



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



AKILLI ŞEBEKELERDE YÜK YÖNETİMİ VE
YÜK TAHMİNİ

Mehmet Şefik ÜNEY

DOKTORA TEZİ

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Eylül-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Mehmet Şefik ÜNEY tarafından hazırlanan “Akıllı Şebekelerde Yük Yönetimi ve Yük Tahmini” adlı tez çalışması 02/09/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği /oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Mehmet ÇUNKAŞ

Danışman

Doç. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA

Üye

Doç. Dr. A. Afşin KULAKSIZ

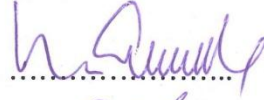
Üye

Doç. Dr. Bahadır AKBAL

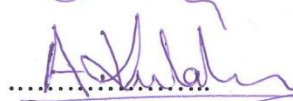
Üye

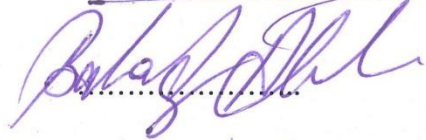
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa YAĞCI

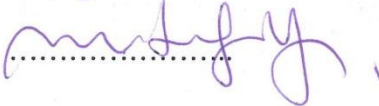
İmza


.....


.....


.....


.....


.....

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum.

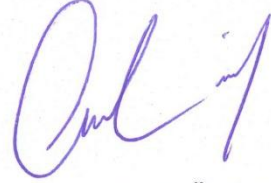
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Mehmet Şefik ÜNEY

02.09.2019

ÖZET

DOKTORA TEZİ

AKILLI ŞEBEKELERDE YÜK YÖNETİMİ VE YÜK TAHMİNİ

Mehmet Şefik ÜNEY

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA

2019, 96 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA
Prof. Dr. Mehmet ÇUNKAŞ
Doç. Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ
Doç. Dr. Bahadır AKBAL
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa YAĞCI

Mevcut şebeke altyapısı, hızla yenilenen, gelişen, büyüyen teknolojik ve endüstriyel ihtiyaçlara cevap vermede yetersiz kaldığından akıllı şebekeler umut verici bir çözüm haline gelmiştir. Gelişmiş ölçüm altyapısı, çift yönlü iletişim ve dağıtık üretim kaynakları gibi akıllı şebekenin temel unsurları, mevcut enerji yönetim yaklaşımlarını geliştirmeye adaydır. Her ne kadar geleneksel güç sistemleri, değişkenlik gösteren yük talebi cevabını ele almak için iyi kurgulanmış olsa da, akıllı şebekelerle birlikte sisteme dâhil edilen yenilenebilir enerji kaynaklarının getireceği ek değişkenlik ve belirsizlik, şebeke istikrarı için önemli bir sorun oluşturmaktadır.

Bu tez çalışmasında bir güç sistemi işletmecisi tarafından kullanılabilir olan akıllı şebekelerin, yönetim stratejisinin geliştirilmesi, güç kayıplarının düşürülmesi ve şebeke işletme hızının ve kabiliyetinin artırılması üzerinde durulmuştur. Akıllı şebekelerin hayatımıza girmesi ile çözümü beklenen, birçok sorundan üç tanesi ele alınmıştır. Bu üç sorunun birleştirilmesi sonucunda önerilen çözüm yöntemi, şebeke sorunlarının çözümüne yeni bir bakış kazandırmıştır.

İlk olarak; güç sistemi yönetiminde çok önemli bir rolü olan yük/üretim tahmin konusu ele alınmıştır. Güvenirliliği defalarca kanıtlanmış literatürde sıklıkla çalışılmış, üç farklı tahmin modelinin sonuçları birbiriyle karşılaştırılmıştır. Bu modellerin tümünde aynı veri setinden faydalanılmıştır. Tahminler bir saatlik kısa zaman dilimleri için yapılmıştır. Tahmin modellerinin çalışma mantığının farklı olmasına özellikle dikkat edilmiştir. İstatiksel çözüm altyapısını kullanan Regresyon Analiz yöntemi, beyin sinir yapısını temel alan Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemi ve bulanık mantık yaklaşımını esas alan ANFIS yöntemi tercih edilmiştir. Bu üç yöntemden ANFIS en başarılı yöntem olarak belirlenmiştir. ANFIS önerilen çözüm yönteminde yük tahmin modeli olarak seçilmiştir.

İkinci olarak; güç sistemlerinin ekonomik ve güvenli bir şekilde işletilmesinde önemli bir rol oynayan Optimal Reaktif Güç Dağıtım (ORPD) konusu çalışılmıştır. ORPD, doğrusal olmayan bir amaç fonksiyonu ve kısıtları içeren karmaşık bir optimizasyon problemidir. ORPD'nin temel hedefi, generatör ayar noktaları, trafo kademe ayarı ve reaktif güç kompanzasyon çıkışı gibi tüm kontrol değişkenlerinin optimum ayarlarını belirlemektir. Bu amaçla adı geçen problemin çözümüne yönelik, literatürde araştırmacılar tarafından birden çok çözüm yöntemi sunulmuştur. Bu tezde, doğrusal olmayan problemlerin çözümünde başarısı kabul görmüş meta-sezgisel algoritmalar kullanılmıştır. ORPD problemine daha önce uyarlanmamış ağaç tohumu algoritması (ATA) ve kurbağa sıçrama algoritmasının (KSA) sonuçları literatürde çalışılmış yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda başarısı kanıtlanan ATA algoritması, optimizasyon yöntemi olarak tercih edilmiştir. Optimizasyon algoritmalarının başarısını test etmek amaçlı IEEE-30 ve IEEE-118 bara test sistemleri kullanılmıştır.

Üçüncü olarak; güç sisteminde yük talebinin enerji üretiminden fazla olması durumunda sıklıkla başvurulmuş yük atma konusu işlenmiştir. Yük atma yöntemi, hızlı cevap ve ani değişikliklere kolay uyum sağladığından dolayı tercih edilir. Güç sistemlerinin istikrarını sağlamak için optimize edilmiş yük atma yöntemleri son yıllarda önem kazanmıştır. Bundan dolayı güncel bir yöntem olan akıllı yük atma (AYY) yöntemi bu tezde çalışılmıştır. Bu yöntem kapsamında yükler önemine göre dört sınıfa ayrılmıştır. Her sınıf kendi arasında üç farklı gruba bölünmüştür. Yükler önem sırasına göre devreye alınıp veya devreden çıkarılmaktadır. Tahmini üretim değerine göre bir saat sonraki zaman diliminde devreye alınacak yükler önceden belirlenerek hafızaya alınmaktadır. Sonraki adımda gerçek üretim değeri ile tahmini üretim değeri arasındaki fark güç hesaplanır. Gerçek üretim gücü ve tahmini üretim gücü farkına göre önceden hafızaya alınan yüklerden yük atma veya yük devreye alma işlemi uygulanmıştır. Bu durum sistemi ekstra vakit kaybından kurtarmıştır.

Yukarıda bahsi geçen tüm yöntemler tek bir amaç için bir araya getirilerek yeni bir çözüm yaklaşımı sunulmuştur. Önerilen yöntem ANFIS, ATA ve AYY metodlarının bir araya getirilmesinden oluşturulmuştur. Bu nedenle yöntem, ANFIS+ATA+AYY hibrit model şeklinde tanımlanabilir. Sistemin tümünü göz önüne alacak olursak hedeflenen amaçları; gerçeğe yakın üretim tahmini, minimum güç kaybı ve sistemin işletme kabiliyeti/hızının artması şeklinde sıralayabiliriz.

ABSTRACT

PhD THESIS

LOAD FORECASTING AND LOAD MANAGEMENT in SMART GRID

Mehmet Şefik ÜNEY

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Electrical and Electromechanical Engineering**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA

2019, 96 Pages

Jury

**Assoc. Prof. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA
Prof. Dr. Mehmet ÇUNKAŞ
Assoc. Prof. Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ
Assoc. Prof. Dr. Bahadır AKBAL
Asst. Prof. Dr. Mustafa YAĞCI**

Smart grid have become a promising solution since the current grid infrastructure is inadequate to meet rapidly renewed, developing, growing technological and industrial needs. The key elements of the smart grid, such as advanced metering infrastructure, bi-directional communication and distributed production resources, challenge current energy management approaches. Although conventional power systems are well-established to address the varying load demand response, the additional variability and uncertainty of renewable energy sources incorporated into the system with smart grids pose a significant threat to network stability.

In this study, it has been focused on developing the management strategy of smart grids that can be used by a power system operator, reducing power losses and increasing network operational speed. Three of the many problems that are expected to be solved with the introduction of smart grids have been addressed. As a result of combining these three problems, the proposed solution method provides a new insight into the solution of network problems.

Firstly; load forecasting which has a very important role in power system management is discussed. The results of three different prediction models, whose reliability has been repeatedly proven and frequently studied in the literature, have been compared. The same data set was used in all of these models. estimates are made for short periods of time, such as one hour. In particular, attention was paid to the different logic of the prediction models. Regression Analysis Method which uses the statistical solution infrastructure, Artificial Neural Networks (ANN) method based on brain neural structure and artificial neural fuzzy inference system (ANFIS) method based on fuzzy logic approach have been preferred. ANFIS was the most successful method in these

three methods. ANFIS was chosen as the load prediction model in the proposed solution method.

Secondly; Optimal Reactive Power Dispatch (ORPD), which plays an important role in the economic and safe operation of power systems, has been studied. ORPD is a complex optimization problem that involves a nonlinear objective function and constraints. The main objective of ORPD is to determine the optimal settings of all control variables, such as generator setpoints, transformer step adjustment and reactive power compensation output. For this purpose, multiple solution methods have been presented by the researchers for the solution of the mentioned problem. In this thesis, meta-heuristic algorithmic methods which are successful in solving linear problems are used. The results of tree seed algorithm (TSA) which previously has never been adapted to the ORPD problem and shuffled frog leaping algorithm (SFLA) were compared with the methods studied in the literature. As a result of the comparisons, TSA which has a better success was preferred to be used in the proposed solution method. IEEE-30 and IEEE-118 bus systems were used to test the success of optimization algorithms.

As the third; In the power system, if the load demand is higher than the energy production, the subject of load shedding, which is frequently applied, is discussed. Load shedding is preferred because of its rapid response and easy adaptation to sudden changes. In order to ensure the stability of power systems, optimized load shedding methods have gained importance in recent years. Therefore, the current method of intelligent load shedding (ILS) has been studied in this thesis. In this method, loads are divided into four classes according to their importance. Each class is divided into three groups in order of importance. Loads are switched on or off in order of their importance. According to estimated production value, loads that to be used in the following period are pre-determined and stored. When the actual production information was transmitted to the system, the operations were continued over the stored loads. This saved the system from wasting extra time.

All methods used in this thesis are brought together for a single purpose, a new solution approach is presented. The proposed method was developed by using ANFIS, TSA and ILS methods. Therefore, the method can be defined as ANFIS+TSA+ILS hybrid model. If we take the whole system into consideration, the total targeted objectives are listed as realistic production forecasting, minimum power loss and increased operating capability.

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde değerli bilgilerini benden esirgemeyen, kıymetli zamanını ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle beni dinleyen, değerli danışman hocam Doç. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA 'ya sonsuz teşekkürler ediyorum.

Eski adıyla Selçuk Üniversitesi yeni adıyla Konya Teknik Üniversitesi mühendislik fakültesi çalışma arkadaşlarıma desteklerinden ve yardımlarından dolayı teşekkür ediyorum.

Son olarak çok kıymetli eşime ve çocuklarıma her zorlukta yanımda oldukları için şükranlarımı sunuyorum...

Mehmet Şefik ÜNEY
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Akıllı Şebeke Nedir?.....	1
1.2. Akıllı Şebekenin Kapsamı.....	3
1.3. Akıllı Şebeke İhtiyacı	4
1.3.1. Güç kalitesi.....	4
1.3.2. Artan yenilenebilir enerji entegrasyonu ihtiyacı.....	5
1.3.3. Teknolojik Gelişmeler	5
1.4. Akıllı Şebeke Teknolojileri	6
1.4.1. Gelişmiş ölçüm altyapısı	6
1.4.2. Talep yanıtı.....	7
1.4.3. İşletme verimliliği ve optimal sistem yönetimi	8
1.4.4. Enerji depolama elemanları.....	8
1.5. Akıllı Şebeke Sorunları.....	8
1.5.1. Teknik sorunlar	8
1.5.2. Ticari ve finansal sorunlar	9
1.5.3. Hukuki sorunlar	10
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	11
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	29
3.1. Yük Tahmini.....	29
3.1.2. Yük tahminini etkileyen faktörler	29
3.1.3. Yük tahmin modellerinin gelişimi	30
3.1.3.1. Regresyon modelleri	31
3.1.3.2. Zaman serisi modelleri	32
3.1.3.3. Yapay sinir ağı modelleri	32
3.1.3.4. Uzman sistemler.....	33
3.1.3.5. Bulanık çıkarım sistem modelleri	33
3.1.3.6. Dalgacık modelleri	34
3.1.4. Tahmin yöntemleri.....	34
3.1.4.1. Regresyon analiz yöntemi	34
3.1.5. Uygulanan tahmin yöntemleri	37
3.1.5.2. Yapay sinir ağı (YSA) tahmin uygulaması	39
3.1.5.3. ANFIS tahmin uygulaması	41
3.2. Optimizasyon Yöntemlerinin Optimal Reaktif Güç Akış (ORPD) Problemine Uygulanması	43
3.2.1. Geleneksel (Klasik) yöntemler	44
3.2.2. Evrimsel yöntemler	46
3.2.3. Meta-Sezgisel yöntemler ile reaktif güç optimizasyonu	47

3.2.3.1. Reaktif güç optimizasyonunun (ORPD) formüle edilmesi	47
3.2.3.2. Amaç fonksiyonu	48
3.2.3.2. Uygulanan algoritmalar	51
3.2.3.3. IEEE-30 bara test sistemi	54
3.2.3.4. IEEE-118 bara test sistemi.....	55
3.3. Yük Yönetimi	56
3.3.1. Yük atma prosedürü	58
3.3.2. Yük yönetiminde kullanılan yöntem.....	59
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	64
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	73
5.1 Sonuçlar	73
5.2 Öneriler	75
KAYNAKLAR	76
EKLER	86
ÖZGEÇMİŞ.....	95

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

F	:	Amaç fonksiyonu
g	:	Eşitlik kısıtı
G_c	:	i ve j hatları arasındaki hat iletkenliği
h	:	Güç sistemi çalışma sınırı
L	:	Sistemin gerilim kararlılığı
$L(t)$:	Yük
N_{pq}	:	Yük baralarının toplamı
P_p	:	Generatörün aktif güç çıkışı,
P_{p1}	:	Slack bara
P_{RL}	:	Aktif güç kaybı
P_w	:	En kötü kurbağanın konumu
P_b	:	En iyi kurbağanın konumu
r_i	:	Tahmin katsayısı
$s(t)$:	t zamanındaki standart yük
S_L	:	İletim hattı değeri
T	:	Transformatör kademe ayarı
T_g	:	Üretim katsayısı
T_c	:	Reaktif şönt kompanzasyon katsayısı
T_{pq}	:	Veri yollarının toplamı
T_1	:	İletim hatlarının toplamı
u	:	Bağımsız kontrol değişkeni
V_L	:	Yük barası gerilimi
V_i	:	i . bara gerilimi
V_j	:	j . bara gerilimi
V_p	:	Generatör bara gerilimi
$y_i(t)$:	Hava durumu
Q_c	:	Reaktif güç kompanzasyon değeri
Q_P	:	Generatörün reaktif gücü
$\varepsilon(t)$:	Gürültü bileşeni
φ_i	:	i . bara gerilim açısı
φ_j	:	j . bara gerilim açısı

Kısaltmalar

AMI	:	Gelişmiş Ölçüm Altyapısı
ARMA	:	Otoregressif Hareketli Ortalama
ARIMA	:	Otoregressive Entegre Hareketli Ortalama
ARIMAX	:	Dış Değişken ilişkili Otoregressive Entegre Hareketli Ortalama
YSA	:	Yapay Sinir Ağları
US	:	Uzman Sistemler
ANFIS	:	Bulanık mantık temelli adaptif sinir ağı
MAPE	:	Ortalama Mutlak Yüzde Hata
ORPD	:	Optimal Reaktif Güç Akışı
OPF	:	Optimal Güç Akışı
Fes	:	Fonksiyon Durdurma Kriteri
KSA	:	Kurbağa Sıçrama Algoritması
GA	:	Genetik Algoritma
ATA	:	Ağaç Tohumu Algoritması
ABC	:	Yapay arı kolonisi
GSA	:	Yerçekimi Arama Algoritması
PSO-TVAC	:	Zamana Göre Değişken Hızlanan Parçacık Sürü Optimizasyonu
WOA	:	Balina Optimizasyon Algoritması
OGSA	:	Karşıt Tabanlı Yerçekimi Arama Algoritması
GWO	:	Gri Kurt Optimizasyonu
ALO	:	Karınca Aslanı Optimizasyonu
AYY	:	Akıllı Yük Yönetimi
MYM	:	Merkezi Yük Yönetimi
LYM	:	Lokal Yük Yönetimi

1. GİRİŞ

Hızla gelişen sanayileşme, kentleşme ve altyapı yetersizliği, elektriğin üretilme, iletilme ve tüketilmesinde birçok değişikliğe yol açılmasına sebep olmuştur. Bu durum klasik elektrik şebeke altyapısı üzerinde büyük bir strese neden olmuştur. Bunun yanı sıra daha yüksek güç ve güvenilirlik gerektiren, enerji talebinden kaynaklanan zorluklar meydana gelmiştir. Veri merkezleri gibi doğrusal olmayan yüklerin sisteme dâhil olmasındaki hızlı artış, şebeke sistemi için büyük önemi olan değişken hızlı sürücüler ve diğer güç elektroniği cihazlarının, artan güvenilirlik ve güç kalitesi taleplerini karşılama endişesini doğurmuştur. Akıllı şebeke kavramı, mevcut elektrik şebekesinin karşılaştığı sorunların çoğuna, dağıtık üretim, dağıtım otomasyonu, enerji yönetim sistemleri, gelişmiş ölçüm altyapısı (AMI), yenilenebilir enerji üretim teknolojileri, hibrit elektrikli araçlar, iki yönlü kablosuz iletişim ve internet gibi gelecek nesil teknolojilerinden faydalanarak birden çok çözümler sunmaktadır.

Dijital çağdaki tüketicilere kaliteli ve güvenilir elektrik enerjisi sağlamak için elektrik şebekelerinin güvenli ve istikrarlı bir şekilde çalıştırılması gerekmektedir (Anne ve Technology, 2009; Zhang ve ark., 2009).

1.1. Akıllı Şebeke Nedir?

Akıllı şebekenin temel mantığı, enerji tüketimini azaltırken sistemin verimini en üst düzeye çıkarmak için elektrik dağıtım altyapısına izleme, analiz, kontrol ve iletişim yeteneklerini kazandırmaktır. Akıllı şebeke, üretilen elektriğin sistemin kısıtları dâhilinde mümkün olduğunca verimli ve ekonomik bir şekilde tüketiciye ulaştırılmasını amaçlamaktadır (Zhang ve ark., 2009).

Şekil 1.1'de gösterildiği gibi, akıllı şebeke, dağıtık ve yenilenebilir kaynakların entegrasyonunu kolaylaştırmak için dijital bilgi ve kontrol teknolojilerini, akıllı tüketici cihazlarını, otomatik kontrol sistemlerini, elektrik depolama elemanlarını ve gerilim düzenleyici teknolojilerini kullanan bir sistem olarak tanımlanabilir. Akıllı şebekenin diğer tanımlarından bazıları şu şekilde ifade edilebilir:

- Bilgi teknolojisi ve iletişim teknolojisinin güç sistemi mühendisliği ile bir araya getirilmesidir.
- Akıllı şebeke, esnek, erişilebilir, güvenilir ve ekonomik bir şebeke ağı sunan geniş bir teknolojidir. Akıllı şebeke, kullanıcılarının istenen işlemlerini kolaylaştırır ve bunlar arasında dağıtık üretim, talep yönetimi

ve enerji depolama sistemlerinin kullanımı ya da şebeke elemanlarının optimal genişlemesi ve yönetimi yer alabilir (Wolfs ve Isalm, 2009).

- Akıllı şebeke, enerji kaynaklarını verimli, sürdürülebilir, ekonomik ve güvenli bir şekilde sunmak için kendisine bağlı tüm kullanıcıların eylemlerini akıllıca yönetebilen bir şebeke sistemidir.
- Üretim, iletim ve son kullanıcı bilgilerini optimize etmek için dijital bilgi teknolojisini kullanan bir uygulamadır.
- Coğrafi olarak dağıtık sistem bileşenlerinin etkileşimini, iletişimini daha iyi ve koordineli olarak gerçekleştirebilen bir sistemdir.
- Üretimin, iletimin ve dağıtımın yerini verimli bir şekilde veri, hizmet ve işlem alışverişi olacak şekilde akıllı, tam entegre hizmetlerle değiştiren ileri teknolojiler, kavramlar, topolojiler ve yaklaşımlar bütünüdür.
- Arz ve talep arasındaki etkileşime akıllı bir şekilde cevap verebilen bir sistemdir.



1- Enerji Yönetim Merkezi
2- Güneş Santrali
3- Rüzgar Santrali
4- Fabrikalar
5- Akıllı Evler

6- Elektrikli Araç İstasyonu
7- Hidroelektrik Santrali
8- Ticari İşyerleri
9- İletim/Dağıtım Şebekesi
10- Bataryalar

Şekil 1.1. Örnek akıllı şebeke modeli

Akıllı şebekeler, özellikle artan otomasyon teknolojisi ve sistemin kritik noktalarına yerleştirilen sensörler, ölçüm altyapısı vasıtasıyla işlenen verilerin kalitesini ve miktarını önemli ölçüde geliştirecek ve iyileştirecek potansiyele sahiptir. Böyle bir yaklaşım, tüm sistemin verimini, güç kalitesini ve güvenilirliğini önemli ölçüde iyileştirmekle beraber, aynı zamanda artan müşteri katılımı, tepe talep azalması, finansal

kayıpların azalması ve daha da önemlisi CO₂ emisyonlarının ve diğer çevresel etkilerin azalmasına yol açacaktır.

1.2. Akıllı Şebekenin Kapsamı

Akıllı şebekenin net bir tanımı hala bulunamamış olsa da, birçok akıllı şebeke mimarisinde ortak olan özellikler vardır. Bu özellikler, akıllı şebekenin genel şebeke sistemine olan potansiyel faydalarını açıkça tanımlamaktadır. Bu faydalar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- Sistem dengesizliklerini kendi kendine iyileştirecek şekilde tahmin eder ve cevaplar.
- Elektrik üretim, iletim ve tüketimin her alanına bilgi ve iletişim teknolojilerini dâhil eder;
 - Çevresel etkileri en aza indirmek için,
 - Pazarları geliştirmek için,
 - Güvenilirlik ve servisi iyileştirmek için,
 - Maliyeti düşürmek ve verimliliği arttırmak için.
- Akıllı şebeke ayrıca dijital bilgi, dağıtım otomasyonu ve çeşitli kontrol stratejileri kullanır;
 - Dağıtık enerji kaynaklarının,
 - Yenilenebilir enerji üretiminin,
 - Otomasyon sistemlerinin,
 - Enerji depolama sistemlerinin dağıtımını ve entegrasyonunu kolaylaştırmak için.
- Her türlü üretim tekniklerini ve enerji depolama seçeneklerini barındırır.
- 21. yüzyıl dijital ekonomisi için gereken daha yüksek güç kalitesini sağlar.
- Etkin bir şekilde çalışır ve mevcut ve yeni bileşenlerin kullanımını optimize eder.
- Tehditlere ve doğal afetlere karşı esnek ve etkili bir şekilde çalışır.
- Çizelge 1.1.'de klasik şebeke ile akıllı şebekeler arasındaki karşılaştırma gösterilmektedir.

Akıllı şebekelerde kullanılan çift yönlü iletişimin toplam tüketim ve en yüksek talebi önemli ölçüde azaltacağı ifade edilebilir. Akıllı şebekelerin etkili ve iyi

planlanması işletme maliyetlerini düşürür, sistem elemanlarının kullanımını optimize eder, sistemin güvenilirliğini, güç kalitesini ve işletme verimini de artırır.

Çizelge 1.1. Klasik Şebeke ve Akıllı Şebekenin karşılaştırması

<i><u>Klasik Şebeke</u></i>	<i><u>Akıllı Şebeke</u></i>
Merkezi Üretim	Dağıtık Üretim
Enerji Depolama Birimi (Yok)	Enerji Depolama Birimi (Var)
Tek yönlü iletişim	İki yönlü iletişim
Elektromekanik	Dijital
Manuel İyileştirme	Kendi Kendini İyileştirme
Arızalar ve Elektrik kesintileri	Adalaşma modu
Reaktif Yaklaşım	Proaktif Yaklaşım
Merkezi yönetim	Artan müşteri katılımı
Gerçek zamanlı izleme eksikliği	Geniş kapsamlı gerçek zamanlı izleme
Yavaş Reaksiyon süresi	Son derece hızlı reaksiyon süresi

1.3. Akıllı Şebeke İhtiyacı

1.3.1. Güç kalitesi

Lineer olmayan yüklerin sisteme dâhil olması ile birlikte güç kalitesi gün geçtikçe bozulmaya başlamıştır. Güç kalitesi, elektromanyetik parazit (EMI), parazit içeren radyo frekans (RFI) dalgaları, gerilim ve frekans dalgalanmaları, sarkmalar, harmonikler ve sinüzoidal dalga şeklindeki diğer bozucu etkilerden olumsuz etkilenmiştir. Bu bozucu etkilerden dolayı ideal bir sinüzoidal dalga biçiminin elde edilmesi oldukça zorlaşmıştır. Harmonik bozulmalar, transformatörlerin aşırı ısınmasına, devre elemanlarının hatalı çalışmasına ve hatta dijital kontrol sistemlerinde hasara neden olabilen ciddi bir güç kalitesi sorununa neden olmaktadır. Elektrik şebekesinde hassas devre elemanlarının artmasıyla birlikte güç kalitesinin korunmasında önemli görevi olan regülatörlere büyük iş düşmektedir.

Akıllı şebeke sisteminde kullanılacak sayaçlar, besleme kaynağının Toplam Harmonik Bozulma değerini (THB) belirleme özelliğine sahiptir. Akıllı sayaçlar sayesinde sisteme yardımcı olan programlar harmonik bozulmaların kaynağının belirlenmesinde kolaylık sağlayacaktır. Besleme kaynağının maksimum THB'sinin gözlemlendiği yer harmoniklerin kaynağı olarak kabul edilebilir ve iyileştirici önlemler alınabilir (Mak, 2010).

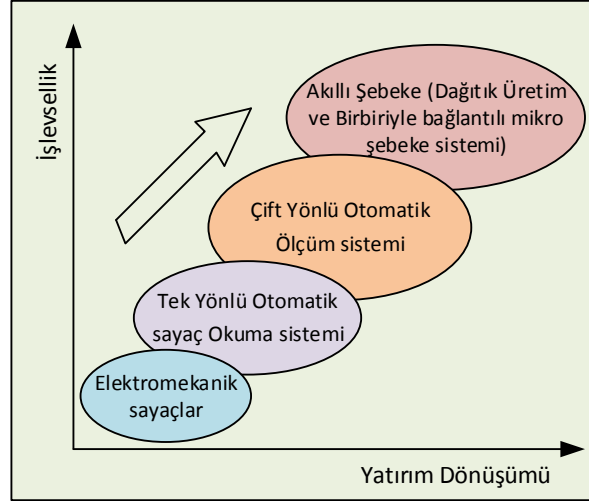
1.3.2. Artan yenilenebilir enerji entegrasyonu ihtiyacı

Küresel ısınma konusundaki endişeler nedeniyle yenilenebilir enerji üretim teknolojilerinin entegrasyonu giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Şu anda yenilenebilir enerji üretiminin etkisi çok düşüktür ve klasik elektrik şebekesi tarafından bu durum avantaja dönüştürülebilir. Bununla birlikte yenilenebilir enerji etkisi arttıkça değişken yeni sistem bileşenlerini entegre etmek için ciddi iyileştirmeler ve modifikasyonlar gerekecektir.

Ani enerji düşüş seviyelerinde elektrik şebekesi, üretim eksikliklerini telafi etmek için süper iletkenler, süper kapasitörler ve volanlar gibi daha hızlı enerji sağlayacak kaynaklara ihtiyaç duymaktadır (Rodriguez, 2010). Bu alanda önemli miktarda araştırma yapılmakta olup gelecekte yenilenebilir enerji üretimi ve yönetimi gibi sistemler de yeni vaatler sunmaktadır. Yeşil ve sürdürülebilir enerji hedefine ulaşmayı kolaylaştırmak için artan enerji krizini ve karbon emisyonlarının çevre üzerindeki etkisini azaltmak gerekir. Ayrıca dağıtık ve ölçeklenebilir alternatif üretim kaynakları ve enerji depolama sistemlerinin mevcut şebeke sistemine entegre edilerek daha verimli bir yapıya dönüştürülmesi hedeflenmelidir (Crow ve ark., 2010). Bu şekilde akıllı şebekeler yalnızca sera gazı emisyonlarını azaltmakla kalmayacak, aynı zamanda yenilenebilir enerji kaynaklarının ve enerji depolama sistemlerinin elektrik şebekesine daha fazla entegrasyonu teşvik edilecektir.

1.3.3. Teknolojik Gelişmeler

Mevcut elektrik şebekesi, özellikle şebekenin dağıtım tarafında, otomasyondan ciddi şekilde yoksundur. Mevcut sistemde gerçek zamanlı yük izleme kullanılmasına rağmen, çeşitli kaynak ve ekipmanlardan gelen bilgilerin sisteme entegre edilmesinde problemler yaşanmaktadır. Ayrıca enerji verimliliği programlarındaki artışla birlikte, elde edilen verileri yorumlama ve etki etme becerisinde de ciddi bir eksiklik vardır. Şekil 1.2'de akıllı şebekenin teknolojik gelişimi gösterilmektedir. Tahmin edilebilir üretim, enerji depolama, kontrol edilebilir-gözlenebilir yük ve artan aktif dağıtım sistemine geçiş, elektrik şebekelerinin planlanma ve işletilme şeklini değiştirecektir (Davidson ve ark., 2010).

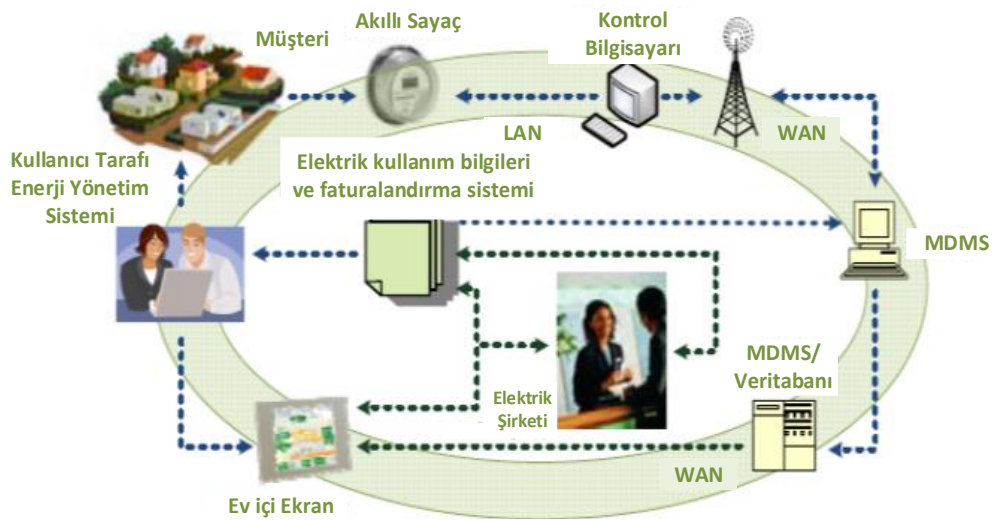


Şekil 1.2. Akıllı Şebekenin Gelişimi (Hossain ve ark., 2010)

1.4. Akıllı Şebeke Teknolojileri

1.4.1. Gelişmiş ölçüm altyapısı

Gelişmekte olan akıllı şebekeler dağıtım otomasyonu üzerine kurulmuştur (Asgeirsson, 2010). Akıllı şebeke terimi akıllı ölçümleme ile eş anlamlı olarak tanımlanabilir. Gelişmiş ölçüm altyapısı (AMI) akıllı şebekeler için önemlidir (Vale ve ark., 2010).



Şekil 1.3. Gelişmiş ölçüm yapısı ve bileşenleri (Bai ve ark., 2010)

Şekil 1.3'te gösterildiği gibi akıllı ölçümle birleştirilmiş gelişmiş bir Enerji Yönetim Sistemi (EMS), enerji tüketimini azaltmak ve puant talebini azaltmak için

çeşitli fırsatlar sunar. Akıllı ev alan ağları (HAN) talep tarafı programlarını güçlendirecek ve gelişmiş ölçüm altyapısının gelişmiş işlevselliği ile birlikte aşağıdaki ek işlevleri de gerçekleştirilecektir:

- Gerçek zamanlı fiyatlandırma / Kullanım süresi fiyatlandırması
- Puant yükü azaltma
- Talep yönetimi
- Hassas devre elemanlarının uzaktan izlenmesi
- Yük izleme
- Kesinti tespiti ve adalaşma modu

1.4.2. Talep yanıtı

Talep karşılama, ortaya çıkan akıllı şebeke sisteminin önemli bir bileşenidir ve potansiyel güç kaynaklarını kontrol altında tutmak için ticari açıdan önemli bir unsurdur (Rahimi ve Ipakchi, 2010). Talep yanıtı, dağıtık üretim müşterilerinin fiyat indirimi veya başka türlü teşvikler almak için yoğun talep dönemlerinde elektrik kullanımını azalttığı veya değiştirdiği politika ve iş alanlarını ifade eder.

Son yıllarda talep karşılama, ekonomik ve sosyal faydalarından dolayı girişimciler ve hükümet arasında büyük ilgi görmüştür. Yenilenebilir enerji üretiminde lider olan Teksas, 2008 yılının başlarında rüzgâr enerjisi üretiminde ani ve beklenmeyen bir düşüş yaşadı ve sadece üç saatte 1300 MW civarında bir kayıp meydana geldi. Bu durum Teksas ekonomisinde büyük kayıplara neden oldu. Bu nedenle büyük sanayi ve girişimciler tarafından, kaybedilen enerjinin çoğunu on dakika içinde geri yükleyecek ve tampon görevi görecek acil müdahale programı başlatıldı. Bu program akıllı şebeke ilkelerinin mükemmel bir örneğini oluşturmuştur. Bu amaçla kullanılan akıllı sayaçlar, kullanım süresine bağlı fiyatlandırma (ToU) ve akıllı yük kontrol cihazları gibi son kullanıcı teknolojilerine odaklanan talep yanıt teknolojileri, işletmelere ve tüketicilere ekonomik faydalar sağlamak açısından somut sonuçlar veren müşteri katılımını arttıracaktır. Son kullanıcılar, talep gücünü azaltmak ve hem elektrikten hem de paradan tasarruf etmek adına bazı yükleri devre dışı bırakabilen yük yönetim programlarını uygulamak için akıllı sayaçların enerji ya da talep tahmin mantığını kullanabilirler (Lee ve Lai, 2010). Böylece akıllı şebeke teknolojisi ve talep yanıt programlarının farkındalığı artırma anlayışıyla kişisel konforu artırma, sera gazı emisyonlarını azaltma ve aynı zamanda tüketicilerin finansal faydalarını artırma gibi avantajları olacaktır.

