

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK- ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE GÜÇ KALİTESİ İÇİN
OPTİMUM KAPASİTÖR YERİNİN VE DEĞERİNİN BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik- Elektronik Müh. Yeşim Aysel BAYSAL

OCAK 2016
TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun / / gün ve sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan :

Üye :

Üye :

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Elektrik enerjisine olan ihtiyacın her geçen gün artmasıyla beraber dağıtım şebekelerinde reaktif güç tüketiminden dolayı gereksiz yere kaybedilen enerji oldukça önem kazanmakta ve mevcut enerjinin verimli bir şekilde kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Bahsedilen problem bu tez çalışmasında ele alınarak ülke ekonomisinin vazgeçilmezi olan enerji kayıplarının azaltılması ve gerilim profilinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Problemin çözümü için Bulanık Uzman Sistemler, Bulanık Optimizasyon Tekniği ve Guguk Kuşu Optimizasyon Algoritması kullanılarak dağıtım şebekesine yerleştirilmesi gereken şönt kapasitörün optimum yeri ve değeri belirlenmiştir.

Bu çalışmanın amacına ulaşması için engin bilgi ve yenilikçi düşünceleriyle bana yol gösteren, lisans ve yüksek lisans öğrenimim boyunca, gerek bilimsel çalışmalarında gerekse diğer konularda beni destekleyerek yardımcı olan tez danışmanım Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ'a ilgi, destek ve tecrübelerini esirgemediğinden dolayı teşekkürlerimi saygı ve minnetle sunarım.

Çalışmalarım süresince hiçbir konuda yardımlarını eksik etmeyen Beste ve Arda ÜSTÜBİOĞLU ile Yunus ASLANHAN'a sabır, destek ve sevgileriyle yanımda oldukları için çok teşekkür ederim. Son olarak hayatım boyunca varlıkları ve destekleriyle bana güç veren ve her zaman yanımda olan anneme ve babama şükranlarımı sunarım.

Yeşim Aysel BAYSAL

Trabzon 2016

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Dağıtım Şebekelerinde Güç Kalitesi için Optimum Kapasitör Yerinin ve Değerinin Belirlenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 07/01/2016

Yeşim Aysel BAYSAL

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VII
SUMMARY.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Literatür Araştırması	2
1.3. Dağıtım Sistemlerinde Güç ve Enerji Kayıplarını Azaltma Yöntemleri.....	7
1.3.1 Yeniden Yapılandırma.....	7
1.3.2 Dağıtık Üretim.....	7
1.3.3. Şönt Kapasitör Yerleştirme	8
1.4. Reaktif Güç Kompanzasyonu.....	9
1.5. Yük Akış Analizi.....	10
1.5.1. Forward and Backward Sweep Yük Akış Algoritması	11
1.5.1.1. Güç Toplama Yöntemi	11
1.5.1.2. Akım Toplama Yöntemi.....	13
1.6. Bulanık Mantık Yaklaşımı	14
1.6.1. Bulanık Kümeler	14
1.6.2. Bulanık Küme İşlemleri	16
1.6.3. Bulanık İşlemci.....	18
1.6.3.1. Bulanıklaştırıcı	18
1.6.3.2. Kural İşleme Ünitesi.....	19
1.6.3.3. Durulaştırıcı.....	21
1.7. Guguk Kuşu Algoritmasına Giriş.....	22
1.7.1. Guguk Kuşu Üreme Davranışları	22
1.7.2. Lévy Uçuşu.....	23

1.7.3.	Guguk Kuşu Algoritması.....	24
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME	26
2.1.	Giriş	26
2.2.	Test Sistemi ve Verileri	26
2.3.	Bulanık Mantık ile OCPS Probleminin Çözümü.....	27
2.3.1.	Yük Akış Analizinin Uygulanması	28
2.3.2.	Optimum Kapasitör Yerini Belirleme	31
2.3.3.	Optimum Kapasitör Değerini Bulma.....	34
2.3.4.	BM ile OCPS Probleminin Çözüm Algoritması	37
2.3.5.	Önerilen Yöntemin Test Sistemine Uygulanması ve Sonuçlar	40
2.3.6.	Önerilen Yöntemin Diğer Çalışmalarla Karşılaştırılması	46
2.4.	Guguk Kuşu Algoritması ile OCPS Probleminin Çözümü	48
2.4.1.	Önerilen Yöntemin Test Sistemine Uygulanması ve Sonuçlar	50
2.4.2.	Önerilen Yöntemin Diğer Çalışmalarla Karşılaştırılması	54
2.4.3.	Parametrelerin Çözüme Etkisi.....	56
2.5.	Önerilen Yöntemlerin Karşılaştırılması	58
3.	SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	60
4.	ÖNERİLER	62
5.	KAYNAKLAR.....	64
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE GÜÇ KALİTESİ İÇİN
OPTİMUM KAPASİTÖR YERİNİN VE DEĞERİNİN BELİRLENMESİ

Yeşim Aysel BAYSAL

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik- Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ
2016, 70 Sayfa

Elektrik enerjisinin kalitesi ve ekonomik olarak sağlanabilmesi her zaman güç sistemlerindeki en önemli konulardan biridir. Sosyal yaşamın gelişmesiyle birlikte yerleşik alanlarda artan reaktif güç tüketimi, hatları gereksiz şekilde yükleyerek gerilim düşümünün ve güç kayıplarının artmasına neden olurken hattın taşıma kapasitesinin de düşmesine yol açar. Bu olumsuz etkileri ortadan kaldırmak için yaygın olarak kullanılan en etkili yöntemlerden biri dağıtım şebekesine şönt kapasitörler yerleştirmektir.

Bu tez çalışmasında, artan reaktif güç tüketiminden dolayı meydana gelen kayıpları azaltarak verimliliği arttırmak ve gerilimi düzenleyerek enerjiyi yüksek kalite ile daha ekonomik olarak iletebilmek için dağıtım şebekesine yerleştirilecek şönt kapasitörlerin optimum yeri ve değeri belirlenmiştir. Bulanık Uzman Sistemler, Bulanık Optimizasyon Tekniği ve sezgisel optimizasyon tekniği olan Guguk Kuşu Optimizasyon Algoritması bu çalışmada kullanılan yöntemlerdir. Güç dağıtım sistemindeki yük akış analizi için ise Forward and Backward Sweep algoritması kullanılmıştır. Önerilen yöntemler MATLAB’de programlanmış ve 9 baralı standart IEEE dağıtım şebekesinde test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılarak tezde kullanılan yöntemlerin performansı değerlendirilmiş ve sistemdeki güç kayıpları ve yıllık maliyet optimum düzeye indirgenerek yöntemlerin uygulanabilirlikleri ve üstünlükleri gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Şönt Kapasitörler, Bulanık Uzman Sistemler, Guguk Kuşu Optimizasyonu, Yük Akış Analizi, Radyal Dağıtım Şebekeleri

Master Thesis

SUMMARY

OPTIMAL CAPACITOR PLACEMENT AND SIZING IN RADIAL
DISTRIBUTION SYSTEMS FOR POWER QUALITY

Yeşim Aysel BAYSAL

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Electrical and Electronics Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ
2016, 70 Pages

The cost and the quality of electrical energy are always the priority topics in power systems. Development of social life has caused increment in reactive power consumption in residential areas. It is obvious that the overloading of the line due to increased reactive power should be prevented in order not to cause high power losses and voltage drops. Therefore, shunt capacitors are prevalently used in distribution systems in order to solve these problems.

In this thesis, optimal capacitor location and sizing in radial distribution systems are determined for the purpose of minimizing the power loss and the annual cost with voltage limit constraints. A fuzzy reasoning based decision maker and a cuckoo search optimization algorithm are used in this study in order to achieve the desired operating conditions. Power flow analysis of the radial distribution system is performed using forward and backward sweep algorithm available in literature. The proposed methods in this study are simulated in MATLAB environment and verified on standard IEEE 9 bus radial distribution system. The results are compared with other methods in literature and the contribution in terms of the quality of solution is reported.

Key Words: Capacitor Location and Size, Fuzzy Expert Systems, Fuzzy Decision Maker, Fuzzy Reasoning, Cuckoo Search Algorithm, Forward and Backward Sweep Load Flow Algorithm, Radial Distribution Feeder

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Kapasitör ile kompanzasyon.....	9
Şekil 1.2. Kompanzasyon güç vektör diyagramı	10
Şekil 1.3. Güç toplama yöntemi için radyal şebekenin tek hat diyagramı.....	12
Şekil 1.4. Akım toplama yöntemi için radyal şebekenin tek hat diyagramı	13
Şekil 1.5. Üçgen üyelik fonksiyonu.....	15
Şekil 1.6. Yamuk üyelik fonksiyonu.....	16
Şekil 1.7. A ve B bulanık kümelerinin kesişimi	17
Şekil 1.8. A ve B bulanık kümelerinin birleşimi	17
Şekil 1.9. Bulanık işlemci	18
Şekil 1.10. Bulanıklaştırma işlemi.....	18
Şekil 1.11. Bulanık kural tablosu.....	19
Şekil 1.12. Bulanık kuralların işletilmesi.....	20
Şekil 1.13. Durulaştırma işlemi	21
Şekil 1.14. Lévy uçuşu.....	23
Şekil 2.1. 9 baralı standart IEEE dağıtım şebekesi	26
Şekil 2.2. Bulanık mantık ile OCPS probleminin genel çözümü.....	28
Şekil 2.3. Akım toplama yöntemi ile Forward and Backward Sweep yük akış programının akış diyagramı.....	29
Şekil 2.4. Güç kaybı indeksi için üyelik fonksiyonu	32
Şekil 2.5. Bara gerilimleri için üyelik fonksiyonu	32
Şekil 2.6. Kapasitör yerleştirme uygunluğu için üyelik fonksiyonu.....	33
Şekil 2.7. Kazanç fonksiyonu için üyelik fonksiyonu	35
Şekil 2.8. Bara gerilim sınırları için üyelik fonksiyonu.....	36
Şekil 2.9. BM ile çözüm algoritmasının akış diyagramı.....	39
Şekil 2.10. En iyi bara için kuralların işletilmesi.....	42
Şekil 2.11. BM ile kompanzasyondan önceki ve sonraki bara gerilim değerleri.....	45
Şekil 2.12. BM ile kompanzasyondan önce ve sonra her baradaki güç kaybı.....	45
Şekil 2.13. İterasyon sayısına göre yıllık maliyet	46

Şekil 2.14. Guguk kuşu algoritması ile kompanzasyondan önceki ve sonraki bara gerilim değerleri.....	53
Şekil 2.15. Guguk kuşu algoritması ile kompanzasyondan önce ve sonra her baradaki güç kaybı.....	53
Şekil 2.16. Kompanzasyondaki önceki ve önerilen yöntemler ile elde edilen bara gerilimlerinin karşılaştırılması	59
Şekil 2.17. Kompanzasyondaki önceki ve önerilen yöntemler ile her baradaki güç kayıplarının karşılaştırılması	59

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Test sisteminin yük ve hat verileri.....	27
Tablo 2.2. Ticari olarak mevcut kapasitörlerin büyüklükleri ve maliyetleri.....	27
Tablo 2.3. Optimum kapasitör yerleştirme için oluşturulan kural tablosu.....	33
Tablo 2.4. Kompanzasyondan önceki sonuçlar.....	40
Tablo 2.5. PLI değerleri	40
Tablo 2.6. CPSI değerleri.....	41
Tablo 2.7. BM ile elde edilen sonuçlar	43
Tablo 2.8. Kompanzasyondan önceki ve sonraki sonuçlar	44
Tablo 2.9. Kompanzasyondan sonraki bara gerilim değerleri (pu).....	44
Tablo 2.10. Önerilen yöntemin sonuçlarını diğer çalışmalarla karşılaştırma	47
Tablo 2.11. Başlangıç ve Kontrol Parametreleri.....	51
Tablo 2.12. Algoritmanın belirlenen parametrelerle koşturulması ile elde edilen sonuçlar	51
Tablo 2.13. Elde edilen en iyi sonuçlar.....	52
Tablo 2.14. Önerilen ikinci yöntemin sonuçlarının Tablo 2.10'daki çalışmalarla karşılaştırılması	54
Tablo 2.15. Önerilen ikinci yöntemin sonuçlarının diğer çalışmalarla karşılaştırılması ...	55
Tablo 2.16. [76]'da elde edilen sonuçlar.....	56
Tablo 2.17. Maksimum iterasyon sayısının çözüme etkisi	56
Tablo 2.18. Bara gerilimin alt sınırını belirlemeden elde edilen sonuçlar	57
Tablo 2.19. Önerilen yöntemlerin karşılaştırılması	58

SEMBOLLER DİZİNİ

FES	Fuzzy Expert Systems (Bulanık Uzman Sistemler)
COA	Cuckoo Optimization Algorithm (Guguk Kuşu Optimizasyon Algoritması)
OCPs	Optimal Capacitor Placement and Sizing
FBS	Forward and Backward Sweep
CSM	Current Summation Method (Akım Toplama Yöntemi)
PSM	Power Summation Method (Güç Toplama Yöntemi)
BM	Bulanık Mantık
PLI	Power Loss Index (Güç Kaybı İndeksi)
CPSI	Capacitor Placement Suitability Index (Kapasitör Yerleştirme Uygunluk İndeksi)
Q_c	Kurulacak kapasitörün değeri
p_a	Yabancı yumurtanın fark edilme olasılığı
n_d	Yuva boyutu
α	Adım büyüklüğü kontrol parametresi

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Elektrik enerjisi, günümüzde insanların temel gereksinimlerinin karşılanması, toplumsal refahın artırılması, ülkelerin sosyal gelişimleri ve ekonomik olarak kalkınması için en önemli ihtiyaç maddelerinden biridir. Elektrik enerjisine olan ihtiyaç, dünya nüfusundaki hızlı artışa ve endüstriyel gelişmelere bağlı olarak gün geçtikçe artmaktadır. Artan bu enerji gereksinimini karşılamak için üretimin artırılması kadar mevcut enerjinin yüksek verimle kullanılması oldukça önemlidir.

Elektrik enerjisinin verimliliği ve ekonomik olarak sağlanabilmesi, güç sistemlerindeki en önemli konulardan biridir. Enerji kullanımında verimliliği ve maliyeti etkileyen en önemli faktör güç dağıtım sistemlerindeki kayıplardır. Bu kayıpların ana kaynağı, harmoniklere ve aşırı yüklemelere neden olan ısıdır.

Sosyal yaşamın gelişmesi ile artan refah seviyesi, yerleşik alanlarda reaktif güç tüketen cihazların kullanımlarındaki artışı da beraberinde getirmiştir. Reaktif güç tüketiminin artması hatları gereksiz yere yükleyerek hattaki güç kayıplarının ve gerilim düşümünün artmasına neden olurken hattın taşıma kapasitesinin de düşmesine yol açar. Kayıpları azaltarak verimliliği arttırmak ve gerilimi düzenleyerek enerjiyi yüksek kalite ile iletebilmek için reaktif gücün doğru bir şekilde regüle edilmesi gerekir.

Enerji ekonomisinin vazgeçilmez unsuru olan kayıpları azaltarak optimum düzeyde tutmak için güç dağıtım sistemlerinde genellikle şönt kapasitörler kullanılır. Güç sistemlerinde şönt kapasitörlerin kullanılması ile güç kayıplarının azaltılması ve hattın gerilim profilinin düzenlenmesinin yanı sıra güç faktörünün iyileştirilmesi ve hattın kapasitesinin artırılması gibi faydalar da sağlanır. Fakat bu faydaların sağlanabilmesi için, şönt kapasitörlerin sistemde en uygun noktalara optimal değerlerde konulması gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında, şebeke kayıplarının azaltılması ve tüketiciye daha kaliteli bir enerjinin daha ekonomik olarak sunulması için dağıtım sistemine yerleştirilmesi gereken kapasitörlerin yerlerinin ve değerlerinin optimal olarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Bulanık Uzman Sistemler (Fuzzy Expert Systems, FES), Bulanık Optimizasyon Tekniği (Fuzzy Optimization Technique) ve sezgisel optimizasyon tekniği olan Guguk Kuşu

Optimizasyon Algoritması (Cuckoo Optimization Algorithm, COA) optimum kapasitör yerini ve değerini belirleme problemini (Optimal Capacitor Placement and Sizing, OCPS) çözmek için bu çalışmada kullanılan yöntemlerdir. Bulanık mantık tekniğinin tercih edilmesinin nedeni basit yapısı, az işlem gerektirmesi ve hızlı sonuç üretmesidir. Bulanık mantık ile problemin çözümü iki ana kısımda gerçekleştirilmiştir. Öncelikle, FES ile kapasitör yerleştirilmesi gereken en uygun bara belirlenmiştir. Daha sonra, belirlenen bu baraya yerleştirilecek olan kapasitörün optimal değerini bulmak amacıyla bulanık mantık optimizasyon tekniği kullanılmıştır. Guguk kuşu algoritmasının tercih edilmesinin nedeni ise diğer sezgisel algoritmalarla karşılaştırıldığında basitliği, randomizasyonun daha etkili olması ve ayarlanması gereken parametre sayısının daha az olmasından dolayı kolay uygulanabilir olmasıdır. Her iki algoritmada da kullanılan amaç fonksiyonu yıllık net kazancı maksimize etmeyi hedefler. Bunu yaparken baraların gerilim seviyesinin belirli sınırlar içerisinde tutulması göz önünde bulundurulmuştur. Güç dağıtım sistemindeki yük akış analizi için Forward and Backward Sweep (FBS) algoritması kullanılmıştır. Geleneksel Newton Raphson ve Gauss Seidel yük akış algoritmaları gibi karmaşık matris işlemleri içermemesinden dolayı hızlı sonuç elde edilebilmesi ve radyal sistemlere uygunluğu, bu yük akış algoritmasının tercih sebebidir. Bu çalışmada, sabit yükler kullanılmış, harmonikler ihmal edilmiş ve dağıtım şebekesinin dengeli yüklendiği kabul edilmiştir. Bu kapsamda önerilen yöntemler MATLAB'de programlanmış ve 9 baralı standart IEEE dağıtım şebekesinde test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılarak tezde kullanılan yöntemlerin performansı değerlendirilmiştir.

1.2. Literatür Araştırması

Literatürde optimum kapasitör yerini ve değerini belirleme probleminin çözümüne yönelik çok sayıda yöntem önerilmiştir. Bu yöntemler matematiksel yöntemler, sayısal programlama, sezgisel yöntemler ve yapay zekâ tabanlı yöntemler olmak üzere dört ana kategoriye ayrılabilir [1]. Konuyla alakalı pek çok yayın bulunduğu ve hepsinin burada incelenmesi olanaksız olduğundan sadece anahtar makaleler ve güncel çalışmalara değinilmiştir.

OCPS problemini çözmek için yapılan ilk çalışmalarda matematiksel yöntemler kullanılmıştır. Matematiksel yöntemler, güçlü bilgisayar imkânları mevcut değilken veya pahalı olduğu zamanlarda geliştirilmiştir. OCPS problemini ilk ele alanlardan Neagle ve

Samson [2], Cook [3, 4], Chang [5, 6], ve Bae [7] kazanç fonksiyonunu maksimize etmek için matematiksel yöntemleri kullanmışlardır.

Schmill (1965) kayıplardaki azalmayı maksimize etmek için “2/3 kuralı (two-thirds rule)” nı geliştirmiştir. Bu kurala göre, sistemdeki en yüksek reaktif yükün 2/3’ü değerinde bir kapasite, toplam hat uzunluğunun 2/3’ün deki bir noktaya yerleştirilmelidir. Bu çalışmada, radyal şebekenin yan dallarının olmaması ve yüklerin düzgün yayılması gibi gerçekçi olmayan varsayımlar yapılmıştır [8].

Grainger ve arkadaşları [9, 10] ile Salama ve arkadaşları [11, 12] yüklerin düzgün yayılmamasını göz önüne alarak radyal şebekeyi daha gerçekçi modellemiş ve bu modelleme sonucunda daha doğru sonuçlar elde etmişlerdir.

Matematiksel yöntemlerin uygulanması kolay olmasına rağmen, kapasitör yerlerinin ve değerlerinin sürekli değişken olarak modellenmesinden dolayı elde edilen sonuçların optimum sonucu garanti etmemesi bütün matematiksel yöntemlerin bir eksikliğidir.

Bilgisayar belleklerinin artması ve programlama kabiliyetinin gelişmesi ile iteratif yöntemler olan sayısal programlama yöntemleri, optimum kapasitör yerleştirme probleminde amaç fonksiyonunu maksimize veya minimize etmek için kullanılmaya başlamıştır.

Duran (1968) dinamik programlama yaklaşımını OCPS problemine ilk kez uygulayarak, kullandığı basit formülasyonda sadece enerji kaybındaki azalmayı ve ayrı kapasitör değerleri için maliyeti göz önünde bulundurmıştır [13].

Fawzi (1983) ve arkadaşları ise [13]’e ek olarak kazanç fonksiyonunda güç kaybındaki azalmayı da göz önüne almıştır [14].

Ponnavaikko ve Rao (1983), yerel varyasyon yöntemi adı verilen sayısal yöntemi kullanmış ve yük büyümesinin etkisini ve değişen yük için anahtarlamalı kapasitörleri probleme dâhil etmek için problemin kapsamını daha çok genişletmişlerdir [15].

Baran ve Wu (1989), karma tamsayılı programlama kullanarak OCPS problemini formülize etmiştir [16].

Sayısal programlama yöntemlerinde, kapasitör yerleri ve değerleri ayrı değişken olarak göz önüne alındığı için daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Fakat bu yöntemler, veri hazırlama aşamasında matematiksel yöntemlere göre daha çok zaman gerektirmektedir.

Optimizasyon problemlerinin boyutunun artması sayısal programlama yöntemlerinin karmaşıklığının artmasına neden olmuştur. Oluşan bu karmaşıklık gidermek için çeşitli sezgisel yöntemler geliştirilmiştir.

Sezgisel yöntemler, hızlı ve pratik stratejiler kullanarak arama uzayını minimize ederler ve böylece daha iyi sonuçlar elde edilir. Fakat elde edilen sonuçlar her zaman global optimum sonucu garanti etmez ancak global sonuca yakın bir sonuç verir.

Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization, PSO), Genetik Algoritma (Genetic Algorithm, GA), Karınca Kolonisi Optimizasyonu (Ant Colony Optimization, ACO), Yapay Arı Kolonisi (Artificial Bee Colony, ABC) Algoritması, Bitki Gelişim Benzetim Algoritması (Plant Growth Simulation Algorithm, PGSA), Ateşböceği Algoritması (Firefly Algorithm, FA), Guguk Kuşu Optimizasyon Algoritması, OCPS probleminin çözümü için kullanılan sezgisel yöntemlerden bazılarıdır [17].

Reddy ve Reddy (2008), bulanık mantık ve PSO yöntemini kullanarak OCPS problemini ele almışlardır. Bulanık mantık ile kompanzasyon için en uygun baraların yerlerini belirlerken, PSO ile bu baralara yerleştirilmesi gereken optimum kapasite değerlerini belirlemişlerdir. Önerdikleri yöntemi çeşitli test sistemlerine uygulamışlardır [18].

