

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**ALTERNATİF AKIM MİKRO ŞEBEKELERDE
SEZGİSEL YÖNTEMLERLE
YÜK FREKANS OPTİMİZASYONU**

Seda ÖZEL

**Yüksek Lisans Tezi
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mahmut Temel ÖZDEMİR
EKİM-2016**

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALTERNATİF AKIM MİKRO ŞEBEKELERDE SEZGİSEL YÖNTEMLERLE
YÜK-FREKANS OPTİMİZASYONU

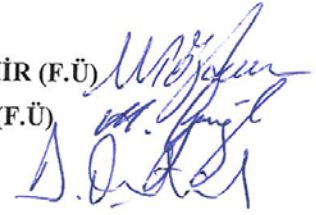
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Seda ÖZEL

(141113111)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20 Eylül 2016
Tezin Savunulduğu Tarih : 17 Ekim 2016

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Mahmut Temel ÖZDEMİR (F.Ü)
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Muhsin Tunay GENÇOĞLU (F.Ü)
Yrd. Doç. Dr. Dursun ÖZTÜRK (B.Ü)



EKİM-2016

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı'nda hazırlanmıştır.

Bu tez çalışması sırasında, tez konusunun belirlenmesinden başlayarak son aşamaya kadar her konuda desteğini esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Mahmut Temel ÖZDEMİR' e şükranlarımı sunarım.

Seda ÖZEL

Elazığ-2016



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÖZET	VI
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER LİSTESİ	X
TABLolar LİSTESİ	XIV
SEMBOLLER LİSTESİ	XV
KISALTMALAR LİSTESİ	XVII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Genel Bilgi.....	1
1.2. Literatür Özeti.....	3
1.3. Tezin Yapısı.....	11
2. MİKRO ŞEBEKE ENERJİ ÜRETİM VE DEPOLAMA KAYNAKLARI	1
2.1. Dinamik Enerji Kaynakları.....	2
2.1.1. Rüzgar Türbin Generatörleri	2
2.1.2. Çok Küçük Hidroelektrik Santraller.....	4
2.1.3. Volanlar	6
2.1.4. Kojenerasyon Sistemleri.....	8
2.1.5. Dizel Jeneratörler.....	10
2.2. Statik Enerji Kaynakları	11
2.2.1. Güneş Enerjisi Sistemleri	11
2.2.2. Yakıt Pilleri	13
2.2.3. Ultra Kapasitörler	15
2.2.4. Batarya Sistemleri	17
2.2.5. Süper İletken Manyetik Enerji Depolama Sistemleri	18
2.2.6. Elektrolizör	19

3. OTOMATİK ÜRETİM KONTROLÜ	20
3.1. Yük-Frekans Kontrolü	20
3.1.1. Birincil Kontrol	22
3.1.2. İkincil Kontrol	22
3.1.3. Üçüncül Kontrol	22
3.2. Gerilim Kontrolü	23
4. SEZGİSEL YÖNTEMLERLE OPTİMİZASYON TEKNİKLERİ	25
4.1. Yapay Arı Koloni Optimizasyon Algoritması	25
4.2. Bakteri Sürü Optimizasyon Algoritması	29
4.3. Karınca Koloni Optimizasyon Algoritması	31
4.4. Bozkurt Sürü Optimizasyon Algoritması	35
5. MİKRO ŞEBEKENİN MODELLENMESİ VE YÜK-FREKANS OPTİMİZASYONU	38
5.1. Mikro Şebeke Modeli	38
5.1.1. Rüzgar Santrali Modeli	39
5.1.2. Güneş Enerjisi Modeli	40
5.1.3. Dizel Jeneratör Modeli	40
5.1.4. Yakıt Pili Modeli	41
5.1.5. Batarya Sistemi Modeli	41
5.1.6. Volan Sistemi Modeli	42
5.1.7. Ultrakapasitör Sistemi Modeli	42
5.2. Mikro Şebeke Yük-Frekans Kontrolü	42
5.2.1. Senaryo 1	44
5.2.2. Senaryo 2	53
5.2.3. Senaryo 3	63
6. SONUÇ	73
ÖZGEÇMİŞ	75
KAYNAKLAR	76

ÖZET

Gelişen Dünya’da nüfus artışına ve ekonomik büyümeye bağlı olarak enerjiye duyulan talep artmaktadır. Bununla birlikte mevcut fosil kaynakların giderek azalması ve bu kaynakların küresel ısınmaya neden olup ekolojiyi tehdit etmesi, ülkeleri yeni arayışlara itmiştir. Buna göre enterkonnekte güç sistemleriyle şebekeler arası güç paylaşımı yapma, mevcut güç sistemlerini daha verimli hale getirme ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelme gibi çözümler geliştirilmiştir.

Enterkonnekte şebekeler üretim noktasından tüketicilere kaliteli ve güvenilir bir enerji iletmek için güç sistemlerinin paralel bağlanmasıyla oluşturulur. Enterkonnekte sistemler ekonomiktir, beslemesi sürekli, kesintisi azdır ve verimlidir.

Ülkelerin mevcut güç sistemlerini iyileştirme adına atılan en büyük adım ise klasik elektrik şebekelerine 21.yy haberleşme teknolojisi entegre edilerek geliştirilen ‘Akıllı Şebeke’ konseptidir. Akıllı şebekelerle üretici ve tüketici arasındaki arz talep dengesinin sürekli takip ve kontrollerle dengede tutulması, kayıp ve kaçakların önlenmesi, kendi kendini onarabilen ve optimizasyon yapabilen bir sistem oluşturulması hedeflenmiştir. Mikro şebekeler de akıllı şebekelerin içerisinde yer alan sistemlerdir. Mikro şebekeler; yenilenebilir enerji kaynaklarına dayanan, kolay kontrol edilebilen ve kendi kendine yetebilen küçük enerji şebekeleridir. Mikro şebeke sistemler sayesinde çevreyi tahrip etmeyen temiz enerji üretimi gerçekleştirilir. Mikro şebekeler tüketiciye yakın alanlarda kurularak enerjinin iletimi ve dağıtımı sırasında yaşanacak iletim kayıpları azaltılır ve tüketiciler ihtiyaç duydukları enerjiyi kendileri üreterek hem ana şebekeye yük olmazlar hem de ürettikleri fazla enerjiyi ana şebekeye aktarabilirler.

Bütün bu güç sistemlerinin işletilmesi sırasında ortaya çıkan başlıca problem yük-frekans kontrolüdür. Yük-frekans kontrolü enterkonnekte sisteme bağlı güç sistemlerinin ortak bir problemidir. Enterkonnekte güç sistemlerinde frekansta meydana gelen değişimler büyük ölçekli ciddi kararsızlık problemlerine yol açabilmektedir. Mikro şebekelerde yük- frekans kontrolü ise özellikle mikro şebekelerin ana şebekeye bağlanması sırasında aktif güç dengesini sağlayabilmek adına büyük önem taşır.

Bu tez çalışmasında, AA mikro şebeke yapıları ve onların temel kontrol döngüleri incelenmiştir. Örnek bir AA mikro şebeke yapısı MATLAB ortamında modellenmiş, ana

şebekeden izole olmuş bir AA mikro şebeke sistemi durum çalışması olarak kabul edilmiştir. Bu durumda kontrolör kazançları, literatürde yaygın olarak bilinen ISE (The Integral of Square of the Error, hatanın karesinin toplamı), ITSE (The Integral of Time multiplied by the Squared Error, hatanın karesinin zamanla çarpımının integrali), IAE (The Integral of the Absolute magnitude of the Error, hatanın mutlak değerlerinin toplamı), ITAE (The Integral of Time multiplied by Absolute Error, mutlak hatanın zamanla çarpımının integrali) performans kriterleri ile maliyetlendirilerek, Bakteri Sürü Optimizasyonu, Yapay Arı Koloni Optimizasyonu, Karınca Koloni Optimizasyonu, Bozkurt Sürü Optimizasyonu algoritmalarına göre belirlenmiştir. Optimizasyon ile belirlenen kontrolör kazançları, oluşturulan modelde zaman domenii cevapları için simüle edilip sonuçlar analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mikro Şebeke, Yük-Frekans Kontrolü, Sezgisel Optimizasyon Teknikleri.

SUMMARY

Load-Frequency Optimization With Heuristic Techniques In AC Microgrids

In the developing world, depending on population and economic growth demand for energy is increasing. At the same time for existing fossil fuels are gradually decreased and these fossil fuels disrupt the ecological balance, the countries joined the new search. According to this, developed solutions are using interconnected power grid making power-sharing between grids the available power systems to make more efficient and to turn to renewable energy sources.

Interconnected grids to deliver a high quality and reliable energy to consumers from the point of production is formed by parallel connection of the power system. Interconnected systems are economical, continuous feed, uninterrupted and efficient.

The biggest step taken to improve the existing power system on behalf of the countries of the 21st century communications technology to the conventional electricity grid is integrated 'Smart Grid'.

Thanks to smart grid, keeping in balance to supply-demand balance between producers and consumers with constant chasing and control, preventing losses and leakages, establishment of a system can be capable of self-repair and optimization which are aimed. Microgrids are also systems in place in the area of smart grids. Microgrids; based on renewable energy sources, which can be controlled easily and are small self-sufficient energy supply. Thanks to microgrid systems, clean energy that does not harm the environment is performed. Microgrids are established in areas close to consumers experienced during the transmission and distribution of power transmission losses are reduced and microgrid consumers to reduced transmission losses that occurred close during the energy transmission and distribution established in the field and consumers by producing needed energy they themselves will not and cargo to the home network can transfer more energy to the mains they produce both.

All the major problems that arise during the operation of the power system load-frequency control. Load-frequency control of interconnected power system connected to the system is a common problem. Interconnected power system frequency in the changes

occurring can lead to large-scale serious instability problems. The elevated frequency control in microgrids, in particular in order to ensure the active balance of power when connecting to the mains of the microgrid is of great importance.

In this study, the microgrid structures and their underlying control loops were analyzed. An example of a micro-grid structure has been modeled in the MATLAB, the microgrid system has been isolated from the main network status were considered in the study. In this case the control gains are determined using Bacterial Swarm Optimization, Artificial Bee Colony Optimization, Ant Colony Optimization and Grey Wolf Colony Optimization and costing with performance criteria like ISE (The Integral of Square of the Error), ITSE (The Integral of Time multiplied by the Squared Error), IAE (The Integral of the Absolute magnitude of the Error), ITAE (The Integral of Time multiplied by Absolute Error). Controller gain determined by optimization, simulated results whether for the developed model was analyzed in the time domain response.

Key words: Microgrid, Load-frequency control, Heuristic optimization techniques.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Tipik bir mikro şebeke yapısı.....	1
Şekil 1.2. Mikro şebeke blok diyagramı.....	3
Şekil 2.1. Dağıtık üretim teknolojileri.....	1
Şekil 2.2. Enerji depolama teknolojileri.....	2
Şekil 2.3. Tipik bir rüzgar enerjisi üretim sistemi.....	3
Şekil 2.4. Klasik bir mikro hidroelektrik santral şeması.....	6
Şekil 2.5. Volan enerji depolama sisteminin şematik görünüşü.....	8
Şekil 2.6. Kojenerasyon sistemi.....	10
Şekil 2.7. Güneş pilinin basite indirgenmiş eşdeğer devresi.....	13
Şekil 2.8. Tek bir yakıt pilinin genel yapısı.....	14
Şekil 2.9. Ultra kapasitör şeması.....	16
Şekil 2.10. Bir batarya hücresinin yapısı.....	17
Şekil 2.11. Tipik bir SMES sistemi.....	18
Şekil 3.1. Bir güç sisteminde yük-frekans kontrolü çevrimleri.....	21
Şekil 3.2. Hiyerarşik kontrol seviyeleri.....	23
Şekil 4.1. ABC algoritması akış diyagramı.....	28
Şekil 4.2. BSO akış diyagramı.....	31
Şekil 4.3. ACO Akış Diyagramı.....	34
Şekil 4.4. GWO akış diyagramı.....	36
Şekil 5.1. Mikroşebeke matlab modeli[105].....	39
Şekil 5.2. Rüzgar santrali matlab modeli.....	40
Şekil 5.3. Güneş enerjisi matlab modeli.....	40
Şekil 5.4. Dizel jeneratör matlab modeli.....	41
Şekil 5.5. Yakıt pili matlab modeli.....	41
Şekil 5.6. Batarya sistemi matlab modeli.....	41

Şekil 5.7. Volan sistemi matlab modeli.....	42
Şekil 5.8. Ultrakapasitör sistemi matlab modeli.....	42
Şekil 5.9. Senaryo 1'e ilişkin güç değişimleri.....	45
Şekil 5.10. Senaryo 1 için DEG güç değişimi(ITSE).....	45
Şekil 5.11. Senaryo 1 için FC güç değişimi (ITSE)	45
Şekil 5.12. Senaryo 1 için AE güç değişimi(ITSE).....	45
Şekil 5.13. Senaryo 1 için BESS güç değişimi(ITSE).....	46
Şekil 5.14. Senaryo 1 için hibrit sistemdeki güç değişimi(ITSE)	46
Şekil 5.15. Senaryo 1 için hibrit sistemin frekans değişimi(ITSE)	46
Şekil 5.16. Senaryo 1 için DEG güç değişimi(ITAE)	46
Şekil 5.17. Senaryo 1 için FC güç değişimi (ITAE).....	47
Şekil 5.18. Senaryo 1 için AE güç değişimi (ITAE)	47
Şekil 5.19. Senaryo 1 için hibrit sistemin frekans değişimi(ITAE).....	47
Şekil 5.20. Senaryo 1 için BESS güç değişimi(ITAE)	47
Şekil 5.21. Senaryo 1 için hibrit sistemin güç değişimi(ITAE)	48
Şekil 5.22. Senaryo 1 için hibrit sistemin frekans değişimi(ITAE).....	48
Şekil 5.23. Senaryo 1 için DEG güç değişimi(IAE).....	48
Şekil 5.24. Senaryo 1 için FC güç değişimi(IAE)	48
Şekil 5.25. Senaryo 1 için AE güç değişimi(IAE).....	48
Şekil 5.26. Senaryo 1 için BESS güç değişimi(IAE)	48
Şekil 5.27. Senaryo 1 için hibrit sistemin güç değişimi(IAE).....	49
Şekil 5.28. Senaryo 1 için hibrit sistemin frekans değişimi(IAE).....	49
Şekil 5.29. Senaryo 1 için DEG güç değişimi(ISE)	49
Şekil 5.30. Senaryo 1 için FC güç değişimi(ISE).....	49
Şekil 5.31. Senaryo 1 için AE güç değişimi(ISE)	50
Şekil 5.32. Senaryo 1 için BESS güç değişimi(ISE)	50
Şekil 5.33. Senaryo1 sistemin güç değişimi(ISE)	50
Şekil 5.34. Senaryo 1 sistemin frekans değişimi(ISE)	50
Şekil 5.35. Senaryo 1 için optimizasyon algoritmalarının karşılaştırılması	52

Şekil 5.36. Senaryo 1 için maliyet indekslerinin karşılaştırılması	53
Şekil 5.37. Senaryo 2'ye ilişkin güç değişimleri	54
Şekil 5.38. Senaryo 2 için DEG güç değişimi(ITSE)	54
Şekil 5.39. Senaryo 2 için FC güç değişimi(ITSE)	54
Şekil 5.40. Senaryo 2 için AE güç değişimi(ITSE)	54
Şekil 5.41. Senaryo 2 için BESS güç değişimi (ITSE).....	55
Şekil 5.42. Senaryo 2 için volan güç değişimi(ITSE)	55
Şekil 5.43. Senaryo 2 sistemin güç değişimi(ITSE).....	55
Şekil 5.44. Senaryo 2 sistemin frekans değişimi(ITSE).....	55
Şekil 5.45. Senaryo 2 için DEG güç değişimi(ITAE)	56
Şekil 5.46. Senaryo 2 için FC güç değişimi(ITAE).....	56
Şekil 5.47. Senaryo 2 için AE güç değişimi(ITAE)	56
Şekil 5.48. Senaryo 2 için BESS güç değişimi(ITAE)	56
Şekil 5.49. Senaryo 2 için volan güç değişimi(ITAE).....	57
Şekil 5.50. Senaryo 2 için hibrit sistemin güç değişimi(ITAE)	57
Şekil 5.51. Senaryo 2 için hibrit sistemin frekans değişimi(ITAE).....	57
Şekil 5.52. Senaryo 2 için DEG güç değişimi(IAE).....	57
Şekil 5.53. Senaryo 2 için FC güç değişimi(IAE)	58
Şekil 5.54. Senaryo 2 için AE güç değişimi(IAE).....	58
Şekil 5.55. Senaryo 2 için BESS güç değişimi(IAE)	58
Şekil 5.56. Senaryo 2 için volan güç değişimi(IAE)	58
Şekil 5.57. Senaryo 2 sistemin güç değişimi(IAE).....	58
Şekil 5.58. Senaryo 2 sistemin frekans değişimi(IAE).....	58
Şekil 5.59. Senaryo 2 için DEG güç değişimi(ISE)	59
Şekil 5.60. Senaryo 2 için FC güç değişimi(ISE).....	59
Şekil 5.61. Senaryo 2 için AE güç değişimi(ISE)	59
Şekil 5.62. Senaryo 2 için BESS güç değişimi(ISE)	59
Şekil 5.63. Senaryo 2 için volan güç değişimi(ISE).....	60
Şekil 5.64. Senaryo 2 sistemin güç değişimi(ISE)	60

Şekil 5.65. Senaryo 2 için hibrit sistemin frekans değişimi(ISE).....	60
Şekil 5.66. Senaryo 2 için optimizasyon algoritmalarının karşılaştırılması	62
Şekil 5.67. Senaryo 2 için maliyet indekslerinin karşılaştırılması	63
Şekil 5.68. Senaryo 3 için DEG güç değişimi(ITSE).....	64
Şekil 5.69. Senaryo 3 için FC güç değişimi(ITSE)	64
Şekil 5.70. Senaryo 3 için AE güç değişimi(ITSE).....	64
Şekil 5.71. Senaryo 3 için UC güç değişimi(ITSE).....	64
Şekil 5.72. Senaryo 3 için BESS güç değişimi(ITSE).....	65
Şekil 5.73. Senaryo 3 sistemin güç değişimi(ITSE).....	65
Şekil 5.74. Senaryo 3 sistemin frekans değişimi(ITSE).....	65
Şekil 5.75. Senaryo 3 için DEG güç değişimi(ITAE)	65
Şekil 5.76. Senaryo 3 için FC güç değişimi(ITAE).....	66
Şekil 5.77. Senaryo 3 için AE güç değişimi(ITAE)	66
Şekil 5.78. Senaryo 3 için UC güç değişimi(ITAE).....	66
Şekil 5.79. Senaryo 3 için BESS güç değişimi(ITAE)	66
Şekil 5.80. Senaryo 3 sistemin güç değişimi(ITAE)	66
Şekil 5.81. Senaryo3 sistemin frekans değişimi(ITAE)	66
Şekil 5.82. Senaryo 3 için DEG güç değişimi(IAE).....	67
Şekil 5.83. Senaryo 3 için FC güç değişimi(IAE)	67
Şekil 5.84. Senaryo 3 için AE güç değişimi(IAE).....	67
Şekil 5.85. Senaryo 3 için UC güç değişimi(IAE)	67
Şekil 5.86. Senaryo 3 için BESS güç değişimi(IAE)	68
Şekil 5.87. Senaryo 3 sistemin güç değişimi(IAE).....	68
Şekil 5.88. Senaryo 3 sistem frekans değişimi(IAE).....	68
Şekil 5.89. Senaryo 3 için DEG güç değişimi(ISE)	68
Şekil 5.90. Senaryo 3 için FC güç değişimi(ISE).....	68
Şekil 5.91. Senaryo 3 için AE güç değişimi(ISE)	68
Şekil 5.92. Senaryo 3 için ultrakapasitör güç değişimi(ISE).....	69
Şekil 5.93. Senaryo 3 için BESS güç değişim(ISE)	69

Şekil 5.94. Senaryo 3 için hibrit sistemin güç değişimi(ISE).....	69
Şekil 5.95. Senaryo 3 için hibrit sistemin frekans değişimi(ISE).....	69
Şekil 5.96. Senaryo 3 için optimizasyon algoritmalarının karşılaştırılması	71
Şekil 5.97. Senaryo 3 için maliyet indekslerinin karşılaştırması.....	72

TABLolar LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 5.1. Mikro şebeke modeli çalışma senaryoları.....	44
Tablo 5.2. Senaryo 1'e göre dizel generatör için bulunan değerler.....	50
Tablo 5.3. Senaryo 1'e göre elektrolizör için bulunan değerler	51
Tablo 5.4. Senaryo 1'e göre yakıt pili için bulunan değerler	51
Tablo 5.5. Senaryo 1 için maliyet indeksleri	52
Tablo 5.6. Yöntem-maliyet indeksi tablosu	53
Tablo 5.7. Senaryo 2'ye göre dizel generatör için bulunan değerler.....	60
Tablo 5.8. Senaryo 2'ye göre elektolizör için bulunan değerler	61
Tablo 5.9. Senaryo 2'ye göre yakıt pili için bulunan değerler	61
Tablo 5.10. Senaryo 2 için maliyet değerleri.....	61
Tablo 5.11. Senaryo 2 için yöntem-maliyet indeksi tablosu	63
Tablo 5.12. Senaryo 3'e göre dizel generatör için bulunan değerler.....	70
Tablo 5.13. Senaryo 3'e göre elektrolizör için bulunan değerler	70
Tablo 5.14. Senaryo 3'e göre yakıt pili için bulunan değerler	70
Tablo 5.15. Senaryo 3 için maliyet değerleri.....	71
Tablo 5.16. Senaryo 3 için yöntem-maliyet indeksi tablosu	72

SEMBOLLER LİSTESİ

P	:	Rüzgar türbin gücü
A	:	Rotorun süpürdüğü alan (m^2)
D	:	Çap (rotor için)(metre)
V	:	Hız (rüzgar için)(m/s)
ρ	:	Verimlilik (Rüzgar türbini için) (Betz limiti, ideal şartlarda % 59 alınır.)
Q	:	Hava yoğunluğu (1.225 kg/m^3)
γ	:	Suyun birim hacim ağırlığı ($9,81 \text{ kN/m}^3$)
H	:	Düşü (m)
Q	:	Debi (m^3/s)
η_H	:	Düşü verimi
η_G	:	Generatör verimi
η_T	:	Türbin verimi
Ipil	:	Çıkış akımı (Güneş pili için) (A)
IFV	:	Foto Akım (Işık seviyesi ve P-N birleşim noktası sıcaklığının fonksiyonu)(A)
I_o	:	Ters doyma akımı (D diyodu için) (A)
VFV	:	Güneş pilinin çıkış gerimi (V)
RS	:	Eşdeğer devre için seri direnç (Ohm)
RSH	:	Eşdeğer devre için paralel direnç (Ohm)
e	:	Elektron yükü ($1,6021917 \cdot 10^{-19} \text{ C}$)
k	:	Boltzmann sabiti ($1,380622 \cdot 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K}$)
Tpil	:	Referans çalışma sıcaklığı ($^\circ\text{K}$)
CUK	:	Kapasitans (F)
CUK-Toplam	:	Toplam Ultrakapasitör sistem kapasitansı (F)
EPR	:	Paralel eşdeğer direnç (Ω)
ESR,R	:	Seri eşdeğer iç direnç (Ω)
EUC	:	Ultrakapasitör tarafından salınan enerji miktarı (WS)
ns-UK	:	Seri bağlı kapasitör sayısı
np-UK	:	Paralel bağlı kapasitör sayısı

RUC-Toplam	:	Toplam Ultrakapasitör sistem direnci (Ω)
Vilk	:	Deşarj başlamadan önceki başlangıç gerilimi (V)
Vson	:	Deşarj bittikten sonraki son gerilim (V)
σ_{mx}	:	Volan malzemesinin çekme dayanımı
ρ	:	Volan için malzeme yoğunluğu
η	:	Isıl verim
W	:	Isı makinasında üretilen iş
QH	:	Alınan ısı enerjisi



KISALTMALAR LİSTESİ

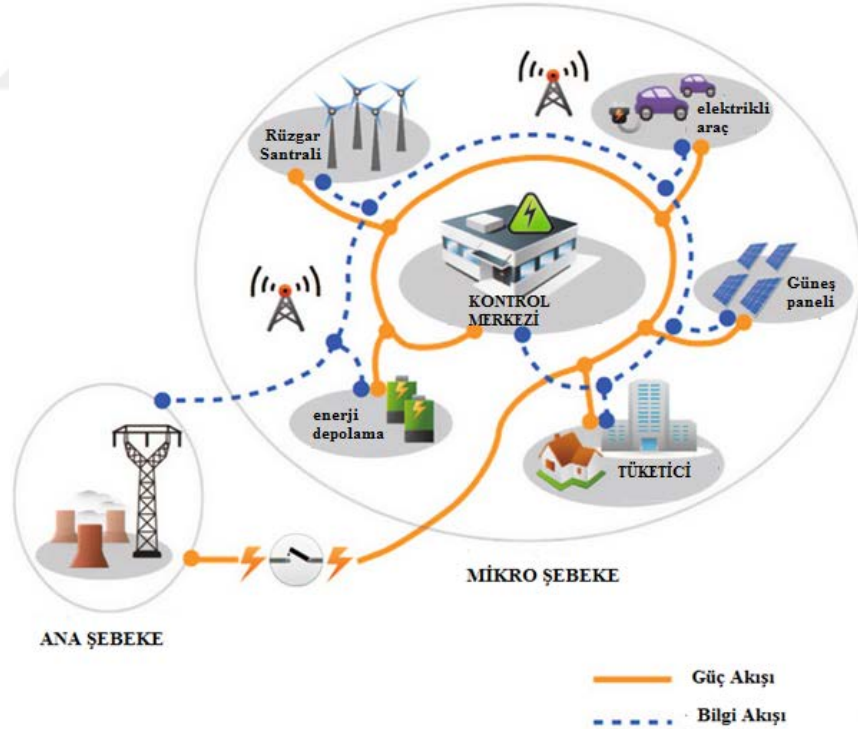
ABC	:	Yapay arı kolonisi
AC	:	Alternatif akım
ACO	:	Karınca kolonisi algoritması
AE	:	Aqua elektrolizör
BESS	:	Batarya enerji depolama sistemi
BBAOA	:	Bakteriyel besin arama optimizasyon algoritması
CHP	:	Birleşik ısı güç sistemleri, kojenerasyon
DC	:	Doğru akım
DEG	:	Dizel enerji generatörü
DEK	:	Dağıtık enerji kaynağı
EIO	:	Elektriksel ısı yoğunluğu
ESU	:	Enerji depolama ünitesi
EYS	:	Enerji yönetim sistemleri
FC	:	Yakıt pili
FESS	:	Volan enerji sistemi
MGCC	:	Mikro şebeke merkezi kontrolörü
PGU	:	Güç üretim ünitesi
PV	:	Foto voltaik
UC	:	Ultra kapasitör
SMES	:	Süper iletkenli manyetik enerji depolama sistemi
SPVG	:	Solar fotovoltaik generatör
STATCOM	:	Statik senkron kompanzitörü
STPG	:	Solar termal güç generatörü
WCA	:	Kurt sürüsü algoritması
WTG	:	Rüzgar türbin generatörü

1. GİRİŞ

1.1. Genel Bilgi

Mikro şebekeler; dağıtık enerji kaynakları (DEK)'nı bünyesinde barındıran, tüketiciye yakın alanlarda kurulup, şebekeye bağlı veya şebekeden bağımsız çalışabilen ve bağımsız olarak kontrol edilebilen küçük enerji üretim sistemleridir.

Mikro şebeke sistemi içerisindeki DEK'ler alçak gerilim veya orta gerilim kademesinde elektrik enerjisi üretimi ve depolaması yapan enerji kaynaklarıdır. 30 MW'dan daha az enerji üretimi yapan hidroelektrik, rüzgar, güneş, kojenerasyon gibi elektrik üretim sistemleri dağıtık üretim yaparken, batarya, volan, ultrakapasitör gibi sistemler ise dağıtık enerji depolarlar. Bu dağıtık depolama sistemleri depolama işlemini çeşitli enerji dönüşümleriyle gerçekleştirirler. Çünkü elektrik enerjisini elektriksel olarak depolamak mümkün değildir. Şekil 1.1'de tipik bir mikro şebeke yapısı görülmektedir.



Şekil 1.1. Tipik bir mikro şebeke yapısı

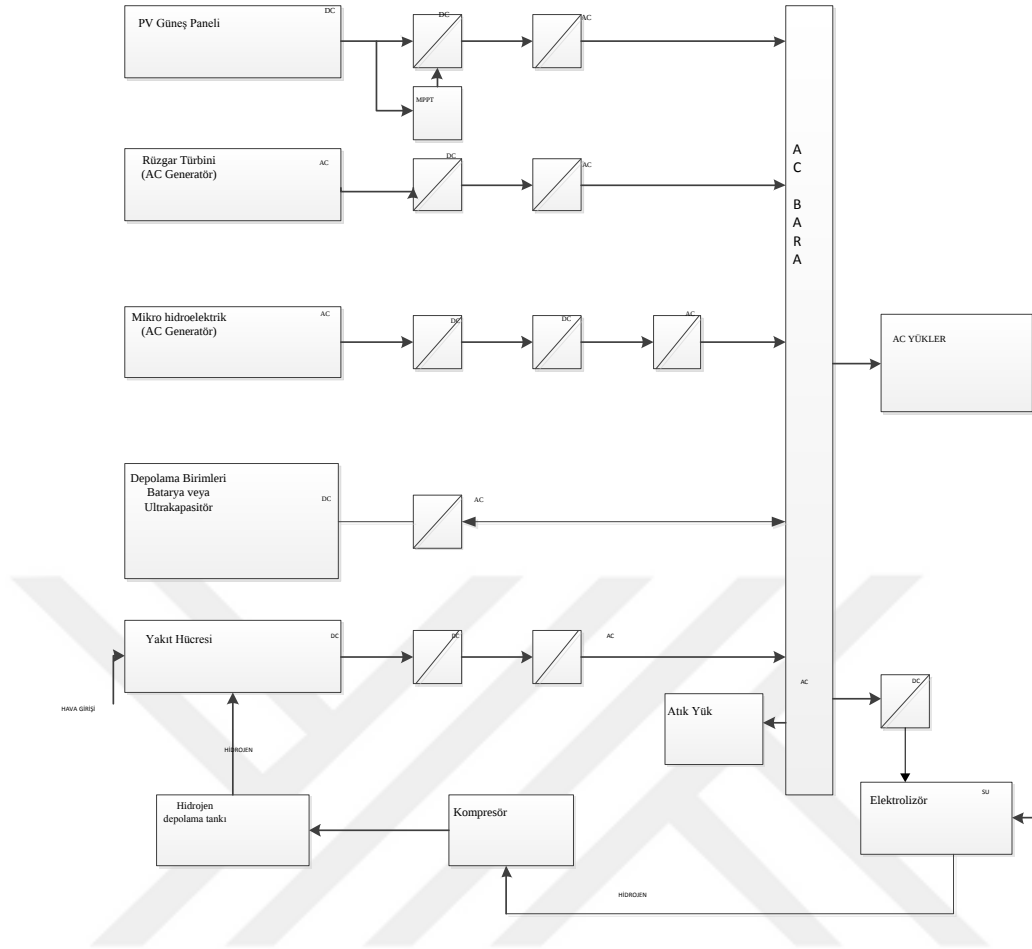
Bir mikro Şebeke sisteminde DEK'ler tüketicilere yakın bölgelerde kurulurlar. Bu sayede iletim ve dağıtım kayıpları azalırken, işletme ve bakım giderleri düşer. Ayrıca tüketici taleplerine daha hızlı ve daha güvenilir bir şekilde cevap verilebilir.

Mikro Şebekeler Şebeke bağlantılı veya Şebekeden bağımsız olarak çalışabilirler. Şebekeden bağımsız mikro Şebekeler, üretilen elektrik ile tüketilen elektrik arasında bir arz-talep dengesi söz konusuysa Şebekeden uzak yerlerde tercih edilir. Şebekeden bağımsız sistemlerde elektrik dağıtım Őirketiyle herhangi bir bağlantı olmadığından üretilen enerjinin satışı söz konusu olmaz. İlk kurulum maliyetleri Şebekeye bağılı sistemlere nispeten daha düşüktür. Ancak depolama maliyetleri oldukça yüksektir.

Şebeke bağlantılı mikro Şebekeler ise ana Őebekeyle senkron olarak çalışmaktadır. Bu sistemlerde hem mikro Şebekenin ürettiğı enerji Şebekeye aktarılabilir hem de mikro Şebeke enerji taleplerini karşılayamadığında ana Şebekeden enerji temin edilebilir.

Mikro Şebekelerin Şebekeye bağlantılı ya da Şebekeden izole çalıştığı durumlar için farklı enerji yönetim ve kontrol stratejileri belirlenir. Böylece enerjinin daha verimli kullanılması sağlanmaktadır[1].

Şekil 1.2'de bir mikro Şebeke sistemine ilişkin blok diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Mikro şebeke blok diyagramı

1.2. Literatür Özeti

Mikro şebekeler üzerine yapılan çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Lasseter R. CERTS bünyesinde mikro şebekeler üzerine araştırmalar yapmaktadır. (CERTS , 1999 yılında ABD elektrik güç sistemini koruma, sistemin güvenilirliğini artırma gibi konular üzerine araştırma ve geliştirme yapmak amacıyla kurulmuştur.) 2001 yılında yaptığı çalışmasında mikro şebekenin güvenilirliğini artırma adına bazı kriterler ortaya koymuştur. Gerekli elektriksel gücü ve ısıyı mikro kaynaklar vasıtasıyla temin etmek, emisyon ve sistem kayıplarını minimize etmek ve verimliliği en üst düzeye çıkarmak bu kriterlerden birkaçıdır[2].

Barnes M. ve arkadaşları, mikro şebeke uygulamalarının henüz bilgisayar ortamında simülasyonu tam olarak gerçekleştirilemezken 2005 yılında deneysel sistem üzerinde Mikro Şebekelere ilişkin simülasyonlar yapmayı başarmışlardır. Bu simülasyonlarda

mikro şebekenin kontrol stratejileri, depolama teknolojileri üzerine testler geliştirmişlerdir[3,4].

Pes Lopes JA ve arkadaşları 2005 yılında yaptıkları çalışmada mikro şebekenin izoleli çalışmasına ilişkin iki yaklaşım geliştirmişlerdir. İlk yaklaşımda odaklandıkları konu inverter kontrol modlarıdır. İkinci yaklaşımda ise konvensiyonel senkron makine kontrolü üzerine yaklaşımlar geliştirmişlerdir[5].

Celli G. ve arkadaşları, Yeni Enerji Yönetim Sistemleri (EYS)'nin geliştirilmesine yönelik çalışmalar yapmışlardır.(EYS, yapay sinir ağı uygulamasına dayanan ve otonom bir şekilde karar alıp uygulayabilen bir sistemdir.) İtalyan enerji ve yakıt fiyatları baz alınarak 2005 yılında hazırladıkları çalışmada EYS'nin küresel enerji faturasında tasarruf sağladığına ilişkin sonuçlara ulaşmışlardır[6].

Ghiani E. ve arkadaşları, mikro şebekenin optimum kombinasyonuna ulaşmak için dağıtım sisteminin yeniden düzenlenmesine yönelik algoritmalar geliştirmişlerdir. 2005 yılında geliştirdikleri Sequential Monte Carlo simulasyon tekniğiyle mikro şebekenin en ideal kombinasyonuna ulaşma adına önemli bir adım attıklarını savunmuşlardır[7].

Patra Shashi B. ve arkadaşları, mikro şebekelerin işletim maliyetini optimize etmeye yönelik rasyonel yaklaşımlarda bulunmuşlardır. Geliştirdikleri metod dinamik bir programa dayanmıştır. Mikro kaynaklar ve bağlantı noktaları arasındaki bağlantıların ideal lokasyonunu belirlemeyi hedeflemişlerdir[8].

Alibhai Zafeer ve arkadaşları, hazırladıkları çalışmada mikro şebekede kullanılan dört temel fiyat belirleme tipini tanıtmışlardır. Bunlar; ilk fiyat- kapalı teklif, Vickrey, İngiliz ve Hollanda tipleridir. 2004 yılında hazırladıkları makalede sundukları teknikler ve simulasyon sonuçları ışığında Hollanda tipinin daha tercih edilebilir olduğunu ileri sürmüşlerdir[9].

