anahtarlama oranı eklenmiş bir şekilde güneş ışıması uyarlanırsa, fotovoltaik üreteç çoğu durumda maksimum güç noktasında işletilebilir. Bir DA-DA çevirici fotovoltaik üreticinin kendi MPP noktasında işletirse, bu çevirici MPP izleyici olarak adlandırılır.

Takip eden başlıklarda açıklanacağı gibi uygulamada MPP izleyici için birkaç metod vardır.

Sensör kontrollü regülatör: Yukarıda da açıklandığı gibi MPP gerilimi ışımaya ve sıcaklık sensör verilerinin bir fonksiyonu olarak hesap edilebilir.

Referans hücre yoluyla kontrol: fotovoltaik üretece yakın monte edilmiş güneş hücresinin karakteristikleri, yani açık devre gerilimi V_{OC} ve kısa devre akımı I_{SC} , kayıt edilir. Bu ölçümler MPP geriliminin " V_{MPP} " kestirilmesine izin verir. Basit eşdeğer devrenin denklemi kullanılarak MPP akımı " I_{MPP} " aşağıdaki denklemdeki gibi hesap edilebilir.

$$I_{MPP} = I(V_{MPP}) = I_{SC} - I_S \left[\exp\left(\frac{V_{MPP}}{m \cdot V_T}\right) - 1 \right] \quad (2.54)$$

Gerilime göre gücün türevi maksimum güçte sıfıra eşittir.

$$\frac{dP(V_{MPP})}{dV} = \frac{d(V_{MPP} \cdot I(V_{MPP}))}{dV} = I(V_{MPP}) + V_{MPP} \cdot \frac{dI(V_{MPP})}{dV} = 0 \quad (2.55)$$

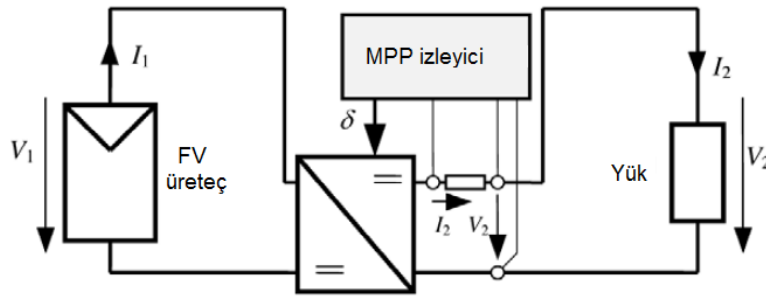
Denkleme I_{MPP} eklendiğinde ve MPP gerilimi " V_{MPP} " için denklem çözüldüğünde bağıntı (2.56) elde edilir.

$$V_{MPP} = m \cdot V_T \cdot \ln\left(\frac{I_{SC} + I_S}{I_S}\right) - m \cdot V_T \cdot \ln\left(1 + \frac{V_{MPP}}{m \cdot V_T}\right) = V_{OC} - m \cdot V_T \cdot \ln\left(1 + \frac{V_{MPP}}{m \cdot V_T}\right) \quad (2.56)$$

Sayısal veya yaklaşım metotları bu denklemin çözümünde kullanılabilir. MPP gerilimi açık devre geriliminden elde edilebilir. Daha hassas kestirim iki diyotlu model kullanılarak yapılabilir.

Salınım arama kontrollü (tepe tırmanan- hill climbing): Gerilim ve akım çevircinin giriş ve çıkışından ölçülür ve güç hesap edilerek saklanır.

Şekil 2.38'de salınım arama kontrolü sisteminin çalışma prensibi görülebilir. Anahtarlama oranındaki küçük değişim gerilim değişimine sebep olur. Daha sonra güç tekrar kestirilir. Eğer güç artarsa, anahtarlama oranı tekrar aynı doğrultuda değişir. Aksi halde anahtarlama oranı ters yönde değişir. Sabit çıkış gerilimleri için, maksimum çıkış akımını arama yeterlidir. Bu durumda kendi gücünü kestirmeye gerek yoktur.



Şekil 2.38. MPP izleyicinin yapısı

Sıfır geçiş metodu: Üreteç gerilim ve akımı ölçülür ve çarpılır. Birim türev, dP/dV hesap edilir. Üreteç gerilimi türevin pozitif veya negatif olup olmasına bağlı olarak artırılıp azaltılır.

Değişimler farkı ile kontrol: Gerilim ve akım ölçülür ve onların değişim farkları hesap edilir. Şöyle ki;

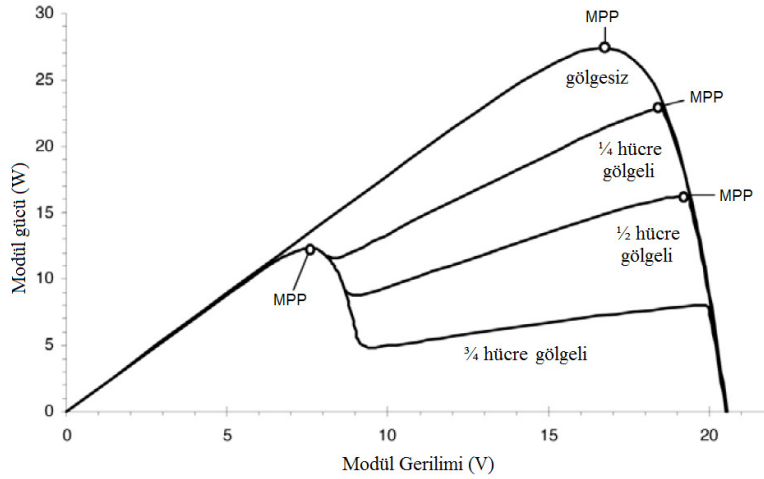
$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(V \cdot I)}{dV} = I + V \cdot \frac{dI}{dV} = 0 \quad \rightarrow \quad I \cdot dV = -V \cdot dI \quad (2.57)$$

Yani elektronik devreler her iki tarafı dengelemelidir.

Karakteristik metotlu kontrol: Bu metotta da gerilim ve akım ölçülür. Akım ve gerilim aşağıdaki tarzda sırası ile değiştirilir.

$$V_B = k \cdot V_A \quad \text{ve} \quad I_C = k \cdot I_B \quad (k < 1)$$

Birkaç adım sonra, bu metot ile MPP'nin biri solunda biri sağında olmak üzere denetleyicinin bu noktalar arasında salındığı iki çalışma noktası elde edilir.



Şekil 2.39. 36 hücre ve iki baypas diyotlu bir FV modülün P-V karakteristiği

Güneş üretici kısmen gölgelendiğinde çeşitli MPP izleyiciler optimal çalışma noktasını bulmada zorlanırlar. Uzun zaman periyodunda gölgeleme oluşursa kayıpların yüksek olmasına sebep olur. Bu sebepten iyi bir MPP izleyici Şekil 2.39'da görüldüğü gibi anormal işletme koşulları için de iyi sonuçları destekleyebilmelidir. Sıra dışı düşük üretic güçleri bir gölgeleme durumunu gösterirken, MPP izleyici tüm gerilim oranları içinden optimal güç çıkışının maksimumunu bulmak için tarama yapmalıdır [73].

2.5. Bataryalı Sistemler

En basit bataryalı sistem sadece bir yük, bir batarya ve bir fotovoltaik üreteçten meydana gelir. Fotovoltaik üretecin iç direnci çok düşük olduğu için, güneş ışınması da düşük ise, batarya fotovoltaik üretece doğru deşarj olur. Şekil 2.40'da görülebildiği gibi, fotovoltaik üreteç ile batarya arasına bir engelleme diyotu bataryadan fotovoltaik üretece doğru bu ters akımları önleyebilir. Ancak bu diyot sabit kayıplara neden olur.

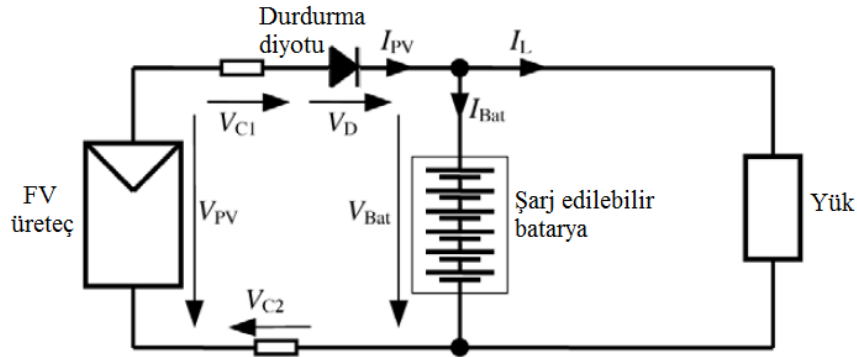
$$P_{L,diyot} = I_{FV} \cdot V_D \quad (2.58)$$

Bu yüzden Schottky diyotları ($V_D \approx 0,55 V$) gibi düşük iletim gerilimli diyotlar sıklıkla kullanılır. Buna ilave olarak kablolar kayıplara neden olur. Burada bağlantı kablosu kesitinin " A ", özgül direncinin " ρ " ve fotovoltaik üreteçten bataryaya ve dönüşüne kadar olan kablo uzunluklarının " l_1 " ve " l_2 " olarak tanımlandığında, bunların sebep olduğu kayıp;

$$P_{L,kablo} = I_{FV} \cdot (V_{C1} + V_{C2}) = I_{FV}^2 \cdot (R_{C1} + R_{C2}) = I_{FV}^2 \cdot \frac{\rho}{A} \cdot (l_1 + l_2) \quad (2.58)$$

bağıntısı ile hesap edilebilir.

Yüksek güçlü sistemler için, bazı bataryalar seri bağlanırsa kayıplar azaltılabilir. Bu batarya gerilimini " V_{Bat} " artırır ve akım akışını azaltır. Bu yüzden kayıplar azalır.

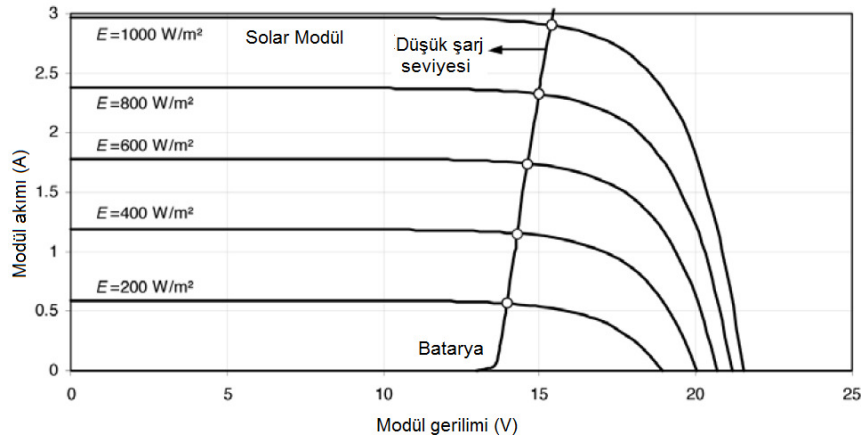


Şekil 2.40. Depolama birimli basit fotovoltaik sistem

Fotovoltaik üreticinin gerilimi (2.59) bağıntısı ile bulunulabilir.

$$V_{FV} = V_{Bat} + V_D + V_{C1} + V_{C2} \quad (2.59)$$

Diyot gerilimi " V_D " neredeyse sabittir. Kablolardaki gerilim düşümü " V_{C1} " ve " V_{C2} " fotovoltaik akım ile " I_{FV} " orantılıdır. Batarya gerilimi " V_{Bat} " şarj durumu (SOC) ve şarj akımına bağlıdır. Bu yüzden fotovoltaik üreticinin gerilimi, akım artışı ve ışımaya artışıyla yavaş bir şekilde artar ve bu durum batarya şarj durumuyla (SOC) değişir.



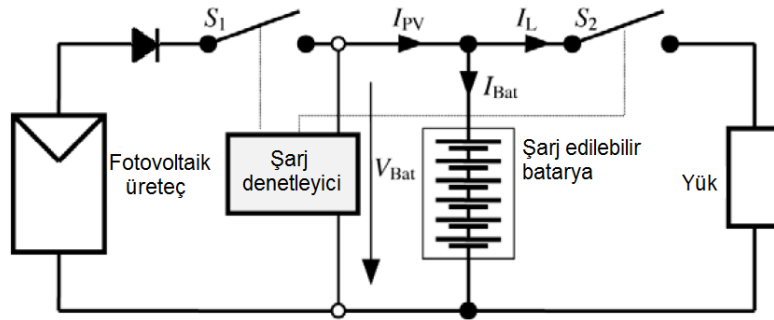
Şekil 2.41. Fotovoltaik modülün işletme noktaları (Durdurma diyotu ve yüksüz 0,1 Ω kablo dirençli depolama birimi ile bağlanmış)

Eğer FV üreticinin doğrudan bir bataryaya bağlı ise, geniş ışımaya aralığı için iyi bir işletme noktası elde edilebilir (Şekil 2.41). Bu yüzden DA-DA dönüştürücüler ve MPP izleyiciler bataryalı sistemlerde çok nadiren kullanılırlar. Bu durumda gerekli olan elektronik elemanların güç tüketimi muhtemelen enerji kazancından daha yüksektir. Sadece homojen olmayan ışımaya maruz kalmış FV üreticinin MPP izleyiciler bazı avantajlara sahiptir.

Bataryaya doğrudan bağlanmış yük ve FV üreticinin basit depolama biriminde şarj edilebilir bataryalar aşırı şarja ve derin deşarja karşı korumasızdırlar. Batarya için olumsuz işletme koşulları şayet kesin bir şekilde önlenemezse, bu gibi basit sistemler seçilmesi gerekir. Aksi halde batarya çok çabuk bir şekilde zarar görebilir.

Bu sebepten çoğu bataryalı sistemde Şekil 2.42 ve 2.54'te olduğu gibi şarj denetleyici kullanılır. Kurşun-Asit bataryalı sistemlerdeki şarj denetleyici genellikle

gerilim kontrolü temelinde çalışırlar. Şarj denetleyiciler batarya gerilimini " V_{Bat} " ölçerler. Şayet Kurşun-Asit bataryalar için 12V olan gerilim 11,4V'luk derin deşarj gerilimi altına düşerse, " S_2 " anahtarı bataryadan yükü ayırır. Batarya tekrar şarj edildiğinde yani üst eşik gerilimi sınırının üzerine batarya gerilimi yükseldiğinde, anahtar yükü yeniden bağlar. Eğer 12V'luk Kurşun-Asit bataryalar için 14,4V olan şarj gerilimi son noktasının üzerine batarya gerilimi şarj gerilimi yükselirse, " S_1 " anahtarı şarjı durdurur. Şekil 2.42'de görülen "seri şarj denetleyici" ve Şekil 2.43'te görülen "paralel (şönt) şarj denetleyici", prensip olarak temel iki şarj denetleyici tipidir.



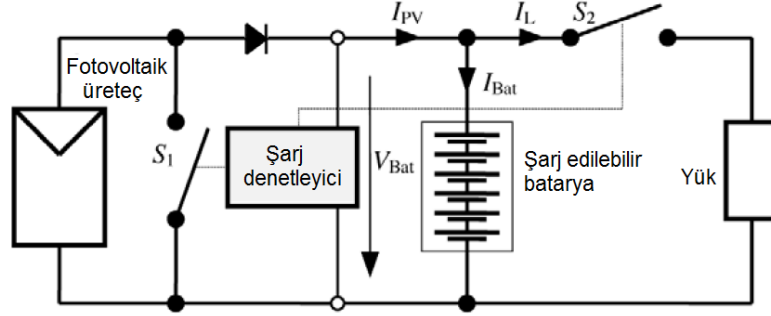
Şekil 2.42. Seri şarj denetleyicili fotovoltaik batarya sistemi

Çoğunlukla güç elektroniği yarı iletkenleri örneğin alan etkili güç transistörleri (Güç MOSFET'leri) anahtar gibi kullanılırlar. " S_1 " anahtarında oluşan sürekli iletim kayıpları seri şarj denetleyicilerin bir dezavantajıdır. Yüksek verimli çalışan MOSFET'lerin iletim direnci $0,1\Omega$ 'dan daha azdır. Yine de 6 A'lık akım için iletim direnci $0,04\Omega$ olan alan etkili BUZ 11 model numaralı transistör 1,44 W'lık kayıba sebep olur.

Şayet fotovoltaik üreteç gerilimi batarya gerilimine ek olarak izlenirse, durdurma diyotu göz ardı edilebilir ve iletim kayıpları azaltılabilir. Bu durumda eğer fotovoltaik üreteç gerilimi batarya geriliminden aşağı düşerse, şarj denetleyici " S_1 " anahtarını muhakkak açmalıdır.

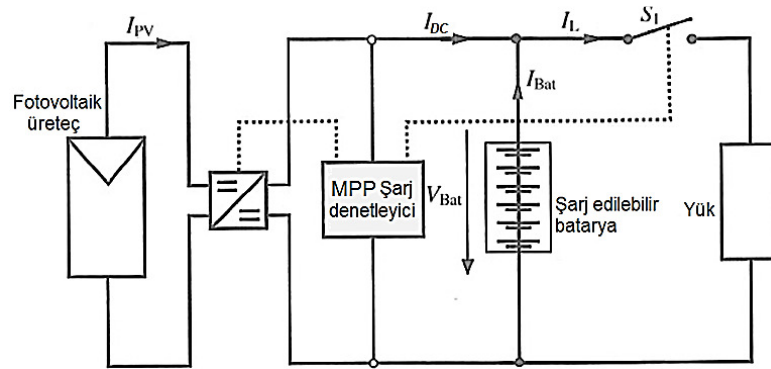
Paralel şarj denetleyici tipi şarj denetleyicilerinin en yaygın kullanılanıdır. Eğer atarya tam şarj edilmişse, şarj denetleyici " S_1 " anahtarı ile fotovoltaik üretecin iki ucunu kısa devre eder. Böylelikle fotovoltaik üretecin gerilimi anahtar vasıtasıyla gerilim düşmesini sağlar (<1 V). Durdurma diyotu anahtar üzerinden akacak bataryanın ters akımını önler. Eğer üreteç düzenli modda işletilirse, kısa devre herhangi bir probleme sebep vermez. Ancak, fotovoltaik üreteç kısmen gölgelenir ve bu yüzden homojen

olmayan ışımaya maruz kalırsa, kısa devre durumu çok önemli biçimde gölgelenmiş hücreleri bozulmaya zorlar.



Şekil 2.43. Paralel (Şönt) şarj denetleyicili fotovoltaik batarya sistemi

FV karakteristik eğrisi üzerinde batarya gerilimleri çalışma noktası olarak belirttiklerinden beri, FV dizileri genellikle MPP noktasında çalışmaz ve paralel şarj denetleyiciler çoğunlukla güneş enerjisinin optimum noktada kullanılmasını engeller. Bu güç kayıpları batarya gerilimine, sıcaklığa ve ışıma bağlı olarak %10 ile %40 arasındadır. Bu olay bir MPP takipçisi kullanılarak engellenebilir. Bir MPP takipçisi daha önceden anlatıldığı sebeplerden ve Şekil 2.38’de gösterildiği gibi bir DC/DC çeviricisine ihtiyaç duymaktadır. Bu yapı Şekil 2.44’te görülebildiği gibi denetimi her beş dakikada bir FV dizilerinin akım gerilim karakteristik eğrisinden geçen ve MPP gücünü ayarlayan bir MPP takipçisi tarafından gerçekleştirilebilir. Daha sonra DC/DC çevirici FV dizilerinden optimum güç elde etmeye ayarlanır ve bataryayı şarj eden gerilim ayarlanmış olur.



Şekil 2.44. Maksimum güç noktası takipli şarj denetleyicili fotovoltaik batarya sistemi

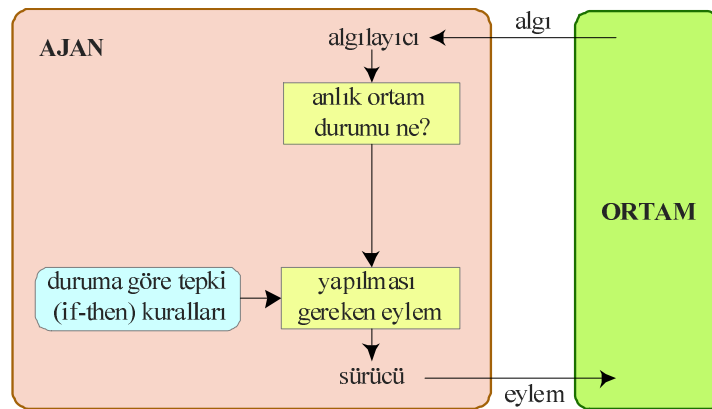
Büyük bataryalı sistemlerin tek batarya hücreleri hücreler arasındaki küçük farklar yüzünden nadiren dezenformasyona zorlanabilir. Bu hücreleri hızlı bir şekilde yaşlandırır ve şayet bir hücre bozulursa diğerleride bu durumdan etkilenecektir. Bu nedenle sadece bütün batarya biriminin geriliminin izlenmesi değil, aynı zamanda tek hücre gerilimininde batarya yönetim sistemleri tarafından optimal batarya koruma için büyük bataryalı sistemlerde kullanılmalıdır.

Bunların yanısıra fotovoltaik üreteçli basit batarya sistemlerine nispeten batarya, şarj denetleyici ve yük daha kompleks sistemler içerir.

Batarya yedekli sistemler bir fotovoltaik inverter ile şebekeye bağlanabilirler. Fotovoltaik üreteçler karma sistemler oluşturmak için dizel veya rüzgar generatörlü ile birleştirilebilirler. Bu durum enerji maliyetini azaltabilir ve sistem kullanılabilirliğini artırır [73]. “Ancak kompleks sistemleri işletimi kompleks enerji yönetimli sistemlere ihtiyaç duyar.”

2.6. Çok Ajanlı Sistemler (MAS – Multi Agent Systems)

Yapay zeka denildiğinde, tahrik edici düzenekler kullanarak ortama göre davranan (ki bu bir ajandır) ve elde etmeye çalıştığı amaçlara doğru aktivitelerini yönlendiren (ki bu akıllı olandır) bunlarla birlikte algılayıcılar yolu ile gözlemleyen otonom bir varlık olan akıllı bir ajan akla gelir.



Şekil 2.45. Basit yapılı ajan

Akıllı ajanlar amaçlarını elde etmek için bilgiyi kullanabilirler veya öğrenebilirler. İnsanoğlu veya aynı amaca ulaşmak için çalışan insanoğlu topluluğu veya bir makine

tepkisi örneğın bir termostat akıllı ajan olarak nitelendirilebilir ki bunlar çok basit veya çok karmaşık olabilir [75, 76].

Akıllı ajanlar sıklıkla bilgisayar programlarına benzeyen soyut fonksiyonel sistemler olarak tanımlanır. Bazı akıllı ajan tanımları kendi otonomlarına vurgu yapar ve bundan dolayı da “Otonom Akıllı Ajanlar” adını alırlar. Diğerleri hedef amaçlı davranışı zekanın özü olarak kabul eder ve bu yüzden de ekonomiden alınmış “rasyonel ajan” terimini ödünç almıştır.

Yapay zeka eknomi ile, felsefe ile, ahlak ile ilgili bir çok alanda ve disiplinler arası modellemelerde de bilgisayar tabanlı sosyal benzetimler şeklinde sıklıkla kullanılır.

Akıllı ajanlar, yazılım ajanı olarak adlandırılan kullanıcıları adına görevleri yürüten otonom bilgisayar programları ile yakından ilişkilidir. Bilgisayar biliminde, Russell ve Norvig’in rasyonel ajan tanımına uyup uymamasına bakılmaksızın akıllı ajan terimi bir kısım zeka barındıran yazılım ajanlarına referans olarak kullanılır. Örneğın; operatör yardımcısı yada veri madenciliğı olarak kullanılan otonom programlar “akıllı ajanlar” olarak da adlandırılır [75, 76].

Akıllı ajanlar farklı bir çok şekilde tanımlanmışlardır [77]. Nikola Kasabov’a göre akıllı ajanlar alttaki karakteristik özellikleri bünyelerinde barındırmalıdır:

- Yeni sorun çözmeye yaklaşımlarını adım adım hayata geçirir,
- Online ve gerçek zamana adapte dir,
- Başarı, hata ve davranış açısından kendi kendine analiz etme kabiliyetine sahiptir,
- İçinde bulunduğu ortamala etkileşimli bir şekilde öğrenir ve kendini geliştirir,
- Veri fazlalığına bakmaksızın gerekli bilgiyi hızlı bir şekilde edinir,
- Bellek ağırlıklı olduğundan veri saklama ve veri çağırma kapasitesine sahiptir,
- Kısa ve uzun dönem hafızaları, yaşı, unutkanlığı ve benzeri durumları temsil edecek parametrelere sahiptir.

Russell ve Norvig, ajan zekalarını algılama derecesine ve yeterliliklerine göre beş guruba ayırmışlardır:

1. Basit tepkili ajanlar
2. Model-taban tepkili ajanlar
3. Hedef tabanlı ajanlar
4. Fayda bazlı ajanlar
5. Öğrenme ajanları

2.6.1. Basit Tepkili Ajanlar

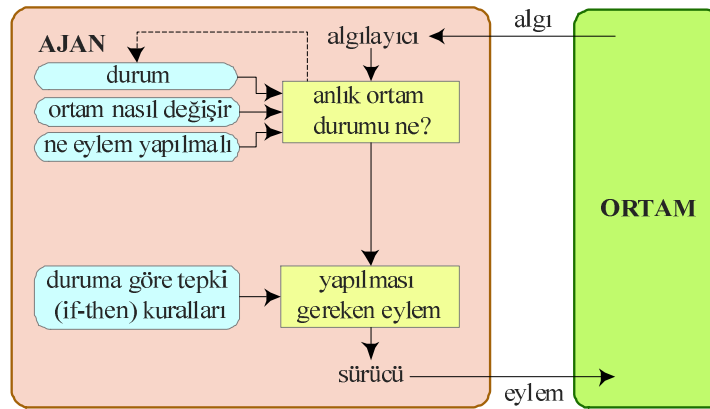
Basit refleksli ajanlar sadece mevcut algılama temelinde çalışırlar ve algılanmış önceki veriler göz ardı ederler. Ajan işlemini, “duruma göre tepki kuralı: eğer koşul uygunsa tepki olur (condition-action rule: if condition then action)” tabanında işler.

Bu ajan ancak ortam tam anlamı ile gözlenebilir olduğunda başarılı olur. Bazı tepki ajanları kendinden önce ortamda gelişen eylemlerin koşullarını göz ardı ederek o anki durumu dikkate alan bilgiler de içerebilirler. Bahsi geçen basit tepkili ajan Şekil 2.45’te görülebilir.

Özellikle çevresel gözleme dayalı işlem yapan basit tepkili ajanlarda sonsuz döngü genellikle kaçınılmazdır.

2.6.2. Model-Taban Tepkili Ajanlar

Bu tip ajanlar kısmen gözlenebilir çevrelerde ki durumlar ile başa çıkabilirler. Gözlenebilir ve görülebilir çevrenin mevcut durumu ajan içerisinde depolandığından etrafındaki gözlemlenemiyen ortamı tanımlayabilir. Bu ortamın nasıl çalıştığı bilgisi “ortamın modeli” diye adlandırılır ve bu sebepten ajanın adı da “model tabanlı ajan”dır.

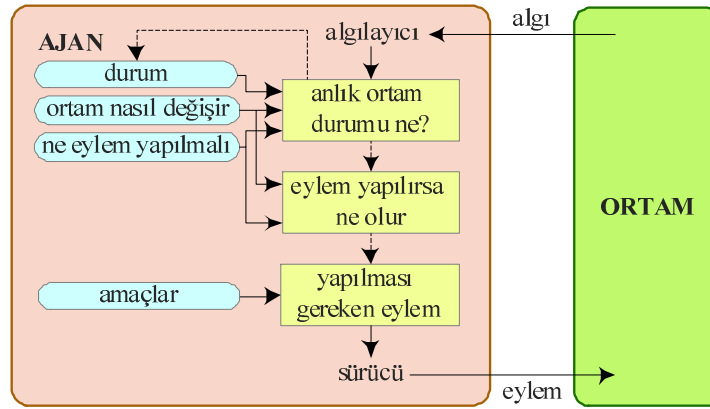


Şekil 2.46. Model-taban tepkili ajan

Model taban tepkili bir ajan belli ölçüde geçmişteki verilere dayanan bilgileri depolayarak mevcut gözlenemeyen durumla ilgili askari müştereklerde bir veri sağlar. Ve bu aşamadan sonra “basit tepkili ajan”daki gibi bir yol izler.

2.6.3. Hedef Tabanlı Ajanlar

Bu tip ajanlar “hedef” bilgisini kullanarak model tabanlı ajanların kabiliyetlerinin dahada genişletilmiş halidir. Hedef bilgisi, arzu edilebilir halleri tarif eder. Ajan için bu bilgi bir çok ihtimal arasından hedefe eriştirecek en uygun seçeneği bulma imkanı sağlar. Araştırma ve planlama, ajanların hedeflerini başarabilmesi için bir dizi eylem bulmaya yönlendirilmiş yapay zekanın alt dallarıdır.



Şekil 2.47. Hedef tabanlı ajan

Hedef tabanlı ajan daha az verimli gibi gözükmesine rağmen kararı etkileyen veriler açık ve değiştirilebilir olduğundan daha esnek bir modeldir.

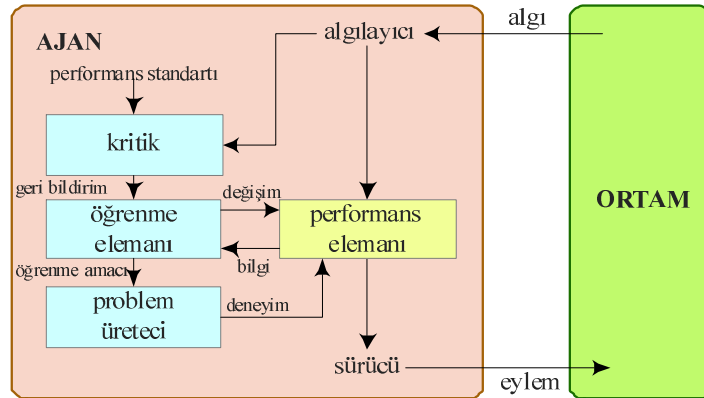
2.6.4. Fayda Bazlı Ajanlar

Hedefler tek başına bir çok ortamda yüksek kaliteli davranışlar ortaya çıkaracak kadar yeterli olmazlar. Örneğin; bir taksiyi hedefine ulaştıracak bir sürü güzergah vardır. Fakat bazıları daha hızlıdır, bazıları daha güvenlidir, bazıları da daha ekonomiktir vb. Hedefler “mutluluk” ve “mutsuzluk” halleri gibi sadece iki seçenekten ibaret bir durum ortaya koyarlar. Buna karşın daha kapsamlı bir performans ölçümü ne kadar “mutlu” olduğuna dair mukayese teşkil edecek farklı durumların da oluşmasına imkan sağlamalıdır. Geleneksel termonoloji eğer bir durum başka bir duruma tercih edilirse o zaman daha yüksek “fayda” var demektir, çünkü “mutluluk” bilimsel bir algı yaratmaz.

Bir “faydacı fonksiyon”, “mutluluğun” ilişkilendirildiği rakamsal değerlerden oluşan bir durum ortaya koyar. Faydacı fonksiyonun tam anlamıyla işlemini yerine getirmesi durumu hedeflerin yetersiz olduğu iki tür durum karşısında rasyonel kararlar alınmasını sağlar. İlk olarak karmaşık hedefler söz konusu olduğunda, bunlardan bazılarını faydacı fonksiyon (örneğin, hız ve güvenlik) uygun değişimlerle gerçekleştirir. İkinci olarak ajanın kesin olarak başaramadığı birkaç hedef söz konusu olduğunda fayda bazlı ajan, hedefin önemine göre bir tartma yaparak en olası başarıya erişimi mümkün kılar.

2.6.5. Öğrenme Ajanı

Bir öğrenme ajanı Şekil 2.48’de gösterildiği gibi dört algısal bileşene bölünebilir. İyileştirmeleri yapan “öğrenme elemanı” ile dış etkileri belirlemeden sorumlu “performans elemanı” arasında farklılık vardır. Daha önceden de belirttiğimiz gibi “performans elemanı” aslında ajanın ta kendisidir. Yani, algılar ve eyleme karar verir. “Öğrenme elemanı”, ajanın işi nasıl yaptığı ve “performans elemanın” gelecekte daha iyi sonuçlar elde etmesi için nasıl değiştirilmesi gerektiği ile ilgili geri bildirimleri “kritik” üzerinden kullanır.



Şekil 2.48. Öğrenme ajanı

“Kritik”, öğrenme elemanına ajanın belirlenmiş bir eylemi “performans standart”ına ne kadar uygun gerçekleştirdiğini bildirir. “Kritik” önemlidir, çünkü algılayıcı verileri tek başına ajanın başarısına ilişkin bilgi sunmazlar. Örneğin bir satranç programı rakibin şahmat olduğuna dair bir algı verisi oluşturur. Ancak bunun iyi bir şey olduğunu belirleyecek

bir “performans standard”ına ihtiyaç duyar. Algı verileri tek başına bu veriyi doğrulayamazlar. Kavramsal olarak tasarımcı, “performans standart”ını ajanın tamamı ile dışındaymış gibi düşünmelidir çünkü ajan kendi davranışlarına uydurmak için onu değiştirmemelidir.

Öğrenme ajanının son bileşeni “problem üretici”dir. Bu birim yeni veri tecrübelerine yol açacak eylem önerilerinde bulunmakla sorumludur. Olayın özü şudur ki; eğer “performans elemanı” doğru çalışırsa, sağlıklı veri akışı doğrultusunda eylemleri en iyi şekilde gerçekleştirmeye devam edecektir. Ancak, eğer ajan daha az araştırıyor ve kısa vadede standart altı eylemler gerçekleştiriyorsa, uzun vadede daha iyi sonuçlar veren eylemler keşfedebilir. “problem üretici”nin görevi ajanın bu tür eylemlerini öngörmektir. Bu durum bilim adamlarının bir deney yapıları ile aynı şeydir.

Bütün bu tasarımı daha somut hale otomatikleştirilmiş bir otomobil ile getirelim. “Performans elemanı” otomobilin sürüş eylemlerini seçmesi için gerekli olan bilgi ve prosedürlerin toplamını içerir. Otomobilin yola çıkarak sürüş gerçekleştirmesi bu “performans elemanı”nın kullanımı anlamına gelir. Kritik dış dünyayı gözlemler ve veriyi “öğrenme elemanı” vasıtası ile aktarır. Örneğin; “kritik”, otomobil üç şeritli bir yolda sola sert bir dönüş yaptıktan sonra yoldaki diğer sürücüler tarafından kullanılan şaşırıcı (eleştirel) dili gözlemleyen bileşendir. Bu tecrübeden yola çıkarak “öğrenme elemanı” bu eylemin kötü bir eylem olduğunu formüle edecek bir kural oluşturabilir ve “performans elemanı” bu yeni kural kendisine yüklenerek güncellenebilir. “Problem üretici”, otomobilin frenlerinin değişik yol koşullarında ve zeminlerde denendiği örnekte olduğu gibi, geliştirilmeye ve iyileştirmeye ihtiyaç duyulan belli davranışlar ve tecrübelerin tanımlanmasına yardımcı olur.

Çok ajanlı sistem, bir ortamdaki birçok birbirini etkileyen akıllı ajanlardan oluşan programlanmış sistemdir. Tek parçalı veya bireysel ajanlı sistem için çözümü imkansız veya zor olan problemlerde çok ajanlı sistemler kullanılır [77]. Bu tür sistemlerin önemli birkaç karakteristikleri şunlardır;

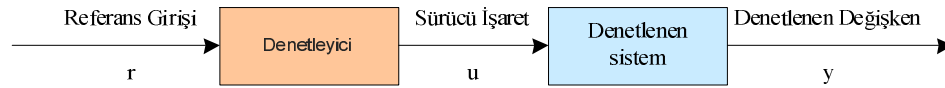
- Otonomi: ajanlar kısmen bağımsız ve kendinin farkındadır,
- Yerel bakış: hiçbir ajan tek başına sistemin bütünsel görüntüsünü yansıtmaz yada sistem, bu tür bilginin pratik kullanımını gerçekleştiremeyecek kadar ajan için karmaşıktır,
- Ademi merkeziyetçi: belirlenmiş kontrol ajanı yoktur (ya da sistem, etkili bir şekilde tek parçalı sisteme düşürülür) [77, 78].

3. DENETİM VE KARAR VERME YÖNTEMİ

3.1. Amaç ve Genel İlkeler

Teknik sistemler için geliştirilen matematik modellerde kullanılan pratik beceriler son yirmi yıldan beri önemli ölçüde iyileştirilmiştir. Bu durum, süreç modelleme tabanlı sofistike denetim metodlarının kullanımını artırmıştır [79].

Bir denetim modelinde yapılacak denetimin amacı, sistem ögeleri ve denetlenen sistem çıkışı, tasarlanan denetleyicide önemlidir. Amaçlar sistem girişini oluştururken, denetlenen değişkenler ise sistem çıkışını etkiler. Sistem çıkışının, önceden belirlenen standartlara göre davranması ya da çıkıştan alınan geri besleme işaret örneği ile istenen davranışı göstermesi sağlanabilir. Bunlar, sırasıyla “açık çevrim denetim sistemleri” ve “kapalı çevrim denetim sistemleri” olarak iki başlık altında toplanabilir [80].

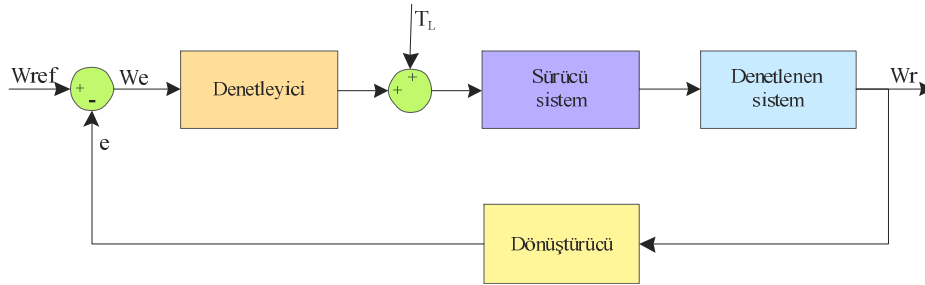


Şekil 3.1. Açık çevrimli denetim sistemi elemanları

Açık çevrimli denetim sistemlerinde önceden belirlenen sistem çıkışı standartlarına göre denetleyici tasarlanır. Sistemde beklenmedik bozucu girişler meydana geldiğinde, çıkışta kararsızlıklar görülebilmektedir. Çok karmaşık olmayan ve sistem girdilerinin daha net olduğu durumlarda, kolay ve ucuz olması nedeniyle endüstride tercih edilmiştir. Basit uygulamalarda bir işlemsel yükselteç ve pasif süzgeç elemanları ile tasarlanabilen bu denetleyici modeli, biraz daha karmaşık durumlar için bir mikrodenetleyici ile de gerçekleştirilebilir. Ancak her iki durumda da açık çevrimli denetleyiciler, sistem çıkışından geri bildirim almadıklarından sürücü işarete yeni düzenlemeler yapamazlar. Açık çevrimli denetim sistemine ilişkin ilkesel bir model Şekil 3.1.’de verilmiştir.

Kapalı çevrimli denetim sistemlerinde ise, denetlenen değişken, çıkışta örneklenerek, yeni sürücü işaretlerinin üretilmesi için denetleyiciye geri bildirim verir. Bu yüzden bu tür denetim sistemlerine “geri beslemeli denetim sistemleri” de denir. Şekil 3.2.’de geri besleme işareti bir dönüştürücü ile örneklenerek referans giriş işareti karşılaştırılır. Fark

işareti hata olarak değerlendirilip, bu hatanın en küçük yapılmasını amaçlayan yeni sürücü işareti değişen T_L değerleri için her seferinde yeniden düzenlenir. Böylece sistem davranışı bozucu etkilere ya da değişen uygulama şartlarına göre istenen referans düzeyde tutulmaya çalışılır. Denetim sistemlerinde giriş etkisi ve çıkış tepkisi arasında yazılacak birleşik bağıntıya transfer fonksiyonu denir. Tasarlanan denetim sisteminin kararlılığı incelenirken etki fonksiyonları değiştirilerek çıkış tepkisi istenen denetim düzeyi için denetleyici ayarları yapılır.



Şekil 3.2. Kapalı çevrimli bir hız denetim sisteminin ilkesel modeli

Geri beslemeli denetim türleri amaca bağlı olarak farklı şekilde sınıflandırılabilir. Tasarım ve inceleme yöntemleri açısından; doğrusal ve doğrusal olmayan, zamanla değişen veya değişmeyen sistemler olarak sınıflandırılırken, sistemde kullanılan işaret türleri açısından; sürekli verili ve ayırık verili veya modüle edilmiş ve modüle edilmemiş sistemler olarak ayrılabilir. Ancak denetim sistemleri genellikle ana amaç doğrultusunda sınıflandırılır. Bunlar, konum denetim sistemi veya hız denetim sistemi gibi amaç isimleriyle nitelendirilirler [81].

Kapalı çevrimli denetim sistemlerinde geleneksel en yaygın kullanılan yöntem PID (oransal-integral-türevsel) denetleyici modelidir. Ancak gelişen mikroişlemci teknolojisi ile bulanık mantık, yapay sinir ağı, sinirsel bulanık mantık, genetik algoritmali denetleyici modelleri geleneksel PID denetleyicilerle birlikte ya da PID olmadan sistem karmaşıklığına göre uyarlamalı (adaptif) olarak kullanılmaktadır. Denetlenecek sistemin tam bir matematiksel modelinin oluşturulamadığı durumlarda tek başına PID denetim yetersiz kalmaktadır.

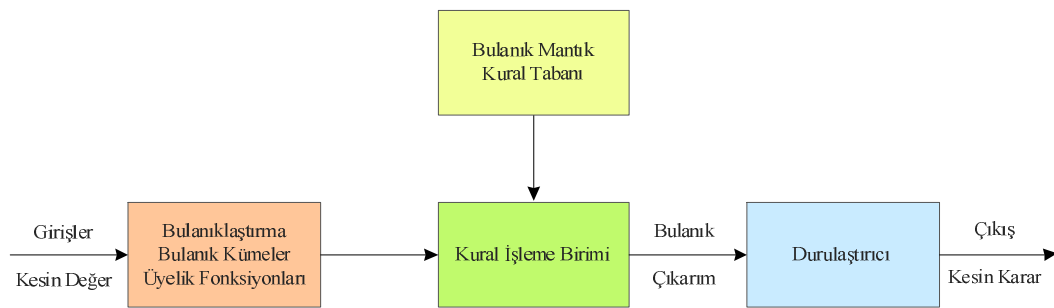
Bu tez çalışması kapsamında temel ilke; yenilenebilir enerji kaynaklı bir sistemin güç yönetimini esas alan, tüketim değerleri ve yük önceliklerine göre güç akışını yöneten dolayısı ile yük önceliklerine kaynak durumu ve kullanıcı konfor bilgisine göre karar

veren, ancak verdiği kararı bir geri besleme işareti olarak kullanmayan, seçici ve belirleyici ilkelere sahip bulanık tabanlı bir karar verici tasarımı hedeflenmiştir. Bu anlamda bulanık mantık tabanlı denetleyici kavramı yerine, yük öncelikleri, kullanıcı konfor kriterleri ve kaynak durumuna göre önceden belirlenmiş uzman veri tabanını esas alarak çıkarım yapan bulanık mantık tabanlı karar verici (BMKV) model tasarımı göz önüne alınmıştır.

3.2. Bulanık Mantık Tabanlı Karar Verici Model

Daha çok denetlenecek sistemin karışık ve matematiksel modelinin tam olarak elde edilememesi durumunda, sistem gerçek davranışını kesin değerler yerine sözel (dilsel) ifadelerle nitelendirip değerlendiren bir denetim modelidir. Bulanık Mantık Tabanlı Karar Vericiler, Fuzzy Logic Based Decision Maker kelimelerinin baş harfleriyle kısaca FLDM olarak adlandırılırlar. Bulanık küme kavramı üzerine oturmuş ve insan davranışlarını esas alan bir yöntemdir. Ancak karar verici, sistem çıkışını değerlendirirken üreteceği işarete karar vermek üzere uzman tasarımcı tarafından belirlenmiş kural tablosunu kullanır. Karar vericinin girişleri kesin değerler olup, sisteme uygun belirlenmiş bulanık kümelerde üyelik derecelendirmesi yapılarak giriş tasarımcı tarafından oluşturulan kural tabanında işlenir. Sonuç bulanık olup, çıkışına karar verilecek sisteme uygulanmadan önce durulaştırma işlemine tabi tutulur. Karar verici çıkışı kesin değerdir. Bu modele ilişkin blok şema Şekil 3.3.'de gösterilmiştir.

Bulanık mantık karar verici kuralları tasarımcılar tarafından sistem davranışı ve doğası dikkate alınarak belirlenir. Kararlı hal hatalarının yok denecek kadar az olması ve sistem parametreleri değişiminden etkilenmemesi en önemli tercih nedenlerindedir.



Şekil 3.3. Bulanık mantık karar verici blok gösterimi

3.3. Bulanık Mantık Kavramı

Bulanık mantık kuramı, bilinen Boolean mantığından farklı olarak, belirsiz veya kesin olmayan değerlerle ilgilenir. İlk olarak 1965 yılında Zadeh [82] tarafından ortaya konan bulanık küme kavramı, matematiksel olarak “az” veya “çok” tanımını, sayıların aynı isimli kümelerdeki üyelik derecelerine göre belirlemiştir. Böylece her hangi bir eleman bir kümede "var $\equiv 1$ " ya da "yok $\equiv 0$ " değerlikleriyle değil, o elamanın kümedeki varlık derecesi önem kazanmıştır. Bu durumda o eleman için sözü edilen kümede 0'dan 1'e kadar üyelik derecesi mevcuttur. Örneğin Boolean mantığına göre, bir yaş uzayında 170 cm ve üzerindeki boyların “UZUN” tanımlandığı bir kümede 169 cm boyu “KISA” olarak tanımlanır. Buna rağmen bulanık küme kavramında 169 cm'lik boyun “UZUN” kümesinde büyük bir üyelik değeri alırken, “KISA” kümesinde daha küçük bir üyelik değeri alır. Bir başka örnek olarak; kapının “AÇIK” ya da “KAPALI” olarak bilindiği modellere, kapının tam olarak “AÇIK” olmadığını ancak “KAPALI” da olmadığını ifade eden “AZ AÇIK” ya da kapının “ARALIK” olduğunu ve bu aralığın derecesini denetim sistemine dahil eden bir modeldir. Kapının zamanla konumu değiştiğinde, anlık durumun isabet ettiği kümelerde farklı üyelik derecelerine sahip olur. Bir aracın hızını değerlendirirken; “YAVAŞ-ÇOK YAVAŞ-HIZLI-ÇOK HIZLI” gibi sözel nitelendirme yapan kümelerde aracın anlık hızı, bu kümelerden bir ya da bir kaçında farklı üyelik dereceleri alır. Bu durumda uzman tasarımcı tarafından denetlenen veya karar verilen sistemin dinamik davranışına göre hazırlanan kural tablosundan yine sözel bir sonuca varan bulanık mantık denetim veya karar verici sistemi, “BİRAZ HIZLAN- BİRAZ YAVAŞLA- HIZLAN- YAVAŞLA” gibi kararlar alır. Ancak denetlenen sisteme, uygun yöntemlerle kesinleştirilmiş (durulaştırılmış) denetim işareti üretilerek uygulanır. Araç kullanan bir insanın düşünsel olarak verdiği kararı fiziksel olarak araç denetim organına uygulaması gibidir. Verilen kararda birçok çevresel etkenin yanında, denetlenen sistem modeli, sınırları ve değişen sistem değerleri de göz önünde bulundurulur. Bu nedenle bulanık mantık tabanlı karar verici veya denetim sistemleri uyarlamalı (adaptif) olarak bilinir ve yapay zekâ çalışmalarının içinde yer alır. Bulanık mantığın temeli sözel ifadeler ve bunlar arasındaki mantıksal ilişkiler üzerine kurulmuştur. Bulanık mantık karar verici veya denetleyici uygulanırken sistemin matematiksel modellenmesi de şart değildir. Ancak sözel ifadelerin bilgisayara aktarılması matematiksel bir temele dayanır. Bu matematiksel temel, bulanık kümeler kuramı ve bulanık mantık olarak adlandırılır [83–85].

3.3.1. Bulanık Mantık Yönteminin Gelişim Süreci

Bulanık mantığın ilk uygulaması, Mamdani'nin 1974 yılında bir buhar makinesinin bulanık mantık denetimini gerçekleştirmesiyle başlar. Bundan bir yıl sonra Zadeh'in [82] bulanık küme kavramının denetleyicilere uygulama kuralları ve bulanık mantık denetleyiciler Mamdani tarafından yayınlanmıştır [86]. Bir Hollanda şirketi 1980 yılında bir çimento fabrikasında, üç yıl sonrada Fuji su arıtma sistemlerinde bulanık mantık denetleyicileri kullanmaya başlamıştır. Omron şirketinin 1984'te başladığı çalışmalar birçok endüstriyel alanda uygulamaya konulmuştur. Japonya'da Sendai metrosu için Hitachi şirketinin geliştirdiği bulanık denetleme modeli, trenlerin farklı yükler altında ve farklı istasyonlarda durması ve hız denetiminde; etkin, enerji açısından verimli ve yüksek rahatlık ölçüleri ile değerlendirilmiştir.

Bir başka bulanık mantık denetim modeli ise 1985 yılında geliştirilen Takagi ve Sugeno [87] modelidir. Mamdani prensiplerine benzer olmasına rağmen, bulanık çıkarım yöntemleri birbirinden farklıdır. Kural tablolarının oluşturulmasında uzman sistemlerden yararlanılması ve kararlılık incelemesi her iki model için de araştırmaların temel konularındandır [83, 84]. Tokyo'da 1990 yılında bir mini helikopter uygulamasında, yer konum algılaması ve uçuş kararlılığı konusunda önemli başarımlar elde edilmiştir. Bu yıllardan sonra, video kameralar, elektrikli süpürgeler, çamaşır makineleri gibi bireysel kullanıcılara sunulan bulanık mantık denetleyicili sistemler, oldukça beğeni kazanmıştır. Özellikle Japon şirketlerin bu konudaki rekabeti robot çalışmalarında da bulanık mantık denetim modelinin hızla girmesine ve gelişmesine neden olmuştur. El yazısı tanıma sistemlerinde Sony şirketi 1993 yılında ilk çalışmalarını "The Palm Top" sistemi ile tanıtmıştır. Isı denetim sistemlerinde önemli çalışmalar ise NASA tarafından yapılmıştır [85, 88]. İlk bulanık mantık destekleyici yonga Togai ve Watanabe tarafından duyuruldu. Arkasından Yamazaki ve Sugeno ve daha sonrada Yamakawa bulanık mantık tabanlı mikroişlemci denetim sistemlerini duyurdular [89].

Bulanık mantık denetleyicilerde en iyi başarımları sağlayacak kural tablosunun, en iyi kararlılık için oluşturulmasında ve denetim sisteminin kararlılık incelemesinde önemli çalışmalar yapılmıştır. Hızlı öğrenme teknikleri, yapay sinir ağı desteği ile kendi kendine öğrenme mantıkları önerilmiştir [90–98].

Kesin değer girişli olan bulanık mantık teorisi temel üç alt birimden oluşmaktadır. Bulanıklaştırma ki bunun en önemli aracı bulanık kümelerdir, ikincisi uzman görüşüne

dayalı kural tablosu ile kural işleme birimi ve son olarak bulanık çıkarımın durulaştırılması ile kesin kararın elde edilmesidir.

3.3.2. Bulanık Kümeler ve İşlemleri

Klasik küme tanımında bir nesne bir kümenin elemanıdır ya da değildir. Bir nesnenin evrensel kümenin alt kümesi olan bir A kümesine ait olma derecesi $[0,1]$ aralığında bir üyelik derecesiyle veriliyorsa, o nesneyle birlikte nesnenin bu kümedeki üyelik derecesinin oluşturduğu kümeye bulanık küme denir [82, 88, 99]. Nesnenin bu kümedeki tam varlığı 1, yokluğu ise 0 üyelik derecesine sahip olmakla birlikte kümedeki dereceli varlığı üyelik fonksiyonları ile tanımlanır. Bir termometrenin ölçtüğü kesin sıcaklık değerinin, insanın eliyle hissettiği “az sıcak”, “sıcak” ya da “çok sıcak” gibi sözel bir nitelemesine karşılık oluşturulan küme bulanık bir kümedir. Bu nitelendirme için matematiksel yaklaşım üyelik fonksiyonları ile belirlenir. Böylece kesin değerler sözel olarak nitelendirilen kümelere bulanıklaştırılır. Bu değerler bulanık girişler olarak bilinir. Çıkış, denetlenecek sistemin dinamik davranışı bir dinamik işaret incelemesi ile oluşturulan kural tablosunda sorgulanıp bulanık karar verme mantığı ile elde edilir. Elde edilen bulanık değer, uygun yöntemlerle durulaştırılarak denetlenen sisteme kesin karar değeri olarak uygulanır [86, 87].