Filho (2009) ve arkadaşları, gradyan tabanlı ACO algoritmasını ile arama uzayının daha hızlı keşfedilmesini sağlayarak dağıtım sistemindeki güç kayıplarını azaltmışlardır. Önerilen yöntemin performansını üç farklı gerçek sistemde test etmişlerdir [19].

Gasbaoui (2010) ve arkadaşları, dağıtım sistemlerinde OCPS problemi için bulanık mantık ve ACO algoritmasından oluşan karma bir algoritma önermişlerdir. Bu yöntemi 25 ve 30 baralı test sistemlerine uygulayarak orta ölçekli sistemler için iyi sonuçlar elde edilebileceğini göstermişlerdir. ACO algoritmasının parametrelerinin optimum çözümü elde etmede önemli bir rol oynadığını ve bu parametrelerin farklı kombinasyonlarıyla daha iyi sonuçlar elde edilebileceğini belirtmişlerdir [20].

Mahmoodianfard (2010) ve arkadaşları, güç dağıtım sistemindeki kayıpları azaltmak ve gerilim profilini arttırmak için genetik algoritma yöntemini kullanmışlardır. Gerilim sınırlarını amaç fonksiyonuna dâhil ederek farklı bir amaç fonksiyonu geliştirmişlerdir. MATLAB ve Digsilent yazılımını birlikte kullanarak önerdikleri bu yöntemi İran'ın Zencan eyaletinin gerçek dağıtım sisteminde test etmişlerdir [21].

Zakka (2012) ve arkadaşları, reaktif güç kompanzasyonu için bulanık mantık ve yapay arı kolonisi algoritmasından oluşan karma bir yöntem önermişlerdir. Bulanık mantık yaklaşımı ile en uygun bara tespit edilirken, ABC algoritması ile optimum kapasitör değeri bulunmuştur [22].

Rani (2013) ve arkadaşları, güç kayıplarını minimize etmek için kendini uyarlayabilen harmoni arama algoritmasını (Self Adaptive Harmony Search Algorithm, SASHA) kullanmışlar ve bu yöntemin performansını iki farklı test sisteminde incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçları PSO ve PGSA yöntemleriyle karşılaştırmışlardır [23].

El-Fergany ve Abdelaziz (2014), güç dağıtım sisteminde yük değişimlerini göz önüne alarak sabit ve anahtarlamalı kapasitörlerin yerlerini ve değerlerini belirlemek için Kayıp Hassasiyet Faktörü (Loss Sensitivity Factor, LSF) yöntemini ve ABC algoritmasını kullanmışlardır [24].

Olamaei (2013) ve arkadaşları, ateşböceği algoritmasında başlangıç parametrelerine bağımlılığı azaltmak ve daha hızlı yakınsama elde edebilmek için orijinal algoritmayı değiştirerek OCPS problemine uygulamışlardır. Böylece algoritmanın global çözüm için arama uzayını araştırma kabiliyetini artırarak, tatmin edici sonuçlar elde etmişlerdir [25].

Das ve Banerjee (2014), LSF ve orijinal ateşböceği algoritmasından oluşan iki aşamalı yöntemi OCPS probleminin çözümü için önermişlerdir. İlk aşamada LSF ile optimum kapasitör yerleri hesaplanırken, ikinci aşamada ise Ateş Böceği Algoritması kapasitör maliyeti, kapasitör yerleştirme maliyeti ve güç kaybından kaynaklanan maliyetlerden oluşan amaç fonksiyonunu minimize etmek için kullanılmıştır [26].

Reddy ve Gunaprasad (2014), maksimum net kazanç için LSF yöntemini ve guguk kuşu algoritmasını kullanmışlar ve önerdikleri bu yöntemin performansını farklı test sistemlerinde incelemişlerdir [27].

Lenin (2014) ve arkadaşları, orijinal guguk kuşu algoritmasındaki p_a ve α sabit parametrelerini her iterasyonda değişken hale getirerek geliştirilmiş guguk kuşu algoritmasını OCPS problemine uygulamışlardır [28].

Nivethitha (2015) ve arkadaşları, LSF yöntemi ile arama uzayını küçülterek uygun baraların yerlerini belirlerken Grup Arama Algoritması (Group Search Algorithm, GSO)'nı kullanarak da uygun baralara yerleştirilecek kapasitörlerin optimum değerlerini belirlemişlerdir [29].

Tavakoli (2015) ve arkadaşları, kayıpları azaltmak ve gerilim profilini arttırmak için ABC algoritmasını kullanarak önerdikleri yöntemi İran'ın Kirman eyaletinin gerçek dağıtım sisteminde test etmişlerdir [30].

Tamilselvan (2015) ve arkadaşları, Klonal Seçme Algoritması (Clonal Selection Algorithm, CSA)'nı günlük yük eğrilerini dikkate alarak ilk kez OCPS probleminin

çözümü için kullanmışlardır. Önerdikleri yöntemin performansını 33 ve 69 baralı test sistemlerinde değerlendirmişlerdir [31].

Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Network, ANN) ve Bulanık Mantık (Fuzzy Logic, FL) yaklaşımı OCPS problemi için kullanılan yapay zekâ tabanlı yöntemlerden bazılarıdır.

Chin (1995), Bulanık Küme Teorisi (Fuzzy Set Theory, FST)'ni kullanarak güç kaybı, gerilim sapsması ve harmonik bozulmalar için üç tane üyelik fonksiyonu tasarlamıştır. Bu üyelik fonksiyonlarının kesişimini alarak kapasitörün yerleştirileceği yeri belirlemek için dağıtım sistemindeki her bir bara için bir üyelik değeri hesaplamıştır. En büyük üyelik değerine sahip olan bara, kapasitörün yerleştirileceği yer olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada, bulanık mantık yaklaşımını kullanarak seçilen baraya yerleştirilecek kapasitörün optimal değerini belirlemeye yönelik herhangi bir matematiksel optimizasyon işlemi kullanılmamıştır [32].

Ng (2000) ve arkadaşları, dağıtım sistemindeki her baranın gerilim ve güç kaybı indeksini (Power Loss Index, PLI) üyelik fonksiyonlarıyla modelleyerek bulanık küme teorisini OCPS problemine uygulamışlardır. Her baranın kapasitör yerleştirme uygunluk indeksini (Capacitor Placement Suitability Index, CPSI) belirlemek için ise bulanık mantık uzman sistemi kullanılmıştır. En yüksek indeksli bara, kapasitör yerleşimi için en uygun bara olarak tayin edilmiştir [33].

Masoum (2004) ve arkadaşları, radyal dağıtım şebekelerinde akım ve gerilim harmoniklerinin varlığında OCPS probleminin çözümü için bulanık mantık yaklaşımını kullanmışlardır. Kullandıkları amaç fonksiyonu güç ve enerji kaybından kaynaklanan maliyetlerden ve kapasitör maliyetinden oluşur. Gerilim sınırları, IEEE-519 standardının güç kalitesi sınırları ve yerleştirilecek kapasitörlerin yerleri ve değerleri bu çalışmada kullanılan kısıtlardır [34].

Siddiqui ve Rahman (2012), MATLAB'in Fuzzy Logic Toolbox'ını kullanarak OCPS probleminin çözümü için bulanık mantık tabanlı önerdikleri yöntemi 9 baralı standart IEEE test sistemine uygulamışlardır [35].

Ravichandran (2012) ve arkadaşları, Mamdani bulanık sonuç çıkarma yöntemini kullanarak ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference Systems) tabanlı bir yaklaşımı OCPS probleminin çözümü için önermişlerdir [36].

1.3. Dağıtım Sistemlerinde Güç ve Enerji Kayıplarını Azaltma Yöntemleri

Elektrik sistemlerindeki kayıpların tamamını ortadan kaldırmak mümkün değildir. Kayıpları minimum seviyelere indirmek için en etkili kayıp azaltma teknikleri, dağıtım şebeke hatlarının yeniden yapılandırılması [37, 38], dağıtık üretim (Distributed Generation, DG) [39, 40] ve şönt kapasitör yerleştirmedir.

1.3.1. Yeniden Yapılandırma

Dağıtım şebeke hatlarının yeniden yapılandırılması, sistemdeki güç kayıplarının azaltılması ve gerilim profiline iyileştirilmesi amacıyla şebeke üzerindeki anahtarların konumlarını değiştirerek aşırı yüklü fiderlerden ya da transformatörlerden daha az yüke sahip fiderlere ya da transformatörlere yüklerin transfer edilmesine olanak sağlar. Bu tür bir problemin optimum çözümünü bulabilmek için şebekedeki bütün anahtarlama ihtimallerinin göz önüne alınması gerekliliği, gerçekte var olan dağıtım şebeke boyutları düşünüldüğü zaman problemi oldukça karmaşık ve oldukça zaman gerektiren bir işleme dönüştürür [41].

1.3.2. Dağıtık Üretim

Klasik elektrik dağıtım şebekeleri, elektrik enerjisini üretim merkezlerinden alarak iletim hatları yoluyla dağıtım sistemine yük akışını sağlamak ve bu şekilde tüketiciye ulaştırmak üzere tasarlanmıştır. Bu sistemde, güç ve enerji kayıplarının büyük bir kısmı iletim ve dağıtım tesislerinde oluşmaktadır. Özellikle de dağıtım sistemlerinde gerilim seviyesinin düşük ve akımın yüksek olması kayıpların daha fazla olmasına neden olur. Ayrıca, karbon salınımları ve nükleer atıklar bu sistemlerin diğer dezavantajlarıdır.

Dağıtık üretim, klasik elektrik dağıtım şebekelerinden farklı olarak, tüketiciye yakın, küçük ölçekli elektrik üreten rüzgar türbinleri, güneş panelleri, jeotermal enerji üretimi gibi yenilenebilir teknolojileri kullanan bir yaklaşımdır [42]. Bu sistem ile yerinde üretim ve tüketim sağlanabilmesinin bir sonucu olarak iletim ve dağıtım kayıp ve masraflarının azaltılması, daha verimli ve güvenilir enerji kullanımı sağlanabilir. Dağıtık üretim sistemi ayrıca, yakıt çeşitliliği, piyasa beklentilerine cevabındaki esneklik, karbon salınımlarının

azaltılması, arz sürekliliği ve güvenliği ve yöresel kalkınma gibi çok sayıda avantaja sahiptir. Fakat dağıtık üretim sistemlerinin bu avantajlarının yanı sıra dağıtım sistemi üzerinde gerçekleşecek üretim entegrasyonu, üretimin hangi noktada şebekeye bağlanması gerektiği, gerilim ve güç kontrollünün nasıl yapılacağı gibi pek çok önemli problemi beraberinde getirmektedir. Dağıtık üretim sistemlerinin sağladığı faydaları elde edebilmek için beraberinde getirdiği problemler için gerekli analizlerin yapılarak önlemlerin alınması gerekliliği problemi zorlaştırmaktadır.

1.3.3. Şönt Kapasitör Yerleştirme

Elektrik güç sistemlerinde yükler genellikle hem omik hem endüktif karakterde olduklarından şebekeden görünür güç yani aktif gücün yanı sıra manyetik alan oluşturabilmek için ihtiyaçları olan endüktif reaktif gücü çekerler. Aktif güç yükler tarafından mekanik güç, termal güç veya aydınlatma gücü gibi faydalı hale dönüştürülürken, reaktif güç ise alıcılar tarafından faydalı hale dönüştürülemez ve her ne kadar manyetik alan oluşturmak için gerekli olsa da enerji nakil hatlarını ve transformatörleri gereksiz yere yüklenmesine ve artan akım sebebiyle dirençsel güç kayıpların (I^2R) artmasına neden olur. Bu nedenle reaktif güç ihtiyacı santral yerine alıcılara yakın bir yerde reaktif güç kompanzasyon sistemleri tarafından karşılanır. Böylece santralden alıcıya kadar olan bütün tesisler reaktif yükün taşınmasından etkilenmemiş olur.

Kapasitörlerin temel işlevi dağıtım sistemine bağlandıkları noktada gerilimi düzenleme ve reaktif güç akışı sağlamaktır. Kapasitörler, geçmişe göre şimdi daha etkili, daha ekonomik ve daha kolay temin edilebilmektedirler. Bu nedenle kapasitörler, dağıtım sistemlerinde güç kayıplarını azaltmak için daima daha cazip bir seçenektir.

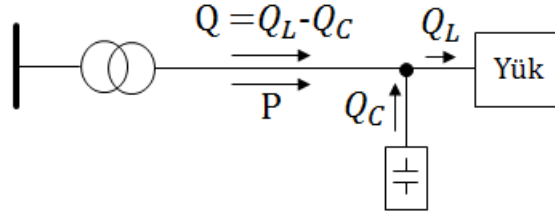
Sistemdeki toplam kayıpların ve gerilim düşümünün azalması, güç katsayısının iyileştirilmesi, generatörlerin, enerji hatlarının ve transformatörlerin yüklerinin azalmasına bağlı olarak kapasitelerinin ve verimlerinin artması, enerjinin üretim ve satış maliyetinin azalması, kapasitörlerin dağıtım sistemlerine yerleştirilmesiyle elde edilen başlıca faydalardır [43, 44].

1.4. Reaktif Güç Kompanzasyonu

Tüketicilerin ihtiyaçları olan endüktif yükün şebeke yerine tüketim noktalarında özel bir reaktif güç üretici tarafından sağlanmasına kompanzasyon denilmektedir.

Reaktif güç kompanzasyonunda dinamik güç kompensatörü olarak senkron motorlar veya statik kompanzasyon elemanı olan kapasitörler kullanılır. Kapasitörlerin bakım masraflarının olmaması ve veriminin daha yüksek olmasından dolayı günümüzde yaygın olarak kullanılan reaktif güç kompanzasyon elemanıdır.

Şekil 1.1'de kapasitör ile kompanzasyon işlemine ilişkin basit bir sistem görülmektedir.



Şekil 1.1. Kapasitör ile kompanzasyon

Bu sistemde yükün aktif gücünü P , reaktif gücünü de Q_L olarak kabul edersek kompanzasyondan önce yükün şebekeden çektiği görünür güç S_1 , eşitlik (1.1)'deki gibi hesaplanır.

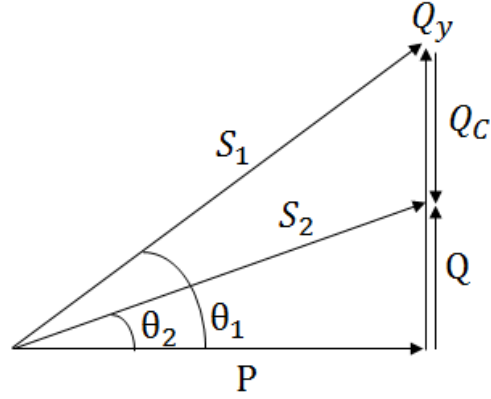
$$S_1^2 = P^2 + Q_L^2 \quad (1.1)$$

Sisteme Q_C değerindeki kondansatörün eklenmesiyle yapılan kompanzasyon işlemi sonrasında yükün şebekeden çektiği reaktif güç (Q) ve görünür güç (S_2) sırasıyla eşitlik (1.2) ve (1.3)'teki gibi hesaplanır.

$$Q = Q_L - Q_C \quad (1.2)$$

$$S_2^2 = P^2 + Q^2 \quad (1.3)$$

Kompanzasyon yapılmış sistemin güç vektör diyagramı Şekil 1.2' de görülmektedir.



Şekil 1.2. Kompanzasyon güç vektör diyagramı

Vektör diyagramında görüldüğü gibi kompanzasyondan önceki görünür güç (S_1) daha büyük ve güç katsayısı ($\cos\theta_1$) daha küçüktür. Kompanzasyondan sonra ise şebekeden çekilen reaktif gücün azalması sonucu $\cos\theta_2$ büyüyerek görünür güç (S_2) azalmıştır. Böylece şebekeden daha az güç ve akım çekilmiş olur.

1.5. Yük Akış Analizi

Elektrik enerji sistemlerinin gün geçtikçe büyümesi ve karmaşıklaşması, işletme ve planlama çalışmalarının daha kapsamlı yapılması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle güç sistemlerinde yük akışı, dağıtım sistemini analiz etmek, planlama, işletme ve kontrol ile ilgili çalışmaları incelemek için oldukça önemlidir.

Yük akış analizi, belirtilen şebeke ayarları, şebeke kaynağının gerilim büyüklüğü ve belirli yükler için dağıtım şebekesindeki her baranın gerilim genliği, faz açısı ve her hatta akan aktif ve reaktif güçleri belirlemek için kullanılan kararlı durum analizidir [45].

Etkili ve güvenilir Gauss Seidel (GS) ve Newton- Raphson (NR) gibi yük akış yöntemleri, güç sistemlerinde işletme, kontrol ve planlama için yaygın olarak kullanılmasına rağmen radyal yapı, yüksek R/X oranı gibi dağıtım sistemlerinin farklı özelliklerinden dolayı bu yöntemlerin dağıtım sistemlerinin analizi için yetersiz olabileceği görülmüştür [46, 47]. Ayrıca, dağıtım şebekesi matrislerinin durum sayısının genellikle büyük olması (ill- conditioned) geleneksel yük akış algoritmaları için sayısal sorunlara

neden olabilir [46-48]. Dağıtım sisteminin bütün bu karakteristik özelliklerinden dolayı dağıtım sistemindeki yük akışı, iletim sistemindekinden oldukça farklıdır ve yük akış analizi iletim sistemleriyle karşılaştırıldığı zaman biraz daha zordur [49].

NR ve GS gibi var olan algoritmaların uygun bir şekilde değiştirilmesiyle elde edilen algoritmalar [50-52] ve forward and backward sweep sürecine dayalı algoritmalar [53, 54] özellikle dağıtım sistemleri için geliştirilen yöntemlerdir.

1.5.1. Forward and Backward Sweep Yük Akış Algoritması

FBS, dağıtım sistemlerinde yük akışını belirlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Radyal sistemlere uygunluğu bu yöntemin bir avantajıdır.

FBS yönteminde sistem değişkenlerini elde etmek için iki aşama vardır [55].

1. Aşama: Backward Sweep

Bu aşama, dağıtım hattındaki en son baradan başlayarak en baştaki barada sona erer. PSM' de, sistemdeki her bara için $P^{(k)}$ ve $Q^{(k)}$ hesaplanırken, CSM' de ise her hat bölümü için $I^{(k)}$ hesaplanır.

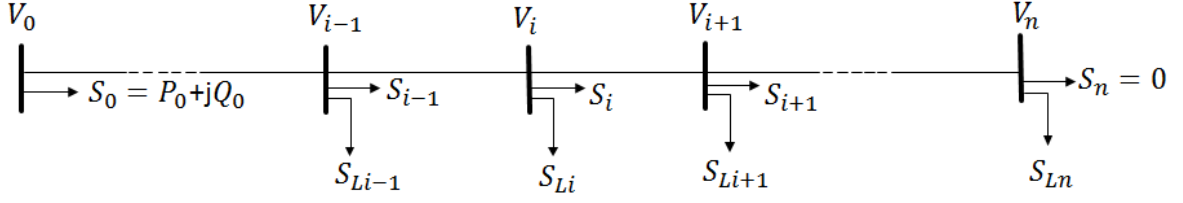
2. Aşama: Forward Sweep

Bu aşama, dağıtım hattındaki ilk baradan başlayarak en sondaki barada sona erer. Her baranın gerilimi $V^{(k)}$, bu aşamada hesaplanır.

Güç Toplama Yöntemi (Power Summation Method, PSM) ve Akım Toplama Yöntemi (Current Summation Method, CSM) en iyi bilinen iki FBS yöntemidir [55].

1.5.1.1. Güç Toplama Yöntemi

Güç toplama yöntemi ile FBS' de ilk olarak şebekedeki bütün baraların gerilim genlik ve açıları serbest baranın gerilim genlik ve açılarna eşit kabul edilir [56]. Daha sonra her hattaki aktif ve reaktif güç akışı (1.4) ve (1.5)'teki eşitliklere göre backward sweep'de hesaplanırken, (1.8) ve (1.9)'daki eşitlikler kullanılarak da her baradaki karmaşık gerilim değeri forward sweep'de hesaplanır [56]. Şekil 1.3'te güç toplama yöntemi için radyal şebekenin tek hat diyagramı görülmektedir.



Şekil 1.3. Güç toplama yöntemi için radyal şebekenin tek hat diyagramı

Backward Sweep' de kullanılan eşitlikler:

$$P_{i-1} = P_i + r_i \frac{P_i'^2 + Q_i'^2}{V_i^2} + P_{Li} \quad (1.4)$$

$$Q_{i-1} = Q_i + x_i \frac{P_i'^2 + Q_i'^2}{V_i^2} + Q_{Li} \quad (1.5)$$

$$P_i' = P_i + P_{Li} \quad (1.6)$$

$$Q_i' = Q_i + Q_{Li} \quad (1.7)$$

P_i ve Q_i i. hattan akan aktif ve reaktif yük akışını, P_{Li} ve Q_{Li} ise i. baradaki yükün çektiği aktif ve reaktif gücü göstermek üzere P_i' ve Q_i' , i. baradaki toplam aktif ve reaktif güç, eşitlik (1.6) ve (1.7)'deki gibi bulunur.

Forward Sweep' de kullanılan eşitlikler:

$$V_{i+1}^2 = V_i^2 + 2(r_i P_i + x_i Q_i) + (r_i^2 + x_i^2) \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} \quad (1.8)$$

$$\delta_{i+1} = \delta_i - \tan^{-1}(k_1 / k_2) \quad (1.9)$$

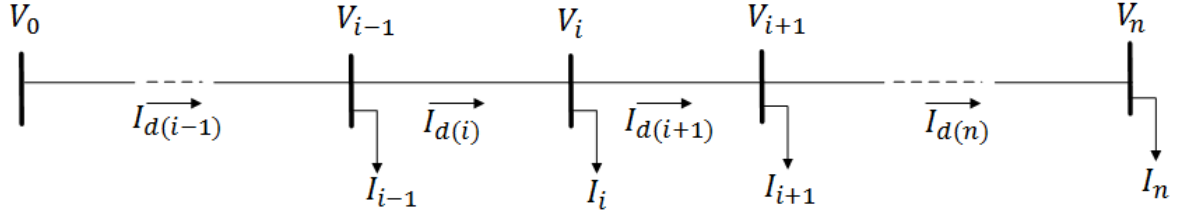
$$k_1 = \frac{(P_i x_i - Q_i r_i)}{V_i} \quad (1.10)$$

$$k_2 = V_i - \frac{(P_i r_i - Q_i x_i)}{V_i} \quad (1.11)$$

k_1 ve k_2 katsayıları eşitlik (1.10) ve (1.11)'deki gibi hesaplanır. Bu eşitliklerdeki x_i ve r_i sırayla i. hattın seri direncini ve seri reaktansını, V_i i. baradaki gerilimin genliğini ve δ_i ise i. baradaki gerilimin açısını ifade etmektedir.

1.5.1.2. Akım Toplama Yöntemi

Akım toplama yöntemi için radyal şebekenin tek hat diyagramı Şekil 1.4'te görülmektedir.



Şekil 1.4. Akım toplama yöntemi için radyal şebekenin tek hat diyagramı

Bu yöntem üç iteratif adımdan oluşur. Bu adımlara başlamadan önce güç toplama yönteminde olduğu gibi, şebekedeki bütün baraların gerilim genlik ve açıları serbest baranın gerilim genlik ve açılarına eşit kabul edilir [57].