Dimeas A. ve Hatziargyriou N. 2004 yılında yaptıkları çalışmada dört tip yazılım tanımlamışlardır: üretim yazılımı, tüketim yazılımı, güç sistemi yazılımı ve MGCC (Mikro Şebeke Merkezi Kontrolörü) yazılımı. Çalışmaya göre; MGCC yazılımı sadece koordinasyon görevine sahip ve daha özel bir yazılımken diğer üç yazılım tipi piyasada daha çok rağbet görmüştür[10].

Sakis Meliopoulos AP. ve arkadaşları, mikro şebekeli bir güç sistemi için küçük-sinyal kararlılık analizi metodunu geliştirmişlerdir. Buna göre; sistemin küçük-sinyal kararlılığı, sistemin kararlı hal durum noktası etrafındaki öz değerlerinin hesaplanması yoluyla ölçülebileceğini ileri sürmüşlerdir[11].

Jayawarna N. ve arkadaşları, tipik bir mikro şebeke için topraklamalı bir sistem tasarlamışlardır. Buna göre; karşılaşılan herhangi bir arızada çalışılacak elektriksel güvenlik kriterlerini belirlemişlerdir. Yaptıkları çalışmada temas gerilimi ve adım gerilimi kriterlerini kabul etmişlerdir[12].

AI-Nasseri H. ve arkadaşları, arızalara karşı koruma sağlayacak yeni bir koruma planı üzerine çalışmışlardır. Bu koruma abc-dq dönüşümlerine dayanmıştır ve kısa devre arızalarını tanımlayabilmiştir[13].

Li Yun Wei ve arkadaşları, iki inverterli şebeke-arayüz güç kalite düzelticisini tanımlamıştır. Buna göre; hem mikro şebekedeki iç kablo gerilimlerini hem de mikro şebeke ve ana şebeke arasında akan hat akımlarını kontrol etmeyi amaçlamışlardır[14].

Nichols David K. ve arkadaşlarının 2006'da yaptıkları çalışmada bir yandan mikro şebekenin faydaları sıralanırken diğer yandan Dağıtık Enerji Kaynakları (DEK)'nın sisteme dahil olmalarının beklenenleri karşılayamadığı ifade edilmiştir. Çalışmada ifade edilen başlıca dezavantajlar; yüksek maliyet, hızlı kurulum için entegrasyon modellerinin eksikliği ve başarıya ulaşmış uygulamaların yeteri miktarda olmamasıdır[15].

Ito Youichi ve arkadaşları, dağıtık üretim sistemlerine sahip dc şebeke sistemi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Tasarladıkları deneysel sistemde 10 kW PV panel generatör ünitesi, rüzgar türbin generatörü ünitesi, elektriksel güç depolama ünitesi, volan ve volan ara birimi ünitesi ve ac şebeke bağlantılı inverter ünitesi yer almıştır. Çalışmada, üniteler arasında akan bir dolaşım akımının olmadığı da vurgulanmıştır[16].

Dünya'nın birçok ülkesinde gerçekleştirilen mikro şebeke uygulamalarına ilişkin bazı örnekler aşağıda verilmiştir.

UW mikro şebeke (ABD), Wisconsin- Madison Üniversitesi'nde uygulamaya konmuştur. Mikro şebekeye entegre edilmiş dizel generatörlerin modellenmesi ve kontrol edilmesi gibi konuların araştırılması hedeflenmiştir[17].

Bronsbergen Holiday Park Mikro Şebeke(Hollanda), AB'nin desteklediği birçok mikro şebeke projelerinden biridir. Proje 208 tatil evinden oluşmuştur. Üretim 108 tane çatıya yerleştirilmiş güneş panelleriyle gerçekleştirilmiştir. Üretim kapasitesi 315 kW'tır[18,19].

Am Steinweg Enstitüsündeki Eysel Mikroşebeke(Almanya), test sistemiyle DISPOWER projesi kapsamında çalışmalar yapılmaktadır. Am Steinweg Mikro Şebekesi 3-faz alçak gerilim (400 V) dört kablolu bir sistemdir. 400 kVA trafo üzerinden orta gerilim(20 kV) şebekeye bağlıdır. Sistemin işletimi Power Flow ve Power Quality

Management System(PoMS) tarafından gerçekleştirilir. Bu sistemle izoleli çalışma ve uzun periyotlar için enerji taleplerini karşılama hedeflenmiştir[20,21].

Cesi Ricerca Der Test Mikro şebeke (İtalya), 400 V alçak gerilimli dc mikro şebekedir. 800 kVA trafo üzerinden orta gerilime(23 kV) bağlanmıştır. Birkaç dağıtılmış enerji kaynağı ve kontrol edilebilir yüklerden oluşur. Sistemde merkezileşmiş kontrol uygulanmıştır. Dağıtık kaynaklar ve yükler Supervision & Control System(SCS)'e bağlıdır. Sistem, güç kalitesini sağlamak amacıyla volan ve enerji depolama amacıyla birkaç batarya ile donatılmıştır[22,23].

Kythros Island Mikro şebeke (Yunanistan), 12 evden oluşmuştur. Üretim 10 kW güneş pili, nominal 53 kWh batarya bank ve 50 kW dizel generatörle gerçekleştirilmiştir[22].

Labovatuvar ölçekli mikro şebeke sistem (Yunanistan), Atina Ulusal Teknik Üniversitesi (National Technical University of Athens, NTVA)'nde geliştirilmiştir. Test sistemi iki güneş pili generatörü, bir rüzgar türbünü, batarya ve kontrol edilebilir yüklerden oluşan lokal bir alçak gerilim şebekesidir[3].

DE MO TEC test mikro şebeke sistem (Almanya), iki batarya ünitesi,iki dizel motor, foto-voltaik generatör ve rüzgar generatöründen oluşur. Toplam kullanılabilir üretim kapasitesi yaklaşık 200 kW'dır. Generatör kontrolü için Denetimsel Kontrol ve Veri Belirleme Sistemi (Supervisory Control and Data Acquisition System, SCADA) kullanılmıştır[24,25].

Manchester Üniversitesi mikro şebeke/volan enerji depolama laboratuvarı prototipi (birleşik krallık), 20 kVA şebekeye bağlıdır. Sistemde senkron generatör ve indüksiyon motoru birbirine bağlı olarak hareket etmektedir. Volan ise inverter üzerinden enerji depolama sistemine bağlanmıştır[22,26].

Kyoto eco-energy projesi (Japonya), NEDO projeleri kapsamındadır. Sanal mikro şebeke olarak tasarlanmıştır. Her bir dağıtılmış enerji kaynağı trafoya bağlıdır ve sadece kontrol sistemi tarafından entegre edilir[27].

Hachinohe projesi (Japonya), NEDO projesi kapsamındadır. Özel dağıtım hattına dayandırılarak oluşturulmuştur. Elektrik dağıtımı ve iletimi amaçlanmıştır. Sistem, gaz motor sistemi, birkaç PV sistem ve küçük rüzgar çiftliğinden oluşmuştur[18,27].

Sendai projesi (Japonya), iki tane 350 kW gaz motoru generatörü, bir 250 kW yakıt pili, 50 kW PV, bateri enerji deposu ve çeşitli türde kompanzasyon cihazlarından oluşmaktadır. Ayrıca uzaktan ölçüm ve kontrol sistemi GPS'le senkronize bir şekilde çalışarak ölçüm

verilerini elde etme, gaz motoru çıkış kontrolünü yapma, tesislerin izlenmesi gibi görevleri yerine getirmiştir[27,28].

Türkiye’de mikro şebeke üzerine yapılan çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Dumlupınar Üniversitesi’nde deneysel olarak kurulan şebekeden izole edilmiş ve şebekeye bağlı mikro şebeke sistem rüzgâr ve güneş enerjisinden oluşmuştur. Deneysel olarak oluşturulan 1-10 kW arasında şebekeden bağımsız 10 adet ve 15-45 kW arasında şebekeye bağlı 6 adet üretim sistemleri üzerine senaryolar geliştirilerek araştırmalar yapılmaktadır[29].

Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi’nde otopark alanının aydınlatılması üzerine geliştirilen fotovoltaik sistem üzerine araştırmalar yapılmaktadır. Elde edilen sonuçlar geliştirilerek tüm Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde sistemin yaygınlaştırılması hedeflenmiştir[30].

Muğla Üniversitesi’nde Devlet Planlama Teşkilatı’nın desteğiyle geliştirilen “54 kW Gücündeki Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistemin Muğla Üniversitesi Kütüphane Çatısına Entegrasyonu” adlı proje toplam gücü 54kW olan fotovoltaik sistemden oluşmaktadır. Ayrıca bu proje, Temiz Enerji Kaynakları Vakfı tarafından da desteklenmiştir ve halen başarı ile sürdürülmektedir [31].

Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi çatısına kurulan fotovoltaik panellerle elektrik enerjisi üretimi yapılmaktadır. Ayrıca, her biri 130W gücünde 6 adet güneş paneli ve 300W gücünde bir rüzgar türbini kullanılarak da enerji üretimi yapılmaktadır. Güneş panelleri ve rüzgar türbininden elde edilen enerji şarj kontrol ünitesi üzerinden bataryalara aktarılıp depolanmaktadır. Doğru akım halinde depolanan enerji, eviriciden geçerek alternatif akıma dönüştürülmektedir. Elde edilen elektrik enerjisi fakültede bir akademisyen odasında kullanılmaktadır[32].

Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği’nde kurulan mikro şebeke sistem, 400 W gücünde bir rüzgar türbini, 1000 W gücünde fotovoltaik panel ve 1200 W gücünde hidrojen yakıt pilinden oluşmuştur. Sistem şebekeye bağlı olarak çalışmaktadır.

Yük-frekans kontrolü üzerine yapılan çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Elgerd ve Fosha; 1970 yılında yaptıkları çalışmada enterkonnekte güç sistemlerinin Otomatik Üretim Kontrolü (Automatic Generation Control - AGC) için ilk modern kontrol tasarımı ortaya koymuşlardır. Çalışmalarında, ikincil kontrol için klasik kontrol

yöntemlerini kullanarak oransal bir kontrolör ve farklı bir geri besleme düzeni ile optimal kontrolör tasarımı yapmışlardır [33].

Kumar ve Kothari, ilk çalışmalarından günümüze kadar, yük-frekans kontrolünde ikincil kontrole yönelik klasik, adaptif, optimal ve dayanıklı (robust) kontrol yöntemleri ya da yapay zeka tabanlı kontrol yöntemleri kullanarak, birbirlerine göre çeşitli üstünlükleri olan birçok farklı kontrol stratejileri geliştirmişlerdir[34].

Lee ve arkadaşları, 1991 yılında yaptıkları çalışmada enterkonnekte güç sistemler için bir kazanç güncellemeli kontrolör önermişler, bu kontrolör ile geniş bir çalışma aralığında o zamana kadar sağlanan en iyi kontrol performansını elde ettiklerini ileri sürmüşlerdir [35].

Rubai ve Udo, 1994 yılında yük-frekans kontrolü için çok değişkenli kazanç güncellemeli bir kontrol yöntemi önermişler, kazanç güncelleme algoritmasında farklı bir maliyet fonksiyonu kullanmışlardır [36].

Demirören ve arkadaşları, 2001 yılında yaptıkları çalışmalarda bir enterkonnekte güç sistem modeli üzerinde frekans denetleyici olarak yapay sinir ağı tabanlı kontrolör tasarlamışlardır. Çalışmalarında, üç kontrol bölgesine sahip bir enterkonnekte sistem modeli kullanarak sonuçlarını geleneksel ve klasik yöntemlerle karşılaştırmışlardır [37].

Çam ve Kocaarslan, 2005 yılında yaptıkları Oransal - İntegral (PI) kontrolörün tasarımında kazançlarını güncellemek için bulanık mantık ve yedi adet bulanık kuralları kullanmışlar ve yük frekans kontrol performansını arttırmışlardır [38].

Saravuth ve arkadaşları, 2007 yılında yaptıkları çalışmalarında süper iletkenli manyetik enerji depolama ünitesi içeren bir enterkonnekte sistem için optimal kazanç güncellemeli Bulanık mantık PID-kontrolör önermişlerdir. Tasarımlarında, bulanık mantık PID kontrolörün kazançlarının güncellemesi için geliştirilen Çoklu Tabu Arama algoritması kullanmışlardır. Önerilen çalışmanın performansını geleneksel PID ve optimal olmayan kazanç güncellemeli bulanık mantık PID kontrolör performansları ile karşılaştırılmışlardır[39].

Taher ve arkadaşları, 2008 yılında yaptıkları çalışmalarda iki kontrol alanına sahip bir enterkonnekte sistem modelinde Pl-kontrolörün kazanç güncellemesi için Parçacık Sürü algoritması ve Parçacık Sürü algoritması ile oluşturdukları hibrit bir algoritma kullanmışlardır. Hibrit algoritmada, genetik algoritmasında ya da evrimsel gelişim algoritmasında olduğu gibi doğal seçim ve mutasyon gibi evrimsel operatörler kullanmışlardır [40].

Rashedi, 2009 yılında yapmış oldukları çalışmalarda çeşitli sezgisel optimizasyon yöntemleri geliştirmişlerdir. Bu yöntemlerin çoğu canlıların sürü davranışları ilham alınarak geliştirilmiştir. Yazarlar yaptıkları çalışmalarda ağırlık ve kütle etkileşimleri kanununa dayalı yeni bir optimizasyon yöntemi algoritması tanımlamışlardır. Ayrıca, önerdikleri yöntemi bilinen bazı sezgisel arama yöntemleri ile karşılaştırmışlardır [41].

Preghnesh Bhatt ve arkadaşları, 2010 yılında yaptıkları çalışmada iki kontrol alanına sahip bir entrekonnekte sistem modelinde Süper İletkenli Manyetik Enerji Depolama Ünitesi (SMES), Tristör Faz Yer Değiştirme Kontrolü (TCPS) tabanlı frekans dengeleyicisi ve integral kazanç güncellemesi için Çılgın Parçacık Sürüsü algoritması kullanmışlardır. Elde ettikleri sonuçları SMES ve TCPS tabanlı frekans dengeleyicisi performansı ile farklı yük değişimi durumları için karşılaştırmışlardır [42].

Gözde ve arkadaşları, 2010 yılında yaptıkları çalışmada iki bölgeli ara-ısıtma içeren tırbünlü enterkonnekte sistemde yük-frekans kontrolü için tasarladıkları PI-kontrolörün kazançlarını güncellemek için kullandıkları parçacık sürüsü algoritmasında farklı bir maliyet fonksiyonu önererek sistem performansını arttırmayı hedeflemişlerdir [43].

Lalit Chandra Saikia ve arkadaşları, 2011 yılında yaptıkları çalışmalarda beş bölgeli bir enterkonnekte güç sistem modeli üzerinde, kazançları Bakteriyel Toplayıcılık (Bacterial Foraging, BF) tekniği ile güncellenen bir İntegral-Çift Türev (IDD) kontrolör kullanmışlardır. Önerilen kontrolör performansını; İntegral (I), Oransal-İntegral (PI), İntegral-Türev (ID) ve Oransal-İntegral-Türev (PID) performansının elde edilmiş sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Her bir bölge için dakikada %3 üretim oranı kısıtlamalarını dikkate alarak, sistemdeki parametrelerin değişimi durumunda BF tabanlı IDD kontrolörün performansı incelemişlerdir [44].

Serhat Duman ve arkadaşları, 2012 yılında yaptıkları çalışmalarda bir bölgeli güç sisteminin yük frekans kontrolü amacıyla kullandıkları PI ve PID kontrolörün kazançlarını Yerçekimi Arama Algoritması (YAA) ile güncelleyip geleneksel yöntemler ile karşılaştırmışlardır. Yerçekimi arama algoritması yönteminin geleneksel PI ve PID kontrolörüne göre daha iyi sönümleme, az salınım ve kısa süre de geçici yanıt verme özelliklerine sahip olduğunu göstermişlerdir [45].

Cengiz Taplamacıoğlu ve arkadaşları, 2012 yılında yaptıkları çalışmalarda iki bölgesi olan bir güç sisteminin yük-frekans kontrolünü yapmak amacıyla kullandıkları PI ve PID kontrolörün kazançlarını güncellemek için Yapay Arı Kolonisi (ABC) optimizasyon

algoritması kullanmışlardır. Algoritmanın yük-frekans kontrol performansı Parçacık Sürüsü algoritması ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir[46].

Sidhartha Panda ve arkadaşları, 2013 yılında yaptıkları çalışmalarda iki ve üç bölgeli enterkonnekte güç sisteminin frekans kontrolü için hibrit bakteriyel toplayıcılık optimizasyon algoritması (hybrid bacterial foraging optimization algorithm, HBFOA) kullanarak bir optimum orantılı-integral (PI) denetleyicinin parametrelerini bulmaya çalışmışlardır. İntegral zaman mutlak hatası (ITAE) çalışma metodu performans indeksini minimize ederek PI denetleyicinin parametrelerini elde etmişler ve elde edilen sonuçları bakteriyel toplayıcılık optimizasyon algoritması (BFOA), parçacık sürüsü optimizasyon ve genetik algoritması ile karşılaştırmışlardır [47].

Hooman Nasr Azadani ve Roozbeh Torkzadeh, 2013 yılında yaptıkları çalışmada enterkonnekte güç sisteminin yük-frekans kontrolü için genetik algoritma tabanlı bulanık kazanç güncellemeli PID-kontrolör tasarımını önermişlerdir. Çalışmalarında, kazanç güncelleme için kullandıkları bulanık mantık yapısına ait bulanık kural kümesinin tasarımı için genetik algoritmaları kullanmışlardır [48].

Rabindra Kumar Sahu ve arkadaşları, 2013 yılında yaptıkları çalışmada enterkonnekte güç sisteminin frekans kontrolü için Diferansiyel Evrim (DE) tabanlı 2 - serbestlik dereceli oransal-integral-türev (2-degree freedom based PID) tabanlı denetleyici sunmuşlardır. DE algoritmasında maliyet fonksiyonu olarak Hatanın Karesinin İntegrali (HKİ) metodunu ve Hatanın Zamanla Çarpılmış Değerlerinin Karesinin İntegrali (HZKİ) metodunu kullanmışlardır. Algoritmanın yük-frekans kontrol performansını son yıllar da yayınlanan çılgınlık tabanlı parçacık sürü optimizasyon (craziness based particle swarm optimization, CPSO) algoritmasının performansı ile karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir[49].

Yeşil, 2014 yılında yaptığı çalışmada dört bölgeli ara ısıtmalı buhar türbinine sahip olan bir enterkonnekte güç sisteminin frekans kontrolü için tip-2 bulanık tabanlı PID denetleyiciyi tasarlayıp, kontrolörün optimum kazançları elde edilebilmesi için Büyük Patlama (Big Bang, BB) optimizasyon tekniğini kullanmıştır. Elde edilen performans sonuçlarıyla geleneksel PID ve tip-1 bulanık tabanlı PID kontrol performanslarını karşılaştırmıştır [50].

Süper İletken Manyetik Enerji Depolama(Superconducting Magnetic Energy Storage, SMES) ve katı hal fazında şalter üzerine birkaç yayın hazırlanmıştır ve bu yayınlarda en yeni depolama teknolojilerinden biri olan SMES'lerin yük-frekans kontrolündeki önemli rolleri ortaya konmuştur[51].

Sezgisel optimizasyolar üzerine yapılan bazı çalışmalar aşağıdadır.

Teodorovic ve Lucic, arı sürüsünün zeki davranışları üzerine araştırmalar yapmış ve arı kolonisi algoritmasını çeşitli problemler üzerinde uygulamışlardır. Arı kolonisi algoritmasını Opt-3 arama algoritmasıyla destekleyerek klasik GPS sistemine uygulamışlardır[52]. Derviş Karaboğa, 2005 yılında yaptığı çalışmada yapay arı sürüsü (Artificial Bee Colony –ABC) algoritmasını sayısal optimizasyon problemlerinde uygulamış ve bu algoritmayı dünya bilim literatürüne kazandırmıştır [53]. Dorigo ve arkadaşları, karınca koloni algoritmasını (ACO) dünya bilim literatürüne kazandırmışlardır. Gezgin satıcı problemi (GSP) ve kuadratik atama (QAP) gibi zor problemlerin optimizasyonunda bu tekniği kullanmışlardır[54]. Bremermann, 1974 yılında bakterilerin besin arama yöntemlerinden esinlenerek bir optimizasyon algoritması geliştirmiştir[55]. Seyedali Mirjalili ve arkadaşları, 2014 yılında yaptıkları çalışmada bozkurt sürüsünün avlanma ve besin arama davranışlarından esinlenerek bozkurt sürü optimizasyon algoritmasını(GWO) geliştirmişlerdir[56]. Akbari ve arkadaşları 2010 yılında yaptıkları çalışmada çok amaçlı problemlerin optimizasyonunda yapay arı koloni optimizasyon algoritmasını kullanmışlardır[57]. Banharnsakun ve arkadaşları 2010 yılında yaptıkları çalışmada büyük boyutlu problemler için ABC algoritmasının dağıtık bir sürümünü önermişlerdir[58]. Hasan Söyler ve arkadaşları 2006 yılında yaptıkları çalışmada ACO algoritmasının performansını artırmak ve daha iyi çözümler elde edebilmek için global karınca koloni algoritmasını geliştirmişlerdir[59]. Bullnheimer ve arkadaşları Rank temelli karınca sistemini geliştirerek ACO algoritmasının performansını artırmayı hedeflemişlerdir[60]. Stützle ve Hoos, ACO algoritmasını geliştirerek Max-Min Karınca Sistemi (MMAS)’ni ortaya koymuşlardır[61].

1.3. Tezin Yapısı

Bu tez çalışması altı bölümden oluşmuştur. Birinci bölümde, mikro şebekeler üzerine genel bilgiler, şemalar ve literatür araştırması verilmiştir. İkinci bölümde mikro şebekede kullanılan dağıtık enerji üretim ve depolama kaynakları statik ve dinamik kaynaklar olarak sınıflandırılmıştır ve bu kaynaklara ilişkin genel bilgiler, çalışma işleyişleri ve enerji üretim denklemleri verilmiştir. Üçüncü bölümde otomatik üretim kontrolü, yük-frekans kontrolü ve gerilim kontrolü olarak iki başlık altında incelenmiş ve bu kontrol yöntemleriyle ilgili genel bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde sezgisel optimizasyon

yöntemlerinden yapay arı koloni, bakteri sürü, karınca koloni ve bozkurt sürü optimizasyon algoritmaları üzerine genel bilgiler verilmiştir. Ayrıca, bu algoritmaların işleyişleri ve akış diyagramları da bu bölüm içinde yer almıştır. Tez çalışmasının beşinci bölümünde, şebekeden izole olmuş bir mikro şebekenin matlab modeli verilmiştir. Ayrıca bu bölümde dördüncü bölümde bahsedilen optimizasyon teknikleri kullanılarak mikroşebekenin yük-frekans optimizasyonu, 3 farklı senaryo için literatürde yaygın olarak bilinen ITSE, ISE, ITAE, IAE performans kriterlerine göre maliyetlendirme yapılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuç bölümünde ise elde edilen veriler karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

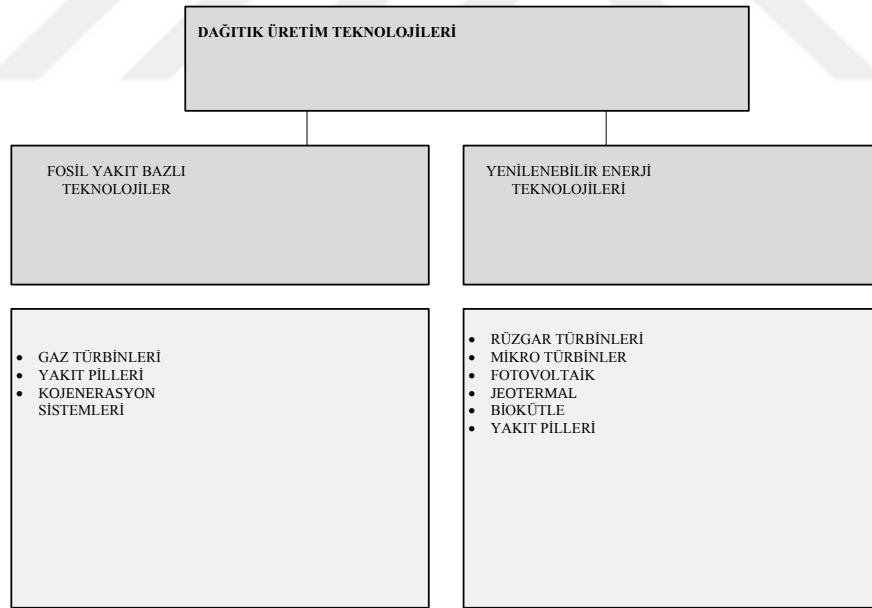


2. MİKRO ŞEBEKE ENERJİ ÜRETİM VE DEPOLAMA KAYNAKLARI

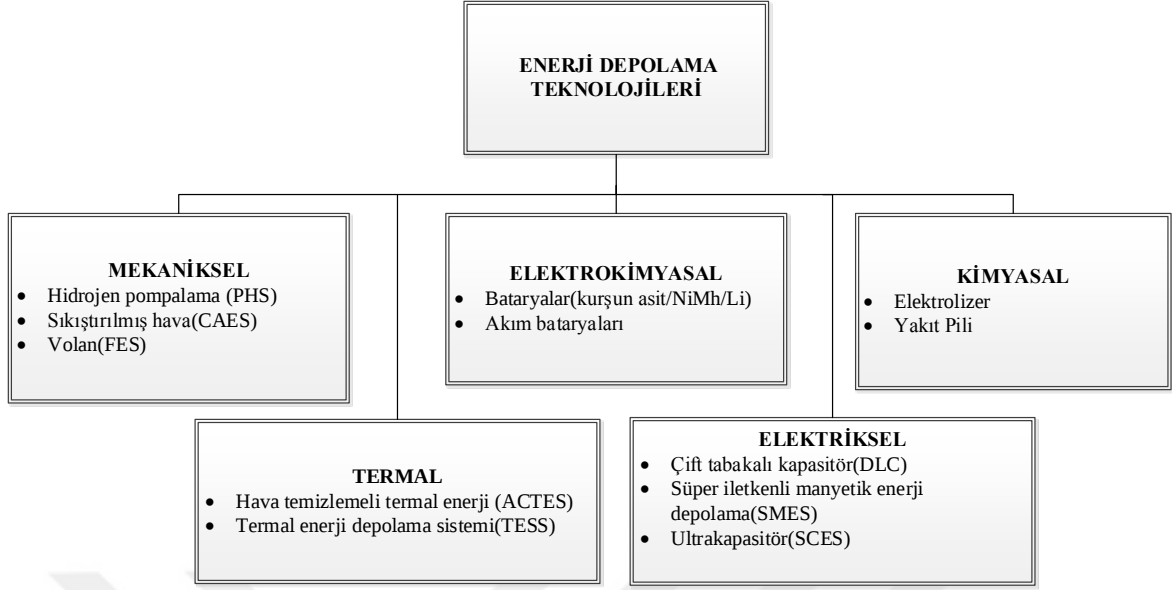
Bu bölümde bir mikro şebekede kullanılan enerji üretim ve depolama kaynakları dinamik ve statik kaynaklar olarak sınıflandırılmıştır. Dinamik ve statik enerji kaynakları arasındaki temel fark sistemde dönen bir makinenin kullanılmasıdır. Dinamik enerji kaynaklarında generatör gibi bir dönen makine kullanılırken statik enerji kaynaklarında dönen bir makine bulunmaz.

Bir mikro şebekede bütün bu enerji kaynaklarının en verimli şekilde kullanılabilmesi adına enerji yönetim stratejileri geliştirilir. Enerji yönetimiyle, bir yandan kurulacak olan mikro şebekenin kurulum ve işletme maliyetlerini makul bir seviyede tutmak diğer yandan sistemden beslenen tüketicinin enerji talebini hızlı ve kesintisiz bir şekilde karşılayabilmek hedeflenir.

Şekil 2.1 ve Şekil 2.2’de mikro şebeke sistemlerinde kullanılan enerji üretim ve depolama kaynaklarına ilişkin şemalar gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Dağıtık üretim teknolojileri



Şekil 2.2. Enerji depolama teknolojileri

2.1. Dinamik Enerji Kaynakları

Dinamik enerji kaynaklarında, enerji üretimi dönen makinalarla yani generatörler vasıtasıyla gerçekleştirilir. Bu enerji kaynaklarıyla üretilen ve depolanan enerji AC ya da DC olabilir. Rüzgar türbin generatörü, hidroelektrik güç sistemleri, volanlar, kojenerasyon sistemleri ve dizel jeneratörler dinamik enerji kaynaklarındandır. Bu kaynaklara ilişkin bilgiler aşağıda verilmektedir.

2.1.1. Rüzgar Türbin Generatörleri

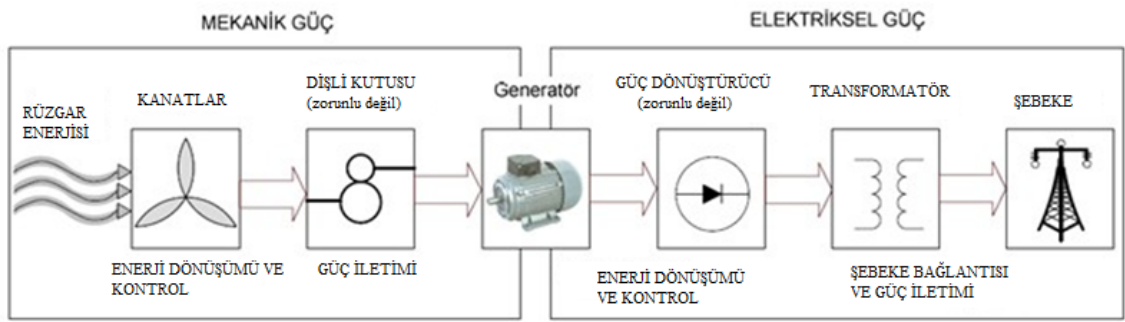
Modern türbinler ilk kez 1890 yılında Danimarkalı Dane Paul La Cour tarafından geliştirilmeye başlanmıştır. (1918 yılında Danimarka’da elektriğin % 3’ünün rüzgar türbinlerinden sağlandığı görülmektedir). 1930’larda küçük rüzgar makineleriyle pillerin şarj edilmesi sağlanmıştır. Modern rüzgar gücü endüstrisi ise 1979’da Danimarka’da pek çok rüzgar türbininin inşasıyla başlamıştır. 2000’li yıllarda rüzgar gücü dünyada en hızlı büyüyen endüstri haline gelmiş, 2013 yıl sonu verilerine göre dünyada rüzgar enerjisinin enerji üretimi içerisindeki payı % 2.7 olmuştur[62].

Rüzgar enerjisi yenilenebilir enerji kaynaklarındandır. Temiz ve çevre dostu bir enerji türüdür. Kurulum maliyeti yüksek olmasına rağmen işletim maliyeti düşüktür. Rüzgar santrallerine gösterilen ilgi giderek artmakta ve kurulum maliyetleri de günden güne

azalmaktadır. Rüzgar santrallerinin bahsedilen avantajlarının yanında bazı dezavantajları da vardır. Bunlar; doğa koşullarına bağlı bir sistem olduğundan üretilen enerji öngörülemez olması, göç yolları üzerindeki türbinlerin kuşlara zarar vermesi, gürültülü olması ve türbinlerin radar sistemlerini ve televizyon alıcılarını etkileyebilmesidir.

Rüzgar türbini, rüzgar enerji santrallerinin ana yapı elemanıdır. Hareket halindeki havanın kinetik enerjisini ilk olarak mekanik enerjiye sonrasında elektrik enerjisine dönüştürür[62]. Türbinler yatay eksenli ve dikey eksenli olabilir. Burada belirleyici olan kanatları bir araya getiren ana milin yere paralel ya da dik doğrultuda olmasıdır. Kanatlar ise uçak kanatlarına benzer şekilde çalışır. Kanat sayıları bir, iki, üç ya da çok sayıda olabilir. Elektrik üretiminde kullanılan rüzgar türbinleri genellikle yatay eksenli ve üç kanatlı olarak tasarlanır[62].

Şekil 2.3’de tipik bir rüzgar enerjisi üretim sistemi görülmektedir.



Şekil 2.3. Tipik bir rüzgar enerjisi üretim sistemi

Aşağıda bir rüzgar türbininden elde edilen güce ilişkin denklemler verilmiştir. Hava yoğunluğu Q (1.225 kg/m^3) olan ve V hızında esen rüzgardan elde edilen güç;

$$P = 0,5 \cdot Q \cdot V^2 \quad (2.1)$$

$Q = \rho \cdot A \cdot V$ eşitliği yukarıda Denklem(2.1)’de ilgili yere yazıldığında elde edilen güç denklemi aşağıda verilmiştir.

$$P = 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \quad (2.2)$$

Denklem (2.1) ve (2.2)’deki ‘P’, rüzgar türbininin ürettiği güçtür. ‘ ρ ’, rüzgar türbin verimliliğidir. İdeal şartlarda bu değer % 59 alınır ve Betz limiti olarak ifade edilir. ‘V’ rüzgarın hızıdır(m/s). Denklemde geçen ‘A’ ise rotor süpürme alanıdır (m^2). Aşağıda Denklem(2.3)’le ifade edilir.

$$A = \pi . D^2 / 4 \quad (2.3)$$

Sistemin ürettiği bir yıllık enerji miktarı (kWh) ise Denklem(2.4)'le hesaplanır.

$$W = P . t \quad (2.4)$$

Denklemde geçen 't ' zamanı ifade eder ve 8760 saattir[63].

2.1.2. Çok Küçük Hidroelektrik Santraller

1832 yılında ilk su türbini Fransız bilim adamı Benoit Fourneyron tarafından yapılmıştır. 1880 yılında ABD'de, Grand Rapids'de su türbinlerinden elde edilen enerjiyle çalışan bir dinamoyla tiyatro ve dükkanların aydınlatması sağlanmış, 1882 yılında ABD'de Foz Nehri'ne kurulan bir su çarkından elde edilen enerjiyle iki kağıt fabrikasının enerji ihtiyacı karşılanmıştır. 2008 yılında ise Portekiz, Aguçadora Dalga Parkı'nda ilk ticari dalga çiftliği kurulmuştur. Türkiye'de ise ilk hidroelektrik üretim 1902'de Tarsus'da küçük ölçekli bir hidroelektrik santralinde gerçekleşmiş, 1913 yılında İstanbul'da ilk büyük ölçekli hidroelektrik santralinin inşasına başlanmıştır. 1933 yılında ise Ödemiş'te hidroelektrik enerjiyle beslenen aydınlatma ve elektrik şebekesi kurulmuştur.

Hidroelektrik enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yere sahiptir. Dünya elektrik üretiminin % 16.3'ü hidro elektrik enerjisi tarafından sağlanmaktadır. Türkiye'de ise bu oran 2013 yılı değerlerine göre %24.8'dir[62] .

Hidroelektrik enerji yenilenebilir enerji kaynaklarındandır. Temiz ve güvenilir bir enerjidir. Hidroelektrik santrallerinde üretim aşamasında hiçbir atık ve kirlilik oluşmaz. Enerji üretimi oldukça hızlı gerçekleşir ve enerji taleplerine hemen cevap verebilmek için barajlarda su depolanır. Dezavantajları ise özellikle kurulum aşamasında ortaya çıkar. Barajların inşası oldukça pahalıdır ve kurulurken çevreye zarar verir. Uzun vadede ise kurulduğu çevrenin iklimini değiştirebilir.

Hidroelektrik santrallerde suyun potansiyel ve kinetik enerjisinden yararlanarak elektrik enerjisi elde edilir. Bir hidroelektrik santralinde, akarsuyun üzerine inşa edilen barajla nehir suyu yapay bir gölde tutulur. Suyun devasa beton tünellerden, yani barajın elektrik santraline geçtiği bent kapaklarından akmasına izin verilir. Yüksek basınç altında türbine giren su türbin kanatlarının üzerinden akar ve türbin millerini döndürür. Türbine bağlı jeneratörler bu mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür. Bir hidroelektrik santrali biri diğerinden çok daha büyük olan iki rezervuardan oluşur. Elektrik talebi yüksek

olduğunda su elektrik üretmek için üst rezervuardan aşağıya doğru elektrik santraline akar. Talep düşük olduğunda ise şebekedeki fazla elektrik suyu tekrar üst rezervuara pompalamak için kullanılır.