X evrensel kümesinde tanımlanan bulanık bir A alt kümesi için μ_A üyelik fonksiyonu;

$$\mu_A : X \rightarrow [0,1] \quad (3.1)$$

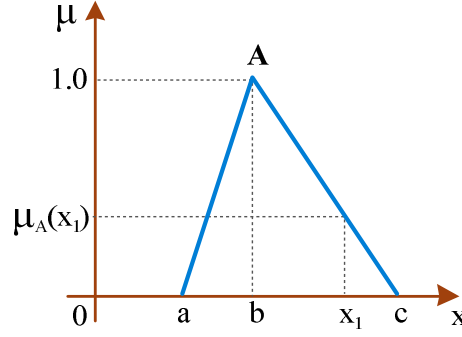
biçiminde verilir. Bir x değişkeninin anlık değeri gerçek sayı olduğu gibi, A kümesindeki üyeliği de üyelik fonksiyonunda gerçek bir sayıdır. Ancak x ve üyelik derecesi bir bulanık kümedir. Farklı x değerleri için tanımlanmış bir bulanık A kümesi aşağıdaki gibi verilir:

$$A : \frac{\mu_A(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_A(x_2)}{x_2} + \dots + \frac{\mu_A(x_1)}{x_1} \quad (3.2)$$

(3.2) bağıntısında bir cebirsel toplama değil, küme elemanlarının tamamını ifade eden bir işaret olan (+) kullanılır.

Bulanık Kümeler ve Üyelik Fonksiyonları:

Denetim sisteminin giriş bilgilerini sözel niteleyiciler olan bulanık kümelere üyelik dereceleriyle birlikte dönüştürmek için kullanılan bulanıklaştırma fonksiyonlarıdır.



Şekil 3.4. Üçgen üyelik fonksiyonu

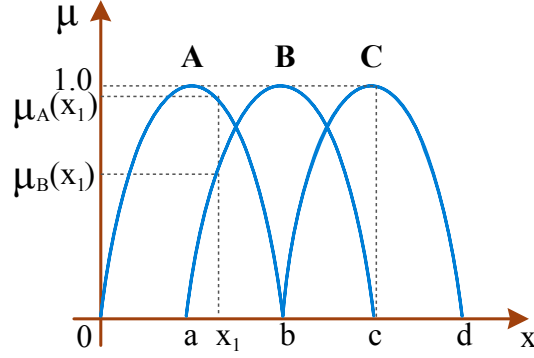
Bir x değişkeninin bulanık bir kümeye ait olma derecesi bu fonksiyonlarla belirlenir. Literatürde kullanılan önemli üyelik fonksiyonları aşağıda verilmiştir.

“Üçgen üyelik” fonksiyonu matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\mu_A(X) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{x-a}{b-a}, & b \leq x \leq c \\ 0, & x > c \end{cases} \quad (3.3)$$

Şekil 3.4.'de verilen üçgen üyelik fonksiyonunda anlık x_1 değeri öncelikle sözel olarak bulanık A kümesinin elemanı olduğu belirlenir. (b,c) aralığında tanımlanan üyelik fonksiyonuna göre $\mu_A(x_1)$ hesaplanır. Aynı anda bir x_1 girdisi başka bir bulanık kümede bir üyelik derecesine sahip olabilir. Örneğin bu bulanık küme B olsun. Bu durumda x_1 anlık girdisi için $\mu_B(x_1)$ üyelik değeri de B kümesi için tanımlanmış üyelik fonksiyonundan hesaplanır. Bu her iki üyelik değeri de bulanık çıkarım için belirlenecek yöntemde kullanılacaktır. Böyle bir durum sinüzoid üyelik fonksiyonu için Şekil 3.5.'de verilmiştir [100].

“Sinüzoid üyelik” fonksiyonları belli bir açısal frekansa (ω) sahip olup Şekil 3.5’te B ve C kümeleri A kümesine göre $\pi/2$ radyan kadar ötelenmiştir. Buna göre $x=x_1$ anlık girdisi hem A, hem de B kümesinde üyelik derecesine sahiptir.



Şekil 3.5. Sinüzoid üyelik fonksiyonları

Bu üyelik dereceleri $a \leq x \leq b$ için ($d=2b=4a$) olmak üzere aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned}\mu_A(x_1) &= \sin \omega x_1 \\ \mu_B(x_1) &= -\cos \omega x_1 \\ \mu_C(x_1) &= 0\end{aligned}\quad (3.4)$$

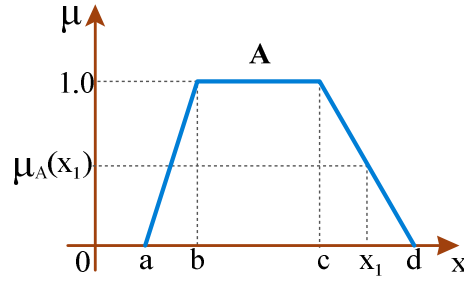
$$\omega = \frac{\pi}{2a} = \frac{\pi}{b} = \frac{2\pi}{d}\quad (3.5)$$

Eğer $c \leq x \leq d$ arasında anlık bir x girdisi varsa sadece C kümesinde sıfırdan farklı bir üyelik derecesine sahip olur ki buda $\mu_C(X_1) = -\sin \omega X_1$ biçiminde tanımlanır.

“Yamuk üyelik” fonksiyonu için x anlık girdilerinde A kümesindeki üyelik değerleri (3.6) numaralı bağıntı ile tanımlanır.

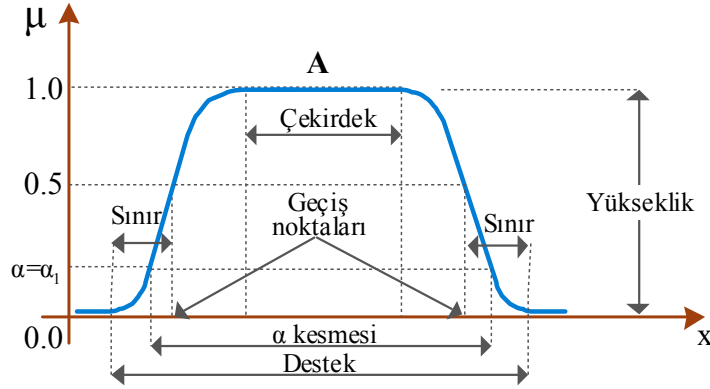
$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{c-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & x > d \end{cases}\quad (3.6)$$

Şekil 3.6.’da yamuk üyelik küme fonksiyon biçimi verilmektedir.



Şekil 3.6. Yamuk üyelik fonksiyonu

Bunların dışında Gaussian, Bell, Cauchy veya üstel fonksiyonlar da üyelik fonksiyonu olarak seçilebilmektedir [99].



Şekil 3.7. Üyelik fonksiyonlarının bazı ortak özellikleri

Üyelik fonksiyonlarının bazı ortak özellikleri vardır. Bunlar sırasıyla Şekil 3.7 göz önünde bulundurularak şöyle açıklanabilir [99, 100].

Çekirdek: X genel uzay kümesinin A gibi bir üyelik fonksiyonunda 1 üyelik derecesine sahip olan kesin sayı bölgesidir. Göbek olarak da bilinir.

$$\text{Çekirdek}(A)=\{x, \text{ öyle ki } \mu_A(x)=1\} \quad (3.7)$$

Geçiş Noktaları: Bir A kümesinin geçiş noktaları, o kümede üyelik derecesi 0,5 olan kesin sayılardır.

$$\text{Geçiş noktası}(A)=\{x, \text{ öyle ki } \mu_A(x)=0.5\} \quad (3.8)$$

Sınır: A bulanık kümesinde üyelik değerleri 0 ile 1 arasında kalan ancak 0 ya da 1 olamayan kesin sayılar kümesidir.

$$\text{Sınır}(A) = \{x, \text{ öyle ki } 0 < \mu_A(x) < 1\} \quad (3.9)$$

Destek: Bir A kümesinin desteği o kümedeki üyelik derecesi 0'dan büyük olan x kesin sayılar kümesidir.

$$\text{Destek}(A) = \{x, \text{ öyle ki } \mu_A(x) > 0\} \quad (3.10)$$

α -kesmesi: A kümesinde üyelik derecesi α 'ya eşit ya da daha büyük olan kesin sayılar kümesidir.

$$\alpha\text{-kesmesi}(A) = A_\alpha = \{x, \text{ öyle ki } \mu_A(x) \geq \alpha\} \quad (3.11)$$

Üyelik derecesi sadece α 'dan büyük olan ama α 'ya eşit olmayan kesin sayılar kümesi de “etkin α -kesmesi” olarak tanımlanır. Üyelik derecesi α 'ya eşit olan kesin sayılar kümesi ise o bulanık kümenin “seviye kümesi” olarak bilinir.

Yükseklik: Bir kümenin en büyük üyelik derecesi o kümenin yüksekliğidir. Normal küme yüksekliği 1'dir. Yüksekliği 1'den farklı olan kümeler uygun katsayılarla normalize edilir.

Eğer bir bulanık kümenin destek kümesi bir tek elemana sahip ise bu kümeye “bulanık tekil” denir. Bulanık bir kümenin geçiş noktaları arasındaki mutlak farka “bant genişliği” denir [88, 99, 100].

Bulanık Küme İşlemleri:

Bulanık kümelerde de klasik kümelerdekine benzer, kesişim, birleşim, tümlenme gibi işlemler vardır. Ancak bağıntılar birbirinden farklıdır. X evrensel kümesinde tanımlanan A ve B gibi iki bulanık küme verilmiş olsun. Örneğin bu iki kümenin “birleşimi”, herhangi bir x elemanının bu kümelerdeki en büyük üyelik değerinin seçilmesidir.

Birleşim işlemi $A \cup B$ olarak gösterilir. Her hangi bir x elemanının bu kümedeki üyelik derecesi bağıntı (3.12)'deki gibi ifade edilir.

$$\mu_{A \cup B} = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad x \in X \quad (3.12)$$

Bulanık kümelerin “kesişim” işlemi de $A \cap B$ biçiminde gösterilir. Ancak, her hangi bir x elemanın bu kümedeki üyelik derecesi, A ve B kümesindeki üyelik derecesi en küçük olanın seçilmesidir.

$$\mu_{A \cap B} = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad x \in X \quad (3.13)$$

X evrensel kümesinde verilen bulanık A kümesinin “tümleyeni” olarak da aşağıdaki tanım verilir.

$$\mu_{A^c(x)} = 1 - \mu_A(x) \quad (3.14)$$

“Normalizasyon” işlemi genellikle en büyük üyelik derecesi 1’den farklı kümeler için yapılır:

$$\mu_{norm(A)} = \mu_A(x) / \max(\mu_A(x)) \quad x \in X \quad (3.15)$$

Bulanık sayının bulanıklığının azaltılması olarak bilinen yoğunlaştırma (konsantrasyon) işlemi X evrensel kümesindeki her x için üyelik derecelerinin karesinin alınmasıdır. Üyelik derecelerinin karekökünün alınması işlemi de “genişletme” işlemi olarak tanımlanır ki buda bulanık sayının bulanıklığının artırılması anlamına gelir. İşlem gösterimi sırasıyla aşağıdaki gibidir [88].

$$\mu_{CON(A)}(x) = [\mu_A(x)]^2 \quad x \in X \quad (3.16)$$

$$\mu_{DIL(A)}(x) = [\mu_A(x)]^{\frac{1}{2}} \quad x \in X \quad (3.17)$$

Yoğunlaştırma işlemi “ÇOK”, genişletme işlemi “AZ” sözel niteleme anlamına gelir. Genellikle üyelik derecesi 0,5’ten büyük olan bulanık sayılara “AZ” işlemi, üyelik derecesi 0,5’ten küçük olan bulanık sayılara “ÇOK” işleminin uygulanmasına da “hassas ayarlama” denir [82, 99, 100].

3.3.3. Bulanık Mantık Kural Tabanı ve Bulanık Çıkarım

Bir bulanık mantık denetim sisteminde denetleyici girişleri olan kesin sayılar ölçülen ya da hesaplanan sistem değişkenleri olup, değişim aralıklarına göre buldukları bulanık kümeler (bulandırma işlemi) belirlenir. Girişlerin bu bulanık kümelerde ki üyelik dereceleri üyelik fonksiyonlarına göre hesaplanır. Böylece girişlerin kesin sayı değerlerine karşılık, buldukları “sözel” (dilsel) bulanık değerler ve bu kümelerde ki üyelikleri belirlenmiş olur. Bulanık verilerin işlenerek önce bulanık bir sonuca, sonra da durulaştırılmış kesin bir sonuca varılması için bulanık bağıntılarla bulanık mantık kural tablosu, “bulanık çıkarım” (karar verme birimi) ve durulaştırma yöntemi belirlenir.

Denetim sistemi durum değişkenleri olan x , y , z sözel değişkenlerinin U , V , W uzaylarında tanımlanmış A_i , B_i , C_i sözel değerleri olmak üzere;

$$R_i \equiv E\check{G}ER \ x = A_i \ ve \ y = B_i \ ise \ O \ HALDE \ z = C_i \ i = 1,2, \dots, n \quad (3.18)$$

$$R_i \equiv E\check{G}ER \ x = A_i \ ve \ y = B_i \ ise \ O \ HALDE \ z = f_i(x, y) \ i = 1,2, \dots, n \quad (3.19)$$

biçiminde bulanık bağıntılar tanımlanabilir. Genel olarak bir bulanık kural,

$$E\check{G}ER(IF) \ durum = x \ VE(AND) \ durum = y \ ise \ O \ HALDE(THEN) \ denetim = z \quad (3.20)$$

biçimindedir. Bulanık kurallar sistem tasarımcısı tarafından istenen sistem çıkışı dinamik davranışı için oluşturulur. Sistem davranışının durum ve denetim değişkenlerine olan tepkesinin sistem tasarımcısı tarafından iyi bilinmesi gerekir.

Mamdani'nin [86] bulanık çıkarmasında kullandığı “min” bulanık içermesi; x durumunun A , y durumunun da B olduğu bir anda elde edilecek çıkış denetim değişkeninin C bulanıklığı için (3.21) bağıntısı verilebilir.

$$R_C \equiv AXB \equiv \int_{UXV} \mu_A(U) \cap \mu_B(V) / (U, V) \quad (3.21)$$

Burada kısaca yapılmak istenen; “ C durumunun U uzayındaki sözel değeri A 'daki üyelik derecesi ile y durumunun V uzayındaki sözel değeri B 'deki üyelik derecesini

karşılaştır ve bunlardan küçük olanı, denetim çıkış değişkeni z 'nin W uzayındaki sözel değeri olan C deki üyelik derecesi olarak belirle” işlemidir. Yani: “anlık durum” değerlendirmesi olarak;

$$\mu_C(z) = \min[\mu_A(x), \mu_B(y)] \quad (3.22)$$

işlemi yapılmıştır.

3.3.4. Durulaştırma ve Kesin Karar

Denetlenecek olan sistemden elde edilen x , y girdilerinin kesin değerleri bulanıklaştırıldıktan sonra bu değerler bulanık kümelerde anlık olarak birden fazla sözel değere sahip olurlar ve farklı kümlerde farklı üyelik dereceleri alırlar. Bu nedenle, x ve y sözel girdilerinin anlık üyelik değerlerinden en küçük olanı ya da en büyük olanı, denetim değişkeninin çıkış uzayındaki bulanık kümesinin bu değer üstünde üyeliğe sahip kısmını keser, atar.

“Max-dot çıkarım” yönteminde ise, bu değer çıkış bulanık kümesinin tepe değerini ölçeklendir. Bu, bir bulanık kuralın işlenerek anlık bulanık çıkışın elde edilmesidir. Anlık durumun diğer sözel girdileri için aynı yöntem uygulanır.

Bulanık çıkış elde edilince denetim sisteminin üreteceği denetim değişkeninin kesin değerini elde etmek üzere “durulaştırma” yöntemleri uygulanır. Mamdani'nin [86] kullandığı “ağırlık merkezi” yöntemine göre durulaştırılmış çıkış değeri, Z , (3.23) bağıntısıyla ifade edilir.

$$Z = \frac{\int_a^b \mu_C(z) z dz}{\int_a^b \mu_C(z) dz} \quad (3.23)$$

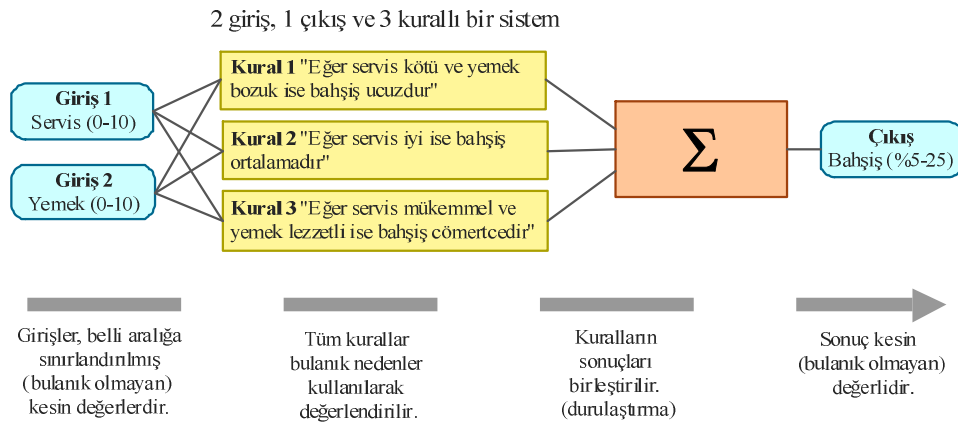
Uygulamada sıkça kullanılan diğer bir yöntem de Sugeno modelidir. Bu modelde anlık bulanık girişlere göre bulanık çıkış, girişlerin kesin değerlerine bağlı olarak matematiksel bir fonksiyonla ya da bulanık tekil kümeyle hesaplanır. Bulanık tekil kümelerin kullanıldığı model Sugeno'nun Singleton Yöntemi olarak bilinir [96]. Buna

göre, kullanılan kurallardan elde edilen çıkış, bulanık tekil kümelerdeki üyeliklere göre durulaştırılır. Bu durumda çıkış kümeleri ve üyelik değerleri ayrık olduğundan, durulaştırma işlemi (3.24) bağıntısıyla elde edilir.

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^4 \mu_{k_i}(z) k_i}{\sum_{i=1}^4 \mu_{k_i}(z)} \quad (3.24)$$

3.4. Örnek Bir Bulanık Mantık Karar Verme Modeli

Bu bölümde iki girişli, bir çıkışlı ve üç kurallı basit bir “Bahşış Verme Problemi” için servis ve yemek kalitesine göre ödenmesi muhtemel bahşış yüzdesini tahmin eden Bulanık Mantık Karar Verme modeli örneği açıklanmaktadır. Böyle bir örnek modelin blok gösterimi Şekil 3.8.’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Bahşış problemi için Bulanık Mantık Karar Verme Modeli

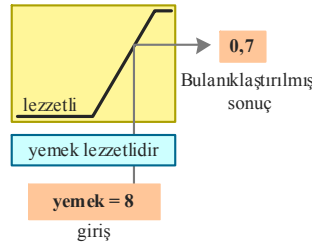
Bulanık Mantık Karar Verme süreci beş kısımdan oluşmaktadır:

- Giriş değerlerinin bulanıklaştırılması,
- Bulanık işlemlerin uygulanması,
- Çıkarım metodunun uygulanması,
- Tüm kural çıkışlarının birlikte değerlendirilmesi,
- Durulaştırma.

Bulanıklaştırma ve durulaştırma arasındaki Bulanık Mantık Karar Verme sürecinin bahsi geçen tüm bileşenleri “Bahşış Problemi” örneği kullanılarak aşağıdaki gibi açıklanabilir.

3.4.1. Giriş Değerlerinin Bulanıklaştırılması

İlk adım; giriş değerlerini almak için ve bu değerlerin üyelik fonksiyonları yardımı ile uygun bulanık kümelerin her birine ait değerlerini belirlemek içindir. Bahsi geçen “Bahşış probleminde” Şekil 3.8’den de anlaşılacağı üzere “servis” (birinci) ve “yemek” (ikinci) olmak üzere iki giriş değeri vardır. Bu giriş değerleri belirli aralıkta (0 ile 10 arasında) sınırlandırılmıştır. Her problemde olduğu gibi girişler daima kesin değerlidir. Birinci giriş değeri olan “servis” için; “yetersiz”, “iyi” ve “mükemmel” olarak isimlendirilmiş üç üyelik fonksiyonundan oluşan bir bulanık küme tasarlanmıştır. İkinci giriş değeri olan “yemek” için ise; “bayat”, “iyi” ve “lezzetli” olarak isimlendirilmiş yine üç üyelik fonksiyonundan oluşan başka bir bulanık küme tasarlanmıştır. Kesin giriş değerleri, bu iki bulanık kümedeki denk gelen üyelik fonksiyonları ile kesişir ve giriş kesin değerine karşın bulanıklaştırılmış bir değer üretir.

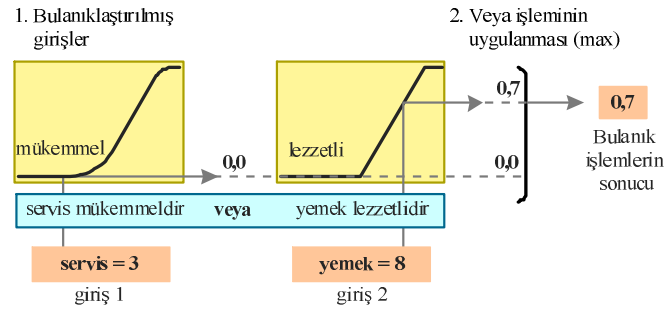


Şekil 3.9. Kesin giriş değerinin bulanık kümedeki üyelik değerinin belirlenmesi

Restorandaki 0-10 arası bir ölçükle puanlanmış yemek kalitesinin, aynı giriş değerine ait bulanık kümenin “lezzetli” olarak adlandırılmış üyelik fonksiyonundaki sözel değeri Şekil 3.9’da görüldüğü gibidir. Giriş değeri “8” olarak kıymet biçilmiş bir yemeğin, lezzetli kümesindeki üyelik değeri $\mu = 0,7$ dir. Bu şekilde her bir kesin giriş değerinin bulanıklaştırılmış karşılığı hesap edilir.

3.4.2. Bulanık İşlemlerin Uygulanması

Girişler bulanıklaştırıldıktan sonra, elde edilen bulanık değerler her kural için yeterlidir. Ancak bir kuralın birden fazla parçası varsa doğal olarak birden fazla bulanıklaştırılmış sonucu var demektir. Bu durum, bulanık işlemler uygulayarak bu kural için tek bir değer elde ederek aşılır. Daha sonra bu sonuç değeri bulanık çıkış üyelik fonksiyonuna uygulanır. En yaygın olarak kullanılan ve bilinen bulanık işlemler “VE” (kesişim) ve “VEYA” (birleşim)’dir. VE metodu *min* (minimum) ve çarpmayı destekler. VEYA metodu ise *max* (maksimum) ve cebirsel toplamı destekler. VEYA metodu, Şekil 3.10’da görülebildiği gibi bahşiş verme probleminde bir kuralın bulanıklaştırılmış değerlerinin işlemi için kullanılmıştır.



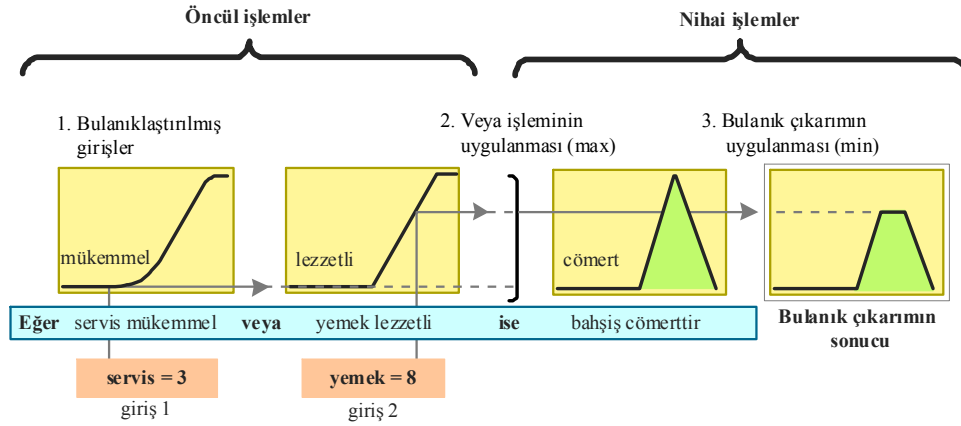
Şekil 3.10. VEYA bulanık işlemi

Bulanıklaştırma sürecinin iki farklı aşamasında (servis mükemmel ve yemek lezzetli) bulanık üyelik değeri sırası ile 0,0 ve 0,7 olarak üretilmiştir. Bulanık VEYA işlemi bu iki değerın maksimumunu (ki bu değer 0,7’dir) basit bir şekilde seçer ve bu kuralın bulanık işlemini Şekil 3.10’dan da görüldüğü üzere tamamlar.

3.4.3. Çıkarım Metodunun Uygulanması

Bulanık çıkarım metodunu uygulamadan önce kuralların ağırlıkları belirlenmiş olmalıdır. Her kural 0 ile 1 arasında reel sayı olmak üzere bir ağırlığa sahiptir. Her kural için uygun ağırlıklar seçildikten sonra, bulanık çıkarım metodu uygulanır. Çıkarım metodu için önceden; “ucuz”, “ortalama” ve “cömert” isimleri ile tanımlanmış bulanık çıkış kümeleri, bu sistemi çok iyi tanıyan ve bahşiş sistemini veya insanların servis ve yemek

değerlendirme algısını iyi çözümlayebilmiş tasarımcı tarafından, oluşturulur. Kuralların oluşturulması ve her bir bulanık çıkarımın yapılabilmesi için bu tasarımcı uzman görüşüne ihtiyaç vardır. Bulanık işlemde çıkan sonuç bu çıkış bulanık kümesinde kurala bağlı olarak bir bulanık kümede karşılık buldurulur. Geri kalan işlemler sadece matematiktir.



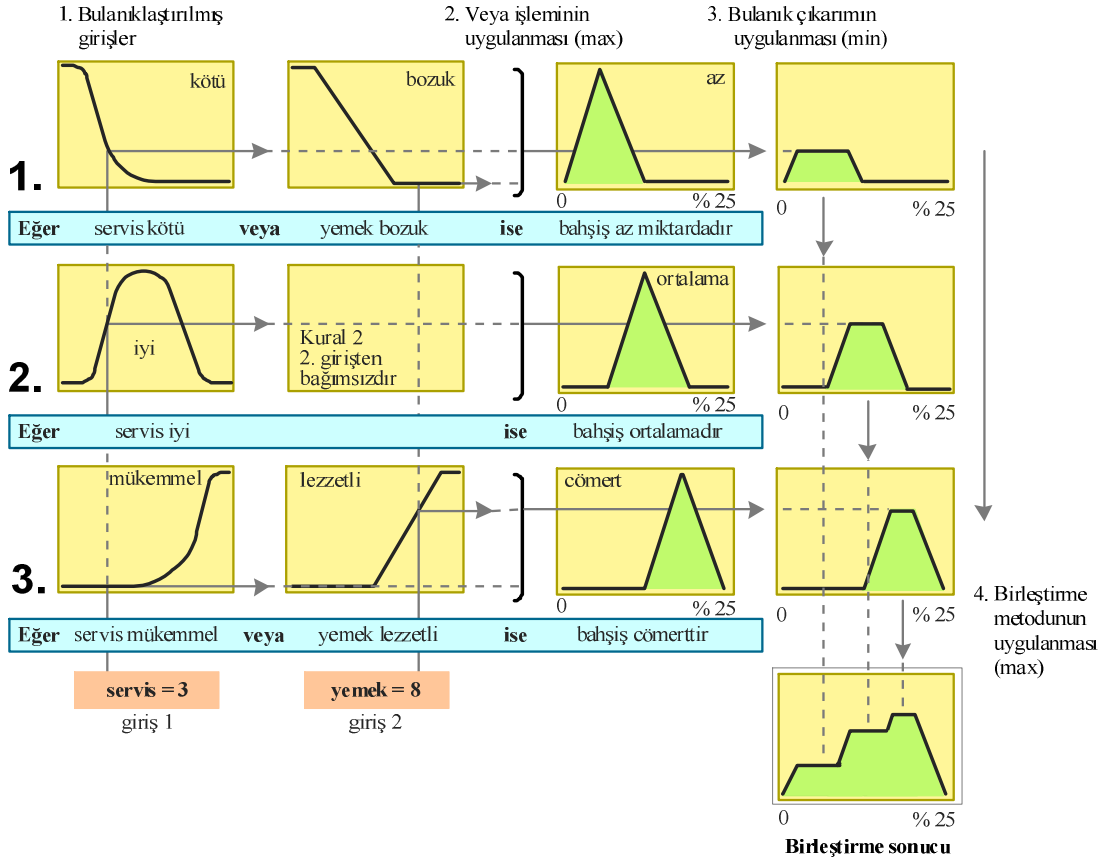
Şekil 3.11. Bir kural için bulanık çıkarım

Kesiştiği bulanık kümesi Şekil 3.11'de gösterilen kural sonucu bulanık çıkış kümesini ilgili üyelik değerinden itibaren üst kısmını atar, alt kısmının alanını alır. Bu alan, kümülatif bulanık çıkarımda kural birleştiriminin bir parçası olarak kullanılacaktır.

3.4.4. Tüm Kural Çıktılarını Birleştirmek

Birinci, ikinci ve üçüncü adımda anlatılan işlemler tüm kurallar için tekrar edilir ve birçok bulanık çıkarım alanı elde edilir. Bu alanların birleştirilmesi yapılmadan durulaştırma işlemine geçilmez.

Daha önceden de belirtildiği üzere üç kurallı olarak tasarlanan BMKV sistemi, tüm kuralları işlenen ve bulanık çıkarım ile elde edilen kümülatif bir şekilde bulanık olarak ölçeklenmiş bahşış kümelerini birleştirmiştir. Bu birleşimin sonucu Şekil 3.12'de sunulmaktadır. Kurallar arttıkça işlem basamakları da artacağı için nihai birleşimin şeklinin değişeceği bu örnekten kolaylıkla anlaşılabilir. Çoğu kez her bir kural girişler arasında işleme bağlı olarak bulanıklaştırılmış bir sonuç üretir. Ancak uzman tasarımcı bazı kurallarda girişlerin tümünü dikkate almayabilir (Şekil 3.12'deki 2. basamakta olduğu gibi).

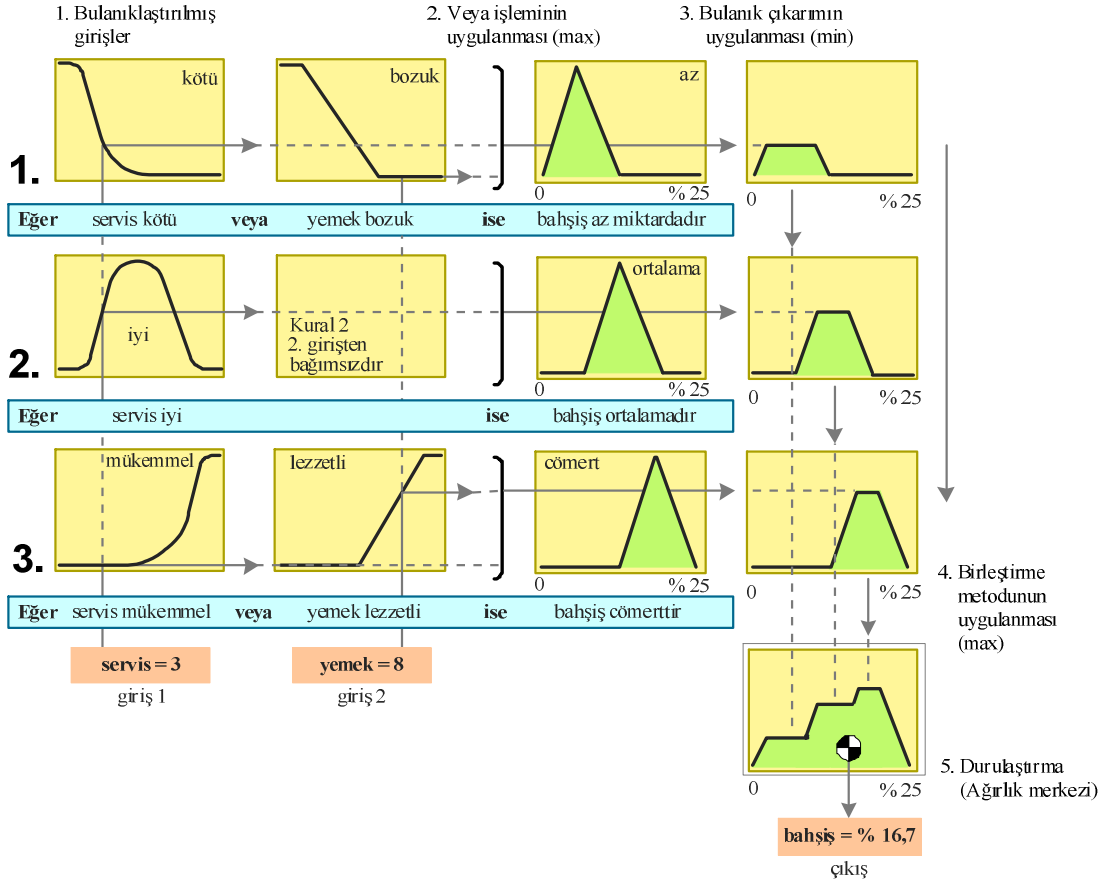


Şekil 3.12. Üç kural için tüm bulanık çıkarımların birleştirilmesi

3.4.5. Durulaştırma

Kısım 3.3’de ifade edildiği gibi, bir çok durulaştırma yöntemi mevcuttur. Belki de bunlar arasındaki en yaygın kullanılanı “ağırlık merkezi” hesaplama metodudur. Bu metod, bulanık çıkarım adımıyla kümülatif ölçekli bulanık kümenin geometrik alan merkezini hesap ederek bir değer elde eder. Durulaştırma sonucu kesin değerli bir sayıdır ve nihai çıkış kararı ya da denetleyici değeridir.

Örnek alınan bu modelde, örneklenmiş giriş değerleri için müşterinin ödeyeceği en makul bahşış miktarı %16,7 olarak hesaplanmıştır. En lezzetli yemek ve en iyi servis için ödenecek bahşış yüzdesi 25 olarak tasarlanmış bu modelde ortalama bir bahşış kararı verilmiş sayılır [55].



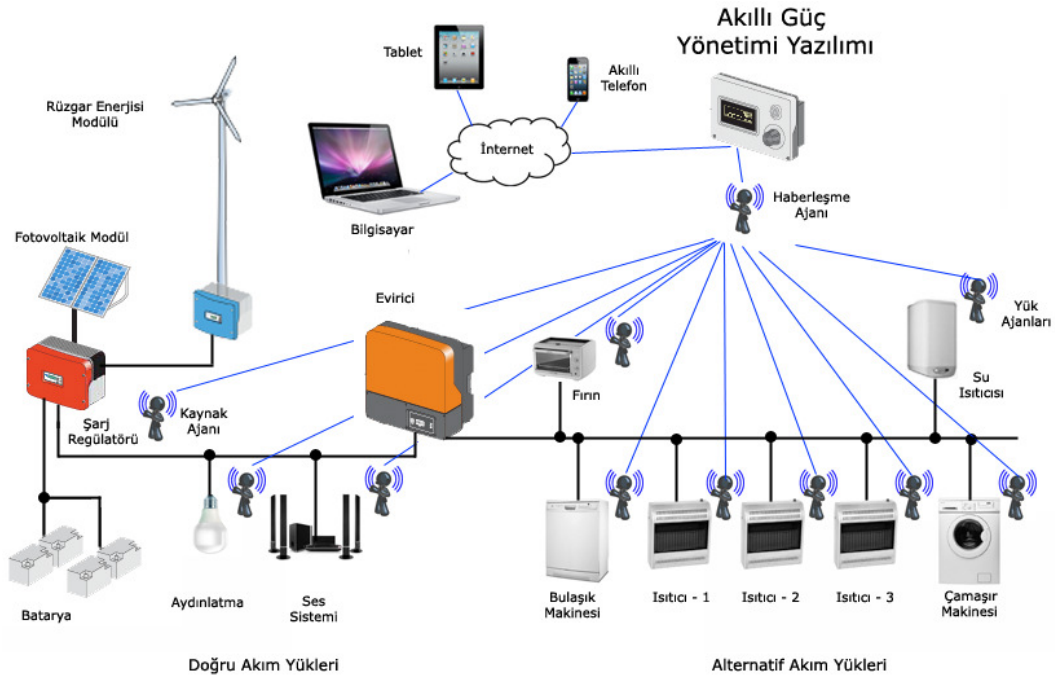
Şekil 3.13. BMKV adımları ve durulaştırma süreci

4. ÇOK AJANLI SİSTEM İLE GÜÇ YÖNETİMİ

4.1. Giriş

Gerek uluslararası birtakım sözleşmeler nedeniyle gerekse geleneksel enerji kaynağının azalması ve buna ters orantılı olarak enerji ihtiyacının artması nedeniyle, her ne şekilde olursa olsun mevcut enerjinin daha verimli ve daha etkin kullanılması konusunda çok hızlı gelişmeler yaşanmaktadır. Enerjinin üretim ve tüketiminin değişken ve dinamik koşullarında en etkin ve en verimli biçimde kullanılmasına yönelik güç yönetim sistemi ile donatılmış tüketim birimleri “akıllı şebeke” kavramında bile çok önem arz etmektedir. Güç yönetimi yapılabilecek model bir sistem en genel hali ile Şekil 4.1’de görüldüğü gibidir.

Güç yönetimi, üretim ve tüketim birimleri için ayrı ayrı olabileceği gibi, karmaşık olmasına karşın, her ikisi birlikte de yapılabilir. Bu tezin konusu, Kısım 1.5’te ifade edildiği üzere, Yenilenebilir Enerji Kaynaklı bir sistemin kaynak verileri dikkate alınarak tüketim birimlerine yönelik bir güç yönetimini kapsamaktadır. Dolayısıyla, böyle bir güç yönetim modelinde kaynak ve tüm tüketim noktalarına ait anlık güç değerleri bilinmelidir.



Şekil 4.1. Güç yönetimi yapılabilecek bir sistemin genel prensip şeması

Günümüz tüketim cihazları ve kaynak birimlerine bakıldığında böyle bir verinin elde edilmesi güç yönetiminin temelini teşkil etmektedir. Bu nedenle, tüm tüketim aygıtları ve kaynak birimleri için onların anlık güç tüketim bilgilerini ölçecek Kısım 2.7’de tarif edilen türde ajanlara ihtiyaç vardır.

Güç yönetim ajanları, kumanda ve kontrol düzenekleri ya da elemanları kullanarak ortama göre davranan ve elde etmeye çalıştığı amaçlara doğru sistem aktivitelerini yönlendiren, bunlarla birlikte algılayıcılar vasıtasıyla sistemi gözlemleyen, otonom bir varlığa sahip olmalıdır. Diğer taraftan bu ajanlar tüketicilerin sistemlerini genişletecek veya değiştirecek yeni yatırımlar yapmadan kullanılabilir olmalıdır. Bu da ancak kablosuz veri transferine sahip ve tasarımsal olarak tüketim birimi beslenme noktası olan fiş ile iç tesisat birimi olan priz arasında olmalıdır. Böylelikle tüketici, ne elektrik tesisatında ne de tüketim birimlerinde bir değişiklik yapmaya mecbur kalmadan, bu ajanları günümüz dünyasındaki tüm tüketim birimlerinde tasarım parametrelerine bağlı kalınarak kullanabilir. Bununla birlikte, ilk tasarım aşamasında tesisata bağlı bir yapı ta en başta düşünülürse kablosuz iletişime gerek kalmadan kablolu bir donanıma sahip olmak da güç yönetimi içindeki seçeneklerdendir.

Güç yönetimine adanmış bu tür sistemlerin rolü, güç tüketimini mevcut güç kaynaklarına göre tüketicinin konfor ölçütlerini de göz önüne alarak etkin ve verimli biçimde uyarlamaktadır. Bunun için de yük, kaynak ve haberleşme ajanı yardımı ile iletişim kurabilen ve enerji ihtiyacını mevcut kaynakları kullanarak kullanıcı konfor ve kriterlerini dikkate alarak idame eden akıllı bir güç yönetimi yazılımına ihtiyaç vardır. Bu tez çalışması kapsamında hedeflenen akıllı güç yönetimi, bulanık mantık karar verme modelli ve basit optimizasyon kriterleri ile tasarlanmıştır.

4.2. Güç Yönetimi ve Sistem Optimizasyonu

Güç yönetim sistemi optimizasyonu, basit yapısıyla yaygın olarak bilinen “sırt çantası” problemine (Knapsack Problem) dayalı olarak tasarlamak mümkün olmasına rağmen, her bir tüketici aygıtın anlık güç tüketimlerinin ve çözüm modeli örnekleme anındaki toplam var olan enerji miktarı sürekli değişken olduğundan “sınırsız sayıda sırt çantası ve sınırsız sayıda sırt çantası problemi optimizasyonu” var demektir [101, 102]. Bu nedenle, kullanıcı konforu ve tüketici aygıt kritik öncelikleri bu problemin yan ek sınırlamalarını teşkil etmektedir. Bütün “sınırsız sayıdaki değişken hacimli sırt çantası”

toplam örneklem sayısı ile sınırlandırılabilir. Böylece birden fazla ama “sınırlı sayıda değişken hacimli sırt çantası” problemi mevcut olur. Diğer taraftan, tüketici yüklerin “akıllı yönetici sistem” veya “kullanıcı” tarafından yetkilendirilmesine bağlı olarak örneklem anında yük aygıtının yetkilendirilip yetkilendirilmemesi veya yetkilendirilmiş ise kullanımda olup olmadığına göre “değişken değerli ve değişken sayıda aygıt varlığı” göz önüne alınmalıdır [103-104].

Kısaca;

- Sabit hacim yerine değişken hacimli birden çok ama sınırlandırılabilir sayıda sırt çantası, yani enerji kaynağı vardır.
- Sabit değerli sabit sayıda tüketici aygıt yerine, değişken değerli ve değişken sayıda birim, yani tüketici vardır.
- Mevcut enerji yeterli olduğu sürece “yetkilendirilmiş yük sayısı” maksimum olmalıdır.
- Her örneklem adımında “mevcut enerji” ve mevcut “yetkili ve bizzat kullanılan” yük durumu tespit edilerek “amaç fonksiyonu optimizasyonu” yapılmalıdır.

Güç yönetimi sistem modelinde; öncelikleri belirlenmiş yüklerin, mevcut enerji durumuna ve kullanımda olan yüklerin durumuna göre “bulanık mantık tabanlı bir karar verme modeli” yardımıyla her örneklem adımında yetkilendirilmesi yeniden yapılmaktadır. Standart tek boyutlu sırt çantası problemine göre kısmen daha karmaşık olan “çok boyutlu değişken sınırlı sırt çantası problem optimizasyonu” bağıntıları bu tezin çalışma konusu olan Akıllı Güç Sistemi Yönetim ve Optimizasyonu modeli için uyarlanabilir olup aşağıdaki gibi tanımlanabilir. Optimizasyonu yapılacak amaç fonksiyonu ve sınır değeri (4.1) ve (4.2) numaralı bağıntılarla tanımlanmıştır. Burada her “j” örneklem adımında yetkilendirilmiş ve kullanımda olan yüklerin tüketim toplamı, aynı örneklem adımındaki enerji kaynağına göre optimize edilmektedir.

$$\left(\sum_{i=1}^n u_i \cdot (w_i \cdot x_i) \right)_j \leq \left(\sum_{k=1}^N W_k \right)_j \quad j \in \{1, 2, 3, \dots, m\} \quad (4.1)$$

$$\left(\sum u_i \right)_{\max} \quad i \in \{1, 2, 3, \dots, n\} \quad u \in \{0, 1\} \quad (4.2)$$

Her bir j 'ninci örneklem adımındaki aygıt tüketim varlığı ve değeri bağıntı (4.3) ile ifade edilmiş olup sistemde var olan toplam enerji miktarının aynı örneklem adımındaki mevcut değeri bağıntı (4.4) ile ifade edilmiştir.

$$(w_i \cdot x_i)_j = x_{ij} \quad (4.3)$$

$$\left(\sum_{i=1}^N W_k \right)_j = C_j \quad j \in \{1, 2, 3, \dots, m\} \quad (4.4)$$

Kritik yükler ve kullanıcı konforu göz önünde bulundurularak maksimize edilmesi gereken fonksiyon bir vektör olup her örneklem adımındaki anlık değerleri BMKV modeli tarafından üretilir. “ u ” vektörü; bütün kritik yükler ve yetkilendirilmiş yükler için “1” değeri, diğer yükler için “0” değerini barındırın bir vektör olup tanımı (4.5)’de verilmiştir. Buna göre her bir örneklem adımında BMKV tarafından optimize edilen “ u ” vektörü tüketici aygıtları simgeleyen x vektörünün her bir elemanının model içinde varlık-yokluk değerini belirlemiş olur.

$$u = [u_1 \quad u_2 \quad u_3 \cdots u_n]_{1 \times n} \quad (4.5)$$

$$x = [x_1 \quad x_2 \quad x_3 \cdots x_n]_{1 \times n} \quad (4.6)$$

$$w = \begin{bmatrix} w_1 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & w_2 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & w_3 & \cdots & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & w_n \end{bmatrix}_{n \times n} \quad (4.7)$$

Bağıntı (4.6)’da gösterilen tüketici vektörü elemanları BMKV tarafından yetkilendirildiğinde doğrudan modele dahil edilmez. Bunun yerine, yetkilendirilmiş her bir yükün kullanılıp kullanılmayacağına sadece kullanıcı karar vereceğinden, her tüketici aygıt yetkilendirilmiş ve kullanım için devreye alınmış ise sırt çantası probleminin içine dahil edilir. Böylece “ w ” matrisi de yetkilendirilmiş yüklerin her bir örneklem adımında devrede

olup olmadıklarına bağlı olarak “1” ya da “0” değeri alan $n \times n$ boyutlu köşegen matris olarak (4.7) ifade edilmiştir.

Dolayısıyla, her bir (u_i, x_i, w_i) değeri her örneklem adımında “i” inci “x” nominal güç değerini ya da “0” değerini alan “tüketim miktarı” olarak “değişken değerli ve değişken sayıda tüketici” knapsack probleminde yerini almaktadır. (4.1) numaralı bağıntıda tanımlı problem (4.8) - (4.10) numaralı vektör formuyla yazılabilir.

$$[x \cdot w] = [x_1 \quad x_2 \quad x_3 \cdots x_n] \cdot \begin{bmatrix} w_1 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & w_2 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & w_3 & \cdots & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & w_n \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

$$[x \cdot w] = [x_1 w_1 \quad x_2 w_2 \quad x_3 w_3 \cdots x_n w_n] \quad (4.9)$$

$$\{\bar{u} \cdot (\bar{x} \cdot \bar{w})^T\}_j = [u_1 \quad u_2 \quad u_3 \cdots u_n] \cdot \begin{bmatrix} x_1 w_1 \\ x_2 w_2 \\ x_3 w_3 \\ \cdots \\ x_n w_n \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

Sonuç olarak elde edilen amaç fonksiyonu optimizasyonu aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\{\bar{u} \cdot (\bar{x} \cdot \bar{w})^T\}_j \leq (\sum W_k)_j \quad j \in \{1, 2, 3, \dots, m\} \quad (4.11)$$

Mevcut enerji durumu her an değişmekte olduğundan her örneklem adımında artan ya da azalan enerjiye göre sırt çantası hacmi, yani “amaç fonksiyonu” optimizasyonu da yeniden yapılmaktadır. Yani m adet optimizasyon işlemi yürütülmektedir.

Özetle;

- Her örneklem adımında toplam tüketim miktarı, toplam enerji miktarından düşük tutulacak ve böylece kritik yüklerin enerjisiz kalması önlenecektir.

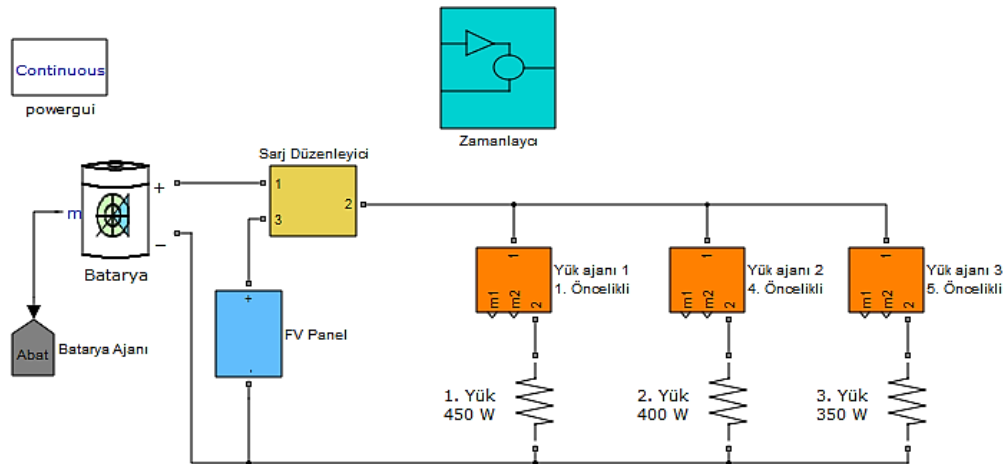
- Her örneklem adımında var olan enerji miktarı ve kullanıcı kriterleri dikkate alınarak toplam yetkilendirilmiş aygıt sayısı maksimum yapılacaktır. Ancak, kullanıcı devreye almadığı sürece yetkilendirilse bile o örneklem adımında optimizasyon problemi içine yani sırt çantasına dahil edilmeyecektir.

4.3. Güç Yönetimi Sistem Modeli ve Simulink Benzetimi

Güç yönetim sistemi için tasarlanan ve en önemli sistem bileşeni olan “ajanlar” ve “akıllı güç yönetimi yazılımı” deneysel olarak test edebilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklı (Fotovoltaik + Batarya) bir sistem kurularak deneysel tüketici birimi platformu kurulmuştur. Ama öncelikle “yönetimsiz sistem benzetim modeli” ve daha sonra “akıllı güç yönetimi ve optimizasyonu yapılmış sistem benzetim modeli” Matlab Simulink ile incelenmiş ve bulgular sunulmuştur.

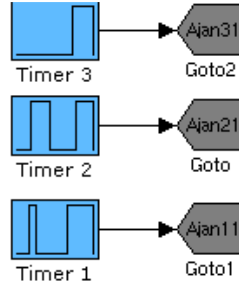
4.3.1. Denetimsiz Sistem Modeli

Bu çalışmada ele alınan güç sistemi modeli Şekil 4.1’de sunulmuş olan genel sistemin bir kısmı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kaynak olarak rüzgar ve fotovoltaikten oluşan karma kaynak yerine sadece fotovoltaik kaynak alınmış, yük olarak da sadece DC yükler ile sınırlandırılmış ve ajanlardan oluşan bir model tercih edilmiştir. Bu kıstasları esas alan tasarım, Matlab Simulink programı kullanılarak denetimsiz sistem benzetimi yapılmıştır ve Şekil 4.2’de verilmiştir.



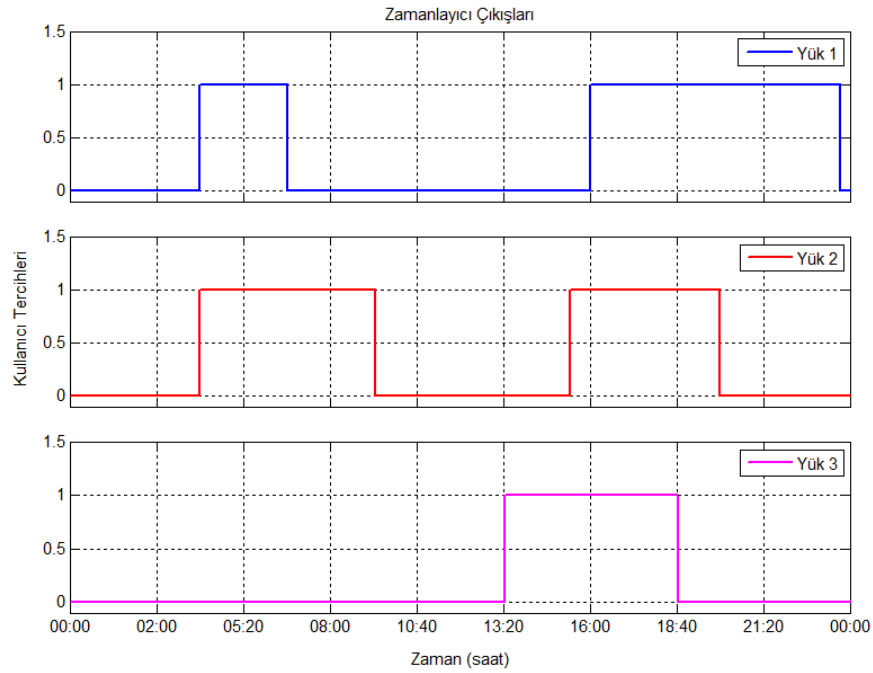
Şekil 4.2. Optimizasyonu yapılmamış sistem modelinin Simulink benzetimi

Benzetim tasarımı kullanılan bataryanın ölçüm ucundan, şarj durumu (SOC), batarya akımı ve talep edilen anlık güç gibi tüm veriler alınabildiği için ayrıca bir kaynak ajanı tasarımı yapılmamış ve bu fonksiyon kaynak ajanı gibi kullanılmıştır.



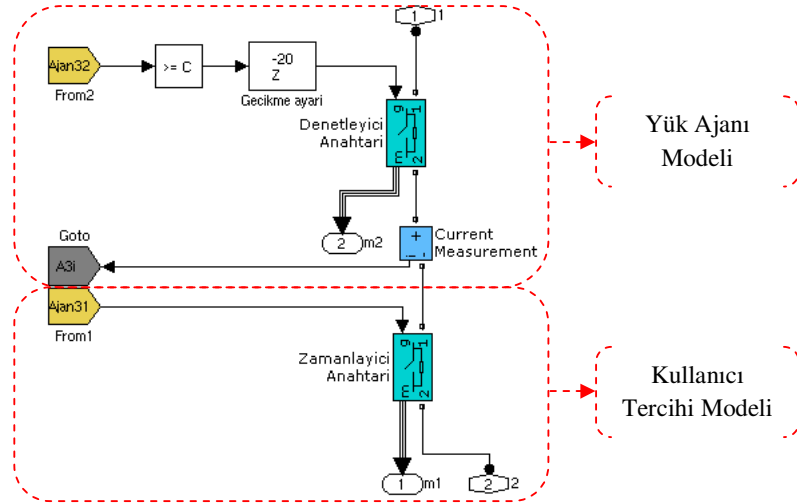
Şekil 4.3. Zamanlayıcı blokların iç şeması

Kullanıcıların yük üzerindeki davranışlarını modelleyebilmek için Şekil 4.2’de verilen zamanlayıcı bloklar oluşturulmuştur. Bu bloklar, Şekil 4.3’te verildiği biçimde geliştirilmiştir. İstendiğinde “Timer” ve “Goto” blokları çoğaltılarak “n” adet yük için belirli kullanıcı yetkileri tanımlanabilmektedir. Tasarlanmış zamanlayıcı bloklarının, ayarlanmış temsili kullanıcı tercihlerini gösterir grafik Şekil 4.4’te sunulmaktadır.