1. adım: Her bara için yük akımı eşitlik (1.12)'deki gibi hesaplanır.

$$I_i = \left(\frac{S_i}{V_i} \right)^*, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1.12)$$

Bu eşitlikteki I_i , V_i ve S_i sırasıyla i . baradaki yük akımını, bara gerilimini ve yükün çektiği gücü ifade etmektedir. n ise dağıtım şebekesindeki bara sayısını göstermektedir.

2. adım: En son baradan en baştaki baraya kadar yük akımları toplanarak I_d hat akımları (1.13) ve (1.14)'teki gibi hesaplanır. (Backward sweep)

$$I_{d(n)} = I_{(n)} \quad (1.13)$$

$$I_{d(i-1)} = I_{d(i)} + I_{(i-1)} \quad (1.14)$$

3. adım: Bara gerilimleri en baştaki baradan başlanarak en son baraya kadar eşitlik (1.15)'te görüldüğü gibi güncellenir. (Forward sweep)

$$V_i = V_{i-1} - Z_{i,i-1} I_{d(i)} \quad (1.15)$$

Burada $Z_{i,i-1}$, i. bara ile i-1. bara arasındaki hattın empedansıdır.

Bu üç adım yakınsama kriterine ulaşıncaya kadar tekrarlanır.

1.6. Bulanık Mantık Yaklaşımı

Geleneksel mühendislik yaklaşımında, sistemler modellenirken kesin olarak bilinen matematiksel modeller ve yalnızca nümerik bilgi kullanılarak güçlü analizler yapılabilir ve iyi çözümler üretilebilir. Fakat gerçek dünya problemlerinin ele alındığı çoğu mühendislik uygulamasında karşılaşılan belirsiz ve kesin kurallara bağlı olmayan sistemler klasik mantık kullanılarak modellenememektedir. Klasik mantığın bu gibi durumlarda yetersiz kalması üzerine ilk kez 1965 yılında Lotfi A. Zadeh [58] tarafından ortaya konulan bulanık mantık, insanların kesin olmayan durumlar karşısında düşünme ve karar verme mekanizmasından esinlenerek geliştirilen matematiksel bir yaklaşımdır.

1.6.1. Bulanık Kümeler

Klasik küme yaklaşımında, bir elemanın bir kümeye tamamen ait olması veya kesinlikle ait olmaması gibi sadece iki aitlik durumu bulunurken, bulanık küme yaklaşımında ise bu iki durum dışında elemanın kümeye aitlik derecesi söz konusudur. Yani, klasik kümlerde bir elemanın alabileceği üyelik değeri 0 veya 1 iken, bulanık kümelerde ise bu değer elemanın aitlik derecesine göre 0 ile 1 arasında değişmektedir.

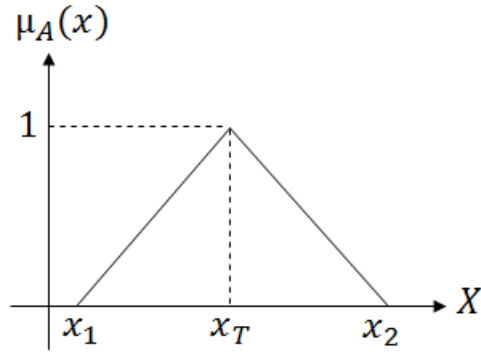
Sözel olarak nitelendirilen bulanık kümeler, elemanların üyelik derecelerini gösteren üyelik fonksiyonları ile temsil edilebilirler. X kesin uzayında bir A bulanık kümesi eşitlik (1.16) eşitliğindeki μ_A üyelik fonksiyonu ile tanımlanabilir.

$$\mu_A : X \rightarrow [0,1] \quad (1.16)$$

Bulanık kümeleri modellemek için kullanılan çeşitli üyelik fonksiyonları mevcuttur. En çok kullanılan üyelik fonksiyonu türleri üçgen, yamuk, gaussian ve çan fonksiyonu iken

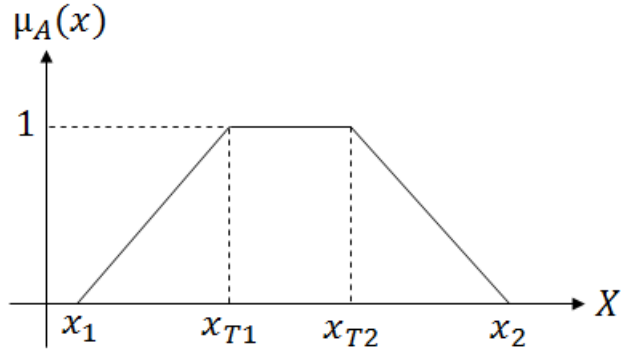
sigmoid, sinüzoidal ve cauchy türü fonksiyonlar da çeşitli uygulamalarda kullanılan üyelik fonksiyonlarıdır.

Üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları Şekil 1.5 ve Şekil 1.6'da görülmektedir. x_1 alt limiti, x_2 üst limiti, x_T , x_{T1} ve x_{T2} ise en yüksek üyelik derecesine sahip X uzay kümesinin kesin elemanlarını göstermek üzere x gibi kesin bir değer için A kümesindeki üyelik derecesi $\mu_A(x)$, üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları için sırasıyla eşitlik (1.17) ve (1.18)'deki gibi hesaplanır.



Şekil 1.5. Üçgen üyelik fonksiyonu

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < x_1 \\ \frac{x - x_1}{x_T - x_1}, & x_1 \leq x \leq x_T \\ \frac{x_2 - x}{x_2 - x_T}, & x_T \leq x \leq x_2 \\ 0, & x > x_2 \end{cases} \quad (1.17)$$



Şekil 1.6. Yamuk üyelik fonksiyonu

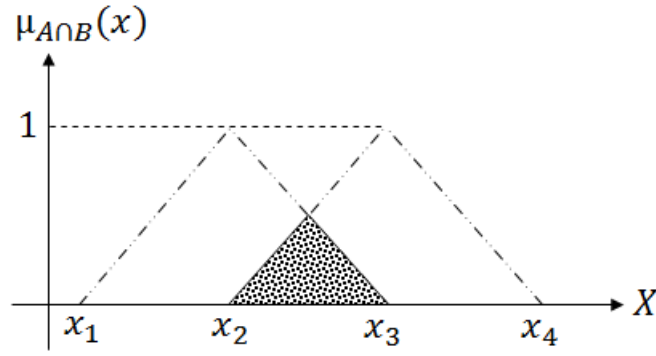
$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < x_1 \\ \frac{x - x_1}{x_{T1} - x_1}, & x_1 \leq x \leq x_{T1} \\ 1, & x_{T1} \leq x \leq x_{T2} \\ \frac{x_2 - x}{x_2 - x_{T2}}, & x_{T2} \leq x \leq x_2 \\ 0, & x > x_2 \end{cases} \quad (1.18)$$

1.6.2. Bulanık Küme İşlemleri

Bulanık kümelerde de klasik kümelerde olduğu gibi kesişim, birleşim ve değilleme gibi bazı işlemler yapılabilmektedir.

Kesişim işlemi klasik kümelerde olduğu gibi $A \cap B$ ile gösterilir ve bu işlem için AND (VE) bağlacı kullanılır. AND bağlacı bir minimum alma işlemi olduğundan A ve B bulanık kümeleri X kesin uzayında tanımlanan iki küme olmak üzere herhangi bir x kesin sayısının $A \cap B$ bulanık kümesindeki üyelik derecesi, bu kesin sayının A ve B bulanık kümelerindeki üyelik derecelerinden küçük olanına eşittir ve (1.19) eşitliği kullanılarak ifade edilir. Şekil 1.7’de A ve B kümelerinin kesişim kümesi görülmektedir

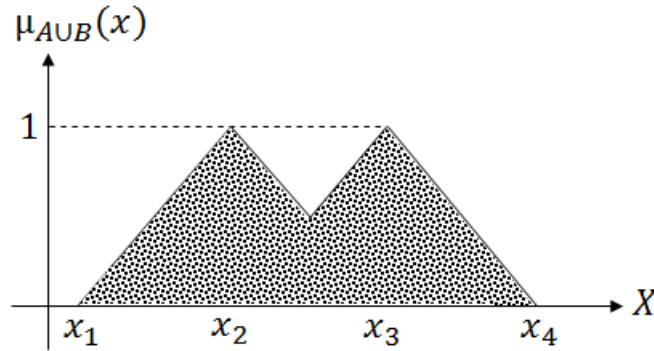
$$\mu_{A \cap B}(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (1.19)$$



Şekil 1.7. A ve B bulanık kümelerinin kesişimi

Birleşim işlemi için $A \cup B$ gösterimi ve bir maksimum alma işlemi olan OR (VEYA) bağlacı kullanılır. Dolayısıyla herhangi bir x kesin sayısının A ve B bulanık kümelerindeki üyelik derecelerinden büyük olanı, bu kesin sayının $A \cup B$ bulanık kümesindeki üyelik derecesine eşittir ve (1.20) eşitliği ile verilir. Şekil 1.8'de A ve B kümelerinin birleşim kümesi görülmektedir.

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (1.20)$$



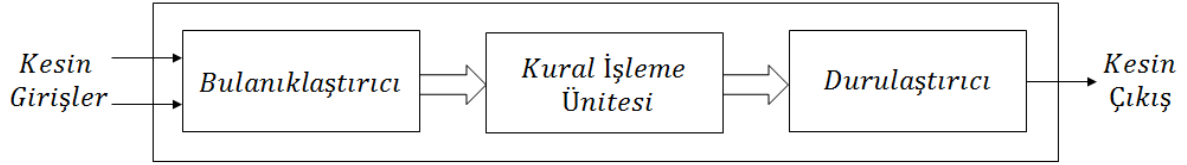
Şekil 1.8. A ve B bulanık kümelerinin birleşimi

X uzayındaki bulanık A kümesinin değili (1.21) eşitliği ile tanımlanabilir.

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (1.21)$$

1.6.3. Bulanık İşlemci

Bulanık işlemci bulanıklaştırıcı, kural işleme ünitesi ve durulaştırıcı olmak üzere 3 birimden oluşur. Şekil 1.9’da bir bulanık işlemci görülmektedir.

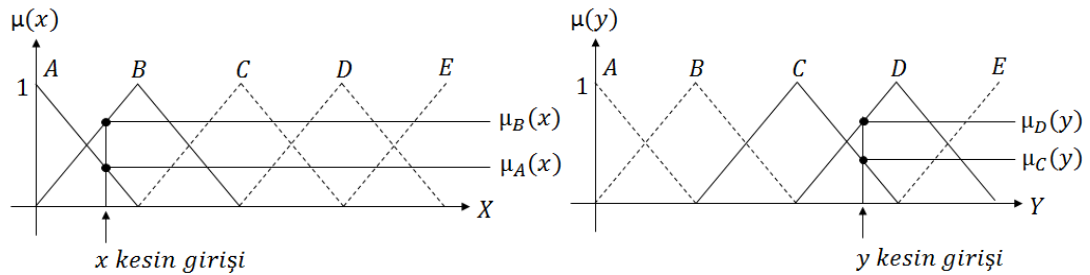


Şekil 1.9. Bulanık işlemci

1.6.3.1. Bulanıklaştırıcı

Bulanıklaştırıcı kendisine uygulanan kesin girişleri, bu girişler için tanımlanan üyelik fonksiyonlarını kullanarak bulanıklaştırır. Bulanıklaştırma işlemi sonucunda kesin girişlerin tanımlanan bulanık kümelerdeki üyelik dereceleri elde edilir [59].

A, B, C, D, E bulanık kümeler olmak üzere x ve y kesin girişleri için bulanıklaştırma işlemi Şekil 1.10’da görülmektedir.



Şekil 1.10. Bulanıklaştırma işlemi

Şekil 1.10’da, x kesin girişinin A ve B bulanık kümelerinde sırasıyla $\mu_A(x)$ ve $\mu_B(x)$ üyelik değerlerine, y kesin girişinin ise C ve D bulanık kümelerinde sırasıyla $\mu_C(x)$ ve $\mu_D(x)$ üyelik değerlerine sahip olduğu görülmektedir.

1.6.3.2. Kural İşleme Ünitesi

Kural işleme ünitesinde, bulanıklaştırma biriminde elde edilen x ve y girişlerinin bulanık değerleri uzman kişiler tarafından önceden hazırlanmış kural tabanına göre işlenerek bulanık bir sonuç elde edilir.

x ve y girişleri için, A, B, C, D, E olmak üzere 5 bulanık küme tanımlanırsa, tüm ihtimallerin göz önüne alındığı durumda 25 kural olacaktır. Oluşan bütün bu kuralların bir arada gösterildiği bulanık kural tablosu Şekil 1.11’de görülmektedir. Bu kurallar x ve y’nin durumuna göre z çıkışının kendisi için tanımlanan A, B, C, D, E bulanık kümelerinden hangisi ya da hangilerinde üyeliğe sahip olduğunu ifade eder.

		y uzayı				
		A	B	C	D	E
x uzayı	x	A	B	C	D	E
	A	C	D	E	B	A
	B	A	E	C	D	B
	C	B	A	D	E	C
	D	E	B	A	C	D
E	D	C	B	A	E	

Aktif Kurallar

z çıkış uzayı

Şekil 1.11. Bulanık kural tablosu

Kural tabanını oluşturan kurallar aslında “eğer....ise” (if.....then.....else) biçimindeki koşul cümlelerinden oluşmaktadır.

Eğer x ve y ise z’dir.

Bulanıklaştırma biriminden gelen x ve y girişleri dikkate alındığı zaman dört tane aktif kuralın olduğu Şekil 1.11’de görülmektedir. Bu her aktif kural için bulanık bir z çıkışı elde edilmektedir. Bu kurallar yukarıdaki yapıdan faydalanılarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

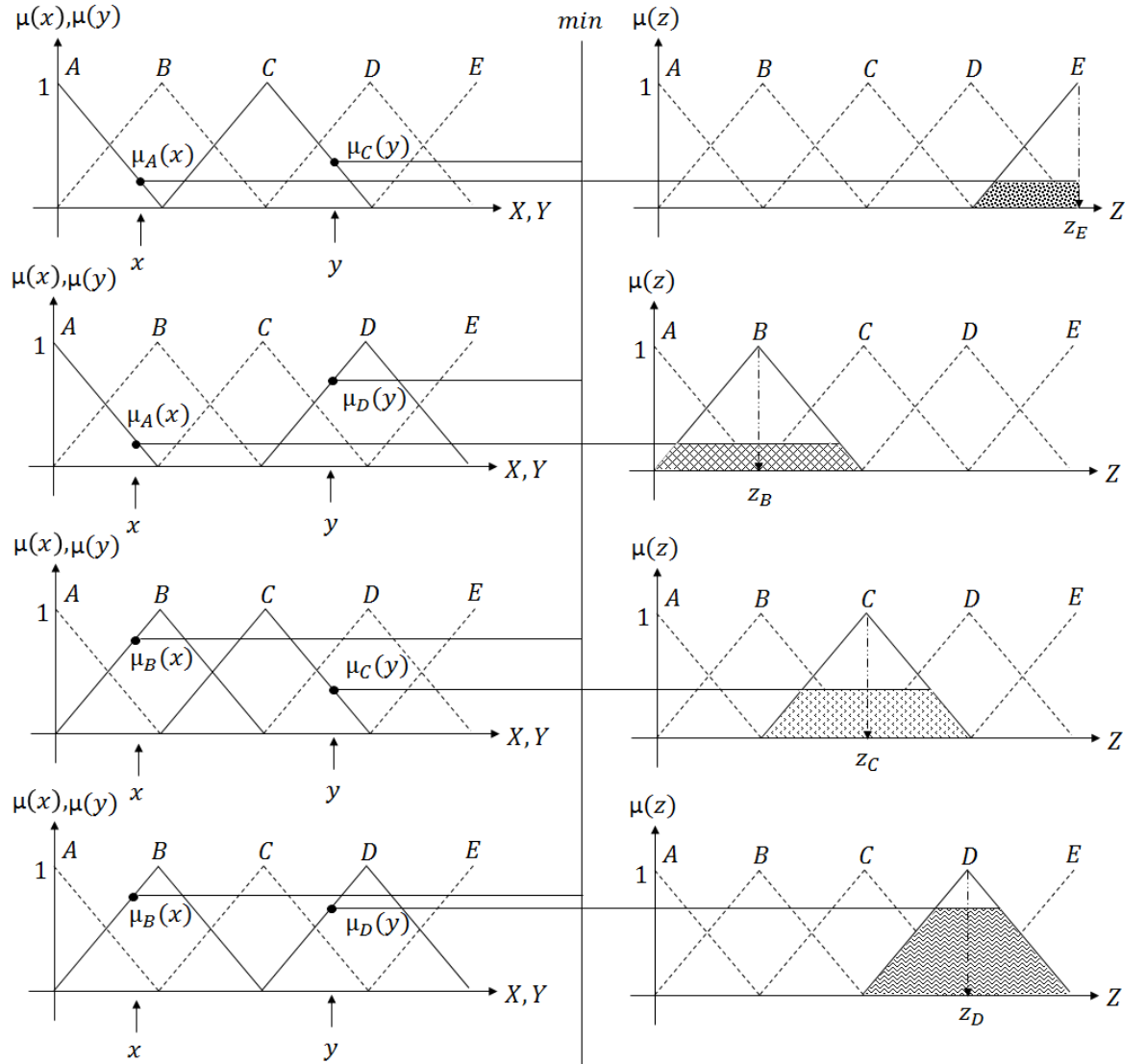
Kural 1: Eğer $x = A$ ve $y = C$ ise $z = E$ ' dir.

Kural 2: Eğer $x = A$ ve $y = D$ ise $z = B$ ' dir.

Kural 3: Eğer $x = B$ ve $y = C$ ise $z = C$ ' dir.

Kural 4: Eğer $x = B$ ve $y = D$ ise $z = D$ ' dir.

Bu kuralların bulanık kümelerde işletilmesi Şekil 1.12'de gösterilmektedir [59].



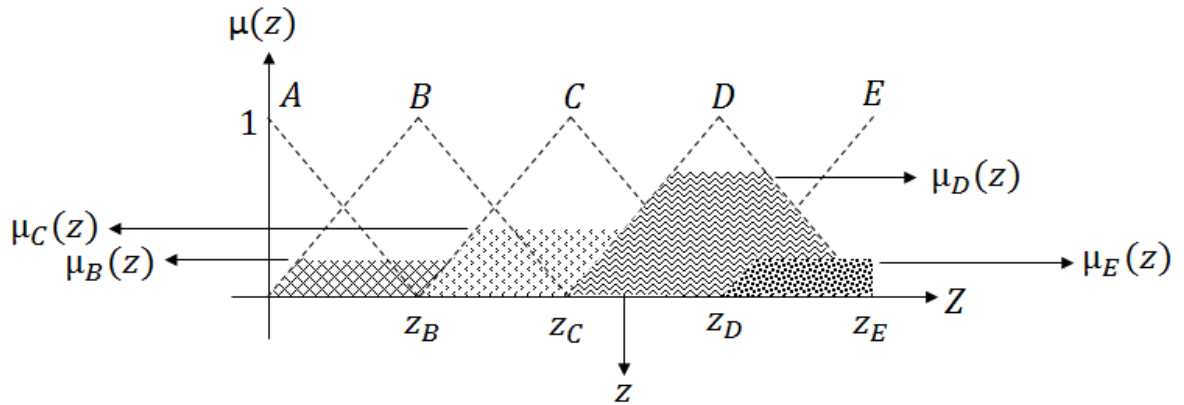
Şekil 1.12. Bulanık kuralların işletilmesi

Bu ifadelerde kullanılan “ve” bağlacı aslında bir minimum alma işlemi olduğundan z çıkış değişkeninin kendisi için tanımlanan bulanık kümelerdeki üyelik değerleri eşitlik (1.22)’deki gibi ifade edilebilir.

$$\begin{aligned}
\mu_E(z) &= \min [\mu_A(x), \mu_C(y)] \\
\mu_B(z) &= \min [\mu_A(x), \mu_D(y)] \\
\mu_C(z) &= \min [\mu_B(x), \mu_C(y)] \\
\mu_D(z) &= \min [\mu_B(x), \mu_C(y)]
\end{aligned}
\tag{1.22}$$

1.6.3.3. Durulaştırıcı

Kural işleme ünitesinde elde edilen $\mu_B(z)$, $\mu_C(z)$, $\mu_D(z)$, $\mu_E(z)$ bulanık çıkışları kullanılarak durulaştırıcı ünitesinde kesin bir sonuç elde edilir. Durulaştırma işlemi için alanların merkezi (Center of Area, COA), maksimumların ortalaması (Mean of Maximum, MOM), Sugeno bulanık modelleri, Tsukamoto bulanık modelleri, iki bölge yöntemi (Bisector of Area, BOA), maksimumların en küçüğü (Smallest of Maximum, SOM) ve maksimumların en büyüğü (Largest of Maximum, LOM) gibi farklı yöntemler bulunmaktadır [59]. Bu yöntemlerden daha yaygın olarak kullanılan alanların merkezi yöntemi ile durulaştırma işlemi kural işleme ünitesinde elde edilen sonuçlara göre Şekil 1.13'te görülmektedir. Durulaştırma işleminin matematiksel ifadesi ise eşitlik (1.23)'te verilmiştir.



Şekil 1.13. Durulaştırma işlemi

$$z = \frac{\mu_B(z) z_B + \mu_C(z) z_C + \mu_D(z) z_D + \mu_E(z) z_E}{\mu_B(z) + \mu_C(z) + \mu_D(z) + \mu_E(z)}
\tag{1.23}$$

Burada z kesin çıkış değeri iken z_B, z_C, z_D ve z_E değerleri sırasıyla B, C, D, E bulanık kümelerinde maksimum üyeliğe sahip olan z kesin değerleridir.

n sayısı kural sayısını göstermek üzere eşitlik (1.23) genellenerek eşitlik (1.24) elde edilir.

$$z = \frac{\sum_{i=1}^n \mu(z_i) z_i}{\sum_{i=1}^n \mu(z_i)} \quad (1.24)$$

1.7. Guguk Kuşu Algoritmasına Giriş

Guguk kuşu algoritması, 2009 yılında Xin-She Yang ve Suash Deb tarafından doğadan esinlenerek geliştirilen üst sezgisel (metaheuristic) bir algoritmadır [60]. Bu algoritma bazı guguk kuşu türlerinin kuluçka asalaklığı ve Lévy uçuşu (Lévy flights) adı verilen rastgele yürüyüşlere dayanır.

1.7.1. Guguk Kuşu Üreme Davranışları

Guguk kuşları güzel sesleriyle olduğu kadar saldırgan çoğalma stratejileri ile ilgi çeken kuşlardır. Türlerin büyük çoğunluğu kuluçka asalağı olup, yumurtalarını yabancı kuşların yuvalarına bırakırlar.

