İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİYEL MİKRO ŞEBEKELERDE DİNAMİK ENERJİ YÖNETİM MODELİ ÖNERİSİ VE ÖRNEK UYGULAMA

DOKTORA TEZİ

Zeynep BEKTAŞ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

MART 2021

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİYEL MİKRO ŞEBEKELERDE DİNAMİK ENERJİ YÖNETİM MODELİ ÖNERİSİ VE ÖRNEK UYGULAMA

DOKTORA TEZİ

Zeynep BEKTAŞ
(507152105)

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Gülgün KAYAKUTLU

MART 2021

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 507152105 numaralı Doktora Öğrencisi Zeynep BEKTAŞ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "ENDÜSTRİYEL MİKRO ŞEBEKELERDE DİNAMİK ENERJİ YÖNETİM MODELİ ÖNERİSİ VE ÖRNEK UYGULAMA" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Prof. Dr. Gülgün KAYAKUTLU** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Doç. Dr. Umut ASAN** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Doç. Dr. Barış SELÇUK Bahçeşehir Üniversitesi	.....
	Dr. Öğr. Üyesi Burak BARUTÇU İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Prof. Dr. Orhan FEYZİOĞLU Galatasaray Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : 23 Şubat 2021
Savunma Tarihi : 24 Mart 2021

Özgür düşünce ve bilime,

ÖNSÖZ

Danışman hocam Prof. Dr. Gülgün KAYAKUTLU'ya, hem doktora tezi çalışmamda hem de 2010 yılında kendisinden Yöneylem Araştırması dersini alarak bu yola çıkmaya karar verdiğim günden bu yana olan tüm bu zorlu, ama kıymetli süreçteki yol göstericiliği, verdiği emek ve desteği için en içten teşekkürlerimi sunuyorum.

Tez çalışmam boyunca yaptıkları katkılarla tezimi zenginleştiren hocalarım Doç. Dr. Umut ASAN ve Doç. Dr. Barış SELÇUK'a ve yine tez çalışmamla ilgili her danıştığımda yardımlarını esirgemeyen hocalarım Prof. Dr. Mehmet Özgür KAYALICA, Dr. Öğr. Üyesi Burak BARUTÇU ve Dr. Seçil ERCAN'a çok teşekkür ederim.

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Endüstri Mühendisliği Bölümündeki tüm hocalarım ve çalışma arkadaşlarıma da lisansüstü eğitimim boyunca verdikleri destek için teşekkür ederim.

Hedeflediklerimi başararak bugünlere gelmemde büyük katkıları olan, hayattaki en büyük destekçilerim sevgili anneme ve sevgili babama; çalışmalarımın en yoğun ve stresli zamanlarında daima yanımda olan kardeşlerim Hilal ve Oğuz'a, kedim Bican'a ve hayatımdaki -buraya sığdıramayacağım- harika insanlara ayrı ayrı teşekkür ve minnetlerimi sunuyorum.

Şubat 2021 Zeynep BEKTAŞ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xi**
SEMBOLLER ..... **xiii**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xv**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xvii**
ÖZET ..... **xix**
SUMMARY ..... **xxiii**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Tezin Amacı ve Etkisi 1
1.2 Tezin Organizasyonu 3
2. ENDÜSTRİYEL MİKRO ŞEBEKELER İÇİN TEMEL KAVRAMLAR **7**
3. ENDÜSTRİYEL MİKRO ŞEBEKELER ÜZERİNE KAYNAKÇA TARAMASI **11**
3.1 Çevresel Amaçlı Çalışmalar 11
3.2 Enerji Arz/Talep Optimizasyonu Amaçlı Çalışmalar 13
3.3 Sistem Tasarımı Amaçlı Çalışmalar 17
3.4 Çizelgeleme Amaçlı Çalışmalar 21
3.5 Ekonomik Amaçlı Çalışmalar 24
3.6 Kaynakça Kümeleme Çalışması Sonuçları 28
4. ÇALIŞMADA UYGULANAN YÖNTEMLER **33**
4.1 Tahmin Yöntemleri 33
4.2 Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama 34
4.3 Dinamik Programlama 35
4.4 Sistem Dinamiği 36
4.5 Entropi Yöntemi 38
5. ENDÜSTRİYEL MİKRO ŞEBEKELERDE ENERJİ ÇİZELGELEME **41**
5.1 Varsayımlar 43
5.2 Veri Merkezleri 44
6. ENERJİ ÇİZELGELEME PROBLEMİNE ÇÖZÜM ÖNERİSİ **49**
6.1 Mikro Şebekeler için Talep Tahmini 49
6.2 Enerji Çizelgeleme Optimizasyonu için Önerilen Dinamik Model 51
6.2.1 Değişkenler ve parametreler 51
6.2.2 Mikro şebekenin güç kaynakları 52
6.2.2.1 Dizel jeneratör 52
6.2.2.2 Fotovoltaik sistem 54
6.2.2.3 Rüzgâr türbini 55
6.2.2.4 Ana şebeke 55
6.2.3 Model önerisi 56
6.2.3.1 Dinamik modelin değişken ve parametreleri 56

6.2.3.2 Amaç fonksiyonu 57
6.2.3.3 Kısıtlar 57
6.2.3.4 Dinamik model 61
6.3 Önerilen Modelin Farklı Senaryolara Uyarlanabilmesi için Sistem Dinamiği Yaklaşımı 62
7. GEBZE ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİNDE UYGULAMA ÇALIŞMASI 69
7.1 Veriler 69
7.2 Maliyet Parametreleri 71
7.3 Karbondioksit Salımı Parametreleri 72
7.4 Güç Kaynaklarına ait Parametreler 73
7.5 Önerilen Dinamik Modelin Gebze OSB'ye Uygulanması 74
7.6 Gebze OSB'de Farklı Tarih ve Durumlar için Uygulama Çözümleri 76
7.7 Önerilen Modelin Talebe Duyarlılığının İncelenmesi 81
7.7.1 Organize sanayi bölgelerinde veri merkezleri 81
7.7.2 Talep kısıdı parametrelerinin duyarlılık analizi 82
7.7.3 Tahmin sonuçlarıyla yapılan uygulama 86
7.8 Gebze OSB'de Uç Senaryolar için Uygulama Çözümleri 88
7.9 Uygulama Sonuçlarının Değerlendirilmesi 91
7.10 Gelecek Senaryolarının Analizi 98
7.10.1 Gelecek senaryosu örnekleri 100
7.10.2 Sonuçların değerlendirilmesi 101
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 105
KAYNAKLAR 111
EKLER 129
ÖZGEÇMİŞ 185

KISALTMALAR

ABD : Amerika Birleşik Devletleri
ARIMA : Autoregressive Integrated Moving Average
BDDK : Bankacılık Düzenleme ve Denetleme Kurumu
DP : Dinamik Programlama
EPDK : Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EPİAŞ : Enerji Piyasaları İşletme A.Ş
GA : Genetik Algoritma
ISO : International Organization for Standardization
KHK : Kanun Hükmünde Kararname
MAPE : Mean Absolute Percentage Error
NP : Non-deterministic Polynomial
OSB : Organize Sanayi Bölgesi
ÖDH : Öz Düzenleyici Haritalar
PSO : Parçacık Sürü Optimizasyonu
SD : Sistem Dinamiği
TOPSIS : Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions
UPS : Uninterruptible Power Supply
VM : Veri Merkezi
YSA : Yapay Sinir Ağları

SEMBOLLER

$d_{i,k}$	**:** i. tüketicinin ilgili çeyreğin k. saatindeki yük talebi tahmini (kWh)
$x_{i,k}$	**:** i. tüketicinin ilgili çeyreğin k. saatinde havuzdan alacağı yük miktarı (kWh)
$y_{p,k}$	**:** p kanalından ilgili çeyreğin k. saatinde havuza aktarılan güç çıktısı (kWh)
D_i	**:** i. tüketicinin ilgili çeyrekteki tahmin edilen toplam yük talebi (kWh)
F_k	**:** Dizel jeneratörün ilgili çeyreğin k. saatindeki yakıt tüketimi (lt)
a, b	**:** Dizel jeneratörün yakıt tüketimi ile ilgili sabit katsayılar (lt/kW)
P_1^{nom}	**:** Dizel jeneratörün nominal güç değeri (kW)
P_1^{min}	**:** Dizel jeneratör ile üretilecek gücün alt sınırı (kW)
N_{DG}	**:** Kullanılan özdeş dizel jeneratörlerin sayısı
CF	**:** Dizel jeneratör için satın alınan yakıtın birim maliyeti (TL/lt)
e_1	**:** Dizel jeneratörün harcadığı yakıtın karbondioksit salım miktarı (g/lt)
$P_{2,k}$	**:** Bir güneş panelinin ilgili çeyreğin k. saatindeki güç çıktısı (kW)
N_{PV}	**:** Kullanılan özdeş güneş panellerinin sayısı
η_{PV}	**:** Fotovoltaik sistemin verimlilik katsayısı
S_{PV}	**:** Bir güneş panelinin alanı (m^2)
Φ_k	**:** İlgili çeyreğin k. saatinde panel alanındaki güneş ışınımı (kW/m^2)
K_{PV}	**:** Güneş paneli sıcaklık katsayısı (1/°C)
$T_{a,k}$	**:** İlgili çeyreğin k. saatindeki ortam sıcaklığı (°C)
P_2^{max}	**:** Bir güneş paneli ile üretilecek gücün standart üst sınırı (kW)
C_2	**:** Fotovoltaik sistem ile üretilen elektriğin birim üretim maliyeti (TL/kWh)
e_2	**:** Fotovoltaik sistem ile üretilen enerjinin karbondioksit salım miktarı (g/kWh)
$P_{3,k}$	**:** Bir rüzgâr türbininin ilgili çeyreğin k. saatindeki nominal güç çıktısı (kW)
N_{WT}	**:** Kullanılan özdeş rüzgâr türbinlerinin sayısı
P_3^{max}	**:** Bir rüzgâr türbini ile üretilecek gücün standart üst sınırı (kW)
η_{WT}	**:** Rüzgâr türbininin verimlilik katsayısı
ω_k	**:** İlgili çeyreğin k. saatinde bölgedeki rüzgâr hızı (m/s)

v_{ci} : Rüzgâr türbininin çalışmaya başlayacağı rüzgâr hızı (m/s)

v_{co} : Rüzgâr türbininin çalışmayı durduracağı rüzgâr hızı (m/s)

v_r : Rüzgâr türbininin nominal hızı (m/s)

C_3 : Rüzgâr türbini ile üretilen elektriğin birim üretim maliyeti (TL/kWh)

e_3 : Rüzgâr türbini ile üretilen enerjinin karbondioksit salım miktarı (g/kWh)

$C_{4,k}$: Ana şebekeden alınacak elektriğin ilgili çeyreğin k. saatindeki birim fiyatı (TL/kWh)

e_4 : Ana şebekeden alınacak enerjinin neden olduğu karbondioksit salım miktarı (g/kWh)

$C_{5,k}$: Ana şebekeye satılacak elektriğin ilgili çeyreğin k. saatindeki birim fiyatı (TL/kWh)

P_4^{max} : Bir saat içinde ana şebekeden satın alınabilecek en fazla enerji miktarı (kWh)

P_5^{max} : Bir saat içinde ana şebekeye satılabilecek en fazla enerji miktarı (kWh)