Şekil 4.4. Yükler için kullanıcı tercihlerini gösteren zamanlayıcı blok çıkışları

Zamanlayıcı bloğu çıkışında elde edilen kullanıcı tercihleri, Şekil 4.5'te görülen yük ajanlarının iç tasarımında, zamanlayıcı anahtarı olarak tanımlanmış yarı iletken anahtarının tetikleme kapısına (gate ucuna) iletilir. Gate ucuna gelen “1” işareti ile anahtar kapanır ve yük devreye alınmış olur, aksi durumunda yani “0” işareti ile yarı iletken anahtar açar ve yük devre dışı kalır. Böylece, kullanıcının arzu ettiği zamanda herhangi bir yükü devreye alıp/çıkarması, (4.3) ve (4.7) bağıntısına da bağlı olarak modellenmiş olmaktadır. Ancak, bu fonksiyon sadece kullanıcının yük üzerindeki “tercihi” veya “yetkilendirmesi” modelidir. Bu çalışmaya esas yük ajanının işlevi, yükün anlık tüketim gücünü tespit etmek ve bunu merkezi birime haberleşme ajanı üzerinden bildirmektir. Yani tüketici aygıtından Güç Yönetimini bilgilendiren bağıntı (4.6)'da verilmiş “x”, “yük” vektörünü oluşturmaktır. Sonrasında, yine merkezi birimden gelen “emir icrasına” göre yükün devrede kalıp/kalmamasını denetlemektir. Bu emir icrası (4.5) bağıntısında “u”, “yetkilendirme” vektörü ile verilmiştir. Ancak bu kısımda Güç Yönetimi modeli oluşturulmayacağı için vektörün tüm elemanlarının “1” olduğu kabul edilecektir. Yani tüm yükler geleneksel sistemlerde olduğu gibi sadece kullanıcı denetimindedir.

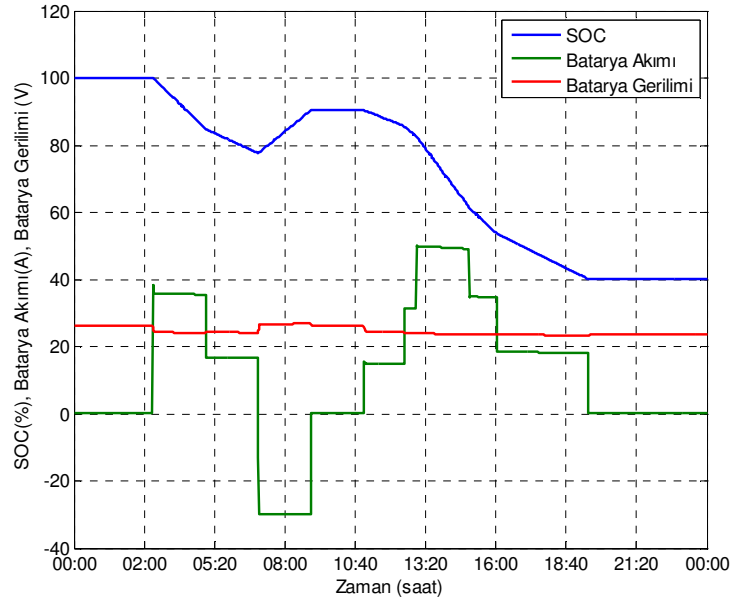


Şekil 4.5. Yük ajanı şematik gösterimi

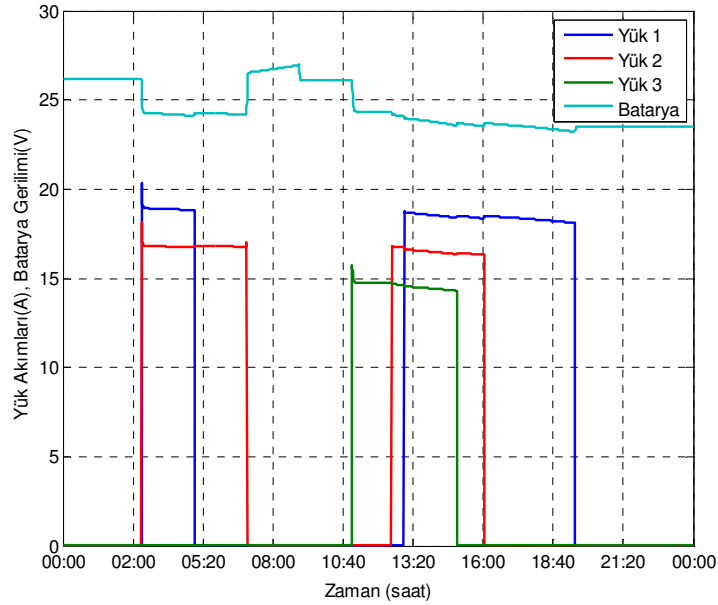
Şekil 4.5'te Simulink tasarımı sunulan blok şemanın birinci bölümü, “yük ajanı modeli”dir. Bu bölümde bir adet akım algılayıcısı vardır. Ve bu algılayıcının ölçüm ucundan alınan bilgiler anlık iletilmektedir. Diğer taraftan, gerçek tasarımdaki röle kontağı yerine kullanılmış yarı iletken elemanın “gate” ucuna gelecek “1” işaretiyle yük devreye

alınabilmek, tersi durumunda yük devre dışı bırakılabilmektedir. Dolayısıyla Güç Yönetim yazılımının yük yetkilendirmesi benzetimi sunulan yük ajanı modeli ile gerçekleştirilmiştir.

Şekil 4.2’de sunulan denetimsiz sistem modelinin benzetimi koşturulduğunda, Şekil 4.6’daki kaynak ajanıyla, Şekil 4.7’deki yük ajanlarının verileri elde edilmiştir.



Şekil 4.6. Kaynak ajanı verileri



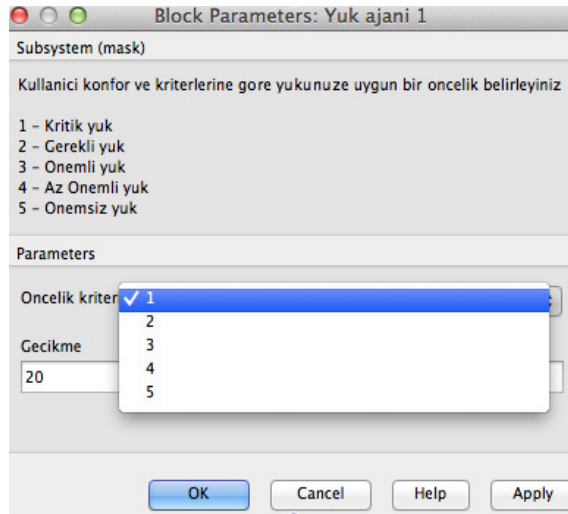
Şekil 4.7. Yük ajanlarının verileri

Karar verme modelinde belirleyici olarak kullanacağım giriş değişkeni, kullanıcı konfor ve kriterleridir. Tasarlanmış ajanı, Güç Yönetimi Yazılımı'na tanıtırken bu giriş değişkeni de kullanıcı tarafından Tablo 4.1'de verilen açıklamalar dikkate alınarak 1 ile 5 arasında bir değer seçilir.

Tablo 4.1. Yük öncelik listesi

Öncelik Sırası	Anlamları
1	Kritik yük
2	Gerekli yük
3	Önemli yük
4	Az önemli yük
5	Önemsiz yük

Bu öncelik sırasının karar verme modelinin benzetim tasarımı sürecinde de gereklidir. Bu yüzden Şekil 4.5'te iç tasarımı verilmiş yük ajanı benzetimine "C" değişkenli bir kıyaslama bloğu, denetleyici anahtarın gate girişi önüne yerleştirilmiştir. Bu "C" değişkeni Şekil 4.2'de sunulan sistem modelindeki tüm yük ajanları için tasarlanmış Simulink benzetim bloğu üzerinde oluşturulmuş "maske" yazılımıyla, Şekil 4.8'de incelenebileceği gibi tanımlanmıştır.



Şekil 4.8. Yük ajanı bloğu maskesi

Ancak daha önceden de belirtildiği üzere “C” ile tanımlanmış kullanıcı konforuna dayalı öncelik kriteri denetimsiz sistem modelinde her yük için “1” seçilmiştir.

4.3.2. Denetimli Karar Verme Modeli Sistem Benzetimi

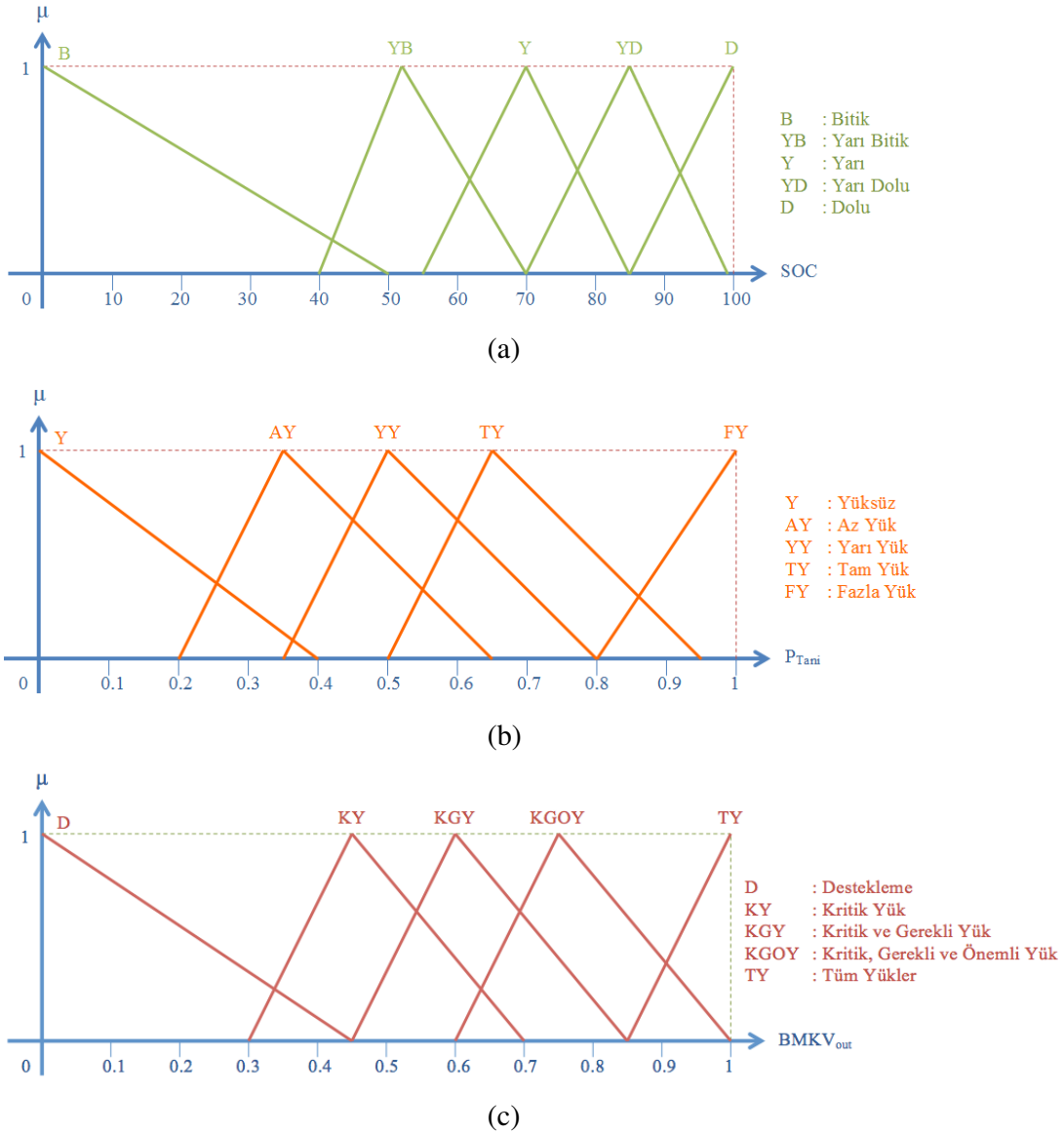
Tasarlanan sistemin “tam denetimli ve optimizasyonlu” modelinde Bölüm 3 ve Kısım 4.2’de ayrıntılı anlatılan “BMKV” ve “Değişken Değerli ve Değişken Hacimli Sırt Çantası” algoritması kullanılacak olup bu aşamada sistem optimizasyonuna yardımcı olan BMKV’nin tasarımı ve buna dayalı Güç Yönetim Modeli Benzetimi oluşturulmuştur.

Bu durum için, biri tüketilen ani güç ve diğeri şarj durumu (SOC) olmak üzere iki adet girişin yeterli olacağı düşünülmüştür. Elbette ki, Güç Yönetimi yapılacak herhangi bir sistemin denetleyici tipi ne olursa olsun giriş verilerinin biri kesinlikle tüketilen ani güç olmalıdır. Çünkü, tüketimi bilinmeyen bir denetim veya güç yönetimi açısından karar verme yapılamaz. Bu ani güç, örneklem zamanı ile de çarpılarak harcanan ani enerji de bulunabilmektedir. Yine, denetleyici tipinden bağımsız olarak Güç Yönetimi için ihtiyaç duyulan parametre kaynak enerjisinin örneklem anındaki değeridir. Batarya grubu için enerji hesabı şarj durumuna bağlı olarak yapılabilir. Ancak sistem modelinde kullanılan fotovoltaik kaynağın ürettiği birim zamandaki enerji azalsa da, günlük periyotta üretilen enerji değeri kümülatif olarak artmaktadır. Bu nedenle bir kaynağın belli bir üretim periyodundaki kümülatif enerji değeri bir denetleyici için uygun giriş parametresi değildir. Üstelik kaynağın tümü nominal değerde üretim yapsa dahi, şarj durumu yüksek olan batarya grubunun 1-2 saatlik kısa sürelerde verebileceği enerjinin çok çok altında kalabilmektedir. Örneğin, tasarımı yapılan sistemimizde, 24 V 270 Ah’lık bir depolama birimi, 6470 Wh değerinde bir enerji anlamına gelmektedir. Diğer taraftan, kaynaktan enerji akışı sisteme doğru olurken, batarya grubuna ihtiyaç yoksa veya az ihtiyaç varsa, SOC seviyesi düşmemektedir ya da az düşmektedir. Hatta kaynağın enerji üretimi, sistemin tüketim ihtiyacından çok ise, SOC seviyesinde azalma yerine yükselme gözlenmektedir. Dolayısıyla, asıl kaynak biriminin anlık akım değeri, bataryadan çekilen anlık akım değerine nazaran göz ardı edilebilir. Böyle bir varsayımda büyük bir hata gerçekleşmemektedir.

Tüm bunlar göz önünde bulundurulduğunda, tüketicilerin toplam çektiği ani güç değeri ve SOC değerinden başka bir girişe BMKV’de ihtiyaç olmadığı, dolayısıyla iki girişli bir Bulanık Karar Verme Modeli geliştirilmiştir. Basitliği nedeniyle, giriş ve çıkış

değerleri için bulanık küme olarak üçgen üyelik fonksiyonları tercih edilmiş olup Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Burada ele alınan benzetim modeline göre elde edilen bulgular değerlendirilerek, seçilen üçgen bulanık kümelerden yamuk kümlere geçiş yapılmıştır. Üçgen bulanık kümelerden kaynaklanan çıkış kararsızlığı bu bölümde vurgulanmış ve tasarımda iyileştirme yapılmıştır.

Bulanık Kümeler ve Üyelik Fonksiyonları:



Şekil 4.9. BMKV üçgen üyelik kümeleri (a) 1. giriş – SOC, (b) 2. giriş – Bağlı Toplam Yük, (c) BMKV çıkışı

Kullanılan şarj düzenleyici ve batarya tipine bağlı olarak, SOC değeri daha önceden de ifade edildiği gibi %20-30 seviyesine kadar düşmektedir. Bu değer altında, şarj düzenleyici genellikle enerji dönüşümü yapmaz. Dolayısıyla, Şekil 4.9a'da tanımlanan beş üyelik fonksiyonundan BİTİK olanının bacak ayarı yaklaşık %50'ye kadar çekilmiştir. Diğerleri de yaklaşık %20 bacak açıklığı ile ayarlanmıştır.

Ajanlardan gelecek anlık tüketim güçlerinin toplamı, kullanıcı yetkisine bağlı olarak her örneklemede değişir. Modellenen sistemin kurulu gücü, BMKV'nin ikinci girişinin aralığı olarak seçilebilir. Ancak sisteme ekstra bir yük eklenmesi durumunda ya da farklı sistem de bu modelin kullanılması durumunda, tanımlanan bu giriş aralığının dışına çıkmak anlamına gelir ki bu uzman kişinin öngörüsünün dışına, yani kararsız alana geçmek anlamına gelir. Dolayısıyla, BMKV'nin kullanıldığı sistemin kurulu gücü dikkate alınarak, (4.12)'de verilen bağıntı yardımıyla bağıl bir değer BMKV öncesinde elde edilmelidir. Bu bağıl değer "0" ile "1" aralığında olacağından, BMKV'nin ikinci girişi için aralık Şekil 4.9b'de gösterildiği şekilde ayarlanmıştır. Bu değer, her j örnekleme adımında böyledir.

$$P_{T_b} = \frac{P_T}{P_K} \quad (4.12)$$

BMKV çıkışı için ise, yine batarya grubunun derin deşarj durumu göz önünde bulundurularak üyelik fonksiyonu ayarları Şekil 4.9c'de görülebildiği tasarlanmıştır.

Böylece, sistemin matematiksel modeli kullanılmadan, SOC için "Bitik, Yarı Bitik, Yarı, Yarı Dolu, Dolu", bağıl tüketim için "Yüksük, Az Yük, Yarı Yük, Tam Yük, Fazla Yük", ve çıkış için "Destekleme, Kritik Yük, Kritik ve Gerekli Yük, Kritik Gerekli ve Önemli Yük, Tüm Yükler" gibi bulanık kümeler ile modelleme yapılmıştır.

BMKV için giriş – çıkış üyelik tanımlarından sonra, kuralları yazmak ve bunların neticesinde bulanıklaşmış değerler, çıkış bulanık kümesinin üzerindeki etkilerinin bir yöntem ile durulaştırılması olarak iki işlemi daha tasarlanmalıdır.

Kural Tablosu:

Tasarlanan beşer üyelik fonksiyonlu bulanık kümelerin, birbiri ile ilişkisini ortaya koyan kurallarının yazılabilmesi için oluşturulan 25'li kural tablosu Tablo 4.2'de sunulmuştur.

Tablo 4.2. Her “j” örnekleme adımında BMKV için hazırlanmış kural tablosu

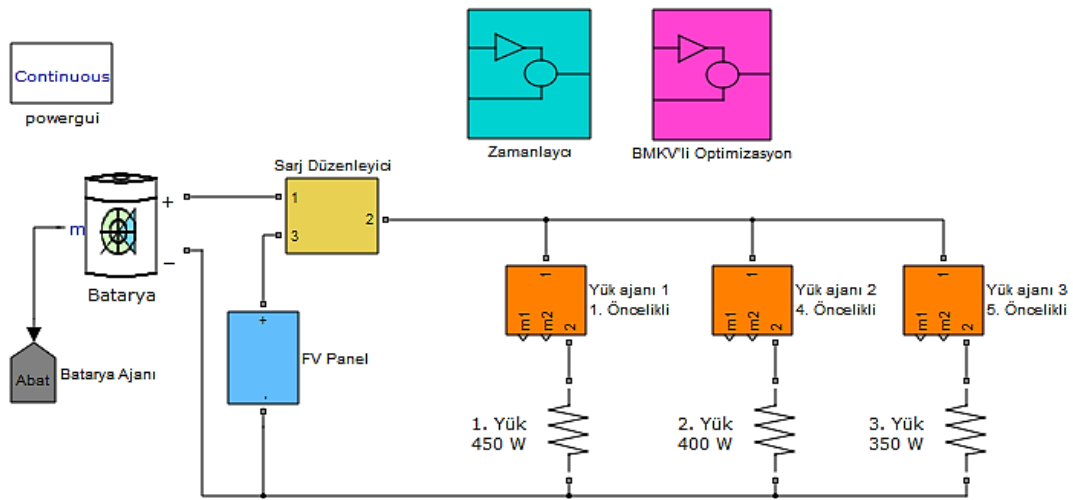
{BMKV _{out} } _j		{P _{T_b} } _j				
		Y	AY	YY	TY	FY
{SOC} _j	B	D	D	D	D	D
	YB	KY	KY	KY	KY	KY
	Y	KGY	KGY	KGY	KY	KY
	YD	KGOY	KGOY	KGY	KGY	KGY
	D	TY	TY	TY	TY	KGOY

Kurallar yazılırken kritik yüklerin devrede olabildiğince uzun kalması ve sistemde derin döngülü (deep cycle) batarya kullanılmasına rağmen batarya koruması planlanmıştır.

Durulaştırma:

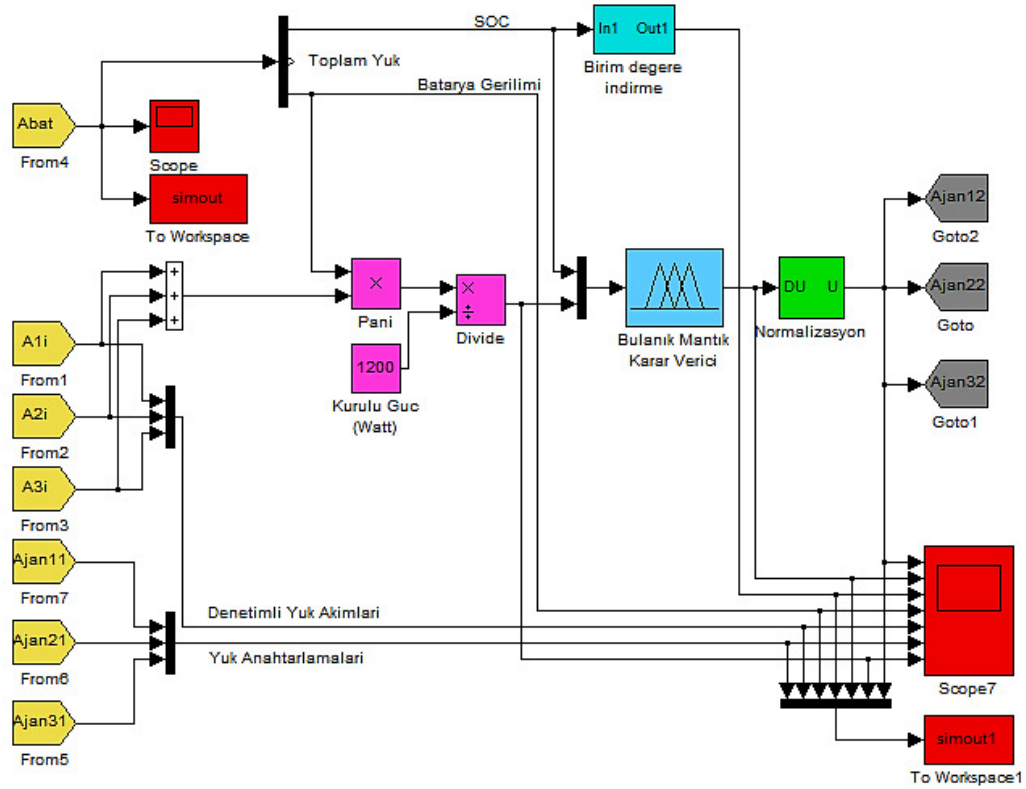
Durulaştırma olarak Ağırlık Merkezi Tekniği (AMT) kullanılmıştır. Bu teknik girişlerin üyelik fonksiyonlarında denk gelen değerlerinin (3.3) numaralı bağıntı yardımı ile bulunduktan sonra, Tablo 4.2’de görülebilen oluşturulmuş kurallardan minimum teoremi ile elde edilen sonuçların alanlarının toplamının ağırlık merkezi alınarak sonuca ulaştırır. Bağıntı (3.23)’te durulaştırma olarak kullanılan AMT’nin matematiksel ifadesi görülebilir.

Bu çözümlerin matematiksel ifadeleri göz önünde bulundurularak Şekil 4.2’de verilen klasik sistem modeline dayalı denetimli sistem modeli, Şekil 4.10’da verilmektedir.



Şekil 4.10. Denetimli sistem modeli benzetimi

Şekil 4.10’da gösterilen denetleyici bloğunun iç tasarımı Şekil 4.11’de verilmiştir. BMKV için tasarlanmış tüm giriş ve çıkış bulanık kümeler ve kurallar FIS editörü kullanılarak BMD bloku tanımlanmış ve düzenlenmiştir. Çıkış için Mamdani tipi durulaştırma yöntemi tercih edilmiştir.



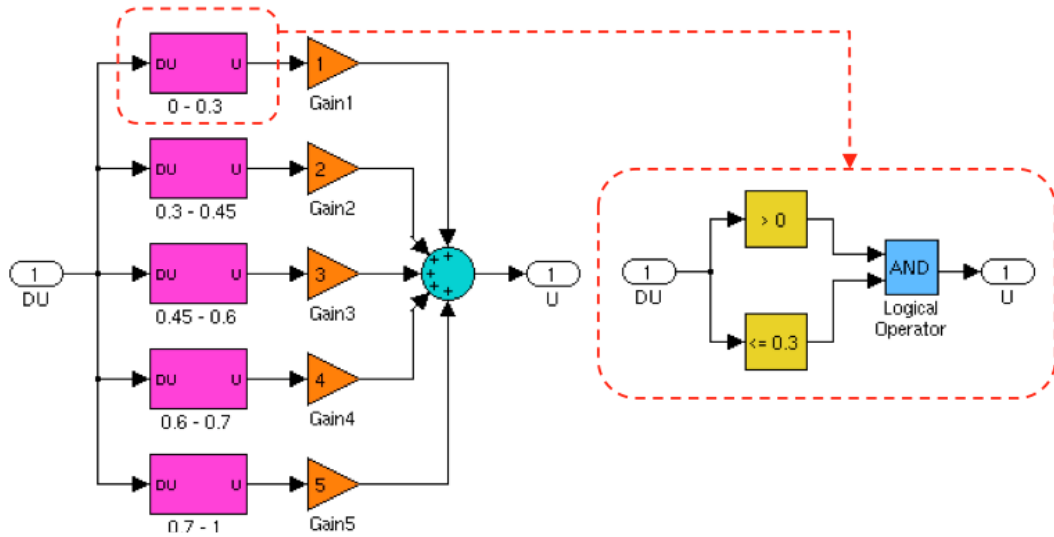
Şekil 4.11. Denetleyici blok iç tasarımı

BMKV Çıkış Normalizasyonu:

Bulanık mantık denetçisinin çıkışı 0 ile 1 arasında olmaktadır. Bu çıkış, yük ajanlarını kontrol etmek için uygun değerde değildir. Şekil 4.8’den ve Tablo 4.1’den anlaşılacağı gibi yük ajanları kullanıcı konfor ve ölçütleri temelinde öncelik kriteri olarak beş gruptan oluşmaktadır ve bu beş grup 1’den 5’e kadar tam sayılardan oluşmaktadır. Dolayısıyla, BMKV çıkış değerini 1 ile 5 arasında değerlere dönüştürecek bir ara tasarıma ihtiyaç duyulmaktadır. Bundan dolayı Şekil 2.1’de verilen yük seçici oluşturulmuştur.

Normalizasyon biriminin temel mantığı, BMKV çıkışını Şekil 4.12’de sınırlarının görüldüğü gibi beşe bölmektir. BMKV çıkış değeri mutlaka bu beş gruptan birinin sınırları içine denk gelecektir. Bu sınırlar ise yine Şekil 4.12’de sunulduğu gibi sabit sayı ile

kıyaslama yapan ve neticesini de mantıksal sına operatörü olan ‘ve’ ile sınaarak BMKV çıkışının hangi tanımlı aralığın içerisinde denk geldiği tespit edilir. Hangi grubun içerisinde denk gelmiş ise sadece o grup “boolean” olarak “TRUE” yani “1” çıkışı verir. Diğerleri “FALSE” yani “0” çıkışı üretir. Grupların çıkışlarına sınırların karşılığı olan önceliklerle uyumlu kazançlar yerleştirilmiştir. Böylelikle 1’den 5’e kadar herhangi bir tam sayı tasarlanan yük seçici üretilmiştir. Üretilen bu değer, Şekil 4.10’da görülen yük ajanlarının tümüne iletilir. Şekil 4.5 ve 4.8’de anlaşılacağı gibi kullanılan kıyaslama bloku ve blok maskesinde yapılan öncelik kriteri tanımları yardımı ile BMKV kararına uyan ajanların çalışması sağlanır.



Şekil 4.12. BMKV çıkışının öncelik değer normalizasyonu

Örneğin, yük seçici bloku $U=3$ çıkışı üretmiş ise öncelik kriteri 3,2,1 olan yük ajanlarının hepsi devrede kalır. Diğerleri devreden çıkarılır. Böyle bir çıkış durumu için “u”, yetkilendirme vektörü;

$$u = [1 \ 1 \ 1 \ 0 \ \dots \ 0]_{1 \times n}$$

biçiminde oluşmaktadır. Ancak, optimizasyon için yetkilendirilmiş bu üç yük için kullanıcı tercihi de göz önüne alınırsa, bu yüklerin devrede olup olmama durumunu belirleyen “w”,

varlık vektörü de yetkilendirilmiş yük ajanlarının okuduğu akım bilgisine göre oluşturulmalıdır. Örneğin, yetkilendirilmiş üç yükten tamamı devrede ise;

$$w = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}_{n \times n}$$

biçiminde bir varlık vektörü oluşurken, kullanıcı tercihine göre sadece en kritik yük devredeyken;

$$w = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}_{n \times n}$$

biçiminde bir varlık vektörü oluşmaktadır. Böylece, amaç fonksiyonunun optimizasyonu yapılırken, “örneklem anına göre enerji kapasitesi” ve “yetkilendirilmiş yüklerden sadece kullanılanlar” probleme dahil edilecektir.

Bununla birlikte, aynı öncelik değeri atanmış birden fazla kritik ya da normal yetkili yükler bulunması durumunda, aynı öncelik değerine sahip yük sayıları tespit edilmelidir. Bu amaçla, örneğin, sınırsız yani “n” adet yük tanımlamalı böyle bir modelde “k” adet birinci öncelik atanmış ise, yetkilendirme vektörü “u” içerisinde birinci öncelik grubu için “k” adet “1” bulunacaktır. Eğer ikinci öncelik yetkisine sahip “r” tane yük varsa ve BMKV çıkışı “2” yetki derecesini optimize etmiş ise, bu durumda yetkilendirme vektörü “u” içerisinde, birinci öncelikli yükler için “k” tane ve ikinci öncelikli yükler için “r” tane “1” değeri bulunacaktır. Yetki derecesi 1 ve 2 den farklı yükler için ise “(n-k-r)” adet “0” bulunacaktır. Diğer taraftan, yetki verilmesine rağmen kullanımı tercihe bırakılmış yükler için “w” varlık (ağırlık) vektörü, sadece kullanımda olan yetkili yükler için baştan itibaren “1” değeri içerir ve bu “1” lerin sayısı “(k+r)”den fazla olamaz.

$$x_i^T = \left[\underbrace{x_1 \ x_2 \ x_3 \ \dots \ x_k}_{1. \ \text{öncelikliler}} \ \underbrace{x_{k+1} \ x_{k+2} \ x_{k+3} \ \dots \ x_{k+r}}_{2. \ \text{öncelikliler}} \ \underbrace{\dots \ x_n}_{\text{diğer öncelikler}} \right] \quad (4.13)$$

Yukarıda tanımlandığı biçimi ile BMKV çıkışının normalize edilmiş değerinin 2 olması durumunda (U), yetkilendirme vektörü “u” için aşağıdaki durum gerçekleşecektir.

$$u_i^T = \left[\underbrace{1 \ 1 \ 1 \ \dots \ 1}_{k \ \text{adet}} \ \underbrace{1 \ 1 \ 1 \ \dots \ 1}_{r \ \text{adet}} \ \underbrace{0 \ \dots \ 0}_{n-k-r \ \text{adet}} \right] \quad (4.14)$$

“(k+r)” tane 1 ve 2. Öncelikli yükler için yetkilendirme optimizasyonu yapılmış olması durumunda kullanıcı tercihi göre herhangi bir örneklem adımında aşağıdaki varlık (ağırlık) vektörü, “w”, yük ajanlarından gelen bilgiye göre aşağıdaki biçimde oluşabilir.

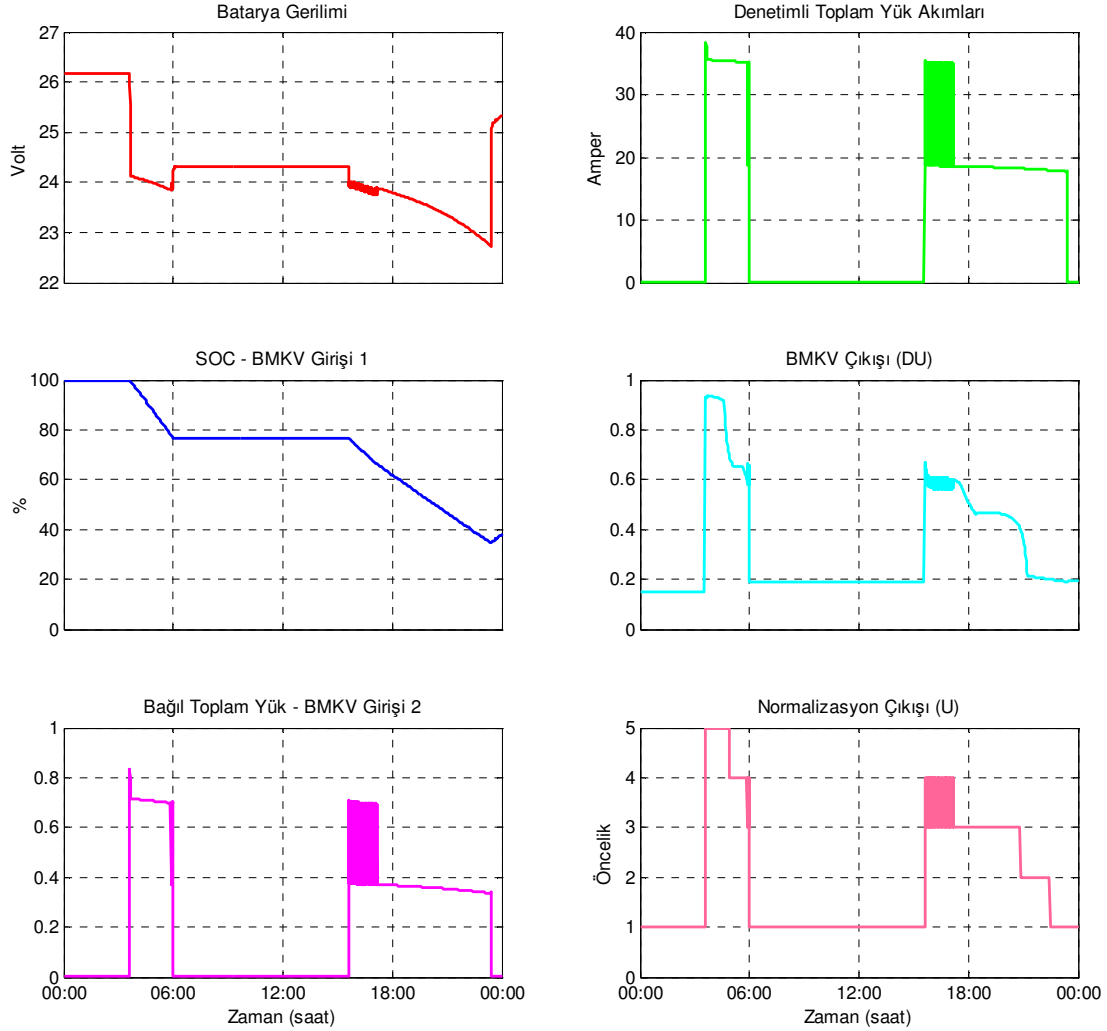
$$w = \left[\begin{array}{cccc} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{array} \right]_{n \times n} \left. \vphantom{\begin{array}{c} \\ \\ \\ \\ \end{array}} \right\} (k+r) \times n \quad w = \left[\begin{array}{cccc} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{array} \right]_{n \times n} \left. \vphantom{\begin{array}{c} \\ \\ \\ \\ \end{array}} \right\} (k+r) \times n \quad (4.15)$$

j. örneklem *(j+1). örneklem*

Yetkilendirme vektörü içerisinde sürekli “1” olan yükler için varlık vektöründe kullanıcı tercihi “1” ya da “0” olabilir. Ancak yetkilendirilmemiş yükler için ajan akım bilgisi sıfır olacağından varlık vektöründe aslan “1” değeri alamaz. Bu nedenle BMKV tarafından üretilmiş ve sonradan normalize edilmiş “u” vektörü değişken değerli değişken hacimli sırt çantası problemi için optimum çözümü üretmiş olacaktır. Her bir örneklem adımında “u” vektörünün mümkün olan maksimum değerli olduğu ve aynı örneklem adımında toplam tüketimin var olan ve sürdürülebilecek enerji kapasitesine olan oranı test edilmektedir. Yapılacak model benzetimlerde, bahsi geçen bağıntılarla elde edilecek ilgili sonuçlar ele alınacaktır.

4.3.3. Denetimli Model Benzetim Sonuçları

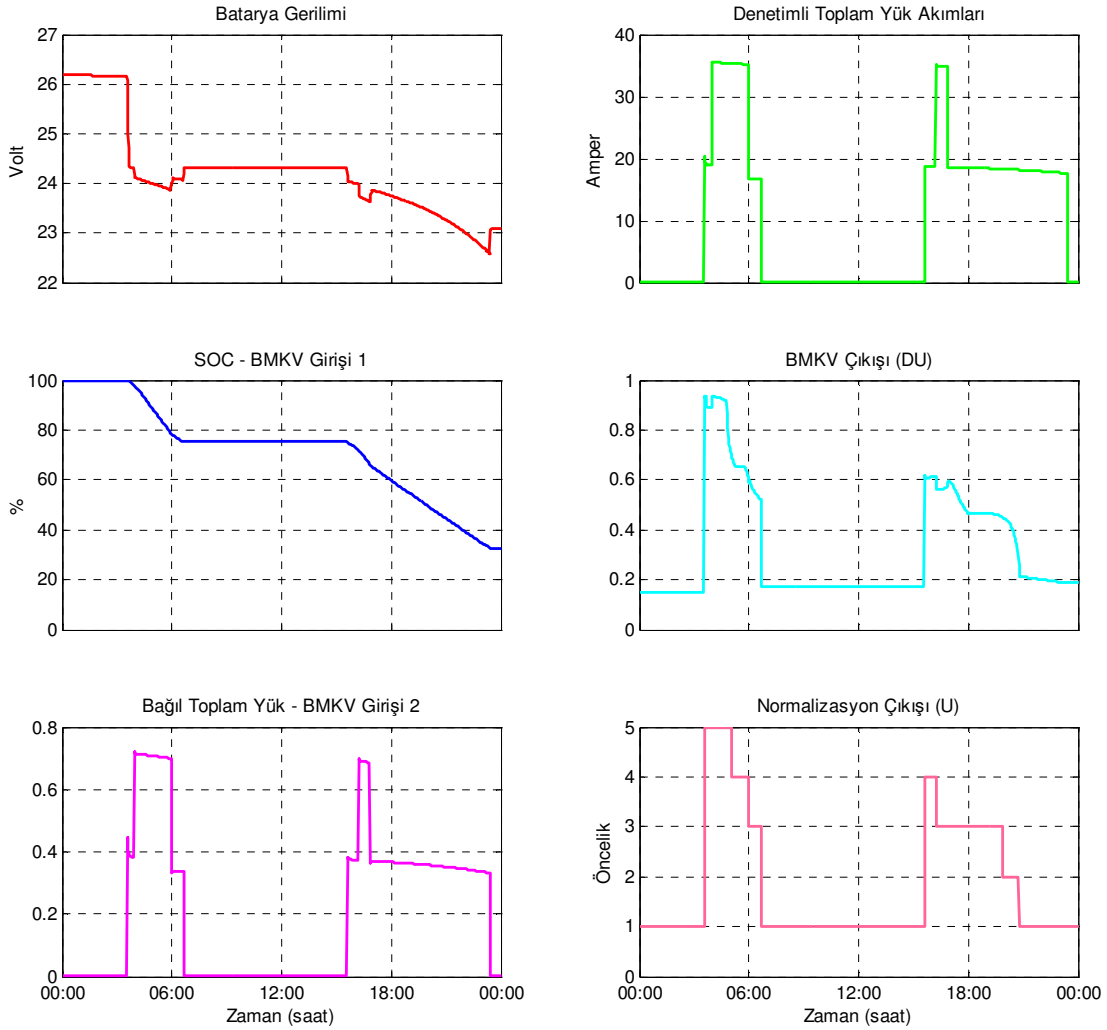
Şekil 4.10'da görülen yük ve batarya ajanına sahip BMKV denetimli güç yönetimi sisteminin Simulink benzetim modeli koşturulduğunda elde edilen sonuçlar Şekil 4.13'te verilmiştir.



Şekil 4.13. Denetimli model benzetim sonuçları

Hem BMKV çıkışı hem de Normalizasyon çıkışı incelendiğinde kararsızlık durumu açıkça görülmektedir. Bu kararsızlık yük seçicinin devreye aldığı bir yük ile artan Birim Toplam Yükün yani BMKV Girişi 2'nin artması ile BMKV çıkışı değişmekte ve bir sonraki örnekleme tekrar devreye aldığı yükü devre dışı bırakmaktadır. Bu yüksek

frekanslı bir anahtarlama oluşturmaktadır. Bu anahtarlama hem yük için hem de yük ajanı için olumsuz sonuçlar doğurabilir. Diğer taraftan devamlı devreye girip çıkan bir yük görevini de yerine getiremeyecektir.

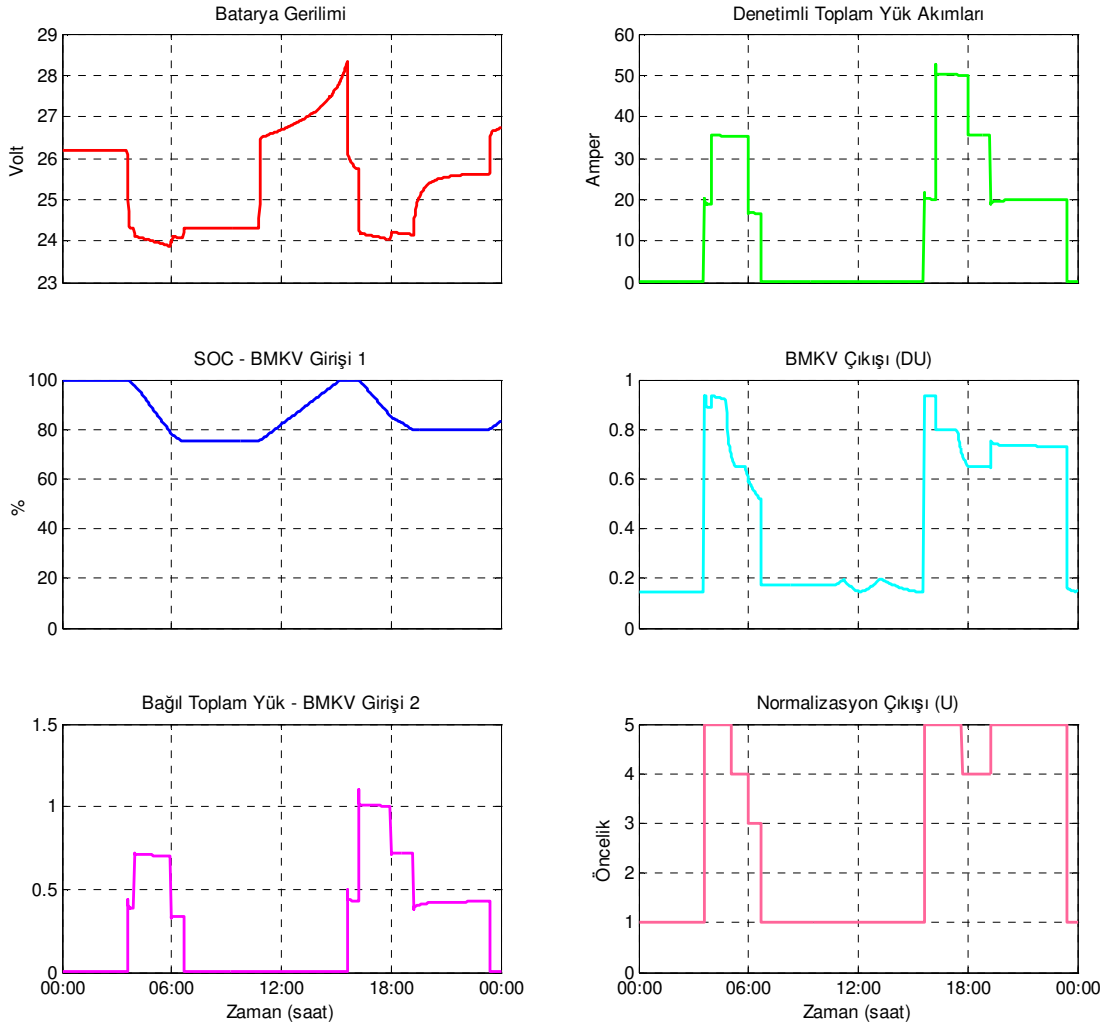


Şekil 4.14. Denetimli sistem sonuçları (kaynak üretimi yok)

Bahsi geçen problemi ortadan kaldırmak için Şekil 4.8’de sunulan gecikme tanımlaması ve bunu tanımlamayı gerçekleştiren gecikme ayarı bloku da Şekil 4.5’te sunulmuştur. Şekil 4.13’teki sonuçlar gecikme ayarı bir (1) iken elde edilmiş sonuçlardır.

Bu tasarım gecikme blokunda tanımlanan sayı kadar örneklem geciktirilmesi ile denetleyici çıkışının, denetleyici anahtarına uygulanmasını sağlar.

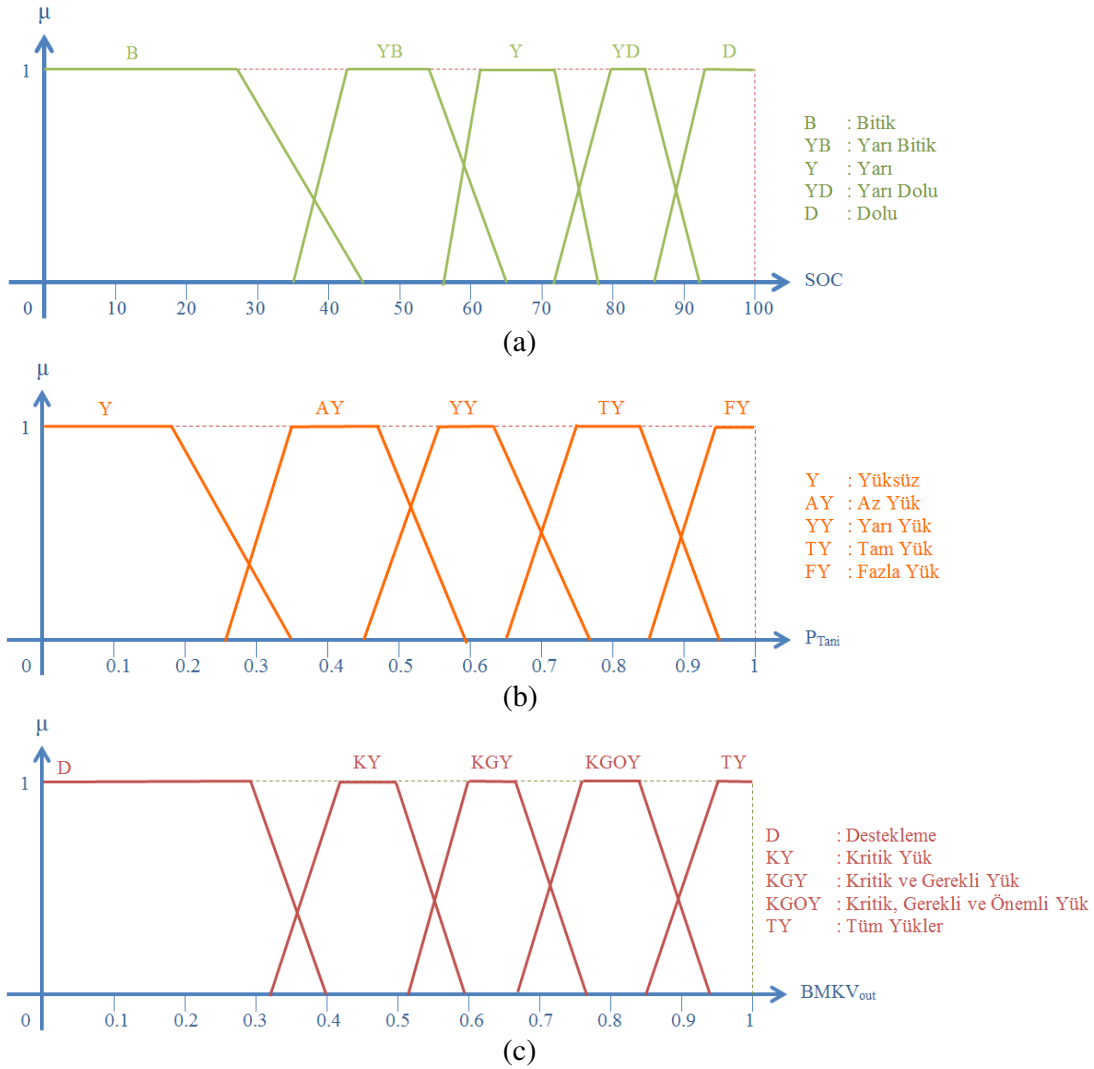
Gecikme ayarı tüm yük ajanları için 20 ayarlandıktan sonra model sonuçları Şekil 4.14'te görülebildiği gibi elde edilmiştir. Şekil 4.13'te rahatlıkla görülebilen anahtarlardan kaynaklı kararsızlıklar, Şekil 4.14'te ortadan kalkmıştır. Her iki şekilde de (SOC grafiğinden anlaşılacağı gibi) herhangi bir şarj akımı mevcut değilken denetim gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.15'te ise şarj akımı da varken denetimli sonuçlar verilmektedir.



Şekil 4.15. Denetimli sistem sonuçları (kaynak üretimi var)

Sonuçlar herhangi bir kararsızlığa sebep olmayacak kadar iyi olduğu Şekil 4.14 ve 4.15'te görülebilir. Ancak Akıllı Güç Yönetim yazılımının kodlama sürecinde basit olması düşünülerek tercih edilen üçgen üyelik fonksiyonları, sistemin sadece belirlenmiş referansı yakalaması gibi bir problem olmadığı için üçgen yerine sigmoid veya yamuk fonksiyonu

bu çalışmadaki gibi birden fazla karar verilecek sistem modellerinde, daha iyi sonuç vereceği düşünülmüştür. Bu yüzden Şekil 3.6'da sunulduğu biçimde yamuk fonksiyonu kullanılarak BMKV için giriş ve çıkış bulanık kümeler tekrar tanımlandı. Bu tanımlama Şekil 4.16'da sunulmuştur.

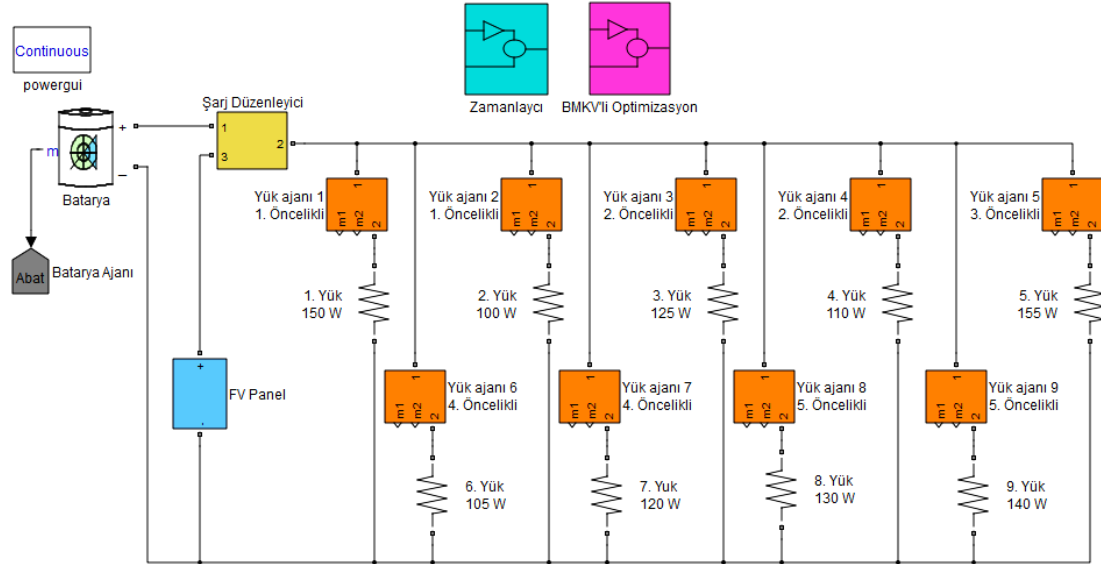


Şekil 4.16. BMKV yamuk üyelik kümeleri (a) 1. giriş – SOC, (b) 2. giriş – Bağlı Toplam Yük, (c) BMKV çıkışı

Yamuk fonksiyonlu bulanık kümelerinde de depolama biriminin özellikle deşarj oranındaki sınırları, üçgen üyelik fonksiyonlu bulanık kümelerde olduğu gibi göz önünde bulundurularak tanımlama yapılmıştır. Diğer taraftan Şekil 4.10'da verilen benzetimdeki

yük değerlerini düşürerek, ancak toplamda aynı değere sahip olacak biçimde yüklerin sayısı artırılmıştır.