1.4.3. İşletme verimliliği ve optimal sistem yönetimi

Akıllı şebekenin en önemli özelliklerinden biri, şebekenin işletim verimliliğini arttırmak ve elektrik şebekesinin işletme ve bakım maliyetlerini düşürmektir. Akıllı şebeke, işletme parametreleri ve ekipmanın sağlıklı çalışma durumunu değerlendiren gerçek zamanlı veriler gibi bilgileri işleyen teknolojileri kullanır. Bozulmaları tespit etmek için ekipman durumunu izler, çalışmasını optimize etmek için güvenilirliğini değerlendirir, hata türüne göre duruma dayalı bakım stratejisi bile geliştirebilir (Bi ve ark., 2010).

1.4.4. Enerji depolama elemanları

Artan elektrik kesintileri, düşük güç kalitesi ve yenilenebilir enerji üretimindeki artış ile enerji depolama sorununa yapılacak yatırım kaçınılmaz hale gelmiştir. Ekonomik enerji depolama, güç kalitesini iyileştirmek ve talep gücü karşılamak için çok arzu edilen bir konudur (Nair, 2011). Enerji depolama aygıtları;

- Sistem şebekesinin yenilenebilir enerji kaynakları sistemi ile entegre edilmesini sağlar,
- Dağıtık üretim gerekli enerjiyi sağlayamadığında enerji takviyesi sağlar,
- Yoğun olmayan saatlerde enerji depolayarak en yüksek güç talebi sırasında talep edilen gücü tedarik etmek için güç yönetimi yapar.

Aküler, volanlar, basınçlı hava, ultra kapasitörler, süper iletken manyetik enerji depolama, hidrojen depolama vb. gibi depolama sistemleri enerjiyi elektrokimyasal, kinetik, basınç, potansiyel, elektrostatik, elektromanyetik, kimyasal ve termal gibi farklı şekillerde depolar (Boyes ve Clark, 2000; Binduhewa ve ark., 2008). Enerji depolama teknolojilerinin değeri, kısa sürede kurulum maliyetleri, orta vadede enerji depolama elemanlarının bakım maliyetleri, tasarrufları ve son olarak genel elektrik altyapısına sağlanan uzun vadeli potansiyel faydaları dikkate alınarak değerlendirilmelidir (Carter ve ark., 2010; Nair, 2011).

1.5. Akıllı Şebeke Sorunları

1.5.1. Teknik sorunlar

Akıllı şebekeler yeni gelişen bir süreç dâhilindedir. Bu nedenle üstesinden gelinmesi gereken çok sayıda teknik zorluk vardır (Amin, 2010; Dugan ve ark., 2010).

- Birleştirme planlaması ve gerçek zamanlı analiz

- Çok büyük sistemlerin modellenmesi
- Çok miktarda AMI verisini kullanma
- AMI bazlı karar verme
- Zaman serisi simülasyonu
- Dağıtık üretim entegrasyonu ve koruması
- Ucuz enerji depolama teknolojisi

Yukarıda ifade edilen sorunların dışında, akıllı şebeke teknolojisinin etkin bir şekilde birlikte çalışabilmesi için sağlam standartların geliştirilmesi gerekir. Dağıtık üretime bağımlılık arttıkça talep tarafı kaynakları, dağıtım sistemi uygulamaları ve siber güvenlik açığına maruz kalan diğer sistemlerin korunmasının önemi artacaktır (Lauby, 2010). Güvenlik mimarisi, akıllı şebeke uygulamasını mevcut şebekede mümkün kılmak için iletişim ve teknolojik altyapıları kullanabilir. Güvenlik mimarisinin tümü mevcut iletişim ve teknoloji altyapıları üzerine inşa edilebilir. Ayrıca sistemin uyumlu çalışabilmesi ve siber güvenliğin sağlanması için akıllı şebeke sistemlerinin uygunluk testi ve sertifikasyonu için sağlam bir çerçeve oluşturulması gerekmektedir (Nelson ve FitzPatrick, 2010).

1.5.2. Ticari ve finansal sorunlar

Akıllı şebeke planlarını gerçek dünyada başarıyla uygulamak için iş dünyası ile uyumlu ekonomik planlar oluşturulmalıdır. Bu alanda iş planı oluşturmak isteyen kuruluşlar, üretim ve talep toplayıcılar gibi şebeke operatörleri ve muhtemel elektrik perakendecileridir (Bouffard, 2010). Tam teşekküllü bir akıllı şebeke sisteminin yatırım maliyeti önemli ölçüde yüksek olacaktır ve bu sistemi kanıtlanmış faydalarla doğrulamak iş sektörünün karşılaştığı en büyük ticari zorluktur. Ayrıca yatırımcılar böyle bir yatırımın maliyet faydaları konusunda şüphelidirler. Çünkü maliyet faydaları yapılan harcamayla karşılaştırıldığında küçük görünmektedir. Makro politika düzeyinde enerji endüstrisinin kaynak tasarrufu, toplumun gereksinimlerini karşılaması, iklim değişikliğine uyum sağlaması ve sürdürülebilir çevre ile doğrulanması gerekir (Nair, 2011).

Akıllı şebeke senaryosuna bu kadar çok yatırım yapılması durumunda kuruluşların yatırım maliyetlerini geri kazanmaları önem kazanmaktadır. Çoğu zaman akıllı şebeke son tüketici maliyet tasarrufu ile ilişkilendirilir, ancak daha geniş bir bakış açısıyla akıllı şebekeler, elektrik şebekesinin güvenilirliğini artırarak potansiyel tasarruflara yol açabileceğini de not etmek gerekir. Örneğin geniş alanlı ölçüm

sistemlerinin ve fazör ölçüm birimlerinin elektrik sistemine uygulanmasıyla, 2003 yılında ABD’de meydana gelen büyük elektrik kesintisi, yaşanan ekonomik zararlardan yaklaşık 10 milyar dolar tasarruf edilmesini sağlayabilirdi.

Son olarak, fiyatlandırma, maliyet avantajları, teknik özellikler ve güvenilirlik açısından, plug-in hibrit elektrikli taşıtlarla (PHEV) ilgili tüketici endişelerinin ele alınması gerekmektedir. Gelecekteki akıllı şebeke ağlarında önemli bir rol oynayacak olan hibrit araçların önündeki sorunlar şu anda çok pahalı olmakla birlikte tasarruf yapmanın ve karbon salınımını azaltmanın bir yolu olmaktan ziyade lüks olarak kabul edilmektedir. Günümüzde hibrit bir taşıtın priz eklenerek dönüştürülmesinin maliyeti yüksektir ve ayrıca bu yeni teknolojiyi desteklemek için çok az şarj altyapısı vardır. Hibrit araçların evrensel bir kabul görebilmesi için gündemde olan bu endişelerin çözülmesi gerekmektedir.

1.5.3. Hukuki sorunlar

Akıllı şebekeden artan beklentilerle birlikte kanunlar ve yönetmeliklerle bu organizasyonu sağlayacak kurumlar, sektöre yapılan yatırımlardan emin olmak için çok önemli bir görevle karşı karşıya kalmışlardır. Sınırlı sayıdaki yetenek havuzu ve insan kaynağına olan gereksinimin artması ile sorumlu kurumlar mevcut şebekeyi akıllı bir şebekeye dönüştürmek için kararlılıkla ve azimle bu zorluğun üstesinden gelecek şekilde çalışmak zorunda kalmışlardır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Yük tahmini alanındaki ilk araştırmalar, doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon teknikleri (Papalexopoulos ve Hesterberg, 1990), eğri uydurma teknikleri, en küçük kareler yaklaşımı teknikleri, zaman serileri analizi (Hagan ve Behr, 1987) ve diğerleri gibi mevcut standart istatistiksel yöntemlerle yapılmıştır. Yapay zekâ alanındaki ilerlemeyle birlikte, yük tahmin teknikleri hem verimlilik hem de doğruluk açısından büyük bir atılım yapmıştır. Bu teknikler, büyük miktarda veriyi verimli bir şekilde kullanabilir, lineer olmayan ve dinamik elektrik yükü verilerini ele alabilir, ayrıca tüm elektrik yükü tüketiminin temel modelini oluşturan harici değerleri ve istisnaları da etkili bir şekilde idare edebilirler. Yapay Sinir Ağları (Hippert ve ark., 2001), Bulanık Mantık Sistemleri (Ranaweera ve ark., 1996), Destek Vektör Makineleri (Chen ve Chang, 2004) gibi yük tahmini için popüler olan yapay zekâ teknikleri kullanılır. İstatistiki ve yapay zekâ tekniklerini birleştiren, iki farklı istatistiksel tekniği kullanan, iki farklı yapay zekâ tekniğini kullanan birçok hibrit teknik geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, (Huang ve ark., 2005) elektriksel talep tahminlerini bir günden bir haftaya kadar eksojen değişken (ARMAX) modeliyle, otoregressif hareketli ortalamayı tanımlamak için parçacık sürü tabanlı bir yaklaşım önermektedir.

(Hubele ve Cheng, 1990) yaptıkları bu makalede, günlük elektrik yükünün mevsimsel değişimini istatistiksel karar fonksiyonları ile tanımlamışlardır. Tarihsel veri tabanından mevsimsel alt kümeler elde etmek için, sıcaklık değerlerinden hiyerarşik sıralama elde etmek için bir sınıflandırma algoritması uygulanmıştır. İstatistiksel teknikler kullanılarak alt gruplardan her mevsime uyan bir amaç fonksiyonu elde edilmiştir. Bu şekilde geliştirilen fonksiyonel modeller ile model bir veri kütüphanesi oluşturulmuştur.

Yük tüketim profilleri sadece atmosfer koşullarına ve mevsimsel değişikliklere bağlı değildir, aynı zamanda kullanıcının ihtiyaç zamanlarından da büyük ölçüde etkilenir. İş günlerinde sabah yük profilleri, tatil günlerinde geç saatlere kadar çıkan yük profilleri, belirli bir bölgelerdeki tatiller veya hafta sonları yük profilleri birbirinden farklı davranışlar gösterebilir. Bölgelere ve tatil günlerine göre yük profili değiştiği gibi aynı zaman gün içerisinde de değişkenlikler gösterebilir. Bu amaçla, (Hubele ve Cheng, 1990) çalışmasında bir gün altı farklı zaman aralığına, (Moghram ve Rahman, 1989) çalışmasında dört farklı zaman aralığına ve (Ruzic ve ark., 2003) çalışmasında yirmi dört farklı zaman aralığına bölünmüştür.

(Rahman ve Bhatnagar, 1988), saatlik yük tahminlerini elde etmek için uzman sistemlere dayalı algoritmayı kullanan bir yöntem önermişlerdir. Aylık elektrik yükü ve hava durumu verilerinin analizi ile yük tahminini etkileyen değişkenlerin daha iyi anlaşılacağı tezine odaklanılmıştır. Elektrik yükü ve sıcaklık ile elektrik yükü ve nem arasındaki ilişkiyi elde etmek için periyodik yük eğrileri çizilmiştir. Bu çalışmada ayrıca yük faktörünün haftanın günlerine göre değişimi ele almıştır.

(Moghaddas-Tafreshi, 2008) tarafından yük tahmini için bir Regresyon yöntemi önerilmiştir. Bu makalede İran'ın şebeke yükü göz önünde bulundurulmuştur. Lineer regresyon yöntemi kullanılarak yükün sıcaklık ile olan ilişkisi açıklanmaya çalışılmıştır. Lineer olmayan elektrik yük tüketiminin sıcaklık ile olan ilişkisinin analizi yapılmış olup analiz sonuçlarının diğer çevresel faktörlere olan etkisi tartışılmıştır.

Elektrik Yükü Tahmini için yıllık ve mevsimlik bir model, (Koprinska ve ark., 2011) tarafından önerilmiştir. Mevsimsel ve yıllık verilere dayanan beş ileri yük tahmini modeli önerilmiştir. Avustralya elektrik yükü verileri için geniş bir veri setine dayalı kapsamlı bir değerlendirme yapılmıştır.

(Feng ve ark., 2006) yaptıkları çalışmada elektrik yükü profillerini sınıflandırmak için bulanık bir kurala dayalı bir sınıflandırıcı geliştirmişlerdir. Profil analizleri geçmiş veri setlerine göre yapılmıştır. Yük profillerinin en iyi şekilde sınıflandırılmasını sağlamak ve kullanılan kuralları seçmek için çok amaçlı parçacık sürüsü optimizasyon tekniği kullanılmıştır. Kurallar bulanık kural tabanlı sınıflandırıcı kullanılarak geliştirilmiştir. Sonuçlar, geliştirilen sınıflandırıcının çok doğru sonuçlar verdiğini ve kullanılan tarihsel verilerin daha büyük bir ölçekte olması durumunda, yük tahmin sonuçlarının doğruluğunun daha da artacağı ifade edilmiştir.

(ShangDong ve Xiang, 2006) çalışmada uyarlanabilir atalet ağırlık faktörü (AIWF) ile yeni bir hibrit parçacık sürüsü optimizasyon (PSO) algoritması önerilmiştir. Kaos parçacık sürüsü optimizasyon tekniği, kaosa dayalı lokal arama yönteminin uygulanmasıyla geliştirilmiştir. Geliştirilen teknik daha sonra sinir ağlarının geliştirilmesinde kullanılmıştır. Burada kullanılan yöntem, saatlik yük tahmin değerlerini elde etmek için, Güney Çin'in gerçek yük verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlara göre, kaos parçacık sürü optimizasyon algoritmasının genetik algoritma ve yapay sinir ağı tekniklerine kıyasla daha yüksek verimlilik elde ettiği ve daha iyi arama kalitesi ürettiği ifade edilmiştir.

Destek vektör makineleri de yük tahmin tekniklerinin tahmin doğruluğunu ve hızını geliştirmek için çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Destek vektör makineleri

yöntemi kullanılarak yarım saatlik periyotlarla sonraki gün elektrik yükünün tahmini gerçekleştirilmiştir (Jain ve Satish, 2009).

Eğri uydurma tekniğinin kullanımı, elektriksel yük artış eğilimi için uygulanabilir bir yöntem olabilir. Fakat ancak enerji dağıtım sistemlerinin yük tahmini için henüz önerilme düzeyinde değildir (Willis ve ark., 1983) çalışmada, tarihsel veri kümelenmesini temel alan yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yeni model standart eğri uydurma tekniklerine kıyasla daha önemli avantajlara sahiptir. Ayrıca hızlı büyüyen bilgisayar teknolojisi ile uygulaması daha kolaydır.

(Mishra ve Patra, 2008) çalışmada, genetik algoritma ve parçacık sürüsü optimizasyonu ile eğitilmiş küçük bir Çok Katmanlı Perceptron Yapay Sinir Ağı (MLPNN) önerilmiştir. Parçacık Sürü Optimizasyonu ile eğitilmiş MLPNN modelin sonuçları, genetik algoritma ve geri yayılım algoritması ile eğitilmiş diğer iki modelin sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre, PSO modelinin diğer iki modele göre daha hızlı yakınsama ürettiği ve dolayısıyla bu modelin daha uygun olduğu ifade edilmiştir.

Optimal güç akış (OPF) problemi uzun yıllar boyunca üzerinde çalışılan önemli bir konudur. Güç sisteminin iyi bir şekilde planlanması ve işletilmesi için OPF konusunun geliştirilmesi gerekmektedir. Bu sorunu çözmek için birkaç farklı yöntem kullanılmıştır. Güç akışını, optimum reaktif güç akışı (ORPD) ve optimum aktif güç akışı (David ve ark., 1986) çalışmasında belirtildiği gibi iki başlık altında analiz etmek mümkündür. Optimum reaktif güç akışı OPF içinde ki özel bir araştırma maddesidir. ORPD'nin ilk hedefi, generatör reaktif güç çıkışları gibi tüm kontrol değişkenlerinin optimal ayarlarını belirlemek, iletim hattının, trafo yük kademe değiştiricilerin kaybını ve şönt kapasitörlerinin çıkışını minimuma indirmektir. Bunun dışında, toplam voltaj dalgalanmalarının (TVD) veya voltaj karalılık indeksinin (VSI) mutlak değerinin sistem kısıtları uygulanırken değiştirilmesi gerekir.

Bugüne kadar, ORPD problemini çözmek için literatürde birçok çalışma yapılmıştır. Matematiksel programlama tekniklerinin yanı sıra meta-sezgisel algoritmik çözümler son yıllarda yaygın olarak görülmektedir. ORPB problemlerini çözmek için gradyan tabanlı algoritmalar ve çeşitli matematiksel programlama teknikleri gibi çeşitli klasik yöntemler sunulmaktadır (Aoki ve ark., 1988; Deeb ve Shahidehpour, 1988; Lo ve Zhu, 1991; Granville, 1994; Zhu ve Xiong, 2003; Shi ve ark., 2011; de Sousa ve ark., 2012; Granada ve ark., 2012). PSO, ABC, GA, DE, SOA, CFA gibi sıklıkla kullanılan algoritmaların yanı sıra hibrit yaklaşımlar da ORPD'nin çözümü için kullanılmıştır (Bakirtzis ve ark., 2002; Cai ve ark., 2008; Dai ve ark., 2009; Huang ve ark., 2012;

Kılıç ve ark., 2013; Yapıcı ve ark., 2016). (Ayan ve ark., 2015), kaos teorisini ABC algoritmasına uyarlayarak yeni bir hibrit yaklaşım sunmuşlardır (Khorsandi ve ark., 2011) çalışmada, Nelder-Mead (NM) adlı yerel bir arama algoritması KSA ile birlikte kullanılmıştır. Yerçekimi Arama Algoritması (GSA) ve GSA bazlı hibrit çözümler (Duman ve ark., 2012), (Niknam ve ark., 2013) ve (Rashedi ve ark., 2009) çalışmalarında gösterilmiştir. (Mukherjee ve ark., 2015) çalışmada önerilen Kaotik Krill Sürü Algoritması (CKHA), etkinlik ve yakınsama oranı bakımından diğer başarılı tekniklerden daha iyi sonuçlar elde ettiği belirtilmiştir. Khazali ve arkadaşları, uyum arama algoritması sonuçlarının (HSA) (Khazali ve ark., 2011) diğer algoritmalara göre daha güvenilir olduğunu belirtmişlerdir. (Robbins ve Domínguez-García, 2015), dengesiz durumlarda gerilim dalgalanmalarını gidermek için Kuadratik Programlama ile birlikte kullanılan Alternatif Yön Çarpanı Metodunu önermişlerdir. ORPD'yi çözmek için literatürde birçok yeni PSO tabanlı yöntemler de (Mahadevan ve Kannan, 2010; Badar ve ark., 2012; Tehzeeb-Ul-Hassan ve ark., 2012; Yapıcı ve Çetinkaya, 2017) önerilmiştir.

Mevcut problemleri çözmek için insanlar birbirinden etkilenmişlerdir. Tarih boyunca daha iyisini arama ve daha mükemmel çözümler bulmak için insanlar birbirleriyle yarışmışlardır. Bu mücadele ve daha iyisini yapma arzusu bilim ve teknolojinin gelişimine katkı sunmuştur. ORPD çözümü konusunda çeşitli tekniklerin tartışıldığından bahsetmiştik. Ancak, çok amaçlı çözüm teknikleri son yıllarda, tek amaçlı yöntemlerin yanı sıra sıklıkla karşımıza çıkmaktadır. ORPD çözümü için NSGA-II tabanlı birçok çalışma yapılmıştır (Zhihuan ve ark., 2010; Jeyadevi ve ark., 2011; Ben Hmida ve ark., 2018; Chen ve ark., 2018). PSO tabanlı çok amaçlı çözüm yöntemleri (Zhao ve ark., 2005; Srivastava ve ark., 2015) çalışmalarda literatüre yeni anlayışlar kazandırmıştır. Pareto multi-grup arama optimizasyon (SPMGSO) yaklaşımı yeni bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır (Zhou ve ark., 2014).

Yukarıda belirtilen tüm yöntemlere ek olarak, literatüre kazandırılan yeni çalışmalar ORPD probleminin çözümü için farklı bakış açıları geliştirmiştir. (Li ve ark., 2015) tarafından yapılan araştırmaya göre, rüzgâr türbininin entegre olduğu bir mikro şebekedeki doğrusal olmayan aralık optimizasyon (NIO) modeli kullanılmıştır. Burada sadece optimum dağıtım hedefi değil aynı zamanda sapsması da göz önünde bulundurulur. Bu nedenle, çok amaçlı bir çözüm uygulanmıştır. Hu ve arkadaşları DC mikro-şebekede optimum güç akışı için dağıtık adaptif droop kontrol yönteminden bahsetmişlerdir (Hu ve ark., 2017).

(Hu ve ark., 2017) tarafından yapılan bir çalışmada, bir arızadan sonra ortaya çıkan üretim ve tüketim dengesinin geri kazanımı için tasarlanmış düşük frekanslı geleneksel yük atma şeması incelenmiştir. Modern yük atma sistemleri ile karşılaştırıldığında, geleneksel yöntemler sadece sabit frekans, zaman gecikmesi ve klasik yöntemlerle yük atma metodunu kullanırlar. Geleneksel yöntemler ayrıca, atılan yüklerin sabit yük sınıfında olmasını destekler, değişken yük profilini yönetme becerisinde oldukça zayıftır. Bu tür adaptif olmayan sabit yük atma algoritmaları, gelişmiş güç sistemi operasyonlarını verimli bir şekilde idare etmede yetersiz kalabilmektedir. Buna karşılık, merkezi yük atma algoritmaları, yük atma planlarının verimini geliştirmek için daha esnek bir çözüm sağlayabilir. Bu çalışmada iki adet merkezi uyarlamalı yük atma algoritması önerilmiştir: yanıt tabanlı algoritma, olay tabanlı ve yanıt tabanlı hibrit algoritma. Önerilen yöntemler, büyük bozukluklar ve birleşik olaylar için bile güç sistem kararlılığını garanti etmektedir. Hem frekans hem de gerilim değişkenleri en uygun yük atma değerini seçmek için kullanılmıştır. Önerilen modelin parametreleri, problemin büyüklüğü nispetinde uyarlamalı olarak seçilmiştir.

(Bai ve ark., 2013) çalışmalarında düşük frekanslı yük atma modelini araştırmış ve acil durumlarda önerdikleri modelin sistem dengesinin etkinliğinde temel rol oynadığını bildirmişlerdir. Geleneksel yük atma yöntemlerinde ki temel sorun, problemin yerini ve büyüklüğünü belirleyememeleridir. Ancak bu çalışmada yeniden düzenlenmiş düşük frekanslı bir yük atma modeli önerilmiştir.

(Mollah ve Nair, 2010) tarafından yapılan bir çalışmada, koordineli bir düşük gerilim ve düşük frekansa dayalı yük atma stratejisi tartışılmıştır. Dağıtım merkezlerinden kaynaklanan yük dinamiklerini değiştirmek ve ayrıca yük merkezlerinden uzak mesafelere yerleştirilmiş üretim tesislerine bağımlılığı artırmak şebeke çalışmasını olumsuz yönde etkiler. Son zamanlarda meydana gelen elektrik kesintilerinin incelenmesi durumunda, temelinde gerilim düşmesi güç sistem kararsızlığının yattığı görülecektir. Bu çalışmada hem frekans hem de gerilim katkısı ile koordineli bir yük atma tekniği tartışılmıştır.

Yüksek değişkenli ve belirsiz enerji sistemlerinde frekansa bağlı bir yük atma modeli (Bambaravanage ve ark., 2013) tarafından tartışılmıştır. Güvenilir bir yük atma planı geliştirmek ve anormal koşullar altında çalışan güç sistemlerin de dengeyi koruyarak yüksek değişkenlik ve belirsizliğe neden olan kesintilerin önlenmesi için bir metodoloji önerilmiştir. Ayrıca bu çalışmada farklı yük atma planları ve adalama stratejileri tartışılmıştır.

Gerilim kararlılık indeksine dayanan bir yük atma şeması (Yusof ve ark., 2014) tarafından önerilmiştir. Gerilim kararlılık endeksinin, yük koşullarını tespit etmek için güvenilir bir şekilde kullanılabilmesi belirtilmiştir. Bu çalışmada araştırma yaklaşımı olarak, gerilim kararlılık indeksi temelli, düşük gerilimli yük atma modeli önerilmiştir.

(Shams ve ark., 2015) tarafından yapılan çalışmada dinamik güvenlik değerlendirmesi temelinde, bir adaptif düşük frekanslı yük atma şeması önermişlerdir. Önerilen yöntem, sistem ataletine ve problem boyutuna uyarlanabilir kolaylıktadır. Adaptif yöntemin, bir dizi farklı sistem koşulunda bile atılacak minimum yükün daha doğru bir şekilde değerlendirilmesini sağlayabildiği belirtilmiştir.

(Khan ve ark., 2016) yaptıkları çalışmada, yük tahmini, güç sistemlerinin işletilmesinde ve planlanmasında önemli rol oynayacağı ifade edilmiştir. Gelecekte akıllı şebekelerin yük tahmini ve etkili Talep tarafı yönetimi (TTY), dinamik fiyatlandırma temelli tekniklerin (DSM) kullanılması öngörülmüştür. Bu makale, akıllı şebekelerde yük tahmini aracılığıyla dinamik fiyatlandırma yapmak için karşılaştırmalı ve geniş kapsamlı bir inceleme imkânı sunmaktadır. Gerçek zamanlı Fiyatlandırma (RTP), Kullanım Süresine bağlı fiyatlandırma (ToU) ve Kritik Saatlere göre Fiyatlandırma (CPP) yöntemleri ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Yük tahmini, matematik ve yapay zekâ tabanlı hesaplama modelleri olmak üzere, iki ana alt kategori ile detaylandırılmıştır. Yapay sinir ağları, bulanık mantık, yük tahmini modellerinde ikinci önemli kategori olarak uzman sistemler vasıtasıyla tarif edilmiştir. Yük tahmini ve dinamik fiyatlandırma planları akıllı şebeke ortamında TTY stratejilerinin uygulanmasında elektrik tesislerine yardımcı olur. TTY teknikleri, güç sistemine müdahale ve gelecek planlamasında elektrik tesislerine yardımcı olur. Bu çalışmada, yük tahminine dayalı TTY ve dinamik fiyatlandırma planları ayrıntılı olarak sunulmuştur. Elektrik kullanımının yoğun ve daha az yoğun olduğu zaman dilimlerine göre elektrik birim fiyatı da farklı olmaktadır. Dinamik fiyatlandırma, şartlara ve ihtiyaçlara göre, tüketiciler için değişken fiyatlar sağlar. En yaygın fiyatlandırma planları olarak RTP, CPP ve ToU ele alınabilir, fakat bu yöntemlerin de birbirine karşı üstünlükleri ve zayıf yönleri vardır. İstatistiksel modeller ile karşılaştırıldığında yapay zekâ tabanlı tahmin modellerinin çok daha doğru sonuçlar verdiği sonucuna varılmıştır. Yukarıda bahsi geçen hesaplama teknikleri birleştirilerek, oluşturulacak yeni hibrit modellerle daha doğru sonuçlar elde edilip, araştırmacılara yardımcı olunabileceği yazarlar tarafından belirtilmiştir.

(Shayeghi ve ark., 2015) yaptıkları çalışmada, akıllı şebekelerde müşterilerin kendi enerji tüketim davranışlarını değiştirmeye teşvik edilerek fiyatlandırmaya doğrudan etki edebilecekleri ifade edilmektedir. Dolayısıyla akıllı şebekeler, enerji sağlayıcıları için karmaşık modeller kullanma fırsatı sağlayarak elektrik fiyatı ve yük tüketimini yüksek oranda düzeltebilecek çözümler sunabileceği belirtilmektedir. Mevcut tahmin yöntemleri elektrik piyasasında iyi performans göstermesine rağmen, tam anlamıyla yük ve dinamik fiyat değerlerini yakalayamazlar. Bu sıkıntıyı aşmak için, elektrik fiyatı ve yük arasındaki ilişkiyi dikkate alan bir Multi-Input Multi-Output (MIMO) modeli sunulmuştur. Önerilen bu model Dalgacık Paket Dönüşümü (WPT) olarak bilinen üç alt grup bileşeninden oluşmaktadır, en iyi verileri seçmek için Genelleştirilmiş Karşılıklı Bilgi (GMI) modeli, MIMO modeline dayalı En Küçük Kareler Yöntemi Destek Vektör Makinesi (LSSVM) modeli ve eşzamanlı yük ve fiyat tahminleri yapmak için LSSVM-MIMO modeli kullanılmıştır. Ayrıca, LSSVM-MIMO modelinin parametreleri yeni bir Quasi-Optpositional Artificial Bee Colony (QOABC) algoritması tarafından optimize edilmiştir. Enerji piyasasında tahmin, eşzamanlı yük ve fiyat bilgisi için yeni bir hibrit algoritma önerilmiştir. Bu algoritma yük ve fiyat bilgilerinin her ikisini de dikkate alır. Önerilen hibrit algoritma üç aşamadan oluşmaktadır, birinci aşamada bir ön işleme bileşeni olarak ve benzer günleri bulmak için referans bir gün tespit edilmiştir. İkinci aşamada, çok giriş/çıkışlı LSSVM tabanlı model saatlik tahmin yaparken, üçüncü aşamada QOABC yöntemi LSSVM parametrelerini optimize eder. Kullanılan algoritma NYISO, NSW ve PJM olarak bilinen elektrik piyasasının en popüler üç firmasının gerçek değerleri ile test edilmiştir. Önerilen hibrit algoritması için eşzamanlı sonuçlar, tahmin endeksleri dikkate alınarak yapılan tahmin hatası değerlendirmesinde, büyük bir performans gösterdiği ifade edilmiştir. Ayrıca önerilen modelin, klasik tahmin veya yük modellerinin aksine daha avantajlı sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

(Liu ve ark., 2014) yaptıkları çalışmada, mikro şebeke için, parametre optimizasyonu ile Ampirik Ayırıştırma Modundan (EMD), Genişletilmiş Kalman Filtresinden (EKF), Kernel Aşırı Öğrenme Makinesinden (KELM) ve Parçacık Sürü Optimizasyonundan (PSO) oluşan bir kısa dönem hibrid yük tahmin modeli önerilmiştir. Öncelikle, zaman serisi yük verileri EMD yoluyla, İçsel Mod Fonksiyonu (IMF) bileşenleri bir dizi halinde ayırıştırılmıştır. İki farklı tipik tahmin algoritması olan EKF ve KELM farklı türdeki IMF tahmin bileşenleri için çözüm üretmiştir. Bu yeni model parametrelerini optimize etmek için Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO)

kullanılmıştır. Sınırlı hesaplama yöntemleri göz önüne alındığında, çevrimdışı parametre optimizasyonuna dayalı bir uygulama modu periyot parametreleri güncellenmesi ve çevrimiçi yük tahmini için önerilmiştir. Tahmin modelinin doğruluğunu ve etkinliğini test etmek için farklı kullanıcı ve kapasitelerde dört tipik mikro-şebeke kullanılmıştır. Bu çalışma özellikle mikro-şebekelerinin yük tahmini için parametre optimizasyonu ile bir hibrid modelinin katkısı üzerinde durulmuştur. Hibrid model EMD, EKF ve KELM yöntemlerinin birleşiminden oluşmuştur. PSO hibrid modelin parametrelerini optimize etmek için kullanılmıştır. Uygulama açısından, parametreler çevrimdışı haldeki yüksek performanslı sunucu tarafından periyodik olarak optimize edildiği ve daha sonra bu parametreler, çevrimiçi normal bir bilgisayar veya gömülü sistem üzerinde uygulanan, kısa vadeli tahmin için kullanılacak düzeye getirildiği belirtilmiştir. Çevrimdışı parametre optimizasyonuna dayalı uygulama, periyodik güncelleme ve çevrimiçi tahmin kabul edilebilir doğru tahmin ve zaman performansına sahip olduğu ifade edilmiştir. Mikro şebeke yük özellikleri ve tahmin sonuçlarının ilişki analizi, bir gündeki yük değişimleri ve ardışık iki gün arasındaki yük değişimlerinin, tahmin doğruluğunu etkileyen temel faktörler olduğu belirtilmiştir. Bir gündeki düşük yük değişimleri ve ardışık iki gün içindeki yüksek yük değişimleri, hata tahmin oranını arttıracak sonucuna varılmıştır.

(Muralitharan ve ark., 2016) yaptıkları çalışmada enerji kullanım maliyetini düşürmek ve elektrikli cihazların çalıştırılması için bekleme süresini en aza indirmek ile sonuçlanan Çok amaçlı evrimsel algoritma (MOEA) yöntemi kullanılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, tüketicinin eşik sınırını aşması durumunda, daha önceden planlanan çalışır durumdaki elektrikli aletler enerji kullanımını eşik seviyesinin altına inene kadar geçici bir süreliğine durdurulmuş, daha sonra durdurulan aletlerin çalışmalarına kaldığı yerden devam ettiklerinin gözlemlendiği belirtilmiştir. Önerilen teknik, elektrikli ev aletlerinin devreye alınması için gereken bekleme süresini ve elektrik faturasını uygun maliyetlere indirdiği ifade edilmiştir. MOEA ile birlikte önerilen optimizasyon yöntemi kullanıcı elektrik maliyetini en uygun değerlere çekmeye çalışır ve yük dengeleme mekanizmasını elektrikli ev aletleri çalıştırılması için gecikme zamanını en aza indirmeye çalışır. Önerilen algoritma enerji kullanımının yoğun olmadığı saatlerde yük yönetimi için hizmet sağlar. Aynı zamanda tüketici için daha elverişli ve minimum maliyet ile daha fazla enerji tüketimine yardımcı olur, eşik düzeyi gücünü aşmayacak şekilde servis sağlayıcısına ek ödeme yapmadan tüketim imkânı sunmuştur. Ayrıca bu yöntem, farklı koşullarda bekleme süresini ve elektrik kullanım

maliyetini analiz etmek için de kullanılır. Sonuçlar bizlere, önerilen yöntem tüketici için elektrikli ev aletlerinin devreye alınma süresini ve elektrik maliyetini en aza indirmiştir. Önerilen modele farklı optimizasyon teknikleri uygulanarak ve daha fazla sayıda parametreler kullanılarak Talep Tarafı Yönetimin de gelecekte daha konforlu çözümler sunabileceği, bu çalışmaya katkı sunan yazarlar tarafından ifade edilmiştir.

(Zhang ve van der Schaar, 2014) yaptıkları çalışmada, fiyata bağlı yük zamanlama algoritması kullanılmıştır. Önceki çalışmaların aksine istatistiksel verilerin bilinmediği sistemlerde önerilen algoritmanın daha iyi şekilde çalışabileceği belirtilmiştir. Yazarlar her tüketicinin elektrik enerjisini yoğun saatlerde depolama kapasitesine sahip bir enerji depolama aygıtı ile donatılmış güç sistemi tasarlamışlardır. Özellikle aktif bir şekilde her tüketiciye, ürettiği enerjiyi enerji dağıtım şirketlerine satabilme imkânı tanıyacak çift taraflı sistem tasarımı söz konusudur. Önerilen algoritma ile geleneksel güçlendirme yöntemlerinin, öğrenme uyum hızının ve çalışma zamanının performansı önemli ölçüde artırılarak, öğrenmesi gerekenden daha az bilgiye ihtiyaç duyulmuştur. Simülasyon sonuçlarına göre önerilen yük zamanlama algoritması mevcut çevrimiçi öğrenme algoritmalarına oranla %30'dan fazla verimliliğe ulaştığı ifade edilmiştir.