$S1 - S5$: Stok değişkenlerin skorları

$F1 - F14$: Akış değişkenlerinin değerleri

$E1 - E26$: Etki değerleri

$w_1 - w_{14}$: Akış değişkenlerinin entropi ağırlık değerleri

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Amaçlar, güç kaynakları ve yöntemlere göre elde edilmiş kümeler. ... **30**
Çizelge 6.1 : Problemin değişken ve parametreleri. ... **53**
Çizelge 6.2 : Dinamik modelin değişken ve parametreleri. ... **58**
Çizelge 7.1 : Tahmin sonuçlarının karşılaştırılması. ... **71**
Çizelge 7.2 : Maliyet parametreleri. ... **72**
Çizelge 7.3 : Karbondioksit salımı parametreleri ve değerleri. ... **73**
Çizelge 7.4 : Güç kaynaklarının parametreleri ve değerleri. ... **74**
Çizelge 7.5 : 28.02.2019 günü ikinci çeyreği için optimum sonuçlar. ... **76**
Çizelge 7.6 : 31.05.2019 günü üçüncü çeyreği için optimum sonuçlar. ... **77**
Çizelge 7.7 : Güç kaynaklarının değişen parametre değerleri. ... **78**
Çizelge 7.8 : Yükseltilmiş üretim kapasiteleriyle 28.02.2019 günü ikinci çeyreği için optimum sonuçlar. ... **78**
Çizelge 7.9 : Yükseltilmiş üretim kapasiteleriyle 31.05.2019 günü üçüncü çeyreği için optimum sonuçlar. ... **79**
Çizelge 7.10 : Üretim kaynakları parametrelerindeki değişiklerin öncesi ve sonrasının karşılaştırılması. ... **79**
Çizelge 7.11 : 18.07.2018 günü ikinci çeyreği için optimum sonuçlar. ... **80**
Çizelge 7.12 : 23.10.2018 günü üçüncü çeyreği için optimum sonuçlar. ... **81**
Çizelge 7.13 : 31.05.2019 günü üçüncü çeyreği için, sistemde VM'nin bulunmadığı duruma ait optimum sonuçlar. ... **83**
Çizelge 7.14 : 18.07.2018 günü ikinci çeyreği için (talep alt sınır oranı 0,85 iken) optimum sonuçlar. ... **85**
Çizelge 7.15 : 23.10.2018 günü üçüncü çeyreği için (talep alt sınır oranı 0,85 iken) optimum sonuçlar. ... **86**
Çizelge 7.16 : 18.07.2018 günü ikinci çeyreği için (talep alt sınır oranı 1 iken) optimum sonuçlar. ... **87**
Çizelge 7.17 : 23.10.2018 günü üçüncü çeyreği için (talep alt sınır oranı 1 iken) optimum sonuçlar. ... **88**
Çizelge 7.18 : 28.02.2019 günü ikinci çeyreği için tahmin verisiyle optimum sonuçlar. ... **89**
Çizelge 7.19 : 08.01.2019 günü dördüncü çeyreği için optimum sonuçlar. ... **91**
Çizelge 7.20 : 04.04.2019 günü dördüncü çeyreği için optimum sonuçlar. ... **92**
Çizelge 7.21 : 24.04.2019 günü birinci çeyreği için optimum sonuçlar. ... **93**
Çizelge 7.22 : Önerilen mikro şebeke sisteminin olduğu ve olmadığı durumlarda uygulama sonuçları. ... **95**
Çizelge 7.23 : Çevresel kısıdın olmadığı durumdaki uygulama sonuçlarının öncekilerle karşılaştırılması. ... **96**
Çizelge 7.24 : 18.07.2018 gününün ikinci çeyreği için yapılan uygulama sonuçlarının karşılaştırılması. ... **97**
Çizelge 7.25 : Anket sonucunda elde edilen etki değerleri. ... **98**

Çizelge 7.26 : Akış değişkenlerinin entropi ağırlık değerleri. **100**
Çizelge A.1 : Kaynakça tablosu. **130**
Çizelge C.1 : 28.08.2018 için OSB'nin gerçek ve tahmini toplam elektrik tüketim değerleri. **181**
Çizelge C.2 : 30.11.2018 için OSB'nin gerçek ve tahmini toplam elektrik tüketim değerleri. **182**
Çizelge C.3 : 28.02.2019 için OSB'nin gerçek ve tahmini toplam elektrik tüketim değerleri. **183**
Çizelge C.4 : 27.05.2019 için OSB'nin gerçek ve tahmini toplam elektrik tüketim değerleri. **184**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 4.1 : Nüfus modelinin sistem dinamiği şeması, Barlas (2009)'dan uyarlanmıştır. **38**
Şekil 6.1 : Önerilen çözüm yaklaşımının akış diyagramı. **50**
Şekil 6.2 : Problem şeması. **52**
Şekil 6.3 : Sistem stok ve akış değişkenleri arasındaki etkileşim tablosu. **64**
Şekil 6.4 : Mikro şebekenin sistem dinamiği şeması. **65**
Şekil 7.1 : Anket sonuçları sonrası mikro şebekenin sistem dinamiği şeması. **99**

ENDÜSTRİYEL MİKRO ŞEBEKELERDE DİNAMİK ENERJİ YÖNETİM MODELİ ÖNERİSİ VE ÖRNEK UYGULAMA

ÖZET

Enerji Yönetimi, dağıtık enerjinin bireysel, toplumsal ve küresel boyutlarda giderek kritik bir uygulama haline gelmesiyle önem kazanmıştır. Sistem yaklaşımı ve optimizasyon bakış açısı gerektiren bu alanda endüstri mühendisliğinin önemi de giderek artmaktadır.

Dünya genelinde, toplam elektrik tüketiminde payı oldukça büyük olan sanayi sektöründe enerji yönetimi, diğer tüketici grupları arasında öne çıkmaktadır. Sanayi sektörünün enerji tüketimi diğer nihai tüketici ya da sektörlere göre birim tüketici başına oldukça yüksek olmakla birlikte, bu sektörde güç arzı kesintisizliği daha kritiktir. Endüstriyel enerji tüketicileri arasında, küçük ölçekli, bağımsız yapılarıyla ve karbon salımını önleme amacıyla mikro şebekeler yaygınlaşmaktadır. Öte yandan, gerek yük talebinin gerekse yenilenebilir güç kaynaklarının stokastik yapısı, küçük ölçekli enerji üretim sistemlerinde enerji arz-talep dengesinin kurulmasını daha zor hale getirmektedir. Organize sanayi bölgeleri gibi bir araya gelmiş sanayi kuruluşlarıyla oluşan endüstriyel mikro şebekeler, tüketicinin karakteri ve talebin biçimi dolayısıyla daha etkin bir enerji yönetimi gerektirirler.

Çalışmamızda bir organize sanayi bölgesinden oluşan endüstriyel bir mikro şebekenin enerji yönetimi için, bütünsel bir karar destek sistemi önermek amaçlanmıştır. Bu amaç altında, eş zamanlı olarak saatlik enerji üretimi ve tüketimi çizelgelenmiştir. İkisi de belirsizlik barındıran güç üretimi ve yük tüketiminin eş zamanlı olarak çizelgelenmesi, çalışmamızın ilk özgün örneklerden biri olmasını sağlamaktadır. Ayrıca, organize sanayi bölgelerinde yer alan veri merkezlerinin ayrı bir başlık olarak dikkate alınmış olup, endüstriyel enerji tüketicilerine ve enerji yönetimine etkilerinin araştırılması da, ülkemizdeki bilimsel araştırmalar açısından çalışmamızın fark yaratıcı yönlerinden biridir.

Önerdiğimiz endüstriyel mikro şebeke sisteminin üretim tarafı yenilenebilir kaynaklar olan fotovoltaik sistem ve rüzgâr enerjisi sisteminin yanında, dizel jeneratör ve çift yönlü ana şebeke bağlantısından oluşmaktadır. Yenilenebilir kaynaklara ek olarak sisteme dahil edilen bu enerji kaynakları sayesinde, eş zamanlı güç ve yük çizelgelemesi yapmak mümkün olacak ve güç arzı eğrilerinin kararlılığına katkı sağlanacaktır.

Çalışmamızda ele alınan enerji yönetimi probleminin ve buna sunulan çözüm önerisinin şekillenmesine, çalışmanın başından beri süregelen kaynakça taraması ve bu doğrultuda hazırlanan kaynakça tarama makalesinde Öz Düzenleyici Haritalar yöntemi ile yapılan kümeleme uygulamasının sonuçları ışık tutmuştur. Önerilen karar destek sistemi ile bütünsel bir enerji yönetimi ortaya konmaktadır. Öncelikle endüstriyel mikro şebeke sisteminin deterministik ve stokastik değişken ve parametreleri belirlenmiştir. Stokastik parametreler için veri temini ve tahmininin nasıl

yapılacağı belirtilmiştir. Mikro şebekelerde enerji yönetiminden bağımsız ele alınamayacak olan yük talebinin tahmini için yöntemler önerilmiş; çalışmanın sunduğu karar destek sistemine, talep tahmini opsiyonel bir aşama olarak eklenmiştir. Sonrasında, eş zamanlı enerji üretim-tüketim çizelgelemesi için çalışmamızın temel unsurlarından olan bir optimizasyon modeli önerilmiştir. Kısıtlar altında bir Dinamik Programlama modeli kurulmuş; ancak, problemin özellikleri gereği karışık tam sayılı değişkenlerle tamamlanmıştır. Enerji üretim-tüketim çizelgelemesi için, orijinal bir yük kaydırma yaklaşımı uygulanarak, tüketici talebi altı saatlik toplamları sabit kalacak şekilde günün bu altı saatlik çeyrekleri içinde kaydırılmıştır. Bu şekilde hem üretim hem tüketim taraflarına esneklik tanınarak ve tüketici konforunu mümkün olduğunca az etkileyerek çizelgeleme seçenekleri sağlanmıştır. Önerilen çizelgeleme modelinin dinamik ve kompleks bir ortamda karşılaşılması oldukça muhtemel olan kısa ve uzun vadeli değişikliklere karşı uyarlanabilir olması adına ise, özgün bir senaryo analizi yaklaşımı ortaya konmuştur. Senaryo analizi aşaması, Sistem Dinamiği yaklaşımı ile endüstriyel mikro şebeke sisteminin stok ve akış değişkenlerinin belirlenmesi, bu değişkenler arasındaki etkileşimlerin uzmanlara danışıldığı bir anket çalışması, sonrasında gerekli hesaplamalar için entropi ağırlıklarının bulunması ve buna bağlı üretilen formülasyon ile devam etmektedir.

Önerilen enerji yönetimi paketinin örnek bir uygulaması Gebze Organize Sanayi Bölgesi'nde gerçekleştirilmiştir. Uygulama kapsamında, öncelikle veri merkezi hariç seksen altı tüketim biriminden oluşan organize sanayi bölgesinin geçmiş dokuz yıllık saatlik elektrik tüketim verileri kullanılarak ARIMA ve Yapay Sinir Ağları yöntemleri ile saatlik talep tahmini yapılmıştır. Bu tahmin sonuçları MAPE ve R^2 ölçütlerine göre karşılaştırılmıştır. Diğer stokastik veriler olan güneş ışınımı, ortam sıcaklığı ve rüzgâr hızı ise meteorolojiden temin edilmiştir. Ardından, ele alınan tüketici grubunun son yıllardaki ortalama talebi göz önüne alınarak mikro şebekenin üretim tarafının gerekli kurulu gücüne karar verilmiş ve bu doğrultuda güç üreticilerinin parametreleri belirlenmiştir. Tüm veri ve parametrelerin temininden sonra, enerji üretim-tüketim çizelgeleme modeli Gebze Organize Sanayi Bölgesi için düzenlenip, GAMS programında kodlanmıştır. Öncelikle, talebin yüksek olduğu gün içi saatlere dair dört farklı mevsimden farklı çeyrekler için uygulamalar yapılmıştır. Bunlardan alınan sonuçlara göre bazı model parametreleri güncellenmiştir. Bir sonraki aşamada, model talebe olan duyarlılığı bakımından da gözden geçirilmiştir. Bunun için veri merkezinin enerji yönetimine etkileri, talep kısıdı parametrelerinin duyarlılık analizi ve talep tahmininin çizelgeleme sonuçlarına etkisi incelenmiştir. Daha sonra, önerilen dinamik çizelgeleme modeli güç üreticilerinin meteorolojik verilere bağlı kapasitelerinin düşük olduğu uç durumlar için de test edilmiştir. Yapılan tüm uygulamaların sonucunda önerilen modelin geçerliliğinden emin olunmuştur. Uygulama sonuçları, enerji maliyeti ve karbondioksit salımı bakımından talebin tamamen ana şebekeden karşılandığı durumla karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre önerilen modelin zayıf kalan yönlerinin geliştirilmesi için önerilerde bulunulmuş ve örnek model çözümleriyle bu önerilerin işlerliği gösterilmiştir.

Mevcut durum için optimum üretim-tüketim çizelgesi üreten modelin uygulaması tamamlandıktan sonra, bu modelin farklı senaryolara uyarlanabilmesi için önerilen yaklaşımın iki gelecek senaryosu örneği üzerinde uygulaması yapılmıştır. Bunun için önce uzmanlara uygulanan anketin sonuçları iki ayrı şekilde değerlendirilerek entropi ağırlıkları ve değişkenler arası etki değerleri hesaplanmıştır. Önerilen formülasyon, bu değerler kullanılarak iki örnek için de düzenlenmiş ve nihai skorlar elde edilmiştir. Bu

skorların çizelgeleme modelinin ilgili senaryolara uyarlanmasında nasıl kullanılacağı açıklanmıştır.

Çalışmada sunulan bütünsel çözüm yaklaşımı ve uygulaması sonucunda, sistemin kurulu gücü toplam enerji talebine göre güncel tutulduğu sürece, önerilen çizelgeleme modeli ile optimum güç ve yük çizelgelemesi yapmanın mümkün olacağı anlaşılmıştır. Dinamik model, her saatteki ihtiyaç ve potansiyellere göre, optimizasyon amacını da dikkate alarak üretim-tüketim dağıtımını gerçekleştirmektedir. Önerilen model çevresel anlamda büyük fayda sağlamaktadır. Ancak, modelin farklı uygulamalardaki davranışları incelendiğinde, maliyet enküçükleme amacının belirli bir noktadan sonra karbondioksit salımı kısıdı ile çeliştiği görülmüştür. Bunun asıl nedeni, dizel jeneratörün yakıt tüketimi ve buna bağlı olarak maliyet ve karbondioksit salımı fonksiyonlarının parçalı yapıda olmasıdır. Buna karşı, yenilenebilir enerji üreticilerinin kapasitelerinin arttırılarak karbondioksit salımı kısıdının modelden çıkarılması önerilmiştir.