Yeni tasarımda dokuz adet ve kurulu güç değeri 1140W olan yükler kullanılmıştır. Böylelikle 1-5 arası önceliklere sahip birden çok yük değeri benzetimde yer almıştır. Yani 1,2,4 ve 5 öncelikli ikişer yük, 3 öncelikli de bir yük tasarlanan sistem benzetiminde bulunmaktadır. Benzetimin nihai hali Şekil 4.17’de verilmiştir. Aslında normal bir tüketici sistemde, tüm yük besleme noktaları (priz, vb) yükler ile donatılmaz. İhtiyaç duyulan yük besleme noktaları kullanılır, diğerleri bağlantısız olarak boş kalır. Ancak Şekil 4.17’de görülebilen deney düzeneğinde besleme noktalarının tümü, yüklerle bağlı olacak biçimde tasarlanmıştır.



Şekil 4.17. Yeni yükler ilave edilmiş ve yamuk üyelik fonksiyonlu BMKV’li benzetim

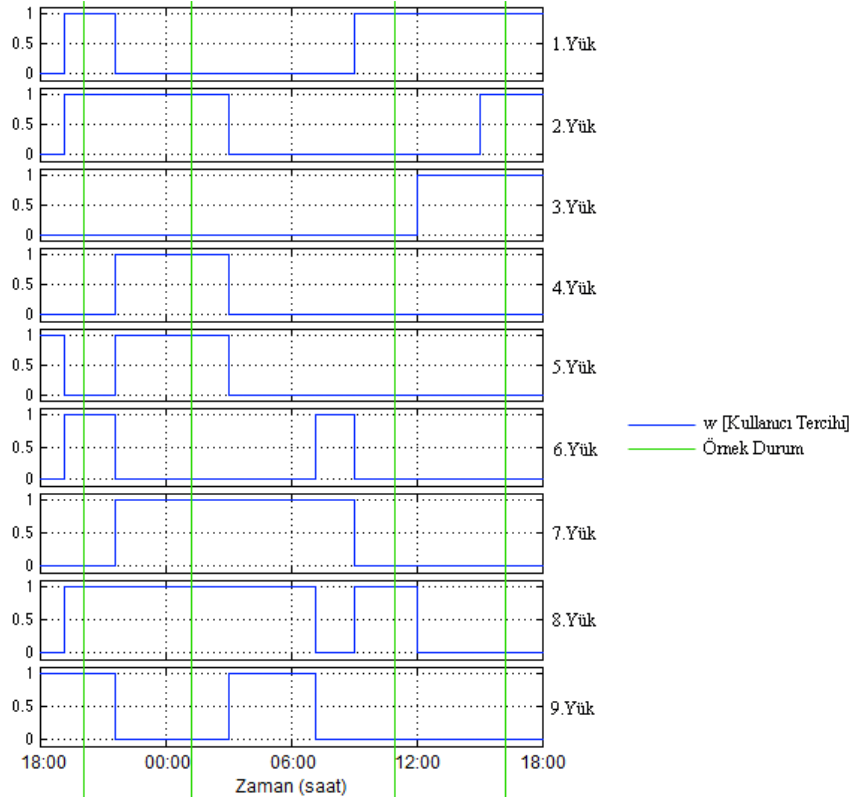
Yamuk üyelik fonksiyonuna sahip bulanık kümeler ile tasarlanmış BMKV ile optimizasyonu yapan Şekil 4.17’deki tasarımsal sistem için elde edilmiş sonuçlar Şekil 4.18’de sunulmuştur. Burada kullanıcı tercihleri “w”, yüklerin kullanıcı tarafından belirlenmiş öncelikleriyle birlikte varlık-yokluk durumları “x”, güç yönetimi optimizasyonu yapan BMKV’nin ürettiği denetim çıkışı “u” ve sistemde depolu ve üretilen ani güç ile tüketilen bağlı güç bir günlük örneklem aralığında görülebilir. BMKV’nin kullanıcı konfor ve kriterlerini dikkate alarak doğru güç optimizasyonu yapıp yapmadığını

incelemek için bu örneklem aralıklarından dört tanesi seçilmiştir. Bunlar 02:00, 07:15, 16:50 ve 22:30 saatlerindeki örnek durumlardır.

Tüm benzetim deneylerinde;

- Ajan tüketimlerinin göz ardı edildiği,
- İletim ve dağıtım kayıplarının ihmal edildiği,
- Hava koşullarının beklenmedik biçimde değişmediği,
- Yüklerin anma değerlerinin sabit olduğu,
- Yüklerin doğrusal davrandığı,
- Depolama birimi elemanlarının ve FV üreticinin sabit sıcaklıkta olduğu,
- Batarya ve FV üreticinin kayıpsız çalıştığı,
- Yüklerin deney başlamadan önce belirlenen öncelikleri benzetim süreci sonuna kadar değişmediği

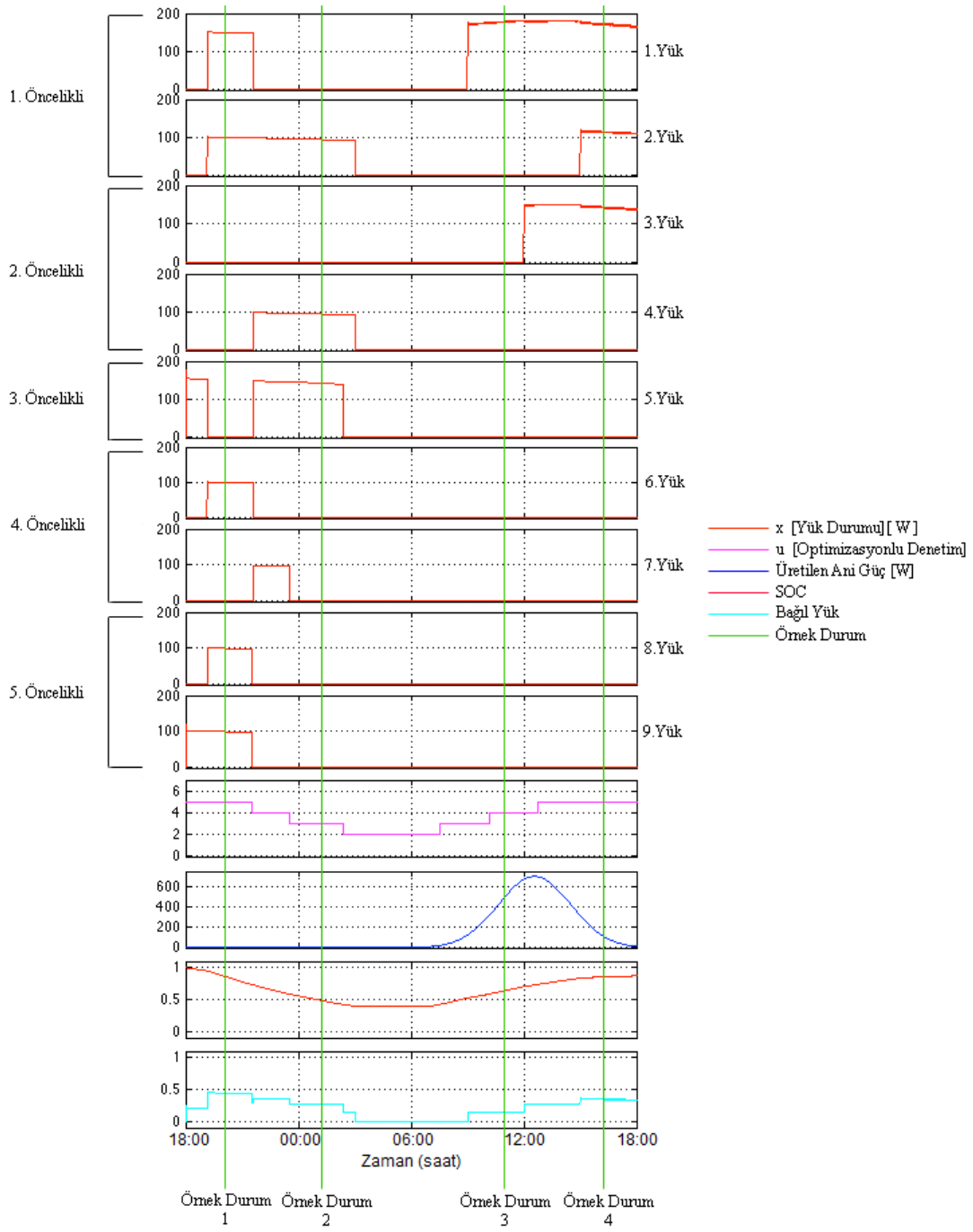
kabul edilmiştir.



(a)

Şekil 4.18. Dokuz yüklü BMKV optimizasyonlu benzetim sonuçları (a) Kullanıcı tercihleri (b) Yük durumu, BMKV çıkışı, üretilen ani güç, SOC ve Bağlı Yük

Şekil 4.18'in devamı,



(b)

Örnek durum 1:

Bu durumda kullanıcı tercihlerini ifade edecek matris “w”, yüklerin varlık yokluk durumlarını ifade eden “x” ve BMKV çıkışını ifade eden “u” matrisi Şekil 4.18a’dan, sırası ile (4.16), (4.17) ve (4.19)’daki gibi elde edilir.

$$w = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.16)$$

$$x = [150 \ 100 \ 125 \ 110 \ 155 \ 100 \ 100 \ 100 \ 100] \quad (4.17)$$

Bu vektör, (4.8) bağıntısında verilen işlem yapıldığında;

$$[x \cdot w] = [150 \ 100 \ 0 \ 0 \ 0 \ 100 \ 0 \ 100 \ 100] \quad (4.18)$$

elde edilir. Daha önce belirttiğimiz üzere BMKV’nın ürettiği “u” matrisi de, bu örneklem adımı için aşağıdaki gibidir.

$$u = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1] \quad (4.19)$$

Bu denetim vektörü ile bağıntı (4.10) kullanılarak yapılan hesaplamının sonucu;

$$\{\bar{u} \cdot (\bar{x} \cdot \bar{w})^T\}_j = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1] \cdot [150 \ 100 \ 0 \ 0 \ 0 \ 100 \ 0 \ 100 \ 100]^T \quad (4.20)$$

$$\{\bar{u} \cdot (\bar{x} \cdot \bar{w})^T\}_j = 550 \ W \quad (4.21)$$

birinci örneklem anı için bağıntı (4.21)'deki gibidir. Elbette ki bu ani güç değeri Şekil 4.18b'deki bağıl güç eğrisinden de elde edilebilir. Diğer taraftan amaç fonksiyonumuzun ikinci tarafının hesabı için Şekil 4.18b'de görülebilen üretilen ani güç ve SOC grafiklerinden faydalanırız. Şekil 4.17'deki sistem depolama biriminin nominal kapasitesi 55 Ah'dir. Sistem gerilimini 24 V olarak kabul ederek, batarya kapasitesi ile çarpıldığında 1320 Wh'lik bir enerjiye eşit olur. Bu güç değeri SOC "1" iken geçerlidir. Halbuki "örnek durum 1"de SOC'un değeri yaklaşık 0,75'tir. O halde $0,75 \times 1320 = 990$ Wh'lik bir enerjimiz vardır. (4.11) bağıntısında yerine koyacak olursak;

$$550 \text{ Wh} < 990 \text{ Wh} \quad (4.22)$$

elde edilir. Bu durumda kullanıcının isteğe bağlı olarak yetkilendirilmiş olan bütün yüklerden yaklaşık 440 Wh daha enerji kullanmasına sistem imkan vermektedir. Güç yönetim sistemi bu duruma uyum sağlamıştır.

Örnek durum 2:

Bütün durumlar için yük durumu matrisi (4.17) bağıntısındaki gibidir. Kurulu yükler deneyin sonuna kadar değiştirilmemektedir. Ancak kullanıcı tercihi matrisini oluşturan yükler için varlık-yokluk durumu matrisi bağıntı (4.23)'deki gibi değişir.

$$w = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.23)$$

Bunun yanı sıra bu durum için BMKV'nin ürettiği yeni optimizasyon matrisi ise Şekil 4.18'de görülebileceği üzere üç olarak gerçekleşmiştir. O halde "u" matrisi 1., 2., ve 3. öncelikli yükleri devrede tutacak, diğer yükleri devre dışı bırakacak biçimde bağıntı (4.24)'deki gibi oluşur.

$$u = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0] \quad (4.24)$$

Yine bağıntı (4.10) kullanılarak “örnek durum 2” için hesaplama yapıldığında bağıntı (4.25)’deki sonuç elde edilir.

$$\{\bar{u} \cdot (\bar{x} \cdot \bar{w})^T\}_j = 365 \text{ W} \quad (4.25)$$

“Örnek durum 2” için depolama birimi kapasitesine bağlı enerjimiz, SOC durumunun Şekil 4.18b’den bakılarak 0,5 olarak alındığında, $0,5 \times 1320 = 660 \text{ Wh}$ ’tir. Bağıntı (4.11)’de bu değeri yerine koyacak olursak;

$$365 \text{ Wh} < 660 \text{ Wh} \quad (4.26)$$

elde edilir. Yine bu durumda da kullanıcının yetkilendirilmiş yüklerden devreye alabileceği yükler vardır. Tercih kullanıcıya bırakılmıştır. Sistem buna uyum sağlamıştır ve bütün yükleri yetkilendirmiş olmasına rağmen kullanıcı tercihen bazı yükleri devreye almamıştır. Yani kullanıcı tercihi ön plandadır.

Örnek durum 3:

Bu durumda da “w” ve “u” matrisleri Şekil 4.18a ve 4.18b’den çıkarılarak bağıntı (4.10)’a göre hesap yapıldığında, (4.27) bağıntısı elde edilir.

$$\{\bar{u} \cdot (\bar{x} \cdot \bar{w})^T\}_j = 150 \text{ W} \quad (4.27)$$

SOC ise Şekil 4.18b’den 0,6 olarak tespit edilerek, $0,6 \times 1320 = 792 \text{ Wh}$ ’tir. Bağıntı (4.11)’de bu değeri yerine koyduğumuzda (4.28)’de verilen sonuç elde edilir.

$$150 \text{ Wh} < 792 \text{ Wh} \quad (4.28)$$

Örnek durum 4:

Bu durumda da tüm hesaplamaların neticesinde bağıntı (4.29) elde edilir.

$$375 \text{ Wh} < 1056 \text{ Wh} \quad (4.29)$$

Örnek durumların hepsinde, (4.22), (4.26), (4.28) ve (4.29) bağıntılarından da anlaşılacağı üzere, tasarlanan benzetim sistemindeki güç optimizasyonlu denetim, kullanıcının önceden tanımladığı konfor ve öncelik kriterleri ile oluşturulmuş amaç fonksiyonuna uygun olarak, modelin toplam mevcut enerjisi ile tüketimini planlayabilmiştir. Zaman zaman önceliği daha az olan yükleri mevcut enerjinin kritik yükler için yetersiz olma ihtimaline karşın devre dışı bırakabilmiş. Sonrasında da enerji durumu iyileştiğinde kullanıcının müdahalesine gerek kalmadan devreye tekrar alabilmiştir.

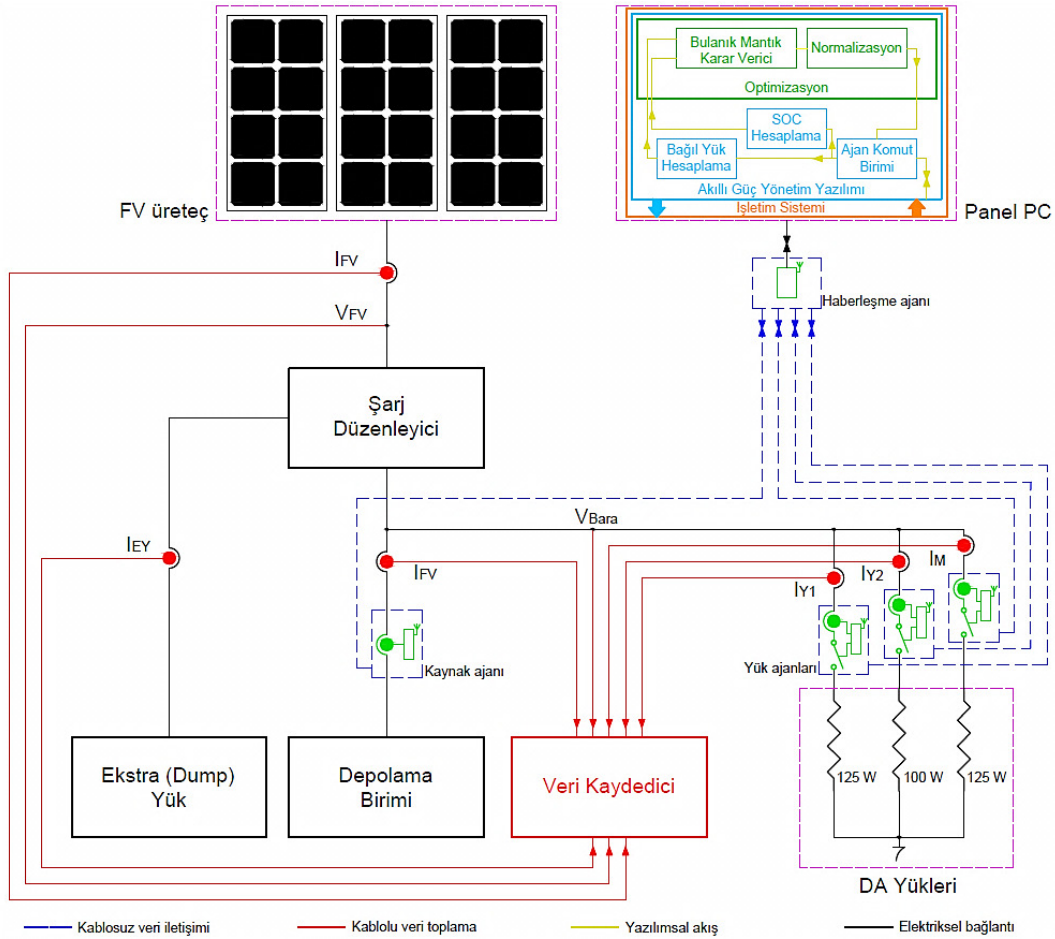
Diğer taraftan, bu durum tasarlanan BMKV'nin amaç fonksiyonunu gerçekleştirmek üzere oluşturduğu güç optimizasyonlu yetki vektörünün de “u” doğru olduğunu göstermektedir.

Bununla birlikte, örnek durum 3 ve 4 için, sistem optimizasyonu yetkilendirilmiş yük seviyesini 4 ve 5 olarak vermiş olmasına rağmen kullanıcının anlık tüketim tercihleri oldukça azdır. Bu durumda çok daha fazla yükü devreye alabileceğini isteğe bağlı olarak karara bağlamıştır.

5. SİSTEM TASARIMI VE BİLEŞENLERİ

5.1. Giriş

Güneş ışınlarından direkt elektrik üretimine dayalı yenilenebilir enerjili bir sistemin bileşenleri Bölüm 2’de uzun ve ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Bu tür sistemlerin temel bileşenleri sadece Doğru Akımlı dağıtım esas alındığında; fotovoltaik üreteçler, şarj düzenleyicileri, bataryalar ve yüklerdir. Eğer Alternatif Akımlı dağıtım söz konusu ise, sisteme çevirici (inverter) de eklenmelidir. Bu çalışmanın konusu DA’lı dağıtım esas alınarak oluşturulan platform üzerinde oluşturulan güç sistemi için, akıllı güç yönetimi yazılımı ve güç akışının denetimi için gerekli olan ajanları kapsamaktadır.



Bu bölümde anlatılan tüm sistem bileşen ve ölçü düzeneklerine ait blok diyagram Şekil 5.1’de verilmektedir. Bu blok gösterim, Şekil 4.1’de verilen genel sistemin sadece tez konusu kapsamındaki kısmı dikkate alınarak hazırlanmıştır.

5.2. Sistem Bileşenleri

5.2.1. Fotovoltaik Üreteçler

Bu platformun üretim bileşeni, enerji kaynağı güneşi doğrudan kullanan fotovoltaik üreteçlerdir. Yenilenebilir enerji kaynaklı fotovoltaik üreteçler olarak ikisi Kyocera marka Polikristal tipinde KD135GH-2PU modeli 135 W, diğer ikisi ise Lorentz marka Monokristal tipinde LA130-12S-1 modeli 130 W maksimum güç değerine sahip dört adet panelden oluşmaktadır. Panellerin ayrıntılı verileri Ek-4’te görülmektedir.



Şekil 5.2. Fotovoltaik üreteç yerleşimleri

Montajı yapılacak sabit eğimli fotovoltaik dizilerde, bölgenin enlem değeri ile dizinin eğimiyle aynı yapıldığında, yıllık enerji üretimi maksimum olmaktadır [105]. Dolayısı ile panellerin Gümüşhane Meslek Yüksek Okulu binası üzerindeki Şekil 5.2’de görülebilen kurulumu, Gümüşhane’nin enlem derecesi olan 40° olacak biçimde montajı yapılmış olup sistem 24 V’luk olarak tasarlandığı için 12 V’luk aynı cins fotovoltaik paneller birbirleri ile seri bağlanmıştır.

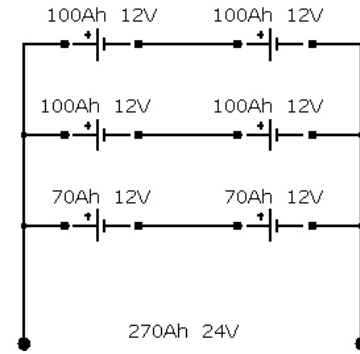
5.2.2. Depolama Birimi

Platformun ikinci elmanı depolama birimidir. Kısım 2.4'te ayrıntılı anlatıldığı gibi bir çok depolama birimi mevcuttur. Ancak Güneş enerjili sistemler için fiyatlarının pahalı olmasına karşın, kurşun-asit jel bataryalar daha hızlı dolma ve boşalmaya elverişli olduğu, kapasitesinin çoğunu kullanabilme özelliğine sahip (deep-cycle) olduğu, bakım gerektirmediği ve şarj-deşarj dönüşümleri diğer bataryalardan daha fazla olduğu için jel tipi Eurostar marka batarya tercih edilmiştir.



(a) Batarya grubu

Şekil 5.3. Deney platformu depolama birimi



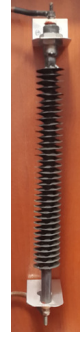
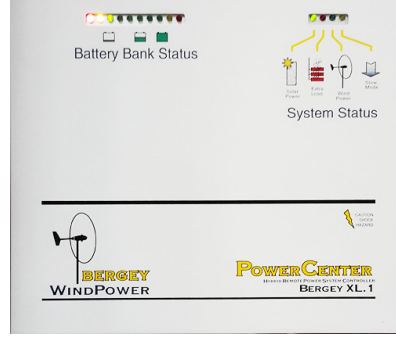
(b) Bağlantı şeması

Bataryaların her biri 12 V olduğu, ancak sistemin 24 V olarak dizayn edildiği için tıpkı fotovoltaik üreteçlerde olduğu gibi bataryalar da 24 V'a uyumlu olacak biçimde seri bağlanmışlardır. Bataryalar ve bağlantıları Şekil 5.3'te görülebildiği gibidir. Sistem 24 V olarak tasarlandığı için bataryalarda seri ve paralel gruplar halinde bağlanarak düzenleneme yapılmıştır. Bataryaların toplam kapasitesi 270 Ah tir.

5.2.3. Şarj Düzenleyici Birim

Kısım 2.6'da ayrıntılı anlatılan bir kaç tip şarj düzenleyici vardır. Model sistem platformumuzda fotovoltaik üreteçlerin maksimum akımları dikkate alınarak Bergey marka karma şarj düzenleyici seçilmiştir. Bu şarj düzenleyicisine gerektiğinde 1 kW'lık rüzgar türbini de bağlanabilmektedir. Fotovoltaik üreteç kısmının maksimum giriş akım değeri 24 V'da 30 A'dir. Depolama birimini şarjının dolu olması ve üretilenden daha az bir tüketim

durumu olmasında şarj düzenleyici bu fazla enerjiyi boşaltıcı ekstra bir yüke (dump load) aktararak ısı olarak harcar.



(a) Power Center XL.1 (b) Ekstra yük
Şekil 5.4. Şarj düzenleyici ve ekstra yük

Şarj düzenleyicinin üzerinde bir çok LED aydınlatma ile sağlanmış bilgilendirme görsellikleri mevcuttur. Bunlar sırası ile şu anlama gelen sistem durum bilgilerini kullanıcıya sunarlar.

Batarya gurubu bilgilendirme ışıkları: Depolama birimine ait güç rezerv bilgilerini ifade eden on adet led şarj düzenleyicinin üzerinde bulunmaktadır. Bunlar batarya gurubunun rezerv durumunun yanı sıra uç gerilimi hakkında da bilgi sunmaktadır. Led ışıkların sırası ile sundukları bilgiler Tablo 5.1’de görülebilir.

Tablo 5.1. Batarya gurubunun şarj durumu göstergesi

Led numarası	Batarya gerilim aralığı (V)	Yaklaşık batarya rezervi (%)
L1 (kırmızı)	< 22	< 5
L2 (sarı)	22 – 23.5	5
L3 (yeşil)	23.5 – 24	15
L4 (yeşil)	24 – 24.5	30
L5 (yeşil)	24.5 – 25	60
L6 (yeşil)	25 – 27	90
L7 (yeşil)	27 – 28	100
L8 (yeşil)	28 – 29.5	100
L9 (sarı)	29.5 – 30.5	100
L10 (kırmızı)	> 30.5	100

Diğer taraftan batarya rezervinin gösteren led gurubundan hariç diğer ışıklar ise şunlardır;

- Fotovoltaik güç (yeşil): Bu led fotovoltaik paneller bataryaları şarj ederken yanar.
- Ekstra Yük (kırmızı): Bataryalar tam şarja yaklaşırken ve tüketimden fazla üretim var ise bu ışık yanar ve ekstra yük ısınmaya başlar.
- Rüzgar gücü (yeşil): Rüzgar türbini bataryaları şarj ediyor ise bu ışık yanar. Eğer ışık yanıp sönüyorsa rüzgar hızı düşük olduğundan performans optimizasyon devresi işlem yapıyor demektir.
- Yavaş durum (sarı) : Bu ışık yavaş bir şekilde yanıp sönüyorsa türbin bataryanın aşırı şarj olmasını korumak için yavaşlatma işlemine tabi tutuluyor anlamına gelir.

5.2.4. Yük Bankası

Platformun bir diğer sistem bileşeni ise biriktirilen ve üretilen gücü tüketmek için kurulan yük bankasıdır. İki adet 125 W'lık bir adet 100 W'lık reosta grubundan oluşmaktadır.



Şekil 5.5. Yük bankası

Sistem tüm yükler devrede iken toplam 15 A'lık bir tüketim yapmaktadır. Tüm bu yük bankası elemanları Şekil 5.5'te görülmektedir.

5.2.5. Programlanabilir Zamanlayıcı Yük Anahtarları

Gerçek bir sistemde yükler tüketici ihtiyacına göre devreye alınıp çıkarılır. Test düzeneklerinde gerçek bir tüketici olmadığı için onun yerine temsili olarak görev yapabilecek programlanabilir zamanlayıcı anahtarlama elemanları seçilmiştir.



Şekil 5.6. Programlanabilir zamanlayıcı yük anahtarları

Haftalık bazda, günlük olarak bir dakikalık hassasiyet ile zamansal programlama yapılabilen bu anahtarlama elemanları ile istenildiğinde yük bankasındaki bağlı bulunan yükü günlük bir veya bir kaç kez devreye alıp çıkarabilecek biçimde ayar yapabilmek mümkündür. Legrand marka ürün Şekil 5.6'da görüldüğü gibi dijital bir ekrana ve 16 A'lık kontak akım değerine sahiptir.

5.2.6. Panel PC

Akıllı Güç Yönetimi yazılımının üzerinde koşacağı bir bilgisayara ihtiyaç vardır. Ancak bu bilgisayarın donanımsal özelliklerinin yüksek olmasına gerek yoktur. Diğer taraftan böyle bir bilgisayarda sadece bu yazılımın koştuğu, ajanların ayarlarının, tanıtımlarının yapıldığı ve tüketim, üretim, depolama birimi gibi güç verilerinin gösterildiği ve kayıt edildiği göz önünde bulunursa, fare ve klavyenin olmadığı işlemci ve diğer bileşenlerinin monitörünün arkasında bütünleşik olan bir bilgisayarın yeterli olacağı düşünülmüştür. Dolayısıyla Advantech marka endüstriyel bir PanelPC seçilmiştir. Cihazın dokunmatik özelliği sayesinde bahsi geçen giriş birimlerine ihtiyaç duyulmamaktadır.



Şekil 5.7. Dokunmatik PanelPC

Akıllı güç yönetimi yazılımının üzerinde koşarak ajanlardan bilgi alırken ve onları güç yönetimi yazılımının verdiği karar çerçevesinde denetimini sağlarken yazılımın koşacağı Advantech marka PanelPC Şekil 5.7’de görüldüğü gibidir.



Şekil 5.8. Test sistemi bileşenleri

Sistemin modelini oluşturan platformun bileşenlerinin tamamı Şekil 5.8’de görüldüğü gibi aynı düzlemde bir araya getirilmiştir. Tüm test ve deneysel işlemleri bu platform ile yapılacaktır.

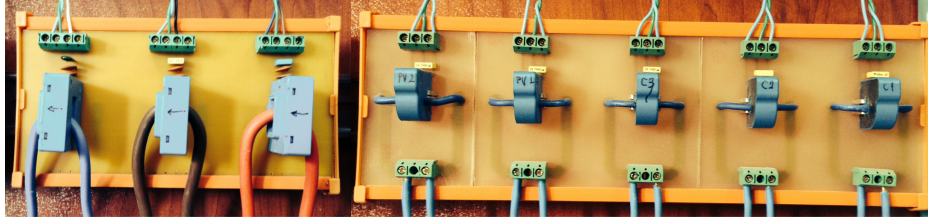
5.3. Ölçü Düzenekleri

Tüm sistem bileşenleri bahsi geçen sistem modelini oluşturmak için yeterli olmasına karşın akıllı güç yönetiminin etkilerini takip edebilmek ve üreteç, depolama birimi, yükler gibi sistem bileşenlerinin güç bilgilerini ajanlardan gelen bilgiler ile doğruluklarını kontrol edebilmek için kayıtlı ölçü düzenekleri gereklidir. Bu tez konusu için oluşturulan sistem modeli için oluşturulan ölçü düzeneğinin iki temel bileşeni bulunmaktadır. Birincisi, Hall etkili çıkışı gerilim değişimli algılayıcılar ve ikincisi, bu algılayıcıların çıkış büyüklüğünü belirlenen aralıkta okuyarak dönüşüm formülünce algılayıcının okuduğu değer akım ise akıma, gerilim ise bu değere dönüştürüp nihai değer olarak kayıt eden Intab firmasına ait “PC-logger 3100i” model bir veri kaydedicidir. Şekil 5.9’da görülebilen 24 adet analog girişe sahip veri kaydedicinin her bir girişine 0-20mA, +/-10V, +/-1000mV, +/-100mV veya +/-50 mV aralıklarında giriş değeri olabilecek algılayıcı çıkışı bağlanabilir [106].



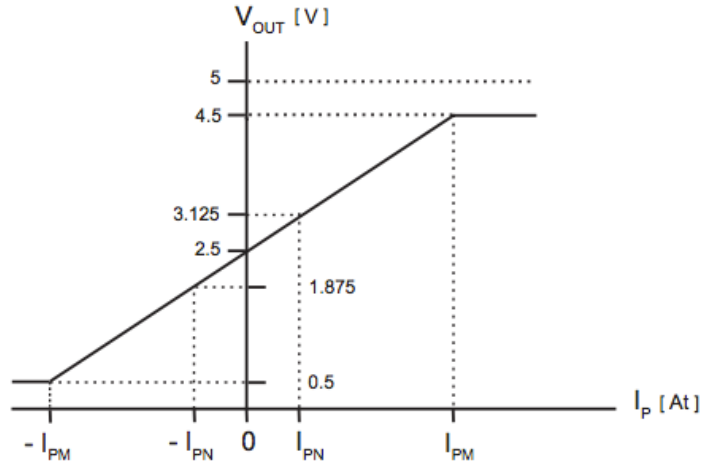
Şekil 5.9. Veri Kaydedici

Hall etkili akım algılayıcıları 15 A’lik ve 50 A’lik olmak üzere sırası ile LTS 15-NP ve HAI5 50-P model, LEM markadır. Şekil 5.10’da görülebildiği gibi modüler olarak raylı sisteme monte edilebilecek biçimde bileşen tasarımı gerçekleştirilen akım algılayıcıları 15A’lik olanlarının üç adeti yükler (iki adet reosta, bir adet DA motoru) içindir. Diğer ikisi ise birbiri ile seri bağlı iki grup fotovoltaik üreticinin çıkış akımlarını ölçmek içindir. 50 A’lik olanlar ise batarya ve ekstra yükün akımlarını ölçmektedir.



Şekil 5.10. Hall etkili akım algılayıcıları

Her iki tip akım algılayıcısının da çıkış gerilimleri $2,5 \pm 0,625$ V'tur. Yani $-I_{PN}$ ile I_{PN} arasındaki ölçülecek akım değerlerini Şekil 5.11'de görülebileceği gibi 1,875 ila 3,125 V arasındaki oranlama ile bulunur.



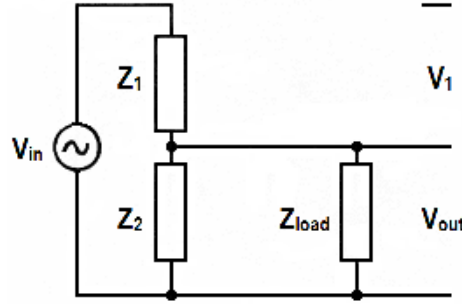
Şekil 5.11. Akım algılayıcılarının çıkış gerilimine karşın primer akımı

Bahsedilen 3,125 V, akım algılayıcılarının “nominal primer akımı” için “maksimum çıkış gerilimini” ($V_{out(max)}$) ifade etmektedir. Dolayısı ile ölçülmek istenen akım (5.1) bağıntısı ile hesap edilebilir.

$$I_P = \frac{V_{out} \cdot I_{PN}}{V_{out(max)}} \quad (5.1)$$

Burada I_P , hesap edilecek primer akımı ve I_{PN} ise akım algılayıcısının ölçebileceği nominal primer akımıdır. Diğer akım algılayıcılarının, yani 100A'lik olanların da aynı oranlama ile primer akımları bulunabilir.

Veri kaydedici sadece sistemin akımlarını değil, aynı zamanda FV üreteçlerin ve bataryanın gerilimini de gerilim bölücü dirençler üzerinden okuyarak yine akım ölçümünde olduğu gibi oranlayarak kaydetmektedir.

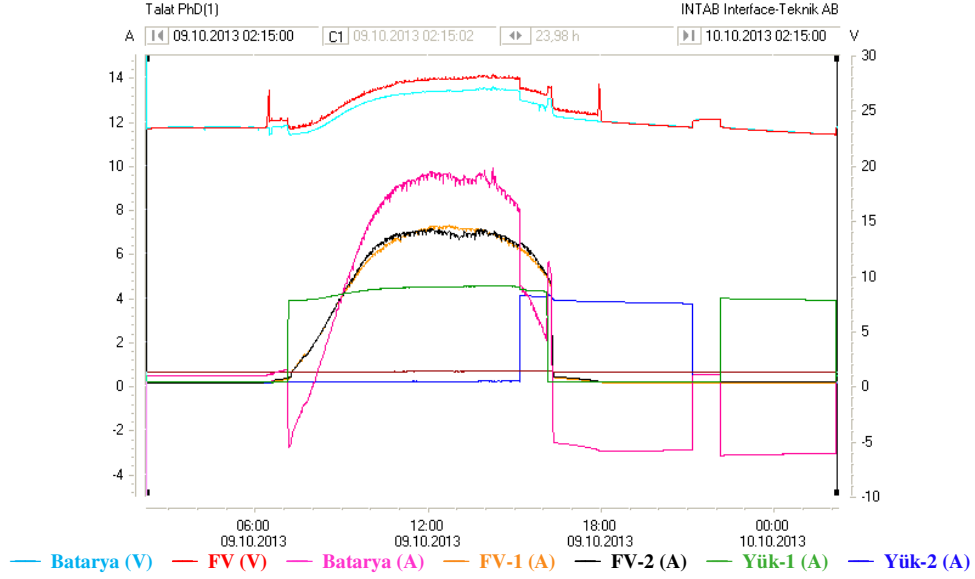


Şekil 5.12. Veri kaydedici için tasarlanmış gerilim bölücü devre

Gerilim bölücü kullanılma sebebi, FV üreteçlerin 30 V'u aşan ve depolama biriminin 22-30,5 V'luk aralıkta bir gerilime sahip olduğu göz önünde bulundurulduğunda, önceden de belirtildiği üzere kaydedicinin ± 10 V'luk giriş değerini aşmasıdır. Dolayısıyla gerilim bölücü kullanarak (Şekil 5.12) bu değerler ± 10 V'un altına çekilmektedir. Ancak bu yapılırken veri kaydedicinin $Z_{load}=400$ k Ω 'luk giriş empedansı unutulmamalıdır [106]. Burada V_{in} değerinin yaklaşık 30V olduğu kabul edilir ise Z_1 ve Z_2 'de sırası ile 5,6 ve 2,2 k Ω olarak seçildiğinde, veri kaydedicinin giriş gerilimi V_{out} yaklaşık 8,5 V olur. Bu değerde, kaydedici girişi için uygun bir değerdir. Diğer taraftan veri kaydedicinin yazılım kısmında (5.2) bağıntısındaki gibi bir oranlama ile istenilen değer ölçülebilir.

$$V_{in} = V_{out} \frac{30}{8,5} \quad (5.2)$$

Bu veri kaydedici istenilen zaman aralıklarında algılayıcılardan okuduğu bilgileri saklamaktadır. Model sistemde bu zaman aralığı beş dakika olarak ayarlanmıştır. Veri kaydedicinin belirtilen ayarlarla model sistem bileşenlerinden okuduğu yaklaşık bir günlük değerler Şekil 5.13'te sunulmaktadır. Bu sonuçlar 09.10.2013 ile 10.10.2013 tarihleri arasında saat 02:15'te başlayıp, sonraki günde yine aynı saatte biten 24 saatlik zamanı kapsamaktadır.



Şekil 5.13. Veri kaydediciyle elde edilen yaklaşık bir günlük sistem modeli verileri

Bu modelin gerçek zamanlı benzetimini yapabilmek için sisteme ışığa ve her bir panelin sıcaklığını ölçen algılayıcılar da kurulmuştur. Bu algılayıcılar ortam sıcaklığı, nemi ve daha birçok büyüklüğü ölçerek bulduğu verileri çatıdaki meteorolojik istasyondan kablosuz olarak bina içindeki alıcı cihaza göndererek cihaz üzerinde görselleştirilmekte ve bunun yanı sıra bu veriler bilgisayara da kolaylıkla otomatik olarak kaydedilmektedir. Bu algılayıcıların dış üniteleri Şekil 5.14'teki gibidir.



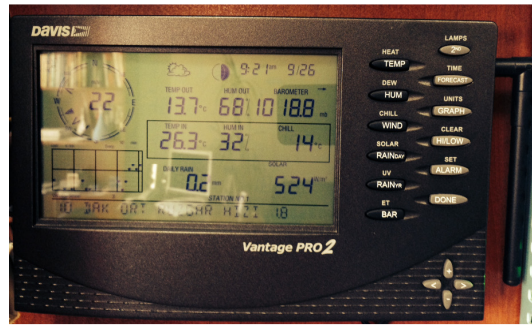
(a) Algılayıcı ünite

(b) FV panel sıcaklık algılayıcısı

Şekil 5.14. Meteorolojik istasyon ve FV panel sıcaklık algılayıcısı

Şekil 5.14a'da görülen meteorolojik istasyon Davis marka Vantage 2 Plus modeldir ve bu ürün ile bütünleşik olarak kablosuz çalışabilen, dört algılayıcı bağlanabilen

sıcaklık/nem istasyonu da Davis marka ve 63450V modeli Şekil 5.14b’de görülmektedir. Bu ürüne takılı iki adet paslanmaz çelikten imal edilmiş ölçüm aralığı -40 ile 65°C, hassasiyeti 1 °C ve ölçme kesinliği $\pm 0,5$ olan sıcaklık algılayıcısı vardır. Bu algılayıcıların biri monokristal tipi panelin arkasına diğeri ise polikristal tipi panelin arkasına montelidir. Şekil 5.14b’de de görülebileceği üzere sıcaklık probu ortam sıcaklığından etkilenmemesi için yalıtılmıştır. Bu ürün önceden ayarlanmış aralıklarla ölçtüğü sıcaklık verilerini Şekil 5.14a’daki meteorolojik istasyona göndermektedir. Bu istasyon ışınma, ortam sıcaklığı, nem, yağış miktarı gibi kendi ölçüm verileri ile kablosuz olarak gelen FV panel sıcaklıklarını birleştirerek Şekil 5.15’deki iç üniteye yine kablosuz olarak iletmektedir.



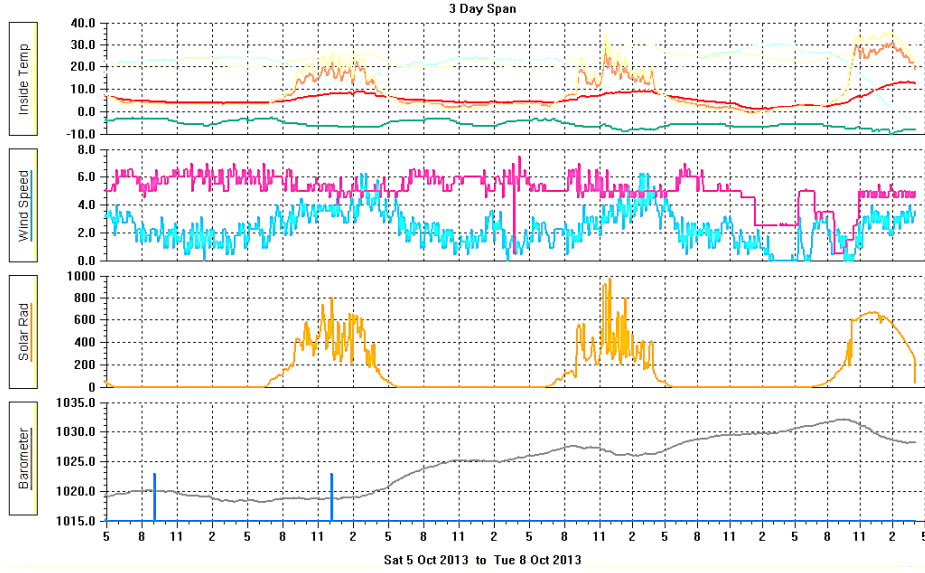
Şekil 5.15. Meteorolojik istasyon iç ünitesi

Meteorolojik istasyon iç ünitesinin şekilde görülebildiği gibi gelen verileri görüntüleyebilecek özel bir LCD ekranı mevcuttur. Ancak benzetimde kullanılabilmek için veri gerekmektedir. Bu yüzden WeatherLink Datalogger marka 2560 adet değer tutabilen bir veri kaydedici bu iç üniteye eklenmiştir.

Tablo 5.2. Arşivleme aralıklarına göre kayıt saklama kapasitesi

Arşivleme aralığı (dakika)	Kayıt saklama kapasitesi (gün)
1	1,75
5	8
10	17
15	26
30	53
60	106
120	213

Bahsi geçen veri saklama kapasitesi elbette ki arşivleme aralığına bağlı olarak bir zamansal uzunluk olarak da Tablo 5.2’de görülebildiği gibi ifade edilebilir.



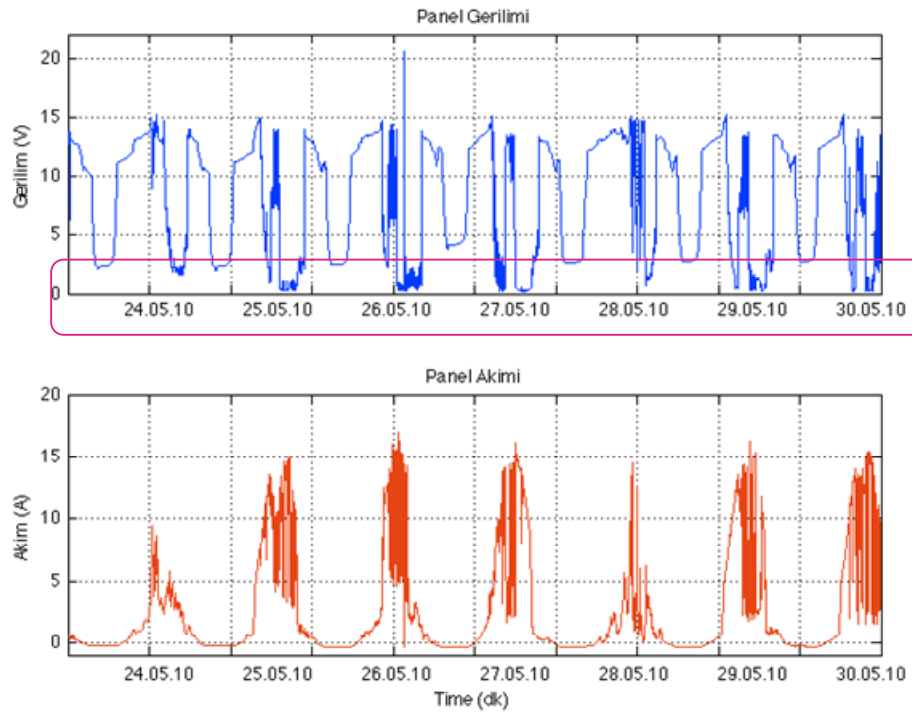
Şekil 5.16. Meteorolojik istasyon iç ünitesinden eşzamanlı veri sağma

WeatherLink Datalogger beşer dakikalık aralıklar ile ölçüm yapması için ayarlandığında ancak sekiz gün ölçüm verilerini saklayabilmektedir. Dolayısıyla verilerin en geç sekiz günlük aralıklar ile bilgisayara yazılımı kullanılarak sağılması zorunludur. Bunun için Şekil 5.16’da görülebildiği gibi bir bilgisayarla istasyonun iç ünitesindeki veri kaydediciden eşzamanlı olarak verileri sağılmaktadır. Ancak bilgisayardan kaynaklanacak bazı problemler ile uzun süreli enerji kesintisinden dolayı verilerin eşzamanlı sağlanamaması durumunda iç ünitenin sekiz günlük veri saklama kapasitesi kullanılabilir ve olumsuzluk ortadan kalktığında bilgisayardaki yazılım kaldığı noktadan verileri sağmaya devam edebilmektedir.

5.4. Ajan Tasarımı

Özellikle enerjisini güneşten sağlayan bağımsız kaynaklı güç sistemlerinin panel ve batarya grupları, en olumsuz durumda ihtiyaç duyulan gücü karşılayabilecek biçimde hesaplanır. Ancak bu en olumsuz durum, güneşlenme süresinin kısa ve güneş ışımalarının düşük olduğu zamandır. Kısım 1.5’te de ifade edildiği gibi bu durumun dışındaki yılın geri

kalan periyodunda, ki bu yılın büyük bir kısmıdır, Şekil 5.17'den anlaşılacağı gibi tüketim ihtiyacından daha fazla enerji üretimi anlamına gelmektedir. Bu şekil, 2010 yılında İsveç'in Borlänge şehrinde bulunan Dalarna Üniversitesi – Güneş Enerjisi Araştırma Merkezin'de (Solar Energy Research Center) gerçekleştirdiğimiz 15 günlük fotovoltaik sistem davranışlarının takip ve analiz edildiği bir proje çalışması sonucunda elde edilmiştir. Şarj düzenleyici olarak STECA model paralel (şönt) tip tercih edilmiştir. 8, 12 A'lık vb. küçük sistemler için tasarlanmış bu modelde ekstra yük bağlantı noktası bulunmamaktadır. Dolayısıyla bataryalar dolu ve üretimden daha az yük tüketimi olduğu durumlarda kullanılan paralel tip şarj düzenleyicisi FV panel uçlarını kısa devre etmektedir. Yani, FV panel uç gerilimi 0 V'a düşmektedir. Sistemin, yaklaşık bir haftalık periyotta, ne kadar bu duruma düştüğü Şekil 4.18'de yatay eksenle kırmızı blok içinde dikkate sunulmuştur.



Şekil 5.17. Fotovoltaik ile enerji üretilen bir sistemin bir haftalık panel verileri

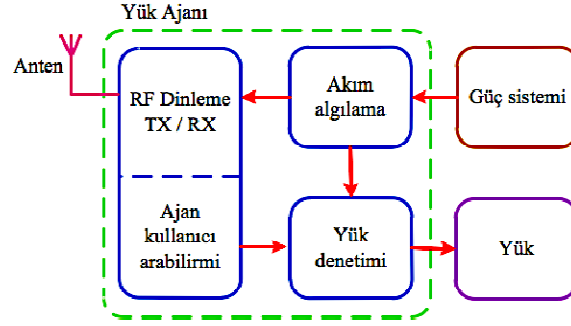
Panel uçlarının kısa devre edilmesinden kaynaklanan kayıp gücün bir şekilde kullanılması mümkün değil midir? Ya da bu güç miktarı ilk başta yapılan tasarım hesaplarını hiç etkilemez mi? Bunun yanı sıra en olumsuz durumun üstesinden gelebilmek için yapılan hesabın neticesi olarak yüksek kurulum maliyeti genel bir sonuç mudur?

Acaba bu yüksek maliyet, sistem üzerinde ucuz maliyetli bir çözüm süreciyle azaltılamaz mı? İşte tüm bu olumsuzluklar “akıllı” ve “doğru” bir “güç yönetimini” zorunlu kılar. Böyle bir güç yönetimi için en önemli giriş verileri, “tüketim” ve “üretim” bilgileridir. Bu verilerin elde edilmesi için en iyi seçim “çoklu ajan sistemidir” [107]. Şekil 4.1’de bu özellikleri taşıyan “Çok Ajanlı Akıllı Güç Yönetimi Sistem” tasarımı gösterilmiştir. Sistemden, iki farklı tasarıma sahip ajan mimarisi üzerinden veri toplanmaktadır. Bunlardan biri yük veya donanım ajanı, diğeri ise kaynak ajanıdır.

Algılayıcılar yolu ile gözlem yapan otonom bir varlık, ajan olarak tanımlanabilir. Kısım 2.7’de ayrıntılı olarak anlatılan basit tepkili ajan, çok ajanlı akıllı güç yönetim sistemi için tasarlanan “Yük” ve “Kaynak” ajanı tasarımına temel teşkil etmiştir. Bu ajan ancak ortam tam anlamı ile gözlenebilir olduğunda başarılı olur. Basit tepki ajanları kendinden önce ortamda gelişen eylemlerin koşullarını göz ardı ederek, o anki durumu dikkate alırlar. Özellikle çevresel gözleme dayalı işlem yapan basit tepkili ajanlarda, sonsuz döngü genellikle kaçınılmazdır.

5.4.1. Yük Ajanı

Basit tepkili olarak tasarlanan yük ajanı, genel olarak bağlı olduğu donanımın tüketim akımını ölçer ve istenildiğine donanımı elektriksel olarak devreden alır veya çıkarır. Ancak tasarlanan yük ajanında Şekil 2.46’da verilen basit tepkili ajan mimarisinden farklı olarak, ölçüm verilerinin alınmasını ve donanım aç/kapa gibi güç kontrolünü, Akıllı Güç Yönetimi biriminden gelen emirler ile kablosuz olarak yapar. Dolayısı ile arzu edilen özelliklerde bir yük ajanı, Şekil 5.18’de verilen diyagramda gösterildiği gibi üç blok ile ifade edilebilir. Bloklardan biri akım algılayıcısıdır. Doğru ve alternatif akım yükleri için Lem marka FHS 40-P tipi bir algılayıcı bu iş için tercih edilmiştir. İkinci blok ise yük denetim bloğudur ve bu da Fujitsu firmasına ait FBR51 tipi bir röle ile sağlanmıştır. Üçüncü blok ise, kablosuz olarak Akıllı Güç Yönetimi algoritmasından gelecek emirler doğrultusunda, algılayıcıdan ölçüm verisi okuyarak cevap veren ve yük denetim elamanını kontrol eden bir yapıda tasarlayabilmek için Xbee-S1 RF modül, Cypress marka CY8C27443 model mikrodenetleyici ve güç devresi ile oluşturulmuştur.



Şekil 5.18. Yük ajanı yapısal blok diyagramı [107].

Farklı donanımlar tarafından kullanılacak olan ajanlar genel olarak aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdırlar [22, 24, 107,108]:

- Esnek: 10 A'lık akım sınırı olmakla beraber her türlü tek fazlı alternatif ve doğru akım yükleriyle kullanılabilmeli,
- Sınırsız: İstenilen sayıda ajan sisteme herhangi bir yazılımsal veya donanımsal düzenleme gerekmeden eklenip/çıkarılabilmeli,
- Dağıtılmış: Hiç bir değişikliğe veya donanımsal değişikliğe gerek kalmadan kapalı alanda 15-25 m'lik mesafeyi geçmemek şartıyla istenilen yüklerle çalışabilmelidir.