Dişi guguk kuşu, konak yuvanın sahibi dişi kuşun yumurtlamaya başlamasını bekleyerek kuluçkaya yatmadan önce değişik yuvalara genellikle bir yumurtasını bırakır [61, 62]. “Ani” ve “Guira” gibi bazı guguk kuşu türleri kendi yumurtasını koyacağı yuvanın asıl sahibi olan yabancı kuşun yumurtalarından bir tanesini alarak kendi yavrularının yumurtadan çıkma ihtimalini arttırlar. Eğer konak kuş yuvasında kendine ait olmayan yabancı bir yumurtayı fark ederse, ya yuvasına konulmuş bu yumurtayı yuvadan atar ya da bu yuvayı terk ederek başka bir yerde yeni bir yuva yapar [61]. Yeni Dünya türlerinden kuluçka asalağı “Taparak” gibi bazı guguk kuşu türleri, seçtikleri yabancı bir kuş türünü şekil ve renk olarak taklit ederek yumurtalarını yuva sahibi olan kuş türünün yumurtalarına benzetirler [61, 63]. Böylece yumurtalarının yabancı kuş türüne ait yuvada fark edilebilme olasılığını azaltarak yuvada kalma şansını arttırır.

Guguk kuşu yumurtası konak kuş tarafından fark edilmez ise kuluçka sırasında konak kuşın yavrularından daha önce yumurtadan çıkarlar. Yumurtadan çıkan guguk kuşu yavrusu henüz gözleri bile görmezken, konak kuşın getireceği yiyecekleri yuvanın gerçek sahibi yavrularla bölüşmemek için içgüdüsel olarak sırtını ve kanatlarını kullanacak şekilde akrobatik hareketlerle yuvadaki yumurtaları tek tek yuvadan atar [63].

1.7.2. Lévy Uçuşu

Lévy uçuşu, bazı hayvanların yiyecek aramak için izledikleri stratejilerden biridir [64, 65]. Bu stratejiye göre, yiyecek arayan bir hayvan öncelikle bulunduğu küçük bir bölgeyi bir maddedeki atomların yaptığı “Brown hareketleri” ne benzer olarak taradıktan sonra gelişigüzel belirlenen bir yön seçerek büyük ölçekli hareketlerle yiyecek aramaya koyulurlar. Böyle bir hareket sonucunda Şekil 1.14’teki gibi bir desen ortaya çıkar.



Şekil 1.14. Lévy uçuşu [60]

Lévy uçuşu adım büyüklükleri sürekli bir olasılık dağılımı olan Lévy dağılımına uygun olarak gerçekleşen rastgele bir yürüyüştür [66]. Sonsuz ortalama ve varyansa sahip Lévy dağılımı eşitlik (1.25)’teki gibi tanımlanabilir [60].

$$Levy \sim u = t^{-\lambda}, \quad (1 < \lambda \leq 3) \quad (1.25)$$

Adım büyüklüğünü belirlemek için birkaç yol vardır fakat en etkili ve basit yollardan biri Mantegna algoritmasını kullanmaktır. Adım büyüklüğü pozitif veya negatif olabilir. Mantegna algoritmasına göre adım büyüklüğü (s), eşitlik (1.26)'daki hesaplanır [67].

$$s = \frac{u}{|v|^{1/\beta}} \quad (1.26)$$

Bu eşitlikteki β parametresi $[1, 2]$ aralığında olup genellikle 1.5 olarak alınırken u ve v , ortalaması sıfır olan normal dağılımlı rassal değişkenlerdir ve eşitlik (1.27)'deki gibi tanımlanırlar.

$$u \sim N(0, \sigma_u^2), \quad v \sim N(0, \sigma_v^2) \quad (1.27)$$

u ve v 'nin σ_u ve σ_v standart sapmaları eşitlik (1.28)'de verilmiştir.

$$\sigma_u = \left\{ \frac{\Gamma(1+\beta) \sin(\pi\beta/2)}{\Gamma[(1+\beta)/2] \beta 2^{(\beta-1)/2}} \right\}^{1/\beta}, \quad \sigma_v = 1 \quad (1.28)$$

1.7.3. Guguk Kuşu Algoritması

Guguk kuşu yabancı bir yuvaya sadece bir yumurta bırakır ve yuvadaki her yumurta bir çözümü temsil eder. Guguk kuşu yumurtası ise yeni bir çözümü temsil eder. Buradaki amaç yeni ve potansiyel olarak daha iyi çözümleri (guguk kuşu yumurtalarını) yuvadaki iyi olmayan çözümlerle değiştirmektir. Algoritmanın daha iyi sonuç üretebilmesi için en basit yöntem olan her yuvanın sadece bir yumurta taşınması yaklaşımı benimsenmiştir [60]. Böylece bir guguk kuşu yumurtası veya bir konak kuş yuvası bir çözümü temsil eder. Algoritmada nesil konak kuş yuvalarından oluşur.

Guguk kuşu algoritmasının temel adımları aşağıdaki üç kurala dayanır [60].

1. Her guguk kuşu bir seferde sadece bir yumurtayı rastgele seçilen yabancı bir kuşun yuvasına bırakır.
2. En iyi yuvalar gelecek nesillere taşınır. Yuvaların uygunluğu probleme göre tanımlanan amaç fonksiyonları kullanılarak belirlenir.

3. Mevcut yuva sayısı sabittir ve guguk kuşu yumurtasının konak kuş tarafından fak edilmesi $p_a \in [0,1]$ olasılığı ile gerçekleşir. Fark edilen bu yuvalar rastgele üretilen yeni yuvalar ile değiştirilir.

Lévy uçuşu ile yeni çözümler $x^{(t+1)}$ üretmek için eşitlik (1.29) kullanılır. Bu eşitlik aslında, gelecek durumu sadece şu andaki mevcut durumuna ($x^{(t)}$) ve geçiş olasılığına bağlı olan Markov zinciri ile tanımlanan rastgele bir yürüyüşü ifade eder.

$$x_i^{(t+1)} = x_i^{(t)} + \alpha \oplus Levy(\lambda) \quad (1.29)$$

(1.29) eşitliğindeki $\alpha > 0$ olmak üzere adım büyüklüğünü kontrol etmek için kullanılan bir parametredir. Çoğu durumda $\alpha = 1$ olarak alınabilir.

PSO' da da benzer bir rastgele yürüyüş olmasına rağmen, guguk kuşu algoritmasında bu yürüyüş uzun adımlar sağlayan Lévy uçuşu ile gerçekleştirildiği için arama uzayını keşfetmede daha etkilidir [60].

Lévy uçuşu ile yeni çözümlerin bazıları en iyi çözüme yakın yerlerde üretilir. Bu durum yerel aramayı hızlandırır. Fakat yeni çözümlerin büyük bir kısmı ise en iyi çözümden yeterince uzaktaki yerlerde üretilir. Böylece yerel minimuma takılma önlemiş olur.

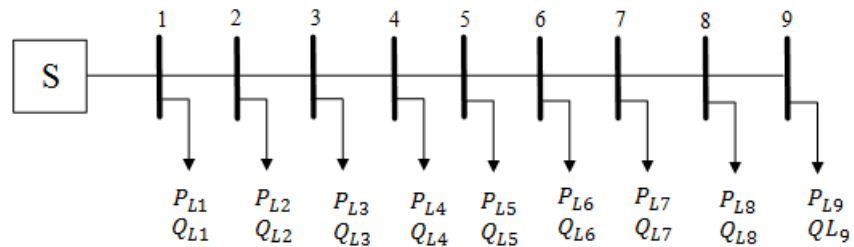
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME

2.1. Giriş

Dağıtım sisteminde oluşan güç kayıpları üretilen enerjinin yaklaşık %13'ü kadardır [31]. Enerji kaynaklarının kısıtlılığı söz konusu iken gereksiz yere kaybedilen bu enerji oldukça önem kazanmakta ve mevcut enerjinin verimli bir şekilde kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Ülke ekonomisine milyon dolarlara mal olan bu şebeke kayıplarının azaltılması ve gerilim profilinin iyileştirilmesi için çözüm üretmek bu tez çalışmasının kapsamını oluşturmaktadır. Problemin çözümü için dağıtım şebekesine yerleştirilmesi gereken şönt kapasitörün yerinin ve değerinin optimum olarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Bulanık Uzman Sistemler, Bulanık Optimizasyon Tekniği ve Guguk Kuşu Optimizasyon Algoritması bu çalışmada kullanılan yöntemler olup elde edilen sonuçlar literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılarak kullanılan yöntemlerin performansı değerlendirilmiştir. Bu çalışmada sabit yükler kullanılmış, harmonikler ihmal edilmiş ve şebekenin dengeli yüklendiği kabul edilmiştir. Bu varsayımlar diğer çalışmalarla daha doğru karşılaştırma yapabilmek için yapılmıştır. Yük akış analizi için Forward and Backward Sweep algoritması tercih edilmiştir. Test sistemi olarak 9 baralı standart IEEE dağıtım şebekesi kullanılmış ve önerilen yöntemler MATLAB'de programlanmıştır.

2.2. Test Sistemi ve Verileri

Bu çalışmada kullanılan test sistemi 9 baralı standart IEEE dağıtım şebekesidir [68]. Bu test sistemi Şekil 2.1'de görüldüğü gibi tek hattan oluşan radyal bir yapıdadır. Hattın nominal gerilimi 23 kV'dur. Test sisteminin yük ve hat verileri Tablo 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1. 9 baralı standart IEEE dağıtım şebekesi

Tablo 2.1. Test sisteminin yük ve hat verileri

	Bara								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Yük									
P (kW)	1840	980	1790	1598	1610	780	1150	980	1640
Q (kVAr)	460	340	446	1840	600	110	60	130	200
Hat									
i.bara	0	1	2	3	4	5	6	7	8
i+1. bara	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R (Ω)	0.1233	0.0140	0.7463	0.6984	1.9831	0.9053	2.0552	4.7953	5.3434
X (Ω)	0.4127	0.6051	1.2050	0.6084	1.7276	0.7886	1.1640	2.7160	3.0264

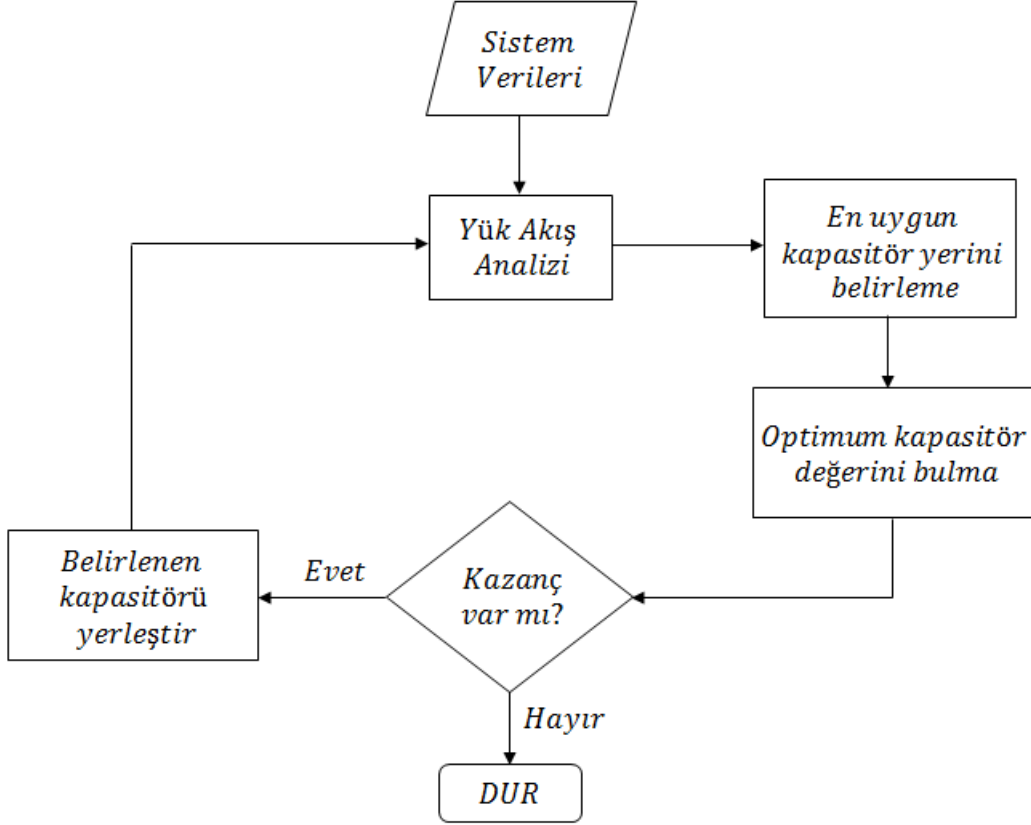
2.3. Bulanık Mantık ile OCPS Probleminin Çözümü

Bulanık mantık ile OCPS probleminin çözümü temel olarak iki ana kısımda gerçekleştirilmiştir. İlk kısımda bulanık mantık yaklaşımı kullanılarak dağıtım şebekesine yerleştirilecek kapasitör için en uygun bara belirlenmiştir. Bunun için sistem verileri kullanılarak yük akış analiz programında her bara için hesaplanan güç kaybı indeksi ve bara gerilimi kullanılmıştır [33]. İkinci kısımda ise belirlenen bu baraya yerleştirilecek olan kapasitörün optimum değeri maksimum kazanç elde edilecek şekilde bulanık mantık optimizasyon tekniği kullanılarak bulunmuştur. Kapasitör yerleştirme işlemi, kapasitörün yerleştirilmesinden ek bir kazanç elde edilemeyene kadar tekrarlanır. Kapasitör değerini belirleme işleminde kapasitörlerin değeri sürekli değer olarak değil ticari olarak mevcut olan ayırık değerler olarak göz önüne alınmıştır. Bu kapasitör değerleri (kVAr) ve maliyetleri (\$/kVAr) Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2. Ticari olarak mevcut kapasitörlerin büyüklükleri ve maliyetleri [68]

	1	2	3	4	5	6	7
Kapasitör Değeri (kVAr)	150	300	450	600	750	900	1050
Kapasitör Maliyeti (\$/kVAr)	0.500	0.350	0.253	0.220	0.276	0.183	0.228
	8	9	10	11	12	13	14
Kapasitör Değeri (kVAr)	1200	1350	1500	1650	1800	1950	2100
Kapasitör Maliyeti (\$/kVAr)	0.170	0.207	0.201	0.193	0.187	0.211	0.176
	15	16	17	18	19	20	21
Kapasitör Değeri (kVAr)	2250	2400	2550	2700	2850	3000	3150
Kapasitör Maliyeti (\$/kVAr)	0.197	0.170	0.189	0.187	0.183	0.180	0.195
	22	23	24	25	26	27	
Kapasitör Değeri (kVAr)	3300	3450	3600	3750	3900	4050	
Kapasitör Maliyeti (\$/kVAr)	0.174	0.188	0.170	0.183	0.182	0.179	

Bulanık mantık ile OCPS probleminin genel çözümü Şekil 2.2'deki gibi özetlenebilir.

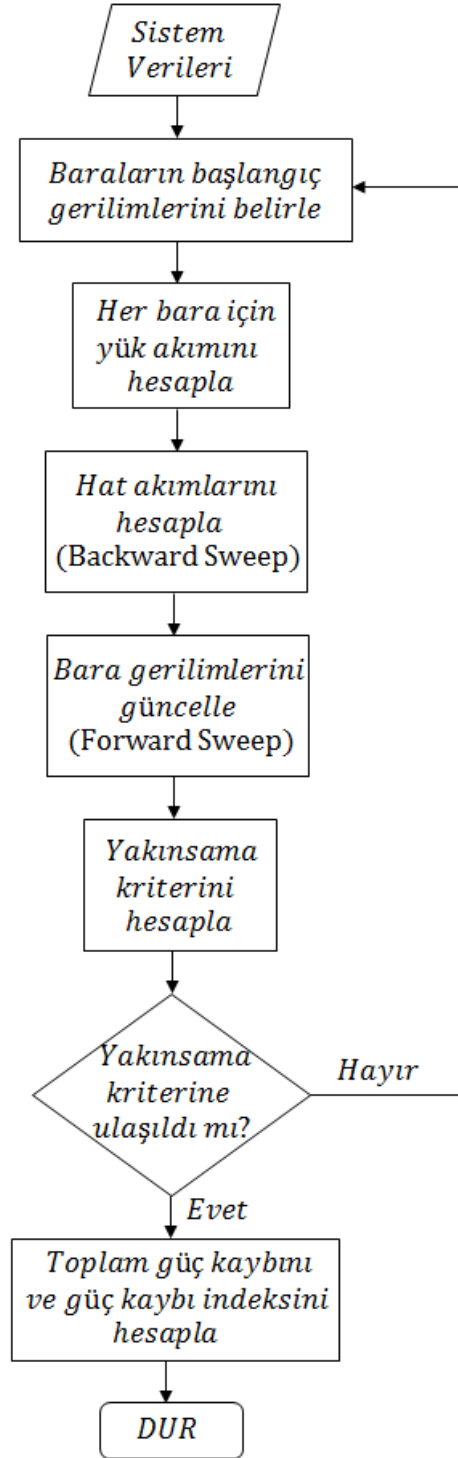


Şekil 2.2. Bulanık mantık ile OCPS probleminin genel çözümü

2.3.1. Yük Akış Analizinin Uygulanması

Yük akış analizi için Forward and Backward Sweep algoritmasının akım toplama yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan algoritmanın akış diyagramı Şekil 2.3'te görülmektedir.

Şebekedeki baraların başlangıç gerilimleri serbest baranın gerilim genlik ve açısına eşit kabul edilerek belirlenir. Daha sonra (1.12) eşitliği kullanılarak her bara için yük akımı hesaplanırken (1.13) ve (1.14) eşitlikleri ile de hat akımları hesaplanarak bara gerilimleri (1.15) eşitliğindeki gibi güncellenir. Yakınsama kriteri eşitlik (2.1)'deki gibi hesaplanarak, istenilen değere ulaşıncaya kadar önceki adımlar tekrarlanır.



Şekil 2.3. Akım toplama yöntemi ile Forward and Backward Sweep yük akış programının akış diyagramı

Bu çalışmada yakınsama kriteri olarak bara gerilimleri kullanılmıştır.

$$\Delta V = |V^{(k)} - V^{(k-1)}| \quad (2.1)$$

Bu eşitlikteki ΔV bara gerilimindeki değişimi ifade etmektedir. V^k ve V^{k-1} ise sırasıyla mevcut ve bir önceki iterasyondaki gerilim değerleridir. Bu ΔV değeri her bara için hesaplanarak bu çalışmada belirlenen değere ($\Delta V < 0.0001$) ulaşıncaya kadar iterasyona devam edilir.

Yük akış programında hesaplanan hat akımları kullanılarak toplam güç kaybı ($P_{Kayıp}$) eşitlik (2.2)'deki gibi hesaplanır. Bu eşitlikteki $R_{i,i-1}$, i. bara ile i-1. bara arasındaki hattın direncidir.

$$P_{Kayıp} = \sum_{i=1}^n (I_{d(i)})^2 R_{i,i-1} \quad (2.2)$$

Eşitlik (2.2)'deki hesaplanan güç kaybı aktif ve reaktif yük akımından kaynaklanmaktadır. Her baradaki reaktif yük akımları kompanze edildiğinde oluşan güç kaybı ise ($P_{Kayıp}$)' olarak kabul edilirse güç kaybındaki azalma (ΔP) eşitlik (2.3)'teki gibi hesaplanır.

$$\Delta P = P_{Kayıp} - (P_{Kayıp})' \quad (2.3)$$

Her bara için hesaplanan bu ΔP değerleri [0,1] aralığında normalize edilerek güç kaybı indeksi (Power Loss Index (PLI)) eşitlik (2.4) kullanılarak bulunur.

$$PLI_{(n)} = \frac{\Delta P_{(n)} - \Delta P_{(min)}}{\Delta P_{(max)} - \Delta P_{(min)}} \quad (2.4)$$

Bu eşitlikteki $\Delta P_{(n)}$ güç kaybı indeksi hesaplanan baradaki güç kaybındaki azalmayı, $\Delta P_{(min)}$ ve $\Delta P_{(max)}$ ise sırasıyla şebekedeki en az ve en fazla güç kaybı azalmasına sahip baralardaki ΔP değerlerini ifade etmektedir.

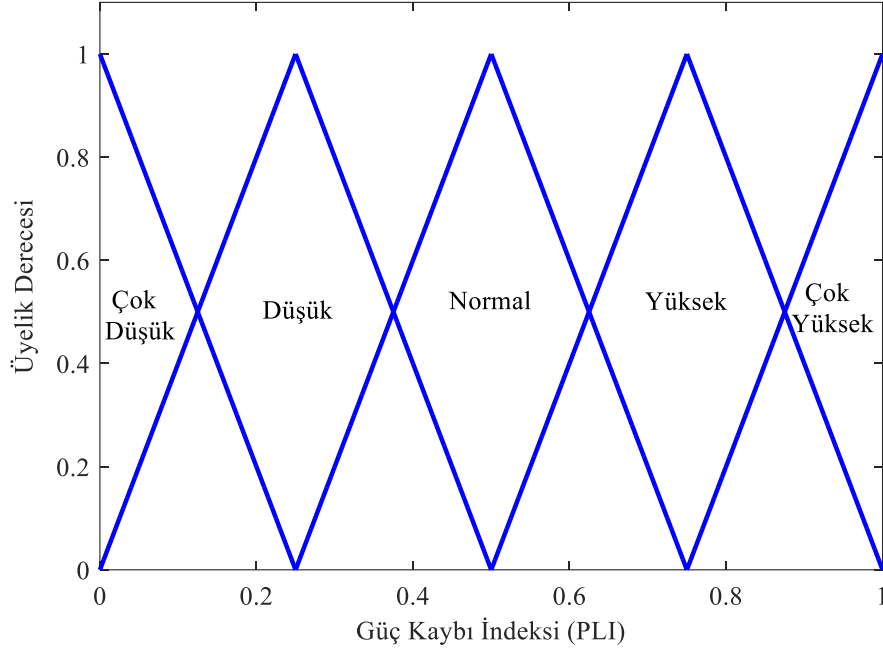
2.3.2. Optimum Kapasitör Yerini Belirleme

Dağıtım sistemine yerleştirilmesi gereken kapasitör için en uygun yer belirlenirken dağıtım sistemindeki kayıplar ve bara gerilimleri göz önüne alınır. Yüksek güç kaybı ve düşük bara geriliminin olduğu bara kapasitörün yerleştirilmesi gereken en ideal yerdir [33]. Bu ifadedeki terimlere dikkat edilirse “yüksek” ve “düşük” gibi dilsel tanımlamalardır ve geleneksel uzman sistemlerde kuralları tanımlamak için kullanılmazlar. Bu nedenle dağıtım sisteminde kapasitörün yerleştirileceği uygun barayı belirlemek için bu çalışmada bulanık mantık yaklaşımı kullanılmıştır.