(Dozio ve ark., 2015) yaptıkları çalışmada, artan enerji talebi ve dağıtık yenilenebilir enerji üretimi, şebeke dengesizliklerine ve ekstra şebeke iyileştirme yatırımlarına neden olabileceği; akıllı şebeke ve akıllı ev projesi bu sorunları çözmede öncelikli hedef olması gerektiği; bugüne kadar üretilen çözümlerin büyük çoğunluğunda merkezi yük yönetimi üzerinde durulduğu; akıllı ev ve akıllı şebeke yayınlarının çoğunu analiz edildiğinde konuya bakış, uygulama altyapısı, kullanılan teknoloji ve konu ile ilgili yeterli bilgilendirme yapılmadığı gibi bir çok eksikliklerden bahsetmişlerdir. SUPSI (University of Applied Sciences of Southern Switzerland) doğruluğu kanıtlanmış bir dağıtık ve yenilikçi Akıllı Şebeke metodu önermiştir. Bu yaklaşımın uygulanabilirliğini göstermek için özel bir HAC (ev aletleri denetleyicisi) ve iletişim altyapısı geliştirilmiştir. Bu makale, geliştirilen tasarımın uygulanabilirliği ve merkezi olmayan bir Akıllı Şebeke yönetiminin yararlarını göstermek için İsviçre'de yapılan (Swiss2Grid, RiParTi 2.0, HCD 2.0) birkaç pilot projede kullanımını açıklar. Geliştirilen tasarımın uygulandığı ve uygulanabilirliğinin kanıtlandığı projelerden bahsedilmiştir. Önerilen donanım ile Dağıtık Yük Yönetim Sisteminin doğruluğunu kanıtlamak mümkün olmuştur. Bu çalışmada amaç, bir yapay zekâ kontrol algoritması ile şebeke, ev aletleri ve elektrikli araçların izlenmesinin, yönetilmesinin mümkün

olduğu tartışılmıştır. HAC sistemi için gelecekte yapılacak iyileştirmelerden en zoru, dağıtık şebeke yük yönetim sistemi için, HAC teknolojisine yapay zekâ algoritmalarını gömmek olacağı öngörüsü ifade edilmiştir.

(Erol-Kantarci ve Mouftah, 2012) yaptıkları çalışmada, akıllı şebeke için ölçeklenebilir, esnek ve verimli enerji yönetimi yapabilen bir Wireless Supply and Load Management (WSLM) tekniği önerilmiştir. Kablosuz Arz ve Yük Yönetimi (WSLM) dağıtım sistemi ölçeklendirilmesinde kullanılmıştır. Bu teknik çok atlamalı kablosuz linkler aracılığı ile tüketicilerin akıllı sayaçlarına ulaşmayı hedefler. Sisteme dâhil olan bir cihaz devreye alındığında WSLM hemen hangi üretim kaynağından besleneceğini belirler veya hibrid elektrikli bir araç yükün yoğun olduğu saatlerde şebekeye bağlandığında WSLM hemen o yükü, talebin yoğun olmadığı saate kaydırır ve dağıtım sisteminin dayanıklılığını korur. Bu çalışma ile birlikte, WSLM'nin yerel kaynaklarda talep eşleştirme ve günlük yük profilini dengeleyerek, verimli bir yapı sağladığı gösterilmiştir. Yapılan simülasyonlar sonucunda, şebekeden talep edilen güçte azalma ve buna bağlı olarak şebeke dayanımının arttırıldığı sonucuna ulaşılmıştır. Yapay Zekâ (AI) ile entegre edilecek iletişim tabanlı yük yönetim tekniklerinin geliştirilmesi, araştırmacılar için gelecekte çalışılabilecek konular olabileceği belirtilmiştir.

(Wu ve ark., 2014) yaptıkları çalışmada, tüketicilerin elektrik kullanımını pahalı olan saat aralığından diğer saatlere kaydırarak sürekli değişen, fiyat bilgilerine tepki verebilen ve dolayısıyla elektrik fiyatlarını tüketici lehine değiştiren, dinamik fiyatlandırılmalı bir senaryo önerilmiştir. Böylece fiyat ve yük bilgileri güçlü bir şekilde ilişkilendirilmiştir. Bu çalışmada, birbirine entegre iki-aşamalı fiyat ve yük tahmin modeli geliştirilmiştir. İlk aşamada, fiyat ve yük tahminleri ayrı ayrı ele alınmıştır. İkinci aşamada girdi olarak ilk aşamadaki tahminlerin yük ve fiyat ilişkisi dikkate alınır. Her aşamada, Adaptive Wavelet Neural Network (AWNN) modeli kullanılmıştır. Önerilen metot, akıllı şebeke fiyat ve yük bilgilerini ilişkilendirerek, tahmin sonuçlarının performansını arttırdığı; AWNN modelinin kullanımı ile birlikte istikrarlı bir tahmin yakalanıp uyum sorununun azaltıldığı ifade edilmiştir. Önerilen hibrid modelin bir diğer avantajı olarak da, yük tahmin bilgisi günü gününe sağlanır varsayımını kabul eden geleneksel fiyat tahmin yöntemlerinin aksine, önerilen modelde geçmiş bilgiler dikkate alınmadan yük ya da fiyat bilgileri enerji piyasasının gerçek koşullarına uyacak şekilde akıllı şebekeye adapte edilebildiği bilgisi paylaşılmıştır.

(Muralidharan ve ark., 2014) yaptıkları çalışmada, Kore'de akıllı şebekelere ilişkin önerilen kısa dönem yük tahmin (STLF) modeli analiz edilmiştir. Yapay Sinir

Ağları (YSA) eksojen girişleri (NARX) yöntemi ile Doğrusal Olmayan Auto Regressive yöntemi kullanılarak STLF modeli geliştirilmiştir. Ayrıca bu modele 1 yıllık elektrik ihtiyacını tahmin eden saatlik gün öncesi tahmin modeli eklenmiştir. Bu model dış kaynaklı girdi olarak sıcaklık ve mevsimsel değişkenleri alarak gün öncesi elektrik ihtiyacını tahmin etmektedir. STLF modeli çeşitli eğitim algoritmalarını kullanarak simülasyon yapıp hata oranını %2 seviyesinin altına çekmeyi başarmıştır ve bu da daha iyi tahmin bir çözümü elde ettiğinin göstergesidir. Bu makalede, Kore için günlük ve saatlik olmak üzere güç tahmini yapılmıştır. Burada tahmin için tekrarlanan dinamik bir NARX sinir ağı kullanılmıştır. NARX modeli, yük dinamikleri ile uyum sağlar ve 4 mevsim için önerilen tüm modellerden daha az hata ile tahminler sağlar. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre Regresyon değerlerinin 0-1 arasında değişim gösterdiği ve MAPE oranlarının da daha önce yapılmış çalışmalara göre %2 daha az değerde olduğu açık bir şekilde kanıtlanmıştır. Bu çalışmanın gelecekte daha çok veri ve daha çok değişken ile yapılmasının planlandığı ifade edilmiştir.

(Skolthanasarat ve ark., 2014) yaptıkları çalışmada, genişletilmiş yük talep tahmininde Yapay sinir ağları yöntemi kullanılmıştır. Arz/talep ve üretim verilerinin doğrusal olmadığı ortamda, doğrusal olmayan girdi ve çıktılar arasındaki ilişkiyi hesaplamada neural network tercih edilmiştir. Birçok modele göre radial basis neural networklar daha hızlı ve daha az hata ile sonuç verdiklerinden kullanılmaktadırlar. Ancak aşırı sayıda gizli nöronlar, ihtiyaç duyulan üretim miktarından daha azını göstermeye veya aşırı uyum denilen sorunların ortaya çıkmasından dolayı radial basis neural network yöntemini bir probleme uyarlamak kolay değildir. Bu çalışmada mümkün olduğu kadar daha az gizli nöronun olduğu yeni bir radial basis neural network yöntemi önerilmiştir. Hata hesaplama yöntemi olarak, gizli nöronların aşamalı olarak artırıldığı modifiye edilmiş genetik algoritma yöntemi kullanılmıştır. Kısa dönem yük tahmini Matlab programında simule edilmiş olup sonuçlar orthogonal least square error yöntemi ile kıyaslanmıştır. Birçok yapay zekâ modellerinin arasından Radial Basis Neural Network yönteminin daha hızlı ve daha düşük hata ile çalıştığı görülmüştür. Aşırı uyum, genelleme ve gizli nöronlar probleminden kaçınmak için hata oranı mümkün olduğu kadar düşük bulunmalıdır. Önerilen algoritma ile birlikte Radial Basis Neural Network yöntemi ile kısa dönem yük tahmininde çok iyi sonuçlar elde edildiği ifade edilmiştir.

(qiang Hou ve ark., 2012) yaptıkları çalışmada, tüketim tahmin doğruluğunu artırmak için yeni bir penalized weighted kernel partial least squares algoritması

sunulmuştur. Temel bileşeni elde etmek ve veri boyutunu azaltmak için kısmi en küçük kareler algoritması kullanılmıştır. Lokal öğrenme kuramına göre, ağırlıklı en küçük kareler regresyon modeli temel bileşenler tarafından oluşturulan yeni veri kümesine göre çözümlenmiştir. Bu çalışmada anormal veri modeli duyarlılığı azaltılmış olup ve model parametreleri optimize edilmiştir. Bu proje kullanıcılara elektrik şebekesi ile “Dost İletişim” denilen çift taraflı bilgi paylaşım imkânı sunar. Aslında, şebekeden aşırı yük talebi ve fazla kullanıcının interaktif bir şekilde şebekeyi kullanımı, yük tahmini ve yönetimini güçleştiriyor. Buradan, geleneksel yük tahmin yöntemlerinin akıllı şebekeler için uygun olmadığı anlaşılıyor. Aslında, elektrik alanında geliştirilmesi gereken pek çok faktör var olduğu gibi bu faktörler arasında karmaşık doğrusal olmayan ilişkiler de vardır. Orijinal değişken alana doğrusal olmayan kernel fonksiyonu uygulanarak, belirli özellik alanı oluşturulur. Sonuç olarak, WK-PLSR istatistik çözümleme yöntemi doğrusal olmayan problemler için mükemmel bir yöntem olduğu anlaşılmıştır. Ancak, hala geliştirilme aşamasında olan bir yöntem olarak, pek çok kusurları vardır ve pek çok sorunlarının çözülmesi gerekmektedir. Bu yöntem genellikle veri madenciliği keşif analizinde kullanılır ve büyük ölçekli ekonomik veri veya güç göstergeleri modunun doğal ilişkisini daha iyi anlamaya katkı sağlar. Nitekim bu yöntem, konuyla ilgili alanlarda bilimsel araştırmalara etkili bir rehberlik edeceği öngörülmektedir.

(Coelho ve ark., 2013) yaptıkları çalışmada, kullanılan Coupled Map Lattices (CML) tekniği için uzun bir veri geçmişine gerek olmadığı belirtilmiştir. CML tekniğinden elde edilen sonuçlar, doğrusal bir regresyon modeli ile karşılaştırılmıştır. Geçmişe ait çok az veri kullanılmasına rağmen önerdiğimiz teknik ile üretilen hata değeri, tatmin edici oranda olduğunun görüldüğü belirtilmiştir. Diğer modellerle karşılaştırıldığında, sistem boyutu ne olursa olsun önerilen modelin iyi bir problem çözme yeteneğine sahip olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada amaç yük tahmini için şebeke değişkenlerini, daha önce güç sistemine uygulanmamış coupled map lattices modeline uygulamaktır. Modelin güç sistemine uygulanması için gerekli tüm bilgiler toplanmıştır. Güvenilir bir tahmin elde etmek için bu modelde uzun bir veri geçmişine gereksinim yoktur. Akıllı şebekelere eklenen yeni sistem ekipmanları, tahmin yapılacak bölgede ki tüketici davranışlarını gözlemleyerek, çok az bir gecikme ile güvenilir bir tahmin ortaya koymaktadır. Önerilen model, lineer regresyon modeli ile karşılaştırıldığında daha iyi sonuçlar elde edildiği sonucuna varılmıştır.

(Javed ve ark., 2012) yaptıkları çalışmada, kısa dönem yük tahmin modeline (STFL) ek olarak çoklu kısa dönem yük tahmin modeli (STMFL) geliştirmişlerdir.

Önerilen modelin doğruluk analiz karşılaştırması 4 tahmin modeli ile yapılmıştır. Karşılaştırmada kullanılan modeller; GARCH, (generalized autoregressive conditional heteroskedasticity) ANN (artificial neural network), MLR (multiple linear regression), SVM (support vector machines), STMLF (short term multiple loads forecasting) şeklindedir. Elde edilen sonuçlara göre önerilen modelin diğer modellere oranla daha iyi neticeler verdiği ifade edilmiştir.

(Burger ve ark., 2015) yaptıkları çalışma aşağıda ifade edilen cümlelerle özetlenmiştir. Elektrik talep tahmini geleceğin şebeke sistemleri için hayati rol oynayacaktır. Literatür arz/talep tahmin modelleri ile doludur. Ancak, doğru bir talep tahmini için coğrafi konum, mevsim ve kullanıcı türleri arasında geniş ve uygulanabilir bir yöntem geliştirmek hala devam eden bir sorundur. Bu çalışma, perdeleme işlevini kullanarak gerçek zamanlı model doğrulama ve seçim işlevini gerçekleştiren topluluk öğrenme yönteminin formülasyonu aracılığıyla, elektrik talep tahmini için genelleştirilmiş bir yaklaşım ihtiyacını giderecek çözümler sunmuştur. Bu metod da gerçeğe yakın elektrik veri talebi akışı ve tahmin yapmak için son kullanıcıya ait bazı bilgilere ihtiyaç vardır. Bu çalışmada, yapay sinir ağları gibi karmaşık tahmin yöntemleri kullanmanın aksine en küçük kareler (Ordinary Least Squares) ve k-en yakın komşular (k-Nearest Neighbors) gibi daha basit yöntemler üzerinde durulacaktır. Bu makalede kısa vadeli elektrik talep tahmini için bir grup öğrenme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem çoklu tahmin modellerinin sisteme dâhil edilmesine izin vermektedir. Tek amaçlı bir model seçmek yerine daha yararlı sonuçlar elde etmek ve tahmin güvenilirliğini geliştirmek amacıyla çok amaçlı model kullanılabilir. Bu yöntem olarak seçilen Gated Ensemble Learning Method gerçek dünya problemleri için de kullanılması uygundur. Bu çalışmada çok amaçlı modellerin tek amaçlı modellere göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

(Ertugrul ve Systems, 2016) yaptığı çalışmada, tekrarlayan aşırı öğrenme makinesi (recurrent extreme learning machine (RELM)) daha doğru elektrik yükü tahmini için yeni bir yaklaşım olarak önerilmiştir. RELM’de kullanılan verileri eğitmek için, tek gizli katman ileri beslemeli sinir ağı için bir eğitim yöntemi olan extreme learning machine (ELM) kullanılmıştır. Önerilen yaklaşımı doğrulamak için 2011-2014 yıllarındaki veri kümesi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, geleneksel ELM, lineer regresyon, genelleştirilmiş regresyon sinir ağı ve diğer bazı popüler makine öğrenme yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. Önerilen yaklaşımdan elde edilen sonuçlar diğer makine öğrenme yöntemleri ile karşılaştırıldığında hata oranı neredeyse yarı yarıya

azaltılmış olduğu görüldüğü belirtilmiştir. Bu çalışmada önerilen yaklaşımın, elektrik talep tahmini konusunda ve dinamik sistemlerin modellenmesinde kullanılmak üzere etkili yüksek bir potansiyele sahip olabileceği ifade edilmiştir. RELM yönteminden elde edilen doğruluk sonuçları, diğer tüm makine öğrenme yöntemlerinden daha iyi olduğu söylenmiştir. Özet olarak önerilen yaklaşımın basit eğitim metodolojisine, yüksek genelleme kapasitesine, son derece hızlı bir eğitim aşamasına ve yüksek bir potansiyele sahip olduğu ifade edilmiştir.

(Khawaja ve ark., 2015) yaptıkları çalışmada, Bagged Neural Networks (BNNs) yöntemi kullanılarak kısa dönem yük tahmini yapılmıştır. BNNs yönteminde, her veri kümesi yapay sinir ağı ile eğitilir, rastgele örnekleme yoluyla birden çok veri kümeleri oluşturulur ve her eğitilmiş sinir ağından elde edilen sonuçların ortalaması alınır. Bagger işlemi, tahmin hataları ve yük tahmini için tek sinir ağı kullanıp kıyas yaparak hataların varyasyon aralığını azaltır. BNNs yöntemi çeşitli mevcut tekniklerle karşılaştırıldığında, yük tahmin hatalarının azaltılabildiği belirtilmiştir. Bagging (torbalama) işlemi ile farklı yapay sinir ağlarından eğitmek için eğitim setinden rastgele örnekler alınmış ve ardından her YSA'dan elde edilen çıktının ortalaması alınmıştır. YSA'ların çıkış sayısının ortalama üzerinde ya da 50 ye eşit olduğu zaman tutarlı sonuçlar elde edilebileceği gösterilmiştir. Yük tahmini için BNNs performansı, tekil YSA, bagged regresyon ağacı, SSASVR, SIWNN, ARMA ve denetimli-denetimsiz hibrit YSA ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada önerilen yöntem ortalama mutlak yüzde hata açısından daha iyi performans gösterdiği ifade edilmiştir.

(Raza ve ark., 2015) yaptıkları çalışmada, bir dizi teknik yapay zekâ yük tahmin uygulaması gözden geçirmişlerdir. Ayrıca belli bir başarı düzeyini yakalayan yapay zekâ tekniklerinin elektriksel yük tahmini araştırma alanlarında geniş bir yelpazede uygulanmış olduğunu gözlemlemişlerdir. Kapsamlı literatür araştırma bulguları sonucunda, daha umut verici sonuçlar elde etmek için yapay sinir ağları eğitim kapasitesinin artırılması gerektiği kanısına varılmıştır. Geriye Yayılım eğitim algoritması ağ verilerini eğitmek için yaygın bir şekilde kullanılmıştır. BP eğitim algoritması, başlangıç ağırlık değerleri üzerindeki bağımlılık, düşük yakınsama, yüksek hesaplama karmaşıklığı, yerel minimum problemi ve düşük ağ eğitim performansı diye adlandırılan, çeşitli kusurları ortadan kaldırmak için verileri eğitir. Ancak, tümleşik yaklaşımlar veya iki aşamalı yük tahmin modelleri de tahmin sonuçlarını geliştirmede kullanılabilir. Kısa dönem yük tahmin problemi için YSA sezgisel arama ve popülasyon tabanlı optimizasyon öğrenme algoritmalarının geleneksel yöntemlere göre çok daha iyi

sonuçlar ortaya koyduėu analiz edilmiřtir. Ayrıca, YSA ile daha iyi eėitilmiř veriler, uygun tahmin modeli daha iyi giriř seçimi ve optimize edilmiř yapay sinir aėı mimarisi ile tahmin doėruluėu arttırılabilir. Ancak, YSA tabanlı tahmin modellerinin performansı; bařlangıç aėırlık deėerleri üzerindeki baėımlılık, dūřuk yakınsama, yūksək hesaplama karmařıklıėı, yerel minimum problemi ve dūřuk aė eėitim performansı gibi problemlerle daha da dūřebilir.

(Soares ve ark., 2016) yaptıkları çalıřmada, akıllı řebeke için gūnlūk kullanılan hassas yūklerin yūnetimi için çok amaçlı bir optimizasyon tekniėi önermiřlerdir. Virtual Power Player (VPP) akıllı řebekede gūn ōncesi enerji kaynak planlamasını yūnetir ve hassas yūklar için son derece gūvenilir gū koruması yapar. Bu çalıřmada, yūksək gū kalitesi gerektiren bazı endūstriyel yūksək nūfuzlu hassas yūklar için yūksək gūvenilirlik ve az kesinti yapılması dūřūnūlmektedir. Çok amaçlı problemi verimli bir şekilde çözmek için, daėıtılmıř paralel hesaplama teknikleri ile birlikte aėırlıklı toplama yaklařımı kullanılmıřtır. Parçacık Sūrū Optimizasyonu (PSO) ve deterministik tekniėe dayalı Karma Tamsayılı Doėrusal Programlama (MILP) gibi iki ařamalı optimizasyon yūnteminin kullanımı önerilmiřtir. Gūn ōncesi planlama modeli için elektrik řebekesi kısıtları dikkate alınarak gerçekçi bir matematiksel formūlasyon elde edilmiřtir. Būyūk ōlekli zaman iřletim sūresi sorununun, paralel ve daėıtık bir hesaplama yūntemi kullanılarak, azaltılabilir olduėu ifade edilmiřtir. Minimum mevcut verilerin maksimizasyonu, duyarlı ve hassas yūklerin gūvenilirlik gereksinimleri dikkate alınarak maliyet minimizasyonuna ek olarak, matematiksel formūlasyona dāhil edilmiřtir. Būyūk ōlekli zaman iřletim sūresi sorunu, daėıtık hesaplama yūntemi kullanılarak azaltılmıřtır. Bu çalıřmada, gūn ōncesi planlama için çok amaçlı bir problem tasarlanmıřtır. Çok amaçlı sorunu çözmek için aėırlıklı toplama yūntemine dayalı iki ařamalı optimizasyon algoritması geliřtirilmiřtir. Parçacık Sūrū Optimizasyon (PSO) yūntemi ve deterministik tekniėe dayalı Karma Tamsayılı Doėrusal Programlama (MILP) gibi iki ařamalı optimizasyon yūntemi karřılařtırılmıřtır. Yūrütme sūresini hızlandırmak için bir paralel hesaplama yūntemi kullanılmıřtır. Őnerilen yūntemin etkinliėini gōstermek için, 180 baralı daėıtım řebekesi ve řebekeye entegre 1000 adet PV modūl kullanılmıřtır. Tek amaçlı ve çok amaçlı senaryolar bu çalıřmada ele alınmıřtır. Őnerilen yūntemin PSO'dan daha iyi sonuçlar verdiėini ve çok amaçlı bir problem için yaklařık 30 dakika içinde aėırlıklı olmayan (non-dominated) özūmler saptayabildiėini gōstermiřtir. Tam AC řebeke modeli gū kayıpları ve bara gerilim

sonuçları dikkate alınmaksızın MILP yaklaşımının en hızlı teknik olduğu sonucuna varılmıştır.

(Muralitharan ve ark., 2016) yaptıkları çalışmada, enerji kullanım maliyetini düşürme ve cihazların çalışma ve bekleme süresini en aza indirmek için, çok amaçlı evrimsel algoritma (MOEA) uygulaması gerçekleştirilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre tüketici eşik enerji kullanım sınırını aşması durumunda, eşik seviyesinin altında enerji kullanımını korumak için çalıştıran elektrikli ev aletleri geçici olarak durdurulur ve enerji kullanımı istenen seviyenin altına düşürüldüğünde elektrikli ev aletlerinin çalışması kaldığı yerden devam ettirilmiştir. Önerilen optimizasyon yöntemi olan MOEA ile tüketicinin elektrik kullanım maliyeti optimize edilmiştir ve elektrikli ev aletlerinin yürütülmesi için gecikme zamanı en aza indirilecek şekilde yük dengeleme gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, tüketici belirlenen enerji eşik düzeyi içinde en az maliyetle ve ek ödeme yapmadan daha fazla güç tüketmesi için gerekli ortamın sağlandığı görülmüştür. Farklı koşullarda elektrik kullanım maliyeti ve bekleme süresi analiz edilmiştir. Önerilen yöntem ile elektrik maliyeti ve elektrikli ev aletleri yürütme gecikme süresinin en aza indirildiğini sonuçlar göstermiştir. Önerilen model gelecekte farklı optimizasyon teknikleri ile uygulanabilir ve talep tarafı yönetimi için daha fazla sayıda parametre ele alınabileceği öngörülmüştür.

(Chanda ve ark., 2014) yaptıkları çalışmada, akıllı şebeke iletişim teknolojisi ile donatılmış enerji pazarlarının dinamik istikrarında genel bir iyileşme sağlamak amacıyla çalışma koşullarını standardize edecek ve sosyal refah düzeyini arttıracak, bir optimizasyon modeli önerilmiştir. Önerilen metod ile geliştirilen durum uzay modeli, üretim maliyetini sınırlar ve işletme maliyetini minimize eder. Ayrıca en istenmeyen durumda bile şebekenin enerji piyasa dengesini sağlar. Akıllı sayaçların optimum kullanımı için önerilen model, talep yanıtı gibi etkili kaynakları içerir, üretim fazlası enerji miktarını verimli bir metod ile optimize eder ve enerji sağlayıcılarının karını artırır. Enerji piyasası dinamik fiyat dengesini ve çözüm kalitesini standartlaştırmak için durum değişkenlerini düzenleyen Jakobien duyarlılık matrisi yöntemine göre tahmin yapılmıştır. Modelimiz IEEE 30 bara sisteminde test edilmiştir. Standart azaltma tabanlı optimizasyon tekniklerine oranla önerdiğimiz metod umut verici sonuçlar vermektedir. Akıllı sayaç altyapısına erişilebilirlik, elektrik şebekesi işletiminde radikal değişiklikler getirmiştir. Aynı zamanda, elektrik sistemi operatörleri için operasyonel zorluklar ortadan kalkmıştır. Gerilim dengesizliği, hat tıkanıklığı, hat kaybı, maliyet minimizasyonu gibi sıkıntılar giderilmiştir. Bu çalışma, akıllı şebekelerin optimal ve

verimli uygulamalarını göstermek için, yeni bir durum uzay tabanlı fiyatlandırma modeli sunmuştur. Önerdiğimiz model denge piyasasının durum değişkenlerini belirler ve generatör özellikleri, talep yanıtı, gerilim kararlılığı ve tıkanıklığı ve hat kayıplarını sınırlamak gibi problemlere üretken çözümler sunmak için PSO kullanılmıştır. Önerilen metod güç piyasası istikrarını sağlamak için Jakobien matris oluşturarak öz duyarlılık değerlerini belirler ve yüksek derecede tüketici güvenilirliğinin muhafaza edilmesi adına istenen minimum güç talep yönetimini sağlamak için yeni bir optimizasyon tekniği kullanılmıştır. Simülasyon sonuçlarından, önerilen model ile yüksek talep seviyelerinin başarıyla karşılandığını, şebeke hatalarının azaltıldığını ve sistem çalışmasının olası en kötü durumlarda bile enerji maliyetlerinin azaltıldığını, ikna edici bir şekilde gösterildiği görülmüştür. Önerilen yöntem, klasik yöntemlerle kıyaslandığında tüketiciler için etkileşimli iletişim imkânı ve yine tüketici yararına yeni planlamalar sunmak gibi toplumsal faydalar sağlamaktadır.

(Evora ve ark., 2015) yaptıkları çalışmada, çok amaçlı parçacık sürü optimizasyonu (MOPSO) algoritmasına dayalı bir Doğrudan Yük Kontrol (DLC) yöntemi tarif edilmektedir. Bu yöntem, elektrikli cihazların güç kısıtlama işlemini ayarlar. Yöntem, gerçek zamanlı verileri temel alarak çalışır. Cihazların kontrol işlemi, komşular arasında güç kısıtlaması ayarlanarak ve birden fazla yerel optimizasyon hesaplaması yapılarak, gerçekleştirilir. Önerilen yöntem deneysel simülasyonlarla gerçekleştirilmiştir. Önerilen yöntem, güç kısıtlamalarının uygulanması, şebeke istikrarın korunması ve müşteri hizmet kalitesinin artırılması ile ilgilidir. Bu yöntemin ilginç bir özelliği de elektrik şebekesi büyüklüğüne göre ölçeklenebilir olmasıdır. Talep tarafı detaylı modellenmiş olup tüm elektrikli aletler, hane ve insan davranışları da dahil olmak üzere, vaka çalışmasını test etmek için bir simülasyon modeli geliştirilmiştir. Bu yöntem ile birlikte zaman gereksinimlerini de içinde barındıran küresel bir çözüm yöntemi bulunmuştur. Talep yönetiminde saliseler ile ifade edilecek sürelerle talep karşılanmalıdır, bunun yanında yük yönetiminde ise hız ve kararlık çok önemlidir. Simülasyon sonuçları, buzdolabı, dondurucu ve aydınlatma cihazlarının %20 ve üzeri güç taleplerinin üç farklı kontrol yöntemi ile nasıl azaltılabileceğini, bizlere göstermiştir. Talebin azaltılması ve kapasitesinin kontrol edilmesi, kullanılan cihazların miktarına bağlıdır. Önerilen yöntem olan MOPSO'nun yürütme zamanı ile ilgili iyi bir performans gösterdiği görülmüştür. Ancak, önerilen yönteme başka optimizasyon algoritmaları da uyarlanarak performans arttırmaya yönelik çalışmalar yapılabileceği,

bunun yanı sıra aynı yapı içinde ve farklı kontrol ünitelerinde çeşitli optimizasyon algoritmalarının da yürütülebileceği öngörülmektedir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Yük Tahmini

Yük tahmini yıllar içinde çok fazla popülerlik kazanmıştır, ancak doğru bir yük tahminine ulaşabilmek günümüz güç sistem yönetiminde çok önemli hale gelmiştir.

Yük tüketimi tahmininde çeşitli faktörler rol almaktadır. Hava durumu, nüfus, nem, zaman, geçmişe ait yük tüketim değerleri gibi değişkenler bu faktörlerdendir. Bir elektrik firmasının yükünün büyük kısmı sanayii ve endüstriyel faaliyetlerden oluşmaktadır. Bunun yanı sıra konutlarda ısıtma, aydınlatma ve soğutma gibi yükler ile birlikte sokak aydınlatması, demiryolu trafiği gibi hizmetler de ekstra yükler girmektedir. Yük tüketimini etkileyen faktörler tüketim birimindeki ihtiyaç davranışına bağlıdır. Sanayii ve endüstriyel yüklerin tahmin edilebilirliği nispeten daha kolay iken konutlarda yük tüketimini etkileyen faktörlerin insan davranışlarındaki ve psikolojilerindeki farklılıkların tüketim kararlarını etkilemesi nedeniyle tespit edilmesi çok zordur.

3.1.1. Yük tahmin dönemlerinin sınıflandırılması

Yük tahmini büyük ölçüde üç kategoriye ayrılmıştır. Uzun vadeli tahmin, orta vadeli tahmin ve kısa vadeli tahmin.

- **Uzun vadeli yük tahmini**

Bakım planlaması ve talep tarafı yönetimi için uzun vadeli yük tahmini önemlidir. Genellikle bir yıldan fazla bir yük tahmini için kullanılmaktadır.

- **Orta vadeli yük tahmini**

Bakım planlaması, yakıt planlaması ve su depolama yönetimi için orta vadeli yük tahmini çok önemlidir. Orta vadeli yük tahmini bir haftadan bir yıla kadar bir süre boyunca yapılır.

- **Kısa vadeli yük tahmini**

Temelde günlük işlemler ve sistem güvenliği analizi ve güç sistemlerinin kontrol ve planlaması için gereklidir. Genellikle 24 saat ile bir hafta arasındaki yükü tahmin etmek için kullanılır. Bu tezde orta vadeli yük tahmini üzerine yoğunlaşmıştır.

3.1.2. Yük tahminini etkileyen faktörler

- **Hava durumu**

Hava durumu yük tüketimini etkileyen en önemli faktördür. Sıcaklık, nem ve benzeri faktörler hava durumu ile ilişkilidir. Sıcaklık, binaların yük tüketimi üzerinde

önemli bir etkiye sahiptir. Hava değişimi, su ısıtıcısı ve klima gibi elektrikli cihazların kullanılma şeklini etkiler. Bu durum yük modellerinde değişikliklere neden olur. Kısa, orta, uzun vadeli yük tahminlerinin girdileri olarak hava faktöründen yararlanmak önemlidir.

- **Zaman**

24 saatlik bir gün içinde elektrik tüketimi değişkenlik göstermektedir. Ülke genelinde elektrik tüketimi 0:00 ile 4:00 arasında düşük ve dengeli, 4:00 ile 9:00 arasında yükselen 12:00 civarında düşen bir eğri gözlemlenmektedir. 17:00 ve 19:00 saatleri aralığında dalgalanan bir seyir gözlemlenmektedir. 19:00 sonrasındaki zaman diliminde tüketimde küçük dalgalanmalar meydana gelmektedir. Yük tüketimindeki değişim, tatil günleri, çalışma süresi, boş zaman, öğle yemeği ve uyku zamanı gibi faktörlere bağlıdır. Bu faktörleri göz önünde bulundurmamak yük tahmini sonucuna faydalı olabilir.

- **Nüfus**

Bir konut binasındaki doluluk seviyesi, çevre davranışları ve tatil planlaması gibi davranış ve etkileşimler yük tüketimine etki eden değişkenlerdir. Örneğin, ev hanımı/emziren annenin bulunduğu bir konut ve çalışan annenin olduğu konut olmak üzere iki ayrı konut binasını göz önünde bulundurmamak enerji tüketimini etkileyen örneklerdir. Ev hanımının olduğu konutta televizyon, bilgisayar, mikrodalga fırın, çamaşır/bulaşık makinaları, ısıtma, soğutma gibi yüklerin kullanılacak olmasından dolayı daha fazla enerji tüketimi olacaktır. Öte yandan, çalışan anne için tam tersi bir durum söz konusudur. Zaman içinde artan yaşam standardı ve nüfus dağılımı gibi faktörler, elektrik talebinin nasıl değiştiğinin bilinmesinde önemli rol oynamaktadır.

3.1.3. Yük tahmin modellerinin gelişimi

Yük tahmin metotları literatürde iki kısma ayrılmıştır.

- İstatistiksel metotlar:** Bu metotlardan elde edilen denklemler, yük ile tarihsel verileri etkileyen faktörler arasındaki ilişki kullanılarak elde edilir. Bu metotlar çoklu doğrusal regresyon (Papalexopoulos ve Hesterberg, 1990), stokastik zaman serileri (Amjady, 2001), genel eksponansiyel düzeltme (Christiaanse ve Systems, 1971), durum uzayı (Villalba ve Bel, 2000), destek vektör regresyonunu (SVR) (Yuancheng ve ark., 2002; Yang ve Cheng, 2004) olarak

örneklendirilebilir. Normal istatistiksel yöntemler, sadece hafta içi günlerinin yükünü tahmin eder fakat tatil günleri ve hafta sonları dikkate alınmaz.

- b. Yapay zekâ metotları:** Bu yöntemler, gelecekteki yükü tahmin etmek için geçmiş verilerle ilgili bilgileri kullanarak insanların düşünme ve akıl yürütme şeklini taklit etmeye çalışır. Uzman sistemler (Song ve ark., 2005), yapay sinir ağları (YSA) (Chen ve ark., 2009) ve bulanık çıkarım sistemleri (Engle ve ark., 1992) bu yöntemin öncü modelleridir. Uzman sistem yöntemi deneyimli operatörlere “If ... Then” ifadelerini gösterir, fakat bu kolay bir şekilde ifade edilemediğinden bu yöntemin uygulaması çok zordur. Yapay sinir ağı bir girdi ve çıktı eşlemesi kurar. Yük ve bağıl faktörler arasındaki ilişkiyi doğrusal olmayan bir şekilde daha iyi ele alır. Bulanık çıkarım sistemi uzman sisteme benzer yapıdadır. Bunun yanı sıra basitleştirilmiş bulanık mantık sisteminden yararlanır, model hatalarını ve kısa süreli yüklerin doğrusal olmayan davranışını tutacak fonksiyon sayısını azaltır. Bundan bağımsız olarak uzman deneyimi gerektiren bir yöntemdir. Yapay zekâ modelleri en iyi tarihsel yük ve onun göreceli faktörleri arasındaki ilişkiyi öğrenmede kullanılır.