Bu başlıklarla toplanan özelliklerin tamamını, tasarlanan yük ajanı karşılayabilmektedir. Esnektir; çünkü yük denetim elemanı olarak seçilen röle 10 A'lıktır. Akım algılayıcısı ise hem doğru akımlı hem de alternatif akımlı yükün akımını ölçebilmektedir. Sınırsızdır; zira akıllı güç yönetimi yazılımına istenildiği kadar ajan tanıtılabilmektedir ve yazılımın denetim birimi ajan sayısından bağımsız çalıştığı için kontrol yazılımında bir değişiklik yapmaya gerek duyulmamaktadır. Dağıtılmıştır; çünkü kablosuz özelliği sayesinde ve priz-yük arasında olacak biçimde tasarlandığı için hiçbir donanımsal değişikliğe gerek kalmadan kullanılabilir.

Bunların yanı sıra enerjisini takıldığı prizden aldığı için ekstra bir güç girişi gerekmeden çalışabilmektedir. Bahsedilen özelliklere sahip ajan tasarımı, üç kez yapılan donanımsal gerçekleştirilmesinin sonunda nihai prototip şeklini üçüncü versiyonda almıştır. Bu üç versiyon da Şekil 5.19'da gösterilmektedir.

Yük ajanlarına ait, Şekil 5.19c'de sunulan üçüncü versiyonun elektriksel şeması Ek-6'da verilmektedir.

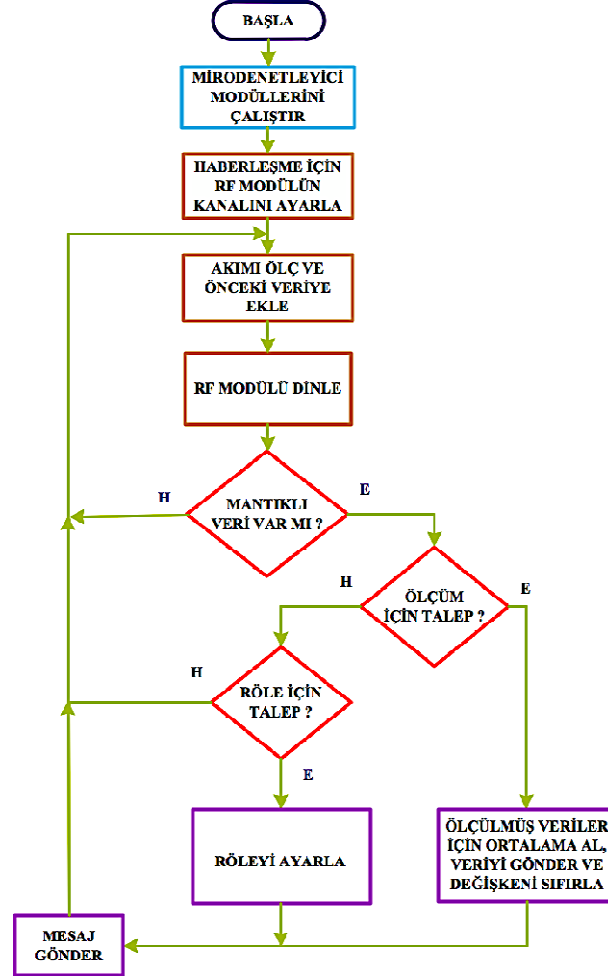


(a) 1. Versiyon (b) 2. Versiyon (c) 3. Versiyon
Şekil 5.19. Tasarlanmış yük ajanları

Tasarlanan her bir ajan, mikrodenetleyicileri için geliştirilmiş gömülü aygıt yazılımı (firmware) algoritmasına göre çalışır. Bu algoritma C++ ile geliştirilmiştir ve mikrodenetleyici EPROM'una yüklenmiştir.

Akıllı Güç Yönetim Yazılımına tanıtılmış bir yük ajanının aygıt yazılımı Şekil 5.20'de verilen akış diyagramına göre sonsuz döngülü olarak koşmaktadır. Buna göre Şekil 5.19c'de görülen prototip ajan prize takıldığında (üzerine herhangi bir yük takılmasa dahi) çalışmaya başlar. Gömülü yazılım koşmaya başladığında, ilk önce mikro denetleyici modüllerini çalıştırır ve RF modülün, haberleşme ajanı ile iletişim kurabilmesi için kanal ayarını gerçekleştirir. Sonrasında sonsuz döngüye girer ve akım algılayıcısından ölçüm verisini okur ve bir değişkene atar. Sonraki işlemde "Haberleşme ajanından gelen herhangi bir emir var mı?" diye RF modülü dinler. Eğer RF modülden mantıklı bir veri gelmiyor ise akım ölçme işlemine geri döner. Geliyor ise, gelen emrin içeriğini bakar. Eğer bu emir ölçüm için ise ölçülmüş verilerin tutulduğu değişkenin aritmetik ortalamasını alarak gönderir ve sonrasında bu değişkeni sıfırlar. Değilse gelen bu emrin röle için olup olmadığını denetler. Eğer röle için ise, röleyi açar/kapatır. Değilse yine akım ölçme adımına geri döner. Hem veri gönderme hem de röle ayarı işlemlerinden sonraki adımda

uygun bir mesaj gönderir ve tekrar akım ölçme adımına geri döner. Herhangi bir enerji kesintisi olmadığı sürece sonsuz döngüde basit tepkili ajan gibi çalışmasını sürdürür.

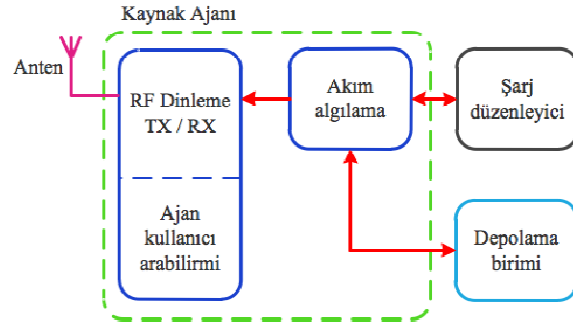


Şekil 5.20. Yük ajanı aygıt yazılımının akış diyagramı [107,108].

Doğru akım ve Alternatif akım enerji ile çalışan donanımlar için tasarlanan yük ajanlarının temel fonksiyon olarak özellikleri aynı olduğu için tasarımsal farkları yoktur. Ancak ajanın kendi enerji ihtiyacını karşılayan güç devresi tasarımında bu iki tip yük ajanı tasarımında farklılık vardır. Doğru akım ajanı, doğru akım ile çalışan bir donanımın hattında kullanılacağı için kendisinin de ihtiyaç duyduğu 12 V ve 5 V doğru akım seviyesini 24 V'lik DA sistem hattından alabilir. Ancak herhangi bir Alternatif akımlı bir donanım için çeviriciden sonraki 220 V'lik hatta yük ajanı takılacağı zaman ajan içinde 12 V DA gerilimi sağlayacak bir adaptör devre bulunmaktadır.

5.4.2. Kaynak Ajanı

Kaynak ajanı mimarisi yapısal olarak yük ajanındaki ile aynı özelliklere sahip basit tepkili ajan mimarisine sahiptir. Ancak kaynak ajanında herhangi bir yük denetim birimi ve yük çıkışı yoktur.



Şekil 5.21. Kaynak ajanı yapısal blok diyagramı [108].

Bahsedilen özelliklerdeki kaynak ajanı blok diyagramını Şekil 5.21’de görmek mümkündür. Bu ajan da, tıpkı yük ajanındaki gibi “esnek”, “sınırsız” ve “dağıtılmış” özelliklere sahiptir. Ancak bağımsız kaynaklı yenilenebilir enerjili bir sistemde doğası gereği birden fazla depolama birimi çoğu kez planlanmadığı için bir adet batarya ajanı bu tür sistemler için yeterli olmaktadır. Aksi durum ekonomik bir mühendislik olmamaktadır.



(a) 1. Versiyon

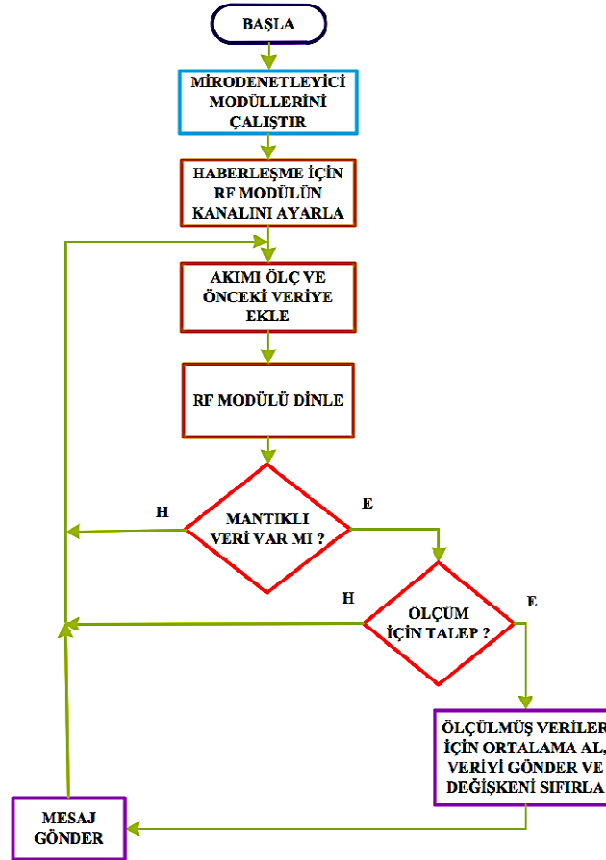
(b) 2. Versiyon

Şekil 5.22. Tasarlanmış kaynak ajanları [108].

Ajanın bağlanacağı nokta, Şekil 5.1’de de görülebildiği gibi şarj düzenleyici ile batarya arasındır ve seri olarak bağlanır. Dolayısı ile iki adet (+ ve – uçlar için) giriş, iki adette çıkış olmak üzere dört adet bağlantı noktası mevcuttur. Gerçekleştirilen nihai tasarım Şekil 5.22’de sunulmaktadır. Bu tasarıma ait elektriksel şema Ek-7’de verilmiştir.

Hem yük ajanlarını hem de kaynak ajanlarını üzerinde bir adet iki renkli LED bulunmaktadır. Bu gösterge; yeşil yanıp sönerken enerjili ve çalışıyor olduğunu gösterir, kırmızı yanıp sönerken de haberleşme ajanı ile iletişim halinde olduğunu yani veri alıp/verdiğini göstermektedir.

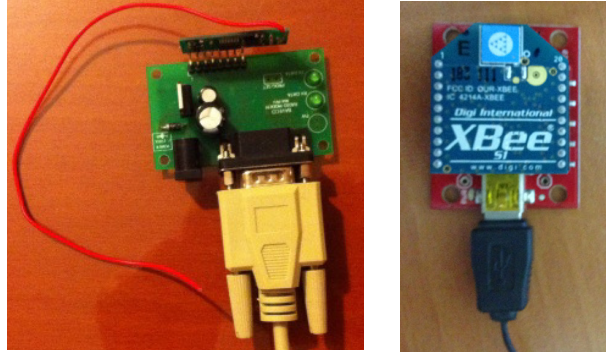
Kaynak ajanına gömülü aygıt yazılımı da yine yük ajanı ile benzer özelliktedir. Ancak donanımsal olarak ihtiyaç olmayan yük denetimi özelliğinin karşılığı olarak yazılımsal kısım algoritmadan çıkarılmıştır. Bu haliyle ajana gömülü aygıt yazılımı Şekil 5.23’te verilmektedir. Doğru akım yük ajanında olduğu gibi, batarya ajanı da ihtiyaç duyduğu çalışma enerjisini bağlı olduğu sistemden olmaktadır.



Şekil 5.23. Batarya ajanı aygıt yazılımının akış diyagramı

5.4.3. Haberleşme Ajanı

Haberleşme ajanı, yük ve kaynak ajanının “Akıllı Güç Yönetim Yazılımı”yla iletişim kurması için PanelPC’ye bağlı olarak çalışan bir ajandır. Tüm kontrol COM portu üzerinden bilgisayarda koştan güç yönetim yazılımında olduğu için kendine ait bir aygıt yazılımı algoritması geliştirilmemiştir. Şekil 5.24a’da yük ajanlarının ikinci, batarya ajanının da birinci versiyonu için kullanılan haberleşme ajanı görülmektedir. Şekil 5.24b’de ise nihai versiyon ajanların iletişimi için kullanılan haberleşme ajanı görülmektedir.



(a) 1. Versiyon

(b) 2. Versiyon

Şekil 5.24. Haberleşme ajanları

Birinci versiyon haberleşme ajanı seri port bağlantı birimine sahipti ve bir çok bilgisayarda bu bağlantı biçimi artık desteklenmediği için dönüştürücü USB’ye dönüştürücü birimler kullanmak gerekiyordu. Ancak ikinci versiyon haberleşme ajanı USB olduğu için doğrudan bilgisayar bağlantısı yapılabilmekte ve daha az sorun ile çalışabilmektedir. Diğer taraftan ikinci versiyonun iletişim doğruluğu ve hızı birinci versiyona göre daha yüksektir.

5.5. Ajan Test Yazılımı

Yük ve kaynak ajanının aygıt yazılımı (DataCollector olarak adlandırıldı), haberleşme ajanı kanalıyla Akıllı Güç Yönetimi yazılımı ile kablosuz olarak iletişim kurabilmesi için bir “dil” veya “komutlar” sistematiği geliştirmesi gerekmektedir. Bu komutlar ihtiyaçlar ölçeğinde istenildiği kadar tasarlanabilir. Örneğin bu komutlar; şu

ajandan ölçüm al, şu ajanın yük denetimini çalıştır, şu ajan aktif, şu ajan hazır, vb. gibi özel tanımlı ifadelerdir.

Tablo 5.3. Geliştirilen iletişim komutları

Komutlar	Anlamları
DxxMEA	Yazılım ölçüm bilgisi ister
EAxxyMAyyyyMVzzzz	Alternatif akımlı yük ajanından doğru ölçüm verisi cevabı
DAxxyMAyyyyMVzzzz	Doğru akımlı yük ajanından doğru ölçüm verisi cevabı
BAxxyMAyyyyMVzzzz	Kaynak ajanından doğru ölçüm verisi cevabı
DxxRD1	Yazılım yük denetiminin kapalı devre ayarlanmasını ister
DxxRD0	Yazılım yük denetiminin açık devre ayarlanmasını ister
EAxxyRC111	Ajan yük denetimini “akım iletiliyor” olarak ayarladı bilgisi
EAxxyRC000	Ajan yük denetimini “akım kesildi” olarak ayarladı bilgisi
DxxTIR	Yazılım “ajan hazır mı?” diye test eder
EAxxyRDY	Yük ajanlarının yazılıma gönderdikleri “hazırım” cevabı
BAxxyRDY	Kaynak ajanının yazılıma gönderdikleri “hazırım” cevabı
EAxxyAIC	Yeni bir ajan algılandı

Tablo 5.3’de ajanlar için geliştirilmiş bu özel ifadeler ve anlamları sunulmuştur. Bu ifadeler hem bilgisayardaki yazılım tarafından tanınmalı hem de yük ve kaynak ajanı içinde gömülü aygıt yazılımı ile de tanınmalıdır. Aksi halde birbirleri ile sağlıklı iletişim kuramazlar. Bu yüzden Şekil 5.20 ve 5.23’te verilen her iki algoritmada da “Mantıklı veri var mı?” karşılaştırılması bulunmaktadır. Alınan veriler aynı frekans ve aynı kanalı kullanan başka bir RF çıkışlı cihazdan alınmış olsa bile bu veriler Tablo 5.3’teki emirler ile uyumsuz ise algoritma ilerlemeden ölçüm kısmına geri dönmektedir.

On iki adet komut ile güç yönetim yazılımının ihtiyaç duyduğu tüm işlemler yürütülebilmektedir. Diğer taraftan bu komutlar yardımı ile arzu edilen işlemler yerine getirilirken ajanların, doğru ölçüm verilerini elde ettiği ve elde ettiği bu verileri de doğru bir şekilde yazılıma ilettiğinden emin olunmalıdır. İşte tüm bu işlemler ve komutları akıllı güç yazılımını oluşturmadan önce denemek için, bahsedilen test yazılımı oluşturulmuştur.

Komutların her birine ait kod parçacıklarının anlamına ilişkin tanımlar ise Tablo 5.4’te sunulmaktadır.

Tablo 5.4. Geliştirilen iletişim komutlarına ait açıklamalar

Kod parçacıkları	Anlamları
D	Veri
MEA	Ölçüm
EA, DA, BA	Alternatif akım yük ajanı, doğru akım yük ajanı, kaynak ajanı
MA, MV	Akım ölçümü, gerilim ölçümü
RD1	Röle kontağını kapa
RD0	Röle kontağını aç
RC111	Röle kontağı kapalı bilgisi
RC000	Röle kontağı açık bilgisi
TIR	Test için hazır
RDY	İlgili ajan hazır
xx, yyyy, zzzz	Ajan seri numarası, ölçülmüş akım verisi, ölçülmüş gerilim verisi
AIC	Yeni bir ajan algılandı

Ajanların aygıt yazılımı, test yazılımından gönderilecek komutlara bağlı olarak çalışmaktadır. Mikrodenetleyici her an RF modülün alıcısı ile ortam dinlemesi yapar. Bu dinleme esnasında daha önceden de anlatıldığı gibi eğer mantıklı bir veri varsa değerlendirir. Bu veri akım isteği ise, akımı ölçer ya da role isteği ise, röleyi isteğe göre ayarlar ve tüm bu işlemlerin sonucu olarak RF modülün vericisi ile mesaj yollar.

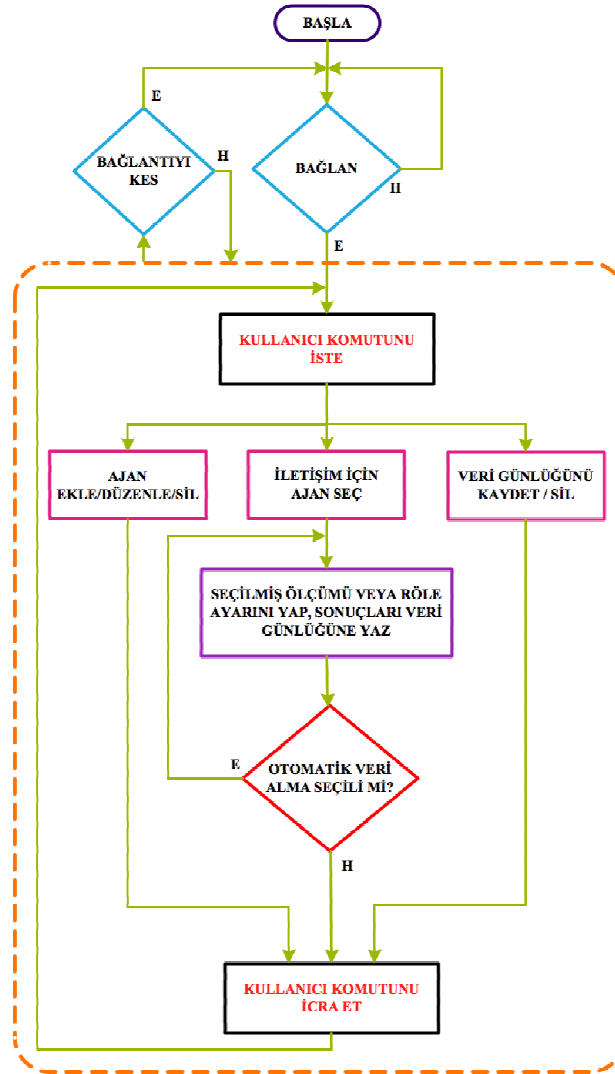
The screenshot displays the test software interface, divided into three main sections:

- Bağlantı Ayarları (Connection Settings):** Includes a dropdown for 'COM Portu' set to 'COM1' and a 'Bağlantıyı Kes' button.
- Adresleme (Addressing):** Features an 'Adres:' input field, a 'DataCollector Adres Ver' button, and a 'DataCollector Bilgi Sorgula' button.
- Ajanlar (Agents):** Contains buttons for 'Kurulmak İsteyen Ajan Ara' and 'Bütün Ajanlardan Bilgi Al'.
- Bağlı Ajan Listesi (Connected Agent List):** Shows a list of agents: '02 - su isticisi [EA]' and '03 - camasir mak [EA]'. Below this are sections for 'Elektrik Ajanı Komutları' (with 'Akım Bilgisi Al' selected) and 'Batarya Ajanı Komutları' (with 'Akım Bilgisi Al' selected). Buttons for 'Komutu Uygula' and 'Kaldır' are present.
- Data Günlüğü (Data Log):** Includes a '1 dk' dropdown, a 'Kontrol Sıklığını Ayarla' button, and a checkbox for 'Dakikada bir yeni ajan ara'. The log displays data for agents E02M0D17, E03M0D21, E02M0E3C, and E03M0D22, showing current values and agent names.

At the bottom, there is a 'Gönder' button and a 'Dosyaya Kaydet' button.

Şekil 5.25. Test yazılımı ara yüzü [107,108].

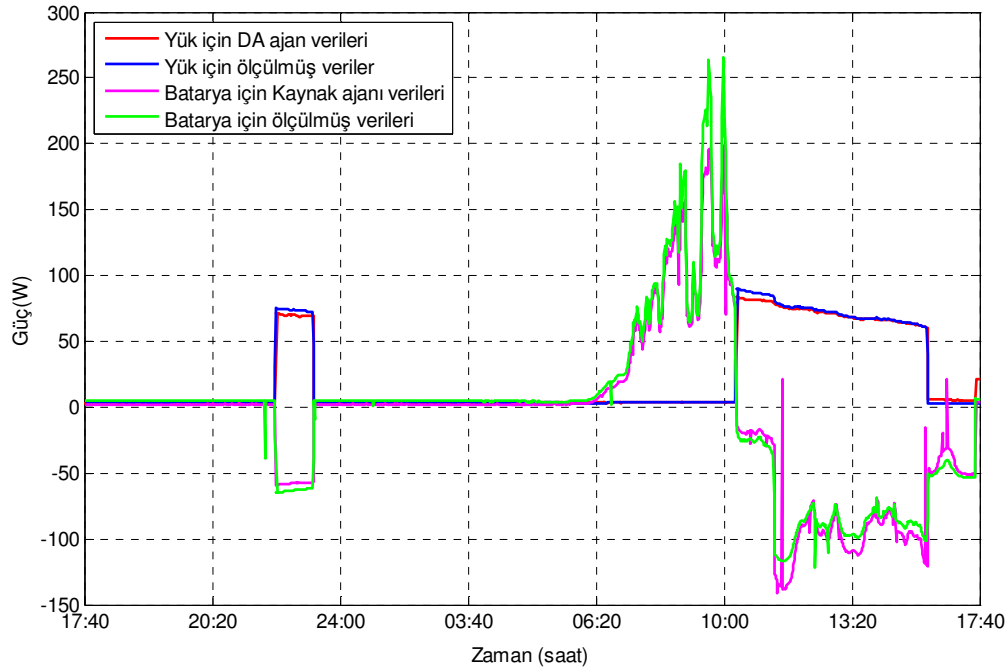
Test yazılımı Şekil 5.25'te sunulduğu gibi üç bölümden oluşan bir ara yüze sahiptir. Bunlar sırası ile kaynak ve yük ajanları için tanıtma/düzenleme ve kaldırma gibi işlemlerin yapıldığı bölüm, ikincisi ajanlardan veri gönderme/alma ve bu işlemin periyotlarının ayarlandığı bölüm ve sonuncu olarak da alınan ölçüm okuma zamanları ile birlikte gösterildiği ve istenirse kayıt edilebileceği bölümden oluşmaktadır. Ara yüzün sol üst köşesinde ise haberleşme ajanına uygun COM port üzerinden bağlanabilmek için port seçimi yapılabilecek bir pop-up menü ve bağlantı butonu bulunmaktadır. Program Görsel C# editörü ile oluşturulmuştur. Geliştirilen bu test yazılımı Şekil 5.26'da verilen akış diyagramına göre tasarlanmıştır.



Şekil 5.26. Test yazılımı akış diyagramı

Test yazılımına, ajan tanıma işlemi “Yeni Ajan” butonuna tıkladıktan sonra açılan bir form aracılığı ile yapılır. Bu formda “ajan ismi”, “tipi”, “akım algılayıcısı kalibrasyonu” gibi tanımlamalar yapılabilir. Yapılan bu tanımlamalarda değişiklik yapılabilir veya tanımlı bir ajan silinebilir. Herhangi bir ajan ile iletişim kurulabilmesi için tüm ajanların aygıt yazılımlarına ona özel bir seri numarası gömülmüştür. Bu seri numarası test yazılımıyla hangi ajana erişileceğini belirlemek için zaruridir. Bu numaralar tasarlanan tüm ajanların üzerine yazılmıştır.

Test yazılım programı koşturulduğunda, öncelikle haberleşme ajanı için port seçimi yapılarak bağlantı gerçekleştirilir. Sonrasında ajan listesinden iletişim kurulacak ajan seri numaraları yanlarındaki onay kutucukları işaretlenir ve ara yüzün orta kısmından seçili ajandan akım ölçümü ve yine seçili ajanın yük denetimi de yapılabilir. Ancak bu işlemler yük ve kaynak ajanı için seçim kutusu tercihlerinin yapılması ile ayrı ayrı yapılabilir. Her yapılan ölçüm ve yük denetimi işlemi ajan numaraları ve zaman belirtilerek ara yüzün sağ tarafındaki form alanı içinde ekrana basılır. Bu alandaki bilgilerde bir “txt” türü bir dosyaya kayıt edilebilir. Bu ara yüz yardımı ile ajan geliştirme süresince tüm ölçüm ve diğer işlemlerinin doğrulukları kontrol edildi. Bu sonuçlar ile elde edilen problemleri aşacak yeni versiyon tasarımlar için önemli veriler elde edildi.



Şekil 5.27. Gerçekleştirilen ajanlara ait kendi ölçüm değerleri ve ölçülmüş veriler

Test yazılımı, zamanlaması ayarlanabilir periyotta otomatik veri alabilmektedir. Bunların yanı sıra ajanlardaki akım sensorlarının kalibrasyon ayarlarının yapılmasını sağlayacak bir ara yüzde tasarlanmıştır. Ancak bu yazılım sadece ajanların geliştirilmesi sürecinde kullanılmıştır. Herhangi bir güç yönetimi planlaması veya yapması söz konusu değildir.

Tasarımı gerçekleştirilmiş 3. versiyon DA Yük Ajanı ve 2. versiyon Kaynak ajanına ait ölçülmüş veriler ile ajanların test yazılımına göndermiş olduğu veriler Şekil 5.27’de sunulmuştur.

Hem yük ajanı hem de kaynak ajanı için, dakika başına bir adet test verisiyle oluşturulan, Şekil 5.27’den anlaşılacağı üzere ölçülmüş verilere çok yakın ölçüm sonuçları üretebilmektedir. Ancak sonuçlar ölçme hatası yönünden incelenmesi mümkündür.

5.6. Ajanların Ölçme Hataları Yönünden İncelenmesi

Herhangi bir ölçme sonunda aynı güvenilirlikte elde edilmiş n adet sonuç için ortalama sonuç bağıntı (5.3)’e göre hesap edilebilir.

$$X_n = \frac{x_1 + x_2 + x_3 \cdots + x_n}{n} \quad (5.3)$$

Her bir ölçmenin bu ortalama değerden sapma miktarına “hata” denir ve bağıntı (5.4) dikkate alınarak hesap edilebilir.

$$\varepsilon_1 = x_1 - X_n, \quad \varepsilon_2 = x_2 - X_n, \quad \cdots, \quad \varepsilon_n = x_n - X_n \quad (5.4)$$

Bu ölçüm değerleri için “standart sapma” veya “etkin sapma” ise bağıntı (5.5) kullanılarak bulunabilir.

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_3^2 \cdots + \varepsilon_n^2}{n}} \quad (5.5)$$

Ayrıca test sonuçlarının üzerinden “ortalama sapma”, bağıntı (5.6) yardımı ile hesap edilebilir [109].

$$|D_n| = \frac{|\varepsilon_1| + |\varepsilon_2| + |\varepsilon_3| \cdots + |\varepsilon_n|}{n} \quad (5.6)$$

Ancak unutulmamalıdır ki, sabit bir büyüklük üzerindeki “n” adet ölçüm sonucu için bu bağıntılar kullanılarak ölçme hatası yönünden bir değerlendirme yapmak mümkündür. Yani Şekil 5.27’de sunulan tüm gün verilerinin tamamı ile bu bağıntılar kullanılarak işlem yapılamaz. Dolayısıyla “sabit tüketim varken” yük ajanı ve kaynak ajanı verilerinin ölçülmüş veriler de kullanılarak ölçme hatası yönünden bir yorum yapabilmek mümkündür. İşte bu sebepten Şekil 5.27’de görüldüğü üzere, saat 22:00 ile 23:00 arasındaki bir saatlik sabit veriler alınarak ajanlar hakkında ölçme hatası hesaplamaları yapılmıştır. Bağıntı (5.3) kullanılarak DA yük ajanı ve Kaynak ajanı için belirtilen aralık için yapılan hesaplamada ölçme sonuçları için ortalama değer aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$P_{DA \text{ yük ajanı ort.}} = 69,8195 \text{ W} \quad (5.7)$$

$$P_{Kaynak \text{ ajanı ort.}} = -58,1639 \text{ W} \quad (5.8)$$

Bu aralıktaki ajan ölçüm sonuçları için yapılan hatalar bağıntı (5.4) kullanılarak hesap edilebilir. Tabi ki, bu hesabı yaparken (5.7) ve (5.8)’deki sonuçlar kullanılır. Elde edilen ölçülen her bir değer için hata verilerini kullanarak standart sapma sonuçları şöyle olur.

$$\sigma_{P_{DA \text{ yük ajanı}}} = 0,7402 \text{ W} \quad (5.9)$$

$$\sigma_{P_{Kaynak \text{ ajanı}}} = 0,5532 \text{ W} \quad (5.10)$$

Ortalama sapma ise, bağıntı (5.6) yardımıyla hesaplanabilir ve sonucu bağıntı (5.9) ve (5.10)’da verilmiştir.

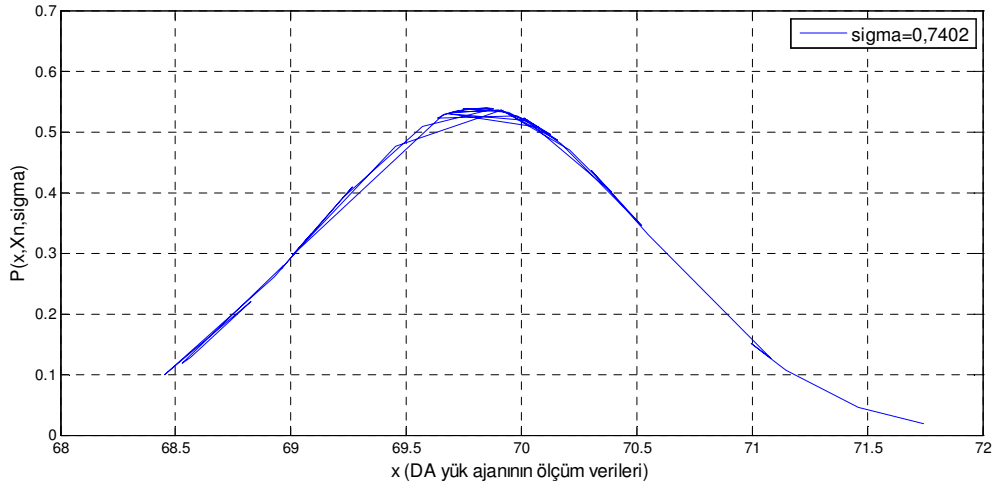
$$|D_{P_{DA \text{ yük ajanı}}}| = 0,5507 \text{ W} \quad (5.9)$$

$$\left| D_{P_{Kaynak\ ajanı}} \right| = 0,4971 \text{ W} \quad (5.10)$$

Hataların dağılımı ise olasılık kuramları kullanılarak hesap edilebilir. Örneğin; (5.11)'de sunulan Gaussian dağılım bağıntısı bunlardan biridir.

$$P(x, X_n, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{(x - X_n)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (5.11)$$

Bağıntı (5.5) kullanılarak elde edilen (5.7) ve (5.9) sonuçları, belirlenen aralıktaki ölçüm verileri ile (5.11) fonksiyonunda yerine konularak yapılan hesaplamalar neticesinde elde edilen verilere göre hata dağılımı Şekil 5.28'deki gibi olmaktadır.



Şekil 5.28. Yük ajanına ait ölçüm verileri için Gaussian hata dağılımı

Diğer taraftan, DA yük ve kaynak ajanının 22:00 ve 23:00 zaman aralığındaki ölçüm verilerinin ilk beş tanesi için, Şekil 5.27'de sunulan, veri kaydedici ile elde edilmiş gerçek ölçüm değerleri ile hata açısından kıyaslamak da mümkündür. Bunun için mutlak hata ve bağıl hataların sırası ile bağıntı (5.12) ve (5.13) kullanılarak hesap edilmesi gerekmektedir.

$$\left| \Delta_x \right| = \left| x_{\text{ölçülmüş gerçek değer}} - x_{\text{ajan ölçüm değeri}} \right| \quad (5.12)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta_x}{x_{\text{ajan ölçüm değeri}}} \quad (5.13)$$

Bahsi geçen beş veri için mutlak ve bağıl hata hesaplamaları sonuçları Tablo 5.5'te verilmiştir.

Tablo 5.5. Bir grup ölçüm verisi için hesap edilen mutlak ve bağıl hata verileri

Ölçme zamanı (Tarih - Saat)	Ölçülmüş değer (Veri kaydedici) [W]	Ölçülmüş değer (Yük ajanı) [W]	Mutlak hata [W]	Bağıl hata
07.11.2013 – 22:00:00	75,4292	71,7452	3,6840	0,0513
07.11.2013 – 22:01:00	75,3269	71,4629	3,8640	0,0540
07.11.2013 – 22:02:00	75,0380	71,1480	3,8900	0,0546
07.11.2013 – 22:03:00	74,9700	71,1150	3,8550	0,0542
07.11.2013 – 22:04:00	74,9020	70,9982	3,9038	0,0549

Tablo 5.5'teki gibi verilere göre, bütün ajanların ölçüm hatalarının %5 civarında olduğu anlaşılmaktadır. Yapılan ajan tasarımlarında, ajanlardan alınan verilere göre yüksek doğruluklu bir kontrol yöntemine ihtiyaç olmadığından, elde edilen ölçüm hata sınırlarının BMKV'nin çalışma doğruluk ve duyarlılığına etkisinin önemsenmeyecek kadar az olacağı söylenebilir. Zira, yetkilendirme seviyesi en fazla beş olan yükler için sistem güç kapasitesinin göz önüne alındığı, dolayısıyla yetkilendirmedeki çözünürlüğün en iyi durumda sistem kapasitesinin yetki seviyesine oranı olacağı açıktır. Buna göre, ajanların ölçüm hataları, yapılan güç yönetimi için uygundur.

5.7. Ajanların Elektromanyetik Uyumluluk Analizleri

Bilindiği gibi bir iletken elektrik akımının geçmesi iletken çevresinde bir elektromanyetik alan oluşturur. Akımın değişken olmasıyla bu alan da değişken olur ve bu durumda bir elektromanyetik dalga meydana gelir. Akımın frekansına ve şiddetine göre elektromanyetik dalga daha geniş alana yayılır ve tesiri de aynı oranda artar.

Elektromanyetik (EM) ortam; doğal ve yapay elektromanyetik alan (EMA) olarak iki sınıfta incelenmekte olup, doğal EM ortam; uzay ve güneşteki ışınım ile dünya

atmosferindeki elektriksel boşalmalar gibi iç ve dış kaynaklardan meydana gelmektedir. Doğal alanlar, gelişigüzel, geçici ve çok yüksek alan değerinde veya aşırı gürültülü patlamalar oluşturan çok geniş bir frekans bandına sahiptir. Yapay EMA ise insan yapımı Radyo Frekanslı (RF) elektronik cihaz ve sistemlerinden oluşmaktadır. Tablo 5.6'da, frekans dikkate alınarak elektromanyetik alanlarda bazı olağan yapay kaynaklar gösterilmiştir. Bunlar dünyanın manyetik alanı gibi doğal kaynak değildir.

Tablo 5.6. Elektromanyetik alan oluşturan bazı yapay kaynaklar

Frekans Bölgesi	Frekans	Maruziyet kaynaklarından bazı örnekler
Statik	0 Hz	VDU (video display unit), MR, tanı cihazlar, endüstriyel elektroliz, ısıtma cihazları
ELF (Çok Düşük Frekans)	0-300 Hz	Güç hatları, yerel dağıtım hatları, tren, tramvay ve araçlardaki elektrik motorları, ısıtma cihazları
IF (Ara Frekans)	300 Hz – 100 kHz	VDU, MR, mağazalardaki alarmlar, handsfree (elle tutulmadan kullanılan) erişim kontrol cihazları, metal dedektörler ve kart okuyucuları, ısıtma cihazları
RF (Haberleşme Frekansı)	100 kHz – 300 GHz	Cep telefonları, TV ve radyo, mikrodalga fırın, radar, sabit ve portatif vericiler, kişisel mobil cihazlar, MR

Yapay EM kaynakları teknolojinin gelişmesine paralel olarak, üretilmesi ve kullanımının artması ile günlük hayata hızla nüfuz etmektedir. Bu gelişme, kullanıcılar arasında sağlık endişelerini de beraberinde getirmektedir. Mesleki kullanımlar hariç genelde çok düşük seviyede olan bu alanları oluşturan cihazların yaydığı EMA'ların insanlara maruziyet (etki) derecesi öncelikle kullanıcının konumundan kaynağa olan mesafeye bağlıdır.

EMA maruziyeti, güç yoğunluğu ve mesafe yanında; maruziyet süresi, tipi (yakın veya uzak alan), kaynağın frekansı, elektrik ve manyetik alan büyüklüğü ile modülasyon (sürekli dalga veya darbe modülasyonu) gibi fiziksel özelliklere göre belirlenmektedir. Biyolojik sistemlerdeki maksimum RF enerji iletimi; biyolojik dokulardaki nüfuz

(penetrasyon) ve dağılımı, enerji emilimi, güç depolanması, oluşan elektrik ve manyetik alan tarafından belirlenebilir. Bunların miktarları, vücudun büyüklüğü ve fiziksel şekliyle ilişkili olarak değişiklik göstermektedir. Toplam faktör, aynı yoğunlukta, yerel veya vücudun farklı uzak bir bölümünde veya tüm vücudun maruziyeti olup daha çok dokuların ısınması olarak kabul edilir. Isı etkisi; yerel, kısmi veya tüm vücut maruziyetinden kaynaklanan biyolojik sistemlerdeki emilim veya RF enerji depolanması yoluyla olur. Maruziyetten kaynaklanan vücuttaki emilim; vücudun elektriksel iletkenliğine, elektriksel geçirgenliğine ve kütle özelliklerine bağlıdır.

Isı etkisi EMA'nın büyüklüğüne bağlı olarak, atomların bir araya gelerek oluşturduğu moleküller ve moleküllerin bir araya gelerek oluşturduğu, içinde enzim, protein, DNA-RNA, mitokondri, ribozom gibi organeller bulunan ve sudan oluşan bir ortamı içeren hücrelere harici enerji yüklenmesine neden olur. Bilindiği üzere canlılarda hücrelerin bir araya gelmesi ile dokular, dokuların bir araya gelmesi ile organlar ve organların bir araya gelmesi ile canlılar meydana gelmektedir. Her canlıda her dokunun özelliği farklıdır. Yumuşak ve sert dokuların da her birinin farklı yoğunluk ve iletkenlik değerleri vardır.

Enerjisini hücreye aktaran foton geliş istikametine doğru içindeki suyu harekete geçirir. Frekansa göre değişik sayıda, mesela 1 saniyede; 10 Hz'de 10 defa, 500 MHz de 500 milyon defa suyu iter. Suyun hareketinden dolayı oluşan sürtünme, ısı enerjisine dönüşür ve hücrede ısı artışı olur. İşte EMA'nın canlılara etkilerinden biri olan ısıl veya ısı etkisi bu yolla meydana gelir.

RF enerjisine olan kısa süreli maruziyetin, yukarıda belirtildiği üzere, dokuda ısı artışına neden olması yeterince önemli olmayabilir. Burada önemli olan ısı artışının zamana göre hızıdır ve bu da dokunun özgül emilim oranı (specific absorption rate-SAR) ile orantılıdır. Çok uzun maruziyet süresinde oluşan ısı artışı; biyolojik yapıya, dokuya gelen dalga açısına, dokuların ısı düzenleme tepkisine ve aktif telafi sürecine bağlıdır. Vücudun bir kısmının veya yerel bir bölgenin maruziyetinde RF enerji emilimi çok fazla ise burada hızlı ısı artışı ve yerel doku hasarı oluşturabilir.

Normal şartlar altında, insanlarda ve laboratuvar hayvanlarında 1 °C'lik sıcaklık artışının, 4 W/kg'lık SAR değerinden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Ancak bu ısı artışı insanın ısı düzenleme kapasitesi aralığı içinde dengelenebilir. Aynı SAR değeri, önceden ortamda var olan ısı ve nemin olduğu çevresel şartlar altında 1 °C'lik artışa ve müsaade edilen normal seviyelerin çok üzerinde ısı artışlarına neden olabilir. Böylece vücutta

istenmeyen ısı baskısından dolayı tepkiler hızlanabilir. Sıcaklık artışlarına karşı maruziyetten korunmak için belli başlı dayanak, Dünya’da yaygın olarak uygulanan ve Dünya Sağlık Örgütü’nce de kabul edilen ICNIRP (Uluslararası İyonize Olmayan Radyasyondan Korunma Komitesi) maruziyet kılavuzlarıdır. Bu kılavuzda insan için 1°C’ den fazla ısı artışı referans alınmış olup, bu eşik değerin ihlal edilmesi zararlı kabul edilmektedir [110].

Elektromanyetik kirliliğin insan yaşamındaki etkilerinin en aza indirilmesi için; Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK) gerekli teknik ve idari çalışmalar yapmış ve ilgili yönetmeliğin hazırlanması safhasında ICNIRP limitleri dikkate alınmıştır. Bu limitler; 900 MHz için 41 V/m, 1800 MHz için 58 V/m’dir. Bu değerler, ABD ve Avrupa Birliği üyesi ülkeler dahil 42 ülke tarafından kabul edilmiş değerlerdir. Ülkemizde ise, cihaz başına kabul edilen limit değerler standart değerlerin yaklaşık 1/4’üne karşılık gelmektedir. Yani, GSM 900 için 10 V/m ve GSM 1800 için 14 V/m olarak kabul edilmiş ve böylelikle 16 kat daha güvenli koruma sağlanmıştır. Bu değerler Tablo 5.7’de genel olarak verilmektedir.

Tablo 5.7. Ortam ve tek bir cihaz için belirlenen limit değerler

Frekans aralığı [MHz]	E – alan şiddeti [V / m]		H – alan şiddeti [A / m]		B – Manyetik akı yoğunluğu [μT]		Eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu [W/m ²]	
	T	O	T	O	T	O	T	O
0,01 – 0,15	22	87	1,3	5	1,5	6,25	-	-
0,15 – 1	22	87	0,18/f	0,73/f	0,23/f	0,92/f	-	-
1 – 10	22f ^{1/2}	87f ^{1/2}	0,18/f	0,73/f	0,23/f	0,92/f	-	-
10 – 400	7	28	0,02	0,073	0,023	0,092	0,125	2
400 – 2000	0,341 f ^{1/2}	1,375 f ^{1/2}	0,0009 f ^{1/2}	0,0037 f ^{1/2}	0,001 f ^{1/2}	0,0046 f ^{1/2}	f / 3200	f / 200
2000 – 60000	15	61	0,04	0,16	0,05	0,2	0,625	10

T: Tek bir cihaz için limit değeri, O: Ortamın toplam limit değeri, f: Frekans

Bu çalışmanın konusu olan enerji yönetiminin, karar verici optimizasyon yazılımı ve ajanlar olmak üzere iki temel elemanı vardır. Bu elemanlar arasındaki tüm haberleşmede kablosuz olarak planlanmış ve kullanıcı kolaylığı açısından tasarımı bu şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu tasarımda uluslar arası bir üreticiye ait 2.4 GHz frekans bandında çalışan XBee RF haberleşme modülleri kullanılmıştır ve bu ürünün veri sayfasında şu ifadelerle konuya temas edilmektedir:

“Xbee/Xbee Pro RF modüller birçok Avrupa ülkesinde kullanım için onaylanmıştır. Ancak bu modüller bir ürünün içerisine katılırsa, Üretici Alçak Gerilim Güvenlik Standartlarına (LVD) ve Elektromanyetik Uyumluluk Kriterlerine (EMC) uygun hale getirerek, Avrupa için nihai ürünün uygunluğunu garanti etmelidirler [111].”

Dolayısıyla ajan tasarımında kullanılan bu modüllerle ortaya çıkan prototip ürünün, EMC kriterlerine uygunluklarının test edilmesine karar verilmiştir. Bu test, BTK'nın hazırladığı Tablo 5.7'de sunulan kriterlere göre yapılması planlanmıştır ve bunun için PMM marka 8053B model numaralı taşınabilir elektromanyetik alan ölçü cihazı kullanılmıştır. Cihaz 3 eksenli ölçüm yapabilmekte olup, uygun probu ile 5 Hz ile 40 GHz arasında, V/m, kV/m, $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, mW/cm^2 , W/m^2 , A/m, nT, μT ve mT birimlerinde ölçüm yapabilmektedir.

Bu ölçü aleti kullanılarak diğer alanlardan arındırılmış bir ortamda, bir haberleşme ajansı ile ona bağlı iki adet yük ajansı ile donatılmış olarak bazı ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçümler V/m ve A/m biriminde yapılmıştır ve Tablo 5.8'de sunulan sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 5.8. PMM 8053B ile yapılan elektromanyetik alan ölçüm sonuçları

E – alan şiddeti (V / m)			H – alan şiddeti (A / m)			Açıklama (Ölçüm süresi 1dk)
Max	RMS	Anlık	Max	RMS	Anlık	
1,06	0,63	0,29	0,002	0,01	0,01	Ajana 0,1m mesafede
1,06	0,18	*	0,002	0	*	Ajanlara 1m mesafede (ortada)
6,35	3,66	1,37	0,016	0,03	0,04	Ajana 0,1m mesafede, ortamda bir masaüstü bilgisayar, bir mini buzdolabı, bir dizüstü bilgisayar, bir su ısıtıcısı (çaycı) ve bilgisayara bağlı iki adet hoparlör varken ve çalışırken

* : Ölçüm alanının dışında kalacak kadar küçük değer

Tablo 5.8 sunulan ölçülmüş değerler ile Tablo 5.7'de sunulan limit değerler kıyaslandığında, tasarlanan ajan prototiplerinin insan sağlığı açısından hem ICNIRP'nın hem de BTK'nın sınırlarından çok daha düşük yapay EMA ürettiği görülmüştür.

6. AKILLI GÜÇ YÖNETİM YAZILIMI

6.1. Giriş

Güneş enerji kaynağı hem tüm yıl boyunca hem de gün içerisinde değişkenlik ve süreksizlik arz etmesi sebebiyle, yenilenebilir kaynaktan elde edilen gücün yönetiminin zorunlu olduğu birçok kez bu çalışmada gösterilmiştir. Bu güç yönetiminin, kullanıcı sınırlılıkları ve konfor ölçütleri göz önünde tutularak, depolanmış ve mevcut enerjiyle yapımı Bölüm 4'te ayrıntılı anlatılmıştır. Güç yönetiminin yapılabilmesi için ihtiyaç duyulan üretim ve tüketim verilerinin elde etmek ve kullanıcı konfor kriterlerini de göz önünde bulundurarak belirli yüklerle ilgili devrede kalma veya devre dışı bırakılma işlevlerini yerine getirecek olan ajan tasarımları ise Bölüm 5'te ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Kısım 5.4'de anlatılan ajanların tanımlamalarının yapılacağı, tüketim ve üretim verilerinin haberleşme ajanı vasıtasıyla okunacağı, Bölüm 4'te anlatılan BMKV algoritmasının koşturulabileceği ve kullanıcı etkileşiminin sağlanabileceği ara yüze sahip bir yazılıma ihtiyaç vardır. Bu taleplerin çözümlerini içinde barındıran tasarlanmış yazılım, "Akıllı Güç Yönetim Sistemi" (AGYS) bu bölümde ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

6.2. Akıllı Güç Yönetimi Sistemi

Akıllı Güç Yönetimi Sistemi Kısım 5.4'te anlatılan test yazılımı kodları ve Bölüm 4'te tasarımları verilmiş kaynak ve yük ajanlarının çalışma sistematığı esas alınarak tasarlanmıştır. Ancak test yazılımının tasarımı sürecinde bazı yeni ihtiyaçlar belirlenmiştir. Bu yeni ihtiyaçlar ve test yazılımı tasarım kodları uygun bir şekilde birleştirilerek, Akıllı Güç Yönetimi Sistemi için planlanan özellikler aşağıda sıralanmaktadır:

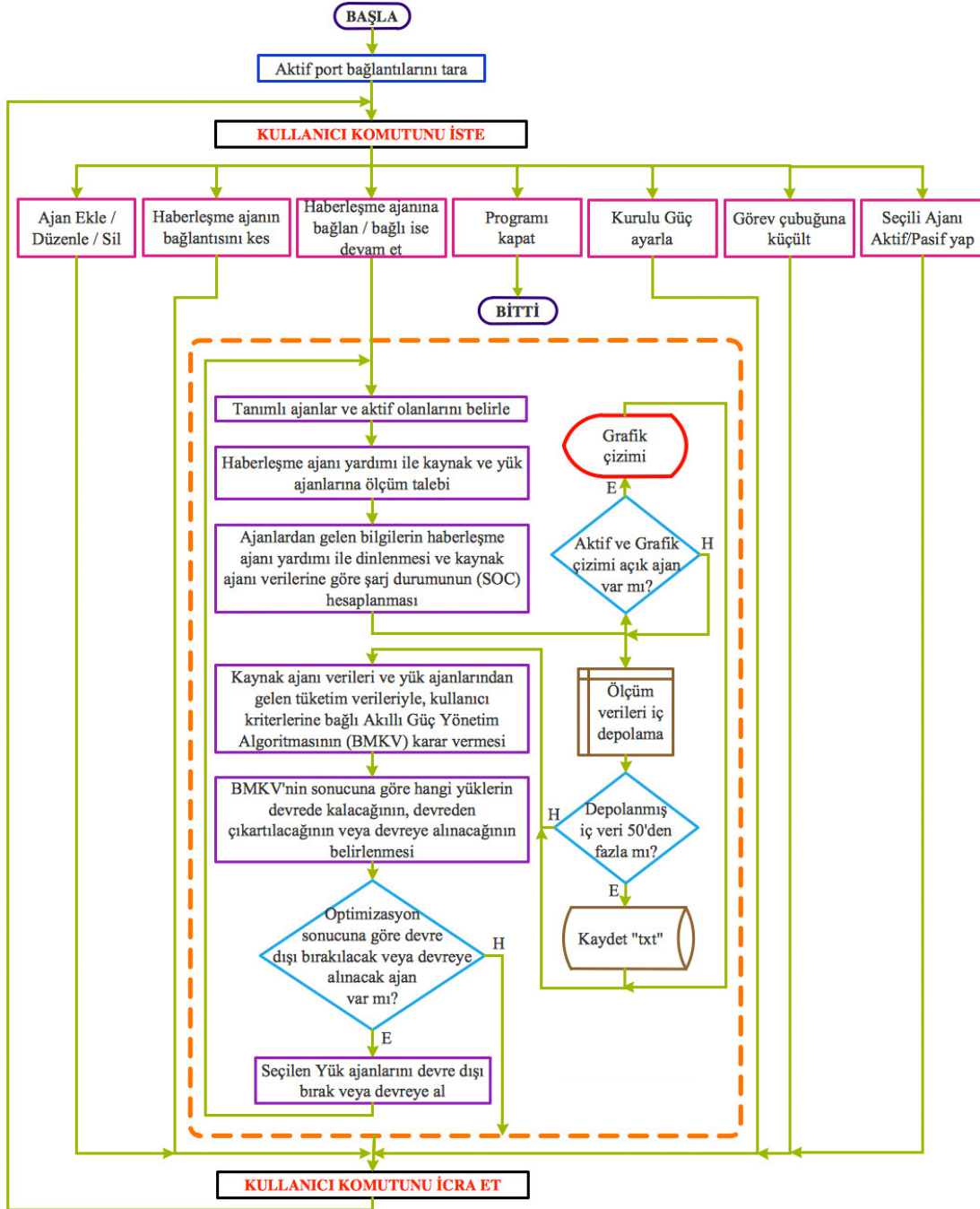
- Anlık tüketimlerin örnekleme aralıkları dikkate alınarak grafiksel olarak gösterimi sağlanabilmesi,
- Anlık kaynak üretimi, Anlık tüketim toplamı ve SOC'un de grafiksel olarak gösterilebilmesi,
- Ajanların tanımlama, düzenleme ve silinebilmesi,
- Tanımlı ajanlarda grafik gösterimini aç/kapa fonksiyonunun olabilmesi,

- Tanımlı ajanlarda gerektiğinde herhangi bir yükü elle kontrol için ajan üzerindeki yük denetimini kullanarak aktif/pasif edilebilmesi,
- Bu görsel gösterim, yüklerin anlık tüketim değerleri için, toplam anlık tüketim ve üretim verileri için ve SOC'un yüzdeler birim değeri için olmak üzere en az üç pencerede oluşturulabilmesi,
- Haberleşme ajanının bağlı olduğu portu algılayıp, bağlantı için hazır edilmesi,
- Haberleşme ajanına bağlantı sağlandıktan sonra, kullanıcı talep etmediği müddetçe bağlantının kesilmemesi,
- Aktif ajanlardan alınan tüm verilerin sayısal olarak bir yazı (text) alanında gösteriminin sağlanabilmesi,
- Bu sayısal verilerin gösterildiği alanın en üstünde her zaman son okunan verilerin yer alabilmesi,
- Bu sayısal verilerin önceden belirlenmiş aralıklarda, AGYS koşturulmaya başlandığında otomatik oluşturulacak "txt" belgesinde saklanabilmesi,
- AGYS'nin Haberleşme ajanı ile bağlantısı kesildiğinde veya programdan tamamen çıkış yapıldığında, iç depolama birimindeki tüm veriler "txt" dosyasına yazılabilmemesi,
- Örneklem periyodunun ayarlanabilmesi,
- Kısım 6.3.6'da anlatıldığı ve Şekil 4.11'de sunulduğu gibi, BMKV'nin ikinci girişinden önce Bağlı Tüketim Güç değerinin hesap edilebilmesi için bilinmesi gereken Kurulu Güç değerinin girilebilmesi için gerekli form alanının bulunması, gibi özelliklere sahip geliştirilecek yazılımın bir ara yüzü olmalıdır.

