

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

**AKILLI DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE İŞLETİM KOŞULLARININ
İYİLEŞTİRİLMESİNE YÖNELİK ÇOK AJANLI KONTROL YÖNTEMİNİN
GELİŞTİRİLMESİ**

GÖRKEM ŞEN

**DOKTORA TEZİ
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK TESİSLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ MUSTAFA BAYSAL**

İSTANBUL, 2018

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AKILLI DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE İŞLETİM KOŞULLARININ
İYİLEŞTİRİLMESİNE YÖNELİK ÇOK AJANLI KONTROL YÖNTEMİNİN
GELİŞTİRİLMESİ**

Görkem ŞEN tarafından hazırlanan tez çalışması 24.12.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

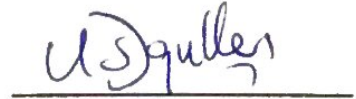
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa BAYSAL
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa BAYSAL
Yıldız Teknik Üniversitesi



Doç. Dr. Uğur Savaş SELAMOĞULLARI
Yıldız Teknik Üniversitesi



Dr. Öğr. Üyesi Ali ERDUMAN
Hakkari Üniversitesi



Doç. Dr. Recep YUMURTACI
Yıldız Teknik Üniversitesi



Dr. Öğr. Üyesi Hakan AKÇA
İstanbul Gelişim Üniversitesi



ÖNSÖZ

Gün geçtikçe elektrik enerjisine olan ihtiyaç katlanarak artmaktadır. Yaşanmakta olan enerji krizleri, fosil kökenli yakıt kaynaklarının azalması ve bahsi geçen yakıtlar sebebiyle ortaya çıkan çevresel sorunlar hem çevre dostu teknolojileri ön plana çıkarmaktadır hem de mevcut elektrik şebekesinin yeniden yapılandırılarak her açıdan iyileştirilmesine fırsat vermektedir. Bu şartlar altında, elektrik şebekesi akıllandırılarak, geleceğin elektrik şebekesi olarak ifade edilen akıllı şebeke (smart grid) konseptine geçiş çalışmaları başlamıştır. Bu çalışmalar hem akıllı şebekeyi oluşturan unsurların herbirini ayrı ayrı kapsamaktadır hem de çeşitli kontrol yöntemlerini içermektedir. Söz konusu çalışmalara katkı sağlayacağı umuduyla, doktora tez çalışmamı, orta gerilim seviyesindeki bir akıllı şebekede çok ajanlı sistemler (multi agent systems) kontrol metodu kullanarak hazırlamış bulunmaktayım.

Tez çalışmamın her aşamasında değerli görüşleriyle bana yol gösterip, yardım eden danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Mustafa BAYSAL'a, beni yetiştiren ve hayatım boyunca bana sonsuz yardım ve desteklerini sunan sevgili aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Aralık, 2018

Görkem ŞEN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ÖZET	xiv
ABSTRACT	xvi
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	4
1.3 Orijinal Katkı.....	6
BÖLÜM 2	
AKILLI ŞEBEKELER.....	8
2.1 Akıllı Şebekeler.....	8
2.1.1 Akıllı Şebekelere Ait Genel Tanım ve Özellikler	8
2.1.2 Akıllı Şebekelerin Faydaları	13
2.1.3 YEK'ler, DÜ Birimleri ve Mikro Şebeke Konsepti	14
BÖLÜM 3	
ÇOK AJANLI SİSTEMLER.....	18
3.1 Ajan Kavramı	18
3.2 Ajanların Özellikleri	19
3.3 ÇAS Konsepti	20
3.4 ÇAS Uygulama Alanları.....	22
3.5 Akıllı Şebekelerde ÇAS Kullanımı	22

BÖLÜM 4

AKILLI ŞEBEKE YAPISI İÇİN GELİŞTİRİLEN ÇAS KONTROL MODELLERİ	24
4.1 Referans Alınan Mevcut ÇAS Kontrol Kanunu	24
4.2 Geliştirilen ÇAS Kontrol Kanunları	28
4.2.1 Model 1 – Referans ÇAS Kontrol Kanununu İçeren Algoritmalar	28
4.2.1.1 Model 1.1 – Dağıtık Kontrol Algoritması.....	29
4.2.1.2 Model 1.2 – Hibrit Kontrol Algoritması.....	33
4.2.2 Model 2 – Mesafe Tabanlı ÇAS Kanunları.....	36
4.2.2.1 Model 2.1 – Mesafe Tabanlı W Matrisli ÇAS Kanunu	36
4.2.2.2 Model 2.2 - Mesafe Tabanlı WP ve WQ Matrisli ÇAS Kanunu	40
4.2.3 Model 3 – Empedans Tabanlı ÇAS Kanunları	43
4.2.3.1 Model 3.1 – Empedans Tabanlı W Matrisli ÇAS Kanunu	44
4.2.3.2 Model 3.2 – Empedans Tabanlı WP ve WQ Matrisli ÇAS Kanunu....	45

BÖLÜM 5

BENZETİM ÇALIŞMALARI VE SONUÇLARI.....	48
5.1 Benzetim Çalışmalarında Kullanılan Sistemin Modellenmesi.....	48
5.2 Senaryo 1 - Model 1 Benzetim Sonuçları.....	56
5.2.1 Senaryo 1.1 - Model 1.1 Sonuçları.....	56
5.2.2 Senaryo 1.2 - Model 1.2 Sonuçları.....	62
5.3 Senaryo 2 - Model 2 Benzetim Sonuçları.....	65
5.3.1 Senaryo 2.1 - Model 2.1 Sonuçları.....	65
5.3.2 Senaryo 2.2 - Model 2.2 Sonuçları.....	76
5.4 Senaryo 3 - Model 3 Benzetim Sonuçları.....	81
5.4.1 Senaryo 3.1 - Model 3.1 Sonuçları.....	81
5.4.2 Senaryo 3.2 - Model 3.2 Sonuçları.....	88
5.4.3 Senaryo 3.3 - Model 3.2 Sonuçları.....	94

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER	105
KAYNAKLAR.....	109

EK-A

WP ve WQ HESABI YAPAN GENELLEŞTİRİLMİŞ ALGORİTMA	114
--	-----

EK-B

MATLAB SİMULİNK BENZETİM ORTAMINDA SG'LERİN ÜRETİM DEĞERLERİNİ HESAPLAYAN FONKSİYON	120
ÖZGEÇMİŞ.....	121

SİMGE LİSTESİ

A	Komşuluk matrisi
Ah	Amper-saat
D	İletişim matrisi
D-I	Üçgen bağlı sabit akım çeken birim
D-PQ	Üçgen bağlı sabit aktif güç ve reaktif güç çeken birim
D-Z	Üçgen bağlı sabit empedans gösteren birim
ft	Feet (uzunluk birimi)
Hz	Hertz
kV	kilo Volt
kVA	kilo Volt-Amper
kVAr	kilo Volt-Amper-reaktif
kW	kilo Watt
l	Uzunluk
L ^P	Yükün çektiği aktif güç
L ^Q	Yükün çektiği reaktif güç
m	metre
MW	Mega Watt
P	Aktif güç
Q	Reaktif güç
Q'	Normalize edilmiş reaktif güç değeri
R	Özellik matrisi
R _n	n numaralı direnç değeri
R _{eş}	Eşdeğer direnç
s	Saniye
t	Zaman
v	Rüzgar hızı
V	Volt
Z	Empedans
Z _{eş}	Eşdeğer empedans
W	Ağırlık matrisi
WP	Aktif güç ağırlık matrisi
WQ	Reaktif güç ağırlık matrisi
X	Reaktans
Y-I	Yıldız bağlı sabit akım çeken birim

Y-PQ	Yıldız bağı sabit aktif güç ve reaktif güç çeken birim
Y-Z	Yıldız bağı sabit empedans gösteren birim
$\Delta V'$	Normalize edilmiş toplam gerilim değişimi



KISALTMA LİSTESİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
CES	Toplu Enerji Depolama (Community Energy Storage)
ÇAS	Çok Ajanlı Sistem
DG	Dağıtık Üretim Tesisi (Distributed Generation)
DÜ	Dağıtık Üretim
IEEE	Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (Institute of Electrical and Electronics Engineers)
MAS	Çok Ajanlı Sistem (Multi Agent System)
MAPE	Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi (Mean Average Percentage Error)
MPPT	Maksimum Güç Noktası Takibi (Maximum Power Point Tracking)
PV	Güneş Paneli
RT	Rüzgar Türbini
SG	Senkron Generatör
USA	Amerika Birleşik Devletleri (United States of America)
YEK	Yenilenebilir Enerji Kaynakları

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1	Geleneksel elektrik şebekesinin yapısı [33] 8
Şekil 2. 2	Akıllı elektrik şebekesinin yapısı [42] 11
Şekil 2. 3	Geçmişten geleceğe doğru elektrik şebekesinin gelişimi [43] 12
Şekil 2. 4	Akıllı Şebeke konsepti içinde yer alan genel çalışma alanları [46] 13
Şekil 2. 5	Yenilenebilir enerji kaynakları [53] 15
Şekil 2. 6	Genel mikro şebeke yapısı [56] 16
Şekil 3. 1	Genel olarak yazılım ajanının yapısı 19
Şekil 3. 2	Örnek bir ÇAS konsepti 20
Şekil 3. 3	(a) Merkezi kontrol yapısı, (b) Merkezi olmayan kontrol yapısı, (c) Hibrit kontrol yapısı 21
Şekil 4. 1	Tespit edilen ÇAS kanununun kullanıldığı radyal mikro şebeke yapısı 25
Şekil 4. 2	Model 1.1’de tercih edilen ajanlar arası haberleşme ağı 29
Şekil 4. 3	Model 1.1’de kullanılan dağıtık kontrol algoritmasının akış diyagramı 32
Şekil 4. 4	Model 1.2’de tercih edilen ajanlar arası haberleşme ağı 34
Şekil 4. 5	Model 1.2’de kullanılan hibrit kontrol algoritmasının akış diyagramı 35
Şekil 4. 6	Q_1 verisinin ΔV verisine etkisi 42
Şekil 4. 7	Farklı ajan sayılı sistemler için WP ve WQ hesabı yapan genelleştirilmiş algoritmaya ait blok diyagramı 46
Şekil 5. 1	IEEE 13 baralı test sistemine ait tek hat diyagramı 49
Şekil 5. 2	Simulink ortamında hazırlanan IEEE 13 baralı test sistemi 49
Şekil 5. 3	Hatların faz sayısını ifade eden tek hat diyagramı 52
Şekil 5. 4	Simulink ortamında modellenen modifiye IEEE 13 baralı test sistemi 53
Şekil 5. 5	Rüzgar türbinlerinde kullanılan günlük rüzgar hızı verisi 54
Şekil 5. 6	Güneş paneli sistemine uygulanan günlük ışınlam verisi 55
Şekil 5. 7	Senaryo 1.1’de kullanılan DÜ birimlerinin entegre edilmiş modifiye IEEE 13 baralı test sistemine ait tek hat diyagramı 57
Şekil 5. 8	Senaryo 1.1’de kullanılan modifiye IEEE 13 baralı test sisteminin DÜ birimlerinin entegre edilmiş hali 57
Şekil 5. 9	Senaryo 1.1’de tüm baralara ait gerilim değişimleri 58
Şekil 5. 10	Senaryo 1.1 için tüm DÜ birimlerine ait güç değişimleri 58
Şekil 5. 11	Senaryo 1.1’de (a) bataryanın verdiği ya da çektiği aktif güç değişimi ,(b) bataryanın doluluk oranı değişimi 60
Şekil 5. 12	Senaryo 1.1’de şebekeden çekilen ve DÜ birimleri tarafından üretilen aktif güç değişimi 61
Şekil 5. 13	Senaryo 1.1’de dağıtım hatlarındaki (a) kayıp gücün saatlik değişimi, (b) yüzde güç kaybının saatlik değişimi 61

Şekil 5. 14	Senaryo 1.2’de tüm baralara ait gerilim değişimleri	62
Şekil 5. 15	Senaryo 1.2’de tüm DÜ birimlerine ait güç değişimleri.....	63
Şekil 5. 16	Senaryo 1.2’de (a) bataryanın verdiği ya da çektiği aktif güç değişimi ,(b) bataryanın doluluk oranı değişimi, (c) Bataryaya gönderilen sistemi destekle sinyalinin değişimi	63
Şekil 5. 17	Senaryo 1.2’de şebekeden çekilen ve DÜ birimleri tarafından üretilen aktif güç değişimi	64
Şekil 5. 18	Senaryo 1.2’de dağıtım hatlarındaki (a) kayıp gücün saatlik değişimi, (b) yüzde güç kaybının saatlik değişimi.....	64
Şekil 5. 19	Senaryo 2.1’de kullanılan Modifiye IEEE 13 baralı test sistemindeki ajan grupları.....	65
Şekil 5. 20	Senaryo 2.1’de tercih edilen ajanlar arası haberleşme ağı.....	66
Şekil 5. 21	Senaryo 2.1’de referans ÇAS kanunun kullanılması sonucunda tüm baralara ait gerilim değişimleri	68
Şekil 5. 22	Senaryo 2.1’de referans ÇAS kanunun kullanılması sonucunda DÜ birimlerine ait güç değişimleri	69
Şekil 5. 23	Senaryo 2.1’de referans ÇAS kanunun kullanılması sonucunda şebekeden çekilen ve DÜ birimleri tarafından üretilen aktif güç değişimi.....	70
Şekil 5. 24	Senaryo 2.1’de önerilen ÇAS kanunun kullanılması sonucunda tüm baralara ait gerilim değişimleri	70
Şekil 5. 25	Senaryo 2.1’de önerilen ÇAS kanunun kullanılması sonucunda tüm DÜ birimlerine ait güç değişimleri	71
Şekil 5. 26	Senaryo 2.1’de önerilen ÇAS kanunun kullanılması sonucunda şebekeden çekilen ve DÜ birimleri tarafından üretilen aktif güç değişimi.....	71
Şekil 5. 27	Senaryo 2.1’de her iki kontrol kanununun kullanılmasıyla beraber SG1, SG2 ve şebekenin aktif güç değişimlerinin karşılaştırılması	72
Şekil 5. 28	Senaryo 2.1’de her iki kontrol kanununu sistem güç kayıpları açısından karşılaştırılması	73
Şekil 5. 29	Senaryo 2.1’de her iki kontrol kanununu yüzde güç kayıpları açısından karşılaştırılması	73
Şekil 5. 30	Senaryo 2.1’de (a) 671-680 baraları arasındaki mesafenin 2000 ft. (b) 671-680 baraları arasındaki mesafenin 4000 ft. olması durumunda güç kayıplarının karşılaştırılması	74
Şekil 5. 31	Senaryo 2.2’de önerilen ÇAS kanunun kullanılması sonucunda seçilen baralara ait gerilim değişimleri.....	77
Şekil 5. 32	Senaryo 2.2’de önerilen ÇAS kanunun kullanılması sonucunda bütün DÜ birimlerine ve şebekeye ait aktif güç değişimleri	77
Şekil 5. 33	Senaryo 2.2’de her iki çalışma durumu için zamana bağlı aktif güç değişimi (a) SG1, (b) SG2, (c) Şebeke	78
Şekil 5. 34	Senaryo 2.2’de önerilen ÇAS kanunun kullanılması sonucunda tüm DÜ birimlerine ait reaktif güç değişimleri	78
Şekil 5. 35	Senaryo 2.2’de her iki çalışma durumu için zamana bağlı reaktif güç değişimi (a) SG1, (b) SG2, (c) Şebeke.....	79
Şekil 5. 36	Senaryo 2.2’de her iki çalışma durumunun (a) sistem güç kayıpları açısından, (b) yüzde güç kaybı açısından karşılaştırılması.....	79

Şekil 5. 37	Senaryo 2.2’de 671-680 baraları arasındaki mesafenin 2000 ft. olması durumunda her iki çalışma durumunun (a) sistem güç kayıpları açısından, (b) yüzde güç kaybı açısından karşılaştırılması	80
Şekil 5. 38	Senaryo 3.1’de önerilen ÇAS kanununun kullanılması sonucunda tüm baralara ait gerilim değişimleri	83
Şekil 5. 39	Senaryo 3.1’de önerilen ÇAS kanununun kullanılması sonucunda tüm DÜ birimlerine ait güç değişimleri	84
Şekil 5. 40	Senaryo 3.1’de önerilen ÇAS kanunun kullanılması sonucunda şebekeden çekilen ve DÜ birimleri tarafından üretilen aktif güç değişimi	84
Şekil 5. 41	Senaryo 3.1’de her iki kontrol kanununun kullanılmasıyla beraber SG1, SG2 ve şebekenin aktif güç değişimlerinin karşılaştırılması	85
Şekil 5. 42	Senaryo 3.1’de her iki kontrol kanunun sistem güç kayıpları açısından karşılaştırılması	85
Şekil 5. 43	Senaryo 3.1’de her iki kontrol kanunun yüzde güç kayıpları açısından karşılaştırılması	86
Şekil 5. 44	Senaryo 3.1’de (a) 671-680 baraları arasındaki mesafenin 2000 ft. (b) 671-680 baraları arasındaki mesafenin 4000 ft. olması durumunda güç kayıplarının karşılaştırılması	86
Şekil 5. 45	Senaryo 3.2’de önerilen ÇAS kanunun kullanılması sonucunda seçilen baralara ait gerilim değişimleri	89
Şekil 5. 46	Senaryo 3.2’de önerilen ÇAS kanunun kullanılması sonucunda bütün DÜ birimlerine ait aktif güç değişimleri	90
Şekil 5. 47	Senaryo 3.2’de her iki çalışma durumu için zamana bağlı aktif güç değişimi (a) SG1, (b) SG2, (c) Şebeke	90
Şekil 5. 48	Senaryo 3.2’de önerilen ÇAS kanunun kullanılması sonucunda bütün DÜ birimlerine ait reaktif güç değişimleri	91
Şekil 5. 49	Senaryo 3.2’de her iki çalışma durumu için zamana bağlı reaktif güç değişimi (a) SG1, (b) SG2, (c) Şebeke	91
Şekil 5. 50	Senaryo 3.2’de her iki çalışma durumunun (a) sistem güç kayıpları açısından, (b) yüzde güç kaybı açısından karşılaştırılması	92
Şekil 5. 51	Senaryo 3.2’de 671-680 baraları arasındaki mesafenin (a) 2000 ft. olması durumunda sistem güç kayıplarının karşılaştırılması (b) 4000 ft. olması durumunda sistem güç kayıplarının karşılaştırılması	93
Şekil 5. 52	Senaryo 3.3’de kullanılan Modifiye IEEE 13 baralı test sistemindeki ajanlar	95
Şekil 5. 53	Senaryo 3.3’ de tercih edilen ajanlar arası haberleşme ağı	95
Şekil 5. 54	Senaryo 3.3’de referans ÇAS kanununun kullanılması sonucunda seçilen baralara ait gerilim değişimleri	99
Şekil 5. 55	Senaryo 3.3’de referans ÇAS kanununun kullanılması sonucunda bütün DÜ birimlerine ve şebekeye ait aktif güç değişimleri	99
Şekil 5. 56	Senaryo 3.3’de referans ÇAS kanununun kullanılması sonucunda şebekeden çekilen ve SG’ler tarafından üretilen reaktif güç değişimi	100
Şekil 5. 57	Senaryo 3.3’de önerilen ÇAS kanununun kullanılması sonucunda seçilen baralara ait gerilim değişimleri	100
Şekil 5. 58	Senaryo 3.3’de önerilen ÇAS kanununun kullanılması sonucunda bütün DÜ birimlerine ve şebekeye ait aktif güç değişimleri	101

Şekil 5. 59	Senaryo 3.3’de önerilen ÇAS kanunun kullanılması sonucunda şebekeden çekilen ve SG’ler tarafından üretilen reaktif güç değişimi	102
Şekil 5. 60	Senaryo 3.3’de her iki kontrol kanununun sistem güç kayıpları açısından karşılaştırılması	102



ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1	Geleneksel elektrik şebekesi ile akıllı şebekenin kıyaslaması..... 12
Çizelge 4. 1	Radyal mikro şebekede yer alan ajanlar ve kontrol durumları..... 26
Çizelge 5. 1	IEEE 13 baralı test sisteminde kullanılan hatlara ait veriler..... 50
Çizelge 5. 2	IEEE 13 baralı test sisteminde kullanılan hatların uzunluk bilgileri..... 50
Çizelge 5. 3	IEEE 13 baralı test sisteminde kullanılan yük kodlarının anlamları..... 50
Çizelge 5. 4	IEEE 13 baralı test sistemindeki yüklerin bağlandıkları yerler ve değerleri51
Çizelge 5. 5	Transformatöre ait bilgiler.....51
Çizelge 5. 6	Modifiye IEEE 13 baralı test sisteminde kullanılan hatlara ait bilgiler.....52
Çizelge 5. 7	Modifiye IEEE 13 baralı test sisteminde kullanılan yük bilgileri53
Çizelge 5. 8	Dağıtım sisteminde sadece şebeke bulunurken üretilen, tüketilen ve kayıp olarak ortaya çıkan güç verileri58
Çizelge 5. 9	Sisteme ait hesaplanan W matrisinin elemanları..... 67
Çizelge 5. 10	Mesafeye bağlı olarak hesaplanan W matrisinin elemanları.....74
Çizelge 5. 11	Senaryo 2.1’de ÇAS kontrol kanunlarının mesafe değerleri dikkate alınarak gerilim profilleri ile enerji kayıpları açısından karşılaştırılması ...75
Çizelge 5. 12	Mesafeye bağlı olarak hesaplanan WP ile WQ matrislerinin elemanları.76
Çizelge 5. 13	Senaryo 2.2’de ÇAS kontrol kanunlarının mesafe değerleri dikkate alınarak gerilim profilleri ile enerji kayıpları açısından karşılaştırılması ...81
Çizelge 5. 14	Sisteme ait farkı mesafeler için hesaplanan W matrisinin elemanları82
Çizelge 5. 15	Senaryo 3.1’de ÇAS kontrol kanunlarının mesafe değerleri dikkate alınarak gerilim profilleri ile enerji kayıpları açısından karşılaştırılması ...87
Çizelge 5. 16	Sisteme ait farklı mesafeler için hesaplanan WP ve WQ matrislerinin elemanları88
Çizelge 5. 17	Senaryo 3.2’de ÇAS kontrol kanunlarının mesafe değerleri dikkate alınarak gerilim profilleri ile enerji kayıpları açısından karşılaştırılması...93
Çizelge 5. 18	Senaryo 3.3’de mesafeye bağlı olarak hesaplanan WP ile WQ matrislerinin elemanları97
Çizelge 5. 19	Senaryo 3.3’de gerilim profili ile enerji kaybına mesafenin etkisi103

**AKILLI DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE İŞLETİM KOŞULLARININ
İYİLEŞTİRİLMESİNE YÖNELİK ÇOK AJANLI KONTROL YÖNTEMİNİN
GELİŞTİRİLMESİ**

Görkem ŞEN

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa BAYSAL

Dünyadaki nüfus artışına ve ekonomik büyümeye bağlı olarak elektrik enerjisine duyulan talep giderek artmaktadır. Günümüzde enerji talebinin büyük bir kısmı fosil kökenli yakıtlar kullanılarak karşılanmaktadır. Ancak mevcut fosil kökenli yakıtlara ait rezervlerin giderek azalması ve bu yakıtların tüketiminin küresel ısınmaya sebep olup ekolojiye zarar vermesi, ülkeleri yeni arayışlara yönlendirmiştir. Bu sebeple, konvansiyonel (geleneksel) içten yanmalı ulaşım araçları yerine elektrikli ulaşım araçlarının kullanımı, mevcut elektrik güç sistemlerini daha verimli hale getirilmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının (YEK) kullanımlarının artırılması gibi çözümler öne sürülmüştür.

Yaklaşık 130 yıl öncesine dayanan mevcut elektrik şebekeleri günümüz ihtiyaçlarını karşılayamamaktadır. Örneğin, güç sistemlerinde puant talep, nüfus artışı, verimsiz elektrikli cihazların kullanımı, kullanıcı tercihleri ve gereksiz enerji israfları nedeniyle son yıllarda artış göstermiştir. Üstelik sisteme dâhil olan YEK'lerin giderek artması üretim tarafındaki planlamalarda zorluklara neden olmaktadır. Ayrıca mevcut klasik elektrik şebekesinde üretilen elektrik enerjisi depolanamadığından dolayı son kullanıcıya elektriğin hemen ulaştırılması gerekmektedir. Dolayısıyla, üretim ile tüketimin her an dengede tutulması gerekmektedir. Elektrik enerjisinin üretim ile tüketim miktarı mevsimlere, bölgelere ve günün belirli saatlerine göre büyük değişiklikler göstermesi dalgalanmaların yaşandığını net bir şekilde göstermektedir. Ayrıca, artan elektrik enerjisi talepleri, şebekenin dengesiz yüklenmesine, düşük yük

faktörünün oluşmasına ve şebekede oluşan kayıpların artmasına neden olmaktadır. Ayrıca elektrik enerjisinin üretimi, iletimi, dağıtımında verimli kullanılmaması sonucunda kayıplar oluşmaktadır. Mevcut durum karşısında yeni bir elektrik şebekesi yaklaşımına ihtiyaç duyulmuştur. Bu sebeple, akıllı şebeke (smart grid) olarak isimlendirilen yeni elektrik şebekesi yapısı üzerinde tüm dünyada araştırma ve geliştirme faaliyetleri yürütülmektedir. Bu bağlamda, gelişmiş ve gelişmekte olan birçok ülke, akıllı şebekenin farklı alanları için ciddi boyutta teşvik programları oluşturmaya başlamıştır. Bütün bu gelişmeler göz önünde bulundurulduğunda, ülkemizde araştırılmaya yeni başlanan akıllı şebekeler konusunda bir tez çalışmasının yapılması önemli olarak görülmüştür.

Sunulan doktora tez çalışması ile akıllı şebeke altyapısını kullanan ve büyük oranda YEK'lerden oluşan dağıtık üretim (DÜ) birimlerinin uygun işletimini sağlayan güç yönetim kanunları önerilmektedir. Söz konusu kanunlar hazırlanırken, yapay zekâ çalışmaları içerisinde yer alan çok ajanlı sistemler (multi agent systems) olarak adlandırılan kontrol metodundan yararlanılmıştır. Önerilen kanunlar ile şebekenin maksimum verimle çalışması ve üretim-tüketim dengesinin sürekli olarak sağlanması hedeflenmektedir. Böylelikle, YEK'lerden verimli bir şekilde faydalanılacağından, şebeke kayıplarının azaltılması, trafoların ve hatların aşırı yüklenmesinin önlenmesi ve dolaylı olarak da karbondioksit gazı salınımının azaltılması öngörülmektedir. Akıllı şebeke teknolojisi ile enerji verimliliğinin artırılmasının yanı sıra enerji kalitesine de olumlu katkılar sağlanacaktır.

Bahsedilen güç yönetim kanunlarının etkin olarak uygulanabilmesi için öncelikle akıllı şebeke özelliklerini taşıyan örnek bir güç sistem modeli oluşturulmuştur. Elektrik güç sistemi modeli olarak, IEEE'nin 13 baralı test sistemi tercih edilmiş ancak model üzerinde çeşitli değişiklikler yapılarak kullanılmıştır. Bir sonraki aşamada, yenilenebilir enerji bazlı DÜ birimlerini de içeren bütün bileşenlerin detaylı benzetim modelleri oluşturularak güç sistemine entegre edilmiş ve böylece bir mikro şebeke yapısı oluşturulmuştur. Oluşturulan sistem üzerinde geliştirilen kanunların özellikle enerji kayıpları ve gerilim profilleri üzerindeki etkileri farklı çalışma senaryolarında test edilerek, sonuçlar değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akıllı şebekeler, çok ajanlı sistemler, dağıtık üretim birimleri, enerji verimliliği, mikro şebekeler

**DEVELOPING MULTI AGENT CONTROL METHODS FOR IMPROVED
OPERATIONAL CONDITIONS IN SMART DISTRIBUTION NETWORKS**

Görkem ŞEN

Department of Electrical Engineering

PhD Thesis

Adviser: Assist. Prof. Dr. Mustafa BAYSAL

Demand for electricity is steadily increasing due to both population growth and economic growth in the world. Today, most of the energy demand is met by the use energy sources based on fossil fuels. However, due to decreasing reserves of fossil fuels and the consumption of these fuels caused global warming and damage to ecology, countries are in search of alternative ways. For this reason, some solutions such as using electric vehicles instead of conventional vehicles, making existing electrical power systems more efficient and increasing the use of renewable energy sources (RESs) have been proposed.

The current electric power systems that have been in operation for 130 years can not meet today's needs. For example, peak demand in electrical power systems has increased in recent years due to population growth, use of inefficient electrical devices, user preferences and unnecessary energy wastage. Moreover, the increasing number of RESs included in the system cause some planning difficulties in the supply side. In addition, the electricity generated in the conventional electrical power system can not be stored and it is necessary to deliver electricity to the end users immediately. Therefore, the balance between supply and demand should be provided any moment. The amount of generation and consumption of electric energy varies greatly by the seasons, the regions and the specific time of the day. It is clear that consumption and generation fluctuations would occur in this case. Also, increased

electrical energy demands cause an unbalanced loading, a low load factor and increasing losses in the electrical power system. In addition, losses occur as a result of inefficient use of electric energy in the generation, transmission, distribution. A new electrical power system approach is needed in the current situation. For this reason, research and development activities are being carried out all over the world on the new electrical power system structure called "smart grid". In this regard, many developed and developing countries have begun to create incentive programs at significant levels for different areas of the smart grid. Considering all of these aspects, it is important to carry out a thesis on the smart grids that have just begun to be searched in our country.

This PhD thesis proposes power management laws that use smart grid infrastructure and provide the proper operation of distributed energy systems, which are mainly composed of RESs. While the mentioned power management laws are set, the control method called multi-agent systems in artificial intelligence studies is utilized. With the proposed laws, it is aimed to operate the electric power system with maximum efficiency and to be ensured the balance between supply and demand continuously. In this way, because it is effectively benefited from RESs, it is foreseen the reduction in power system losses, relief in loading of transformers and lines, and thus to reduction in carbon emissions. With smart grid technology, in addition to increasing in energy efficiency, energy quality will be positively affected.

In order to implement these power management laws effectively, an exemplary power system model with smart grid features has been established. As an electrical power system model, although IEEE's 13 node test feeder has been preferred, it has been used with various modifications on the model. In the next stage, detailed simulation models of all the units including the renewable energy-based distributed generation resources are created in the simulation environment and by integrating them into the electrical power system a micro grid structure is created. The effects of laws developed on the system, especially on energy losses and voltage profiles, are tested in different case studies and then the results are evaluated.

Keywords: Smart grids, multi agent systems, distributed generation systems, energy efficiency, microgrids

1.1 Literatür Özeti

Yakın geçmişten itibaren enerji konusu dünya genelinde ön planda yer almaktadır. Günümüzde, dünyadaki enerji ihtiyacının önemli bir kısmı petrol, kömür ve doğal gaz gibi çevre kirliliğine sebep olan fosil kökenli yakıtlardan karşılanmaktadır. Ayrıca, bu tip yakıtların yüksek miktarda kullanılması hem sınırlı rezervlere sahip bu kaynakların azalmasına bağlı olarak maliyetlerin artmasına hem de bu kaynakların kullanımı sonucunda ortaya çıkan zararlı gazların çevreyi olumsuz etkilemesine sebep olmaktadır. Belirtilen bu nedenlerden dolayı, doğa ile dost rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi gibi kaynakları içeren yenilenebilir enerji kaynaklarına (YEK) olan talebin gün geçtikçe arttığı gözlemlenmektedir. Dağınık bir şekilde farklı alanlara kurulan ve enerji kaynağı açısından çeşitlilik gösteren (rüzgar, güneş, jeotermal, vb.) birimler aracılığıyla elektrik enerjisinin üretimine genel olarak “Dağıtık Üretim” (DÜ) denilmektedir [1]. Elektrik güç sisteminin farklı noktalarına entegre edilebilen ve çoğunlukla YEK’lerden oluşan DÜ birimlerinin sayısının artması sonucunda elektrik güç sistemi üzerinde çeşitli çalışma alanları ortaya çıkmıştır.

19. yüzyılın sonunda, doğru akım kullanımından alternatif akım kullanımına geçilmiştir. Günümüz geleneksel alternatif akım elektrik şebekesi büyük oranda 1896’dan sonra temel olarak Nikola Tesla tarafından 1888 yılında yayımlanan tasarımlarına bağlı olarak geliştirilmiştir. Anlaşılabileceği üzere, günümüzde elektrik şebekesinde kullanılan çoğu elemanın temelinde yaklaşık 130 yıllık teknoloji yatmaktadır. Bahsi geçen artık yetersiz sayılabilecek bu teknoloji 21. yüzyılın modern gereksinimlerini (artan talebe bağlı

işletim sağlama, sistem kayıplarını azaltma, siber saldırılara karşı dirençli olma, vb.) karşılayamamaktadır [1]. Bütün bu hususlar göz önüne alındığında, geleneksel elektrik şebekesinin günümüz gereksinimlerini karşılayacak modern bir yapıya dönüşmesi gerektiği görölmektedir. Dolayısıyla, modern elektrik şebekesini oluşturan her bir birim, geleneksel sistem birimine göre daha fazla akıllı olması gerekmektedir. Bunun için, mevcut günümüz kontrol, haberleşme ve bilgi işleme teknolojilerinin elektrik şebekelerinde yer alan birimlere entegrasyonu önemli bir yer tutmaktadır. Bahsi geçen modern ya da akıllı şebeke kavramı kısaca elektrik güç sistemi ile bilgi ve iletişim teknolojilerinin bir araya gelmesi olarak tanımlanabilmektedir. Başka bir deyişle, 19. yüzyıldan itibaren kullanılan elektrik sistemine 21. yüzyılın gelişmiş bilgi ve güvenilirlik gereksinimlerini karşılamak için dijital çift yönlü haberleşme teknolojilerin dâhil edilmesiyle akıllı şebeke yapısı oluşturulmaktadır [2]. Akıllı şebekelerin bileşenleri; akıllı üretim, akıllı istasyonlar, akıllı dağıtım, akıllı sayaçlar, bütünleşik haberleşme ve ileri kontrol metotları olarak sıralanabilmektedir [3]. Akıllı şebekeye geçilmesiyle birlikte hem elektrik enerjisi sağlayıcıları hem de tüketiciler önemli yararlar elde edecektir. Birkaç örnekle ifade etmek gerekirse elektriğin birim maliyeti azacaktır, enerji verimliliği ve güvenilirlik artacaktır, DÜ birimlerinin şebekeye eklenmesi kolaylaşacaktır [4].

Yapılan literatür araştırması sonucunda akıllı şebekelerin etkin bir şekilde çalışması için çeşitli kontrol metotlarının önerildiği gözlemlenmiştir. Bu kontrol metotlarından birisi de literatürde Multi Agent System (MAS) olarak ifade edilen çoklu ajan yapılarından oluşan Çok Ajanlı Sistemler (ÇAS)'dir [5]. Akıllı ajanlar, yazılım uygulamaları geliştirmek için ortaya çıkan yeni bir yaklaşımdır. Ajanlar, bilgisayar bilimleri ve yapay zekâ gibi belirli alanlarda yoğun olarak araştırılan bir yapıdır [6]. Genel olarak, bulunduğu sistemde istenilen hedeflere ulaşmak için görevlendirilmiş birden fazla bireysel ajanın oluşturduğu yapıya ÇAS denilmektedir. ÇAS, ajanların otonom olması, sosyallik, tepki verme ve proaktiflik özelliklerinden yararlanarak karmaşık sistemleri geliştirmede giderek daha önemli bir araç haline gelmektedir [7]. Temel olarak, her yapı ajan olarak ifade edilebilmektedir. Dolayısıyla, bir cihaz, bilgisayar sistemi, bir yazılım ya da hepsini içeren bir organizasyon olabilmektedir. Ajanlar, çevrelerini tanımlayarak ve diğer ajanlarla iletişim kurarak performanslarını otonom olarak belirleyebilmektedirler [8].

Ayrıca, ajanların bulunduğu bir sistemde ulaşılması istenilen hedefler bazen tek bir ajan tarafından yapılırken bazen de birkaç ajanın işbirliği sayesinde bitirilebilmektedir [9]. Güç sistemlerinde ÇAS tabanlı kontrol yaklaşımlarına olan ilgi son yıllarda arttığı görülmüştür. Güç sistemlerinde kullanılan ajanlar dağıtık ajanlar olarak isimlendirilmektedir ve bu ajanlar sistemin çeşitli bağlantı noktalarından akım ve gerilim bilgilerini okumaktadır. Elde ettikleri bilgileri değerlendirerek sistemin durumunu tayin etmekte ve sistemde bir bozulma olduğu anda sistemin çalışmasını düzeltmek için bağlantılı oldukları aktüatörleri etkin hale getirmektedir. Güç sistemlerinde generatörler, yükler, koruma röleleri, otomatik gerilim regülatörleri gibi birçok ajan yapısı hâlihazırda bulunmaktadır. Bu geleneksel ajanlar bağımsız ve yerel olarak hareket etmek üzere tasarlanmışlardır [10-12]. Akıllı şebeke teknolojileri ile ÇAS tabanlı kontrol tekniklerinin güç sistemlerinde kullanılması bazı önemli faydalar ortaya çıkarmaktadır. Güç sistemlerinde; güç sisteminin korumasında, mikro şebekenin kontrolünde, güç sisteminin görselleştirilmesinde, güç yönetiminde, talep cevabı yönetiminde, şarj edilebilen araçların şarj yönetiminde, güç sisteminin sekonder gerilim kontrolü, mikro şebeke kontrolü gibi çeşitli uygulamalarda ÇAS tabanlı kontrol yöntemleri uygulanabilmektedir [13-25].

Literatür araştırması sırasında, ÇAS tabanlı kontrolü yapılan mikro şebekelerde genellikle koruma amaçlı röle koordinasyonunun yapıldığı gözlemlenmiştir. Bir diğer yaygın uygulama alanı olarak da, mikro şebeke içinde enerji ya da güç yönetiminin ÇAS ile yapıldığı tespit edilmiştir. Bu tespitlerin sonucunda, hedeflenen tez çalışmasında, akıllı şebeke yapısı içinde bulunan bir mikro şebeke üzerinde ÇAS tabanlı bir kontrolün gerçekleştirilmesine karar verilmiştir.

Literatürde enerji yönetimine yönelik çalışmalarda genelde ada modunda çalışan mikro şebekeler için enerji yönetim uygulamaları önerilmiştir [26-29]. Bu sebeple gerçekleştirdiğimiz çalışmada ana şebekenin bulunduğu bir mikro şebeke yapısı üzerinde çalışmalar yapılmıştır. [30]'da sadece aktif gücü dikkate alan bir mikro şebeke güç yönetimi önerilmiştir. Yaptığımız çalışmada hem aktif gücü hem de reaktif gücü dikkate alan bir mikro şebeke güç yönetimi önerilmiştir. Genellikle [30-32]'de belirtildiği gibi, güç sistemi için ayrı ajanlar arası haberleşme için ayrı bir yazılım platformunun kullanıldığı gözlemlenmiştir. Hem yazılımlar arasında oluşabilecek

uyumsuzluk durumlarının önüne geçebilmek hem de kompakt bir benzetim ortamı oluşturmak adına sadece MATLAB-Simulink yazılımının kullanıldığı bir çalışma gerçekleştirilmiştir. [29]'da ada modunda çalışan mikro şebekelerdeki kontrol edilebilen DÜ'lerin çıkış güçlerini kontrol etmek için graf teorisinden yararlanan, çift katmanlı, merkezi olmayan kontrol kanunu sunulmuştur. Ancak, belirtilen yöntem incelendiğinde DÜ'ler ile yüklerden oluşan ajanlar arasındaki mesafe ya da empedans değerlerinin dikkate alınmadığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, kontrol edilebilen bütün DÜ'ler her durumda eşit olarak güç üretmektedir. Gerçekleştirdiğimiz çalışmada, ajanlar arasındaki mesafe değerlerini ya da empedans değerlerini dikkate alan kontrol yaklaşımları geliştirilmiştir. Son olarak, test sistemlerinde ortaya çıkan güç kayıplarını azaltmayı ve baralara ait gerilim profillerinin iyileştirilmesini doğrudan hedefleyen bir ÇAS yaklaşımıyla karşılaşılmamıştır. Bu sebeple, mikro şebekedeki hem güç kayıpları azaltmayı sağlayan hem de baralara ait gerilim profillerini iyileştirmeyi sağlayan bir kontrol yaklaşımı oluşturulmuştur.

Sonuç olarak hedeflenen tez çalışmasıyla, mesafe ya da empedans tabanlı olarak geliştirilen ÇAS yapısına sahip kontrol kanunları ile şebeke bağlantılı mikro şebeke içinde yer alan, DÜ birimleri ile yükleri içeren ajanlar arasında haberleşme sağlanmıştır. Böylece, hem DÜ birimlerinin en uygun şekilde çalışabilmesi hem de dağıtım güç sisteminin veriminin arttırılabilmesi sağlanmıştır. Bu sayede, sistemde yer alan baraların gerilim profilleri iyileştirilirken, sisteme ait güç kayıplarının düşük seviyede tutulması mümkün olabilmektedir.

1.2 Tezin Amacı

Günlük yaşantının ayrılmaz bir parçasını oluşturan enerji, ülkelerin sosyo-ekonomik yapıları içerisindeki yerini ve önemini gün geçtikçe daha da artırmaktadır. Elektrik enerji sistemlerinde, talebin zamanında, sürekli, ekonomik ve kaliteli bir şekilde karşılanması gerekmektedir. Günümüz elektrik şebekesinde, yıldan yıla artan tüketim, kısa zamanlar için ortalamanın oldukça üzerinde seyreden puant yük, üretimde ithal edilen kaynaklar sebebiyle enerjide dışa bağımlılık ve yüksek oranda fosil kaynaklara dayalı üretimden dolayı artan karbon salınımları ve DÜ birimlerinin şebekeye entegrasyonu sonucu ortaya çıkan problemler gibi bir takım sorunlar bulunmaktadır.

Türkiye elektrik sisteminde de talepte meydana gelen dalgalanmalar ve üretimdeki kaynak sıkıntıları, üretimin talebi karşılamakta zorlanmasına neden olabilmektedir.

Günümüz şebekesinin sorunları ve gelecekte karşılaşılması muhtemel zorluklardan dolayı, şebekenin yapısı ve işletilmesini iyileştirecek çalışmalar yürütülmektedir. Akıllı şebeke başlığı altındaki bu araştırmalar, şebekenin daha verimli, güvenilir ve çevre dostu olarak işletilmesini amaçlamaktadırlar. Akıllı şebeke çözümleri, mevcut olumsuzlukları düzeltme fırsatının yanı sıra bazı zorlukları da beraberinde getirmektedir. Dağıtım sistemlerinde çift yönlü enerji akışı, ölçüm ve koruma ekipmanlarının çalışmalarında ortaya çıkabilecek zorluklar, kesintili enerji kaynaklarından dolayı üretimde karşılaşılabilecek ani değişimler ve şebekeye farklı noktalardan bağlanabilen büyük güçlü yükler, DÜ ve elektrikli araçlar gibi yeni yaklaşımlardan kaynaklanabilecek bazı zorluklar bunlardan sadece birkaçıdır. Bu sebeple sadece üretim ve hizmet sağlayıcı tarafında değil; aynı zamanda tüketim ve kullanıcılar tarafında da bazı çözümlerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısıyla, sunulan tez çalışmasıyla YEK'ler ile tüketiciler arasındaki mesafe ya da empedans verilerinden yararlanılarak kontrol edilebilen DÜ'lerin çıkış güç değerleri belirlenmiştir. Böylelikle hem üretim tarafı açısından işletimi daha elverişli bir sistem oluşturulmuş hem de tüketici açısından kesintisiz ve kaliteli elektrik enerjisi temininin mümkün olması sağlanmıştır.

Bu tez çalışmasında, mikro şebeke yapısına sahip bir elektrik dağıtım sisteminde üretilen elektrik enerjisi ile talep edilen elektrik enerjisinin dengelenmesine çalışılmıştır. Bu amaçla ÇAS yapısı kullanılarak kontrol edilebilir DÜ birimlerinin çıkış güçlerini uygun şekilde ayarlayabilen kontrol kanunları geliştirilmiştir. Üretim ile tüketim arasındaki dengelenme işleminin gerçekleşmesi neticesinde mikro şebekede yer alan YEK'lerden maksimum fayda sağlanması, CO₂ salınımının azaltılması, trafo yüklenme oranlarının uygun düzeye ayarlanabilmesi, sisteme ait güç kayıplarının azaltılması ve sistemde yer alan baraların gerilim profillerinin iyileştirilmesi sağlanabilmiştir. Bu bağlamda yapılan benzetim çalışmaları, IEEE 13 baralı test sistemi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Literatürde pek çok çalışmada referans alınan bahsi geçen test sistemi üzerinde bazı yapısal değişikliklere gidilmiş ve ayrıca çeşitli DÜ birimleri sisteme eklenmiştir. İkinci aşamada bahsi geçen amaçları yerine getirmek adına çok

ajanlı sistemler yapısına sahip kontrol kanunları geliştirilmiştir. Geliştirilen kontrol kanunları modifiyeli IEEE 13 baralı test sistemine çeşitli çalışma durumları altında uygulanmış ve sonuçlar analiz edilerek değerlendirilmiştir.

1.3 Orijinal Katkı

Sunulan bu tez çalışmasıyla birlikte teknik sorunlara çözüm önerisi sunulmuş olmakla birlikte benzer problemlerin olduğu diğer mühendislik alanlarını da olumlu olarak etkileyeceği öngörülmektedir.

Sonuç olarak, tezin orijinal katkısı ve beklenen çıktılar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Referans alınan ÇAS kanunu, sistem kayıplarını azaltmayı hedefleyen dağıtık ve hibrit kontrol algoritmalarının içinde ilk kez kullanılmıştır. Bu iki algoritmanın kullanılması sonucunda elde edilen veriler karşılaştırılarak, algoritma tercihinin önemi gösterilmiştir.
- Geliştirilen ÇAS kanunları referans alınan ÇAS kanunundan farklı olarak, hem ajanlar arasındaki mesafe verilerini kullanarak hem de ajanların bağlı oldukları baralar arasındaki empedans verilerini kullanarak kontrol edilebilen DÜ birimlerinin çıkış güç değerleri belirlenebilmiştir.
- Tez çalışması, önümüzdeki zaman dilimlerinde değeri daha da fazla artacak olan akıllı şebeke sistemlerinde DÜ birimlerinin çıkış güç değerlerinin, sistem veriminin yüksek seviyede tutulmasını sağlayacak biçimde belirleyerek, hem baralara ait gerilim profillerini iyileştirirken hem de sistem kayıplarının minimum seviyede kalmasına katkı sağlayacaktır.
- Akıllı şebeke içerisinde meydana gelen üretim ve tüketim değişimlerine hızlıca uyum sağlayacak bir kontrol yöntemi oluşturularak, şebekenin veriminin ve performansının arttırılmasına yardımcı olacaktır.
- Bahsi geçen çalışma alanında yer almak isteyen araştırmacıların gelişmesine katkı sağlanacaktır.

Tezin bir sonraki bölümde, akıllı şebekeler hakkında bilgiler paylaşılmıştır. Tezin üçüncü bölümünde ÇAS hakkında kapsamlı bilgiler verilmiştir. Tezin dördüncü bölümünde,

akıllı şebekeler yapısı için geliştirilen ÇAS kontrol modelleri sırasıyla ifade edilmiştir. Tezin beşinci bölümünde, modifiye IEEE'nin 13 baralı test sistemi üzerinde bir önceki bölümde tanıtılan ÇAS kontrol modelleri uygulanmış ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Tezin son bölümünde, tez çalışmasının çıktıları genel olarak değerlendirilmiştir.



BÖLÜM 2

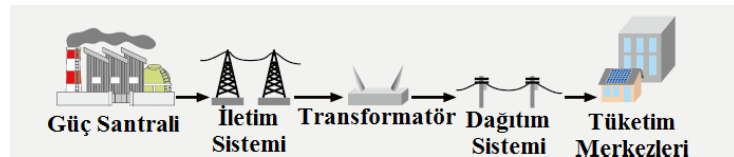
AKILLI ŞEBEKELER

Tezin bu bölümünde ilk olarak akıllı şebeke kavramı, faydaları, özellikleri hakkında bilgi verilmiştir. Sonraki kısımda ise akıllı şebekeler içinde yer alan YEK ve DÜ birimleri ile mikro şebeke yapısına değinilmiştir.

2.1 Akıllı Şebekeler

2.1.1 Akıllı Şebekelere Ait Genel Tanım ve Özellikler

Günlük hayatımızda önemli bir yeri olan elektrik enerjisini üreten ve son kullanıcıya kadar ileten elektrik şebekesinin geçmişi 1890'lı yıllara dayanmaktadır ve Nicola Tesla'nın 1888 yılında yayımladığı tasarımları temel alınmıştır. Sanayi devrimi ile birlikte hem enerji ihtiyacını karşılamak için enerji kaynakları çeşitlenmiştir hem de uzak mesafelerde yer alan tüketicilerin enerji ihtiyaçlarını karşılamak için enerji nakil hatları elektrik enerjisi sistemine dâhil edilmiştir. Sonuç olarak da, 20. yüzyılda geleneksel ya da diğer bir ifadeyle geleneksel elektrik şebekesi son halini almıştır [1]. Fosil yakıtların kullanıldığı güç santrallerinden son tüketim birimine tek yönlü olarak elektrik enerjisinin iletildiği geleneksel elektrik şebekesinin basit yapısı Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



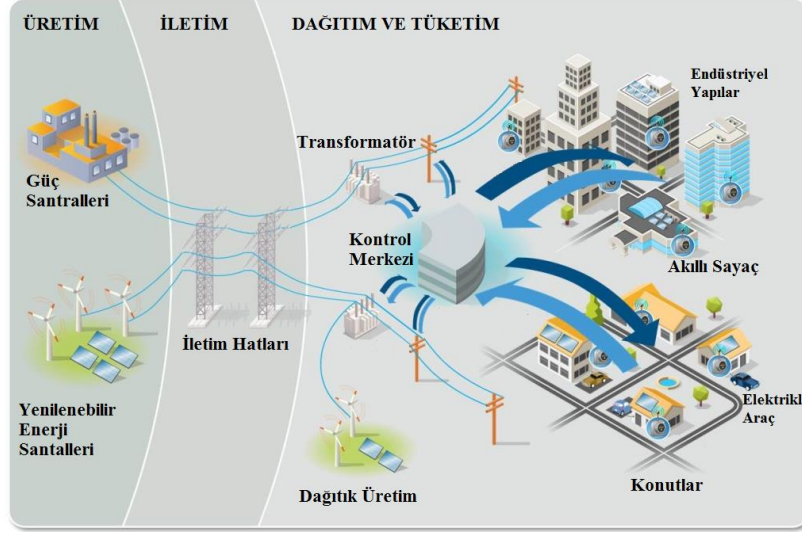
Şekil 2. 1 Geleneksel elektrik şebekesinin yapısı [33]

20. yüzyılın koşullarına göre kurulan elektrik şebekeleri yerel yani küçük ölçekli olarak planlanmış ve hayata geçirilmiştir. Yıllar içinde artan enerji talebiyle birlikte elektrik şebekesine hem enerji üretim ve tüketim dengesini sağlayacak santraller hem de enerji aktarımı ile sistemin güvenliğini sağlayan donanımlar eklenmiştir. Bu eklemeler sonucunda, başlangıçta sade bir yapıya sahip olan elektrik şebekesi, karmaşık bir yapıya dönüşmeye başlamıştır. Elektrik şebekesinin kontrolü her bir ekleme sonucunda zorlaşmaya başlamıştır. 20. yüzyılın ortalarında, gelişmiş toplumlara ait hemen her ev ve iş yeri elektrik enerjisine kavuşmuştur. 21. yüzyıla yaklaşırken, hem insan nüfusunun fazla olduğu yerleşim yerlerinin hem de gelişmiş sanayi bölgelerinin artması sonucunda elektrik şebekesinde meydana gelen enerji kayıplarında ciddi bir artış ve elektrik şebekesinin kontrolünde ciddi zorluklar yaşanmaya başlamıştır. Örneğin, 1967 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nin (ABD) New York, New Jersey, New England ve Ontario bölgelerinde 25 milyona yakın kişiyi olumsuz yönde etkileyen ve sebebi tam olarak belirlenememiş elektrik kesintisi meydana gelmiştir. Bu olay sonucunda, 1967 Amerika Elektrik Güvenilirlik Eylem Planı (Electric Reliability Act of 1967) oluşturulmuş ve iletim ile dağıtım sistemlerinin uzaktan izlenmesi ve kontrol edilmesini sağlayan yönetim sistemlerinin gerekliliği vurgulanmıştır [34].