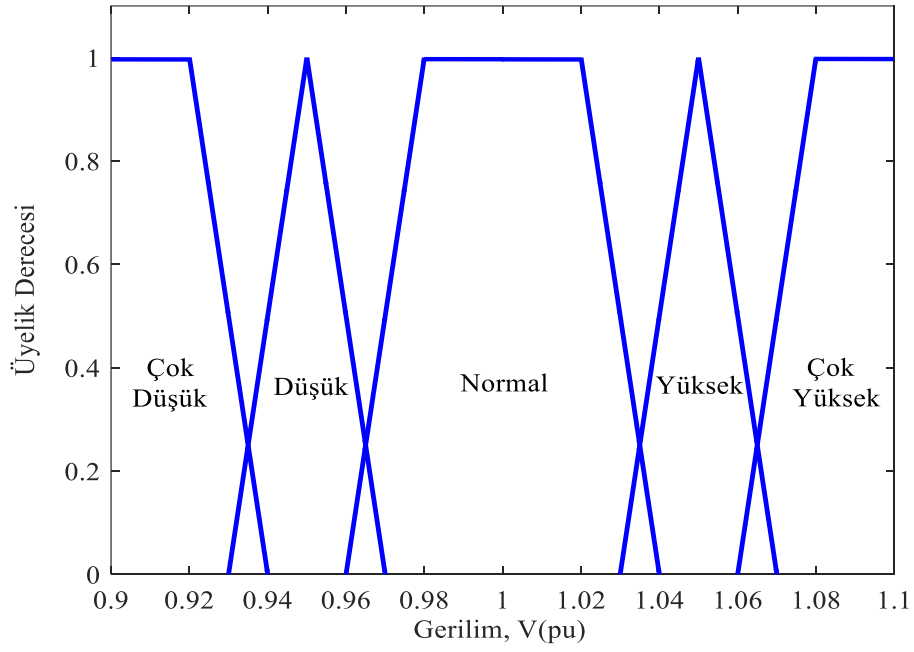
Yük akış analizinde hesaplanan güç kaybı indeksi ve bara gerilimleri (p_u) bulanık kuralların girişini oluşturur. Kurallar kapasitörün kurulacağı en uygun yeri belirlemek için tanımlandığı için kuralların çıkışı kapasitör yerleştirme uygunluğudur.

Güç kaybı indeksi, bara gerilimleri ve kapasitör yerleştirme uygunluğu bulanık değişkenler olup bulanık terimler tarafından tanımlanırlar. Çok Düşük (ÇD), Düşük (D), Normal (N), Yüksek (Y), Çok Yüksek (ÇY) terimleri bulanık değişkenleri tanımlamak için kullanılan dilsel terimlerdir.

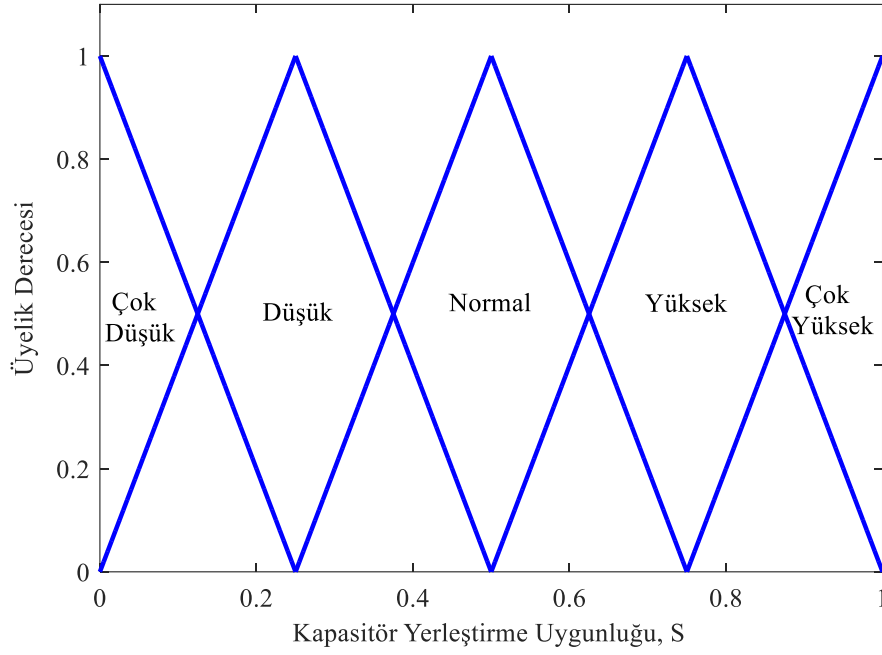
Dilsel terimlerle tanımlanan bu bulanık değişkenler üyelik fonksiyonları ile temsil edilirler. Uygun üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi istenilen sonuca ulaşabilmek için oldukça önemlidir. Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde belirli bir kural olmayıp içgüdüsel olarak insan tecrübesine ve olasılık yöntemlerine göre belirlenirler. Bu çalışmada bulanık değişkenleri temsil eden üyelik fonksiyonları Şekil 2.4, Şekil 2.5 ve Şekil 2.6’da görülmektedir. Bara gerilimleri için üyelik fonksiyonları tasarlanırken dağıtım sistemindeki kabul edilebilir gerilim değerleri göz önüne alınmıştır.



Şekil 2.4. Güç kaybı indeksi için üyelik fonksiyonu



Şekil 2.5. Bara gerilimleri için üyelik fonksiyonu



Şekil 2.6. Kapasitör yerleştirme uygunluğu için üyelik fonksiyonu

Kapasitör eklenecek baranın seçiminde en yüksek güç kaybının ve en düşük gerilimin olduğu bara seçilmeye daha uygundur. Kural tablosu bu durum göz önüne alınarak Tablo 2.3'teki gibi oluşturulmuştur. Örneğin; güç kaybı indeksi çok yüksek (ÇY) ve gerilim çok düşük (ÇD) iken kapasitör yerleştirme uygunluğu çok yüksek (ÇY), güç kaybı indeksi çok düşük (ÇD) ve gerilim çok yüksek (ÇY) iken ise kapasitör yerleştirme uygunluğu çok düşük (ÇD) olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde diğer durumlar için bulanık kuralların bir bütünü Tablo 2.3'te görülmektedir.

Tablo 2.3. Optimum kapasitör yerleştirme için oluşturulan kural tablosu

AND		Gerilim				
		ÇD	D	N	Y	ÇY
Güç Kaybı İndeksi (PLI)	ÇD	D	D	ÇD	ÇD	ÇD
	D	N	D	D	ÇD	ÇD
	N	Y	N	D	ÇD	ÇD
	Y	Y	Y	N	D	ÇD
	ÇY	ÇY	Y	N	D	D

Güç kaybı azalma indeksi ve bara gerilim değerleri için oluşturulan üyelik fonksiyonları incelendiği zaman dört aktif kural olduğu görülür. Bu giriş değişkenlerinin üyelik değerlerine sırasıyla μ_P ve μ_V dersek, her aktif kural için bu değerlerin minimumu kapasitör yerleştirme uygunluğunun üyelik değeri (μ_S) olarak eşitlik (2.5)'teki gibi belirlenir.

$$\mu_S = \min [\mu_P, \mu_V] \quad (2.5)$$

Alanların merkezi yöntemi ile durulaştırma yöntemi kullanılarak kapasitör yerleştirme uygunluk indeksi (CPSI) eşitlik (2.6) kullanılarak belirlenir.

$$CPSI = \frac{\int \mu_S(z) \cdot z \cdot dz}{\int \mu_S(z) dz} \quad (2.6)$$

Eşitlikteki z her üyelik fonksiyonunun maksimum üyelik değerine karşılık gelen kesin değeri ifade etmektedir.

Kapasitör yerleştirme uygunluğu indeksi her bara için hesaplanır ve en yüksek indekse sahip bara kapasitörün yerleştirileceği en uygun yer olarak seçilir.

2.3.3. Optimum Kapasitör Değerini Bulma

Bulanık mantık yaklaşımı kullanılarak en uygun kapasitör yeri belirlendikten sonra, kapasitörün optimum değeri bulanık mantık optimizasyon tekniği ile amaç fonksiyonu optimize edilerek belirlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan amaç fonksiyonu eşitlik (2.7)'de tanımlanan kazanç fonksiyonudur ve güç kaybını minimize ederek yıllık net kazancı maksimize etmeyi amaçlar.

$$S = K_P \Delta_P - K_C Q_C \quad (2.7)$$

Bu eşitlikte;

S : Yıllık net kazanç, \$

K_P : Azalan güç kaybının maliyeti, \$/ kW

ΔP : Güç kaybındaki azalma

K_C : Kurulacak kapasitörün maliyeti, \$/ kVAr

Q_C : Kurulacak kapasitörün değeri, kVAr

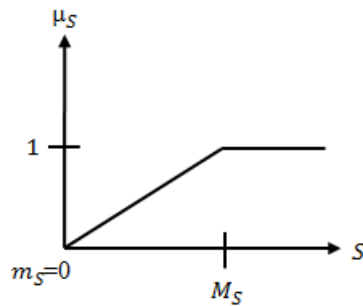
Yıllık net kazanç maksimize edilirken kapasitörün yerleştirildiği barada kabul edilebilir maksimum gerilim değerinin aşılmaması ($V_{Bara} < V_{max}$) göz önüne alınmıştır.

Bulanık mantık optimizasyon tekniğinde, kazanç fonksiyonu ve belirlenen en uygun aday baranın gerilimi için üyelik fonksiyonları belirlenir. Eşitlik (2.7)'deki kazanç fonksiyonu için eşitlik (2.8)'deki gibi bir üyelik fonksiyonu ($\mu_{kazanç}$) tanımlanmıştır.

$$\mu_{kazanç} = \begin{cases} 1, & S > M_S \\ \frac{S - m_S}{M_S - m_S}, & m_S \leq S \leq M_S \\ 0, & S < m_S \end{cases} \quad (2.8)$$

Bu eşitlikteki m_S ve M_S sırasıyla kazanç fonksiyonunun minimum ve maksimum değerleridir ve $m_S = 0$ olarak alınmıştır.

(2.8) eşitliğindeki kazanç fonksiyonunun üyelik fonksiyonu Şekil 2.7'deki gibi bir forma sahiptir.



Şekil 2.7. Kazanç fonksiyonu için üyelik fonksiyonu

Kapasitör yerleştirmenin bir etkisi olarak kapasitörün yerleştirildiği noktada gerilim artar. Bu gerilimin kabul edilebilir gerilim değerini aşmaması gerekmektedir. Bu nedenle bara gerilimi kapasitör yerleştirme problemi için sınırları oluşturmaktadır.

Bara gerilimi için tanımlanan üyelik fonksiyonu eşitlik (2.9)'da verilmiştir. Bu eşitlik Şekil 2.8'deki gibi bir forma sahiptir.

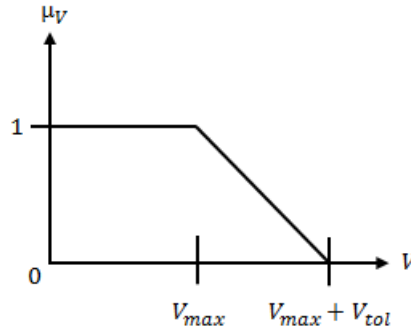
$$\mu_V = \begin{cases} 1, & V_{bara} < V_{max} \\ \frac{(V_{max} + V_{tol}) - V_{bara}}{V_{tol}}, & V_{max} \leq V_{bara} \leq V_{max} + V_{tol} \\ 0, & V_{bara} > V_{max} + V_{tol} \end{cases} \quad (2.9)$$

Bu eşitlikte;

V_{max} : Kabul edilebilir maksimum gerilim seviyesi ($V_{max} = 1.04$ pu)

V_{tol} : Tolere edilebilir gerilim seviyesi ($V_{tol} = 0.03$ pu)

V_{bara} : En uygun yer olarak belirlenen baradaki gerilim



Şekil 2.8. Bara gerilim sınırları için üyelik fonksiyonu

Belirlenen üyelik derecelerinin minimumu alınarak kapasitörün üyelik değeri μ_C eşitlik (2.10)'daki gibi elde edilmiştir.

$$\mu_C = \min [\mu_{kazanç}, \mu_V] \quad (2.10)$$

Bu μ_C değeri bütün kapasitör değerleri için belirlenir ve en büyük üyelik değerine sahip olan kapasitör değeri optimum kapasitör seçilerek belirlenen en uygun baraya yerleştirilir.

2.3.4. BM ile OCPS Probleminin Çözüm Algoritması

OCPS probleminin çözümü için bulanık mantık yaklaşımı kullanılarak geliştirilen algoritmanın işlem basamakları aşağıdaki gibi tanımlanmıştır ve akış diyagramı Şekil 2.9' da verilmiştir.

- Adım 1 : Sistemin yük ve hat bilgisi gibi sistem verileri okunur.
- Adım 2 : Bara gerilimleri, güç kaybı indeksi ve toplam güç kaybı yük akış analiz programında hesaplanır.
- Adım 3 : Kapasitör yerleştirme uygunluğu için üyelik değeri 2. adımda hesaplanan PLI ve bara gerilimleri kullanılarak eşitlik (2.5)'teki gibi belirlenir.
- Adım 4 : Kapasitör yerleştirme uygunluğu indeksi eşitlik (2.6) kullanılarak her bara için hesaplanır.
- Adım 5 : Maksimum CPSI'ya sahip bara kapasitör yerleştirmek için en uygun bara olarak belirlenir.
- Adım 6 : Ticari olarak mevcut olan kapasitörlerin bulunduğu listeden sırasıyla bir kapasitör (Q_C) seçilir ve en uygun baradaki reaktif güç değeri eşitlik (2.11)'deki gibi güncellenir.

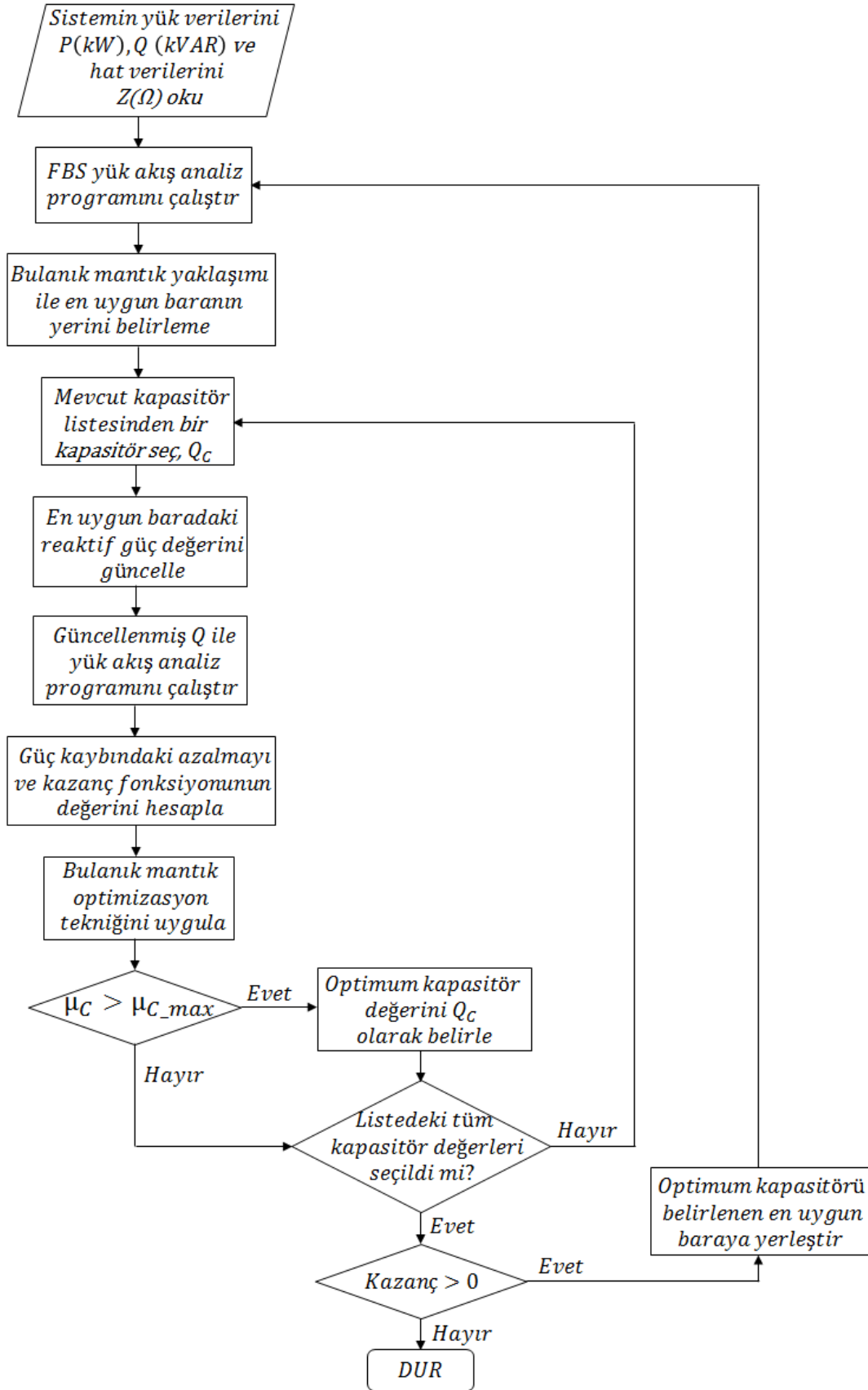
$$(Q_{yük})' = Q_{yük} - Q_C \quad (2.11)$$

- Adım 7 : Güncellenmiş Q ile yük akış analizi yapılır ve bu durumdaki toplam güç kaybı ve bara gerilimleri hesaplanır.
- Adım 8 : 7. adımda güncellenmiş Q ile hesaplanan toplam güç kaybı ($P_{Kayıp}$)' ve 2. adımda hesaplanan toplam güç kaybı $P_{Kayıp}$ kullanılarak güç kaybındaki azalma ΔP eşitlik (2.12)'deki gibi hesaplanır.

$$\Delta P = P_{Kayıp} - (P_{Kayıp})' \quad (2.12)$$

- Adım 9 : Eşitlik (2.7) kullanılarak amaç fonksiyonunun değeri hesaplanır.

- Adım 10 : Bulanık mantık optimizasyon tekniği kullanılarak 6. adımda seçilen kapasitör için üyelik değeri belirlenir.
- Adım 11 : 10. adımda belirlenen üyelik değerinin önceki kapasitör değerinin üyelik değerinden büyük olup olmadığı kontrol edilir. Eğer büyükse 6. adımda seçilen kapasitör değeri optimum kapasitör değeri olarak belirlenir. Eğer büyük değilse bir sonraki adıma geçilir.
- Adım 12 : Mevcut kapasitör listesindeki bütün kapasitörlerin seçilip seçilmediği kontrol edilir. Eğer seçilmemişse, 6. adıma geri dönülür. Aksi takdirde bir sonraki adıma geçilir.
- Adım 13 : 9. adımda hesaplanan amaç fonksiyonunun değerinin sıfırdan büyük olup olmadığı kontrol edilir. Eğer sıfırdan büyükse, 11. adımda belirlenen kapasitör en uygun baraya yerleştirilir ve 2. adıma geri dönülür. Aksi takdirde algoritma sonlandırılır.



Şekil 2.9. BM ile çözüm algoritmasının akış diyagramı

2.3.5. Önerilen Yöntemin Test Sistemine Uygulanması ve Sonuçlar

Tablo 2.1'deki sistem verileri kullanılarak yük akış analizi yapılmış ve sistemin kompanzasyondan önceki bara gerilimleri, toplam güç kaybı ve yıllık maliyeti elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar Tablo 2.4'te verilmiştir.

Tablo 2.4. Kompanzasyondan önceki sonuçlar

Bara	Gerilim (pu)
1	0.9929
2	0.9874
3	0.9634
4	0.9480
5	0.9172
6	0.9072
7	0.8890
8	0.8597
9	0.8375
Toplam Güç Kaybı (kW)	783.8
Yıllık Maliyet (\$)	131675

Tablo 2.4'te görüldüğü gibi kompanzasyondan önceki sistemin toplam güç kaybı 783.8 kW, yıllık maliyet ise 131675 \$ olarak elde edilmiştir. Maksimum ve minimum bara gerilim değerleri ise sırasıyla $V_{max}= 0.9929$ ve $V_{min}= 0.8375$ pu'dur.

Yük akış analiz programında ayrıca PLI değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen bu değerler Tablo 2.5'te verilmiştir.

Tablo 2.5. PLI değerleri

Bara	1	2	3	4	5	6	7	8	9
PLI	0.2181	0	1.000	0.7135	0.4481	0.0495	0.0891	0.1456	0.0521

Bulanık kuralların girişini oluşturan V_{bara} ve PLI değerleri kullanılarak her bara için CPSI değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen değerler Tablo 2.6'da verilmiştir.

Tablo 2.6. CPSI değerleri

Bara	1	2	3	4	5	6	7	8	9
CPSI	0.2181	0	0.6650	0.7135	0.6981	0.2995	0.3391	0.3956	0.3021

Tablo 2.6'dan görüldüğü gibi en büyük CPSI değerine sahip bara 4. bara olduğu için kapasitörün yerleştirilmesi için en uygun bara olarak belirlenmiştir. Bu bara için bulanık kuralların işletilmesi Şekil 2.10'da görülmektedir.

4. baranın güç kaybı indeksi 0.7135 kesin değeri olup Şekil 2.10'da görüldüğü üzere "Normal" ve "Yüksek" bulanık kümelerinde olmak üzere iki ayrı kümede üyeliğe sahiptir. Normal bulanık kümesindeki üyelik değeri $\mu_P = 0.146$ iken yüksek bulanık kümesindeki üyelik değeri ise $\mu_P = 0.854$ 'tür.

Gerilim değeri 0.9480 pu kesin değeri olarak elde edilmiş 4. baranın sadece "Düşük" bulanık kümesinde üyeliğe sahip olduğu Şekil 2.10'da görülmektedir. Bu kümedeki üyelik değeri $\mu_V = 0.9$ 'dur.

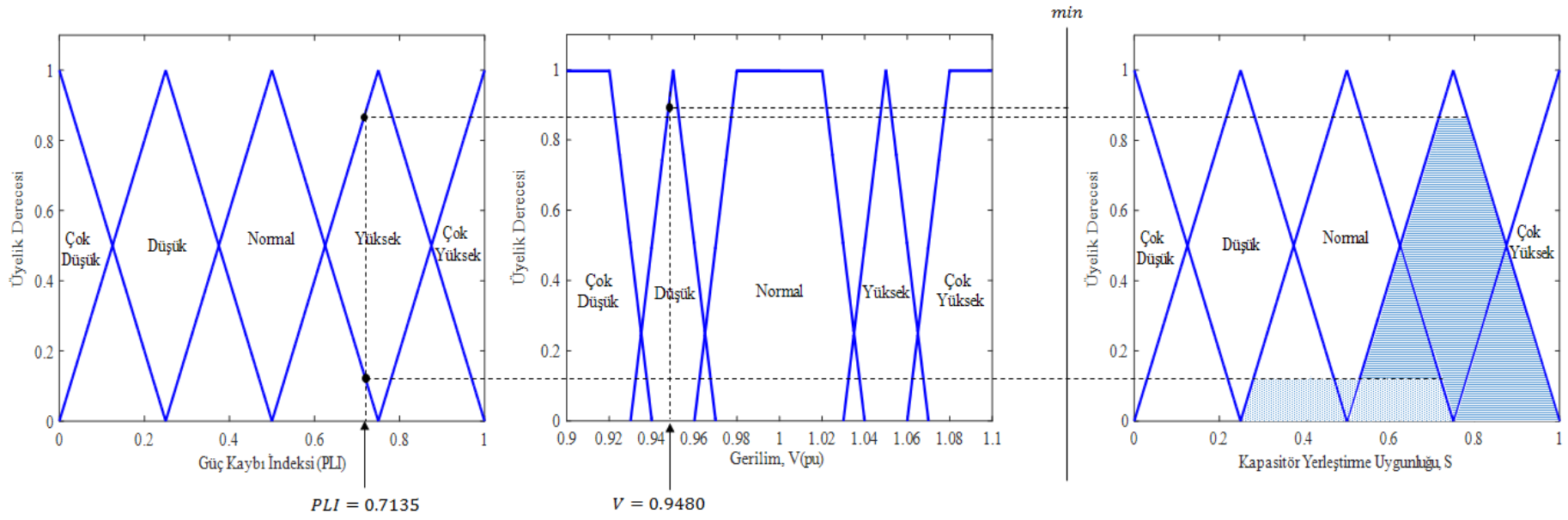
Bulanık kümelerdeki bu üyeliklere göre 4. bara için aktif iki kural söz konusudur. Tablo 2.3'teki optimum kapasitör yerleştirme için oluşturulan kural tablosu dikkate alınarak aşağıdaki bu iki aktif kural işletilir.