Ayrıca bu yazılım arka planda aşağıdaki işlevleri yürütmelidir.

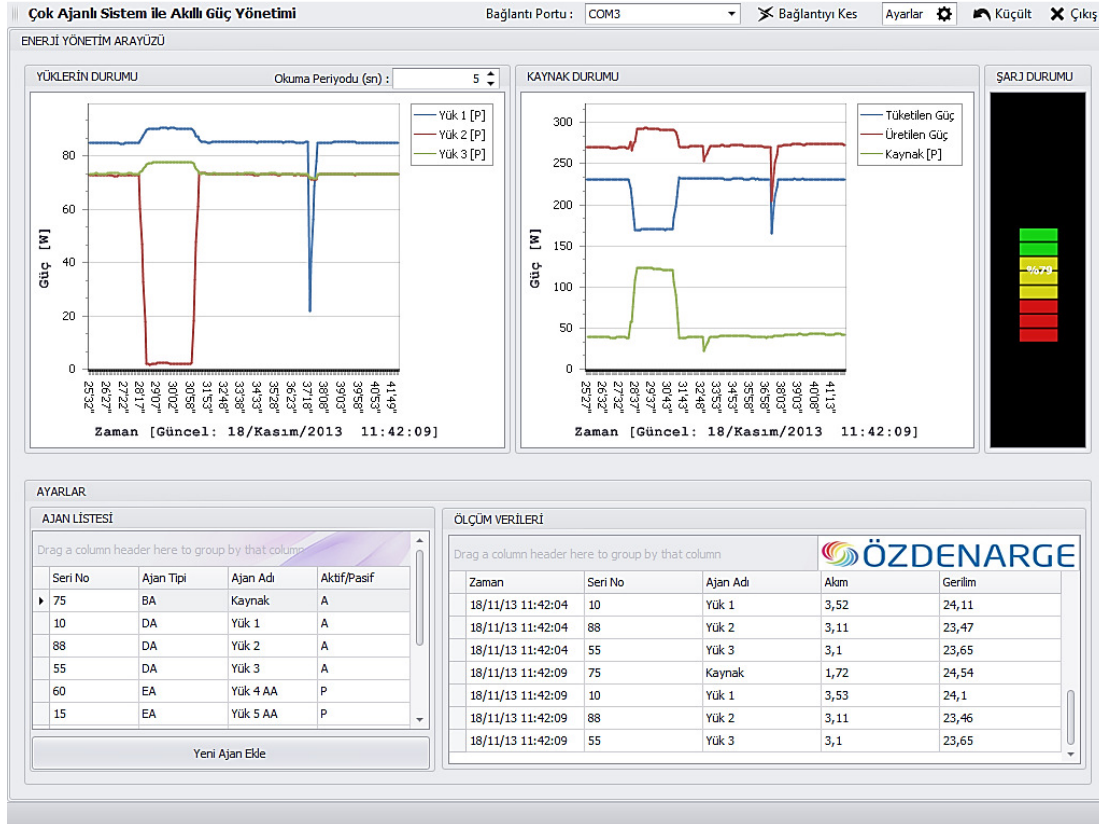
- Tüm ajanlarla haberleşme ajanı üzerinden haber kurabilmeli,
- Alınan verileri işleyebilmeli,
- BMKV kullanarak, kullanıcı konfor kriterine bağlı olarak, toplam tüketim, kaynak ve depolama birimini dikkate alarak hangi öncelikli yüklerin devrede kalacağına karar verebilmeli,
- Bu öncelik değeri ile sırt çantası problemine dayalı olarak, hangi yüklerin devrede kalacağı ile ilgili bir çözüm üretilmeli,
- Bu çözüm sonucuna bağlı olarak ilgili yükleri devrede tutmalı, devreden çıkartabilmeli veya devreye almalıdır.

Tüm bu özellikleri kapsayan bir yazılımı oluşturabilmek için Şekil 6.1’de sunulan akış diyagramı geliştirilmiştir.



Şekil 6.1. Akıllı Güç Yönetimi yazılımı için oluşturulan akış diyagramı

Bu Akıllı Güç Yönetim Sistemi için, test yazılımının tasarımında da kullanılan Visual C# editörü kullanılarak kodlama yapılmıştır. Ancak bu editörün grafiksel gösterimler için uygun araç kutuları bulunmadığı için, DevExpress'in "WinForms" araçlarından faydalanılarak yazılım geliştirilmesi daha uygun olacağı düşünülmüş ve bu yönde tercih yapılmıştır. Yazılımın nihai ara yüzü Şekil 6.2’de verilmiştir.



Şekil 6.2. Akıllı Güç Yönetimi yazılımı ara yüzü

Özellikle “kaynak” ve “yük” ajanlarından okunan veriler DevExpress Kullanıcı arayüzü kontrollerinden XtraChart’ın özelliklerinden biri olan “Real-time Chart” özelliği ile kullanıcı ara yüzünde görüntülenmektedir. Diğer taraftan bu veriler grafiksel olarak görüntülenirken verilerinin program ekranından görüntülenebilmesi için XtraGrid özelliği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bir başka özellik olarak da XtraGauges özellik gurubundaki “Level Indicator” özelliği şarj durumunun kullanıcı tarafından kolaylıkla algılanabilmesi için tercih edilmiştir.

6.3. Akıllı Güç Yönetimi Sistemi Bileşenleri

6.3.1. Ajanlar ile Bağlantı

Kısım 5.3.3'te anlatılan Haberleşme ajanının iletişim metoduna uygun olarak geliştirilen AGYS, seri haberleşme yöntemiyle COM port üzerinden bağlantı kurabilecek biçimde tasarlanmıştır. Ancak herhangi bir bilgisayarda birçok seri haberleşme portu bulunmaktadır. Bu yüzden bağlantı portu seçim menüsü bu portların aktif olanlarının isimleri ile dolmaktadır. Kullanıcı bu listedeki hangi porta haberleşme ajanı takıldığını tespit etmekte zorlanabilmektedir. Bu problemi ortadan kaldırmak için yazılan küçük bir kod ile haberleşme ajanının bağlı olduğu port “Bağlantı Portu” listenin en üstünde görüntülenmesi sağlanmıştır. Böylelikle AGYS koşturulduğunda haberleşme ajanının takıldığı aktif COM portu, kullanıcı tespit etmeye çalışmadan “Bağlan” butonuyla bağlanabilmektedir.

Kullanıcı AGYS’yi çalıştırdığında Haberleşme ajanına bağlanmadan önce Şekil 6.2’de görülen program ara yüzünün, “Bağlan”, “Küçült”, “Çıkış” ve “Bağlantı Portu” seçim fonksiyonları hariç diğer tüm alan ve işlemleri pasiftir. Ancak “Bağlan” butonu tıklandığında Haberleşme ajanı ile bağlantı kurulumu gerçekleştirilir ve bağlantının başarı ile tamamlandığı kısa süreliğine ekranın sağ alt köşesinde oluşturulan mesaj penceresiyle kullanıcıya bildirilir. Bağlantı gerçekleştiğinde “Bağlan” butonu artık “Bağlantıyı kes” olarak değişmiştir. Kullanıcının üst üste aynı butona tıklaması (Örneğin bağlantı var iken tekrar bağlantı yapmak gibi) problemleri ortadan kaldırmak için iki buton kullanarak bağlantı tasarımını gerçekleştirmek yerine, tek bir buton ile bağlantı tasarımı gerçekleştirme yoluna gidilmiştir.

AGYS’yi durdurmak için “Bağlan” butonu yerinde belirmiş “Bağlantıyı Kes” butonunu tıklamak yeterlidir. Bu tıklamanın ardından, bağlantının başarı ile kesildiğini ifade eden bilgilendirme mesajından sonra programın Haberleşme ajanı bağlantısı kesilmiş olur ve programın bahsedilen temel işlevleri hariç tüm işlevleri tekrar pasifleşir. Bağlantı esnasında oluşan bilgilendirici mesaj kutuları birçok işlemin ardından ekranda yine kısa süreliğine (birkaç saniye) görüntülenmekte ve ardından görüntüsü ekrandan tedrici olarak şeffaflaşarak kalkmaktadır.

6.3.2. Ajan İşlevleri

AGYS'nin haberleşme ajanı ile bağlantısı sağlandıktan sonra aktif olan pencerelerinden birisi Şekil 6.3'te sunulan ajan listesidir. Bu listede yazılıma ekli ajanlar ve onlara ait bilgiler bulunmaktadır. Kısım 5.4'te ayrıntılı olarak bu bilgilerden bahsedilmişti. Ajan serin numarası, ajan tipi ve aktif/pasif durumu bu bilgilerdendir.

Seri No	Ajan Tipi	Ajan Adı	Aktif/Pasif
75	BA	Kaynak	A
10	DA	Yük 1	A
88	DA	Yük 2	A
55	DA	Yük 3	A
60	EA	Yük 4 AA	P
15	EA	Yük 5 AA	P

Yeni Ajan Ekle

Şekil 6.3. Ajan listesi penceresi

Ajan listesi penceresinin altındaki buton, isminden de anlaşacağı üzere yeni ajan tanımlama fonksiyonunu icra edecek pencereye erişmek için kullanılır. Bu buton tıklanmadan önce eklenecek ajan güç sistemine bağlanmalı ve enerjilendirilmelidir. Aksi takdirde bağlantı esnasında ajan ile iletişim sağlamak mümkün olamamaktadır. Bağlantıları yapılan ajan için buton tıklanarak ve Şekil 6.4'de görülen form alanları doldurulur.

Ajan Ekle

Sisteme yeni bir ajan eklemek için, ajana vermek istediğiniz ismi ve ajan cihazının üzerinde yazan seri numarasını ve ajan tipini giriniz.

Ajan Adı :

Seri No :

Ajan Tipi :

Öncelik :

Şekil 6.4. Ajan ekleme penceresi

Ekleme penceresinde, kullanıcı tarafından bilgi girilmesi zorunlu alanlar bulunmaktadır. Bunlar ajan adı, seri numarası, tipi ve öncelik kriteridir. Ajan adı kullanıcı tarafından tanımlanan ajana özgü olarak istenildiği gibi verilebilir. Seri numarası ise, ajanın aygıt yazılımı içinde tanımlanmış sadece o ajana mahsus bir numaradır ve ajanın üzerinden okunarak yazılmalıdır. Bu bilgi yanlış yazılırsa ajanın eklenmesi mümkün olmaz. Ajan tipi ise Tablo 5.4'te verildiği gibi üç farklı şekilde olabilir. Tanımlanan ajan bu tiplerden hangisi ise o seçilmelidir. Öncelik alanında ise, tanımlanan ajana bağlı olan yükün kullanıcı konforu açısından diğer yüklerle göre önceliğinin belirlendiği menüdür. Bu menüde “En yüksek”, “Yüksek”, “Normal”, ”Düşük” ve “En düşük” olmak üzere beş adet seçenek mevcuttur. Bu seçenekler verilen sıraya göre kullanıcı konforu açısından “En vazgeçilmez” ’den, “En az zorunlu” ’ya doğru olan derecelendirmeye karşılık gelmektedir. Kullanıcı buna göre bir tercih yapar. Akabinde “Ajan Ekle” butonuna basılır. Eğer ajan AGYS’yi eklenmiş ise “ isimli ajan başarı ile sisteme tanıtıldı.” veya eklenememişse “Ajan ekleme beklenenden uzun sürdüğü için iptal edildi. Lütfen tekrar deneyin!” yazılı mesajla bilgilendirme yapılır. Ekleme işlemi başarılı bir şekilde gerçekleştirildiğinde yeni ajan bilgileri Ek-8’de verilen “ajan dosyasına” kaydedilir. Dolayısı ile program her açıldığında tanımlı ajanları bu belgeden okuyarak ajan listesini oluşturur.

Ajan listesinde görülen tanımlı ajanlarda herhangi bir düzenleme yapılmak istendiğinde o ajanın listede bulunduğu satırın üzerinde sağ tık yapmak yeterlidir. Örneğin; seri numarası 10 olan ajanın satırına sağ tuş ile tıklanıldığında Şekil 6.5’te görülen pencere açılır. Bu menü yardımı ile ajandan gelen verilerin grafiğini anlık olarak ilenebilecek ayar yapılabilir. Bu menü satırı seçili ise önünde bir “check” görülür. Dolayısı ile her veri alınan ajanın anlık veri grafiği izlenmeyebilir. Ancak bu veriler BMKV için kullanılır ve iç depolama biriminde saklanır.

Menünün ikinci satırında ise ajanın “aktif” veya “pasif” durumu hakkında bilgi verir ve değişiklik yapılmasına olanak sağlar. Aktif durum; ajan ile iletişim kurulmasına, istenilen verilerin alınmasına ve BMKV tarafından beslediği yükü devre dışı bırakması, devreye alması veya devrede tutması gibi istekleri yerine getirebilme halini ifade eder. Pasif durum ise; ajanın bir şekilde kullanım dışı kalması durumunda kullanılır. Yani bir şekilde önceden yazılıma tanıtılmış bir ajan, herhangi bir sebepten güç sisteminden ayrılmış ve sonradan kullanılma ihtimali var ise, bu ajanı pasif yapılır. Böylelikle tekrar kullanılacağı zaman yeniden AGYS’yi tanıtılmak durumunda kalınmaz. Aynı “Grafik ile İzle” seçeneğinde olduğu gibi, bu menü satırında da “check” işaret vardır. İşaretin olması

“Aktif durumu” ifade eder. Bu menüdeki seçim, aynı zamanda “Ajan Listesinde” görülebilir.

The screenshot shows a window titled 'AJAN LİSTESİ' with a table of agents. A context menu is open over the row with 'Seri No' 10, 'Ajan Tipi' DA, and 'Ajan Adı' 'Yirik 1'. The menu options are: 'Grafik İle İzle' (checked), 'Aktif / Pasif' (checked), 'Düzenle', and 'Sil'. Below the table is a button labeled 'Yeni Ajan Ekle'.

Seri No	Ajan Tipi	Ajan Adı	Aktif/Pasif
75	BA	Kaynak	A
10	DA	Yirik 1	A
88	DA		A
55	DA		A
60	EA		P
15	EA		P

Şekil 6.5. Ajan listesi değişiklik penceresi

Üçüncü satır ise “Düzenle” seçeneğidir ve seçili ajanın önceden tanımlı bilgileri üzerinde düzenleme yapma imkanı tanır. Bu satır seçildiğinde Şekil 6.6’da sunulan pencere açılır. Ancak tüm alanları dolu olarak açılır. Bu alanların verileri daha önceden bahsedilen “ajan dosyasından” çekilir. Düzeltme işlemi mevcut bu bilgiler üzerinden yapılır ve “Düzeltil” butonu tıklanarak yeni bilgilerin “ajan dosyasındaki” eski bilgiler üzerine kaydedilmesi sağlanır.

Menünün son satırında ise seçili ajanın silinmesi için seçenek mevcuttur. Bu seçenek yardımı ile ajan hem “Ajan Listesinden” hem de “ajan dosyasından” silinir.

Bu dört seçeneğin her birinin sonunda yapılan işleme uygun olarak mesaj pencereleri aracılığıyla kullanıcıya bilgilendirme yapılır.

6.3.3. Ölçüm Verileri

Yazılımın ara yüzünde bulunan bir diğer pencere ise aktif ajarlardan gelen ölçüm verilerinin biriktirildiği iç depolama bölümüdür. Verilerin iç depolaması ile ilgili bilgilendirme Kısım 6.2 ve Şekil 6.1’de yapılmıştı. Şekil 6.6’da sunulan ölçüm verilerinin iç depolama alanı her aktif ajan için her örneklem adımında okunan değerleri gösteren bir form alanıdır.

ÖLÇÜM VERİLERİ					
Drag a column header here to group by that column					ÖZDENARGE
Zaman	Seri No	Ajan Adı	Akım	Gerilim	
15/11/13 16:15:02	10	Yük 1	2,26	26,84	
15/11/13 16:15:02	88	Yük 2	0,3	26,74	
15/11/13 16:15:02	55	Yük 3	2,87	21,76	
15/11/13 16:15:07	75	Kaynak	-8,88	22,78	
15/11/13 16:15:07	10	Yük 1	2,75	24,62	
15/11/13 16:15:07	88	Yük 2	0,18	24,49	
15/11/13 16:15:07	55	Yük 3	2,87	21,76	
15/11/13 16:15:12	75	Kaynak	-8,88	22,77	
15/11/13 16:15:12	10	Yük 1	3,23	22,4	
15/11/13 16:15:12	88	Yük 2	0,18	24,49	
15/11/13 16:15:12	55	Yük 3	2,88	21,76	
15/11/13 16:15:17	75	Kaynak	-8,88	22,77	
15/11/13 16:15:17	10	Yük 1	3,23	22,4	
15/11/13 16:15:17	88	Yük 2	0,06	22,24	
15/11/13 16:15:17	55	Yük 3	2,88	21,76	
15/11/13 16:15:22	75	Kaynak	-8,88	22,76	
15/11/13 16:15:22	10	Yük 1	3,23	22,4	
15/11/13 16:15:22	88	Yük 2	0,06	22,25	
15/11/13 16:15:22	55	Yük 3	2,87	21,76	

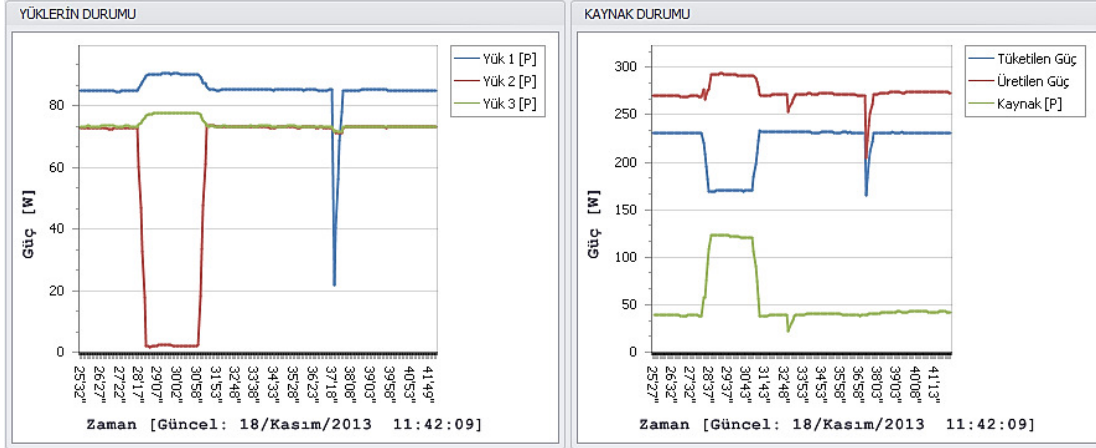
Şekil 6.6. Ajan ölçüm verileri penceresi

Ajanın grafik alanında gösterimi açık olsun ya da olmasın verileri iç depolamada görüntülenir. Okunan son veriler zaman sütununa göre sıralandığı için tablonun en altın da olur. Ancak kullanıcı tarafından okunan son veriler, öncekilere göre daha önemli olabileceği düşünüldüğünden, tablonun en sonundaki veriler her zaman görülebilmesi için dikey kaydırma çubuğu otomatik aşağıya kaydırılmaktadır. Bu alan program açık olduğu müddetçe verileri saklamaz. Yazılımda belirlenen aralıklarda tablodaki tüm veriler bir “log dosyasına” kaydedilir ve tablo boşaltılır. Bu “log dosyası” yazılım açıldığında anlık tarih ve zaman bilgisi de ismine yerleştirilerek otomatik olarak oluşturulur. Ne zaman AGYS kapatılırsa dosyaya kayıt bitirilmiş olur. Aksi halde yazılım ana penceresi açık olduğu sürece ajanlar ile bağlantı sağlanmış olsun veya kesilsin dosya açık kalır. Tablo içindeki veri sayısı belirlenen sayıya her geldiğinde dosyanın son satırının altına yeni verileri kayıt eder ve tabloyu boşaltır.

6.3.4. Yük ve Kaynak Grafikleri

Aktif ajanlardan alınan veriler BMKV'nin işlem yapabilmesi için bir dizide belirli miktarda geçici olarak saklanarak kullanılabilir. Aslında bu kadarı Güç Optimizasyonu için yeterli olmasına karşın, kullanıcılar için bilgilendirici pencerelerde oluşturulmasının daha

uygun olacağı düşüncesi ile ölçüm verileri için iç depolama tablosu ve grafik alanları tasarlanmıştır. Şekil 6.7’de sunulan grafik alanları iki pencere halinde gerçekleştirilmiştir. Grafik pencerelerin birinde (Şekil 6.7a) aktif tüm yük ajanlarından gelen veriler kullanılmıştır. Ancak veriler grafik alanına basılmak yerine, akım ve gerilim çarpılarak elde edilen güç değeri bu grafikte kullanılmıştır.



(a) Yüklerin durum grafiği

(b) Kaynak durumu grafiği

Şekil 6.7. Tüketim, üretim ve kaynak durumu veri pencereleri

Diğer grafik (Şekil 6.7b) alanında ise, kaynak durumu, tüketilen ve üretilen güç verileri kullanılmıştır. Kaynak durumu verisi adından da anlaşılacağı üzere kaynak ajanından gelmektedir. Anlık Tüketilen toplam güç verisi ise aktif ajanların anlık güç tüketimlerinin toplamları ile elde edilmektedir. Anlık Üretim güç verisi ise bağıntı (6.1) kullanılarak her örneklem adımında hesap edilerek elde edilmektedir. Burada i , her hangi bir örneklem anındaki verileri ifade etmektedir.

$$P_{\dot{U}_i} = P_{KA_i} + P_{T_i} \quad (6.1)$$

6.3.5. Depolama Birimi Şarj Seviyesi Göstergesi

AGYS'nin diğer penceresi ise bataryaların şarj durumunu ifade eden dinamik görsel grafiklerdir. Şarj durumu Kısım 2.5'te verilen bağıntı (2.31) kullanılarak her örneklem adımında hesap edilir. Elde edilen değer [0,1] aralığındadır. Bu değer kullanılarak şarj

durumu Şekil 6.2'deki gibi hem yüzdelik cinsten hem de seviyeyi belirten dilimlerle görselleştirilir.

6.3.6. Diğer Alanlar

Yazılımdan tamamen çıkmak için Şekil 6.8'de görülen çıkış butonu kullanılabilir. Çıkış butonu tıklandığında, iç depolama birimindeki tüm veriler “log” dosyasına kayıt edilir ve log dosyası kapatıldıktan sonra ana pencere kapatılır.



Şekil 6.8. Ayarlar menüsü

Şekil 6.8'de görülebilen “Ayarlar” menüsünden bir çok değişiklik yapmak mümkündür. Bunlardan ilki, BMKV'nin giriş verisi olan bağıl tüketim verisinin hesabında kullanılmak üzere Güç Sisteminin “kurulu güç” verisi girişidir. Bu alan kullanılarak kurulu güç değişikliği yapılabilir. Diğerleri ise hem ajanlardan veri okuması hem de BMKV'nin işlemleri için örnekleme aralığının ayarlanmasını sağlayan zamansal alanlar, batarya kapasitesinin ve kayıp faktörünün tanımlandığı veri giriş alanlarıdır. Bu veriler SOC gibi, parametrelerin hesabında ve karar verme sürecinde kullanılmaktadır.

Sonuncu alan ise, her iki grafik alanı için ekranda en fazla ne kadar zamansal aralıktaki verilerin gösterileceği ile ilgili ayardır. Bu alanda tanımlanan zaman aralığının dışında kalan önceki veriler grafik çizim alanından atılmaktadır.

Bu bölümün tümünde açıklanan işlev ve ekran görüntüleri için oluşturulan AGYS'ye ait yazılım kodlarının tamamını vermek çok uzun olduğu için Ek-9'da sadece BMKV'nin kodları sunulmuştur.

7. BULGULAR

7.1. Giriş

Doğru Akım dağıtımı esas olarak tasarlanan Şekil 5.1’de sunulan model sistem üzerinde yapılan deneysel çalışma sonuçları, aşağıda sıralanan maddelerdeki kabuller göz önünde bulundurularak elde edilmiştir:

- Ajan tüketimleri sistem üzerinden karşılanmıştır,
- Hava koşullarının değişimi FV üretici etkilemektedir,
- Yüklerin anma değerleri sabittir,
- Depolama birimi elemanları (bataryalar) ortam sıcaklığından etkilenmektedir,
- PanelPC’nin, sistemin haricen takip edildiği veri kaydedicinin, ölçü düzeneklerinin ve kullanıcı davranışlarının modellendiği programlanabilir zamanlayıcı yük anahtarlarının enerjileri dışardan sağlanmaktadır.

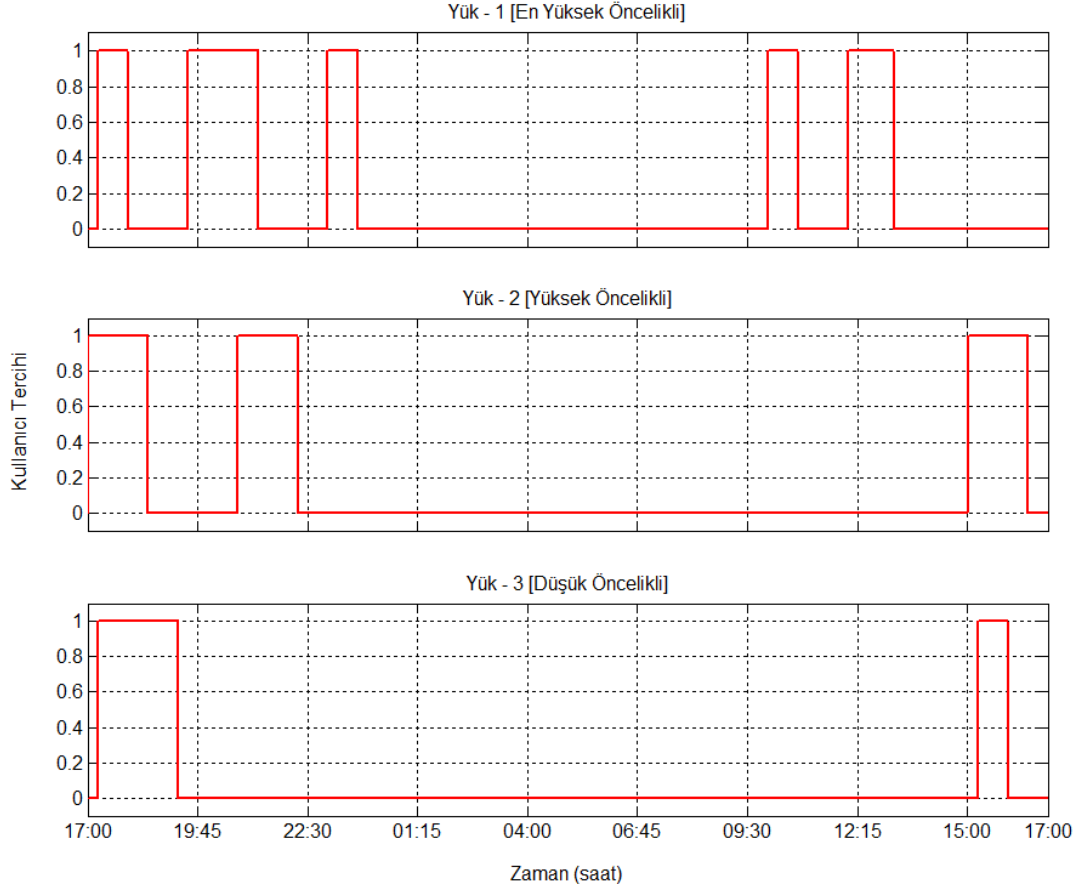
Deneysel çalışmaların yapıldığı platform Gümüşhane Üniversitesine bağlı Gümüşhane Meslek Yüksekokulunda kurulmuştur (+40° 26' 11.19" K, +39° 30' 47.87" D).

7.2. Normal Tüketim Süreci İçin Belirlenmiş Kullanıcı Tercihleri

Normal bir sistemde kullanıcıların tercihleri ihtiyaçlarına göredir. Bazen de bu ihtiyaçlar süreklidir, ancak kullandıkları cihaz bu sürekli ihtiyacı karşılayabilmek için her an olmasa bile zaman zaman enerjiye ihtiyaç duyar. Örneğin; buzdolabı ve termosifon gibi.

Tasarlanan deneysel platformda Kısım 5.1’de anlatılan haftanın her günü için dakika bazında programlanabilir zamanlayıcı yük anahtarları kullanılmıştır. Sistemde üç adet (iki adet 125 W, bir adet 100W) tüketim aygıtından oluşan yük bankası olduğu hatırlanırsa, üç adette zamanlayıcı anahtar ile bu yüklerin üzerindeki kullanıcı tercihleri modellenebilir.

Klasik bir sistemde kullanıcılar, yükleri daha çok mesai bitiş saati (17:00) ile gece yarısına yakın bir zamana kadar (23:00) yoğunluklu kullanırlar. Bu gerçeği göz önünde bulundurularak üç yük için tasarlanan model kullanıcı tercihi grafiği Şekil 7.1’de sunulmuştur. Kullanıcı açısından bu üç yükten birincisi “En Yüksek Öncelikli”, ikincisi “Yüksek Öncelikli” ve üçüncüsü de “Düşük Öncelikli” konfor kriteri olarak belirlenmiştir.

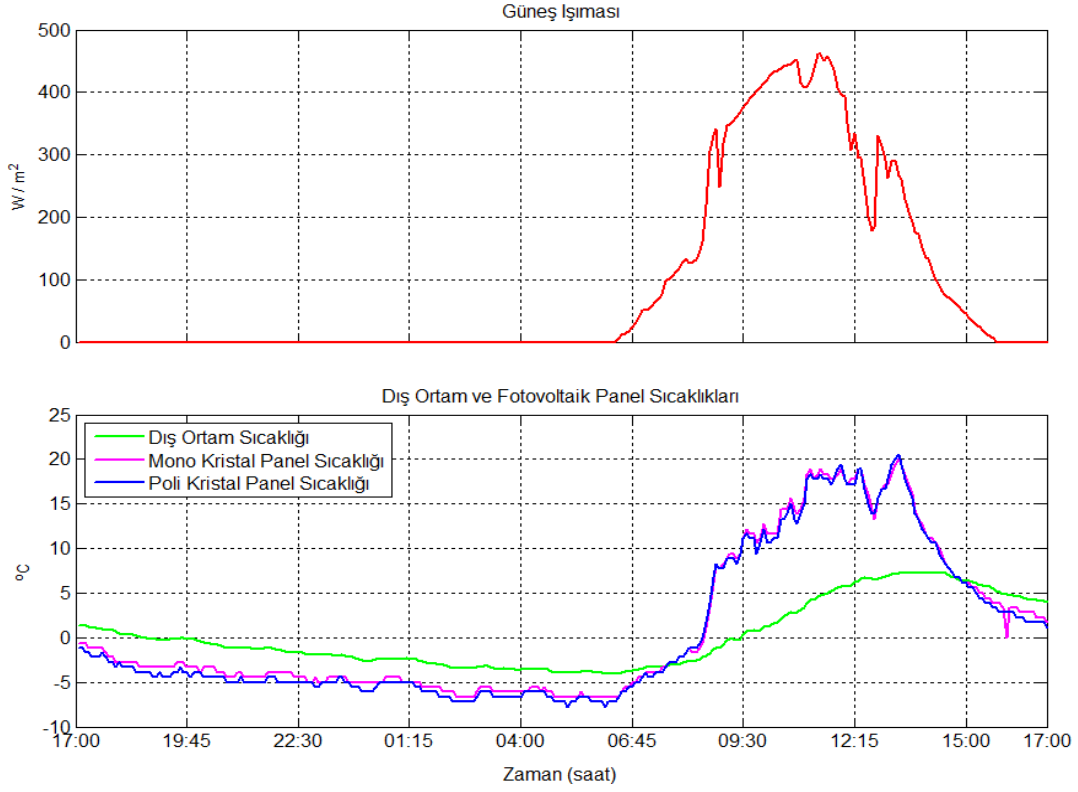


Şekil 7.1. Yük bankası için model kullanıcı tercihleri ve konfor kriterleri

Diğer taraftan bu kullanıcı tercihleri, Bölüm 5’te anlatılan ve Ek-5’de sunulan model sistem için yapılmış hesaplamalar da göz önünde bulundurularak tasarlandı.

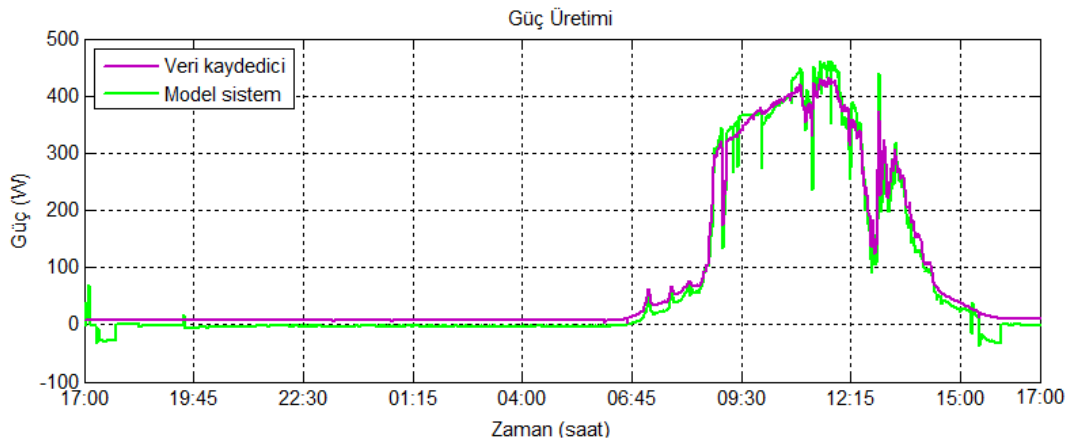
7.3. Bir Günlük Uygulama Süresince Elde Edilmiş Sistem Verileri

Bu kısımda verilen deneysel sonuçlar; 30/11/2013 tarihinde, saat 17:00’da başlayıp, 01/12/2013 tarihinde, saat 17:00’da biten, zamansal aralıkta elde edilmiştir. Bu aralıkta AGYS ile güç optimizasyonu yapılan model sistemden yazılım vasıtası ile sonuçları analiz edebilmek için veri dosyaları oluşturulmuştur. Diğer taraftan yine bu zaman aralığında yazılımdan bağımsız olarak, Kısım 5.2’de ayrıntılı anlatılmış ölçü düzenekleri ve veri kaydedici yardımıyla model sistem takip edilip verileri toplanmıştır. Ayrıca belirlenmiş aralığa ait güç üretimini etkileyen parametreleri içinde barındıran hava koşulları, meteorolojik istasyondan alınmıştır ve Şekil 7.2’de sunulmuştur.



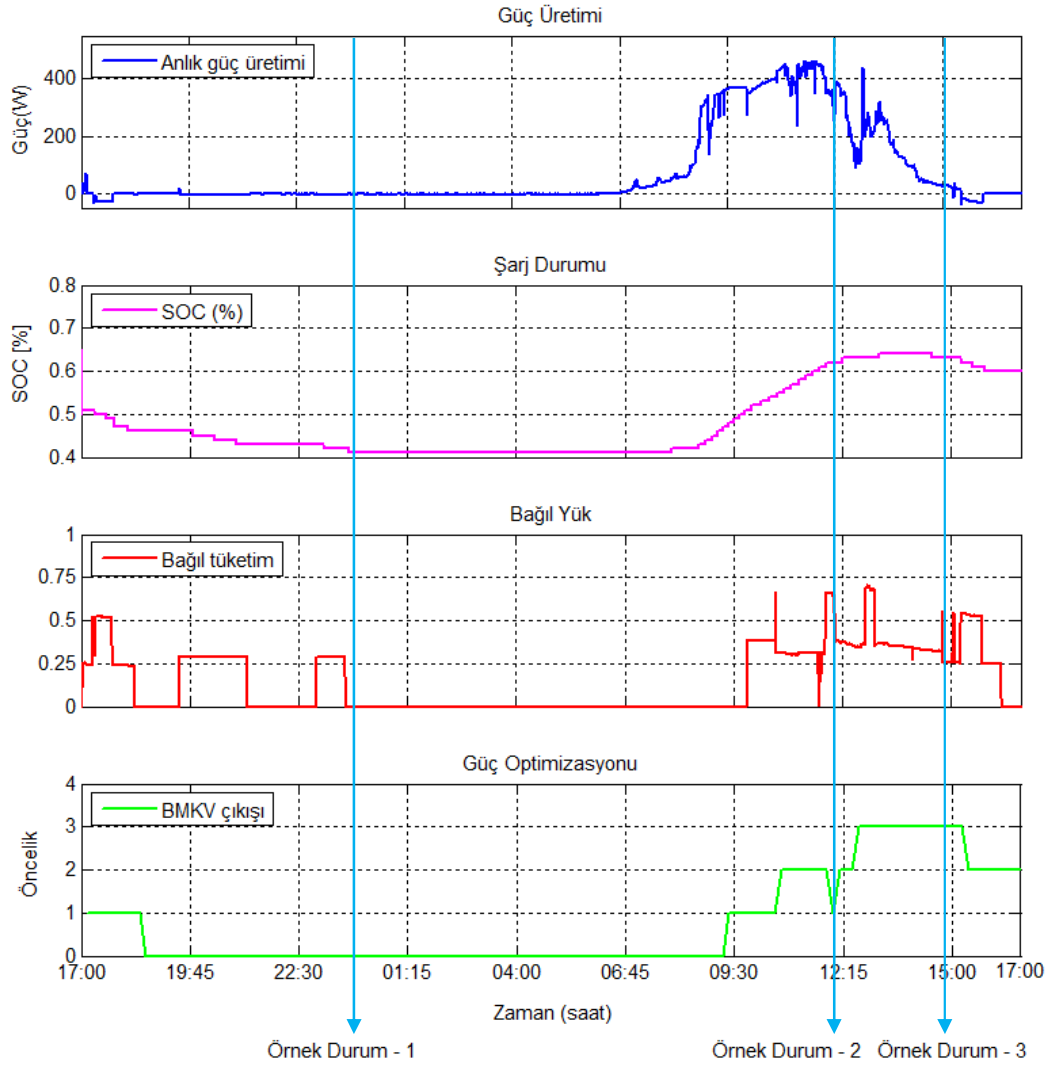
Şekil 7.2. Güneş ışınması, dış ortam ve panel sıcaklıkları

Sunulan güneş ışınmasına bağlı olarak model sistemdeki FV panellerin belirlenmiş zaman aralığı için güç üretimi ise Şekil 7.3.'te verildiği gibi gerçekleşmiştir ve veri kaydedici sonuçları ile kıyaslanmış model sisteme ait üretim verileri, aktif yük ajanlarının tüketim ve kaynak ajanının ölçüm verileriyle bağlantı (6.1) kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil 7.3. Model sistemin belirlenen zaman aralığında FV paneller ile ürettiği güç

Uygulamaya başlamadan önce yük ajanı tanımları kullanıcı tercihleri grafiğinde verildiği önceliklerde ayar edildiğine emin olundu ve ayarlar menüsünden depolama biriminin SOC değeri güncellendi. Aslında depolama birimi elemanlarını tam şarj edip SOC değeri %100 olarak ayar edilip uygulamaya bu haliyle başlamak en doğru durumdur. Ancak model sistemin tepkisini daha iyi gözlemleyebilmek adına depolama biriminin şarj seviyesini % 50-55 civarına düşürülerek, bu değer üzerinden uygulama başlatıldı.

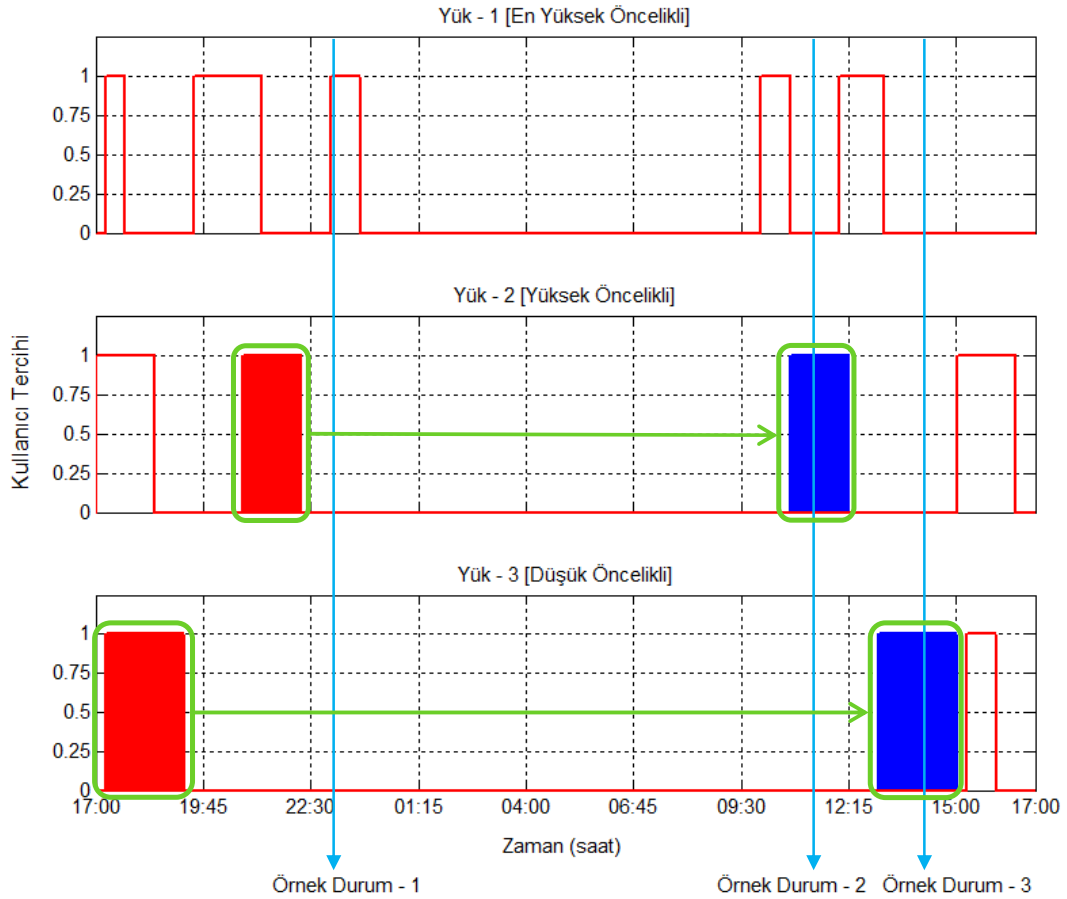


Şekil 7.4. BMKV optimizasyonlu model sistem sonuçları

Şekil 7.1'de sunulan kullanıcı tercihleri ve Şekil 7.2'de sunulan güç üretim değerleriyle ile koşturulan AGYS, Şekil 7.4'teki sonuçları üretmiştir. BMKV çıkışı,

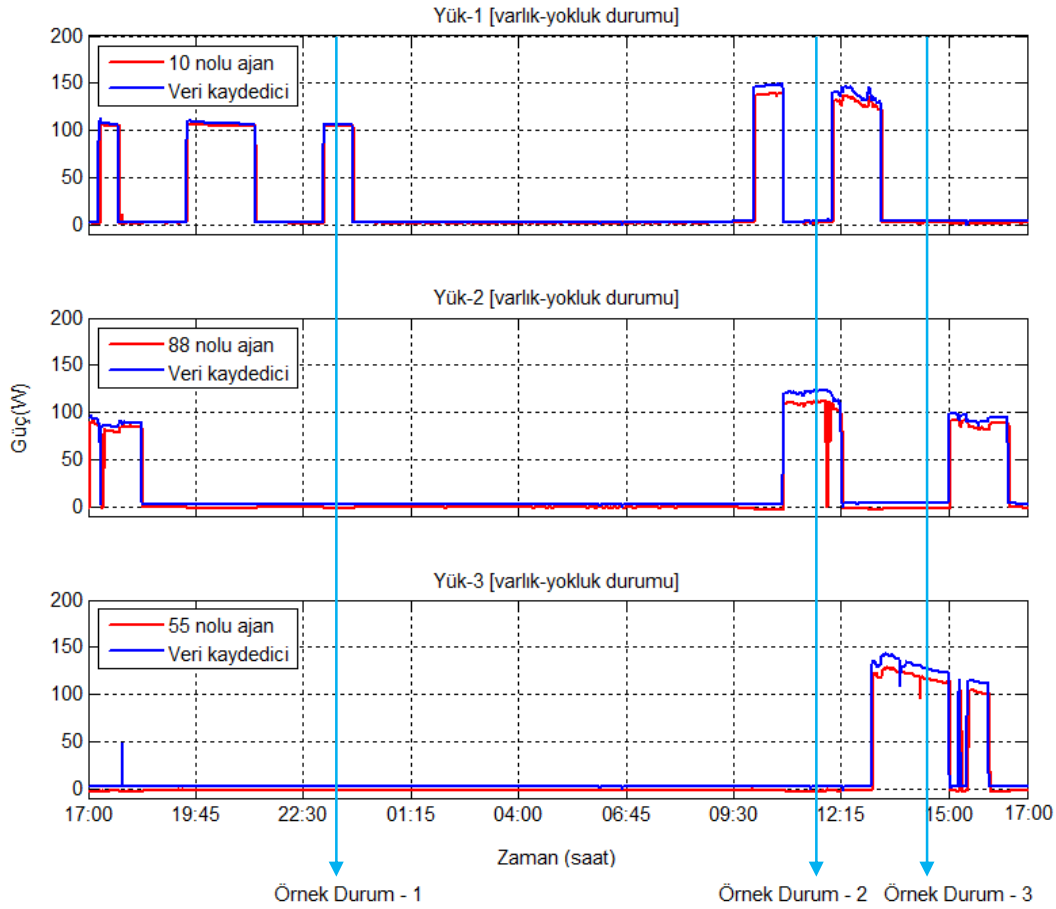
benzetim çalışmasındaki normalizasyon işleminin sonucunda 1 ile 5 arası değer alırken, AGYS yazılımında 0 ile 4 arası değer almaktadır. Aslında değişen bir durum söz konusu değildir. Kodlama kolaylığından dolayı bu biçimde tasarlanmıştır. Dolayısı ile AGYS'nin BMKV optimizasyonlu çıkışının sonuçları bu durum göz önünde bulundurularak değerlendirilmelidir. (Örneğin; “0”, “1”miş gibi.) Bu durumun haricinde Şekil 7.4'te model sistem sonuçlarının bir sonraki irdeleme bölümünde daha rahat değerlendirilebilmesi için üç örnek durum belirlenmiştir ve şekil üzerinde zamansal bir kesit olarak işaretlenerek, isimlendirilmiştir.

BMKV'nin Şekil 7.4'te verilen çıkış değerine karşılık, kullanıcı tercihlerinde “w” oluşan değişim Şekil 7.5'de sunulduğu biçimde gerçekleşmiştir.



Şekil 7.5. Temsili kullanıcı tercihlerinin değişimi “w”

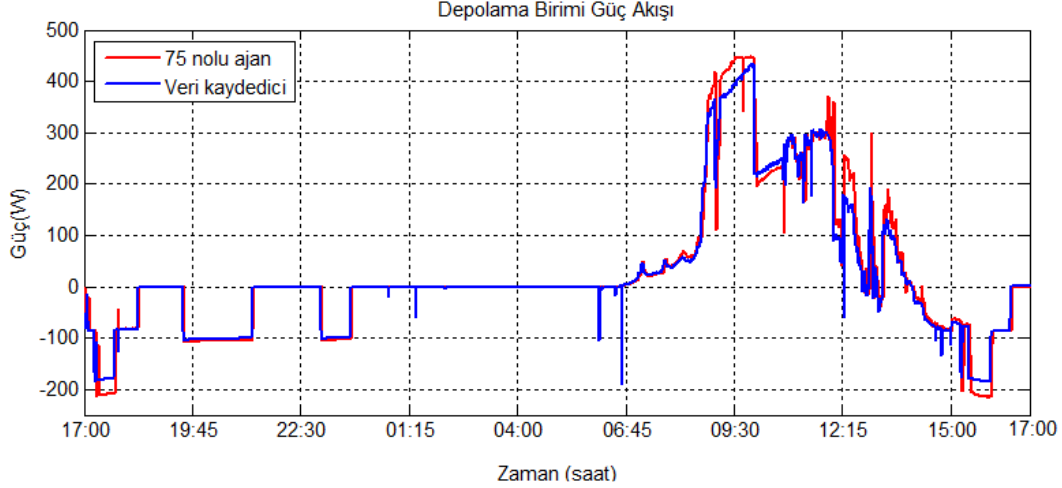
Yine bir sonraki bölümde analiz kolaylığı olması açısından Şekil 7.4’de kullanılan örnek durum zamansal kesitleri Şekil 7.5’te de oluşturulmuştur. Ayrıca bu grafikte BMKV’nin optimizasyonu sonucunda ertelenmiş bazı kullanıcı tercihleri gösterilmiştir. SOC durumu ve yük öncelikleri uygun olur olmaz ertelenmiş görevler, BMKV’nin kararı doğrultusunda ajanlar tarafından icra edilmişlerdir. Aynı zaman aralığı için yüklerin varlık yokluk durumlarının “x” değişimi ayrıntılı olarak Şekil 7.6’da verilmiştir.



Şekil 7.6. Model sistemdeki yüklerin varlık-yokluk durumları “x”

Kısım 5.5’te yapılan hata analizi ajanların doğruluk oranlarının yüksek olduğu gösterilmiştir. Şekil 7.6’da da bu yüksek doğruluğa sahip ölçüm rahatlıkla gözlemlenebilir. Bazı pik değerler (örneğin; yük-2’nin grafiğinde saat 12:00) ajanların geçici süre veri okuyamamasından kaynaklanmaktadır. Ancak kaynak ajanı dahil (Şekil 7.7’de sunulan 75 numaralı ajan verileri) tüm ajanlardan her beş saniyede bir veri okunduğu göz önünde

bulundurulduğunda, haberleşme ajanı ile ajanlar arasında neredeyse hiç veri kaybı olmadan kablosuz olarak okuma yapılabildiği de Şekil 7.6 ve Şekil 7.7’de görülmektedir.



Şekil 7.7. Veri kaydedici ile takip edilen kaynak ajanı ölçüm sonuçları

Kaynak ajanı ve veri kaydedicinin Şekil 7.7’deki negatif değerli sonuçlarının depolama biriminden yüklere doğru, pozitif değerli sonuçlarının da üretim biriminden depolama birimine doğru güç akışını ifade ettiği unutulmamalıdır.

7.4. Bir Günlük Uygulama İçin Elde Edilmiş Verilerin İrdelenmesi

Belirlenmiş iki farklı zaman aralığında gerçekleştirilen uygulamalarda, AGYS’nin üretmiş olduğu BMKV temelindeki güç optimizasyonu sonuçları Kısım 7.2’de sunulmaktadır. Bu bölümde bu iki uygulama analiz edilerek sonuçları irdelenecektir.

Uygulama başlatıldığında depolama biriminin şarj seviyesi yarıdır ve güç üretimi yoktur. BMKV’nin kullanıcı konfor ve kriterlerini dikkate alarak doğru güç optimizasyonu yapıp yapmadığını kolaylıkla incelemek için belirlenen üç örneklem aralığı bulunmaktadır. Bunlar, sırasıyla 23:00, 11:30 ve 14:30 saatlerindeki örnek durumlarıdır.