Aşağıda bir hidroelektrik santralinden elde edilen gücün (P) denklemi verilmiştir.

$$P = \gamma \cdot H \cdot Q \cdot \eta \quad (2.5)$$

Denklemden; ' γ ' suyun birim hacim ağırlığı (9,81 kN/m³), 'H' düşü (m), 'Q' ise debi (m³/s)'dir.

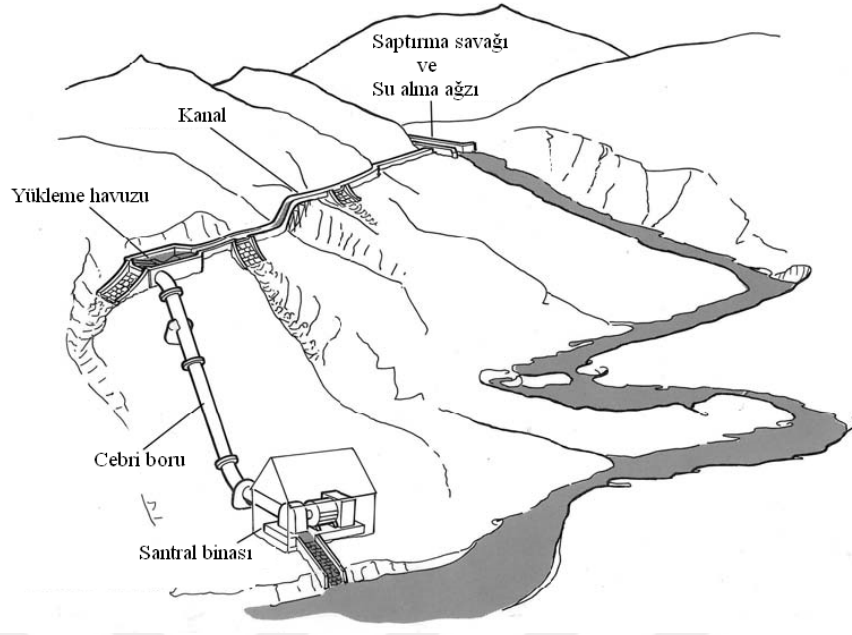
Elde edilen verim ise aşağıda verilmiştir.

$$\eta = \eta_H \cdot \eta_G \cdot \eta_T \quad (2.6)$$

' η_H ' düşü verimi, ' η_G ' generatör verimi, ' η_T ' ise türbin verimidir[64].

Çok küçük hidroelektrik santraller(mikro hidroelektrik santraller) ise küçük ölçekli hidroelektrik santrallerdir. Bu mikro hidroelektrik santrallerde 500 kW'dan küçük güç üretimi gerçekleştirilir. Akarsular üzerine inşa edilen mikro santrallerde bir baraja ihtiyaç duyulmaz, böylece baraj inşaatı sırasında ortaya çıkan çevresel sorunlar da önlenmiş olur[65]. Mikro hidroelektrik sistemleriyle yerleşim alanlarına uzak çiftlik ve evler için enerji sağlanabilir. Sistemde kullanılan türbinler su çok yavaş aktığında bile verimli bir şekilde elektrik üretebilen peltron çarklarına bağlıdır. Herhangi bir arıza durumunda ise akülerde depolanan elektrik enerjisi kullanılır. Ayrıca şebekeye bağlı olarak tasarlanan mikro hidroelektrik santralleriyle aküye gerek kalmaksızın enerjinin kesintisizce temini de sağlanır. Bu sistemlerde üretilen fazla enerji gerekli şartlar sağlandığında ana şebekeye de aktarılabilir.

Şekil 2.4'de bir hidroelektrik santral şeması gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Klasik bir mikro hidroelektrik santral şeması

2.1.3. Volanlar

Enerji depolama teknolojileri talep edilen enerjinin aynı anda üretilmesine gerek duyulmadan kesintisiz ve hızlı bir şekilde tüketiciye ulaşmasına imkan sağlar. Bu depolama teknolojilerden biri olan volanlar (flywheel) dinamik enerji depolama çözümleri sunar.

Volanlar ilk kez 1950'li yıllarda İsveç'te 'gyrobus' adı verilen araçlarda kullanılmıştır. 1990'larda Rosen Motor firmasının geliştirdiği gaz türbinli hibrid otomobilde 55.000 devirli bir volan kullanılmıştır. İngiltere'de 2010 yılında geliştirilen 'Flybus' isimli otobüste volan depolama sistemi kullanılmış, bu araçla şehir içi kullanımda % 20 yakıt tasarrufu sağlanmıştır. Ayrıca volan sistemleri elektrikli lokomotiflerde kullanılarak demiryollarının elektrik enerjisine adaptasyonuna da katkı sağlamıştır.

Volanın çalışma prensibi şu şekildedir. İlk olarak bir elektrik motoruyla volanın mekanik hareketi sağlanır ve volan dönmeye başlar. Böylece volan devir sayısına ve ataletine bağlı olarak belirli miktar enerjiyi depo eder. Volanın devir sayısı arttıkça depoladığı enerji de artacaktır. Devir sayısı azaltıldığında ise mevcut kinetik enerji generatör modunda çalışan bir elektrik motorunu tahrik etmek için kullanılır ve böylece depolanmış enerji elektrik enerjisine dönüştürülür[66].

Volanlar uzun süreli kullanıma dayanabilirler. Yüksek şarj ve deşarj hızlarına adapte olabilecek şekilde tasarlanırlar. Bakım masrafları yok denecek kadar azdır. Çok hızlı şarj olabilirler ve verimleri oldukça yüksektir. Ancak volanlar uzun süreli depolamalar için kullanılamazlar. Çünkü boştaki kayıpları oldukça fazladır. Ayrıca fiyatlarının yüksek olması da dezavantajlarından biridir.

Volan sistemlerini daha ucuz, daha hafif, daha yüksek kapasiteli ve daha küçük yapmak için çalışmalar devam etmektedir. İlerleyen yıllarda volan sisteminin, araçlardaki kimyasal akülerin yerini alacağı düşünülmektedir.

Volanlarda depolanan enerji Denklem (2.7) ve(2.8)'le hesaplanır.

$$E = \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2 \quad (2.7)$$

$$I = \frac{r^2 \cdot m \cdot h}{2} \quad (2.8)$$

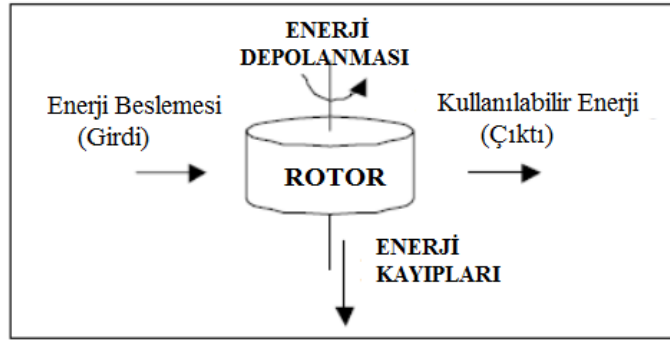
Depolanmış enerji, (2.7) eşitliğinde gösterildiği gibi rotorun eylemsizlik momentine ve volanın dönme hızının karesine bağlıdır. Eylemsizlik momenti ise (2.8) eşitliğinde gösterildiği gibi yarıçap, kütle ve rotor uzunluğuna bağlıdır. Yani depolanan enerji, volan sistem tasarımının yapısına bağlıdır ve bu yapı değiştirilerek depolanan enerji değiştirilebilir. Volanın dönme hızından dolayı depolama sığası sınırlandırılır. Bu sınırlandırmayı açısal hızın en fazla olduğu değer belirler. Bu değer ise kullanılan materyellerin dayanıklılıkları ile denetlenir.

Volanda depolabilecek maksimum enerji (birim kütle başına) E_{mx} ,

$$E_{mx} = \frac{1}{2} (\sigma_{mx} / \rho) \quad (2.9)$$

Volan malzemesinin en fazla çekme dayanımı σ_{mx} ,malzeme yoğunluğu ise ρ ile gösterilir. Denklem (2.9)'a bakıldığında E_{mx} ' in en yüksek değeri için, çekme dayanımı yüksek olan düşük yoğunluklu malzemelerin tercih edilmesi gerektiği görülür[67].

Şekil 2.5'te volan enerji depolama sisteminin şeması görülmektedir.



Şekil 2.5. Volan enerji depolama sisteminin şematik görünüşü

2.1.4. Kojenerasyon Sistemleri

Kojenerasyon (Combined Generation) sistemler, elektrik ve ısı enerjisinin birlikte elde edildiği üretim sistemleridir. Kojenerasyon sistemler sayesinde aynı yakıttan daha fazla faydalanılır ve yüksek verim elde edilir. Ayrıca bu sistemlerde egzoz gazları değerlendirildiği için çevre kirliliğinin de önüne geçilir.

Kojenerasyon sistemlerin Avrupa’da kullanımı artış göstermektedir. 2010 yılından bu yana Avrupa’nın toplam ısı ve elektrik üretiminin %18’ i bu yolla sağlanır. Danimarka gibi bazı AB ülkelerinde ise bu oran %51’e kadar çıkmaktadır. Birçok ülkede kojenerasyon uygulamalarını yaygınlaştırmak amacıyla teşvikler verilmektedir. Kojenerasyon teknolojisi; sanayi tesisleri, ticari işletmeler, oteller, hastaneler, alışveriş merkezleri ve okullarda uygulama alanı bulmuş ve yüksek verimler elde edilmiştir [68]. Türkiye’de ise kojenerasyon sistemler çoğunlukla sanayi ve endüstride kullanılır. Ağırlıklı olarak tekstil, kağıt, seramik gibi sektörlerde kullanılır. Sistemin bölgesel ısıtma amaçlı kullanımı için yapılan çalışmalar sürmektedir.

Kojenerasyon sistemlerinde çeşitli yakıt türleri kullanılabilir. Öncelikli olarak doğalgaz tercih edilirken, kömür, fuel oil gibi yakıtlar da kullanılır. Ayrıca atık arıtma tesislerinde ortaya çıkan kanalizasyon gazı (Sewage gas), çöplük gazı (Landfill gas), biyogaz ve kok gazı da alternatif olarak kullanılabilir.

Kojenerasyon sistemlerin temeli enerji üreten makinanın atık ısısından faydalanmaya dayanır. Böylelikle aynı anda iki enerji türünün üretimi sağlanmış olur ve verim artırılır. Basit bir enerji üretim tesisinde, sadece elektrik üreten gaz türbini ya da motor, enerjinin % 30-40’ını elektriğe çevirirken; kojenerasyon sisteminde atık ısıнын büyük bir kısmı enerjiye

dönüştürülmektedir. Böylece sisteme giren toplam enerjinin %60-90'ı değerlendirilir. Bu teknik aynı zamanda Birleşik Isı-Güç Sistemleri (Combined Heat and Power Systems, CHP) olarak da adlandırılmaktadır. Kojenerasyon sistemlerinde farklı görevlere sahip 3 farklı motor tipi kullanılmaktadır: gaz türbini, gaz motoru ve dizel motoru. Gaz türbinleri 1MW ve üstü güçlerde kullanılır. Gaz motorları 50-3500 kW güç aralığında çalışır. Dizel motorlar ise 200-22000 kW çıkış gücüne sahip sistemlerde kullanılır. Gaz türbini havayı sıkıştırıp sistemde kullanılan yakıtı yakarak elektrik jeneratörünü tahrik edip döndürür. Türbinden çıkan yüksek sıcaklıktaki egzoz gazları atık ısı kazanında işleminden geçerek ısı enerjisi elde edilir. Atık ısı kazanları, kullanılan motorun egzoz çıkışına monte edilmektedir. Egzoz gazları, kazana besleme suyu ve kondenser ile giren suyu yüksek sıcaklıktaki kızdırma değerine getirerek buhara dönüştürür. Oluşan buhar da kullanım amacına göre ya sıcak su ya da tekrar buhar olarak sisteme verilir. Son aşamada buhar türbinleri, atık ısı kazanından elde edilen yüksek basınçlı buhar ile tahrik edilip döner ve jeneratörü çevirerek tekrar elektrik enerjisi üretir[69].

Bir kojenerasyon sisteminden elde edilen ısı verim (η) Denklem (2.10)'da tanımlanmıştır.

$$\eta = \frac{W}{Q_H} \quad (2.10)$$

Burada 'W' üretilen güç, 'Q_H' alınan ısı enerjisidir[70]. Bir kojenerasyon sisteminde "enerjiden yararlanma oranı(ϵ_y)" Denklem (2.11)'de gösterilmiştir.

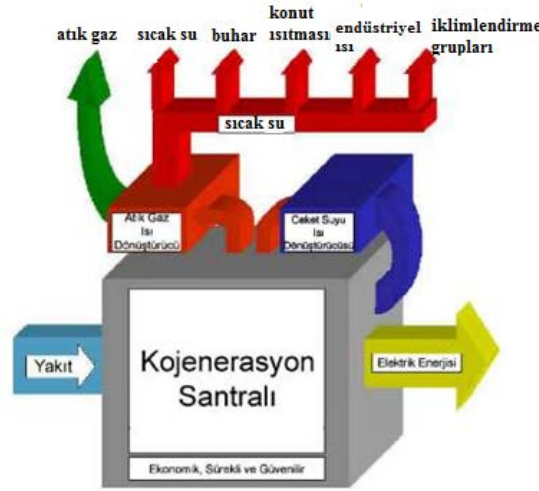
$$\epsilon_y = \left(\frac{\text{üretilen net güç} + \text{proses ısı}}{\text{girilen toplam ısı}} \right) = \left(\frac{W_{net} + Q_p}{Q_g} \right)$$

$$\epsilon_y = 1 - \left(\frac{Q_c}{Q_g} \right) \quad (2.11)$$

Denklemden yer alan Q_c çevreye verilen ısıyı ifade eder. Q_g ise girilen toplam ısıdır. Bir kojenerasyon sisteminde üretilen elektrik enerjisinin faydalanılan ısı enerjisine oranı, elektrik ısı oranı (EIO) olarak tanımlanır. Bu ısı verim olarak da ifade edilebilir ve Denklem(2.12)'de tanımlanmıştır[70].

$$EIO = \left(\frac{W}{Q_c} \right) = \left(\frac{\eta}{1-\eta} \right) \quad (2.12)$$

Şekil 2.6’da bir kojenerasyon sistem modeli gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Kojenerasyon sistemi

Kojenerasyon sistemler küçük güç ve boyutlarda inşa edilerek işletilebilir. Bu sistemler 50 kW’ın altında kurulu güce sahiptir ve mikro kojenerasyon olarak adlandırılır. Mikro kojenerasyon sistemleriyle enerji ihtiyacı düşük olan apartman, otel, hastane, kampüs gibi binaların elektrik, ısı, sıcak su ihtiyaçları karşılanabilir. Mikro kojenerasyonla elde edilen fazla enerjinin şebekeye aktarımı da söz konusudur.

2.1.5. Dizel Jeneratörler

Bir dizel jeneratör; alternatör, alternatörü süren motor ve mekanik aksamından oluşur. Jeneratör sistemi içerisinde kumanda ve kontrol panoları da bulunmaktadır. Kumanda panoları sistemin otomatik veya manuel olarak kontrol edilmesini sağlarken kontrol panoları jeneratörün bağlı olduğu sisteme enerji aktarır. Küçük güçlü jeneratörlerde ise panolar yer almaz. Dışarıya üretilen enerjiyi aktaran endüvi devresi küçük güçlü jeneratörlerde rotorda, büyük güçlü jeneratörlerde statorda bulunur.

Şekil 2.7’de bir dizel jeneratör görülmektedir.



Şekil 2.7. Dizel jeneratör

Bir dizel jeneratör elektrik üretirken ilk aşamada kumanda panosundan jeneratöre otomatik veya manuel olarak bir komut gelir. Bu devreye girme komutunu alan marş motoru akülerden elektrik enerjisini alarak dizel motorun çalışması için gereken ateşlemeyi sağlar ve yakıt pompalanmaya başlar. Dizel motor çalışmasıyla değişken manyetik alan içerisinde kalan stator sargılarında gerilim endüklenir. Bu endüklenen gerilimin sabit kalması için stator sargılarına gerilim regülatörü bağlanır. Üretilen gerilimin frekansı, fazlar arası gerilim ve çekilen güç anlık olarak kumanda panosunda görünür. Böylece dizel jeneratörün elektrik üretimi gerçekleşir[71].

2.2. Statik Enerji Kaynakları

Statik enerji kaynakları bir dönen makina kullanmaksızın enerji üreten ve depolayan kaynaklardır. Fotovoltaik sistem, yakıt hücresi, ultra kapasitör ve batarya sistemleri statik enerji kaynakları arasında sayılabilir.

2.2.1. Güneş Enerjisi Sistemleri

Fotovoltaik (PV) sistemler güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. PV sistemin enerji kaynağı güneş olduğundan sınırsız ve uzun ömürlüdür.

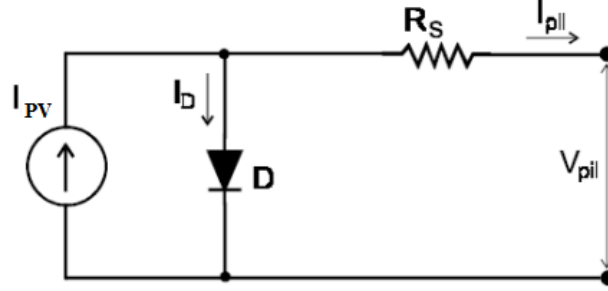
Kurulum maliyeti yüksek olmasına rağmen işletme maliyeti oldukça düşüktür. Ayrıca, temiz ve gürültüsüz bir enerji kaynağıdır.

Güneş pillerinin tarihi 1800'lü yıllara dayanır. 1839 yılında Fransız fizikçi Alexandre Edmond Becquerel platin tabakalar üzerine yaptığı çalışmalar sırasında fotovoltaiik etkiyi keşfetmiştir. 1873 yılında Willoughby Smith ilk basit güneş pilini, 1883 yılında ise Charles Fritts selenyum kullanarak ilk ciddi güneş pilini üretmiştir. 1905'te Albert Einstein fotovoltaiik etkisini izah etmiş ve bu sayede 1921 yılında Nobel Fizik Ödülü kazanmıştır. 1950 yılında Daryl Chapin ve arkadaşları güneş pilini geliştirerek verimi %4'e çıkarmışlardır. Güneş pillerinin ilk teknik uygulaması "Vanguard 1" uydusu ile beraber 1954 yılında gerçekleşmiştir. Günümüze kadar süren ve günümüzde de devam eden bilimsel araştırmalarla güneş pillerinin veriminin artırılması ve PV sisteme ilişkin olumsuzlukların giderilmesi hedeflenmektedir.

Uluslararası Enerji Ajansı ve Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı 2015 yılı istatistiklerine göre, 2015'te AB, elektrik talebinin yüzde 4'ünü PV'den karşılamıştır. Koşullar sağlandığı takdirde güneş enerjisinin küresel elektrik üretimindeki mevcut yüzde 1'lik payı 2030'da yüzde 10'a çıkabileceği öngörülmektedir. Türkiye'de ise 2015 yılı sonu itibarıyla güneş enerjili santral sayısı 362 olarak görülürken bu santrallerin toplam kurulu gücü ise 248,8 MW'a ulaşmıştır.

PV sistemde elektrik üretimi şu şekilde gerçekleşir. Güneş ışınları foton adı verilen enerji parçacıklarıdır. PV sistemler güneş ışınlarındaki bu enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmek üzere tasarlanmışlardır. PV paneller silikondan yapılmış güneş hücrelerinden oluşur. Bu hücreler piller gibi davranış gösterir. Elektrik akımı oluşturabilmek için pozitif ve negatif katmanlardan oluşturulmuşlardır. Güneş ışığındaki fotonlar güneş hücrelerince emilir, bunun sonucunda silikon elektron bağlarını kopartır. Kopan elektronlar PV paneldeki alüminyum olan iletken bölüme geçer ve bağlantı kablosundan dışarı çıkarlar, bu şekilde elektrik akımı oluşturulmuş olur. Üretilmek istenen enerji miktarına göre PV panelleri seri veya paralel bağlayarak belirli bir akım ve gerilim değeri ayarlanabilir.

Şekil 2.8'de güneş pilinin eşdeğer devresi gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Güneş pilinin basite indirgenmiş eşdeğer devresi

Bir PV'nin elektrik üretimi eşdeğer devre üzerinde akım kaynağıyla gösterilir. PV sisteme gelen güneş ışığı attıkça devre üzerinden akan akım da artar. PV sistemin gövdesi yarı iletken malzemeden yapıldığı için eşdeğer devre üzerinde diyotla gösterilir. PV sistemde meydana gelen iletim kayıpları ise seri dirence karşılık gelir[72]. Eşdeğer devrenin matematiksel denklemlerle ifadesi Denklem(2.13)'de verilmiştir.

$$I_{pil} = I_{PV} - I_0 \left[\exp \left(\frac{e}{k \cdot T_{pil}} (v_{pil} + R_s \cdot I_{pil}) \right) - 1 \right] \quad (2.13)$$

Güneş enerjisinden aynı zamanda termal enerji olarak da faydalanılır. Güneş enerjisinden elde edilen ısı elektrik üretiminde kullanılır. Fotovoltaik sistemlerde güneş ışınlarını doğrudan elektrik enerjisine çevrilirken güneş termal enerjisinde elektrik üretimi fosil yakıt santrallerindeki gibi gerçekleştirilir. Fotovoltaik sistemlere göre üstünlükleri ise gündüz depoladığı ısı enerjisini kullanarak geceleri de elektrik üretimi gerçekleştirmesidir. Güneş termal enerjisinden elektrik üretimi nükleer ve kömür santrallerindeki enerji üretimiyle aynıdır. Farklı olarak termal güneş sistemlerinde ısı kaynağı olarak güneş kullanılır. Sistemde güneş ışınlarını toplamak için aynalar bulunur. Güneş ışınları aynalarda konsantre hale gelir ve kuleye yansıtılır. Kulede güneş ışınları akışkan buhara dönüşür ve jeneratöre gönderilir. Böylece buhar enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülmüş olur[73].

2.2.2. Yakıt Pilleri

Yakıt pilleri; temiz, çevreye karşı duyarlı ve yüksek verimle çalışan enerji dönüşüm sistemleridir. Sistem içerisinde bir dönen makine ya da buhar kazanı yer almaz. Elektrik

Yakıt pillerinin tarihi 1800’lü yıllara kadar uzanır. 1839’da William Robert Grove basit yapıda bir yakıt hücresi icat etmiştir. 1932’de günümüz teknolojisine yakın olarak yakıt pili geliştirilmiş,1952 yılında ise yakıt pilleri NASA tarafından uzay çalışmalarında enerji üretici olarak kullanılmaya başlanmıştır. 1960’lı yıllarda ilk yakıt hücreli traktör, 1980’li yıllarda ilk yakıt hücreli tren ve 1990’lı yıllarda yakıt hücreli denizaltı ve uçak kullanıma sunulmuştur[74].

Şekil 2.9’da bir yakıt pilinin genel yapısı ve çalışma işleyişi gösterilmiştir.



14

gerçekleşir ve elektriksel gerilim oluşur. Ayrıca kimyasal tepkime sonrası ısı, saf su ve karbondioksit(kullanılan yakıt karbon içerikliyse) ortaya çıkar.

Yakıt pilinin gerilimi Denklem (2.14)'le ifade edilmiştir.

$$V_{cell} = E - V_{act} - V_{ohm} - V_{conc} \quad (2.14)$$

Yakıt hücresinin (pilinin) gerilimi ' V_{cell} ', yüksüz gerilim ' E ', gerilim düşümü (aktivasyon gerilimi) ' V_{act} ', omik gerilim ' V_{ohm} ' ve konsantrasyon gerilimi ' V_{conc} ' ile gösterilir.

Elektrot-elektrolit ara yüzeyinde oluşan çift katman kapasitansı Denklem(2.15)'de gösterilmiştir.

$$\frac{dV_{act}}{dt} = \frac{I}{C_{dl}} - \frac{V_{act}}{R_{act} \cdot C_{dl}} \quad V \quad (2.15)$$

Denklemde geçen ' C_{dl} ' çift katman kapasitansı, ' R_{act} ' aktivasyon direnci, ' V_{act} ' aktivasyon gerilimi ve ' I ' hücre akım yoğunluğudur. Hücre akım yoğunluğu Denklem (2.16),(2.17) ve (2.18)'de gösterilmiştir.

$$R_{act} = \frac{V_{act}}{I} \quad k\Omega.cm^2 \quad (2.16)$$

R_{act} aynı zamanda efektif direnç olarak da ifade edilebilir. Ortalama akım yoğunluğunda gerilim düşümü hemen hemen lineerdir ve doğal durumda omiktir.

$$V_0 = I \cdot R_{mem} \quad (2.17)$$

' R_{mem} ' membran direncidir(membran; hücre zarı, geçirgen malzemedir). Aşağıdaki denklemle ifade edilmiştir. ' t_m ' membran kalınlığının ' σ ' iletkenliğe oranına eşittir[75].

$$R_{mem} = \frac{t_m}{\sigma} \quad k\Omega.cm^2 \quad (2.18)$$

2.2.3. Ultra Kapasitörler

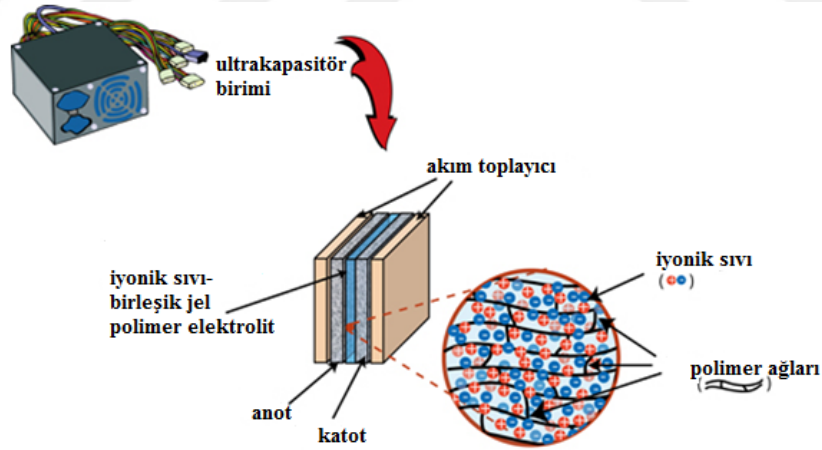
Ultrakapasitörler, elektrik enerjisini elektrostatik olarak depolayan büyük kapasiteli, çift katmanlı kondansatörlerdir. Kısa sürede şarj ve deşarj olabilen enerji depolama sistemleri olarak da tanımlanabilirler.

Elektro-kimyasal kapasitörlerin keşfi, ultrakapasitörlerin de keşfinin başlangıcı olarak kabul edilir. 1957 yılında Becker tarafından geliştirilerek dünya literatürüne

kazandırılmıştır. 1982 yılında ise ultrakapasitörler askeri amaçlı olarak uygulamaya konmuştur. Ultrakapasitörler birçok sistemde kullanılmakla beraber özellikle elektrikli taşıt sistemlerinde önemli rol oynamaktadır.

Ultrakapasitörlerin diğer depolama sistemleriyle karşılaştırıldıklarında birçok üstün özelliklere sahip oldukları görülmektedir. Ultrakapasitörler çalışırken sıcaklık değişimlerinden hemen hemen hiç etkilenmezler, oldukça uzun bir kullanım ömrüne sahiptirler ve hızlı değişen yüklere karşı hızlı cevap verebilme yetenekleri vardır. Ayrıca, ultrakapasitörlerin oldukça yüksek güç yoğunlukları vardır, bu sayede çok kısa bir sürede güç sistemine binlerce amper değerinde akım aktarabilirler. Ancak ultrakapasitörlerin enerji yoğunlukları oldukça azdır. Bir bataryayla kıyaslandığında depolayabildikleri enerjinin, bataryanın depoladığı enerjinin neredeyse %5'ine eşit olduğu görülür[76,77].

Şekil 2.10'da, bir ultrakapasitör birimine ait klasik eşdeğer devre verilmiştir. Model bir kapasitans (C), şarj ve deşarj durumlarını temsil eden bir seri eşdeğer dirençten (ESR, R) ve kapasitörün kendi deşarj kayıplarını temsil eden paralel bir dirençten (EPR) oluşmuştur. EPR, sızıntı etkilerini modeller ve sadece ultrakapasitörün uzun dönem enerji depolama performansı üzerinde etkiye sahiptir.



Şekil 2.9. Ultra kapasitör şeması

Ultrakapasitör bankından çekilen enerji, doğrudan kapasitansa ve ultrakapasitörün uç gerilimine bağlıdır. Enerji matematiksel olarak Denklem (2.19)'daki gibi ifade edilebilir.

$$E_{UK} = \frac{1}{2} \cdot c(V_{ilk}^2 - V_{son}^2) \quad (2.19)$$

Ultrakapasitör bank belirli bir miktar enerjiyi karşılamak zorunda kaldığında, uç gerilimi azalır. Denklem (2.19), salınan veya kazanılan enerjiye bağlı gerilim değişiminin denklemidir. Ultrakapasitör bankın, yük tarafına enerji salması durumunda E_{UC} pozitifdir, enerjinin ultrakapasitör bank tarafından kazanımı durumunda ise E_{UC} negatiftir. Belirli bir yük için etkin spesifik enerji, farklı ultrakapasitör bank konfigürasyonları tarafından karşılanabilir. Pratik uygulamalarda, gerekli miktardaki enerji, kapasitans ve uç gerilim değerlerini elde edebilmek için çoklu ultrakapasitör birimleri ile seri veya paralel bağlantılar yapılabilir. İstenilen uç gerilim değeri, bir bank oluşturulabilmesi için seri bağlanacak gerekli ultra kapasitör sayısını tayin ederken istenilen kapasitans değeri, bankta paralel bağlanması gereken ultra-kapasitör sayısını tayin eder. Ultrakapasitör sisteminin toplam eşdeğer resistansı ve kapasitansı, Denklem (2.20) ve (2.21) kullanılarak hesaplanabilir[78].

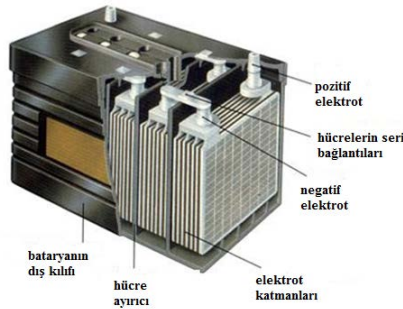
$$R_{UK-Toplam} = \eta_s \cdot \left(\frac{ESR}{\eta_p} \right) \quad (2.20)$$

$$C_{UK-Toplam} = \eta_s \cdot \left(\frac{C_{UK}}{\eta_p} \right) \quad (2.21)$$

2.2.4. Batarya Sistemleri

Piller,elektrokimyasal enerji depolayan sistemlerdir. Bataryalar ise birden çok pilin birbirine seri veya paralel bağlanmasıyla oluşturulan sistemlerdir. Batarya sistemleri en eski depolama teknolojilerinden biridir ve farklı ihtiyaçları karşılamak üzere geliştirilen birçok çeşidi vardır.

Bir pil hücresi anot ve katot elektrotla bunlar arasına yerleştirilen elektrolitten oluşur. Şekil 2.11’de basit bir batarya sistem şeması gösterilmektedir.

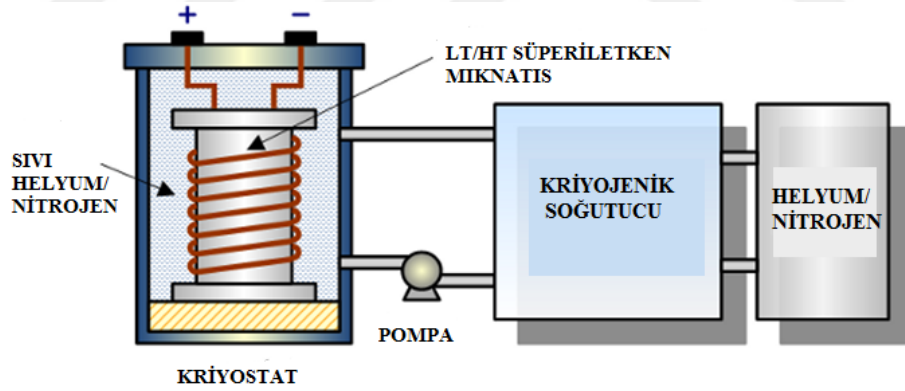


Şekil 2.10. Bir batarya hücresinin yapısı

Bataryanın verimliliğini belirleyen bazı parametreler vardır. Çalışma sıcaklığı, şarj-deşarj çevrim sayısı, enerji yoğunluğu,deşarj derinliği bu parametreler arasında sayılabilir[79].

2.2.5. Süper İletken Manyetik Enerji Depolama Sistemleri

Süper İletken Manyetik Enerji Depolama Sistemleri (Super Conducting Magnetic Energy Storage, SMES) en iyi depolama teknolojilerinden biridir. Sistemin çalışması süper iletken özelliklere sahip bir bobinden akım akıtıp bir manyetik alan oluşturarak enerjiyi oluşan bu manyetik alanda depolama esasına dayanır. Süper iletkenlik, bir malzemenin (idealde) sıfır ya da sıfıra yakın dirence sahip olmasıdır. Bu da akımın iletkeniden kayıpsız bir şekilde akması demektir. Bu yüzden SMES’ler yüksek verimli ve uzun ömürlüdür. Ayrıca; yük-frekans kontrolü, enerji yönetimi, sistem kararlılığı gibi birçok alanda kullanılması, gürültüsüz çalışması ve taleplere hızlı cevap vermesi sistemin diğer üstün yönleridir. SMES’in dezavantajları ise; sıcaklığa karşı hassasiyeti, soğutma ihtiyacı ve maliyetinin yüksek oluşudur[80]. Şekil 2.12’de tipik bir SMES sistemi gösterilmektedir.



Şekil 2.11. Tipik bir SMES sistemi

SMES’e ilişkin enerji ve güç denklemleri Denklem (2.22) ve (2.23)’de verilmiştir.

$$E = \frac{1}{2} L \cdot I^2 \quad (2.22)$$

$$P = \frac{dE}{dt} = L \cdot I \cdot \frac{dI}{dt} = V \cdot I \quad (2.23)$$

SMES sisteminde enerji üretimi sonucu doğru akım DC oluşur. Sistem çıkışında ise, DC-AC dönüştürücü kullanarak AC güç elde edilir. Sistemin depoladığı enerji bobinin

indüktansına ve akıma bağlı olarak değişir ve bu enerji deşarj yoluyla sisteme geri verilebilir.

2.2.6. Elektrolizör

Hidrojen gazı çok yönlü kullanılabilirliği, yakıtın taşınması, enerji yoğunluğu, çevreye etkileri, efektif maliyet gibi alternatif enerji kaynaklarının genel özelliklerine tümü ile uyan tek enerji kaynağıdır[81].

Geleceğin enerji kaynağı olarak gösterilen hidrojen; kokusuz, renksiz, tatsız ve saydam bir yapıya sahiptir. Dünyadaki en küçük ve en hafif element olup yeryüzünde serbest halde bulunmazlar. Doğal bir yakıt olmayıp su, hava, kömür ve doğal gaz gibi değişik hammaddelerden üretilen sentetik bir yakıttır. Tanklarda kolayca depolanabilmesi, ağır ve pahalı bataryalara gerek duyulmaması, istenildiğinde yüksek verimle tekrar elektrik enerjisine dönüştürülebilmesi hidrojenin önemini artırmıştır.

Elektrolizörler, yakıt hücrelerinin tersi prensibine göre çalışmaktadır. Proton GeçirgenMembran (PEM, Proton Exchange Membrane), alkali ve katı oksit elektrolizörler olmak üzere üç çeşit elektrolizör vardır. Ticari olarak iki tip elektrolizör mevcuttur. Alkali Elektrolizör; daha çok bilinen sıvı elektrolit içinde yapılan günümüzde yaygın olarak kullanılan elektrolizördür. Fakat alkali elektrolizörlerin verimlerinin düşük olması, üretilen hidrojen ve oksijen gazları içerisindeki safsızlıklar, çalışma sırasında elektrot tabakalarının korozyonu sebebiyle zamanla verimin düşmesi gibi dezavantajları bulundurmaktadır[82].