Geleneksel elektrik şebekesi işletim maliyeti açısından da yıllar geçtikçe zor bir döneme girmiştir. Tüketiciler tarafından talep edilen enerji miktarına göre enerji santralleri devreye girip çıkmaktadır ve böylece dengeleme sağlanmaktadır. Fakat enerji talebinin yüksek olduğu pik zaman dilimlerinde devreye alınan santrallerin işletim maliyetleri yüksek olmakla birlikte genel olarak toplam sisteme ait işletim maliyetini de arttırmaktadır. Ayrıca, elektrik şebekesinde meydana gelen elektriksel kayıplar ile kaçak elektrik kullanımları da işletim maliyetini olumsuz etkilemektedir. Elektrik şebekesindeki iletim ve dağıtım kayıpları mali açıdan önemli bir yer tutmaktadır ve dünya genelindeki bu kayıplar toplamı, Almanya, Fransa ve İngiltere'nin kurulu üretim kapasitelerinin toplamından daha fazla olduğu ifade edilmektedir. Bir diğer sistem kaybı olan, kaçak elektrik kullanımı sonucunda enerji santralleri hem fazla yüklenmekte hem de elektrik tedarikinin kalitesi azalmaktadır. Ayrıca, pik zaman dilimlerinde sebep olduğu ek yük sebebiyle kısmi kesintilere ve sistem çökmelerine giden elektriksel arızalara sebep olabilmektedir [35], [36].

Bütün bu hususlar göz önüne alındığında, geleneksel elektrik şebekesinin günümüz gereksinimlerini karşılayacak modern bir yapıya dönüşmesi gerektiği görülmektedir. Modern olarak isimlendirebileceğimiz gelişmiş elektrik şebekesi yapısının; merkezi denetimi azaltması, sistemde karşılaşılan problemlere çabuk cevap vermesi, şebeke içindeki üretim-tüketim dengesini en uygun şekilde sağlaması ve alternatif enerji kaynaklarını etkin olarak kullanabilmesi beklenmektedir. Özetle, modern elektrik şebekesini oluşturan her bir birim, geleneksel sistem birimlerine göre daha fazla akıllı olmalıdır. Dolayısıyla, alternatif yöntemlerle elde edilen elektrik enerjisi tüketicilere sunulurken hem daha az işletim maliyeti söz konusu olacaktır hem de enerjinin devamlılığı açısından elektrik şebekesinin güvenilirliği artacaktır [37-39].

Günümüzde modern elektrik şebekesini elde etmek için çalışmalar hızla sürmektedir ve temel olarak 21. yüzyıla ait haberleşme ve bilgisayar teknolojileri mevcut elektrik şebekelerine entegre edilerek Akıllı Şebekeler (Smart Grids) meydana getirilmektedir. Akıllı şebekelerin tam olarak net bir tanımı olmamakla birlikte, ABD Enerji Bakanlığı (Department of Energy - DOE) akıllı bir şebekeyi şu şekilde ifade eder: “Akıllı şebeke her bir tüketiciyi ve bağlantı noktasını izleyen ve kontrol eden, enerji santrali ile son kullanıcı arasında iki yönlü elektrik ve veri alışverişi sağlayan, tam otomatik bir güç sistem ağıdır” [40]. Bu tanımlamadan anlaşıldığı üzere, elektrik şebekesinin akıllandırılmasıyla beraber esnek, güvenilir ve ekonomik bir yapı elde edilecektir. Ayrıca, yine Amerika Enerji Bakanlığı’nın göre bir akıllı şebeke bazı unsurları içermelidir. Bu unsurlar akıllı üretim, akıllı dağıtım, akıllı sayaçlar, bütünleştirilmiş haberleşme ve ileri kontrol metotlarıdır [41]. Şekil 2.2’de genel olarak bir akıllı şebeke yapısı ve bu yapıyı oluşturan birimler gösterilmiştir.



Şekil 2. 2 Akıllı elektrik şebekesinin yapısı [42]

Geleneksel elektrik şebekesi günümüze kadar bazı değişimler geçirse de uzun yıllar süresince pek gelişme göstermemiştir. Şekil 2.3’de elektrik şebekesinin geçmişten günümüze gelişimi ile gelecekteki yapısı tasvir edilmiştir. Görselde kırmızıyla gösterilen oklar güç akışını ifade ederken, mavi ile gösterilen oklar haberleşme akışını ifade etmektedir. Geleneksel elektrik şebekesinin başlangıcında, merkezi büyük güçlü üretim birimleri ve yerel tüketiciler bulunmaktaydı. Bunun yanında, yeterli olmayan bir haberleşme yapısına sahipti ve üretim ile dağıtım sistemlerini kapsamaktaydı. Dolayısıyla geçmişteki yapı için hem tek yönlüydü hem de gerçek zamanlı izleme ve kontrol yapılamıyordu denilebilir. Ayrıca merkezi bir kontrol yapısı söz konusuydu. Günümüzde, elektrik şebekesinin yapısına iletim ve dağıtım kontrol merkezleri, yenilenebilir enerji kaynaklarını da içeren DÜ birimleri ve geçmişe oranla çok daha iyi bir haberleşme ağı, akıllı sayaçlar gibi teknolojik eklemeler yapılmakta ve yakın gelecekte söz konusu eklemeler artarak devam edecektir. Haberleşme yapısı geçmişe oranla akıllı sayaçların da devreye alınmasıyla birlikte tüketiciyle çift yönlü iletişime geçilebildiğinden dolayı daha iyi bir noktaya gelmiştir. Diğer taraftan, tüketiciler enerji talep etme haricinde DÜ birimleri vasıtasıyla enerji üretici gibi davranabilmektedirler. Böylece, çift yönlü enerji akışı da gerçekleşmektedir ve dolayısıyla merkezi kontrol yapısından yavaş yavaş merkezi olmayan yani dağıtık kontrol yapısına geçilmeye başlanmıştır. Gelecekte ise hem daha fazla DÜ birimleri kullanılacaktır, hem çeşitli enerji depolama sistemleri devreye alınacaktır ve hem de elektrikli araçların

yaygınlaşması beklenmektedir. Gelecekte hedeflenen akıllı şebeke yapısında haberleşme sistemi, elektrik sistemine paralellik göstererek her birimde bulunacak ve sistemde haberleşme açısından izole bir birim bulunmayacaktır. Sonuç olarak, Şekil 2.3'den görüldüğü üzere çok fazla sayıda haberleşecek yapı bulunacağından dolayı merkezi kontrol yapısı yerini tamamen dağıtık kontrol yapısına bırakacaktır.



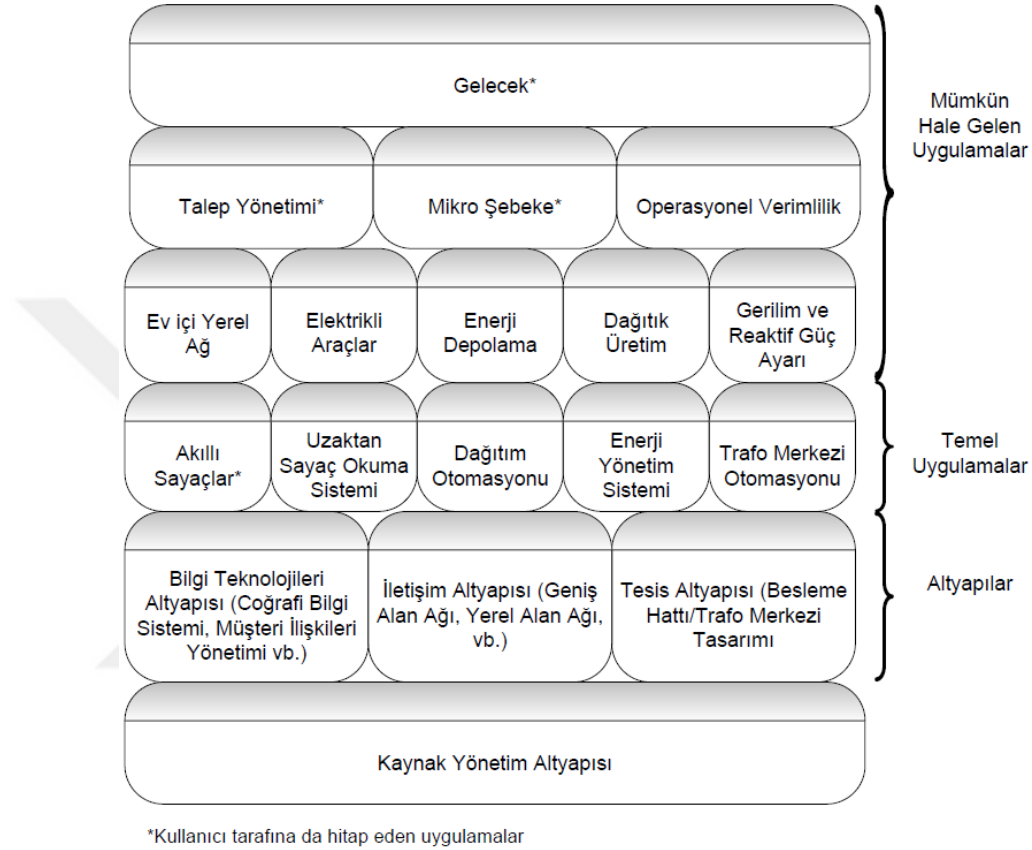
Şekil 2. 3 Geçmişten geleceğe doğru elektrik şebekesinin gelişimi [43]

Elektrik şebekesinin zamanla değişimi ve şebekenin hedeflenen nihai hali göz önünde bulundurulduğunda, haberleşme, bilgi işleme ve kontrol alanlarında gelişmeler olacağı söylenebilir. Ayrıca, Çizelge 2.1'de geleneksel elektrik şebekesi ile akıllı şebekenin özellikleri verilerek bir kıyaslama gerçekleştirilmiştir [44].

Çizelge 2. 1 Geleneksel elektrik şebekesi ile akıllı şebekenin kıyaslaması

Geleneksel Elektrik Şebekesi	Akıllı Şebeke
Elektromekanik yapı	Dijital yapı
Tek yönlü haberleşme	İki yönlü haberleşme
Merkezi yüksek kapasiteli üretim	Çok sayıda DÜ
Merkezi veya hiyerarşik yapı	Dağıtık, ağ yapı
Az miktarda sensör kullanımı	Çok sayıda sensör kullanımı
Manuel onarım mekanizması	Otomatik onarım mekanizması
Kısıtlı koruma, gözlem ve kontrol sistemleri, kesintiler ve çökmeler	Adaptif koruma, kendi kendini gözlemlleme ve ada çalışma
Kesintiler üzerine odaklanma	Güç kalitesi üzerine odaklanma
Fiziksel saldırı zayıflığı	Siber saldırı zayıflığı
Manuel test ve kontrol	Uzaktan test ve kontrol
Kısıtlı kontrol	Yaygın kontrol
Tüketiciler için az seçenek	Tüketiciler için çok seçenek
Kısıtlı şebeke zekâsı	İleri düzey şebeke zekâsı

Çizelge 2.1’de verilen bilgilere göre, yeni nesil akıllı şebekelerin geleneksel elektrik şebekelerinden kontrol teknolojileri açısından, haberleşme yapısı açısından, ölçüm sistemleri açısından ve koruma sistemleri açısından farklılık gösterdiği anlaşılmaktadır [45]. Ayrıca, geleneksel elektrik şebekesinden akıllı şebekeye dönüşüm esnasında üzerinde çalışma yapılan konular Şekil 2.4’de belirtilmiştir.



Şekil 2. 4 Akıllı Şebeke konsepti içinde yer alan genel çalışma alanları [46]

2.1.2 Akıllı Şebekelerin Faydaları

Geleneksel elektrik şebekesinden akıllı şebekelere geçilmesiyle beraber elde edilecek başlıca faydalar aşağıda belirtilmiştir [47], [48]:

- Elektrik şebekesi içerisinde yer alan donanımların ömründe uzama, bakım ve işletme maliyetlerinde düşüş sağlanacaktır. Dolayısıyla, elektrik şebekesinin güvenliği ve güvenilirliği artacaktır.

- Akıllı şebeke konsepti ile yenilenebilir enerji kaynakları konutlara daha rahat entegre edilebilecektir. Böylelikle, hem tüketiciler ekonomik bir fayda elde edecek hem de fosil kökenli yakıtlara olan bağımlılık azalacaktır.
- Akıllı şebekelere geçişle beraber mevcut şebeke altyapısı gelişip güçleneceğinden dolayı elektrikli araçlar gibi yakın veya uzak gelecekte sisteme entegre edilmesi beklenen akıllı cihazların kullanımında ve adaptasyonunda bir zorluk oluşmayacaktır.
- Enerji tüketiminin uzaktan gerçek zamanlı olarak takip edilip, kontrol edilmesi mümkün olacağından, hem mevcut sistem daha verimli çalışacaktır hem de olası arızanın daha hızlı tespit edilip gerekli müdahale yapılacaktır.
- Gerçek zamanlı enerji fiyatlandırmasının uygulanması gerçekleşecektir. Böylelikle, dinamik bir ücret tarifesinin uygulanması sağlanacak ve tüketicilerin enerjiyi daha ekonomik kullanması sağlanacaktır.
- Akıllı şebekeler yeni iş alanları oluşturacağından dolayı sosyo-ekonomik olarak ülkenin gelişmesine yardımcı olacaktır.

2.1.3 YEK'ler, DÜ Birimleri ve Mikro Şebeke Konsepti

Teknolojinin gelişmesi ve günlük hayatımızda yer alan gereksinimlerimizin değişmesiyle birlikte elektrik enerjisine ihtiyacımız sürekli artış göstermektedir. Elektrik enerjisini sağlayan kaynaklar genel olarak nükleer enerji kaynakları, fosil kökenli enerji kaynakları ve YEK'ler olmak üzere gruplandırılmaktadır [49], [50]. Nükleer enerji kaynaklarından temin edilen elektrik enerjisi toplumların enerji gereksinimlerini rahatça karşılama kapasitesine sahiptir ancak çevre ve insan sağlığı açısından ciddi risk ve dezavantajlar barındırmaktadır [51]. Fosil kökenli kaynaklar günümüzde enerji talebinin büyük bir kısmının karşılamaktadır. Fakat hem fosil kökenli yakıtlara ait rezervler giderek azalmakta hem de yakıt tüketimine bağlı olarak, sera gazı etkisi gibi olumsuz çevresel etkiler ortaya çıkmaktadır. Bu nedenlerle, hem fosil kökenli yakıt tüketimini azaltmayı hedefleyen çalışmaların sayısı giderek artmakta, hem de YEK'ler üzerine yapılan çalışmalara hız verilmektedir [52]. Şekil 2.5'de gösterilen YEK'ler, sürdürülebilir kaynak türüdür ve kendi içinde altı gruba ayrılmaktadır [50].



Şekil 2. 5 Yenilenebilir enerji kaynakları [53]

Jeotermal enerji ile hidroenerjiyi kullanan yenilenebilir enerji santralleri yaklaşık otuz yıldır enerji üretiminde kullanılmaktadır. Rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisi kullanan yenilenebilir enerji birimleri özellikle son yıllarda ciddi bir artış göstermektedir. Bioenerji ve okyanus enerjisiyle çalışan yenilenebilir enerji birimleri son zamanlarda üzerinde çalışılan teknolojilerdir [50].

YEK'lerin sayılarının artmasıyla birlikte, tüketicilerin ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisinin uzak mesafede bulunan büyük güçlü birimlerden sağlanması gerekliliği ortadan kalkmıştır. Büyük güçlü merkezi santrallerden enerjinin sağlanmasına alternatif olarak DÜ olarak isimlendirilen (Distributed Generation – DG), elektrik şebekesi dağıtım sisteminde ya da son kullanıcı tarafında yer alan küçük veya orta güçlü enerji üretim birimlerinden enerji sağlanabilmektedir [54]. Elektrik enerjisi son kullanıcıya yakın üretildiğinde, hem uzun mesafeler boyunca enerji iletimi esnasında oluşan güç kayıpları ve gerilim düşümlerini azaltmaktadır hem de enerji iletim hatlarının yükü azaltılabilmektedir. Ayrıca, son kullanıcının şebeke kaynaklı enerji kesintileri gibi sorunlardan en az düzeyde etkilenmesi sağlanabilmektedir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan bazı DÜ birimleri; rüzgâr türbinlerine sahip sistemler, güneş panellerine sahip sistemler, dizel generatörler, mikrotürbinler ve bataryalı enerji depolama sistemleridir.

DÜ, farklı uygulama yöntemlerine sahiptir. Birçok tüketiciyi bölgesel olarak besleyen yerel üretim birimleri, merkezi üretim santralleri kadar yüksek güçlerde değildir. Kendi başlarına çalışma özelliğine de sahip, tüketiciye yakın bu üretim yaklaşımı,

enterkonnekte şebekeye bağlantılı ya da bağlantısız çalışabilen mikro şebeke kavramını ortaya çıkarmıştır [46].

Mikro şebeke, ana elektrik şebekesine bağlantılı ya da bağlantısız herhangi bir bölgesel küçük elektrik güç sistemi olarak tanımlanabildiği gibi kontrol edilebilir bir işletme gibi çalışan, bir grup birbirine bağlanmış elektrik yükleri ile DÜ birimleri olarak da ifade edilebilmektedir. Bir mikro şebeke, ana şebekeden bağımsız olarak sadece kendi enerji kaynaklarıyla çalışıyorsa ada modunda (islanded mode) çalışıyor denmektedir. Enerji iletim hatlarının henüz ulaşmadığı bölgelerdeki elektrik şebeke uygulamaları ada modunda çalışan mikro şebekelere örnek gösterilebilmektedir [55]. Şekil 2.6'da genel bir mikro şebeke yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2. 6 Genel mikro şebeke yapısı [56]

Mikro şebeke yapılarının oluşturduğu başlıca faydalar aşağıdaki gibi özetlenebilir [27], [28], [55], [57]:

- Tüketicileri ana elektrik şebekesine bağımlı olmaktan kurtarmaktadır dolayısıyla daha kaliteli ve güvenilir bir güç sistemi ortaya çıkmaktadır.
- Hem YEK'lerin hem de enerji depolama ünitelerinin kullanılmasıyla, mevcut kaynaklardan daha verimli bir şekilde yararlanılabilmektedir. Böylelikle, mikro şebekeler çevresel yararlarının yanı sıra, ekonomik açıdan da kullanıcılara avantajlar sağlamaktadır.

- Ekonomik açıdan bir diğer avantaj da, ana şebekeye elektrik enerjisi satışı yapılabilmesidir. İster anlık üretilen elektrik enerjisi, isterse de depolanmış elektrik enerjisi istenilen zaman dilimlerinde ana şebekeye satılabilir.
- Mikro şebekeler, ana şebeke açısından tek bir talep noktası olarak değerlendirilebilir. Böylelikle, ana şebeke için hem talep tahmini için avantaj sağlamakta hem de yüksek talep anlarında kendi kaynaklarını kullanıp ana şebekeye binen yükü azaltarak şebeke güvenilirliğini arttırmaktadır.
- Enerji sisteminde bir arıza olması durumunda, ada modunda çalışarak kritik yüklerin beslenmesine yardımcı olabilmektedir.
- Mikro şebekeler ayrıca akıllı şebekelere geçiş için önemli bir adım oluşturmaktadır. Mikro şebekelerin çok daha kapsamlı ve gelişmiş hali akıllı şebeke olarak ifade edilebilmektedir.

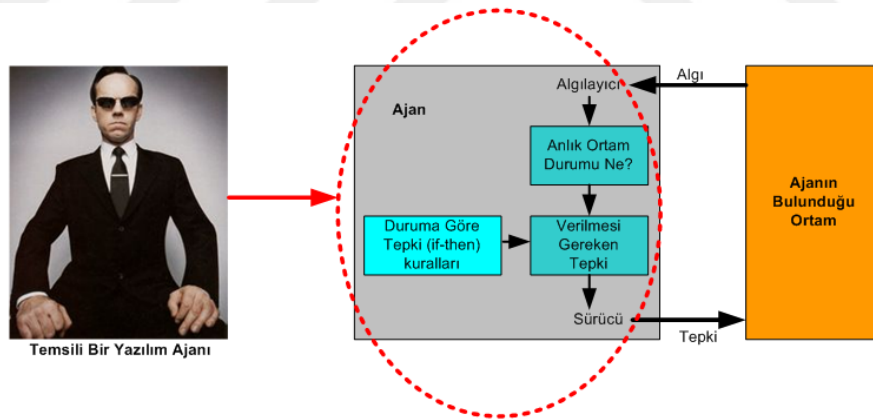
ÇOK AJANLI SİSTEMLER

Tezin bu bölümünde öncelikle ajan kavramı açıklanmış ardından da ajanların temel özellikleri hakkında bilgi verilmiştir. Sonrasında ajanların beraber hareket etmesi sonucunda ortaya çıkan ÇAS konsepti tanıtılmış, son olarak da hem genel olarak uygulama alanlarına hem de akıllı şebeke ile olan uygunluğuna değinilmiştir.

3.1 Ajan Kavramı

Verileri elde edip işleyen kişisel ve endüstriyel bilgisayarlar, kendi başlarına hangi işi nasıl yapacaklarına karar verme konusunda çok başarılı olamamaktadırlar. Bilgisayarların gerçekleştirdiği her bir işlem basamağı, yazılımı yazan personel tarafından planlanmakta, kodlanmakta ve uygulanmaktadır. Hazırlanan yazılım, tasarımcı tarafından dikkate alınmadığı bir durumla karşılaştığı zamanlarda arzu edilen sonuçlara ulaşamayabilir. Günümüzde çoğu uygulamalarda, bilgisayarlar sadece verilen görevi yapan, sade kodlardan oluşan ve elde edilen sonuçları irdelemeyen yardımcıları olarak görülmektedir. Birçok uygulama için bu yaklaşım yeterli görülebilir. Ancak gittikçe sayıları artan uygulama için ne yapmaları gerektiğine karar verebilen sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple yapay zekâ kavramı ortaya çıkmıştır. Kısaca yapay zekâ; bilgisayarın ya da bilgisayar kontrollü bir cihazın, genellikle insana has özellikler olduğu düşünülen akıl yürütme, anlamlandırma, genelleme ve geçmiş deneyimlerden faydalanma gibi yüksek zihinsel süreçlere ilişkin görevleri yerine getirme yeteneği olarak ifade edilmektedir [58].

Yapay zekâ alanında yapılan çalışmalarda, geliştirilen sistemlerin hepsi ilk olarak yapay zekâ sistemi olarak isimlendirilmekteydi. Zaman ilerledikçe, bu sistemlerden kendi kendilerine özerk olarak ayrılanlara ajan ya da etmen denilmeye başlanmıştır [59]. Ajan tabanlı sistemler 1990’lardan günümüze kadar bilgi teknolojisini içeren çalışma alanlarında önemli bir araştırma konularından biri haline gelmiştir. Ajan kavramı; yapay zekâ, insan bilgisayar etkileşimi, yazılım mühendisliği, nesneye dayalı programlama, kontrol sistemleri gibi çeşitli uygulama alanlarında yer almaktadır [60]. Ajanlar hakkında herkes tarafından kabul edilen bir tanım bulunmamakla beraber ortak kavramları içeren çeşitli tanımlar yapılabilmektedir. Örneğin, yer aldıkları çevreyi sensörleri vasıtasıyla algılayan ve çevreye karşı etkileyicileriyle tepkide bulunan varlıklara ajan tanımlaması yapılmıştır [61]. Başka bir tanımlamaya göre ajan, diğer ajanların ve oluşumların bulunduğu belirli bir çevrede, daimi ve bağımsız olarak çalışan yazılım parçasıdır. Ayrıca, ajanlar bulundukları çevreden veri alabilmesi, veriyi işleyip bilgi elde edebilmesi ve bu bilgiyi kullanabilmesi sebebiyle akıllı ajanlar olarak da tanımlanabilmektedir [62]. Bu bilgiler ışığında, Şekil 3.1’de bir ajanın çevreyle etkileşimi ile genel yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3. 1 Genel olarak yazılım ajanının yapısı

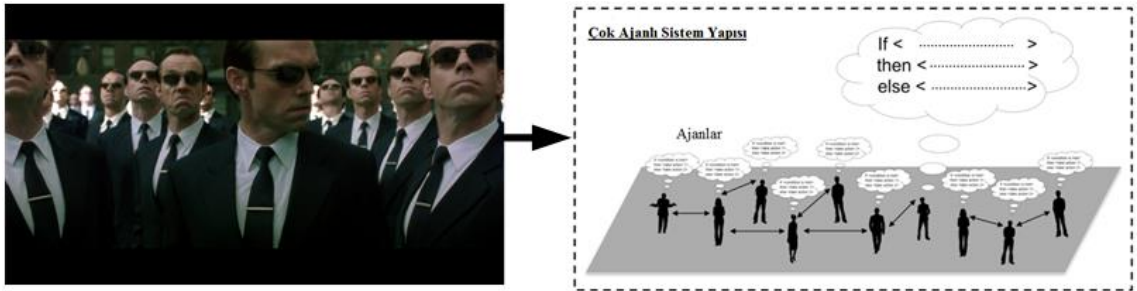
3.2 Ajanların Özellikleri

Bir yazılımın ajan olarak kabul edilebilmesi için bazı özellikleri sağlaması gerekmektedir. Daha önce belirtildiği üzere ajanın özellikleri ile ilgili genel olarak kabul gören ortak bir tanım ortaya konulamamıştır. Yaygın olarak kabul edilen tanıma göre, bir ajanın sahip olması gereken temel özellikler aşağıdaki gibi ifade edilebilir [63]:

- **Otonom (autonomy)**: Ajanların diğer ajanların erişimine kapalı olan nitelikleri vardır. Ajanlar, bu niteliklerin değerlerini inceleyerek herhangi bir başka yapıyla (insan ya da ajan) direkt iletişime girmeden karar verebilmelidir.
- **Sosyal yetenek (social ability)**: Ajanlar diğer ajanlarla yeri geldiğinde de insanlarla ajan dili olarak ifade edilen dillerle ya da herhangi bir programlama diliyle iletişime geçebilirler. Yeri geldiğinde de amaçlarına yönelik ortaklıklar oluşturabilirler.
- **Tepki verme (reactivity)**: Bir ajan çevresini gözlemleyerek karşılaştığı değişikliklere göre yeni davranışlar sergileyebilir.
- **Proaktiflik (pro-activity)**: Proaktif olarak isimlendirilen sistemler sadece çevresinde karşılaştığı değişikliklere cevap vererek çalışmazlar. Ayrıca inisiyatif alarak da çalışabilirler. Bu bilgidir hareketle, bir ajan sistem içinde yer alan diğer ajanların kararlarında değişiklik yapmasına sebep olabilecek değişiklikleri oluşturabilir.

3.3 ÇAS Konsepti

Daha önce belirtildiği gibi ajanlar sadece bulundukları ortamı gözlemlemek ve tespit ettiği değişikliklere göre tepki vermekle kalmazlar, aynı zamanda haberleşme ağı içerisinde yer alan diğer ajanlarla sosyal ilişkiler kurmaktadır. ÇAS'lar, kısaca ajanların birbiriyle iletişim ve etkileşim içinde olduğu sistemlerdir. Tek bir ajanın kendi başına bilgi ve bireysel yeteneklerini kullanarak çözmeyi başaramadığı ya da etkili bir şekilde çözemeyeceğine karar verdiği problemleri birbiriyle işbirliği yaparak çözebilirler. Herhangi bir sistem içinde yer alan ajanların oluşturdukları bahsi geçen işbirlikçi ağa ÇAS denilmektedir [64]. Şekil 3.2'de ÇAS konseptinin genel yapısı gösterilmiştir.

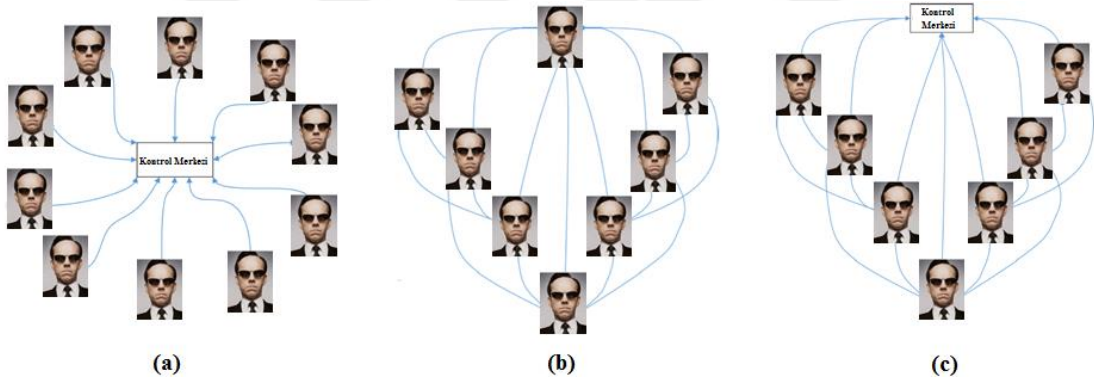


Şekil 3. 2 Örnek bir ÇAS konsepti

ÇAS'ların özellikleri kısaca aşağıdaki gibi ifade edilebilir [62], [65];

- Bulunduğu sistem içinde her bir ajanın ortaya çıkan problemin tamamını çözmek için eksik bilgisi ve yeteneği bulunmaktadır.
- Sistemde yer alan hiçbir ajan bütün sistemi kontrol edememektedir.
- Esnek yapıları sayesinde, çok farklı yapılar oluşturabilirler. Bunun sonucunda stratejik hareket imkânı sağlarlar.
- Sistemden alınıp işlenen veriler merkezileşmemiştir. Sistemde yer alan herhangi bir noktadan sisteme ait her veriye erişilememektedir.
- Bütün hesaplamalar eş zamansız olarak yapılmaktadır.
- Ajanlar sadece kendi amaçlarını maksimize etmeye çalışmaz, aynı zamanda sistemin genel amacını da maksimize etmeye çalışırlar.

Genellikle, ÇAS' da üç çeşit kontrol yapısı kullanılabilir. Bunlar sırasıyla, merkezi, merkezi olmayan ve hibrit kontrol yapılarıdır. Bahsi geçen bu kontrol yapıları Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3 (a) Merkezi kontrol yapısı, (b) Merkezi olmayan kontrol yapısı, (c) Hibrit kontrol yapısı

Merkezi haberleşme yaklaşımında, bütün ajanlar kendi verilerini merkezi bir denetleyiciye göndermektedir. Kontrol merkezi bütün verileri işleyerek çeşitli kararlar almaktadır. Ardından da her bir ajana gerekli komutları iletmektedir. Ajanlar da bu komutları yerine getirmektedir. Bu kontrol yaklaşımında, ağır bir hesaplama zorluğu bulunmaktadır ve ajan sayısına bağlı olarak ciddi bir işlemci gücü gerektirmektedir. Merkezi olmayan ya da dağıtık yaklaşımda, bütün ajanlar aynı işlevsellik düzeyindedir. Ajanlar sadece haberleşme ağı için belirlenen ajanlarla veri alışverişi yapmaktadır. Dolayısıyla, merkezi olmayan yaklaşımlar, merkezi olanlardan ziyade daha sağlam ve

esnektir. Bu yapının bir diğer avantajı da tak ve çalıştır konseptine uygunluğudur. Ayrıca, merkezi yapıya kıyasla hesaplama zorluğu tamamen azaltılmıştır. Bununla birlikte, merkezi olmayan yapı, ajanların sadece belirli ajanlarla iletişim halinde olmasından dolayı her zaman uygun çözüm sunamamaktadır. Hibrit yaklaşım ise, merkezi ve merkezi olmayan yapıların birleşiminden oluşmaktadır ve her iki yaklaşımın da özelliklerini taşımaktadır [66].

3.4 ÇAS Uygulama Alanları

Günümüzde ajanlar birçok alanda yazılım parçacıkları veya sistem bütünü olarak kullanılmaktadır. ÇAS'ların bazı uygulama alanları şunlardır [62];

- Telekomünikasyon ağı yönetimi
- Hava trafik kontrolü
- E- ticaret uygulamaları
- Müşteri yönetimi
- İnşaat şantiye planlaması
- Veri madenciliği
- Finans sektörü
- Eğitim uygulamaları
- Elektrik güç sistemleri

3.5 Akıllı Şebekelerde ÇAS Kullanımı

Akıllı şebeke uygulamalarında ÇAS tabanlı kontrollerin kullanılması elektrik güç sistemi açısından bazı avantajlar sağlamaktadır. Güç sistemlerinin farklı uygulama alanlarında ÇAS kullanılabilmektedir. Bu uygulamalardan bazıları şunlardır; [14]'de akıllı şebekede talep tarafı yönetimi için ÇAS kullanılmıştır ve ajanlar sistemin işletim maliyetini azaltmak için enerji talebini ayarlayabilmektedir. [21]'de elektrikli araçların şarj işleminde ortaya çıkan dağıtık optimizasyon problemini gidermek için ÇAS uygulaması yapılmıştır. [23]'de YEK'lerin durumunu, kullanıcıların talep cevabını, ekonomik koşulları dikkate alan merkezi olmayan optimal enerji yönetimi gösterilmiştir. [24]'de ada modundaki mikro şebekeye yönelik en uygun kaynak yönetimi için konsensüs algoritmasını kullanan ÇAS yöntemi belirtilmiştir.

Sonuç olarak, ÇAS yapısının akıllı şebeke uygulamalarına yatkınlığı aşağıdaki gibi özetlenebilir [67];

- Akıllı şebeke bileşenleri genellikle dağıtılmıştır ve enerji yönetim sistemi, paydaşlar ve varlıklar arasında (ajanlar) bilgi alışverişi yapmak için iletişim kurmaktadır. ÇAS doğası gereği, dağıtılmış bir iletişim yapısına sahiptir.
- Ajanlar sistem içerisinde bağımsız varlıklardır, her bir ajanın kendi amacı, gündemi ve ortamı algılayabilme yetisi vardır ve sistemin başarılı olabilmesi için stratejik olarak çalışmaktadır. Bu nedenle, akıllı şebekelerde ÇAS kullanımı, diğer ayrıntılı iletişim yöntemlerine kıyasla aktarımı gerçekleştiren veri miktarının azaltılmasını sağlamaktadır.
- ÇAS yapısının esnekliği, ajanların bağımsız ve çevresini algılayabilmesini sağladığından sistemin çalışması her türlü duruma adapte olabilmesini sağlamaktadır. ÇAS yapısının bu özelliği akıllı şebekelerin her türlü şart altında çalışmasına katkı sağlamaktadır.
- Akıllı şebekeler enerji depolama ünitelerini, yükleri ve kaynakları sisteme entegre etmede tak-çalıştır konseptini göstermesi beklenmektedir. ÇAS yapısı gereği tak-çalıştır konseptine uygundur.

AKILLI ŞEBEKE YAPISI İÇİN GELİŞTİRİLEN ÇAS KONTROL MODELLERİ

Bu bölümde öncelikle literatür araştırmaları sonucunda tespit edilen ve tez çalışmasında referans olarak kullanılan ÇAS kanunu ve kullanıldığı sistem tanıtılmıştır. Ardından, tez çalışmasında geliştirilen üç farklı ÇAS kontrol modeli detayları verilmiştir. İlk modelde, bahsi geçen referans ÇAS kanununu içeren ve sistem kayıplarını azaltma hedefi olan dağıtık ve hibrit kontrol algoritmaları bulunmaktadır. İkinci model, sistemde yer alan ajanlar arasındaki mesafe bilgisini dikkate alarak kayıpların azaltılması ve baralara ait gerilim profillerinin iyileştirmesi için geliştirilmiş ÇAS kanununu içermektedir. Son olarak, üçüncü modelin içeriğinde, sistemde yer alan ajanlar arasındaki empedans bilgilerini dikkate alarak kayıpların azaltılması ve baralara ait gerilim profillerinin iyileştirmesi için geliştirilmiş ÇAS kanununu yer almaktadır.

4.1 Referans Alınan Mevcut ÇAS Kontrol Kanunu

Literatür taraması sonucunda, ÇAS konseptinin uygulandığı güncel bir çalışma ile karşılaşılmıştır [29]. Söz konusu çalışmada, ada durumundaki yani şebeke bağlantısı olmayan radyal bir mikro şebeke üzerinde üretim tüketim dengeleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu dengeleme yapılırken ÇAS konseptini içeren kontrol kanunundan yararlanılmıştır.

Çalışmadaki mikro şebeke, sekiz adet DÜ birimlerinden, sekiz adet yükten ve hatlardan oluşmaktadır. DÜ birimleri arasında rüzgâr türbinleri, güneş panelleri, batarya grubu ve mikrotürbinler bulunmaktadır. Bu sistemde DÜ birimi ile yük birlikte bir ajan yapısı olarak düşünülmektedir. Bir önceki bölümde bahsedildiği üzere herhangi bir yapı ya da

Mikrotürbinlerin, hidroelektrik birimlerinin bulunduğu ajanlar kontrol edilebilir ajanlar olarak kabul edilmektedir. Çünkü bu üretim birimlerinin çıkış güçleri kontrol edilebilmektedir. Rüzgâr türbinlerinin ve güneş panellerinin bulunduğu ajanlar kontrol edilemez ajanlar olarak kabul edilmektedir. Bu enerji kaynaklarının çıkış güçleri çevre koşullarından etkilenmektedir. Batarya gruplarını içeren ajanlar ise enerji depolama kapasiteleri ve doluluk oranları sebebiyle ve ayrıca duruma göre şarj olup deşarj olma sebebiyle kısmen kontrol edilebilen ajanlar olarak kabul edilmektedir. Ayrıca, kısmen kontrol edilebilen ajanlar kontrol edilemez ajanlar gibi düşünülmektedir.

25

Çizelge 4. 1 Radyal mikro şebekede yer alan ajanlar ve kontrol durumları

Ajanın İsmi	Ajan Yapısında Yer Alan Üniteler	Ajanın Kontrol Durumu
Ajan 1	DG 1 ve Yük 1	 Kontrol edilemez
Ajan 2	DG 2 ve Yük 2	 Kontrol edilebilir
Ajan 3	DG 3 ve Yük 3	 Kısmen kontrol edilebilir
Ajan 4	DG 4 ve Yük 4	 Kontrol edilebilir
Ajan 5	DG 5 ve Yük 5	 Kontrol edilebilir
Ajan 6	DG 6 ve Yük 6	 Kontrol edilemez
Ajan 7	DG 7 ve Yük 7	 Kontrol edilebilir
Ajan 8	DG 8 ve Yük 8	 Kontrol edilemez

Sistemdeki ajanlar belirlendikten sonra bu ajanların birbiriyle haberleşme ağına belirlenmesi gerekmektedir. Bu haberleşme ağı graf teorisinden yararlanılarak oluşturulmaktadır ve bu ağ oluşturulurken uyulması gereken bazı temel kurallar bulunmaktadır. Bu kurallar sırasıyla aşağıda belirtilmiştir;

- **Kural 1:** Haberleşme ağı kurulmadan önce ajan sayısının belirlenmiş olması, her bir ajan yapısı içerisinde minimum bir adet DÜ birimi ile yük bulunması ve bu ajanların kontrol durumlarının belirlenmesi gerekmektedir.
- **Kural 2:** Eğer bir ajan yapısının içinde herhangi bir yük bulunmuyor ise, o ajan yapısının içine sanal bir yük eklenmelidir ve yük değeri her zaman sıfır olarak tayin edilmelidir.
- **Kural 3:** Haberleşme ağı tek yönlü oklardan oluşmalıdır ve ajanlar arasındaki doğrudan bilgi alışını veya verişini göstermelidir.
- **Kural 4:** Kontrol edilemez ajanlar, diğer ajanlardan herhangi bir bilgi almamaktadır. Sadece seçilen ajan veya ajanlara kendisi hakkında bilgi gönderebilmektedir.
- **Kural 5:** Kontrol edilebilir ajanlar ise isteğe bağlı olarak hem seçilen ajanlara bilgi gönderebilmektedir hem de seçilen ajanlardan bilgi alabilmektedir.
- **Kural 6:** Bir haberleşme ağı içerisinde, hiçbir şekilde diğer ajanlarla belirtilen kurallar çerçevesinde iletişim kurmayan, izole bir ajan yer almamalıdır.

Yukarıda belirtilen kurallara uyulduğu takdirde, istenildiği gibi ajanlar arası haberleşme ağı oluşturulabilmektedir. Dolayısıyla, bir sistemde bahsi geçen bu kurallara uyan birden fazla haberleşme ağı kurmak mümkündür.

Ajanlar arası istenilen haberleşme ağı tamamlandıktan sonra, sistemdeki üretim tüketim dengesini ifade eden aktif ve reaktif güç eşitliklerine ait eşitlikler sırasıyla (4.1) ve (4.2) eşitliklerinde gösterilir. Bu eşitlikler, tüm üretim birimlerinin üretebileceği aktif ve reaktif güçler ile yüklerin talep edebileceği aktif ve reaktif güçlerin eşit olduklarını ifade etmektedir.

$$\sum [R.P(t + \tau)] + \sum [(I - R).P(t)] = \sum L^P(t) \quad (4.1)$$

$$\sum [R.Q(t + \tau)] + \sum [(I - R).Q(t)] = \sum L^Q(t) \quad (4.2)$$

Haberleşme ağı içerisinde “n” adet ajanın bulunduğunu kabul ettiğimiz takdirde, (4.1) ve (4.2)’de ifade edilen eşitliklerde I, nxn’ lik bir birim matris, yani diyagonal üzerindeki tüm elemanları 1 olan matrisdir. R özellik matrisi olarak belirtilmektedir ve nxn boyutunda diyagonal bir yapıya sahiptir. Diyagonal elemanların değerleri 1 ya da 0 olabilmektedir. R matrisinde kontrol edilebilen ajanlara ait matris elemanlarına 1, diğer elemanlara 0 yazılmaktadır. Örneğin, k. ajan kontrol edilebilen bir ajan ise $r_{kk}=1$, i. ajan kontrol edilemeyen bir ajansa $r_{ii}=0$ değerini almaktadır. Ayrıca denklemlerde $P(t + \tau)$, $P(t)$ parametreleri aktif güç değerlerini, $Q(t + \tau)$, $Q(t)$ parametreleri reaktif güç değerlerini, $L^P(t)$, $L^Q(t)$ parametreleri ise yüklerin talep ettikleri aktif ve reaktif güç değerlerini ifade etmektedir ve bu parametrelerin hepsi nx1’lik matristir. Bu bilgiler ışığında, eşitlikler (4.1) ve (4.2)’de, kontrol edilemeyen ajanların ürettikleri aktif ve reaktif güçler ile kontrol edilebilen ajanların $\tau > 0$ olmak üzere $t + \tau$ zaman diliminde ürettikleri aktif ve reaktif güçlerin toplamı bütün yükler tarafından talep edilen aktif ve reaktif güçlere eşit olacağı gösterilmiştir.

Bir sonraki aşamada, (4.1) ve (4.2)’de gösterilen eşitliklerden yararlanarak kontrol edilebilir ajanlarının sisteme verebilecekleri aktif ve reaktif güç değerlerinin hesaplanmasını sağlayan ÇAS kontrol kanunu elde edilmiştir. Bahsi geçen ÇAS kanunu aşağıda belirtildiği gibi elde edilmektedir:

$$R.P(t + \tau) = R.P(t) + (A^T + R).(D + R)^{-1}.[L^P(t) - P(t)] \quad (4.3)$$

$$R.Q(t + \tau) = R.Q(t) + (A^T + R).(D + R)^{-1}.[L^Q(t) - Q(t)] \quad (4.4)$$

(4.3) ile (4.4)'de gösterilen eşitliklerin (4.1) ve (4.2)'de belirtilen eşitliklerden nasıl elde edildiğinin ispatı [29]'da yer almaktadır. (4.3) ve (4.4)'de ifade edilen eşitlikler incelendiğinde iki adet yeni parametrenin bulunduğu görülmektedir. Bu parametrelerden ilki A ile gösterilen komşuluk matrisi, diğeri ise D ile gösterilen iletişim matrisidir. A $n \times n$ ' lik bir matristir ve hangi numaralı ajanın hangi numaralı ajana bilgi gönderdiğini ifade etmektedir. Bir ajan kendi kendisine bilgi gönderemeyeceğinden dolayı diyagonal eksen üzerinde bulunan bütün elemanların değerleri sıfırdır. Ancak k. ajan i. ajana bilgi gönderiyor ise A matrisindeki ilgili eleman yani $a_{ki}=1$ olmaktadır. Eğer k. ajan örneğin hem i. ajana hem de j. ajana bilgi gönderiyorsa A matrisindeki ilgili elemanlar $a_{ki}=1$ ve $a_{kj}=1$ olmaktadır. D $n \times n$ ' lik bir diyagonal matris olmakla beraber her ajanın ne kadar ajana bilgi gönderdiğini ifade etmektedir. Örneğin, k. ajan 2 adet bilgi gönderiyorsa $d_{kk}=2$, hiç bilgi göndermiyorsa $d_{kk}=0$ değerini almaktadır.

Sonuç olarak bahsi geçen çalışmada, kontrol edilebilen ajanların üretecekleri güç değerlerini hesaplayan ÇAS kanunu ada durumundaki mikroşebeke yapısına uygulanmış, hem frekans hem de gerilim dalgalanmaları kabul edilebilir değerler içerisinde tutulduğu belirtilmiştir. Bu ÇAS kanununun hem herhangi bir sistemde uygulanabileceği hem de mevcut kanunun geliştirilerek yeniden tasarlanabileceği düşünülmüştür.

4.2 Geliştirilen ÇAS Kontrol Kanunları

Tez çalışmasının bu bölümünde ÇAS kanunu içeren, sistem kayıplarını azaltmayı ve baralara ait gerilim profillerini iyileştirmeyi hedefleyen kontrol modelleri sırasıyla oluşturulmuştur. Oluşturulan her bir kontrol modeli daha sonra benzetim ortamında test edilmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

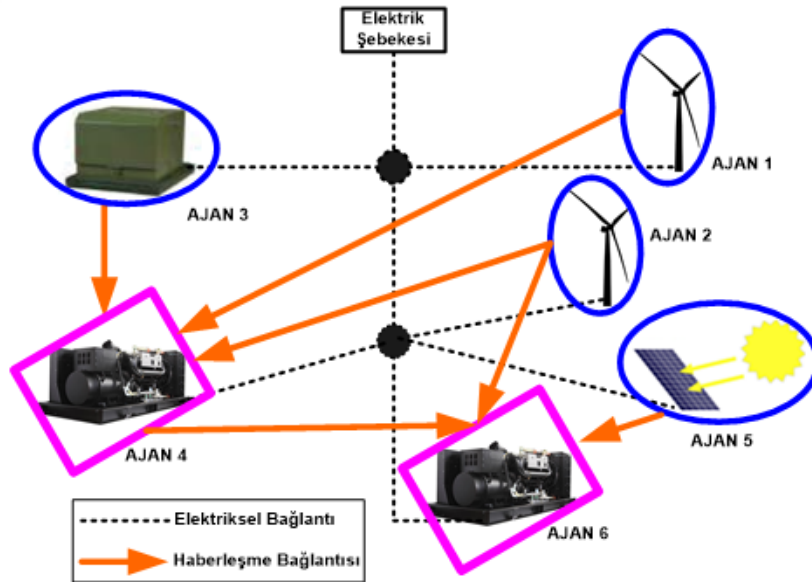
4.2.1 Model 1 – Referans ÇAS Kontrol Kanununu İçeren Algoritmalar

Model 1 içeriğinde Model 1.1 ve Model 1.2 olmak üzere iki adet kontrol modeli bulunmaktadır. Model 1.1'de referans ÇAS kanununu içeren ve sistem kayıplarını azaltmayı hedefleyen dağıtık kontrol algoritması bulunmaktadır. Model 1.2'de ise yine referans ÇAS kanununu içeren ve sistem kayıplarını azaltmayı hedefleyen hibrit kontrol algoritması bulunmaktadır.

4.2.1.1 Model 1.1 – Dağıtık Kontrol Algoritması

Bu modelde, sistem kayıplarının azaltılması hedefiyle önceki bölümde tanıtılan ÇAS kanununun yer aldığı bir kontrol algoritması geliştirilmiştir.

Algoritmanın uygulanacağı şebeke bağlantılı mikro şebekede üç adet kontrol edilemez, iki adet kontrol edilebilen ve bir adet kısmen kontrol edilebilir ajan olduğu kabul edilmiştir. Kontrol edilemez ajan olarak iki adet rüzgar türbini, bir adet güneş paneli tercih edilmiştir. Kontrol edilebilen ajan olarak iki adet senkron generatör (SG) tercih edilmiştir. Kısmen kontrol edilebilir ajan olarak da batarya sistemi tercih edilmiştir. Referans alınan yayında elektrik şebekesi bulunmadığından dolayı ve bu kontrol modelinde elektrik şebekesi ajan olarak düşünülmemiştir. Dolayısıyla, kontrol edilebilen ajanlar için ÇAS kontrol denklemleri yazılırken elektrik şebekesi bir parametre olarak dâhil edilmemiştir. Ajanlar arasındaki haberleşme ağı Şekil 4.2’de görüldüğü gibi tercih edilmiştir. Görüldüğü üzere kontrol edilemez ajanlar sadece bilgi göndermektedir. Kontrol edilebilir ajanlardan ajan 6 sadece bilgi alırken, ajan 4 hem bilgi alıp hem de bilgi vermektedir. Kısmen kontrol edilebilen ajan olan ajan 3 ise sadece bilgi göndermektedir.



Şekil 4. 2 Model 1.1’de tercih edilen ajanlar arası haberleşme ağı

Haberleşme ağı belirlendikten sonra, daha önce belirtilen A, R ve D matrisleri sırasıyla oluşturulmuştur. A komşuluk matrisi, ajanların bilgi aktarma durumunu ifade

etmektedir. Bu matris oluşturulurken, 1. ajanın 4. ajana, 2. ajanın hem 4. hem de 6. ajana, 3. ajanın 4. ajana, 4. ajanın 6. ajana, 5. ajanın 6. ajana bilgi gönderdiği eşitlik (4.5)'de gösterilmiştir.