Çalışmamızda önerilen endüstriyel mikro şebeke yapısı ve çözüm yaklaşımı ile, hem mevcut durumda optimum çözümler ortaya koyan hem de gelecekteki olası değişimleri dikkate alarak bunlara karşı da önlemler sunan, böylece geleceğe dönük politikalar üretmeyi de mümkün kılan bir enerji yönetimi sistemi hazırlanmış ve işlerliği gösterilmiştir. Önerilen sistemin büyük miktardaki endüstriyel enerji talebi karşısında geçerliliğinin gösterilmesinin, hem yenilenebilir enerji kaynaklarına duyulan güveni arttıracağı hem de ülkemizde mikro şebekelerin ve bununla birlikte dağıtık enerji üretiminin yaygınlaşmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Veri merkezlerinin organize sanayi bölgeleri içinde yer almasının teşvik edilmesinin, maliyetleri ayrı ayrı işletilecekleri durumdan daha fazla arttırıp enerji yönetimini güçleştirerek hem organize sanayi bölgelerindeki farklı karakterli elektrik tüketicilerini hem de veri merkezlerini nasıl olumsuz etkilediği de gösterilmiştir. Ele alınan problemin mevcut durum içindeki dinamik yapısı ve gelecekte karşı karşıya olacağı dinamik çevre ile, önerilen çözüm paketi sayesinde başa çıkılabileceği ortaya konmuştur.

A DYNAMIC ENERGY MANAGEMENT MODEL PROPOSAL FOR ENERGY MANAGEMENT IN INDUSTRIAL MICROGRIDS AND A CASE STUDY

SUMMARY

Energy Management has gained importance as distributed energy has become an increasingly critical application in individual, social and global dimensions. With the developing digital consumption habits, the demand for energy grows and develops both quantitatively and qualitatively. The complexity of the issues caused by using an energy portfolio requires energy management with a system approach and optimization perspective. Therefore, the importance of the industrial engineering is gradually increasing in the energy industry.

The manufacturing and commerce group stands out among the energy consumer groups with a large share in total electricity consumption. The fact that the energy consumption per unit consumer is quite high in manufacturing compared to other end users comes from the uninterrupted power supply need being critical to the industrial users. A prominent type of consumer among industrial energy consumers is microgrids due to their small-scale and independent structure added to the merit of supporting mitigation of greenhouse emissions. Microgrids fed by renewable energy sources made distributed energy use possible, hence, satisfies strategies against global warming. Yet, the stochastic nature of both load demand and renewable power sources makes it difficult to balance the energy supply and demand in small-scale energy systems. Industrial microgrids are generally found a good solution by the industrial establishments as industrial zones, which heavily require an efficient energy management system due to non-homogenous consumption character.

In our study, it is aimed to propose a holistic decision support system for energy management of an industrial microgrid providing power for an industrial zone. To facilitate the management, hourly energy generation and consumption of the industrial microgrid are scheduled simultaneously. Our study is expected to be one of the first original examples of the simultaneous scheduling of the power generation and load consumption. An important contribution of this study is to analyze the impact of data centers located in industrial zones on industrial energy consumption and energy management.

The power generation side of the proposed industrial microgrid system consists of a diesel generator and bidirectional main grid connection, in addition to a photovoltaic system and wind turbines. This structure allows scheduling the power and the load simultaneously and contributes to the stability of the power supply and shaving up the demand leaps.

Continuous survey through the research process and the clustering application using the Self-Organizing Maps method in the literature review article enlightened our path for developing the proposed solution. This knowledge not only led to the choice of

power generation alternatives but also helped to create the objective function and constraints of the energy generation-consumption scheduling model.

To present a holistic energy management system with the proposed decision support system, deterministic and stochastic variables and parameters of the industrial microgrid system were determined as the first step. Moreover, the way to detect or forecast data for the stochastic parameters was clarified. Forecasting methods were proposed for predicting the load demand as a part of the energy management system. Since all the solar data and wind strength were received from the local meteorological stations, demand forecasting was kept as an optional step in the decision support system.

As the second stage, an optimization model was proposed in order to realize the simultaneous energy generation-consumption scheduling. This model includes a Dynamic Programming model constructed under constraints and the mixed integer variables to define the mathematical functions. The recursive function of the dynamic model was built to minimize the total energy cost. The constraints were composed of the demand constraint, the power-load balance constraint, the technical constraints of power generators and sources, the carbon dioxide emission standards, the constraint about consumer comfort, and the sign restrictions of the decision variables. The generation-consumption schedules withheld the load-shifting approach and the consumer demands shifted within six-hour quarters of a day where the six-hour totals remain constant. This way flexibility is given to both generation and consumption sides and satisfying the consumer comfort as much as possible.

The proposed scheduling model can be easily adapted to short/long-term changes that are highly likely to be encountered in a dynamic and complex environment. An original scenario analysis was run on the above state. More scenarios were developed by using the System Dynamics approach, where the stock and flow variables of the industrial microgrid system were designed. Using the causality map structured, a survey was conducted by consulting experts from several scientific areas and the energy sector on the interactions of variables. Finally, the entropy weights of the flow variables and the interaction values of stock and flow variables were found, and the formulation was done based on the calculations.

An application of the proposed energy management package was carried out in Gebze Industrial Zone, Kocaeli, Turkey. The hourly load demand was forecasted by using the ARIMA and Artificial Neural Networks methods. The nine years of historical electricity consumption data of the industrial zone with eighty-six consumption units (excluding the data center) was used for the demand forecast. These forecasting results were compared with MAPE and R^2 error validation methods. The stochastic data such as solar radiation, ambient temperature, and wind speed were requested from the local meteorology station. Then, the power generation was calculated using the resources of the microgrid and national grid to respond to the energy demand of the site. Once data cleaning was performed the parameter set of the proposed energy generation-consumption scheduling model was adjusted for Gebze Industrial Zone. The model was coded in GAMS solver and run for different quarters from four different seasons regarding the daytime hours when demand is higher. Some model parameters were updated according to the results obtained from this base scenario. Subsequently, the demand sensitivity of the model was reviewed. Furthermore, the data center impacts on energy management were shown. In the last application step, the proposed dynamic scheduling model was tested for extreme cases. These tests ensured the validity of the

proposed model. The application results were discussed through the cost and emission dimensions, with the assumption that power generated by the national grid is totally based on fossil sources. According to the comparison results, some suggestions were made to improve the weaknesses of the proposed model. The functionality of these suggestions was shown with model solution examples.

After the validations of the proposed generation-consumption schedule for Gebze, it was assured that the model gives the optimum solutions. Then, the system dynamics-based approach was applied to create two future scenario samples. Results of the expert survey were evaluated in two different ways, and the entropy weights and the interaction values of the variables were calculated. The proposed formulation was edited using these values for two sample scenarios, and final scores were obtained. A discussion section was reserved to clarify how the scheduling model is adjusted for the two selected scenarios. It was foreseen that application of the schedule model for the real-time data case-based numerical analysis is to be run.

The proposed holistic approach shows that as long as the supply is increased in parallel with the demand it will be possible to obtain the optimum balance of the power and load schedule on the microgrid using the proposed scheduling model. The dynamic model achieves generation-consumption distribution according to needs and potentials at every hour based on the optimization objective. The microgrid structure using an optimized schedule clearly provides environmental benefits, shown as 39% to 55% reduction in total carbon dioxide emission. However, when the behaviour of the model in different cases is examined, it is observed that the cost minimization objective contradicts the carbon dioxide emission mitigation. This is mainly because of the fuel consumption function of diesel generator which is a piecewise function. Removal of this concern is only possible by increasing the renewable energy capacity. This idea has been proven by small-scale application examples.

The proposed holistic energy management approach in our study generates optimum solutions for the current case, and also take into account possible future changes, then offer measures against them. The functionality of the management system is tested against extreme cases and decision support is given for future plans. It is not only to the benefit of the industrial consumers with high demand volume but also the awareness and trust for the renewable energy will be improved. This study targets both the industrial and commercial energy consumers and the energy managers, who are under the pressure of digital conversion with industry 4.0 implementations. This study also shows the negative impact of data centers located in the industrial zone which will help the policymakers for new regulations. The results achieved in this study also show that both current and future issues can be handled using the proposed energy management system.

1. GİRİŞ

1.1 Tezin Amacı ve Etkisi

Enerjinin ekonomik, politik ve sosyal boyutlarda giderek önem kazanarak gezegenin geleceği için son derece kritik bir konu haline gelmesiyle, Enerji Yönetimi kavramı bir gereklilik olmuştur. Enerjiye duyulan talep, modern dünyanın gelişen tüketim alışkanlıklarıyla yalnızca miktar olarak artmakla kalmayıp, kalite ve planlama açılarından da yeni ihtiyaçlar doğurmaktadır. Bu talebin tahmini ve planlamasının enerji yönetiminde artan önemiyle, endüstri mühendisliğinin enerji sektöründeki yeri de genişlemektedir. Enerji yönetimi gibi sistemsel yaklaşım ve optimizasyon bakış açısı gerektiren bir alanda etkinliği arttırmak için disiplinlerarası çalışmalar gereklidir. Özellikle dağıtık enerji sistemlerinin yaygınlaşması ile dünyamızın geleceğini koruyacak yenilikçi çalışmaların neredeyse tümü farklı mühendisliklerin, ekonomistlerin ve sosyal bilimcilerin ortak çalışmaları ile ortaya çıkmaktadır.

Enerji yönetiminin alt başlıkları incelendiğinde, dünya çapındaki toplam elektrik tüketiminin yaklaşık olarak %38'inden sorumlu olan sanayi sektöründeki enerji yönetimi öne çıkmaktadır (EIA, 2019). Sanayi sektörü tarafından talep edilen ve harcanan enerjinin yönetilmesi planlama, çizelgeleme, verimlilik analizi gibi farklı açılardan ele alınabilir; üretim ve tüketim taraflarının özelliklerine göre çeşitli şekillerde uygulanabilir. Endüstriyel enerji tüketicileri arasında göze çarpan bir tüketim tarafı türü mikro şebekelerdir. Mikro şebekeler, kendine ait enerji kaynakları, güç üreticileri ve depolama sistemleri olabilen küçük ölçekli ve kısıtlı güç sistemleridirler (Elsied ve diğ, 2016). Dağıtık bir enerji yapılanmasına, diğer bir deyişle enerji yönetiminde ademimerkeziyetçiliğe olanak sağladıklarından enerji sistemlerinde yerleri giderek önem kazanmakta ve bu alanda gelecek vadetmektedirler (Almada ve diğ, 2016).

Mikro şebekelerin enerji üretim ve tüketim yönetimi, enerji alanındaki güncel problemlerden biridir. Gerek yük talebinin gerekse yenilenebilir güç kaynaklarının stokastik yapısı, özellikle mikro şebekeler gibi küçük ölçekli sistemlerde arz-talep

dengesinin kurulmasını daha zor hale getirmektedir (Boait ve diğ, 2015). Mikro şebekelerde öncelikli hedef, bağımsız olarak inşa edilmese de sistemi çoğunlukla kendi kendine yetecek biçimde işletebilmektir. Bağımsız bir sistemin başarıyla işletilebilmesi ise yerel enerji kaynaklarının bolluğu, güç üreticilerinin kapasitelerinin yeterliliği ve doğru enerji planlaması ile mümkün olur. Organize sanayi bölgeleri (OSB) ya da fabrika kampüsleri gibi bir araya gelmiş sanayi kuruluşlarıyla oluşan endüstriyel mikro şebekeler ise, tüketicinin karakteri ve talebin biçimi dolayısıyla daha etkin bir enerji yönetimi gerektirirler (Derakhshandeh ve diğ, 2019).

Çalışmamızda tüketim tarafı bir OSB'den oluşan endüstriyel bir mikro şebekenin enerji yönetimi için bütünsel bir karar destek sistemi ortaya koymak amaçlanmaktadır. Bu amaç altında, eş zamanlı olarak saatlik enerji üretimi ve tüketimi çizelgelenecektir. Mikro şebekelerde enerji yönetimi çalışmalarında, çoğunlukla probleme üretim ya da tüketim tarafından yaklaşıldığı görülmüştür. Araştırmalarımıza göre, hem güç üretimi hem de yük talebini eş zamanlı olarak değişken kabul eden örneklerin sayısı son derece azdır. İkisi de belirsizlik barındıran güç üretimi ve yük tüketiminin eş zamanlı olarak çizelgelenmesi açısından, çalışmamızın ilk özgün örneklerden biri olması beklenmektedir. Öte yandan, bir OSB'deki birbirinden bağımsız endüstriyel tüketicilerin heterojen bir bakış açısı gerektireceği aşikardır. OSB'de yer alan her enerji tüketicisi firma kendi enerji giderlerini önemseyecektir. Bu da çalışmamıza eş zamanlı enerji üretim-tüketim çizelgeleme yapılan az sayıda çalışmanın içinde ayrıcalıklı bir yer sağlamaktadır. Ek olarak, OSB'lerde yer alan veri merkezlerinin ayrı bir başlık olarak dikkate alınacak olup, endüstriyel enerji tüketicilerine ve enerji yönetimine etkilerinin araştırılması da, ülkemizdeki bilimsel araştırmalar açısından çalışmamızın fark yaratıcı yönlerinden biri olacaktır.