Kural 1: Eğer $PLI = \text{"Normal"}$ ve $V = \text{"Düşük"}$ ise $S = \text{"Normal"}$ ' dir.

Kural 2: Eğer $PLI = \text{"Yüksek"}$ ve $V = \text{"Düşük"}$ ise $S = \text{"Yüksek"}$ ' dir.

Kapasitör yerleştirme uygunluğunun "Normal" kümesindeki üyelik değeri $\mu_S = 0.146$ ve "Yüksek" kümesindeki üyelik değeri ise $\mu_S = 0.854$ olarak eşitlik (2.5) kullanılarak belirlenmiştir. İlgili kurallar ve çıkış kümesindeki bu üyelik değerleri dikkate alınarak CPSI değeri eşitlik (2.6)'ya göre 0.7135 olarak bulunmuştur.

Burada sadece en iyi bara için kuralların işletilmesi gösterilmiş olup benzer şekilde dağıtım şebekesindeki diğer baralar için de ilgili kurallar işletilerek CPSI değerleri Tablo 2.6'daki gibi elde edilmiş ve en yüksek indekse sahip bara belirlenmiştir.



Şekil 2.10. En iyi bara için kuralların işletilmesi

Bu çalışmada amaç fonksiyonunu hesaplamak için kullanılan K_p , diğer çalışmalarla daha doğru karşılaştırma yapabilmek için 168 \$/ kW olarak alınmıştır [68].

Kapasitörün yerleştirilmesi gereken en uygun bara 4. bara olarak belirlendikten sonra eşitlik (2.7)'deki yıllık net kazançtan oluşan amaç fonksiyonunu 4.baradaki geriliminin kabul edilebilir maksimum gerilim değerini aşmayacak şekilde optimize edecek olan kapasitörün değeri 4050 kVAr olarak belirlenmiştir. Böylece 4. baraya 4050 kVAr'lık kapasitör yerleştirilmesiyle 12919 \$ yıllık net kazanç elde edilmiştir. Toplam güç kaybının ise 702.57 kW'a düştüğü gözlemlenmiştir.

Bu değerler birinci iterasyonda elde edilmiş olup, kazanç sıfırdan büyük olduğu için bir sonraki iterasyona geçilmiştir.

4050 kVAr'lık kapasitör 4. baraya yerleştirildikten sonra ikinci iterasyonda tekrar yük akış analizi yapılmıştır. Bu durumdaki V_{bara} ve PLI değerlerine göre en uygun bara 5. bara olarak belirlenmiştir. Bu baraya yerleştirilmesi gereken kapasitör değeri ise 1200 kVAr olarak bulunmuştur. Bu iterasyonun sonunda 2048 \$ yıllık net kazanç elde edilmiş ve toplam güç kaybı 689.16 kW olarak bulunmuştur.

4. baraya 4050 ve 5. baraya da 1200 kVAr'lık kapasitör yerleştirilmiş durumdayken tekrar yük akış analizi yapılmıştır. Bunun sonucunda 8. baraya 450 kVAr değerindeki bir kapasitörün daha yerleştirilmesi durumunda 590 \$ daha kazanç sağlanabileceği görülmüştür. Toplam güç kaybı da 684.97 kW'a düşmüştür.

Belirlenen kapasitör değerleri belirlenen baralara yerleştirildikten sonra bir sonraki iterasyonda en uygun yer 9. bara olarak belirlenmiş fakat hiçbir kapasitör değeriyle kazanç elde edilemediği için algoritma sonlandırılıp toplam üç iterasyon sonucunda maksimum toplam yıllık kazanç elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 2.7'de özetlenmiştir.

Tablo 2.7. BM ile elde edilen sonuçlar

Bara	Kapasitör değeri (kVAr)	Elde edilen kazanç (\$)
4	4050	12919
5	1200	2048
8	450	590
Toplam		15557

Kompanzasyon yapılmadan önce toplam güç kaybı ve yıllık maliyet sırasıyla 783.8 kW ve 131675 \$ iken önerilen yöntem ile kompanzasyon sonucunda bu değerler sırasıyla 684.97 kW'a ve 116117 \$'a düşürülmüştür. Kompanzasyondan önceki ve sonraki değerler Tablo 2.8'de verilmiştir.

Tablo 2.8. Kompanzasyondan önceki ve sonraki sonuçlar

	Kompanzasyondan önce	Kompanzasyondan sonra
Bara 4	---	4050
Bara 5	---	1200
Bara 9	---	450
Toplam Güç Kaybı (kW)	783.8	684.97
Yıllık Maliyet (\$)	131675	116117
Yıllık Net Kazanç (\$)	---	15557

9 baralı IEEE radyal dağıtım şebekesindeki her baranın kompanzasyondan sonraki gerilim değeri Tablo 2.9'da verilmiştir.

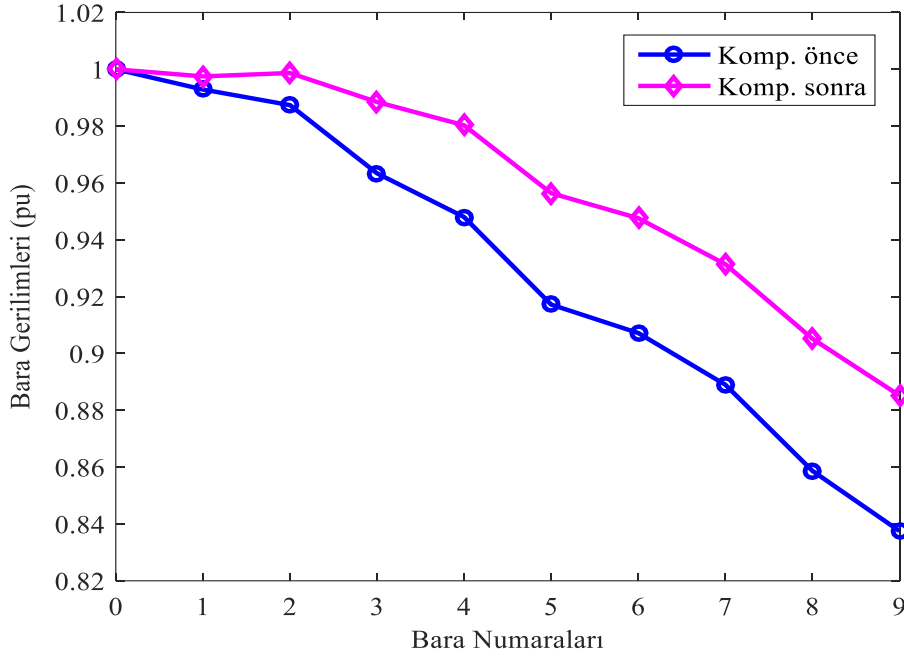
Tablo 2.9. Kompanzasyondan sonraki bara gerilim değerleri (pu)

Bara	1	2	3	4	5	6	7	8	9
V_{bara}	0.9975	0.9987	0.9885	0.9803	0.9564	0.9476	0.9314	0.9052	0.8852

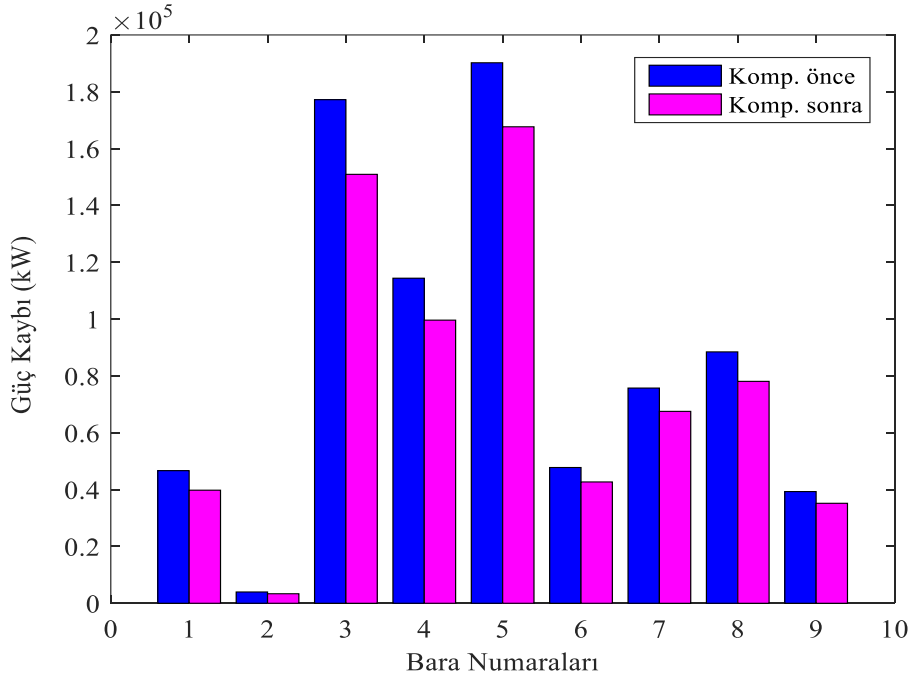
Şekil 2.11'de kompanzasyondan önceki ve sonraki bara gerilim değerleri birlikte görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi önerilen yöntemin test sistemine uygulanması sonucunda sistemin gerilim profili önemli ölçüde iyileşmiştir.

Şekil 2.12'de ise kompanzasyondan önce ve sonra her baradaki güç kaybı birlikte verilmiştir. Bu şekil incelendiği zaman kompanzasyondan sonra her baradaki güç kaybında azalma olduğu görülmektedir. Böylece sistemdeki toplam güç kaybı da azalmıştır.

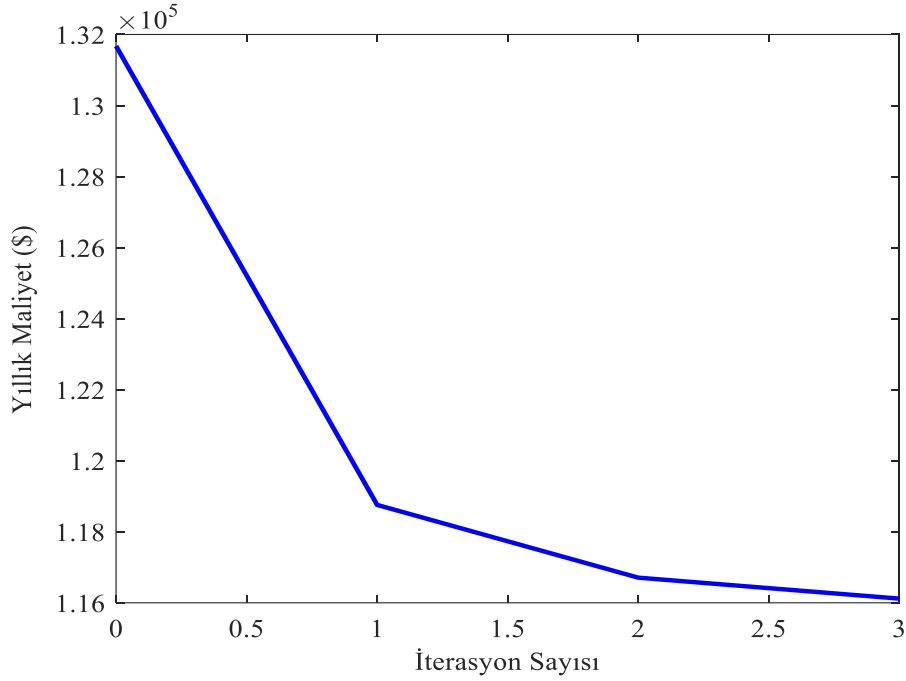
Şekil 2.13'te ise iterasyon sayısına göre yıllık maliyet verilmiş olup sadece üç iterasyon sonucunda maksimum toplam yıllık kazanç ulaşıldığı görülmektedir.



Şekil 2.11. BM ile kompanzasyondan önceki ve sonraki bara gerilim değerleri



Şekil 2.12. BM ile kompanzasyondan önce ve sonra her baradaki güç kaybı



Şekil 2.13. İterasyon sayısına göre yıllık maliyet

2.3.6. Önerilen Yöntemin Diğer Çalışmalarla Karşılaştırılması

Önerilen yöntemin sonuçları literatürdeki diğer bazı çalışmalarla karşılaştırılmış ve karşılaştırma yapılan çalışmalarda kullanılan yöntemler aşağıda özetlenmiştir.

[69]'da sistemdeki güç kaybı ve bara gerilimleri için exponansiyel üyelik fonksiyonları tanımlanmış ve bu iki kümedeki üyelik derecelerinin minimumu alınarak en küçük üyelik değerine sahip bara kapasitörün yerleştirileceği en uygun yer olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu baraya yerleştirilecek kapasitörün optimal değerini bulmak için ise yerel varyasyon metodu kullanılmıştır. Bu yöntemin test sistemine uygulanmasıyla toplam güç kaybı ve yıllık maliyet sırasıyla 707 kW ve 119736 \$ olarak elde edilmiştir.

[70]'te sisteme kapasitör yerleştirildiği zaman güç kaybının en çok azaldığı barayı tahmin edebilmek için LSF yöntemi kullanılmış ve PSO ile bu baralara yerleştirilmesi gereken optimum kapasite değerleri bulunmuştur. Bu yöntem sonucunda toplam güç kaybı 696.12 kW ve yıllık maliyet ise 118582 \$ olarak elde edilmiştir.

[71]'te öncelikle LSF yöntemi ile kompanzasyon için en uygun baraların yerleri belirlenmiş ve ardından PGSA kullanılarak herhangi bir dış parametreye ihtiyaç

duyulmadan şönt kapasitörlerin değerleri bulunmuştur. Bu yöntemin uygulanmasıyla toplam güç kaybı 694.93 kW'a ve yıllık maliyet ise 118340 \$'a düşmüştür.

[72]'de, bulanık mantık ve sezgisel yöntemler kullanılarak yapılan daha önceki çalışmalar üzerinde değişiklikler yapılarak uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Daha iyi sonuç elde edebilmek için bulanık fonksiyonlardaki bazı parametreleri değiştirmenin etkisi sorgulanmıştır. Bu çalışmada ayrıca bulanık mantık ve sezgisel yöntemlerin avantajları bir arada kullanılarak yöntemin test sistemi üzerindeki verimliliği araştırılmıştır. Son olarak, yapılan bu çalışmalara en yakın çözümü üreten yeni bir algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritmanın test sistemine uygulanması sonucunda toplam güç kaybı 686 kW ve yıllık maliyet ise 117095 \$ olarak elde edilmiştir.

[73]'te, bulanık mantık, dinamik programlama ve genetik algorithmadan oluşan karma bir algoritma önerilmiştir. Bu yöntemde kapasitörlerin yerleri bulanık mantıkla, değerleri ise dinamik programlamayla belirlenmiştir. Üyelik fonksiyonlarının şeklini belirleyen parametreleri bulmak için ise genetik algoritma tercih edilmiştir. Bu yöntemle toplam güç kaybı 681.28 kW ve yıllık maliyet ise 116320 \$ olarak elde edilmiştir.

Bu çalışmada önerilen yöntemin sonuçlarının yukarıda özetlenen çalışmaların sonuçlarıyla karşılaştırılması Tablo 2.10'da verilmiştir.

Tablo 2.10. Önerilen yöntemin sonuçlarını diğer çalışmalarla karşılaştırma

Bara No	Kapasitör Değeri (kVAr)						Önerilen Yöntem
	Komp. Önce	[69]	[70]	[71]	[72]	[73]	
1	---	---	---	---	---	---	---
2	---	---	---	---	3600	3600	---
3	---	---	---	---	---	4050	---
4	---	2100	1182	1200	4050	450	4050
5	---	2500	1174	1200	1650	1200	1200
6	---	---	---	---	---	---	---
7	---	---	---	---	---	---	---
8	---	---	264	200	600	150	450
9	---	900	566	407	---	600	---
Toplam Kayıp (kW)	783.8	707	696.21	694.93	686	681.28	684.97
Yıllık Maliyet (\$)	131675	119736	118582	118340	117095	116320	116117
Yıllık Net Kazanç (\$)	---	11939	13093	13335	14580	15355	15557

Tablo 2.10'daki sonuçlar incelendiği zaman, en fazla yıllık net kazancın önerilen yöntem ile elde edildiği görülmektedir. Minimum toplam güç kaybı ise [73]'teki karma yöntem sonucunda elde edilmiş gibi görünse bile bu işlemin en az maliyetle yapılması göz önüne alındığı zaman önerilen yöntemin toplam güç kaybını en aza düşürmedeki performansının da diğer yöntemlere göre daha iyi olduğu söylenebilir.

[69], [70] ve [71] çalışmalarında optimum olarak belirlenen kapasitör değerlerinden bazılarının ticari olarak mevcut olan kapasitör değerleri olmadıkları Tablo 2.10'da görülmektedir. Bu nedenle yapılan çalışmalar pratikte uygulanmak istenildiği zaman belirlenen kapasitör değerleri en yakın mevcut kapasitör değerlerine yuvarlanmak zorunda kalınacaktır. Böylece elde edilen yıllık maliyet ve kazançlar değişeceği için tam olarak optimum bir çözümü yansıtmamaktadır.

2.4. Guguk Kuşu Algoritması ile OCPS Probleminin Çözümü

Dağıtım şebekesinde maksimum kazanç elde edebilmek ve bara gerilimlerini kabul edilebilir sınırlar içerisinde tutabilmek için hangi baraya kaç kVAr değerinde bir kapasitör yerleştirilmesi gerektiği guguk kuşu algoritması ile belirlenmiştir. Bu yöntemde de Tablo 2.2'de verilen ticari olarak mevcut olan ayrıık değerlerdeki kapasitörler kullanılmıştır.

Guguk kuşu algoritmasının OCPS problemine uyarlanarak geliştirilen algoritmanın işlem basamakları aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

- Adım 1 : Sistemin yük ve hat bilgisi gibi sistem verileri okunur.
- Adım 2 : Yük akış analizi yapılarak başlangıçtaki bara gerilimleri ve toplam güç kayıpları hesaplanır.
- Adım 3 : Arama uzayının alt ve üst limitleri, yuva sayısı (n), yabancı yumurtanın fark edilme olasılığı (p_a), yuvanın boyutu (n_d), adım büyüklüğü kontrol parametresi (α) gibi algoritmanın kontrol parametreleri ve maksimum iterasyon sayısı gibi başlangıç parametreleri setlenir.
- Adım 4 : n tane n_d boyutunda rastgele yuva (çözüm) alt ve üst limitler içerisinde üretilir. Arama uzayı eşitlik (2.13)'teki ($n \times n_d$) boyutundaki matristen oluşur.

$$Q_C = \begin{pmatrix} (Q_C)_1^1 & \cdots & (Q_C)_{n_d}^1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ (Q_C)_1^n & \cdots & (Q_C)_1^n \end{pmatrix} \quad (2.13)$$

- Adım 5 : Üretilen yuvalara göre Q güncellenir ve her yuva için yük akış analizi yapılarak güç kaybındaki azalma, ΔP hesaplanır.
- Adım 6 : Her yuvanın uygunluk değeri eşitlik (2.7)'deki amaç fonksiyonu kullanılarak değerlendirilir. Uygunluk değeri belirlenirken bara gerilimlerinin kabul edilebilir sınırlar içerisinde olması da göz önünde bulundurulur. Buna göre; eğer bara gerilimleri kabul edilebilir sınırlar içinde değilse uygunluk değeri sıfır olarak belirlenirken, sınırlar içerisindeyse amaç fonksiyonunun değeri uygunluk değeri olarak belirlenir.
- Adım 7 : En büyük uygunluk değerine sahip olan yuva en iyi yuva (çözüm) olarak belirlenir.
- Adım 8 : Eşitlik (1.29) kullanılarak Lévy uçuşuyla yeni yuvalar üretilir (en iyi yuvalar tutularak).
- Adım 9 : Üretilen bu yuvaların alt ve üst limitler arasında olup olmadığı kontrol edilir. Eğer değilse limitlenir.
- Adım 10 : 5. adım tekrarlanır.
- Adım 11 : Yeni yuvalar için uygunluk değerleri bara gerilimleri göz önüne alınarak 6. adımdaki gibi hesaplanır ve eğer herhangi bir yuvanın uygunluk değeri önceki en iyi yuvanın uygunluk değerinden daha büyük ise bu yeni yuva en iyi yuva olarak belirlenir.
- Adım 12 : p_a fark edilme olasılığı ile en kötü yuvalar terkedilerek yeni yuvalar kurulur (en iyi yuvalar tutularak).
- Adım 13 : Üretilen bu yuvaların alt ve üst limitler arasında olup olmadığı kontrol edilir. Eğer değilse limitlenir.
- Adım 14 : 5.adım tekrarlanır.
- Adım 15 : 11. adım tekrarlanır.
- Adım 16 : İterasyon sayısı artırılır ve eğer maksimum değere ulaşmamışsa 8. adıma geri dönlür. Aksi takdirde algoritma sonlandırılır.

2.4.1. Önerilen Yöntemin Test Sistemine Uygulanması ve Sonuçlar

Guguk kuşu algoritmasının OCPS probleminin çözümdeki performansını değerlendirmek için de 9 baralı standart IEEE test sistemi kullanılmıştır.

Bu yöntemde de başlangıçtaki bara gerilimlerini ve toplam güç kayıplarını hesaplamak için öncelikle sistemin Tablo 2.1'deki verileri kullanılarak yük akış analizi yapılmıştır. Yük akış analizinde elde edilen sonuçlar Tablo 2.4'te verilmiştir.

Algoritmanın başlangıç ve kontrol parametrelerinin belirlenmesi ve setlenmesi ise aşağıdaki gibi yapılmıştır. Bu parametreler Tablo 2.11'de özetlenmiştir.