Örnek durum 1:

Bu durumda kullanıcı tercihlerini ifade edecek “w” matrisi Şekil 7.5, yüklerin varlık yokluk durumlarını ifade eden tüketici vektörü “x” Şekil 7.6 ve BMKV çıkışını ifade eden “u” yetkilendirme vektörü ise Şekil 7.4’den elde edilerek, sırası ile (7.1), (7.2) ve (7.4)’deki gibi elde edilir.

$$w = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (7.1)$$

$$x = [125 \quad 100 \quad 125] \quad (7.2)$$

Bu vektörler, (4.8) bağıntısında verilen işlem yapıldığında;

$$[x \cdot w] = [125 \quad 0 \quad 0] \quad (7.3)$$

elde edilir. Daha önce belirttiğimiz üzere BMKV'nın ürettiği "u" yetkilendirme vektörü ise, bu örneklem adımı için aşağıdaki gibidir.

$$u = [1 \quad 0 \quad 0] \quad (7.4)$$

Bu denetim vektörü ile bağıntı (4.10) kullanılarak yapılan hesaplamamızın sonucu;

$$\{\bar{u} \cdot (\bar{x} \cdot \bar{w})^T\}_j = [1 \quad 0 \quad 0] \cdot [125 \quad 0 \quad 0]^T \quad (7.5)$$

$$\{\bar{u} \cdot (\bar{x} \cdot \bar{w})^T\}_j = 125 W \quad (7.6)$$

birinci örneklem anı için gerekli güç miktarı bağıntı (7.6)'daki gibidir. Elbette ki bu ani güç değeri Şekil 7.4'deki bağıl güç eğrisinden elde edilecek değerin, kurulu güç ile çarpımından da elde edilebilir. Diğer taraftan amaç fonksiyonumuzun ikinci tarafının hesabı için Şekil 7.4'de SOC grafiklerinden faydalanılır. Model sisteme ait depolama biriminin Nominal kapasitesinin 270 Ah olduğu daha önce ifade edilmişti. Sistem gerilimi 24 V olarak kabul edildiğinde (tam şarj durumunda ve tam yüklü durumlarda bir miktar değişebilir), batarya kapasitesi ile çarpılarak 6480 Wh'lik bir enerji değerine eşit olur. Bu güç değeri SOC "1" iken geçerlidir. Hâlbuki örnek durum 1'de SOC'ın değeri yaklaşık 0,42 civarındadır. O halde $0,42 \times 6480 \cong 2720$ Wh'lik bir enerji depolama biriminde duruma ait zamansal kesit için mevcuttur denilebilir. (4.11) bağıntısında yerine koyacak olursak;

$$125 Wh < 2720 Wh \quad (7.7)$$

elde edilir. Bu sonuç akla “Enerji seviyesi bu kadar yüksek iken, neden BMKV optimizasyon sonucu “0” yani sadece “En Yüksek Öncelikli” yükleri yetkilendirmektedir?” sorusunu getirebilir. Zahiren bakıldığında bu soruya haklılık verilebilir. Ancak unutulmamalıdır ki, hesap edilen bu enerji değerinin içinde hiçbir kayıp değeri yoktur. (Örneğin; batarya kayıp faktörü, iletim hatları kayıpları, vb.) Diğer taraftan depolama birimi elemanları olan bataryaların belli bir SOC değerinden sonra batarya kapasitelerinin kullanımının pek mümkün olmadığı bilinen bir gerçektir. Dolayısıyla kullanıcı açısından günün ilerleyen saatinde daha hangi kritik yüklerin (Yani önceliği en yüksek yükün/yüklerin) devreye alınacağı bilinmediğine göre, bu gibi olasılıklar içinde bir miktar “ihtiyat enerjisi” bulunması gerekliliğini de göz önüne aldığımızda, bu sonuç gayet makul sayılabilir. Yani “Akıllı Güç yönetim Sistemi bu duruma uyum sağlamıştır” denilebilir.

Örnek durum 2:

Bütün durumlar için yük durumu matrisi (7.2) bağıntısındaki gibidir. Çünkü uygulama süresince herhangi bir yük/yükler model sistemden ayrılmamıştır veya yeni bir yük/yükler ilave edilmemiştir. Kurulu yükler deneyin sonuna kadar değiştirilmemektedir. Ancak kullanıcı tercihi matrisini matrisi bağıntı (7.8)’deki gibi değiştirir.

$$w = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (7.8)$$

Bunun yanı sıra bu durum için BMKV’nin ürettiği yeni optimizasyon matrisi ise Şekil 7.4’de görülebileceği üzere “2” olarak gerçekleşmiştir. O halde “u” matrisi 0., 1., ve 2. öncelikli yükleri devrede tutacak, diğer yükleri devre dışı bırakacak biçimde bağıntı (7.9)’daki gibi oluşur.

$$u = [1 \quad 1 \quad 0] \quad (7.9)$$

Yine bağıntı (4.10) kullanılarak örnek durum 2 için hesaplama yapıldığında bağıntı birinci tarafının sonucu sadece “Yüksek Öncelikli” yükün güç değeri olan 100 W olarak

elde edilir. Aslında herhangi bir “En Yüksek Öncelikli” veya “Normal Öncelikli” yük/yükler de AGYS tarafından desteklenmesi için yetkilendirilmiştir. Ancak kullanıcının bu zaman kesiti için böyle bir tercihi mevcut olmadığından sadece (7.10) bağıntısındaki kadar güç tüketimi gerçekleşmiştir.

$$\{\bar{u} \cdot (\bar{x} \cdot \bar{w})^T\}_j = 100 \text{ W} \quad (7.10)$$

Örnek durum 2 içinde depolama birimi kapasitesine bağlı enerjimiz, SOC durumunun Şekil 7.4’e bakılarak 0,6 olarak alındığında, $0,6 \times 6480 = 3888 \text{ Wh}$ olduğu hesap edilebilir. Bağıntı (4.11)’de bu değeri yerine koyacak olursak;

$$100 \text{ Wh} < 3888 \text{ Wh} \quad (7.11)$$

elde edilir. Dolayısıyla “AGYA bu duruma uyum sağlamıştır” denilebilir.

Örnek durum 3:

Bu durumda da “w” ve “u” matrisleri ilgili şekillerden çıkarılarak bağıntı (4.10)’a göre hesap yapıldığında, (7.12) bağıntısındaki güç değeri elde edilir.

$$\{\bar{u} \cdot (\bar{x} \cdot \bar{w})^T\}_j = 125 \text{ W} \quad (7.12)$$

Sistemdeki FV kaynaklardan örnek durum 3’de üretilen ani güç yaklaşık 200 wattır. SOC ise Şekil 7.4’ten 0,63 olarak tespit edilerek, $0,63 \times 6480 = 4082 \text{ Wh}$ ’tir. Bağıntı (4.11)’de bu değeri yerine koyduğumuzda;

$$125 \text{ Wh} < 4082 \text{ Wh} \quad (7.13)$$

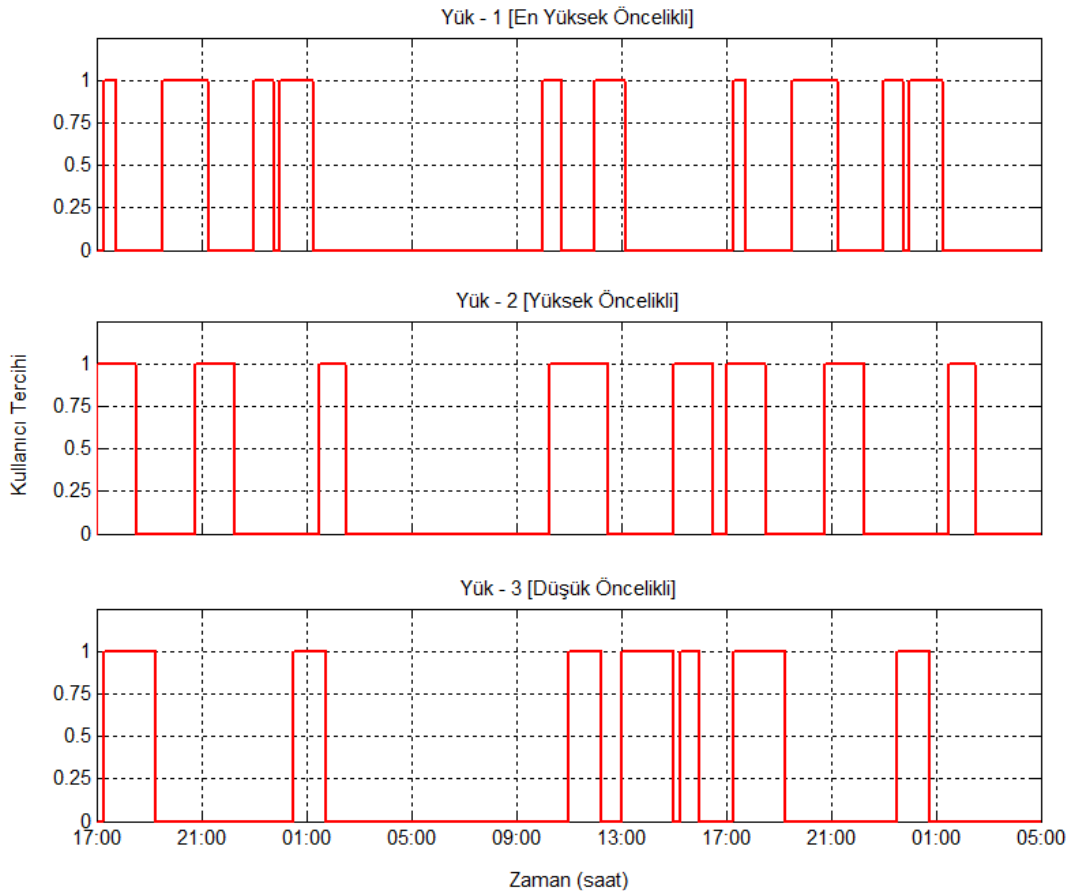
sonucu bulunur.

Örnek durum 2 ve 3’te ihtiyaç duyulan güce karşı depolama biriminde var olan gücün büyük olmasının bir sebebi de, deneysel model sistemin depolama birimi doluyken üretimin olamadığı ya da az olduğu dönemlerde sistemin enerji ihtiyacının dört gün süresince karşılanabilecek biçimde olmasıdır. Bu durum Ek-5’de verilen tasarımsal hesaplarda görülebilir.

7.5. Aşırı Tüketim Süreci İçin Belirlenmiş Kullanıcı Tercihleri

Tasarımlara uygun güç tüketim verileri ile oluşturulan kullanıcı davranışları Kısım 7.2’de ve model sistemin ürettiği sonuçlar ise Kısım 7.3’te sunulmaktadır. Bu kısımda da tasarım sürecindeki belirlenen güç tüketim değerlerinden daha büyük değerlerde model sistemin yüklenmesi durumunda (aşırı yük) üreteceği sonuçları gözlemleye bilmek için yeni kullanıcı davranışları oluşturulmaktadır.

Bu aşırı yükleme için yine model sistemdeki üç adet yük kullanıldı. Ancak bu yükler günlük bazda önceki tasarıma göre daha sık ve daha uzun süreli devreye alınacak biçimde bir kullanıcı davranışı seçildi. Haftanın her günü için dakika bazında programlanabilir zamanlayıcı yük anahtarları yeni görev için yeniden ayarlandı.



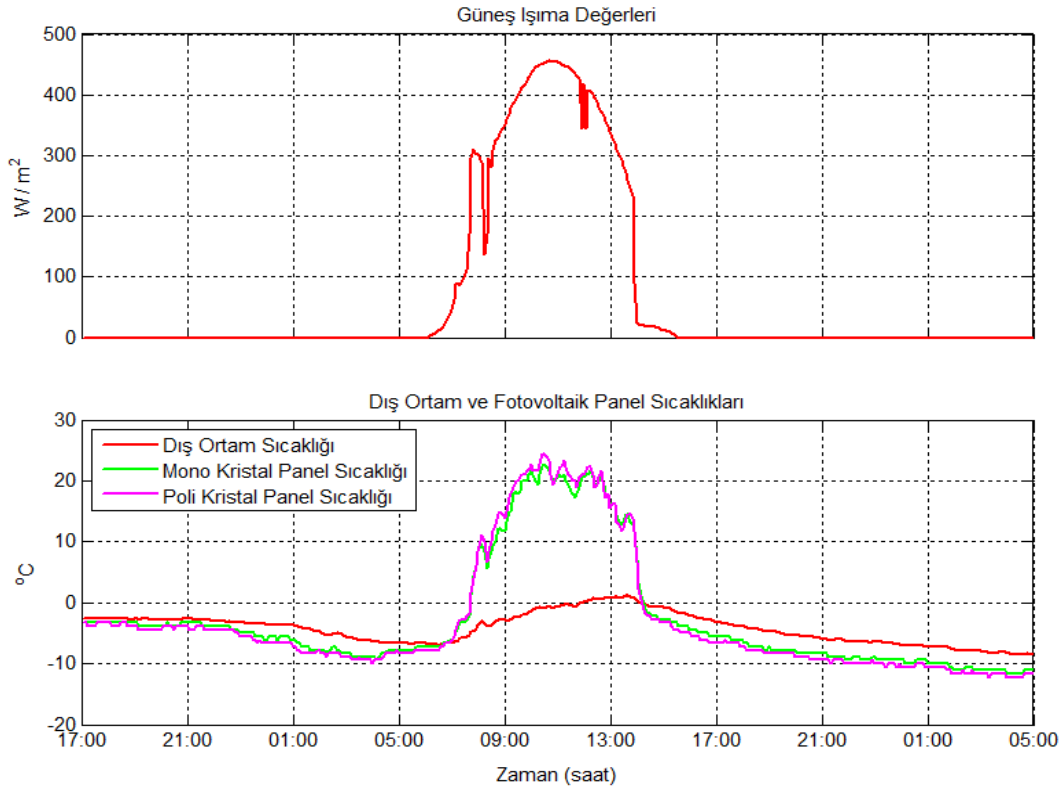
Şekil 7.8. Aşırı yükleme için model kullanıcı tercihleri ve konfor kriterleri

Kısım 7.2’de sunulan kullanıcı davranışları profili sırasıyla birinci yük için 5 saat/gün, ikinci yük için 4,5 saat/gün ve diğer yük için 2,75 saat/gün olarak tasarlanmıştır. Aşırı yük durumunu tüketim birimleri üzerinde oluşturabilmek için yüklerin devreye alınma zamanları bu kısımda sırasıyla birinci yük için 5,75 saat/gün, ikinci yük için 7,75 saat/gün ve diğer yük için 5,25 saat/gün olarak tasarlandı.

Uygulamanın 36 saatlik bir zaman diliminde gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Dolayısıyla bu durum göz önünde bulundurularak üç yük için tasarlanan kullanıcı tercihleri Şekil 7.8’de sunulmuştur. Yüklerin konfor kriterlerinde ise bir değişiklik yapılmamıştır.

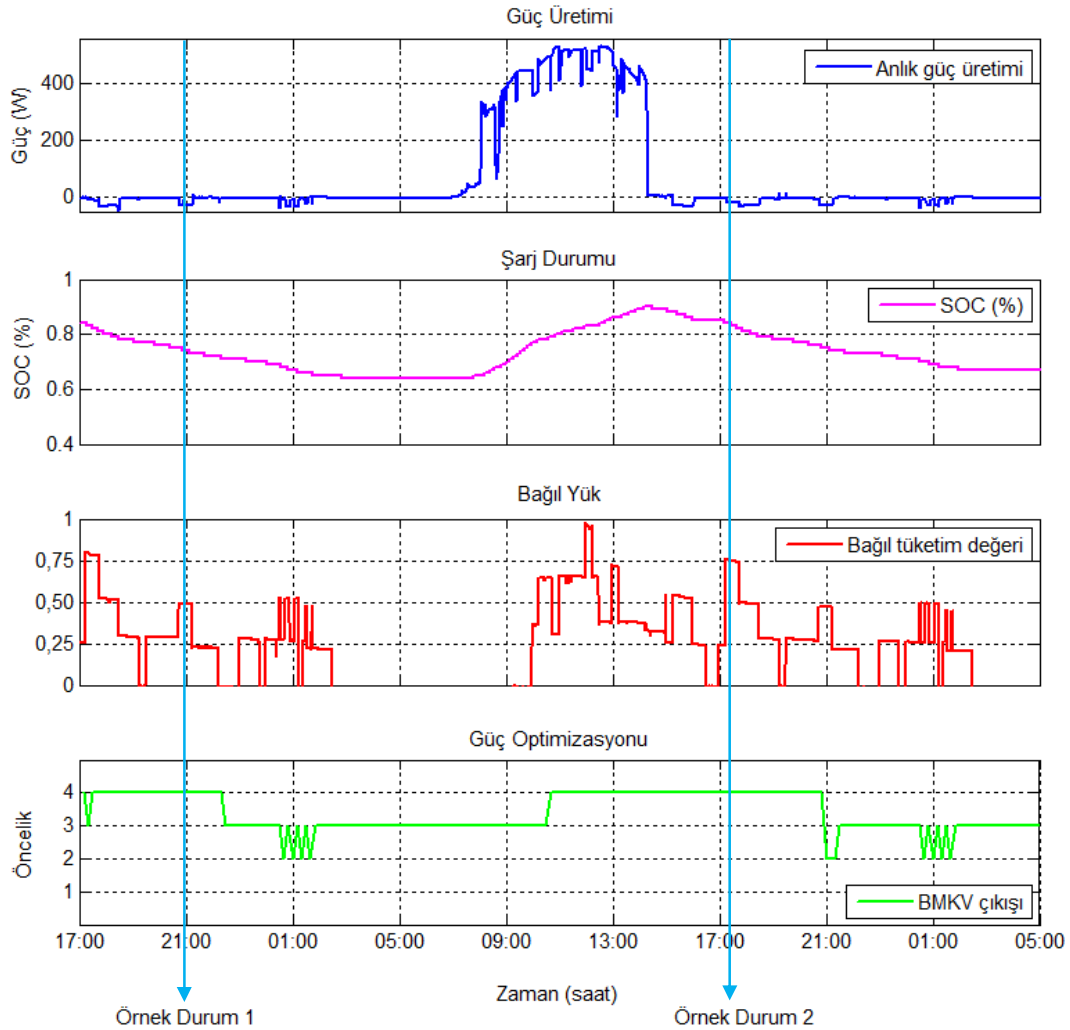
7.6. Aşırı Tüketim Süreci İçin Elde Edilmiş Sistem Verileri

Bu kısımda verilen deneysel sonuçlar, 03.12.2013 tarihinde saat 17:00’dan başlayarak 05.12.2013 tarihinde saat 05:00’da sonlandırılan 36 saatlik aralıkta elde edilmiştir. İlk veriler Şekil 7.9’da sunulan, güneş ışınma ve sıcaklık değerleridir.



Şekil 7.9. Aşırı yük durumu için ışınma, dış ortam ve panel sıcaklık değerleri

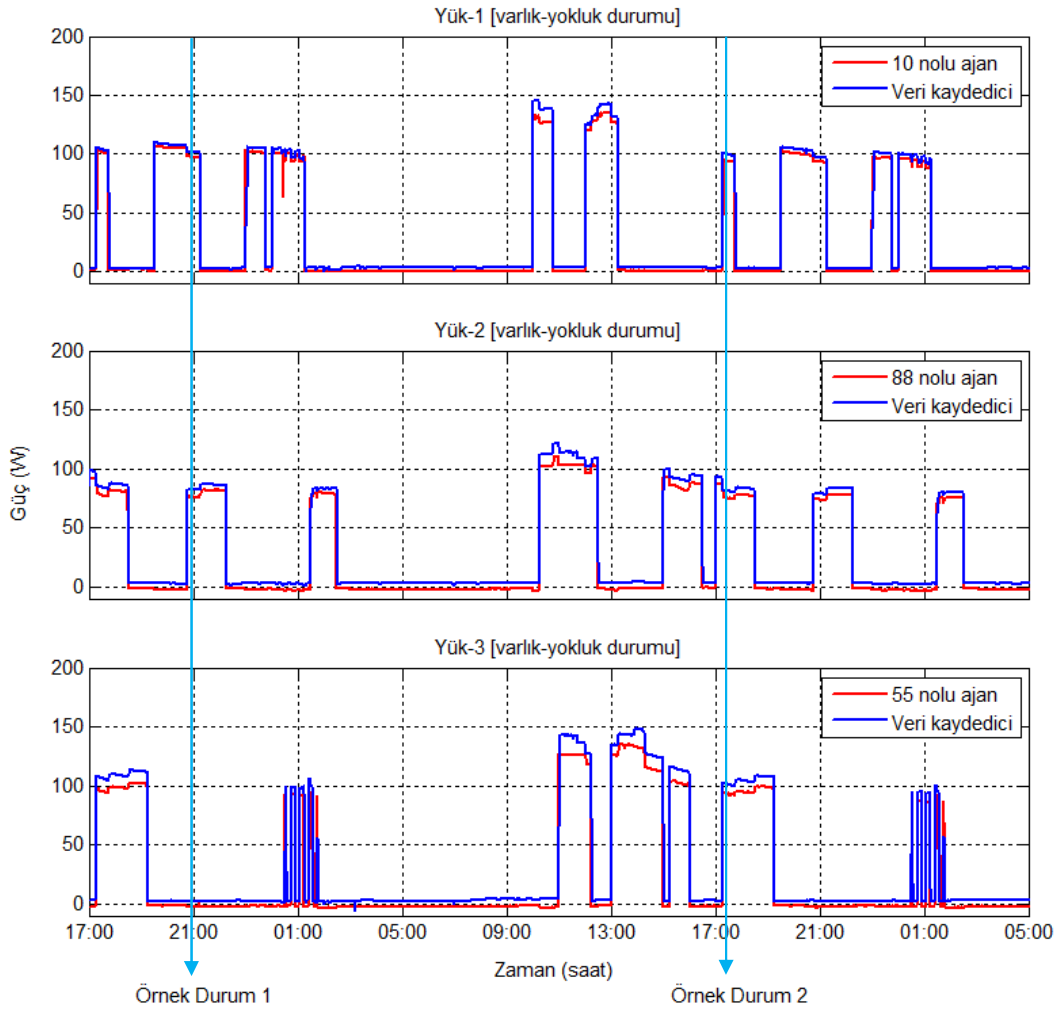
Verilen güneş ışması ve fotovoltaik panel ılarına bağı olarak model sistemin güç üretimi Şekil 7.10'da sunulduğu gibi gerçekleşmiştir. Güç üretim grafiğindeki bazı negatif değerler (özellikle yüklerin devreye girdiği dönemlerde), üretilen gücün bağıntı (6.1) kullanılarak elde edilmesinden kaynaklanmaktadır. Bölüm 6'da ifade edildiği üzere üretilen güç, tüketim birimlerinin gücünü ölçen aktif yük ajanlarının anlık verileriyle elde edilen toplam güç değerinin, o zaman dilime ait kaynak ajanının verisinden çıkarılması suretiyle elde edilmektedir. Bu ajanların tümündeki ölçüm hataları, bağıntı (6.1)'deki hesap yapılarak üretilen güç kestirilirken küçük değerli negatif işaretli güç değerlerine sebep olabilmektedirler. Dolayısıyla bu değerler üretece doğru ters yönlü güç aktarımı olarak düşünülmemelidir. Sadece ihmal edilebilecek ölçüm hatalarıdır.



Şekil 7.10. Aşırı yüklü durumda BMKV optimizasyonlu model sistem sonuçları

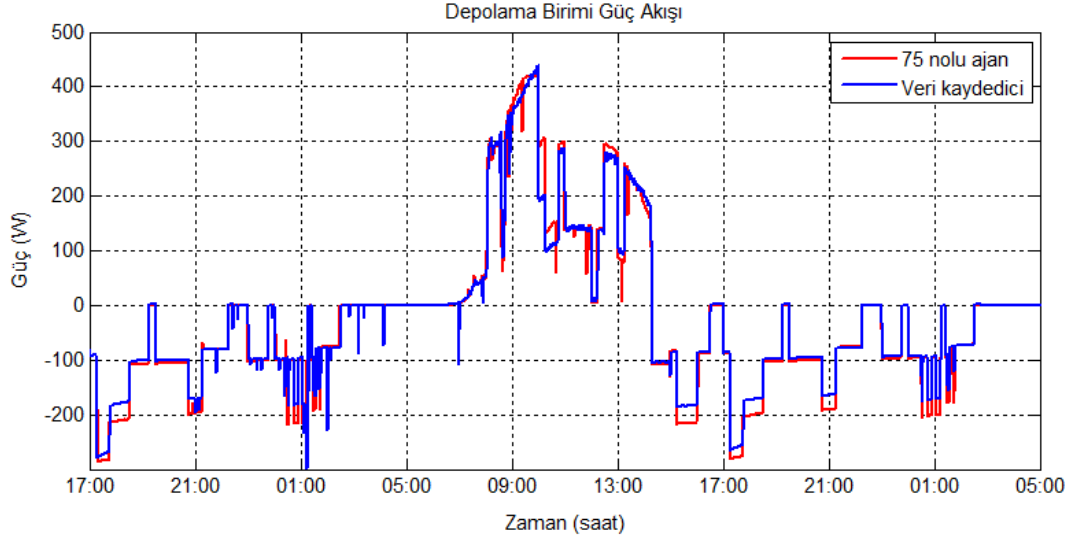
Aslında bu çalışmada ölçüm verilerine bağlı olarak güç yönetimi için kullanıcı konfor ölçütlerinde bir karar verme esas olduğundan, küçük değerli ölçüm hatalarının sonucu etkilemesi mümkün olmamaktadır. Bu yüzden tasarlanan “Akıllı Güç Yönetimi” için bahsi geçen ölçüm hataları göz ardı edilebilir.

Kullanıcı tercihleri Şekil 7.8’de sunulduğu biçimiyle programlanabilir zamanlayıcı anahtarlara girildi. AGYA koşturularak aşırı yüklü uygulama başlatıldığında ilk olarak depolama biriminin mevcut şarj durumu yaklaşık %82 olarak değiştirildi. Kurulu güç, depolama birimi kapasitesi, ajan örnekleme aralığı, BMKV örnekleme aralığı ve yük önceliklerinde herhangi bir değişiklik olmadığından bu özelliklerle ilgili yazılımda bir değişiklik gerçekleştirilmedi.



Şekil 7.11. Aşırı yüklü durumda yüklerin varlık-yokluk durumları “x”

Önceki kısımda yapıldığı gibi, analizlerin daha kolay yapılabilmesi için örnek durumlar belirlenmiştir. Bunlar, sırasıyla 21:00 ve 17:30 saatlerindeki zaman dilimleridir. Aynı örneklem durumlarını karşılık gelen zamansal kesitler Şekil 7.11’de de kullanılmıştır.



Şekil 7.12. Aşırı yüklü durumda kaynak ajanı ölçüm sonuçları

Güç üretiminin mevsimsel hava koşullarına göre bir hayli iyi olduğu döneme denk gelen ikinci uygulama süresince SOC’un seviyesi %64-65’in altına hiç düşmemiştir. Dolayısıyla BMKV çıkış değeri 0 ile 4 arasında değişebilirken, bu uygulamada 4 ile 2 arasında değişmiştir.

Örnek durum 1:

Bu durumda kullanıcı tercihlerini ifade edecek “w” matrisi Şekil 7.8, yüklerin varlık yokluk durumlarını ifade eden tüketici vektörü “x” Şekil 7.11 ve BMKV çıkışını ifade eden “u” yetkilendirme vektörü ise Şekil 7.10’dan elde edilerek, sırası ile (7.14), (7.15) ve (7.16)’deki gibi elde edilir.

$$w = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (7.14)$$

$$x = [125 \quad 100 \quad 125] \quad (7.15)$$

Bu vektörler, (4.8) bağıntısında verilen işlem yapıldığında;

$$[x \cdot w] = [125 \ 100 \ 0] \quad (7.16)$$

elde edilir. BMKV'nın ürettiği "u" yetkilendirme vektörü ise, bu örneklem adımı için aşağıdaki gibidir.

$$u = [1 \ 1 \ 1] \quad (7.17)$$

Bu denetim vektörü ile bağıntı (4.10) kullanılarak yapılan hesaplamaların sonucu;

$$\{\bar{u} \cdot (\bar{x} \cdot \bar{w})^T\}_j = [1 \ 1 \ 1] \cdot [125 \ 100 \ 0]^T \quad (7.18)$$

$$\{\bar{u} \cdot (\bar{x} \cdot \bar{w})^T\}_j = 225 \text{ Wh} \quad (7.19)$$

birinci örneklem anı için gerekli güç miktarı bağıntı (7.19)'daki gibidir. Amaç fonksiyonunun ikinci tarafı ise Şekil 7.10'da SOC grafiğinden bakılarak *örnek durum 1* için yaklaşık 0,75 olduğu tespit edilerek hesap edilir. Yani $0,75 \times 6480 \cong 4860$ Wh'lik bir enerji depolama biriminde bu duruma ait zamansal kesit için mevcuttur denilebilir. (4.11) bağıntısında yerine koyacak olursak (7.20) sonucu elde edilir.

$$225 \text{ Wh} < 4860 \text{ Wh} \quad (7.20)$$

Örnek durum 2:

Önceki durum için bağıntı (7.14)'den (7.19)'a kadar yapılan tüm hesaplamalar bu örnek durum içinde yapıldığında bağıntı (7.20)'de sunulan sonuç elde edilir.

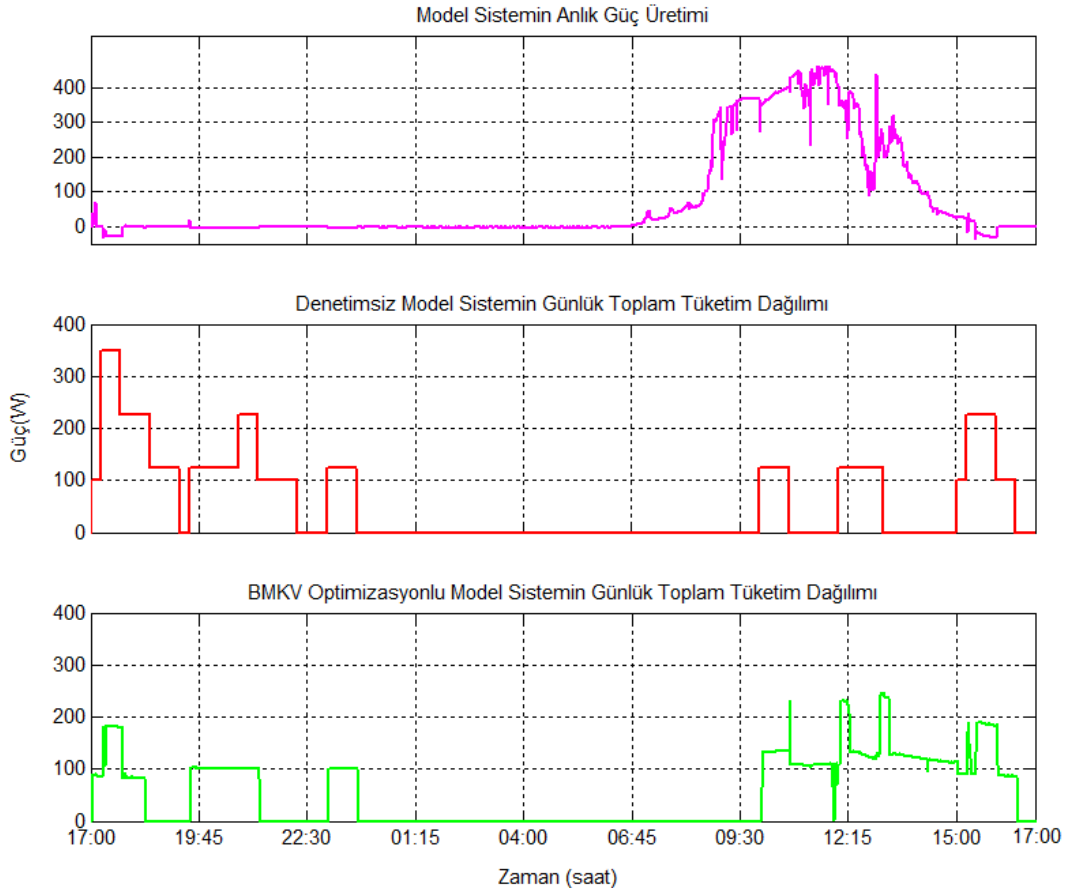
$$350 \text{ Wh} < 5310 \text{ Wh} \quad (7.21)$$

Her iki örneklem durumunda da yapılan uygulama sonuçları ile amaç fonksiyonuna bağlı hesaplama sonuçları birbiri le örtüşmüştür. Aslında depolama biriminde enerjinin

yeteri miktarda bulunması ve depolama biriminde enerji seviyesi düşerken üretilen gücün bu seviyeyi yukarı çekmesinden dolayı aşırı yüklemeye bile model sistem geleneksel bir sistem gibi çalışmıştır. Yani güç yönetiminin gerekmediği, güç seviyesinin yüksek olduğu durumlarda BMKV çıkışı güç sistemini klasik bir sistemmiş gibi de çalıştırabildi.

8. TARTIŞMA

Bölüm 7’de sunulan iki uygulamanın sonuçları irdelendiğinde, tasarlanan Akıllı Güç Optimizasyonu uygun sonuçlar üretebilmiştir. Zaman zaman önceliği daha az olan yükleri mevcut enerjinin kritik yükler için yetersiz olma ihtimaline karşın devre dışı bırakabilmiş. Sonrasında da enerji durumu iyileştiğinde kullanıcının müdahalesine gerek kalmadan devreye tekrar alabilmiştir. Optimizasyonlu yani akıllı yönetimli sistemin her örneklem durumu için nasıl bir tepki verdiği ve güç sürekliliğini nasıl sağladığı, bulgular bölümünde ayrıntılı bir şekilde anlatıldığından burada tekrar bahsedilmeyecektir.



Şekil 8.1. Birinci uygulamaya ait saatlik üretim ve tüketim verileri

Bu durumun dışında Şekil 8.1’de sunulduğu gibi, BMKV optimizasyonlu tasarım, denetimsiz modeldeki tahmini toplam tüketim dağılımını, kullanıcı konfor ve önceliğini de

dikkate alarak güç üretiminin gerçekleştiği zamansal aralıkta (7:00 ile 15:00) gerçekleşecek şekilde düzenlemeyi başarmıştır.

SOC'un enerji seviyesine bağlı olarak yapılan ertelemeler, kullanıcıya kritik olarak belirlediği yüklerin daha uzun süre enerjili kalabilmesi imkanını tanır. Örneğin; Şekil 7.4'te sunulan "örnek durum 1" için depolama birimindeki enerji, bağıntı (7.7)'de verildiği gibi 2720 Wh'tir. Ek-5'te verilen model sistem tasarımsal hesaplarından, önceliği en yüksek olan "Yük 1" isimli yükün, haftanın her günü 5 saat/gün süresince devrede kalması gerektiği bulunabilir. Örnek durum 1'in zamansal aralığından sonraki sürede hava koşulları en kötü senaryodaki gibi (havanın yoğun bir şekilde bulutlu geçmesi) geliştiğini varsaydığımızda, eldeki enerjiyle bağıntı (8.1)'de sunulduğu sürece kritik yük enerjili kalabilir.

$$\frac{2720(Wh)}{5 \frac{h}{gün} \cdot 125(W)} \cong 4,35 \text{ gün} \quad (8.1)$$

Yani yarı şarj ile sadece kritik yük dört günün üzerinden enerjili kalabilmektedir. Diğer taraftan bu kötü senaryo klasik sistemle beslenseydi tahmini olarak bağıntı (8.2)'deki kadar kritik yükler desteklenecekti.

$$\frac{2720(Wh)}{43,857 \frac{Ah}{gün} \cdot 24(V)} \cong 2,58 \text{ gün} \quad (8.2)$$

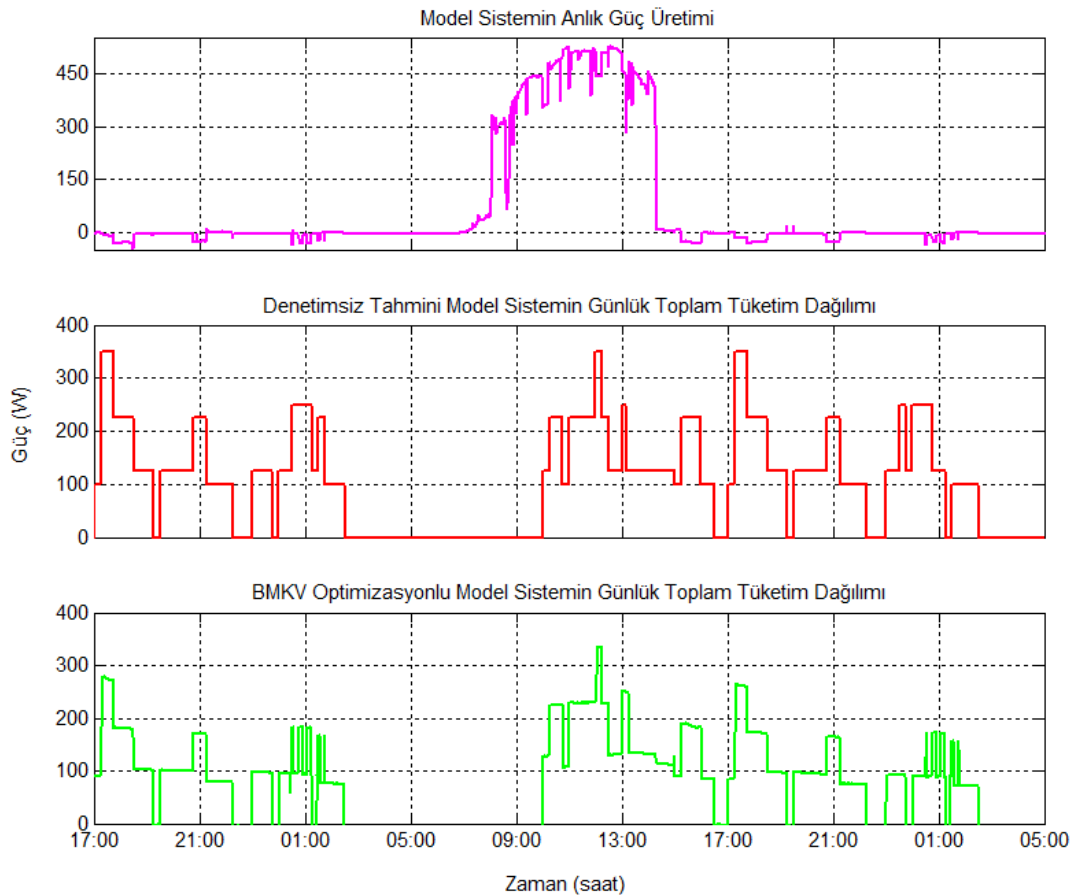
Burada 43,857 Ah/gün değeri tasarlanan model sistemde (Ek-5) tüm yükler için bulunan Ah cinsinden ortalama olarak toplam günlük tüketim değeridir. 24 V ise model sistemin alıcı uç gerilimidir. Elbette ki (8.2)'de sunulan sonucun içerisinde önceliksiz yüklerinde beslendiği unutulmamalıdır. Ancak kullanıcı açısından kritik öneme haiz yükler 2,58 gün sonra hala kötü senaryo devam ediyorsa kaçınılmaz olarak enerjisiz kalmaktadır.

Bir başka açıdan Akıllı Güç Yönetimi kullanılarak yapılan güç optimizasyonu neticesinde kullanıcıyı belirlemiş olduğu öncelik kriterlerine göre kritik yükler bağıntı (8.3)'deki kadar daha uzun süre devrede kalabileceklerdir.

$$\eta_k = \frac{4,35 - 2,58}{4,35} \cdot 100 \cong \% 40 \quad (8.3)$$

Böylece güç optimizasyonu ile kritik yükler açısından devrede kalma süresi % 40 arttırılmıştır. Tabii ki bu artış her sistem için sabit değildir. Kullanıcının güç sistemindeki tüm yükler arasından ne kadar güçteki yükleri ve günlük ne kadar devrede tutacağına bağlı olarak değişebilir.

Diğer taraftan güç optimizasyonu kullanmadan SOC yarı seviyeyken 4.35 gün yük beslemesi istenirse, yapılacak (Ek-5’te sunulduğu gibi) yeni hesaplamalarla sayısı artacak olan depolama birimi ve FV üreteçlerden dolayı kurulum maliyeti de % 40 oranında artmaktadır.



Şekil 8.2. İkinci uygulamaya ait saatlik üretim ve tüketim verileri

İkinci uygulamada ise, kullanıcı tercihleri oluşturulurken en düşük seviyeli öncelik “yük 3”e tanımlanmıştır. Onun değeri de “3”tür ve devreye alınmak istendiği dönemlerde BMKV’nin ürettiği güç optimizasyon değeri de “3”tür. Dolayısıyla bu uygulamada tüm yükler uygulama süresince, kullanıcının tercih ettiği zaman diliminde, kullanıcı konfor ve öncelik ölçütlerine gerek kalmadan klasik bir sistemdeki gibi (Şekil 8.2) enerji ihtiyaçlarını karşılayabilmişlerdir. Aslında bu durum çalışmanın amacında ve Kısım 5.3’te ifade edilen en kötü senaryonun dışındaki durumlarda tasarlanan sistem, ihtiyaçtan fazla enerji üretmekte ve depolamaktadır. Aşırı yüklü olarak oluşturulan ikinci uygulama tam da bu nedenden dolayı ihtiyacı karşılayabilmiştir.

Her iki uygulamada da güç üretim grafiklerindeki bazı negatif değerler kalibrasyondan sonraki ölçümlerde kaynak ajanının bünyesindeki akım algılayıcısının, herhangi bir akım akmazken okuduğu değerin çok küçük ancak negatif işaretli olmasındandır. Yaklaşık -0.05 ile -0.1 aralığındaki bu küçük değerler akım algılayıcısının manyetik esaslı çalışmasından ötürü çevresel etkilerden doğabilmektedir. Yani akım algılayıcısı, tasarımsal olarak üzerinden ve altından geçirilen ölçülmek istenen iletkendeki akımın oluşturduğu telin etrafındaki manyetik alanın değişimine göre ölçüm yaparken, iletkenin herhangi bir akım akmaz iken çevresel manyetik alanlar, algılayıcıda küçük gürültüler oluşturabilmektedir. Akımdaki bu hatalı değerle sistem gerilimi çarpılarak hesaplanan güç değerlerini de hatalı çıkarmaktadır. Ancak bu durum Akıllı Güç Optimizasyonu üzerinde olumsuz bir etki yapabilecek kadar büyük değildir. Çünkü karar verme temelinde çalışan bu optimizasyon için küçük değerli güç bilgisine göre karar değiştirmez.

Tasarlanan sistem üzerinde yapılan ikinci uygulamadan Şekil 8.2’de verilen sonuçlarda kararsız durumlar oluşmuştur. Her iki durumda saat 1:00 civarında meydana gelmiştir. Tesadüfen her iki kararsızlığın oluştu zaman dilimlerinde SOC değeri Şekil 7.10’da görüldüğü gibi aynıdır. BMKV çıkışı da kararsızlığın hemen öncesinde “3” değerini üretmektedir. Bu esnada “0” yani “en yüksek” öncelikli “yük 1” devrededir. Bir müddet sonra devreye giren “3” öncelikli Yük 3 kullanıcı tercihine bağlı olarak devreye girmek ister ve hemen devreye alınır. Ancak 10 dakikalık aralıklarla karar veren BMKV bir sonraki kararını “2” olarak değiştirir ve Yük 3’ü devre dışına alır. Bu durum her iki kararsızlık durumu içinde birkaç kez tekrarlanır. Ne zaman ki kullanıcı tercihi ortadan kalktığı anda kararsızlıkta ortadan kalkmış olur.

Bu kararsızlık probleminin ana sebebi, yük bankasındaki yük adetinin ve çeşitliliğinin az olmasından kaynaklanmaktadır. Model sistemdeki üç adet yükün her biri nerdeyse kurulu güç değeri olan 350 W'ın 1/3'ü kadardır. Bu durum, yüklerden herhangi birinin devreye alınmasında bağıl gücü büyük oranda değiştirmektedir. Yani artırmaktadır. Bunun sonucunda bir sonraki örneklem adımında BMKV'nin öncekinden daha düşük çıkış değeri üretmesine neden olmaktadır. Bu kez de devreye alınmış olan yük, devreden çıkarılmaktadır. Oluşan kararsızlık SOC hızlı değişmediğinden yüklerden biri kullanıcı tercihleri bakımından devre dışı kalıncaya kadar sürmektedir.

Gerçek bir sistemde yüklerin çeşitliliği ve sayısının fazlalığı, devreye alınan bir yükün bağıl yük üzerindeki etkisini model sistemdeki gibi büyük olmasını engeller. Bu sebepten kararsızlığı gerçek sistemde oluşmayacağı düşünülmektedir.

9. SONUÇLAR

Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklı, şebekeden bağımsız ve depolama birimine sahip bir sistemin tüketicinin önceden belirlediği kullanıcı konfor ve kriterlerini göz önünde bulunduran, tüketicinin takip etmek zorunda olmadığı Çok Ajanlı Güç Yönetimi Optimizasyonu ortaya konulmuştur. Bulanık Mantık Karar Verici kullanılarak optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Depolama biriminin farklı doluluk oranları ve üretimin olup/olmadığı zaman dilimlerinde tüketici tercihlerinin durumu, güç yönetiminin tercihi, ertelenmiş tüketici taleplerinin analizleri benzetim ve tasarlanan model sistem üzerinde yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmaktadır:

- Güç yönetimi sürecinde ihtiyaç duyulan tüketici davranışlarını ve tüketim birimi verilerini elde etmek için, şarj düzenleyici ve her bir yük arasında ayrı ayrı “Yük ajanları”, depolama birimi ve şarj düzenleyici arasında “Kaynak ajanı” ve bu ajanlar ile kablosuz iletişim kurabilmek için PanelPC’ye bağlı “Haberleşme ajanı” gerçekleştirilmiştir,
- Yük ajanları, BMKV’nın yetkilendirmesine bağlı olarak gerektiğinde bağlı bulunduğu tüketim donanımının devreye/devre dışına alınabilmesi için kontrollü anahtar özellikli olarak oluşturulmuştur,
- Kaynak ajanı, çift yönlü akım akışını (depolama birimine doğru veya depolama biriminden yüklere doğru) ölçebilmektedir ve bu veriyle SOC anlık olarak elde edilmektedir,
- Yük ajanlarının anlık toplam güç tüketim verisi ve Kaynak ajanı üzerinden geçen aynı zamana ait güç bilgisi kullanılarak başka bir ajana gerek kalmadan anlık güç üretim değeri bulunabilmektedir,
- Tüm verilerin hem görsel izlenebildiği, hem kayıt altına alınabildiği hem de bu veriler ve kullanıcı konfor ve öncelik kriterine bağlı Akıllı Güç Yönetim Sisteminin koşturulduğu kullanıcı dostu ara yüze sahip bir yazılım tasarlanmıştır ve seri port üzerinden Haberleşme ajanıyla bağlanmıştır,

- AGYA kullanılarak, güç sistemine istenilen sayıda Yük ve Kaynak ajanı tanımlanabilir, düzenlenebilir, silinebilir, aktif/pasif yapılabilir ve/veya grafik alanında istenilen periyotta izlenebilir. Ayrıca hesaplanarak elde edilen SOC ve güç üretim değerleri de görsel olarak takip edilebilir,
- Kurulu güç, ajanlardan veri okuma aralığı, BMKV'nin çalışma aralığı, SOC'un başlangıç değerinin girişi ve depolama biriminin kapasite değerinin tanımlanabileceği "Ayarlar" menüsü oluşturuldu,
- AGYA başka bir yazılıma gerek kalmadan kurulabilir (setup) biçimine getirildi,
- Her bir yükün tüketici açısından kullanıcı konfor ve kriterini AGYA'ya tanımlamak için en yüksekte, en düşüğe beş öncelik türü belirlendi ve ajanı tanımlarken bunlardan birini tüketicinin belirlemesi sağlandı,
- Gerçeğe yakın tasarlanmış kullanıcı davranışları, zamanlayıcı programlanabilir anahtarlar ile model sisteme bir gün süreyle uygulandı ve BMKV, bağlı güç tüketimi ve SOC değerine bağlı olarak depolama birimindeki enerjiyi dikkate alarak, tüketicinin kullanmak istediği elektriksel donanımlardan (enerjinin yoksun olduğu dönemlerde) önceliği düşük olanları ertelemeyi başardı. Depolama birimindeki enerji seviyesi uygun olduğunda ertelenmiş kullanıcı emri yerine getirildi,
- Tasarlanan Akıllı Güç Yönetimi sistemi sayesinde kullanıcı açısından önceliği yüksek kritik yüklerin enerjisiz kalması önlendi ve enerji üretimi açısından en kötü senaryonun olduğu sürece, tüketicinin kritik yüklerini enerjiden yoksun kalması önlendi. Tasarlanan model sistem üzerinde gerçekleştirilen uygulama neticesinde kritik yüklerin en kötü senaryo durumunda %40 daha fazla süre enerjili kalabileceği saptandı,
- Uygulamalar esnasında ajanlardan bir dakika ya da daha az bir sürede veri toplanmasının ve BMKV'nin ise en az on dakikalık aralıklarla karar üretmesinin sistemin kararlılığı açısından uygun olduğu tespit edildi,
- Kurulan model sistemdeki üç adet yükün her birinin kurulu gücün yaklaşık 1/3'ü kadar olması, bir yük devrede iken diğer yükün devreye girme anında SOC'un

seviyesine de bağlı olarak BMKV sonucunu büyük ölçüde etkileyebildiği ve bu durumun da kararsızlık oluřturabilęi belirlendi,

- Uygulama ve testlerden, ajan lmlerinin % 5'ten daha kk hataya sahip olduğu tespit edildi. Bu hata değeri tasarlanan karar verme mekanizması bakımından ihmal edilebilir olduğu saptandı,
- Yapılan Elektromanyetik lmler, BTK'nın sınır değer olarak belirlediği Elektrik alan bakımından 15 V/m ve Alan Şiddeti açısından 0,04 A/m altında sırasıyla 3,66 V/m ve 0.03 A/m olarak gerçekleşti. Ayrıca ICNIRP'nin de belirlediği sınır değerlerin de (58 V/m, 0,16 A/m) altında ölçümler gerçekleşmiştir. Dolayısıyla ajanların insan sağlığı için herhangi bir olumsuz etki oluşturmadığı tespit edildi.

10. ÖNERİLER

Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynakları bakımından en kötü senaryonun (üst üste denk gelebilecek kapalı hava koşullarının olduğu günler) oluşması durumunda tüketici konfor ve öncelikleri açısından önceliği “En Yüksek” olan yükleri hiçbir zaman enerjisiz bırakmamayı garantileyebilecek ve enerji seviyesi uygun olduğunda ertelenmiş işleri gerçekleştirebilecek akıllı bir güç optimizasyonu üzerinde çalışılmıştır.

Fotovoltaik üreteçlerle gerçekleştirilen çok ajanlı güç optimizasyonu diğer yenilenebilir kaynaklarla da (karma kullanımda dahil) kullanımı güç optimizasyonun daha etkin gerçekleşmesini sağlayabilir.

Ajanların anten tasarımları güçlendirilerek çiftlik gibi geniş alana yayılmış güç sistemlerinde kullanılabilir.

Anlık güç üretim değeri ve tahmini meteorolojik verilerde BMKV giriş parametresi olarak sağlanarak daha kararlı ve isabetli güç optimizasyonu sağlanabilir.

Veri dosyaları “txt” formatı yerine veri tabanı kullanılarak kayıt altına alınır, AGYA ara yüzünde, geriye dönük yüklerin güç tüketimi, güç üretimi ve SOC değerleri görsel olarak erişim imkanı sağlanabilir. Böylelikle bazı yükler hakkında gelecekte tahmini enerji tüketimleri kestirilebilir. Ancak bu çalışma kapsamında gerçekleştirilmediği bir yük, 10 dakikalık bile olsa öncelik kriteri uygun değilse bu tüketim birimi devreye alınmaz ve dolayısıyla iş ötelenir. Halbuki, kısa bir süre için sistem ihtiyaç duyulan bu gücü rahatlıkla karşılayabilecek durumda olabilir.

Akıllı telefonlar veya tablet bilgisayarlar için oluşturulacak küçük bir yazılım ile AGYA’ya bağlanabilir ve güç sistem izlenebilir. Gerektiğinde ajanların manuel olarak aktif/pasif etme özelliği kullanılarak uzaktan yük denetimi rahatlıkla yapılabilir.

Oluşturulacak veri tabanından, tüketici yük profili ve tüketim eğilimleri Akıllı Şebekelere (Smart Grid) veri olarak aktarılabilir.

Yapay sinir ağları ya da başka yöntemlerle güç optimizasyonu daha etkin gerçekleştirilebilir.

11. KAYNAKLAR

1. <http://www.iea.org/textbase/npsum/weo2007sum.pdf>, Word Energy Outlook 2007, 06 Şubat 2012.
2. Boyle, G., Renewable Energy, Secound Edition, Oxford University Press, United Kingdom, 2004.
3. Freris, L. ve Infield, D., Renewable Energy in Power Systems, First Edition, John Wiley and Sons, Great Britain, 2008.
4. Intergovernmental Panel on Climate Change, ClimateChange 2001 Synthesis Report, USA, 2001.
5. UN, Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climete Change, Kyoto / Japan, 1998.
6. http://www.pik-potsdam.de/~mmalte/simcap/data/Meinshausen_2004_AnnexI_fact_sheets4.pdf, Malte Meinshausen, 06 Şubat 2012.
7. Kaltschmitt, M., Streicher, W. ve Wiese, A., Renewable Energy Technology, Economics and Environment, First Edition, Springer, New York, 2007.
8. Erdogan, H., Gümüş, B., Efe, S. B., Kutlu, C., Bayındır H., Benteşen Yakut, Y., Çıra, F. ve Aslan, R., Yoğunlaştırıcı Güneş Enerji Santralleri ve Ilısu HES'e Alternatif Olarak Güneydoğu Anadolu Bölgesine Uygulanabilirliği, V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Haziran 2009, Diyarbakır, Bildiriler Kitabı: 11-22.
9. <http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/gunes/tgunes.html>, Elektrik İşleri ETÜT İdaresi Genel Müdürlüğü, 23 Şubat 2012.
10. <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>, Elektrik İşleri ETÜT İdaresi Genel Müdürlüğü – Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA), 23 Şubat 2012.
11. Natsheh, E. M., Natsheh, R. A., ve Albarbar, A., Intelligent Controller for Managing Power Flow within Standalone Hybrid Power Systems, IET Science Measurement and Technology, 7, 4 (2013) 191-200.
12. Li, C., ve Liu, G., Optimal Fuzzy Power Control and Management of Fuel Cell/Battery Hybrid Vehicles, Journal of Power Sources, 192 (2009) 525-533.
13. Younsi, S., Jraidı, M., Hamrouni, N. ve Cherif, A., Artificial Neural Network Control of Hybrid Renewable Energy System Connected to AC Grid, International Journal of Computational Intelligence Techniques, 2, 2 (2011) 44-52.