Önerdiğimiz endüstriyel mikro şebeke sisteminin üretim tarafı bileşenleri fotovoltaik sistem, rüzgâr enerjisi sistemi, dizel jeneratör ve çift yönlü ana şebeke bağlantısı olarak belirlenmiştir. Enerji sürekliliğini arttırmak açısından güneş ve rüzgâr enerjilerinin birlikte kullanımına sıklıkla rastlanmaktadır (Roy ve diğ, 2018). Yine de yenilenebilir güç kaynaklarının kesikli ve öngörülmesi zor yapısı nedeniyle yedek konvansiyonel kaynaklar, enerji depolama sistemi veya ana şebeke bağlantısı gibi alternatiflere de benzer sistemlerde yer verilmektedir. Bu alternatifler mikro şebekeler açısından çizelgeleme esnekliğini arttırmak için de kullanılmaktadır (Sarshar ve diğ, 2017). Eş zamanlı güç ve yük çizelgelemesi yapmak, yenilenebilir kaynaklara ek olarak sisteme

dahil edilecek bu enerji kaynakları sayesinde mümkün olabilecektir. Bu şekilde hibrit bir enerji üretim sistemi kurmak, güç arzı eğrilerinin kararlılığı açısından da gerekli ve faydalıdır (Gonzalez-Rivera ve diğ, 2020).

Enerji alanındaki mevcut durumda, elli altmış yıl öncesinin yük talebini bir sabit olarak ele alan bakış açısı tamamen ortadan kalkmıştır. Modern yaklaşımda, en iyi sonuca ulaşmak için sistemin tüm bileşenleri kısıtlar kapsamında esnetilebilmektedir. Özellikle de kontrolün daha zor olduğu yenilenebilir enerji kaynakları ile çalışıldığında, bu esneklik bir zorunluluk halini almaktadır. Küresel ısınma nedeniyle geleceğe yeterli kaynaklar bırakabilmek, sürdürülebilir bir yaşamı desteklemek için enerji arzında önceliğin yenilenebilir enerji kaynaklarına verilmesi gerektiği artık tartışılmazdır (Barbato ve Capone, 2014). Bu çalışmada, bir yandan da temiz enerji kaynaklarının kullanımı ile sanayi merkezlerinde başarılabilecek yenilikler vurgulanmaktadır. Çalışmada ele alınacak olan problemin önerilen yöntem ve yaklaşımlarla etkin bir şekilde çözülebilmesi, sanayi sektöründe de yenilenebilir enerji kaynaklarına duyulan güvenin artmasını sağlayacaktır. Aynı zamanda, elde edilecek sonuçlar mikro şebekelerin ve bununla birlikte dağıtık enerji üretiminin ülkemizde de yaygınlaşabilmesi adına önemli olacaktır.

Çalışmamızda önerilecek olan karar destek sistemi ile bütünsel bir enerji yönetimi paketi ortaya koymak amaçlanmaktadır. Endüstriyel mikro şebeke sistemi tüm bileşenleri ve tarafları ile analiz edilerek deterministik ve stokastik değişken ve parametreler belirlenmiş; stokastik olanlarla başa çıkmak için veri temini ve tahmininin nasıl yapılacağı üzerinde durulmuştur. Sonrasında, eş zamanlı enerji üretim-tüketim çizelgelemesi için çalışmamızın temel unsurlarından olan dinamik bir optimizasyon modeli önerilmiştir. Önerilen çizelgeleme modelinin dinamik ve kompleks bir ortamda karşılaşılması oldukça muhtemel olan kısa ve uzun vadeli değişikliklere karşı uyarlanabilir olması adına ise, sistem dinamiği disiplini temelli özgün bir senaryo analizi yaklaşımı ortaya konmuştur.

1.2 Tezin Organizasyonu

Çalışmamızda ilk olarak endüstriyel mikro şebekelerde enerji yönetimine dair gerekli kavramlar tanıtılmış; ilgili alanda kullanılan deyimlerin tanımları netleştirilerek çalışma boyunca tutarlılık sağlanması amaçlanmıştır. Çalışmanın en başında verilen

bu bölümle, okuyucunun çalışmanın kavramsal sınırları hakkında fikir sahibi olması da sağlanmıştır.

Üçüncü bölümde, çalışmanın öneri sürecinden başlayarak, modelleme, yöntem seçimi, uygulama ve tartışma süreçleri boyunca devam eden kaynakça taramasına yer verilmiştir. Bu bölümde, taranan yayınlar hakkında bilgi verilmiş; ayrıca tarama ve incelemeler doğrultusunda hazırlanıp yayımlanan kaynakça tarama makalesinin sonuçlarına da yer verilmiştir. Bu makale endüstriyel mikro şebekelerde enerji yönetimi konulu bilimsel yayınları çeşitli açılardan inceleyip, sistematik bir biçimde kümelemektedir. Kümeleme için Öz Düzenleyici Haritalar yöntemi kullanılmış; böylece, literatürdeki bolluk ve eksikliklerin daha net görülebilmesi sağlanmıştır. Makalenin sonuçları, çalışmamızda ele alınan enerji yönetimi probleminin ve çözüm önerisinin şekillenmesine de ışık tutmuştur.

Dördüncü bölümde, çalışmamızda ele alınan problemin çözüm önerisinde yararlanılacak olan tüm yöntem ve yaklaşımlar tanıtılmıştır. Önce, tahmin aşaması için kullanılabilecek yöntemler hakkında bilgi verilmiştir. Ardından, enerji çizelgeleme optimizasyonu modelinin kurulmasını sağlayan araçlar en temelinden itibaren tanıtılmıştır. Bölüm 4.4 ve 4.5'te ise, çalışmamızın gelecek senaryolarının analizi kısmı için başvurulan sistem dinamiği yaklaşımı ve bunun değerlendirilmesinde kullanılacak olan entropi yöntemi açıklanmıştır.

Çalışmanın beşinci bölümünde, endüstriyel mikro şebekelerde enerji çizelgeleme problemi detaylı olarak tanıtılmış; problemin ele alınmasıyla amaçlananlar ve uygulanacak çizelgeleme yaklaşımının ayrıntıları verilmiştir. Bu bölümde problemin tüm varsayımları ve benzer çalışmalarda rastlanmayan bileşenleri de tanıtılmıştır.

Altıncı bölümde ise, problem için önerilen kapsamlı çözüm yaklaşımı verilmiştir. İlk olarak mikro şebekelerde talep tahmininin önemi ve bizim çalışmamızda ele alınış biçimi üzerinde durulmuştur. Sonrasında, enerji çizelgeleme optimizasyonu için önerilen matematiksel model değişken ve parametreleri ile amaç ve kısıt fonksiyonlarından her biri ayrı bir başlık altında ele alınarak detaylı biçimde tanıtılmıştır. Önerilen endüstriyel mikro şebeke yapısında yer alan güç üreticileri de teknik formülleri dolayısıyla doğrudan matematiksel modeli etkilediklerinden, bu bölüm altında tanıtılmıştır. Bölüm 6.3'te ise, çizelgeleme modelinin farklı senaryolara uyarlanabilmesi için önerilen sistem dinamiği temelli çözüm yaklaşımı tanıtılmıştır.

Bu yaklaşımla sistemin analiz edilip stok ve akış değişkenlerinin belirlenmesi ve bunlar arasındaki olası etkileşimlerin saptanıp anket haline getirilmesi detaylı olarak açıklanmıştır. Ardından, anket sonuçlarının hem etki değerlerinin hem de entropi ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılması sürecine ve elde edilen bu değerlerin nihai sonuçlara dönüştürülmesi için üretilen formülasyona yer verilmiştir.

Çalışmamızın yedinci bölümü, önerilen enerji yönetimi paketinin bütün bir uygulamasının gerçekleştirildiği bölümdür. Önerilen endüstriyel mikro şebeke yapısının uygulanması için Gebze OSB seçilmiştir. Bu bağlamda, ilgili OSB'ye, Gebze bölgesine ve piyasa geneline bağlı tüm veri ve parametreler ilgili kaynaklardan temin edilmiştir. Geçmiş talep verisi ile tahmin uygulaması örnekleri yapılmıştır. Ardından, seçilen uygulama bölgesine göre özelleştirilen dinamik modele yer verilmiş ve bu modelin çok sayıda farklı tarih ve saat dilimi için çözümleri yapılmıştır. Bu çözümlerle model için farklı uç durumlar da incelenmiş, böylece önerilen modelin geçerliliğinden emin olunmuştur. Ayrıca, modelin talebe olan duyarlılığı da çeşitli açılardan irdelenmiştir. Sonrasında, yapılan tüm uygulamaların sonuçları değerlendirilmiş ve önerilen mikro şebeke yapısının yerine, tüm talebin ana şebekeden karşılandığı durumla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın sonuçlarına göre gerekli noktalarda iyileştirmeler ve değişiklikler önerilmiş, bu önerilerin işlevsellikleri de ayrı uygulama çözümleriyle gösterilmiştir. Son olarak bölüm 7.10'da ise, ele alınan uygulama bölgesi için gelecek senaryoları analiz edilmiştir. Öncelikle uzmanlara uygulanan anketin sonuçları değerlendirilip, sistem değişkenleri arasındaki etki değerleri ve entropi ağırlıkları hesaplanmıştır. Önerilen formülasyonda bu değerler yerlerine konarak formüller sadeleştirilmiştir. Ardından, iki farklı gelecek senaryosu örneği dikkate alınarak, formüller hesaplanmış ve nihai sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçların, önerilen sistemin ve modelin örnek senaryolara uyarlanması için ne şekilde kullanılacağı açıklanarak yorumlanmıştır.

Son bölüm olan sekizinci bölümde ise, çalışma boyunca yapılanlar değerlendirilerek sonuçlar özetlenmiş, amaçlara ulaşıldığı gösterilmiştir. Ardından, çalışmanın geliştirilmesi ya da gelecek çalışmalar için önerilere yer verilmiştir.

2. ENDÜSTRİYEL MİKRO ŞEBEKELER İÇİN TEMEL KAVRAMLAR

Tez çalışması kapsamında ele alınacak ve değinilecek kavramlar, bu bölümde tanıtılacaktır. Bu kavramlar mikro şebekeler, enerji yönetimi, endüstriyel enerji tüketimi, güç/yük, ekonomik dağıtım, talep tarafı yönetimi, talep tepkisi, enerji çizelgeleme ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak belirlenmiştir.

Mikro şebekeler, küçük ölçekli ve sınırlı, kendi içerisinde güç üreticileri, depolama sistemleri, yük kontrol birimleri ve iletişim ağlarını barındıran, kısmen bağımsız güç sistemleridir. Mikro şebekeler farklı sebeplerle ana şebekeye entegre edilmemiş ya da ana şebekeyle bağlantısı olsa da temelde kendi başına var olan sistemlerdir (Elsied ve diğ, 2016). Mikro şebekelerin hitap ettikleri tüketici kesimi, merkezden uzak bir yerleşim bölgesi, bir kampüs, fabrika ya da OSB olabildiği gibi, bir ada ya da şehir de olabilir. Mikro şebekelerdeki kontrol birimleri, yerel kontrolörler ve bunları idare eden bir merkezi kontrol biriminden oluşur. Yerel kontrolörler güç üretim birimlerinde, depolama birimlerinde ve yük birimlerinde bulunabilirler (Bandeiras ve diğ, 2018).

Merkeziyetçilikten uzak, küçük ölçekli ve dolayısıyla daha kolay yönetilebilir yapıları nedeniyle mikro şebekeler geleceğin dağıtık enerji sistemi olarak görülmektedirler. (Almada ve diğ, 2016). Mikro şebekelerin ana motivasyonlarından biri de çevreye daha az zarar vererek yük talebini karşılamak olduğundan, genellikle yenilenebilir enerji kaynaklı dağıtık güç üreticileri de içerirler. Enerji kaynağı seçimlerine bakıldığında, konvansiyonel ya da yenilenebilir enerji kaynaklı olabildikleri ama çoğunlukla hibrit sistemlerin tercih edildiği görülmektedir (Elsied ve diğ, 2016).

Küçük ölçeklilik, yönetimde esneklik ve kolaylık sağlasa da zamana bağlı yük taleplerinin birebir karşılanmasını da zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, yük çizelgeleme, talep tarafı yönetimi, talep tepkisi gibi programların uygulamalarına mikro şebekelerde sıklıkla rastlanmaktadır. Bu çözüm arayışları, mikro şebekelerde optimal enerji yönetimi kavramını çok çalışılan bir problem haline getirmiştir (Elsied ve diğ, 2016).