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

R diyagonal özellik matrisidir. Kontrol edilebilir ajanları göstermektedir. 4. ve 6. ajanlar kontrol edilebilir olduklarından r_{44} ve r_{66} matris elemanlarının değeri 1 diğer elemanların değerleri 0 olarak atanmıştır ve eşitlik (4.6)'da bu durum belirtilmiştir.

$$R = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

D iletişim matrisi, bir ajanın diğer ajanlara ne kadar bilgi gönderdiğini gösteren diyagonal bir matristir. Kurduğumuz haberleşme ağında, 1. ajan bir tane, 2. ajan iki tane, 3., 4. ve 5. ajanlar birer tane bilgi gönderirken ve 6. ajan hiç bilgi göndermemektedir. Bu bilgilere eşitlik (4.7)'de yer verilmiştir.

$$D = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

A, R, D matrisleri oluşturulduktan sonra, eşitlikler (4.3) ile (4.4)'de yerine yazarak denklemlerin düzenlenmesi işlemine geçilmiştir. Bu aşamada öncelikle eşitlikler (4.8) ve (4.9)'da gösterilen matrisler oluşturulmuştur. Eşitlik (4.8)'de A matrisinin tranpozesi alınıp R matrisi ile toplanmıştır. Eşitlik (4.9)'da D ile R matrisleri toplanıp inversleri alınmıştır.

$$A^T + R = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

$$(D + R)^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

Eşitlikler (4.3) ile (4.4)'de belirtilen denklemlerinin düzenlenmesinin ikinci aşamasında, $P(t)$, $Q(t)$, $L^P(t)$ ve $L^Q(t)$ matrislerinin denklemden daha açık gösterimi yapılmıştır. Bu düzenleme eşitlikler (4.10) ve (4.11)'de gösterilmiştir.

$$R \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ P_4(t + \tau) \\ 0 \\ P_6(t + \tau) \end{bmatrix} = R \cdot \begin{bmatrix} P_1(t) \\ P_2(t) \\ \beta \cdot P_3(t) \\ P_4(t) \\ P_5(t) \\ P_6(t) \end{bmatrix} + (A^T + R) \cdot (D + R)^{-1} \cdot \begin{bmatrix} L_1^P(t) - P_1(t) \\ L_2^P(t) - P_2(t) \\ L_3^P(t) - \beta \cdot P_3(t) \\ L_4^P(t) - P_4(t) \\ L_5^P(t) - P_5(t) \\ L_6^P(t) - P_6(t) \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

$$R \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ Q_4(t + \tau) \\ 0 \\ Q_6(t + \tau) \end{bmatrix} = R \cdot \begin{bmatrix} Q_1(t) \\ Q_2(t) \\ \beta \cdot Q_3(t) \\ Q_4(t) \\ Q_5(t) \\ Q_6(t) \end{bmatrix} + (A^T + R) \cdot (D + R)^{-1} \cdot \begin{bmatrix} L_1^Q(t) - Q_1(t) \\ L_2^Q(t) - Q_2(t) \\ L_3^Q(t) - \beta \cdot Q_3(t) \\ L_4^Q(t) - Q_4(t) \\ L_5^Q(t) - Q_5(t) \\ L_6^Q(t) - Q_6(t) \end{bmatrix} \quad (4.11)$$

Eşitlik (4.10)'da eşitliğin sol tarafında, kontrol edilebilir ajanların üretmeleri gereken aktif güç değerleri bulunmaktadır. Eşitliğin sağ tarafında ise kontrol edilebilen ajanların ne kadarlık aktif güç üreteceğinin hesaplanması yapılmaktadır. Bu denklem içerisinde β olarak tanımlanan bir parametre bulunmaktadır. β , batarya sisteminden elde edilen bir parametre olmakla beraber -1 ya da 1 değerlerini alabilmektedir. β 'nın değeri 1 olduğu zaman batarya deşarj olarak elektrik şebekesini desteklemektedir. β 'nın değeri -1 olduğu zaman ise batarya şarj olmaktadır ve bir yük gibi davranmaktadır. Eşitlik (4.11)'de eşitliğin sol tarafında, kontrol edilebilir ajanların üretmeleri gereken reaktif

güç değerleri bulunmaktadır. Eşitliğin sağ tarafında ise kontrol edilebilen ajanların ne kadar reaktif güç üreteceğinin hesaplanması yapılmaktadır.

Eşitlikler (4.8) ve (4.9)'da belirtilen değerler eşitlikler (4.10) ve (4.11)'de yerine yazılarak çözüm gerçekleştirildikten sonra kontrol edilebilen ajanların üretmeleri gerektiği aktif güç değerleri eşitlikler (4.12) ve (4.13)'de, reaktif güç değerleri eşitlikler (4.14) ve (4.15)'de gösterilmiştir. Bu denklemler aynı zamanda, hangi ajanların hangi ajanlarla iletişim halinde olduğunu göstermektedir.

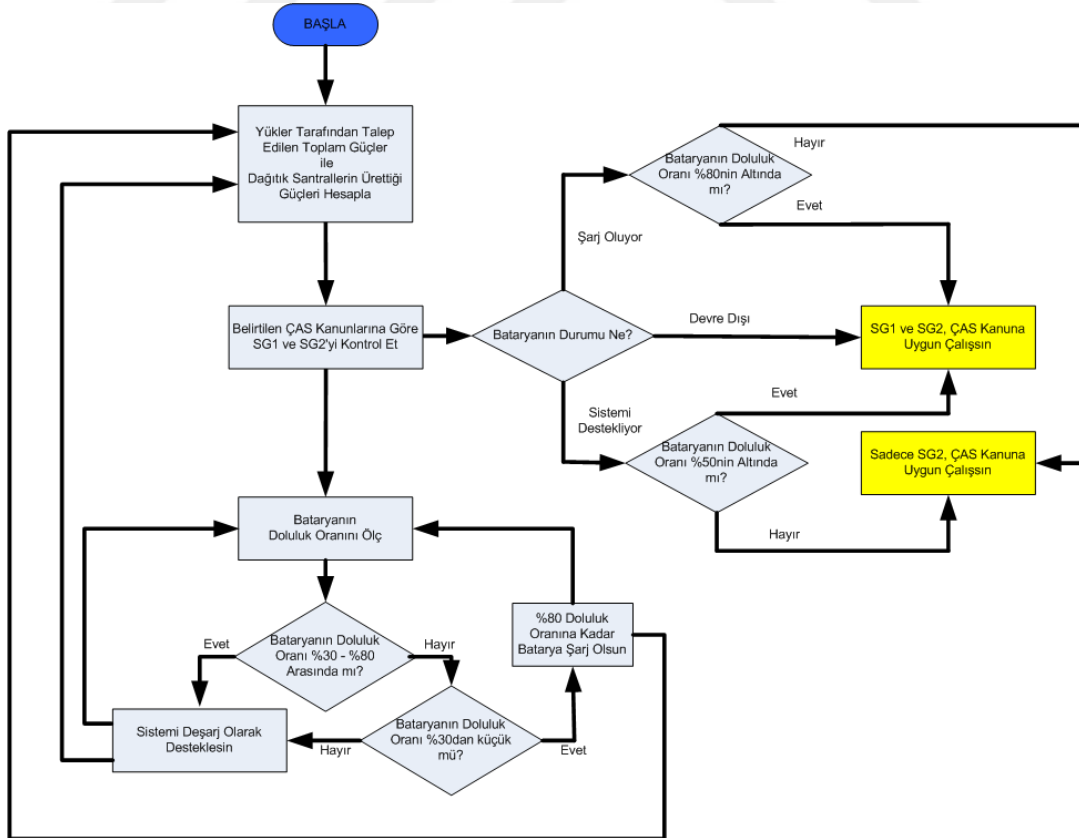
$$P_4(t + \tau) = [L_1^P(t) + \frac{1}{2}L_2^P(t) + L_3^P(t) + \frac{1}{2}L_4^P(t)] - [P_1(t) + \frac{1}{2}P_2(t) + \beta \cdot P_3(t) - \frac{1}{2}P_4(t)] \quad (4.12)$$

$$P_6(t + \tau) = [\frac{1}{2}L_2^P(t) + \frac{1}{2}L_4^P(t) + L_5^P(t) + L_6^P(t)] - [\frac{1}{2}P_2(t) + \frac{1}{2}P_4(t) + P_5(t)] \quad (4.13)$$

$$Q_4(t + \tau) = [L_1^Q(t) + \frac{1}{2}L_2^Q(t) + L_3^Q(t) + \frac{1}{2}L_4^Q(t)] - [Q_1(t) + \frac{1}{2}Q_2(t) + \beta \cdot Q_3(t) - \frac{1}{2}Q_4(t)] \quad (4.14)$$

$$Q_6(t + \tau) = [\frac{1}{2}L_2^Q(t) + \frac{1}{2}L_4^Q(t) + L_5^Q(t) + L_6^Q(t)] - [\frac{1}{2}Q_2(t) + \frac{1}{2}Q_4(t) + Q_5(t)] \quad (4.15)$$

Elde edilen eşitlikler, Şekil 4.3'de kontrol algoritmasının akış diyagramı görülen ve tez kapsamında geliştirilen kontrol algoritması ile birlikte kullanılmaktadırlar.



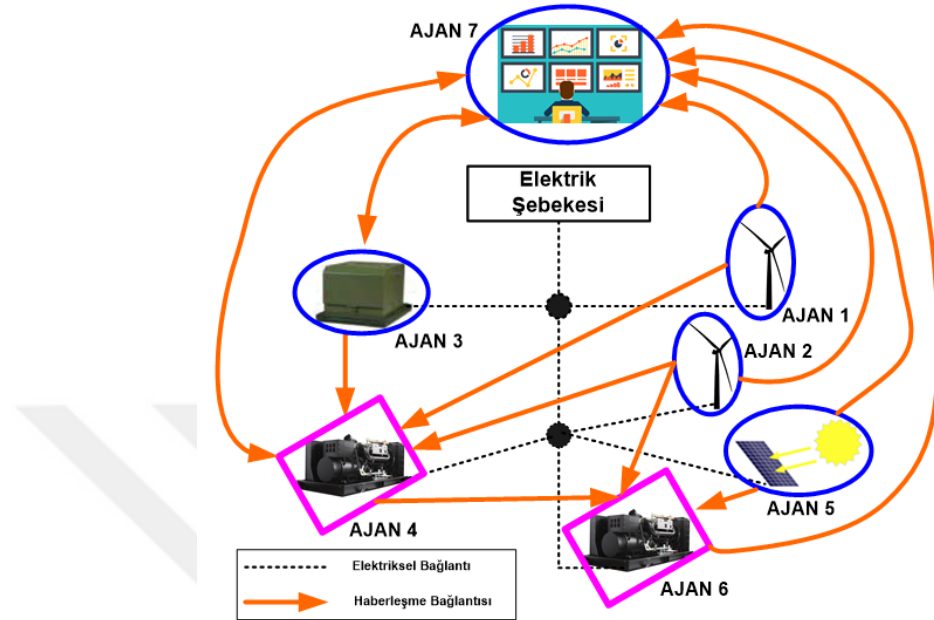
Şekil 4. 3 Model 1.1'de kullanılan dağıtık kontrol algoritmasının akış diyagramı

Dağıtık kontrol algoritmasında öncelikle bütün yüklerin talep ettikleri aktif güç değerleri ile bütün DÜ birimlerinin üretmekte olduğu aktif güç değerleri ölçülmektedir. Elde edilen bu aktif güç verilerine göre yukarıda bahsi geçen kontrol kanuna göre kontrol edilebilen ajanlar olan SG1 ve SG2 için üretmeleri gereken güç değerleri hesaplanmaktadır. Ancak SG2 doğrudan bahsi geçen kanuna uygun olarak çalışırken, SG1 bataryanın hem doluluk oranına hem de bataryanın şarj olup, deşarj olmasına bağlı olarak çalışmaktadır. SG1, batarya deşarj olarak sistemi desteklerken ve bataryanın doluluk oranı % 50'nin üstündeyken çalışmamaktadır. Diğer koşullar altında ise SG1 aynı SG 2 gibi kontrol kanunlarına göre çalışmaktadır. Batarya sistemde çalışırken doluluk oranının % 30 ile % 80 arasında kalmasını sağlayacak şekilde çalışmaktadır. Başlangıç anında bataryanın doluluk oranı % 80' dir. Dolayısıyla öncelikle % 30 doluluk seviyesine kadar sistemi deşarj olarak desteklemektedir. Bataryanın doluluk oranı % 30 seviyesine geldiği anda ise hiçbir koşula bakmaksızın % 80 doluluk oranına kadar şarj olmaktadır. Bu durum periyodik olarak devam etmekte olup dışarıdan gelen bir bilgiyle değişmemektedir. Ayrıca, gün içerisinde saat 12:00 ile 15:00 arasında batarya ne şarj olmakta ne de deşarj olmaktadır. Kısacası batarya kendi dahili kontrolörüne göre çalışmaktadır ve içinde bulunduğu ajan yapısı sadece dışarıya bilgi göndermektedir. Sonuç itibariyle, Model 1.1'de referans ÇAS kanunu içeren dağıtık yani merkezi olmayan kontrol algoritması oluşturulmuştur. Bu algorithmada bataryanın SoC parametresi önemli bir yere sahiptir. Bu parametre için belirlenen sınırlar hem bataryanın uygun koşullarda kullanılmasını hem de DÜ'lerin etkin çalışmasını sağlamaktadır. Tezin beşinci bölümünde, Model 1.1'in test sistemine uygulanmasıyla sonuçlar elde edilmiştir.

4.2.1.2 Model 1.2 – Hibrit Kontrol Algoritması

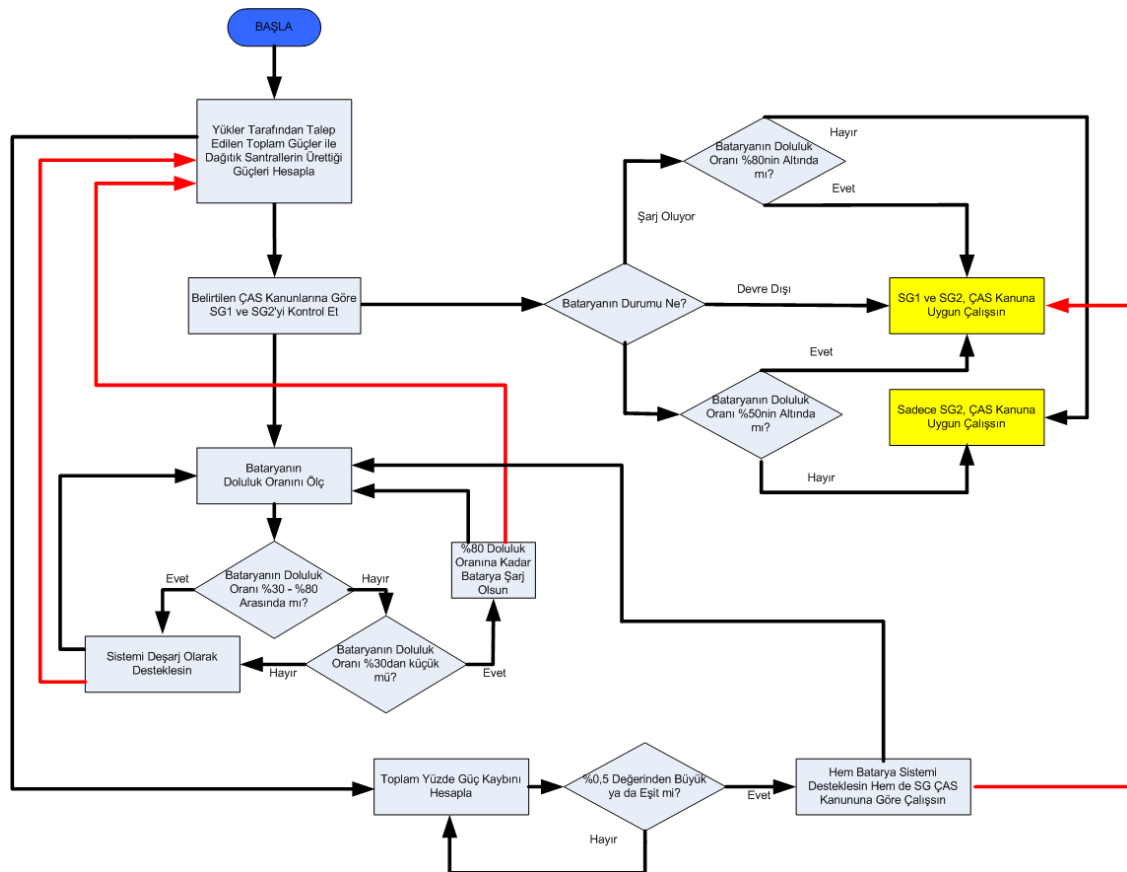
Model 1.1'deki ÇAS yapısı ile haberleşme ağında bazı değişiklikler gerçekleştirilerek Model 1.2 geliştirilmiştir. Öncelikle, dağıtık haberleşme ağının yerine hibrit haberleşme ağı oluşturulmuştur. Bu haberleşme ağı oluşturulurken, ilk haberleşme ağında yer alan altı ajana ek olarak bir tane daha ajan eklenmiştir. Bu ajan diğer mevcut ajanlar gibi bir DÜ birimi ya da yük grubu olmamakla beraber merkezi kontrol ajanıdır. Bu ajan, bütün ajanlardan bilgi almakta olup belirlenen kontrol edilebilir ya da kısmen kontrol

edilebilir ajanlara bilgi göndermektedir. Bahsi geçen bu 7. ajanın sisteme eklenmesiyle beraber ne tam merkezi ne de tam dağıtık yani hibrit bir haberleşme ağı kurulmuştur. Model 1.2’de oluşturulan yeni haberleşme yapısı Şekil 4.4’de gösterilmiştir.



Şekil 4. 4 Model 1.2’de tercih edilen ajanlar arası haberleşme ağı

Şekil 4.4’de görüldüğü üzere, Model 1.1’deki temel haberleşme yapısı korunmuştur. Yeni eklenen 7 numaralı merkezi kontrol ajanı ile diğer ajanların haberleşme ilişkileri kurulmuştur. Merkezi kontrol ajanı mevcut bütün ajanlardan bilgi almaktadır. Ancak, sadece Ajan 3 olarak ifade edilen batarya ile Ajan 4 olarak ifade edilen SG1’e bilgi göndermektedir. Dolayısıyla bahsi geçen bu iki ajanla çift yönlü bir haberleşme durumuna sahiptir. Oluşturulan bu hibrit haberleşme ağında, ajan sayısında bir değişiklik olmasına rağmen Model 1.1’de kullanılan SG1 ve SG2 için hesaplanan kontrol kanunlarında bir değişikliğe gidilmemiştir. Bunun temel sebebi ise, yeni eklenen ajanın fiziksel olarak sisteme entegre edilmiş bir ajan olmamasıdır. Dolayısıyla mevcut diğer ajanlar arasındaki haberleşme ilişkisi değişmediğinden dolayı (4.12), (4.13), (4.14) ve (4.15)’de belirtilen eşitlikler aynen Model 1.2’de de yer almıştır. Ancak merkezi kontrol ajanının eklenmesi, kontrol algoritmasında hem yerini almaktadır hem de yeni şartların oluşmasına ve bu şartlara göre sistemin çalışmasına neden olmaktadır. Model 1.2’de kullanılan hibrit kontrol algoritması Şekil 4.5’de gösterilmiştir.



Hibrit kontrol algoritması, Şekil 4.3'deki dağıtık kontrol algoritmasının geliştirilmiş halidir. Şekil 4.5'de kırmızı ile gösterilen bilgi akışları Şekil 4.3'den farkları ifade etmektedir. Öncelikle bütün yüklerin talep ettikleri aktif güç değerleri ile bütün DÜ birimlerinin üretmekte olduğu aktif güç değerleri ölçülmektedir. Elde edilen bu veriler hem kontrol kanuna göre kontrol edilebilen ajanlar olan SG1 ve SG2 için üretmeleri gereken güç değerlerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır hem de toplam yüzde güç kaybının hesaplanmasında kullanılmaktadır.

Sistem bataryanın doluluk oranının % 30 ile % 80 arasında kalmasını sağlayacak şekilde çalışmaktadır. Çalışmanın başlangıç anında bataryanın doluluk oranı % 80'dir. Bu hibrit algoritma kapsamında batarya dışarıdan bilgi almaktadır. Dolayısıyla, aldığı bilgiye bağlı olarak şarj ve deşarj zaman dilimleri periyodik olarak değişmeyebilmektedir. Toplam yüzde güç kaybı % 0,5'in üstündeyse merkezi kontrol ajanı hem bataryaya deşarj olarak sistemi destekle bilgisi göndermektedir hem de SG1'e kontrol kanununa uygun çalış bilgisi göndermektedir. Batarya şarj olduğu zaman diliminde ise sadece SG1'e devreye girme sinyali göndermektedir. Ayrıca, gün içerisinde saat 12:00 ile 15:00 arasında merkezi kontrol ajanı bataryanın yer aldığı ajana bilgi göndermediği takdirde batarya çalışmamaktadır.

Sonuç olarak, Model 1.2'de referans ÇAS kanununu içeren hibrit kontrol algoritması oluşturulmuştur. Tezin beşinci bölümünde, Model 1.1 ile Model 1.2'de sunulan algoritmaların test sistemine uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır.

4.2.2 Model 2 – Mesafe Tabanlı ÇAS Kanunları

Ajanlar arasındaki mesafeler dikkate alınarak geliştirilen Model 2 esasen Model 2.1 ve Model 2.2 olmak üzere iki adet kontrol modelinden oluşmaktadır. Bu iki kontrol modeli referans alınan ÇAS kanunun geliştirilmiş versiyonlarıdır. Model 2.1'de ajanlar arasındaki mesafe bilgisini dikkate alarak sistem kayıplarını azaltmayı hedefleyen yeni ÇAS kanunu bulunmaktadır. Bu kanunun içerisinde, tez çalışması kapsamında geliştirilen ajanlar arasındaki mesafe bilgisine sahip ağırlık matrisi W bulunmaktadır. Model 2.2'de ise ajanlar arasındaki mesafe ve R/X oran bilgilerini dikkate alarak hem sistem kayıplarını azaltmayı hem de baralara ait gerilim profillerini iyileştirmeyi hedefleyen yeni ÇAS kanunu bulunmaktadır. Bu kanunun içerisinde, tez çalışması kapsamında geliştirilen ajanlar arasındaki mesafe bilgisini içeren aktif güç ağırlık matrisi WP ile R/X oran bilgilerini içeren reaktif güç ağırlık matrisi WQ bulunmaktadır.

4.2.2.1 Model 2.1 – Mesafe Tabanlı W Matrisli ÇAS Kanunu

Referans ÇAS kanununda yer alan kontrol eşitliklerinde ajanlar arası mesafe bilgisi kullanılmamaktadır. Söz konusu kanunda örneğin kontrol edilebilen iki ajan bir yük ihtiyacı olan ajanla iletişim kuruyorsa, kontrol edilebilen ajanlar mevcut yük ihtiyacını

yarı yarıya karşılamaktadır. Tez çalışmasında amacımızın sistem kayıplarını minimize etmek olduğunu göz önünde bulundurduğumuz zaman ajanlar arasındaki mesafenin kritik bir önemi olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla, kontrol edilebilen ajanlar şayet haberleştikleri ajan veya ajanlar arasındaki mesafeleri dikkate alarak güç ihtiyaçlarını karşılar ise, güç sistem kayıpları azalacaktır. Bunun temel sebebi, mesafe bilgisine göre yüke en yakın olan kontrol edilebilen ajan daha fazla güç üretirken, mevcut yüke uzak olan ajan daha az güç üretecek olmasıdır. Böylece, hem hatlar hem de trafolar gereksiz yüklenmeyecektir ve sistemin verimliliği artarken sistem kayıpları azalacaktır.

Temel olarak (4.1) ve (4.2)'de gösterilen eşitlikler yine göz önüne alınmıştır ve sistemdeki üretim tüketim dengesi sağlanmıştır. Ajanlar arasındaki mesafe bilgisini dikkate alarak kontrol edilebilen ajanların üretmeleri gereken güç değerlerini hesaplayan geliştirilmiş ÇAS kanunu eşitlikler (4.16) ve (4.17)'de gösterilmiştir. Yeni tasarlanan ÇAS kanunun içine elektrik şebekesi de dâhil edilmiştir. Elektrik şebekesi, kontrol edilemez bir ajan olarak kabul edilmiştir ve bu ajan yapısına değeri 0 olan sanal yük eklenmiştir. Ayrıca, elektrik şebekesini içeren ajan başka bir ajana ürettiği güç bilgisinin negatif değerini göndermektedir. Böylece kontrol edilebilen ajan ürettiği güç değerini ayarlayarak şebekeden çekilen gücün mümkün olduğunca az olmasını sağlamaktadır. Bu işlemi gerçekleştirmek adına $\alpha = -1$ olmak üzere yeni bir parametre tanımlanmıştır. Dolayısıyla, şebekenin ürettiği güç bilgileri ilk önce α ile çarpılmaktadır ardından da haberleştiği ajana iletilmektedir.

$$R.P(t + \tau) = R.P(t) + ((D.W)^T + R).(D + R)^{-1}.[L^P(t) - P(t)] \quad (4.16)$$

$$R.Q(t + \tau) = R.Q(t) + ((D.W)^T + R).(D + R)^{-1}.[L^Q(t) - Q(t)] \quad (4.17)$$

(4.16) ve (4.17)'de ifade edilen eşitlikler incelendiğinde A matrisinin çıkarıldığı ve yeni bir parametre olan W matrisinin eklendiği görülmektedir. W, “n” toplam ajan sayısı olmak üzere $n \times n$ ’lik ağırlık matrisidir. Bu matris kontrol edilebilen ajanlar ile haberleşen bütün kontrol edilemez ajanların arasındaki mesafe bilgilerini içermektedir. Bu matrisi oluştururken temel kural, matrisin her satırında bulunan elemanların toplamı 1 olmalıdır. Örneğin, i. ajan ve j. ajan kontrol edilebilen ajalara kontrol edilemeyen k. ajan bilgi gönderiyor ise matristeki ilgili satırdaki elemanlar w_{ki} ve w_{kj} ’nin toplamı 1 olacak şekilde ajanlar arasındaki mesafe oranları yazılır. Yakın olan ajana ait değer,

uzak olan ajana ait değere göre yüksek olması gerekmektedir. Bu hesaplama yapılırken, paralel devrelerdeki akım bölme kaidesi dikkate alınmaktadır. Dolayısıyla herhangi bir ajan sadece bir ajana bilgi gönderiyorsa matristeki ilgili elemanın değeri 1 olmaktadır. W ağırlık matrisinin elemanlarının hesaplanmasında kullanılan genelleştirilmiş eşitlikler (4.18) ve (4.19)'da gösterilmiştir. Eşitlik (4.18) i. ajanın haberleştiği y tane ajan arasındaki eşdeğer mesafe $l_{eş}$ 'i hesaplamaktadır. Eşitlik (4.19) ise i. ajan ile j. ajan arasındaki normalize edilmiş olan mesafe değerini hesaplayıp, W matrisinin ilgili elemanı w_{ij} 'ye bu değeri atamaktadır.

$$\frac{1}{l_{eş}} = \sum_{k=1}^y \left(\frac{1}{l_{iy}} \right) \quad (4.18)$$

$$w_{ij} = \frac{l_{eş}}{l_{ij}} \quad (4.19)$$

(4.16) ile (4.17)'de gösterilen eşitliklerin (4.1) ve (4.2)'de belirtilen eşitliklere eşit olduğunun ispatının aşamaları aşağıda sırasıyla gösterilmiştir. İspat işlemi sadece aktif güç eşitliği için yapılmıştır. Reaktif güç eşitliğinin ispatı aynı yöntemle yapılabilmektedir. İspatın ilk aşamasında öncelikle eşitlik (4.20)'de gösterilen matris oluşturulmuştur. Eşitlik (4.20)'de önce D matrisi ile W matrisi çarpılmıştır ardından da tranpozesi alınıp R matrisi ile toplanmıştır.

$$(D.W)^T + R = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & (d.w)_{k1} & \cdots & (d.w)_{n1} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ (d.w)_{1k} & \cdots & r_{kk} & \cdots & (d.w)_{nk} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (d.w)_{1n} & \cdots & (d.w)_{kn} & \cdots & r_{nn} \end{bmatrix} \quad (4.20)$$

Eşitlik (4.21)'de D ile R matrisleri toplanıp inversi alınmıştır.

$$(D + R)^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{1}{d_{11} + r_{11}} & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \cdots & \frac{1}{d_{kk} + r_{kk}} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 & \cdots & \frac{1}{d_{nn} + r_{nn}} \end{bmatrix} \quad (4.21)$$

Ardından, (4.16)'daki eşitliğin sağ tarafına eşitlikler (4.20) ile (4.21)'deki matrisler yazılıp düzenlenerek eşitlik (4.22) elde edilmiştir. Ayrıca, k. ajan elektrik şebekesi olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla, güç bilgisinin ifade edildiği kısımda α parametresi kullanılmıştır.

$$((D.W)^T + R). (D + R)^{-1}. [L^P(t) - P(t)]$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{r_{11}}{d_{11}+r_{11}} & \dots & \frac{(d.w)_{k1}}{d_{kk}+r_{kk}} & \dots & \frac{(d.w)_{n1}}{d_{nn}+r_{nn}} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{(d.w)_{1k}}{d_{11}+r_{11}} & \dots & \frac{r_{kk}}{d_{kk}+r_{kk}} & \dots & \frac{(d.w)_{nk}}{d_{nn}+r_{nn}} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{(d.w)_{1n}}{d_{11}+r_{11}} & \dots & \frac{(d.w)_{kn}}{d_{kk}+r_{kk}} & \dots & \frac{r_{nn}}{d_{nn}+r_{nn}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_1^P(t) - P_1(t) \\ \vdots \\ L_k^P(t) - \alpha \cdot P_k(t) \\ \vdots \\ L_n^P(t) - P_n(t) \end{bmatrix} \quad (4.22)$$

(4.16)'daki eşitliğin tamamı düzenlediği zaman (4.23)'deki eşitliği elde etmekteyiz.

$$\sum [R.P(t + \tau)] = \sum [R.P(t)] + \sum ((D.W)^T + R). (D + R)^{-1}. [L^P(t) - P(t)]$$

$$= (r_{11}.P_1(t) + \dots + r_{kk}.\alpha.P_k(t) + \dots + r_{nn}.P_n(t))$$

$$+ \frac{r_{11} + \dots (d.w)_{1k} + \dots + (d.w)_{1n}}{d_{11} + r_{11}}. [L_1^P(t) - P_1(t)] + \dots$$

$$+ \frac{(d.w)_{k1} + \dots r_{kk} + \dots + (d.w)_{kn}}{d_{kk} + r_{kk}}. [L_k^P(t) - \alpha.P_k(t)] + \dots$$

$$+ \frac{(d.w)_{n1} + \dots (d.w)_{nk} + \dots + r_{nn}}{d_{nn} + r_{nn}}. [L_n^P(t) - P_n(t)] \quad (4.23)$$

Graf teorisine göre, (D.W) matrisinin j. sırasında yer alan bütün elemanların toplamı D matrisindeki j. ajana denk gelen matris elemanına eşit olmalıdır. Bu bilgiden yararlanarak eşitlik (4.24) yazılmaktadır.

$$\sum_{i=1}^n (d.w)_{ji} = d_{jj} \quad (4.24)$$

Eşitlik (4.24)'de ifade edilen bilgi eşitlik (4.23)'de uygulandıktan sonra, eşitlik (4.25)'de belirtilen sonuç elde edilerek ispat tamamlanmaktadır.

$$\sum [R.P(t + \tau)] = (r_{11}.P_1(t) + \dots + r_{kk}.\alpha.P_k(t) + \dots + r_{nn}.P_n(t)) + [L_1^P(t) - P_1(t)] + \dots +$$

$$[L_k^P(t) - \alpha.P_k(t)] + \dots + [L_n^P(t) - P_n(t)]$$

$$= ((r_{11} - 1).P_1(t) + \dots + (r_{kk} - 1).\alpha.P_k(t) + \dots + (r_{nn} - 1).P_n(t)) + \sum L^P(t) \quad (4.25)$$

$$= \sum L^P(t) - \sum [(I - R).P(t)]$$

Sonuç olarak, sistemde yer alan üreticiler ile tüketicilerin toplam güçleri birbirine eşit olmaktadır. Benzetim çalışmalarını içeren tezin beşinci bölümünde referans ÇAS

kontrol kanunu ile Model 2.1’de sunulan yeni ÇAS kanunu aynı sistem sistemde çalıştırılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

4.2.2.2 Model 2.2 - Mesafe Tabanlı WP ve WQ Matrisli ÇAS Kanunu

Model 2.1’de önerilen mesafe tabanlı W matrisli ÇAS kanununda kontrol edilebilir ajanlar içerisinde yer alan SG’lerin ürettikleri hem aktif güç hem de reaktif güç değerleri aynı orandadır. Bu şekilde üretimlerin gerçekleştiği takdirde baralara ait gerilim profillerinde istenildiği ölçüde iyileşme olmayacağı öngörülmektedir. Zira hatlardaki direnç ve reaktans değerleri aynı olmadığından reaktif gücün gerilim üzerindeki etkilerini iyileştirebilecek biçimde reaktif güç ayarlaması yapılabilir. Bu sebeple hem sistem kayıplarını daha da azaltan hem de bara gerilim profillerini iyileştiren yeni bir ÇAS kanunu Model 2.2 olarak geliştirilmiştir.

Temel olarak (4.16) ve (4.17)’de gösterilen eşitlikler yine göz önüne alınmıştır ve sistemdeki üretim tüketim dengesi sağlanmıştır. Kontrol edilebilen ajanların üretmeleri gereken güç değerlerini hesaplarken hem sistem kayıplarını azaltan hem de bara gerilim profillerini iyileştiren geliştirilmiş ÇAS kontrol kanunu eşitlikler (4.26) ve (4.27)’de gösterilmiştir.

$$R.P(t + \tau) = R.P(t) + ((D.WP)^T + R).(D + R)^{-1}.[L^P(t) - P(t)] \quad (4.26)$$

$$R.Q(t + \tau) = R.Q(t) + ((D.WQ)^T + R).(D + R)^{-1}.[L^Q(t) - Q(t)] \quad (4.27)$$

(4.16) ve (4.17)’de ifade edilen eşitlikler ile kıyaslandığında W matrisinin çıkarıldığı ve eşitlik (4.26)’da ifade edilen denkleme WP matrisinin, (4.27)’de ifade edilen denkleme WQ matrisinin eklendiği görülmektedir. WP ile WQ matrisleri, “n” toplam ajan sayısı olmak üzere nxn’ lik aktif güç ağırlık matrisi ile reaktif güç ağırlık matrisidir. WP matrisi sistemdeki güç kaybını azaltmak için kullanılırken WQ matrisi bara gerilim profillerini iyileştirmek için kullanılmaktadır.

Aktif güç ağırlık matrisi WP’nin yapısı ve oluşturulma kuralları Model 2.1’de belirtilen ağırlık matrisi W ile aynıdır. Dolayısıyla, bu matris kontrol edilebilen ajanlarla haberleşen bütün kontrol edilemez ajanların arasındaki mesafe bilgilerini içermektedir. WP ağırlık matrisinin elemanlarını hesaplamamızı sağlayan genelleştirilmiş eşitlikler (4.28) ve (4.29)’da gösterilmiştir. (4.28) i. ajanın haberleştiği y tane ajan arasındaki

eşdeğer mesafe değerini hesaplamaktadır. (4.29) ise i. ajan ile j. ajan arasındaki normalize edilmiş olan mesafe değerini hesaplayıp, WP matrisinin ilgili elemanına bu değeri atamaktadır.

$$\frac{1}{l_{eş}} = \sum_{k=1}^y \left(\frac{1}{l_{iy}} \right) \quad (4.28)$$

$$wp_{ij} = \frac{l_{eş}}{l_{ij}} \quad (4.29)$$

Reaktif güç ağırlık matrisi WQ, WP matrisinin elde edilme kurallarına uygun şekilde elde edilmektedir ve WQ matrisi oluştururken temel kural, matrisin her satırında bulunan elemanların toplamı 1 olmaktadır. Ancak, matris elemanları tespit edilirken farklı bir yaklaşım uygulanmaktadır. Mesafenin yanı sıra hattın empedans karakteristiği dikkate alınarak DÜ birimleri arasında reaktif güç paylaşımı yapıldığında, gerilim seviyesindeki değişim daha sınırlı olabilmektedir. Bahsi geçen bu durumu, bir yük barasını besleyen iki farklı kontrol edilebilen DÜ üzerinden açıklayabiliriz. Gerilim düşümünü akım ile hat empedans değeri çarparak elde edilmektedir. Ayrıca, hatlar üzerinden aktarılan görünür güç değeri $S=V.I$ olarak hesaplanmaktadır. Bu güç değeri hesaplanırken, $V=1$ pu değerinde ise $S=I$ olmaktadır. Bu durum dikkate alındığında, yükün beslenmesini sağlayan hatlardaki gerilim düşümü pu değerler kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir:

$$\Delta V_1 = |I_1| \cdot |Z_1| \ \& \ V_1 = 1pu \Rightarrow \Delta V_1 = |S_1| \cdot |Z_1| = |(P_1 + j \cdot Q_1)| \cdot |(R_1 + j \cdot X_1)| \quad (4.30)$$

$$\Delta V_2 = |I_2| \cdot |Z_2| \ \& \ V_2 = 1pu \Rightarrow \Delta V_2 = |S_2| \cdot |Z_2| = |(P_2 + j \cdot Q_2)| \cdot |(R_2 + j \cdot X_2)| \quad (4.31)$$

(4.30) ve (4.31)'de ifade edilen eşitliklerde, $S_{1,2}$ kontrol edilebilen DÜ birimlerinin sisteme verdiği görünür güç değerleri, $Z_{1,2}$ yük ile bahsi geçen enerji kaynakları arasındaki hat empedanslarıdır. Kontrol edilebilen DÜ sayısına bağlı olarak hesaplanacak ΔV ve $|\Delta V|_{baz}$ sayısı belirlenmektedir. $|\Delta V|_{baz}$ ifadesi temel alınan 1 pu gerilim değişimini ifade etmektedir. Bu çalışmada, reaktif gücün kontrol edilebilen DÜ'ler ile yük arasındaki mesafeler dikkate alınarak paylaşım yaptığı kabul edilmiştir ve normalize edilmiş, toplam gerilim değişimi aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$\Delta V' = \frac{|\Delta V_1| + |\Delta V_2|}{|\Delta V_1|_{baz} + |\Delta V_2|_{baz}} \quad (4.32)$$

Genelleştirilmiş toplam gerilim değişimi hesaplamak için “c” kontrol edilebilir DÜ sayısı olmak üzere aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır:

$$\Delta V' = \frac{\sum_{x=1}^c (|\Delta V_x|)}{\sum_{x=1}^c (|\Delta V_x|_{baz})} \quad (4.33)$$

Bir ve iki numaralı kontrol edilebilir DÜ'lere ait normalize edilmiş reaktif güç değerleri aşağıdaki gibi sırasıyla ifade edilebilmektedir:

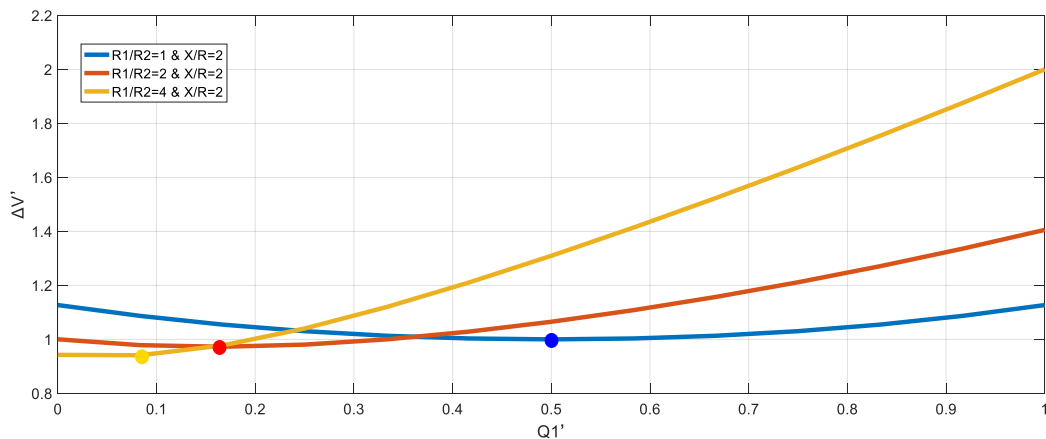
$$Q_1' = \frac{Q_1}{Q_1 + Q_2} \quad (4.34)$$

$$Q_2' = \frac{Q_2}{Q_1 + Q_2} \quad (4.35)$$

Eşitlikler (4.34) ile (4.35) dikkate alındığı takdirde, “c” kontrol edilebilir DÜ sayısı ve “x” DÜ numarası olmak üzere genelleştirilmiş, kontrol edilebilir DÜ'lere ait normalize edilmiş reaktif güç değerleri aşağıdaki denklemle elde edilebilmektedir:

$$Q_x' = \frac{Q_x}{\sum_{y=1}^c (Q_y)} \quad (4.36)$$

Bu bilgiler ışığında, Şekil 4.6'da Q_1' verisinin $\Delta V'$ verisine etkisi ifade edilmiştir. Bu etki ifade edilirken, temel durum için $R_1/R_2=1$ olarak kabul edilmiştir ve her zaman $Q_1+Q_2=Q_{\text{Toplam}}$ 'dır. Ayrıca, R_1/R_2 oranı sırasıyla 2 ve 4 alınmıştır. Şekil 4.6'daki değişimler farklı R_1/R_2 oranları için elde edilmiştir ve Q_1 değeri 0 değerinden Q_{Toplam} değerine doğru adım adım değiştirilirken, $\Delta V'$ parametresinin nasıl değiştiğini göstermektedir. Ayrıca, benzer bir değişim Q_2' verisi için de yapılabilir.



Şekil 4. 6 Q_1' verisinin $\Delta V'$ verisine etkisi

Şekil 4.6' da gösterilen değişimler incelendiğinde, farklı R_1/R_2 oranları için $\Delta V'$ verisinin minimum olduğu değerlerin farklı olduğu tespit edilmiştir. Bu tespitten yola çıkarak, kontrol edilebilen DÜ birimleri arasında empedansa dayalı reaktif güç paylaşımı gerçekleştirildiğinde baralara ait gerilim profilinin iyileşeceği söylenebilmektedir. Bu veriler, WQ matrisinde kullanılırken ilgili kontrol edilebilen ajana ait sütuna, $\Delta V'$ değerinin minimum olduğu Q' verisi yazılmaktadır.

Örnek olarak, Şekil 4.6'yı oluşturan sistem için, $R_1/R_2=1$ iken minimum değer 0.5 olduğundan dolayısıyla $w_{q11}=0.5$ ve $w_{q12}=1- w_{q11}=0.5$ olmaktadır. $R_1/R_2=2$ olduğunda minimum değer 0.1667 olduğundan dolayısıyla $w_{q11}=0.1667$ ve $w_{q12}=1- w_{q11}=0.8333$ olmaktadır. Bu örneklemeden yola çıkarak, her sistem için WQ matrisini oluşturan her bir elemanın değeri bulunabilmektedir. Bunun için, her bir kontrol edilebilen ajana ait normalize edilmiş reaktif güç değerlerinin ayrı ayrı $\Delta V'$ verisine etkisi incelenmektedir ve haberleşen ajanları gösteren ilgili WQ matris elemanına değer ataması yapılmaktadır. WQ ağırlık matrisinin elemanlarını hesaplamamızı sağlayan genelleştirilmiş eşitlikler (4.37) ve (4.38)'de gösterilmiştir. Eşitlik (4.37) $\Delta V'$ değişiminin minimum olduğu koordinat değerini hesaplamaktadır. Eşitlik (4.38) ise eşitlik (4.37)'de hesaplanan değere göre j. kontrol edilebilen ajanın i. ajana göndermesi gereken normalize edilmiş reaktif güç değerlerini hesaplamaktadır.

$$[a \ b]=\text{Minimum } (\Delta V') \quad (4.37)$$

$$w_{qij} = Q_j'(b) \quad (4.38)$$

Sonuç olarak, Model 2.2'de ajanlar arasındaki hem mesafe bilgisini hem de empedans bilgisini kullanan WP ve WQ matrisli yeni bir ÇAS kanunu sunulmuştur. Benzetim çalışmalarını içeren tezin beşinci bölümünde Model 2.1 ile Model 2.2 aynı sistem sistemde çalıştırılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

4.2.3 Model 3 – Empedans Tabanlı ÇAS Kanunları

Esasen Model 2'de sistemdeki hatların aynı kesitte ve türde iletkenlerden oluştuğu ve bu nedenle hat empedanslarının hat uzunlukları ile orantılı olduğu kabul edilmiştir. Gerçekte ise hatlar farklı kesit ve türde olabilmektedir. Bu durum dikkate alınarak, Model 3 içeriğinde, sisteme ait mesafe verisi yerine sistemde yer alan baralara bağlı

ajanlar arasındaki empedans değerlerinin kullanılması hedeflenmiştir. Hazırlanan kontrol modeli hem referans alınan ÇAS kanunun geliştirilmiş versiyonlarıdır hem de Model 2’de tanıtılan ÇAS kanunlarından türetilmişlerdir. Model 3.1’de ajanlar arasındaki empedans bilgisini dikkate alarak sistem kayıplarını azaltmayı hedefleyen yeni ÇAS kanunu bulunmaktadır. Bu kanunun içerisinde, tez çalışması kapsamında geliştirilen ajanlar arasındaki direnç bilgisini içeren ağırlık matrisi W bulunmaktadır. Model 3.2’de ise yine ajanlar arasındaki empedans bilgisini dikkate alarak hem sistem kayıplarını azaltmayı hem de baralara ait gerilim profillerini iyileştirmeyi hedefleyen yeni ÇAS kanunu bulunmaktadır. Bu kanunun içerisinde, ajanlar arasındaki empedans bilgisini kullanan aktif güç ağırlık matrisi WP ile reaktif güç ağırlık matrisi WQ bulunmaktadır.

4.2.3.1 Model 3.1 – Empedans Tabanlı W Matrisli ÇAS Kanunu

Model 3.1, Model 2.1’de tanıtılan ÇAS kanununu temel alınarak geliştirilirken, (4.16) ve (4.17)’de ifade edilen eşitlikler kullanılmıştır. Ancak Bu denklemlerin içerisinde yer alan W ağırlık matrisi oluşturulurken mesafe verileri yerine baralar arasındaki direnç değerleri kullanılmıştır.

W ağırlık matrisi, “ n ” toplam ajan sayısı olmak üzere $n \times n$ ’lik ağırlık matrisidir. Bu matris kontrol edilebilen ajanlar ile haberleşen bütün kontrol edilemez ajanların arasındaki direnç bilgilerini içermektedir. Bu matrisi oluştururken temel kural, Model 2’de olduğu gibi matrisin her satırında bulunan elemanların toplamı 1 olmalıdır. Örneğin, i . ajan ve j . ajan kontrol edilebilen ajanlara kontrol edilemeyen k . ajan bilgi gönderiyor ise matristeki ilgili satırdaki elemanlar w_{ki} ve w_{kj} ’nin toplamı 1 olacak şekilde ajanlar arasındaki direnç oranları yazılır. Direnç değerinin küçük olan ajana ait değer, büyük olan ajana ait değere göre yüksek olması gerekmektedir. Bu hesaplama yapılırken, paralel devrelerdeki akım bölme kaidesi dikkate alınmaktadır. Ayrıca, eğer bir ajan sadece bir ajana bilgi gönderiyorsa matristeki ilgili elemanın değeri 1 olmaktadır. W ağırlık matrisinin elemanlarını hesaplamamızı sağlayan genelleştirilmiş eşitlikler (4.39) ve (4.40)’da gösterilmiştir. Eşitlik (4.39) i . ajanın haberleştiği y tane ajan arasındaki eşdeğer direnç değerini hesaplamaktadır. Eşitlik (4.40) ise i . ajan ile j . ajan arasındaki

normalize edilmiş olan direnç değerini hesaplayıp, W matrisinin ilgili elemanına bu değeri atamaktadır.

$$\frac{1}{R_{esj}} = \sum_{k=1}^y \left(\frac{1}{R_{iky}} \right) \quad (4.39)$$

$$w_{ij} = \frac{R_{esj}}{R_{ij}} \quad (4.40)$$

Sonuç olarak, Model 3.1’de ajanlar arasındaki direnç bilgisini kullanan W matrisli yeni bir ÇAS kanunu sunulmuştur. Benzetim çalışmalarını içeren tezin beşinci bölümünde referans ÇAS kontrol kanunu ile Model 3.1’de sunulan yeni ÇAS kontrol kanununu aynı sistemde çalıştırılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

4.2.3.2 Model 3.2 – Empedans Tabanlı WP ve WQ Matrisli ÇAS Kanunu

Model 3.2, Model 2.2’de tanıtilan ÇAS kanununu temel alınarak ve Model 3.1’de tanıtilan W ağırlık matrisini oluşturma yöntemi dikkate alınarak geliştirilmiştir. Model 3.2 geliştirilirken, sisteme ait mesafe verisi yerine sistemde yer alan baralara bağlı ajanlar arasındaki empedans değerinin kullanılması hedeflenmiştir. Bu hedefin gerçekleştirilmesi için (4.26) ve (4.27)’de ifade edilen eşitlikler kullanılmıştır. Bu denklemlerin içerisinde yer alan WP ve WQ matrislerinin oluşturulurken baralar arasındaki empedans değerleri kullanılmıştır.

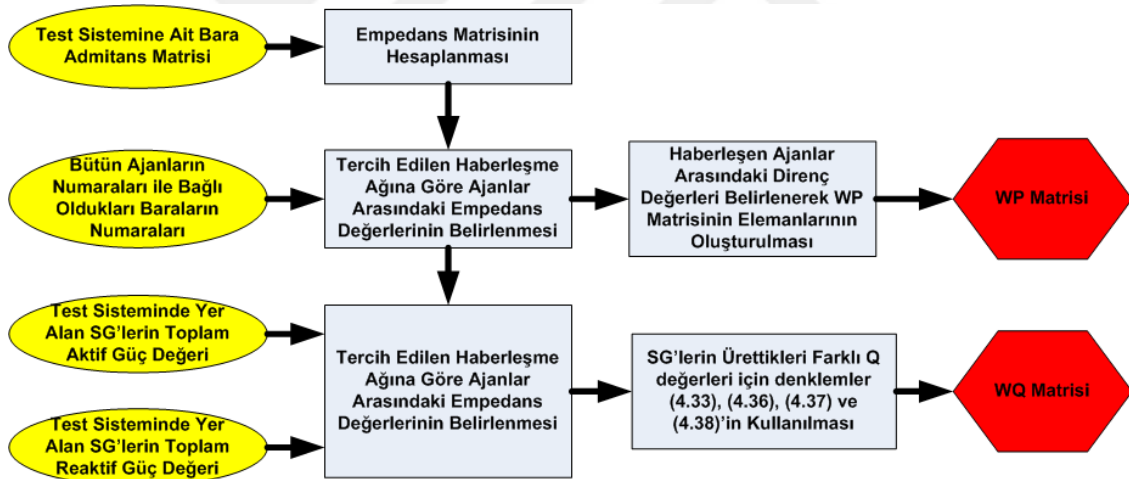
Aktif güç ağırlık matrisi WP’nin yapısı ve oluşturulma kuralları Model 3.1’de tanıtilan ağırlık matrisi W ile aynıdır yani WP=W’dur. WP ağırlık matrisinin elemanlarını hesaplamamızı sağlayan genelleştirilmiş eşitlikler (4.41) ve (4.42)’da gösterilmiştir. (4.41) i. ajanın haberleştiği y tane ajan arasındaki paralel eşdeğer direnç değerini hesaplamaktadır. (4.42) ise i. ajan ile j. ajan arasındaki normalize edilmiş olan direnç değerini hesaplayıp, WP matrisinin ilgili elemanına bu değeri atamaktadır.

$$\frac{1}{R_{esj}} = \sum_{k=1}^y \left(\frac{1}{R_{iky}} \right) \quad (4.41)$$

$$wp_{ij} = \frac{R_{esj}}{R_{ij}} \quad (4.42)$$

Empedans tabanlı reaktif güç ağırlık matrisi WQ, Model 2.2’de ifade edildiği gibi WQ matrisiyle benzer şekilde hesaplanmaktadır.