PEM elektrolizör ise daha yüksek performansla çalışması, yüksek basınçta hidrojen üretilmesi, kompakt bir yapıya sahip olması ve yüksek saflıkta hidrojen üretmesi gibi avantajlarından dolayı daha çok tavsiye edilen bir yöntemdir. Elektrolizöre su pompadan elektrik ise güç kaynağından verilir. Su, hidrojen ve oksijene ayrışır. Ayrışan hidrojen, yakıt pilinde hava ile birleşerek elektrik enerjisine dönüşür. PEM elektrolizörlerde yakıt hücrelerinde olduğu gibi anot ve katot bölümleri bulunmaktadır. Anotta su, hidrojen iyonuna, oksijen gazına ve elektronlara ayrışmaktadır. Elektronlar güç kaynağından çekilir. Hidrojen iyonları sadece protonun geçirebildiği polimerik membran üzerinde katoda geçmektedir. Güç kaynağından gelen elektronlarla bu hidrojen iyonları birleşerek hidrojen gazı oluşturmaktadır. Böylece anotta oksijen gazı oluşurken, katotta hidrojen gazı oluşur.

3. OTOMATİK ÜRETİM KONTROLÜ

Geniş ölçekli güç sistemleri, birleşik generatör gruplarını temsil eden bölgelerden meydana gelir. Bu bölgeler kontrol alanı olarak adlandırılırlar. Kontrol alanları birbirlerine iletim hatlarıyla bağlanmışlardır. Bu iletim hatlarında, alanlar arasında anlaşmalı enerji değişimi yapılır ve bu hatlar normal olmayan durumlarda alanlar arası aktif güç desteğini sağlarlar. Alanlar arası yük değişimleri ve generatörlerin kayıpları gibi normal olmayan durumlar, frekansın ve alanlar arası güç alışverişinin tablolananmış değerlerinin, önceden belirlenmiş değerlerden farklı değerler almalarına sebep olur. Bu istenilen değerler ile bulunan frekans ve alanlar arası güç değişimi değerleri arasındaki fark ek kontrolör yardımıyla sıfırlanması gerekir. Enterkonnekte sistemlerin yük frekans kontrolü veya otomatik üretim kontrolü, bir kontrol alanının içindeki generatörlerin; sistem frekansında, iletim hattı yüklenmesinde veya bunların birbirleriyle olan ilişkilerinde görülen değişimine cevap olarak güç çıkışlarının düzenlenmesi olarak tanımlanır. Otomatik üretim kontrolü ile sistem frekans ve alanlar arası güç değişimi değerlerinin önceden belirlenmiş limit değerlerde kalması sağlanır. Literatürdeki aktif güç kontrolü ile ilgili yayınlanmış çalışmaların çoğu enterkonnekte güç sistemlerinin otomatik üretim kontrolü (OÜK) üzerine yapılmıştır. Güç sistemlerinde otomatik üretim kontrolü, kontrol alanları içindeki generatörlerin referans ayar noktalarının bir ek kontrolör yardımı ile kontrol edilmesi ilkesine dayanır. Ek kontrolörün referans ayar noktasını kontrol etmesi ile generatörlerin güç çıkışları düzenlenir. Ek kontrolörler etkili olarak alan kontrol hatasını sıfır yapmak için tasarlanırlar. Ek kontrolörler yük değişmelerini karşılamak için üretimi düzenlerler. Bu üretim değişimi; yük değişimi, frekans ve bağlantı hattının tablolanmış çizelgelenmiş değerlerden sapmalarını yakalamaya çalışır. Bu ek kontrolörlerin parametrelerinin optimize edilmesi için birkaç modern tasarım tekniği kullanılmıştır. Enterkonnekte güç sistemlerinin yük frekansı ile kontrolü alanında birçok araştırma geçmiş 60 yıl içinde rapor edilmiştir. Bu araştırmalar da belli sayıdaki kontrol stratejileri, daha iyi dinamik performans elde etmek için yük frekans kontrolörlerinin tasarımında kullanılmıştır [83].

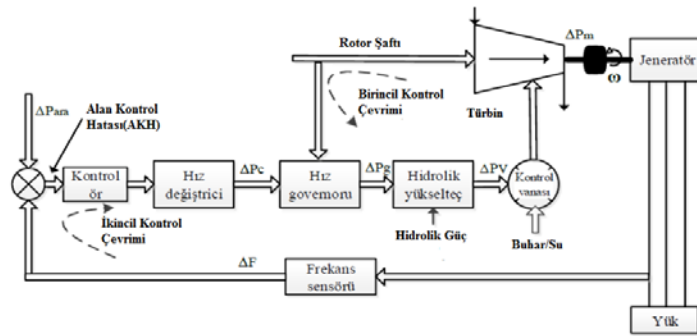
3.1. Yük-Frekans Kontrolü

Güç sistemlerinde, yük değişimi sonucunda bozulan aktif güç dengesini yeniden kurmak ve anma değerinden sapan sistem frekansının hatasını minimize etmek amacıyla elektriksel güç sistemlerine uygulanan otomatik kontrol yöntemine yük-frekans kontrolü

adı verilir[84]. Kararlı çalışan bir güç sistemi için frekansın sabit kalması şarttır. Frekansın sabit kalması ise ancak güç dengesiyle mümkün olur. Güç dengesinden kastedilen, üretilen aktif güç toplamının sistemdeki kayıplara, sistem aktif yüklerine ve bağlantı hatlarıyla aktarılan güç toplamına eşit olmasıdır. Bu eşitlik sağlanamadığı takdirde yani üretilen güçle tüketilen güç arasında dengesizlik olduğunda frekans değerinde de artmalar ya da azalmalar meydana gelir. Üretilen enerji fazla ise frekans değeri artacak, tüketilen enerji fazla ise frekans değeri azalacaktır. Bununla birlikte bir enterkonnekte sisteme bağlı güç sistemleri arasındaki bağlantı hatlarında meydana gelen güç değişimleri de frekans olumsuz etkiler. Öyle ki bu değişimler frekansa bağlı çalışan cihazların zarar görmesine hatta tüm güç sisteminin çökmesine bile neden olabilir.

Özet olarak bir güç sistemine uygulanan yük-frekans kontrolünün temel iki görevi vardır. Birincisi, jeneratörün aktif gücünü talebe göre ayarlayıp bu sayede frekans değerini sabit tutmaktır. Bir türbin mili mekanik güçle çevrilir, bu sayede mil de bağlı olduğu jeneratörün rotorunu çevirerek jeneratörün statorunda gerilim indüklenmesini sağlar. Mekanik enerjiyle çevrilen türbin milinin dönüş hızı ortaya çıkan bu elektrik enerjisinin de frekans değerini belirler. Yani türbinde üretilen enerji ayarlanarak sistem frekansı da kontrol edilmiş olur. Yük-frekans kontrolünün ikinci görevi de işletim maliyetlerini düşürmek için talep edilen yükü enterkonnekte güç sistemleri arasında paylaştırarak dengeli bir üretim yapılmasını sağlamaktır.

Şekil 3.1’de bir güç sistemine ilişkin yük-frekans kontrolü çevrimleri verilmiştir.



Şekil 3.1. Bir güç sisteminde yük-frekans kontrolü çevrimleri

Yük-frekans kontrolü, kontrol işlemlerini gerçekleştirebilmek amacıyla üç farklı kontrol çevrimi içerir. Bunlar birincil, ikincil ve üçüncül kontrol çevrimleridir[85].

3.1.1. Birincil Kontrol

Birincil kontrol, sistemdeki aktif güç dengesi bozulduğunda sapmaya uğrayan sistem frekansının değişimini mümkün olan en kısa zamanda durdurarak belli bir değerde sabit tutmak için üretim ünitesinin rezerv kapasitesini, hız governorunun düşüm karakteristiği oranında sisteme aktaran kontrol mekanizmasıdır. Amacı, temel olarak enterkonnekte güç sisteminde üretilen aktif güç ile tüketilen aktif güç arasındaki dengeyi korumaktır. Birincil kontrol, sisteme bağlı üretim ünitelerinde yerel olarak gerçekleştirilir. Birincil kontrolün sonunda, sistemdeki aktif güç dengesi yeniden sağlanır, ancak frekans yeniden anma değerine getirilemez. Bu nedenle birincil kontrol sonunda, frekansı yeniden anma değerine getirecek bir ikincil kontrol mekanizmasına ihtiyaç duyulur [84,85].

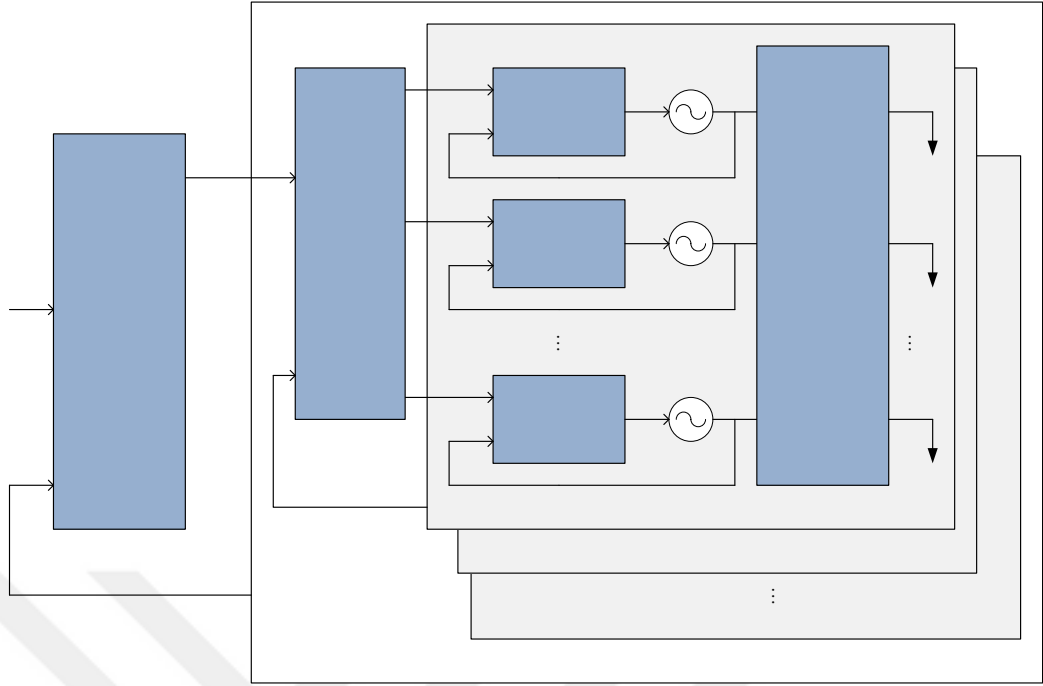
3.1.2. İkincil Kontrol

İkincil kontrol, birincil kontrol sonunda frekansta oluşan sürekli durum hatasını minimize eden kontrol çevrimidir. Enterkonnekte sistemde, SCADA sistemi üzerinden merkezi olarak işletilir. İkincil kontrol, aşağıda belirtilen üç görevi yerine getirir;

- Kontrol alanları arasında, ara-bağlantı hatları üzerinden yapılan güç alışverişini anlaşmalara bağlı değerinde tutar.
- Sistem frekansında sapma olması durumunda, frekansı anma değerine geri getirir.
- Birincil kontrol rezerv kapasitesinin yeniden kullanıma hazır duruma getirilmesini sağlar [84,85].

3.1.3. Üçüncül Kontrol

Üçüncül kontrol, ikincil kontrolün ardından veya yetersiz kalması durumunda ikincil kontrolü tamamlamak için sözlü talimat ile gerçekleştirilen önlemleri içerir. Üretim sürecinin ekonomiklik ya da sistem emniyeti yönünden yeniden programlanması ve yeterli ikincil kontrol rezerv gücünün sağlanması amacıyla gerçekleştirilir. Kontrol süresi yeniden programlamanın süresine bağlıdır. Genel olarak enterkonnekte sistem üzerinde ikincil kontrol ile aynı etkiyi gösterir [85]. Şekil 3.2’de hiyerarşik kontrol seviyeleri gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Hiyerarşik kontrol seviyeleri

3.2. Gerilim Kontrolü

Gerilim kararlılığı, bir güç sisteminin normal çalışma koşullarında ve bozucu bir etkiye maruz kaldıktan sonra sistemdeki bütün baralarda sürekli kabul edilebilir gerilimler sağlama yeteneği olarak tanımlanabilir[86]. Güç sisteminin gerilim kararlılığına etki eden birçok etken bulunmaktadır; yetersiz reaktif güç, otomatik uyarı sistemi ve bunun generatöre bağlı olan denetleyicileri, gerilim bağımlı yükler, yük gerilimi düzenleme transformatörleri, iletim sisteminde gerilimi iyileştirmek üzere yerleştirilmiş statik kompanzatörler vb. Reaktif güç kompanzasyonu hem iletim kapasitesi hem de gerilim kararlılığını iyileştirmede çoğu kez en etkin metottur[87]. İletim ve dağıtım sistemlerinde reaktif güç kontrolü yeni iletim hatlarının yapımındaki zorluklardan dolayı özel bir dikkat kazanmıştır. Çevresel ve ekonomik faktörler birçok kere yeni iletim hattı projelerini engellemiştir [88]. İndüktif reaktif güç akışları enerji ve iletim kapasitesini harcamakta ve gerilim düşümüne neden olmaktadır. Bu geri güç akışını düzeltmek için ileri reaktif güç (gerilime göre ileri fazlı akım) sağlanarak akımın gerilimle aynı fazlı olması sağlanır. Reaktif güç statik veya dinamik VAR kaynaklarından sağlanmaktadır [89]. Reaktif güç akış kontrolü uygun bir gerilim profili sağlamak için sabit reaktör ve kapasitör gruplarının uygulaması ile başlamıştır. Bu cihazların kullanımı yük değişimlerinden kaynaklanan gerilim dalgalanmalarını minimize etmiş ve kayıpları azaltmıştır [88]. AC güç

sistemlerinde, reaktif güç problemlerinin üstesinden gelmek amacıyla uzun yıllardır mekanik anahtarlama kapasitör ve reaktör grupları kullanılmaktadır. Ancak kapasitör ve reaktör anahtarlama kontrol etmek güç mühendisleri için önemli bir sorun olmuştur. Çünkü yavaş cevap zamanlarından ötürü böyle elemanlar geçici olaylar esnasında gerekli kompanzasyonu sağlayamaz ve bozucu etkilerle karşı karşıya kaldıktan sonra gerçekten sistem kararlılığını düşürebilirler[90].

Dinamik bozucu etkilere yönelik yapılan reaktif güç kontrolü, istenen gerilim seviyeleri ve sistem kararlılığını sağlayacak şekilde tasarlanmalı ve hızlı olmalıdır. Uygun parametreler Esnek Alternatif Akım İletim Sistemleri (FACTS) denetleyicileriyle elde edilebilir. Bu cihazlar arasında ilk olarak Tristör kontrollü reaktör (TCR), Tristör anahtarlama kapasitör (TSC), Tristör kontrollü statik var kompanzatör (TCSVC) gibi tristör tabanlı cihazlar kullanılmıştır . Günümüzde ise GTO, IGBT, IGCT gibi kontrollü anahtarlar tabanlı cihazlarda uygulanmaktadır. Bu cihazlar içerisinde Gerilim kaynaklı konvertere dayanan Statik Senkron Kompanzatör (STATCOM) en çok kullanılan cihazlardan birisidir[84]. STATCOM bugüne kadarki en hızlı reaktif güç kompanzasyon cihazıdır. STATCOM reaktif akımı sisteme enjekte ederek veya sistemden tüketerek bulunduğu yerdeki gerilimi düzenleyebilir. Bu nedenle gerilim kararlılığı, geçici kararlılık veya yüklenebilirlik eğer gerilim düzenleyici hızlı ve kararlı cevap verirse fazlasıyla iyileştirilebilir[91,92].

4. SEZGİSEL YÖNTEMLERLE OPTİMİZASYON TEKNİKLERİ

Optimizasyon, bir problemin çözümünde en uygun çözüm yöntemini belirlemektir. Günümüzde optimizasyon çalışmaları için geliştirilmiş birçok yöntem vardır. Bunlardan biri de sezgisel yöntemlerdir. Sezgisel yöntemlerle geniş çaplı optimizasyon problemleri için makul sürede uygun çözümler geliştirilir. Sezgisel yöntemler farklı problemler için geliştirilmiş alt yöntem tekniklerine ayrılır. Bunlar; biyoloji, fizik, sürü, sosyal, müzik ve kimya tabanlı sezgisel yöntem teknikleridir. Çalışmamızda kullandığımız optimizasyon tekniği ise sürü tabanlıdır. Sürü tabanlı algoritmalar sürülerin zeki davranışlarından ilham alınarak geliştirilmiştir[53].

4.1. Yapay Arı Koloni Optimizasyon Algoritması

Yapay arı kolonisi algoritması (Artificial Bee Colony, ABC) son zamanlarda geliştirilen sürü zekasına dayalı optimizasyon tekniklerinden biridir. Karmaşık olmaması, fazla sayıda kontrol parametresine gerek duyulmaması ve uygulamadaki kolaylığı Karaboğa tarafından ortaya atılan ABC algoritmasını oldukça popüler kılmıştır [93]. Üstün yönlerinin yanında komşu çözümler arasında yerel araştırma yapma mekanizmasının ihtiyaçlara yeterine cevap veremiyor olması ABC algoritmasının dezavantajlarından biri olarak ifade edilebilir [94,95].

ABC algoritmasında, arıların besin bulma yöntemleri modellenerek optimizasyon gerçekleşir. Algoritmaya göre yapay kolonide işçi arılar, gözcü arılar ve kâşif arılar bulunur. İşçi arılar besin kaynaklarını tutarken gözcü arılar besin kaynaklarını seçmek üzere işçi arıları gözlemler, kâşif arılar ise rastgele arama yaparlar[96]. Algoritmanın başlangıcında ilk aşamada besin kaynakları oluşturulur. İşçi arıların her biri bir besin kaynağı seçer ve nektar toplayıp kovanlarına dönerler. Kovandaki dans alanında yaptıkları çeşitli danslarla buldukları kaynak hakkındaki kaynağın uzaklığı, yönü ve kalitesi gibi bilgileri gözcü arılara bildirirler. Gözcü arılar bu bilgilerin ışığında belirli olasılıklarla yiyecek kaynağı seçer ve kaynaktan nektar toplarlar. Bir iterasyon dahilinde besin kaynaklarını bitiren işçi arılar kâşif arıya dönüşürler. Kâşif arılar da herhangi bir besin kaynağına gelerek nektar toplamaya devam eder. Böylelikle bir çevrim oluşturulur ve istenen şartlar sağlanana kadar döngü devam eder.

ABC algoritmasının temel adımları aşağıda verilmiştir.

- 1: Besin kaynaklarını belirle
- 2: Tekrarla
- 3: İşçi arıları besin kaynaklarına gönder
- 4: Besin kaynakları için tahmini hesaplamalar yap
- 5: Gözcü arıları tahmini hesaplarla belirlenen kaynaklara gönder
- 6: Kaşif arıları başka besin kaynakları bulmaya gönder
- 7: O ana kadarki en iyi besin kaynağını hafızada tut
- 8: while (sonlandırma koşulu sağlandı mı?)

ABC algoritmasında öncelikle başlangıç parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. İki adet ana parametre bulunur: popsize ve limit. Popsiz, popülasyon sayısıdır. Algoritmada işçi arılarla gözcü arıların sayısı birbirine eşittir ve bunların sayısı besin kaynaklarının sayısına (NS) eşittir. Bir besin kaynağında yalnızca bir adet işçi arı olduğundan besin kaynağı popülasyon sayısının yarısı kadardır ($NS=popsiz/2$). Ayrıca besin kaynağının bulunduğu yer olası bir çözümü işaret ederken , nektar miktarı çözümün kalitesini temsil etmektedir. ABC algoritmasının işlem safhaları aşağıdadır[94].

İlk aşamada besin kaynaklarının belirlenmesi Denklem (4.1)'de ifade edilmiştir.

$$x_{i,j} = x_j^{min} + rand(0,1)(x_j^{max} - x_j^{min}) \quad (4.1)$$

Denklemde, $i = 1...NS$, $j = 1...D$. 'NS' besin kaynaklarının sayısını, 'D' ise optimizasyon probleminin parametre sayısını gösterir. ' x^{min} ' ve ' x^{max} ' sırasıyla j . sıradaki parametrenin alt ve üst limitleridir. Başlangıçta bütün yiyecek kaynakları için geliştirilememeyi ifade eden sayaç (*trial*) sıfırlanır. Görevli arılar yeni yiyecek kaynağı arama işleminde komşu bir çözüm bulur ve mevcut çözümle yeni çözüm arasında kıyaslama yapar. Eğer yeni çözüm daha iyi bir çözümse bu çözüm hafızada tutulur ve diğeri unutulur. Eğer yeni çözüm iyi bir çözüm değilse mevcut çözümün geliştirilememe sayacı bir artırılır. Görevli arılar arama işlemi Denklem (4.2)'deki gibi gerçekleştirir:

$$v_{i,j} = x_{i,j} + \varphi_{i,j}(x_{i,j} - x_{k,j}) \quad (4.2)$$

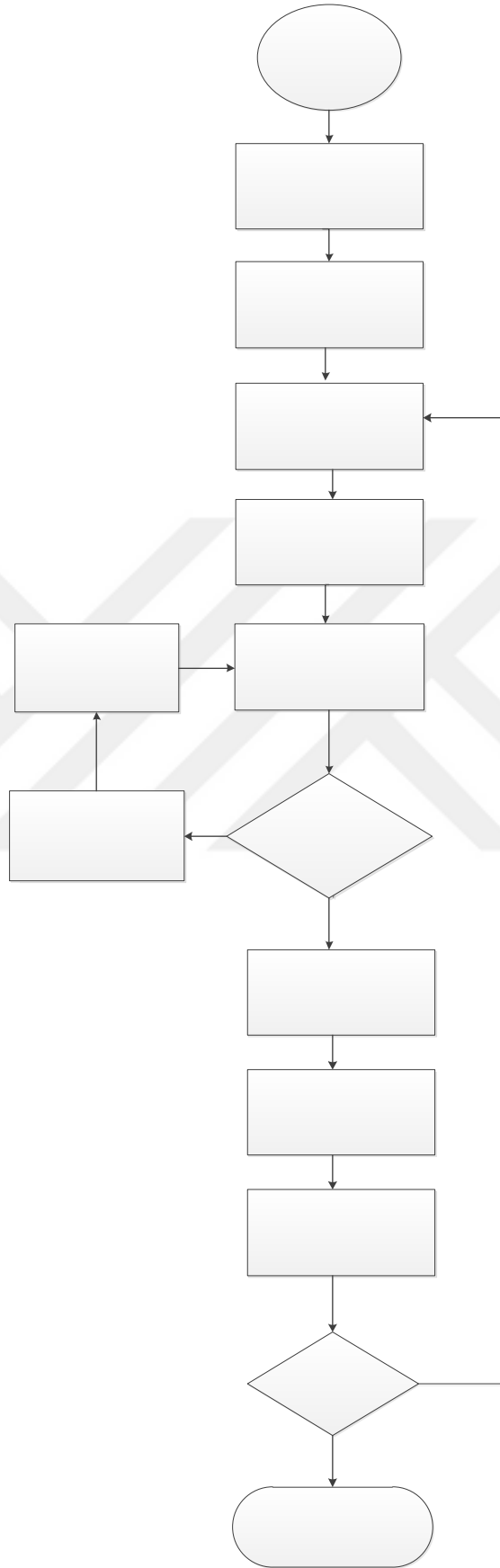
Denklem (4.2)'de x_i görevli arının seçmiş olduğu o anki çözümü belirtir. v_i ise x_i nin komşuluğunda bulunan yeni bir çözümdür. k $[1, NS]$ aralığında seçilmiş rastgele bir tam sayıdır. x_k yiyecek kaynağı popülasyonu içerisinde seçilmiş rastgele bir çözümdür ve x_i den farklı olmalıdır. j ise $[1, D]$ aralığında seçilmiş rastgele bir tam sayıdır ve optimize edilecek problemin rastgele bir parametresini belirtir. $\phi_{i,j}$ katsayısı $[-1, 1]$ aralığında rastgele seçilmiş bir değerdir. Görevli arılar araştırmalarını tamamladıktan sonra, gözcü arıların yiyecek kaynaklarını seçmeleri için olasılık değerleri;

$$P_i = \frac{fit_i}{\sum_{i=1}^{NS} fit_i} \quad (4.3)$$

ile hesaplanır. Denklem(4.3)'te fit_i normalize edilmiş maliyet fonksiyonu değeridir. Her bir çözüm için olasılık değerleri (p_i) hesaplandıktan sonra görevli arılar rastgele belirlenmiş bir değer ile o çözümün olasılık değerini karşılaştırır. Eğer çözümün seçilme olasılığı bu değerden büyükse, gözcü arı bu yiyecek kaynağına yönelir ve Denklem(4.2)'yi kullanarak yeni çözümler arar. Denklem(4.3)'te çözümlerin olasılık değerleri kaliteleriyle doğru orantılıdır.

Bütün görevli ve gözcü arılar arama işlemlerini tamamladıktan sonra her bir çözümün geliştirilememesi sayacı kontrol edilir. Eğer bir çözümün sayaç değeri *limit* değerine ulaşmış ise o kaynağı kullanan görevli arı kâşif arı olur, Eşitlik 4.1'i kullanarak çözüm uzayında yeni bir noktaya yönelir ve araştırmasına buradan devam eder. Bütün işlemler maksimum çevrim sayısına veya maksimum maliyet fonksiyonu değerlendirme sayısına ulaşıncaya kadar devam eder. Bulunmuş olan en iyi çözüm kaydedilir[97].

Şekil 4.1'de ABC algoritmasına ait akış diyagramı verilmektedir.



Şekil 4.1. ABC algoritması akış diyagramı

4.2. Bakteri Sürü Optimizasyon Algoritması

Bakteri Sürü Optimizasyon Algoritması (BSOA), Escherichia coli (E.coli) bakterisinin besin arama ve bulma kabiliyeti ilham alınarak geliştirilmiştir. Bakteriler, basit yapıları canlılardır. Buna rağmen tüm imkanlarını makul ölçüde kullanarak beslenme ihtiyaçlarını karşılarlar. Ayrıca, modellenmeleri karmaşık yaşam formlarına nazaran daha kolaydır. Dünyadaki birçok canlının bağırsaklarında yaşayan bu bakteri türü besin maddesi bulunduğunda kimyevi bir salgılama yapar. Salgıladıkları maddeyle diğer bakteriler uyarılır ve besine doğru hareket etmeleri sağlanır. Eğer besin yoğunluğu fazla olursa bakteriler kenetlenerek grup halinde hareket ederler[98].

BSO temelde 4 adımdan oluşur;

- 1.adım: Popülasyonu oluştur.
- 2.adım: Bireyleri değerlendirme fonksiyonuna göre değerlendir.
- 3.adım: Optimizasyon için üç döngü:
 - İç döngü: Kemotaktik olay
 - Orta döngü: Üreme olayı
 - Dış döngü: Eliminasyon-dağılma olayı
- 4.adım: Son çözümü belirlemek için optimal bireyin kodunu çöz.

İç döngü olan kemotaktik olay, üç döngünün çekirdeği gibidir. Bu döngüyle bakteri için besin arama, yeni bir bölgeye girip girmemeye karar verme, mevcut bölgede kalma süresi, bir sonraki adımda seçilecek yön gibi kararların verilmesi sağlanmaktadır. Bu nedenle, kemotaktik olay algoritmanın çözüme yaklaşmasında oldukça önemli bir etki gösterir. Algoritmanın başlangıç değerlerini belirlemek için, p , S , N_c , N_s , N_{re} , N_{ed} , P_{ed} ve $C(i)$, $i = 1, 2, \dots, S$ değişkenlerinin değerlerinin atanması gerekir. Eğer sürü davranışı adımı da kullanılacaksa $d_{attract}$, $w_{attract}$, $h_{repellant}$, $w_{repellant}$ hücreden hücreye çekim fonksiyonu değerleri de belirlenmelidir. Aynı zamanda i için başlangıç değerleri seçilmelidir, $i = 1, 2, \dots, S$. Bu değerler optimum değer olduğu alanlardan seçilebileceği gibi optimizasyon alanına çözüm uzayı boyunca rastgele de dağıtılabilir[99]. Algoritma çevrimi; kemotaktik olay, üreme olayı ve eliminasyon-dağılma olayından oluşur.

Kemotaktik olay: Yapılan mikrobiyolojik çalışmalar, E. Coli bakterilerinin kamçılarıyla hareket ettiklerini göstermektedir. Bakterilerin kamçıları saat yönünün tersine döndüğünde bakteri ileriye doğru hareket ederken, kamçılar saat yönünde döndüğünde bakteri

yavaşlamakta ve bulunduğu yerde salınmaktadır. E. Coli bakterisinin besin araması son iki davranış arasındaki değişimlere bağlıdır. Bakterinin besin arama sürecinde, kamçıların dönmesi bireyin şu anki ortamının değerlendirilmesine göre olur ve sonrasında şu anki pozisyonun değiştirilip değiştirilmeyeceğine ve bazı parametreler ışığında (bir sonraki hareketin yönü ve adım uzunluğu) nasıl değiştirileceğine karar verilir. BBAOA’da yön değiştirmenin formülü Denklem(4.4)’te verilmektedir.

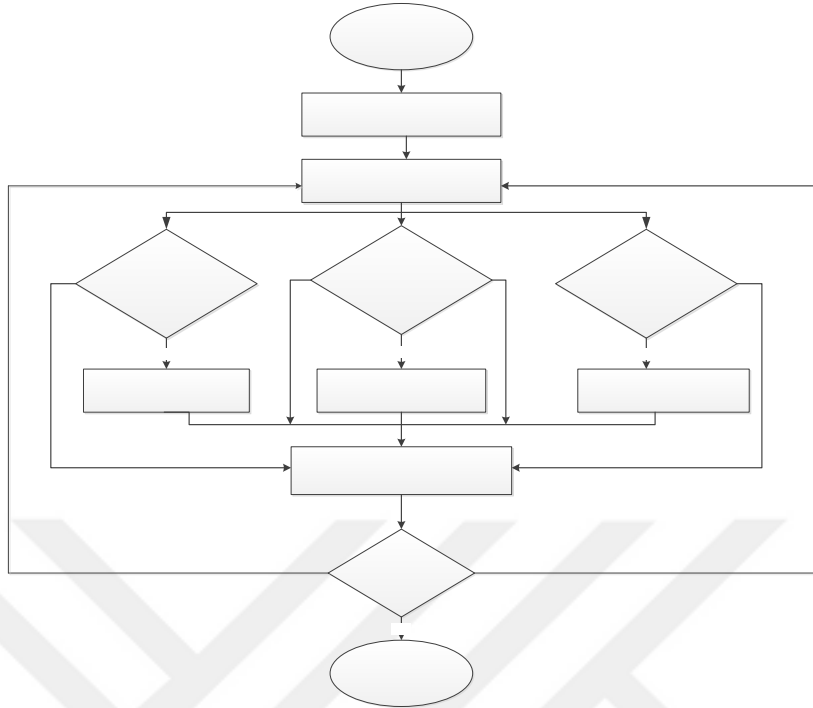
$$\theta^i(j+1, k, l) = \theta^i(j, k, l) + C(i). \varphi(j) \quad (4.4)$$

Burada $\theta^i(j,k,l)$ i. bireyin, şu anki pozisyonunu göstermektedir. j, k ve l, kemotaktik, üreme ve eliminasyon olaylarının indislerini göstermektedir. $\varphi(j)$ kamçı hareketine bağlı olan hareket yönünü ifade ederken, $C(i)$ adım uzunluğuna karşılık gelmektedir.

Üreme olayı: Bir besin arama periyodundan sonra, bazı bakterilerin besin arama stratejilerinin başarısız olduğu görülür. Bu bakteriler, yeterli besin bulma ihtimallerinin az olması nedeniyle popülasyondan çıkarılmaktadır. Popülasyon sayısını sabit tutmak için, çıkarılanların yerine arama stratejisi iyi olan bakteriler, aynı miktarda kopyalanır. Üreme olayı şu şekilde gerçekleşir: Popülasyondaki bakteri sayısı S ise, S/2 sayıda bakteri popülasyondan çıkarılır. İlk aşamada her bir bakteri, konumlarındaki değerlendirme kriterine göre sıralanır. Sonraki aşamada ise sıralamaya göre son yarıda olan bakteriler popülasyondan çıkarılarak ilk yarıda yer alan bakterilerin her birinin aynı konumda yer alacak şekilde bir kopyası alınır. Böylelikle bir nevi bakterilerin bölünerek çoğalmalarının taklit edilmektedir.

Eliminasyon-dağılma olayı: Bakterilerin yaşadığı ortamda gerçekleşen aşırı derecedeki ısı artışları, hızlı su akıntıları gibi etkenler, bakterilerin davranışlarını büyük ölçüde etkiler ve popülasyonda ani veya yavaş değişimlere neden olabilir. Bu değişimler, o bölgedeki bütün bakterilerin ölümü veya bir kısmının başka bir bölgeye sürüklenmesi ya da göç etmesi olabilir. Eliminasyon-dağılma olayı, bu biyolojik süreçleri taklit etme esasına dayanır. Bu olay, kemotaktik olayın performansını olumsuz etkileyebileceği gibi, bireyleri daha iyi bir besin bölgesinin yakınına sürüklemek suretiyle olumlu etki de gösterebilir. Eliminasyon-dağılma olayı bir P_{ed} olasılığına bağlı olarak gerçekleştirilir. Buna göre, belirli bir birey dağılma olayına maruz kalırsa, o birey yok edilir ve yeni bir birey üretilir. Bu olay, o bireyin yeni bir konuma hareket etmesi anlamına gelir.

Şekil 4.2’de BSO’ya ilişkin akış diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 4.2. BSO akış diyagramı

4.3. Karınca Koloni Optimizasyon Algoritması

Karınca koloni optimizasyonu (Ant Colony Optimization, ACO) optimizasyon problemlerinde sıklıkla kullanılan populasyon temelli bir yaklaşımdır[100]. ACO, 1991’de Dorigo ve arkadaşları tarafından gerçek karınca kolonilerinin davranışlarından esinlenerek geliştirilmiştir.

Gerçek karıncalar yiyecek kaynaklarıyla yuvaları arasındaki en kısa yolu bulabilme sezgisine sahiptirler. İlk aşamada karıncalar alternatif yollara eşit olasılıklarla dağılır bir süre sonra ise en kısa olan yolda yoğunlaşmaya başlarlar. Karıncaların görme duyuları gelişmediğinden bu kısa yolu keşfetme sırasında birbirleri arasında geliştirdikleri kimyasal haberleşmeden yararlanırlar. Bu haberleşmede vücutlarından salgıladıkları feromon adı verilen kimyasal bir madde kullanırlar. Feromon izleri karıncalar tarafından güncellenir ve bir bilgiyi temsil eder. Bir yolda feromon yoğunluğunun fazla olması yolun tercih edilme olasılığını artırır. Algoritmadaysa yapay karıncalar gerçek mesafeler dikkate alınarak hazırlanmış model üzerinde en kısa yolu araştırırlar. Yollardaki feromon izleri de yapay olarak karıncaların geçiş sıklığıyla orantılı olarak güncellenir. Basit bir ACO algoritmasının temel adımları aşağıdadır.

BAŞLA

TEKRARLA

Bütün yapay karıncalar için yolların üretilmesi

Bütün yapay yolların uzunluğunun hesaplanması

Yapay yollar üzerinde bulunan feromon maddesi miktarının güncellenmesi

Şu ana kadar bulunan en kısa yapay yolun hafızada tutulması

Yeterlilik kriteri sağlanması

SON.

GEÇİŞ KURALI

ACO algoritmasıyla çözülen herhangi bir problemde N noktasından tura başlandığında N-1 yol tercihi söz konusudur. Her bir nokta geçişinden sonra geçiş alternatifi 1 azalır. İlk iterasyonda yapay karıncalar başlangıç noktasından sonra gidecekleri noktayı eşit olasılıkla seçerler, bu eşit olasılığı sağlayan her bir yol için atanan eşit sayıda feromon izidir, böylelikle ilk tur tamamlanır. Daha sonra her bir karıncanın geçmiş olduğu yollardaki feromon miktarları yolun uzunluğuyla bağlantılı olarak artırılır. Tüm yollar için geçiş sayısı ve uzunlukla orantılı feromon güncellenmesi yapılır ve devam eden iterasyonda yol tercihleri güncellenen feromon miktarına göre belirlenir.