Enerji Yönetimi, belirli bir bölgedeki enerji akışlarını organize etmekten sorumlu yönetim sistemidir. Bu yönetim sistemi, yalnızca enerjinin üretimi ya da tüketimi taraflarından veya ikisinden birden sorumlu olabilir. ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi'nin tanımına göre bir enerji yönetimi sistemi, bir enerji politikası ve hedefleri ile bu hedeflere yönelik süreç ve prosedürler oluşturmak için çalışan etkileşimli öğelerden oluşur (ISO, 2019). Bu tanım, enerji yönetimi sisteminin sürekli gelişmeyi amaçladığını göstermektedir (Cooremans ve Schonenberger, 2019). Rudberg ve diğ. (2013)'e göre, enerji yönetimi tüm enerji süreçleriyle ilgili operasyonel, taktiksel ve stratejik karar verme süreçlerini içerir. Başka bir çalışmada enerji yönetimi, enerji sistemleri ve süreçlerinin optimal kullanımı ile enerji talebini karşılama stratejisi olarak tanımlanmıştır (Abdelaziz ve diğ, 2011). Bir diğerine göre, bir enerji yönetimi sistemi enerji maliyetlerini enküçüklerken verimliliği enbüyüklemeyi amaçlayan eylemler bütünüdür (Gordic ve diğ, 2010). Schulze ve diğ. (2016) ise, ISO 50001'in tanımını dikkate alarak enerji yönetimini endüstri için bir destek fonksiyonu olarak gördüklerini belirtmişlerdir.

Enerji yönetimi anlayışı, enerji maliyetlerini, çevresel etkileri, enerji arz düzensizliğini vb. en aza indirirken verimliliği ve/veya yük talebi karşılanma düzeyini (tüketici konforunu) en üst düzeye çıkarmak için optimizasyon anlayışı ile entegre biçimde işler. Enerji yönetiminde optimizasyonu sağlamak için üç temel yaklaşım yük kaydırma, verimlilik arttırma ve enerji türü ikamesidir. Başarılı bir enerji yönetimi sisteminin veri analizi, sistem denetlemesi, operasyon ve bakım, enerji kullanım analizi, finansal değerlendirme, varlık ve süreçler için verimlilik analizi, kısıtlama politikaları üzerine çalışmalar ve enerji dönüşümü ve depolanması aşamalarını içermesi beklenmektedir (Smith ve Parmenter, 2015).

Bir OSB ya da fabrika kampüsü gibi endüstriyel yük tüketicilerine hitap eden mikro şebekeler, endüstriyel mikro şebekeler olarak anılırlar. Endüstriyel mikro şebekeler, tüketicilerinin özelliklerinden dolayı özgün bir enerji yönetimi yaklaşımı gerektirir. Endüstriyel kullanıcıların üretim vb. faaliyetleri düzenli olmayan ve çok büyük miktarlarda yük talebine yol açar; enerji arzındaki kesintiler tolere edilemez duruma gelir (Derakhshandeh ve diğ, 2019). Ele alınan endüstriyel tüketici grubu, OSB gibi farklı sanayi gruplarından oluşan bir topluluksa, tüketiciler farklı çıkarları önemseyeceklerinden heterojen bir tüketici grubu ile karşı karşıya kalınır. Böylece enerji yönetimi daha karmaşık bir hal alır.

Endüstriyel mikro şebekelerde enerji yönetiminin en duyarlı olduğu etken yük talebinin düzensizliği olmakla birlikte (Ufluoğlu, 2018), yenilenebilir enerji kaynakları ile güç üretimi de güç dengeleme problemine belirsizlik katar. Bu durumda, mikro şebekeler gibi küçük ölçekli sistemlerde enerji arz-talep dengesini kurmak, talep zamanlarına uygun eşleştirme yapmak daha zor bir hal alır (Boait ve diğ, 2015). Gerek bu durum gerekse de birden fazla farklı enerji kaynağı ile çalışıyor olmak, etkin bir enerji yönetimine duyulan ihtiyacı gösterir (Rathor ve Saxena, 2020).

Enerji optimizasyonunda kullanılan diğer iki temel kavram ise güç ve yüktür. Güç, üretilen ya da iletilen enerjiden bahsederken kullanılır. Yük terimi ise, talep edilen elektrik enerjisi ya da tüketicinin elektrik tüketim seviyesi anlamında kullanılır (RGI, 2017). Çalışmamız boyunca bu tanımlarla adım atılacaktır.

Enerji yönetimi kapsamında uygulanan programların da tanıtılması gerekmektedir. Ekonomik dağıtım, talebi değişmez kabul ederek güç arzının ekonomik açıdan optimum dağıtımını belirleme yaklaşımıdır (Arif ve diğ, 2014). Talep tarafı yönetimi, belirli hedeflere ulaşmak için, tüketici tarafı ile iş birliği içinde nihai tüketicinin talebini yönetmektir. Talep tarafında yapılabilecek toplam elektrik tüketiminin, maliyetlerin ya da sera gazı salımının azaltılması, enerji satışından elde edilen gelirin arttırılması, enerji verimliliğinin artırılması gibi tüm eylem ve önlemleri kapsar. Talep tepkisi ise, talep tarafı yönetiminin bir alt kümesidir. Benzer bir işlevi olsa da, talep tepkisi yalnızca talep tarafında yapılan geçici değişiklikleri içerir (Guelpa ve Verda, 2021). Talep tarafı yönetimi programlarının altında uygulanan farklı yöntemler ise yük kaydırma (veya yük çizelgeleme), tepe kırpma, enerji koruma, yük yapılandırma, çukur doldurma ve yük şekillendirme olarak sayılabilir. Bunlardan en yaygını olan yük kaydırma yaklaşımında yapılan, tüketicinin toplam yük talebini değiştirmeden, tüketici zaman kısıtları kapsamında yük talebinin saatlerini değiştirmektir. Temel amaç, enerji kullanımını talebin az olduğu saatlere kaydırarak günün saatleri arasında elektik talebi bakımından denge kurmaktır (RGI, 2017).

Optimizasyonun önemli bir çözüm aracı olan çizelgeleme kavramının enerjiye uygulanmasına yakın zamanda başlanmıştır. Enerji çizelgeleme hem üretim hem tüketim taraflarına daha yakından bakmayı gerektirirken, iki tarafın da amaçlarının optimize edilmesine katkı sağlar. Enerji çizelgeleme güç çizelgeleme, yük çizelgeleme ya da ikisinin eş zamanlı çizelgelemesi olarak karşımıza çıkabilir. Her durumda, enerji planlamasına ve yönetimine katkı sağlayan ve dağıtık üretim, akıllı şebeke gibi modern

enerji kavramlarıyla birlikte kullanılan bir işlevdir (URL-1). Talep tarafı yönetimi, ekonomik dağıtım gibi enerji yönetimi programlarının uygulanması için de temel bir unsurdur. Farklı enerji piyasası yapılarına göre, enerji çizelgelemenin gün öncesi, saat öncesi gibi çeşitli uygulamaları görülür. Günümüz enerji piyasalarının işleyişinde, çizelgelemenin mümkün olduğunca kısa vadeli, hatta gerçek zamanlı ve uyarlanabilir olması karmaşıklığı azaltmaktadır. Enerji çizelgelemede en çok kullanılan yöntemler doğrusal programlama, karışık tam sayılı programlama, kısıt programlama ve sezgisel yöntemler olarak sayılabilir (Antonyraj ve Giftson-Samuel, 2019).

Yenilenebilir enerji kaynakları, mikro şebekelerin kurulum motivasyonları ve amaçlarıyla birebir örtüşen ve kullanımları merkezi şebekeye yakınlıktan bağımsız olan güç kaynaklarıdır. Yenilenebilir bir enerji kaynağını güç üretim portföyüne katarken coğrafi ve ekolojik etmenlere dikkat edilmelidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitleri, ilk kullanılmaya başlandıkları 1800'lü yıllardan bu yana giderek artmaktadır. Yenilenebilir güç sistemleri teknolojileri ise, kaynak çeşitliliğine oranla çok daha büyük bir hızla gelişmektedir. En yaygın kullanılan kaynaklar güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidroelektrik enerjisi, jeotermal enerji ve biyokütle enerjisi olarak sıralanabilir (Rathor ve Saxena, 2020).

Günümüzde iklim değişimleri, yüksek enerji talepleri ve temiz enerji elde etme motivasyonlarıyla yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi giderek artmaktadır (Aktaş ve Kırçiçek, 2020). Sadece mikro şebekelerde değil, ana elektrik şebekelerinde de yenilenebilir kaynakların güç üretimindeki payı büyümektedir. Bu nedenle yenilenebilir enerjilerle ilgili teknoloji ve üretim sistemlerinin yaygınlaştırılması, geliştirilmesi ve verimliliklerinin arttırılması üzerine araştırmalar gündemdedir. Yenilenebilir kaynaklı güç üreticilerini güç sistemlerine dahil etmek, hatta yalnızca yenilenebilir kaynaklı mikro şebekeler kurabilmek için de araştırma ve geliştirme çalışmaları sürmektedir (Tabar ve Abbasi, 2019).

Yenilenebilir kaynakların en büyük dezavantajı ise, deterministik olmayan, belirsiz doğalarıdır (Tabar ve Abbasi, 2019). Gelişmiş tahmin yöntemlerine ve yazılımlara rağmen, en yaygın kullanılan yenilenebilir kaynaklar olan güneş ve rüzgâr enerjilerinin stokastik yapıları etkin yönetim sistemlerini ve ana şebeke bağlantısı, enerji depolama gibi alternatifleri zorunlu hale getirmektedir (Aktaş ve Kırçiçek, 2020). Bu durum, yenilenebilir enerji kullanan endüstriyel mikro şebekelerde enerji yönetiminin ve optimizasyon çalışmalarının önemini göstermektedir.

3. ENDÜSTRİYEL MİKRO ŞEBEKELER ÜZERİNE KAYNAKÇA TARAMASI

Tez çalışmamızda ele alınacak problemin ana hatlarıyla belirlenmesinin ardından, ilgili alanlarda kapsamlı bir kaynak taraması yapılarak problemin detaylarına ve parametrelerine karar verilmiştir. Endüstriyel bir mikro şebekenin enerji yönetimi çalışmasında optimize edilecek amaçlar, enerji üretiminde kullanılacak güç kaynakları, sistemin diğer bileşenleri ve kurulan problemin çözümünde kullanılacak yöntem ve yaklaşımların belirlenebilmesi için, 2010 ve sonrasına ait bilimsel literatür gözetilerek eksikler ve trendler ortaya çıkarılmıştır. Bu kapsamda yapılan çalışmalar bir kaynakça tarama ve kümeleme makalesi olarak da derlenip yayımlanmıştır (Bektaş ve Kayakutlu, 2021).

Ancak, tez çalışması sürerken gerek alana yeni katkıların yapılması gerekse ele alınan problem üzerinde derinleştikçe uygulanan yöntemin geliştirilmesi, literatürü daima takip etmeyi gerekli kılmaktadır. Bu nedenle, kaynak okumalarına yayımlanan makaleden sonra da devam edilmiştir. Tez çalışması boyunca incelenen ve toplam yüz yetmiş dokuz makaleden oluşan tüm kaynaklar Ek A Çizelge A.1'de verilmiştir.

Endüstriyel mikro şebekelerde enerji yönetimi çalışmalarında beş ana amaç türüne rastlanmaktadır. Bunlar çevresel amaçlar, enerji arz ya da talep optimizasyonu amaçları, sistemin tasarımına dair amaçlar, çizelgeleme amaçları ve ekonomik amaçlardır. Makaleler hakkında bu grup başlıkları altında bilgi verilecektir. Birden çok amacı olan makalelere tek bir başlık altında değinilecektir.

3.1 Çevresel Amaçlı Çalışmalar

Endüstriyel mikro şebekelerde enerji yönetimi çalışmaları arasında en az görülen amaç türü çevresel amaçlardır. Bunun nedeninin, çoğunlukla yenilenebilir kaynaklarla çalışılan bu sistemlerde ayrıca karbon salımı enküçüklemesi gibi amaçların ele alınmasına gerek duyulmaması olduğu düşünülmektedir.

Aghajani ve diğ. (2015), çalışmalarında sera gazı salımı ve operasyonel maliyetlerin enküçüklenmesini bir arada amaçlamış ve bu doğrultuda çok amaçlı parçacık sürü optimizasyonu (PSO) yöntemini kullanmışlardır. Sera gazı salımı kapsamında CO_2, SO_2 ve NO_x'i dikkate almışlardır. Üzerinde çalıştıkları, rüzgâr türbini, fotovoltaik sistem, mikro türbin, yakıt hücresi ve batarya içeren mikro şebeke için bir talep tepkisi programı uygulamışlardır. Azaza ve Wallin (2017), İsveç'te bulunan özerk bir mikro şebeke için bir optimal enerji ve çevre yönetimi çalışması ortaya koymuşlardır. Bir önceki çalışmaya benzer şekilde, negatif çevresel etkilerin ve operasyon maliyetlerinin enküçüklenmesini amaçlayan ve güç üreticilerinin kapasitelerini belirlemeyi sağlayan bir karar modeli üretmişlerdir.