3.1.3.1. Regresyon modelleri

Regresyon, yaygın olarak kullanılan istatistiksel yöntemlerden biridir. Yük tahmini için önerilen en eski modeller arasındadır. Regresyon yönteminde, (Hyde ve Hodnett, 1997; Ruzic ve ark., 2003) önceden belirlenmiş formüller esas alınır, bu formüller yük ile onu etkileyen faktörler arasındaki ilişkiyi açıklar. Tarihsel verilerin regresyon analizi, fonksiyonel katsayılar kullanılarak tahmin edilmektedir (Haida ve Muto, 1994). Regresyon modelinde yük, standart yük ve bazı faktörlere bağlı olan doğrusal yük olarak iki kısma ayrılmaktadır. Regresyon model şu şekilde tanımlanabilir:

$$L(t) = s(t) + \sum_{i=1}^n r_i y_i(t) + \varepsilon(t) \quad (3.1)$$

Burada; $L(t)$ yükü, $s(t)$ t zamanındaki standart yükü, r_i yavaş değişkenlik gösteren tahmin katsayısını, $y_i(t)$ hava durumu gibi bağımsız faktörleri ve $\varepsilon(t)$ gürültü bileşenini temsil etmektedir. (Engle ve ark., 1992) yaptığı araştırmaya göre, ertesi gün yük tahmini için birkaç regresyon modeli sunulmuştur. Modeller, tatilleri, ortalama yükleri ve hava koşullarını dikkate alan yaklaşımlardır. Regresyon modellerinin yük

tahminindeki uygulamaları (Conejo ve ark., 2005), (Quan ve ark., 2013) çalışmalarında tanımlanmıştır. Modelin anlaşılması zor olmasına rağmen, uygulaması kolaydır.

3.1.3.2. Zaman serisi modelleri

Zaman serisi modelleri dinamik tahmin modelleridirler. Çalışma prensibi, yük zaman serisinin farklılaştırılarak durağan bir zaman serisine dönüştürülmesi prensibine dayanmaktadır. Bu yöntem, mevsimsel, haftalık ve günlük yük tahmin örneklerinin zaman serisi sinyalleri olduğunu varsayar. Zaman serileri modelleri, görüntü işleme, finans ve elektriksel yük tahmini gibi alanlarda yıllarca uygulanmaktadır. En sık kullanılan zaman serisi yöntemleri ARMA (otoregressif hareketli ortalama), ARIMA (otoregressive entegre hareketli ortalama) ve ARIMAX (dış değişkenlerle ilişkili otoregressive entegre hareketli ortalama)'dır (Vajpayee ve Dubey; Cho ve ark., 1995).

ARMA modeli sabit durum problemlerinde kullanılırken, ARIMA daha dinamik problemlerde kullanılır. Her ikisi de zaman ve yükü giriş değişkenleri olarak kullanılır. Fakat ARIMAX yük tahmini için daha çok tercih edilir.

Zaman serisi modelleri anormal yük koşullarının üstesinden gelememe zorluğu yaşatmaktadır. Yükün davranışı belirli günlerde tutarsız olması durumunda, yük tahmini bu durumdan birinci derecede olumsuz etkilenmektedir. Ayrıca yük davranışı yılın bazı dönemlerinde hızla değişebildiğinden, model yeni koşullara hızla uyum sağlama problemi yaşamaktadır.

3.1.3.3. Yapay sinir ağı modelleri

Yapay sinir ağları (YSA) olarak adlandırılan sinir ağları (SA) on beş yıldan beri yaygın olarak araştırılan bir yük tahmin tekniği olmuştur ((Peng ve ark., 1992). Bu model, paralel olarak çalışan nöronlardan oluşan, biyolojik sinir sisteminden (beyin) ilham almaktadır. Nöronlar öğrenme yoluyla adapte olan sinaptik ağırlıklar ile bağlantılıdır. Paralel ve dağınık işlem yapılarına sahiptirler. Topolojilerine ve öğrenme kurallarına göre bilinen farklı SA türleri vardır. SA'lar ağ girişleri ve çıkışları arasında az sayıda bağımlı eleman katmanında düzenlenmektedir. Bu modelin amacı, yük tahmini için bir ölçüt olarak kullanılacak günleri, gün türlerine göre sınıflandırmak ve istenen tarihte en uygun günleri seçmektir. Bu modelde en çok kullanılan ağ olan geriye yayılma (Back-Propagation), istenen çıktının elde edilmesi için geçmiş verilerin girdi olarak kullanılır ve bu şekilde öğrenme gerçekleştirerek yük tahmini yapmaktadır.

(Kandil ve ark., 2006), Quebec için, yükü bir girdi olarak kullanmaksızın tahmin edilebileceğini kanıtlamak için girdi olarak yalnızca sıcaklığın kullanıldığı bir Sinir ağı

tabanlı yük tahmin modeli önermiştir. (Bakirtzis ve ark., 1996), geçmişe ait saatlik yük verilerini, haftanın günlerini ve sıcaklığı girdi olarak kullanan, Yunan Kamu Enerjisi Kurumu için geri yayılım algoritmasıyla (back-propagation) ağı eğiten ileriye doğru üç katmanlı (three-layer feed forward) SA tabanlı bir yük tahmin modeli üzerinde çalışmışlardır. (Papalexopoulos ve ark., 1994) ayrıca, yük tahmini için çok katmanlı bir sinir ağı üzerinde çalışmışlardır, ancak mevsim, hava durumu ve geçmişe ait yük bilgisini girdi olarak kullanmışlardır.

3.1.3.4. Uzman sistemler

Uzman Sistemler (US) doğadan esinlenmişlerdir. Bu tekniğin temeli uzman insanlardan alınan kurallara dayanmaktadır. US uzmanın bilgi ve deneyimlerinden elde edilen bu kurallara dayanarak yükü tahmin eder. Uzman sistemin bilgi tabanına sürekli yeni bilgiler ve kurallar eklenir. Kurallar, herhangi bir uzmanlık gerektirmeyen ve otomatik olarak tahminler yapan yazılıma yüklenir. Rahman ve Bhatnager kullanılmış yük ve onu etkileyen faktörleri kural olarak varsayan bu tekniği ilk onlar geliştirmişlerdir (Rahman ve Bhatnagar, 1988).

(Ho ve ark., 1990) Tayvan güç sistemi yükünü tahmin etmek için 5 yıllık veritabanını kullanan on bir günlük bir uzman sistemler modeli geliştirmişlerdir. Bu çalışmada değişen koşullardan etkilenen ve hava faktörlerini dikkate alan bir modelden bahsedilmektedir.

3.1.3.5. Bulanık çıkarım sistem modelleri

Bulanık modeller çok çeşitli alanlarda kullanılmışlardır. (Bagis, 2008), (Mastorocostas ve ark., 2000), (Baghela ve ark., 2013), (Ranaweera ve ark., 1996) tahmin alanında bulanık bir yaklaşım modellerini kullanmışlardır. Yapılan araştırmalar, elektrik üretimi ile ilişkili faktörler ile elektrik yük talebi arasında doğrusal olmayan bir ilişki olduğu sonucunu doğurmuştur. Hava durumu, sosyal aktiviteler, yaşam standardı gibi faktörler elektrik tüketimine olan talebi etkilemektedir. Yalnızca geçmiş yük verilerini kullanarak doğru bir yük tahmini oluşturmak çok zordur. Yük tüketimi ile diğer bağımsız değişkenler arasındaki ilişki karmaşık olduğu için bulanık mantık yöntemi kullanmak daha uygundur. Ranaweera ve Pandian tarafından yapılan araştırmalar bulanık çıkarım sisteminin, sinir ağı ve zaman serisi modellerine göre daha iyi bir alternatif oluşturduğu ifade edilmiştir. Giriş veri değerleri “Doğru” veya “Yanlış”

bulanık değerlerine dönüştürülür, daha sonra bu değerler eğitim sırasında çıkarılan kalıplar ile karşılaştırılır. Benzer değerler seçilir ve tahmin giriş haritası çıkarılır.

3.1.3.6. Dalgacık modelleri

Yük tahmin işlemi gürültülü bir veri toplama işlemi ve hantal yükleme özelliklerinden dolayı hazırlık süreci çok zordur. (Guan ve ark., 2012) dalgacık sinir ağı ve veri filtrelemesi ile birlikte bir yük tahmin modeli önermişlerdir. Yük özellikleri karmaşık olduğundan, farklı değişken desenlere ve farklı frekans bileşenlerine sahip olduğundan geleneksel sinir ağı yeterli değildir. Dalgacık modeli geleneksel SA yöntemini geliştirmiştir.

Yük tahmin modelinde en kritik sorun eğitim setinin seçiminin büyük zorluk teşkil etmesidir. Tahmin edilen günden farklı faktörlere sahip (örneğin hava durumu, gün tipi) eğitim seti seçilirse büyük bir tahmin hatası olma ihtimali yüksektir. Ayrıca sistematik olmayan büyük bir eğitim seti seçilmesi eğitim süresini arttırmanın yanı sıra yakınsaklık hızını azaltır ya da yakınsak bir sonuç bulunamama sonucunu doğurur. Bu nedenle öğrenme zamanını ve SA yapısını azaltmak çok önemlidir. Bu zorluğun üstesinden gelmek için benzer gün seçimine dayanan sinir ağı modeli önerilmelidir.

3.1.4. Tahmin yöntemleri

Bu tez çalışmasında, kullanımı yaygın ve doğrulukları kabul görmüş üç farklı tahmin yöntemi karşılaştırılacaktır. Kullanılan tahmin modelleri, farklı çalışma mantığından seçilmiştir. İstatistiksel bir yöntem olan regresyon modeli, sinir ağları temelli yapay sinir ağı modeli (YSA) ve bulanık mantık temelli adaptif sinir ağı bulanık mantık modeli (ANFIS) üretim tahmini için seçilmiştir. **Tahmin modellerinde kullanılan veriler; Konya Meteoroloji Bölge Müdürlüğü, Türkiye İstatistik Kurumu ve Konya Elektrik İletim Şirketi'nden temin edilen gerçek verilerdir.** Oluşturulan tahmin modellerinde maksimum sıcaklık, ortalama sıcaklık, maksimum rüzgâr hızı, ortalama rüzgâr hızı ve nem verileri kullanılmıştır. Her bir veri grubu setinde, 36 veri seti bulunmaktadır. Bu veri setlerinden 27 tanesi eğitim veri seti, 9 tanesi de test veri seti olarak rastgele seçilmiştir.

3.1.4.1. Regresyon analiz yöntemi

İstatistiksel modellerden biri olan regresyon analiz yöntemi, değişkenler arasında güçlü bir ilişki kurarak tahminlerde bulunur. Regresyon analiz yönteminde

bağımlı ve bağımsız değişkenleri analiz etmek ve modellemek için birçok teknik vardır (Sönmez, 2015). ANFIS ve YSA gibi regresyon analiz yöntemi de üretim/yük tahmini için yaygın olarak kullanılan bir modeldir. Sınırlı koşullarda, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki nedensel ilişkileri anlamak için kullanılabilir bir modeldir.

Regresyon modellerinin, β gibi bilinmeyen parametreleri, X gibi bağımsız değişkenleri ve Y gibi bağımlı değişkenleri vardır. Başka çalışma ve uygulamalarda, bağımlı ve bağımsız değişkenler farklı teknik terimler ile de adlandırılmış olabilir. Fakat bu çalışma da değişkenler X ve Y olarak ifade edilmiştir. X , β ve Y fonksiyonu arasındaki ilişki aşağıda verilmiştir.

$$Y \approx f(X, \beta) \quad (3.2)$$

$E(Y | X) = f(X, \beta)$ ifadesi regresyon analizi için genellikle tercih edilen bir yaklaşımdır. Regresyon analizini gerçekleştirmek için f fonksiyonu tanımlanmalıdır. Bazen f fonksiyonunun işlevi Y ve X arasındaki bilgi ilişkisine dayanır. Bu bilgi mevcut olmadığında, f fonksiyonu için esnek veya uygun bir yapı seçilir. Regresyon analizinin gelecekteki bilgileri tahmin etmesi ve veriler ile değişkenler arasındaki ilişkiyi tanımlama gibi amaçları vardır. Bu çalışmada kullanılan genel regresyon modelini tanımladıktan sonra, doğrusal regresyon modeline de başvurmamız gerekir.

$$Y = f(X_1, X_2, X_3) + \varepsilon \quad (3.3)$$

Burada f bilinmeyen bir fonksiyonu ve ε hatayı temsil eder. Denklem 3.3'e göre, yeterli veri olmadığı zaman, f fonksiyonunun değerini tahmin etmek zordur.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \varepsilon \quad (3.4)$$

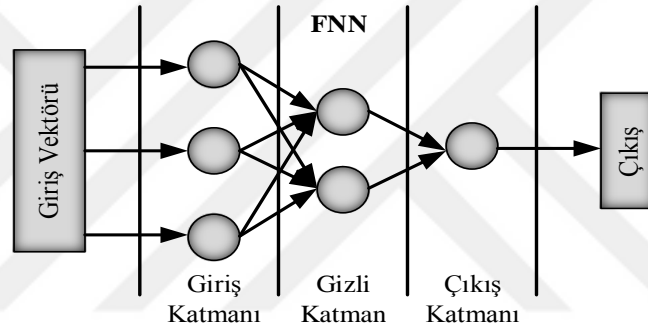
β_i ($i = 0, 1, 2, 3$) bilinmeyen parametreler olarak ve β_0 ise kesişim terimi olarak tanımlanmıştır. Bu nedenle, karmaşık sonsuz boyutlu bir fonksiyondan ziyade dört değer in öngörülmesi için problem denklem (3.4)'te görüldüğü gibi minimize edilmiştir.

3.1.4.2. YSA yöntemi

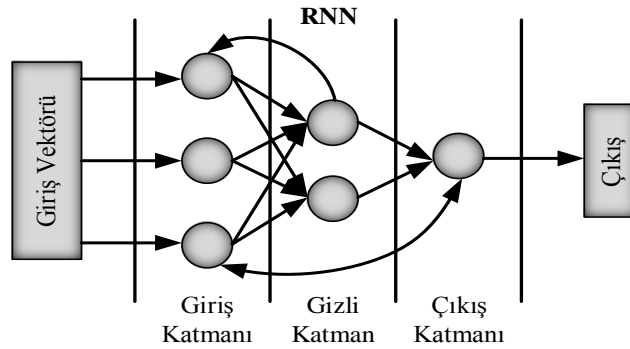
Bilgisayara dayalı geleneksel hesaplama teknikleri ile herhangi bir sorun kolayca çözülebilir, ancak sorunların bilgisayar desteği olmadan çözülmesi kolay değildir.

Karmaşık sistemler kolay kontrol edilemese bile geliştirilmiş olan beyin ve sinir ağları sistemi tarafından kolayca işlenebilir.

Beyin yapısına benzeyen ve YSA tarafından kullanılan matematiksel model günümüzde hala tam olarak anlaşılammıştır (Akbal, 2016). Yapay sinir ağları genellikle veri modelleme ve istatistiksel analiz için kullanılır, bu yöntem doğrusal olmayan regresyon ve veri analizi tekniklerinin alternatifi olarak kabul edilir (Sugeno ve ark., 1988; Akbal ve ark., 2015). Bu nedenle, genellikle veri sınıflandırma ve tahmin çalışmalarında kullanılır. Bilginin girdilerden çıktılara sadece tek yönü aktığı basit ileri besleme topolojisi, Şekil 3.1 (a)'da gösterilmiştir. Bilgilerin bir kısmının girdiden çıktıya sadece tek yönlü değil, aynı zamanda karşıdan da aktığı tekrarlayan besleme topolojisi de Şekil 3.2 (b)'de gösterilmiştir.



(a)



(b)

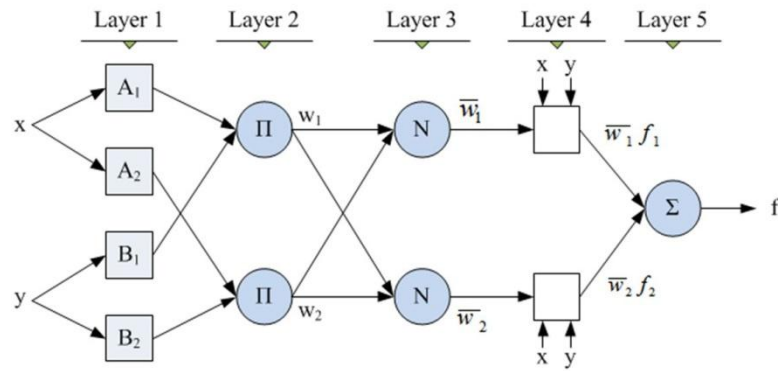
Şekil 3.1. (a) İleri Beslemeli (FNN) (b) Tekrarlamalı (RNN) yapay zekâ ağı

3.1.4.3. ANFIS yöntemi

ANFIS, sinir ağları ile bulanık mantık yaklaşımlarının bir birleşimidir. Bu özellik nedeniyle, ANFIS her iki yöntemin de avantajlarını taşır. Genel olarak ANFIS'in

çalışma prensibini şu şekilde açıklayabiliriz: İlk önce tarihsel veriler toplanır ve sonra önerilen modelin eğitiminde kullanılmak üzere veri elde etmek için veriler filtrelenir. Daha sonra bu veriler rastgele eğitim ve test verileri olarak seçilir.

Nöro-bulanık sistemler iki tür FIS içerir: Mamdani FIS ve Sugeno FIS (Kipli ve ark., 2012). Ayrıca, yaygın olarak kabul gördükleri gibi birçok gerçek dünya problemine de uygulanabilirler. Mamdani modeli ağırlıklı olarak linguistik bulanık modellemeye odaklanmıştır.



Şekil 3.2. İki giriş ve iki kurallı ANFIS mimarisi

Bulanık sistemlere benzeyen ANFIS yöntemi, giriş ve çıkış olmak üzere iki bölüm halinde düzenlenmiştir. Bu bölümlerin her biri bulanık sistem kuralları ile bağlantılıdır. ANFIS'in ağ yapısı Şekil 3.2'de gösterildiği gibi 5 katmana sahiptir. Her katmanın işlevi aşağıdaki gibi ifade edilir. İlk katman, giriş sinyalinden alınan ve diğer katmanlara aktarılacak olan bulanık kurgu işlemini yapar. İkinci katman, giriş bölümünden gelen sinyallerin bulanık uygulamasını yapar. Üçüncü katman, üyelik işlevinin normalleştirme sürecini yapar. Dördüncü katman, bulanık kuralları beşinci katmana uygulamar. Sonuncu katman, bulanık sistemin çıktısını ve dört katmanın toplam çıktısını hesaplar.

3.1.5. Uygulanan tahmin yöntemleri

Bu bölümde regresyon analizi, ANFIS ve YSA yöntemleriyle üretim/yük tahmini yapılmıştır. Eğitim verileriyle karşılaştırılacak test verileri Çizelge EK-1.1 ve Çizelge EK-1.2'de verilmiştir. Test ve eğitim verileri bu çalışmada önerilen tüm modellere uygulanmıştır.

3.1.5.1. Regresyon modeli tahmin uygulaması

Regresyon modelinde kullanılan veriler tek bir veri seti olarak düzenlenmiştir. Bu veri setine göre, 6 farklı matematik model oluşturulmuştur.

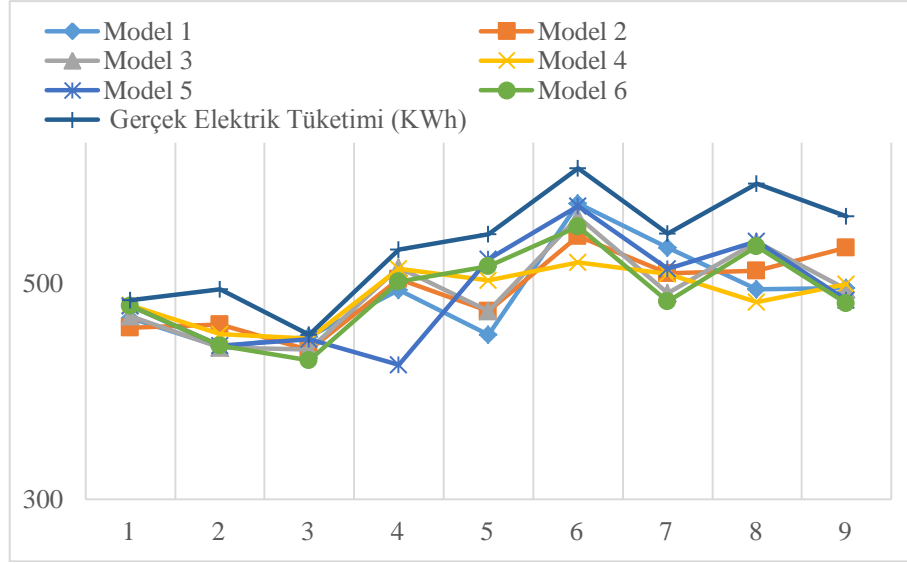
Çizelge 3.1. Matematiksel modellerde kullanılan bağımlı ve bağımsız değişkenler

	Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişken					
	Enerji Tüketimi	Nüfus	Nem	Max. Sıcaklık	Ort. Sıcaklık	Max. Rüzgâr Hızı	Ort. Rüzgâr Hızı
Model 1	X	X	X	X	X	X	X
Model 2	X	X	X		X		X
Model 3	X	X	X	X		X	
Model 4	X	X		X	X	X	X
Model 5	X	X	X			X	X
Model 6	X	X	X	X	X		

Çizelge 3.2. Regresyon modelinden elde edilen tahmin çıktıları

Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6	Gerçek Elektrik Tüketimi (KWh)
467,7	458,7	469,2	479,5	478,97	479,11	484
440,98	461,51	440,04	452,54	441,83	442	494
450,6	437,9	438,4	448,4	447,73	428,43	452
493,6	503,7	514,1	513,5	424,53	501,43	531
452,4	474	473,9	502,3	522,23	515,6	545
573,6	543,2	561,1	519,3	571,02	552,2	606
532,7	508,88	490,72	508,76	513,48	482,7	546
494	511,4	538	482,2	538,43	533,7	592
495,4	532,6	494,2	498,9	483,93	481,2	562

Modellerin değerlendirilmesinde ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) değeri performans kriteri olarak kullanılmıştır. Matematiksel modellerde kullanılan bağımlı ve bağımsız değişkenler Çizelge 3.1'de verilmiştir. Regresyon modelinden elde edilen sonuçlar Çizelge 3.2'de gösterilmektedir. Şekil 3.3'te tahmin sonuçlarının grafiksel karşılaştırması verilmiştir. Çizelge 3.3'te her model için MAPE değeri hesaplanmıştır. Bu tabloya göre en iyi sonuçların Model 2' den elde edildiği söylenebilir.



Şekil 3.3. Regresyon modeli için gerçek ve tahmin değerlerinin karşılaştırması

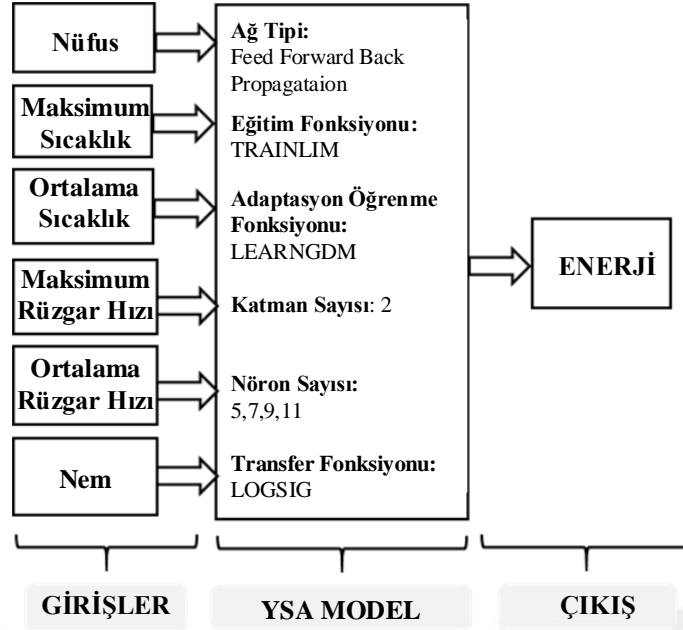
Çizelge 3.3. Regresyon modeli için MAPE hesabı

	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6
MAPE (%)	8,292	7,677	7,993	8,0168	7,938	8,045

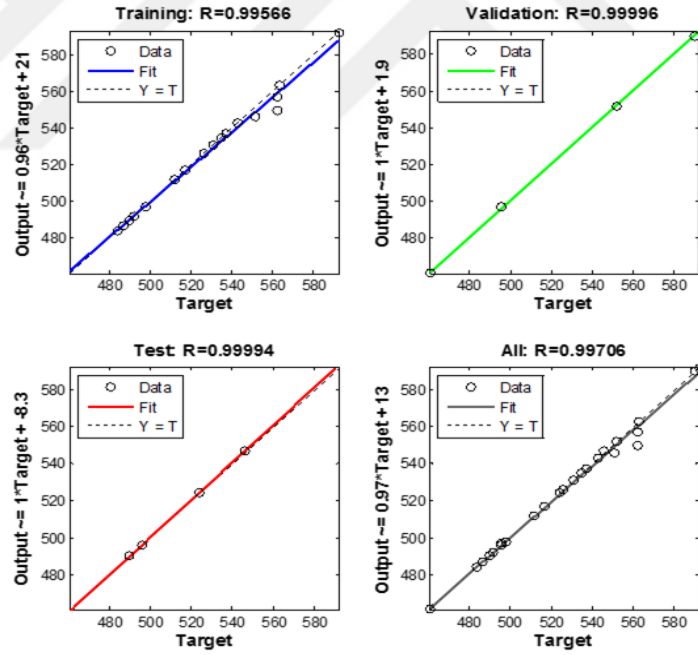
3.1.5.2. Yapay sinir ağı (YSA) tahmin uygulaması

Şekil 3.4'te yapay sinir ağı temelli oluşturulmuş bir YSA modeli görülmektedir. Bu yapı 6 giriş ve 1 çıkışa sahip back propagation YSA modelidir. Giriş verileri olarak nüfus, maksimum sıcaklık, ortalama sıcaklık, maksimum rüzgar hızı, ortalama rüzgar hızı, nem giriş verisi olarak kullanılmıştır. Oluşturulan YSA modelinde çıkış verisi olarak enerji tüketim verileri kullanılmıştır. Ağ eğitimi, her ağ için 5, 7, 9 ve 11 gibi farklı sayıda gizli nöronlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Şekil 3.6'da görüldüğü gibi tüm test verileri için "R" değeri 0,99706 olarak tanımlanmıştır. Bu değer 1'e yakın yaklaştığında eğitim süreci sona erer. Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5'te gösterilen sonuçlara göre en düşük MAPE değeri 11 gizli katman nöron sayılı modelden elde edilmiştir. Şekil 3.7'de YSA modelinin karşılaştırmalı tahmin sonuçları grafik olarak verilmiştir.



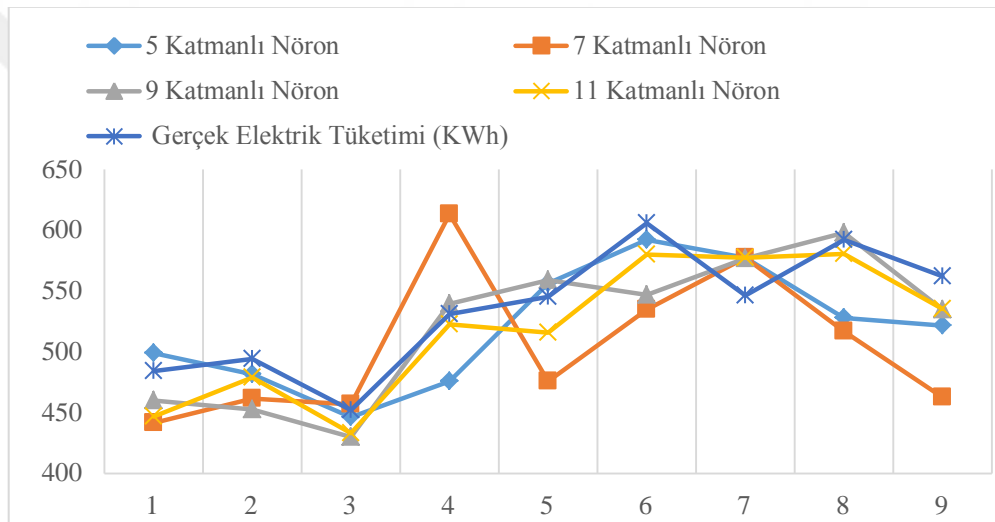
Şekil 3.4. YSA model mimarisi



Şekil 3.5. YSA modeline ait regresyon eğrileri

Çizelge 3.4. YSA Modelinden Elde Edilen Tahmin Çıktıları

Gizli Katman Nöron Sayısı 5	Gizli Katman Nöron Sayısı 7	Gizli Katman Nöron Sayısı 9	Gizli Katman Nöron Sayısı 11	Gerçek Elektrik Tüketimi (KWh)
498,61	441,57	459,95	446,4	484
481,446	461,386	452,362	478,884	494
445,97	456,72	430,03	432,96	452
475,87	613,38	539,15	522,61	531
556,257	475,753	559,1	515,775	545
591,998	534,85	546,886	579,95	606
577,2	577,18	577,01	577,15	546
527,96	516,67	598,01	580,35	592
521,67	462,45	534,36	535,17	562



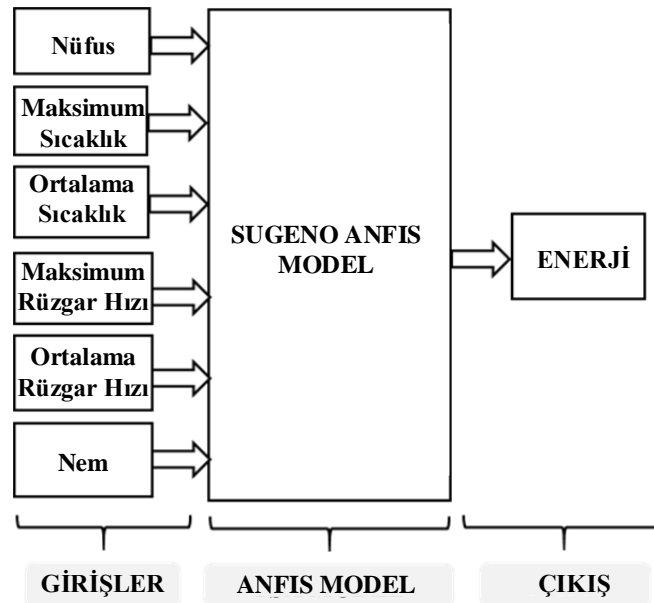
Şekil 3.6. YSA modeli için Gerçek ve Tahmin Değerlerinin Karşılaştırılması

Çizelge 3.5. YSA Modeli için MAPE Hesabı

	Gizli Katman Nöron Sayısı 5	Gizli Katman Nöron Sayısı 7	Gizli Katman Nöron Sayısı 9	Gizli Katman Nöron Sayısı 11
MAPE (%)	5,04	4,39	4,86	4,30

3.1.5.3. ANFIS tahmin uygulaması

Regresyon modeli gibi ANFIS modeli de tek bir veri setinden oluşmuştur. ANFIS model mimarisi Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. ANFIS model mimarisi

Bu çalışmada, Sugeno tipi FIS yapısı kullanılarak bir ANFIS modeli oluşturulmuştur. Sugeno tipi FIS'in iki farklı yöntemi vardır. Bu yöntemler grid partition ve sub clustering'dir. Yapılan birçok denemenin sonucu olarak, Çizelge 3.8'de gösterildiği gibi grid partition yöntemi tercih edilmiştir.

Çizelge 3.6. ANFIS Model için Ortalama Hata Değeri

Grid-Partition Metod, Sugeno ANFIS Model, Ortalama Hata					
Optimizasyon Metodu		Hibrit			
Giriş üyelik fonksiyonu sayısı	Kural Sayısı	Çıkış üyelik fonksiyonu	Constant		
		Giriş üyelik fonksiyonu	Trimf	Gaussmf	
2 2 2 2 2 2	64	Ortalama Hata	Eğitim	0,01	0,021
			Test	54,9	66,77

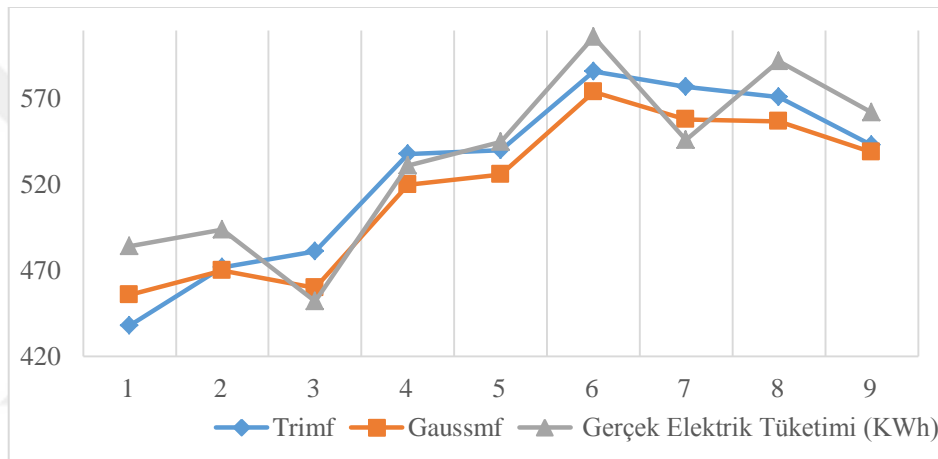
Çizelge 3.6'da gösterildiği gibi test sonuçlarına göre constant yöntem, 222222 giriş üyelik fonksiyonu, doğrusal çıkış üyelik fonksiyonu, trimf ve gaussmf giriş üyelik fonksiyon modellerinin en uygunu olduğu belirlenmiştir.

Eğitim süreci uygun hata oranlarının bulunmasıyla sona erdirilmiştir. ANFIS modelindeki veri sonuçları Şekil 3.8 ve Çizelge 3.7'de gösterilmiştir. 222222 modeli için ANFIS tarafından otomatik olarak 64 kural oluşturulmuştur.

Çizelge 3.7. ANFIS Model için Test Sonuçları

Trimf	438	472	481	538	540	586	577	571	543
Gaussmf	456	470	460	520	526	574	558	557	539
Gerçek Elektrik Tüketimi (KWh)	484	494	452	531	545	606	546	592	562

ANFIS modelinin MAPE değerleri Çizelge 3.8'de gösterilmektedir. Bu sonuçlara göre, gaussmf modelinin üyelik fonksiyon değeri trimf modelinden daha yüksek performans göstermiştir. ANFIS modeli için gerçek ve tahmin değerlerinin karşılaştırma eğrisi Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.9. ANFIS modeli için Gerçek ve Tahmin Değerlerinin Karşılaştırılması

Çizelge 3.8. ANFIS Model için MAPE değeri

	Trimf	Gaussmf
MAPE (%)	4,28	3,94

3.2. Optimizasyon Yöntemlerinin Optimal Reaktif Güç Akış (ORPD) Problemine Uygulanması

Çözüm bekleyen sorunlara uyarlanabilecek birçok optimizasyon algoritması literatürde mevcuttur. Uygun bir çözüm tekniğini tanımlamak için sorunun özelliklerini tanımlayabilmek önemlidir. Her bir problem sınıfı içinde hesaplama gereksinimlerine, yakınsama özelliklerine bağlı olarak değişen farklı minimizasyon/maksimizasyon yöntemleri vardır. Optimizasyon problemleri, amaç fonksiyonun matematiksel özelliklerine, kısıtlara ve kontrol değişkenlerine göre sınıflandırılır. Çözüm türüne göre iki temel optimizasyon yöntemi sınıfı vardır.

a. Optimumluk kriteri

Analitik yöntemler: Optimal bir çözüme yönelik koşullar belirlendiğinde, aşağıdakilerden birinin yapılması gerekir.