ACO algoritmasında yol tercihi iki şekilde gerçekleştirilir[101].

İlk seçenek q_0 olasılıkla feromonun en yoğun olduğu yolun seçilmesidir. q_0 parametresi genellikle %90 olarak belirlenir. $\tau(i, j)$ i ve j noktaları arasındaki feromon miktarı, seçilebilirlik parametresi $\eta(i, j)$, i ve j noktaları arasındaki mesafenin tersi $(1/\delta(i, j))$, α ve β ayarlanabilir parametreler olmak üzere, i noktasında bulunan bir karıncanın gideceği nokta Denklem (4.5)'teki gibi seçilmektedir:

$$\text{Eğer } q < q_0 \text{ ise; } j_{u \in J_k(i)} = \max\{\tau(i, u)^\alpha \cdot [\eta(i, u)]^\beta\} \quad (4.5)$$

İkinci seçenek ise gidilmesi mümkün olan yollardan birini, yollardaki feromon izleriyle orantılı olarak seçmektir. Bu şekilde yol seçimi olasılığı $1 - q_0$ oranındadır. $J_k(i)$, i noktasındaki karıncanın gidebileceği noktalar yani ziyaret edilmemiş noktaları temsil eder. Tüm noktalar için seçilme olasılıkları Denklem (4.6)'daki gibi hesaplanmaktadır:

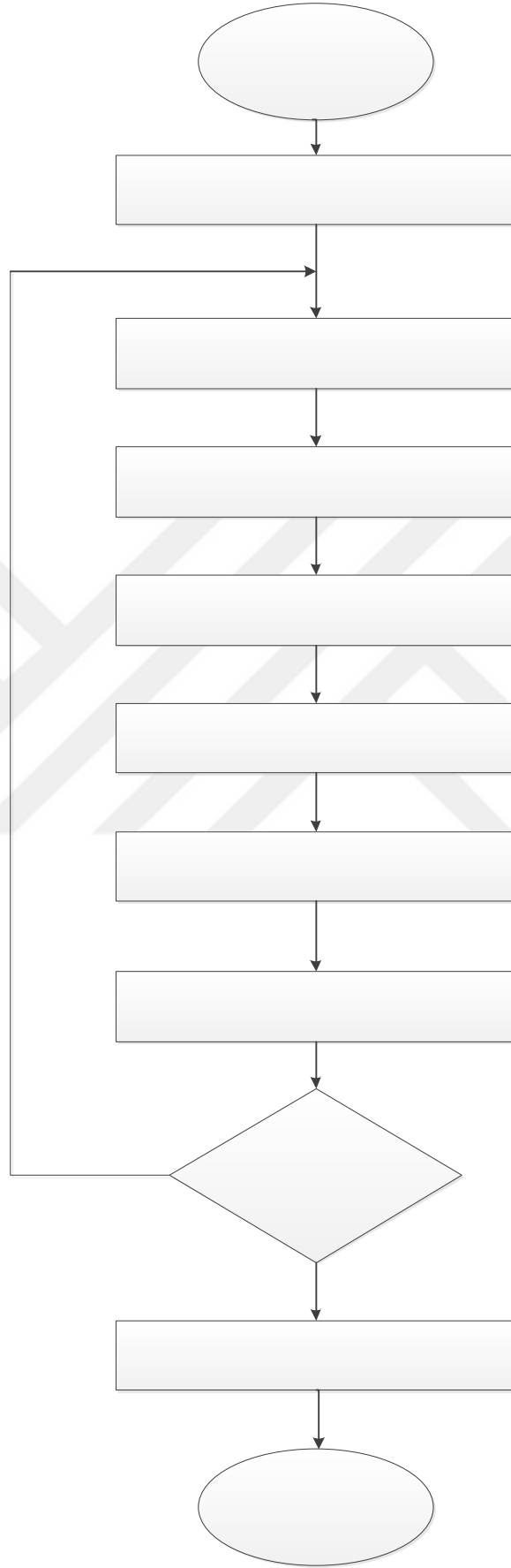
$$j \in J_k(i) \text{ ise } p_k(i, j) = \frac{[\tau(i, j)]^\alpha \cdot [\eta(i, j)]^\beta}{\sum_{u \in J_k(i)} [\tau(i, u)]^\alpha \cdot [\eta(i, u)]^\beta}$$

$$\text{diğer durumlarda } p_k(i, j) = 0 \quad (4.6)$$

Karınca algoritmalarında ayarlanabilir temel dört parametre vardır: karınca sayısı, q_0 , α ve β . Karınca sayısı problemin büyüklüğüne ve uygulanan alanın boyutuna bağlı olarak değişebilir. Karınca sayısının artırılması çözümde iyileşme sağlarken hesaplamaları artırdığından dolayı işlem zamanını uzatır. Uygun olanı ise karınca sayısı ile geçilen nokta sayısını eşit seçmektir. q_0 parametresi en iyi çözüm değerinin sonraki iterasyona aktarılma olasılığını belirler. α parametresi ilgili yolun feromon miktarının önemini belirler ve iterasyon sonuçlarının bir diğer iterasyona aktarılmasını sağlar. α değerinin yüksek olması feromonun yoğun olduğu yolların seçilme olasılığını artırır, böylelikle tesadüflük azalır. β parametresi yol uzunluklarının bir sonraki noktanın seçimindeki etkisini belirler. β değeri artarsa bir sonraki yolun seçiminin tesadüfiliği artar, β değerinin düşük olması ise alternatif çözümlerin araştırılma ihtimalini azaltır[102].

Parametreleri etkin olarak seçerek algoritmanın performansında ciddi artışlar sağlanabilir. α ve β parametre değerleri birbirinden bağımsız değildir. Denemeler yaparak değişken olan bu parametrelerin en uygun değerleri seçilebilir.

Şekil 4.3’de ACO’ya ilişkin akış diyagramı verilmektedir.



Şekil 4.3. ACO Akış Diyagramı

4.4. Bozkurt Sürü Optimizasyon Algoritması

Bozkurt sürü optimizasyon algoritması (Grey wolf optimizer, GWO) bozkurtların liderlik hiyerarşisini ve avlanma tekniklerini taklit eder. Algoritmaya göre dört tip bozkurt vardır: α , β , δ , ω . Bunlar liderlik hiyerarşisini simule etmede kullanılır. α , lider ve karar vericidir. β ve δ karar verme aşamasında α 'ya yardım ederler. Geriye kalan bozkurtlar (ω) ise diğer bozkurtları takip eder. Bozkurt sürüsünün avlanma davranışı ise optimizasyonun çalışma aşamalarına karşılık gelir. Avlanma davranışları da üç temel adımdan oluşur. Avı arama, avı kuşatma ve ava saldırma.

Optimizasyonda bozkurtların sosyal hiyerarşisini matematiksel olarak modellersek; en uygun çözüm olarak α 'yı öneririz, ikinci ve üçüncü en uygun çözüm sırasıyla β ve δ 'dır. w ise diğer üç çözümü takip eden çözümdür.

Bozkurtların avı kuşatma davranışının matematiksel modeli aşağıda verilmiştir.

$$D = |CXp - AX(t)| \quad (4.7)$$

$$X(t + 1) = Xp(t) - AD \quad (4.8)$$

A ve C katsayı vektörleri aşağıdaki denklemlerle ifade edilir.

$$A = 2ar_1a \quad (4.9)$$

$$C = 2r_2 \quad (4.10)$$

t; şu anki durum, X; kurdun vektörel konumu, r_1 ve r_2 ise $[0, 1]$ aralığındaki rastlantısal vektörelere dir.

Bozkurtların avın bulunduğu konumu saptayacak ve onları kuşatacak yetenekleri vardır. Av, α 'nın rehberliğinde gerçekleşir. β ve δ da α 'ya eşlik eder. Ancak soyut araştırma uzayında optimum konum(av) hakkında bir fikrimiz yoktur. Avlanma davranışını simule edebilmek için α , β ve δ 'nın avın bulunduğu konum bilgisine sahip olduğu farzedilir.

$$\overrightarrow{D_\alpha} = |\overrightarrow{C_1} \cdot \overrightarrow{X_\alpha}(t) - \overrightarrow{X}(t)| \quad \overrightarrow{D_\beta} = |\overrightarrow{C_2} \cdot \overrightarrow{X_\beta}(t) - \overrightarrow{X}(t)| \quad \overrightarrow{D_\delta} = |\overrightarrow{C_3} \cdot \overrightarrow{X_\gamma}(t) - \overrightarrow{X}(t)| \quad (4.11)$$

$$\overrightarrow{X_1} = \overrightarrow{X_\alpha}(t) - \overrightarrow{A_1} \cdot (\overrightarrow{D_\alpha}) \quad \overrightarrow{X_2} = \overrightarrow{X_\beta}(t) - \overrightarrow{A_2} \cdot (\overrightarrow{D_\beta}) \quad \overrightarrow{X_3} = \overrightarrow{X_\delta}(t) - \overrightarrow{A_3} \cdot (\overrightarrow{D_\delta}) \quad (4.12)$$

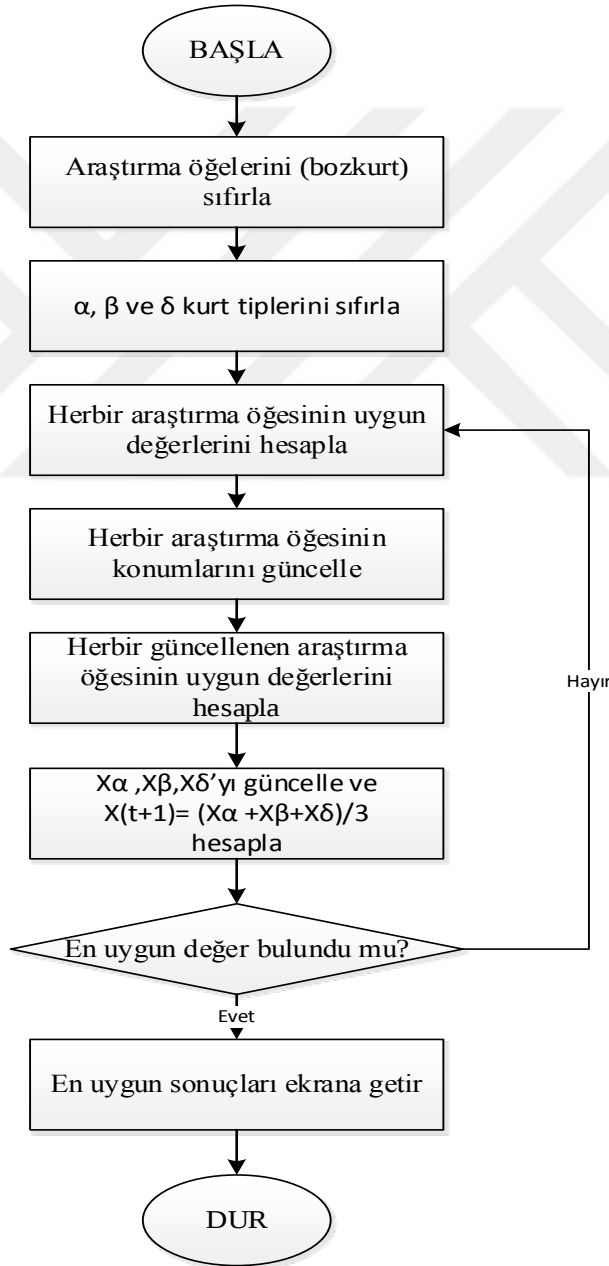
$$\overrightarrow{X}(t + 1) = \frac{\overrightarrow{X_1} + \overrightarrow{X_2} + \overrightarrow{X_3}}{3} \quad (4.13)$$

t ; şu anki durum, $\vec{X}_\alpha(t)$, $\vec{X}_\beta(t)$, $\vec{X}_\gamma(t)$; t^{th} iterasyonunda α , β ve δ bozkurtlarının konumu, $\vec{X}(t)$; t^{th} iterasyonunda bozkurdun konumunu gösterir.

$$\vec{A}_{(t)} = 2\vec{a} \cdot \text{rand}(0,1) - \vec{a} \quad (4.14)$$

$$\vec{C}_{(t)} = 2 \cdot \text{rand}(0,1) \quad (4.15)$$

$\vec{a}$; iterasyona göre 2'den 0'a lineer değer değişkenidir. $\vec{A}_{(t)}$ ve $\vec{C}_{(t)}$; α , β ve δ kurt vektörlerinin katsayısıdır.



Şekil 4.4. GWO akış diyagramı

GWO'ya ilişkin akış diyagramı yukarıda Denklem (4.4)'te verilmiştir.

Bozkurt koloni algoritmasının başlıca avantajları; basit durumlar için kolay uygulama sunması, diğer tekniklere göre daha az bellek gereksinimi, sadece iki temel parametresi olması(α ve C), araştırma uzayının sürekli indirgenmesinden dolayı yakınsaklığının daha hızlı olması ve karar değişkenlerinin çok az olmasıdır(α , β ve δ)[103].



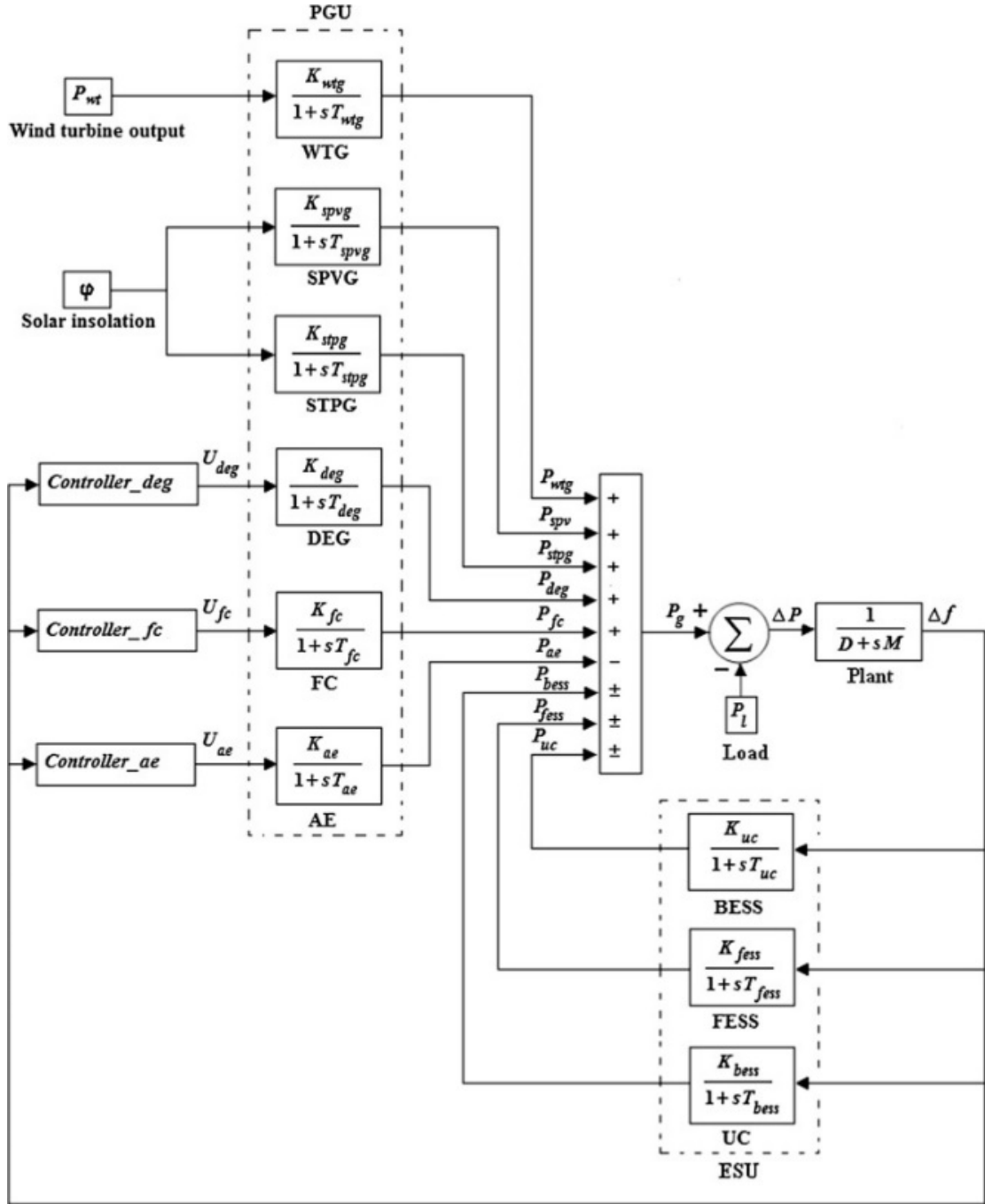
5. MİKRO ŞEBEKENİN MODELLENMESİ VE YÜK-FREKANS OPTİMİZASYONU

5.1. Mikro Şebeke Modeli

Bu bölümde mikro şebeke hibrit güç sisteminin matlab modeli ve her bir güç ünitesine ait enerji üretim denklemleri ve transfer fonksiyonları verilmektedir. Ayrıca üzerinde çalışılan hibrit güç sistem modelinin çalışmasına ilişkin geliştirilen 3 senaryo bu bölümde yer almaktadır.

Rüzgar türbin generatörü (WTG), solar fotovoltaik generatör (SPVG), solar termal güç generatörü (STPG), dizel enerji generatörü (DEG), batarya enerji depolama sistemi (BESS), ultra kapasitör (UC), yakıt pilleri(FC), volan enerji sistemi (FESS) ve elektrolizör (aqua electrolizer, AE) hibrit güç sistem modelinde yer alan güç üniteleridir[105].

Şekil 5.1’de mikro şebeke ’nin matlab modeli görülmektedir.

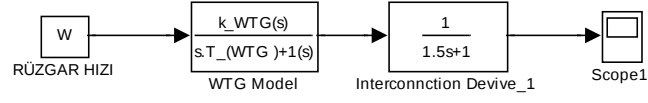


Şekil 5.1. Mikroşebeke matlab modeli[105]

5.1.1. Rüzgar Santrali Modeli

Rüzgar enerjisi santrali (WTG)'nin Denklem (2.2) ve (2.4)'den yararlanarak oluşturan matlab modeli Şekil 5.2'de gösterilmiştir. Sisteme ilişkin transfer fonksiyonu ise Denklem (5.1)'de verilmiştir. Modelde kullanılan parametreler, $K_{wtg} = 1.0$ ve $T_{wtg} = 1.5$ 'tir.

$$G_{wtg}(s) = \frac{K_{wtg}}{s.T_{wtg} + 1} \quad (5.1)$$



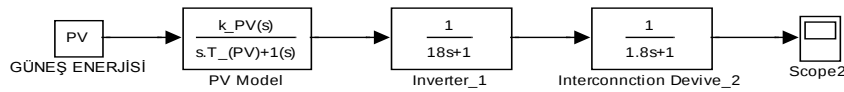
Şekil 5.2. Rüzgar santrali matlab modeli

5.1.2. Güneş Enerjisi Modeli

Güneş enerjisi sistemi hem solar fotovoltaik generatör (SPVG) hem de solar termal güç generatöründen (STPG) oluşmaktadır. SPVG'nin Denklem (2.13)'den yararlanarak elde edilen matlab modeli Şekil 5.3'te gösterilmiştir. Sisteme ilişkin transfer fonksiyonları ise Denklem (5.2) ve Denklem (5.3)' de verilmiştir. Modelde kullanılan parametreler, SPVG için $K=1$ ve $T=1.8$ ve STPG için $K_s=1.8$, $T_s=1.8$, $K_t=1$ ve $T_t=0.3$ 'dür.

$$G_{spvg}(s) = \frac{K_{spvg}}{s.T_{spvg} + 1} \quad (5.2)$$

$$G_{stpg}(s) = \frac{K_s}{s.T_s + 1} \cdot \frac{K_t}{s.T_t + 1} \quad (5.3)$$

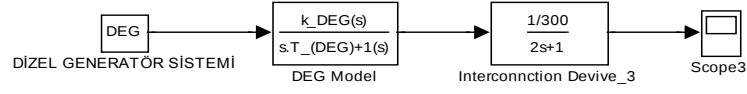


Şekil 5.3. Güneş enerjisi matlab modeli

5.1.3. Dizel Jeneratör Modeli

Dizel jeneratörün matlab modeli Şekil 5.4'te gösterilmiştir. Sisteme ilişkin transfer fonksiyonu ise Denklem (5.4)'de verilmiştir. Modelde kullanılan parametreler, $K=1/300$ ve $T=2$ 'dir.

$$G_{deg}(s) = \frac{K_{deg}}{s.T_{deg} + 1} \quad (5.4)$$

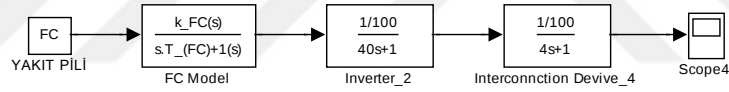


Şekil 5.4. Dizel jeneratör matlab modeli

5.1.4. Yakıt Pili Modeli

Yakıt pilinin Denklem (2.14)'den yararlanarak oluşturulan matlab modeli Şekil 5.5'te gösterilmiştir. Sisteme ilişkin transfer fonksiyonu ise Denklem (5.5)'de verilmiştir. Modelde kullanılan parametreler, $K=1/100$ ve $T=4$ 'tür.

$$G_{fc}(s) = \frac{k_{fc}}{s.T_{fc}+1} \quad (5.5)$$

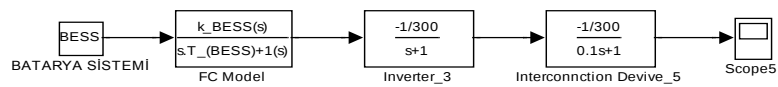


Şekil 5.5. Yakıt pili matlab modeli

5.1.5. Batarya Sistemi Modeli

Batarya sisteminin matlab modeli Şekil 5.6'da gösterilmiştir. Sisteme ilişkin transfer fonksiyonu ise Denklem (5.6)'de verilmiştir. Modelde kullanılan parametreler, $K=-1/300$ ve $T=0.1$ 'dir.

$$G_{bess}(s) = \frac{K_{bess}}{s.T_{bess}+1} \quad (5.6)$$

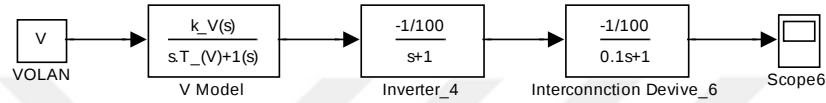


Şekil 5.6. Batarya sistemi matlab modeli

5.1.6. Volan Sistemi Modeli

Volan sisteminin (FESS) Denklem (2.7), (2.8) ve (2.9)'dan yararlanarak oluşturulan matlab modeli Şekil 5.7'de gösterilmiştir. Sisteme ilişkin transfer fonksiyonu ise Denklem (5.7)'de verilmiştir. Modelde kullanılan parametreler, $K=-1/100$ ve $T=0.1$ 'dir.

$$G_{fess}(s) = \frac{K_{fess}}{s.T_{fess} + 1} \quad (5.7)$$

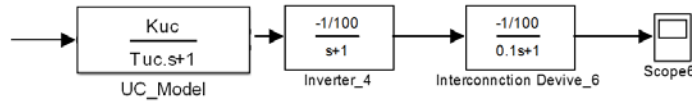


Şekil 5.7. Volan sistemi matlab modeli

5.1.7. Ultrakapasitör Sistemi Modeli

Ultrakapasitör (UC) sisteminin Denklem (2.19)'dan yararlanarak oluşturulan matlab modeli Şekil 5.8'de verilmiştir. Sisteme ilişkin transfer fonksiyonu ise Denklem (5.8)'de verilmiştir. Modelde kullanılan parametreler, $K= -7/10$ ve $T= 0.9$ 'dur.

$$G_{uc}(s) = \frac{K_{uc}}{s.T_{uc} + 1} \quad (5.8)$$



Şekil 5.8. Ultrakapasitör sistemi matlab modeli

5.2. Mikro Şebeke Yük-Frekans Kontrolü

Güç sistemlerinin analiz ve tasarımında, kontrolörün performansını belirleyen performans indeksleri kullanılır. Sistem değişkenlerinin farklı kombinasyonlarıyla birçok performans indeksi oluşturulabilir. Bunlardan ISE, IAE, ITAE ve ITSE en yaygın kullanılan indekslerdir[104].

ISE (The Integral of Square of the Error); hatanın karesinin toplamıdır. Bu kriterde hatalar zamandan bağımsız kabul edilir. Dezavantajı ise yerleşme zamanının uzun olmasıdır. ISE'ye ilişkin hesaplama Denklem (5.9)'de verilmiştir.

$$ISE = \int_0^{\infty} e^2(t)dt \quad (5.9)$$

IAE (The Integral of the Absolute magnitude of the Error); hatanın mutlak değerlerinin toplamıdır. Bu kriterin de dezavantajı yerleşme zamanının uzun olmasıdır. IAE'ye ilişkin hesaplama Denklem(5.10)'da verilmiştir.

$$IAE = \int_0^{\infty} |r(t) - y(t)| dt = \int_0^{\infty} |e(t)|dt \quad (5.10)$$

ITAE (The Integral of Time multiplied by Absolute Error); mutlak hatanın zamanla çarpımının integralidir. IAE'nin dezavantajları, farklı dereceden sistemler için farklı karakteristik polinomlar önermesi ve biraz aşınım yapmasıdır. ITAE'ye ilişkin hesaplama Denklem (5.11)'de verilmiştir.

$$ITAE = \int_0^{\infty} t. |e(t)| dt \quad (5.11)$$

ITSE (The integral of time multiplied by the squared error); hatanın karesinin zamanla çarpımının integralidir. ITSE'nin dezavantajı analitik formülün türev işleminin zaman almasıdır.ITSE'ye ilişkin hesaplama Denklem (5.12)'de verilmiştir.

$$ITSE = \int_0^{\infty} t. e^2(t)dt \quad (5.12)$$

Performans indekslerinin değeri negatif olamaz, ya pozitif ya da sıfır olmalıdır. Performans indeks değerleri en düşük olan sistem, en iyi olarak tanımlanır[106].

Bu bölümde Şekil 5.1'de verilen mikro şebeke modelinin çalışmasına ilişkin üç tane senaryo geliştirilmiştir. Bu senaryolara ilişkin detaylar Tablo 5.1'de verilmektedir[105]. Hibrit güç sisteminin farklı senaryolar altında geliştirilen çalışma modelleri MATLAB/SIMULINK ortamında optimize edilmiş ve elde edilen sonuçlar tablolar halinde verilmiştir.

Tablo 5.1. Mikro şebeke modeli çalışma senaryoları

Senaryo	Çalışma Modelinin Güç Üniteleri	Süre(s)	Değerler
1	Güç Üretim Ünitesi: WTG, STPG, DEG, FC, AE Enerji Depolama Ünitesi: BESS Yük Talebi: P_1	120	$P_{wtg} = \begin{cases} 0.5 \text{ p.u. for } 0 < t < 40s \\ 0.4 \text{ p.u. for } t \geq 40s \end{cases}$ $P_{stpg} = \begin{cases} 0.36 \text{ p.u. for } 0 < t < 40s \\ 0.18 \text{ p.u. for } t \geq 40s \end{cases}$ $P_1 = \begin{cases} 1.0 \text{ p.u. for } 0 < t < 80s \\ 1.1 \text{ p.u. for } t \geq 80s \end{cases}$
2	Güç Üretim Ünitesi: WTG, SPVG, DEG, FC, AE Enerji Depolama Ünitesi: BESS, FESS Yük Talebi: P_1	120	$P_{wtg} = \begin{cases} 0.5 \text{ p.u. for } 0 < t < 40s \\ 0.4 \text{ p.u. for } t \geq 40s \end{cases}$ $P_{spvg} = \begin{cases} 0.2 \text{ p.u. for } 0 < t < 40s \\ 0.1 \text{ p.u. for } t \geq 40s \end{cases}$ $P_1 = \begin{cases} 1.0 \text{ p.u. for } 0 < t < 80s \\ 1.3 \text{ p.u. for } t \geq 80s \end{cases}$
3	Güç Üretim Ünitesi: WTG, SPVG, DEG, FC, AE Enerji Depolama Ünitesi: BESS, UC Yük Talebi: P_1	120	$P_{wtg} = \begin{cases} 0.5 \text{ p.u. for } 0 < t < 40s \\ 0.4 \text{ p.u. for } t \geq 40s \end{cases}$ $P_{spvg} = \begin{cases} 0.2 \text{ p.u. for } 0 < t < 40s \\ 0.1 \text{ p.u. for } t \geq 40s \end{cases}$ $P_1 = \begin{cases} 1.0 \text{ p.u. for } 0 < t < 80s \\ 1.3 \text{ p.u. for } t \geq 80s \end{cases}$

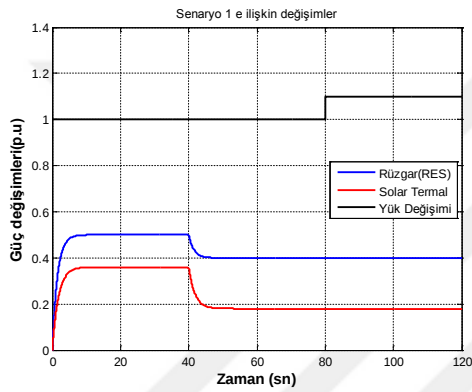
5.2.1. Senaryo 1

Senaryo 1'e göre çalıştırılan hibrit güç sistem modeli WTG, STPG, DEG, FC, AE ve BESS ünitelerini içermektedir ve simulasyon $t = 120$ s için gerçekleştirilmiştir. Tablo 5.1'de verildiği gibi P_{wtg} ve P_{stpg} değerleri $t = 0-40$ s için sırasıyla 0.5 pu ve 0.36 pu değerlerinde tutulmuştur. 40 s'den sonra ise bu değerler sırasıyla 0.4 pu ve 0.18 pu'ya düşürülmüştür. P_1 değeri ise 80 s'ye kadar 1.0 pu değerinde tutulmuş ve 80 s'den sonra

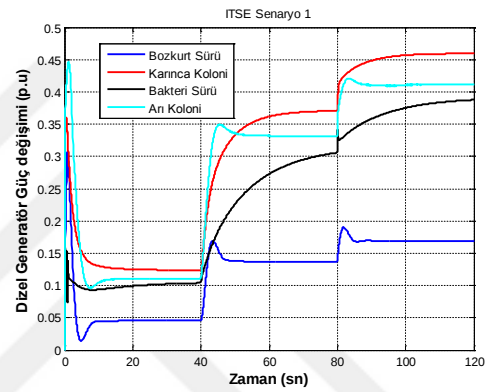
artırılarak 1.1 pu değerine getirilmiştir. Bu senaryoda hibrit güç sisteminin frekans değerini nominal değerde tutmak amacıyla P_g ve P_1 arasındaki güç değişiminin(ΔP) azaltılması amaçlanmış ve bu sebeple P_g ve P_1 'nin değişimleri izlenmiştir. Senaryo 1 için P_g değeri Denklem 5.13'te ifade edildiği gibidir[105].

$$P_g = P_{wtg} + P_{stpg} + P_{deg} + P_{fc} - P_{ae} \mp P_{bess} \quad (5.13)$$

Şekil 5.9'da WTG, STPG güç ünitelerine ilişkin güç değişimleri ve yük değişimi, Şekil 5.10'da ise DEG'in güç değişimi BSO, ACO, ABC ve GWO algoritmalarının her biri için ITSE maliyet indeksinde verilmektedir.

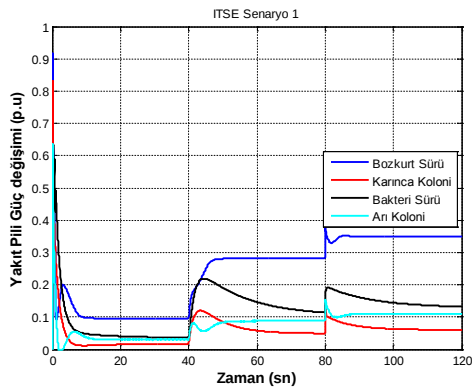


Şekil 5.9. Senaryo 1'e ilişkin güç değişimleri

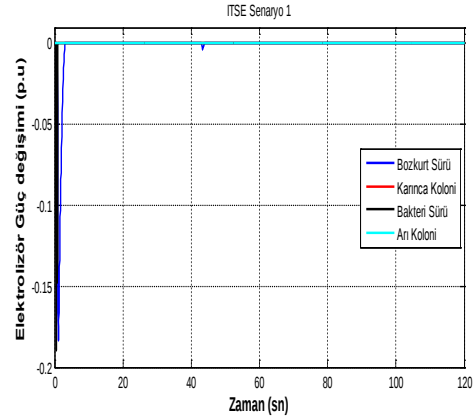


Şekil 5.10. Senaryo 1 için DEG güç değişimi(ITSE)

Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'de her bir optimizasyon algoritması için sırasıyla FC ve AE'nin güç değişimi ITSE maliyet indeksinde verilmektedir.

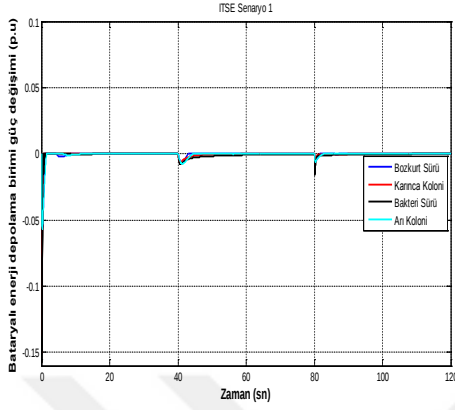


Şekil 5.11. Senaryo 1 için FC güç değişimi (ITSE)

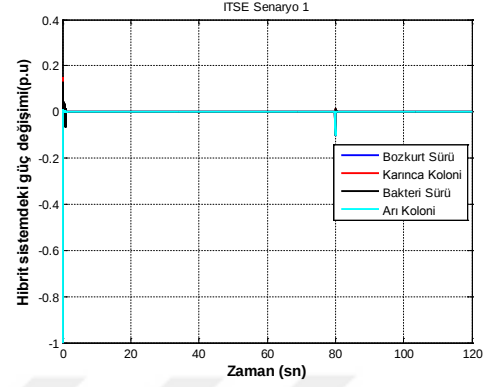


Şekil 5.12. Senaryo 1 için AE güç değişimi(ITSE)

Şekil 5.13’de BESS’in güç değişimi her bir optimizasyon algoritması için ITSE maliyet indeksinde verilmektedir. Şekil 5.14’de ise hibrit sistemin güç değişimi her bir optimizasyon algoritması için ITSE maliyet indeksinde verilmektedir.

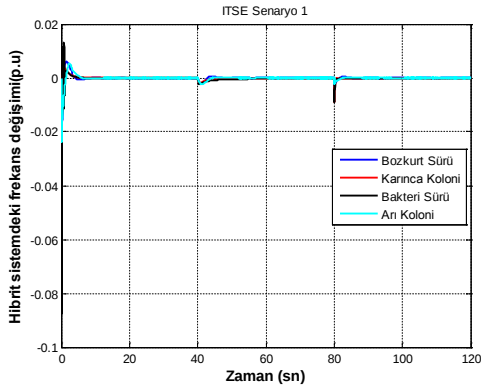


Şekil 5.13. Senaryo 1 için BESS güç değişimi(ITSE)

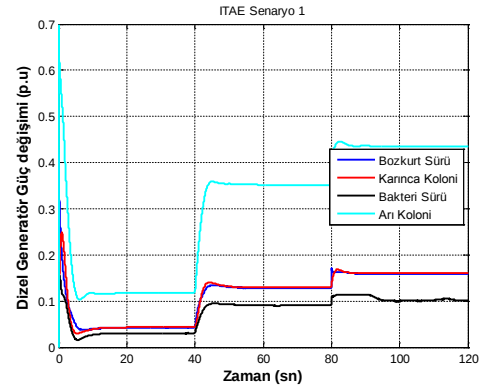


Şekil 5.14. Senaryo 1 için hibrit sistemdeki güç değişimi(ITSE)

Şekil 5.15’de hibrit sistemin frekans değişimi ITSE maliyet indeksinde verilmektedir. Şekil 5.16’da ise her bir optimizasyon algoritması için DEG’in güç değişimi ITAE maliyet indeksinde verilmektedir.