Choobineh ve Mohagheghi (2016), fotovoltaik güç ve dizel jeneratör kullanılan endüstriyel bir mikro şebeke için orijinal bir yaklaşım ortaya koymuşlardır. Sözlüksel hedef programlama yöntemiyle, sera gazı salımı, operasyonel maliyet ve duran varlık amortismanı enküçüklemesini amaçlamışlardır. Li ve diğ. (2016), sera gazı salımı enküçüklemesi ve yaşam döngüsü enerji kullanımı enküçüklemesini amaçlayan bir fizibilite çalışması yapmışlardır. Matematiksel programlama ve senaryo analizi ile yürüttükleri çalışmada, güneş ve rüzgâr için enerji arzı kısıtlarını ve sistemin güç dengesini göz önünde bulundurmuşlardır.

Nazari-Heris ve diğ. (2017) kombine ısı ve güç sistemi, yakıt hücresi, kazan, depolama sistemi, ısı tankı ve ana şebeke bağlantısı bulunan kojeneratif bir mikro şebeke ile çalışmışlardır. ε-kısıt yöntemini ve bulanık mantık yaklaşımını kullanarak, maliyet ve sera gazı salımı enküçüklemesini amaçlamışlardır. Nouri ve diğ. (2018), aynı yöntem ve yaklaşımı gerçek zamanlı bir enerji yönetimi çalışmasında kullanmışlardır. Kısa vadeli çizelgeleme ile maliyet ve karbon salımı enküçüklemesi yapmışlardır. Othman ve Gabbar (2017), genetik algoritma (GA) ve uyarlanabilir nöro-bulanık çıkarım sistemleri kullanarak bir mikro şebekede CO_2 salımı ve net şimdiki maliyet enküçüklemesi yapmışlardır. Sarshar ve diğ. (2017) ise, maliyet ve karbon salımı enküçüklemesi amacıyla günlük yük çizelgeleme yapmışlardır. Hem ekonomik dağıtım hem de tahmin uygulaması içeren çalışmada, dalgacık ayrışımı, yapay sinir ağları (YSA), GA ve TOPSIS gibi farklı yöntemlerden yararlanmışlardır.

Lokeshgupta ve Sivasubramani (2018) yaptıkları çok yönlü çalışmada, talep tarafı yönetimi ile birlikte ekonomik ve çevresel odaklı bir dağıtım programı uygulamışlardır. Yük tüketicileri tarafında gün öncesi yük kaydırma yapılan

çalışmanın üretim tarafında ise, altı adet termal güç üreticisi ele alınarak kurulan dinamik modelde maliyet ve sera gazı salımı enküçüklemesi amaçlanmıştır. Çalışmada çok amaçlı PSO yöntemi kullanılmış ve sonuçta, önerilen modelin hem şehir şebekesi hem de bağımsız üreticilere fayda sağladığı ortaya konmuştur. Sedighizadeh ve diğ. (2019a), stokastik çizelgeleme ile bir mikro şebekede sera gazı salımı ve maliyet enküçüklemesi yapmayı amaçlamışlardır. Ele alınan mikro şebeke güneş ve rüzgâr enerjisi sistemlerinin yanında, fosforik asit yakıt hücresi, mikro gaz türbini ve batarya içermektedir. Çevresel amaçları olan çalışmalara son bir örnek olarak Ghanbari ve diğ. (2020), geniş çaplı ve çok taşıyıcılı mikro şebekeler üzerine çalışmışlardır. Yenilenebilir üreticiler, dizel jeneratör, yakıt hücresi, kombine ısı ve güç sistemleri, kazanlar, soğutma sistemleri ve bataryalardan oluşan bir mikro şebeke yapısı için, sera gazı salımını azaltma, operasyon maliyetlerini enküçükleme, yük taleplerini karşılama gibi birden çok amaç kullanmışlardır.

3.2 Enerji Arz/Talep Optimizasyonu Amaçlı Çalışmalar

İlgili alandaki kaynaklarda çevresel amaçlı çalışmalara nispeten daha sık rastlanan bu amaç türü, güç üretimi optimizasyonu, yük tüketimi optimizasyonu, kayıp enküçüklemesi, üreticilerin verimlilik enbüyüklemesi gibi başlıkları içermektedir.

Aghajani ve diğ. (2017), fotovoltaik sistem, rüzgâr türbini, batarya ve ana şebeke bağlantısı içeren bir mikro şebeke sisteminde yaptıkları çalışmada, yenilenebilir kaynakların neden olduğu belirsizlik altında sistemin optimal biçimde işletilmesini amaçlamışlardır. Çevresel amaçlı diğer çalışmalarında olduğu gibi çok amaçlı PSO yöntemini kullanarak, operasyonel maliyetler, zararlı gazların salımı ve güç dengesini kriter olarak ele alan bir model ortaya koymuşlardır. Başka bir çalışmada ise, Aktas ve diğ. (2018) simülasyon yaklaşımıyla, talep değişkenliğine karşı güç arzı optimizasyonu yapmışlardır. Bandeiras ve diğ. (2018), yenilenebilir kaynaklar ve depolama sistemi bulunduran yerel bir şebekede performans değerlendirme çalışması yaparak, merkezi ve merkezi olmayan enerji kaynaklarının dağıtımının analizini ve karşılaştırmasını ortaya koymuşlardır.

Bogaraj ve Kanakaraj (2016), simülasyon kullanarak bir mikro şebeke sistemi için enerji kullanımı optimizasyonu ve tahmin çalışmaları yapmışlardır. Bir başka çok amaçlı çalışmada ise, Borhanazad ve diğ. (2014) çok amaçlı PSO yöntemi yardımıyla elektrik maliyeti ve güç kayıplarının enküçüklemesini dikkate almışlardır. Cesena ve

diğ. (2018) karışık tam sayılı doğrusal olmayan programlama ve Monte Carlo simülasyonunu birlikte kullanarak, üzerinde çalıştıkları mikro şebekenin enerji, depolama ve güvenlik hizmetlerini optimize etmişlerdir. Choobineh ve diğ. (2018) de karışık tam sayılı doğrusal olmayan programlama yöntemiyle, şebeke topolojisini yeniden yapılandırarak ve yedek enerji kaynaklarını kullanarak güç arzı enbüyüklemesi yapmışlardır.

Fabrizio ve diğ. (2017), kestirimci optimizasyon algoritmasını kullanarak hem yenilenebilir kaynaklardan optimum fayda sağlamayı hem de ana şebeke ile mikro şebeke arasındaki güç alışverişini enküçüklemeyi amaçlamışlardır. Fang ve diğ. (2018), kıyıya uzak endüstriyel mikro şebekelerde enerji dağıtımının zorluğunu dikkate alarak, enerji yönetiminde bulanık karar verme yaklaşımını kullanmışlardır. Indragandhi ve diğ. (2018) önerdikleri modelde enerji maliyetlerinin ve güç kaybı olasılığının bir arada enküçüklenmesini amaçlamış ve sık uygulanan yöntemlerden olan çok amaçlı PSO'yu kullanmışlardır. Ele aldıkları sistemde fotovoltaik sistem, depolama sistemi ve yakıt hücresinin teknik kısıtlarını dikkate almışlardır. Kinhekar ve diğ. (2016), akıllı bir mikro şebekede talep tarafı yönetimi programı uygulamışlardır. Endüstriyel yük talebine güç arzı ile verilen yanıtları optimize ederek, önerdikleri karışık tam sayılı doğrusal olmayan programlama modelinde yük çizelgeleme ve şarj/deşarj kısıtlarını dikkate almışlardır.

Kumar ve diğ. (2018), çalışmalarında güç kaybı enküçüklemesi için dağıtık üreticilerin boyutlarına karar vermeyi sağlayan bir model önermişlerdir. Ele alınan ana şebeke bağlantılı sistemdeki dağıtık üreticiler fotovoltaik paneller, rüzgâr türbinleri ve yakıt hücresidir. Marzband ve diğ. (2013a) ise, gerçek zamanlı veri ile simülasyon uygulaması yaparak, bir grup dağıtık üretici içinden dağıtım optimizasyonu için en iyi kombinasyonu belirlemeye çalışmışlardır. Marzband ve diğ. (2016), daha yakın tarihli bir çalışmalarında ise, çok katmanlı karınca kolonisi optimizasyonu algoritması kullanarak saatlik güç üretimi çizelgelemesi yapmışlardır. Misak ve diğ. (2015) ise, bir başka meta sezgisel yöntem olan çok katmanlı YSA algoritması ile tahmin ve talep tarafı yönetimi programının bir arada uygulandığı bir çalışma ortaya koymuşlardır. Ele aldıkları bağımsız sistemde, amaç güç arzı kesintilerinin azaltılmasıdır.

Pinceti ve diğ. (2015), bulanık mantık yaklaşımıyla bir mikro şebekenin operasyonel stabilliğini sağlamayı ve enerji üretimini optimize etmeyi amaçlamışlardır. Matematiksel modelleme ve simülasyonun bir arada kullanıldığı bir başka makalede,

maliyet enküçüklemesi ve enerji depolama seviyesi optimizasyonunu amaçlayan bir optimal enerji yönetimi çalışması yapılmıştır (Pu ve diğ, 2019). Sedighizadeh ve diğ. (2019b) güç üretimi, dağıtımı ve tasarrufunun optimal biçimde yönetilmesini amaçladıkları çalışmalarında, YSA, benzetimsel dinamik programlama ve hibrit büyük patlama-büyük çöküş algoritmalarına başvurmuşlardır. Shamshuddin ve diğ. (2017) de, benzer amaçlar güttükleri enerji yönetimi çalışmalarında fotovoltaik sistem, yakıt hücresi ve batarya içeren bağımsız bir mikro şebekeyle çalışmışlardır. Heydari ve diğ. (2019) ise, ana şebeke bağlantısı olmayan bir mikro şebekenin enerji tüketimi analizi için kısa dönemli güneş ışınımı ve rüzgâr hızı tahmini yapmışlardır. Kullandıkları hibrit yöntemde farklı makine öğrenme teknikleri ve sezgisel yöntemler yer almaktadır.

Xiao ve Ai (2017), çalışmalarında ekonomik faaliyetler, yenilenebilir kaynakların belirsizliği, güvenlik ve depolama kısıtlarını dikkate alarak, güç alışverişi dayanıklılığı enbüyüklemesini amaçlamışlardır. Yilmaz ve diğ. (2018), yalnızca fotovoltaik güç kaynağının bulunduğu bir akıllı şebekede çalışmışlardır. Maliyet ve uygulanabilirlik kriterlerini de göz önünde bulundurarak, meteorolojik verilere dayalı güç çıktısı tahmininde bulunup, buna göre sistem tasarımı yapmışlardır. Ziogou ve diğ. (2013), önerdikleri optimal enerji yönetimi modeliyle hidrojen üretimi enbüyüklemesini amaçlamışlardır. Katal ve Fazelpour (2018), yaptıkları fizibilite çalışmasıyla VIKOR yazılımını kullanarak İran'daki mevcut enerji tesislerinin verimlilik, maliyet ve sera gazı salımı bakımından uygunluğunu incelemişlerdir. Lopes ve diğ. (2018) ise, ikili PSO algoritması ile talep tepkisi programı uygulayarak yük talebi enküçüklemesi yapmışlardır.

Afrakhte ve Bayat (2020a), çoklu mikro şebeke sistemleri için çok amaçlı bir optimizasyon çalışması yapmışlardır. Önerilen model yük enbüyüklemesi, voltaj değişkenlikleri enküçüklemesi ve kâr enbüyüklemesini amaçlarken, güç dengesi, güç alışverişi sınırları, üretim kapasiteleri gibi çok sayıda kısıdı dikkate almaktadır. Başka bir çalışmalarında ise, kendi kendini geliştiren bir tip-2 bulanık enerji yönetimi stratejisi öne sürmüşlerdir. Bu stratejiyle çoklu mikro şebekelerin optimizasyon ve koordinasyonunu sağlamayı amaçlamışlardır. Normal ve hatalı operasyon modlarını bir arada dikkate alabilen gelişmiş bir evrimsel algoritma kullanmışlardır (Afrakhte ve Bayat, 2020b). Moretti ve diğ. (2019), bağımsız bir mikro şebeke için iki katmanlı, tahmine dayalı bir yönetim stratejisi uygulamışlardır. İlk katmanda birim yüklenme

programı uygulanırken, ikinci katmanda yük değişkenliklerine göre gerçek zamanlı düzenlemeler yapılmıştır. Zhang ve Wei (2020) ise, lityum batarya, fotovoltaik üretici, hidrojen üretim birimi ve yakıt hücresi içeren bağımsız bir mikro şebekede güç optimizasyonu yapmışlardır. Matematiksel modellemesi yapılan enerji yönetimi sistemi, endüstriyel bir gerçek zamanlı platform üzerinde çalıştırılarak farklı zaman dilimleri için sonuçlar alınmıştır.

Marino ve Marufuzzaman (2020) mikro şebekeler için, şans kısıtlı programlama kullanarak iki aşamalı bir stokastik optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Büyük veri kullanarak rüzgâr enerjisi sistemini ele aldıkları uygulama sonuçlarında maliyet tasarrufu, dağıtım sisteminin dayanıklılığında artış gibi olumlu sonuçlar elde etmişlerdir. Nasr ve diğ. (2020), bağımsız mikro şebekeler için yaptıkları çalışmada voltaj stabilliği ve üretim arızaları kısıtlarını dikkate almışlardır. Çok amaçlı bir optimizasyon yaklaşımıyla güç kayıpları, voltaj sapmaları ve enerji maliyetlerini enküçüklemeyi amaçlamışlardır. Xiong ve diğ. (2020) ise, mikro şebekeler için çok amaçlı bir yenilenebilir enerji yönetimi şeması önermişlerdir. Amaç olarak elektrik faturalarının enküçüklemesi, ana şebekeden satın alınan güç miktarının enküçüklemesi ve güç kalitesinin optimizasyonunu dikkate almışlardır.