Eşitlikler (4.33) ve (4.36) kullanılarak, hem $\Delta V'$ verisi hem de her bir kontrol edilebilen ajana ait normalize edilmiş reaktif güç değerleri elde edilmektedir. Ardından da, her bir kontrol edilebilen ajana ait normalize edilmiş reaktif güç değerlerinin $\Delta V'$ verisine etkisi incelenerek, haberleşen ajanları gösteren ilgili WQ matris elemanına değer ataması yapılmaktadır. Bu işlem için de (4.37) ile (4.38)’deki eşitliklerden yararlanılmaktadır. Ayrıca, her türlü radyal güç sistemi ve farklı ajan sayılı ÇAS sistemi için hazırlanmış Matlab’de kodu yazılmış empedans tabanlı WP ile WQ’yu hesaplayan genelleştirilmiş algoritma EK-A’da sunulmuştur. Algoritmanın çalışmasını ifade eden blok diagramı ise Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4. 7 Farklı ajan sayılı sistemler için WP ve WQ hesabı yapan genelleştirilmiş algoritmaya ait blok diyagramı

Genelleştirilmiş bu algoritmanın çalışabilmesi için öncelikle giriş parametrelerinin girilmesi gerekmektedir. Bu giriş parametreleri sırasıyla, sisteme ait bara admitans matrisi, kontrol edilebilen ajanların bağlı olduğu bara numaraları ve ajan numaralarını ifade eden matris, kontrol edilemeyen ajanların bağlı olduğu bara numaralarını ve ajan numaralarını ifade eden matris, kontrol edilebilen DÜ sistemlerine ait toplam aktif güç ve reaktif güç bilgileridir. Giriş parametrelerinin nasıl ve hangi formda yazılacağı EK-A’da belirtilmiştir. Giriş parametreleri girildikten sonra algoritma ilk olarak bara

admitans matrisinden baralara ait bir empedans matrisini oluşturmaktadır. Ardından, tercih edilen haberleşme ağını dikkate alarak ajanlar arasındaki empedans değerleri belirlenmektedir. Bu işlemi gerçekleştirmek için iki DÜ arasındaki en kısa yolu bulmayı hedefleyen ve [68]'de ayrıntıları yer alan, graf teorisinden yararlanılmıştır. Bu amaçla, algoritmada “dijkstra” fonksiyonu kullanılmıştır. Test sistemimiz radyal bir yapıya sahip olduğundan dolayı, baralar arasındaki güzergâh her zaman en kısa yol olduğundan dolayı bahsi geçen bu fonksiyon kullanılabilir. Bu fonksiyon kullanılması sonucunda hem iki bara arasındaki empedans değeri hem de iki bara arasındaki güzergâh bilgisi elde edilmektedir. Ardından, WP hesaplaması için kontrol edilebilen ajanlarla kontrol edilemeyen ajanlar arasındaki direnç bilgisi kullanılarak eşitlikler (4.41) ve (4.42) belirtilen işlemler yapılmaktadır. Son olarak, WQ hesaplaması için SG'lerin toplam ürettikleri reaktif güç değerleri dikkate alarak ve her SG'nin reaktif güç üretim kapasitesini değiştirerek eşitlikler (4.33), (4.36), (4.37) ve (4.38)'den faydalanarak, WQ matrisinin elemanları elde edilmektedir. Bütün bu işlemlerin sonucunda, WP ve WQ matrisleri oluşturulmaktadır.

Sonuç olarak, Model 3.2'de ajanlar arasındaki empedans bilgisini kullanan WP ve WQ matrisli yeni bir ÇAS kanunu sunulmuştur. Benzetim çalışmalarını içeren tezin beşinci bölümünde Model 3.1 ile Model 3.2 aynı sistemde çalıştırılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

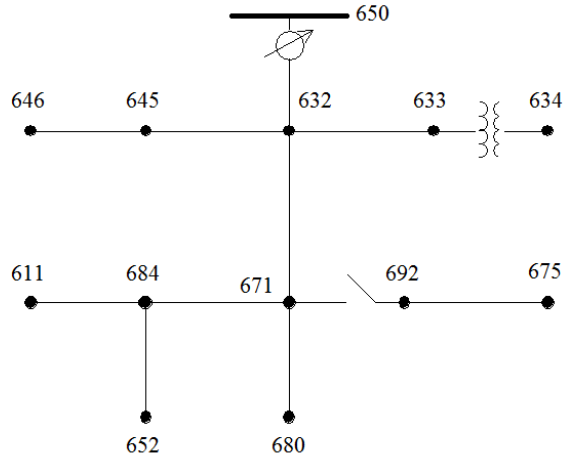
BENZETİM ÇALIŞMALARI VE SONUÇLARI

Tez çalışmasında benzetim çalışmaları için MATLAB® yazılımı içinde bulunan dinamik sistemleri modelleme, çalıştırma ve analiz etmek için hazırlanmış bir platform olan Simulink tercih edilmiştir. Söz konusu platformda veriler SimPowerSystems arayüzünde işlenmiştir ve ilgili haberleşme sistemleri, kontrol sistemleri ile güç sistemlerine ait bloklar vasıtasıyla sistemin son hali oluşturulmuştur.

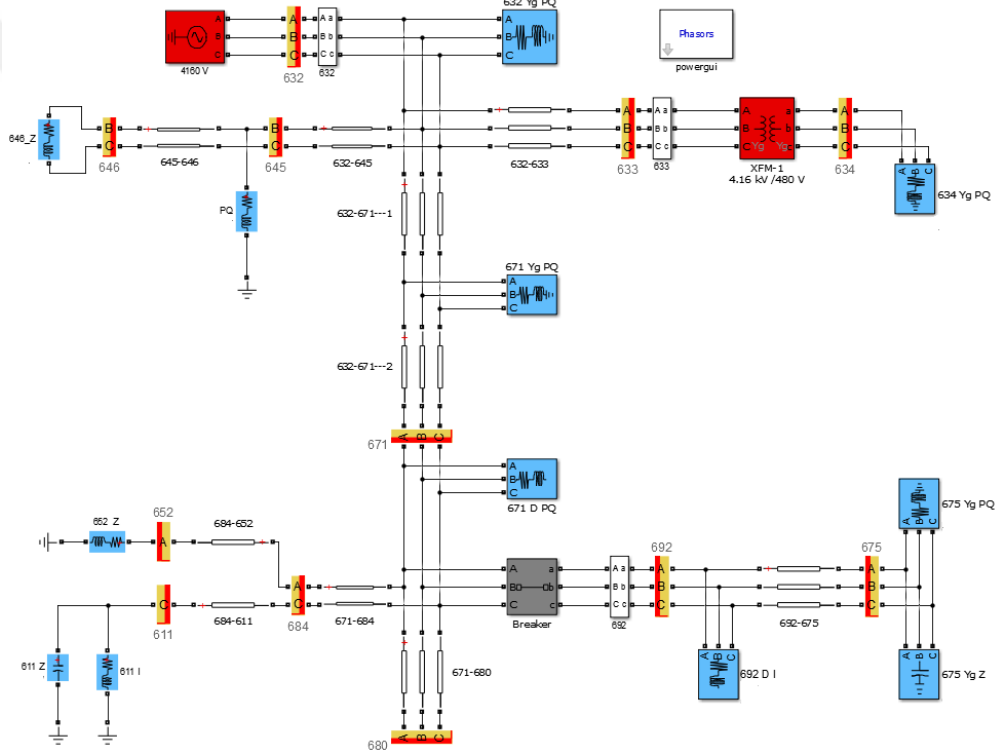
Gerçekleştirilen benzetim çalışmasında öncelikle, sistemi meydana getiren bütün alt sistemler ayrı ayrı hazırlanmıştır. Hazırlanan alt sistemlerden ilki, tez çalışmasında baz alınan IEEE'nin 13 baralı test sistemidir [69]. Diğer alt sistemler sırasıyla, rüzgar türbin sistemi, güneş paneli sistemi, SG sistemi, batarya sistemi ile ÇAS kontrol sistemidir. ÇAS kontrol kanunları m-file dosyası olarak yazılmıştır ve Simulink içinde yer alan MATLAB Function blokları aracılığıyla kullanılmıştır. Test sistemi hazırlandıktan sonra, Bölüm 4'de tanıtılan ÇAS kanunları çeşitli senaryolar içinde kullanılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

5.1 Benzetim Çalışmalarında Kullanılan Sistemin Modellenmesi

Bu benzetim çalışmasında IEEE 13 baralı test sistemi temel alınmıştır ve akıllı şebeke altyapısına uygun bir şekilde tasarlanmıştır. Ancak, bu sistem üzerinde hem bazı yapısal değişikliklere gidilmiş hem de sisteme bazı donanım eklemeleri yapılmıştır. Oluşturulan benzetim çalışmasında öncelikle IEEE'nin 13 baralı test sistemi modellenmiştir. Bu amaçla, Şekil 5.1'de tek hat diyagramı ve Şekil 5.2'de de benzetim modeli verilen sistem oluşturulmuştur.



Şekil 5. 1 IEEE 13 baralı test sistemine ait tek hat diyagramı



Şekil 5. 2 Simulink ortamında hazırlanan IEEE 13 baralı test sistemi

Bu modelde, tek hat diyagramında gösterilmiş olan 650 numaralı baraya ve bu baraya bağlı regülatöre yer verilmemiştir. Dolayısıyla modelimizde esasen 12 adet bara bulunmaktadır. Mevcut modelde 4.16 kV, 60 Hz'lik elektrik şebekesi doğrudan 632 nolu baraya bağlanmıştır. Şekil 5.2'de gösterilen modelin hazırlanması aşamasında kullanılan hatlara ait veriler ve uzunluklar sırasıyla Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5. 1 IEEE 13 baralı test sisteminde kullanılan hatlara ait veriler

Havai hat bilgileri	Hat Kodu	Faz Sayıları	Faz İletken Bilgisi	Nötr Bilgisi	Hat Aralığı
			ACSR	ACSR	ID
	601	B A C N	556,500 26/7	4/0 6/1	500
	602	C A B N	4/0 6/1	4/0 6/1	500
	603	C B N	1/0	1/0	505
	604	A C N	1/0	1/0	505
	605	C N	1/0	1/0	510
Yeraltı kablo bilgileri	Hat Kodu	Faz Sayıları	Kablo İletken Bilgisi	Nötr Bilgisi	Hat Aralığı
	606	A B C N	250,000 AA, CN	None	515
	607	A N	1/0 AA, TS	1/0 Cu	520

Çizelge 5. 2 IEEE 13 baralı test sisteminde kullanılan hatların uzunluk bilgileri

Hat Kodu	Hatların Bağlandığı Bara Bilgileri		Uzunluk [ft.]
	A Barasının Numarası	B Barasının Numarası	
601	632	671	2000
601	671	680	1000
602	632	633	500
603	632	645	500
603	645	646	300
604	671	684	300
605	684	611	300
606	692	675	500
607	684	652	800

Modelde yer alan yüklerin değerleri, bağlantı şekilleri ile yüklerin tipleri hakkındaki bilgiler Çizelge 5.3 ile Çizelge 5.4’de verilmiştir. 632-671 numaralı baralar arasına bağlanmış dağıtık yüklerin yarısı hat başına yarısı da hattın ortasına yerleştirilmiştir.

Çizelge 5. 3 IEEE 13 baralı test sisteminde kullanılan yük kodlarının anlamları

Yük Kodu	Bağlantı	Yük Karakteristiği
Y-PQ	Yıldız	Sabit aktif güç (kW) ve reaktif güç (kVar) çeken
Y-I	Yıldız	Sabit akım çeken yük
Y-Z	Yıldız	Sabit empedans gösteren yük
D-PQ	Üçgen	Sabit aktif güç (kW) ve reaktif güç (kVar) çeken
D-I	Üçgen	Sabit akım çeken yük
D-Z	Üçgen	Sabit empedans gösteren yük

Çizelge 5. 4 IEEE 13 baralı test sistemindeki yüklerin bağlandıkları yerler ve değerleri

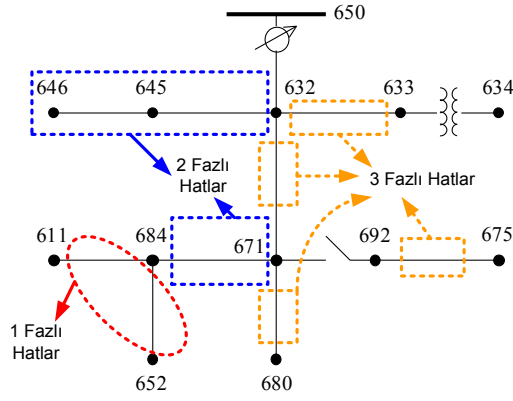
Yükün Tipi	Bara Numarası	Yük Kodu	A Fazı		B Fazı		C Fazı	
			P [kW]	Q kVAr	P [kW]	Q kVAr	P [kW]	Q kVAr
Baraya Bağlı Yükler	634	Y-PQ	160	110	120	90	120	90
	645	Y-PQ	0	0	170	125	0	0
	646	D-Z	0	0	230	132	0	0
	652	Y-Z	128	86	0	0	0	0
	671	D-PQ	385	220	385	220	385	220
	675	Y-PQ	485	190	68	60	290	212
	692	D-I	0	0	0	0	170	151
	611	Y-I	0	0	0	0	170	80
Dağıtık Yükler	632 - 671	Y-PQ	17	10	66	38	117	68
Kondansatör Grupları	675	-----	0	200	0	200	0	200
	611	-----	0	0	0	0	0	100

633 ve 634 numaralı varalar arasına yerleştirilen transformatöre ait bilgiler Çizelge 5.5’de verilmiştir.

Çizelge 5. 5 Transformatöre ait bilgiler

İsim	S [kVA]	V _{Primer} [kV]	V _{Sekonder} [kV]	R [%]	X [%]
XFM -1	500	4.16	0.48	1.1	2

Çizelgelerde verilen bütün verilerden faydalanarak oluşturulan model ile gerçekleştirilen benzetimde, her bir baradaki gerilim seviyesi ile baradan çekilen güç değerleri ölçülerek, olması gereken değerler ile karşılaştırılması yapılmıştır [69]. Bu karşılaştırmada, söz konusu değerlerin örtüştüğü görülmüştür. Bu aşamadan sonra, referans alınan bu sistem üzerinde değişikliklere gidilmiştir. Öncelikle dengeli bir sistem oluşturmak amacıyla tek ve iki fazlı hatların üç fazlı hatlara dönüştürülmesi gerçekleştirilmiştir. Sistemin faz sayılarını gösteren diyagram Şekil 5.3’de verilmiştir.



Şekil 5. 3 Hatların faz sayısını ifade eden tek hat diyagramı

Tek ve iki fazlı hatların üç fazlı hatlara dönüştürme işlemi yapılırken mevcut hatların akım taşıma kapasitesi, yeraltı ve havai hat bilgileri de göz önüne alınarak uygun karakteristiklere sahip hatlar kullanılmıştır. Bununla birlikte, değişiklik yapılan hatların uzunlukları korunmuştur. Yapılan değişiklikler sonucunda elde edilen modifiye 13 baralı sistemin hat bilgileri Çizelge 5.6’da verilmiştir.

Çizelge 5. 6 Modifiye IEEE 13 baralı test sisteminde kullanılan hatlara ait bilgiler

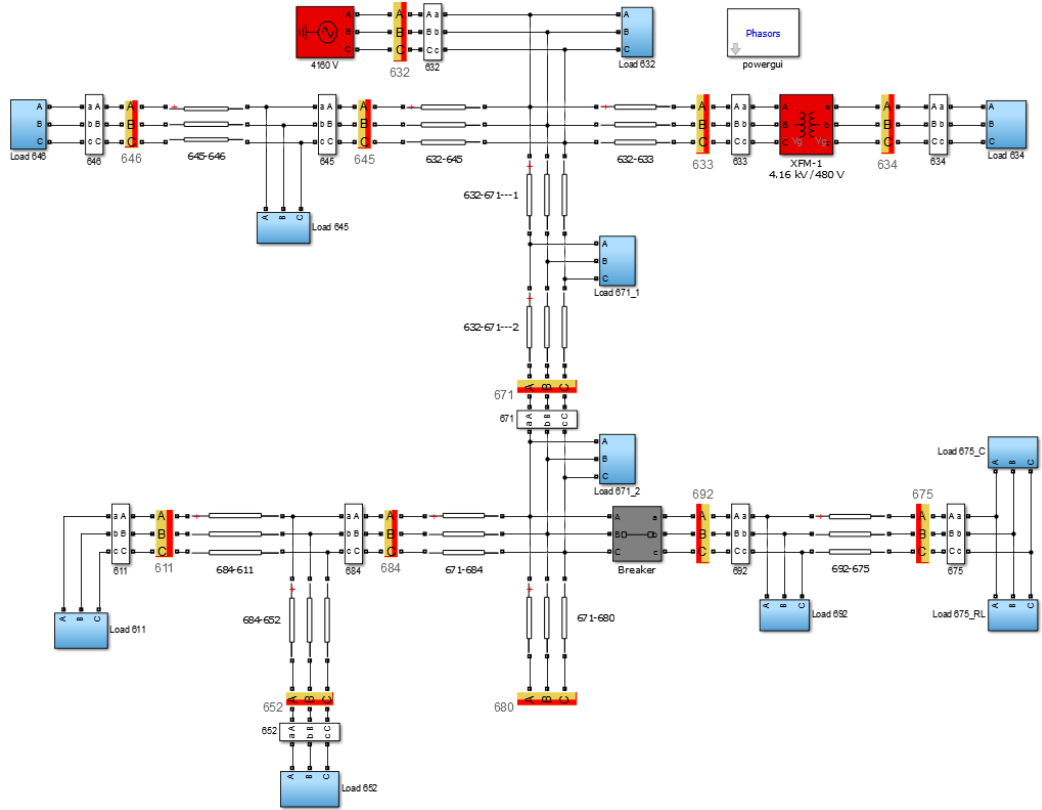
Hatların Bağlandığı Bara Bilgileri		Hattın Uzunluk Bilgisi [ft.]	Hattın Parametre Kodu	
A Barasının Numarası	B Barasının Numarası		Eski Kodu	Yeni Kodu
632	671	2000	601	
671	680	1000	601	
632	633	500	602	
692	675	500	606	
632	645	500	603	602
645	646	300	603	602
671	684	300	604	602
684	611	300	605	602
684	652	800	607	606

Dengeli bir 3 fazlı sistem modeli oluşturmak amacı ile ikinci aşamada, mevcut yüklerin düzenlenmesi işlemi yapılmıştır. Bu amaçla, tek faz yüklerin yer aldığı baralarda diğer iki faza da eşdeğer yükler bağlanmıştır. Çizelge 5.7’de modifiye 13 baralı sistemin yük bilgileri verilmiştir. Tabloda yük kodu olarak bağlantı şekli ve yük karakteristiği bilgileri görülmektedir.

Çizelge 5. 7 Modifiye IEEE 13 baralı test sisteminde kullanılan yük bilgileri

Yükün Tipi	Bara Numarası	Yük Kodu	A Fazı		B Fazı		C Fazı	
			P [kW]	Q [kVAr]	P [kW]	Q [kVAr]	P [kW]	Q [kVAr]
Baraya Bağlı Yükler	634	Y-PQ	160	110	120	90	120	90
	645	Y-PQ	170	125	170	125	170	125
	646	D-Z	230	132	230	132	230	132
	652	Y-Z	128	86	128	86	128	86
	671	D-PQ	385	220	385	220	385	220
	675	Y-PQ	485	190	68	60	290	212
	692	D-I	170	151	170	151	170	151
Dağıtık Yükler	632 - 671	Y-PQ	17	10	66	38	117	68
	675	-----	0	200	0	200	0	200
Kondansatör Grupları	675	-----	0	200	0	200	0	200
	611	-----	0	100	0	100	0	100

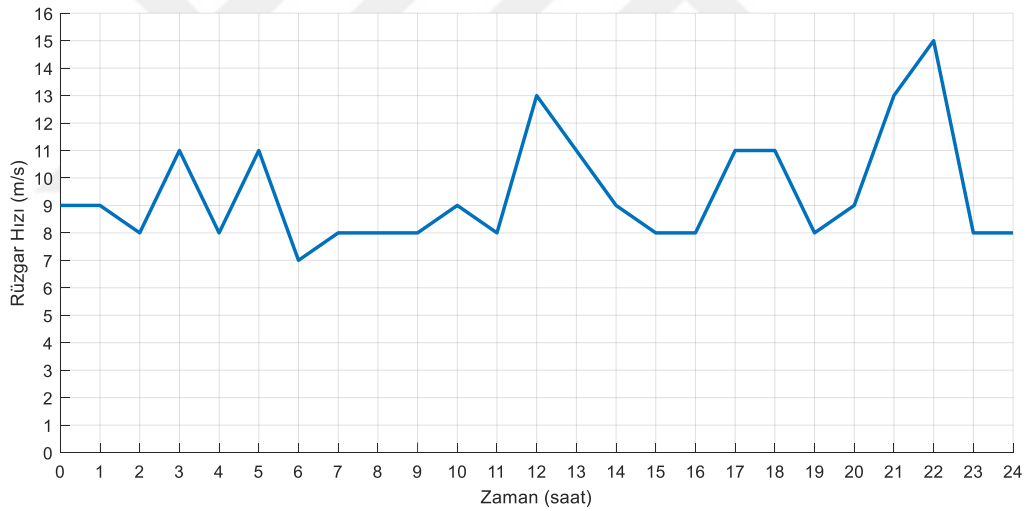
Gerçekleştirilen değişiklikler sonucu elde edilen modifiye IEEE 13 baralı test sistemi Şekil 5.4’de gösterilmiştir.



Şekil 5. 4 Simulink ortamında modellenen modifiye IEEE 13 baralı test sistemi

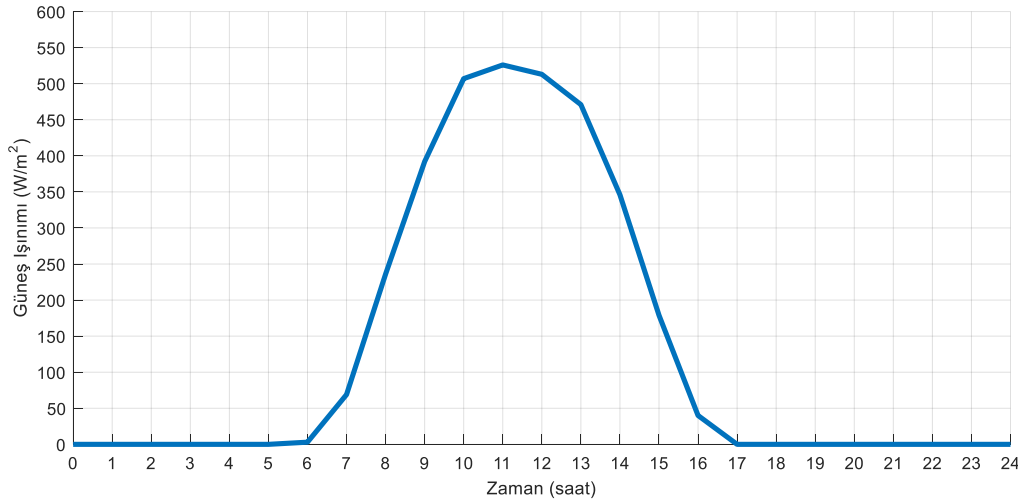
3 fazlı bir sistem oluşturduktan sonra belirlenen baralara DÜ birimleri eklenmiştir. Mevcut modifiye IEEE 13 baralı sisteme, rüzgar türbinlerii, güneş paneli, SG ile batarya entegre edilmiştir.

Rüzgar türbinleri maksimum 15 m/s rüzgar hızında çalışmakta olup, 13,5 m/s nominal rüzgar hızında sırasıyla 1 MW ve 0,9 MW nominal güç değerlerini verecek şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca rüzgar türbinlerinin faz-faz gerilimleri 25 kV ve frekansları 60 Hz değerindedir. Rüzgar türbinlerinden 1MW gücüne sahip olanı 633 numaralı baraya, 0,9MW güce sahip olanı ise 671 numaralı baraya 25kV/4,16kV düşürücü trafolar üzerinden bağlanmıştır. İki rüzgar türbini arasındaki mesafenin fazla olmaması sebebiyle aynı rüzgar hızlarına tabi oldukları kabul edilmiştir. Kullanılan günlük rüzgar hızı verisi Şekil 5.5’de gösterilmiştir. Ayrıca, rüzgar türbinlerinin Maksimum Güç Noktası Takibi (Maximum Power Point Tracking - MPPT) sistemine sahip oldukları varsayılmıştır.



Şekil 5. 5 Rüzgar türbinlerinde kullanılan günlük rüzgar hızı verisi

675 numaralı baraya 25kV/4,16kV düşürücü trafo üzerinden 500 m² alana kurulu, 500 kW gücünde, 25 kV faz-faz gerilimli ve 60 Hz frekans değerine sahip bir güneş paneli bağlanmıştır. Bu sisteme uygulanan günlük güneş ışınlamı verisi Şekil 5.6’da verilmiştir. Ayrıca, güneş paneli de MPPT yöntemi ile kontrol edilmiştir.



Şekil 5. 6 Güneş paneli sistemine uygulanan günlük ışınlım verisi

680 ve 684 numaralı baralara 2 MVA gücünde, 25 kV faz-faz gerilimli ve 60 Hz frekans değerlerinde birer adet özdeş SG 25kV/4,16kV düşürücü trafolar üzerinden bağlanmıştır. SG'lerin kontrolünde aktif ve reaktif güç ayarı (PQ) yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca, SG'ler dinamik olarak modellenmemiştir. Modellenirken kontrollü akım kaynaklarından faydalanılmıştır. Böylece SG'ler hem dakikalık zaman dilimlerde kontrol edilmiştir hem de benzetim çalışmasının hızlı çalışması sağlanmıştır.

İhtiyaç duyulan zamanlarda şebekeyi destekleyecek, dağıtım sisteminin uygun olduğu zamanlarda da şarj olarak enerji depolayacak bir batarya sistemi oluşturulmuştur. Bu batarya sistemi sadece Senaryo 1'de kullanılmıştır. Bu batarya sistemi, literatürde Community Energy Storage (CES) olarak isimlendirilen ve dağıtım şirketi tarafından bazı bölgelere yerleştirilen batarya gruplarından oluşan toplu enerji depolama sistemi olarak düşünülebileceği gibi şarj istasyonuna bağlı şarj edilebilir elektrikli araçların bataryaları olarak da düşünülebilmektedir. Şarj edilebilen elektrikli araçlar genellikle şarj işlemi için elektrik sistemine bağlanmaktadır. Ayrıca, kullanıcının iznine bağlı olarak ihtiyaç duyulan zaman aralıklarında elektrik sistemini desteklemek adına DÜ birimi olarak çalışabilmektedirler. Bahsi geçen batarya sistemi, 646 numaralı baraya bağlanmıştır ve 60 Hz frekans değerine sahip elektrik şebekesi ile uyumlu çalışmaktadır. Batarya sisteminde, her faza ait 1000 Ah değerine sahip batarya grupları bulunmaktadır. Batarya sistemi modellenirken hem şarj olma işlemi hem de deşarj olma işlemi göz önüne alınmıştır. Bataryaların hepsinin başlangıçtaki doluluk oranları % 80 olarak belirlenmiştir. Bataryaların minimum % 30 doluluk oranına kadar şebekeyi

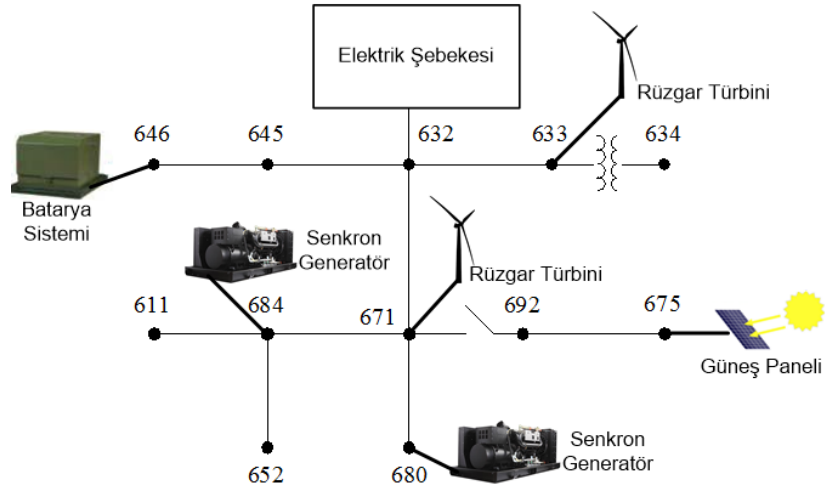
desteklemesine ve maksimum % 80 doluluk oranına kadar şarj olmasına izin verilmektedir. Ayrıca, bataryalar belirtilen uygun doluluk oranları arasındayken dışarıdan gelen bir kontrol sinyaline göre hem şarj durumundan deşarj durumuna geçiş hem de deşarj durumundan şarj durumuna geçiş yapabilmektedirler. Bu çalışma esnekliği sayesinde, sistemin dinamik haline uyum gösterebilmektedirler. Batarya sisteminin çalışması kontrol edilirken iki farklı yol izlenebilmektedir. İlk kontrol şeklinde, bağlı olduğu noktanın gerilim ve frekans değerlerinin (V/f) uygun olmasına dikkat edecek şekilde çalışmaktadır. İkinci kontrol durumunda ise SG'lerin çalıştırılmasında kullanılan PQ yöntemi kullanılabilir. Bu batarya sistemi tez çalışmasında kullanılan bazı test sistemlerinde yer alırken bazı test sistemlerinde ise yer almamaktadır. Dolayısıyla, bu bölümün devamında kullanılan test sistemlerinde hem batarya sisteminin bulunup bulunmadığı hem de kontrol yöntemlerinden hangisinin tercih edildiği ifade edilmektedir.

5.2 Senaryo 1 - Model 1 Benzetim Sonuçları

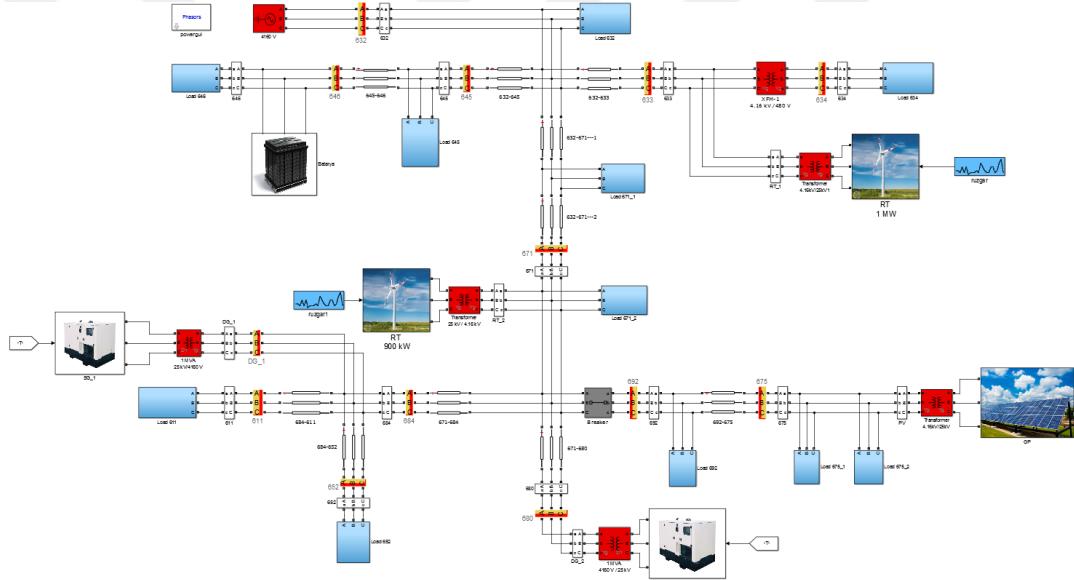
Bölüm 4'de tanıtilan Model 1.1 ve Model 1.2 kontrol algoritmaları sırasıyla aynı test sistemi üzerinde uygulanarak, sistem kayıplarını azaltma performansları karşılaştırılmıştır. Her iki senaryodan elde edilen veriler grafiklerle ve tablolarla ifade edilerek, yorumlanmıştır.

5.2.1 Senaryo 1.1 - Model 1.1 Sonuçları

Bölüm 4'de tanıtilan Model 1.1 olarak ifade edilen kontrol algoritmasının uygulandığı, DÜ birimlerinin entegre edildiği modifiye IEEE 13 baralı test sisteminin son halini ifade eden diyagram ile Simulink modeli sırasıyla Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'de gösterilmiştir.



Şekil 5. 7 Senaryo 1.1’de kullanılan DÜ birimlerinin entegre edilmiş modifiye IEEE 13 baralı test sistemine ait tek hat diyagramı



Şekil 5. 8 Senaryo 1.1’de kullanılan modifiye IEEE 13 baralı test sisteminin DÜ birimlerinin entegre edilmiş hali

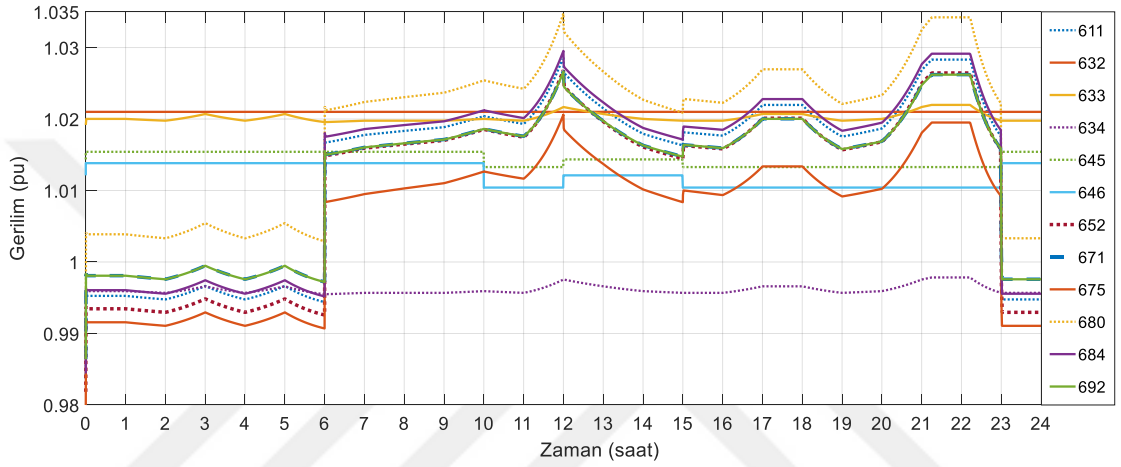
Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’de görüldüğü üzere DÜ birimlerinin test sistemlerine bağlantı yapısı Şekil 4.2’de gösterilen haberleşme yapısı ile uyumluluk göstermektedir. Ayrıca, test sisteminde kullanılan batarya sistemi daha önce açıklanan PQ yöntemi ile kontrol edilmektedir.

Öncelikle, modelde hiçbir DÜ biriminin bulunmadığı sadece elektrik şebekesinin bulunduğu durumdaki veriler elde edilmiştir. Bu durumda, şebekeden çekilen toplam aktif güç değeri, yüklerin talep ettiği aktif güç değeri ile dağıtım sisteminde meydana gelen kayıp güç değeri Çizelge 5.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 5. 8 Dağıtım sisteminde sadece şebeke bulunurken üretilen, tüketilen ve kayıp olarak ortaya çıkan güç verileri

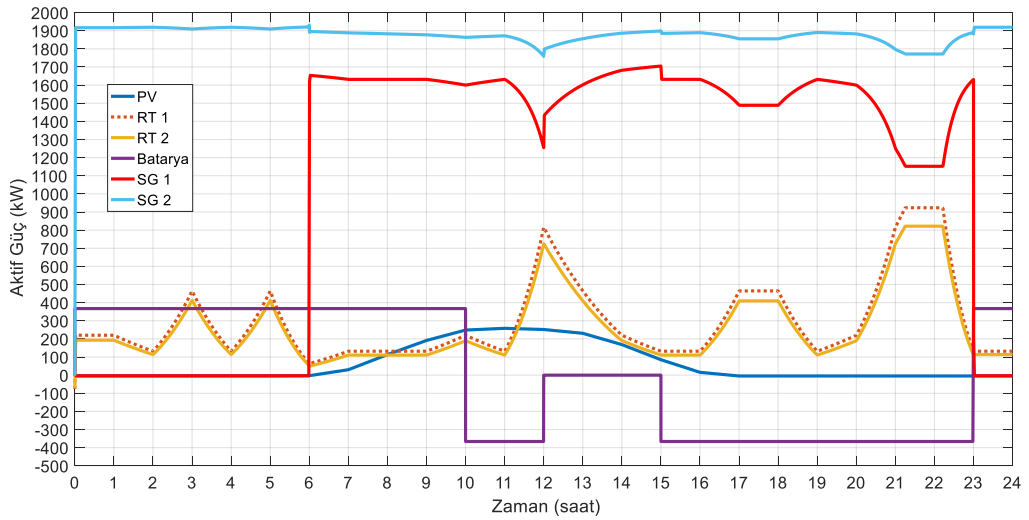
Şebekeden Çekilen Toplam Aktif Güç Değeri (kW)	Yüklerin Talep Ettiği Toplam Aktif Güç Değeri (kW)	Dağıtım Sisteminde Kayıp Olarak Ortaya Çıkan Güç Değeri (kW)
4937.15	4866.54	70.61

Başlangıç anındaki Çizelge 5.8’de ifade edilen veriler elde edildikten sonra Senaryo 1.1’in sonuçları sırasıyla elde edilmiştir. Şekil 5.9’da 24 saat boyunca baralara ait gerilimlerin değişimleri gösterilmiştir.



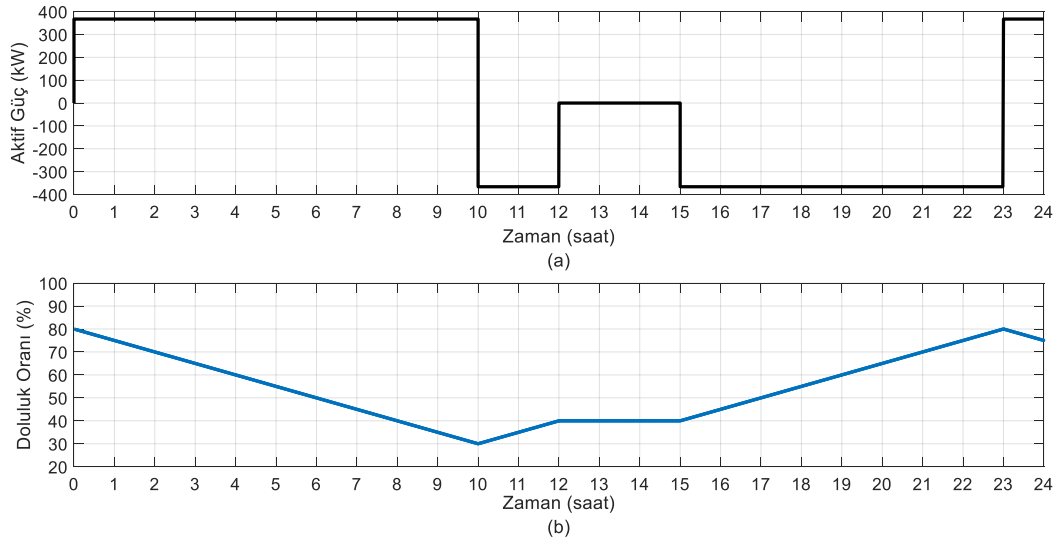
Şekil 5. 9 Senaryo 1.1’de tüm baralara ait gerilim değişimleri

Değişimlerden de anlaşıldığı üzere DÜ birimlerinin verdikleri güç değerlerindeki değişime bağlı olarak bara gerilimleri de değişmektedir. Şekil 5.10’da tüm DÜ birimlerinin ürettikleri aktif güçlerin değişimi gösterilmiştir.



Şekil 5. 10 Senaryo 1.1 için tüm DÜ birimlerine ait güç değişimleri

RT'ler rüzgâr hızları ile orantılı olarak güç üretmektedirler. PV güneş ışınımına bağlı olarak sisteme saat 06:00 ile 16:00 arasında 250 kW mertebesine kadar aktif güç enjekte etmektedir. Batarya sistemi doluluk oranına bağlı olarak ya dağıtım sisteminden güç çekerek şarj olmaktadır ya dadeşarj olarak dağıtım sistemine destek olmaktadır. Saat 00:00 - 10:00 arası ve 23:00 – 24:00 arasında bataryanın doluluk oranı uygun değerlerde olduğundan dolayıdeşarj olarak sistemi desteklemektedir. Saat 10:00 itibariyle batarya doluluk oranının % 30 olması sebebiyle şarj olma durumuna geçmiştir ve dağıtım sisteminden güç çekmeye başlamıştır. Bu sebeple şarj olduğu zaman dilimlerinde güç değerleri grafikte negatif olarak görülmektedir. Şarj işlemi başladıktan sonra saat 12:00 olduğu anda sona ermekte ve şarj işlemi saat 15:00'a kadar durmaktadır. Bu durumun sebebi, bataryanın hiçbir suretle 12:00 – 15:00 zaman dilimi arasında çalışmamasıdır. Saat 15:00 itibariyle bataryanın şarj işlemi kaldığı yerden tekrar başlayarak bataryanın doluluk oranı % 80 olana kadar devam etmektedir, ki saat 23:00 anında % 80 doluluk oranına erişmektedir. Şekil 5.11'de batarya sistemin şarjdeşarj değişimi ile doluluk oranının değişimi gösterilmiştir. Kontrol edilebilir ajanların içerisinde yer alan ve ÇAS kontrol kanunlarına göre çalışan SG1 ile SG2'nin istenildiği gibi çalıştığı dağıtım sistemine enjekte edilen aktif güç değerlerinden anlaşılmaktadır. SG1 hem bataryanın doluluk oranına hem de ÇAS kanununa göre çalışmaktadır. Batarya şebekeyi desteklerken doluluk oranı % 50'nin üstünde olduğu zaman diliminde SG1'in çalışmaması gerekmekte (saat 00:00 - 06:00 arası), ancak şarj olurken doluluk oranı % 50'yi geçtiğinde şarj işlemi bitene kadar çalışmaktadır, ki Şekil 5.10'da bu durum gözlemlenebilmektedir. Diğer zaman dilimlerinde ise RT'ler, PV ve bataryanın güç üretim bilgilerini dikkate alarak yüklerin enerji ihtiyacını kapasitesi oranında sürekli karşılamaktadır. SG2 ise sürekli devrede olmakla beraber, RT2, PV ve SG1'den aldığı üretilen güç verileri ile yüklerin talep ettiği güç verilerini göz önünde bulundurarak dağıtım sistemine kapasitesi oranında aktif güç vermektedir. Bilgi aldığı DÜ birimlerinin ürettikleri güç değerleri arttığında kendi üretimini azaltırken, ürettikleri güç değerleri azaldığında ise kendi üretimini arttırmaktadır.

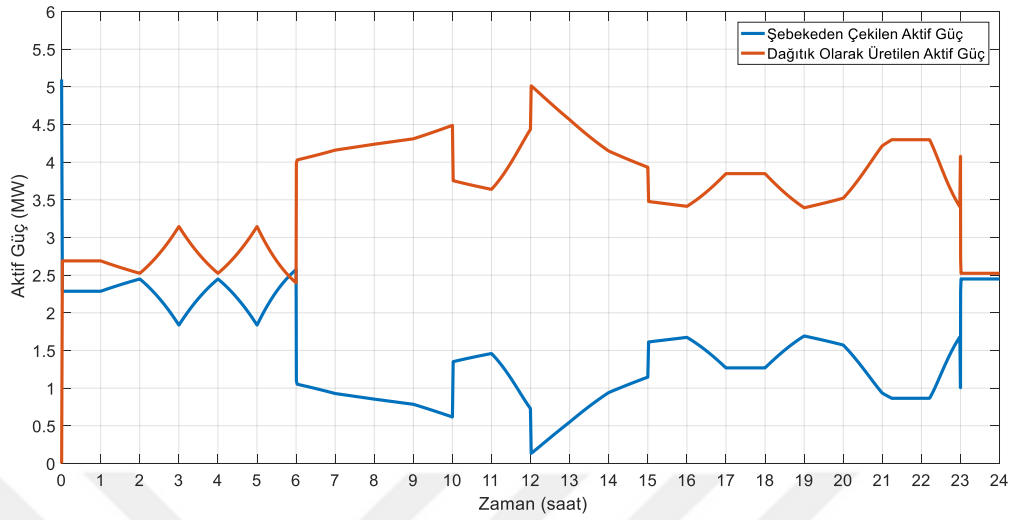


Şekil 5. 11 Senaryo 1.1’de (a) bataryanın verdiği ya da çektiği aktif güç değişimi ,(b) bataryanın doluluk oranı değişimi

Şekil 5.11’de görüldüğü gibi, batarya deşarj olarak dağıtım sistemini desteklerken doluluk oranı azalmakta, şarj olurken doluluk oranı artmaktadır. Çalışmadığı zaman diliminde ise doluluk oranının sabit kaldığı görülmektedir. Bataryanın bu üç durumdan herhangi birindeyken aktif güç değişimi Şekil 5.11 (a)’da gösterilmiştir. Batarya şarj olurken ya da deşarj olarak sistemi desteklerken ya sürekli sabit güç çekmektedir ya da sürekli sabit güç vermektedir. Sisteme güç verirken pozitif güç değeri okunurken, sistemden güç çekerken aynı miktarda negatif güç değeri okunmaktadır. Çalışmadığı zaman diliminde ise sıfır kW aktif güç değeri okunmaktadır. Bu değişimlerden görüldüğü üzere batarya sistemi kontrol algoritmasında açıklandığı biçimiyle başarılı bir şekilde çalışmaktadır.

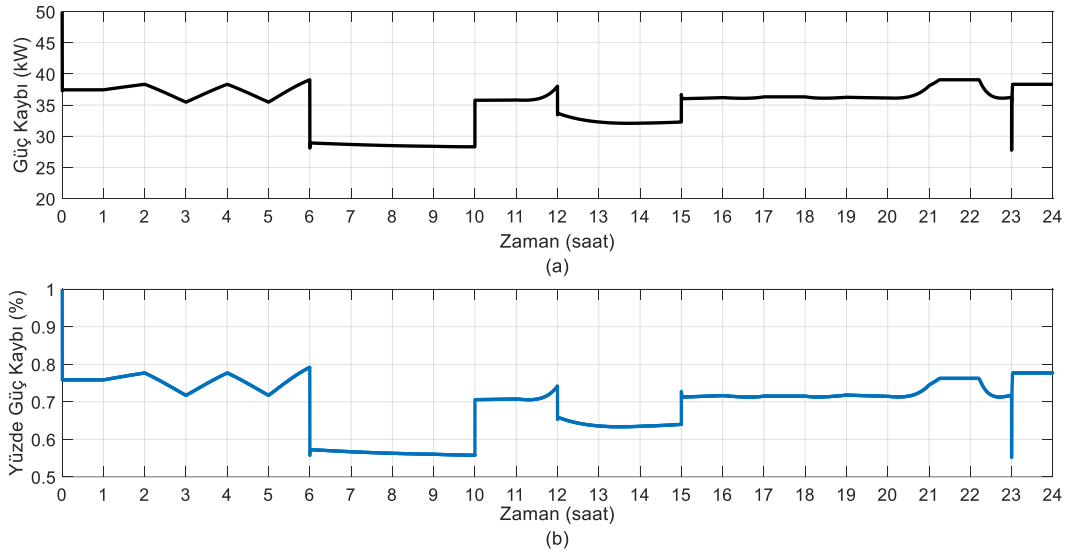
Şekil 5.12’de elektrik şebekesinden çekilen toplam aktif güç ile tüm DÜ birimlerinin ürettiği aktif güç değişimi gösterilmiştir. DÜ birimlerinin içinde PV, RT’ler, SG’ler ile batarya sistemleri bulunmaktadır. Yükler tarafından talep edilen güç değerlerinde zaman içerisinde bir değişiklik olmamaktadır. Ancak hem PV ile RT’lerin zaman içerisinde ürettikleri aktif güç değerlerinde hem ÇAS kontrol kanuna göre SG1 ile SG2’nin ürettiği güç değerlerinde hem de bataryanın şarj olup deşarj olduğu zaman dilimlerinde değişiklikler olduğundan dolayı üretilen aktif güç değerlerinde değişimler olmaktadır. Dolayısıyla, yüklerin ihtiyaç duyduğu aktif güç değerleri sürekli DÜ birimlerinden karşılanamamaktadır. Karşılanamayan aktif güç miktarı şebekeden

sağlanmaktadır. Sonuç itibariyle, her yük gereksinim duyduğu gücü dağıtım sisteminden alabilmektedir.



Şekil 5.12 Senaryo 1.1'de şebekeden çekilen ve DÜ birimleri tarafından üretilen aktif güç değişimi

Şekil 5.13'de Modifiye IEEE 13 baralı test sistemindeki toplam aktif güç kaybı ile yüzde güç kaybının 24 saatlik değişimi gösterilmiştir. Yüzde güç kaybı, toplam güç kaybının Çizelge 5.8'de ifade edilen yüklere ait toplam güç değerine oranı bulunarak elde edilmektedir.



Şekil 5.13 Senaryo 1.1'de dağıtım hatlarındaki (a) kayıp gücün saatlik değişimi, (b) yüzde güç kaybının saatlik değişimi

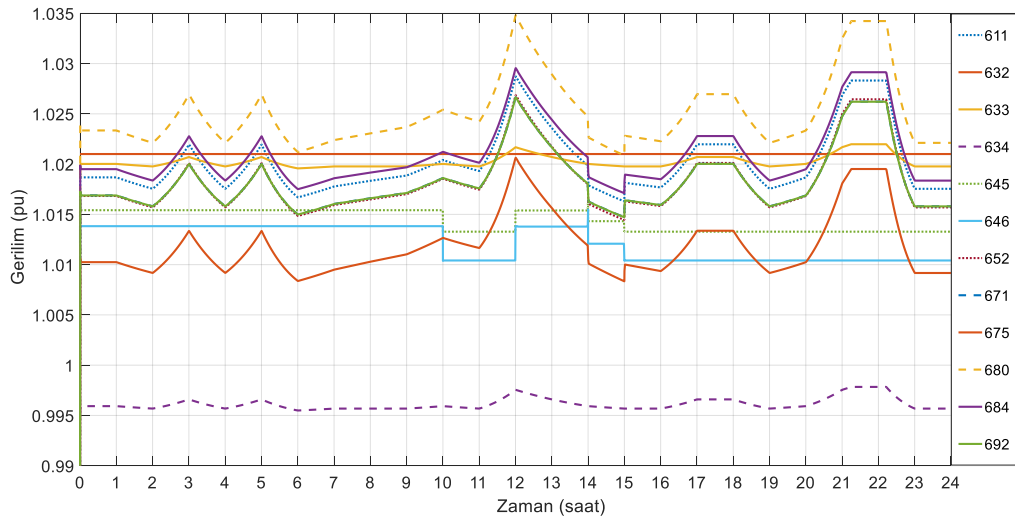
Mevcut güç kaybının içinde hat kayıplarıyla transformatör kayıpları beraber bulunmaktadır. DÜ birimlerinin kullanılmasıyla beraber 70.61 kW mertebesinde olan

kayıp güç değeri 28 kW ile 40 kW arasında değişim göstermektedir. Kontrol edilemez ajanların içerisinde bulunan PV ve RT'lerin aktif güç üretimleri arttığı ve bataryanın elektrik şebekesini desteklediği anlarda toplam kaybın minimum seviyede olduğu görülmektedir. Diğer zaman dilimlerinde ise ÇAS kontrol kanuna göre SG1 ile SG2 uygun yüklenme kapasitelerinde çalışarak toplam sistem kaybının artmasını engellediği görülmektedir. Yüzde güç kaybının % 0.5 ile % 0.8 arasında değişim gösterdiği hesaplanmıştır.