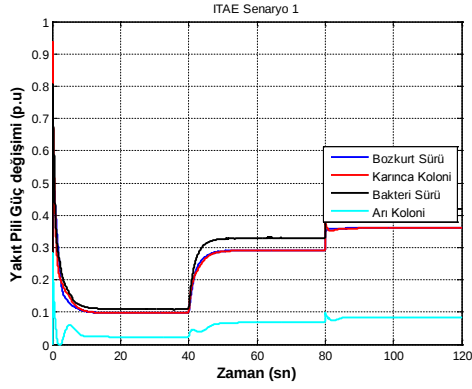


Şekil 5.15. Senaryo 1 için hibrit sistemin frekans değişimi(ITSE)

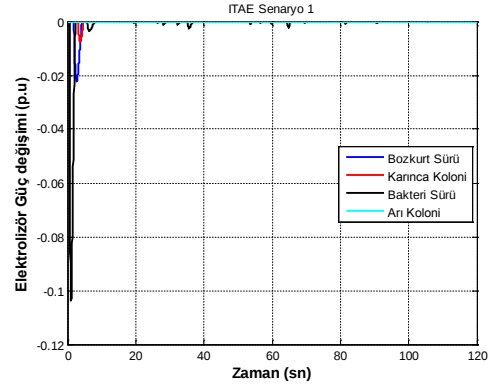


Şekil 5.16. Senaryo 1 için DEG güç değişimi(ITAE)

Şekil 5.17 ve Şekil 5.18’de sırasıyla FC ve AE’nin güç değişimleri her bir optimizasyon algoritması için ITAE maliyet indeksinde verilmektedir.

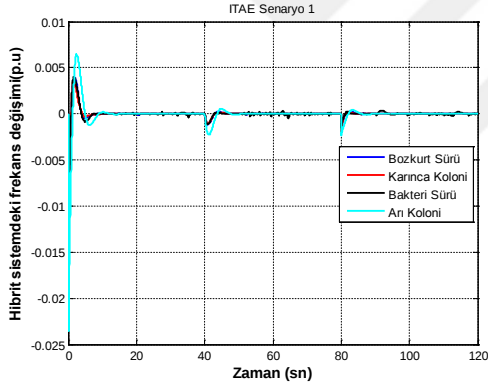


Şekil 5.17. Senaryo 1 için FC güç değişimi (ITAE)

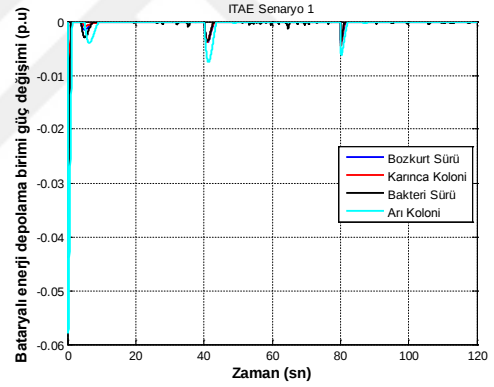


Şekil 5.18. Senaryo 1 için AE güç değişimi (ITAE)

Şekil 5.19’da hibrit sistemin frekans değişimi ITAE maliyet indeksinde verilmektedir. Şekil 5.20’de ise her bir optimizasyon algoritması için BESS’in güç değişimi ITAE maliyet indeksinde verilmektedir.

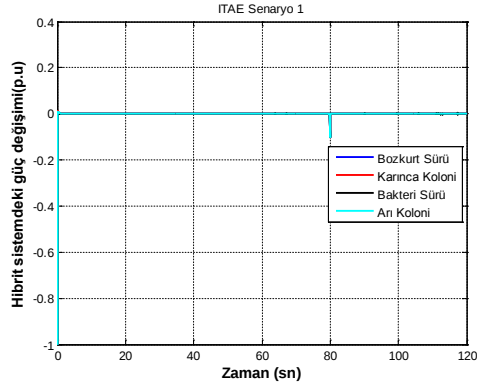


Şekil 5.19. Senaryo 1 için hibrit sistemin frekans değişimi(ITAE)

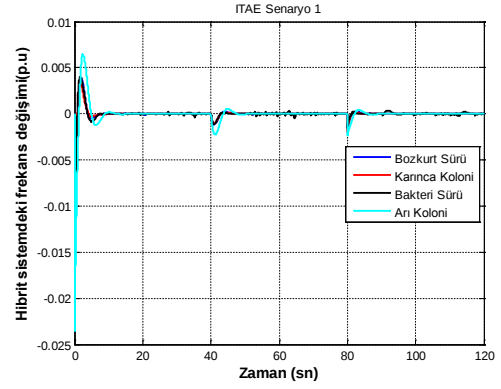


Şekil 5.20. Senaryo 1 için BESS güç değişimi(ITAE)

Şekil 5.21 ve Şekil 5.22’de sırasıyla hibrit sistemin güç ve frekans değişimi her bir optimizasyon algoritması için ITAE maliyet indeksinde verilmektedir.

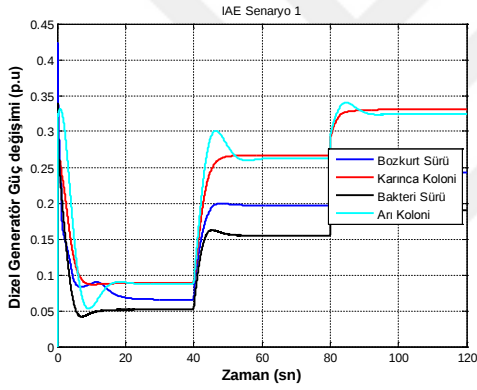


Şekil 5.21. Senaryo 1 için hibrit sistemin güç değişimi(ITAE)

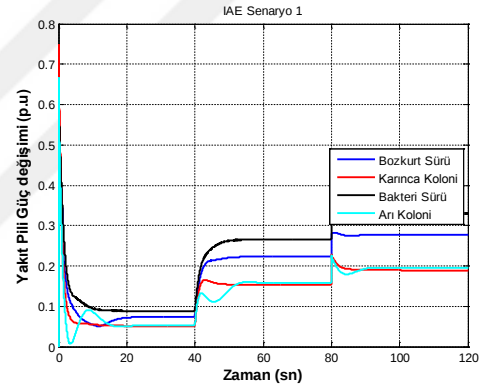


Şekil 5.22. Senaryo 1 için hibrit sistemin frekans değişimi(ITAE)

Şekil 5.23 ve Şekil 5.24’de sırasıyla DEG ve FC’nin güç değişimleri her bir optimizasyon algoritması için IAE maliyet indeksiinde verilmektedir.

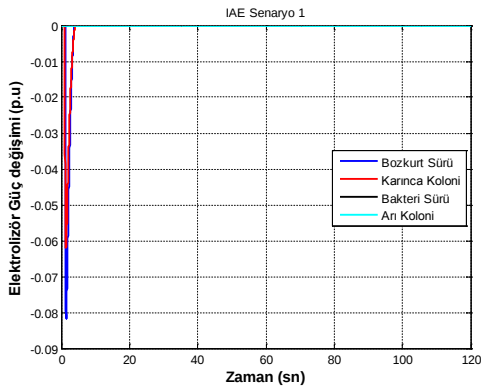


Şekil 5.23. Senaryo 1 için DEG güç değişimi (IAE)

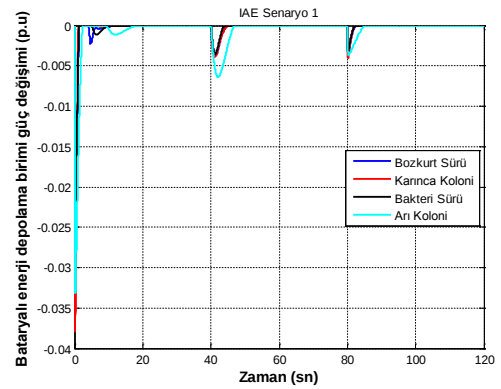


Şekil 5.24. Senaryo 1 için FC güç değişimi (IAE)

Şekil 5.25 ve Şekil 5.26’da sırasıyla AE ve BESS’in güç değişimleri her bir optimizasyon algoritması için IAE maliyet indeksiinde verilmektedir.

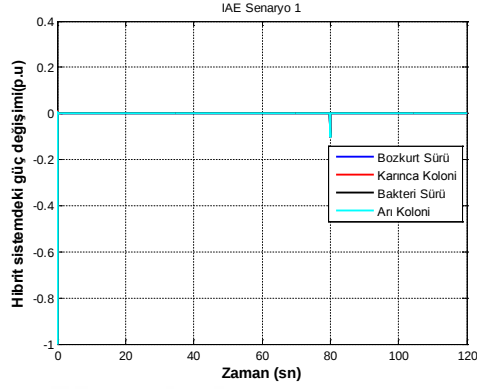


Şekil 5.25. Senaryo 1 için AE güç değişimi (IAE)

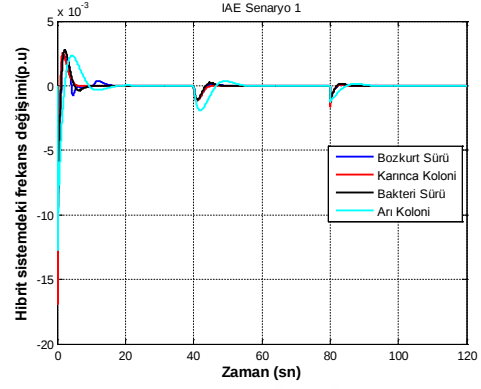


Şekil 5.26. Senaryo 1 için BESS güç değişimi (IAE)

Şekil 5.27 ve Şekil 5.28’de sırasıyla hibrit sistemin güç ve frekans değişimi her bir optimizasyon algoritması için IAE maliyet indeksi verilmektedir.

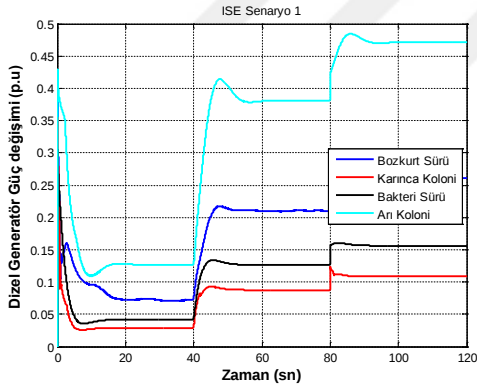


Şekil 5.27. Senaryo 1 için hibrit sistemin güç değişimi (IAE)

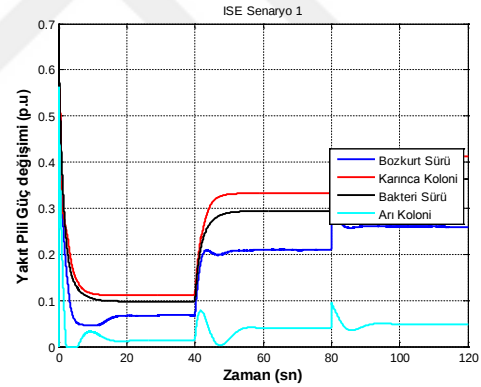


Şekil 5.28. Senaryo 1 için hibrit sistemin frekans değişimi (IAE)

Şekil 5.29 ve Şekil 5.30’da sırasıyla DEG ve FC’nin güç değişimleri her bir optimizasyon algoritması için ISE maliyet indeksi verilmektedir.

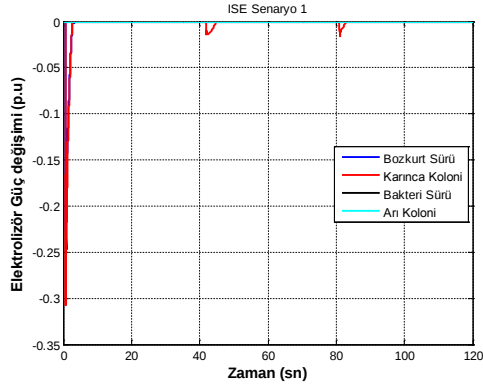


Şekil 5.29. Senaryo 1 için DEG güç değişimi (ISE)

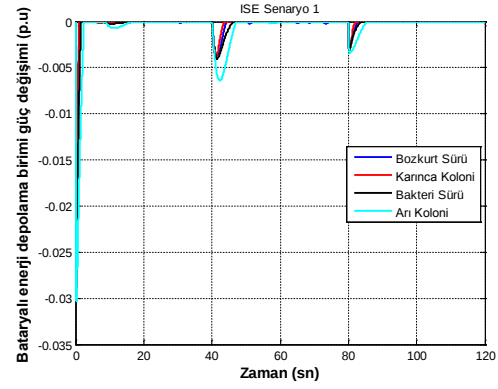


Şekil 5.30. Senaryo 1 için FC güç değişimi (ISE)

Şekil 5.31 ve Şekil 5.32’de sırasıyla AE ve BESS’nin güç değişimleri her bir optimizasyon algoritması için ISE maliyet indeksi verilmektedir.

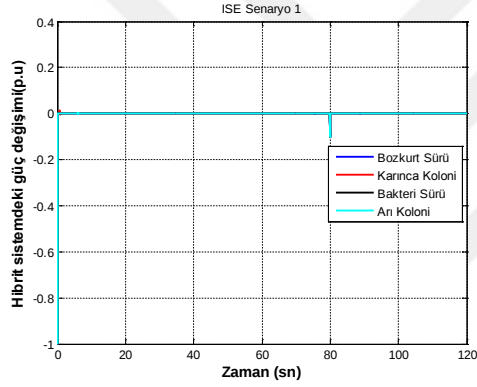


Şekil 5.31. Senaryo 1 için AE güç değişimi(ISE)

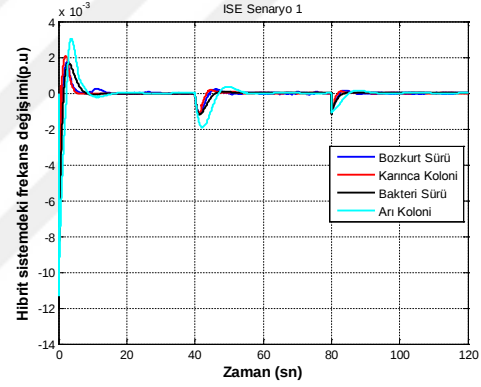


Şekil 5.32. Senaryo 1 için BESS güç değişimi(ISE)

Şekil 5.33 ve Şekil 5.34’de sırasıyla hibrit sistemin güç ve frekans değişimi her bir optimizasyon algoritması için ISE maliyet indeksinde verilmektedir.



Şekil 5.33. Senaryo1 sistemin güç değişimi(ISE)



Şekil 5.34. Senaryo 1 sistemin frekans değişimi(ISE)

Yapılan benzetim sonucunda DEG, AE ve FC için PID kontrolör kazançlarının elde edildiği sonuçlar sırasıyla Tablo 5.2, Tablo 5.3 ve Tablo 5.4’de verilmiştir.

Tablo 5.2. Senaryo 1’e göre dizel generatör için bulunan değerler

		ITSE	ITAE	IAE	ISE
Bozkurt Sürü	Kp_deg	14,894	15,262	19,009	8,402
	Ki_deg	11,723	17,781	16,710	17,944
	Kd_deg	0,996	12,656	16,493	18,990
Karınca Koloni	Kp_deg	17,982	19,234	18,656	12,754
	Ki_deg	9,770	17,405	18,634	11,557
	Kd_deg	0,049	1,035	7,383	15,635
Bakteri Sürü	Kp_deg	5,079	7,846	18,588	18,786
	Ki_deg	3,690	14,141	18,204	7,246
	Kd_deg	1,987	6,183	14,076	13,250
Arı Koloni	Kp_deg	18,983	19,737	19,838	19,941
	Ki_deg	14,023	18,883	9,082	11,963
	Kd_deg	7,429	15,605	13,260	19,892

Tablo 5.3. Senaryo 1'e göre elektrolizör için bulunan değerler

		ITSE	ITAE	IAE	ISE
Bozkurt Sürü	Kp_ae	5,320	9,792	15,381	2,431
	Ki_ae	1,101	6,342	4,184	3,618
	Kd_ae	7,130	3,355	13,137	19,422
Karınca Koloni	Kp_ae	6,299	11,497	10,004	0,703
	Ki_ae	8,578	13,714	1,599	0,749
	Kd_ae	4,704	0,055	7,912	17,365
Bakteri Sürü	Kp_ae	0,418	1,500	1,817	7,375
	Ki_ae	1,795	2,120	9,296	9,970
	Kd_ae	2,541	7,589	3,368	17,320
Arı Koloni	Kp_ae	6,975	0,193	1,762	0,089
	Ki_ae	15,891	19,985	11,109	17,209
	Kd_ae	3,310	10,902	16,195	11,780

Tablo 5.4. Senaryo 1'e göre yakıt pili için bulunan değerler

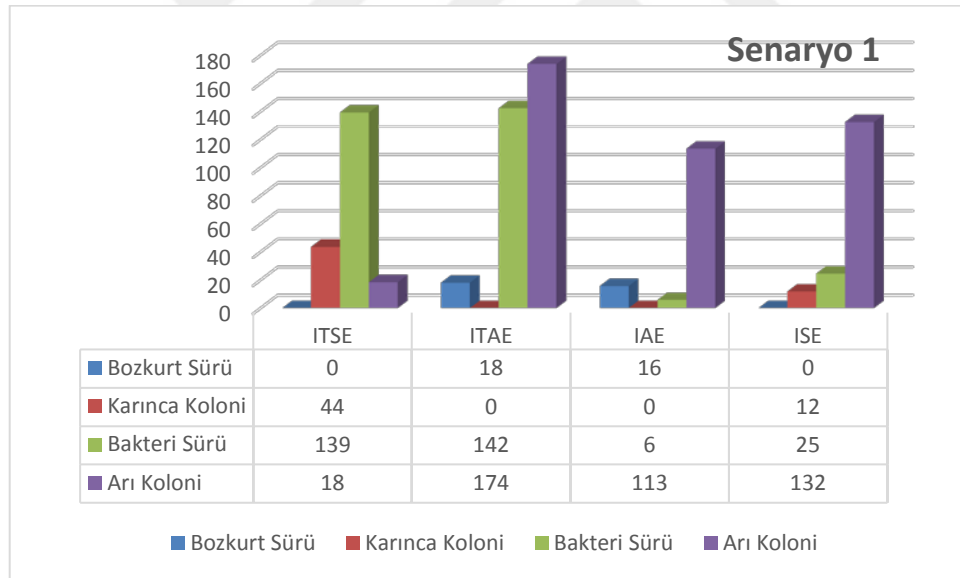
		ITSE	ITAE	IAE	ISE
Bozkurt Sürü	Kp_fc	4,080	19,906	19,597	19,743
	Ki_fc	8,102	13,500	6,330	5,998
	Kd_fc	12,420	11,484	14,677	19,690
Karınca Koloni	Kp_fc	14,242	19,730	19,700	18,498
	Ki_fc	0,4278	13,042	3,558	14,664
	Kd_fc	2,968	16,039	15,477	18,626
Bakteri Sürü	Kp_fc	18,489	18,311	18,442	17,493
	Ki_fc	0,403	19,867	10,467	5,624
	Kd_fc	1,754	18,174	18,047	19,956
Arı Koloni	Kp_fc	1,451	0,004	1,675	0,334
	Ki_fc	1,243	1,221	1,819	0,412
	Kd_fc	9,457	4,292	18,366	17,460

Tablo 5.5'de senaryo 1'e ilişkin elde edilen maliyet değerleri verilmektedir. Bir optimizasyon probleminde en küçük maliyet değeri en iyi sonucu ifade eder. Buna göre tablodaki en koyu renkli hücrede en iyi sonuç yer alırken en soluk renkli hücrede en kötü sonuç gösterilmektedir.

Tablo 5.5. Senaryo 1 için maliyet indeksleri

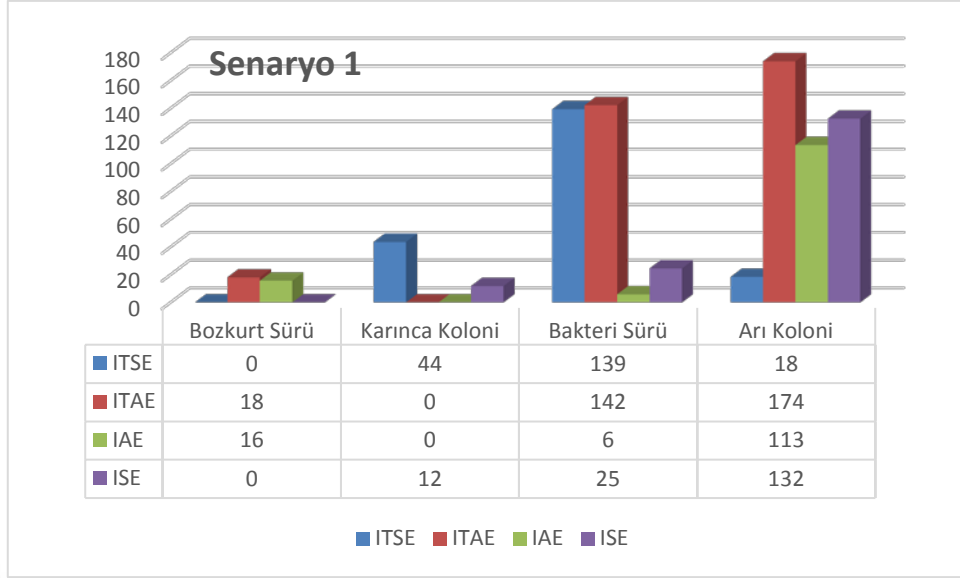
	ITSE	ITAE	IAE	ISE
Bozkurt Sürü	0,000646	0,266053	0,018953	0,00004689
Karınca Koloni	0,000928	0,22526	0,016382	0,00005243
Bakteri Sürü	0,001546	0,545832	0,01734	0,00005841
Arı Koloni	0,000765	0,616914	0,034968	0,000109

Şekil 5.35’de senaryo 1 için her bir maliyet indeksine göre optimizasyon algoritmalarının karşılaştırması grafik halinde verilmektedir. En iyi sonuç değeri ‘0’ olarak alınıp diğer değerler bu referansa göre belirlenmiştir. Buna göre ITSE ve ISE için en iyi sonuçlar GWO algoritmasından elde edilirken, ITAE VE IAE için en iyi sonuçlar ACO algoritmasından elde edilmiştir.



Şekil 5.35. Senaryo 1 için optimizasyon algoritmalarının karşılaştırılması

Şekil 5.36’da senaryo 1 için her bir optimizasyon algoritmasına göre maliyet indekslerinin karşılaştırılması grafik halinde verilmektedir. En iyi sonuç değeri ‘0’ olarak alınıp diğer değerler bu referansa göre belirlenmiştir. Buna göre en iyi sonuçlar GWO algoritması için ITSE ve ISE’den, ACO algoritması için ITAE ve IAE’den, BSO algoritması için IAE’den ve ABC algoritması için ITSE’den elde edilmiştir.



Şekil 5.36. Senaryo 1 için maliyet indekslerinin karşılaştırılması

Tablo 5.6. Yöntem-maliyet indeksi tablosu

Yöntem	Maliyet İndeksi
TLBOA [98]	0,0105
QOHS[98]	0,0067
Bozkurt Sürü	0,00004689
Karınca Koloni	0,00005243
Bakteri Sürü	0,00005841
Arı Koloni	0,000109

Shankar ve Mukherjee[105]'nin yapmış oldukları çalışmada sonuçlar ISE maliyet fonksiyonuna göre elde edilmiştir. Bu tez çalışmasında Shankar ve Mukherjee'nin kullanmış oldukları sistem ele alınmıştır. Aynı senaryolar bu tez çalışmasında da kullandığında elde edilen sonuçlar Tablo 5.6'da verilmiştir.

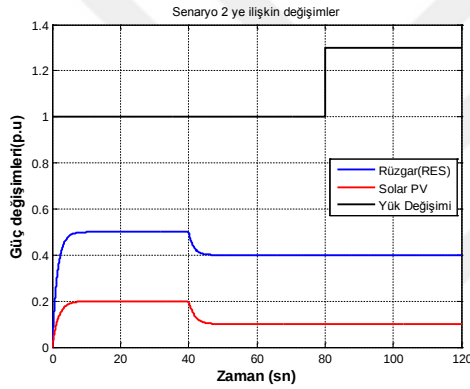
5.2.2. Senaryo 2

Senaryo 2'ye göre çalıştırılan hibrit güç sistem modeli WTG, SPVG, DEG, FC, AE, BESS ve FESS ünitelerini içermektedir ve simulasyon $t=120$ s için gerçekleştirilmiştir. Tablo 5.1'de verildiği gibi P_{wtg} ve P_{spvg} değerleri $t=0-40$ s için sırasıyla 0.5 pu ve 0.2 pu

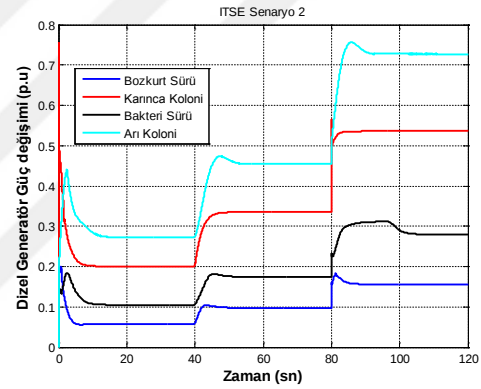
değerlerinde tutulmuştur. 40 s'den sonra ise bu değerler her ikisi için 0.4 pu'dur. P_1 değeri ise 80 s'ye kadar 1.0 pu değerinde tutulmuş ve 80 s'den sonra artırılarak 1.3 pu değerine getirilmiştir. Bu senaryoda hibrit güç sisteminin frekans değerini nominal değerde tutmak amacıyla P_g ve P_1 arasındaki güç değişiminin(ΔP) azaltılması amaçlanmıştır ve bu sebeple P_g ve P_1 'nin değişimleri izlenmiştir. Senaryo 2 için P_g değeri Denklem 5.14'te ifade edildiği gibidir[105].

$$P_g = P_{wtg} + P_{spvg} + P_{deg} + P_{fc} - P_{ae} \mp P_{bess} \mp P_{fess} \quad (5.14)$$

Şekil 5.37'de WTG, STPG güç ünitelerine ilişkin güç değişimleri ve yük değişimi verilmektedir. Şekil 5.38'de ise DEG'in BSO, ACO, ABC ve GWO algoritmalarının her biri için güç değişimi ITSE maliyet indeksinde verilmektedir.

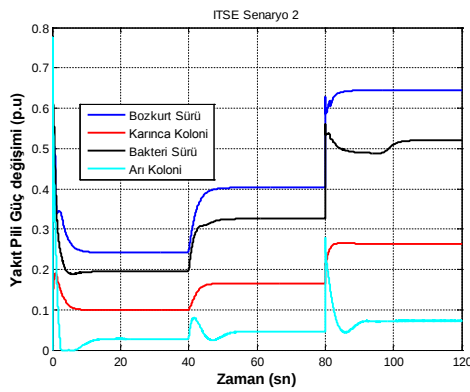


Şekil 5.37. Senaryo 2'ye ilişkin güç değişimleri

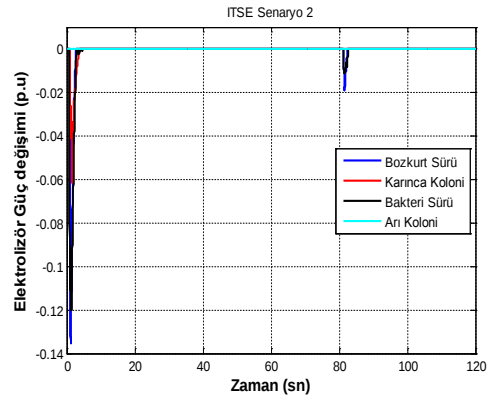


Şekil 5.38. Senaryo 2 için DEG güç değişimi (ITSE)

Şekil 5.39 ve Şekil 5.40'da her bir optimizasyon algoritması için sırasıyla FC ve AE'nin güç değişimi ITSE maliyet indeksinde verilmektedir.

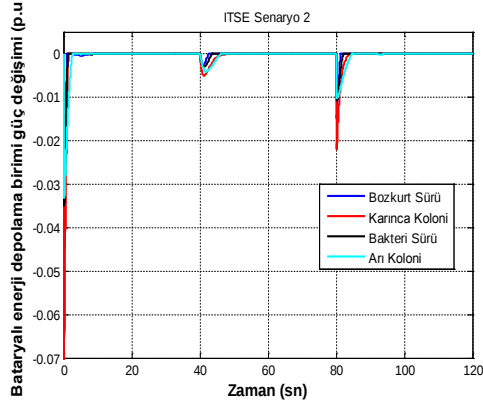


Şekil 5.39. Senaryo 2 için FC güç değişimi (ITSE)

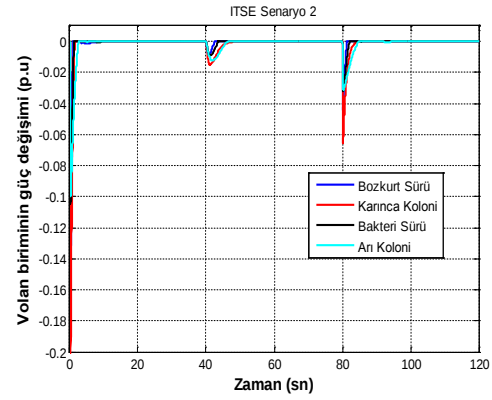


Şekil 5.40. Senaryo 2 için AE güç değişimi (ITSE)

Şekil 5.41 ve Şekil 5.42’de her bir optimizasyon algoritması için sırasıyla BESS ve FESS’nin güç değişimi ITSE maliyet indeksinde verilmektedir.

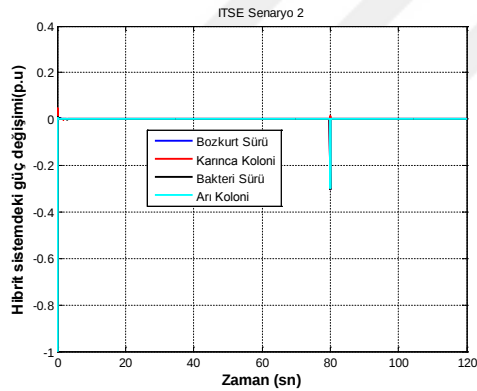


Şekil 5.41. Senaryo 2 için BESS güç değişimi (ITSE)

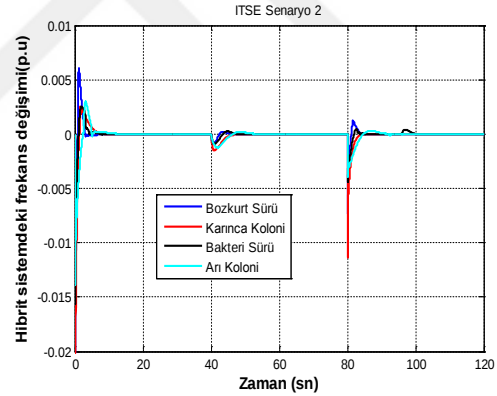


Şekil 5.42. Senaryo 2 için volan güç değişimi (ITSE)

Şekil 5.43 ve Şekil 5.44’de sırasıyla hibrit sistemin güç ve frekans değişimi her bir optimizasyon algoritması için ITSE maliyet indeksinde verilmektedir.

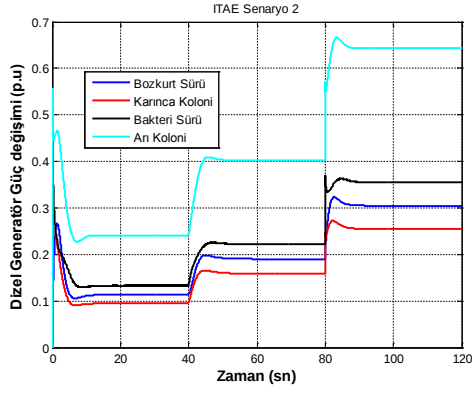


Şekil 5.43. Senaryo 2 sistemin güç değişimi (ITSE)

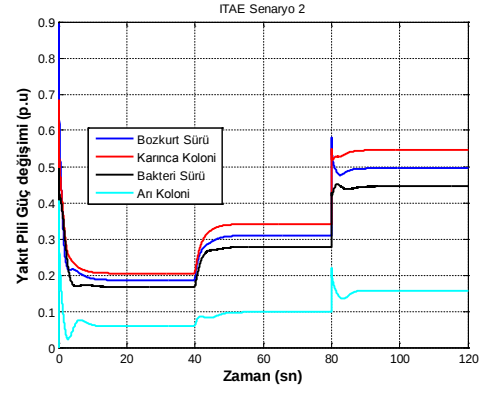


Şekil 5.44. Senaryo 2 sistemin frekans değişimi (ITSE)

Şekil 5.45 ve Şekil 5.46’da her bir optimizasyon algoritması için sırasıyla DEG ve FC’nin güç değişimi ITAE maliyet indeksinde verilmektedir.

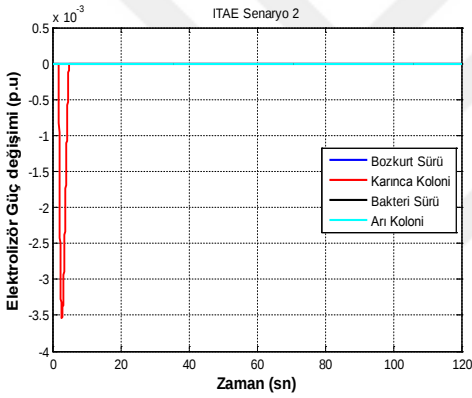


Şekil 5.45. Senaryo 2 için DEG güç değişimi(ITAE)

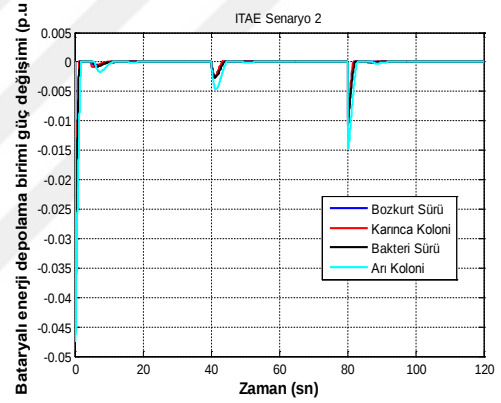


Şekil 5.46. Senaryo 2 için FC güç değişimi(ITAE)

Şekil 5.47 ve Şekil 5.48’de her bir optimizasyon algoritması için sırasıyla AE ve BESS’nin güç değişimi ITAE maliyet indeksinde verilmektedir.

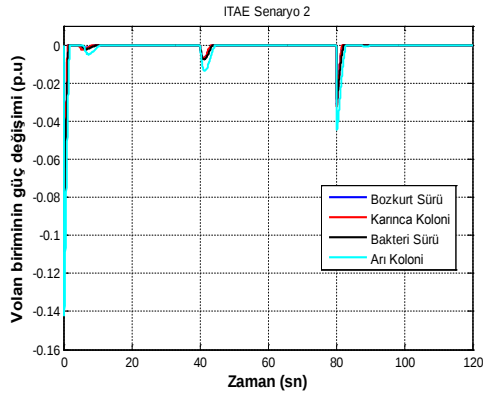


Şekil 5.47. Senaryo 2 için AE güç değişimi(ITAE)

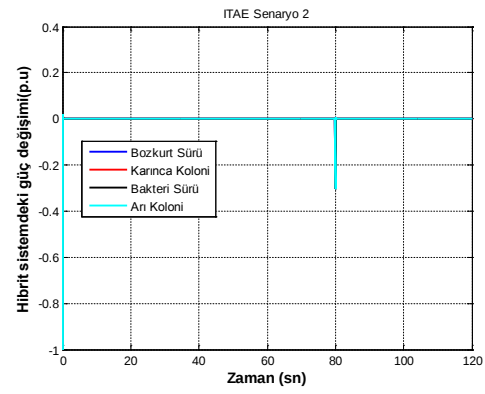


Şekil 5.48. Senaryo 2 için BESS güç değişimi(ITAE)

Şekil 5.49’da FESS’in güç değişimi her bir optimizasyon algoritması için ITAE maliyet indeksinde verilmektedir. Şekil 5.50’de ise her bir optimizasyon algoritması için hibrit güç sisteminin güç değişimi ITAE maliyet indeksinde verilmektedir.