Liu ve diğ. (2019), hibrit enerji depolama sistemi bulunan bir sistemde dinamik programlama ve GA yardımıyla optimizasyon yaparak, enerji tasarrufunu ve batarya ömürlerini uzatmayı amaçlamışlardır. Kural tabanlı bir kontrol stratejisi ile, bir enerji yönetimi programı ortaya koymuşlardır. Kong ve diğ. (2020), farklı tarafları barındıran mikro şebekelerin değişken piyasa şartları altında optimal koordinasyonu için iki seviyeli dağıtık bir optimizasyon yaklaşımı geliştirmişlerdir. Bu yaklaşımda şans kısıtlı programlama, arttırılmış Lagrange metodu gibi yöntemler bulunmaktadır. Maghami ve diğ. (2020) ise, talep tepkisi programı ve hidrojen depolama sistemine dayalı bir enerji yönetimi stratejisi önermişlerdir. Çalışmanın amaçları tepe noktasındaki yük talebini azaltmak ve sistemin maliyetlerini enküçüklemektir. Ele alınan mikro şebekede güneş, hidroelektrik ve rüzgâr enerjileri, yakıt hücresi ve depolama teknolojisi kullanılmıştır.

Enerji arz/talep optimizasyonu alanındaki diğer çalışmalara ise, Çizelge A.1'de detayları verilen Barbato ve Capone (2014), Nazir ve diğ. (2014), Ji ve diğ. (2017), Mavrigiannaki ve diğ. (2017), Zeng ve diğ. (2017), Chassin ve diğ. (2018) ve Marzband ve diğ. (2018) yayınları örnek verilebilir.

3.3 Sistem Tasarımı Amaçlı Çalışmalar

Kaynakça içinde öncekilere göre daha sık rastlanan sistem tasarımına yönelik çalışmalar, güç üreticilerinin üretim kapasitesini etkileyecek parametrelerin belirlenmesi, mikro şebeke elemanlarının optimal yerleşimi, teknik regülasyonlar gibi konuları kapsamaktadır.

Bu alanda simülasyon çalışmalarının fazlaca kullanıldığı görülmüştür. Gerçek zamanlı simülasyon çalışmalarına, Acharya ve diğ. (2018) ve Casolino ve diğ. (2018)'in makaleleri örnek verilebilir. Acharya ve diğ. (2018), gerçek zamanlı simülasyon ile ele aldıkları fotovoltaik paneller, dizel jeneratör ve batarya içeren sistemin frekans kontrolü koordinasyonunu yapmışlardır. Casolino ve diğ. (2018) ise, yük talebi ve sistem bileşenlerinin teknik kısıtlarını göz önünde bulundurarak ana şebeke bağlantılı bir mikro şebeke sistemi tasarımı önermişlerdir. Camacho ve diğ. (2017), ana şebeke bağlantısı ve enerji depolama opsiyonları olan güneş enerjisine dayalı bir mikro şebekenin operasyon kontrol şemalarının karşılaştırılmasında simülasyon kullanmışlardır. Cansiz ve diğ. (2018) ise, benzer şekilde lityum-iyon batarya ve süper iletken manyetik sistem içeren bir hibrit enerji depolama sistemi önermişlerdir. Kitson ve diğ. (2018) HOMER ve Simulink yazılımlarını bir arada kullanarak, üzerinde çalıştıkları mikro şebekenin sistem kapasitesini enbüyüklemeyi amaçlamışlardır. Loeser ve Redfern (2010), biyokütle, mikro türbin ve yakıt depolama sisteminden oluşan hibrit sistemleri ile uzaktaki müşterilere güvenilir yenilenebilir enerji arzı yapmayı amaçlamışlardır. Tavakoli ve diğ. (2018), önerdikleri doğrusal bir modele dayalı olarak yaptıkları simülasyon uygulamasıyla, ana şebeke bağlantılı bir mikro şebekenin en küçük maliyeti ile en yüksek şebeke dirençliliği arasındaki denge noktasını belirlemeyi amaçlamışlardır. Yang ve diğ. (2018) ise, benzer yaklaşımlarla şebeke bağlantılı bir mikro şebekenin yüklerini çizelgeleyerek arz güvenliğini geliştirmeyi amaçlamışlardır.

Sistem tasarımına yönelik çalışmalarda, meta sezgisel yöntemlerin kullanımının da yaygın olduğu görülmüştür. Voltaj-frekans yönetimiyle maliyet enküçüklemesi yapılan bir çalışmada PSO algoritması kullanılmıştır (Arefi ve Shahnia, 2018). Aynı algoritma ile, bağımsız bir mikro şebekede talep tarafı yönetimi programı uygulanmıştır. Yaşam döngüsü maliyetleri ve kirlilik faktörleri dikkate alınarak enerji depolama kapasitesi optimize edilmiştir (Liu ve diğ, 2018). Atawi ve Kassem (2017),

fotovoltaik enerjiden ve depolama sisteminden yararlanan bir mikro şebekenin enerji yönetimi için yapay arı kolonisi algoritması kullanmışlardır. Foroutan ve diğ. (2016), harmonik arama algoritması ve GA ile sistem stabilliği için yakıt tüketimini enküçüklemeyi ve voltaj profilini geliştirmeyi amaçlamışlardır. Harmon ve diğ. (2018), iki seviyeli bir optimizasyon algoritması ile ekonomik dağıtım uygulaması yapmışlardır. Çalışmanın amacı, mikro şebeke kümeleri arasında bulut tabanlı ve hibrit bir kablosuz ağın organizasyonudur. Mallol-Poyato ve diğ., iki ayrı çalışmalarında sırasıyla iki adımlı evrimsel algoritma ile iç içe bir evrimsel algoritma kullanarak, ana şebeke bağlantılı bir mikro şebekenin üretim birimlerinin boyutlandırılmasını ve operasyonlarının çizelgelenmesini amaçlamışlardır (Mallol-Poyato ve diğ, 2016, 2017). Bukar ve diğ. (2020) çalışmalarında bağımsız bir mikro şebekenin uzun dönemli kapasite planlamasını yapmışlardır. Çekirge optimizasyonu algoritması kullanarak kural tabanlı bir enerji yönetimi şeması ortaya koymuşlardır. Ele alınan mikro şebeke fotovoltaik sistem, rüzgâr türbini, batarya ve dizel jeneratörden oluşmaktadır. Ghiasi (2019) ise, çalışmasında mikro şebekelerin iki önemli kısıdı olan ulaşılabilirlik ve ekipman maliyetini dikkate alarak yola çıkmıştır. Fotovoltaik sistem, rüzgâr türbinleri ve batarya bulunduran bir mikro şebekede çok amaçlı PSO algoritması ile bileşen kapasitelerinin belirlenmesini, sistemin dizayn edilmesini ve ulaşılabilirliğin arttırılarak ağ maliyetlerinin azaltılmasını amaçlamıştır.

İncelenen amaç türünde, farklı türlerde matematiksel modellere de rastlanmıştır. Khalilpour ve Vassallo (2016), bir mikro şebekenin elektrik faturalarını enküçükleyecek bir boyutlandırma ve çizelgeleme modeli önermişlerdir. Lopez-Salamanca ve diğ. (2018), önerdikleri modelde, ana şebeke bağlantılı bir mikro şebekedeki enerji depolama sistemini optimal biçimde şebekedeki endüstriyel tüketiciler arasında bölüştürmeyi ve elektrik faturalarını azaltmayı amaçlamışlardır. Zhang ve diğ. (2018a), önerdikleri karışık tam sayılı stokastik modelle operasyon maliyetleri enküçüklemesini ve enerji depolama optimizasyonunu amaçlamışlardır. Kumar V ve diğ. (2020), üretim tarafı fotovoltaik sistem, biyokütle ve dizel jeneratörden oluşan ana şebeke bağlantılı bir mikro şebekede bileşenlerin optimal boyutlandırmasını yapmışlardır. Karışık tam sayılı doğrusal programlama ile kurdukları modelde kısıt olarak enerji dengesi, bütçe kısıdı, batarya kapasitesi ve zaman birimleri arası denge kısıtlarını dikkate almışlardır. Firouzmakan ve diğ. (2019) yaptıkları talep tepkisi çalışmasında yük kaydırma yaklaşımını uygulamışlar, çok

amaçlı stokastik optimizasyon kullanmışlardır. Çalışmanın amacı, ele alınan ana şebeke bağlantılı ve depolama sistemi bulunan mikro şebekede sistem güvenilirliğini arttırırken operasyonel maliyetleri azaltmaktır. Bahlawan ve diğ. (2019) ise, bir hibrit enerji tesisinin boyutlandırma ve operasyon optimizasyonu için dinamik programlama tabanlı bir metodoloji geliştirmişlerdir. Fotovoltaik panel, termal toplayıcı, kombine ısı ve güç sistemi, ısı pompaları ve sıcak su depolama sisteminden oluşan enerji üretimi tesisinde birincil enerji tüketimi enküçüklenerek, GA tabanlı benzer bir çalışmaya göre enerji tüketiminde %5,4 azalma elde edilmiştir.

Bu kategori altında, sistem analizi, değerlendirme, karşılaştırma gibi çalışmalar da yer almaktadır. Lu ve diğ. (2016), Hibrit Petri Ağları yöntemi ile bağımsız bir mikro şebekenin sistem analizini gerçekleştirmişlerdir. Nguyen ve diğ. (2018), mikro şebekelerde sistem kontrolü için ortalama konsensüs algoritması ile çok ajanlı bir sistem geliştirmişlerdir. Kwon ve diğ. (2016), güneş ve rüzgâr enerjisi sistemleri, batarya ve hava tahmin aygıtı içeren ana şebeke bağlantılı bir mikro şebekede, kablosuz iletişimden faydalanarak bir kontrol mekanizması geliştirmişlerdir. Nosratabadi ve diğ. (2017), bir mikro şebekenin sistem güvenilirliği için stokastik optimizasyon ve ardışık Monte Carlo yöntemi kullanmışlardır. Obara ve diğ. (2013), bağımsız bir mikro şebeke özelinde iki farklı enerji depolama sistemi olan sodyum-sülfür batarya ve organik hidrit sistemini karşılaştırmışlardır. Yao ve diğ. (2018), istatistiksel analizle akıllı bir hibrit güç havuzu tasarlamışlardır. Vergara-Dietrich ve diğ. (2019), ana şebeke bağlantılı hibrit güç tesisleri için gelişmiş bir kontrol yapısı inşa ederek bir enerji yönetimi sistemi ortaya koymuşlardır. Önerilen yapıda model öngörülü kontrol yöntemi ile şans kısıtlı programlama bir arada kullanılmıştır. Ele aldıkları tesiste yenilenebilir enerji kullanımını ve kârı enbüyüklemeyi amaçlamışlardır. Pham ve diğ. (2020), bir mikro şebekenin enerji depolama sisteminin farklı koşullar altındaki güvenilirlik performans değerlendirmesi için bir çalışma yapmışlardır. Bunun için Markov temelli analitik bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Amirkhan ve diğ. (2020), ana şebeke bağlantılı bir mikro şebekenin farklı parametreler ve yükteki değişiklikler altında kontrolünü yapmayı amaçlamışlardır. Ele alınan mikro şebeke fotovoltaik sistem, lityum batarya ve dağıtık enerji depolama sistemi içermektedir. Zhang ve diğ. (2018b) ise, bağımsız bir mikro şebekenin enerji çizelgeleme ve dağıtım tasarımı için Markov karar algoritmasını kullanmışlardır. Bu tür çalışmalara son bir örnek olarak Bernardi ve diğ. (2021), yenilenebilir güç

kaynakları ve batarya bulunduran bağımsız bir mikro şebekede enerji yönetimi çalışması yapmışlardır. Çalışmada ana amaç, sistemin hataya dayanıklılık kontrolüdür. Bunun yanında, kâr enbüyüklemesi de yapılmıştır. Hareketli tahmin ve model öngörülü kontrol yöntemleri kullanılmıştır.