Sonuç olarak, Senaryo 1.1'de elde edilen sonuçlardan anlaşılacağı üzere Bölüm 4'de tanımlanan Model 1.1 olarak isimlendirilen kontrol algoritması başarılı bir biçimde dağıtım sistemine ait kayıpları azaltmıştır.

5.2.2 Senaryo 1.2 - Model 1.2 Sonuçları

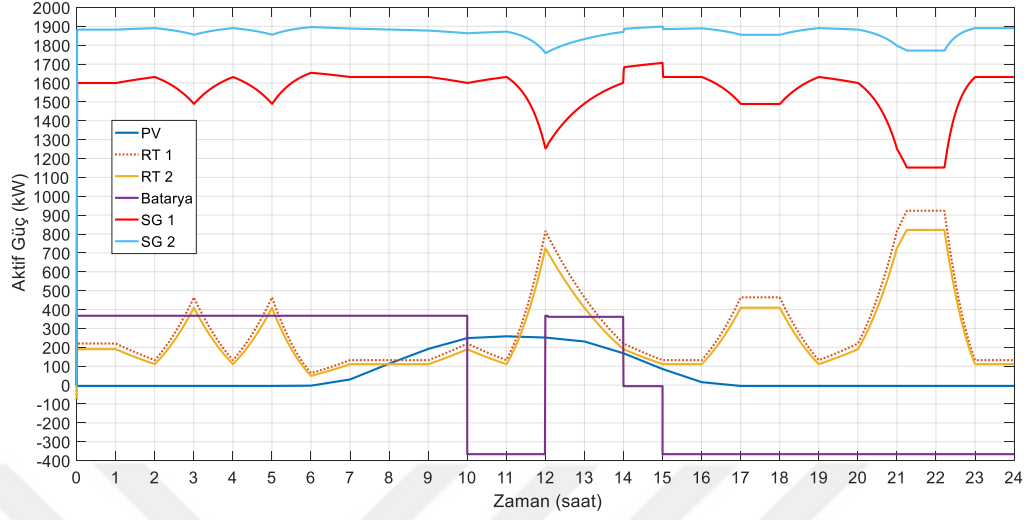
Bölüm 4'de tanımlanan Model 1.2 olarak ifade edilen kontrol algoritmasının uygulandığı test sistemi Model 1.1'in uygulandığı Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'de gösterilen test sistemiyle aynıdır. Model 1.2'de belirtilen ÇAS tabanlı hibrit kontrol algoritmasının uygulanması sonucunda Şekil 5.14 - Şekil 5.18'de verilen değişimler elde edilmiştir. Şekil 5.14'de 24 saatlik süre boyunca tüm baralara ait gerilimlerin değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 5. 14 Senaryo 1.2'de tüm baralara ait gerilim değişimleri

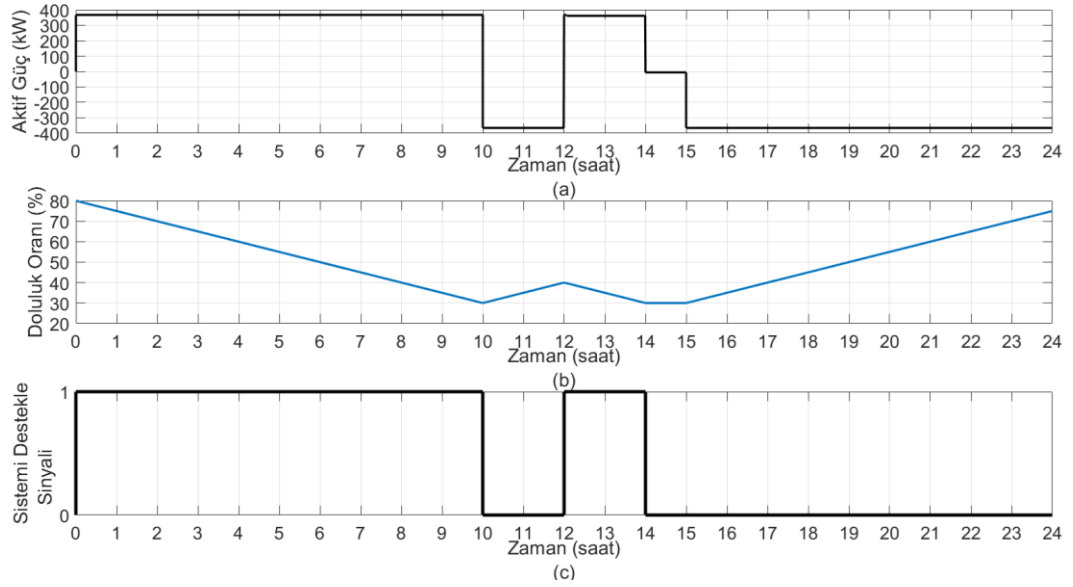
Şekil 5.15'de tüm DÜ birimlerinin 24 saatlik süre boyunca ürettikleri aktif güçlerin değişimi gösterilmiştir. Senaryo 1.1'den farklı olarak, SG1 00:00 ile 06:00 ve 23:00 ile 24:00 zaman dilimlerinde yüzde güç kaybını azaltmak için devrede olduğu

görülmektedir. Ayrıca bataryanın da normalde çalışmadığı 12:00 ile 14:00 zaman aralığında deşarj olarak sistemi desteklemektedir.



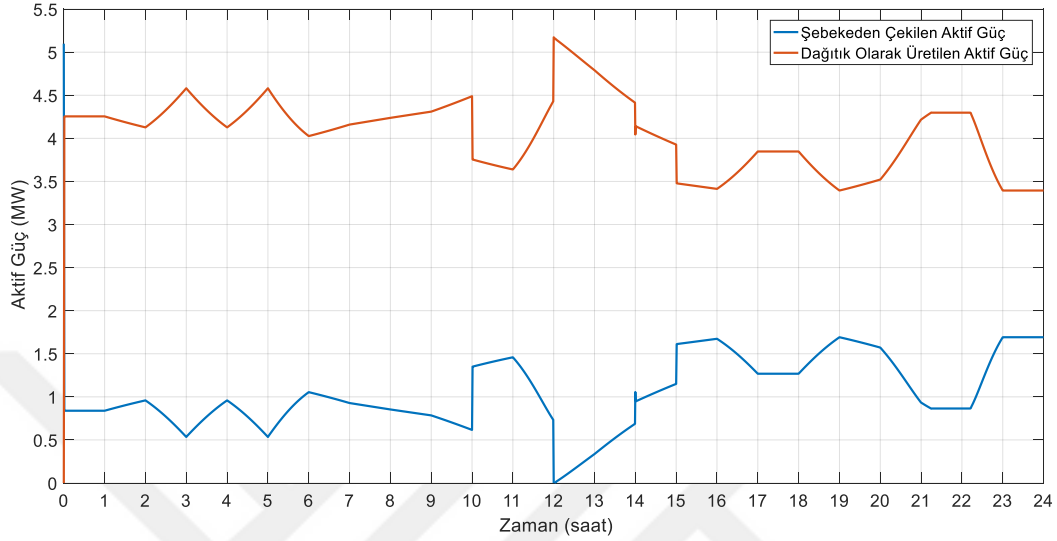
Şekil 5. 15 Senaryo 1.2'de tüm DÜ birimlerine ait güç değişimleri

Şekil 5.16'da batarya sistemin şarj deşarj değişimi, doluluk oranının değişimi ile bataryaya gönderilen sistemi destekle sinyalinin değişimi gösterilmiştir. Görüldüğü üzere, Senaryo 1.1'deki batarya verilerini gösteren Şekil 5.11'deki verilere göre farklılıklar bulunmaktadır.



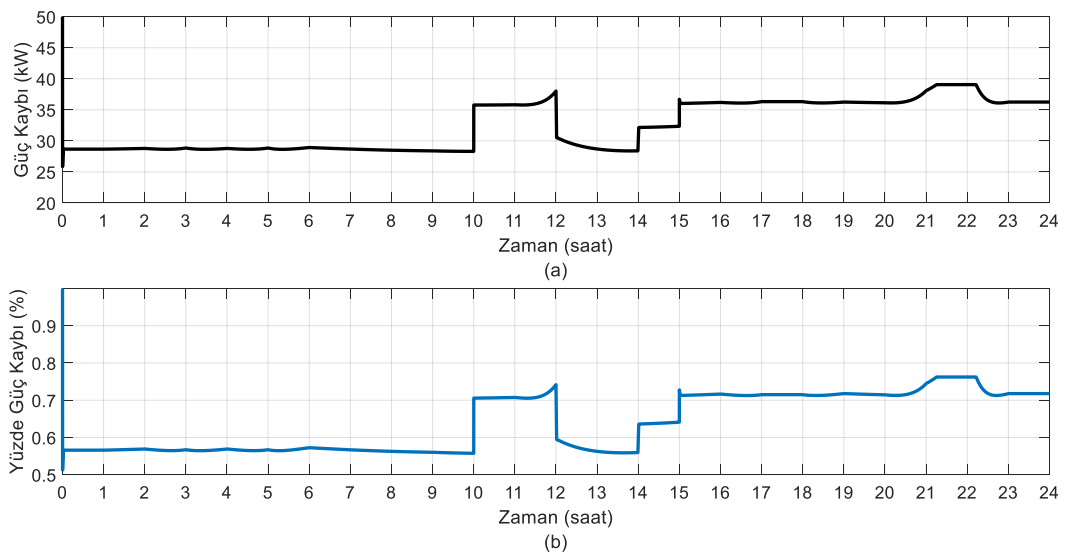
Şekil 5. 16 Senaryo 1.2'de (a) bataryanın verdiği ya da çektiği aktif güç değişimi, (b) bataryanın doluluk oranı değişimi, (c) Bataryaya gönderilen sistemi destekle sinyalinin değişimi

Şekil 5.17’de elektrik şebekesinden çekilen toplam aktif güç ile bütün DÜ birimlerinin ürettiği aktif güç değişimi gösterilmiştir. Değişimlerden görüldüğü üzere dağıtık üretimin artması sonucunda şebekeden çekilen güç değerinde azalma meydana gelmiştir.



Şekil 5. 17 Senaryo 1.2’de şebekeden çekilen ve DÜ birimleri tarafından üretilen aktif güç değişimi

Şekil 5.18’de Modifiye IEEE 13 baralı test sistemindeki toplam aktif güç kaybı ile yüzde güç kaybının 24 saatlik değişimi gösterilmiştir. Yüzde güç kaybı, toplam güç kaybının Çizelge 5.8’de ifade edilen yüklere ait toplam güç değerine oranı bulunarak elde edilmektedir.



Şekil 5. 18 Senaryo 1.2’de dağıtım hatlarındaki (a) kayıp gücün saatlik değişimi, (b) yüzde güç kaybının saatlik değişimi

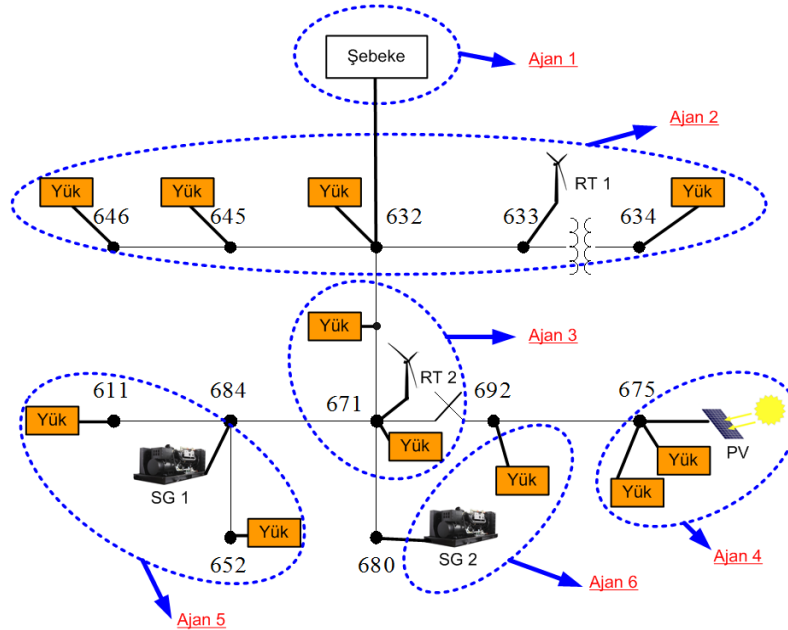
Görüldüğü üzere, Senaryo 1.2'deki kayıplar Senaryo 1.1'deki kayıp miktarına göre daha azdır yani hibrit algoritmanın kullanılmasıyla kayıplar açısından genel olarak bir iyileşme olduğu görülmektedir.

5.3 Senaryo 2 - Model 2 Benzetim Sonuçları

Bölüm 4'de tanıtilan mesafe tabanlı ÇAS kanunları Model 2.1 ve Model 2.2'nin sistem kayıplarını azaltma performansları Senaryo 2 kapsamında değerlendirilmiştir. Senaryo 2.1'de Model 2.1 ile referans ÇAS kanununun performansları karşılaştırılırken, Senaryo 2.2'de Model 2.2 ile Model 2.1'in performansları karşılaştırılmıştır. Her iki senaryodan elde edilen veriler grafiklerle ve tablolarla ifade edilerek, yorumlanmıştır.

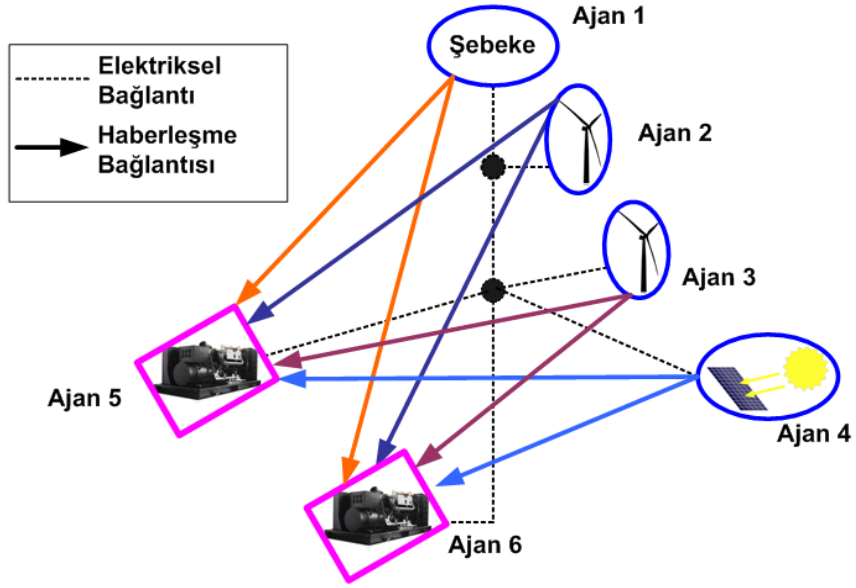
5.3.1 Senaryo 2.1 - Model 2.1 Sonuçları

Senaryo 2.1 kapsamında Bölüm 4'de tanıtilan Model 2.1 olarak ifade edilen mesafe tabanlı W matrisli ÇAS kanununun bir test sistemine uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar referans ÇAS kanununun uygulanmasıyla elde edilen sonuçlarla kıyaslanmıştır. Model 2.1'in uygulandığı, DÜ birimlerinin entegre edildiği modifiye IEEE 13 baralı test sisteminin tek hat diyagramı ve bu sistem içinde yer alan ajan grupları Şekil 5.19'da gösterilmiştir.



Şekil 5. 19 Senaryo 2.1'de kullanılan Modifiye IEEE 13 baralı test sistemindeki ajan grupları

Daha önce belirtilen haberleşme ağı oluşturma kurallarına dikkat ederek, bu senaryo için Şekil 5.20’de görülen haberleşme ağı tercih edilmiştir.



Şekil 5. 20 Senaryo 2.1’de tercih edilen ajanlar arası haberleşme ağı

Haberleşme ağı belirlendikten sonra, kontrol edilebilen ajanlar olan SG1 ile SG2 için denklemler elde edilmiştir. Öncelikle, Bölüm 4.1’de açıklandığı üzere A, R ve D matrisleri hesaplanmıştır. Referans ÇAS kanununda kullanılmak üzere A, R ve D matrisleri sırasıyla (5.1), (5.2) ve (5.3)’de gösterilmiştir.

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

$$R = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.2)$$

$$D = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (5.3)$$

Ardından, SG1 ve SG2 için aktif ve reaktif güç değerlerini hesaplayan denklemler, eşitlikler (4.3) ve (4.4)'den elde edilmektedir. Eşitlik (4.3)'de belirtilen aktif güç değerlerini hesaplayan referans ÇAS kanunun kullanılması sonucunda (5.4) ile (5.5) numaralı denklemler elde edilmektedir. Aynı şekilde (4.4)'de belirtilen reaktif güç değerlerini hesaplayan referans ÇAS kanunun kullanıldığında da benzer denklemler elde edilmektedir.

$$P_5(t + \tau) = \frac{L_1^P(t)}{2} + \frac{L_2^P(t)}{2} + \frac{L_3^P(t)}{2} + \frac{L_4^P(t)}{2} + L_5^P(t) - \left(-\frac{P_1(t)}{2} + \frac{P_2(t)}{2} + \frac{P_3(t)}{2} + \frac{P_4(t)}{2} \right) \quad (5.4)$$

$$P_6(t + \tau) = \frac{L_1^P(t)}{2} + \frac{L_2^P(t)}{2} + \frac{L_3^P(t)}{2} + \frac{L_4^P(t)}{2} + L_6^P(t) - \left(-\frac{P_1(t)}{2} + \frac{P_2(t)}{2} + \frac{P_3(t)}{2} + \frac{P_4(t)}{2} \right) \quad (5.5)$$

Eşitlikler (5.4) ile (5.5) incelendiğinde, SG1 ile SG2'nin yüklerle olan mesafelerine bakılmaksızın yarı yarıya yük paylaşımı yaptığı görülmektedir. Bu yaklaşım sistem kayıplarını istenildiği ölçüde azaltamamaktadır. Model 2.1'de önerilen ÇAS kanunu mesafe bilgisini W matrisi vasıtasıyla kullandığından dolayı sistem kayıplarını daha da azaltabilmektedir. Bu sebeple, öncelikle mevcut sistem için W matrisini oluşturan elemanlar hesaplanmıştır. Bu amaçla kontrol edilemeyen ajanlar ile kontrol edilebilen ajanlar arasındaki mesafeler dikkate alındığında söz konusu matris elemanları Çizelge 5.9'da verildiği gibi hesaplanmıştır. Altı ajanlı bir sistem olduğundan dolayı, W matrisi 6x6 boyutundadır ve "u" ajanların numarasını ifade etmektedir. Çizelge 5.9'da W matrisinin gösterilmeyen diğer elemanlarının değerleri sıfırdır. Beşinci ve altıncı sütunlar ise kontrol edilebilen ajanları ifade eden sütunlardır. Ajan çeşitlerinde ve/veya sayılarında bir değişiklik olması durumunda W matrisinin satır ve sütun sayısında değişiklik olmaktadır.

Çizelge 5. 9 Sisteme ait hesaplanan W matrisinin elemanları

W_{u1}	W_{u2}	W_{u3}	W_{u4}	W_{u5}	W_{u6}
0	0	0	0	0.5658	0.4342
0	0	0	0	0.5554	0.4446
0	0	0	0	0.6060	0.3940
0	0	0	0	0.6520	0.3480
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

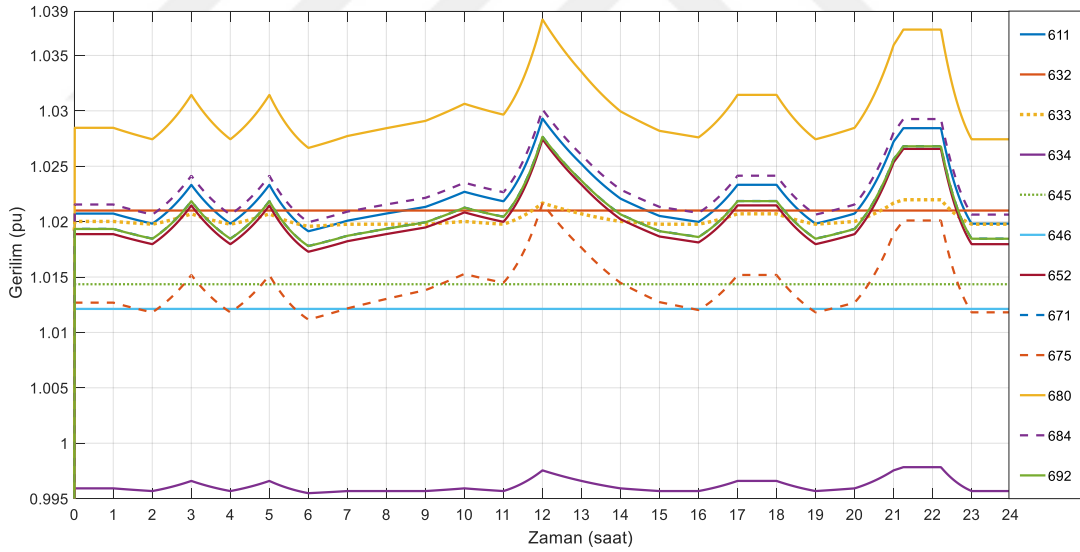
W matrisi elde edildikten sonra, eşitlik (4.16)'da belirtilen aktif güç değerlerini hesaplayan ÇAS kanunun kullanılması sonucunda eşitlikler (5.6) ile (5.7) elde edilmektedir.

$$P_5(t + \tau) = \frac{2829.L_1^P(t)}{5000} + \frac{11109.L_2^P(t)}{20000} + \frac{303.L_3^P(t)}{500} + \frac{13041.L_4^P(t)}{20000} + L_5^P(t) - \left(-\frac{2829.P_1(t)}{5000} + \frac{11109.P_2(t)}{20000} + \frac{303.P_3(t)}{500} + \frac{13041.P_4(t)}{20000} \right) \quad (5.6)$$

$$P_6(t + \tau) = \frac{2171.L_1^P(t)}{5000} + \frac{8891.L_2^P(t)}{20000} + \frac{197.L_3^P(t)}{500} + \frac{6959.L_4^P(t)}{20000} + L_6^P(t) - \left(-\frac{2171.P_1(t)}{5000} + \frac{8891.P_2(t)}{20000} + \frac{197.P_3(t)}{500} + \frac{6959.P_4(t)}{20000} \right) \quad (5.7)$$

Söz konusu denklemler ilgili SG'lerin zaman içerisinde üretmesi gereken aktif güçleri ifade etmektedir. SG'lerin üretmeleri gereken reaktif güç ifadeleri de benzer şekilde hesaplanmaktadır.

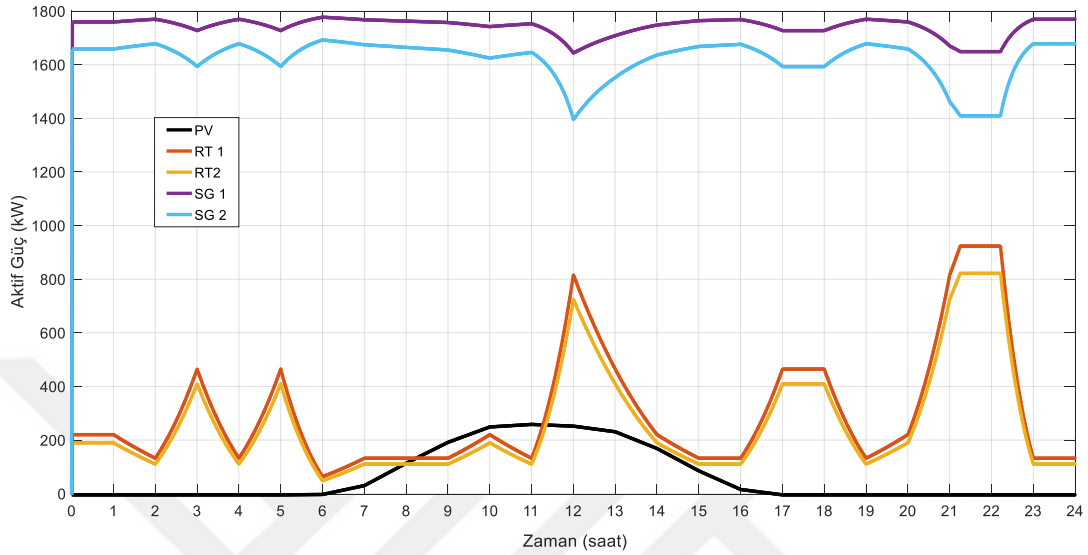
Öncelikle referans ÇAS kanununun benzetim çalışmasında kullanılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 5.21, Şekil 5.22 ve Şekil 5.23'de gösterilmiştir. Şekil 5.21'de tüm baralara ait gerilim değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 5. 21 Senaryo 2.1'de referans ÇAS kanunun kullanılması sonucunda tüm baralara ait gerilim değişimleri

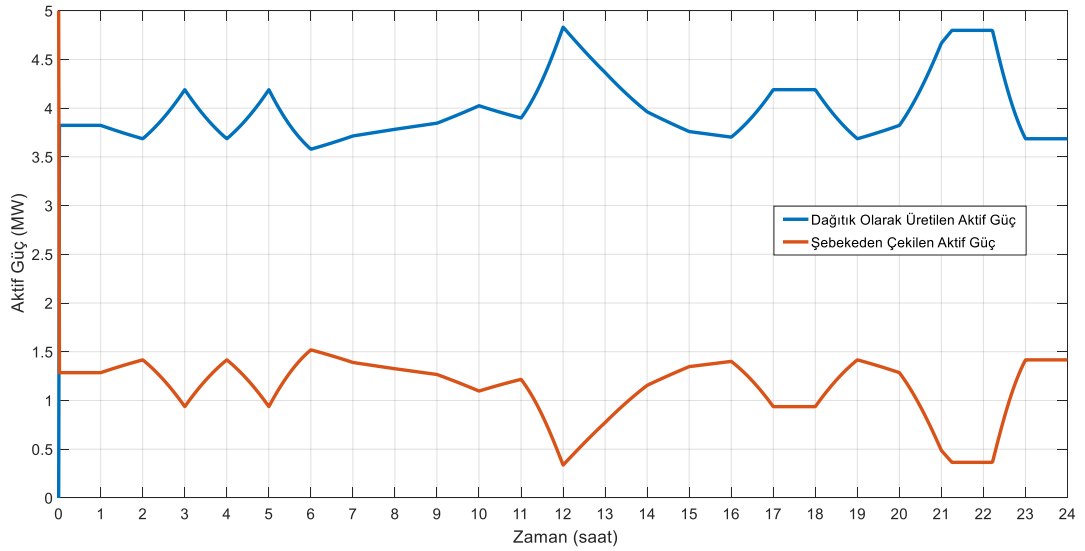
Şekil 5.22'de tüm DÜ birimlerinin ürettikleri aktif güçlerin değişimi gösterilmiştir. RT'ler rüzgâr hızlarına bağlı olarak güç üretimi gerçekleştirmiştir. PV güneş ışınlımına bağlı olarak sisteme saat 06:00 ile 16:00 arasında 250 kW mertebesine kadar aktif güç enjekte etmektedir. SG1 ve SG2 ise sürekli devrede olmakla beraber, şebekenin karşıladığı ve diğer DÜ birimleri tarafından üretilen aktif güç verileri ile yüklerin talep

ettiği güç verilerini göz önünde bulundurarak dağıtım sistemine kapasitesi oranında aktif güç vermektedirler. Beklendiği üzere, bilgi aldığı DÜ birimlerinin ürettikleri aktif güç değerleri arttığında kendi üretimlerini azaltırken, ürettikleri aktif güç değerleri azaldığında ise kendi üretimlerini arttırmaktadırlar.



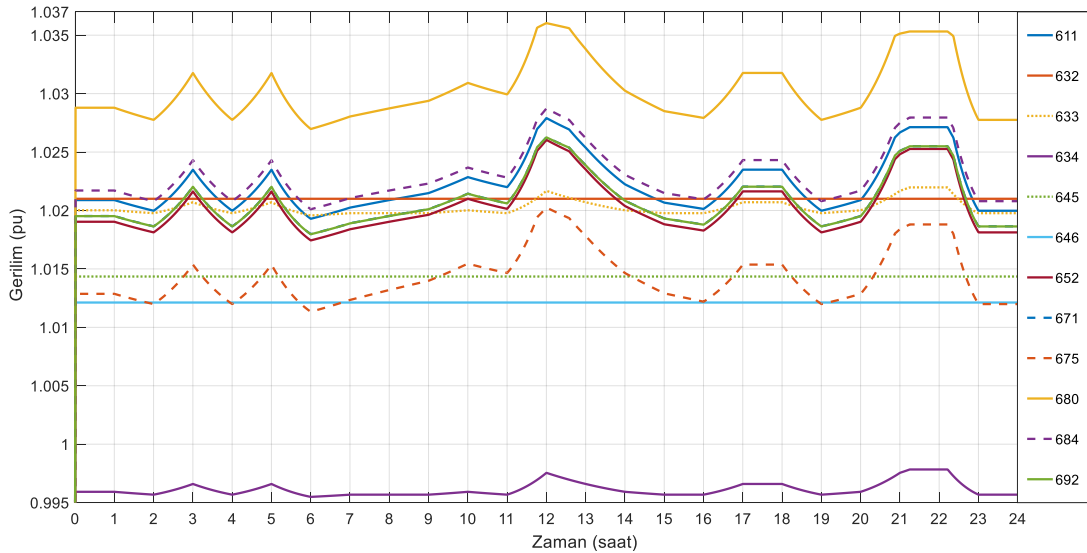
Şekil 5. 22 Senaryo 2.1'de referans ÇAS kanunun kullanılması sonucunda DÜ birimlerine ait güç değişimleri

Şekil 5.23'de elektrik şebekesinden çekilen toplam aktif güç ile bütün DÜ birimlerinin ürettiği aktif güç değişimi gösterilmiştir. DÜ birimlerinin içinde PV, RT'ler, SG'ler bulunmaktadır. Yükler tarafından talep edilen güç değerlerinde zaman içerisinde bir değişiklik olmamaktadır. Ancak hem PV ile RT'lerin zaman içerisinde ürettikleri aktif güç değerlerinde hem referans ÇAS kanuna göre SG1 ile SG2'nin ürettiği güç değerlerinde değişiklikler olduğundan dolayı üretilen aktif güç değerlerinde değişimler olmaktadır. Dolayısıyla, yüklerin ihtiyaç duyduğu aktif güç değerleri sürekli DÜ birimlerinden karşılanamamaktadır. Karşılanamayan aktif güç miktarı şebekeden sağlanmaktadır. Sonuç itibarıyla, yük gereksiniminin tamamı dağıtım sistemi tarafından karşılanabilmektedir.



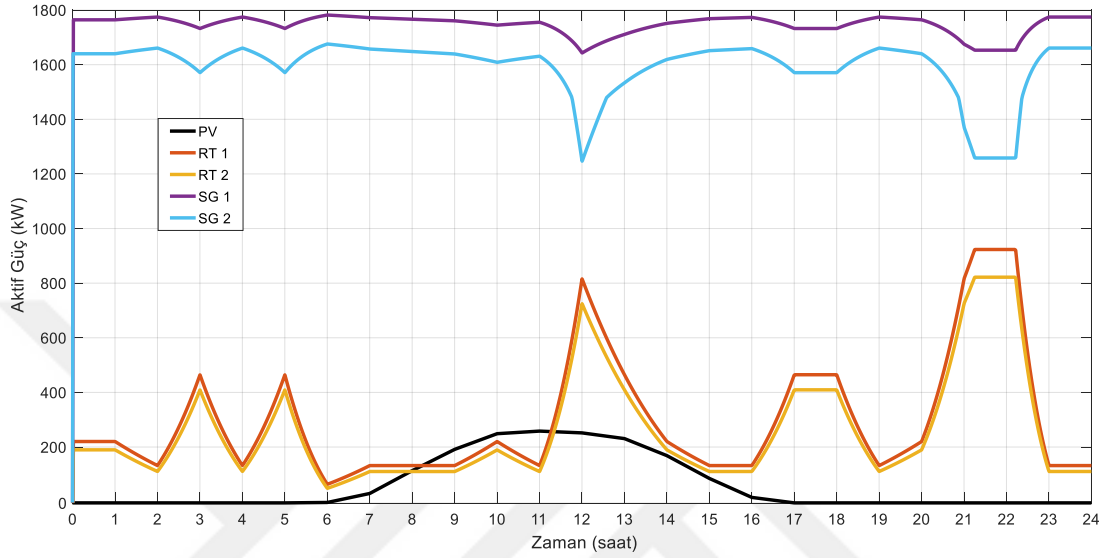
Şekil 5. 23 Senaryo 2.1’de referans ÇAS kanunun kullanılması sonucunda şebekeden çekilen ve DÜ birimleri tarafından üretilen aktif güç değişimi

Bir sonraki aşamada, Model 2.1’de önerilen ÇAS kontrol kanununun benzetim çalışmasında kullanılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 5.24, Şekil 5.25 ve Şekil 5.26’da gösterilmiştir. Şekil 5.24’de baralara ait gerilim değişimleri gösterilmiştir. Şekil 5.21 ve Şekil 5.24 kıyaslandığında SG’lerin mesafe verilerine göre yüklenmesi durumunda baraların gerilim profillerinde bir iyileşme sağlandığı görülmektedir. Özellikle DÜ birimleri tarafından verilen gücün arttığı zamanlardaki gerilim yükselmeleri daha sınırlı olmaktadır.



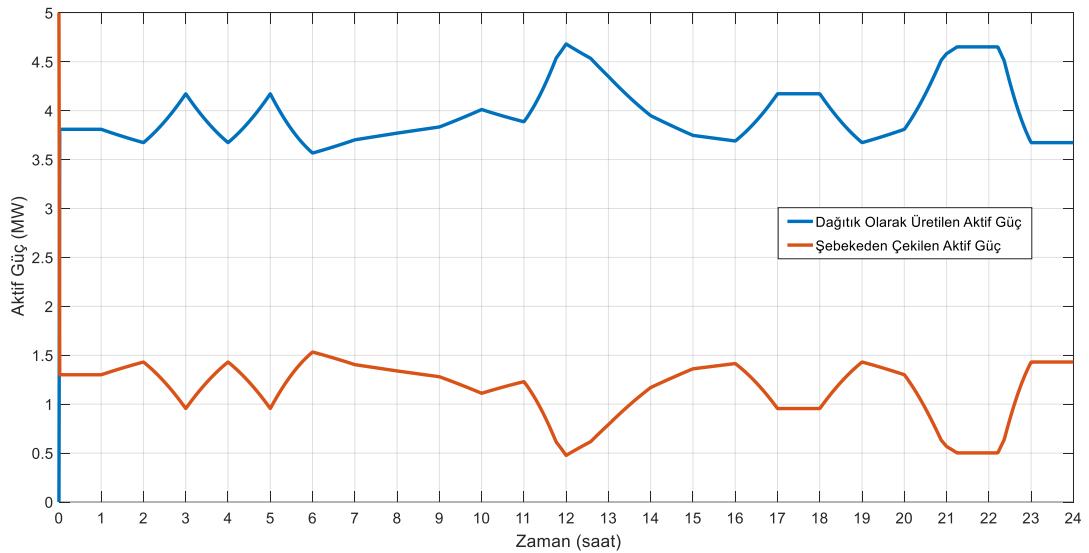
Şekil 5. 24 Senaryo 2.1’de önerilen ÇAS kanunun kullanılması sonucunda tüm baralara ait gerilim değişimleri

Şekil 5.25’de tüm DÜ birimlerinin ürettikleri aktif güçlerin değişimi gösterilmiştir. PV ve RT’lerin ürettikleri aktif güçlerde bir önceki sonuçlara göre bir değişim olmamaktadır. Ancak, kayıpları azaltmak adına Model 2.1’de önerilen ÇAS kanunu ile SG1 yüklerine daha yakın olduğundan dolayı daha fazla yüklenirken, SG2 yüklerine daha uzak olduğundan daha az yüklenmiştir.



Şekil 5. 25 Senaryo 2.1’de önerilen ÇAS kanunun kullanılması sonucunda tüm DÜ birimlerine ait güç değişimleri

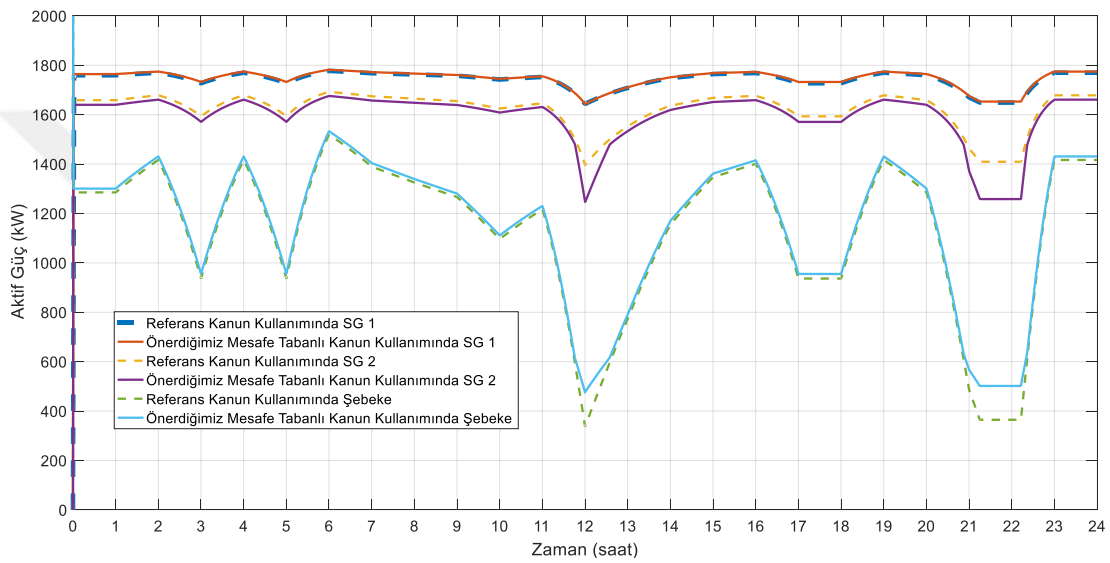
Şekil 5.26’da elektrik şebekesinden çekilen toplam aktif güç ile bütün DÜ birimlerinin ürettiği aktif güç değişimi gösterilmiştir.



Şekil 5. 26 Senaryo 2.1’de önerilen ÇAS kanunun kullanılması sonucunda şebekeden çekilen ve DÜ birimleri tarafından üretilen aktif güç değişimi

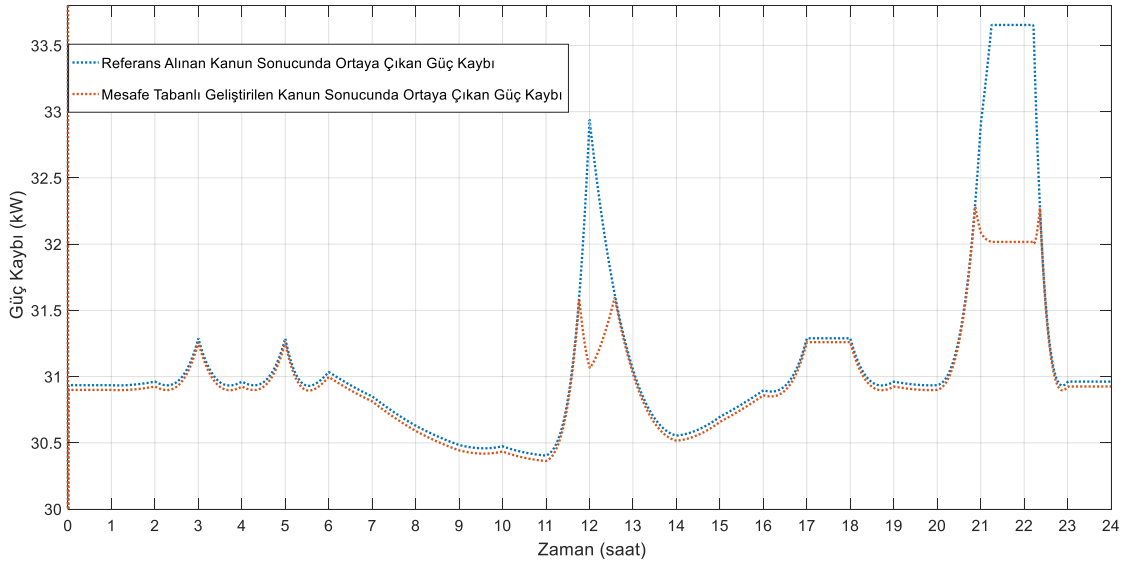
Referans ÇAS kanunu ile Model 2.1’de önerilen ÇAS kanunun daha detaylı karşılaştırmaları Şekil 5.27, Şekil 5.28 ve Şekil 5.29’da yapılmıştır.

Şekil 5.27’de her iki kanunun kullanılmasıyla beraber SG1, SG2 ürettiği aktif güç değişimleri ile şebekenin verdiği aktif güç değişimlerinin kıyaslaması yapılmıştır. Görüldüğü üzere önerdiğimiz kanunun kullanılmasıyla hem SG1’in hem de şebekenin ürettiği aktif güç değeri artış gösterirken, SG2’nin ürettiği aktif güç değeri azalma göstermiştir. Böylelikle, hatlar daha dengeli yüklenerek sistem kayıplarının azaltılması sağlanmıştır.

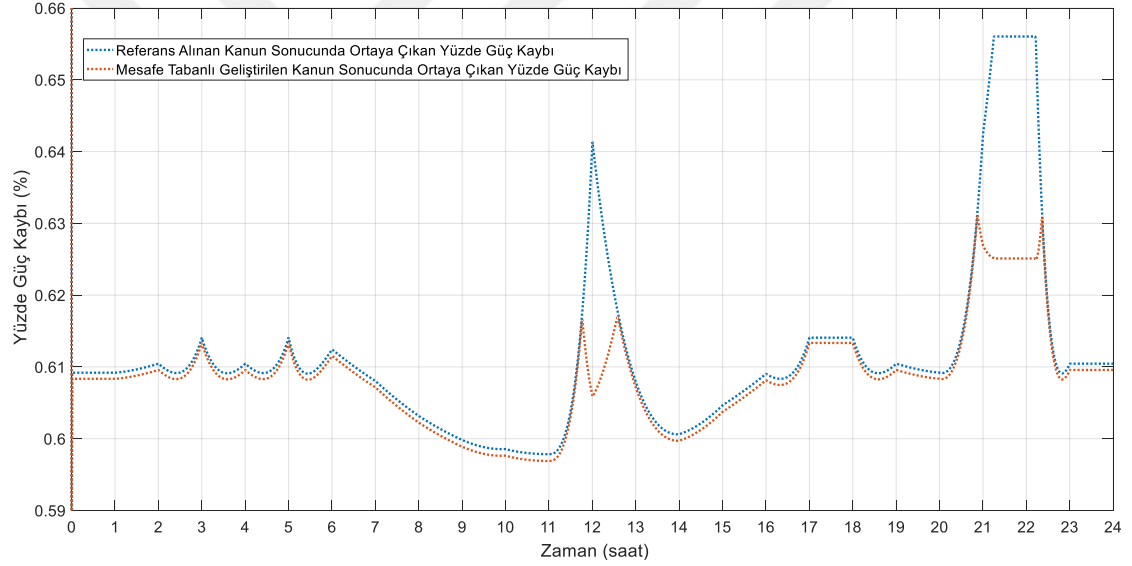


Şekil 5. 27 Senaryo 2.1’de her iki kontrol kanununun kullanılmasıyla beraber SG1, SG2 ve şebekenin aktif güç değişimlerinin karşılaştırılması

Şekil 5.28 ve Şekil 5.29’da her iki kanunun uygulanmasıyla beraber sisteme ait güç kaybı ile yüzde güç kaybına ait değişimleri görülmektedir. Yüzde güç kaybı, toplam güç kaybının Çizelge 5.8’de ifade edilen yüklere ait toplam güç değerine oranı bulunarak elde edilmektedir. Şekil 5.28 ile Şekil 5.29 incelendiğinde Model 2.1’de önerilen ÇAS kanununun kayıpları azalttığı görülmektedir. Referans ÇAS kanunu kullanıldığında günlük 746.33 kWh enerji kaybı olurken, Model 2.1’de önerilen ÇAS kanunu kullanıldığında günlük 742.66 kWh enerji kaybı olmaktadır. Kısacası yeni kanunla beraber, % 0.5 oranında enerji kaybı azaltılmıştır.



Şekil 5. 28 Senaryo 2.1’de her iki kontrol kanununu sistem güç kayıpları açısından karşılaştırılması



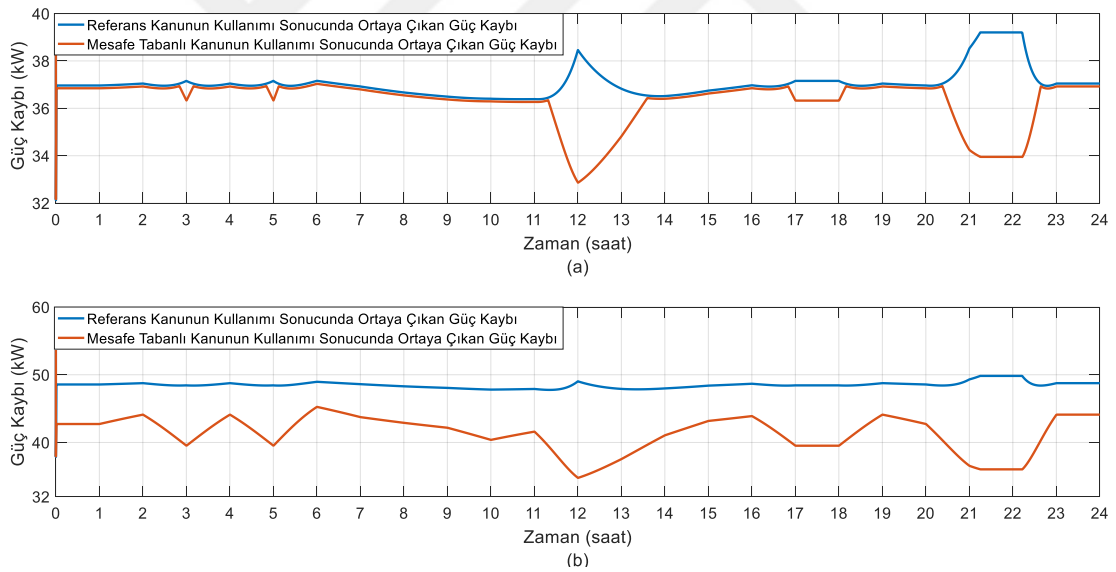
Şekil 5. 29 Senaryo 2.1’de her iki kontrol kanununu yüzde güç kayıpları açısından karşılaştırılması

Geliştirilen mesafeye bağlı ÇAS kanununun olumlu etkisinin sınırlı kalmasının nedeni SG birimlerinin yüklere olan mesafelerinin birbirine yakın olmasıdır. Bu kısımda, Model 2.1’de geliştirilen ÇAS kanununun ajanlar arasındaki mesafeye bağlı etkisini göstermek üzere SG1 ile SG2’nin yüklere olan mesafeleri arttırılmıştır. Bunun için, 671 ile 680 baraları arasındaki mesafe 1000 ft. değerinden sırasıyla 2000 ft. ve 4000 ft. değerine çıkarılarak kontrol kanunlarından elde edilen sonuçlar tekrar karşılaştırılmıştır. Çizelge 5.10’da her bir mesafe değeri için hesaplanan W matrisleri gösterilmiştir.

Çizelge 5. 10 Mesafeye bağlı olarak hesaplanan W matrisinin elemanları

671 – 680 Baraları Arasındaki Mesafe Değerleri					
1000 ft.		2000 ft.		4000 ft.	
W_{u5}	W_{u6}	W_{u5}	W_{u6}	W_{u5}	W_{u6}
0.5658	0.4342	0.6360	0.3640	0.7200	0.2800
0.5554	0.4446	0.6165	0.3835	0.7020	0.2980
0.6060	0.3940	0.6990	0.3010	0.7950	0.2050
0.6520	0.3480	0.7575	0.2475	0.8505	0.1495
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

Şekil 5.30'da her iki ÇAS kontrol yönteminin mesafelerin 2000 ft. ve 4000 ft. olması durumu için güç kayıplarındaki değişimi göstermektedir. Değişimler incelendiğinde, mesafe değeri arttıkça Model 2.1'de önerilen ÇAS kanunuyla daha fazla kayıp azaltılabildiği tespit edilmiştir. Her bir mesafe verisine göre Model 2.1'de önerilen ÇAS kanununun enerji kaybını azaltma verileri belirtilmiştir.



Şekil 5. 30 Senaryo 2.1'de (a) 671-680 baraları arasındaki mesafenin 2000 ft. (b) 671-680 baraları arasındaki mesafenin 4000 ft. olması durumunda güç kayıplarının karşılaştırılması

Çizelge 5.11'de seçilen bazı baralara ait gerilim verilerinin değişimi görülmektedir. Çizelgede seçilen baralardan 634 en düşük gerilim profile sahip bara iken, 680 ve 684 nolu baralara SG'ler bağlı bulunmakta dolayısıyla en yüksek gerilim seviyesine sahip baralardır. Ayrıca, çizelgede Model 2.1'de önerilen kanunun referans kanuna göre enerji kaybını azaltma miktarları da ifade edilmiştir. Çizelgedeki bilgiler göstermektedir

ki, mesafe miktarı arttıkça önerdiğimiz kanunun kullanımıyla daha fazla enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Üstelik mesafe arttıkça enerji kaybındaki azalma çok daha fazla oranda olmaktadır.