- Koşulları karşılayıp karşılamadığını görmek için bir aday çözüm yöntemi test edilir.
- Optimal çözümü belirlemek için optimal kriterlerden elde edilen denklemler analitik olarak çözülür.

b. Arama yöntemleri

Sayısal yöntemler: İlk deneme çözümü ya mantıklı seçimler kullanılarak ya da rastgele seçimler yapılarak amaç fonksiyonu değerlendirilir. Sonra yeni bir noktaya geçiş yapılır (ikinci deneme çözümü) ve amaç fonksiyonu yeniden değerlendirilir. Yeni çözüm değeri önceki çözüm değerinden küçükse korunur ve başka bir hamle yapılır. İşlem minimum bulunana kadar tekrar edilir.

Arama yöntemleri şu durumlarda kullanılır:

- Değişkenlerin ve kısıtların sayısı çok fazla ise,
- Amaç fonksiyonları (amaç ve kısıtlar) doğrusal değil ise,
- Amaç fonksiyonunu (amaç ve kısıtlar) doğrudan etkileyen karar/kontrol değişkenleri, türev bilgilerinin değerlendirilmesini zorlaştıracak ise,

Optimizasyon yöntemlerinin sınıflandırılması için diğer öneriler:

- İlk olarak, doğrusal olmayan programlama tekniği, ağırlıklar yöntemi ve e-kısıtlamalar yöntemi gibi, klasik yöntemler söylenebilir.
- İkinci olarak, NPGA (Niche Pareto Genetik Algoritma), NSGA (Nondominated Sorting Genetik Algoritma), SPEA (Strength Pareto Evolutionary Algoritma), SPEA2 (İmproving Strength Pareto Evolutionary Algoritma) gibi, gelişmiş yöntemler sayılabilir.

3.2.1. Geleneksel (Klasik) yöntemler

Klasik metotlar yakınsama tehlikesi, uzun uygulama süresi, algoritma karmaşıklığı ve az sayıda çözümlerin üretilmesi nedeniyle çok tercih edilen yöntemler arasında görülmemektedir. Bu rahatsızlıklar nedeniyle araştırmacılar yeni yöntemler geliştirme çabası içine girmişlerdir. Evrimsel algoritmalar klasik yöntemlerin dezavantajlarını ortadan kaldıracak performans gösterdiklerinden dolayı daha popüler olmuşlardır.

Bir optimizasyon tekniğinin başarısını doğrudan etkileyen iki unsur vardır; bunlar karar değişkenlerinin miktarı/alanı ve amaç fonksiyonudur. Bir optimizasyon probleminde karar değişkenlerini ve amaç fonksiyonunu belirlemek, çoğu zaman mevcut optimizasyon teknikleri hakkında bilgi sahibi olmayı ve bu tekniklerin optimizasyona giren sistemle nasıl etkileşime girdiğinin farkındalığını gerektirir.

En uygun yöntem, çözülecek problemin türüne (sınıflandırmasına) bağlıdır. Bir optimizasyon tekniğinin gereken kurulum süresi, teknik ve problem için gerekli olan bilgi derecesine bağlıdır. Tüm optimizasyon teknikleri, iyi performanslar elde etmek için ayarlanması gereken kendi dahili parametrelerine sahiptir.

Klasik optimizasyon teknikleri geniş ölçüde hesap tabanlı, numaralandırılmış ve rastgele tekniklerden oluşur. Bu teknikler sağlam teorilere dayanır ve uygun olan her durumda mükemmel çalışır. Ancak yukarıda da bahsedildiği gibi bu yöntemlerde bazı sınırlamalar vardır. Örneğin en dik iniş yöntemi, aramayı tek bir noktadan başlatır ve son olarak optimal bir çözümle sonuçlandırır. Bundan dolayı bu yöntem global optimumumu sağlayamaz. Bu nedenle bu tekniklerin lokal optimuma hapsolmesi ihtimal dahilindedir. Geleneksel yöntemlerin bir başka dezavantajı da amaç fonksiyonun tüm değişkenleri hakkında tam bilgiye ihtiyaç duymalarıdır. Ayrıca amaç fonksiyonunu gerçekleştirmede sürekli olarak varsayımlarda bulunurlar. Geleneksel yöntemlerin tüm bu özellikleri, onları sistemin matematiksel modeli, parametre bağımlılığı ve bu gibi diğer bilgiler konusunda yetersiz bilgi bulunan birçok gerçek hayat problemine uygulanamayacağı durumunu ortaya çıkarır. Bu durum birçok gerçek hayat problemini ele almak için geleneksel olmayan tekniklerin gerekliliğini doğurur.

Optimal güç akış problemine uyarlanan optimizasyon yöntemleri aşağıda ifade edildiği şekilde sınıflandırılabilir

1. Doğrusal programlama (LP) tabanlı yöntemler
2. Doğrusal olmayan programlama (NLP) tabanlı yöntemler
3. Tamsayılı programlama (IP) tabanlı yöntemler
4. Ayrılabilir programlama (SP) tabanlı yöntemler
5. Karışık tamsayılı programlama (MIP) tabanlı yöntemler

Özellikle doğrusal programlama tabanlı yöntemler, doğrusal hedefler ve doğrusal kısıtlamalar ile karakterize edilen çok çeşitli özel optimizasyon problemlerini çözmek için güvenilir ve sağlam bir teknik olarak kabul edilmektedir.

Amaç fonksiyonların analitik olarak tanımlanması, sürekli ve pürüzsüz olması durumlarında bile tüm optimizasyon problemlerini çözmek için evrensel bir yöntem yoktur. Bu yöntemler, gerçek dünya problemlerine uygulandığında birçok engelleyici zorluk karşılına çıkmaktadır. Amaç ve kısıtlama fonksiyonlarında, gürültünün varlığı, fonksiyonlardaki süreksizliklerin varlığı, standart yöntemlerin uygulanmasını zorlaştırmaktadır.

3.2.2. Evrimsel yöntemler

Son zamanlarda bilgisayar mühendisliğindeki gelişmeler ve güç sistemi optimizasyon probleminin artan karmaşıklığı, büyük ölçekli problemler için özel programlama tekniklerine daha fazla ihtiyaç duyulmasını ve uygulanmasını sağlamıştır. Bunlara dinamik programlama, Lagrange çarpanı yöntemleri, sezgisel teknikler ve genetik algoritmalar gibi evrimsel teknikler dahildir. Bu teknikler, yapay sinir ağları, uzman sistemler, tabu arama algoritmaları ve bulanık mantık dahil olmak üzere birçok başka akıllı sistem teknikleri ile hibritlenebilir.

Birçok araştırmacı, ilk çözüm popülasyonunun olmasını optimum çözüme yaklaşma olasılığını arttırdığını, önceki çözümlerden alınan bilgiler neticesinde arama stratejisinin mevcut bilgileri güncellemesinin doğruluğu arttırdığını kabul ediyor. Buna göre araştırmacılar tarafından söz konusu bu iki amaca ulaşmak için standart optimizasyon tekniklerinin yeniden yapılandırma girişimleri başlatılmıştır. Bu iki hedefe ulaşmak için araştırmacılar, son on yılda hafıza güncelleme ve popülasyona dayalı arama özniteliklerine sahip gerçek dünya problemlerini çözmek ve yeni optimizasyon teknikleri geliştirmek için çaba sarf etmişlerdir. Bu çabalar neticesinde ortaya çıkan ve aşağıda sıralanmış teknikler temel kabul olarak edilmektedir.

1. Sezgisel Arama
2. Evrimsel Hesaplama
3. Genetik Algoritma
4. Evrim Stratejileri ve Evrimsel Programlama
5. Diferansiyel Dönüşüm
6. Parçacık sürüsü
7. Tabu Arama
8. Benzetilmiş Tavlama
9. Stokastik Yaklaşım
10. Bulanık Mantık

Tezde doğadan esinlenmiş meta-sezgisel optimizasyon yöntemleri ile yapılan örnek çalışma sonraki başlık altında detaylı olarak anlatılmıştır.

3.2.3. Meta-Sezgisel yöntemler ile reaktif güç optimizasyonu

Reaktif güç optimizasyonu (ORPD) doğrusal ve yakınsak olmayan bir optimizasyon problemidir. ORPD probleminin temel amacı; sistemin aktif güç değerini azaltmak, gerilimin değerini belirli sınırlar içinde tutmak ve ayrıca eşitlik ve eşitsizlik sınırlarını sağlamaktır. Çok amaçlı reaktif güç tasarlama problemi, belirlenen kısıtları yerine getirirken bir veya birden fazla işlemi optimize etmek için hedefler belirler. Optimum reaktif güç tasarımında, kontrol parametrelerinin tamamı sistem parametrelerinin optimize edilmesi için düzenlenmiştir.

3.2.3.1. Reaktif güç optimizasyonunun (ORPD) formüle edilmesi

ORPD problemi aşağıda gösterildiği şekilde ifade edilir.

$$\begin{array}{ll} \min & f(x,u) \\ \text{S.t} & g(x,u) = 0 \\ & h(x,u) \leq 0 \end{array} \quad (3.5)$$

Yukarıda ifade edilen f amaç fonksiyonu, g eşitlik kısıtı ve h güç sistemi çalışma sınırındır. Ayrıca u bağımsız kontrol değişkeni olarak ifade edilen bir vektördür. u vektörü aşağıda gösterildiği gibi de ifade edilmiştir.

$$u^T = [P_{P2} \dots P_{PTg}, V_{P1} \dots V_{PTg}, T_1 \dots T_t, Q_{C1} \dots Q_{CTc}] \quad (3.6)$$

- P_p generatörün aktif güç çıkışı,
- P_{pl} slack bara,
- V_p generatör bara gerilimi
- T transformatör kademe ayarı
- Q_c reaktif güç kompanzasyon değeridir.

Burada sırasıyla T_g , T_t ve T_c üretim sistem katsayısı, transformatör kademe ayarı ve reaktif şönt kompanzasyon katsayılarıdır.

$$x^T = [P_{P1}, V_{L1}, \dots, V_{LTpg}, Q_{P1}, \dots, Q_{PTg}, S_{L1}, \dots, S_{LT1}] \quad (3.7)$$

Burada ifade edilen x bir vektördür ve aşağıdaki bağımlı değişkenleri içerir:

- a. P_{P1} slack bara aktif güç çıkışı,
- b. V_L yük barası gerilimi,
- c. Q_P generatörün reaktif gücü,
- d. S_L iletim hattı değeridir.

T_{pq}, P_q veri yollarının toplamı ve T_l ise iletim hatlarının toplamıdır.

3.2.3.2. Amaç fonksiyonu

Literatürde çeşitli amaç fonksiyonları vardır. Ancak bu tezde en çok kabul gören amaç fonksiyonları tartışılmıştır.

a. Aktif güç kaybını azaltma

Bu işlemin amacı sistemin aktif güç kaybını azaltmaktır ve fonksiyon aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$f_1 = \min(P_{RL}) = \sum_{k=1}^{Nl} Gc(V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j \cos(\varphi_i - \varphi_j)) \quad (3.8)$$

Burada P_{RL} aktif güç kaybını temsil eder. Gc , i ve j hatları arasındaki hat iletkenliğini temsil eder. V_i ve V_j sırasıyla i . ve j . bara gerilimini, φ_i ve φ_j i . ve j . bara gerilim açılarını temsil eder.

b. Gerilim profilini iyileştirmek

Güç sisteminin güvenilir bir şekilde çalışması için sistemin gerilim değeri belirlenen sınırlar içinde kalmalıdır. Gerilim dalgalanmaları ancak belirlenen sınırlar dahilinde kabul edilebilir. Amaç fonksiyonu aşağıda gösterilmiştir.

$$f_2 = \sum_{i=1}^{Npq} |V_i - 1.0| \quad (3.9)$$

Burada N_{pq} yük baralarının toplamını temsil eder. V_i i barasının gerilimini temsil eder.

c. Gerilim kararlılık indeksini iyileştirmek

Aktif ve reaktif güç kayıplarının artması sistemin gerilimini olumsuz yönde etkiler. Sistemin reaktif gücündeki değişim, gerilim kararlılığında bir değişikliğe neden olur. L indeksi ile gerilim kararlılığı arasında ters bir orantı vardır. Bunlardan biri artarken diğeri azalmaktadır. Sistemin çökme noktası L indeksi ile tanımlanır. Bu nedenle L indeksini azaltmak çok önemlidir. L indeksi aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\begin{bmatrix} I_P \\ I_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{PP} & Y_{PL} \\ Y_{LP} & Y_{PP} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_P \\ V_L \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

I_P , I_L ve V_P , V_L , generatörlerin ve yük baralarının akım ve gerilim değerleridir.

$$\begin{bmatrix} V_L \\ I_P \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{LL} & F_{LP} \\ K_{GL} & Y_{PP} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_L \\ I_G \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

Denklem 3.11'de $F_{LP} = -[Y_{LL}]^{-1}[Y_{LP}]$ ifade edilmiştir. J düğümünün L indeksi aşağıdaki gibi belirtilmiştir.

$$L_j = \left| 1 - \sum_{i=1}^{T_g} F_{ji} \frac{V_i}{V_j} \angle (\delta_{ji} + \phi_i - \phi_j) \right| \quad (3.12)$$

Denklem 3.12'de $F_{ji} = |F_{ji}| \angle \delta_{ji}$, $V_i = |V_i| \angle \phi_i$, $V_j = |V_j| \angle \phi_j$ şeklinde ifade edilmiştir. Burada V_i ve V_j sırasıyla i . ve j . baralarının (generatör baraları) gerilim değerlerinin büyüklüğünü temsil eder. Sırasıyla δ_{ji} ve ϕ_i F_{ji} 'nin faz açısını ve i . generatör geriliminin faz açısını temsil eder. T_{pq} , P_q bara sayısıdır. Tüm yük baraları için L indeksi belirlenmiştir. L indeks değeri yük baraları için 0-1 arasında değişmektedir. L indeksi sistemin gerilim kararlılığını tanımlar ev aşağıda verilen denklem ile ifade edilir.

$$f_3 = L = \min(\max(L_j)) \quad j = 1, 2, 3, \dots, T_{pq} \quad (3.13)$$

L indeksinin değeri ne kadar küçükse, gerilim kararlılık değeri o kadar yüksek olur. Sonuç olarak, gerilim kararlılık göstergesi olarak L ifadesi kullanılabilir. Güç sistemini negatif etkilerden korumak ve gerilim kararlılığını dengelemek için L indeksi artırılmalıdır.

d. Kısıtlar

ORPD problemi için kabul edilen kısıtlar, eşitlik ve eşitsizlik kısıtlarıdır.

- **Eşitlik Kısıtları**

Eşitlik kısıtları g ve OPF denklemleri aşağıda açıklanmıştır.

$$P_{Pi} - P_{Ki} - V_i (R_{ij} \cos(\varphi_i - \varphi_j) + B_{ij} \sin(\varphi_i - \varphi_j)) = 0 \quad (3.14)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, T$$

$$Q_{Pi} - Q_{Ki} - V_i (R_{ij} \sin(\varphi_i - \varphi_j) + B_{ij} \cos(\varphi_i - \varphi_j)) = 0 \quad (3.15)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, T$$

P_{Ki} ve Q_{Ki} i. barada ki yükün aktif, reaktif güçlerini temsil eder. R_{ij} ve B_{ij} i bileşenin reel ve imajiner ifadeleri, j ise bara admitans matrisidir. V_i ve V_j sırasıyla büyüklükleri, φ_i ve φ_j ise sırasıyla i. ve j. baraların gerilim açılarıdır.

- **Eşitsizlik Kısıtları**

Problemin türüne göre yüksek veya düşük değerlerle sınırlandırılan generatör aktif gücü (P_P), generatör reaktif gücü (Q_P) ve gerilim büyüklüğü (V_P); generatör kısıtları olarak belirlenir. Çalışmamızda kullanılmak üzere standart ortalama kare hata (MSE) formülleri aşağıda ifade edilmiştir.

$$P_{Pi,\min} \leq P_{Pi} \leq P_{Pi,\max} \quad i = 1, 2, 3, \dots, N_T \quad (3.16)$$

$$Q_{Pi,\min} \leq Q_{Pi} \leq Q_{Pi,\max} \quad i = 1, 2, 3, \dots, N_T \quad (3.17)$$

$$V_{Pi,\min} \leq V_{Pi} \leq V_{Pi,\max} \quad i = 1, 2, 3, \dots, N_T \quad (3.18)$$

Transformatör kısıtları: Transformatör tap değeri maksimum ve minimum ayar limitleri ile sınırlandırılır.

$$T_{i,\min} \leq T_i \leq T_{i,\max} \quad i = 1, 2, 3, \dots, N_T \quad (3.19)$$

Ayarlanabilir VAR kaynakları: Ayarlanabilir VAR kaynaklarının kısıtları aşağıda ifade edildiği gibidir.

$$Q_{ci,\min} \leq Q_{ci} \leq Q_{ci,\max} \quad i = 1, 2, 3, \dots, N_c \quad (3.20)$$

Güvenlik kısıtları: Bu kısıtlar yük barası gerilim açılarını ve iletim hattı sınırlarını içerir.

$$V_{Li,\min} \leq V_{Li} \leq V_{Li,\max} \quad i = 1, 2, 3, \dots, N_{pq} \quad (3.21)$$

$$S_{Li,\min} \leq S_{Li,\max} \quad i = 1, 2, 3, \dots, N_1 \quad (3.22)$$

3.2.3.2. Uygulanan algoritmalar

Tüm algoritmalar aynı koşullar altında çalıştırılmış ve durdurma kriterleri fonksiyon sayısına (Fes) bağlı olarak belirlenmiştir.

a. Kurbağa sıçrama algoritması (KSA)

(Eusuff ve ark., 2006), KSA çalışmalarında doğadaki kurbağaların hareketlerinden ilham alarak memetik tabanlı bir yaklaşım önerdiler. KSA, doğal memetiklerden etkilenen popülasyona dayalı bir meta-sezgisel algoritmadır. Bu algoritma memetik evrimleri kullanarak yerel arama alanında bir kişiden diğerine bilgi alışverişini sağlar. Eusuff ve arkadaşları araştırmalarında KSA'daki rastgele özelliği kullanarak bireyler arasındaki bilgi alışverişinin en iyi şekilde sağlandığını belirtmişlerdir.

Memplex'teki belirli sayıda kurbağa memetik evrim fazının her bir yinelemesinde yer almaktadır. Denklem (3.23)'te üçgen olasılık dağılım eşitliği, memetik evrim aşamasında hangi kurbağaların seçilmesi gerektiğine karar vermek için kullanılmıştır.

$$P_i = \left(\frac{2(n+1-i)}{n(n+1)} \right) \quad i = 1, \dots, n \quad (3.23)$$

Bir rulet tekerleği ile seçim olasılığına bağlı olarak alt memplex için q kurbağaların sayısı seçilir. Her memplex grubu için memetik evrim adımı tamamlandıktan sonra, kurbağalar bir popülasyonda karıştırılır. Her kurbağanın maliyet değerleri yeniden hesaplandı ve popülasyon en iyi kurbağanın en kötüsüne doğru sıralandı. KSA'da tüm kurbağalar hem memplex grubundaki hem de yinelemenin sonunda bilgiler paylaşılır. KSA'nın bu özelliği hem yerel hem de küresel arama sağlar. KSA'nın pseudo kodu Şekil 1'de gösterilmektedir.

```

Step 1. Algoritmanın parametrelerini ayarlama işlemi
Memplex sayısını (m) ve her bir memplex'te ki kurbağa sayısını (n) belirleyn
Alt memplex'te ki (q) kurbağa sayısını belirleyn
Çözüm uzayında (P) bir popülasyon oluşturun
P'de ki her birey için uygunluğu hesaplayın
Popülasyonu uygunluklarına göre azalan düzende sıralayın
En iyi çözümü seçin (Gbest)

Step 2. Arama işlemi
Popülasyonu memplex sayısına bölün
FOR memplex
  FOR j=1 alt iterasyon için
    Güncel memplex'ten alt memplex'e kadar q kurbağayı seçin
    Alt memplex'te ki en iyi ve en kötü kurbağaları bulun
    Alt memplex'te ki en iyi ve en kötü kurbağa için yeni bir pozisyon hesaplayın
    IF kurbağanın yeni pozisyonu güncel durumdan daha iyi ise
      En kötü kurbağayı güncelle
    ELSE
      Gbest ile en kötü kurbağa için yeni bir pozisyon hesapla
      IF kurbağanın yeni konumu mevcut kurbağanınkinden daha iyi ise
        En kötü kurbağayı güncelle
      ELSE
        Rastgele bir kurbağa oluştur
        En kötü kurbağayı güncelle
      END IF
    END IF
  END FOR
END FOR

Step 3. Popülasyonu karıştırma işlemi
Memplexleri çözüm uzayında (P) birleştirin
Popülasyonu uygunluklarına göre azalan düzende sıralayın
En iyi çözümü seçin (Gbest)

Step 4. Sonlandırma koşulunu kontrol etme işlemi
IF Sonlandırma koşulu karşılanırsa
  En iyi çözümü bildir
ELSE
  Step 2'ye git
END IF

```

Şekil 3.10. Rastgele kurbağa sıçrama algoritması pseudo kodu

(3.24) veya (3.25) numaralı denklemler KSA'daki en kötü kurbağanın (P_w) konumunu güncellemek için kullanılmıştır. İlk olarak P_w 'nin yeni durumu hesaplanırken denklem (3.24) temel olarak kullanılmıştır. Oluşturulan yeni kurbağa için maliyet hesaplanır. Alt-memplexteki en iyi kurbağa (P_b) P_w için daha iyi bir konum bulamazsa, en kötü kurbağanın yeri (3.25) numaralı eşitlik için gözden geçirilir. Küresel en iyi kurbağa (P_g) için daha iyi bir konum bulunamazsa, en kötü kurbağa P_w yerine sınır değerler içinde rastgele bir kurbağa oluşturulur.

$$X_w^{i+1} = P_w^i + rand() (P_b^i - P_w^i) \quad (3.24)$$

$$X_w^{i+1} = P_w^i + rand() (P_g^i - P_w^i) \quad (3.25)$$

Ayrıca bu çalışmada (Aslan ve ark., 2018) KSA algoritma yapısında takip eden yenilikler yapılarak problemimize uyarlanmıştır. Aslan, en kötü kurbağanın konumunu güncellerken, orijinal KSA yapısında denklem (3.24) ve denklem (3.25) yerine genetik

algoritmanın (GA) iki noktalı çaprazlama ve tek mutasyon operatörlerini kullanmıştır. Bu çalışmada da benzer bir yaklaşım kullanılmıştır. Öncelikle yeni pozisyon hesaplanırken P_w ve P_b iki nokta çapraz geçişe maruz bırakılmıştır. Yeni bireysel pozisyon P_w 'den daha iyi ise P_g 'ye bir nokta mutasyon uygulanır ve yeni pozisyon P_w 'nin yerine geçer. Aksi takdirde P_w için konum güncelleme işlemi P_w ve P_g ile hesaplanır. Ancak P_g ile pozisyon güncelleme işlemi en kötü kurbağa için daha iyi bir pozisyona ulaşmazsa P_w yerine rastgele yeni bir birey üretilir.

b. Ağaç tohumu algoritması (ATA)

Ağaç tohumu algoritması (Kiran, 2015), tarafından literatüre kazandırılmıştır. ATA sürekli optimizasyon problemlerine cevap vermek için doğadan esinlenen bir meta-sezgisel algoritmadır. ATA kodu Şekil 3.11'de gösterilmiştir.

```

Step 1. Algoritmanın başlatılma işlemi
Popülasyon büyüklük (N) sayısını ayarlayın
Yöntemin ST parametresini ayarlayın
Yöntemin boyutunu (D) ayarlayın
Sonlandırma şartını belirleyin
D boyutlu arama uzayında N rastgele ağaç konumu oluşturun
Problem için belirtilen amaç fonksiyonunu kullanarak ağaç konumunu değerlendirin
En iyi çözümü seçin (B)
Step 2. Tohumlarla arama işlemi
FOR tüm ağaçlar
    Bu ağaç için üretilen tohum sayısına karar verin.
    FOR tüm tohumlar
        FOR tüm boyutlar
            IF (rand<ST)
                Denklem 3.26'yi kullanarak boyutu (S) güncelle
            ELSE
                Denklem 3.27'yi kullanarak boyutu (S) güncelle
            END IF
        END FOR
    END FOR
    En iyi tohumu seç ve ağacı ile karşılaştır
    Tohum konumu ağacın konumundan daha iyi ise tohumu bu ağacın yerine geçir
END FOR
Step 3. En iyi çözümün seçimi işlemi
Popülasyonun en iyi çözümünün seçimi
Yeni en iyi çözüm önceki en iyi çözümden daha iyi ise, yeni en iyi çözümü önceki en iyi
çözümün yerine geçir
Step 4. Sonlandırma durumunun test edilme işlemi
Sonlandırma koşulu yerine getirilmezse Step 2'ye gidin.
Step 5. Raporlama işlemi
En iyi çözümü bildir

```

Şekil 3.11. ATA algoritmasının kodu

Ağaç tohumu algoritmasında her ağaç bir ebeveyni temsil eder. Her tohum ebeveyn ağaç tarafından oluşturulan çocuk bireyleri temsil eder. ATA'da, tohum bilgisinin kalitesi kendi ağacından daha iyi ise ebeveyn ağacın yerine tohum geçerek ağacın konumu güncellenir. Her iterasyonda tohum sayısı 1 ile popülasyon sayısı arasında rasgele seçilir. Popülasyondan rastgele seçilen bir ebeveyn birey, farklı bir ebeveyn ve global en iyi tohumların her biri için, konum oluşturmak amaçlı kullanılır. Tohumların

işlenmesinde (3.26) ve (3.27) numaralı denklemler kullanılmıştır. Tohumun her boyutu denklem (3.26) ile (3.27)'de güncellenmiştir. Boyut güncelleme işleminde hangi denklemin kullanılacağını belirlemek için Search Tendency (ST) parametresi kullanılmıştır.

Her boyut için seçim süreci şu şekilde gerçekleştirilmiştir;

- İlk önce sıfır ile bir arasında rastgele bir değer üretildi. Rastgele değer ST'den daha küçükse ilgili boyut denklem (3.26)'ya göre güncellendi. Eğer rastgele değer ST'den daha büyükse ilgili boyut denklem (3.27)'ye göre güncellendi.
- *ParentTree* üzerinde çalışılan ağacı temsil eder, *i* *ParentTree*'den oluşturulmuş tohumun indisidir. *BestTree* popülasyondaki en iyi ağacı, *Trees* popülasyonun tüm ağaçlarını, *r* değeri rastgele seçilen ağaç dizinini temsil eder, *rand* değeri sıfır ile bir arasında rastgele bir değer gösterir.

$$Seed_{i,j} = ParentTree_j + 2 \times (BestTree_j - Trees_{r,j}) (rand - 0.5) \quad (3.26)$$

$$Seed_{i,j} = ParentTree_j + 2 \times (ParentTree_j - Trees_{r,j}) (rand - 0.5) \quad (3.27)$$

3.2.3.3. IEEE-30 bara test sistemi

IEEE-30 bus test sistemi önerilen algoritmaların etkinliğini/verimliliğini onaylamak ve karşılaştırmak için kullanılmıştır.

Farklı algoritmaların benzetim sonuçlarının karşılaştırılması Çizelge 3.9'da gösterilmiştir. Çizelge 3.10'da değişken kısıtların aralığı ifade edilmiştir. IEEE-30 test sisteminde 6 generatör, 4 trafo ve 9 şönt reaktif kompanzasyon barası bulunmaktadır. Bu sistemde 19 kontrol değişkeni vardır. Ceza fonksiyonu yaklaşımı, parametreleri maksimum ve minimum limitlerde kontrol etmek için kullanılır. Süreksiz değişkenleri sürekli değişkenlere dönüştürmek için parametrelerin maximum veya minimum limitleri bir araya getirilmiştir.

ATA ve KSA algoritmaları kullanılarak elde edilen sonuçlar literatürdeki diğer sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Sistemin, herhangi bir algoritma kullanılmadan çalışmasında, güç kaybı 5.812 MW'tır. Burada amaç bu kaybı optimizasyon yöntemleriyle en aza indirmektir. Aşağıda Çizelge 3.9'da gösterilen ilk dört algoritmanın sonuçları (ABC, GSA, PSO-TVAC, WOA) (ben oualid Medani ve ark., 2018) alınmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, ATA ve KSA algoritmalarının

başarılı olduğu görülmüştür. ATA algoritmasının 4.572 MW'lık kayıp değeri ile başarılı bir sonuç elde ettiği söylenebilir. IEEE-30 bara test sisteminin kısıt değişkenleri Çizelge 3.10'da verilmiştir.

Çizelge 3.9 IEEE 30-Bara Güç Sistemi İçin Farklı Algoritmaların Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

Değişkenler	ABC	GSA	PSO-TVAC	WOA	ATA	KSA
Generatör Gerilimi (p.u)						
V1	1.1	1.0716	1.0971	1.1	1.1	1.0956
V2	1.0615	1.0221	1.0876	1.0963	1.0940	1.0912
V5	1.0711	1.0400	1.0658	1.0789	1.0724	1.0795
V8	1.0849	1.0507	1.0700	1.0774	1.0735	1.0703
V11	1.1	0.9771	1.0669	1.0955	1.1	1.0848
V13	1.0665	0.9676	1.0995	1.0929	1.0992	1.0998
Transformatör tap değeri						
T6-9	0.97	1.0984	0.9757	0.9936	1.0060	0.9845
T6-10	1.05	0.9824	0.9269	0.9867	0.9796	1.0205
T4-12	0.99	1.0959	0.9996	1.0214	0.9980	0.9876
T28-27	0.99	1.0585	0.9648	0.9867	0.9745	1.0083
Kondansatör (MVAR)						
Qc-10	5	1.6537	1.0303	3.1695	2.8322	3.9654
Qc-12	5	4.3722	3.2628	2.0477	3.8728	3.6506
Qc-15	5	0.1199	4.4982	4.2956	4.8250	3.9852
Qc-17	5	2.0876	4.6258	2.6782	4.5574	4.4745
Qc-20	4.1	0.3577	1.4852	4.8116	4.5596	4.0074
Qc-21	3.3	0.2602	4.548	4.8163	4.4670	4.7678
Qc-23	0.9	0.0000	3.5751	3.5739	4.1538	3.1475
Qc-24	5	1.3839	4.6527	4.1953	4.0072	4.2052
Qc-29	2.4	0.0003	3.2407	2.0009	3.0106	3.9546
Sonuçlar						
Ploss (MW)	4.602	4.514	4.646	4.594	4.572	4.686
Kazanç (%)	20.81	22.33	20.06	20.95	21.33	19.37

Çizelge 3.10 IEEE-30 Bara Test Sistemi için Değişken Kısıtları

Değişken Kısıtları	Minimum Limit(pu)	Maximum Limit(pu)
Generatör bara gerilimi V_g	0.9	1.1
Yük bara gerilimi VL	0.9	1.1
Tap değeri T	0.9	1.1
Şönt kompensatörler Qc	0	5

3.2.3.4. IEEE-118 bara test sistemi

Bu tezde, geliştirilen algoritmaların performansını test etmek için daha büyük bir güç sistemine ihtiyaç duyulmuştur. Bunun için standart bir IEEE-118 bara test sistemi kullanılmıştır. Bu sistemde 186 iletim hattı, 64 yük, 54 generatör, 14 reaktif şönt kompanzasyon ve 9 trafo barası vardır. Burada karşılaştırma amacıyla, generatör baraları, reaktif şönt kompanzasyon baraları ve transformatör kademe ayarları dâhil

olmak üzere 77 kontrol değişkeni kullanılmıştır. Çizelge 3.11'de IEEE-118 bara test sistemi için değişken kısıtları verilmiştir.

Önerilen ATA ve KSA algoritmalarından elde edilen sonuçlar, Mouassa ve ark., (2017)'deki yaptıkları çalışmadaki sonuçlarla karşılaştırıldı. Elde edilen sonuçlar Çizelge EK-2.1'de verilmiştir. Çizelge EK-2.1'de sonuçlara göre, ATA algoritmasından gelen aktif güç kaybının literatürde yakın zamanda bildirilen diğer algoritmalarından daha düşük olduğu görülmektedir. ATA algoritması daha başarılı olmasına rağmen, KSA algoritmasının sonuçları da başarılı olarak değerlendirilebilir.

Çizelge 3.11. IEEE-118 Bara Test Sistemi için Değişken Kısıtları

Değişken Kısıtları	Minimum Limit(pu)	Maximum Limit(pu)
Generatör bara gerilimi V_g	0.95	1.05
Yük bara gerilimi V_L	0.95	1.05
Tap değeri T	0.9	1.1
Sönt kompensatörler Q_c	(Polprasert ve ark., 2016).	

ATA ve KSA algoritmaları kullanılarak elde edilen sonuçlar literatürdeki diğer sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Çizelge EK-2.1'de gösterilen ilk dört algoritma (OGSA, ABC, GWO, ALO) (Mouassa ve ark., 2017) tarafından yapılan çalışmada alınmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, ATA'nın en başarılı ve güçlü bir algoritma olduğu görülmektedir. 119.543 (MW) aktif güç kaybı değerine sahip ATA algoritması karşılaştırdığımız diğer algoritmalarından daha başarılı sonuçlar elde etmiştir. KSA algoritması tatmin edici bir sonuç vermiştir ancak ATA'dan daha iyi sonuçlar elde edememiştir. ATA'nın IEEE-118 bara sistemini analiz etmek için yararlı bir algoritma olduğu söylenebilir.

3.3. Yük Yönetimi

Dünya, artan enerji talebi nedeniyle giderek ciddi bir elektrik enerjisi krizine doğru ilerlemektedir. Nüfus, ekonomik büyüme, altyapı gelişimi ve otomasyon sistemlerin artışı ile elektrik enerjisi talebi artmaktadır. Son 25 yılda elektrik enerji tüketimi iki katına çıkmıştır. Üretim miktarının talep oranını karşılayamadığı durumda arz/talep dengesinde büyük bir uyumsuzluk ortaya çıkmaktadır. Arz yetersizliği, eskiyen altyapı ve mevcut gücün verimsiz yönetimi gelişmekte olan ülkelerin ekonomik gelişmesinde büyük bir engel teşkil etmektedir. Sadece gelişmekte olan ülkeler değil, aynı zamanda gelişmiş ülkeler de ciddi enerji sorunlarıyla karşı karşıya kalmaktadırlar. Özellikle ABD'de kesintiler ve elektrik kalitesi sorunlarının, her yıl ortalama 100 milyar

dolardan fazla ekonomik zarara neden olduğu tahmin edilmektedir (Edison ve ark. 2011). Güç sisteminde enerji talebi üretimden daha büyük olması durumunda, geleneksel çözümlerden en yaygını olan, yük atma yöntemi kullanılmaktadır (Balu ve Maratukulam, 1994). Bunun yanı sıra güç sistemine yeni üretim kaynakları eklemek de başka bir çözüm olarak sunulmaktadır. Ancak büyük sermaye yatırımı ve kurulunun uzun zaman alması bu olasılığı düşürmektedir. Genel olarak talep karşılama sorununda yük atma yöntemi, gelişmekte olan ülkelerde istenmeyen bir çözüm olarak görülür, fakat oluşabilecek aksaklıkların önüne geçmek için hızlı bir çözüm yöntemi olarak sıklıkla kullanılmaktadır (Raza ve ark., 2012). Çünkü plansız yapılan yük atma uygulamaları tüketicinin enerji kullanım konforunu ciddi şekilde etkilemektedir. Bundan dolayı dezavantajlarına rağmen hala dünyanın birçok yerinde kullanımı yaygındır. Mevcut elektrik enerji tüketimini ihtiyaç duyulacak şekilde akıllıca kullanmak için güç sisteminin akıllı bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Akıllı enerji yönetim sistemleri (Mohamed ve Khan, 2009) Akıllı Şebekeler terimi altında birleşmiş olup bu sistemlere paydaşlar tarafından büyük yatırımlar yapılmaktadır.