14. Haruni, A. M. O., Negnevitsky, M., Haque, E., ve Gargoom, A., A Novel Operation and Control Strategy for a Standalone Hybrid Renewable Power System, IEEE Transactions on Sustainable Energy, 4, 2 (2013) 402-413.
15. Zhou, K., Ferreira, J.A., ve Haan, S.W.H., Optimal Energy Management Strategy and System Sizing Method for Stand-Alone Photovoltaic-Hydrogen Systems, International Journal of Hydrogen Energy, 33 (2008) 477-489.
16. Dursun, E. ve Kılıç, O., Comparative Evaluation of Different Power Management Strategies of a Stand-Alone PV/Wind/PEMFC Hybrid Power System, Electrical Power and Energy Systems, 34 (2012) 81-89.
17. Ipsakis, D., Voutetakis S., Seferlis P., Stergiopoulos, F., Papadopoulou, S. ve Elmasides, C., The Effect of the Hysteresis Band on Power Management Strategies in a Stand-alone Power System, Energy, 33 (2008) 1537-1550.
18. Ipsakis, D., Voutetakis S., Seferlis P., Stergiopoulos, F. ve Elmasides, C., Power Management Strategies for a Stand-alone Power System using Renewable Energy Sources and Hydrogen Storage, International Journal of Hydrogen Energy, 34 (2009) 7081-7095.
19. Tofighi, A. ve Kalantar, M., Power Management of PV/Battery Hybrid Power Source via Passivity-Based Control, Renewable Energy, 36 (2011) 2440-2450.
20. Abras, S., Ploix, S., Pesty, S. ve Jacomino, M., A Multi-Agent Home Automation System for Power Management, Informatics in Control Automation and Robotics, 2008, Cilt 15, Bildiriler Kitabı: 59-68.
21. Ha, D. L., Ploix, S., Zamai, E. ve Jacomino, M., A Home Automation System to Improve Household Energy Control, In The 12th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, 2006, Bildiriler Kitabı: 15-20.
22. Abras, S., Pesty, S., Ploix, S. ve Jacomino, M., An Anticipation Mechanism for Power Management in a Smart Home using Multi-Agent Systems, Information and Communication Technologies: From Theory to Applications, Nisan 2008, Bildiriler Kitabı: 1-6.
23. Zeng, J., Wu, J., Liu, J., Gao, L. ve Li, M., An Agent-based Approach to Renewable Energy Management in Eco-building, Sustainable Energy Technologies ICSET, Kasım 2008, Bildiriler Kitabı: 46-50.
24. Zeng, J., Ngan, H.W., Liu, J., Wu, J. ve Yu, X., Colored Petri Nets Modeling of Multi-agent System for Energy Management in Distributed Renewable Energy Generation System, Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2010, Bildiriler Kitabı: 1-5.
25. Yunusov, T., Holderbaum, W. ve Potter, B., Sub-Agent Elements for Control Methods in Multi-Agent Energy Management System, Telecommunications Energy Conference (INTELEC), Ekim 2011, Bildiriler Kitabı: 1-7.

26. Jennings, N. R., The ARCHON System And Its Applications, In Second International Working Conference on Cooperating Knowledge Based Systems (CKBS- 94), 1994, Bildiriler Kitabı: 13-29.
27. Li, D. ve Chou, P.H., Maximizing Efficiency Of Solar-Powered Systems By Load Matching, Proceedings of the 2004 international symposium on Low power electronics and design, Ağustos 2004, Bildiriler Kitabı: 162-167.
28. Celaya, J.R., Desrochers, A.A. ve Graves, R.J., Modeling and Analysis of Multi-agent Systems using Petri Nets, Systems, Man and Cybernetics ISIC. IEEE International Conference on, Ekim 2007, Bildiriler Kitabı: 1439-1444.
29. Ha, D., L., De Lamotte, F.F. ve Quoc, H. H., Real-time dynamic multilevel optimization for Demand-side Load management, Industrial Engineering and Engineering Management, 2007 IEEE International Conference on, Aralık 2007, , Bildiriler Kitabı: 945-949.
30. Das, S.K., Cook, D.J., Battacharya, A., Heierman, E.O. ve Tze-Yun L, The Role of Prediction Algorithms in the MavHome Smart Home Architecture, Wireless Communications IEEE, 9 (2002) 77-84.
31. Qiang, M., Wei-yang, W. ve Zhen-li, X., A Multi-Directional Power Converter for a Hybrid Renewable Energy Distributed Generation System with Battery Storage, CES/IEEE 5th International Power Electronics and Motion Control Conference (IPEMC), Ağustos 2006, Bildiriler Kitabı III: 1-5.
32. Kati, P.K. ve Khedkar, M.K., Integrated Operation Decentralised Resources for Rural Area Power Supply Applications, IEEE/PES Transmission and Distribution Conference & Exhibition: Asia and Pacific, Ağustos 2005, Bildiriler Kitabı:1-6.
33. Shuyun J. ve Jiang C.,A Multi-Agent Control Method and Realization in Wind-Solar Hybrid Power Generation System, International Conference on Energy and Environment Technology (ICEET'09), Ekim 2009, Bildiriler Kitabı I: 507-510.
34. Jeremy L., Marcelo G. ve Abdelletif, M., A Multi- Agent Fuzzy Logic Based Energy Management of Hybrid System, IEEE transactions on industry application, 45 (2009) 2123-2129.
35. Jeremy L., Damien P. ve Abdelletif, M., A Multi-Agent System of Distrubited Power Sources, Renewable Energy, 35 (2010) 174-182.
36. Zhang L., Zhang G., Shen B., Xie X. ve Yan Q., Building Energy Saving Design Based on Multi-Agent System, 5th IEEE conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), Haziran 2010, Bildiriler Kitabı: 840-844.
37. Panasetsky, D.A., Etingov, P.V. ve Voropai, N.I., Multi-Agent Approach to Emergency Control of Power System”, Third International Conference on Electric

- Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies, Nisan 2008, Bildiriler Kitabı: 2157-2161.
38. http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?CC=CN&NR=101834755A&KC=A&FT=D&ND=4&date=20100915&DB=worldwide.espacenet.com&locale=en_EP, Espacenet patent arama, 06 Aralık 2012.
 39. http://en.wikipedia.org/wiki/A._E._Becquerel, Wikipedia, 26 Nisan 2012.
 40. Messenger, R.A. ve Ventre, J., Photovoltaic System Engineering, Third Edition, CRC Press, USA, 2010.
 41. The German Energy Society, Planning and Installing Photovoltaic Systems – A Guide for Installers, Architects and engineers, Second Edition, Earthscan, USA and UK, 2008.
 42. Haselhuhn, R., Auswertung von Betriebsdaten der PV-Fassadenanlage, Energie forum Berlin, 2004.
 43. Huan-Liang, T., Ci-Siang T. ve Yie-Jie S., Development of Generalized Photovoltaic Model using Matlab/Simulink, Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science (WCECS 2008), Ekim 2008, Bildiriler Kitabı: 846-851.
 44. Angrist, S.W., Direct Energy Conversion, Allyn and Bacon series in mechanical engineering and applied mechanics, 4th edition, USA, 1982.
 45. Wasynczuk, O., Dynamic behavior of a class of photovoltaic power systems, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 102, 9 (1983) 3031-3037.
 46. Phang, J. C. H., Chan, D. S. H. ve Philips, J. R., Accurate Analytical Method for the Extraction of Solar Cell Model Parameters, Electronics Letters, 20, 10 (1984) 406-408.
 47. Wasynczuk, O., Modeling and Dynamic Performance of a Line Commutated Photovoltaic Inverter System, IEEE Transactions on Energy Conversion, 4, 3 (1989) 337-343.
 48. Veerachary, M., Senjyu, T. ve Uezato, K., Voltage-based maximum power point tracking control of PV system, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 38, 1 (2002) 262-270.
 49. Veerachary, M. ve Shinoy, K.S., “V2-Based Power Tracking for Nonlinear PV Sources”, IEE Proceedings-Electric Power Applications, 152, 5 (2005) 1263-1270.
 50. Kim, I. S. ve Youn, M. J., Variable-Structure Observer for Solar Array Current Estimation in a Photovoltaic Power-Generation System, IEE Proceedings-Electric Power Applications, 152, 4 (2005) 953-959.

51. Kim, I. S., Kim, M. B. ve Youn, M. J., New Maximum Power Point Tracker using Sliding-Mode Observer for Estimation of Solar Array Current in the Grid-Connected Photovoltaic System, IEEE Transaction on Industrial Electronics, 53, 4 (2006) 1027-1035.
52. Hussein, K. H., Muta, I., Hoshino, T. ve Osakada, M., Maximum Photovoltaic Power Tracking: An Algorithm for Rapidly Changing Atmospheric Conditions, IEE Proceedings of Generation, Transmission and Distribution, 142, 1 (2005) 953-959.
53. Masters, G.M., Renewable and Efficient Electric Power Systems, John Wiley & Sons, Inc., USA, 2004.
54. Dabney, J. B. ve Harman, T. L., Mastering Simulink®, Pearson Prentice Hall, USA, 2004.
55. <http://www.mathworks.com/help/simulink/index.html>, MathWorks Documentation Center, 07 Aralık 2012.
56. http://www.lorenz.de/pdf/lorenz_sm_lc185-24m_en.pdf, Lorentz resmi web sayfası, 20 Aralık 2012.
57. Ross, J.N., Markvart, T. ve He, W., Modelling Battery Charge Regulation for A Stand-alone Photovoltaic System”, Solar Energy, 69, 3 (2000) 181-190.
58. Shepherd, C. M., Design of Primary and Secondary Cells - II. An equation describing battery discharge, Journal of Electrochemical Society, 112, 7 (1965) 657-664.
59. Copetti, J. B. ve Chenlo, F., Lead/Acid Batteries for Photovoltaic Applications: Test Results and Modeling, Journel Power Sources, 47, 1-2, (1994) 109-118.
60. Salameh, Z. M., Casacca, M. A. ve Lynch, W. A., A Mathematical Model for Lead–Acid Batteries, IEEE Transactions on Energy Conversion, 7, 1 (1992) 93-98.
61. Gu, H., Nguyen, T.V. ve White R.E., A Mathematical Model of a Lead–Acid Cell, Journal of Electrochemical Society, 134, 12 (1987) 2953-2960.
62. Gu, W.B., Wang, C.Y. ve Liaw, B.Y., Numerical Modeling of Coupled Electrochemical and Transport Processes in Lead–Acid Batteries, Journal of Electrochemical Society, 144, 6 (1997) 2053-2061.
63. Tremblay, O., Dessaint, L.A. ve Dekkiche, A.I., A Generic Battery Model for the Dynamic Simulation of Hybrid Electric Vehicles, Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC 2007), Eylül 2007, Bildiriler Kitabı: 284-289.
64. <http://www.mathworks.com/help/phymod/powersys/ref/battery.html>, MathWorks Documentation Center, 22 Aralık 2012.

65. Yamazaki, T. ve Muramoto, K., An Advanced Solar Charging and Battery Discharge Controller Unit, Renewable Energy, 15 (1998) 606–609.
66. Harrington, S. ve Dunlop, J., Battery Charge Controller Characteristics in Photovoltaic Systems, IEEE Aerosp. Electron. Syst. Mag., 7,8 (1992) 15–21.
67. Dunlop, J. P., Batteries and Charge Control in Stand-Alone Photovoltaic Systems – Fundamentals and Application, Florida Solar Energy Center, USA, 1997.
68. Koutroulis, E. ve Kalaitzakis, K., Novel Battery Charging Regulation System for Photovoltaic Applications, IEE Proceedings - Electric Power Applications, 151, 2 (2004), 191-197.
69. Woodworth, J., Thomas, M., Stevens, J., Harrington, S., Dunlop, J., Swamy, M. ve Leighton, D., Evaluation of the Batteries and Charge Controllers in Small Stand-alone Photovoltaic Systems, Presented at 24th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, USA, 1994, Bildiriler Kitabı: 933–945.
70. Fernandez, M., Ruddell, A., Vast, N., Esteban, J. ve Estela, F., Development of a VRLA Battery with Improved Separators and a Charge Controller for Low Cost Photovoltaic and Wind Powered Installations, Journal of Power Sources, 95, 1-2 (2001) 135–140.
71. Masheleni, H. ve Carelse, X., Microcontroller-based Charge Controller for Stand-alone Photovoltaic Systems, Solar Energy, 61, 1 (1997) 225–230.
72. Bopp, G., Gabler, H., Sauer, D.U., Jossen, A., Höhe, W., Mittermeier, J., Bächler, M., Sprau, P., Willer, B. ve Wollny, M., A Systematic Effort to Define Evaluation and Performance Parameters and Criteria for Lead-Acid Batteries in PV Systems, 13th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Nice, Fransa, 1995, Bildiriler Kitabı: 1763-1769.
73. Quaschnig, V., Understanding Renewable Energy Systems, First Edition, Earthscan, London, UK, 2005.
74. Michel, M., Leistungselektronik, Springer, Berlin, Germany, 1992.
75. Russell, S.J. ve Norvig, P., Artificial Intelligence: A Modern Approach, Second Edition, Prentice Hall, New Jersey, USA, 2003.
76. http://en.wikipedia.org/wiki/Intelligent_agent, Wikipedia, 31 Temmuz 2013.
77. http://en.wikipedia.org/wiki/Multi_agent_system, Wikipedia, 02 Ağustos 2013.
78. Wooldridge, M., An Introduction to Multiagent Systems, John Wiley & Sons Ltd, UK, 2002.
79. Sohlberg, B., Applied Model Based Control, Dalarna University, Sweden, 2010.

80. Kesler, S., Bilezikli Asenkron Makinaların Bilezikleri Üzerinden Bulanık Mantık Tabanlı Hız Denetiminin TMS 320F2812 DSP ile Gerçekleştirilmesi, KTÜ Fenbilimleri Enstitüsü – Doktora tezi, Trabzon, 2006.
81. Kuo, B.C., Automatic Control Systems, Prentice-Hall, New Jersey,1995.
82. Zadeh, L. A., Fuzzy Sets, Information and Control, 8, 3 (1965) 338-353.
83. Siler, W. ve Ying, H., Fuzzy Control Theory: Linear Case, Fuzzy Sets and Systems, 33, 3 (1989) 275-290.
84. Abraham. A., Rule-Based Expert Systems, Handbook of Measuring System Design, John Willey&Sons, New York, 2005.
85. El-Hawary, M., Electric Power Applications of Fuzzy Systems, IEEE Press Series on Power Engineering, New York, 1998.
86. Mamdani, E.H. ve Assilian, S., An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller, International Journal of Man-Machines Studies, 7, 1 (1975) 1-13.
87. Takagi, T. ve Sugeno, M., Fuzzy Identification of Systems and its Application to Modelling and Control, IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics, 15, 1 (1985) 116-132.
88. Elmas, C., Bulanık Mantık Denetleyiciler, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 2003.
89. Ibrahim, A.M., Introduction to Applied Fuzzy Electronics, Prentice-Hall, New Jersey, 1997.
90. Bose, K.B., Expert System, Fuzzy Logic and Neural Network Applications in Power Electronics and Motion Control, Proceedings of IEEE, 62, 8 (1994) 1303-1322.
91. Zhang, J. ve Knoll, A., Design Fuzzy Controllers by Rapid Learning, Fuzzy Sets and Systems, 101, 2 (1999) 287-301.
92. Jang, J.R., Self-Learning Fuzzy Controllers Based on Temporal Back Propagation, IEEE Trans. Neural Networks, 3, 5 (1992) 714-723.
93. Sugeno, M. ve Taniuchi, T., On Improvement of Stability Conditions for Continuous Mamdani-like Fuzzy Systems, IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics, 34, 1 (2004) 120-131.
94. Huwendiek, O. ve Brockman, W., Function Approximation with Decomposed Fuzzy Systems, Fuzzy Sets and Systems, 101, 2 (1999) 273-286.
95. Wong, L.X. ve Mendel, J.M., Generating Fuzzy Rules by Learning From Examples, IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics, 22, 6 (1992) 1414-1427.

96. Sugeno, M., On Stability of Fuzzy Systems Expressed by Fuzzy Rules with Singleton Consequents, IEEE Trans. Fuzzy Systems, 7, 2 (1999) 201-224.
97. Yager, R.R., Filev D.P. ve Sadeghi, T., Analysis of Flexible Structured Fuzzy Logic Controller, IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics, 24, 7 (1994) 1035-1043.
98. Farag, W.A., Quintana, V.H. ve Tores, G.L., An Optimized Fuzzy Controller for a Synchronous Generator in a Multi-machine Environment, Fuzzy Sets and Systems, 102, 1 (1999) 71-84.
99. Altaş, İ.H., The Importance of Fuzziness in Fuzzy Logic Controllers, Proceedings of 2nd International Symposium on Intelligent Manufacturing Systems, Ağustos 1998, Sakarya, Bildiriler Kitabı: 211-220.
100. Altaş, İ.H., A Fuzzy Logic Controlled Tracking System for Moving Targets, 12th IEEE International Symposium on Intelligent Control (ISIC'97), Haziran 1997, İstanbul, Bildiriler Kitabı: 43-48.
101. Varnamkhasti, M.J., Overview of the Algorithms for Solving the Multidimensional Knapsack Problems, Advanced Studies in Biology, 4, 1 (2012) 37 – 47.
102. Hochbaum, D.S., A Nonlinear Knapsack Problem, Operations Research Letters, 17, (1995) 103-110.
103. Hirschberg, D.S. ve Wong, C.K., A Polynomial-Time Algorithm for the Knapsack Problem with Two Variables, Journal of the Association for Computing Machinery, 23, 1 (1976) 147-154.
104. Schilling, K.E., The growth of m-constraint random knapsacks, European Journal of Operational Research, 46 (1990) 109-112.
105. Photovoltaic Design Assistance Center Sandia National Laboratories, Stand-Alone Photovoltaic Systems – A Handbook of Recommended Design Practice, USA, 1995.
106. http://www.intab.se/System/FileArchive/295/File_27879.pdf, Intab- Interface-Teknik AB, 08 Eylül 2013.
107. Özden, T. ve Okumuş, H.İ., Designing a Load Agent for Power Management with a Multi-Agent Home Automation System, 2012 International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA), Temmuz 2012, Trabzon, Türkiye, Bildiriler Kitabı: 1-5.
108. Özden, T. ve Okumuş, H.İ., Designing Load and Source Agent for Power Management with A Multi-Agent System, 2013 International 100% Renewable Energy Conference (IRENEC 2013), Haziran 2013, İstanbul, Türkiye, Bildiriler Kitabı: 149-157.
109. Akpınar, S. ve Yazıcı, R., Ölçme Tekniği, Karadeniz Teknik Üniversitesi Basımevi, Trabzon, 1992.

110. Güler, İ., Çetin, T., Özdemir, A. R. ve Uçar, N., Türkiye Elektromanyetik Alan Maruziyet Raporu, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, Ankara, 2010.

111. http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000982_M.pdf, Digi, 18 Kasım 2013.

12. EKLER

Ek 1. Modelleme için kullanılan FV panelin veri sayfası

LORENTZ

LC185-24M

High-efficiency PV Module

Features

- high energy yields ensured by high conversion efficiency
- sturdy, clear-anodized aluminum frame with pre-drilled holes for quick installation
- advanced EVA encapsulation with triple-layer backsheet, meets the most stringent safety requirements for high-voltage operation
- pre-wired junction box equipped with connectors "plug 'n' play"
- reliable bypass diodes to prevent overheating (hot spot effect) and to minimise power loss by shading
- manufactured in ISO 9001:2000-certified factory

Applications

- water pumping
- water purification systems
- remote village lighting
- solar home systems
- street and camp lights
- traffic signals
- medical facilities in remote areas
- microwave/radio repeater stations
- battery charging
- etc.



Warranty

- Warranty: 2 years
 - Performance guarantee:
up to 10 years (90% power output)
up to 20 years (80% power output)
- Details according to warranty
Issued by LORENTZ

Standards

LC185-24M is certified according to IEC 61215 and 61730 by TÜV Rheinland and meets the requirements for CE.



- Qualified, IEC 61215
- Safety tested, IEC 61730
- Periodic inspection



Specifications

Electrical Data

Peak power	P _{max}	[Wp]	185
Tolerance		[%]	+3/-3
Max. power current	I _{mp}	[A]	5.1
Max. power voltage	V _{mp}	[V]	36.4
Short circuit current	I _{sc}	[A]	5.5
Open circuit voltage	V _{oc}	[V]	44.8
Temperature co-efficient for P _{max}		[%/°C]	-0.50
Temperature co-efficient for V _{oc}		[%/°C]	-0.35
Temperature co-efficient for I _{sc}		[%/°C]	0.09
Max. system voltage		[V]	1,000

All technical data at standard test condition:
AM = 1.5, E = 1,000W/m², cell temperature: 25 °C

Cells

Number of cells in series	72
Number of cells in parallel	1
Cell technology	monocrystalline
Cell shape	rectangular

To find out more visit www.lorentz.de

BERNT LORENTZ GmbH & Co. KG
Kroegersköppl 7, 24558 Herstedt-Ulzburg, Germany
Tel. +49(0)4193 7548-0, Fax -20, www.lorentz.de
Errors excepted and possible alterations without prior notice.

Sun. Water. Life.

Ek 3. FV panelin Ek-2'deki ölçülmüş giriş verilerine karşın ürettiği ölçülmüş çıkış verileri

(Tarih: 09/12/2012, +40° 26' 11.19" K, +39° 30' 47.87" D, Gümüşhane-Türkiye)

Zaman (saat)	I _{PH} (A)	Zaman (saat)	I _{PH} (A)	Zaman (saat)	I _{PH} (A)	Zaman (saat)	I _{PH} (A)	Zaman (saat)	I _{PH} (A)	Zaman (saat)	I _{PH} (A)
00:00	0.0325	04:00	0.0325	08:00	0.7525	12:00	16.625	16:00	0.0575	20:00	0.0325
00:05	0.0325	04:05	0.0325	08:05	0.7475	12:05	17.650	16:05	0.0525	20:05	0.0325
00:10	0.0325	04:10	0.0325	08:10	0.5725	12:10	18.300	16:10	0.0400	20:10	0.0325
00:15	0.0325	04:15	0.0325	08:15	0.6200	12:15	17.450	16:15	0.0325	20:15	0.0325
00:20	0.0325	04:20	0.0325	08:20	0.7825	12:20	17.900	16:20	0.0325	20:20	0.0325
00:25	0.0325	04:25	0.0325	08:25	0.8375	12:25	18.200	16:25	0.0325	20:25	0.0325
00:30	0.0325	04:30	0.0325	08:30	10.225	12:30	18.100	16:30	0.0325	20:30	0.0325
00:35	0.0325	04:35	0.0325	08:35	10.775	12:35	17.875	16:35	0.0325	20:35	0.0325
00:40	0.0325	04:40	0.0325	08:40	0.8825	12:40	17.725	16:40	0.0325	20:40	0.0325
00:45	0.0325	04:45	0.0325	08:45	11.175	12:45	17.725	16:45	0.0325	20:45	0.0325
00:50	0.0325	04:50	0.0325	08:50	10.525	12:50	17.200	16:50	0.0325	20:50	0.0325
00:55	0.0325	04:55	0.0325	08:55	10.675	12:55	18.100	16:55	0.0325	20:55	0.0325
01:00	0.0325	05:00	0.0325	09:00	0.9675	13:00	15.325	17:00	0.0325	21:00	0.0325
01:05	0.0325	05:05	0.0325	09:05	12.200	13:05	17.425	17:05	0.0325	21:05	0.0325
01:10	0.0325	05:10	0.0325	09:10	12.100	13:10	16.900	17:10	0.0325	21:10	0.0325
01:15	0.0325	05:15	0.0325	09:15	10.325	13:15	16.975	17:15	0.0325	21:15	0.0325
01:20	0.0325	05:20	0.0325	09:20	10.350	13:20	16.650	17:20	0.0325	21:20	0.0325
01:25	0.0325	05:25	0.0325	09:25	11.500	13:25	17.200	17:25	0.0325	21:25	0.0325
01:30	0.0325	05:30	0.0325	09:30	14.675	13:30	16.200	17:30	0.0325	21:30	0.0325
01:35	0.0325	05:35	0.0325	09:35	11.525	13:35	14.450	17:35	0.0325	21:35	0.0325
01:40	0.0325	05:40	0.0325	09:40	11.125	13:40	12.100	17:40	0.0325	21:40	0.0325
01:45	0.0325	05:45	0.0325	09:45	13.425	13:45	15.650	17:45	0.0325	21:45	0.0325
01:50	0.0325	05:50	0.0325	09:50	12.075	13:50	15.550	17:50	0.0325	21:50	0.0325
01:55	0.0325	05:55	0.0325	09:55	13.800	13:55	15.475	17:55	0.0325	21:55	0.0325
02:00	0.0325	06:00	0.0325	10:00	11.400	14:00	14.875	18:00	0.0325	22:00	0.0325
02:05	0.0325	06:05	0.0325	10:05	12.900	14:05	14.475	18:05	0.0325	22:05	0.0325
02:10	0.0325	06:10	0.0325	10:10	14.325	14:10	12.350	18:10	0.0325	22:10	0.0325
02:15	0.0325	06:15	0.0325	10:15	15.375	14:15	13.000	18:15	0.0325	22:15	0.0325
02:20	0.0325	06:20	0.0325	10:20	12.875	14:20	11.925	18:20	0.0325	22:20	0.0325
02:25	0.0325	06:25	0.0350	10:25	15.250	14:25	0.1700	18:25	0.0325	22:25	0.0325
02:30	0.0325	06:30	0.0400	10:30	17.500	14:30	0.1800	18:30	0.0325	22:30	0.0325
02:35	0.0325	06:35	0.0425	10:35	15.475	14:35	0.1725	18:35	0.0325	22:35	0.0325
02:40	0.0325	06:40	0.0500	10:40	16.600	14:40	0.1800	18:40	0.0325	22:40	0.0325
02:45	0.0325	06:45	0.0600	10:45	14.600	14:45	0.1625	18:45	0.0325	22:45	0.0325
02:50	0.0325	06:50	0.0625	10:50	16.875	14:50	0.1625	18:50	0.0325	22:50	0.0325
02:55	0.0325	06:55	0.0675	10:55	17.275	14:55	0.1675	18:55	0.0325	22:55	0.0325
03:00	0.0325	07:00	0.0825	11:00	18.000	15:00	0.1625	19:00	0.0325	23:00	0.0325
03:05	0.0325	07:05	0.0850	11:05	17.925	15:05	0.1600	19:05	0.0325	23:05	0.0325
03:10	0.0325	07:10	0.1000	11:10	17.650	15:10	0.1525	19:10	0.0325	23:10	0.0325
03:15	0.0325	07:15	0.2125	11:15	17.950	15:15	0.1425	19:15	0.0325	23:15	0.0325
03:20	0.0325	07:20	0.1725	11:20	17.800	15:20	0.1325	19:20	0.0325	23:20	0.0325
03:25	0.0325	07:25	0.3175	11:25	18.275	15:25	0.1250	19:25	0.0325	23:25	0.0325
03:30	0.0325	07:30	0.3525	11:30	15.750	15:30	0.1250	19:30	0.0325	23:30	0.0325
03:35	0.0325	07:35	0.4825	11:35	14.700	15:35	0.1175	19:35	0.0325	23:35	0.0325
03:40	0.0325	07:40	0.5400	11:40	12.425	15:40	0.1025	19:40	0.0325	23:40	0.0325
03:45	0.0325	07:45	0.3375	11:45	13.000	15:45	0.0850	19:45	0.0325	23:45	0.0325
03:50	0.0325	07:50	0.7575	11:50	15.500	15:50	0.0725	19:50	0.0325	23:50	0.0325
03:55	0.0325	07:55	0.5625	11:55	16.300	15:55	0.0650	19:55	0.0325	23:55	0.0325

Ek 4. FV panellerin etiket verileri

WARNING

HAZARDOUS ELECTRICITY CAN SHOCK, BURN OR CAUSE DEATH. DO NOT TOUCH TERMINALS.

PHOTOVOLTAIC MODULE			
MODEL	KD135GH-2PU		
SER NO.	106JER2995		
IRRADIANCE AND CELL TEMPERATURE	1000Wm ⁻² AM 1.5 25°C	800Wm ⁻² AM 1.5 47.9°C	Pmax TOLERANCE +5%/-5%
	Pmax	135 W 95 W	
Vpmax	17.7 V	15.7 V	1000 V
Ipmax	7.63 A	6.10 A	MASS
Voc	22.1 V	—	
Isc	8.37 A	—	

www.tuv.com
TÜVRheinland
ID: *****

MAX. SERIES FUSE	SERIES FUSE	APPLICATION CLASS
36 MODULES	15 A	A

www.tuv.com

ID: 0000023299

Must comply with local safety standards prior to installation.

MADE IN EU

+
polarity of connection
—

www.LORENTZ.de, GERMANY

LA130-12S-1

PV-Module

NOMINAL RATINGS	
Max. Power (+10%/-5%)	[Pmax] 130Wp
Current Max. Power	[Imp] 6.5A
Voltage Max. Power	[Vmp] 19.8V
Short Circuit Current	[Isc] 7.1A
Open Circuit Voltage	[Voc] 24.1V
Max. System Voltage	750V
Cell Technology	monocrystalline

All technical data at standard test condition: AM = 1.5, E = 1,000 W/m², cell temperature T_c = 25°C. Produced in correspondence with international safety standards.

WARNING: HAZARDOUS ELECTRICITY!
Can shock, burn or cause death. Do not touch terminals.
Ground positive side of array. See manual for details.
Not to be used for applications that connect to the utility grid. Warranty and liability void if done otherwise.

Serial no.

BLW00238201005180025

Ek-5'nin devamı...

System Sizing

DESIGN NOTES:

WORKSHEET #2		DESIGN CURRENT AND ARRAY TILT			
21	System Location	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude
	Insolation Location	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude
		40.43	33.5	40.43	33.5
		40.43		40.43	

	Tilt at Latitude -15°			Tilt at Latitude			Tilt at Latitude +15°		
	22A	23A	24A	22B	23B	24B	22C	23C	24C
M	Corrected Load (AH/DAY)	49725		49725			49725		
N	Peak Sun (HRS/DAY)	4.43		4.76			4.55		
O	Design Current (A)	11.7		2.56			1.55		
H	Peak Sun (HRS/DAY)	5.38		3.48			3.91		
J	Design Current (A)	6.12		4.24			5.62		
F	Peak Sun (HRS/DAY)	6.77		5.93			5.76		
M	Design Current (A)	7.92		5.85			5.76		
A	Peak Sun (HRS/DAY)	7.06		5.21			4.43		
M	Design Current (A)	5.44		4.62			2.77		
J	Peak Sun (HRS/DAY)	4.69		2.06			1.56		
J	Design Current (A)	4.25		4.8			0.84		
A	Peak Sun (HRS/DAY)	4.25		4.8			4.8		
S	Design Current (A)	11.7		32.34			32.34		
O	Peak Sun (HRS/DAY)	4.25		4.8			4.8		
N	Design Current (A)	11.7		32.34			32.34		
D	Peak Sun (HRS/DAY)	4.25		4.8			4.8		
	Design Current (A)	11.7		32.34			32.34		

Latitude -15°			Latitude			Latitude +15°		
25A	25B	25C	25B	25C	25C	25B	25C	25C
Peak Sun (HRS/DAY)	4.25	4.17	4.48	3.34	0.154	0.154	0.154	0.154
Design Current (A)	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7

Select the largest design current and corresponding peak sun from each latitude and enter below.

Now select the smallest design current and corresponding peak sun.

NOTE: DO NOT MIX TRACKING AND FIXED ARRAY DATA ON THE SAME SHEET.

Ek-5'nin devamı...

System Sizing

DESIGN NOTES:

WORKSHEET #3 **CALCULATE SYSTEM BATTERY SIZE**

29	Corrected Amp-hour Load (A/HDAY)	D	30	Storage Days	D	31	Maximum Depth of Discharge (DECIMAL)	D	32	Derate for Temperature (DECIMAL)	D	33	Required Battery Capacity (AH)	D	34	Capacity of Selected Battery (AH)	D	35	Batteries in Parallel
20	49.725	X	4	÷	0.85	÷	0.90	=	268	÷	90	=	3						

36	Nominal System Voltage (V)	D	37	Nominal Battery Voltage (V)	D	38	Batteries in Series	D	39	Batteries in Parallel	D	40	Total Batteries
9	24	÷	12	=	2	X	3	=	6				

11	Batteries in Parallel	D	12	Capacity of Selected Battery (AH)	D	13	System Battery Capacity (AH)	D	14	Maximum Depth of Discharge (DECIMAL)	D	15	Usable Battery Capacity (AH)
35	3	X	90	=	270	X	0.85	=	229.5				

NOTE: BLOCK 35. ROUND UP FOR CONSERVATIVE DESIGN.

BATTERY INFORMATION			
Make	Model	Type	Rated Capacity (AH)
Everstar	JCL	12	100

NOTE: USE MANUFACTURER'S DATA TO FILL IN BATTERY INFORMATION BLOCK

Ek-5'nin devamı...

System Sizing

DESIGN NOTES:

WORKSHEET #4 CALCULATE SYSTEM ARRAY SIZE

45	Design Current (A)	11.7	÷	47	Module Derate Factor (DECIMAL)	0.9	=	48	Derated Design Current (A)	13	÷	49	Rated Module Current (A)	6.5	=	50	Modules In Parallel	2
51	Nominal Battery Voltage	12	×	52	Batteries in Series	2	=	53	Voltage Required for Load (V)	28.8	÷	54	Highest Module Voltage (V)	19.7	=	55	Modules In Series	1.46 (2)
56	Modules In Parallel	2	×	57	Modules In Series	1.46 (2)	=	58	Total Modules	4								

59	Rated Module Current (A)	6.5	×	60	Rated Array Current (A)	13
61	Module Short Circuit Current (A)	7.1	×	62	Array Short Circuit Current (A)	14.2

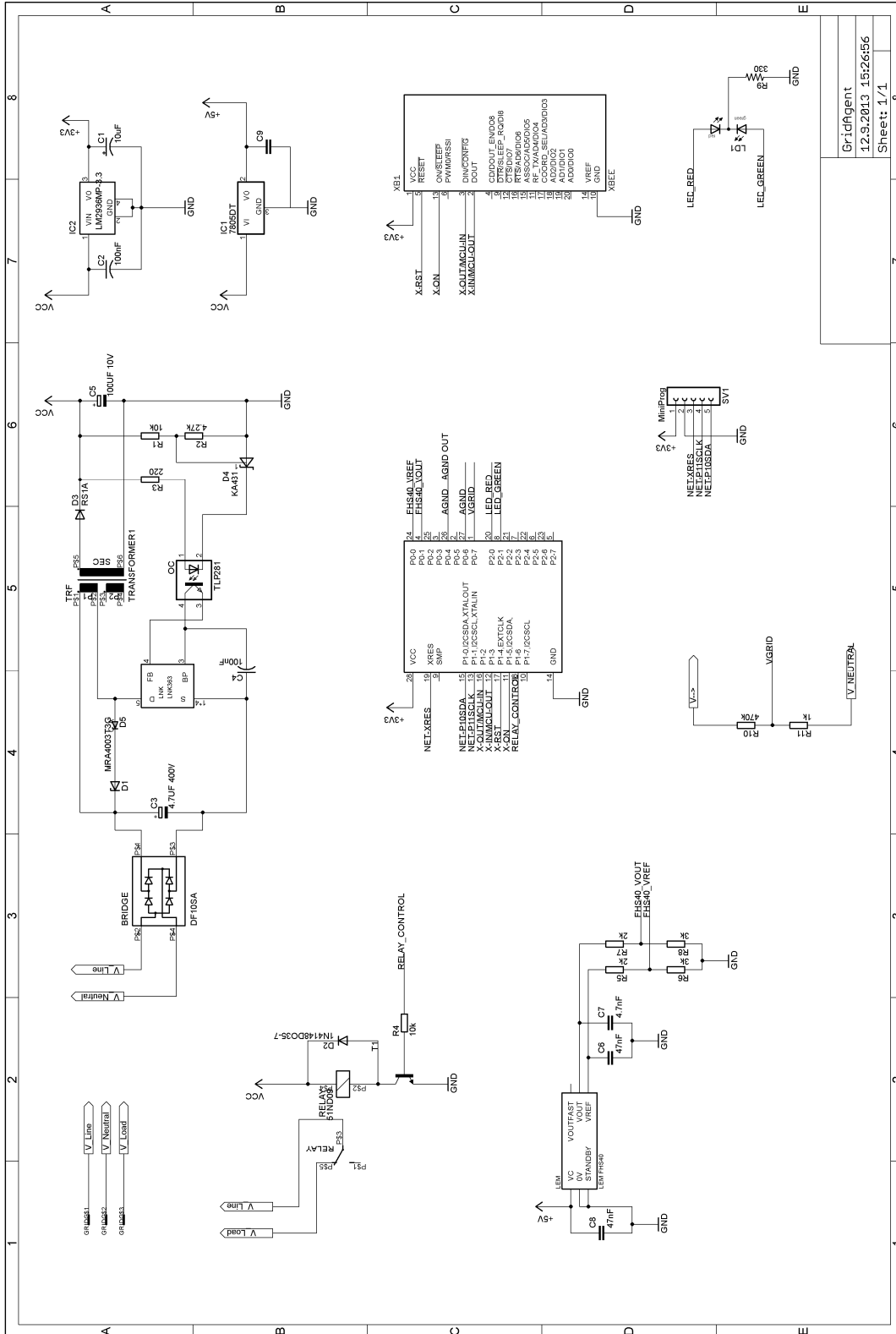
63	Rated Module Voltage (V)	19.9	×	64	Array Rated Voltage (V)	39.8
65	Open Circuit Module Voltage (V)	24.1	×	66	Array Open Circuit Voltage (V)	48.2

NOTE: USE MANUFACTURER'S SPECIFICATIONS TO FILL IN PV MODULE INFORMATION BLOCK.

PV MODULE INFORMATION			
Make/Model	LA130-125-1	Nominal Volts	19.8
Length		Width	
Weight		Thickness	
		Bypass Diode	Y N
Voltage (V)	At STC	Open Circuit	At Highest Expected Temperature
		24.1	
Current (A)	At STC	Short Circuit	
		7.1	

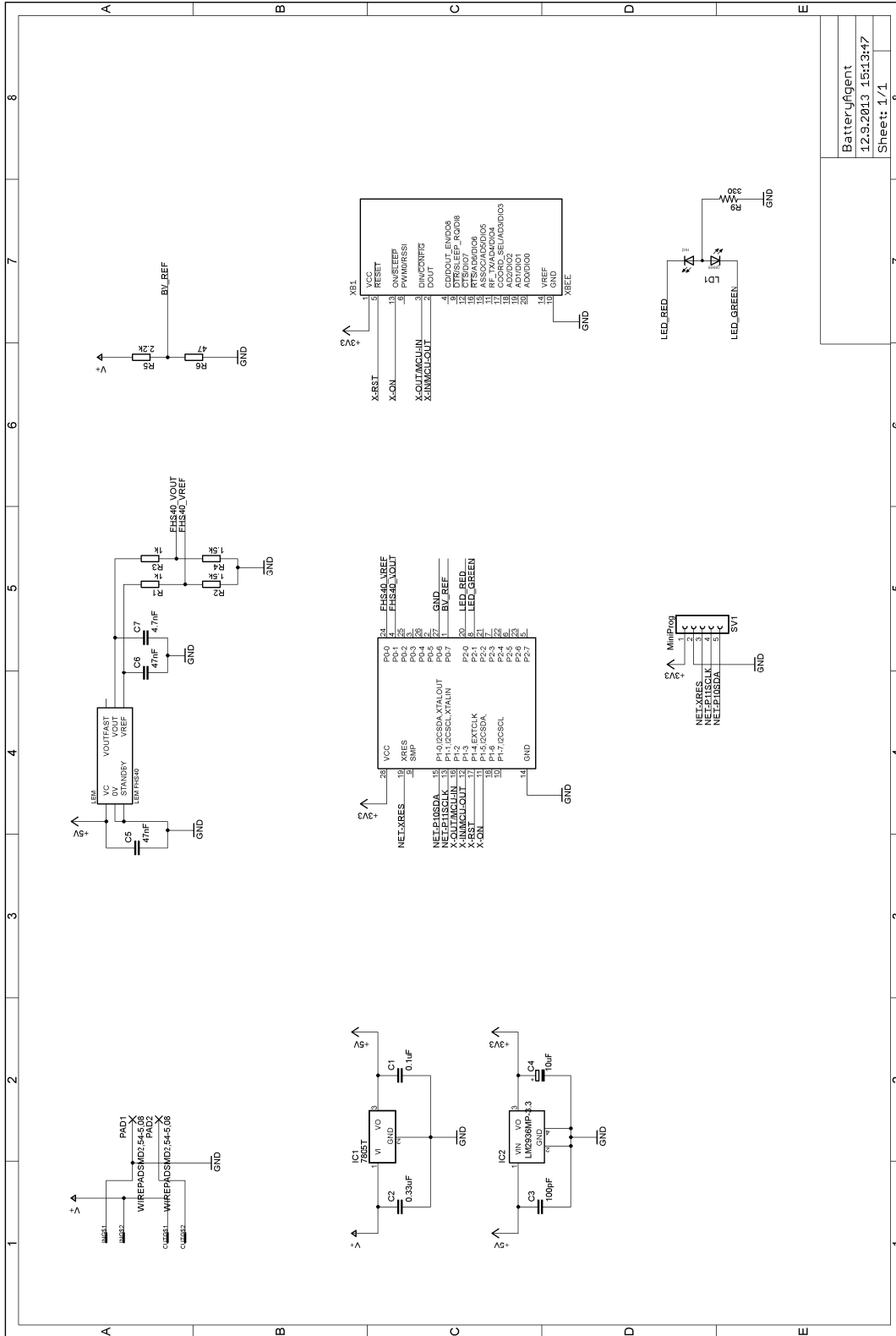
NOTES: BLOCK 50 - ROUND UP FOR CONSERVATIVE DESIGN.
 BLOCK 55 - ROUND UP OR SELECT ANOTHER MODULE WITH SUFFICIENT VOLTAGE TO CHARGE THE BATTERIES WHEN OPERATING AT THE HIGHEST EXPECTED TEMPERATURE.

Ek 6. Yük ajanı elektronik devre şeması



GridAgent
12.9.2013 15:26:56
Sheet: 1/1

Ek 7. Kaynak ajanı elektronik devre şeması



Ek 8. Ajan dosyası (xml biçiminde)

```
<?xml version="1.0" encoding="windows-1254"?>
<AGENTSBOOK>
  <agent>
    <name>Kaynak</name>
    <serialNo>75</serialNo>
    <type>2</type>
    <enabled>1</enabled>
    <activated>1</activated>
    <priority>0</priority>
  </agent>
  <agent>
    <name>Yük 1</name>
    <serialNo>10</serialNo>
    <type>1</type>
    <enabled>1</enabled>
    <activated>1</activated>
    <priority>0</priority>
  </agent>
  <agent>
    <name>Yük 2</name>
    <serialNo>88</serialNo>
    <type>1</type>
    <enabled>1</enabled>
    <activated>1</activated>
    <priority>3</priority>
  </agent>
  <agent>
    <name>Yük 3</name>
    <serialNo>55</serialNo>
    <type>1</type>
    <enabled>1</enabled>
    <activated>1</activated>
    <priority>5</priority>
  </agent>
  <agent>
    <name>Yük 4 AA</name>
    <serialNo>60</serialNo>
    <type>0</type>
    <enabled>1</enabled>
    <activated>0</activated>
    <priority>0</priority>
  </agent>
  <agent>
    <name>Yük 5 AA</name>
    <serialNo>15</serialNo>
    <type>0</type>
    <enabled>0</enabled>
    <activated>0</activated>
    <priority>4</priority>
  </agent>
</AGENTSBOOK>
```

Ek 9. AGYA'nın Yazılım Kodları (Bulanık Mantık Kısmı)

```

void InitFuzzyEngine()
{
    // SOC için üyelik fonksiyonu tanımları
    FuzzySet fs1B = new FuzzySet("Bitik", new TrapezoidalFunction(20, 35, TrapezoidalFunction.EdgeType.Right));
    FuzzySet fs1YB = new FuzzySet("YariBitik", new TrapezoidalFunction(25, 30, 45, 55));
    FuzzySet fs1Y = new FuzzySet("Yari", new TrapezoidalFunction(45, 50, 60, 65));
    FuzzySet fs1YD = new FuzzySet("YariDolu", new TrapezoidalFunction(60, 65, 75, 80));
    FuzzySet fs1D = new FuzzySet("Dolu", new TrapezoidalFunction(75, 85, TrapezoidalFunction.EdgeType.Left));

    // Kurulu Güç için üyelik fonksiyonu tanımları
    FuzzySet fs2Y = new FuzzySet("Yuksuz", new TrapezoidalFunction(0.2, 0.35, TrapezoidalFunction.EdgeType.Right));
    FuzzySet fs2AY = new FuzzySet("AzYuk", new TrapezoidalFunction(0.25, 0.3, 0.4, 0.45));
    FuzzySet fs2YY = new FuzzySet("YariYuk", new TrapezoidalFunction(0.40, 0.45, 0.60, 0.65));
    FuzzySet fs2TY = new FuzzySet("TamYuk", new TrapezoidalFunction(0.60, 0.65, 0.75, 0.80));
    FuzzySet fs2FY = new FuzzySet("FazlaYuk", new TrapezoidalFunction(0.75, 0.80, TrapezoidalFunction.EdgeType.Left));

    // SOC (Input)
    LinguisticVariable Soc = new LinguisticVariable("SOC", 0, 100);
    Soc.AddLabel(fs1B);
    Soc.AddLabel(fs1YB);
    Soc.AddLabel(fs1Y);
    Soc.AddLabel(fs1YD);
    Soc.AddLabel(fs1D);

    // Kurulu Güç (Input)
    LinguisticVariable Pku = new LinguisticVariable("ToplamGuc", 0, 1);
    Pku.AddLabel(fs2Y);
    Pku.AddLabel(fs2AY);
    Pku.AddLabel(fs2YY);
    Pku.AddLabel(fs2TY);
    Pku.AddLabel(fs2FY);

    // Çıkış için üyelik fonksiyonları
    FuzzySet fsoD = new FuzzySet("Destekleme", new TrapezoidalFunction(0.2, 0.3, TrapezoidalFunction.EdgeType.Right));
    FuzzySet fsoKY = new FuzzySet("KritikYuk", new TrapezoidalFunction(0.2, 0.3, 0.4, 0.5));
    FuzzySet fsoKGY = new FuzzySet("KritikGerekliYuk", new TrapezoidalFunction(0.4, 0.5, 0.6, 0.65));
    FuzzySet fsoKGOY = new FuzzySet("KritikGerekliOnemliYuk", new TrapezoidalFunction(0.55, 0.65, 0.75, 0.85));
    FuzzySet fsoTY = new FuzzySet("TumYukler", new TrapezoidalFunction(0.75, 0.8, TrapezoidalFunction.EdgeType.Left));

    // Çıkış
    LinguisticVariable Fout = new LinguisticVariable("Cikis", 0, 1);
    Fout.AddLabel(fsoD);
    Fout.AddLabel(fsoKY);
    Fout.AddLabel(fsoKGY);
    Fout.AddLabel(fsoKGOY);
    Fout.AddLabel(fsoTY);

    // The database
    Database fuzzyDB = new Database();
    fuzzyDB.AddVariable(Soc);
    fuzzyDB.AddVariable(Pku);
    fuzzyDB.AddVariable(Fout);

    // Creating the inference system
    IS = new InferenceSystem(fuzzyDB, new CentroidDefuzzifier(1000));

    IS.NewRule("Rule 1", "IF SOC IS Bitik AND ToplamGuc IS Yuksuz THEN Cikis IS Destekleme");
    IS.NewRule("Rule 2", "IF SOC IS YariBitik AND ToplamGuc IS Yuksuz THEN Cikis IS KritikYuk");
    IS.NewRule("Rule 3", "IF SOC IS Yari AND ToplamGuc IS Yuksuz THEN Cikis IS KritikGerekliYuk");
    IS.NewRule("Rule 4", "IF SOC IS YariDolu AND ToplamGuc IS Yuksuz THEN Cikis IS KritikGerekliOnemliYuk");
    IS.NewRule("Rule 5", "IF SOC IS Dolu AND ToplamGuc IS Yuksuz THEN Cikis IS TumYukler");

    IS.NewRule("Rule 6", "IF SOC IS Bitik AND ToplamGuc IS AzYuk THEN Cikis IS Destekleme");
    IS.NewRule("Rule 7", "IF SOC IS YariBitik AND ToplamGuc IS AzYuk THEN Cikis IS KritikYuk");
    IS.NewRule("Rule 8", "IF SOC IS Yari AND ToplamGuc IS AzYuk THEN Cikis IS KritikGerekliYuk");
    IS.NewRule("Rule 9", "IF SOC IS YariDolu AND ToplamGuc IS AzYuk THEN Cikis IS KritikGerekliOnemliYuk");
    IS.NewRule("Rule 10", "IF SOC IS Dolu AND ToplamGuc IS AzYuk THEN Cikis IS TumYukler");

    IS.NewRule("Rule 11", "IF SOC IS Bitik AND ToplamGuc IS YariYuk THEN Cikis IS Destekleme");
    IS.NewRule("Rule 12", "IF SOC IS YariBitik AND ToplamGuc IS YariYuk THEN Cikis IS KritikYuk");
    IS.NewRule("Rule 13", "IF SOC IS Yari AND ToplamGuc IS YariYuk THEN Cikis IS KritikGerekliYuk");
    IS.NewRule("Rule 14", "IF SOC IS YariDolu AND ToplamGuc IS YariYuk THEN Cikis IS KritikGerekliYuk");
    IS.NewRule("Rule 15", "IF SOC IS Dolu AND ToplamGuc IS YariYuk THEN Cikis IS TumYukler");

    IS.NewRule("Rule 16", "IF SOC IS Bitik AND ToplamGuc IS TamYuk THEN Cikis IS Destekleme");
    IS.NewRule("Rule 17", "IF SOC IS YariBitik AND ToplamGuc IS TamYuk THEN Cikis IS KritikYuk");
    IS.NewRule("Rule 18", "IF SOC IS Yari AND ToplamGuc IS TamYuk THEN Cikis IS KritikYuk");
    IS.NewRule("Rule 19", "IF SOC IS YariDolu AND ToplamGuc IS TamYuk THEN Cikis IS KritikGerekliYuk");
    IS.NewRule("Rule 20", "IF SOC IS Dolu AND ToplamGuc IS TamYuk THEN Cikis IS TumYukler");

    IS.NewRule("Rule 21", "IF SOC IS Bitik AND ToplamGuc IS FazlaYuk THEN Cikis IS Destekleme");
    IS.NewRule("Rule 22", "IF SOC IS YariBitik AND ToplamGuc IS FazlaYuk THEN Cikis IS KritikYuk");
    IS.NewRule("Rule 23", "IF SOC IS Yari AND ToplamGuc IS FazlaYuk THEN Cikis IS KritikYuk");
    IS.NewRule("Rule 24", "IF SOC IS YariDolu AND ToplamGuc IS FazlaYuk THEN Cikis IS KritikGerekliYuk");
    IS.NewRule("Rule 25", "IF SOC IS Dolu AND ToplamGuc IS FazlaYuk THEN Cikis IS KritikGerekliOnemliYuk");
}

private int DoInference(double soc, double tuketilenguc)
{
    double pt = tuketilenguc / kuruluguc;

    IS.SetInput("SOC", soc*100);
    IS.SetInput("ToplamGuc", pt);
}

```

```

//InvokeAlertControl("FUZZY input 2", "Fuzzy input pt = " + pt);
double cikis = IS.Evaluate("Cikis");
//InvokeAlertControl("FUZZY ", "Fuzzy Çıkış Değeri = "+ cikis);
if (cikis > 0 && cikis <= 0.4)
    return 0;
else if (cikis > 0.4 && cikis <= 0.5)
    return 1;
else if (cikis > 0.5 && cikis <= 0.6)
    return 2;
else if (cikis > 0.6 && cikis <= 0.7)
    return 3;
else
    return 4;
}

private void timer3_Tick(object sender, EventArgs e)
{
    DateTime now = DateTime.Now;
    int fuzzysonuc = DoInference(soc, tuketilenguc);

    //InvokeAlertControl("FUZZY ÇIKIŞ", "Fuzzy Çıkış Değeri = " + fuzzysonuc);

    foreach (Agent fagent in allAgents)
    {
        if (fagent.Activated && fuzzysonuc >= fagent.Priority && !fagent.Enabled)
        {
            fagent.Enabled = true;
            InvokeAlertControl("MESAJ", fagent.Name + " isimli ajan devreye alındı.");
        }
        else if (fagent.Activated && fuzzysonuc < fagent.Priority && fagent.Enabled)
        {
            fagent.Enabled = false;
            InvokeAlertControl("MESAJ", fagent.Name + " isimli ajan devre dışı bırakıldı.");
        }
    }
}
}

```

ÖZGEÇMİŞ

Talat ÖZDEN, 1976 yılında Gümüşhane’de doğdu. İlk ve ortaokulu Dumlupınar ilköğretim okulunda, liseyi Bursa Tophane Teknik Lisesi Elektrik bölümünde tamamladı. 1998 yılında Marmara Üniversitesinden Elektrik Teknik Öğretmeni unvanı ile mezun oldu. Aynı yıl Şişli Endüstri Meslek Lisesinde, 2000 yılında ise Çarşıbaşı Çok Programlı Lisesinde Elektronik Öğretmeni olarak görev yaptı. 2002 yılında halen devam etmekte olduğu Gümüşhane Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji bölümünde öğretim görevlisi olarak göreve başladı. 2006 yılında, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği ana bilim dalında yüksek lisansını tamamladı. Aynı ana bilim dalında doktora programına 2006 yılında başladı. 2009 yılında Erasmus öğrenci değişimi projesi kapsamında bir yıl süresince İsveç’teki Dalarna Üniversitesinde bulundu. 2011 yılında Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığının Teknogirişim sermayesi desteği programına sunduğu “Çok Ajanlı Ev Otomasyonu ile Güç Yönetimi” isimli 100 bin TL değerli projesi desteklendi. Bu proje kapsamında Trabzon Teknokentte ÖZDENARGE isimli bir firma kurdu ve 2012 yılında projeyi başarı ile tamamladı. Proje kapsamında oluşturduğu donanım, yazılım ve fikirler için 2012 yılının sonunda “Çok Ajanlı Akıllı Güç Yönetimi Sistemi” ismi ile patent başvurusu yaptı.