Çizelge 5. 11 Senaryo 2.1’de ÇAS kontrol kanunlarının mesafe değerleri dikkate alınarak gerilim profilleri ile enerji kayıpları açısından karşılaştırılması

671 – 680 Baraları Arasındaki Mesafe Değerleri (ft.)	Referans ÇAS Kanunu	Bara 634		Bara 680		Bara 684	
		V _{min}	MAPE	V _{max}	MAPE	V _{max}	MAPE
	1000	0.995	0.39	1.038	3	1.031	2.29
	2000	0.995	0.39	1.048	3.88	1.029	2.27
	4000	0.995	0.39	1.067	5.54	1.029	2.23
	Model 2.1 ÇAS Kanunu	Bara 634		Bara 680		Bara 684	
		V _{min}	MAPE	V _{max}	MAPE	V _{max}	MAPE
	1000	0.995	0.39	1.036	3.02	1.028	2.30
	2000	0.995	0.39	1.041	3.87	1.026	2.27
	4000	0.995	0.39	1.050	4.97	1.024	2.06
	Model 2.1 ÇAS Kanunu	Enerji Kaybı Azaltma [kWh/gün]			Yüzde Enerji Kaybı Azaltma [%]		
	1000	3.591			0.5 %		
	2000	18.168			2 %		
	4000	171.73			14%		

Çizelge 5.11’de belirtilen baraların gerilim profilleri incelenirken, mesafe verileri dikkate alınarak, seçilen bütün baraların referans 1 per unit değerinden sapmasını ifade eden ortalama mutlak hata yüzdesi (Mean Average Percentage Error, MAPE) değerleri hesaplanmıştır. Baralara ait MAPE değeri hesaplanırken eşitlik (5.8)’de gösterilen MATLAB kodu kullanılmıştır. Bu kod, seçilen bara geriliminin tüm değerleri için referans değer olan birden farkını alıp bulunan değerlerin mutlak değerlerini hesaplamaktadır. Son olarak da, elde edilen bütün değerleri dikkate alarak ortalama değer hesaplamaktadır.

$$MAPE = \text{mean}(\text{abs}(1 - V_{\text{BARA}})) \quad (5.8)$$

Bahsi geçen gerilim verilerine ek olarak, 634 nolu baranın minimum gerilim değeri ile 680 ile 684 nolu baraların maksimum gerilim değerleri çizelgede belirtilmiştir. Her iki ÇAS kanunu gerilim açısından verileri incelendiğinde, 634 nolu baraya ait gerilim verilerinin aynı olduğu ancak 680 ve 684 nolu baralara ait gerilim verilerinin Model

2.1’de önerilen ÇAS kanununun uygulanmasıyla daha iyi değerler aldığı tespit edilmiştir.

5.3.2 Senaryo 2.2 - Model 2.2 Sonuçları

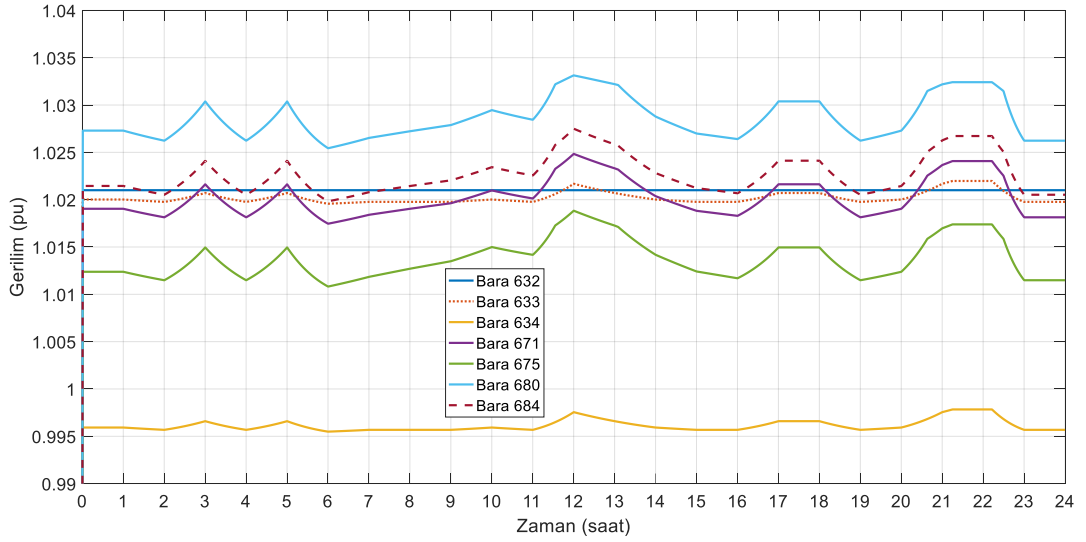
Senaryo 2.2 kapsamında Bölüm 4’de tanıtılan Model 2.2 olarak ifade edilen bara gerilim profilini iyileştiren ÇAS kanununun bir test sistemine uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar, Model 2.1’de önerilen ÇAS kontrol kanunuyla elde edilen ve Senaryo 2.1’de sunulan sonuçlarla kıyaslanmıştır. Model 2.2’nin uygulandığı, DÜ birimlerinin entegre edildiği modifiye IEEE 13 baralı test sisteminin tek hat diyagramı ve bu sistem içinde yer alan ajan grupları Şekil 5.19’da gösterilmiştir. Ayrıca ajanlar arasındaki haberleşme ağı bu senaryo için Şekil 5.20’de belirtildiği gibi tercih edilmiştir.

Haberleşme ağı belirlendikten sonra, kontrol edilebilen ajanlar olan SG1 ile SG2 için denklemler elde edilmiştir. 671 ile 680 baraları arasındaki mesafenin 1000 ft. ve 2000 ft. olduğu değerler için hesaplanan WP ile WQ matrisleri Çizelge 5.12’de gösterilmiştir.

Çizelge 5. 12 Mesafeye bağlı olarak hesaplanan WP ile WQ matrislerinin elemanları

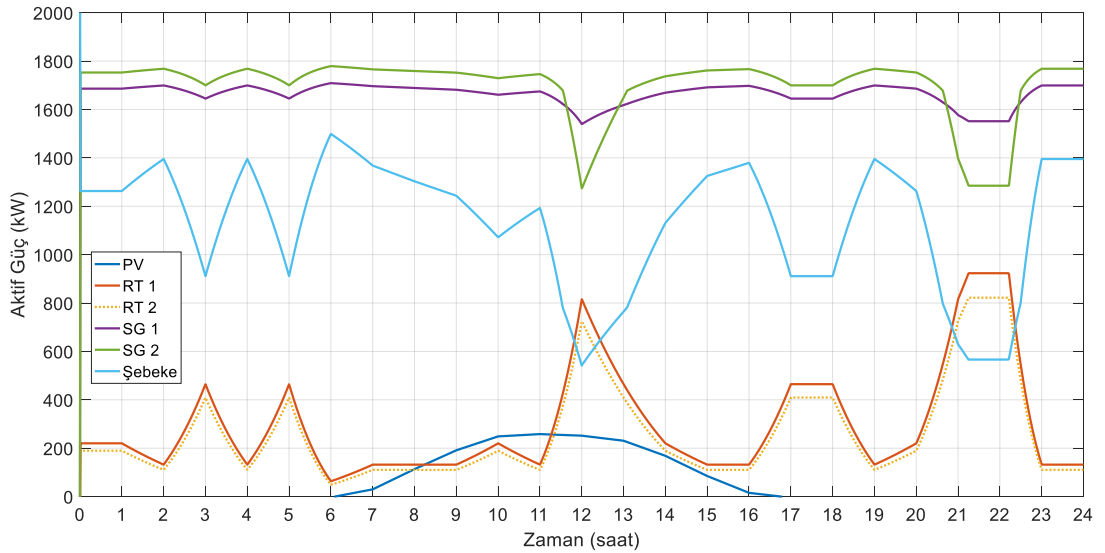
WP				WQ			
1000 ft.		2000 ft.		1000 ft.		2000 ft.	
WP _{u5}	WP _{u6}	WP _{u5}	WP _{u6}	WQ _{u5}	WQ _{u6}	WQ _{u5}	WQ _{u6}
0.5658	0.4342	0.6360	0.3640	0.6667	0.3333	0.8333	0.1667
0.5554	0.4446	0.6165	0.3835	0.6667	0.3333	0.75	0.25
0.6060	0.3940	0.6990	0.3010	0.75	0.25	0.9167	0.0833
0.6520	0.3480	0.7575	0.2475	0.7833	0.2167	0.9167	0.0833
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

WP ile WQ matrisleri elde edildikten sonra, SG1 ile SG2’nin üretmesi gereken aktif ve reaktif güç değerlerini hesaplayan denklemler, eşitlikler (4.26) ile (4.27)’den elde edilmiştir. Denklemlerin elde edilmesinin ardından, Model 2.2’de önerilen ÇAS kontrol kanununa ait benzetim sonuçları elde edilmiştir. Şekil 5.31’de şebeke ile DÜ birimlerinin bağlı olduğu baralara ait gerilim değişimleri gösterilmiştir. Şekil 5.24’de ifade edilen gerilim değişimlerine göre Model 2.2’de önerilen ÇAS kanununun gerilim profillerini iyileştirdiği gözlemlenmektedir.



Şekil 5. 31 Senaryo 2.2'de önerilen ÇAS kanunun kullanılması sonucunda seçilen baralara ait gerilim değişimleri

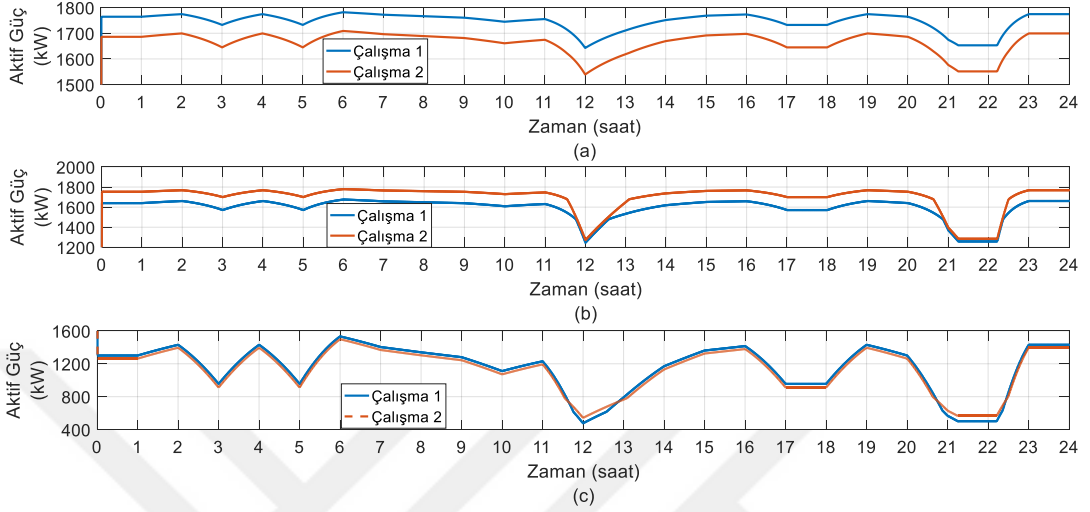
Şekil 5.32'de tüm DÜ birimlerinin ürettikleri aktif güçlerin değişimi gösterilmiştir. PV ve RT'lerin ürettikleri aktif güçlerde bir önceki sonuçlara göre bir değişim olmamaktadır. Ancak, hem kayıpları azaltmak hem de baralara ait gerilim profillerini iyileştirmek adına Model 2.2'de önerilen ÇAS kanunu ile SG1, SG2 ve şebekenin aktif güç üretim seviyelerinde değişiklik söz konusu olmuştur.



Şekil 5. 32 Senaryo 2.2'de önerilen ÇAS kanunun kullanılması sonucunda bütün DÜ birimlerine ve şebekeye ait aktif güç değişimleri

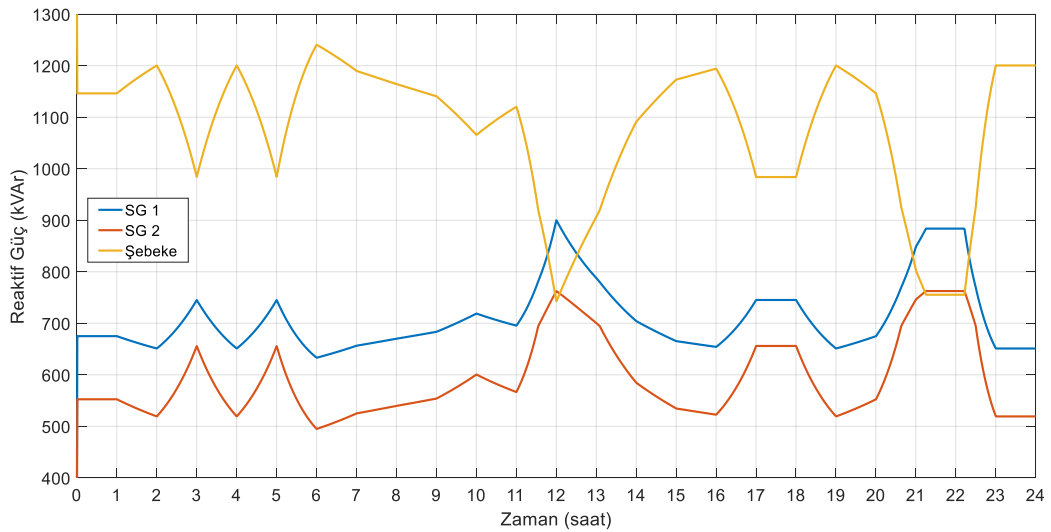
Şekil 5.33'de hem Model 2.1'de önerilen hem de Model 2.2'de önerilen ÇAS kanunlarının kullanımı sonucunda SG1, SG2 ve şebekenin aktif güç üretim değişimlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışma 1 olarak Model 2.1'de önerilen W

matrisli ÇAS kanunun kullanımı ifade edilirken, Çalışma 2 olarak Model 2.2’de önerilen WP ve WQ matrisli ÇAS kanunu ifade edilmiştir. Değişimler incelendiğinde, Model 2.2’de önerilen WP ve WQ matrisli ÇAS kanunun kullanımıyla SG1 ile şebekenin aktif güç üretiminin azaldığı, SG2’ nin aktif güç üretiminin arttığı görülmektedir.



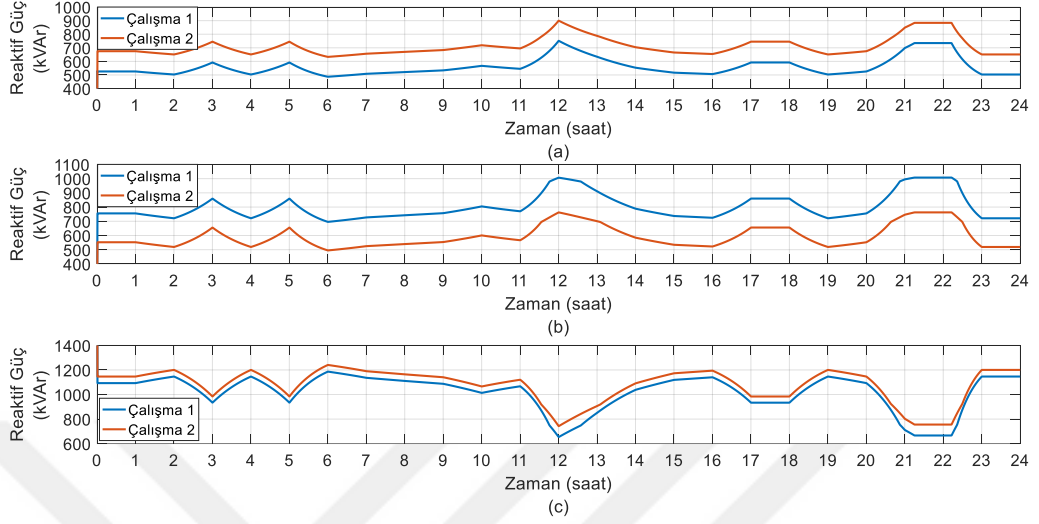
Şekil 5. 33 Senaryo 2.2’de her iki çalışma durumu için zamana bağlı aktif güç değişimi
(a) SG1, (b) SG2, (c) Şebeke

Şekil 5.34’de SG1, SG2 ve şebekenin 24 saat boyunca ürettikleri reaktif güçlerin değişimi gösterilmiştir. Baraların gerilim profillerini iyileştirmek adına, şebekenin sisteme daha fazla reaktif güç enjekte ettiği gözlemlenmektedir. SG’ler de WQ matrisindeki verilere göre yüklenmektedir. Dolayısıyla, SG1 SG2’ye göre daha fazla reaktif güç sisteme enjekte etmektedir.



Şekil 5. 34 Senaryo 2.2’de önerilen ÇAS kanunun kullanılması sonucunda tüm DÜ birimlerine ait reaktif güç değişimleri

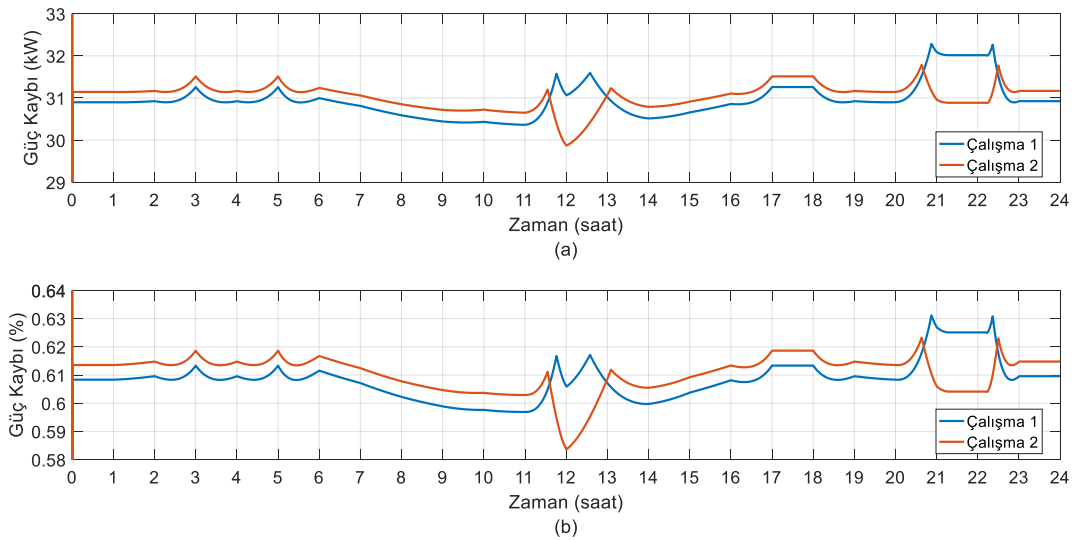
Şekil 5.35’de hem Model 2.1 hem de Model 2.2’de önerilen ÇAS kanunlarının kullanımı sonucunda SG1, SG2 ve şebekenin reaktif güç üretim değişimlerinin karşılaştırılması yapılmıştır.



Şekil 5. 35 Senaryo 2.2’de her iki çalışma durumu için zamana bağlı reaktif güç değişimi
(a) SG1, (b) SG2, (c) Şebeke

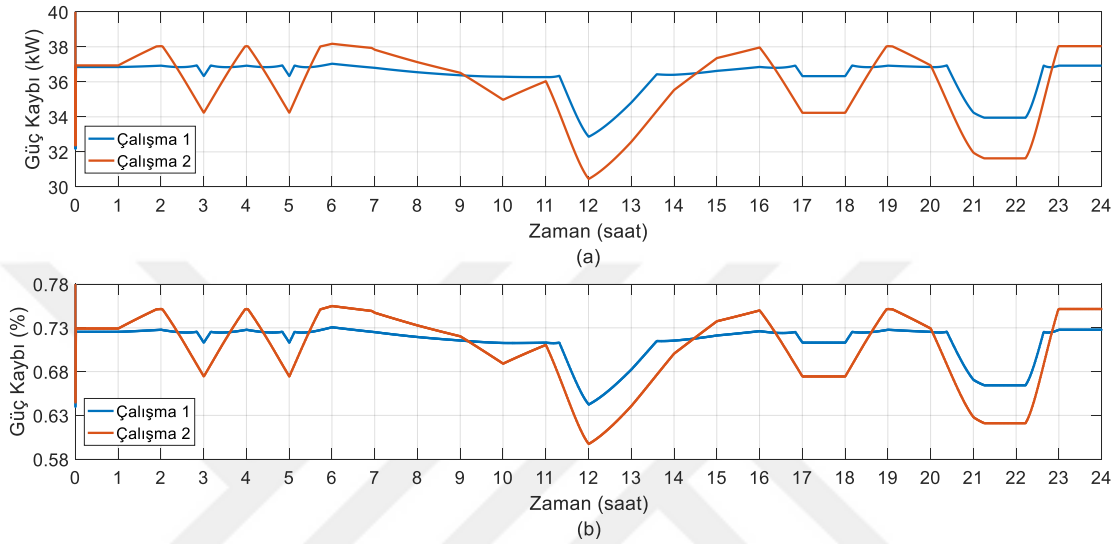
Değişimler incelendiğinde, Model 2.2’de önerilen ÇAS kanunun kullanımıyla SG1 ile şebekenin reaktif güç üretiminin arttığı, buna karşılık SG2’nin üretiminin azaldığı görülmektedir. Böylelikle, daha sonra görüleceği üzere sistemin gerilim profilinde iyileşme sağlanmıştır.

Şekil 5.36’da her iki kanunun kullanılmasıyla beraber sisteme ait güç kaybı ile yüzde güç kaybına ait değişimlerin kıyaslamaları yapılmıştır.



Şekil 5. 36 Senaryo 2.2’de her iki çalışma durumunun (a) sistem güç kayıpları açısından, (b) yüzde güç kaybı açısından karşılaştırılması

Söz konusu değişimler göstermektedir ki, mevcut mesafe değerleri göz önüne alındığında Model 2.2’de önerilen WP ve WQ matrisli ÇAS kanunu sistem kayıplarını azaltmada Model 2.1’de önerilen ÇAS kanununun gerisinde kalmıştır. Ajanlar arasındaki mesafenin kayıplar üzerinde nasıl bir etkiye sahip olduğunu görmek için, 671 ile 680 baraları arasındaki mesafe 1000 ft. değerinden 2000 ft. değerine çıkarılarak her iki kontrol kanunundan elde edilen sonuçlar Şekil 5.37’de tekrar karşılaştırılmıştır.



Şekil 5. 37 Senaryo 2.2’de 671-680 baraları arasındaki mesafenin 2000 ft. olması durumunda her iki çalışma durumunun (a) sistem güç kayıpları açısından, (b) yüzde güç kaybı açısından karşılaştırılması

Şekil 5.37’de elde edilen sonuçlar, mesafe değerlerine bağlı olarak Model 2.2’de önerilen ÇAS kanununun Model 2.1’e göre sistem güç kayıplarını azaltabildiğini göstermektedir. İlgili baralar arasındaki mesafe 4000 ft. için aynı şekilde benzetim çalışmaları yapılmış. Enerji kayıpları ve gerilim profili açısından elde edilen sonuçlar Çizelge 5.13’de verilmiştir. Her iki ÇAS kanunun gerilim açısından verileri incelendiğinde, 634 nolu baraya ait gerilim verilerinin aynı olduğu ancak 680 ve 684 nolu baralara ait gerilim verilerinin Model 2.2’de önerilen ÇAS kanunun uygulanmasıyla her mesafe değerinde çok daha iyi değerler aldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, Çizelge 5.13’de Model 2.2’de önerilen ÇAS kanununun Model 2.1’de önerilen ÇAS kanuna göre enerji kaybını azaltma miktarı da ifade edilmiştir. Çizelgedeki 1000 ft.’lik mesafe değerinde enerji kaybı değişimi negatiftir yani kayıplar artmaktadır ki bu durum Şekil 5.36’daki sonucu doğrulamaktadır. Ancak, 2000 ft. ve 4000 ft. mesafe değerlerinde ise

Model 2.2’de önerilen ÇAS kanununu, Model 2.1’de önerilen ÇAS kanuna göre enerji kaybı açısından tasarruf sağlanmaktadır.

Çizelge 5. 13 Senaryo 2.2’de ÇAS kontrol kanunlarının mesafe değerleri dikkate alınarak gerilim profilleri ile enerji kayıpları açısından karşılaştırılması

671 – 680 Baraları Arasındaki Mesafe Değerleri (ft.)	Model 2.1 ÇAS Yöntemi	Bara 634		Bara 680		Bara 684	
		V_{min}	MAPE	V_{max}	MAPE	V_{max}	MAPE
	1000	0.995	0.39	1.036	3.02	1.028	2.30
	2000	0.995	0.39	1.041	3.87	1.026	2.27
	4000	0.995	0.39	1.050	4.97	1.024	2.06
	Model 2.2 ÇAS Yöntemi	Bara 634		Bara 680		Bara 684	
		V_{min}	MAPE	V_{max}	MAPE	V_{max}	MAPE
	1000	0.995	0.39	1.033	2.85	1.027	2.26
	2000	0.995	0.39	1.034	3.17	1.024	2.07
	4000	0.995	0.39	1.035	3.37	1.021	1.72
	Model 2.2	Enerji Kaybı Azaltma [kWh/gün]			Yüzde Enerji Kaybı Azaltma [%]		
	1000	-2.1599			-0.29		
	2000	12.541			1.44		
	4000	66.146			6.67		

5.4 Senaryo 3 - Model 3 Benzetim Sonuçları

Bu kısımda bölüm 4’de tanıtılan empedans tabanlı ÇAS kanunları Model 3.1 ve Model 3.2’nin sistem kayıplarını azaltma performansları Senaryo 3 içerisinde değerlendirilmiştir. Senaryo 3.1’de Model 3.1’de önerilen ile referans ÇAS kanununun performansları karşılaştırılırken, Senaryo 3.2’de Model 3.2’de önerilen ÇAS kanunu ile Model 3.1’de önerilen ÇAS kanununun performansları karşılaştırılmıştır. Her iki senaryodan elde edilen veriler grafiklerle ve tablolarla ifade edilerek, yorumlanmıştır.

5.4.1 Senaryo 3.1 - Model 3.1 Sonuçları

Senaryo 3.1 içerisinde hem Bölüm 4’de tanıtılan Model 3.1’de önerilen ÇAS kanunu bir test sistemine uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir hem de referans ÇAS kanununun uygulanmasıyla elde edilen sonuçlarla kıyaslanmıştır. Model 3.1’de önerilen ÇAS kanununun uygulandığı, DÜ birimlerinin entegre edildiği modifiye IEEE 13 baralı test sisteminin tek hat diyagramı ve bu sistem içinde yer alan ajan grupları Şekil

5.19’da gösterildiği gibi tercih edilmiştir. Bu durum analizi için Şekil 5.20’de gösterilen haberleşme ağı tercih edilmiştir.

Öncelikle, Bölüm 4.1’de açıklandığı üzere referans ÇAS kanunu için A, R ve D matrisleri hesaplanmıştır. Tercih edilen ajan yapıları ile haberleşme ağı Senaryo 2.1’deki gibi olduğundan hesaplanan A, R ve D matrisleri eşitlikler (5.1), (5.2) ile (5.3)’deki değerlerle aynıdır. Ardından, SG1 ve SG2 için aktif ve reaktif güç değerlerini hesaplayan denklemler, eşitlikler (4.3) ve (4.4)’den elde edilmiştir. Sonuç olarak elde edilen denklemler, (5.4) ile (5.5)’deki eşitliklerde yer alan sonuçlarla aynıdır.

Bir sonraki aşamada, Model 3.1’de önerilen ÇAS kanununun kullanılması için gerekli olan W matrisi hesaplanmıştır. Kontrol edilemeyen ajanlar ile kontrol edilebilen ajanlar arasındaki empedans değerleri haberleşme ağı dikkate alınarak belirlenmiştir. 671 ile 680 baraları arasındaki farklı mesafe dolayısıyla oluşan farklı empedans değerleri için W matrisleri hesaplanarak Çizelge 5.14’de gösterilmiştir.

Çizelge 5. 14 Sisteme ait farkı mesafeler için hesaplanan W matrisinin elemanları

W					
671 – 680 Baraları Arasındaki Mesafe Değerleri					
1000 ft.		2000 ft.		4000 ft.	
W _{u5}	W _{u6}	W _{u5}	W _{u6}	W _{u5}	W _{u6}
0.5296	0.4704	0.6001	0.3999	0.6925	0.3075
0.5213	0.4787	0.5752	0.4248	0.6533	0.3467
0.6006	0.3994	0.7504	0.2496	0.8575	0.1425
0.5418	0.4582	0.6334	0.3666	0.7382	0.2618
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

Model 3.1’de önerilen ÇAS kanununun uygulanabilmesi için gerekli olan W matrisi elde edildikten sonra, referans ÇAS kanunu için hesaplanan R ve D matrisleriyle birlikte W matrisi (4.16) ve (4.17)’de ifade edilen denklemlerde yerine yazılmaktadır. Böylece, kontrol edilebilen ajanlar olan SG1 ve SG2 için Model 3.1’e göre hem aktif güç hem de reaktif güç üretim değerlerini hesaplayan denklemler elde edilmektedir. W matrisi elde edildikten sonra 671 ile 680 baraları arasındaki mesafe 1000 ft. olduğunda, eşitlik (4.16)’da belirtilen aktif güç değerlerini hesaplayan ÇAS kanunun kullanılmasıyla eşitlikler (5.9) ile (5.10) elde edilmiştir.

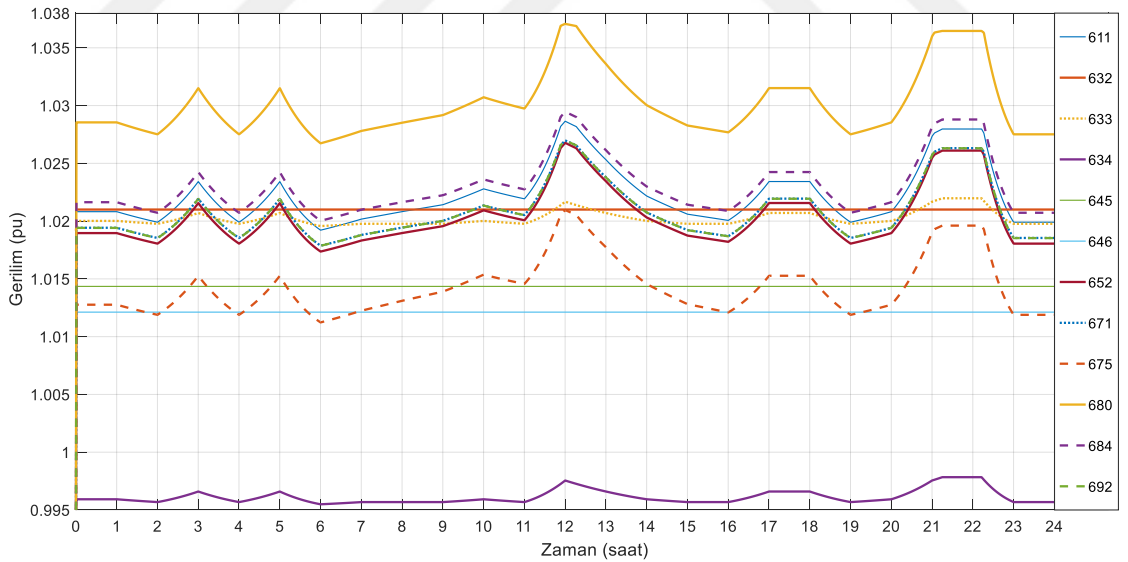
$$P_5(t + \tau) = \frac{331.L_1^P(t)}{625} + \frac{5213.L_2^P(t)}{10000} + \frac{303.L_3^P(t)}{500} + \frac{2709.L_4^P(t)}{5000} + L_5^P(t) - \left(-\frac{331.P_1(t)}{625} + \frac{5213.P_2(t)}{10000} + \frac{303.P_3(t)}{500} + \frac{2709.P_4(t)}{5000} \right) \quad (5.9)$$

$$P_6(t + \tau) = \frac{294.L_1^P(t)}{625} + \frac{4787.L_2^P(t)}{10000} + \frac{1997.L_3^P(t)}{5000} + \frac{2291.L_4^P(t)}{5000} + L_6^P(t) - \left(-\frac{294.P_1(t)}{625} + \frac{4787.P_2(t)}{10000} + \frac{1997.P_3(t)}{5000} + \frac{2291.P_4(t)}{5000} \right) \quad (5.10)$$

Söz konusu denklemler ilgili SG'lerin zaman içerisinde üretmesi gereken aktif güçleri ifade etmektedir. SG'lerin üretmeleri gereken reaktif güç ifadeleri de benzer şekilde hesaplanmaktadır.

Öncelikle referans ÇAS kanununu benzetim çalışmasında kullanılmıştır ve elde edilen sonuçlar Şekil 5.21, Şekil 5.22 ve Şekil 5.23'de gösterildiği gibidir.

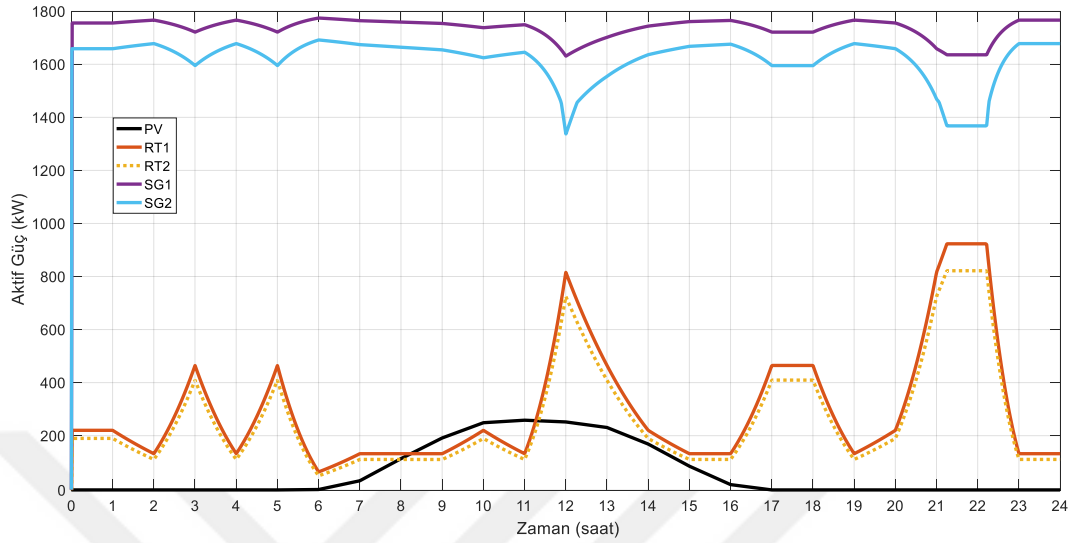
Bir sonraki aşamada, Model 3.1'de önerilen ÇAS kanununun benzetim çalışmasında kullanılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 5.38, Şekil 5.39 ve Şekil 5.40'da gösterilmiştir. Şekil 5.38'de tüm baralara ait gerilim değişimleri gösterilmiştir. Görüldüğü üzere SG'ler empedans verilerine göre yüklendiklerinde baraların gerilim profillerinde Şekil 5.21'deki değişimlere göre bir iyileşme sağlandığı görülmektedir.



Şekil 5. 38 Senaryo 3.1'de önerilen ÇAS kanununun kullanılması sonucunda tüm baralara ait gerilim değişimleri

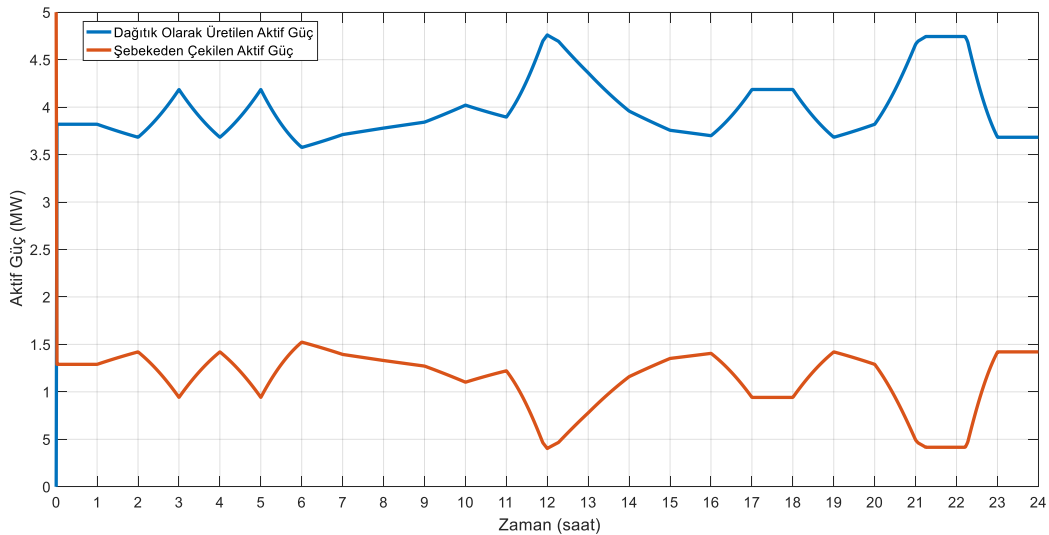
Şekil 5.39'da tüm DÜ birimlerinin ürettikleri aktif güçlerin değişimi gösterilmiştir. PV ve RT'lerin ürettikleri aktif güçlerde Şekil 5.22'deki sonuçlara göre bir değişim olmamaktadır. Ancak, kayıpları azaltmak adına Model 3.1'de önerilen ÇAS kanununun

kullanımıyla, SG1 ile yükler arasındaki empedans daha az olduğundan dolayı SG1 daha fazla yüklenirken, SG2 ile yükler arasındaki empedans daha fazla olduğundan SG2 daha az yüklenmiştir.



Şekil 5. 39 Senaryo 3.1’de önerilen ÇAS kanununun kullanılması sonucunda tüm DÜ birimlerine ait güç değişimleri

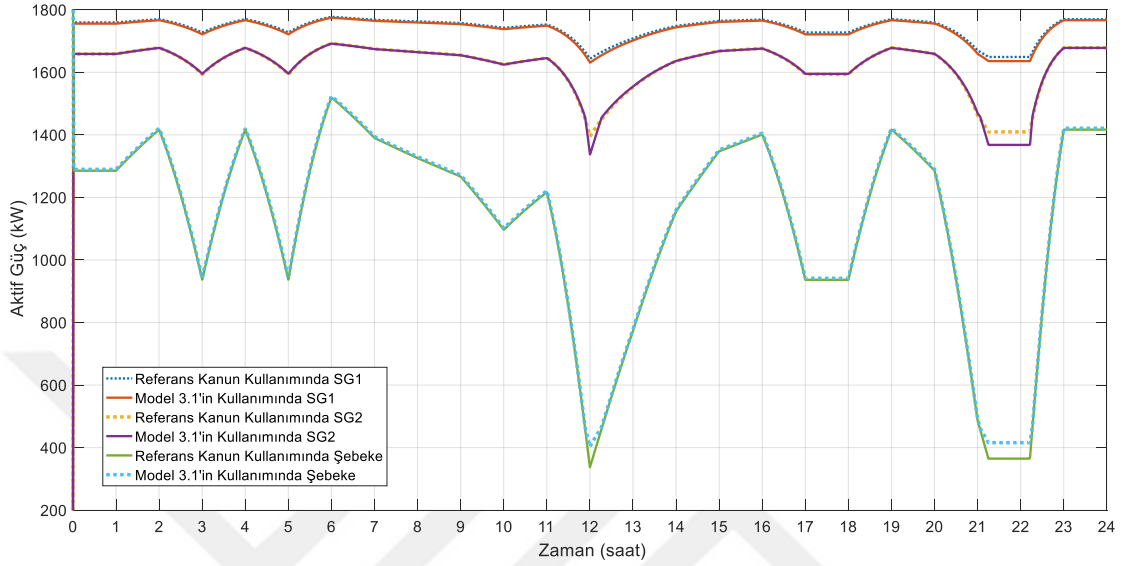
Şekil 5.40’da Model 3.1’de önerilen ÇAS kanununun kullanılması sonucunda elektrik şebekesinden çekilen toplam aktif güç ile bütün DÜ birimlerinin ürettiği aktif güç değişimi gösterilmiştir.



Şekil 5. 40 Senaryo 3.1’de önerilen ÇAS kanunun kullanılması sonucunda şebekeden çekilen ve DÜ birimleri tarafından üretilen aktif güç değişimi

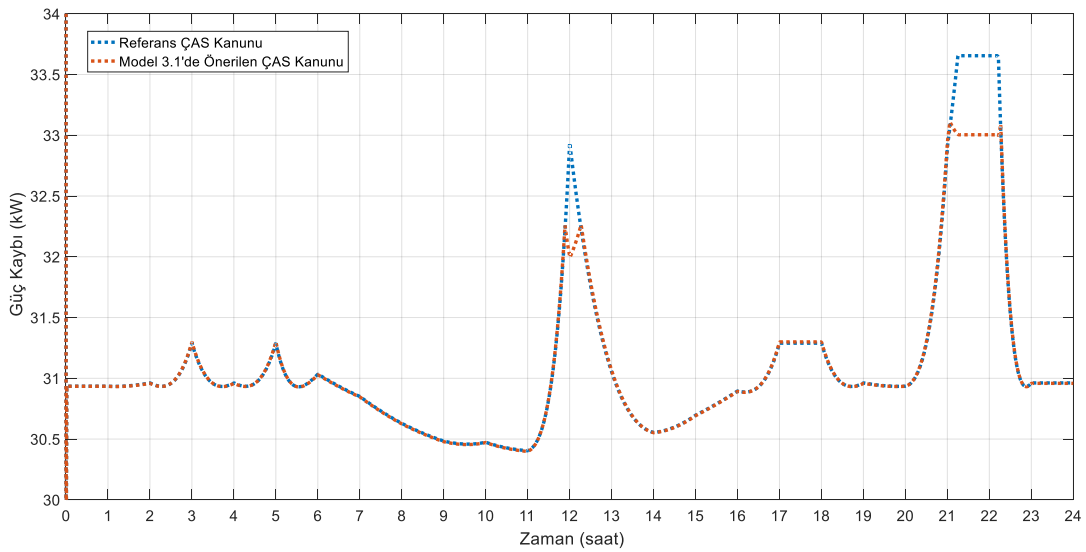
Referans ÇAS kanunu ile Model 3.1’de önerilen ÇAS kanununun daha detaylı karşılaştırmaları Şekil 5.41, Şekil 5.42 ve Şekil 5.43’de yapılmıştır. Şekil 5.41’de her iki kanunun kullanılmasıyla beraber SG1, SG2 ürettiği aktif güç değişimleri ile şebekenin

verdiği aktif güç değişimlerinin kıyaslaması yapılmıştır. Görüldüğü üzere Model 3.1’de önerilen ÇAS kanununun kullanılmasıyla hem SG1’in hem de şebekenin ürettiği aktif güç değeri artış gösterirken, SG2’nin ürettiği aktif güç değeri azalma göstermiştir. Böylelikle, hatlar daha dengeli yüklenerek sistem kayıplarının azaltılması sağlanmıştır.

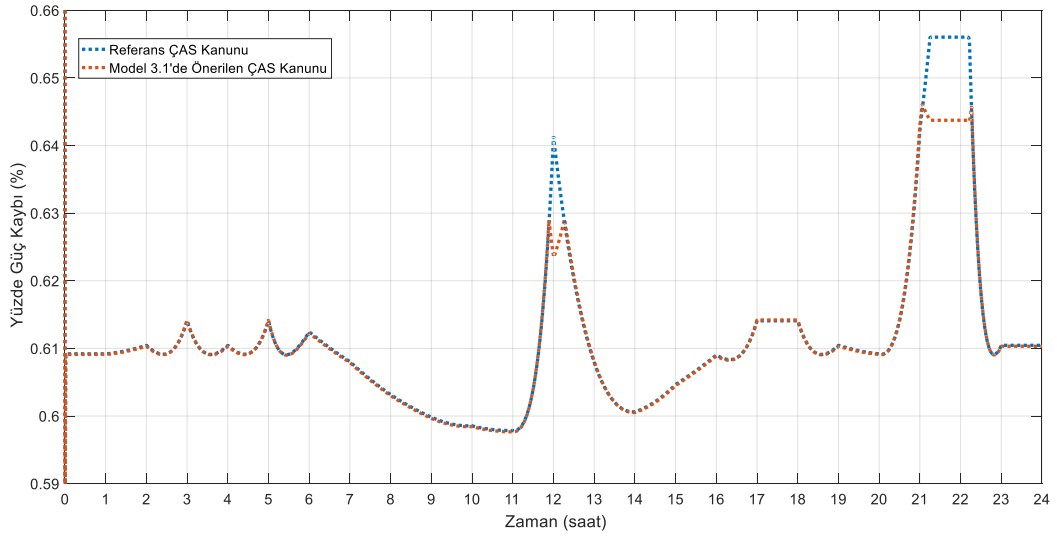


Şekil 5. 41 Senaryo 3.1’de her iki kontrol kanununun kullanılmasıyla beraber SG1, SG2 ve şebekenin aktif güç değişimlerinin karşılaştırılması

Şekil 5.42 ve Şekil 5.43’de her iki kanunun uygulanmasıyla beraber sisteme ait güç kaybı ile yüzde güç kaybına ait değişimler görülmektedir. Yüzde güç kaybı, toplam güç kaybının Çizelge 5.8’de ifade edilen yüklere ait toplam güç değerine oranı bulunarak elde edilmiştir.



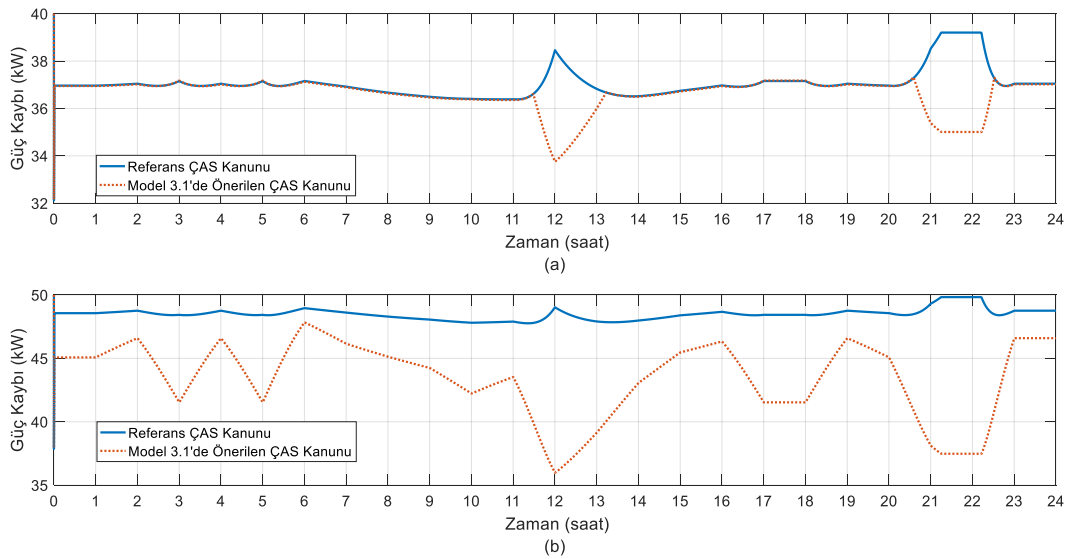
Şekil 5. 42 Senaryo 3.1’de her iki kontrol kanununu sistem güç kayıpları açısından karşılaştırılması



Şekil 5. 43 Senaryo 3.1'de her iki kontrol kanununu yüzde güç kayıpları açısından karşılaştırılması

Şekil 5.42 ile Şekil 5.43 incelendiğinde, Model 3.1'de önerilen ÇAS kanunu referans ÇAS kanuna göre % 0.11 oranında enerji kaybını azalttığı tespit edilmiştir.

Model 3.1'de önerilen ÇAS kanunun başarısını daha iyi ifade etmek için SG1 ile SG2'nin yükler arasındaki empedans değerini arttırmak gerekmektedir. Bunun için, 671 ile 680 baraları arasındaki mesafe 1000 ft. değerinden sırasıyla 2000 ft. ve 4000 ft. değerine çıkarılarak kontrol kanunlarından elde edilen sonuçlar tekrar karşılaştırılmıştır. Şekil 5.44'de her iki ÇAS kontrol yönteminin güç kayıplarını azaltmadaki başarısı gösterilmiştir.



Şekil 5. 44 Senaryo 3.1'de (a) 671-680 baraları arasındaki mesafenin 2000 ft. (b) 671-680 baraları arasındaki mesafenin 4000 ft. olması durumunda güç kayıplarının karşılaştırılması

Değişimler incelendiğinde, mesafe değeri arttıkça dolayısıyla empedans değeri arttıkça Model 3.1’de önerilen ÇAS kanunuyla daha fazla kayıp azaltılabildiği tespit edilmiştir. Ayrıca, Çizelge 5.15’de seçilen bazı baralara ait gerilim verileri ile her bir mesafe verisine göre Model 3.1’de önerilen ÇAS kanununun enerji kaybını azaltma verileri gösterilmiştir.

Çizelge 5. 15 Senaryo 3.1’de ÇAS kontrol kanunlarının mesafe değerleri dikkate alınarak gerilim profilleri ile enerji kayıpları açısından karşılaştırılması

671 – 680 Baraları Arasındaki Mesafe Değerleri (ft.)	Referans ÇAS Yöntemi	Bara 634		Bara 680		Bara 684	
		V _{min}	MAPE	V _{max}	MAPE	V _{max}	MAPE
	1000	0.9951	0.39	1.0382	3	1.0301	2.29
	2000	0.9951	0.39	1.0482	3.88	1.0299	2.27
	4000	0.9951	0.39	1.0673	5.54	1.0296	2.23
	Model 3.1 ÇAS Yöntemi	Bara 634		Bara 680		Bara 684	
		V _{min}	MAPE	V _{max}	MAPE	V _{max}	MAPE
	1000	0.9951	0.39	1.0371	3.01	1.0295	2.30
	2000	0.9951	0.39	1.0424	3.85	1.0275	2.27
	4000	0.9951	0.39	1.0515	5.09	1.0250	2.12
	Model 3.1 ÇAS Yöntemi	Enerji Kaybı Azaltma [kWh/gün]			Yüzde Enerji Kaybı Azaltma [%]		
	1000	0.842			0.11		
	2000	10.505			1.18		
	4000	20.93			10.39		

Çizelge 5.15’de seçilen baralardan 634 en düşük gerilim profile sahip bara iken, 680 ve 684 nolu baralara SG’ler bağlı bulunmaktadır. Baraların gerilim profilleri incelenirken, mesafe verileri dikkate alınarak, seçilen bütün baraların MAPE değerleri hesaplanmıştır. Bahsi geçen gerilim verilerine ek olarak, 634 nolu baranın minimum gerilim değeri ile 680 ile 684 nolu baraların maksimum gerilim değerleri çizelgede belirtilmiştir. Her iki ÇAS kanunu gerilim açısından verileri incelendiğinde, 634 nolu baraya ait gerilim verilerinin aynı olduğu ancak 680 ve 684 nolu baralara ait gerilim verilerinin Model 3.1’de önerilen ÇAS kanunun uygulanmasıyla daha iyi değerler aldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, Çizelge 5.15’de önerilen kanunun referans kanuna göre enerji kaybını azaltma miktarı ifade edilmiştir. Çizelgedeki bilgiler göstermektedir ki, empedans değeri arttıkça Model 3.1’de önerilen ÇAS kanunun kullanımıyla daha fazla enerji tasarrufu sağlanmaktadır.

Çizelge 5.15'deki değerler, Çizelge 5.11'deki değerlere yakındır. Zira sistemdeki hatların karakteristiği aynı olmadığından Model 3.1 ile Model 2.1'deki W matrisleri az da olsa birbirlerinden farklıdır. Bu durumda, Çizelge 5.15 gerçeğe daha yakın sonuçlar vermektedir.