Tüm dünyada yük yönetim kontrol sistemlerinin kullanımı artış göstermeye başlamıştır. Bu kontrol sistemleri tüketicilerin ihtiyaçlarını mümkün olan en düşük enerji düzeyinde karşılamalıdır. Direkt yük yönetim sistemleri deney aşamasından geçmiş ve günlük hayatımıza pratik olarak uygulanabilecek düzeye gelmiştir. Yük yönetimi, toplam elektrik tüketimini azaltan elektrik tasarrufu ile birlikte devam eden bir süreçtir, aynı zamanda belli bir süre boyunca tüketimi kontrol altında tutmak için tasarlanmıştır. Bu kontrol yöntemleri, arz taleplerini en ekonomik şekilde karşılamayı hedefler.

Yük atma yöntemi, hızlı cevap ve ani değişikliklere kolay uyum sağladığından dolayı tercih edilir. Endüstriyel yükler için otomatik yük atma sistemleri gereklidir, çünkü ani değişimler operatörün tepki verme süresinden çok daha hızlı olduğunda, sistemin tehlikeye düşme ihtimali yüksektir. Yazılım destekli programlar, sistemin işletim parametreleri hakkında derinlemesine bilgi sahibi olacak şekilde tasarlanmalı ve uygulanmalıdır. Ani değişimlerin izlenebilmesi ve sistemin hızlı bir şekilde cevap verebilmesi için zamana duyarlı izleme/kontrol iletişim ağları kullanılmalıdır.

Son yıllarda, gerilim dalgalanmalarına ilişkin sistem davranışını inceleyen araştırmalar devam etmekle birlikte, güç sistemlerinin istikrarını sağlamak için optimize edilmiş yük atma yöntemlerinin uygulanması da önem kazanmıştır. Mevcut şebeke yapısında bir dizi yenilikler yapılması ve ana sistemden izole adalaşma modu üzerinde

çalışmaların hızlandırılıp kullanıcıların etkilenme düzeyinin minimuma indirilmesi gerekmektedir. Ancak söz konusu adalaşma modunun dezavantajlarından olan üretim/yük dengesizliği nedeniyle başarısız olma olasılığı da yüksektir. Bundan dolayı yük atmanın yeniden düzenlenmesi bir gerekliliktir. Daha az önemli yüklerin atılması ve daha pahalı endüstriyel yüklerin kullanımda kalması yük atma araştırmalarında öncelikli olarak çalışılmalıdır. Bu durum ekonomik önceliğin yük atma planlarında oynadığı rolü göstermektedir.

Temel olarak yük atma işlemi, geniş ve/veya mikro adımlı yöntemler kullanılarak yapılmalıdır. Adım sayısındaki artışla birlikte sistemin işleyişinde olumsuz etkileri olan geçici olaylar da azalacaktır. Her adımda atılacak yük miktarının dikkate alınması sistemin etkinliği için önemlidir. Atılacak yük miktarı, optimize edilerek fazla yük atmaktan kaçınılabılır.

3.3.1. Yük atma prosedürü

a. Kesici ile devre açarak yük yönetimi

Özellikle hızın gerekli olduğu durumlarda devre kesicisini kullanmak en kolay yük atma yöntemidir. Bu yöntem kısa tepki süresine sahip olsa bile bazı dezavantajlara da sahiptirler. Örneğin; sadece bir dereceye kadar yük atma mümkündür, genellikle gerekenden daha fazla yük atma gerçekleştirilir ve sistem değişikliği zahmetlidir.

b. Sistem frekansına bağlı yük atma

Üreticiler normal olarak belirli sistem frekans seviyelerinde, belirli sabit yük atmayı dikkate alan bir tasarım metodolojisi kullanırlar. Bu nedenle frekans röleleri için ayar kuralları büyük ve küçük sistemler için benzerdir. Bu tür yük atma prosedüründe frekans ayarlanan hıza ulaştığında röle kısa sürede bir veya daha fazla yükü sistemden ayırır. Bu döngü %0,5'lik frekans düşümüne kadar devam eder. Bu yöntemin en büyük dezavantajı sistem dinamiklerden tamamen bağımsız olmasıdır. Dolayısıyla sık sık sistem arızası durumuyla karşı karşıya kalınması söz konusudur. Ayrıca yavaş tepki süresi, yanlış/aşırı yük atma ve güç sistemini iyi analiz edememek de diğer dezavantajlardan sayılabilir.

c. Programlanabilir lojik kontrolör yardımıyla yük atma

Programlanabilir lojik kontrolör (PLC) yardımıyla yük atma yöntemi, toplam yük ve çevrimiçi generatörlerin üretimini karşılaştırarak düşük frekans durumunu tespit etme temelli çalışan bir başka yük atma tekniğidir. Trafo merkezinde, önceden

ayarlanmış bir yük atma sırası PLC'lere yüklenir. Sistem frekansı ayarlanan seviyeye gelene kadar, sırası belli olan yükler kesicilere gönderilen bir açma sinyali ile devre dışı bırakılır.

d. Akıllı yük atma (AYY)

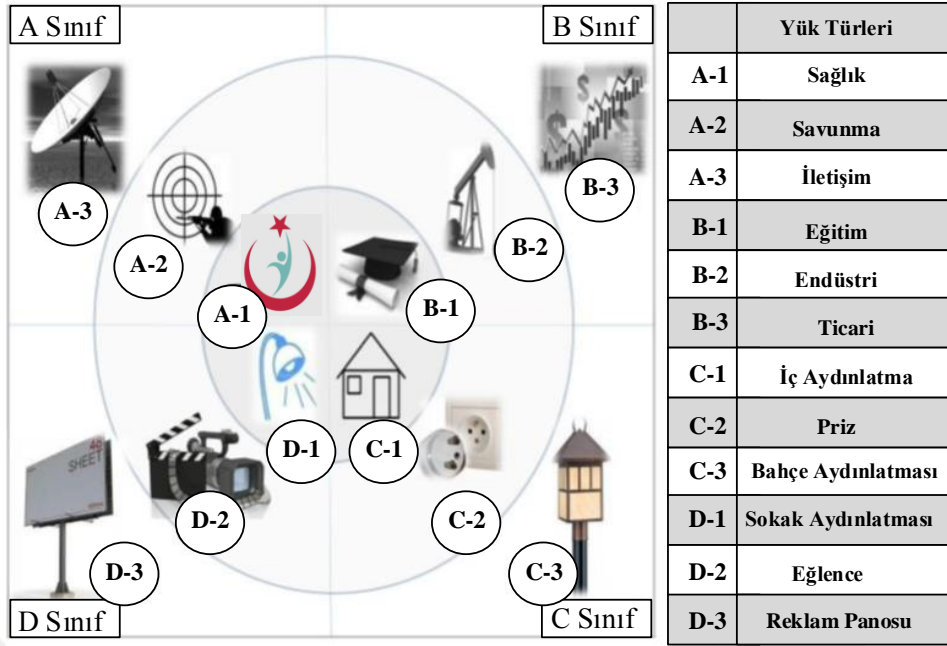
Akıllı Yük Atma, otomatik çözümlerin en iyi yöntemlerinden kabul edilir. Ancak sistem, çalışma bilgisine ulaşamadığı durumlarda aşırı veya yetersiz yük atmalara neden olabilir. Akıllı yük atma (AYY) yöntemi, gerçek çalışma koşullarını ve sistemin geçmiş arıza bilgilerini kullanarak hızlı ve optimum yük atma yeteneğine sahiptir. AYY yük atma işleminin gerçekten gerekli olduğu durumlarda çeşitli değişkenler kullanır. AYY sistemine entegre edilmiş simülasyon sistemleri, tesis ve tesisin çeşitli noktalarındaki yükleri atmak için öğretilebilir bir yapıya sahiptir.

3.3.2. Yük yönetiminde kullanılan yöntem

Mevcut geleneksel yöntemlerin dezavantajları nedeniyle minimum yük atma miktarını azaltmak ve sistemin dengesini korumak için bir akıllı yük yönetim sistemi gereklidir. Gerçek zamanlı sistem verilerini tutarlı bir şekilde elde edebilen çevrimiçi bir izleme sistemi ile önceliğe göre yük atmak muhtemel bir yaklaşım olabilir. Bu sistem gelecekteki akıllı enerji sistemlerinin tasarlanmasına yardımcı olabilir.

Burada temel fikir yükleri öncelik sırasına göre sınıflandırmak ve buna göre sistemden ayırmak olmalıdır. Şekil 3.12'de bir yük sınıflandırma örneği görülmektedir. Burada yükler önemine göre dört sınıfa ayrılmıştır. Ayrıca her sınıf alt kategorilere ayrılmıştır. Şekil 3.12'de gösterilen tasarım temsili bir yaklaşımdır. Yük önceliği veya sonralığı tamamen kullanıcının inisiyatifinde olup gerekli görülmesi durumunda sıralamalar yer değiştirebilir. Daha hassas bir değerlendirme için yüklerin birden çok alt kümelere ayrılması tavsiye edilir.

Şekil 3.12'de görüldüğü gibi yükler verilen öneme göre sıralanmıştır. Herhangi bir yük sınıfında, en önemli yük merkez noktaya en yakın olandır, merkezden uzaklaştıkça yükün önemi azalır. Eğer talep artar ve belirlenmiş bir eşik seviyesine ulaşırsa, yükler D sınıfından A sınıfına doğru sistemden ayrılmaya başlar.



Şekil 3.12. Yüklerin Sınıflandırılması

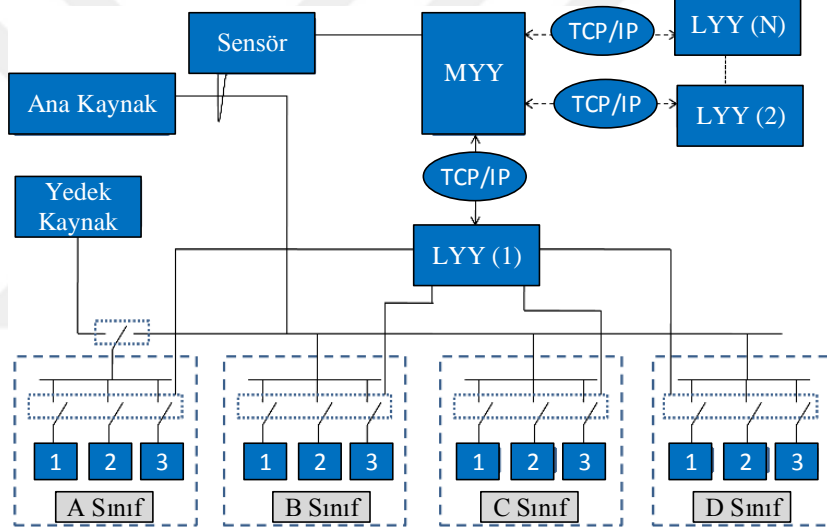
A Sınıf Yükler: En kritik ve en önemli yük sınıfıdır ve bu nedenle bağlantısı kesilmemelidir. Örneğin; hastaneler, askeri birimler ve iletişim ağları bu sınıfa girer. Güç kaynağının kullanılabilirliğini sağlamak için yedek güç kaynakları her zaman beklemede olmalıdır. A sınıf yüklerin sürekli devrede kalması için üretim miktarı yük miktarından en az %25 fazla olmalıdır. Örneğin; A sınıfı yük değeri 1000 MW ise üretim kapasitesi 1250 MW'a eşit olmalıdır. Sonuç olarak eğer üretim yük talebini karşılamıyorsa veya talep eğrisi eşik sınırına ulaşması durumunda sistem, yükleri ayarlanan önceliğe göre devre dışı bırakmalıdır ve acil alarm durumu ilan etmelidir.

B Sınıfı Yükler: Önemli bir yük sınıfıdır, ancak bağlantılarının kesilmesi durumunda karşımıza çok kötü senaryolar çıkmaz. Örneğin, eğitim, sanayi ve ticari yerler bu sınıfa girebilir.

C Sınıfı Yükler: Üç alt sınıfa ayrılan ev içi yükten oluşur. Bahçe aydınlatması, prizler ve iç mekân aydınlatması. Bahçe aydınlatması, prizler ve iç mekân aydınlatması belirlenen sıralamaya göre devre dışı bırakılır.

D Sınıfı Yükler: Önemsiz ve kritik olmayan yük türlerinden oluşur. Sadece üretim fazlası olduğunda kullanılabilirler. Sokak lambaları, eğlence merkezleri ve reklam panosu aydınlatmasından oluşur. D sınıfının en az önemlisi olan reklam panosu aydınlatması sistemden ilk devre dışı bırakılan yük türüdür. D sınıfı, artan yük veya azalmış üretim durumunda ilk önce bağlantısı kesilen en önemli yük kategorisidir.

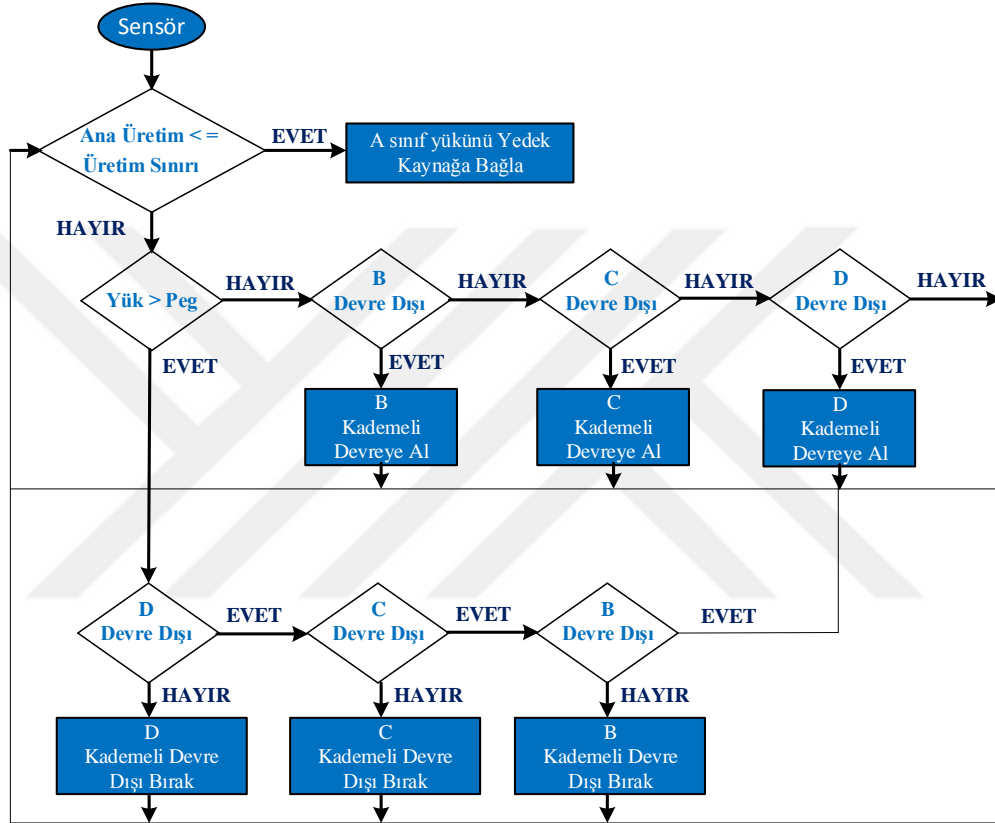
Bu tezde yük yönetim metodu olarak akıllı yük atma (AYY) yöntemi tercih edilmiştir. Şekil 3.13’de sistemin genel blok şeması verilmiştir. Sensör, üretim değerlerini merkezi yük yönetim (MYE) birimine iletir. Tüm kararlar, sensörlerden gelen bilgilere dayanarak MYE ünitesi tarafından alınır. MYE iki yönlü TCP/IP bağlantıları üzerinden lokal yük yönetim (LYE) birimi ile iletişim kurar. MYE’den gelen veriler ilgili LYE’ye iletilir. LYE önem sırasına göre, sistem dengeli olana kadar, yükleri devre dışı bırakır. Burada yükler, sınıf devre dışı bırakılabildiği gibi her sınıfın içinde ölçeklendirilmiş yükler olarak da devre dışı bırakılabilir. Dolayısıyla duruma göre iki farklı yük atma modeli de tercih edilebilir. Fakat küçük birimler şeklinde sınıflandırılmış yüklerin sırasıyla devre dışı bırakılması sistem dengesi ve tüketici faydası düşünüldüğünde daha verimli olacaktır.



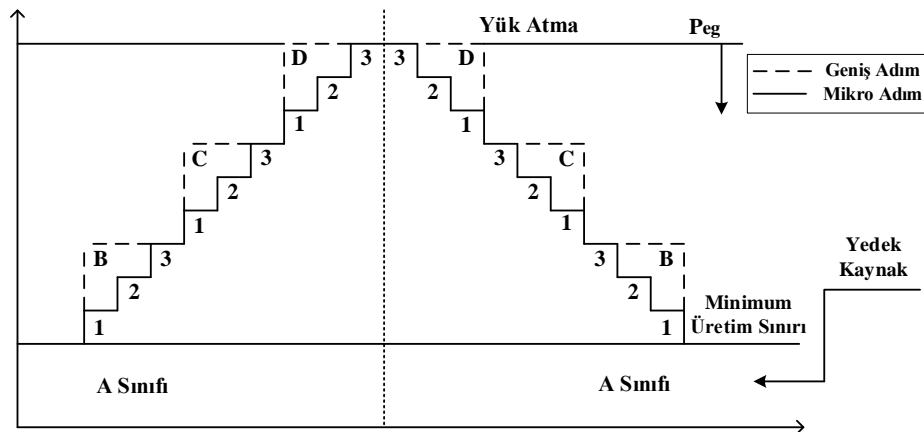
Şekil 3.13. Sistemin genel şeması

Sensörlerden gelen üretim bilgisi ilk önce A sınıfının talep gücü ile karşılaştırılır. Üretilen güç A sınıfının talep gücünü karşılamıyorsa, yedek kaynaktan besleme yapmak için kesici yön değiştirir. Sistem acil durum pozisyonuna geçer. Acil durum pozisyonunda A sınıfı yükler hariç diğer tüm yükler devre dışı bırakılır. Üretim değeri minimum üretim sınırını aşmayana kadar bu durum devam eder. Yedek güç kaynağı olarak 20 MW gücünde bir batarya grubu acil durum için bekletilmektedir. Yukarıda da bahsedildiği gibi bataryalar hariç sistemin sınır gücü, A sınıfı yükün 1,25 katı olmak zorundadır. A sınıfı yüklerin toplam gücü 40 MW ile sınırlandırılmış olduğundan, sistemin minimum üretim değeri 50 MW olacak şekilde ayarlanmıştır.

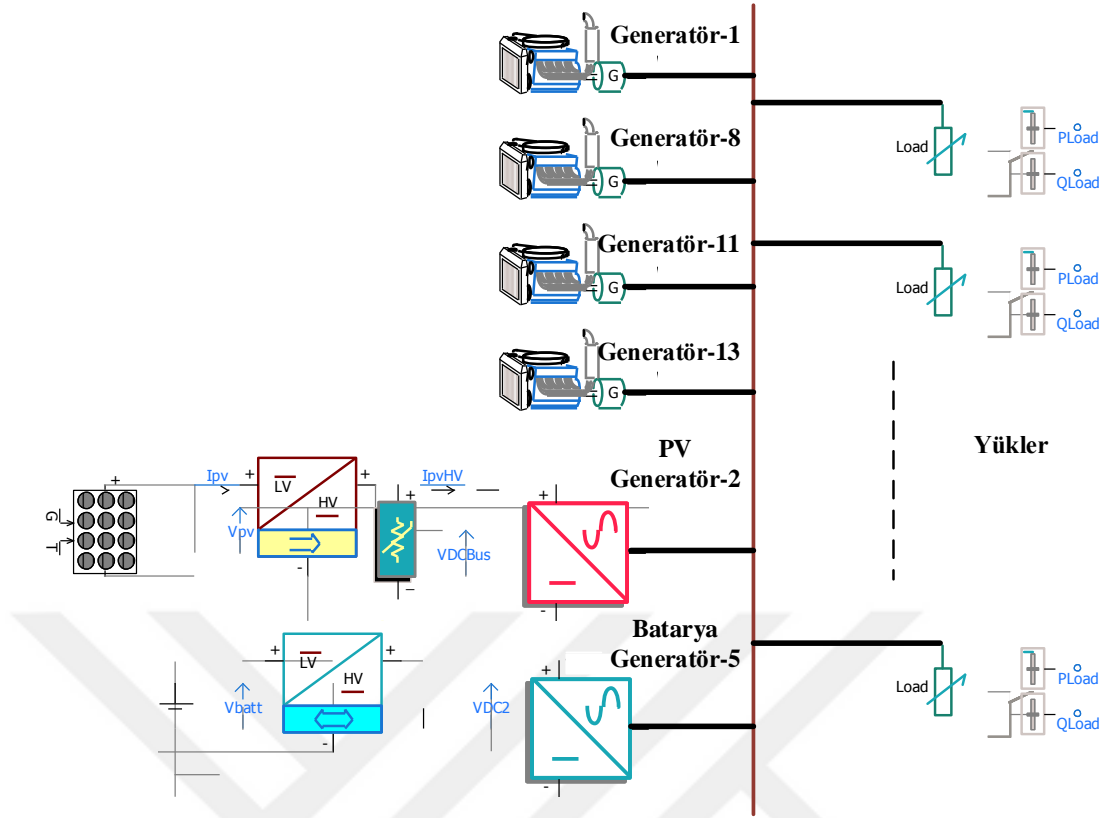
Gerekli görülmesi durumunda kullanılmak üzere batarya gücü devreye girecektir. Eşik gücü (P_{eg}), toplam talep gücünü karşılamak için üretilmesi gereken minimum gücü temsil eder. Yük bilgisi eşik güç ile karşılaştırılır, eğer yükten gelen talep güç değeri eşik gücünden fazla ise yük atma işlemi öncelik/sonralık sırasına göre gerçekleştirilir. Eşik güç talep gücünden fazla ise kademeli olarak yüklerin devreye alınma işlemi gerçekleştirilir. Anlatılan bu işlem Şekil 3.14'te detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.14 Merkezi yük yönetiminin çalışmasını temsil eden akış şeması



Şekil 3.15. Örnek yük eğrisi



Şekil 3.16. Örnek Sistem Modeli

Şekil 3.14'te gösterilen MYY yük akışı, Şekil 3.15'te gösterilen yük eğrisi ile daha net biçimde açıklanabilir. Yük eğrisi, temel karar verme metodolojisini ve sistem sırasını belirlemek için kurulmuştur. Her sınıf Şekil 3.15'de gösterilen alt kategorilere ayrılarak daha küçük yük sınıflarına bölünmüştür. Şekil 3.15'te görülen yük eğrisinin ikinci kısmı yük atma bölümünü temsil etmektedir. A sınıfındaki yükler her durumda öncelikli yüklerdir. Dolayısıyla sistem tasarımı yapılırken tüm planlar bu sınıfın enerjisinin devamlılığı üzerine kurgulanır. Bu amaçla enerji devamlılığını sağlamak için yedek kaynak bekletilir.

Şekil 3.16'da tasarlanan sistemin örnek bir modeli görülmektedir. Bu örnek modele göre sistem 4 generator, PV ve batarya grubundan oluşmaktadır. PV panellerden üretilen DC elektrik enerjisi öncelikle gerilim yükseltici devresi ile düşük gerilim yükseltilir. Yükseltilecek gerilim inverter vasıtasıyla hem alternatif forma dönüştürülür hem de frekans değeri sistem frekansı ile eşitlenir. Aynı işlem iki yönlü olmak üzere batarya grubu için de tekrarlanır.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

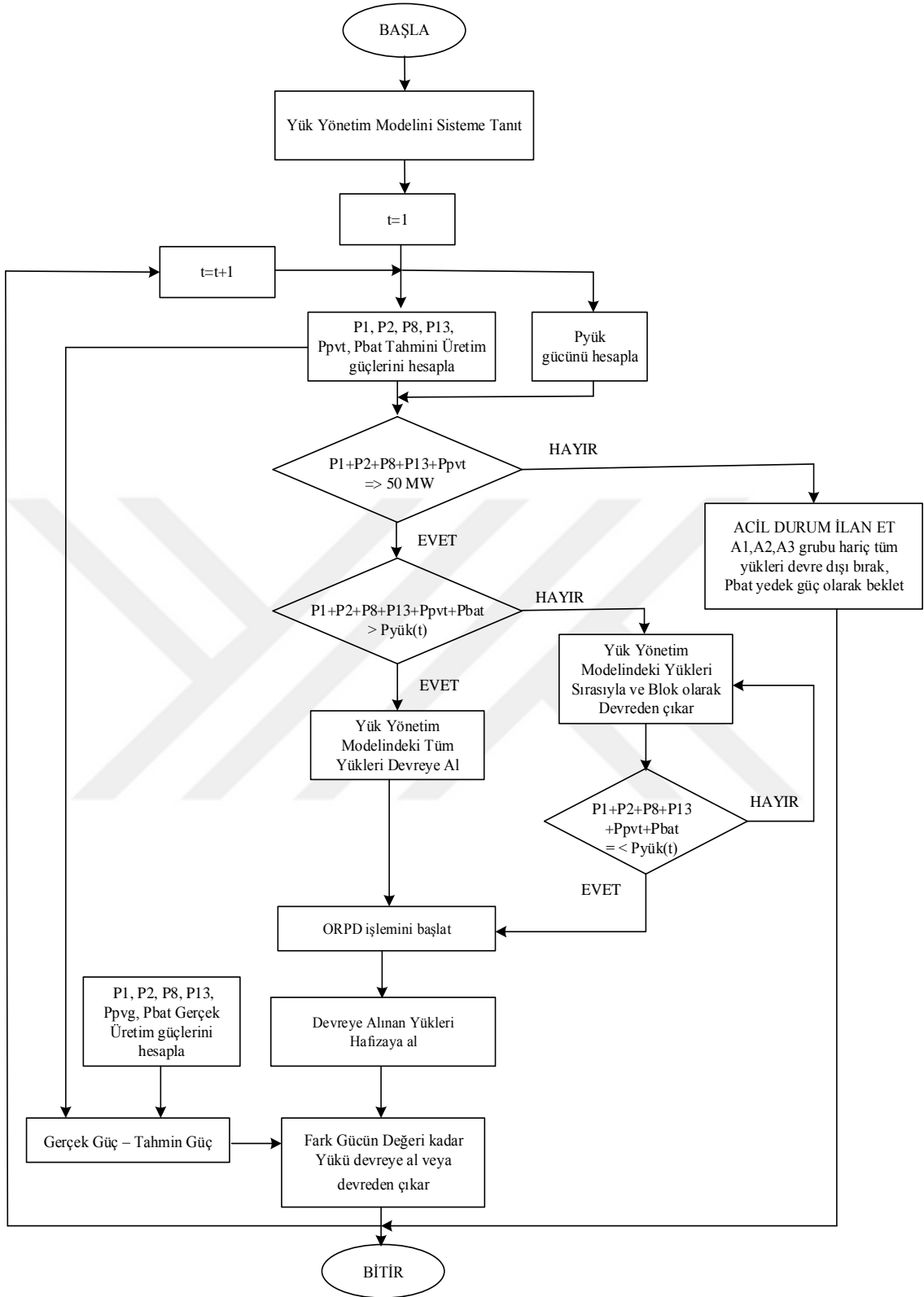
Elektrik kesintileri, sağlık, bankacılık, endüstri, iletişim, trafik ve güvenlik gibi alanlarda bir dizi başarısızlığa neden olabilir. Akıllı bir şebeke, elektrik sistemimize esneklik kazandıracak ve olağanüstü acil durumlara daha iyi hazırlanmasını sağlayacaktır. İki yönlü etkileşimli kapasitesi nedeniyle akıllı şebeke, ekipman arızalandığında veya kesintiler olduğunda otomatik olarak yeniden yönlendirmeye izin verecektir. Elektrik kesintilerini azaltacak veya meydana geldiklerinde etkileri en aza indirecek sistem arayışları hala devam etmektedir. Hali hazırda akıllı şebeke teknolojileri bu işi yapabilecek kapasitededir. Fakat bu teknolojinin alt yapısında çözüm bekleyen veya geliştirilmesi gereken birçok konu vardır.

Günümüzde çok parametrelili koruma ve kontrol fonksiyonları gittikçe yaygınlaşmaktadır. Ancak tehlikeli durumlarda koruma fonksiyonlarının daha verimli görev yapabilmesi için maksimum çalışma hızına ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca elektrik talebine dijital olarak yanıt vermek için elektrik şebekesiyle birlikte uyumlu çalışabilecek otomasyon sistemleri ve algoritmalar gerekmektedir. Özellikle şebeke sisteminde güç kaybının düşürülmesi, kararlılığının artırılması, frekans ve gerilim dalgalanmalarının önüne geçilmesi, elektrik faturalarının düşürülmesi gibi konu başlıkları sistemin operasyon hızıyla, tahmin yöntemlerinin doğruluğuyla ve verimli optimal güç akış algoritmaları ile birebir ilişkilidir.

Şekil 4.1’de tüm sistemin çalışma mantığını özetle anlamamıza yardımcı olacak genel akış şeması verilmiştir. Oluşturduğumuz model veya sistem üç farklı çalışma mantığının bir araya getirilmesinden meydana gelmektedir.

- ANFIS ile yük Tahmini
- ATA ile ORPD uygulaması
- Akıllı yük yönetim uygulaması

Öncelikle sisteme yük yönetim modeli tanıtılır. Her bir döngü 1 (bir) saat için planlanmıştır. Oluşturulan sistem günün 24 saatini değerlendirecek şekilde hesap yapmaktadır. Sonraki adımda PV generatörün üretim bilgileri tahmin edilmektedir. Burada tahmin yöntemi olarak 3. bölümde uyguladığımız üç farklı yöntemden en başarılı model olan ANFIS seçilmiştir. ANFIS modelinden gelen tahmini üretim bilgileri sistem tarafından algılanır ve hesaplamalar bu tahmini bilgilere göre yapılır. Diğer generatörlerden gelen üretim bilgileri toplanarak sistemin toplam gücü hesaplanmış olur.



Şekil 4.1. Sistemin örnek akış şeması

İkinci olarak Bölüm 3'te önem sırasına göre sınıflandırılmış yükler, sistemin toplam gücüne göre hesaplanır. Üretim gücüne göre hangi yüklerin devreye alınacağını

hangilerinin devre dışı bırakılacağı ORPD yöntemi tarafından belirlenir. ORPD, sistemin üretim ve güç kaybı değerlerine göre en optimum yükleri seçer. Yük yönetim modeli olarak akıllı yük yönetim modeli seçilmiştir. Akıllı yük yönetim modeli A grubu yükler hariç diğer yükleri önem sırasına göre devreye alır veya devreden çıkarır. Çizelge EK-3.1’de IEEE 30 bara sisteminde öncelik sırasına göre sınıflandırılmış yükler ve bara güç değerleri görülmektedir.

Batarya gücü hariç hesaplanan toplam güç, 50 MW’lık eşik güce eşit olması veya daha düşük değerde olması durumunda sistem ACİL durum pozisyonuna geçer. ACİL durum ilan edilmesi halinde, sistem ihtiyaçları minimize edilecek şekilde, A grubu yükleri hariç diğer tüm yükler devre dışı bırakılır. Batarya grubu, felaket senaryoların oluşabilme ihtimaline karşı ve arıza durumu sonlandırılana kadar, yedek güç olarak bekletilir. Burada 50 MW’lık eşik güç değeri, Çizelge EK-3.1’de de görüleceği üzere A grubu kritik yüklerin toplam güç değerinin 1,25 katı olacak şekilde düzenlenmiştir. ACİL durumda sistem akış şeması devre dışı bırakılmış olup, duruma uygun çalışma sistemi uygulanmıştır.

Üçüncü olarak ORPD yöntemi devreye girer. Yük yönetim sisteminde ilk olarak yükler blok olarak devre dışı bırakılır. Sırasıyla yük bloklarının devre dışı bırakılma işlemi, yük gücünün toplam üretim gücünden küçük olması şartına bağlı olarak devam eder. Bu şartın sağlanması durumunda sistem, bir sonraki adıma geçer ve blok halinde yüklerin devre dışı bırakılma işlemi sonlandırılmış olur. Sistem, en son devre dışı bırakılan ve blok içerisindeki mikro yükleri üretim gücüne yaklaşacak ve aşmayacak şekilde sırasıyla devreye alır. En son bloktaki yüklerin devreye alınma işlemi, ORPD yöntemi tarafından optimum çözüm buluncaya kadar devam eder. Optimum çözüm bulunduktan sonra yüklerin devreye alınma işlemi tamamlanmış olur. Sistem tüm bu uygulamaları ve hangi yüklerin devreye alınması gerektiğini hafızaya alır kaydeder.

Son olarak gerçek üretim güçleri belirlendikten sonra, önceden hesaplanmış olan tahmini üretim güç ve gerçek üretim güç arasındaki fark güç hesaplanır. Daha önceden hafızaya alınmış yüklere, hesaplanan fark gücün değeri kadar yük eklenir veya çıkarılır. Burada fark gücün değerinde bir yük bulunamaması durumunda, sistem farklı kombinasyonlara giderek yeni yükler seçme kararını verebilecek şekilde dizayn edilmiştir.

ORPD yöntemi olarak Bölüm 3’te önerilen yöntemlerin karşılaştırmalı sonuçları arasında en başarılı yöntem olan ATA seçilmiştir. Bu algoritmanın hem 30’lu

bara sisteminde hem de 118'li bara sisteminde alınan sonuçlara göre başarısı kanıtlanmıştır.

Sistemi bir bütün olarak değerlendirecek olursak hedeflenen amaçları; gerçeğe yakın üretim tahmini, minimum güç kaybı ve işletme kabiliyetinin artırılması şeklinde sıralayabiliriz. Yük tahmin işleminde ANFIS, ORPD işleminde ATA ve yük yönetimi işleminde ise AYY yöntemleri seçilmiştir. Bu nedenle sistemi ANFIS+ATA+AYY hibrit modeli şeklinde tanımlayabiliriz. Çünkü oluşturulan modeldeki her bir çalışma, farklı amaçlar için kurgulanmış olmakla birlikte, sistemin tümünde her bir modelin artı değer kattığını rahatlıkla söyleyebiliriz.

Sistemde test amaçlı IEEE-30 bara test sistemi kullanılmıştır. Bu bara sistemi, önerilen modellerin/ algoritmaların etkinliğini, verimliliğini test etmek ve karşılaştırmak amacıyla kullanılmıştır. Bara sisteminde 6 generatör, 4 trafo ve 9 şönt reaktif kompanzasyon barası olmak üzere 19 kontrol değişkeni bulunmaktadır. 5 numaralı bara PV generatör, 11 numaralı bara ise batarya grubu olarak seçilmiştir. Generatörlerin isimleri bağlı buldukları baraya göre belirlenmiştir. Çizelge 4.1.'de IEEE-30 bara test sistemi generatör verileri verilmiştir.