- Kapasitörün yerleştirilebileceği 9 tane aday bara olduğu için problemin boyutu $n_d = 9$ olarak belirlenmiştir. Yani bir yuva 9 sütunlu bir satır vektöründen oluşmaktadır. Bu satır vektörünün her bir elemanı bulunduğu sütundaki baraya yerleştirilecek kapasitörün değeridir.
- Yuva sayısının belirlenmesinde genel bir kural olmayıp bu çalışmada $n = 27$ olarak alınmıştır.
- Başlangıçta herhangi bir kazanç olmadığı için başlangıç uygunluk değerine sıfır değeri atanmıştır.
- Maksimum iterasyon sayısının (N) çözüme etkisi göz önüne alınarak deneme yoluyla belirlenmiştir.
- Aynı şekilde adım büyüklüğü kontrol parametresi (α) de çözümde etkili bir parametre olduğundan en iyi çözümü verecek şekilde deneyerek $\alpha = 0.01$ olarak belirlenmiştir. Çünkü eğer bu parametre çok büyük seçilirse global çözümü atlayabilirken çok küçük seçilmesi durumunda da yerel maksimuma takılabilir.
- Yabancı yumurtanın ev sahibi kuş tarafından fark edilme olasılığı $p_a = 0.25$ olarak seçilmiştir.
- Arama uzayının alt ve üst limitlerini kapasitörün alabileceği en küçük ve en büyük değerler belirler. Bu çalışmadaki test sistemi için alt limit = 0 ve üst limit = 4050 olarak atanmıştır.
- Problemin çözümünde ayrık kapasitör değerleri kullanıldığı için üretilen rastgele yuvaların bu değerlerde olması gerekmektedir. Tablo 2.2'ye bakılırsa kapasitör değerlerinin 150'nin katı şeklinde arttığı görülmektedir. Bu nedenle başlangıçta üretilen yuvalar, $L_b = 0$ ile $U_b = 27$ aralığında rastgele üretilip en yakın tamsayıya yuvarlandıktan sonra 150 ile çarpılması sonucu eşitlik (2.14)'teki gibi

üretir. Böylece ticari olarak mevcut kapasitör değerlerine uygun olacak şekilde alt ve üst limitler arasında ayırık kapasitör değerlerinden oluşan arama uzayının oluşması sağlanmıştır.

$$yuva = 150 * round(L_b + (U_b - L_b) * rand) \quad (2.14)$$

- Lévy uçuşu ile yeni yuvalar üretilirken de yine benzer bir işlem yapılarak yeni yuvaların ayırık kapasitör değerlerine uygun olarak üretilmesi gerçekleştirilmiştir.
- Bara gerilim seviyelerinin alt ve üst sınırları ise sırasıyla $V_{min} = 0.9$ ve $V_{max} = 1.04$ pu olarak belirlenmiştir.

Tablo 2.11. Başlangıç ve Kontrol Parametreleri

Yuva boyutu	9
Yuva sayısı	27
Fark edilme olasılığı	0.25
Adım büyüklüğü kontrol parametresi	0.01
Maksimum iterasyon sayısı	300

Tablo 2.11’de verilen parametre değerlerine göre algoritmanın pek çok kez koşturulmasıyla elde edilen sonuçların bazıları Tablo 2.12’de verilmiştir.

Tablo 2.12. Algoritmanın belirlenen parametrelerle koşturulması ile elde edilen sonuçlar

Bara No	Kapasitör Değeri (kVAr)						
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
1	---	---	---	---	---	---	---
2	4050	3600	4050	4050	4050	4050	4050
3	1800	1650	2100	1800	2100	2100	2100
4	2400	2400	2100	2100	2100	1800	2100
5	1200	1200	900	1200	1200	900	900
6	---	---	150	300	---	600	450
7	---	450	450	---	---	---	---
8	450	---	---	150	450	150	150
9	300	450	450	450	300	450	450
Toplam Kayıp (kW)	676.13	676.81	675.52	675.52	675.71	675.52	675.38
Yıllık Maliyet (\$)	115482	115473	115419	115416	115406	115406	115395
Yıllık Net Kazanç (\$)	16193	16202	16256	16259	16269	16271	16280

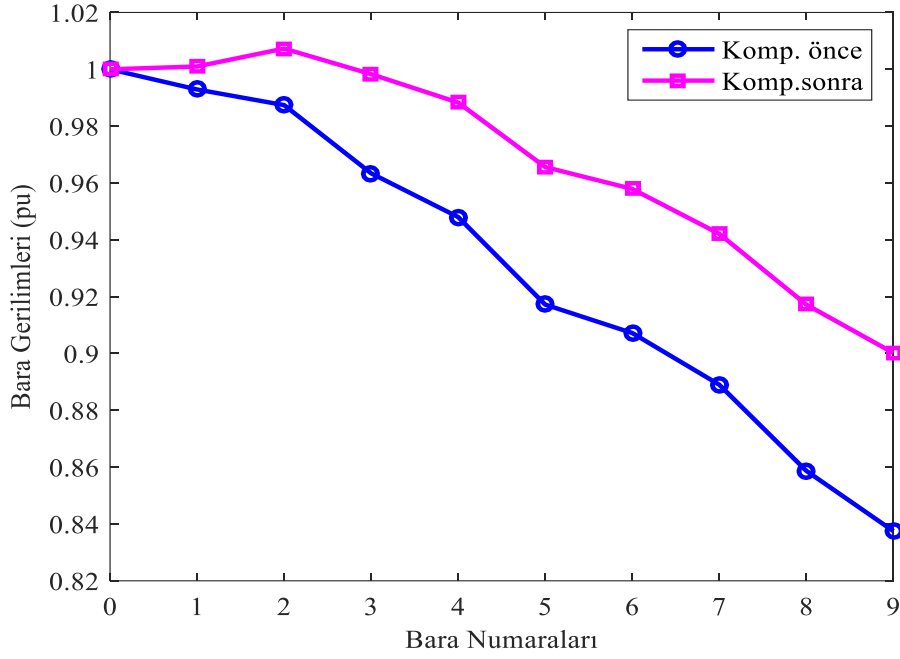
Tablo 2.12 incelendiği zaman algoritmanın pek çok kez koşturulmasıyla elde edilen toplam güç kaybı ve yıllık maliyet değerlerinin bir birine yakın çıktığı görülmüştür. Tablo 2.12’de verilen 7. koşturmada elde edilen değerler en iyi sonuçlar olup algoritmanın pek çok kez koşturulması sonucunda aynı şekilde elde edildiği için bu değerler nihai sonuç olarak belirlenmiştir.

Tablo 2.13’te elde edilen en iyi sonuç özetlenmiştir. Buna göre; toplam güç kaybı 675.38 kW ve yıllık maliyet ise 115395 \$ olarak elde edilmiştir. Bara gerilimlerinin ise belirlenen sınırlar içerisinde olduğu Tablo 2.13’te görülmektedir.

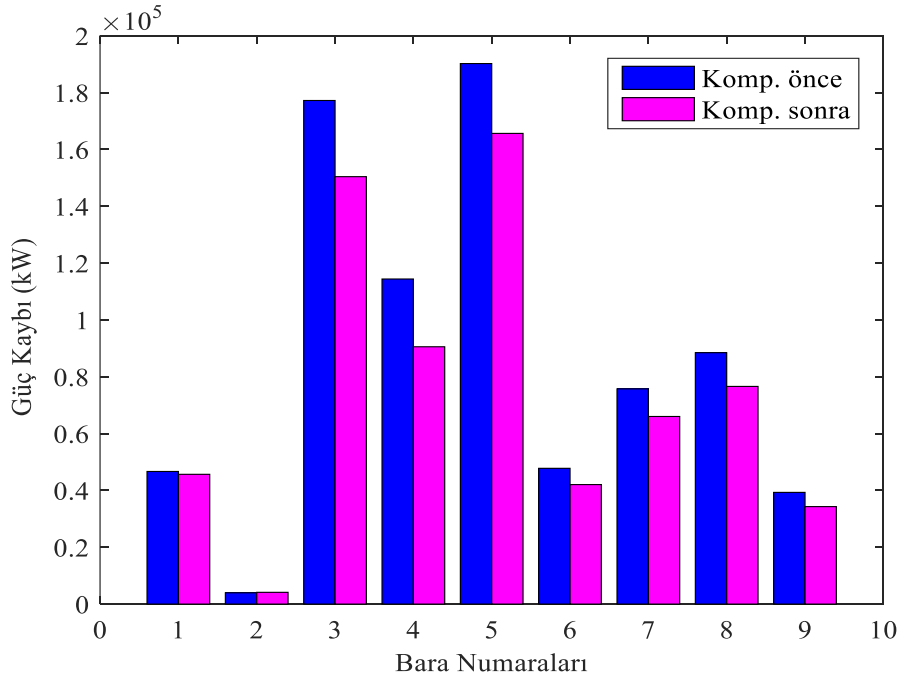
Tablo 2.13. Elde edilen en iyi sonuçlar

Bara	Kapazitör Değeri (kVAr)	Bara Gerilimleri (pu)
1	---	1.0010
2	4050	1.0073
3	2100	0.9983
4	2100	0.9883
5	900	0.9656
6	450	0.9579
7	---	0.9421
8	150	0.9172
9	450	0.9002
Toplam Güç Kaybı (kW)	Yıllık Maliyet (\$)	Yıllık Net Kazanç (\$)
675.38	115395	16280

Şekil 2.14 ve Şekil 2.15’te sırasıyla kompanzasyondan önceki ve sonraki bara gerilim değerleri ile her baradaki güç kaybı görülmektedir. Bu şekiller incelendiği zaman önerilen yöntemin test sistemine uygulanmasının sonucunda sistemin gerilim profilinin arttığı ve baralardaki güç kaybında da azalma sağlandığı görülmektedir.



Şekil 2.14. Guguk kuşu algoritması ile kompanzasyondan önceki ve sonraki bara gerilim değerleri



Şekil 2.15. Guguk kuşu algoritması ile kompanzasyondan önce ve sonra her baradaki güç kaybı

2.4.2. Önerilen Yöntemin Diğer Çalışmalarla Karşılaştırılması

Guguk kuşu algoritmasının test sistemine uygulanmasıyla elde edilen sonuçların Tablo 2.10'daki çalışmalarla karşılaştırılması Tablo 2.14'te verilmiştir.

Tablo 2.14. Önerilen ikinci yöntemin sonuçlarının Tablo 2.10'daki çalışmalarla karşılaştırılması

Bara No	Kapasitör Değeri (kVAr)						Önerilen Yöntem II
	Komp. Önce	[69]	[70]	[71]	[72]	[73]	
1	---	---	---	---	---	---	---
2	---	---	---	---	3600	3600	4050
3	---	---	---	---	---	4050	2100
4	---	2100	1182	1200	4050	450	2100
5	---	2500	1174	1200	1650	1200	900
6	---	---	---	---	---	---	450
7	---	---	---	---	---	---	---
8	---	---	264	200	600	150	150
9	---	900	566	407	---	600	450
Toplam Kayıp (kW)	783.8	707	696.21	694.93	686	681.28	675.38
Yıllık Maliyet (\$)	131675	119736	118582	118340	117095	116320	115395
Yıllık Net Kazanç (\$)	---	11939	13093	13335	14580	15355	16280

Tablo 2.11'deki sonuçlar incelendiği zaman, en fazla yıllık net kazancın ve en az güç kaybının önerilen yöntem sonucunda elde edildiği açıkça görülmektedir.

Önerilen yöntemin sonuçları Tablo 2.14'teki çalışmalar dışında literatürdeki iki çalışmayla daha karşılaştırılmış ve karşılaştırma yapılan çalışmalarda kullanılan yöntemler aşağıda özetlenmiştir.

[74]'te dağıtım sistemlerinde OCPS problemi için ACO algoritması 9 baralı standart IEEE test sistemine uygulamıştır. Bu yöntemle toplam güç kaybı 678.73 kW ve toplam maliyet ise 115768 \$ olarak elde edilmiştir.

[75]'te bulanık mantık tabanlı bir yöntemle kapasitörün yerleştirileceği uygun bara belirlenirken Benzetimli Tavlama (Simulated Annealing, SA) yöntemi kullanılarak ise kapasitörün değeri bulunmuştur. Bu çalışmada aktif güç, reaktif güç ve gerilim için yeni üyelik fonksiyonları tanımlanarak ağırlık faktörünün üyelik fonksiyonlarının performansı üzerindeki etkisini incelenmiştir. Bunun sonucunda önerilen üyelik fonksiyonlarının ağırlık

faktörüne daha az bağımlı olduğu kanısına varılmıştır. Bu yöntemin test sistemine uygulanmasıyla toplam güç kaybı ve yıllık maliyet sırasıyla 675.64 kW ve 115490 \$ olarak elde edilmiştir.

Bu çalışmada ikinci olarak önerilen yöntemin sonuçlarının yukarıda özetlenen çalışmaların sonuçlarıyla karşılaştırılması Tablo 2.15'te verilmiştir.

Tablo 2.15. Önerilen ikinci yöntemin sonuçlarının diğer çalışmalarla karşılaştırılması

Bara No	Kapasitör değeri (kVAr)			
	Komp. Önce	[74]	[75]	Önerilen Yöntem II
1	---	1800	---	---
2	---	1650	4050	4050
3	---	1200	1650	2100
4	---	1800	2550	2100
5	---	1200	1050	900
6	---	450	---	450
7	---	0	---	---
8	---	450	300	150
9	---	450	450	450
Toplam Kayıp (kW)	783.8	678.73	675.64	675.38
Yıllık Maliyet (\$)	131675	115768	115490	115395
Yıllık Net Kazanç (\$)	---	15907	16185	16280

Tablo 2.15'teki sonuçlar incelendiği zaman, yöntemlerin hepsinde kompanzasyondan önceki duruma göre oldukça tatmin edici sonuçlar elde edildiği ancak yöntemler karşılaştırıldığında önerilen yöntemin performansının daha iyi olduğu görülmektedir.

Dağıtım sisteminde yerleştirilecek kapasitörün yerini ve değerini optimum olarak belirleme problemi için 9 baralı standart IEEE test sistemi kullanılarak literatürdeki yapılan çalışmalar incelendiği zaman en iyi sonuçlardan birinin harmoni arama algoritması (Harmony Search, HS) ile [76]'da elde edildiği görülmektedir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar Tablo 2.16'da verilmiştir.

Tablo 2.16'daki sonuçlar incelendiği zaman kapasitör değerlerinin pratikte mevcut olan ayrıklı değerli kapasitör değerleri yerine sürekli değerler şeklinde göz önüne alınarak belirlendiği görülmektedir. Bu durumda elde edilen sonuçların tam olarak optimum çözümü vermediği görülmektedir.

Tablo 2.16. [76]'da elde edilen sonuçlar

Bara No	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Kapazitör değeri (kVAr)	---	449	3600	2091	892	231	392	293	293
Toplam Kayıp (kW)	Yıllık Maliyet (\$)			Yıllık Net Kazanç (\$)					
643.28	109866			21809					

2.4.3. Parametrelerin Çözümüne Etkisi

Guguk kuşu algoritmasında GA ve PSO gibi sezgisel yöntemlere göre ayarlanması gereken parametre sayısı daha azdır. Fakat bu parametrelerin optimum çözümü elde etmedeki önemi büyüktür. Tablo 2.17'de maksimum iterasyon sayısı farklı değerler seçilerek elde edilen çözümler verilmiştir. Diğer bütün parametreler Tablo 2.11'deki gibi alınmıştır.

Tablo 2.17. Maksimum iterasyon sayısının çözüme etkisi

Bara No	Kapazitör değeri (kVAr)				
	N = 50	N = 75	N = 100	N = 200	N = 300
1	---	---	---	---	---
2	4050	3900	4050	4050	4050
3	3750	1200	2400	2400	2100
4	1350	2850	1650	2100	2100
5	300	150	---	600	900
6	600	1200	1200	300	450
7	---	150	---	450	---
8	600	---	450	---	150
9	150	450	300	450	450
Toplam Kayıp (kW)	678.90	677.96	67776	675.80	675.38
Yıllık Maliyet (\$)	116191	115801	115739	115501	115395
Yıllık Net Kazanç (\$)	15484	15874	15936	16174	16280

Tablo 2.17'de sadece maksimum iterasyon sayısının değiştirilmesiyle toplam güç kaybı ve yıllık net kazancın önemli bir ölçüde değiştiği görülmektedir. Maksimum iterasyon sayısı arttırıldıkça beklenildiği gibi daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Yuva sayısı ve fark edilme olasılığı parametrelerinin ise problemin çözümüne olan etkisinin ihmal edilebilecek kadar az olduğu görülmüştür.

Bara gerilim sınırları belirlenirken BM yaklaşımındaki gibi kapasitörün yerleştirilmesiyle artan bara geriliminin sadece kabul edilebilir maksimum gerilim değerini aşmaması ($V_{Bara} < V_{max}$) göz önüne alınırsa Tablo 2.18’de verilen toplam güç kaybı ve yıllık maliyet açısından daha tatmin edici sonuçlar elde edilebilir. Diğer bütün parametreler Tablo 2.11’deki gibi alınmıştır.

Tablo 2.18. Bara gerilimin alt sınırını belirlemeden elde edilen sonuçlar

Bara	Kapasitör Değeri (kVAr)	Bara Gerilimleri (pu)
1	---	0.9997
2	3600	1.0042
3	1200	0.9924
4	2100	0.9820
5	1200	0.9581
6	---	0.9493
7	---	0.9331
8	300	0.9070
9	150	0.8880
Toplam Güç Kaybı (kW)	Yıllık Maliyet (\$)	Yıllık Net Kazanç (\$)
672.59	114566	17111

Alt bara gerilim limiti olmadan elde edilen toplam güç kaybı 672.59 kW ve toplam maliyet ise 114566 \$’dır. Elde edilen maksimum ve minimum bara gerilim değerleri ise sırasıyla $V_{max} = 0.9997$ ve $V_{min} = 0.8880$ pu’dur.

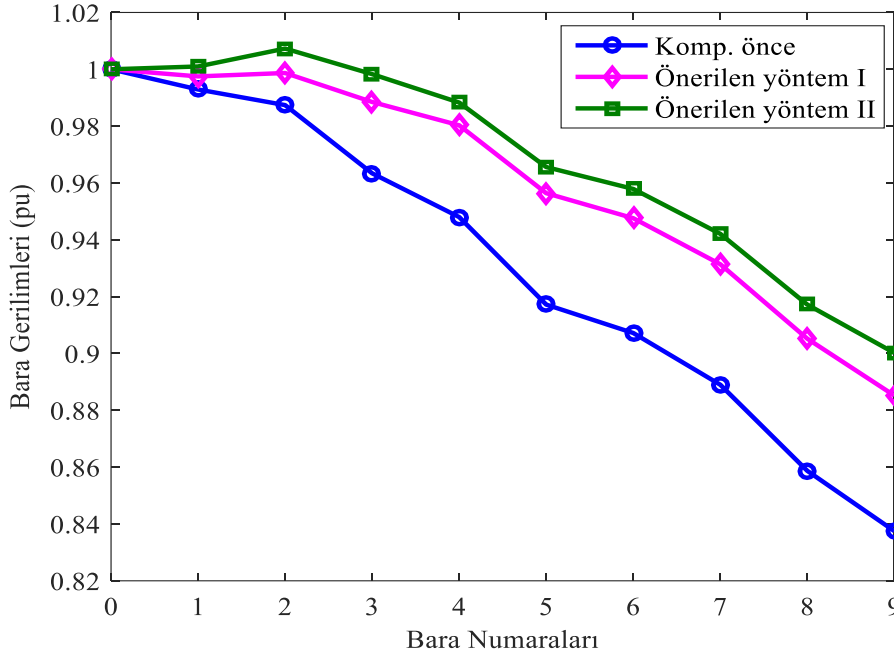
2.5. Önerilen Yöntemlerin Karşılaştırılması

Tablo 2.19’da, bu tez çalışmasında OCPS probleminin çözümü için önerilen BM yaklaşımı ve guguk kuşu algoritması ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması verilmiş olup guguk kuşu algoritması ile daha iyi bir gerilim profilinin elde edildiği ve daha fazla yıllık net kazancın sağlandığı görülmektedir. Toplam güç kaybı da guguk kuşu algoritması ile daha az olarak elde edilmiştir.

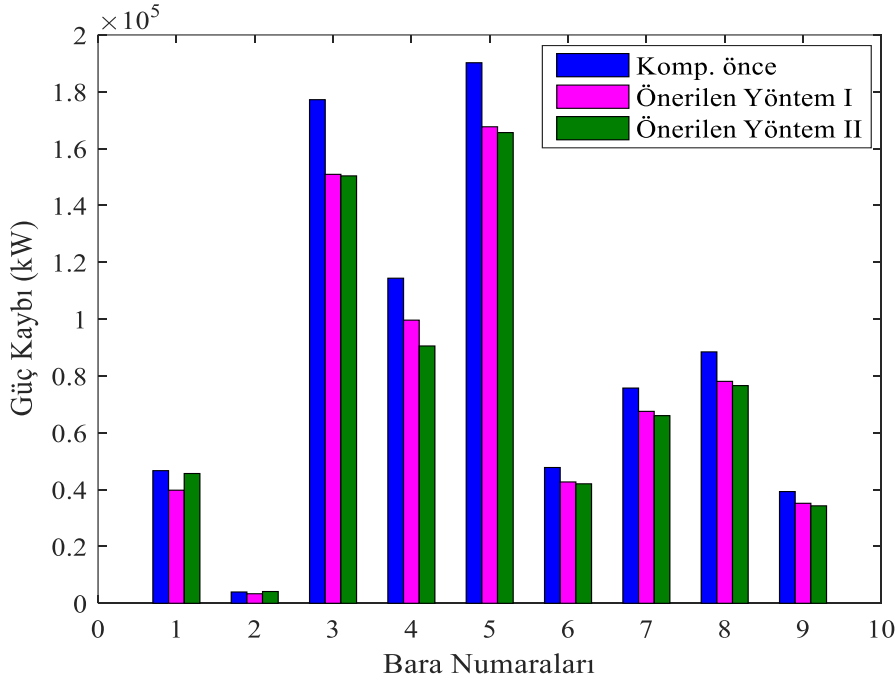
Tablo 2.19. Önerilen yöntemlerin karşılaştırılması

Önerilen Yöntem I		Önerilen Yöntem II	
Kapasitör Değeri (kVAr)	Bara Gerilimleri (pu)	Kapasitör Değeri (kVAr)	Bara Gerilimleri (pu)
---	0.9975	---	1.0010
---	0.9987	4050	1.0073
---	0.9885	2100	0.9983
4050	0.9803	2100	0.9883
1200	0.9564	900	0.9656
---	0.9476	450	0.9579
---	0.9314	---	0.9421
450	0.9052	150	0.9172
---	0.8852	450	0.9002
Toplam Güç Kaybı (kW)		Toplam Güç Kaybı (kW)	
684.97		675.38	
Yıllık Maliyet (\$)	Yıllık Net Kazanç (\$)	Yıllık Maliyet (\$)	Yıllık Net Kazanç (\$)
116117	15557	115395	16280

Şekil 2.16 ve Şekil 2.17’de kompanzasyondan önceki ve önerilen iki ayrı yöntem sonucunda elde edilen bara gerilimlerinin grafiği ve her baradaki güç kayıpları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Guguk kuşu algoritmasıyla daha iyi performans elde edildiği bu şekillerden açıkça görülmektedir.