5.4.2 Senaryo 3.2 - Model 3.2 Sonuçları

Senaryo 3.2 kapsamında hem Bölüm 4'de tanıtilan ve Model 3.2 olarak ifade edilen bara gerilim profilini iyileştiren empedans tabanlı ÇAS kanunu bir test sistemine uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar, Model 3.1'de önerilen ÇAS kanununun kullanılması sonucunda elde edilen sonuçlarla kıyaslanmıştır. Model 3.2'nin uygulandığı, DÜ birimlerinin entegre edildiği modifiye IEEE 13 baralı test sisteminin tek hat diyagramı ve bu sistem içinde yer alan ajan grupları Şekil 5.19'da gösterilmiştir. Ayrıca ajanlar arasındaki haberleşme ağı Şekil 5.20'de belirtildiği gibi tercih edilmiştir.

Haberleşme ağı belirlendikten sonra, kontrol edilebilen ajanlar olan SG1 ile SG2 için denklemler elde edilmiştir. 671 ile 680 baraları arasındaki mesafe 1000 ft., 2000 ft. ve 4000 ft. olduğu değerler için hesaplanan empedans tabanlı WP ile WQ matrisleri Çizelge 5.16'da gösterilmiştir. WP ile WQ matrisleri elde edildikten sonra, SG1 ile SG2'nin üretmesi gereken aktif ve reaktif güç değerlerini hesaplayan denklemler, eşitlikler (4.26) ile (4.27)'den elde edilmiştir. Denklemlerin elde edilmesinin ardından, Model 3.2'de önerilen ÇAS kanununa ait benzetim sonuçları elde edilmiştir.

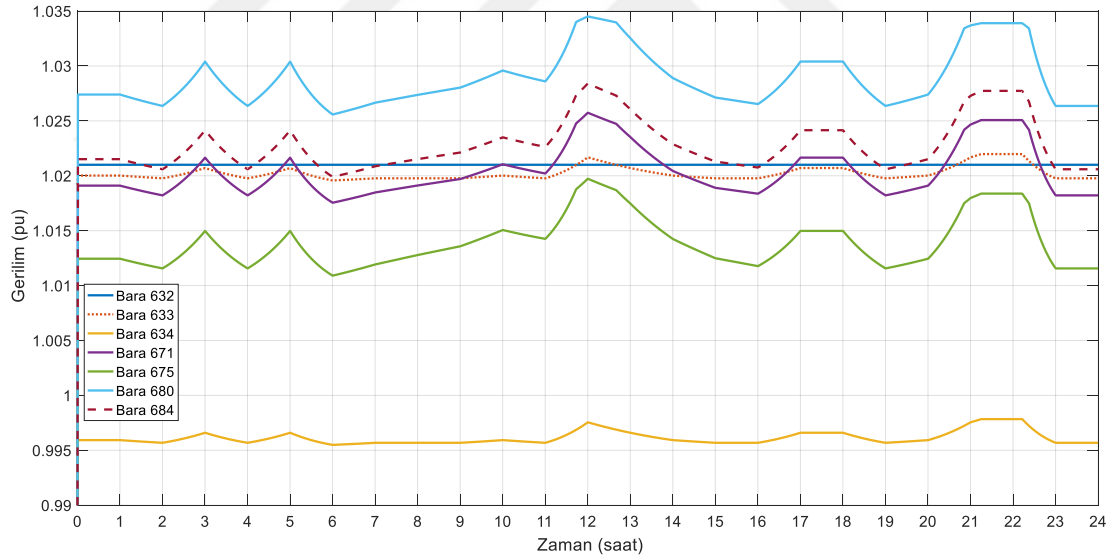
Çizelge 5. 16 Sisteme ait farklı mesafeler için hesaplanan WP ve WQ matrislerinin elemanları

WP					
671 – 680 Baraları Arasındaki Mesafe Değerleri					
1000 ft.		2000 ft.		4000 ft.	
WP _{u5}	WP _{u6}	WP _{u5}	WP _{u6}	WP _{u5}	WP _{u6}
0.5296	0.4704	0.6001	0.3999	0.6925	0.3075
0.5213	0.4787	0.5752	0.4248	0.6533	0.3467
0.6006	0.3994	0.7504	0.2496	0.8575	0.1425
0.5418	0.4582	0.6334	0.3666	0.7382	0.2618
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

Çizelge 5. 16 Sisteme ait farklı mesafeler için hesaplanan WP ve WQ matrislerinin elemanları (Devamı)

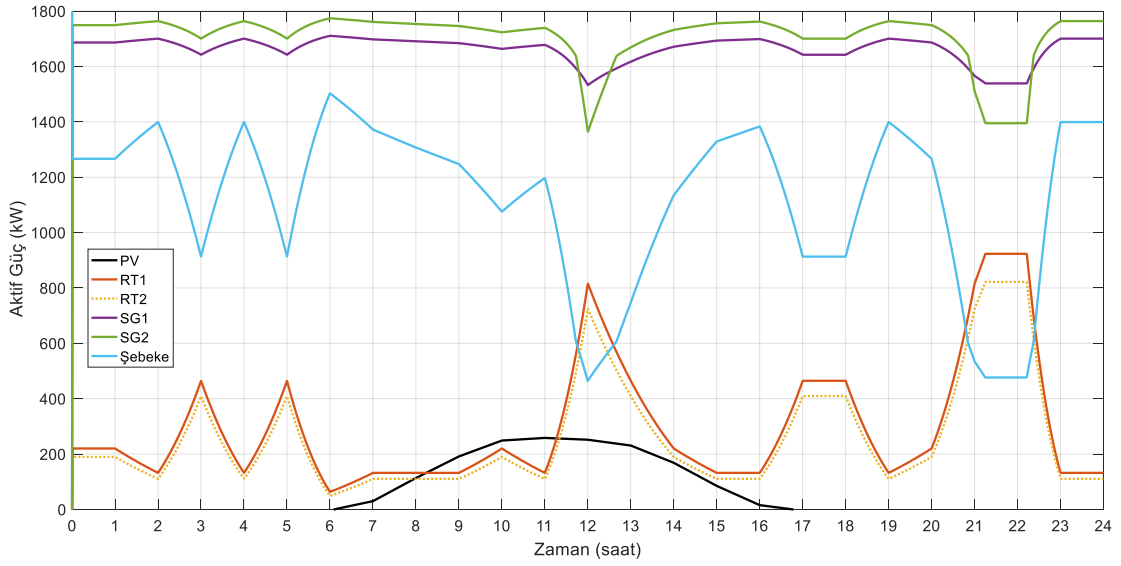
WQ					
671 – 680 Baraları Arasındaki Mesafe Değerleri					
1000 ft.		2000 ft.		4000 ft.	
WQ _{u5}	WQ _{u6}	WQ _{u5}	WQ _{u6}	WQ _{u5}	WQ _{u6}
0.5833	0.4167	0.75	0.25	0.9167	0.0833
0.5833	0.4167	0.75	0.25	0.8333	0.1667
0.8333	0.1667	0.9167	0.0833	1	0
0.75	0.25	0.9167	0.0833	0.9167	0.0833
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

Şekil 5.45’de şebeke ile DÜ birimlerinin bağlı olduğu baralara ait gerilim değişimleri gösterilmiştir. Şekil 5.38’de ifade edilen gerilim değişimleri ile Şekil 5.45’deki değişimler kıyaslandığında, baralara ait gerilim profillerini Model 3.2’de önerilen ÇAS kanunu, Model 3.1’de önerilen ÇAS kanunundan daha fazla iyileştirdiği gözlemlenmektedir.



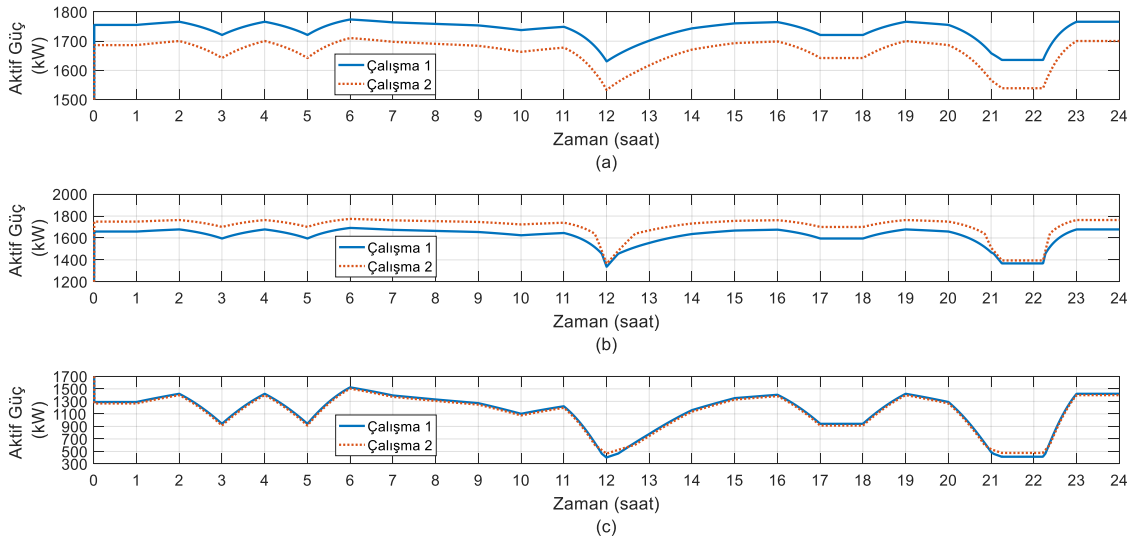
Şekil 5. 45 Senaryo 3.2’de önerilen ÇAS kanunun kullanılması sonucunda seçilen baralara ait gerilim değişimleri

Şekil 5.46’da tüm DÜ birimlerinin ürettikleri aktif güçlerin değişimi gösterilmiştir. PV ve RT’lerin ürettikleri aktif güçlerde bir önceki sonuçlara göre bir değişim olmamaktadır. Ancak, hem kayıpları azaltmak hem de baralara ait gerilim profillerini iyileştirmek adına Model 3.2’de önerilen ÇAS kanunu ile SG1, SG2 ve şebekenin aktif güç üretim seviyelerinde değişiklik söz konusu olmaktadır.



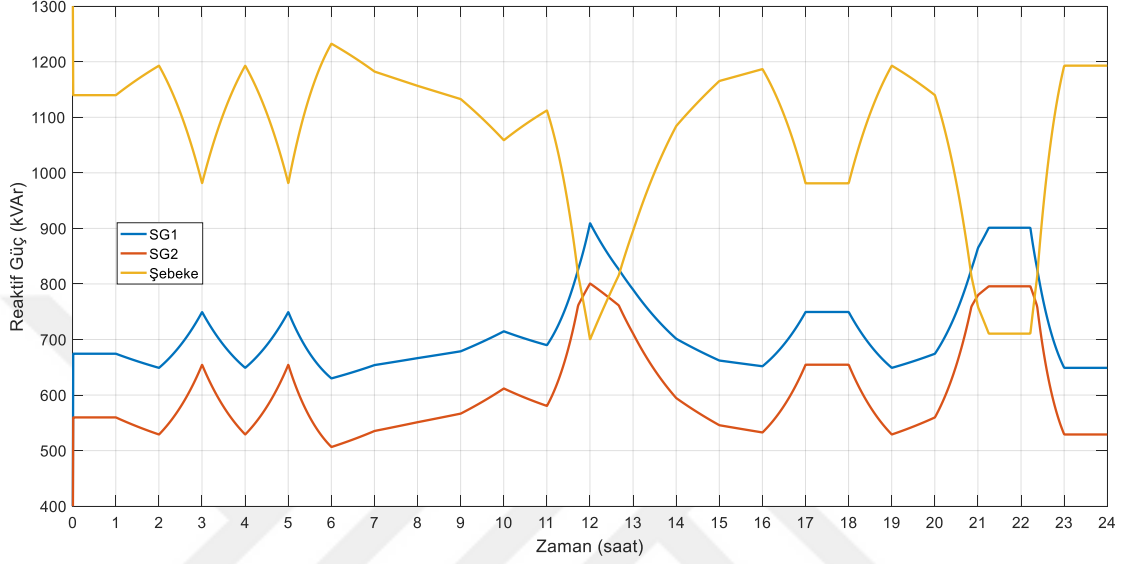
Şekil 5. 46 Senaryo 3.2’de önerilen ÇAS kanunun kullanılması sonucunda bütün DÜ birimlerine ait aktif güç değişimleri

Şekil 5.47’de hem Model 3.1 hem de Model 3.2’de önerilen ÇAS kanunlarının kullanımı sonucunda SG1, SG2 ve şebekenin aktif güç üretim değişimlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışma 1 olarak de Model 3.1’de önerilen ÇAS kontrol kanunun kullanımı ifade edilirken, Çalışma 2 olarak de Model 3.2’de önerilen ÇAS kontrol kanunu ifade edilmiştir. Değişimler incelendiğinde, gerilim profilini iyileştiren Model 3.2’nin kullanımıyla SG1 ile şebekenin aktif güç üretiminin azaldığı, SG2’ nin aktif güç üretiminin arttığı görülmektedir.



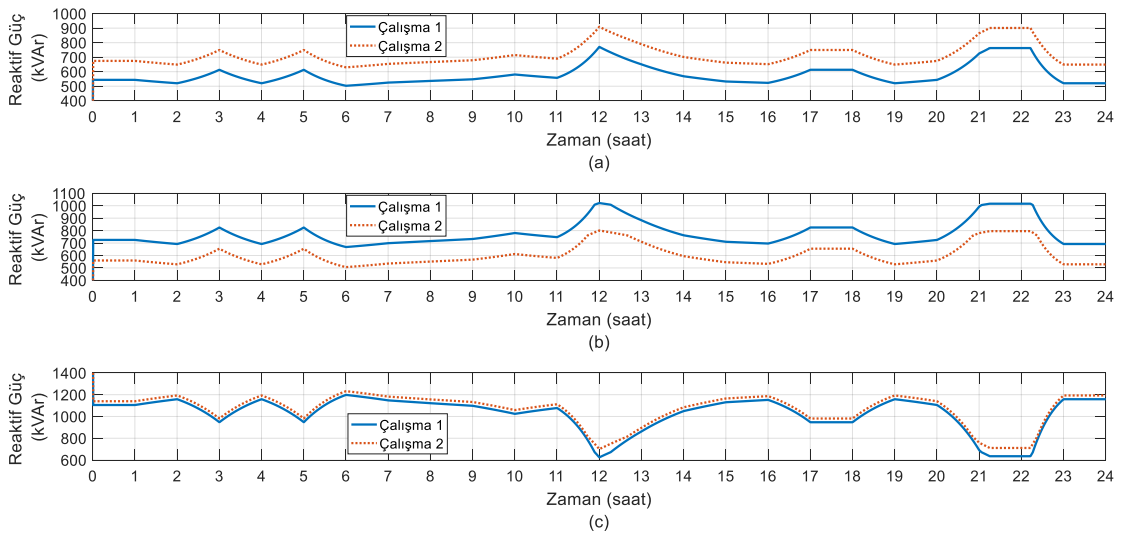
Şekil 5. 47 Senaryo 3.2’de her iki çalışma durumu için zamana bağlı aktif güç değişimi (a) SG1, (b) SG2, (c) Şebeke

Şekil 5.48’de SG1, SG2 ve şebekenin 24 saat boyunca ürettikleri reaktif güçlerin değişimi gösterilmiştir. Baraların gerilim profillerini iyileştirmek adına, şebekenin sisteme daha fazla reaktif güç enjekte ettiği gözlemlenmektedir. SG’ler de WQ matrisindeki verilere göre yüklenmektedir. Dolayısıyla, SG1 SG2’ye göre daha fazla reaktif güç sisteme enjekte etmektedir.



Şekil 5. 48 Senaryo 3.2’de önerilen ÇAS kanunun kullanılması sonucunda bütün DÜ birimlerine ait reaktif güç değişimleri

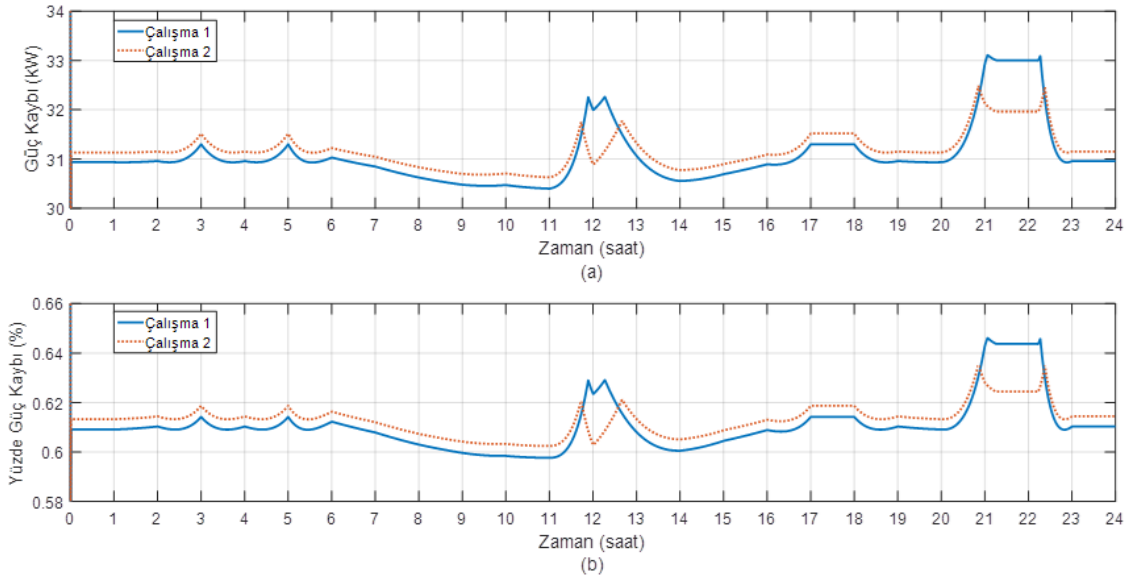
Şekil 5.49’da hem Model 3.1 hem de Model 3.2’de önerilen ÇAS kanunlarının kullanımı sonucunda SG1, SG2 ve şebekenin reaktif güç üretim değişimlerinin karşılaştırılması yapılmıştır.



Şekil 5. 49 Senaryo 3.2’de her iki çalışma durumu için zamana bağlı reaktif güç değişimi (a) SG1, (b) SG2, (c) Şebeke

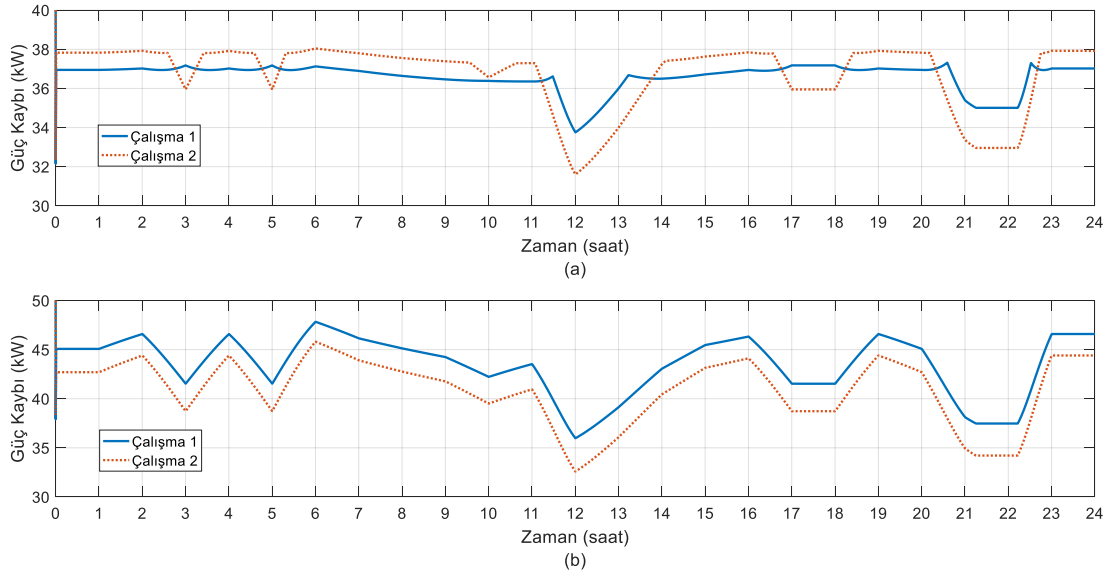
Değişimler incelendiğinde, Model 3.2’de önerilen ÇAS kanunun kullanımıyla SG1 ile şebekenin reaktif güç üretiminin arttığı, SG2’nin üretiminin azaldığı görülmektedir. Böylelikle, daha sonra görüleceği üzere sistemin gerilim profilinde iyileşme sağlanmıştır.

Şekil 5.50’de her iki kanunun kullanılmasıyla beraber sisteme ait güç kaybı ile yüzde güç kaybına ait değişimlerin kıyaslamaları yapılmıştır.



Şekil 5. 50 Senaryo 3.2’de her iki çalışma durumunun (a) sistem güç kayıpları açısından, (b) yüzde güç kaybı açısından karşılaştırılması

Söz konusu değişimler göstermektedir ki, mevcut mesafe değerleri göz önüne alındığında Model 3.2’de önerilen ÇAS kanunu sistem kayıplarını azaltmada Model 3.1’de önerilen ÇAS kanununun gerisinde kalmıştır. Ajanlar arasındaki mesafenin kayıplar üzerinde nasıl bir etkiye sahip olduğunu görmek için, 671 ile 680 baraları arasındaki mesafe 1000 ft. değerinden 2000 ft ve 4000 ft. değerlerine çıkarılarak test sistemindeki empedans değerleri arttırılarak her iki kontrol kanunundan elde edilen sonuçlar Şekil 5.51’de tekrar karşılaştırılmıştır.



Şekil 5. 51 Senaryo 3.2’de 671-680 baraları arasındaki mesafenin (a) 2000 ft. olması durumunda sistem güç kayıplarının karşılaştırılması (b) 4000 ft. olması durumunda sistem güç kayıplarının karşılaştırılması

Şekil 5.51’de elde edilen sonuçlar, mesafe değerlerine bağlı olarak Model 3.2’de önerilen ÇAS kanununun Model 3.1’e göre sistem güç kayıplarını azaltabildiğini göstermektedir. Enerji kayıpları ve gerilim profili açısından elde edilen sonuçlar Çizelge 5.17’de verilmiştir.

Çizelge 5. 17 Senaryo 3.2’de ÇAS kontrol kanunlarının mesafe değerleri dikkate alınarak gerilim profilleri ile enerji kayıpları açısından karşılaştırılması

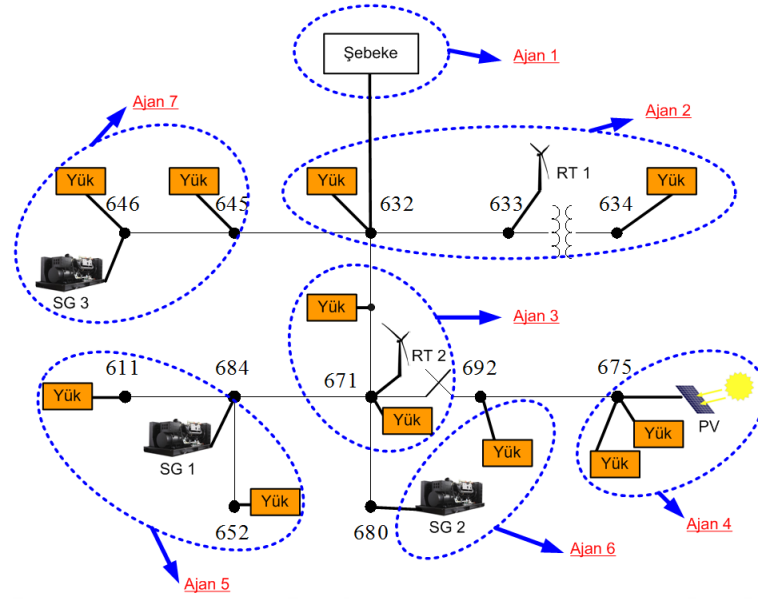
671 – 680 Baraları Arasındaki Mesafe Değerleri (ft.)	Model 3.1 ÇAS Yöntemi	Bara 634		Bara 680		Bara 684	
		V_{min}	MAPE	V_{max}	MAPE	V_{max}	MAPE
	1000	0.9951	0.39	1.0371	3.01	1.0295	2.30
	2000	0.9951	0.39	1.0424	3.85	1.0275	2.27
	4000	0.9951	0.39	1.0515	5.09	1.0250	2.12
	Model 3.2 ÇAS Yöntemi	Bara 634		Bara 680		Bara 684	
		V_{min}	MAPE	V_{max}	MAPE	V_{max}	MAPE
	1000	0.9951	0.39	1.0345	2.88	1.0284	2.28
	2000	0.9951	0.39	1.0359	3.32	1.0254	2.14
	4000	0.9951	0.39	1.0371	3.49	1.0220	1.78
	Model 3.2	Enerji Kaybı Azaltma [kWh/gün]			Yüzde Enerji Kaybı Azaltma [%]		
	1000	-2.488			-0.33		
	2000	-3.197			-0.36		
	4000	61.49			5.9		

Her iki ÇAS kanunun gerilim açısından verileri incelendiğinde, 634 nolu baraya ait gerilim verilerinin aynı olduğu ancak 680 ve 684 nolu baralara ait gerilim verilerinin Model 3.2’de önerilen ÇAS kontrol kanunun uygulanmasıyla her empedans değerinde çok daha iyi değerler aldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, Çizelge 5.17’de Model 3.2’de önerilen ÇAS kanununun Model 3.1’de önerilen ÇAS kanuna göre enerji kaybını azaltma miktarı da ifade edilmiştir. Çizelgedeki 1000 ft.’lik ve 2000 ft.’lik mesafe değerinde enerji kaybı değişimi negatiftir yani kayıplar artmaktadır ki bu durum Şekil 5.50 ve Şekil 5.51’deki sonuçları doğrulamaktadır. Ancak, 4000 ft. mesafe değerinde ise Model 3.2’de önerilen ÇAS kanununu, Model 3.1’de önerilen ÇAS kanuna göre enerji kaybı açısından tasarruf sağlanmaktadır. Bu bilgiler göz önüne alındığında mesafe miktarına göre empedans arttıkça daha fazla enerji tasarrufu sağlanacağı söylenebilmektedir.

5.4.3 Senaryo 3.3 - Model 3.2 Sonuçları

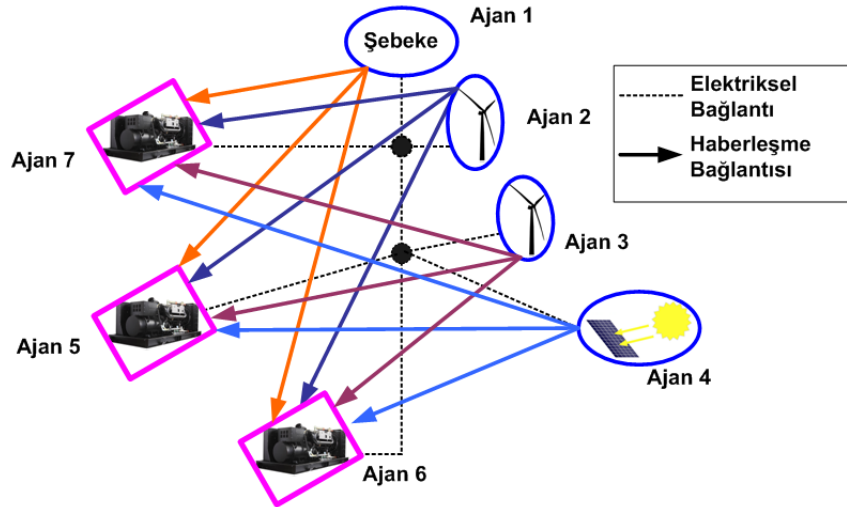
Senaryo 3.3’de, hem referans ÇAS kanunu hem de nihai olarak oluşturulan empedans tabanlı Model 3.2 üç kontrol edilebilir ajana sahip farklı bir test sistemini kontrol etmek için kullanılmıştır. Böylece, geliştirilen kontrol kanununun herhangi sayıdaki ajana sahip sistemler için genel olarak uygulanabilir olduğu gösterilmiştir. EK-A’da verilen algoritma her sayıdaki ajan sayısına sahip sisteme uygulanabilmektedir.

Bu senaryoda Model 3.2’nin uygulandığı, DÜ birimlerinin entegre edildiği modifiye IEEE 13 baralı test sisteminin tek hat diyagramı ve bu sistem içinde yer alan ajan grupları Şekil 5.52’de gösterilmiştir. Senaryo 2’de kullanılan sistemden farklı olarak bu sistemde üç adet özdeş SG bulunmaktadır. Yeni eklenen ve ismi SG3 DÜ birimi 646 nolu baraya bağlanmıştır. Senaryo 2’deki sistemden Senaryo 3.3’deki sistem oluşturulurken başka fiziksel değişiklik yapılmamıştır. Ancak, kontrol açısından ajan sayıları ve ajanların içeriğindeki yapılarda bazı değişiklikler olmuştur ve bu değişiklikler Şekil 5.52’de görülebilmektedir.



Şekil 5. 52 Senaryo 3.3’de kullanılan Modifiye IEEE 13 baralı test sistemindeki ajanlar

Bu senaryo için daha önce belirtilen haberleşme ağı oluşturma kurallarına dikkat ederek, Şekil 5.53’de gösterilen haberleşme ağı tercih edilmiştir.



Şekil 5. 53 Senaryo 3.3’ de tercih edilen ajanlar arası haberleşme ağı

Haberleşme ağı belirlendikten sonra, kontrol edilebilen ajanlar olan SG1, SG2 ve SG3 için hem referans ÇAS kanunundan hem de Model 3.2’de önerilen ÇAS kanunundan denklemler elde edilmiştir. Öncelikle, Bölüm 4.1’de açıklandığı üzere A, R ve D matrisleri hesaplanmıştır. Referans ÇAS kanununda kullanılmak üzere A, R ve D matrisleri sırasıyla (5.11), (5.12) ve (5.13)’de gösterilmiştir.

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (5.11)$$

$$R = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.12)$$

$$D = \begin{bmatrix} 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (5.13)$$

Ardından, SG1 ve SG2 için aktif ve reaktif güç değerlerini hesaplayan denklemler, eşitlikler (4.3) ve (4.4)'den elde edilmektedir. Eşitlik (4.3)'de belirtilen aktif güç değerlerini hesaplayan referans ÇAS kanunun kullanılması sonucunda (5.14), (5.15) ile (5.16) numaralı denklemler elde edilmektedir. Aynı şekilde eşitlik (4.4)'de belirtilen reaktif güç değerlerini hesaplayan referans ÇAS kanunun kullanıldığında da benzer denklemler elde edilmektedir.

$$P_5(t + \tau) = \frac{L_1^P(t)}{3} + \frac{L_2^P(t)}{3} + \frac{L_3^P(t)}{3} + \frac{L_4^P(t)}{3} + L_5^P(t) - \left(-\frac{P_1(t)}{3} + \frac{P_2(t)}{3} + \frac{P_3(t)}{3} + \frac{P_4(t)}{3} \right) \quad (5.14)$$

$$P_6(t + \tau) = \frac{L_1^P(t)}{3} + \frac{L_2^P(t)}{3} + \frac{L_3^P(t)}{3} + \frac{L_4^P(t)}{3} + L_6^P(t) - \left(-\frac{P_1(t)}{3} + \frac{P_2(t)}{3} + \frac{P_3(t)}{3} + \frac{P_4(t)}{3} \right) \quad (5.15)$$

$$P_7(t + \tau) = \frac{L_1^P(t)}{3} + \frac{L_2^P(t)}{3} + \frac{L_3^P(t)}{3} + \frac{L_4^P(t)}{3} + L_7^P(t) - \left(-\frac{P_1(t)}{3} + \frac{P_2(t)}{3} + \frac{P_3(t)}{3} + \frac{P_4(t)}{3} \right) \quad (5.16)$$

Eşitlikler (5.14), (5.15) ile (5.16) incelendiğinde, SG1, SG2 ve SG3'ün yüklerle olan mesafelerine bakılmaksızın eşit oranda yük paylaşımı yaptığı görülmektedir. Bu yaklaşım sistem kayıplarını istenildiği ölçüde azaltamamaktadır.

Model 3.2'de önerilen ÇAS kanununda kullanılmak üzere sırasıyla WP ile WQ matrislerinin mevcut sistem için hesaplanması gerekmektedir. Şekil 5.52'de tanıtılan sisteme ait değerler EK-A'da belirtilen algoritmaya girilerek WP ile WQ matrisleri elde

edilmiştir. Ayrıca, 671 ile 680 baraları arasındaki mesafe 1000 ft. değerinden 2000 ft. ve 4000 ft. değerine çıkarılarak, her bir mesafe değeri için WP ile WQ matrisleri hesaplanmıştır ve Çizelge 5.18’de gösterilmiştir. Yedi ajanlı bir sistem olduğundan dolayı WP ile WQ matrisleri, 7x7 boyutundadır ve “u” ajanların numarasını ifade etmektedir. WP ile WQ matrislerinde gösterilmeyen diğer elemanlarının değerleri sıfırdır. Beşinci, altıncı ve yedinci sütunlar ise kontrol edilebilen ajanları ifade eden sütunlardır.

Çizelge 5. 18 Senaryo 3.3’de mesafeye bağlı olarak hesaplanan WP ile WQ matrislerinin elemanları

WP								
671 – 680 Baraları Arasındaki Mesafe Değerleri								
1000 ft.			2000 ft.			4000 ft.		
WP _{u5}	WP _{u6}	WP _{u7}	WP _{u5}	WP _{u6}	WP _{u7}	WP _{u5}	WP _{u6}	WP _{u7}
0.2947	0.2618	0.4434	0.3154	0.2101	0.4745	0.3392	0.1506	0.5102
0.3097	0.2844	0.4059	0.3280	0.2422	0.4298	0.3520	0.1868	0.4613
0.5431	0.3612	0.0958	0.6627	0.2204	0.1169	0.7448	0.1238	0.1314
0.4511	0.3814	0.1675	0.5128	0.2968	0.1904	0.5794	0.2055	0.2151
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
WQ								
671 – 680 Baraları Arasındaki Mesafe Değerleri								
1000 ft.			2000 ft.			4000 ft.		
WQ _{u5}	WQ _{u6}	WQ _{u7}	WQ _{u5}	WQ _{u6}	WQ _{u7}	WQ _{u5}	WQ _{u6}	WQ _{u7}
0.04	0.08	0.88	0.04	0.08	0.88	0	0.04	0.96
0.08	0.12	0.80	0.04	0.08	0.88	0	0.04	0.96
0.48	0.52	0	0.48	0.52	0	0.44	0.48	0.08
0.48	0.52	0	0.44	0.48	0.08	0.40	0.44	0.16
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

WP ile WQ matrisleri elde edildikten sonra, SG1, SG2 ve SG3’ün üretmesi gereken aktif ve reaktif güç değerlerini hesaplayan denklemler elde edilmektedir. Bunun için hem istenilen mesafe değerine göre Çizelge 5.18’den seçilen WP ve WQ matrisleri hem de (5.6) ve (5.7)’de belirtilen R ve D matrisleri eşitlikler (4.26) ile (4.27)’de yerine

yazılmaktadır. 671 ile 680 baraları arasındaki mesafe 4000 ft. değeri için, eşitlik (4.26)'da belirtilen aktif güç değerlerini hesaplayan ÇAS kanunun kullanılması sonucunda eşitlikler (5.17), (5.18) ile (5.19) elde edilmektedir.

$$P_5(t + \tau) = \frac{212.L_1^P(t)}{625} + \frac{44.L_2^P(t)}{125} + \frac{931.L_3^P(t)}{1250} + \frac{2897.L_4^P(t)}{5000} + L_5^P(t) - \left(-\frac{212.P_1(t)}{625} + \frac{44.P_2(t)}{125} + \frac{931.P_3(t)}{1250} + \frac{2897.P_4(t)}{5000} \right) \quad (5.17)$$

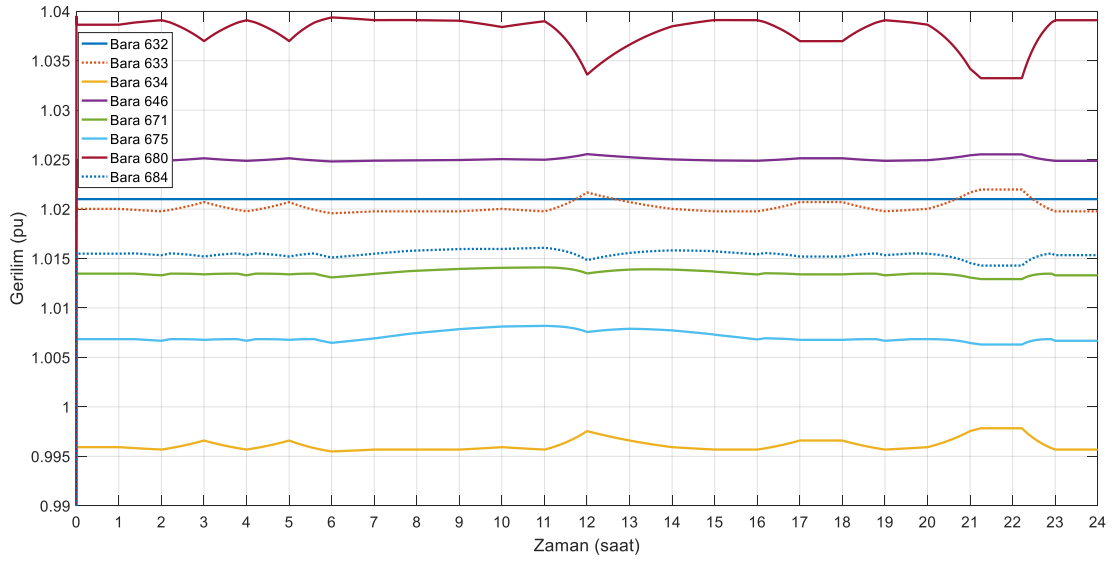
$$P_6(t + \tau) = \frac{753.L_1^P(t)}{5000} + \frac{467.L_2^P(t)}{2500} + \frac{619.L_3^P(t)}{5000} + \frac{411.L_4^P(t)}{2000} + L_6^P(t) - \left(-\frac{753.P_1(t)}{5000} + \frac{467.P_2(t)}{2500} + \frac{619.P_3(t)}{5000} + \frac{411.P_4(t)}{2000} \right) \quad (5.18)$$

$$P_7(t + \tau) = \frac{2551.L_1^P(t)}{5000} + \frac{4613.L_2^P(t)}{10000} + \frac{657.L_3^P(t)}{5000} + \frac{2151.L_4^P(t)}{1000} + L_7^P(t) - \left(-\frac{2551.P_1(t)}{5000} + \frac{4613.P_2(t)}{10000} + \frac{657.P_3(t)}{5000} + \frac{2151.P_4(t)}{1000} \right) \quad (5.19)$$

Söz konusu denklemler, ilgili SG'lerin zaman içerisinde üretmesi gereken aktif güçleri ifade etmektedir. SG'lerin üretmeleri gereken reaktif güç ifadeleri de benzer şekilde eşitlik (4.27) ile hesaplanmaktadır.

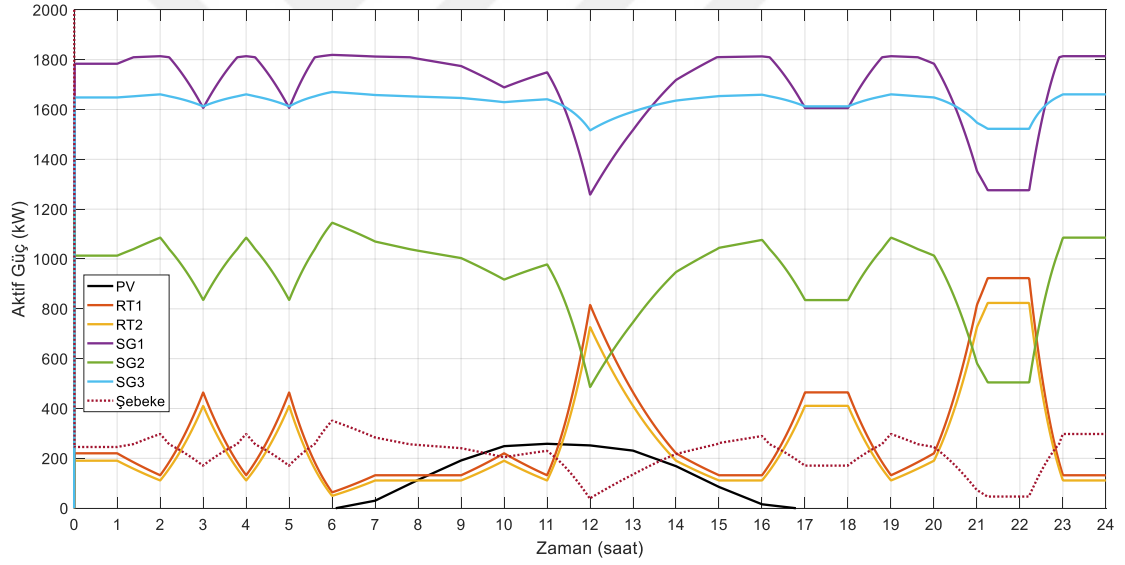
Hesaplanan tüm denklemlerin Simulink'de nasıl kullanıldığı ve bu senaryo için hazırlanmış Matlab function kodları EK-B'de yer almaktadır. Bir sonraki aşamada, 671 ile 680 baraları arasındaki mesafe 4000 ft. değeri için hem referans hem de Model 3.2'de önerilen ÇAS kanunlarına ait denklemler Senaryo 3.3 içinde kullanılarak benzetim sonuçları elde edilmiştir.

Öncelikle referans ÇAS kanunu benzetim çalışmasında kullanılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 5.54, Şekil 5.55 ve Şekil 5.56'da gösterilmiştir. Şekil 5.54'de DÜ birimlerinin ve şebekenin bağlı olduğu baralar ile en düşük gerilim profiline sahip 634 numaralı baraya ait gerilim değişimleri gösterilmiştir.



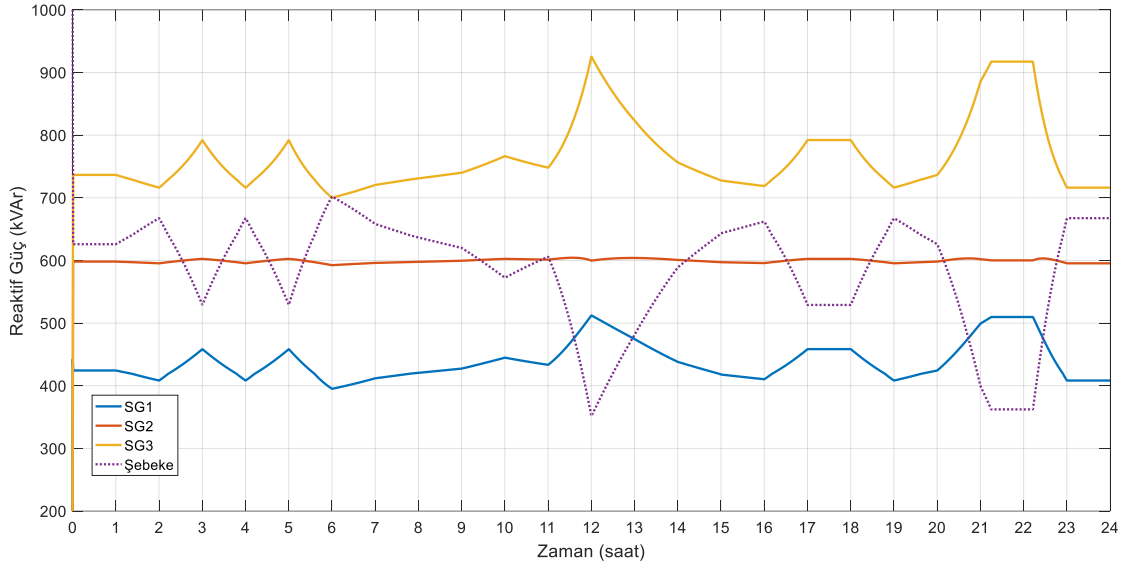
Şekil 5. 54 Senaryo 3.3’de referans ÇAS kanununun kullanılması sonucunda seçilen baralara ait gerilim değişimleri

Şekil 5.55’de bütün DÜ birimlerinin ürettikleri aktif güçlerin değişimi gösterilmiştir.



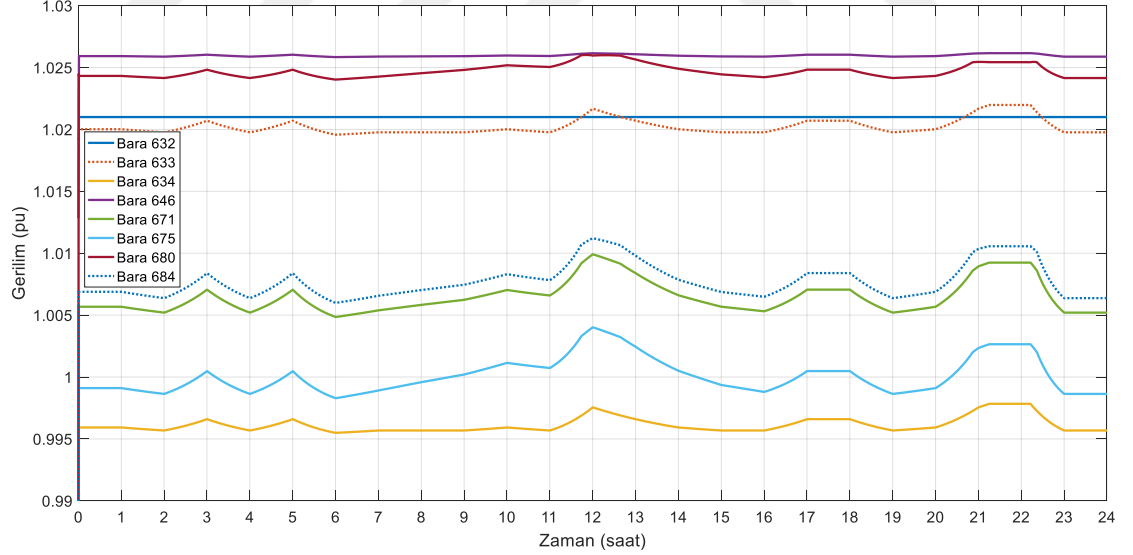
Şekil 5. 55 Senaryo 3.3’de referans ÇAS kanununun kullanılması sonucunda bütün DÜ birimlerine ve şebekeye ait aktif güç değişimleri

Şekil 5.56’da tüm SG’ler ile şebekenin 24 saat boyunca reaktif güçlerinin değişimi gösterilmiştir.



Şekil 5. 56 Senaryo 3.3'de referans ÇAS kanununun kullanılması sonucunda şebekeden çekilen ve SG'ler tarafından üretilen reaktif güç değişimi

Referans ÇAS kanunu kullanılarak, test sisteminden sonuçlar elde edildikten sonra, Model 3.2'de önerilen ÇAS kanununa ait benzetim sonuçları elde edilmiştir. Şekil 5.57'de DÜ birimlerinin ve şebekenin bağlı olduğu baralar ile en düşük gerilim profiline sahip 634 numaralı baraya ait gerilim değişimi gösterilmiştir.

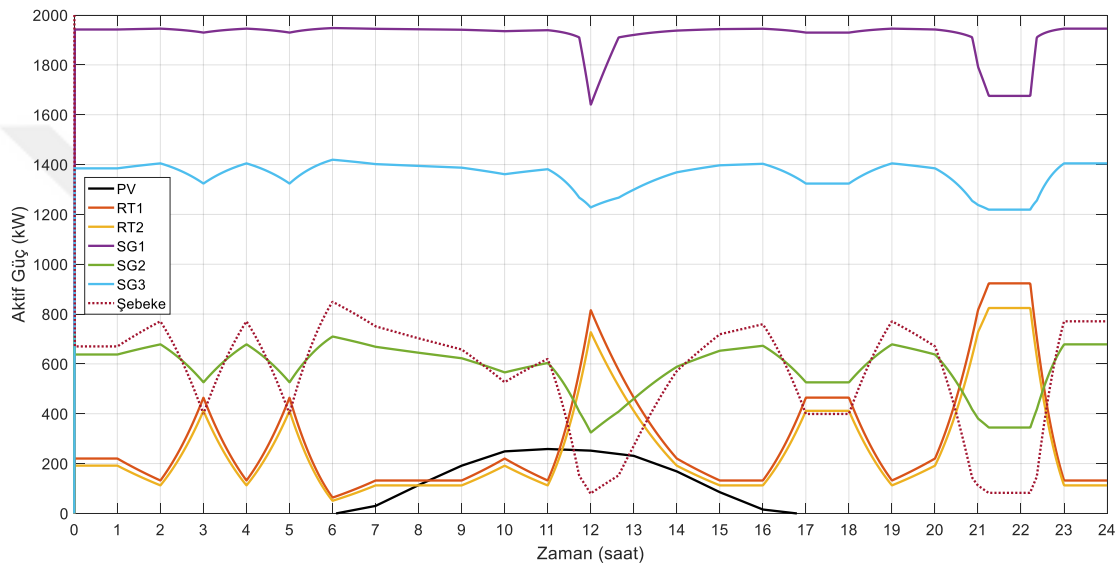


Şekil 5. 57 Senaryo 3.3'de önerilen ÇAS kanununun kullanılması sonucunda seçilen baralara ait gerilim değişimleri

Şekil 5.54'de verilen gerilim değişimleri ile Şekil 5.57'deki değişimler kıyaslandığında, baralara ait gerilim profillerini Model 3.2'de önerilen ÇAS kanunu, Model 3.1'de önerilen ÇAS kanunundan daha fazla iyileştirdiği gözlemlenmektedir. Ancak, 646 numaralı baraya ait gerilim değişiminde bir iyileşme yerine az da olsa bir bozulma

olmuştur. Bunun temel sebebi, bu baraya bağlı olan SG'nin ürettiği reaktif güç değerinin referans duruma göre artmasıdır.

Şekil 5.58'de tüm DÜ birimleri ile şebekenin ürettikleri aktif güçlerin değişimi gösterilmiştir. PV ve RT'lerin ürettikleri aktif güçler Şekil 5.55'de gösterilen sonuçlara göre bir değişim olmamaktadır. Ancak, hem kayıpları azaltmak hem de baralara ait gerilim profillerini iyileştirmek adına Model 3.2'de önerilen ÇAS kanununun kullanımıyla SG1, SG2, SG3 ve şebekenin aktif güç üretim seviyelerinde değişiklik söz konusu olmuştur.