Çizelge 4.1. IEEE-30 Bara Test Sistemi Generatör verileri

Bara	Pg (MW)	Qg	Qmax	Qmin	Vg	mBase	status	Pmax	Pmin
1	99.211	0	200	-20	1,05	100	1	200	50
2	80	0	100	-20	1,04	100	1	80	20
PV	50	0	80	-15	1,01	100	1	50	15
8	20	0	60	-15	1,01	100	1	35	10
Batarya	20	0	50	-10	1,05	100	1	30	10
13	20	0	60	-15	1,05	100	1	40	12

Sistemin farklı çalışma koşullarında test edilebilmesi için akış şemasına uygun 6 farklı senaryo üretilmiştir. Üretilen senaryolar aşağıda sıralanmıştır.

- **Senaryo 1**

Tüm üretim santralleri minimum üretim sınırında üretim yapar.

Bir numaralı senaryoda tüm üretim birimleri minimum üretim değerinde üretim yapar. Çizelge 4.2'de tahmin ve gerçek üretim değerleri gösterilmektedir. Toplam güce göre devreye alınacak yükler belirlenir. Yükler sonraki adımda kullanılmak üzere hafızaya alınır. Gerçek üretim bilgileri ile tahmini üretim birimleri karşılaştırılır. Üretim

tahmin modeli ANFIS %5,5 hata oranında üretim tahmini ile aradaki üretim farkı 0,825 MW olarak belirlenir.

Çizelge 4.2. Senaryo 1 tahmin ve gerçek üretim değerleri

	Gen. 1	Gen. 2	PV	Gen. 8	Batarya	Gen. 13	Toplam
Tahmin	50 MW	20 MW	15 MW	10 MW	10 MW	12 MW	117 MW
Gerçek	50 MW	20 MW	15,825 MW	10 MW	10 MW	12 MW	117,825 MW

Çizelge EK 4.1’de de gösterildiği gibi daha önce hafızaya alınan yüklerin durumuna göre yeni yük seçimi yapılır. Buna göre ilk durumda 28 numaralı bara B2 sınıfı 1,2 MW yük yerine 10 numaralı bara B2 sınıfı 2,3 MW’lık yük devreye alınmıştır. Diğer tüm yükler ilk durumdaki pozisyonunu korumuştur.

- **Senaryo 2**

Generatör 1, PV santrali ve Bataryalar minimum sınırdaki üretim yapar. Diğer generatörler arıza konumunda ve üretim yapamamaktadırlar. İki numaralı senaryoda tahmini 75 MW güce göre devreye alınacak yükler belirlenir. Çizelge 4.3’de tahmin ve gerçek üretim bilgileri verilmiştir. Çizelge EK 4.2’de de gösterildiği gibi yükler, sonraki adımda kullanılmak üzere hafızaya alınır. Gerçek üretim bilgileri ile tahmini üretim değerleri karşılaştırılır. ANFIS %4 hata oranında üretim tahmini ile üretim farkı 0,6 MW olarak belirlenir.

	Gen. 1	Gen. 2	PV	Gen. 8	Batarya	Gen. 13	Toplam
Tahmin	50 MW	0 MW	15 MW	0 MW	10 MW	0 MW	75 MW
Gerçek	50 MW	0 MW	15,6 MW	0 MW	10 MW	0 MW	75,6 MW

Çizelge 4.3. Senaryo 2 tahmin ve gerçek üretim değerleri

Daha önce hafızaya alınan yüklerin durumuna göre yeni yük seçimi yapılır. Buna göre ilk durumda 17 numaralı bara B2 sınıfı 5,15 MW yük yerine, 4 numaralı bara B2 sınıfı 2,4 MW’lık yük ve 10 numaralı bara B2 sınıfı 2,3 MW’lık yükler devreye alınmıştır. Diğer tüm yükler ilk durumdaki pozisyonunu korumuşlardır.

- **Senaryo 3**

PV üretim santrali hariç diğer generatörler devrede.

Üç numaralı senaryoda PV santrali hariç diğer tüm üretim birimleri devrede ve yükleri besler. Çizelge 4.4’de gösterildiği gibi toplam 239,211 MW güce göre devreye alınacak yükler belirlenir. Bu senaryoda PV üretim santrali devrede olmadığından yük tahmini yapılmamıştır. Çizelge EK 4.3’de gösterilen yükler sonraki adımda kullanılmak üzere hafızaya alınır. Gerçek üretim bilgilerine göre hafızadaki yükler hiçbir işleme tabi tutulmadan devreye alınır. Bu durumda devreye alınacak yükler önceden tespit edildiğinden sistem çok hızlı bir şekilde kararlı çalışmasını devam ettirir.

Çizelge 4.4. Senaryo 3 gerçek üretim değerleri

	Gen. 1	Gen. 2	PV	Gen. 8	Batarya	Gen. 13	Toplam
Gerçek	99,211 MW	80 MW	0 MW	20 MW	20 MW	20 MW	239,211 MW

- **Senaryo 4**

Generatör 1, PV santrali ve Bataryalar nominal üretim yapar. Diğer üretim generatörleri arıza konumunda ve üretim yapamamaktadırlar.

Dört numaralı senaryoda Generatör 1, PV santrali ve Bataryalar nominal üretim değerinde üretim yapar. Diğer generatörler arıza durumunda olduğundan üretim yapamıyorlar. Çizelge 4.5’te belirtildiği gibi toplam tahmini 169,211 MW güce göre devreye alınacak yükler belirlenir. 1 ve 2 numaralı senaryolardaki işlemlerin aynısı sırasıyla tekrarlanır. Üretim tahmin modeli ANFIS %4,5 hata oranında üretim tahmini ile aradaki üretim farkı 1,75 MW olarak belirlenir.

Çizelge 4.5. Senaryo 4 tahmin ve gerçek üretim değerleri

	Gen. 1	Gen. 2	PV	Gen. 8	Batarya	Gen. 13	Toplam
Tahmin	99,211 MW	0 MW	50 MW	0 MW	20 MW	0 MW	169,211 MW
Gerçek	99,211 MW	0 MW	48,25 MW	0 MW	20 MW	0 MW	167,461 MW

Çizelge EK 4.4’te gösterildiği gibi daha önce hafızaya alınan yüklerin değerine göre yeni yük seçimi yapılır. Buna göre ilk durumda 4 numaralı bara B2 sınıfı 2,4 MW yük, 10 numaralı bara B2 sınıfı 2,3 MW’lık yük ve 15 numaralı bara B2 sınıfı 2,5 MW’lık yükler yerine 12 numaralı bara B2 sınıfı 3,95 MW’lık yük devreye alınmıştır. Diğer tüm yükler ilk durumdaki pozisyonunu korumuşlardır.

- **Senaryo 5**

Generatör 1 hariç PV üretim santrali, Bataryalar, Generatör 2, Generatör 8 ve Generatör 19 devre dışı ve üretim yapamamaktadırlar.

Beş numaralı senaryoda 1 numaralı generatör hariç diğer tüm üretim birimleri devre dışı ve üretim yapamaz durumdadır. Çizelge 4.6 'da gösterildiği gibi toplam 99,211 MW güce göre devreye alınacak yükler belirlenir. Bu senaryoda PV üretim santrali devrede olmadığından yük tahmini yapılmamıştır. Bu senaryoda tek bir tane üretim santralinin sistemi beslemesi üzerine bir kurgu yapılmıştır.

Çizelge 4.5. Senaryo 5 gerçek üretim değerleri

	Gen. 1	Gen. 2	PV	Gen. 8	Batarya	Gen. 13	Toplam
Gerçek	99,211 MW	0 MW	0 MW	0 MW	0 MW	0 MW	99,211 MW

Çizelge EK 4.5'te de üretim gücüne göre devreye alınan yükler gösterilmiştir. Diğer senaryolarda olduğu gibi A sınıfı yükler devrede bırakılmıştır. Fakat genel olarak eğlence, sokak aydınlatması, ev aydınlatması ve bazı mağazaların elektriğinin kesintisi söz konusu olmuştur. Normalde sistem, belirlediğimiz felaket senaryolarına göre, nadiren bu tür durumlarla karşılaşır. Burada amaç sistemin karşılaşacağı zorlukları göstermektir.

- **Senaryo 6**

Generatör 1 minimum üretim değerinde üretim yapar. Bataryalar nominal üretim değerinde üretim yapar. Diğer generatörler arıza durumunda olduğundan dolayı üretim yapamaz durumdadır.

Çizelge 4.7. Senaryo 6 gerçek üretim değerleri

	Gen. 1	Gen. 2	PV	Gen. 8	Batarya	Gen. 13	Toplam
Gerçek	50 MW	0 MW	0 MW	0 MW	20 MW	0 MW	70 MW

Altı numaralı senaryoda tüm senaryolara nazaran felaket senaryosu olarak kurgulanmıştır. Akış şemasında da belirtildiği gibi batarya üretim değeri hariç diğer generatörlerin üretim değerinin 50 MW'lık eşik değerinden küçük veya eşit olması

durumunda sistem otomatik olarak ACİL durum pozisyonuna geçer. Çizelge 4.7'de senaryo 6'ya ait gerçek üretim değerleri verilmiştir.

Bu senaryoda bataryalar hariç üretim değerimiz 50 MW'a eşit olduğundan A grubu yükler hariç diğer tüm yükler devre dışı bırakılır. Çizelge EK 4.6'da devreye alınmış yükler gösterilmektedir. Bataryalar yedek güç olarak bekletilir. Felaket senaryosu geçinceye kadar ACİL durum pozisyonu devam eder. Eşik gücü olan 50 MW'lık güç, A sınıfı yüklerin 1,25 katı olacak şekilde seçilmiştir. Oluşturduğumuz sistemde öncelikli amaçlarımızdan bir tanesi A sınıfı yüklerin her şartta enerjisiz kalmamasıdır. Felaket senaryosuna göre en önemli yükler olarak sağlık, savunma ve iletişim yükleri belirlenmiştir.

Tüm senaryolara göre yükler öncelik sırasına göre seçilmiş olup sistem çalıştırılmıştır. Akıllı yük yönetim sisteminin bir parçası olan ORPD işlemi yük seçme işleminde önemli rol almıştır. Bloklar halinde devreden çıkarılan yükler haricinde, lokal yüklerin devreye alınmasında ORPD işleminin minimum güç kaybı önceliğine göre sistem çalıştırılmıştır. ORPD işlemi için ATA algoritmasının çalıştırıldığını söylemiştik. Bu algoritma ile ilgili tüm açıklamalar Bölüm 4'te yapılmıştır. Algoritmanın çalışma şartları olarak; popülasyon sayısı NP=50, iterasyon sayısı Lam(k)=1000 olarak seçilmiştir. Tüm senaryolar aynı koşullar altında çalıştırılmıştır ve durma kriteri fonksiyon değerlendirme sayısı (FEs) olarak belirlenmiştir. Her bir senaryo 10 kez çalıştırılmış olup Çizelge EK 4.7'de gösterilen güç kayıp değerleri bu çalıştırmaların ortalaması alınarak belirlenmiştir.

Altı farklı senaryo için P_{Loss} değeri çalışma süresi Çizelge 4.7'de gösterilmiştir. 1, 2 ve 4 numaralı senaryoların tahmini ve gerçek üretim değerleri için algoritma yeniden çalıştırılıp sonuçlar alınmıştır. Bahsi geçen senaryolar için algoritmanın gerçek üretim değerinde yeniden çalıştırılma işlemi, süreden bağımsız olup P_{Loss} değerinin karşılaştırmaya eklenmesi için yapılmıştır. Bu üç senaryonun gerçek üretim değeri için geçen süre, daha önce hafızaya alınan yüklerin yeni duruma göre uygun yüklerin seçilmesi için geçen süredir.

Tüm senaryoların P_{Loss} değeri incelendiğinde 6 numaralı senaryonun en yüksek güç kayıp değerine sahip olduğu görülür. Burada üretim merkezi olarak sadece 1 numaralı generatörün devrede olduğu ve tüm yüklerin bu noktadan beslenmeye mecbur bırakılması, bu yüksek miktarda güç kaybına sebep olduğu ihtimalini doğuruyor. Yükler besleme noktasından uzaklaştıkça güç kayıpları artar.

En düşük P_{Loss} değeri 4 numaralı senaryonun gerçek üretim değerinde gerçekleşmiştir. Tahmini üretim senaryolarının arasında en düşük çalıştırılma süresi 2 numaralı senaryoya aittir. Algoritmanın tüm çalıştırma şartları eşit koşullarda gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla ortaya çıkan süre farklılıkları tamamen algoritmanın o anki çalıştırılma şartları ve en iyiyi bulma çabasına bağlıdır. Tahmin senaryoları incelendiğinde, çalıştırılma süreleri arasında çok ciddi farklılıklar olmadığını söyleyebiliriz. Bu çalıştırma süreleri bir sonraki saatin planlaması için kurgulandığından operasyon süresine etki etmemektedir.

Gerçek üretim senaryoları incelendiğinde 2, 5 ve 6 numaralı senaryonun en düşük işletme zamanında seçilen yükleri devreye aldığı veya devreden çıkardığı görülmektedir. Burada PV üretim santralının devrede olmaması sürenin kısılmasında etken olduğu söylenebilir. Çünkü üretim ve talep miktarı bellidir ve hafızaya alınan yükler herhangi bir ekstra işleme tabi tutulmadan devreye alınır veya devreden çıkarılır. Bunun haricinde 2 numaralı senaryo, tahmin ve gerçek üretim arasında eşitsizlik olması durumunda, en iyi operasyon süresine sahiptir.

Sistemin tümü değerlendirilecek olursa, birbirinden bağımsız üç farklı amaç hedeflenmiştir. Fakat bu tez çalışmasında bu üç farklı amaç tek bir amaca yönlendirilecek şekilde bir arada kullanılmıştır. Her birinin avantajları kullanılarak sistemin tümüne fayda sağlaması hedeflenmiştir. Neticede ortaya sistemin işletme kabiliyetini, kararlılığını, gerilim ve frekansını etkileyecek bir sonuç ortaya çıkmıştır. Üretim değerine göre yüklerin, kritik yüklerden daha az kritik yüklere doğru devreden çıkarılması işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem yapılırken bir sonraki saatin işletim planı oluşturulmuştur. Tahmini üretim değerlerine göre devreye alınacak yükler seçilip sistemin hafızasına kaydedilmiştir. Gerçek üretim değeri belirlendikten sonra hafızada kaydedilmiş olan yükler, çok daha kısa bir sürede devreye alınmış veya çıkarılmıştır. Sonuç olarak sistemin işletme kabiliyeti, bir önceki duruma oranla çok ciddi bir artış göstermiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Güç sisteminin işletilmesi gün geçtikçe daha karmaşık bir hal almaktadır. Klasik şebekeler; büyüyen, gelişen teknoloji ile birlikte ihtiyaçlara cevap vermekte yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle akıllı şebeke çalışmaları güç sisteminin iyileştirilmesi açısından çok önemlidir. Akıllı şebekenin birden çok bileşeni vardır. Yenilenebilir enerji kaynakları, enerji depolama sistemleri, elektrikli araçlar, otomasyon sistemleri, yönetim ve karar verme birimleri gibi birçok bileşen sayılabilir. Bunların şebekeye dâhil olması, avantajları ile birlikte birçok dezavantajı da beraberinde getirmektedir.

Bu tez çalışmasında akıllı şebeke mimarisine katkı sağlayacağı düşünülen üç konu başlığı ele alınmıştır. İlk olarak yük tahmini konusu çalışılmıştır. Kullanımı yaygın ve doğrulukları kabul görmüş üç farklı tahmin yöntemi karşılaştırılmıştır. Kullanılan tahmin modelleri, farklı çalışma mantığından seçilmiştir. İstatistiksel bir yöntem olan regresyon modeli, sinir ağları temelli YSA ve bulanık mantık temelli ANFIS metodlarının sonuçları karşılaştırılmıştır. Tahmin modellerinde kullanılan veriler; Konya Meteoroloji Bölge Müdürlüğü, Türkiye İstatistik Kurumu ve Konya Elektrik İletim Şirketi'nden temin edilen gerçek verilerdir. Oluşturulan tahmin modellerinde maksimum sıcaklık, ortalama sıcaklık, maksimum rüzgâr hızı, ortalama rüzgâr hızı, nüfus ve nem verileri kullanılmıştır. Her bir veri grubu setinde, 36 veri seti bulunmaktadır. Bu veri setlerinden 27 tanesi eğitim veri seti, 9 tanesi de test veri seti olarak rastgele seçilmiştir. MAPE değerlendirme ölçütüne göre ANFIS Gaussmf yöntemi %3,94'lük yaklaşık tahmin değeri ile en başarılı sonucu vermiştir.

İkinci olarak literatüre yeni kazandırılmış olan ATA ve KSA optimizasyon yöntemleri, ORPD problemine uyarlanmıştır. IEEE-30 ve IEEE-118 bara test sistemleri önerilen algoritmaların etkinliğini ölçmek ve karşılaştırmak için kullanılmıştır. IEEE-30 bara sistemi kullanılarak ATA ve KSA algoritmalarının sonuçları literatürdeki diğer sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre ATA ve KSA algoritmalarının başarılı olduğu söylenebilir. ATA algoritması 4.572 MW'luk P_{Loss} kayıp değeri ile literatürdeki birçok yöntemden daha başarılı olmuştur.

Aynı algoritmaların başarısı daha büyük bir sistem olan IEEE-118 bara sisteminde denenmiştir. Algoritmalarından alınan sonuçlar literatürdeki diğer sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde ATA'nın 119.543 MW P_{Loss} kayıp değeri ile en başarılı algoritma olduğu görülmüştür. KSA algoritması ise ikinci en iyi değeri

vermiştir. Buradan ATA'nın büyük güçlü bara sistemlerinde daha başarılı olduğu sonucu çıkarılabilir.

Üçüncü olarak akıllı şebekelerde önemli bir problem olan yük yönetimi konusu çalışılmıştır. Mevcut geleneksel yöntemlerin dezavantajları nedeniyle yük atma miktarını azaltmak ve sistemin dengesini korumak için bu çalışmada akıllı yük atma sistemi yük atma yöntemi olarak tercih edilmiştir. IEEE-30 bara yükleri, öncelik sırasına göre dört ana gruba ayrılmıştır. Her grupta üç alt yük kategorisi bulunmaktadır. Sistemin üretim gücüne göre yükler blok halinde devreden çıkarılmaktadır. Yük talep gücü, üretim gücünden daha düşük seviyeye düştüğünde son devreden ayrılan yük grubundan optimum güç kaybı değerine göre yükler devreye alınmaktadır. Böylelikle devreden yük atma veya yük alma işlemi gerçekleştirilmiş olmaktadır.

Yukarıda bahsi geçen üç konu bu tez çalışmasında tek bir amaç için bir araya getirilerek optimum çözümler hedeflenmiştir. Oluşturulan sistemde yük tahmin işlemini yapmak için ANFIS yöntemi, ORPD işlemini yapmak için ATA optimizasyon yöntemi ve yük yönetim işlemini yapmak için AYY yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntemlerin bir araya getirilmesinden; yüksek doğrulukta tahmin, sistem güç kaybının azaltılması ve işletme kabiliyetinin artırılması hedef olarak belirlenmiştir. Literatürde yapılan araştırmalar sonucunda adı geçen yöntemlerin bir araya getirilmesinden oluşan bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Oluşturulan sistemin çalışma sınırlarını test etmek için 6 farklı senaryo kurgulanmıştır. Bu senaryolara göre sistem, MATLAB sayısal hesaplama programında, çalıştırılıp sonuçlar alınmıştır. Tüm senaryoların P_{Loss} değeri incelendiğinde 6 numaralı senaryonun en yüksek güç kayıp değerine sahip olduğu görülmüştür. En düşük P_{Loss} değeri 4 numaralı senaryonun gerçek üretim değerinde gerçekleşmiştir.

Tahmini üretim senaryolarının sonuçları arasında en düşük çalıştırılma süresinin 2 numaralı senaryoya ait olduğu tespit edilmiştir. Tahmin senaryoları incelendiğinde, çalıştırılma süreleri arasında çok ciddi farklılıkların olmadığı söylenebilir.

Gerçek üretim senaryolarına göre 2, 5 ve 6 numaralı senaryoların en düşük çalışma zamanına sahip oldukları görülmektedir. Burada PV üretim santralının devrede olmamasının, sürenin kısılmasında etken olduğu söylenebilir.

Bir bütün olarak sistemi değerlendirecek olursak, birbirinden bağımsız üç farklı yöntemin avantajları kullanılarak, sistemin maksimum fayda sağlaması hedeflenmiştir. Üretim değerine göre yüklerin, kritik yüklerden daha az kritik yüklere doğru devreden

çıkartılması işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem yapılırken bir sonraki saatin işletim planı oluşturulmuştur. Tahmini üretim değerlerine göre devreye alınacak yükler seçilip sistemin hafızasına kaydedilmiştir. Gerçek üretim değeri belirlendikten sonra hafızada kaydedilmiş olan yükler, çok daha kısa bir sürede devreye alınmış veya devreden çıkarılmıştır. Sonuç olarak sistemin işletme kabiliyetinin ciddi oranda arttığı elde edilen sonuçlardan anlaşılmıştır.

5.2 Öneriler

Yük tahmininde literatüre yeni kazandırılmış yöntemler kullanılarak sistemin verimi daha da arttırılabilir. Aynı durum ORPD problemine yeni optimizasyon yöntemlerinin uyarlanması durumunda da geçerli olacaktır. Tahmin işlemi yenilenebilir enerji kaynakları için daha büyük önem arz etmektedir. Günümüz şebeke sistemlerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının üretim oranı çok düşük olduğundan yük atma işlemi sistemin tümünü etkileyecek büyüklükte olmamaktadır. Fakat yenilenebilir enerji kaynaklarının üretim miktarı arttıkça bu çalışmada yapılan akıllı yük atma yönteminin etkinliği artacaktır.

KAYNAKLAR

- Akbal, B., Aydın, M. J. T. J. E. E. ve Sciences, C., 2015, Multilevel thresholding and artificial intelligence methods to detect the thickness of iced conductor in ambient conditions.
- Akbal, B., 2016, Hybrid ANN methods to reduce the sheath current effects in high voltage underground cable line, *2016 4th International Istanbul Smart Grid Congress and Fair (ICSG)*, 1-5.
- Amin, S. M., 2010, Electricity infrastructure security: Toward reliable, resilient and secure cyber-physical power and energy systems, *IEEE PES General Meeting*, 1-5.
- Amjady, N. J. I. T. o. P. S., 2001, Short-term hourly load forecasting using time-series modeling with peak load estimation capability, *16 (3)*, 498-505.
- Anne, H. J. E. ve Technology, 2009, Smart grid thinking, *3*, 46-49.
- Aoki, K., Fan, M. ve Nishikori, A. J. I. T. o. p. S., 1988, Optimal VAR planning by approximation method for recursive mixed-integer linear programming, *3 (4)*, 1741-1747.
- Asgeirsson, H., 2010, Distribution automation—The foundation for the smart grid at DTE energy, *IEEE PES General Meeting*, 1-3.
- Aslan, M., Beskirli, M., Kodaz, H. ve Kıran, M. S. J. I. J. M. L. C., 2018, An improved tree seed algorithm for optimization problems, *8 (1)*, 20-25.
- Ayan, K., Kılıç, U., Baraklı, B. J. I. J. o. E. P. ve Systems, E., 2015, Chaotic artificial bee colony algorithm based solution of security and transient stability constrained optimal power flow, *64*, 136-147.
- Badar, A. Q., Umre, B., Junghare, A. J. I. J. o. E. P. ve Systems, E., 2012, Reactive power control using dynamic particle swarm optimization for real power loss minimization, *41 (1)*, 133-136.
- Baghela, R., Kashyapa, Y., Pandeya, R. J. I. J. o. C. E. ve Technology, 2013, Neuro-Fuzzy Logic Approach for Electric Load Forecasting of CSPGCL Thermal Units, *1549-1552*.
- Bagis, A. J. I. t., 2008, Fuzzy rule base design using tabu search algorithm for nonlinear system modeling, *47 (1)*, 32-44.
- Bai, D., He, J., Yang, X., Kirby, B., Writer, D. ve Liu, L., 2013, Under frequency load shedding scheme based on information sharing technology.

- Bai, X.-m., Jun-xia, M. ve Zhu, N.-h., 2010, Functional analysis of advanced metering infrastructure in smart grid, *2010 International Conference on Power System Technology*, 1-4.
- Bakirtzis, A., Petridis, V., Kiartzis, S., Alexiadis, M. ve Maissis, A. J. I. T. o. p. s., 1996, A neural network short term load forecasting model for the Greek power system, 11 (2), 858-863.
- Bakirtzis, A. G., Biskas, P. N., Zoumas, C. E. ve Petridis, V. J. I. T. o. p. S., 2002, Optimal power flow by enhanced genetic algorithm, 17 (2), 229-236.
- Balu, C. W. T. N. J. ve Maratukulam, D., 1994, Power system voltage stability, McGraw-Hill, p.
- Bambaravanage, T., Kumarawadu, S., Rodrigo, A. ve Arachchige, L. N. W., 2013, Under-frequency load shedding for power systems with high variability and uncertainty, *2013 IEEE International Conference on Signal Processing, Computing and Control (ISPCC)*, 1-6.
- Ben Hmida, J., Javad Morshed, M., Lee, J. ve Chambers, T. J. E., 2018, Hybrid imperialist competitive and grey wolf algorithm to solve multiobjective optimal power flow with wind and solar units, 11 (11), 2891.
- ben oualid Medani, K., Sayah, S. ve Bekrar, A. J. E. P. S. R., 2018, Whale optimization algorithm based optimal reactive power dispatch: A case study of the Algerian power system, 163, 696-705.
- Bi, T., Liu, S., Huang, Z. ve Hadjsaid, N., 2010, The implication and implementation of smart grid in China, *IEEE PES General Meeting*, 1-5.
- Binduhewa, P., Renfrew, A. ve Barnes, M., 2008, Ultracapacitor energy storage for MicroGrid micro-generation.
- Bouffard, F., 2010, The challenge with building a business case for smart grids, *IEEE PES General Meeting*, 1-3.
- Boyes, J. D. ve Clark, N. H., 2000, Technologies for energy storage. Flywheels and super conducting magnetic energy storage, *2000 Power Engineering Society Summer Meeting (Cat. No. 00CH37134)*, 1548-1550.
- Burger, E. M., Moura, S. J. J. E. ve Buildings, 2015, Gated ensemble learning method for demand-side electricity load forecasting, 109, 23-34.
- Cai, H., Chung, C. ve Wong, K. J. I. T. o. P. S., 2008, Application of differential evolution algorithm for transient stability constrained optimal power flow, 23 (2), 719-728.
- Carter, R., Ault, G. ve Kockar, I., 2010, Techniques for assessing the value of energy storage in the transition to and operation of SmartGrids, *IEEE PES General Meeting*, 1-4.

- Chanda, S., De, A. J. I. J. o. E. P. ve Systems, E., 2014, A multi-objective solution algorithm for optimum utilization of smart grid infrastructure towards social welfare, 58, 307-318.
- Chen, B.-J. ve Chang, M.-W. J. I. t. o. p. s., 2004, Load forecasting using support vector machines: A study on EUNITE competition 2001, 19 (4), 1821-1830.
- Chen, G., Yi, X., Zhang, Z. ve Lei, H. J. E., 2018, Solving the Multi-Objective Optimal Power Flow Problem Using the Multi-Objective Firefly Algorithm with a Constraints-Prior Pareto-Domination Approach, 11 (12), 3438.
- Chen, Y., Luh, P. B., Guan, C., Zhao, Y., Michel, L. D., Coolbeth, M. A., Friedland, P. B. ve Rourke, S. J. J. I. T. o. P. S., 2009, Short-term load forecasting: Similar day-based wavelet neural networks, 25 (1), 322-330.
- Cho, M., Hwang, J. ve Chen, C., 1995, Customer short term load forecasting by using ARIMA transfer function model, *Proceedings 1995 International Conference on Energy Management and Power Delivery EMPD'95*, 317-322.
- Christiaanse, W. J. I. T. o. P. A. ve Systems, 1971, Short-term load forecasting using general exponential smoothing, (2), 900-911.
- Coelho, M. C., Oening, A. P. ve Aoki, A. R., 2013, A new approach based on coupled map lattices for load forecasting in smart grids, *2013 IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Latin America)*, 1-4.
- Conejo, A. J., Plazas, M. A., Espinola, R. ve Molina, A. B. J. I. t. o. p. s., 2005, Day-ahead electricity price forecasting using the wavelet transform and ARIMA models, 20 (2), 1035-1042.
- Crow, M. L., McMillin, B., Wang, W. ve Bhattacharyya, S., 2010, Intelligent energy management of the FREEDM system, *IEEE PES General Meeting*, 1-4.
- Dai, C., Chen, W., Zhu, Y. ve Zhang, X. J. I. T. o. p. s., 2009, Seeker optimization algorithm for optimal reactive power dispatch, 24 (3), 1218-1231.
- David, C. Y., Fagan, J. E., Foote, B. ve Aly, A. A. J. E. P. S. R., 1986, An optimal load flow study by the generalized reduced gradient approach, 10 (1), 47-53.
- Davidson, E., Catterson, V. ve McArthur, S., 2010, The role of intelligent systems in delivering the Smart Grid, *IEEE PES General Meeting*, 1-6.
- de Sousa, V., Baptista, E. C. ve Da Costa, G. J. E. P. S. R., 2012, Optimal reactive power flow via the modified barrier Lagrangian function approach, 84 (1), 159-164.
- Deeb, N. ve Shahidehpour, S. J. E. p. s. r., 1988, An efficient technique for reactive power dispatch using a revised linear programming approach, 15 (2), 121-134.

- Dozio, G., Rivero, A., Bernaschina, A., Rivola, D., Medici, V. ve Montú, G., 2015, HAC: hardware design for a smart-home and smart-grid decentralised load management system, *2015 IEEE 24th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, 699-704.
- Dugan, R., Arritt, R., McDermott, T., Brahma, S. ve Schneider, K., 2010, Distribution system analysis to support the smart grid, *IEEE PES General Meeting*, 1-8.
- Duman, S., Sönmez, Y., Güvenç, U., Yörükeren, N. J. I. g., transmission ve distribution, 2012, Optimal reactive power dispatch using a gravitational search algorithm, 6 (6), 563-576.
- Engle, R. F., Mustafa, C. ve Rice, J. J. J. o. f., 1992, Modelling peak electricity demand, 11 (3), 241-251.
- Erol-Kantarci, M. ve Mouftah, H. T., 2012, Supply and load management for the smart distribution grid using wireless networks, *2012 Japan-Egypt Conference on Electronics, Communications and Computers*, 145-150.
- Ertugrul, Ö. F. J. I. J. o. E. P. ve Systems, E., 2016, Forecasting electricity load by a novel recurrent extreme learning machines approach, 78, 429-435.
- Eusuff, M., Lansey, K. ve Pasha, F. J. E. o., 2006, Shuffled frog-leaping algorithm: a memetic meta-heuristic for discrete optimization, 38 (2), 129-154.
- Evora, J., Hernandez, J. J. ve Hernandez, M. J. E. S. w. A., 2015, A MOPSO method for direct load control in smart grid, 42 (21), 7456-7465.
- Feng, L., He, J., Kong, Q. ve Guo, L., 2006, Application of multi-objective algorithm based on particle swarm optimization in electrical short-term load forecasting, *2006 International Conference on Power System Technology*, 1-5.
- Granada, M., Rider, M. J., Mantovani, J. ve Shahidehpour, M. J. E. P. S. R., 2012, A decentralized approach for optimal reactive power dispatch using a Lagrangian decomposition method, 89, 148-156.
- Granville, S. J. I. T. o. p. s., 1994, Optimal reactive dispatch through interior point methods, 9 (1), 136-146.
- Guan, C., Luh, P. B., Michel, L. D., Wang, Y. ve Friedland, P. B. J. I. T. o. P. S., 2012, Very short-term load forecasting: wavelet neural networks with data pre-filtering, 28 (1), 30-41.
- Hagan, M. T. ve Behr, S. M. J. I. T. o. P. S., 1987, The time series approach to short term load forecasting, 2 (3), 785-791.
- Haida, T. ve Muto, S. J. I. T. o. P. S., 1994, Regression based peak load forecasting using a transformation technique, 9 (4), 1788-1794.

- Hippert, H. S., Pedreira, C. E. ve Souza, R. C. J. I. T. o. p. s., 2001, Neural networks for short-term load forecasting: A review and evaluation, 16 (1), 44-55.
- Ho, K.-L., Hsu, Y.-Y., Chen, C.-F., Lee, T.-E., Liang, C.-C., Lai, T.-S. ve Chen, K.-K. J. I. T. o. P. S., 1990, Short term load forecasting of Taiwan power system using a knowledge-based expert system, 5 (4), 1214-1221.
- Hossain, M. R., Oo, A. M. T. ve Ali, A. S., 2010, Evolution of smart grid and some pertinent issues, *2010 20th Australasian Universities Power Engineering Conference*, 1-6.
- Hu, J., Duan, J., Ma, H. ve Chow, M.-Y. J. I. T. o. I. E., 2017, Distributed adaptive droop control for optimal power dispatch in DC microgrid, 65 (1), 778-789.
- Huang, C.-M., Huang, C.-J. ve Wang, M.-L. J. I. T. o. P. S., 2005, A particle swarm optimization to identifying the ARMAX model for short-term load forecasting, 20 (2), 1126-1133.
- Huang, C.-M., Chen, S.-J., Huang, Y.-C., Yang, H.-T. J. I. g., transmission ve distribution, 2012, Comparative study of evolutionary computation methods for active–reactive power dispatch, 6 (7), 636-645.
- Hubele, N. ve Cheng, C.-S. J. I. T. o. P. S., 1990, Identification of seasonal short-term load forecasting models using statistical decision functions, 5 (1), 40-45.
- Hyde, O. ve Hodnett, P. J. I. T. o. P. S., 1997, An adaptable automated procedure for short-term electricity load forecasting, 12 (1), 84-94.
- Jain, A. ve Satish, B., 2009, Clustering based short term load forecasting using support vector machines, *2009 IEEE Bucharest PowerTech*, 1-8.
- Javed, F., Arshad, N., Wallin, F., Vassileva, I. ve Dahlquist, E. J. A. E., 2012, Forecasting for demand response in smart grids: An analysis on use of anthropologic and structural data and short term multiple loads forecasting, 96, 150-160.
- Jeyadevi, S., Baskar, S., Babulal, C., Iruthayarajan, M. W. J. I. J. o. E. P. ve Systems, E., 2011, Solving multiobjective optimal reactive power dispatch using modified NSGA-II, 33 (2), 219-228.
- Kandil, N., Wamkeue, R., Saad, M. ve Georges, S., 2006, An efficient approach for shorterm load forecasting using artificial neural networks, *2006 IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, 1928-1932.
- Khan, A. R., Mahmood, A., Safdar, A., Khan, Z. A., Khan, N. A. J. R. ve Reviews, S. E., 2016, Load forecasting, dynamic pricing and DSM in smart grid: A review, 54, 1311-1322.
- Khazali, A., Kalantar, M. J. I. J. o. E. P. ve Systems, E., 2011, Optimal reactive power dispatch based on harmony search algorithm, 33 (3), 684-692.