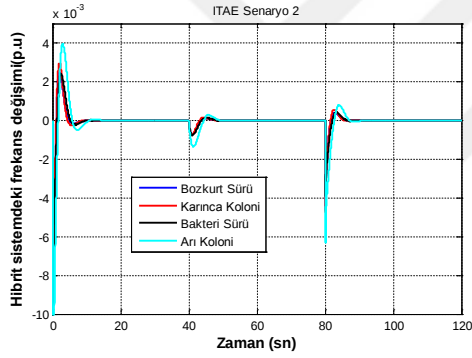


Şekil 5.49. Senaryo 2 için volan güç değişimi(ITAE)

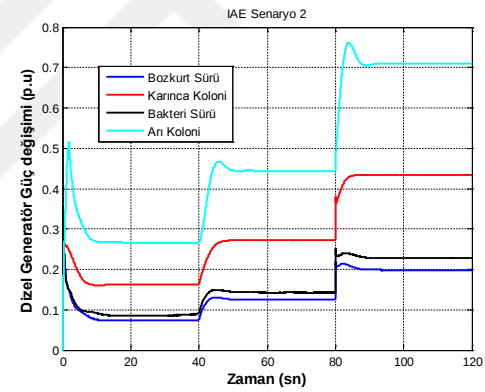


Şekil 5.50. Senaryo 2 için hibrit sistemin güç değişimi(ITAE)

Şekil 5.51’de her bir optimizasyon algoritması için hibrit güç sisteminin frekans değişimi ITAE maliyet indeksinde verilmektedir. Şekil 5.52’de ise DEG’in güç değişimi her bir optimizasyon algoritması için IAE maliyet indeksinde verilmektedir.

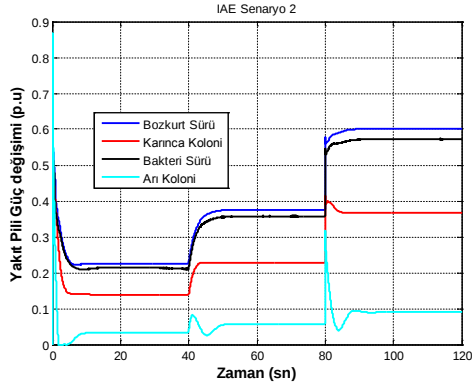


Şekil 5.51. Senaryo 2 için hibrit sistemin frekans değişimi(ITAE)

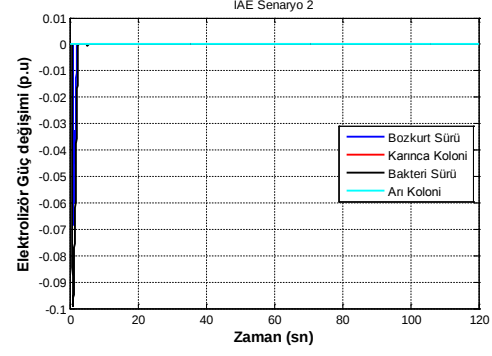


Şekil 5.52. Senaryo 2 için DEG güç değişimi(IAE)

Şekil 5.53 ve Şekil 5.54’de her bir optimizasyon algoritması için sırasıyla FC ve AE’nin güç değişimi IAE maliyet indeksinde verilmektedir.

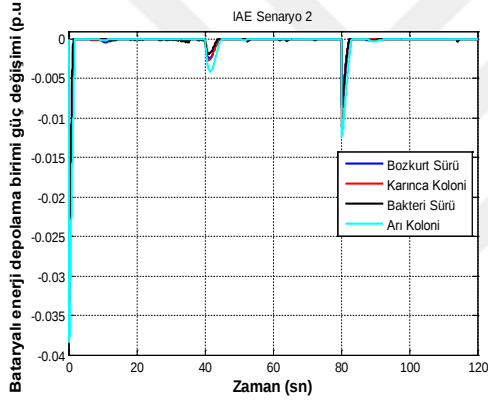


Şekil 5.53. Senaryo 2 için FC güç değişimi (IAE)

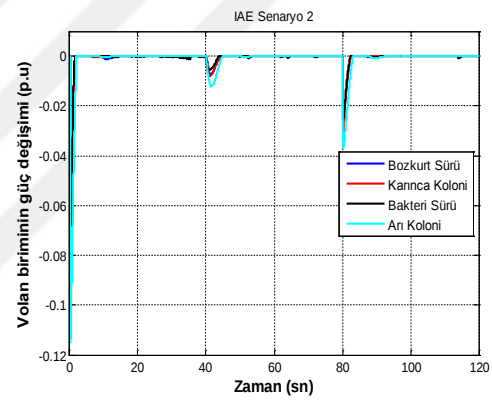


Şekil 5.54. Senaryo 2 için AE güç değişimi (IAE)

Şekil 5.55 ve Şekil 5.56'da her bir optimizasyon algoritması için sırasıyla BESS ve FESS'nin güç değişimi IAE maliyet indeksinde verilmektedir.

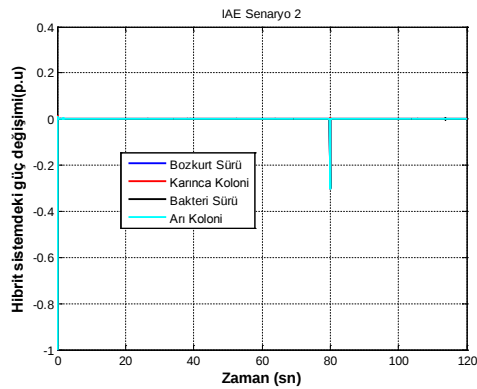


Şekil 5.55. Senaryo 2 için BESS güç değişimi (IAE)

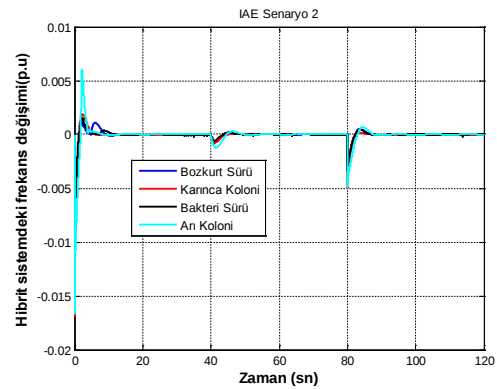


Şekil 5.56. Senaryo 2 için volan güç değişimi (IAE)

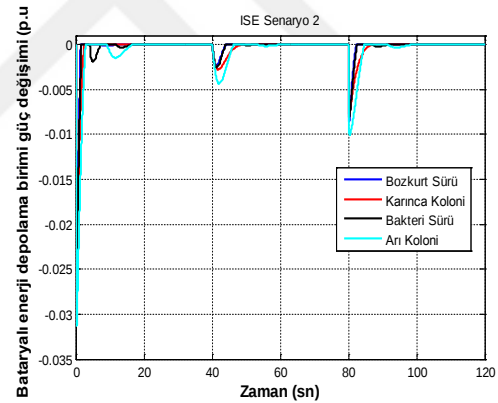
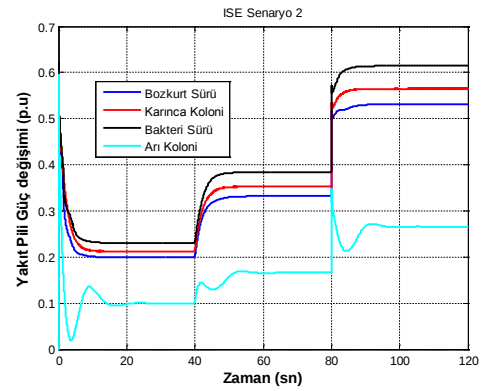
Şekil 5.57 ve Şekil 5.58'de sırasıyla hibrit sistemin güç ve frekans değişimi her bir optimizasyon algoritması için IAE maliyet indeksinde verilmektedir.



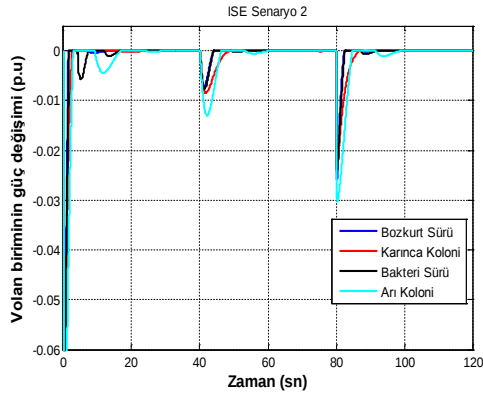
Şekil 5.57. Senaryo 2 sistemin güç değişimi (IAE)



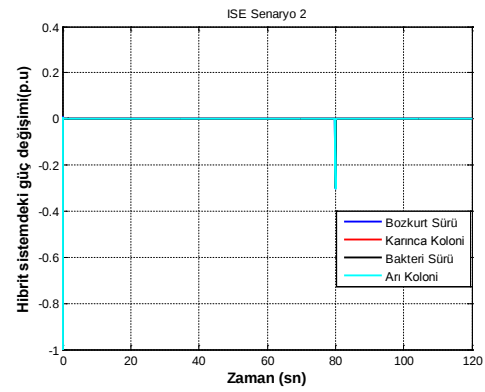
Şekil 5.58. Senaryo 2 sistemin frekans değişimi (IAE)



59

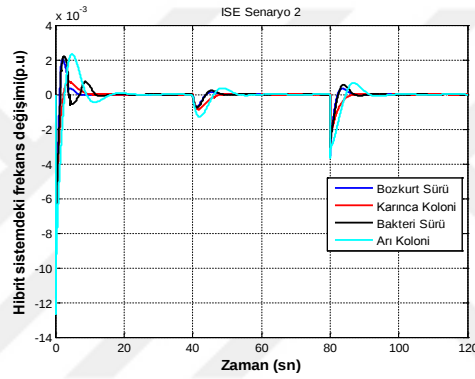


Şekil 5.63. Senaryo 2 için volan güç değişimi(ISE)



Şekil 5.64. Senaryo 2 sistemin güç değişimi(ISE)

Şekil 5.65’de hibrit sistemin frekans değişimi her bir optimizasyon algoritması için ISE maliyet indeksi verilmektedir.



Şekil 5.65. Senaryo 2 için hibrit sistemin frekans değişimi(ISE)

Yapılan benzetim sonucunda DEG, AE ve FC için PID kontrolör kazançlarının elde edildiği sonuçlar sırasıyla Tablo 5.7, Tablo 5.8 ve Tablo 5.9’de verilmiştir.

Tablo 5.7. Senaryo 2’ye göre dizel generatör için bulunan değerler

		ITSE	ITAE	IAE	ISE
Bozkurt Sürü	Kp_deg	13,187	19,328	14,610	19,661
	Ki_deg	14,215	19,685	12,389	16,157
	Kd_deg	4,308	2,485	13,868	15,742
Karınca Koloni	Kp_deg	19,620	18,116	18,376	17,137
	Ki_deg	8,326	18,810	17,043	5,353
	Kd_deg	10,445	9,184	11,235	18,844
Bakteri Sürü	Kp_deg	5,183	16,171	15,823	15,440
	Ki_deg	15,258	19,259	14,549	11,669
	Kd_deg	6,660	18,549	16,573	17,433
Arı Koloni	Kp_deg	19,309	19,133	19,534	18,911
	Ki_deg	14,162	16,750	19,970	11,288
	Kd_deg	7,548	13,650	3,185	16,054

Tablo 5.8. Senaryo 2'ye göre elektolizör için bulunan değerler

		ITSE	ITAE	IAE	ISE
Bozkurt Sürü	Kp_ae	8,799433	9,146727	3,803356	13,30684
	Ki_ae	1,298397	14,08196	7,156049	4,106216
	Kd_ae	6,230601	14,64892	16,42818	13,86927
Karınca Koloni	Kp_ae	4,442226	1,011599	7,690926	5,973613
	Ki_ae	0,301883	0,171935	6,327472	1,811279
	Kd_ae	4,902042	0,013998	3,036789	0,175934
Bakteri Sürü	Kp_ae	3,253222	7,90434	0,632748	14,28223
	Ki_ae	1,315535	10,81714	3,616212	6,196439
	Kd_ae	11,50782	3,883103	15,16811	19,02163
Arı Koloni	Kp_ae	14,7234	8,900339	9,147805	8,528239
	Ki_ae	7,836599	12,26697	19,14317	14,15446
	Kd_ae	6,61963	5,891141	0,41461	12,7195

Tablo 5.9. Senaryo 2'ye göre yakıt pili için bulunan değerler

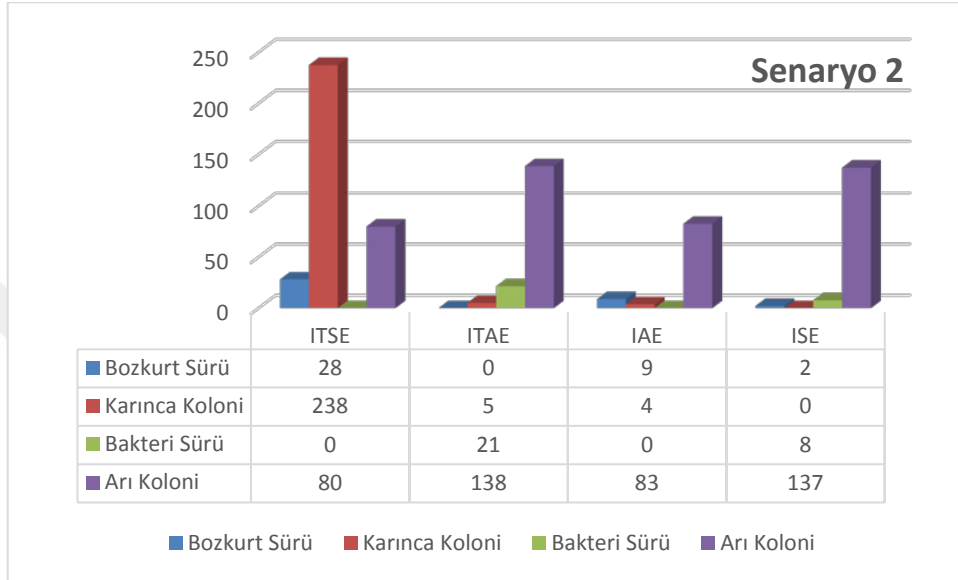
		ITSE	ITAE	IAE	ISE
Bozkurt Sürü	Kp_fc	17,218	19,499	18,240	19,576
	Ki_fc	19,667	10,684	12,509	10,639
	Kd_fc	10,483	19,286	19,893	17,221
Karınca Koloni	Kp_fc	5,585	19,456	19,968	17,872
	Ki_fc	1,369	13,472	4,786	4,284
	Kd_fc	1,403	14,380	12,798	19,896
Bakteri Sürü	Kp_fc	17,522	18,781	19,936	16,341
	Ki_fc	9,521	8,074	12,177	12,871
	Kd_fc	17,407	12,402	19,386	19,709
Arı Koloni	Kp_fc	1,623	1,688	0,269	0,132
	Ki_fc	0,468	1,366	0,846	1,872
	Kd_fc	19,547	6,680	18,675	16,603

Tablo 5.10'da senaryo 2'ye ilişkin maliyet değerleri verilmektedir. En küçük maliyet değeri en iyi sonucu ifade eder. Buna göre tablodaki en koyu renkli hücrede en iyi sonuç yer alırken en soluk renkli hücrede en kötü sonuç gösterilmektedir.

Tablo 5.10. Senaryo 2 için maliyet değerleri

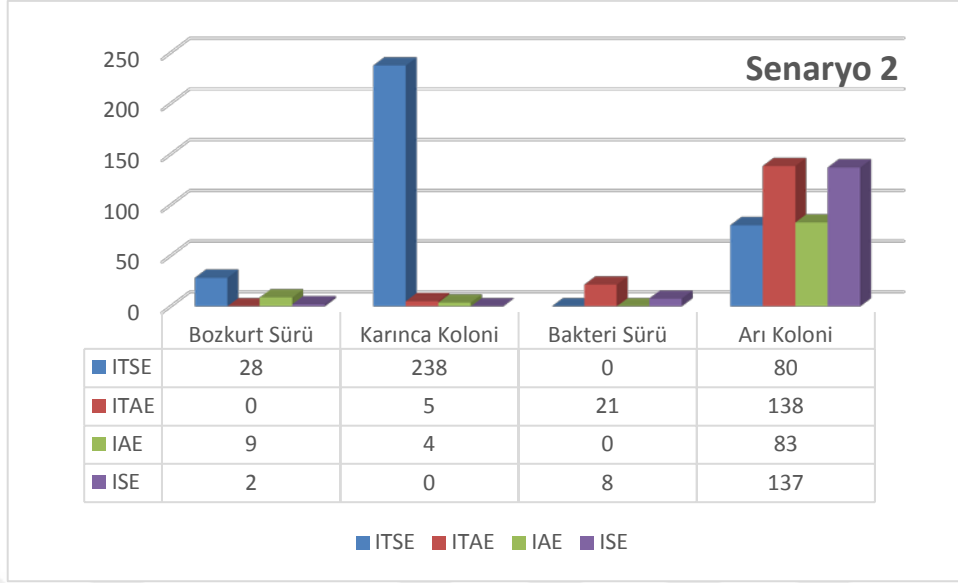
	ITSE	ITAE	IAE	ISE
Bozkurt Sürü	0,00106396	0,38636395	0,01808571	0,00005389
Karınca Koloni	0,00280148	0,40609666	0,01724743	0,00005276
Bakteri Sürü	0,00083006	0,46918189	0,01662045	0,00005686
Arı Koloni	0,001494	0,921266	0,030356	0,000125

Şekil 5.66’da senaryo 2 için her bir maliyet indeksine göre optimizasyon algoritmalarının karşılaştırılması grafik halinde verilmektedir. En iyi sonuç değeri ‘0’ olarak alınıp diğer değerler bu referansa göre belirlenmiştir. Buna göre en iyi sonuçlar ITSE ve IAE için BSO algoritmasından, ITAE için GWO algoritmasından ve ISE için ACO algoritmasından elde edilmektedir.



Şekil 5.66. Senaryo 2 için optimizasyon algoritmalarının karşılaştırılması

Şekil 5.67’de senaryo 2 için her bir optimizasyon algoritmasına göre maliyet indekslerinin karşılaştırılması grafik halinde verilmektedir. En iyi sonuç değeri ‘0’ olarak alınıp diğer değerler bu referansa göre belirlenmiştir. Buna göre en iyi sonuçlar GWO algoritması için ITAE’den, ACO algoritması için ISE’den, BSO algoritması için ITSE ve IAE’den ve ABC algoritması için ITSE’den elde edilmektedir.



Şekil 5.67. Senaryo 2 için maliyet indekslerinin karşılaştırılması

Tablo 5.11. Senaryo 2 için yöntem-maliyet indeksi tablosu

Yöntem	Maliyet İndeksi
TLBOA [98]	0,0161
QOHSAs[98]	0,0093
Bozkurt Sürü	0,00005389
Karınca Koloni	0,00005276
Bakteri Sürü	0,00005686
Arı Koloni	0,000125

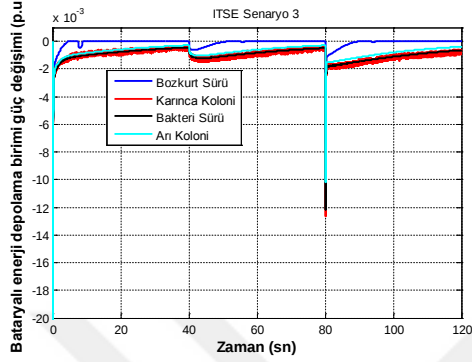
Senaryo 2 için optimizasyon yöntemlerine göre ISE maliyet indeksi değerleri Tablo 5.11’de verilmiştir.

5.2.3. Senaryo 3

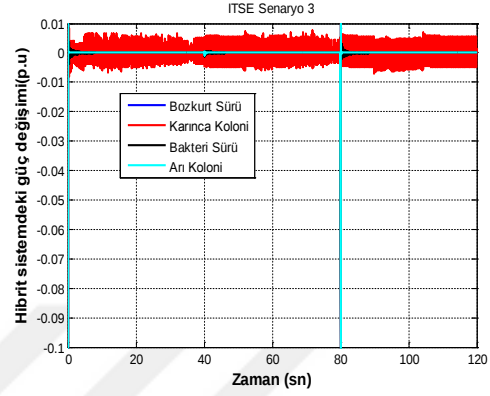
Senaryo 3’e göre çalıştırılan hibrit güç sistem modeli WTG, SPVG, DEG, FC, AE, BESS ve UC ünitelerini içermektedir ve simulasyon $t = 120$ s için gerçekleştirilmiştir. Tablo 5.1’de verildiği gibi P_{wtg} ve P_{spvg} değerleri $t = 0-40$ s için sırasıyla 0.5 pu ve 0.2 pu değerlerinde tutulmuştur. 40 s’den sonra ise bu değerler sırasıyla 0.4 pu ve 0.1 pu’ya

64

Şekil 5.72’de BESS’in güç değişimi her bir optimizasyon algoritması için ITSE maliyet indeksinde verilmektedir. Şekil 5.73’de ise hibrit sistemin güç değişimi her bir optimizasyon algoritması için ITSE maliyet indeksinde verilmiştir.

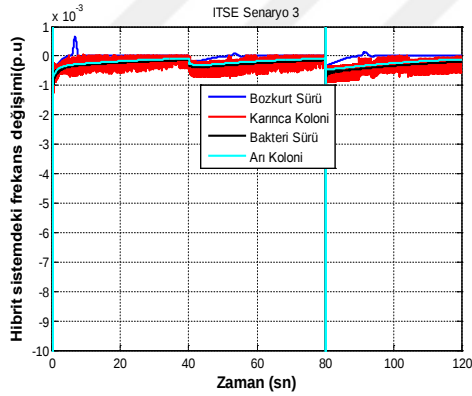


Şekil 5.72. Senaryo 3 için BESS güç değişimi(ITSE)

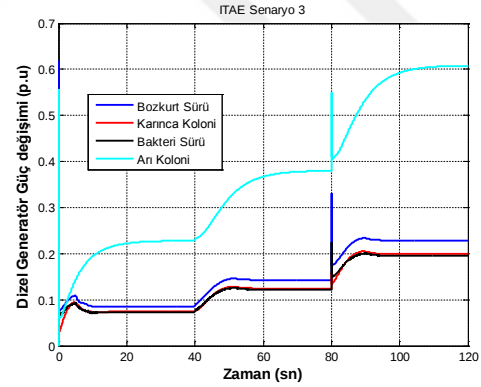


Şekil 5.73. Senaryo 3 sistemin güç değişimi(ITSE)

Şekil 5.74 ve Şekil 5.75’de sırasıyla hibrit sistemin frekans ve güç değişimi her bir optimizasyon algoritması için sırasıyla ITSE ve ITAE maliyet indekslerinde verilmektedir.

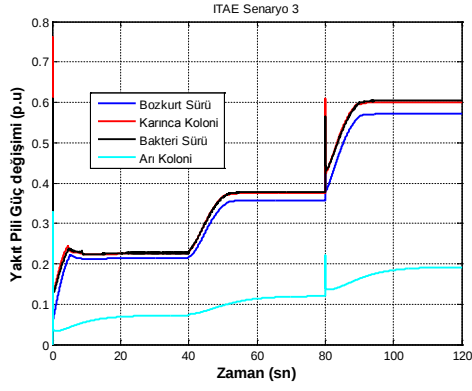


Şekil 5.74. Senaryo 3 sistemin frekans değişimi(ITSE)

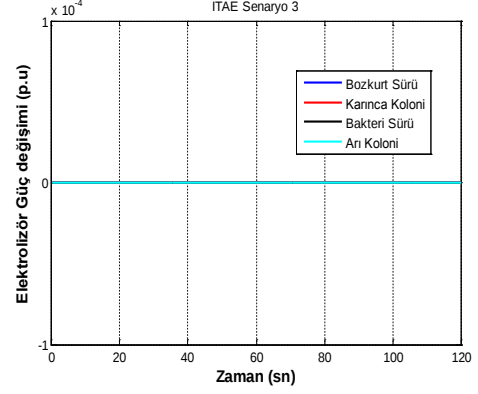


Şekil 5.75. Senaryo 3 için DEG güç değişimi(ITAE)

Şekil 5.76 ve Şekil 5.77’de sırasıyla FC ve AE’nin güç değişimleri her bir optimizasyon algoritması için ITAE maliyet indeksinde verilmektedir.

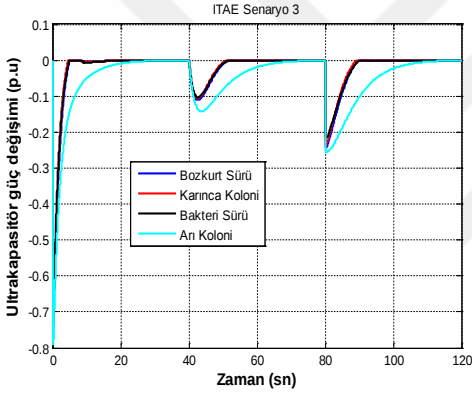


Şekil 5.76. Senaryo 3 için FC güç değişimi(ITAE)

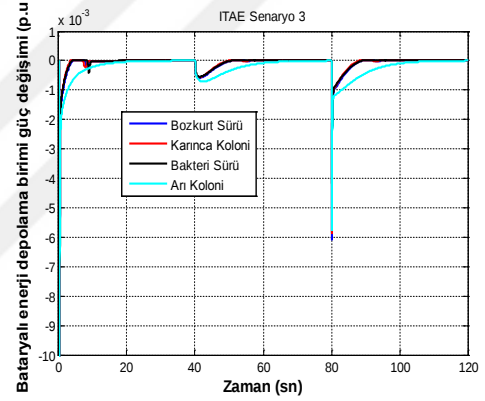


Şekil 5.77. Senaryo 3 için AE güç değişimi(ITAE)

Şekil 5.78 ve Şekil 5.79’da sırasıyla UC ve BESS’nin güç değişimleri her bir optimizasyon algoritması için ITAE maliyet indeksinde verilmektedir.

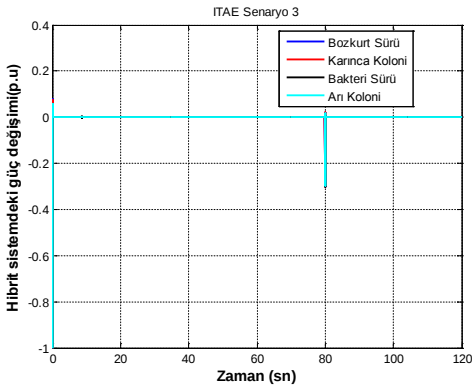


Şekil 5.78. Senaryo 3 için UC güç değişimi(ITAE)

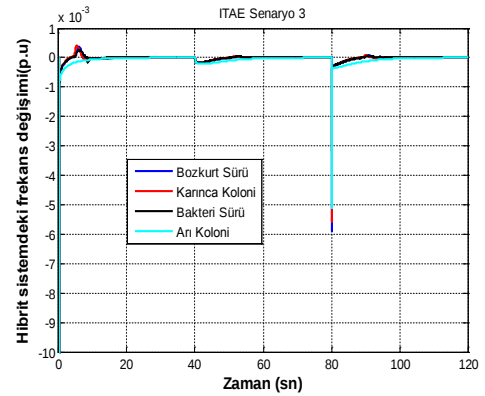


Şekil 5.79. Senaryo 3 için BESS güç değişimi(ITAE)

Şekil 5.80 ve Şekil 5.81’de sırasıyla hibrit sistemin güç ve frekans değişimleri her bir optimizasyon algoritması için ITAE maliyet indeksinde verilmektedir.

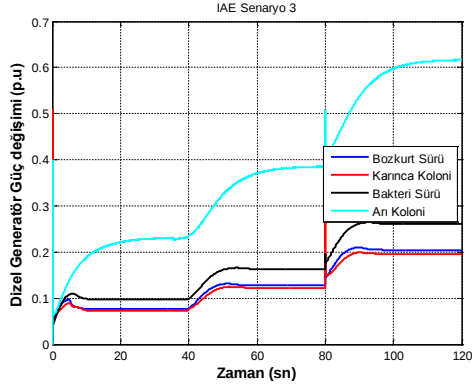


Şekil 5.80. Senaryo 3 sistemin güç değişimi(ITAE)

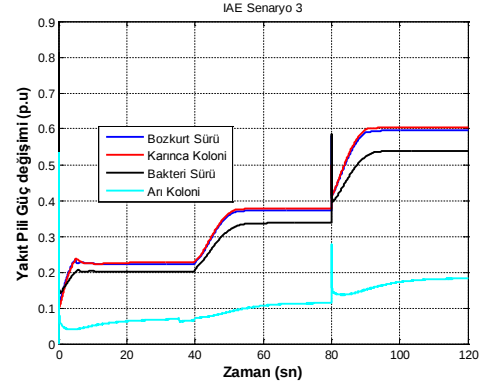


Şekil 5.81. Senaryo3 sistemin frekans değişimi(ITAE)

Şekil 5.82 ve Şekil 5.83’de sırasıyla DEG ve FC’nin güç değişimleri her bir optimizasyon algoritması için IAE maliyet indeksinde verilmektedir.

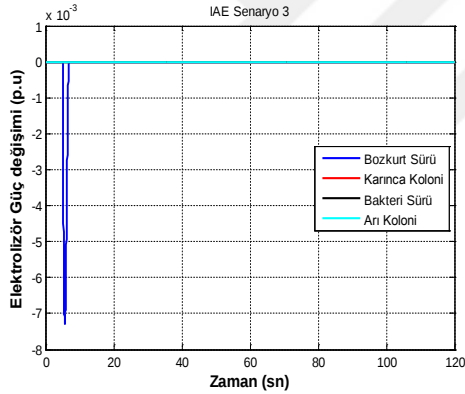


Şekil 5.82. Senaryo 3 için DEG güç değişimi(IAE)

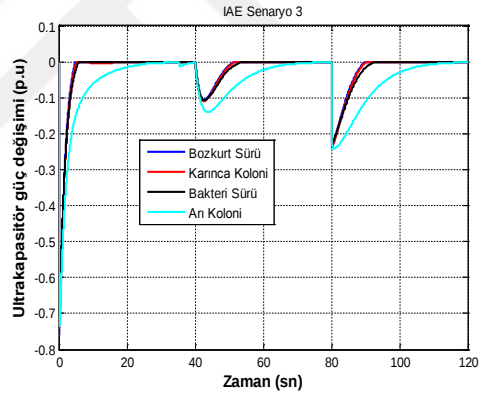


Şekil 5.83. Senaryo 3 için FC güç değişimi(IAE)

Şekil 5.84 ve Şekil 5.85’de sırasıyla AE ve UC’nin güç değişimleri her bir optimizasyon algoritması için IAE maliyet indeksinde verilmektedir.

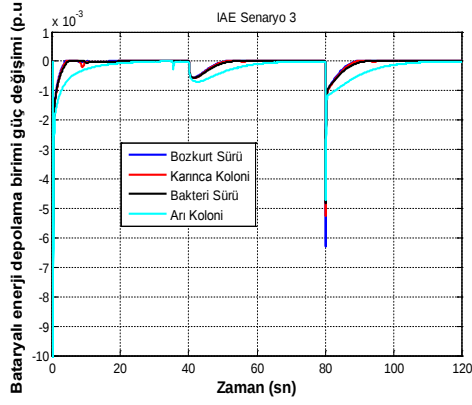


Şekil 5.84. Senaryo 3 için AE güç değişimi(IAE)

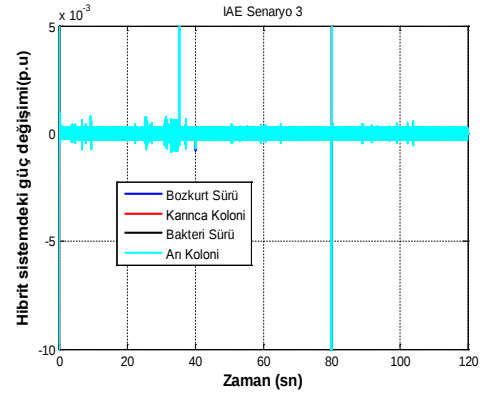


Şekil 5.85. Senaryo 3 için UC güç değişimi(IAE)

Şekil 5.86 ve Şekil 5.87’de sırasıyla BESS ve hibrit güç sisteminin güç değişimleri her bir optimizasyon algoritması için IAE maliyet indeksinde verilmektedir.

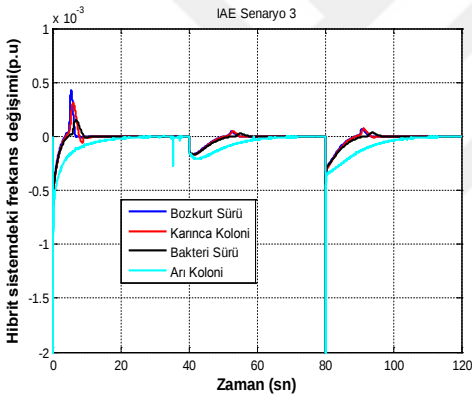


Şekil 5.86. Senaryo 3 için BESS güç değişimi(IAE)

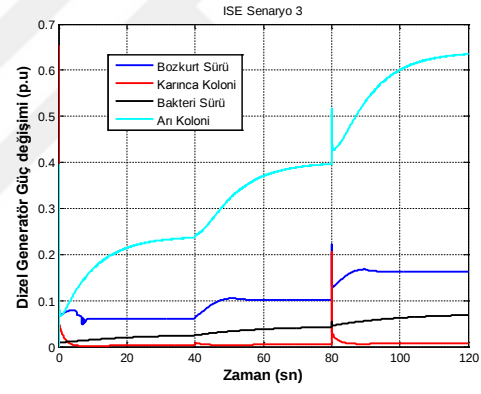


Şekil 5.87. Senaryo 3 sistemin güç değişimi(IAE)

Şekil 5.88 ve Şekil 5.89'da sırasıyla hibrit sistemin frekans değişimi ve DEG'in güç değişimi her bir optimizasyon algoritması için sırasıyla IAE ve ISE maliyet indekslerinde verilmektedir.

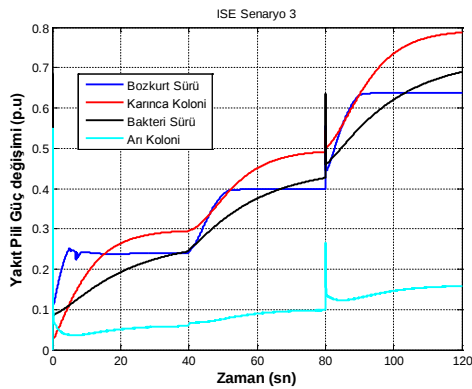


Şekil 5.88. Senaryo 3 sistem frekans değişimi(IAE)

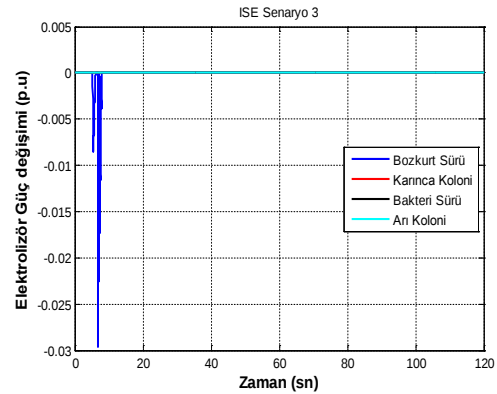


Şekil 5.89. Senaryo 3 için DEG güç değişimi(ISE)

Şekil 5.90 ve Şekil 5.91'de sırasıyla FC ve AE'nin güç değişimleri her bir optimizasyon algoritması için ISE maliyet indeksinde verilmektedir.