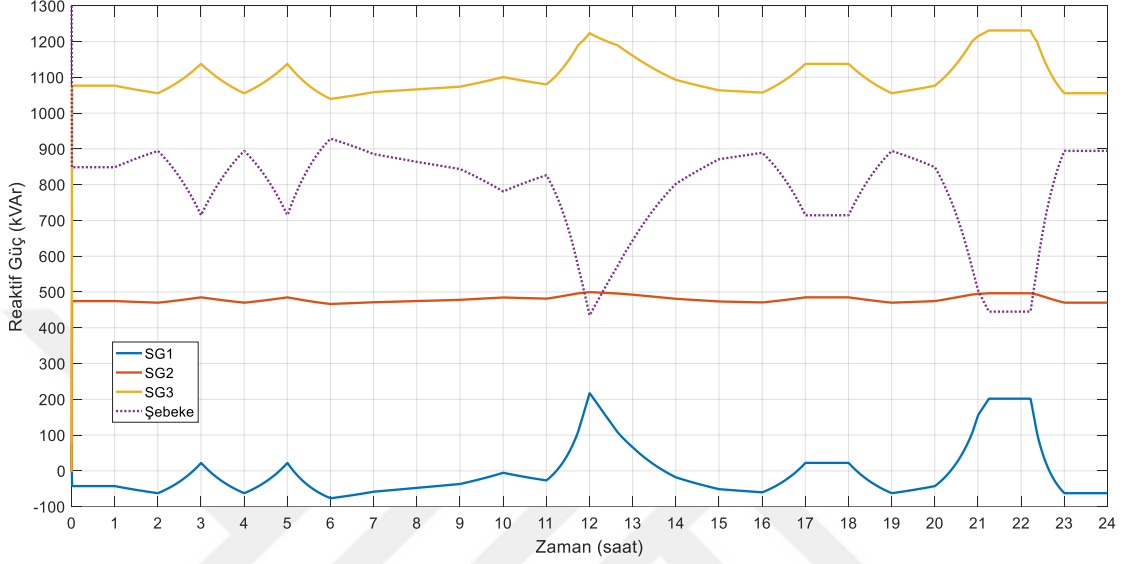


Şekil 5. 58 Senaryo 3.3'de önerilen ÇAS kanununun kullanılması sonucunda bütün DÜ birimlerine ve şebekeye ait aktif güç değişimleri

Şekil 5.58'deki SG'lere ve şebekeye ait değişimler, Şekil 5.55'deki değişimlerle kıyaslandığında, Model 3.2'de önerilen ÇAS kanununun kullanımıyla SG1 ile şebekenin sisteme verdikleri aktif güç değerleri artarken, SG2 ile SG3'ün sisteme verdikleri aktif güç değerlerinin azaldığı görülmektedir. Bu değişimin oluşmasıyla sistemdeki güç kaybının azalması söz konusu olmaktadır.

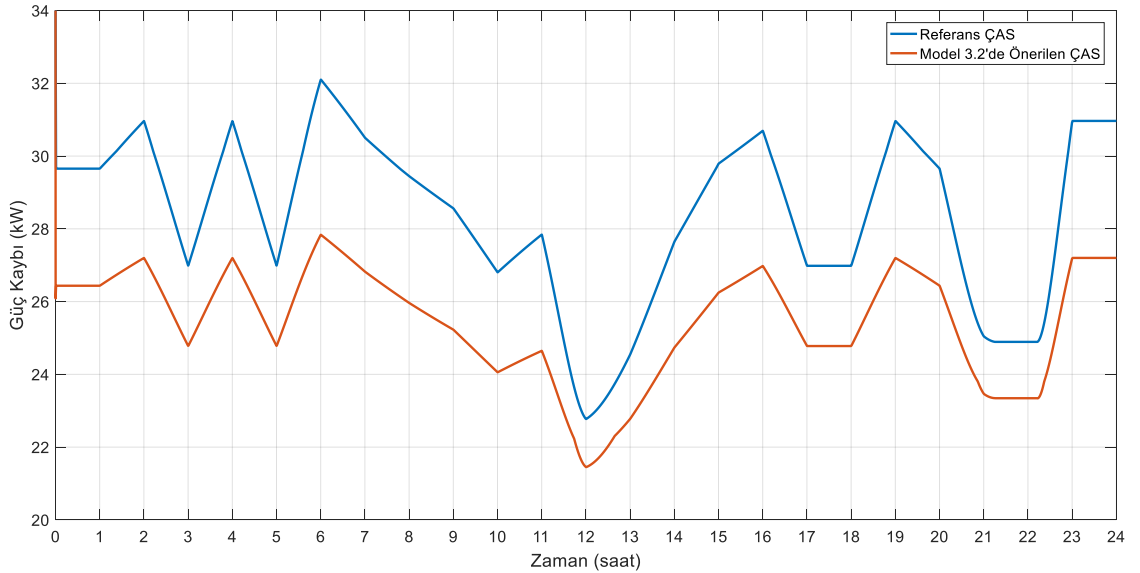
Şekil 5.59'da SG1, SG2, SG3 ve şebekenin ürettikleri reaktif güçlerin değişimi gösterilmiştir. Baralara ait gerilim profillerini iyileştirmek adına Model 3.2'de önerilen ÇAS kanununun kullanımıyla SG1, SG2, SG3 ve şebekenin reaktif güç üretim seviyelerinde Şekil 5.56'da gösterilen değişimlere göre farklılıklar söz konusu olmuştur. Şekil 5.59'deki SG'lere ve şebekeye ait değişimler, Şekil 5.56'daki değişimlerle kıyaslandığı takdirde, Model 3.2'de önerilen ÇAS kanununun kullanımıyla SG3 ile

şebekenin sisteme verdikleri reaktif güç değerleri artmaktadır, SG2'nin sisteme verdiği reaktif güç değerinin azaldığı anlaşılmaktadır. Ancak, SG1'in hem sisteme verdiği reaktif güç değeri azalmaktadır hem de gün içerisinde gerilim regülasyonunu sağlamak adına sistemden reaktif güç talep edip, yük gibi davranmaktadır. Böylelikle, mevcut sistem için gerilim regülasyonu sağlanmaktadır.



Şekil 5. 59 Senaryo 3.3'de önerilen ÇAS kanunun kullanılması sonucunda şebekeden çekilen ve SG'ler tarafından üretilen reaktif güç değişimi

Şekil 5.60'da her iki kanunun kullanılmasıyla beraber sisteme ait güç kaybı değişimleri görülmektedir.



Şekil 5. 60 Senaryo 3.3'de her iki kontrol kanununun sistem güç kayıpları açısından karşılaştırılması

Şekil 5.60 incelendiğinde, Model 3.2’de önerilen ÇAS kanunu referans ÇAS kanununa göre kayıpları % 10.28 oranında azalttığı tespit edilmiştir. Ardından, 671 ile 680 baraları arasındaki mesafenin 1000 ft. ve 2000 ft. değerleri için her iki ÇAS kontrol kanunu tekrar uygulanarak, elde edilen sonuçlar tekrar karşılaştırılmıştır. Çizelge 5.19’da her bir mesafe verisine göre seçilen bazı baralara ait gerilim verileri ile Model 3.2’de önerilen ÇAS kanununun referans ÇAS kanununa göre enerji kaybını azaltma verileri belirtilmiştir.

Çizelge 5. 19 Senaryo 3.3’de gerilim profili ile enerji kaybına mesafenin etkisi

671 – 680 Baraları Arasındaki Mesafe Değerleri (ft.)	Referans	Bara 634		Bara 646		Bara 680		Bara 684	
	ÇAS Yöntemi	V _{min}	MAPE	V _{max}	MAPE	V _{max}	MAPE	V _{max}	MAPE
	1000	0.9951	0.39	1.0256	2.50	1.0209	2.02	1.0163	1.57
	2000	0.9951	0.39	1.0256	2.50	1.0271	2.62	1.0162	1.56
	4000	0.9951	0.39	1.0256	2.50	1.0395	3.79	1.0161	1.54
	Model 3.2 Yöntemi	Bara 634		Bara 646		Bara 680		Bara 684	
		V _{min}	MAPE	V _{max}	MAPE	V _{max}	MAPE	V _{max}	MAPE
	1000	0.9951	0.39	1.0260	2.59	1.0174	1.62	1.0136	1.18
	2000	0.9951	0.39	1.0261	2.59	1.0211	1.98	1.0130	1.04
	4000	0.9951	0.39	1.0262	2.60	1.0260	2.47	1.0112	0.77
	Model 3.2 Yöntemi	Enerji Kaybı Azaltma [kWh/gün]				Yüzde Enerji Kaybı Azaltma [%]			
	1000	-5.6735				-1.11			
	2000	14.185				2.49			
	4000	69.95				10.28			

Çizelge 5.19’da seçilen baralardan 634 en düşük gerilim profile sahip bara iken, 646, 680 ve 684 nolu baralara SG’ler bağlı bulunmaktadır. Baraların gerilim profilleri incelenirken, mesafe verileri dikkate alınarak, seçilen bütün baraların MAPE değerleri hesaplanmıştır. Bahsi geçen gerilim verilerine ek olarak, 634 nolu baranın minimum gerilim değeri ile 646, 680 ve 684 nolu baraların maksimum gerilim değerleri çizelgede belirtilmiştir. Her iki ÇAS kanunu gerilim açısından verileri incelendiğinde, her mesafe değeri için 634 nolu baraya ait gerilim verilerinin aynı olduğu, 680 ve 684 nolu baralara ait gerilim verilerinin Model 3.2’de önerilen ÇAS kanununun uygulanmasıyla daha iyi değerler aldığı tespit edilmiştir. Ancak, 646 nolu baranın gerilim profilinin ise her

mesafe değeri için bozulduğu tespit edilmiştir. Bu bozulmanın temelinde, 646 nolu baraya bağlı olan SG3'ün Model 3.2'de önerilen ÇAS kanununun kullanılmasıyla beraber reaktif güç üretiminin ciddi anlamda artmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum hem baralara ait verilerin hem SG'lerin reaktif güç verilerinin karşılaştırılması yapılırken belirtilmiştir. Çizelge 5.19'da ayrıca Model 3.2'de önerilen ÇAS kanununun referans kanuna göre enerji kaybını azaltma miktarı ifade edilmiştir. Çizelgedeki bilgiler göstermektedir ki, mesafenin azalmasına bağlı olarak empedans değerinin azalmasıyla Model 3.2'de önerilen ÇAS kanunun enerji tasarrufu azalmakta ve hatta 1000 ft.'lik değer için enerji tasarrufu sağlayamamaktadır. Bu verilerden yola çıkarak, SG'ler ile yükler arasındaki empedans değerlerinin yüksek olduğu sistemler için Model 3.2'de önerilen ÇAS kanunu referans ÇAS kanununa göre hem ciddi anlamda gerilim profilini iyileştirdiği hem de enerji kaybını oldukça azalttığı sonucuna varılabilir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Teknolojinin gelişmesiyle beraber elektrik enerjisi, günümüzde her alanda daha da önemli bir yer tutmaktadır. Son yıllarda, elektrik güç sisteminin tüketici kısmında bilişim teknolojisine sahip elektrik enerjisi ile çalışan cihazların kullanımında artış olduğu gözlemlenmektedir. Dolayısıyla, kesintisiz, verimli, uygun fiyatlı, güvenilir ve sistem kayıplarının düşük olduğu elektrik enerjisinin tüketicilere sunulması önem arz etmektedir. Günümüz şebekesinin sorunları ve gelecekte karşılaşılması muhtemel zorluklardan dolayı, şebekenin yapısı ve işletilmesini iyileştirecek çalışmalar yürütülmektedir. Akıllı şebeke başlığı altındaki bu araştırmalar, şebekenin daha verimli, güvenilir ve çevre dostu olarak işletilmesini amaçlamaktadırlar. Sunulan tez çalışması da bu amaçlara katkı sağlamaktadır. Tez çalışmasıyla, mikro şebeke yapısına sahip bir elektrik dağıtım sisteminde hem üretilen elektrik enerjisi ile talep edilen elektrik enerjisinin dengelenmesi gerçekleştirilmiş hem de güç kayıplarının düşürülmesi sağlanmıştır.

Bu kapsamda, tez çalışmasında öncelikle üretim tüketim dengesini sağlayan ve referans olarak alınan ÇAS kanunu üzerinde incelemeler yapılmıştır. Ardından, referans ÇAS kanununu içeren, kayıpları azaltmayı hedefleyen dağıtık ve hibrit kontrol algoritmaları geliştirilmiştir. Bir sonraki aşamada, ajanlar arasındaki mesafe verilerini dikkate alan ÇAS kanunları hazırlanmıştır. Daha sonra, ajanlar arasındaki empedans verilerini dikkate alan ÇAS kanunları geliştirilmiş. Son olarak, hem EK-A'da gösterilen empedans tabanlı ÇAS kanunu için WP ile WQ hesaplayan genelleştirilmiş algoritma hem de EK-B'de ifade edilen Simulink benzetim ortamında SG'lerin üretim değerlerini hesaplayan

fonksiyon hazırlanmıştır. Kontrol kanunları hazırlandıktan sonra, benzetim çalışmalarının yapılacağı modifeye IEEE 13 baralı test sistemi hazırlanmıştır. Hazırlanan test sistemine DÜ birimleri eklenerek test sistemi tamamlanmıştır. Daha sonra, test sistemini ÇAS metodu ile kontrol etmek için gerekli olan ajan yapıları oluşturulup, ajanlar arasında kurulması istenen haberleşme ağı oluşturulmuştur. Benzetim çalışmalarında öncelikle dağıtık ve hibrit kontrol algoritmaları test sistemine uygulanmış ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Ardından, tez çalışması kapsamında önerilen hem mesafe tabanlı hem de empedans tabanlı ÇAS kontrol kanunları, referans ÇAS kontrol kanunuyla kıyaslanmıştır. Benzetim çalışmalarında birden fazla ÇAS ile kontrol senaryosu oluşturulup, elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, önerilen ÇAS kanunlarının hem elektrik sistemi içindeki güç dengesini sağlaması hem baralara ait gerilim profillerinin iyileştirilmesi hem de sistem kayıplarını azaltması konularındaki başarısını ortaya koymuştur.

Tez çalışması dâhilinde hazırlanan ajanlar arasındaki mesafeyi veya empedansı dikkate alan kontrol kanunlarıyla yapılan çalışmalara bağlı olarak elde edilen çıktılar ve gelecek çalışmalara yönelik öneriler aşağıda maddeler halinde sunulmuştur;

- Referans ÇAS kanununu içeren ve kayıpları azaltmayı hedefleyen dağıtık ve hibrit kontrol algoritmalarının ikisinin de güç kayıplarını azalttığı görülmüştür. Ancak, iki algoritma kıyaslandığında hibrit kontrol algoritmasının kayıpları azaltmada daha başarılı olduğu tespit edilmiştir. Ancak, dağıtık kontrol algoritmasına göre daha karmaşık bir yapıya sahiptir.
- Geliştirilen yeni ÇAS kanunları yeni nesil şebekelerdeki DÜ birimleri için yük paylaşımı açısından yeni işletme önerileri getirmektedir. Söz konusu işletme biçimi, sistemin kayıplarını azaltırken gerilim profilini iyileştirmektedir.
- Geliştirilen ÇAS kanunları çeşitli senaryolar içinde uygulanarak elde edilen sonuçlar incelendiğinde bazı durumlar tespit edilmiştir. Hem mesafe tabanlı hem de empedans tabanlı geliştirilen W matrisli ÇAS kanunu enerji kaybı açısından her durumda referans ÇAS kanunundan daha iyi sonuçlar vermiştir. Ancak, mesafe ya da empedans tabanlı WP ve WQ matrisli ÇAS kanunları ile W matrisli ÇAS

kanunlarının enerji kaybı açısından karşılaştırıldığında, WP ve WQ matrisli ÇAS kanunları mesafe ya da empedans değeri arttıkça daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

- Bütün radyal yapıdaki güç sistemlerine uygulanabilen ve değişen koşullara hızlıca uyum sağlayabilecek yapıya sahip çeşitli ÇAS kontrol yaklaşımları geliştirilmiştir. Bu yaklaşımların kullanılması güç sistemlerinin verimliliğini, etkinliğini ve performansının arttırılmasına destek olacaktır. Sonuç olarak da sistem kayıplarının daha düşük seviyeye çekilmesine katkı sağlayacaktır.
- Tez çalışmasında literatürde oldukça önemli yeri olan IEEE 13 baralı test sistem temel alınmıştır. Böylelikle, akıllı şebekeler dâhilinde DÜ birimlerinin elektrik şebekesine bağlantısında araştırmalar yapıp test edilmiştir. Bu açıdan tez çalışmasından elde edilen çıktılar DÜ birimlerinin entegrasyonu hakkında araştırma yapanlara yardımcı olacaktır.
- Bahsi geçen çalışma alanında yer almak isteyenlerin yetişmesi ve gelişmesine katkı sağlaması hedeflenmektedir.
- Sunulan tez çalışmasında, radyal yapıdaki mikro şebekeler için ÇAS kanunları geliştirilmiştir. Gelecek çalışmalarda, ring ya da mesh yapısına sahip dağıtım şebekelerine uygun ÇAS kanunları geliştirilebilir.
- Tez çalışmasında yer alan senaryo sonuçları incelendiğinde, her mesafe ya da empedans değeri için güç kayıplarının azaltılması ile baralara ait gerilim profillerinin iyileştirilmesinin eş zamanlı olarak yapılamadığı gözlemlenmiştir. Bu tespit sonucunda, gelecek çalışmalarda WQ matrisinin elde edilme yönteminde değişime gidilerek her mesafe ya da empedans değeri için gerilim profilini ve güç kayıplarını eş zamanlı iyileştirilebilir.

Sonuç olarak, akıllı şebekeler günümüzde dünyada araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılan güncel ve popüler konu başlıkları içermektedir. Bu konular üzerinde ülkemizde de yeni başlayan çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Akıllı şebekeler üzerinde dünya ile aynı anda araştırmalar yapılması oldukça önemlidir. Elektrik enerjisinde dışa bağımlılık oranının azaltılarak, yenilenebilir, güvenilir, verimli ve kaliteli elektrik enerjisinin üretimi ülkemizin başlıca öncelikli konulardan biridir. Dolayısıyla, hem mevcut enerji

kaynaklarının verimli kullanılması gerekmektedir hem de elektrik güç sistemine dâhil olan bütün tüketicilerin elektrik tüketimi konusunda bilinçlendirilerek topyekün bir enerji verimliliği sağlanmalıdır. Bu bağlamda, hem gereksiz elektrik enerjisinin tüketimini azaltmak için basın, yayın organları aracılığıyla toplumsal farkındalığın oluşturulmalı hem de ülkemizde yapılan bu tip araştırma ve geliştirme çalışmalarını yeterli görmemeli, akıllı şebeke üzerindeki çalışmalara devam edilmelidir.



KAYNAKLAR

- [1] Turan, M. T., (2014). Akıllı Şebekelerde Arıza Analizi ve Koruma, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] Uzunoğlu, M. ve Erdiñç, O., (2013). Akıllı Şebekelere Giriş, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.
- [3] Quang-Dung, H. ve Tho L., (2013). "Smart Grid Communications Networks: Wireless Technologies, Protocols, Issues, and Standards", Elsevier, 115-146.
- [4] Khamphanchai, W., Pisanupoj, S., Ongsakul, W. ve Pipattanasomporn, M., (2011). "A Multi-Agent Based Power System Restoration Approach in Distributed Smart Grid", International Conference & Utility Exhibition on Power and Energy Systems: Issues and Prospects for Asia (ICUE), 28-30 September 2011, Pattaya City.
- [5] Bellifemine, F.; Caire, G., ve Greenwood, D., (2007). Developing Multi-Agents System with JADE, John Wiley & Sons, Chichester.
- [6] Nagata, T., Ueda, Y. ve Utatani, M., (2012). "A Multi-agent Approach to Smart Grid Energy Management", Conference on Power & Energy, 12-14 December 2012, Ho Chi Minh City.
- [7] Gupta, R., Jha, D. K., Yadav, V. K. ve Kumar, S., (2013). "A Multi-Agent Based Self-Healing Smart Grid", IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, 8-11 December 2013, Kowloon.
- [8] Cha, H. J., Won, D. J., Kim, S. H., Chung, I. Y. ve Han, B. M., (2015). "Multi-Agent System-Based Microgrid Operation Strategy for Demand Response", Energies, 8(12):14272-14286.
- [9] Duan, R. ve Deconinck, G., (2010). "Future Electricity Market Interoperability of a Multi-agent Model of the Smart Grid", International Conference on Networking, Sensing and Control, 10-12 April 2010, Chicago.
- [10] Belkacemi, R., Babalola, A., Ariyo, F. ve Feliachi, A., (2013). "Restoration of Smart Grid Distribution System using Two-Way Communication Capability", North American Power Symposium, 22-24 September 2013, Manhattan.

- [11] Liu, Z., Chen, Z., Liu, C., Sun, H. ve Hu, Y., (2012). "Multi Agent System Based Wide Area Protection against Cascading Events", 10th International Power & Energy Conference, 12-14 December 2012, Ho Chi Minh City.
- [12] Belkacemi, R. ve Bababol, A., (2014). "Experimental Implementation of Multi-Agent System Algorithm for Distributed Restoration of a Smart Grid System", IEEE SOUTHEASTCON, 13-16 March 2014, Lexington.
- [13] Lu, J., Xie, D. ve Ai, Q., (2009). "Research on Smart Grid in China", Transmission & Distribution Conference & Exposition: Asia and Pacific, Seoul, 26-30 October 2009, South Korea.
- [14] Logenthiran, T., Srinivasa, D. ve Shu, T. Z., (2011). "Multi-Agent System for Demand Side Management in Smart Grid", IEEE Ninth International Conference on Power Electronics and Drive Systems, 5-8 December 2011, Singapore.
- [15] Dimeas, A. ve Hatziagyiou, N. D., (2004). "A Multi-agent System for Microgrids", IEEE PES General Meeting, 6-10 June 2004, Denver.
- [16] Dimeas, A. L. ve Hatziagyiou, N. D., (2007). "Agent Based Control of Virtual Power Plants", International Conference on Intelligent Systems Applications to Power Systems, 4- 8 November 2007, Kaohsiun.
- [17] Dimeas, A., Hatzivasiliadis, S. I. ve Hatziargyiou, N. D., (2009). "Control Agents for Enabling Customer-driven Microgrids", IEEE Power & Energy Society General Meeting, 26 - 30 July 2009, Calgary.
- [18] Colson, C. M. ve Nehrir, M. H., (2011). "Algorithms for Distributed Decision-Making for Multi-agent Microgrid Power Management", IEEE Power and Energy Society General Meeting, 24 - 29 July 2011, Detroit.
- [19] Li, F., Qiao, W., Sun, H., Wan, H., Wang, J., Xia, Y., Xu, Z. ve Zhang, P., (2010). "Smart Transmission Grid: Vision and Framework", IEEE Transactions on Smart Grid, 1(2):168-177.
- [20] Liang, H., Choi, B. J., Zhuang, W., Shen, X., Awad, A. S. A. ve Abdr, A., (2012). "Multi-agent Coordination in Microgrids via Wireless Network", IEEE Wireless Communications, 19(3):14-22.
- [21] Peng, Y., Yanqiong, Z. ve Yiguang, H., (2013). "Design Games to Solve Distributed Optimization Problem with Application in Electric Vehicle Charge Management", In Proceedings of the 32nd Chinese Control Conference, 26 – 28 July 2013, Xi'an.
- [22] Zhang, W., Liu, W., Wang, X., Liu, L. ve Ferrese, F., (2015). "Online Optimal Generation Control Based on Constrained Distributed Gradient Algorithm", IEEE Trans. Power Syst., 30(1):35–45.
- [23] Zhang, W., Xu, Y., Lu, W., Zang, C. ve Yu, H., (2015). "Distributed Online Optimal Energy Management for Smart Grids", IEEE Transactions on Industrial Informatics, 11(3):717–727.
- [24] Xu, Y. ve Li, Z., (2015). "Distributed Optimal Resource Management Based on the Consensus Algorithm in a Microgrid", IEEE Transactions on Industrial Electronics, 62(4):2584–2592.

- [25] Jain, P. ve Ranade, S. J., (2009). "Capacity Discovery in Customer-Driven Microgrids", In Proceedings of the North American Power Symposium (NAPS), 4–6 October 2009, Starkville.
- [26] Abdulmohsen, A. M., El-Sharkawy, M. A. ve Omran, W. A., (2016). "Power Management in Islanded Microgrids Using Multi-Agent Systems ", IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe), 9-12 October 2016, Ljubljana.
- [27] Solanki, B. V., Bhattacharya, K., ve Cañizares, C. A., (2017). "A Sustainable Energy Management System for Isolated Microgrids," IEEE Transactions on Sustainable Energy, 8(4):1507-1517.
- [28] Choi, Y., Lim, Y. ve Kim, H. M., (2017). "Optimal Load Shedding for Maximizing Satisfaction in an Islanded Microgrid," Energies, 10:45.
- [29] Li, Q., Chen, F., Chen, M., Guerrero, J. M. ve D. Abbott, (2015). "Agent-Based Decentralized Control Method for Islanded Microgrids," IEEE Transactions on Smart Grid, 7(2):637 – 649.
- [30] Hernandez, F. I., Canesin, C. A., Zamora, R. ve Srivastava, A. K., (2014). "Active Power Management in Multiple Microgrids Using a Multi-Agent System with JADE", 11th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications, 7-10 December 2014, Juiz de Fora.
- [31] Tomar, K.K.S. ve Singh, S. N., (2015). "Energy Management and Control of Microgrid Using Multi-Agent Systems", IEEE UP Section Conference on Electrical Computer and Electronics (UPCON), 4-6 December 2015, Allahabad.
- [32] Amicarelli, E., Tran, Q. T. ve Bacha, S., (2016). "Multi-Agent System for Day-Ahead Energy Management of Microgrid", 18th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'16 ECCE Europe), 5-9 September 2016, Karlsruhe.
- [33] Sumitomo Electric Industries, Ltd., Geleneksel Elektrik Şebeke Yapısı, <http://global-sei.com/csr/feature/2011/images/table011.gif>, 24 Mart 2018.
- [34] Borlease, S., (2013). Smart grids: Infrastructure, technology and solutions, CRC Press, USA.
- [35] Depuru, S.S.S.R., Wang, L. ve Devabhaktuni, V., (2011). "Electricity theft: Overview, issues, prevention and a smart meter based approach to control the theft", Energy Policy, 39(2):1007-1015.
- [36] Winther, T., (2012). "Electricity theft as a relational issue: A comparative look at Zanzibar, Tanzania and the Sunderban Islands, India", Energy for Sustainable Development, 16(1):111-119.
- [37] Marken, P.E., Marczewski, J.J., D'Aquila, R., Hassink, P., Roedel, J.H. ve Bodo, R.L, (2009). "VFT - a smart transmission technology that is compatible with the existing and future grid", IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition, 15-18 March 2009, Seattle.

- [38] Ting, Y., Zhidong, Z., Jiaowen, W., ve Ang, L., (2010). "Research on transmission data system of smart grid based on IPv6 diffServ model", Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 28-31 March 2010, Chengdu.
- [39] Metke, A. R. ve Ekl, R.L., (2010). "Security technology for smart grid networks", IEEE Transactions on Smart Grid, 1(1):99-107.
- [40] ABD Enerji Departmanı, (2003). Grid 2030: A national vision for electricity's second 100 years, Department of Energy Technical Report, USA.
- [41] ABD Enerji Departmanı, The Smart Grid: An Introduction, <https://www.energy.gov/oe/downloads/smart-grid-introduction-0>, 4 Nisan 2018.
- [42] Open Smart Grid, <https://trilliant.com/wp-content/uploads/2017/08/Smart-Grid-Two-Way-Comms-1024x683.jpg>, 20 Haziran 2018.
- [43] Microgrid Concepts and Distributed Generation Technologies, Mikro Şebekeler, www.pitt.edu/~akwasins/ECE2795%20uGrid%20Week%2013.ppt, 24 Mart 2018.
- [44] Baloğlu, U. B., (2017). Akıllı Şebekelerde Hesapsal Yöntem Uygulamaları, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [45] Cunjiang, Y., Huaxun, Z. ve Lei, Z., (2012). "Architecture design for smart grid, Energy Procedia", 17(B):1524-1528.
- [46] Zehir, M. A., (2013). Akıllı Şebekelerde Termostat Kontrollü Yükler İçin Gelişmiş Yerel Talep Yönetim Sistemi Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [47] What is the Smart Grid?, Akıllı Şebeke, https://www.smartgrid.gov/the_smart_grid/smart_grid.html, 18 Haziran 2018.
- [48] Yuexin, L., Haoqing, X., Hanwu, L. ve Ningxi, S., (2010). "Investment-benefit Analysis and Evaluation Model of the Smart Grid", China International Conference on Electricity Distribution, 13-16 September 2010, Nanjing.
- [49] Panwar, N. L., Kaushik, S. C. ve S. Kothari, (2011). "Role of renewable energy sources in environmental protection: A review", Renew. Sustain. Energy Rev., 15(3):1513-1524.
- [50] Bilgili, M., Ozbek, A., Sahin, B. ve Kahraman, A., (2015). "An overview of renewable electric power capacity and progress in new technologies in the world", Renew. Sustain. Energy Rev., 49:323-334.
- [51] Manzano-Agugliaro, F., Alcayde, A., Montoya, F. G., Zapata-Sierra, A., ve Gil C., (2013). "Scientific production of renewable energies worldwide: An overview" Renew. Sustain. Energy Rev., 18:134-143.
- [52] Beccali, M., Cellura, M. ve Mistretta, M., (2007). "Environmental effects of energy policy in sicily: The role of renewable energy", Renew. Sustain. Energy Rev., 11(2):282-298.
- [53] Renewable Energy Types, Yenilenebilir Enerji Çeşitleri, <https://images.clipartlogo.com/files/istock/previews/8811/88118655-renewable-energy-types.jpg>, 20 Haziran 2018.

- [54] Ackermann, T., Andersson, G. ve Söder, L., (2001). "Distributed generation: a definition", *Electric Power Systems Research*, 57: 195-204.
- [55] Ufluoğlu, E. E., (2018). Ana Sistemle Bağlı Bir Mikro Şebeke İçin Gün İçi Elektrik Piyasasına Dayalı Çizelgeleme, Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [56] About Microgrids, Mikro Şebekeler,
<https://building-microgrid.lbl.gov/about-microgrids>, 20 Haziran 2018.
- [57] Khamphanchai, W., Pipattanasomporn, M. ve S. Rahman, "A Multi-Agent System for Restoration of an Electric Power Distribution Network with Local Generation," 2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting, 22 - 26 July 2012, San Diego.
- [58] Vasif, N., (2005). Yapay Zeka – Problemler, Yöntemler, Algoritma, Seçkin Yayınevi, Ankara.
- [59] Kadar, B., Monostori, L. ve Szelke E., (1998). "An Object-Oriented Framework for Developing Distributed Manufacturing Architectures", *Journal of Intelligent Manufacturing*, 9(2):173-179.
- [60] Özbey, M., (2014). Koalisyon Kurulumu ile Görev Paylaşımı İçin Bir Çoklu Etmen Tabanlı Yürütme Ortamı, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [61] Russell, S. J. ve Norvig, P., (2003). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, Second Edition, Pearson Education International, Prentice Hall., USA.
- [62] Koğ, F., (2016). Çoklu Ajan Sistemleri ile İnşaat Sektörü İçin Bir Yüklenici Seçimi Modeli, Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [63] Wooldridge, M. ve Jennings, N. R., (1995). "Intelligent Agents: Theory and Practice", *The Knowledge Engineering Review*, 10(2):115-152.
- [64] Sycara, K. P., (1998). "Multiagent Systems", *AI Magazine*, 19(2):79-92.
- [65] Wooldridge, M., (1997). "Agent-Based Software Engineering", *IEE Proc. Software Engineering*, 144 (1):26-37.
- [66] Dehghanpour, K., Colson, C. ve Nehrir, H., (2017). "A Survey on Smart Agent-Based Microgrids for Resilient/Self-Healing Grids," *Energies*, 10:620.
- [67] Roche, R., Blunier, B., Miraoui, A., Hilaire, V. ve Koukam A., (2010). "Multi-Agent Systems For Grid Energy Management - A Short Review", 36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, 7-10 November 2010, USA.
- [68] Dijkstra Algorithm, Dijkstra Algoritmasının Tanıtımı,
<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/36140-dijkstra-algorithm>, 19 Ekim 2018.
- [69] IEEE PES AMPS DSAS Test Feeder Working Group, IEEE 13 Baralı Test Sistemi,
<http://sites.ieee.org/pes-testfeeders/resources/>, 20 Haziran 2018.

WP ve WQ HESABI YAPAN GENELLEŞTİRİLMİŞ ALGORİTMA

```

Y=[];% b bara sayısı olmak üzere bxb'lik sisteme ait bara admitans matrisidir
Y=input('Test sistemine ait bara admitans matrisini giriniz: ');

% G olarak ifade edilen parametre baralara ait bir empedans matrisidir.
% G empedans matrisi aşağıda verilen iki basamaklık işlemle bulunmaktadır.
G=1./Y; A1 = diag(diag(G));
G=G-A1;% G empedans matrisi de bxb'lik bir matristir.

aa=[];% aa matrisi, kontrol edilebilen ajanlarla ilgili bilgileri içeren matristir.
% aa matrisi iki satırdan ve kontrol edilebilen ajan sayısı kadar sütundan oluşan bir matristir.
% aa matrisine giriş yapılırken ilk satırda sırasıyla kontrol edilebilen
% ajanların bağlı oldukları baralar sırasıyla yazılırken, ikinci satıra bu
% ajanları haberleşme ağında kullandıkları ajan numaraları yazılmaktadır.
% Örnek olarak, 7 nolu baraya 5.ajan ve 10 nolu baraya 6.ajan bağlandıysa
% giriş olarak [7 10;5 6] olarak yazmak gerekmektedir.

aa=input('Kontrol edilebilen ajanın bara ile ajan numarasını matris olarak giriniz: ');

bb=[];% bb matrisi, kontrol edilemeyen ajanlarla ilgili bilgileri içeren matristir.
% bb matrisi iki satırdan ve kontrol edilemeyen ajan sayısı kadar sütundan oluşan bir matristir.
% bb matrisine giriş yapılırken ilk satırda sırasıyla kontrol edilemeyen
% ajanların bağlı oldukları baralar sırasıyla yazılırken, ikinci satıra bu
% ajanları haberleşme ağında kullandıkları ajan numaraları yazılmaktadır.
% Örnek olarak, 3 nolu baraya 1.ajan, 4 nolu baraya 2.ajan,
% 6 nolu baraya 3.ajan ve 12 nolu baraya 4.ajan bağlandıysa,
% giriş olarak [3 4 6 12;1 2 3 4] olarak yazmak gerekmektedir.

bb=input('Kontrol edilemeyen ajanın bara ile ajan numarasını matris olarak giriniz: ');

tp=length(aa)+length(bb);% Bu parametre toplam ajan sayısını ifade etmektedir.

% Son olarak iki adet daha giriş değeri algoritma tarafından istenmektedir.
% Bu değerlerde, SGLere ait toplam aktif ve reaktif güç değeridir.
% Örnek olarak, P_toplam=15 ve Q_toplam=25 değerleri yazılabilir.

```

```
P_toplam=input('SGLere ait toplam aktif güç değerini giriniz: ');
Q_toplam=input('SGLere ait toplam reaktif güç değerini giriniz: ');
```

```
%%%%%%%%%%%%-----%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%% WP matrisinin hesaplanması %%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%-----%%%%%%%%%%%%
```

```
% WP matrisi tp ajan sayısı olmak üzere tp'lik bir matristir. Öncelikle
% bütün elemanları sıfır olan bir WP matrisi oluşturulur.
```

```
WP=zeros(tp,tp);
```

```
% WP matrisi hesaplanırken bara empedans matrisinde yer alan direnç
% değerlerinden yararlanılmaktadır. Bu sebeple öncelikle G_P olarak
% tanımlanan baralar arasındaki direnç değerlerini gösteren parametre
% hesaplanır.
```

```
G_P=real(G);
```

```
% a olarak ifade edilen, kontrol edilebilen ajanların bağlı olduğu bara parametresi oluşturulur.
```

```
a=[];
```

```
a=aa(1,:);
```

```
% b olarak ifade edilen, kontrol edilemeyen ajanların bağlı olduğu bara parametresi
% oluşturulur.
```

```
b=[];
```

```
b=bb(1,:);
```

```
% a ve b vektörlerinin uzunlukları aynı zamanda kontrol edilebilen ve
% edilemeyen ajanların sayısını göstermektedir. Bu veriler algoritma
% içerisinde oldukça fazla kullanılmıştır.
```

```
% Bir sonraki aşamada R olarak ifade edilen bir parametre elde edilmektedir. Bu
```

```
% matris yine tp'lik bir matristir. Her bir satır ve sütun ajanları
```

```
% ifade etmektedir. Örneğin 1. satırın 5. ve 6. sütunlarında bir değer
```

```
% varsa, R(1,5) 1. ajanla 5. ajan arasındaki direnç değerini ifade ederken,
```

```
% R(1,6) 1. ajanlar 6. ajan arasındaki direnç değerini ifade etmektedir.
```

```
% R matrisi oluşturulurken ilk olarak her elemanı sıfır olan bir matris
```

```
% oluşturulur, ardından da kontrol edilebilen ajanlarla kontrol edilemeyen
```

```
% ajanlar arasındaki haberleşme ağına göre matris elemanları belirlenir.
```

```
R=zeros(tp,tp);
```

```
% R matrisi, G_P matrisinden oluşturulmuştur. Radyal bir sisteme ait olan G_P matrisinden
```

```
% istenilen ajanlar arasındaki güzergah ve toplam direnç tespiti için graf teorisinden
```

```
% faydalanarak geliştirilmiş ve [68]'de belirtilen "dijkstra" fonksiyonu kullanılmıştır.
```

```
% Aşağıda yazılan for döngüsü vasıtasıyla bütün kontrol edilebilen ajanlarla
```

```
% bütün kontrol edilemeyen ajanlar arasındaki direnç değeri hesaplanarak R matrisine
```

```
% yazılabilmektedir.
```

```
k1=1;
```

```
for f1=1:length(a)
```

```
    k2=1;
```

```
    for f2=1:length(b)
```

```
        [R1 yol] = dijkstra(G_P,b(1,k2),a(1,k1));
```

```
        R(k2,aa(2,f1))=R1;% R matrisine eleman atanması işlemi yapılmaktadır.
```

```
        k2=k2+1;
```

```
    end
```

```
    k1=k1+1;
```

```
end
```

% R matrisi oluşturulduktan sonra aşağıdaki ardışık iç içe iki for döngüsüyle
 % WP matrisi oluşturulmaktadır. Birinci iç içe for döngüsünde R matrisinin her satırı için
 % eşdeğer direnç hesabı yapılmaktadır. Eşdeğer direnç hesabı yapılırken, her satırda
 % bulunan sütun değerleri paralel kollarda bulunan direnç değerleri gibi düşünülmektedir.
 % Bu yaklaşıma göre her satır için eşdeğer direnç bulunmaktadır ve Res
 % matrisinin birinci satırının sırasıyla sütunlarına yazılmaktadır.

% İkinci iç içe for döngüsünde ise, WP matrisinin satırında bulunan
 % elemanların toplamı 1 olmalıdır kuralı dikkate alınarak her bir ajan
 % haberleşmesi için değer hesaplanmaktadır. Sonuç olarak,
 % hesaplanan değerler WP matrisinin ilgili elemanına atanmaktadır.

```
Res=zeros(1,tp);
Rsum=zeros(1,tp);
k3=1;
for f3=1:length(b)
    k4=1;
    for f4=1:length(a)
        rn=R(f3,aa(2,k4));
        Rsum(1,k3)=Rsum(1,k3)+1/rn;
        k4=k4+1;
    end
    Res(1,k3)=1/Rsum(1,f3);
    k3=k3+1;
end
k5=1;
for f5=1:length(b)
    k6=1;
    for f6=1:length(a)
        WP(k5,aa(2,f6))=Res(1,f5)/R(k5,aa(2,f6));
        k6=k6+1;
    end
    k5=k5+1;
end
```

% Sonuç olarak, yukarıda bahsi geçen işlemler yapılarak aktif güç hesabı için
 % gerekli olan WP matrisi elde edilmiştir.

WP

%NOT: k1,k2,...,k6 ve f1,f2,...,f6 sadece döngülerde kullanılan parametrelerdir.

%%%%%%%%%%%%-----%%%%%%%%
 %%%%%%%%%%%%% WQ matrisinin hesaplanması %%%%%%%%%%%%%
 %%%%%%%%%%%%%-----%%%%%%%%

% WQ matrisi tp ajan sayısı olmak üzere tp'lik bir matristir. Öncelikle
 % bütün elemanları sıfır olan bir WQ matrisi oluşturulur.

WQ=zeros(tp,tp);

% WP matrisi hesaplanırken baralarla ilgili empedans matrisinde yer alan empedans
 % değerlerinden yararlanılmaktadır. Bu sebeple daha önce G olarak
 % tanımlanan baralar arasındaki empedans değerlerini gösteren parametre
 % kullanılır.

% Bir sonraki aşamada Z olarak ifade edilen bir parametre elde edilmektedir. Bu
 % matris yine tp x tp'lik bir matristir. Her bir satır ve sütun ajanları
 % ifade etmektedir. Örneğin 1. satırın 5. ve 6. sütunlarında bir değer
 % varsa, Z(1,5) 1. ajanla 5. ajan arasındaki empedans değerini ($R+jX$) ifade ederken,
 % Z(1,6) 1. ajanlar 6. ajan arasındaki empedans değerini ifade etmektedir.
 % Z matrisi oluşturulurken ilk olarak her elemanı sıfır olan bir matris
 % oluşturulur, ardından da kontrol edilebilen ajanlarla kontrol edilemeyen
 % ajanlar arasındaki haberleşme ağına göre matris elemanları belirlenir.
 Z=zeros(tp,tp);
 % R matrisi, G matrisinden oluşturulmuştur. Radyal bir sisteme ait olan G matrisinden
 % istenilen ajanlar arasındaki güzergah ve toplam empedans tespiti için graf teorisinden
 % faydalanarak geliştirilmiş ve [68]'de belirtilen "dijkstra" fonksiyonu kullanılmıştır.
 % Aşağıda yazılan for döngüsü vasıtasıyla bütün kontrol edilebilen ajanlarla
 % bütün kontrol edilemeyen ajanlar arasındaki empedans değeri hesaplanarak Z matrisine
 % yazılabilmektedir.
 k7=1;
 for f7=1:length(a)
 k8=1;
 for f8=1:length(b)
 [Zemp yol] = dijkstra(G,b(1,k8),a(1,k7));
 Z(k8,aa(2,f7))=Zemp; % Z matrisine eleman atanması işlemi yapılmaktadır.
 k8=k8+1;
 end
 k7=k7+1;
 end
 % Bir sonraki aşamada tp x tp'lik RR, XX ve ZZ matrisleri oluşturulmaktadır.
 % Bu matrisler Z matrisinden elde edilmektedir ve sırasıyla haberleşen ajanlar arasındaki
 % direnç, reaktans ve empedansın mutlak değerini ifade etmektedir.
 RR=zeros(tp,tp);
 XX=zeros(tp,tp);
 ZZ=zeros(tp,tp);
 k9=1;
 for f9=1:length(b)
 k10=1;
 for f10=1:length(a)
 RR(k9,k10)=real(Z(k9,aa(2,f10)));
 XX(k9,k10)=imag(Z(k9,aa(2,f10)));
 ZZ(k9,k10)=sqrt(RR(k9,k10)^2+XX(k9,k10)^2);
 k10=k10+1;
 end
 k9=k9+1;
 end
 % Daha sonra Delta_V hesabı için gerekli olan P, Q, S ve S*Z işlemleri
 % yapılmaktadır.
 k11=1;
 for f11=1:length(b)
 k12=1;
 for f12=1:length(a)
 PP(f11,k12)=P_toplam*(Res(1,f11)/R(k11,aa(2,f12)));
 QQ(f11,k12)=Q_toplam*(Res(1,f11)/R(k11,aa(2,f12)));
 SS(f11,k12)=sqrt(PP(f11,k12)^2+QQ(f11,k12)^2);

```

SSZZ(f11,k12)=SS(k11,f12)*ZZ(k11,f12);
k12=k12+1;
end
k11=k11+1;
end
% Aşağıda belirtilen döngü ile bir sonraki döngü için gerekli olan
% SG'lerin başlangıç Q değerleri belirlenmektedir. Döngü sonunda ise
% Son SG'nin Q üretimi sıfıra çekilmektedir.
QQQ=zeros(1,length(a));
k13=1;
for f13=1:length(a)
    QQQ(1,k13)=0+f13;
    k13=k13+1;
end
QQQ(1,length(a))=0;
AAA=QQQ;% Bir sonraki for döngüsü içinde başlangıç verisine dönmek için kullanılan
parametredir.
% Sıradaki döngü ile WQ matrisi oluşturulmaktadır. (4.33), (4.36), (4.37) ve (4.38) numaralı
% denklemlerde belirtilen işlemler her SG için ve her farklı Q değerleri için hesaplanmaktadır.
nn=1;
for f14=1:length(b)
    QQQ(1,length(a))=0;
    k14=1;
    for Q1=0:Q_toplam
        if k14>1
            QQQ(1,:)=QQQ(1,:)+1;
        end
        Q_sum=sum(QQQ(1,:))-QQQ(1,length(a));
        QQQ(1,length(a))=Q_toplam-Q_sum;
        k15=1;
        for f15=1:length(a)
            Delta_v(1,k15)=abs((PP(nn,k15)+i*QQQ(1,k15))*(RR(nn,k15)+i*XX(nn,k15)));
            k15=k15+1;
        end
        Delta_v_sum=0;
        k16=1;
        for f16=1:length(a)
            Delta_v_sum=Delta_v_sum+Delta_v(1,k16);
            k16=k16+1;
        end
        SSZZ_sum=0;
        k17=1;
        for f17=1:length(a)
            SSZZ_sum=SSZZ_sum+SSZZ(1,k17);
            k17=k17+1;
        end
        Y_ekseni(k14,:)=Delta_v_sum/SSZZ_sum;
        k18=1;
        for f18=1:length(a)
            X_ekseni(k14,k18)=QQQ(1,k18)/Q_toplam;
            if X_ekseni(k14,k18)<0

```

```

        X_ekseni(k14,k18)=0;
    end
    if X_ekseni(k14,k18)>1
        X_ekseni(k14,k18)=1;
    end
    k18=k18+1;
end
k14=k14+1;
end
[ax,bx]=min(Y_ekseni);
k19=1;
for f19=1:length(a)
    WQ(nn,aa(2,f19))=X_ekseni(bx,f19); % WQ matrisine veri atamaktadır.
    k19=k19+1;
end
QQQ=AAA; % QQQ değerini yeni döngü için başlangıç değerine atamaktadır.
nn=nn+1;
end
WQ
% Sonuç olarak, yukarıda bahsi geçen işlemler yapılarak reaktif güç hesabı için
% gerekli olan WQ matrisi elde edilmiştir.

%NOT: k7,k8,...,k19 ve f7,f8,...,f19 sadece döngülerde kullanılan parametrelerdir.

```

MATLAB SIMULINK BENZETİM ORTAMINDA SG'LERİN ÜRETİM DEĞERLERİNİ HESAPLAYAN FONKSİYON

% Ardışık olarak verilen bu iki fonksiyon simulink içerisinde yer alan
 % MATLAB Function bloğu içerisine yazılmaktadır. Bu fonksiyonlar ayrı ayrı
 % iki adet MATLAB Function bloğuna yazılmıştır.
 % Giriş değerleri eşitliğin sağ tarafında yazılırken çıkış değerleri
 % eşitliğin sol tarafına yazılmaktadır. Senaryo 3.3 içeriğinde Model 3.2 için üç adet SG'ye
 % ait aktif ve reaktif güç değerleri hesaplanacağından dolayı iki
 % fonksiyonda da sol tarafta üç adet toplamda altı adet parametre
 % hesaplanmaktadır. SG sayısı değiştiği zaman, çıkış parametrelerinin de sayısı
 % değişecektir. Ayrıca, ajan sayısına bağlı olarak ve ajan yapıları
 % içerisindeki talep edilen ve üretilen güç değerlerini ifade eden,
 % PL, QL, P, Q sayısı da değişkenlik gösterecektir. Senaryo 3.3 içerisinde yedi
 % adet ajan olduğundan dolayı giriş parametreleri ona göre yazılmıştır.
 % Ardından, daha önce elde edilen D, R, WP ve WQ matrisleri
 % denklemler (4.26) ve (4.27) yerine yazılarak Denklem_P ile Denklem_Q
 % elde edilmektedir. Son olarak, SG'lerin ajan numaralarına göre Denklem_P
 % ve Denklem_Q'dan veri alma işlemi gerçekleştirilmektedir. Elde edilen
 % veriler, Simulink modeli içerisindeki SG modellerine aktarılmaktadır.

```
function [SG1_P, SG2_P, SG3_P] =
cashesap1(D,R,WP,PL1,PL2,PL3,PL4,PL5,PL6,PL7,P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7,alfa)
A=D*WP;
Denklem_P=R*[alfa*P1;P2;P3;P4;P5;P6;P7]+(A'+R)*inv(D+R)*[PL1-alfa*P1;PL2-P2;PL3-P3;PL4-
P4;PL5-P5;PL6-P6;PL7-P7];
SG1_P=Denklem_P(5,1);SG2_P=Denklem_P(6,1);SG3_P=Denklem_P(7,1);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
function [SG1_Q, SG2_Q, SG3_Q] =
cashesap2(D,R,WQ,QL1,QL2,QL3,QL4,QL5,QL6,QL7,Q1,Q2,Q3,Q4,Q5,Q6,Q7,alfa)
A=D*WQ;
Denklem_Q=R*[alfa*Q1;Q2;Q3;Q4;Q5;Q6;Q7]+(A'+R)*inv(D+R)*[QL1-alfa*Q1;QL2-Q2;QL3-
Q3;QL4-Q4;QL5-Q5;QL6-Q6;QL7-Q7];
SG1_Q=Denklem_Q(5,1);SG2_Q=Denklem_Q(6,1);SG3_Q=Denklem_Q(7,1);
```

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Gökem ŞEN
Doğum Tarihi ve Yeri : 17/08/1988, Balıkesir
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : gorkemsen10@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Elektrik Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2012
Lisans	Elektrik Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2010
Lise	Fen Bilimleri	Haydarpaşa Anadolu Lisesi	2006

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2014 – Devam ediyor	Trakya Üniversitesi İpsala MYO	Öğretim Görevlisi
2009	Arçelik A.Ş.	Uzun Dönem Stajyer

YAYINLARI

Makale

1. Sen, G., Boynuegri, A.R., Uzunoglu, M., Erdinc ve O., Catalão, J.P.S., (2016). "Design and Application of a Power Unit to Use Plug-In Electric Vehicles as an Uninterruptible Power Supply", *Energies*, 9(3):171.

Bildiri

1. Sen, G. ve Baysal, M., (2018). "Multi Agent-Based Decentralized Control for Improving the Efficiency and Voltage Regulation in Smart Microgrid", *International Conference on Smart Energy Systems and Technologies*, 10-12 September 2018, Sevilla.
2. Sen, G. ve Baysal, M., (2018). "Multi Agent-Based Control Techniques to Reduce Losses for Smart Grid Connected Microgrids", *6th International Istanbul Smart Grids and Cities Congress and Fair*, 25-26 April 2018, Istanbul.
3. Aydın, E., Şen, G., Avşar, Y., Güllü, A. ve Akı, M. O., (2014). "Using Renewable Energy Sources For Agricultural Irrigation", *Balkan Agriculture Congress*, 08-11 September 2014, Edirne.
4. Şen, G., Boynuegri, A.R. ve Uzunoğlu, M., (2012). "Şarj Edilebilen Elektrikli Araçların Kesintisiz Güç Kaynağı Olarak Kullanılmasına Yönelik Bir Benzetim Çalışması", *Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ELECO' 2012*, 29 Kasım – 1 Aralık 2012, Bursa.
5. Şen, G., Boynuegri, A.R. ve Uzunoğlu, M., (2011). "Elektrikli Araçların Şarj Yöntemleri ve Araçların Şebekeyle Bağlantısında Karşılaşılan Problemlere Yönelik Çözüm Önerileri", *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu FEED 2011*, Fırat Üniversitesi, 5-7 Ekim 2011, Elazığ.
6. Kocatürk, S., Şen, G., Boynuegri, A. R., Uzunoğlu, M. ve Yumurtacı, R., (2010). "Tristör Anahtarlama Bir Kompanzasyon Sisteminin Tasarlanması ve Uygulaması", *Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ELECO' 2010*, 2–5 Aralık 2010, Bursa.