Şekil 2.16. Kompanzasyondaki önceki ve önerilen yöntemler ile elde edilen bara gerilimlerinin karşılaştırılması



Şekil 2.17. Kompanzasyondaki önceki ve önerilen yöntemler ile her baradaki güç kayıplarının karşılaştırılması

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada dağıtım sistemindeki reaktif güç tüketiminden dolayı meydana gelen şebeke kayıpları azaltılarak üretilen enerjinin daha kaliteli ve ekonomik bir şekilde tüketiciye sunulması amacıyla dağıtım şebekesine yerleştirilecek şönt kapasitörlerin optimum yerleri ve değerleri belirlenmiştir. Bu amaçla bulanık mantık yaklaşımı ve guguk kuşu optimizasyon algoritması kullanılmıştır. Yöntemlerin performansı 9 baralı standart IEEE test sisteminde değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

Basit yapısı ve daha az işlemle hızlı sonuç üretmesinden dolayı bu çalışmada tercih edilen bulanık mantık yaklaşımıyla sistemdeki güç kayıplarında ve yıllık maliyette azalma sağlanarak daha iyi bir gerilim profili elde edilmiştir. Bu yöntemin test sistemine uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar literatürdeki benzer bazı çalışmalarla karşılaştırılarak daha iyi bir performans elde edildiği görülmüştür.

Lévy uçuşunu kullanarak arama uzayını keşfeden guguk kuşu algoritmasının optimum kapasitör yerinin ve değerinin belirlenmesi problemine uygulanmasıyla oldukça tatmin edici sonuçlar elde edilmiş ve bu sonuçların literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırılmasıyla bara gerilimlerini belirlenen sınırlar içerisinde tutarak maksimum yıllık net kazanç elde etme ve güç kayıplarını azaltma açısından guguk kuşu algoritmasının üstünlüğü açıkça görülmüştür.

Guguk kuşu algoritmasında optimum çözümü elde etmek için ayarlanması gereken parametre sayısının az olması sisteme uygulanabilirliğini kolaylaştırmıştır. Çalışmada parametrelerin çözüme olan etkisi sorgulanmış ve sadece maksimum iterasyon sayısının daha iyi çözüm elde edebilmek için artırılması gerektiği gözlemlenmiştir. Bunun dışındaki diğer parametrelerin değiştirilmesinin sonuca çok fazla bir etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan her iki yöntemde de amaç fonksiyonu olarak yıllık net kazancın maksimize edilmesini amaçlayan kazanç fonksiyonu kullanılmıştır. Yine her iki çalışmada da bara gerilim seviyelerinin belirli sınırlar içerisinde tutulması ve kullanılan kapasitör değerlerinin ticari olarak mevcut ayrık değerler şeklinde olması göz önünde alınmıştır. Bu iki yöntem ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılacak olursa guguk kuşu algoritması ile daha optimum çözüm elde edildiği görülmüştür.

Güç dağıtım sistemindeki yük akış analizi için ise her iki yöntem de Forward and Backward Sweep algoritması kullanılmıştır. Bu yöntemin radyal sistemlere uygunluğu ve karmaşık matris işlemleri içermemesinden dolayı hızlı sonuç elde edebilmesi algoritmanın işlem süresini kısaltmada etkili olmuştur.

Sonuç olarak her iki yöntem ile sistemdeki güç kayıpları ve yıllık maliyet optimum düzeye indirgenerek yöntemlerin performansları ve uygulanabilirlikleri gösterilmiştir.

Bu tez çalışması sırasında bulanık mantık yaklaşımı kullanılarak geliştirilen bölümünün yer aldığı 1 adet uluslararası bildiri yayınlanmıştır. Bu bildiri 2015 yılında Kanada'nın Montreal şehrinde düzenlenen "IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE 2015)" sempozyumunda sözlü olarak sunulmuştur [77].

4. ÖNERİLER

Bu çalışma yapılırken kullanılan yöntemlerin performansını görmek amacıyla diğer çalışmalarla karşılaştırma yapılmış ve bu karşılaştırmanın doğru bir şekilde yapılabilmesi için sabit yüklerin kullanılması, harmoniklerin ihmal edilmesi ve dağıtım şebekesinin dengeli yüklenmesi gibi diğer çalışmalarda yapılan bazı varsayımlar bu çalışmada da yapılmıştır. Gelecek çalışmalarda ise sabit yüklerin yanı sıra yüklerin değişmesi durumu göz önünde bulundurularak sabit yükler için gerekli sabit kapasitörlere ek olarak sadece ihtiyaç duyulduğu zaman anahtarlanarak devreye alınacak kapasitörler de probleme dâhil edilebilir. Bu kapasitörlerin dağıtım sistemindeki yerinin ve değerinin optimum olarak belirlenmesi ve anahtarlanmalarını gerçekleştirmek için kontrol yöntemleri geliştirilebilir. Aynı şekilde harmoniklerin varlığını ve şebekenin dengeli yüklenmemesi gibi durumlar göz önüne alınarak kapasitörlerin optimum yeri ve değeri belirlenebilir. Böylece pratiğe daha uygun çözümler elde edilecektir.

Bu çalışmada dağıtım şebekesine yerleştirilecek kapasitörün optimum yeri ve değeri guguk kuşu algoritması ile belirlenmiştir. Buna ek olarak karma yöntemlerle öncelikle aday baralar belirlenerek guguk kuşu algoritması sadece optimum kapasitör değerini belirlemek için kullanılabilir. Böylece guguk kuşu algoritmasının arama uzayı küçültülerek sonuçların daha hızlı elde edilmesi sağlanabilir.

Önerilen Guguk kuşu algoritmasında kullanılan p_a ve α parametreleri sabit olarak alınmıştır. Bu parametreler her iterasyonda adaptif hale getirilirse optimum çözüme daha hızlı ulaşılabilir.

Önerilen yöntemler bu çalışmada kullanılan 9 baralı IEEE test sistemi dışında farklı test sistemlerine uygulanarak performans analizleri ve karşılaştırmalar yapılabilir.

Son zamanlarda geliştirilen üst sezgisel algoritmalar OCPS problemine uygulanarak daha tatmin edici sonuçlar elde edilebilir.

Kullanılan amaç fonksiyonu değiştirilerek çözüme etkisi inceleyebilir. Örneğin bara gerilimleri problemin sınırları olarak değil de doğrudan amaç fonksiyonunun içinde yer alabilir.

Son olarak Esnek Alternatif Akım İletim Sistemleri (Flexible AC Transmission Systems, FACTS) cihazlarının dağıtım şebekesindeki çeşidi ve yeri üst sezgisel

optimizasyon yöntemleri ile belirlenerek sistemdeki güç kayıpları ve toplam maliyet azaltılabilir.

5. KAYNAKLAR

1. Ng, H. N., Salama, M. M. A. ve Chikhani, A. Y., Classification of Capacitor Allocation Techniques, IEEE Transactions on Power Delivery, 15, 1 (2000) 387–392.
2. Neagle, N. M. ve Samson, D. R., Loss Reduction from Capacitors Installed on Primary Feeders, Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, 75, 3 (1956) 950–959.
3. Cook, R. F., Analysis of Capacitor Application as Affected by Load Cycle, Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, 78 (1959) 950–957.
4. Cook, R. F., Optimizing the Application of Shunt Capacitors for Reactive-Voltampere Control and Loss Reduction, Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, 80 (1961) 430–444.
5. Chang, N. E., Locating Shunt Capacitors on Primary Feeder for Voltage Control and Loss Reduction, IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, 88, 10 (1969) 1574–1577.
6. Chang, N. E., Generalized Equations on Loss Reduction with Shunt Capacitors, IEEE Transactions on Power Apparatus Systems, 91 (1969) 1574–1577.
7. Bae, Y. G., Analytical Method of Capacitor Allocation on Distribution Primary Feeders, IEEE Transactions on Power Apparatus Systems, 97, 11 (1978) 1232–1238.
8. Schmill, I. V., Optimum Size and Location of shunt Capacitorson Distributon Feeders, IEEE Transactions on Power Apparatus Systems, 84, 9 (1965) 825-832.
9. Lee, S. H. ve Grainger, J. J., Optimum Placement of Fixed and Switched Capacitors on Primary Distribution Feeders, IEEE Transactions on Power Apparatus Systems, 100, 1 (1981) 345–352.
10. Lee, S. H. ve Grainger, J. J., Optimum Size and Location of Shunt Capacitors for Reduction of Losses on Distribution Feeders, IEEE Transactions on Power Apparatus Systems, 100, 3 (1981) 1105–1118.
11. Salama, M. M. A., Chikhani, A. Y. ve Hackam, R., Control of Reactive Power in Distribution Systems with An End-Load and Fixed Load Conditions, IEEE Transactions on Power Apparatus Systems, 104, 10 (1985) 2779–2788.
12. Salama, M. M. A., Mansour, E. A. A., Chikhani, A. Y. ve Hackam, R., Control of Reactive Power in Distribution Systems with An End-Load and Varying Load Conditions, IEEE Transactions on Power Apparatus Systems, 104, 4 (1985) 941–947.

13. Duran, H., Optimum Number, Location, and Size of Shunt Capacitors in Radial Distribution Feeders, A Dynamic Programming Approach, IEEE Transactions on Power Apparatus Systems, 87, 9 (1968) 1769–1774.
14. Fawzi, T. H., El-Sobki, S. M. ve Abdel-Halim, M. A., New Approach for the Application of Shunt Capacitors to the Primary Distribution Feeders, IEEE Transactions on Power Apparatus Systems, 102, 1 (1983) 10–13.
15. Ponnaivaikko, M. ve Rao, K. S. P., Optimal Choice of Fixed and Switched Shunt Capacitors on Radial Distributors by the Method of Local Variations, IEEE Transactions on Power Apparatus Systems, 102, 6 (1983) 1607–1615.
16. Baran, M. E. ve Wu, F. F., Optimal capacitor placement on radial distribution systems, IEEE Transactions on Power Delivery, 4, 1 (1989) 725–734.
17. Sonwane, P. M. ve Kushare, B. E., Optimal Capacitor Placement and Sizing: An Overview, International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJIRAE), 5, 2 (2015) 103 –113.
18. Reddy, M. D. ve Reddy, V. C. V., Capacitor Placement Using Fuzzy and Particle Swarm Optimization Method for Maximum Annual Savings, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 3, 3 (2008) 25-30.
19. Pimentel Filho, M. C., De Lacerda, E. G. M., Medeiros, M. F., Capacitor Placement Using Ant Colony Optimization and Gradient, 15th International Conference on Intelligent Systems Applications to Power Systems (ISAP' 09), 2009 November, Curitiba, 1-4.
20. Gasbaoui, B., Chaker, A., Laoufi, A., Abderrahmani, A. ve Allaoua, B., Optimal Placement and Sizing of Capacitor Banks Using Fuzzy-Ant Approach in Electrical Distribution Systems, Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies, 9, 16 (2010) 75-88.
21. Mahmoodianfard, F., Abyaneh, H. A., Salehi, H. ve Vahabzadeh, A., Optimal Capacitor Placement for Loss Reduction, Modern Electric Power Systems (MEPS), 2010 Proceedings of the International Symposium, September 2010, Wroclaw, 1-5.
22. Zakka, S., Reddy, M. B. ve Palepu, S. B., Optimal Capacitor Placement Using Fuzzy and Artificial Bee Colony Algorithm for Maximum Loss Reduction, International Journal of Scientific and Engineering Research, 3, 10 (2012) 1-7.
23. Rani, D. S., Subrahmanyam, N. ve Sydulu, M., Self Adaptive Harmony Search Algorithm for Optimal Capacitor Placement on Radial Distribution Systems, International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability (ICEETS), April 2013, Nagercoil, India, 1330-1335.
24. El-Fergany, A. A. ve Abdelaziz, A. Y., Artificial Bee Colony Algorithm to Allocate Fixed and Switched Static Shunt Capacitors in Radial Distribution Networks, Electric Power Components and Systems, 42, 5 (2014) 427-438.

25. Olamaei, J., Moradi, M. ve Kaboodi, T., A New Adaptive Modified Firefly Algorithm to Solve Optimal Capacitor Placement Problem, 18th Conference on Electrical Power Distribution Networks (EPDC), April 2013, Kermanshah , Iran, 1-6.
26. Das, P. ve Banerjee, S., Optimal Sizing and Placement Of Capacitor in A Radial Distribution System using Loss Sensitivity Factor and Firefly Algorithm, International Journal Of Engineering and Computer Science (IJECS), 3, 4 (2014) 5346-5352.
27. Reddy, D. P. ve Gunaprasad, K., Sensitivity Based Capacitor Placement using Cuckoo Search Algorithm for Maximum Annual Savings, IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN), 4, 4 (2014) 6-9.
28. Lenin, I. K., Reddy, B. R. ve Kalavathi, M. S., Improved Cuckoo Search Algorithm for Solving Optimal Reactive Power Dispatch Problem, International Journal of Research in Electronics and Communication Technology (IJRECT 2014), 1, 1 (2014) 20-24.
29. Nivethitha, S., Shuaib Y. M. ve Saleem A. S., Optimal Capacitor Placement for Power Loss Minimization in Radial Distribution System using Group Search Optimization Algorithm, International Journal of Infinite Innovations in Engineering and Technology, 2, 1 (2015) 42-53.
30. Tavakoli, M., Legha, M. M., Sarbijan, S. S., ve Montazer, M., Capacitor Placement in Radial Distribution System for Improve Voltage Profile and Loss Reduction using Artificial Bee Colony, WALIA Journal, (2015) 1-10.
31. Tamilselvan, V., Muthulakshmi, K. ve Jayabarathi, T., Optimal Capacitor Placement and Sizing in A Radial Distribution System using Clonal Selection Algorithm, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 10, 8 (2015) 3304-3312.
32. Chin, H. C., Optimal Shunt Capacitor Allocation by Fuzzy Dynamic Programming, Electric Power Systems Research, 35, 2 (1995) 133-139.
33. Ng, H. N., Salama, N. M. A. ve Chikhani, Y., Capacitor Allocation by Approximate Reasoning Fuzzy Capacitor Placement, IEEE Transactions on Power Delivery, 15, 1 (2000) 393-398.
34. Masoum, M. A., Jafarian, A., Ladjevardi, M., Fuchs, E. F. ve Grady, W. M., Fuzzy Approach for Optimal Placement and Sizing of Capacitor Banks in the Presence of Harmonics, IEEE Transactions on Power Delivery, 19, 2 (2004) 822-829.
35. Siddiqui, A. S. ve Rahman, M. F., Optimal Capacitor Placement to Reduce Losses in Distribution Systems, WSEAS Transactions on Power Systems, 7, 1 (2012) 12-17.
36. Ravichandran, K. S., Alsheyhi, S. S. S. ve Chitra, V., A Novel Approach for Optimal Capacitor Placement Model in Power Distribution Systems, Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, 4, 4 (2012) 334-341.

37. Khodr, H. M., Vale, Z. A. ve Ramos, C., Optimal Cost-Benefit for Location of Capacitors in Radial Distribution System , IEEE Transactions on Power Delivery, 24, 2 (2009) 787-796.
38. Wu, Y. K., Lee, C. Y., Liu, L. ve Tsai, S. H., Study of Reconfiguration for the Distribution System with Distributed Generators, IEEE Transactions on Power Delivery, 25, 3 (2010) 1678-1685.
39. Quezada, V. H. M., Abbad, J. R. ve Román, T. G. S., Assessment of Energy Distribution Losses for Increasing Penetration of Distributed Generation, IEEE Transactions on Power Systems, 21, 2 (2006) 533- 540.
40. Atwa, Y. M., El-Saadany, E. F. , Salama, M. M. A. ve Seethapathy, R., Optimal Renewable Resources Mix of Distribution System Energy Loss Minimization, IEEE Transactions on Power Systems, 25, 1 (2010) 360-370.
41. Kiran Kumar, K., Venkata Ramana, N., Kamakshaiah, S. ve Nishanth, P. M., State of Art for Network Reconfiguration Methodologies of Distribution System, Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 57, 1 (2013) 25-40.
42. El-Khattam, W. ve Salama, M. M. A., Distributed Generation Technologies, Definitions and Benefits, Electric Power Systems Research, 71, 2 (2004) 119-128.
43. Elsheikh, A., Helmy, Y., Abouelseoud, Y. ve Elsherif, A., Optimal Capacitor Placement and Sizing in Radial Electric Power Systems, Alexandria Engineering Journal, 53, 4 (2014) 809-816.
44. Reddy, V. U. ve Manoj, A., Optimal Capacitor Placement for Loss Reduction in Distribution Systems using Bat Algorithm, IOSR Journal of Engineering, 2, 10 (2012) 23-27.
45. Pandey, V., Load Flow Analysis of Advance Power Transmission System, International Journal of Advanced Computing and Electronics Technology (IJACET), 2, 3 (2015) 16-19.
46. Tripathy, S. C., Prasad, G. D., Malik, O. P. ve Hope, G. S., Load Flow Solutions for Illconditioned Power Systems by A Newton-Like Method, IEEE Transactions on Power Apparatus Systems, 101, 10 (1982) 3648–3657.
47. Iwamoto, S. ve Tamura, Y., A Load Flow Calculation Method for Ill-Conditioned Power Systems, IEEE Transactions on Power Apparatus Systems, 100, 4 (1981) 1736–1743.
48. Stagg, G. W. ve El-Abiad, A. H., Computer Methods in Power System Analysis, McGraw Hill, New York, 1968.

49. Eminoglu, U. ve Hocaoglu, M. H., Distribution Systems Forward/Backward Sweep-based Power Flow Algorithms: A Review and Comparison Study, Electric Power Components and Systems, 37,1 (2008) 91-110.
50. Zhang, F. ve Cheng, C. S., A Modified Newton Method for Radial Distribution System Power Flow Analysis, IEEE Transactions on Power Systems, 12, 1 (1997) 389-397.
51. Da Costa, V. M., Martins, N. ve Pereira, J. L., Development in the Newton Raphson Power Flow Formulation Based on Current Injections, IEEE Transactions on Power Systems, 14, 4 (1999) 1320-1326.
52. Teng, J. H., A Modified Gauss-Seidel Algorithm of Three-Phase Power Flow Analysis in Distribution Networks, International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 24, 2 (2002) 97-102.
53. Aravindhhabuba, P., Ganapathy, S. ve Nayar, K. R., A Novel Technique for the Analysis of Radial Distribution Systems, International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 23, 3 (2001) 167-171.
54. Ranjan, R., Venkatesh, B., Chaturvedi, A. ve Das, D., Power Flow Solution of Three-Phase Unbalanced Radial Distribution Network, Electric Power Components and Systems, 32, 4 (2004) 421-433.
55. Santos, A. C., Nanni, M., Mansour, M. R., Delbem, A. C. B., London, J. ve Bretas, N. G., A Power Flow Method Computationally Efficient for Large-Scale Distribution Systems, IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition, August 2008, Latin America, 1-6.
56. Haque, M. H., Efficient Load Flow Method for Distribution Systems with Radial or Mesh Configuration, IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution, 143, 1 (1996) 33-38.
57. Shirmohammadi, D. H., Hong, W., Semlyen, A. ve Luo, G. X. A., A Compensation-Based Power Flow Method for Weakly Meshed Distribution and Transmission Networks, IEEE Transactions on Power Systems, 3 (1988) 753-762.
58. Zadeh, L. A., Fuzzy Sets, Information and Control, 8 (1965) 338-353.
59. Altaş, İ.H., Bulanık Mantık: Bulanık Denetim, Aylık 3e (Enerji, Elektrik, Elektromekanik) Dergisi, 64 (1999) 76-81.
60. Yang, X. S., Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms, Second Edition, Luniver Press, 2010.
61. Payne, R. B., The Ecology of Brood Parasitism in Birds, Annual Review of Ecology and Systematics, 8 (1977) 1-28.

62. Jensen, R. A. C. ve Jensen, M. K., On the Breeding Biology of Southern African Cuckoos, Journal of African Ornithology, 40, 4 (1969) 163-181.
63. Jourdain, F. C. R., A Study on Parasitism in the Cuckoos, Proceedings of the Zoological Society of London, 95, 2 (1925) 639-667.
64. Berg, H. C., Random Walks in Biology, Princeton University Press, 1993.
65. Viswanathan, G. M., Afanasyev, V., Buldyrev, S. V., Murphy, E. J., Prince, P. A. ve Stanley, H. E., Lévy Flight Search Patterns of Wandering Albatrosses, Nature, 381, 6581 (1996) 413-415.
66. Chechkin, A. V., Metzler, R., Klafter, J. ve Gonchar, V. Y., Introduction to the Theory of Lévy Flights, Anomalous Transport: Foundations and Applications, 2008, 129-162.
67. Mantegna, R. N., Fast, Accurate Algorithm for Numerical Simulation of Lévy Stable Stochastic Processes, Physical Review E, 49, 5 (1994) 4677-4683.
68. Baghzouz, Y. ve Ertem, S., Shunt Capacitor Sizing for Radial Distribution Feeders with Distorted Substation Voltages, IEEE Transactions on Power Delivery, 5 (1990) 650-657.
69. Chin, H. C. ve Lin, W. M., Capacitor Placements for Distribution Systems with Fuzzy Algorithm, TENCON'94 IEEE Region 10's Ninth Annual International Conference, August 1994, Singapore, 1025-1029.
70. Prakash, K. ve Sydulu, M., Particle Swarm Optimization Based Capacitor Placement on Radial Distribution Systems, IEEE Power Engineering Society General Meeting, June 2007, Tampa, FL, 1-5.
71. Rao, R. S. ve Narasimham, S. V. L., Optimal Capacitor Placement in A Radial Distribution System Using Plant Growth Simulation Algorithm, World Academy of Science, Engineering and Technology, 2 (2008) 715-722.
72. Mekhamer, S. F., Soliman, S. A., Moustafa M. A. ve El-Hawary, M. E., Application of Fuzzy Logic for Reactive Power Compensation of Radial Distribution Feeders, IEEE Transactions on Power Systems, 18, 1 (2003) 206-213.
73. Seifi, A. R., A New Hybrid Optimization Method for Optimum Distribution Capacitor Planning, International Journal of Electrical and Electronics Engineering, 3, 4 (2008) 136-141.
74. Sirjani, R. ve Hassanpour, B., A New Ant Colony-Based Method for Optimal Capacitor Placement and Sizing in Distribution Systems, Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, 4, 8 (2012) 888-891.

75. Bhattacharya, S. K. ve Goswami, S. K., A New Fuzzy Based Solution of the Capacitor Placement Problem in Radial Distribution System., Expert Systems with Applications, 36, 3 (2009) 4207-4212.
76. Sirjani, R., Mohamed, A. ve Shareef, H., An Improved Harmony Search Algorithm for Optimal Capacitor Placement in Radial Distribution Systems, The 5th International Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO), June 2011, Malaysia, 323-328.
77. Baysal, Y. A. ve Altas, I. H., A Fuzzy Reasoning Approach for Optimal Location and Sizing of Shunt Capacitors in Radial Power Systems, IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), September 2015, Montreal, Canada, 5838–5842.

ÖZGEÇMİŞ

Yeşim Aysel BAYSAL, 1989 yılında Elazığ'ın Maden ilçesinde doğdu. İlköğretim ve ortaöğretimini Diyarbakır Merkez' de tamamlamış olup, 2012 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünden Bölüm ikincisi olarak mezun oldu. Aynı sene Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Kontrol ve Kumanda Anabilim dalına ÖYP araştırma görevlisi olarak atandı ve yüksek lisans eğitimine başladı. İyi derecede İngilizce bilen Baysal, kontrol ve güç sistemlerinde optimizasyon teknikleri ve kontrol sistemleri teorisi üzerine çalışmalarını sürdürmektedir.