- Khorsandi, A., Alimardani, A., Vahidi, B., Hosseinian, S. J. I. g., transmission ve distribution, 2011, Hybrid shuffled frog leaping algorithm and Nelder–Mead simplex search for optimal reactive power dispatch, 5 (2), 249-256.
- Khwaja, A., Naeem, M., Anpalagan, A., Venetsanopoulos, A. ve Venkatesh, B. J. E. P. S. R., 2015, Improved short-term load forecasting using bagged neural networks, 125, 109-115.
- Kılıç, U., Ayan, K. J. I. J. o. E. P. ve Systems, E., 2013, Optimizing power flow of AC–DC power systems using artificial bee colony algorithm, 53, 592-602.
- Kipli, K., Muhammad, M. S., Masra, S. M. W., Zamhari, N., Lias, K. ve Mat, D. A. A., 2012, Performance of Levenberg-Marquardt backpropagation for full reference hybrid image quality metrics, *Proceedings of International Conference of Multi-Conference of Engineers and Computer Scientists (IMECS'12)*.
- Kiran, M. S. J. E. S. w. A., 2015, TSA: Tree-seed algorithm for continuous optimization, 42 (19), 6686-6698.
- Koprinska, I., Rana, M. ve Agelidis, V. G., 2011, Yearly and seasonal models for electricity load forecasting, *The 2011 International Joint Conference on Neural Networks*, 1474-1481.
- Lauby, M. G., 2010, Reliability considerations for application of smart grid technologies, *IEEE PES General Meeting*, 1-4.
- Lee, P. ve Lai, L., 2010, A practical approach of smart metering integration in micro-grid, *IEEE PES General Meeting*, 1-5.
- Li, Y., Wu, Q., Jiang, L., Yang, J. ve Xu, D. J. I. T. o. P. S., 2015, Optimal power system dispatch with wind power integrated using nonlinear interval optimization and evidential reasoning approach, 31 (3), 2246-2254.
- Liu, N., Tang, Q., Zhang, J., Fan, W. ve Liu, J. J. A. E., 2014, A hybrid forecasting model with parameter optimization for short-term load forecasting of micro-grids, 129, 336-345.
- Lo, K. ve Zhu, S. J. E. p. s. r., 1991, A decoupled quadratic programming approach for optimal power dispatch, 22 (1), 47-60.
- Mahadevan, K. ve Kannan, P. J. A. s. c., 2010, Comprehensive learning particle swarm optimization for reactive power dispatch, 10 (2), 641-652.
- Mak, S. T., 2010, Knowledge based architecture serving as a rigid framework for smart grid applications, *2010 Innovative Smart Grid Technologies (ISGT)*, 1-8.
- Mastorocostas, P., Theocharis, J., Kiartzis, S., Bakirtzis, A. J. M. ve Simulation, C. i., 2000, A hybrid fuzzy modeling method for short-term load forecasting, 51 (3-4), 221-232.

- Mishra, S. ve Patra, S. K., 2008, Short term load forecasting using neural network trained with genetic algorithm & particle swarm optimization, *2008 First International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology*, 606-611.
- Moghaddas-Tafreshi, S., 2008, A linear regression-based study for temperature sensitivity analysis of Iran electrical load, *2008 IEEE International Conference on Industrial Technology*, 1-7.
- Moghram, I. ve Rahman, S. J. I. T. o. p. s., 1989, Analysis and evaluation of five short-term load forecasting techniques, 4 (4), 1484-1491.
- Mohamed, A. ve Khan, M. T. J. J. o. E. i. S. A., 2009, A review of electrical energy management techniques: supply and consumer side (industries), 20 (3), 14-21.
- Mollah, K. ve Nair, N. C., 2010, Coordinated strategy for under-voltage and under-frequency load shedding, *2010 20th Australasian Universities Power Engineering Conference*, 1-6.
- Mouassa, S., Bouktir, T., Salhi, A. J. E. s. ve technology, a. i. j., 2017, Ant lion optimizer for solving optimal reactive power dispatch problem in power systems, 20 (3), 885-895.
- Mukherjee, A., Mukherjee, V. J. I. G., Transmission ve Distribution, 2015, Solution of optimal reactive power dispatch by chaotic krill herd algorithm, 9 (15), 2351-2362.
- Muralidharan, S., Roy, A. ve Saxena, N., 2014, Stochastic hourly load forecasting for smart grids in korea using narx model, *2014 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*, 167-172.
- Muralitharan, K., Sakthivel, R. ve Shi, Y. J. N., 2016, Multiobjective optimization technique for demand side management with load balancing approach in smart grid, 177, 110-119.
- Nair, R. P., 2011, Proposed System for a Smart Grid Implementation at Oklahoma State University, *Oklahoma State University*.
- Nelson, T. ve FitzPatrick, G., 2010, NIST role in the interoperable Smart Grid, *IEEE PES General Meeting*, 1-3.
- Niknam, T., Narimani, M. R., Azizipanah-Abarghooee, R. ve Bahmani-Firouzi, B. J. I. S. j., 2013, Multiobjective optimal reactive power dispatch and voltage control: a new opposition-based self-adaptive modified gravitational search algorithm, 7 (4), 742-753.
- Papalexopoulos, A. D. ve Hesterberg, T. C. J. I. T. o. P. S., 1990, A regression-based approach to short-term system load forecasting, 5 (4), 1535-1547.

- Papalexopoulos, A. D., Hao, S. ve Peng, T.-M. J. I. t. o. P. S., 1994, An implementation of a neural network based load forecasting model for the EMS, 9 (4), 1956-1962.
- Peng, T., Hubele, N. ve Karady, G. J. I. T. o. P. S., 1992, Advancement in the application of neural networks for short-term load forecasting, 7 (1), 250-257.
- Polprasert, J., Ongsakul, W., Dieu, V. N. J. E. P. C. ve Systems, 2016, Optimal reactive power dispatch using improved pseudo-gradient search particle swarm optimization, 44 (5), 518-532.
- qiang Hou, L., lin Yang, S., jia Wang, X. ve zhou Liu, H., 2012, Load forecasting based on weighted kernel partial least squares algorithm in smart grid.
- Quan, H., Srinivasan, D., Khosravi, A. J. I. t. o. n. n. ve systems, l., 2013, Short-term load and wind power forecasting using neural network-based prediction intervals, 25 (2), 303-315.
- Rahimi, F. ve Ipakchi, A., 2010, Overview of demand response under the smart grid and market paradigms, *2010 Innovative Smart Grid Technologies (ISGT)*, 1-7.
- Rahman, S. ve Bhatnagar, R. J. I. T. o. P. S., 1988, An expert system based algorithm for short term load forecast, 3 (2), 392-399.
- Ranaweera, D., Hubele, N., Karady, G. J. I. j. o. e. p. ve systems, e., 1996, Fuzzy logic for short term load forecasting, 18 (4), 215-222.
- Rashedi, E., Nezamabadi-Pour, H. ve Saryazdi, S. J. I. s., 2009, GSA: a gravitational search algorithm, 179 (13), 2232-2248.
- Raza, M. Q., Ali, M., Tareen, N., ur Rehman, W., Khan, A., Asar, A. U. J. E. ve Engineering, P., 2012, Intelligent load shedding using TCP/IP for smart grids, 4 (06), 398.
- Raza, M. Q., Khosravi, A. J. R. ve Reviews, S. E., 2015, A review on artificial intelligence based load demand forecasting techniques for smart grid and buildings, 50, 1352-1372.
- Robbins, B. A. ve Domínguez-García, A. D. J. I. T. o. P. S., 2015, Optimal reactive power dispatch for voltage regulation in unbalanced distribution systems, 31 (4), 2903-2913.
- Rodriguez, G. D., 2010, A utility perspective of the role of energy storage in the smart grid, *IEEE PES General Meeting*, 1-2.
- Ruzic, S., Vuckovic, A. ve Nikolic, N. J. I. T. o. P. S., 2003, Weather sensitive method for short term load forecasting in electric power utility of Serbia, 18 (4), 1581-1586.

- Shams, N., Wall, P. ve Terzija, V., 2015, Adaptive under frequency load shedding scheme based on dynamic security assessment.
- ShangDong, Y. ve Xiang, L., 2006, A new ANN optimized by improved PSO algorithm combined with chaos and its application in short-term load forecasting, *2006 International Conference on Computational Intelligence and Security*, 945-948.
- Shayeghi, H., Ghasemi, A., Moradzadeh, M., Nooshyar, M. J. E. c. ve management, 2015, Simultaneous day-ahead forecasting of electricity price and load in smart grids, *95*, 371-384.
- Shi, L., Wang, C., Yao, L., Ni, Y. ve Bazargan, M. J. I. S. J., 2011, Optimal power flow solution incorporating wind power, *6 (2)*, 233-241.
- Skolthanasarat, S., Lewlompaisarl, U. ve Tungpimolrut, K., 2014, Short-term load forecasting algorithm and optimization in smart grid operations and planning, *2014 IEEE Conference on Technologies for Sustainability (SusTech)*, 165-171.
- Soares, J., Ghazvini, M. A. F., Vale, Z. ve de Moura Oliveira, P. J. A. e., 2016, A multi-objective model for the day-ahead energy resource scheduling of a smart grid with high penetration of sensitive loads, *162*, 1074-1088.
- Song, K.-B., Baek, Y.-S., Hong, D. H. ve Jang, G. J. I. t. o. p. s., 2005, Short-term load forecasting for the holidays using fuzzy linear regression method, *20 (1)*, 96-101.
- Sönmez, İ., 2015, Seydişehir bölgesinin orta vadedeki elektrik enerjisi talebinin yapay zeka ile tahmini, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Srivastava, L., Singh, H. J. I. G., Transmission ve Distribution, 2015, Hybrid multi-swarm particle swarm optimisation based multi-objective reactive power dispatch, *9 (8)*, 727-739.
- Sugeno, M., Kang, G. J. F. s. ve systems, 1988, Structure identification of fuzzy model, *28 (1)*, 15-33.
- Tehzeeb-UI-Hassan, H., Zafar, R., Mohsin, S. A., Lateef, O. J. I. J. o. E. P. ve Systems, E., 2012, Reduction in power transmission loss using fully informed particle swarm optimization, *43 (1)*, 364-368.
- Vajpayee, E. A. ve Dubey, V., A Review on Electricity Load forecasting using data Mining.
- Vale, Z., Morais, H. ve Khodr, H., 2010, Intelligent multi-player smart grid management considering distributed energy resources and demand response, *IEEE PES General Meeting*, 1-7.
- Villalba, S. A. ve Bel, C. A. J. I. T. o. P. D., 2000, Hybrid demand model for load estimation and short term load forecasting in distribution electric systems, *15 (2)*, 764-769.

- Willis, H. L., Schauer, A., Northcote-Green, J., Vismor, T. J. I. T. o. p. a. ve systems, 1983, Forecasting distribution system loads using curve shape clustering, (4), 893-901.
- Wolfs, P. ve Isalm, S., 2009, Potential barriers to smart grid technology in Australia, *2009 Australasian Universities Power Engineering Conference*, 1-6.
- Wu, L., Shahidehpour, M. J. I. G., Transmission ve Distribution, 2014, A hybrid model for integrated day-ahead electricity price and load forecasting in smart grid, 8 (12), 1937-1950.
- Yang, J.-f. ve Cheng, H.-z. J. E. P. A. E., 2004, Application of SVM to power system short-term load forecast, 24 (2), 30-32.
- Yapıcı, H., Çetinkaya, N. J. I. J. f. E. ve Engineering, E., 2016, Reactive Power Optimization with Chaotic Firefly Algorithm and Particle Swarm Optimization in A Distribution Subsystem Network, 12 (1), 71-78.
- Yapıcı, H. ve Çetinkaya, N. J. M. P. i. E., 2017, An improved particle swarm optimization algorithm using eagle strategy for power loss minimization, 2017.
- Yuancheng, L., Tingjian, F. ve Erkeng, Y., 2002, Short-term electrical load forecasting using least squares support vector machines, *Proceedings. International Conference on Power System Technology*, 230-233.
- Yusof, N., Mokhlis, H., Karimi, M., Laghari, J., Illias, H. ve Sapari, N., 2014, Under-voltage load shedding scheme based on voltage stability index for distribution network.
- Zhang, W.-l., Liu, Z.-z., Wang, M.-j. ve Yang, X.-s. J. P. S. T., 2009, Research status and development trend of smart grid [J], 13 (4).
- Zhang, Y. ve van der Schaar, M., 2014, Structure-aware stochastic load management in smart grids, *IEEE INFOCOM 2014-IEEE Conference on Computer Communications*, 2643-2651.
- Zhao, B., Guo, C. ve Cao, Y. J. I. t. o. p. s., 2005, A multiagent-based particle swarm optimization approach for optimal reactive power dispatch, 20 (2), 1070-1078.
- Zhihuan, L., Yinhong, L., Xianzhong, D. J. I. g., transmission ve distribution, 2010, Non-dominated sorting genetic algorithm-II for robust multi-objective optimal reactive power dispatch, 4 (9), 1000-1008.
- Zhou, B., Chan, K. W., Yu, T., Wei, H. ve Tang, J. J. I. T. o. I. I., 2014, Strength Pareto multigroup search optimizer for multiobjective optimal reactive power dispatch, 10 (2), 1012-1022.
- Zhu, J. ve Xiong, X. J. E. P. S. R., 2003, Optimal reactive power control using modified interior point method, 66 (2), 187-192.

EKLER**EK-1** Yük Tahmin verileri.

Çizelge EK-1.1. Eğitim verileri

Eğitim Verileri						
Nüfus	Maksimum Sıcaklık	Ortalama Sıcaklık	Maksimum Rüzgâr Hızı	Ortalama Rüzgâr Hızı	Nem	Enerji Tüketimi
1076586	3,08	-0,32	5,35	1,67	78,43	498
1079389	3,78	-0,91	5,06	1,5	69,16	507
1085017	21,2	14,38	8,19	1,76	43,74	496
1090673	29,37	22,99	7,33	2,3	39,28	517
1093513	32,57	26,19	7,9	2,66	33,15	524
1096360	29,49	24,22	7,76	2,57	38,3	487
1099214	28,31	21,08	6,08	1,82	37,44	492
1102076	21,99	15,68	6,13	1,2	58,9	461
1104945	13,15	8,6	4,84	1,22	76,97	478
1114152	7,14	2,67	6,46	1,69	80,64	496
1126791	14,79	8,63	8,01	1,68	51,73	526
1133164	18,84	12,95	7,43	1,68	54,55	490
1139573	18,84	13,46	7,7	1,5	45,19	484
1146018	28,91	22,34	8,27	1,9	36,35	490
1159019	30,43	24,12	7,38	2,19	35,34	552
1165574	26,04	19,19	6,16	1,57	42,14	512
1172166	18,46	11,25	6,62	1,61	49,11	551
1185436	3,25	-1,01	4,91	1,22	79,92	563
1191259	12,17	5,84	5,63	1,08	60,11	560
1194181	14,68	8,73	7,38	1,5	56,69	562
1197110	20,96	14,25	7,94	1,5	45,36	543
1200047	18,84	16,99	7,81	1,5	51,3	535
1202991	27,15	20,64	7,96	1,45	48,12	553
1205942	32,5	26,19	7,45	1,59	35,33	512
1214838	19,26	13,25	6,16	1,15	67,47	537
1217818	11,98	6,93	4,45	0,93	72,09	590
1220793	10,28	6	5,01	1,04	80,58	615

Çizelge EK-1.2. Test verileri

Test Verileri						
Nüfus	Maksimum Sıcaklık	Ortalama Sıcaklık	Maksimum Rüzgar Hızı	Ortalama Rüzgar Hızı	Nem	Enerji Tüketimi
1082199	10,5	4,79	7,42	2,12	69,16	484
1087841	21,2	16,31	7,8	1,62	55,2	494
1107886	8,94	4,56	5,59	1,09	82,08	452
1120454	11,43	5,86	6,53	1,43	66,79	531
1152500	29,9	24,02	7,54	2,39	36,21	545
1178796	15,49	9,05	4,37	0,93	63,43	606
1188344	8,04	3,85	4,48	0,94	79,25	546
1208900	32,79	26,21	6,98	1,51	35,58	592
1211865	25,74	19,62	7,05	1,37	53,9	562

EK-2 IEEE-118 bara ORPD karşılaştırmalı sonuçları.**Çizelge EK-2.1.** IEEE 118-Bara Güç Sistemi için Farklı Algoritmaların Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

Değişkenler	OGSA	ABC	GWO	ALO	ATA	KSA
Generator Gerilimi (p.u)						
V1	1.0350	1.0250	0.9960	1.0164	1.0140	1.0001
V4	1.0554	1.0440	1.0510	1.0299	1.0355	1.0242
V6	1.0301	1.0320	1.0480	1.0355	1.0250	1.0321
V8	1.0175	1.0240	0.9880	1.0247	1.0477	1.0365
V10	1.0250	1.0600	1.0250	1.0469	1.0500	1.0541
V12	1.0410	1.0320	1.0210	1.0259	1.0201	1.0186
V15	0.9973	0.9950	0.9860	1.0526	1.0000	0.9996
V18	1.0047	0.9710	0.9720	1.0580	1.0005	0.9999
V19	0.9899	0.9830	0.9820	1.0565	1.0000	0.9969
V24	1.0287	1.0050	1.0310	1.0549	1.0219	1.0186
V25	1.0600	1.0300	1.0600	1.0600	1.0500	1.0423
V26	1.0855	0.9770	1.0140	1.0457	1.0498	1.0500
V27	1.0081	1.0060	1.0240	1.0583	1.0070	0.9998
V31	0.9948	0.9920	0.9980	1.0573	1.0000	0.9924
V32	0.9993	1.0030	1.0190	1.0455	1.0002	1.0017
V34	0.9958	1.0310	1.0200	1.0322	1.0205	1.0196
V36	0.9835	1.0270	1.0130	1.0264	1.0190	1.0214
V40	0.9981	0.9850	1.0390	1.0124	0.9998	1.0024
V42	1.0068	0.9770	1.0210	1.0321	1.0060	1.0035
V46	1.0355	1.0230	0.9930	1.0446	1.0212	1.0183
V49	1.0333	1.0350	1.0420	1.0572	1.0369	1.0451
V54	0.9911	1.0080	1.0490	1.0313	1.0080	1.0110
V55	0.9914	0.9980	1.0340	1.0305	1.0055	1.0100
V56	0.9920	1.0040	1.0430	1.0292	1.0070	1.0015
V59	0.9909	1.0350	1.0450	1.0269	1.0355	1.0239
V61	1.0747	1.0360	0.9870	1.0373	1.0400	1.0306
V62	1.0753	1.0370	0.9910	1.0217	1.0360	1.0400
V65	0.9814	1.0410	1.0230	1.0582	1.0498	1.0480
V66	1.0487	1.0600	1.0540	1.0591	1.0500	1.0475
V69	1.0490	1.0120	1.0060	1.0600	1.0486	1.0414
V70	1.0395	1.0520	0.9780	1.0577	1.0075	0.9999
V72	0.9900	1.0150	1.0070	1.0592	1.0080	1.0000
V73	1.0547	1.0390	1.0360	1.0348	1.0028	1.0203
V74	1.0167	1.0140	0.9730	1.0533	0.9985	1.0046
V76	0.9972	1.0360	0.9980	1.0382	0.9995	1.0095
V77	1.0071	1.0230	0.9830	1.0395	1.0240	1.0312
V80	1.0066	1.0280	1.0090	1.0508	1.0380	1.0400
V85	0.9893	1.0180	0.9930	1.0529	1.0470	1.0325
V87	0.9693	1.0240	1.0540	1.0510	1.0215	1.0178
V89	1.0527	1.0250	1.0380	1.0600	1.0500	1.0452
V60	1.0290	0.9960	1.0070	1.0382	1.0095	1.0223
V91	1.0297	1.0380	1.0060	1.0223	1.0105	1.0092
V92	1.0353	1.0130	1.0130	1.0532	1.0390	1.0238
V99	1.0395	1.0160	1.0170	1.0447	1.0295	1.0385
V100	1.0275	1.0300	1.0020	1.0445	1.0305	1.0263
V103	1.0158	1.0530	1.0050	1.0385	1.0211	1.0156
V104	1.0165	1.0210	1.0000	1.0218	1.0082	1.0298
V105	1.0197	1.0080	1.0000	1.0376	1.0278	1.0157
V107	1.0408	1.0240	0.9750	1.0285	1.0150	0.9994
V110	1.0288	0.9800	1.0120	1.0458	1.0125	1.0200
V111	1.0194	0.9980	0.9990	1.0254	1.0052	1.0210
V112	1.0132	1.0050	1.0020	1.0275	1.0065	1.0000
V113	1.0386	1.0010	0.9780	1.0567	1.0055	0.9997

V116	0.9724	1.0190	1.0190	1.0577	1.0500	1.0423
Transformer tap değeri						
T8-5	0.9568	0.97	0.96	1.00	0.9998	0.99
T26-25	1.0409	0.95	1.01	0.99	1.0500	1.00
T30-17	0.9963	1.00	0.92	1.00	1.0198	1.03
T38-37	0.9775	1.02	1.02	1.01	1.0050	1.01
T63-59	0.9560	1.02	0.98	1.03	0.9995	1.00
T64-61	0.9956	0.93	1.02	1.02	1.0182	1.01
T65-66	0.9882	0.94	0.96	0.97	0.9605	0.94
T68-69	0.9251	0.95	1.01	0.94	0.9698	0.94
T81-80	1.0661	0.99	0.94	1.00	1.0015	1.00
Kondansatör (MVAR)						
QC-5	-33	19	32	-9	-0.1	-15
QC-34	4.8	8	10	6	9	10
QC-37	-24.9	0	-13	-19	-0.1	-15
QC-44	3.28	7	6	3	10	6
QC-45	3.83	7	7	6	10	7
QC-46	5.45	4	6	5	6	4
QC-48	1.81	9	6	9	8.5	8
QC-74	5.09	10	6	7	5.8	8
QC-79	11.04	12	6	6	20	12
QC-82	9.65	11	13	12	19.9	12
QC-83	2.63	8	4	6	10	6
QC-105	4.42	4	7	4	4	4
QC-107	0.85	2	4	3	1	2
QC-110	1.44	3	2	3	1	2
Sonuçlar						
P_{Loss} (MW)	126.99	120.428	131.262	119.779	119.543	121.719

EK-3 IEEE-30 bara sisteminde öncelik sırasına göre sınıflandırılmış yükler ve bara güç değerleri.

Çizelge EK-3.1. IEEE-30 bara sisteminde öncelik sırasına göre sınıflandırılmış yükler ve bara güç değerleri

	Sağlık	Savunma	İletişim	Eğitim	Endüstri	Ticari	EvAyd.	EvPrizi	Bahçe Ayd.	Sokak Ayd.	Eğlence	Pano Ayd.	
Bara	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3	D1	D2	D3	Bara Gücü
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2					13,6	4,9		3		0,2			21,7
3			0,6	0,7		0,6	0,1	0,3	0,03	0,07			2,4
4	2		0,6	0,7	2,4	1,5	0,1	0,2	0,03	0,07			7,6
5	3,1	7,5	1,8	0,7	73,6	4,7	0,5	1,1	0,1	0,2	0,8	0,1	94,2
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	2,1	2,4	0,6	0,7	13,7	2,3	0,2	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05	22,8
8			1,2	1,4	23,9	2,6	0,3	0,5	0,03	0,07			30
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1,95		0,3	0,7	2,3		0,1	0,2	0,03	0,07	0,1	0,05	5,8
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12		3,35	0,6	0,7	3,95	1,8	0,15	0,3	0,06	0,14	0,1	0,05	11,2
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	1,15			1,4		2,55	0,2	0,4	0,06	0,14	0,2	0,1	6,2
15	2,15		0,3	0,7	2,5	1,25	0,25	0,6	0,09	0,21	0,1	0,05	8,2
16			0,3	0,7		1,55	0,2	0,3	0,03	0,07	0,2	0,15	3,5
17		1,25	0,3	0,7	5,15	1,1	0,1	0,2	0,01	0,04	0,1	0,05	9
18				1,4		0,8	0,2	0,5	0,03	0,07	0,15	0,05	3,2
19	1,45			0,7	5,95	0,9	0,1	0,2	0,06	0,14			9,5
20			0,3	0,7		0,95	0,05	0,1	0,03	0,07			2,2
21					15,8		0,4	1,2		0,1			17,5
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	1,6			0,7		0,6			0,06	0,07	0,12	0,05	3,2
24			0,3	0,7	7,3		0,1	0,2	0,03	0,07			8,7
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26				0,7			0,3	0,6	0,05	0,1	1,65	0,1	3,5
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29		1,2			1,2								2,4
30	1,3		0,3		8,9							0,1	10,6
Toplam	16,8	15,7	7,5	14	180,25	28,1	3,35	10,3	0,78	2	3,72	0,9	283,4

EK-4 Yük yönetimi sonuçları.

Çizelge EK-4.1. Senaryo 1'e göre devreye alınan yükler

	Sağlık	Savunma	İletişim	Eğitim	Endüstri		Endüstri	
Bara	A1	A2	A3	B1	B2	Bara Gücü	B2	Bara Gücü
1						0	0	0
2					13,6	13,6	13,6	13,6
3			0,6	0,7		1,3		1,3
4	2		0,6	0,7		3,3		3,3
5	3,1	7,5	1,8	0,7		13,1		13,1
6						0		0
7	2,1	2,4	0,6	0,7	13,7	19,5	13,7	19,5
8			1,2	1,4		2,6		2,6
9						0		0
10	1,95		0,3	0,7		2,95	2,3	5,25
11						0		0
12		3,35	0,6	0,7		4,65		4,65
13						0		0
14	1,15			1,4		2,55		2,55
15	2,15		0,3	0,7		3,15		3,15
16			0,3	0,7		1		1
17		1,25	0,3	0,7	5,15	7,4	5,15	7,4
18				1,4		1,4		1,4
19	1,45			0,7	5,95	8,1	5,95	8,1
20			0,3	0,7		1		1
21					15,8	15,8	15,8	15,8
22						0		0
23	1,6			0,7		2,3		2,3
24			0,3	0,7	7,3	8,3	7,3	8,3
25						0		0
26				0,7		0,7		0,7
27						0		0
28						0		0
29		1,2			1,2	2,4		1,2
30	1,3		0,3			1,6		1,6
Toplam	16,8	15,7	7,5	14	62,7	116,7	63,8	117,8

Çizelge EK-4.2. Senaryo 2'ye göre devreye alınan yükler

	Sağlık	Savunma	İletişim	Eğitim	Endüstri		Endüstri	
Bara	A1	A2	A3	B1	B2	Bara Gücü	B2	Bara Gücü
1						0	0	0
2						0		0
3			0,6	0,7		1,3		1,3
4	2		0,6	0,7		3,3	2,4	5,7
5	3,1	7,5	1,8	0,7		13,1		13,1
6						0		0
7	2,1	2,4	0,6	0,7		5,8		5,8
8			1,2	1,4		2,6		2,6
9						0		0
10	1,95		0,3	0,7		2,95	2,3	5,25
11	0	0	0	0		0		0
12		3,35	0,6	0,7		4,65		4,65
13						0		0
14	1,15			1,4		2,55		2,55
15	2,15		0,3	0,7	2,5	5,65	2,5	5,65
16			0,3	0,7		1		1
17		1,25	0,3	0,7	5,15	7,4		2,25
18				1,4		1,4		1,4
19	1,45			0,7	5,95	8,1	5,95	8,1
20			0,3	0,7		1		1
21						0		0
22						0		0
23	1,6			0,7		2,3		2,3
24			0,3	0,7	7,3	8,3	7,3	8,3
25						0		0
26				0,7		0,7		0,7
27						0		0
28						0		0
29		1,2				1,2	1,2	2,4
30	1,3		0,3			1,6		1,6
Toplam	16,8	15,7	7,5	14	20,9	74,9	21,65	75,65

Çizelge EK-4.3. Senaryo 3'e göre devreye alınan yükler

	Sağlık	Savunma	İletişim	Eğitim	Endüstri	Ticari	
Bara	A1	A2	A3	B1	B2	B3	Bara Gücü
1							0
2					13,6	4,9	18,5
3			0,6	0,7			1,3
4	2		0,6	0,7	2,4		5,7
5	3,1	7,5	1,8	0,7	73,6		86,7
6							0
7	2,1	2,4	0,6	0,7	13,7		19,5
8			1,2	1,4	23,9		26,5
9							0
10	1,95		0,3	0,7	2,3		5,25
11							0
12		3,35	0,6	0,7	3,95		8,6
13							0
14	1,15			1,4			2,55
15	2,15		0,3	0,7	2,5		5,65
16			0,3	0,7			1
17		1,25	0,3	0,7	5,15		7,4
18				1,4			1,4
19	1,45			0,7	5,95		8,1
20			0,3	0,7			1
21					15,8		15,8
22							0
23	1,6			0,7			2,3
24			0,3	0,7	7,3		8,3
25							0
26				0,7			0,7
27							0
28							0
29		1,2			1,2		2,4
30	1,3		0,3		8,9		10,5
Toplam	16,8	15,7	7,5	14	180,25	4,9	239,15

Çizelge EK-4.4. Senaryo 4'e göre devreye alınan yükler

	Sağlık	Savunma	İletişim	Eğitim	Endüstri		Endüstri	
Bara	A1	A2	A3	B1	B2	Bara Gücü	B2	Bara Gücü
1						0	0	0
2						0		0
3			0,6	0,7		1,3		1,3
4	2		0,6	0,7	2,4	5,7		3,3
5	3,1	7,5	1,8	0,7	73,6	86,7	73,6	86,7
6						0		0
7	2,1	2,4	0,6	0,7		5,8		5,8
8			1,2	1,4		2,6		2,6
9						0		0
10	1,95		0,3	0,7	2,3	5,25		2,95
11						0		0
12		3,35	0,6	0,7		4,65	3,95	8,6
13						0		0
14	1,15			1,4		2,55		2,55
15	2,15		0,3	0,7	2,5	5,65		3,15
16			0,3	0,7		1		1
17		1,25	0,3	0,7	5,15	7,4	5,15	7,4
18				1,4		1,4		1,4
19	1,45			0,7	5,95	8,1	5,95	8,1
20			0,3	0,7		1		1
21					15,8	15,8	15,8	15,8
22						0		0
23	1,6			0,7		2,3		2,3
24			0,3	0,7	7,3	8,3	7,3	8,3
25						0		0
26				0,7		0,7		0,7
27						0		0
28						0		0
29		1,2				1,2		1,2
30	1,3		0,3			1,6		1,6
Toplam	16,8	15,7	7,5	14	115	169	111,75	165,75

Çizelge EK-4.5. Senaryo 5'e göre devreye alınan yükler

	Sağlık	Savunma	İletişim	Eğitim	Endüstri	
Bara	A1	A2	A3	B1	B2	Bara Gücü
1						0
2					13,6	13,6
3			0,6	0,7		1,3
4	2		0,6	0,7	2,4	5,7
5	3,1	7,5	1,8	0,7		13,1
6						0
7	2,1	2,4	0,6	0,7		5,8
8			1,2	1,4	23,9	26,5
9						0
10	1,95		0,3	0,7		2,95
11						0
12		3,35	0,6	0,7		4,65
13						0
14	1,15			1,4		2,55
15	2,15		0,3	0,7		3,15
16			0,3	0,7		1
17		1,25	0,3	0,7	5,15	7,4
18				1,4		1,4
19	1,45			0,7		2,15
20			0,3	0,7		1
21						0
22						0
23	1,6			0,7		2,3
24			0,3	0,7		1
25						0
26				0,7		0,7
27						0
28						0
29		1,2				1,2
30	1,3		0,3			1,6
Toplam	16,8	15,7	7,5	14	45,05	99,05

Çizelge EK-4.6. Senaryo 6'ya göre devreye alınan yükler

	Sağlık	Savunma	İletişim	
Bara	A1	A2	A3	Bara Gücü
1				0
2				0
3			0,6	0,6
4	2		0,6	2,6
5	3,1	7,5	1,8	12,4
6				0
7	2,1	2,4	0,6	5,1
8			1,2	1,2
9				0
10	1,95		0,3	2,25
11				0
12		3,35	0,6	3,95
13				0
14	1,15			1,15
15	2,15		0,3	2,45
16			0,3	0,3
17		1,25	0,3	1,55
18				0
19	1,45			1,45
20			0,3	0,3
21				0
22				0
23	1,6			1,6
24			0,3	0,3
25				0
26				0
27				0
28				0
29		1,2		1,2
30	1,3		0,3	1,6
Toplam	16,8	15,7	7,5	40

Çizelge EK-4.7. Senaryolara göre karşılaştırmalı güç kaybı ve çalışma süreleri

	Senaryo1 (Tahmin)	Senaryo1 (Gerçek)	Senaryo2 (Tahmin)	Senaryo2 (Gerçek)	Senaryo 3	Senaryo (Tahmin)	Senaryo4 (Gerçek)	Senaryo 5	Senaryo 6
En İyi Değer	0,5229	0,5078	0,3272	0,3360	0,9130	0,4621	0,4627	0,1151	0,0614
Ploss	2,8735	2,8182	2,9918	2,8233	2,6259	2,3134	2,1761	2,6547	4,1885
Çalış. Süresi (Tahmin)	08:39.71	X	07:53.36	X	08:32.18	08:30.65	X	07:53.53	07:58.23
Çalış. Süresi (Gerçek)	X	00:22.23	X	00:19.41	00:05	X	00:21.13	00:05	00:05

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mehmet Şefik ÜNEY
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Kurtalan 01.05.1980
Telefon : ---
Faks : ---
E-Posta : msefikuney@sirnak.edu.tr

EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
Lise	: Batman E.M.L	Merkez	Batman	1997
Üniversite	: Batman T.E.F	Merkez	Batman	2003
Yüksek Lisans	: Fırat Üniv.	Merkez	Elâzığ	2010
Doktora	: Konya Teknik Üniv.	Merkez	Konya	2019

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2005-2010	MEB	Elektrik Öğretmeni
2010-2012	Şırnak Üniv. MYO	Öğretim Görevlisi
2012-2014	Şırnak Üniv. Müh. Fak.	Araştırma Görevlisi
2014-2018	Selçuk Üniv. Müh. Fak.	Araştırma Görevlisi
2018-2019	Şırnak Üniv. Müh. Fak.	Araştırma Görevlisi

UZMANLIK ALANI

Akıllı şebekeler, yük tahmini, yük yönetimi, optimal güç akışı

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR*

- 1- Comparison of CO2 Emissions Fossil Fuel Based Energy Generation Plants and Plants with Renewable Energy Source (ECAI 2014 - International Conference- 6th Edition) (Doktora)
- 2- Medium-term Electrical Load Forecasting of Konya Region Using ANFIS, Regression Model and ANN (International Journal of Engineering Science and Computing IJESC, Ekim-2016) (Doktora)

- 3- ANN based On-Load Tap Changer for Distribution Network with Distributed Generation (Journal of Communications Technology, Electronics and Computer Science, Sayı 15, 2017) (Doktora)
- 4- Optimal Power Flow and Load Flow Analysis with Considering Different DG Integration Rates (Asian Journal of Applied Science and Technology AJAST, Sayı 9, 2017) (Doktora)
- 5- Optimal Reactive Power Dispatch–A Review (International Advanced Research & Engineering Congress-2017) (Doktora)
- 6- A Using Tree Seed Optimization Algorithm for Optimal Reactive Power Dispatch Problem (International Advanced Research & Engineering Congress-2017) (Doktora)
- 7- Load Frequency Control (LFC) of a Microgrid using PSCAD/EMTDC Simulation Program (Technical Gazette, Under Review) (Doktora)
- 8- New Meta-Heuristic Algorithms for Reactive Power Optimization (Technical Gazette, Sayı No.4/Vol, 26 Ağustos, 2019) (Doktora)
- 9- Matris Konverterden Beslenen Lineer Asenkron Motorun Hız Kontrolü (6th International Advanced Technologies Symposium IATS'11, 16-18 May 2011) (Yüksek Lisans)