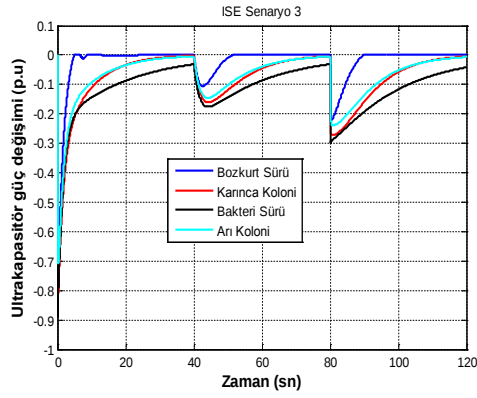


Şekil 5.90. Senaryo 3 için FC güç değişimi(ISE)

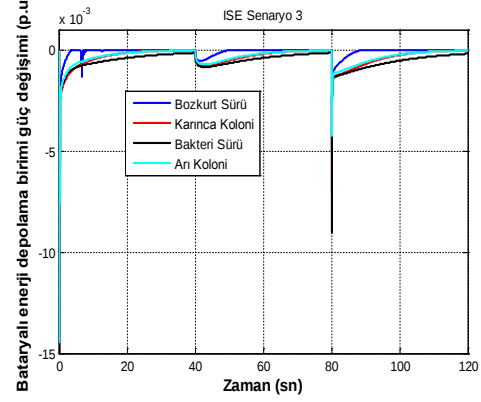


Şekil 5.91. Senaryo 3 için AE güç değişimi(ISE)

Şekil 5.92 ve Şekil 5.93’de sırasıyla UC ve BESS’nin güç değişimleri her bir optimizasyon algoritması için ISE maliyet indeksinde verilmektedir.

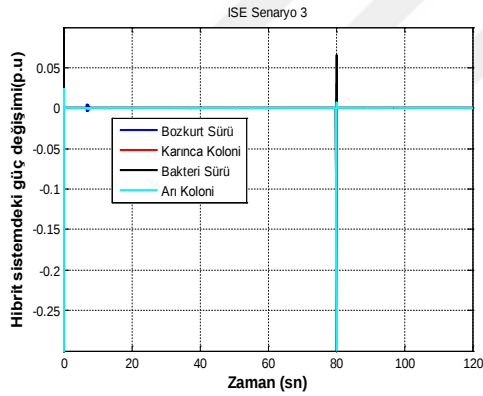


Şekil 5.92. Senaryo 3 için ultrakapasitör güç değişimi(ISE)

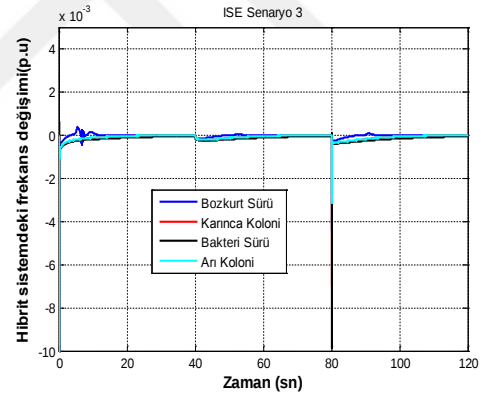


Şekil 5.93. Senaryo 3 için BESS güç değişimi(ISE)

Şekil 5.94 ve Şekil 5.95’de sırasıyla hibrit sistemin güç ve frekans değişimleri her bir optimizasyon algoritması için ISE maliyet indeksinde verilmektedir.



Şekil 5.94. Senaryo 3 için hibrit sistemin güç değişimi(ISE)



Şekil 5.95. Senaryo 3 için hibrit sistemin frekans değişimi(ISE)

Yapılan benzetim sonucunda DEG, AE ve FC için PID kontrolör kazançlarının elde edildiği sonuçlar sırasıyla Tablo 5.12, Tablo 5.13 ve Tablo 5.14’de verilmiştir.

Tablo 5.12. Senaryo 3'e göre dizel generatör için bulunan değerler

		ITSE	ITAE	IAE	ISE
Bozkurt Sürü	Kp_deg	14,471	16,025	17,613	19,160
	Ki_deg	12,335	19,301	18,413	14,936
	Kd_deg	14,060	16,514	4,084	13,681
Karınca Koloni	Kp_deg	11,729	8,198	8,942	0,341
	Ki_deg	2,806	19,062	16,647	0,167
	Kd_deg	4,926	3,204	16,647	14,934
Bakteri Sürü	Kp_deg	2,503	18,342	15,696	3,383
	Ki_deg	3,087	18,166	19,788	1,009
	Kd_deg	5,076	15,713	3,896	0,635
Arı Koloni	Kp_deg	9,040	4,501	10,555	12,095
	Ki_deg	6,719	18,993	18,306	15,186
	Kd_deg	2,357	17,090	16,044	18,593

Tablo 5.13. Senaryo 3'e göre elektrolizör için bulunan değerler

		ITSE	ITAE	IAE	ISE
Bozkurt Sürü	Kp_ae	11,589	6,508	14,236	17,433
	Ki_ae	0,448	5,024	0,779	2,440
	Kd_ae	1,978	7,089	3,097	11,512
Karınca Koloni	Kp_ae	16,157	1,389	8,076	1,431
	Ki_ae	3,762	9,950	1,893	11,407
	Kd_ae	2,253	1,571	6,023	0,095
Bakteri Sürü	Kp_ae	1,898	19,657	11,037	3,194
	Ki_ae	3,775	10,297	17,192	0,518
	Kd_ae	0,003	14,946	6,667	2,400
Arı Koloni	Kp_ae	11,110	2,971	7,369	19,337
	Ki_ae	3,164	10,940	6,833	13,149
	Kd_ae	4,943	15,825	15,894	7,101

Tablo 5.14. Senaryo 3'e göre yakıt pili için bulunan değerler

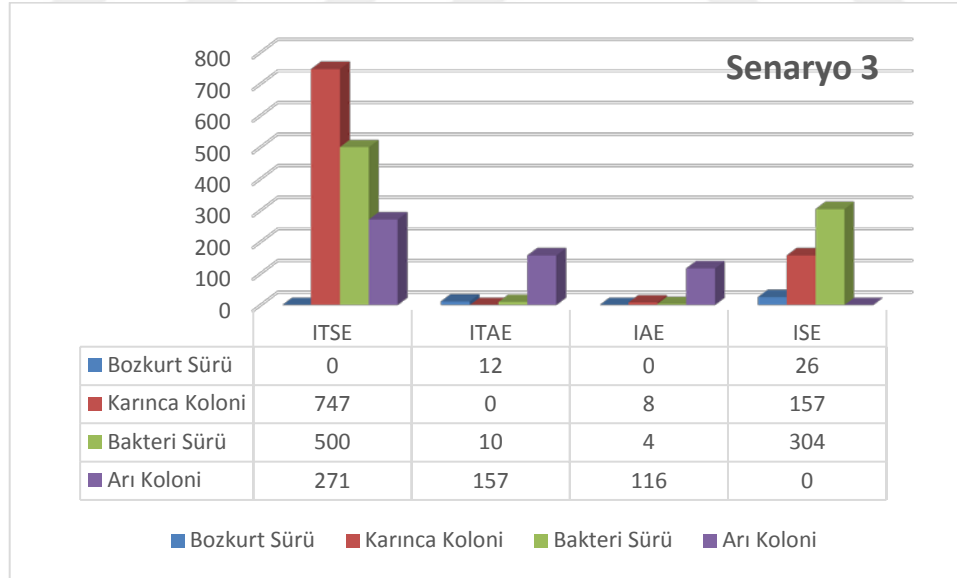
		ITSE	ITAE	IAE	ISE
Bozkurt Sürü	Kp_fc	6,303	11,583	17,868	17,664
	Ki_fc	15,587	16,157	17,894	19,516
	Kd_fc	0,764	4,353	11,120	11,876
Karınca Koloni	Kp_fc	0,341	18,922	18,696	2,820
	Ki_fc	0,829	19,196	17,193	5,575
	Kd_fc	1,443	14,208	8,582	2,598
Bakteri Sürü	Kp_fc	1,243	18,315	18,667	12,643
	Ki_fc	0,845	18,760	13,644	3,405
	Kd_fc	1,692	19,140	19,961	7,441
Arı Koloni	Kp_fc	1,112	1,536	0,571	1,522
	Ki_fc	0,370	1,997	1,807	1,264
	Kd_fc	5,025	6,692	14,352	17,315

Tablo 5.15’de senaryo 3’e ilişkin maliyet değerleri verilmektedir. En küçük maliyet değeri en iyi sonucu ifade eder. Buna göre tablodaki en koyu renkli hücrede en iyi sonuç yer alırken en soluk renkli hücrede en kötü sonuç gösterilmektedir.

Tablo 5.15. Senaryo 3 için maliyet değerleri

	ITSE	ITAE	IAE	ISE
Bozkurt Sürü	0,00017046	0,19061262	0,00468661	0,00001023
Karınca Koloni	0,00144364	0,17072107	0,00507248	0,00002095
Bakteri Sürü	0,00102239	0,18798146	0,00485171	0,00003287
Arı Koloni	0,000632	0,439418	0,010125	0,00000814

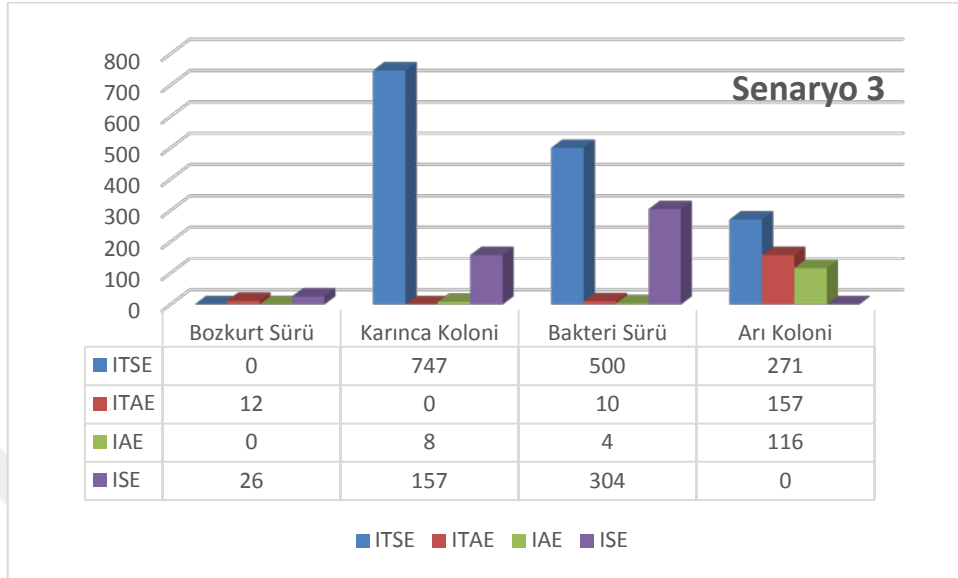
Şekil 5.96’da senaryo 3 için her bir maliyet indeksine göre optimizasyon algoritmalarının karşılaştırılması grafik halinde verilmektedir. En iyi sonuç değeri ‘0’ olarak alınıp diğer değerler bu referansa göre belirlenmiştir. Buna göre en iyi sonuçlar ITSE ve IAE için GWO algoritmasından elde edilirken ITAE için ACO algoritmasından ve ISE için ABC algoritmasından elde edilmektedir.



Şekil 5.96. Senaryo 3 için optimizasyon algoritmalarının karşılaştırılması

Şekil 5.97’de senaryo 3 için her bir optimizasyon algoritmasına göre maliyet indekslerinin karşılaştırılması grafik halinde verilmektedir. En iyi sonuç değeri ‘0’ olarak alınıp diğer değerler bu referansa göre belirlenmiştir. Buna göre en iyi sonuçlar GWO

algoritması için ITSE ve IAE'den, ACO algoritması için ITAE'den, BSO algoritması için IAE'den ve ABC algoritması için ISE'den elde edilmektedir.



Şekil 5.97. Senaryo 3 için maliyet indekslerinin karşılaştırması

Tablo 5.16. Senaryo 3 için yöntem-maliyet indeksi tablosu

Yöntem	Maliyet İndeksi
TLBOA [98]	0,0034
QOHSA[98]	0,0023
Bozkurt Sürü	0,00001023
Karınca Koloni	0,00002095
Bakteri Sürü	0,00003287
Arı Koloni	0,00000814

Senaryo 3'e için kullanılan optimizasyon yöntemlerinin ISE maliyet indeksi değerleri Tablo 5.16'da verilmiştir.

6. SONUÇ

Mikro şebeke kavramı geleneksel güç sistemlerinde karşılaşılan ekonomik ve çevresel sorunların artması sonucu ortaya çıkmıştır. Küresel ısınmada azalma ve çevresel kısıtlamaları ortadan kaldırmadaki yetenekleri sayesinde yenilenebilir enerji kaynaklarının mikro şebekelerde kullanılması, güç endüstrisinde hızla yaygınlaşmaktadır.

Mikro şebekeler çoğunlukla elektrik güç üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarını kullandığı için üretim miktarları sabit değildir ve sürekli değişim göstermektedir. Güç sistemlerindeki değişiklikler ve belirsizlikler, sistemin çalışması boyunca uygun bir performans sağlamada klasik kontrolörlerin yetersizliğini ortaya koymaktadır. Bu durumu önlemek için kontrolör kazançlarının optimal değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında farklı güç üretim ve enerji depolama üniteleri içeren şebekeden izole olmuş bir mikro şebekenin frekans kararlılığı zaman domenindeki simülasyonları kullanılarak incelenmiştir. Bu hibrit güç sisteminin tam dinamik modeli her bir güç üretim ve enerji depolama ünitelerinin basitleştirilmiş birinci derece transfer fonksiyon modelleri dikkate alınarak elde edilmiştir. Kurgulanan 3 senaryoya göre geliştirilen sistem modelinin yük-frekans kontrolünün dinamik performansı incelenmiş ve modelde kullanılan kontrolör kazançları, çeşitli sezgisel optimizasyon yöntemleri (ITSE, ISE, ITAE, IAE) performans kriterlerine göre maliyetlendirilerek optimize edilmiştir.

Bu çalışmada Shankar ve Mukherjee'nin kullanmış oldukları sistem ele alınarak, aynı senaryolar kullanılmıştır. Her bir senaryo için elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak maliyet indekslerine göre en iyi sonuçları veren optimizasyon yöntemleri belirlenmiştir. 3 senaryo için de en iyi sonuçların ISE maliyet indeksinde elde edildiği görülmüştür. Bu maliyet indeksine göre senaryo 1 için bozkurt sürü optimizasyon algoritması, senaryo 2 için karınca koloni optimizasyon algoritması ve senaryo 3 için yapay arı koloni optimizasyon algoritması en iyi yöntem olarak belirlenmiştir. Ayrıca her bir senaryonun maliyet indekslerine göre en iyi optimizasyon tekniklerini belirtmek gerekirse; senaryo 1'e göre optimum sonuçlar ITSE ve ISE için GWO algoritmasından, ITAE ve IAE için ACO algoritmasından, senaryo 2'ye göre optimum sonuçlar ITSE ve IAE için BSO algoritmasından, ITAE için GWO algoritmasından ve ISE için ACO algoritmasından,

Senaryo 3 için ise optimum sonuçlar ITSE ve IAE için GWO algoritmasından ITAE için ACO algoritmasından ve ISE için ABC algoritmasından elde edilmektedir.

Bu çalışmada, elde edilen sonuçlarla Shankar ve Mukherjee'nin ISE maliyet indeksine göre elde ettikleri sonuçlar karşılaştırıldığında, bu çalışmada kullanılan yöntemlerin en yüksek maliyet değerinin bile ilgili çalışmanın en düşük maliyet değerinden 60 kat daha düşük olduğu görülmüştür.

Sonraki çalışmalarda, amaç fonksiyonu olarak literatürdeki fonksiyonlar yerine probleme özel bir fonksiyonla analiz yapılması problemin çözümüne yönelik önemli bir adım olabilir. Örnek olarak bulanık mantıkla elde edilen bir amaç fonksiyonu incelenebilir.



ÖZGEÇMİŞ

SEDA ÖZEL 1985 yılında Ünye’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Samsun’da tamamladı. 2010 yılında Fırat Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği’nden mezun oldu. 2014 yılında Fırat Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Elektrik Tesisleri Anabilimdalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı.



KAYNAKLAR

1. **Hatziargyriou, N. (Ed.). (2013).** Microgrids: architectures and control. John Wiley Sons.
2. **Lasseter, R. H. (2002).** Microgrids. In Power Engineering Society Winter Meeting, 2002. IEEE (Vol. 1, pp. 305-308). IEEE.
3. **Barnes, M., Dimeas, A., Engler, A., Fitzner, C., Hatziargyriou, N., Jones, C., Vandenberg, M. (2005).** Microgrid laboratory facilities. In 2005 International Conference on Future Power Systems (pp. 6-pp). IEEE.
4. **Meiqin, M., Chang, L., Ming, D. (2008).** Integration and intelligent control of micro-grids with multi-energy generations: A review. In 2008 IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies (pp. 777-780). IEEE.
5. **Lopes, J. P., Moreira, C. L., Resende, F. O. (2005).** Control strategies for microgrids black start and islanded operation. International Journal of Distributed Energy Resources, 1(3), 241-261.
6. **Celli, G., Pilo, F., Pisano, G., Soma, G. G. (2005).** Optimal participation of a microgrid to the energy market with an intelligent EMS. In 2005 International Power Engineering Conference (pp. 663-668). IEEE.
7. **Pilo, F., Celli, G., Ghiani, E., Soma, G. G. (2013).** New electricity distribution network planning approaches for integrating renewable. Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment, 2(2), 140-157.
8. **Patra, S. B., Mitra, J., Ranade, S. J. (2005).** Microgrid architecture: a reliability constrained approach. In IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2005 (pp. 2372-2377). IEEE.
9. **Alibhai, Z., Gruver, W. A., Kotak, D. B., Sabaz, D. (2004).** Distributed coordination of micro-grids using bilateral contracts. In Systems, Man and Cybernetics, 2004 IEEE International Conference on (Vol. 2, pp. 1990-1995). IEEE.

10. **Dimeas, A., Hatziargyriou, N. (2004, May).** A multi-agent system for microgrids. In Hellenic Conference on Artificial Intelligence (pp. 447-455). Springer Berlin Heidelberg.
11. **Meliopoulos, A. S., Cokkinides, G. J. (2006).** Small Signal Stability Analysis of the Integrated Power System-MicroGrid Model. In Proc. IEEE Power Engineering Society General Meeting.
12. **Jayawarna, N., Jenkins, N., Barnes, M., Lorentzou, M., Papthanassiou, S., Hatziargyriou, N. (2005).** Safety analysis of a microgrid. In 2005 International Conference on Future Power Systems (pp. 7-pp). IEEE.
13. **Al-Nasseri, H., Redfern, M. A., O'Gorman, R. (2005).** Protecting micro-grid systems containing solid-state converter generation. In 2005 international conference on future power systems (pp. 5-pp). IEEE.
14. **Li, Y. W., Vilathgamuwa, D. M., Loh, P. C. (2004).** A grid-interfacing power quality compensator for three-phase three-wire microgrid applications. In Power Electronics Specialists Conference, 2004. PESC 04. 2004 IEEE 35th Annual (Vol. 3, pp. 2011-2017). IEEE.
15. **Nichols, D. K., Stevens, J., Lasseter, R. H., Eto, J. H., Vollkommer, H. T. (2006).** Validation of the CERTS microgrid concept the CEC/CERTS microgrid testbed. In 2006 IEEE Power Engineering Society General Meeting (pp. 3-pp). IEEE.
16. **Ito, Y., Zhongqing, Y., Akagi, H. (2004).** DC microgrid based distribution power generation system. In Power Electronics and Motion Control Conference, 2004. IPEDMC 2004. The 4th International (Vol. 3, pp. 1740-1745). IEEE.
17. **Krishnamurthy, S., Jahns, T. M., Lasseter, R. H. (2008).** The operation of diesel gensets in a CERTS microgrid. In Power and Energy Society General Meeting- Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008 IEEE (pp. 1-8). IEEE.

18. **Benjamin, K., Robert, L., Toshifumi, I. (2008).** A look at microgrid technologies and testing, projects from around the world. IEEE Power and energy magazine, 6(3), 41-53.
19. **Loix, T., Leuven, K. U. (2009).** The first micro grid in the Netherlands: Bronsbergen. Retrieved on December, 27, 2012.
20. **Bossi, C., Degner, T., Tselepis, S. (2006).** Distributed generation with high penetration of renewable energy sources. Dispower, Final Public Report, Laboratory Tests Case Studies and Field Experience, Kessel, Germany.
21. **Erge, T., Becker, R., Kroger-Vodde, A., Laukamp, H., Thoma, M., Werner, R. (2006).** Report on improved power management in low voltage grids by the application of the PoMS system. DISPOWER Project 2005.
22. **Mitra, I., Degner, T., Braun, M. (2008).** Distributed generation and microgrids for small island electrification in developing countries: a review. Solar Energy Society of India, 18(1), 6-20.
23. **Moneta, D., Marciandi, M., Tornelli, C., Mora, P. (2009).** Voltage optimization of a LV microgrid with DERs: field test. In Electricity Distribution-Part 1, 2009. CIRED 2009. 20th International Conference and Exhibition on (pp. 1-4). IET.
24. **Hughes, P., Hare, S., Pina, M. (2012).** First Principles: Technology as an Enabler for Productive Power Markets, Pasific Energy Summit Paper.
25. **Osika, O., Degner, T., Hardt, C., Lange, H., Vandenberg, M., Dimeas, A., Elmasides, K. (2005).** Description of the laboratory micro-grids. Microgrids project report.
26. **Jayawarna, N., Jones, C., Barnes, M., Jenkins, N. (2007).** Operating microgrid energy storage control during network faults. In 2007 IEEE International Conference on System of Systems Engineering (pp. 1-7). IEEE.

27. **Morozumi, S., Nakama, H., Inoue, N. (2008).** Demonstration projects for grid-connection issues in Japan. *e i Elektrotechnik und Informationstechnik*, 125(12), 426-431.
28. **Hirose, K., Takeda, T., Muroyama, S. (2006).** Study on field demonstration of multiple power quality levels system in Sendai. In *INTELEC 06-Twenty-Eighth International Telecommunications Energy Conference* (pp. 1-6). IEEE.
29. **Köse, G. (2010).** Hibrit (Güneş+ Rüzgar) Enerji Sisteminden Elektrik Üretimi: Kütahya Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 136s.
30. **Efe, S. B., Cebeci, M. (2015).** Mikro Şebekenin Farklı İşletme Koşulları Altında İncelenmesi, 6. Enerji Verimliliği Kalitesi Sempozyumu (EVK2015), 4-6.
31. **Oktik, Ş., Tozlu, C., Eke, R., Eltez, M.** Güneş enerjisi ve Muğla üniversitesi temiz enerji kaynakları araştırma geliştirme merkezi (mutedk-arge) uygulamaları. *EİEİ Enerji Tasarrufu Etkinlikleri Bildirileri*, 17.
32. **Karaca, C. (2012).** Güneş ve rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretimi sistemi tasarımı (Doctoral dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
33. **Elgerd, O., Fosh, C. (1970).** Optimum megawatt-frequency control of multiarea electric energy systems. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 4(PAS-89), 556-563.
34. **Kumar, P., Kothari, D. P. (2005).** Recent philosophies of automatic generation control strategies in power systems. *IEEE transactions on power systems*, 20(1), 346-357.
35. **Lee, K. A., Yee, H., Teo, C. Y. (1991).** Self-tuning algorithm for automatic generation control in an interconnected power system. *Electric Power Systems Research*, 20(2), 157-165.

36. **Rubaai, A., Udo, V. (1994).** Self-tuning load frequency control: multilevel adaptive approach. IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution, 141(4), 285-290.
37. **Zeynelgil, H. L., Demiroren, A., Sengor, N. S. (2002).** The application of ANN technique to automatic generation control for multi-area power system. International journal of electrical power energy systems, 24(5), 345-354.
38. **Çam, E., Kocaarslan, I. (2005).** A fuzzy gain scheduling PI controller application for an interconnected electrical power system. Electric power systems research, 73(3), 267-274.
39. **Pothiya, S., Ngamroo, I., Kongprawechnon, W. (2007, December).** Design of optimal fuzzy logic-based PID controller using Multiple Tabu Search algorithm for AGC including SMES units. In 2007 International Power Engineering Conference (IPEC 2007) (pp. 838-843). IEEE.
40. **Taher, S. A., Hematti, R., Abdolalipour, A., Tabei, S. H. (2008).** Optimal decentralized load frequency control using HPSO algorithms in deregulated power systems. American Journal of Applied Sciences, 5(9), 1167-1174.
41. **Rashedi, E., Nezamabadi-Pour, H., Saryazdi, S. (2009).** GSA: a gravitational search algorithm. Information sciences, 179(13), 2232-2248.
42. **Bhatt, P., Ghoshal, S. P., Roy, R. (2010).** Automatic Generation Control of two-area interconnected hydro-hydro restructured power system with TCPS and SMES. ACEEE Int. J. Electr. Power Eng, 1(2).
43. **Gözde, H., Taplamacioğlu, M. C., Kocaarslan, I., Şenol, M. A. (2010).** Particle swarm optimization based pi-controller design to load-frequency control of a two area reheat thermal power system. Isı Bilimi Ve Tekniği Dergisi-Journal Of Thermal Science And Technology, 30(1), 13-21.

44. **Saikia, L. C., Nanda, J., Mishra, S. (2011).** Performance comparison of several classical controllers in AGC for multi-area interconnected thermal system. *International Journal of Electrical Power Energy Systems*, 33(3), 394-401.
45. **Duman, S., Yörükeren, N. (2012).** Automatic generation control of the two area non-reheat thermal power system using gravitational search algorithm *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)*, ISSN 0033-2097, R. 88 NR 10a.
46. **Gözde, H., Taplamacioğlu, M. C., Kocaarslan, I. (2012).** Comparative performance analysis of Artificial Bee Colony algorithm in automatic generation control for interconnected reheat thermal power system. *International Journal of Electrical Power Energy Systems*, 42(1), 167-178.
47. **Panda, S., Mohanty, B., Hota, P. K. (2013).** Hybrid BFOA–PSO algorithm for automatic generation control of linear and nonlinear interconnected power systems. *Applied Soft Computing*, 13(12), 4718-4730.
48. **Azadani, H. N., Torkzadeh, R. (2013).** Design of GA optimized fuzzy logic-based PID controller for the two area non-reheat thermal power system. In *Fuzzy Systems (IFSC), 2013 13th Iranian Conference on* (pp. 1-6). IEEE.
49. **Sahu, R. K., Panda, S., Rout, U. K. (2013).** DE optimized parallel 2-DOF PID controller for load frequency control of power system with governor dead-band nonlinearity. *International Journal of Electrical Power Energy Systems*, 49, 19-33.
50. **Yesil, E. (2014).** Interval type-2 fuzzy PID load frequency controller using Big Bang–Big Crunch optimization. *Applied Soft Computing*, 15, 100-112.
51. **Ngamroo, I., Mitani, Y., Tsuji, K. (1999).** Application of SMES coordinated with solid-state phase shifter to load frequency control. *IEEE transactions on applied superconductivity*, 9(2), 322-325.
52. **Lucic, P., Teodorovic, D. (2002).** Transportation modeling: an artificial life approach. In *Tools with Artificial Intelligence, 2002.(ICTAI 2002). Proceedings.*

14th IEEE International Conference on (pp. 216-223). IEEE.

53. **Karaboga, D. (2005).** An idea based on honey bee swarm for numerical optimization (Vol. 200). Technical report-tr06, Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department.
54. **Dorigo, M., Maniezzo, V., Coloni, A. (1996).** Ant system: optimization by a colony of cooperating agents. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics), 26(1), 29-41.
55. **Bremermann, H. (1974).** Chemotaxis and optimization. Journal of the Franklin Institute, 297(5), 397-404.
56. **Mirjalili, S., Mirjalili, S. M., Lewis, A. (2014).** Grey wolf optimizer. Advances in Engineering Software, 69, 46-61.
57. **R. Akbari, R. Hedayatzadeh, B. Hasanizadeh, and K. Ziarati, (2012)** A Multi-Objective Artificial Bee Colony Algorithm, Journal of Swarm and Evolutionary Computation, Elsevier, Vol. 2, No. 1, pp. 39-52.
58. **Banharnsakun, A., Achalakul, T., Sirinaovakul, B. (2011).** The best-so-far selection in artificial bee colony algorithm. Applied Soft Computing, 11(2), 2888-2901.
59. **Keskinürk, T., Söyler, H. (2006).** Global karınca kolonisi optimizasyonu. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21(4).
60. **Bullnheimer, B., Hartl, R. F., Strauss, C. (1997).** A new rank based version of the Ant System. A computational study..
61. **Stützle, T., Hoos, H. H. (2000).** MAX-MIN ant system. Future generation computer systems, 16(8), 889-914.
62. www.energy.gov.tr Son erişim tarihi: 20.07.2016, 15:00

63. **Ağış, O. (1998).** '21 Yüzyılda Kojenerasyonun Yen', Bölgesel Isıtma ve Kojenerasyon Konferansı Bildiriler Kitabı, 21-24
64. **Lucas, K. (2000).** 'On the Thermodynamics of Cogeneration', Int. J Therm Sa , pp 1039-1046
65. **Aslan, Y., Yaşar, C., Karabörk, M. Ç. (2004).** Bir mikro-hidro örneği: Kayaboğazı Barajı. ELECO 2004, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, 20-25.
66. **Çelikel R.,Özdemir M., Aydoğmuş Ö.(2016).** Implementation of a flywheel energy storage system for space applications, DOI: 10.3906/elk-1507-259.
67. **Talaq , J. and Al-Basri F. (1999).** Adaptive Fuzzy Gain Scheduling for Load Frequency Control, IEEE Transactions on power systems, 14, No. 1, 145-150.
68. **De Wit, J., Näslund, M. (2011).** Mini and Micro Cogeneration. Danish Gas Technology Centre, ICCI.
69. **Sahoo, P. K. (2008).** Exergoeconomic analysis and optimization of a cogeneration system using evolutionary programming. Applied thermal engineering, 28(13), 1580-1588.
70. **Kocaman, B.,(2014).** Mikroşebekeler için örnek bir enerji yönetimi uygulaması. BEU Journal of Science, 3(1), 35-52.
71. **J.Appelbaum,(1987).** The Quality of Load Matching in a Direct-Coupling Photovoltaic System, IEEE Trans. Vol. EC-2, No.4, pp.534-541.
72. **Altaş, İ. H. (1998).** Fotovoltaj Güneş Pilleri: Eşdeğer Devre Modelleri ve Günişığı ile Sıcaklığın Etkileri. Karadeniz Teknik Üniversitesi.

73. **Kreith, F., Kreider, J. F. (1978).** Principles of solar engineering Hemisphere Publishing Corporation, Washington, DC. New York, 299-342.
74. **Hauer, K. H. (2001).** Analysis tool for fuel cell vehicle hardware and software (controls) with an application to fuel economy comparisons of alternative system designs (No. UCD-ITS-RR-01-15).
75. **Steele, B. C., Heinzl, A. (2001).** Materials for fuel-cell technologies. Nature, 414(6861), 345-352.
76. **Schindall, J. (2007).** The charge of the ultracapacitors. IEEE Spectrum, 44(11), 42-46.
77. **Abdel-Hamid, A. M.(2001).** A Fuzzy Logic-Based Load Frequency Controller: The Multi-area Control Problem, EPE 2001, Graz
78. **Elgerd, O.I.(1982).** Electric Energy Systems Theory, Mc Graw-Hill Press., New York, 299-342
79. **Kundur, P.(1993).**Power System Stability And Control, Mc Graw-Hill Press., New York, 581-626.
80. **Zhang, Z. C., Ooi, B. T. (1993).** Multimodular current-source SPWM converters for a superconducting magnetic energy storage system. IEEE transactions on power electronics, 8(3), 250-256.
81. **Veziro, T. N., Barbir, F. (1992).** Hydrogen: the wonder fuel. International Journal of Hydrogen Energy, 17(6), 391-404.
82. **Becerikli, F. (2011).** Yüksek Basıncılı PEM (Proton Geçirgen Membran) Elektrolizör Geliştirilmesi ve Çalışma Parametrelerinin Performansa Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, 60s.
83. **Haque, M. H. (2007).** Best location of SVC to improve first swing stability limit of a power system. Electric power systems research, 77(10), 1402-1409.

84. **Hingorani, N. G., Gyuyi, L. (1999).** Understanding Facts–Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems: Inst. Elect.
85. **Kueck, J., Kirby, B., Rizy, T., Li, F., Fall, N. (2006).** Reactive power from distributed energy. The Electricity Journal, 19(10), 27-38.
86. **Magalhães de Oliveira, M. (2000).** Power Electronics for Mitigation of Voltage Sags and Improved Control of AC Power Systems.
87. **Gyugyi, L. (1987).** Fundamentals of thyristor-controlled static var compensators in electric power system applications. In Symposium on Application of Static Car Systems for System Dynamic Performance, IEEE Publication (No. 7TH0187-5).
88. **Schauder, C., Gernhardt, M., Stacey, E., Lemak, T., Gyugyi, L., Cease, T. W., Edris, A. (1997).** Operation of ± 100 MVar TVA Statcon. IEEE Transactions on Power Delivery, 12(4), 1805-1811.
89. **Wang, Y., Mao, S., Nelms, R. M. (2015).** Distributed Online Algorithm for Optimal Energy Distribution in Connected Microgrids. In Online Algorithms for Optimal Energy Distribution in Microgrids (pp. 63-85). Springer Briefs in Applied Sciences and Technology International Publishing.
90. **Toprak, A. (2011).** Elektrik üretimi için düşük güçlü rüzgar enerji sistemi tasarımı (Doctoral dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
91. **Ibrahim, N. A. (2012).** Modeling of micro hydroelectric system design (Doctoral dissertation, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia).
92. **Saadat, S., Noori, M., Davoodi, H., Hou, Z., Suzuki, Y., Masuda, A. (2001).** Using NiTi SMA tendons for vibration control of coastal structures. Smart Materials and Structures, 10(4), 695.
93. **Karaboga, D., Akay, B. (2009).** A comparative study of artificial bee colony algorithm. Applied mathematics and computation, 214(1), 108-132.

94. **Zhu, G., Kwong, S. (2010).** Gbest-guided artificial bee colony algorithm for numerical function optimization. *Applied Mathematics and Computation*, 217(7), 3166-3173.
95. **Li, G., Niu, P., Xiao, X. (2012).** Development and investigation of efficient artificial bee colony algorithm for numerical function optimization. *Applied soft computing*, 12(1), 320-332.
96. **Babayiğit, B., Özdemir, R.** Modifiye Yapay Arı Koloni Algoritması ile Nümerik Fonksiyon Optimizasyonu *Modified Artificial Bee Colony Algorithm for Numerical Function Optimization.*
97. **Eke, İ., Taplamacioğlu, M. C., Kocaarslan, İ. (2011).** Yapay Arı Kolonisi Algoritması Tabanlı Kararlı Güç Sistemi Dengeleyicisi Tasarımı. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(3).
98. **Başbuğ, S. (2008).** Bakteriyel Besin Arama Algoritması ile Lineer Anten Dizilerinin Diyagram Sıfırlaması, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.
99. **Niu, B., Wang, H. (2012).** Bacterial colony optimization. *Discrete Dynamics in Nature and Society*.
100. **Dorigo, M., Gambardella, L. M. (1997).** Ant colonies for the travelling salesman problem. *BioSystems*, 43(2), 73-81.
101. **Keskintürk, T., Söyler, H. (2006).** Global Karınca Kolonisi Optimizasyonu. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(4).
102. **Dorigo, M., Maniezzo, V., Colorni, A. (1991).** The ant system: An autocatalytic optimizing process.
103. **Vilà, C., Amorim, I. R., Leonard, J. A., Posada, D., Castroviejo, J., Petrucci - Fonseca, F., Wayne, R. K. (1999).** Mitochondrial DNA phylogeography and population history of the grey wolf *Canis lupus*. *Molecular Ecology*, 8(12), 2089-2103.

104. **Mitsukura, Y., Yamamoto, T., Kaneda, M. (1999).** A design of self-tuning PID controllers using a genetic algorithm. In American Control Conference, 1999. Proceedings of the 1999 (Vol. 2, pp. 1361-1365). IEEE.
105. **Shankar, G., Mukherjee, V. (2016).** Load frequency control of an autonomous hybrid power system by quasi-oppositional harmony search algorithm. International Journal of Electrical Power Energy Systems, 78, 715-734.
106. **Manabe, T., Noda, Y., Mamiya, T., Katagiri, H., Houtani, T., Nishi, M., Takeshima, H. (1998).** Facilitation of long-term potentiation and memory in mice lacking nociceptin receptors. Nature, 394(6693), 577-581.