Hakimi ve diğ. (2020), akıllı şebeke altyapısı bulunan ve üretim portföyü tamamen yenilenebilir kaynaklardan oluşan bir mikro şebekede talep tepkisi programı uygulamışlardır. Elektrikli cihazların kontrol edilebilir yüklerini ve güç dengesini göz önünde bulundurarak, sistem güvenilirliğini arttırmayı, maliyetleri düşürmeyi ve üretilen gücün en yüksek düzeyde kullanımını amaçlamışlardır. Jafari ve Malekjamshidi (2020), konut kullanıcıları için bir hibrit yenilenebilir enerji tesisi tasarlamışlardır. Tesisin ana şebeke bağlantılı ve bağımsız çalışma seçenekleri bulunmaktadır. Tesisin enerji yönetimi biriminde, çevrim dışı dinamik programlama tabanlı optimizasyon ve gerçek zamanlı bir kontrolör ile tüm sistemin güç akışı enerji planına göre yürütülmektedir. Aviles ve diğ. (2019), ana şebeke bağlantılı bir mikro şebekenin optimal boyutlandırmasını ve enerji yönetimini yaparak müşterilerin elektrik maliyetlerini enküçüklemeyi amaçlamışlardır. Yenilenebilir kaynaklardaki, maliyetlerdeki, dizel yakıt fiyatlarındaki ve tarifelerdeki değişkenlikleri göz önünde bulundurdukları çalışmalarında iki seviyeli optimizasyon uygulamışlardır. Mohamed ve diğ. (2020), akıllı ada adı verilen mikro şebeke benzeri yapılarda dağıtım temelli bir enerji yönetimi sistemi oluşturmayı amaçlamışlardır. Primal-dual yöntemi ile dağıtım sisteminin farklı aktörleri arasında daha kısa sürede daha iyi sonuç veren bir yaklaşım ortaya koymuşlardır. Kiptoo ve diğ. (2020), bağımsız bir mikro şebekede bileşenlerin boyutlandırılması ve operasyonların çizelgelenmesi için farklı senaryolar altında talep tarafı yönetimi programı uygulamışlardır. Ele alınan mikro şebeke güneş ve rüzgâr enerjisi sistemleri, dizel jeneratör, batarya ve termal depolama sistemini içermektedir. Ghanaee ve Foroud (2019) ise, turbo genleştirici içeren mikro şebekeler üzerine çalışmışlardır. Genleştiricinin kendine has özellikleri ve kısıtları dolayısıyla farklı bir boyutlandırma yaklaşımı gerektiren mikro şebeke için, inovatif bir optimal kapasite belirleme yöntemi geliştirilmiştir.

Endüstriyel mikro şebekelerde sistem tasarımı, boyutlandırması, regülasyonu gibi amaçlar taşıyan çalışmalara verilebilecek diğer örnekler ise, Çizelge A.1'de detayları verilen Jayachandran ve Ravi (2017), Wu ve Ren (2017) ve O'Shaughnessy ve diğ. (2018)'dir.

3.4 Çizelgeleme Amaçlı Çalışmalar

İlgili kaynakçada en sık rastlanan amaç türlerinden biri çizelgeleme çalışmalarıdır. Çoğunlukla ya güç üretimi ya yük tüketimi çizelgelenmektedir. Çok az sayıda çalışmada üretim ve tüketimin eş zamanlı çizelgelemesi amaçlanmıştır.

Arif ve diğ. (2014), kullanıcı tercihleri ve güç üretim kapasitesini göz önünde bulundurarak bir optimum güç dağıtım çizelgesi elde etmeyi amaçlamışlardır. Mazidi ve diğ. (2014), bağımsız bir mikro şebekede enerji depolama sisteminin çizelgelemesini yapmışlardır. Lei ve diğ. (2015), çizelgelerin iki seviyeli optimizasyonuyla mikro şebekenin bileşenleri için fayda enbüyüklemesi yapmışlardır. Bracale ve diğ. (2015)'in enerji yönetimi çalışmalarında, fotovoltaik sistem, mikro türbin ve batarya içeren bağımsız bir mikro şebekenin gün öncesi yük çizelgelemesi yapılmıştır. Cha ve diğ. (2015), ana şebeke bağlantılı bir mikro şebekede talep tepkisi programının uygulanması için akıllı yük kontrolü yapmışlardır. Bulanık mantık ve simülasyondan bir arada yararlanarak yaptıkları çizelgeleme çalışmasında, güç verimliliği enbüyüklemesini amaçlamışlardır. Cintuglu ve diğ. (2015) ise, bir birim yüklenme çalışmasında çok ajanlı oyun teorisi kullanmışlardır. Hem piyasa koşullarını hem de sistemlerindeki bileşenlerin teknik kısıtlarını dikkate alarak, dağıtık enerji kaynaklarının saatlik çizelgelemesini yapmışlardır.

Nosratabadi ve diğ. (2016), rekabetçi piyasa koşullarını kısıt olarak alarak, karışık tam sayılı doğrusal olmayan bir modelle stokastik çizelgeleme yapmışlardır. Shen ve diğ. (2016), önerdikleri stokastik enerji yönetimi yaklaşımı ile mikro şebekede kâr enbüyüklemesi yapmışlardır. Amrollahi ve Bathaee (2017), önerdikleri çok amaçlı karışık tam sayılı doğrusal model ile yaşam döngüsü maliyetlerinin enküçüklemesini ve yük çizelgelemeyi amaçlamışlardır. Üzerinde çalıştıkları bağımsız mikro şebekede, güç dengesini, talep tepkisi ve güvenlik kısıtlarını ve bileşenlerin teknik kısıtlarını dikkate almışlardır. Wang ve diğ. (2017), minimaks gürbüz çok amaçlı optimizasyon ve çok amaçlı çapraz entropi algoritması kullanarak belirsizlik altında arz ve talep çizelgeleme yapmışlardır. Yazdaninejad ve Amjady (2017), risk enküçüklemesi için önerdikleri stokastik çizelgeleme modelinde karışık tam sayılı doğrusal programlamaya başvurmuşlardır. Kia ve diğ. (2017) ise yayımladıkları birim yüklenme çalışmasıyla, sistem arızalarını göz önünde bulunduran stokastik bir gün öncesi çizelgeleme yapmışlardır.

Hong ve diğ. (2018), benzer bir problemi gürbüz optimizasyon ve sütun üretme yöntemlerini kullanarak çözmeyi amaçlamışlardır. Chen ve Trifkovic (2018) tahmin de içeren enerji yönetimi çalışmalarında, güç piyasasının büyüme oranını enbüyüklemeyi amaçlamışlardır. Je ve Huh (2018), oyun teorisi ve Floyd-Warshall algoritması ile ana şebeke bağlantılı bir mikro şebekede, çizelgeleme ile enerji verimliliğini geliştirmişlerdir. Misaghian ve diğ. (2018), stokastik programlama ile ana şebeke bağlantılı bir mikro şebekede gelir enbüyüklemesi ve tüm bileşenler için çizelgeleme optimizasyonu yaparken, ana şebekeyle yapılacak alışverişleri de enküçüklemeyi amaçlamışlardır. Hosseinnia ve Tousi (2019), yaptıkları talep tepkisi çalışmasında ε-kısıt metodu ile bulanık karar verme yaklaşımını entegre biçimde kullanarak optimal bir çizelge elde etmeyi amaçlamışlardır. Petreus ve diğ. (2019), üzerinde çalıştıkları bağımsız mikro şebekede, simülasyon ile bileşenlerin optimal çizelgelerini elde etmeyi amaçlamışlardır. Rahim ve diğ. (2019), güneş ve rüzgâr enerjileri ve fosil yakıt tesislerinin yanında enerji depolama sistemi ve ana şebeke bağlantısı da içeren bir mikro şebekede gerçek zamanlı enerji yönetimi yapmışlardır. Alt gradyan tabanlı dağıtık algoritma ve dual Lagrange ayrıştırması yöntemlerinden faydalanarak güç çizelgeleme yaparken, maliyetleri de azaltmayı amaçlamışlardır. Zhang ve diğ. (2019), stokastik bir model öngörülü kontrol uygulaması ile bir mikro şebekede çizelgeleme optimizasyonu yapmışlardır. Ele alınan mikro şebeke yakıt hücresi temelli kombine ısı ve güç sistemleri, rüzgâr türbinleri, fotovoltaik üreticiler, batarya ve termal enerji depolama sisteminden oluşmaktadır. Mazidi ve diğ. (2019) ise, yenilenebilir kaynakların, talebin ve fiyatların değişken yapıları altında bir mikro şebekenin gün öncesi çizelgelemesi problemini ele almışlardır. Belirsiz parametrelerle baş edebilmek için stokastik p-gürbüz optimizasyon yöntemini kullanmışlardır. Ele aldıkları ve kârını enbüyüklemeyi amaçladıkları sistem yenilenebilir ve konvansiyonel dağıtık güç üreticileri, kombine ısı ve güç sistemleri, enerji depolama sistemi ve talep tepkisi programı sağlayıcılarından oluşmaktadır.

Yin ve diğ. (2020), üreten tüketicilerden oluşan ana şebeke bağlantılı bir mikro şebekede sistem bileşenlerini ve yükleri çizelgelemişlerdir. Stackelberg oyunu ile satır ve sütun üretme algoritmasından yararlanmışlardır. Aslam ve diğ. (2020), karışık tam sayılı doğrusal programlama kullanarak bir mikro şebekedeki elektrik tüketicilerinin akıllı cihaz ve elektrikli araçlarının kullanım çizelgelemesini yapmışlardır. Çalışmada mikro şebekenin enerji kaynakları olan güneş ve rüzgârın verileri için tahmin de

yapılmıştır. Egbue ve Uko (2020), güneş ve rüzgâr enerjisi sistemleri ile batarya içeren bir mikro şebekenin güç akışı çizelgelemesini yapmayı amaçlamışlardır. Ajan temelli bir yöntem kullanarak, sistemin güç dengesini ve bileşenlerin teknik kısıtlarını dikkate alan bir optimizasyon çalışması yapmışlardır. Khavari ve diğ. (2020), çoklu bir mikro şebeke sistemi için iki aşamalı yeni bir yöntem önermişlerdir. Yöntemin ilk aşamasında gün öncesi güç çizelgelemesi yapılırken, ikinci aşamada önce genel kâr enbüyüklenmiş, ardından bu oransal olarak her mikro şebekeye paylaştırılmıştır. Chen ve diğ. (2020) ise, güneş enerjisinden yararlanan bir mikro şebekenin gün öncesi güç çizelgelemesini yapmak üzere bir optimizasyon modeli kurmuşlardır. Modelin çözümünde yeni bir algoritma önererek, toplam operasyon maliyetlerinin enküçüklenmesini amaçlamışlardır.

Moretti ve diğ. (2020), karışık tam sayılı programlama ve gürbüz optimizasyondan faydalanarak mikro şebekelerin optimal yönetimi için bir çizelgeleme modeli kurmuşlardır. Çalışmalarında yenilenebilir güç kaynakları ve talebe dair belirsizlikleri de dikkate almışlardır. Haghifam ve diğ. (2020), çalışmalarında hem talep tepkisi programı yürütücülerini hem mikro şebeke yöneticilerini dikkate alan iki seviyeli bir yaklaşım önermişlerdir. Akıllı dağıtım ağlarının optimal çizelgelemesini yaparken, hem dağıtım maliyetleri enküçüklemesini hem de bahsedilen iki tarafın kâr enbüyüklemesini amaçlamışlardır. Luo ve diğ. (2020), ana şebeke bağlantılı ve fotovoltaik sistem, rüzgâr türbini, yakıt hücresi, mikro türbin ile batarya içeren bir mikro şebeke için yeni bir enerji yönetimi sistemi önermişlerdir. Sistem bileşenlerinin belirsizlik gösteren parametreleri için, modifiye edilmiş yarasa algoritması kullanılmıştır. Mikro şebekenin gün öncesi güç çizelgelemesi yapılmıştır. Lu ve diğ. (2020) ise, endüstriyel mikro şebekelerde talep tepkisi çalışması için, öncelikle şebekede yer alan üretim sistemini bir kısmi gözlemlenebilir Markov oyunu olarak modellemiş; ardından farklı makineler için çok ajanlı bir gradyan algoritması kullanmışlardır. Makineler için optimal çizelgeyi elde ederken, üretim ve bakım maliyetlerini de enküçüklemişlerdir.

Derakhshandeh ve diğ., üç farklı çalışmalarında yük çizelgeleme ile maliyet enküçüklemesi yapmışlardır. Bir çalışmada, şarj edilebilir elektrikli araçların teknik kısıtları dikkate alınarak dinamik programlama kullanılmıştır (Derakhshandeh ve diğ, 2013). Bir diğerinde, içerisinde yer alan elektrikli araçlarla beraber endüstriyel bir mikro şebekenin arz güvenliği için karışık tam sayılı doğrusal bir model önerilmiştir

(Derakhshandeh ve diğ, 2017). Son örnekte ise, yine dinamik programlama kullanarak, güç akışı ve güç dengesi kriterlerini dikkate aldıkları bir mikro şebekede güç üretim kapasitesi analizi gerçekleştirmişlerdir (Derakhshandeh ve diğ, 2019). Ghasemi ve Enayatzare (2018) ise, çalışmalarında nadir kullanılan bir depolama sistemi olan pompalı depolamayı tercih etmişlerdir. İki nokta tahmin yöntemini kullanarak, güç üretimi ve depolaması için optimal bir çizelge elde etmeyi amaçlamışlardır. Bir başka çalışmada da rüzgâr türbinleri ile beraber pompalı depolama sistemi kullanılmıştır. Rüzgâr hızı tahminleri, yük talebi ve piyasa fiyatları dikkate alınarak, aynı yöntemle ana şebekeyle yapılan güç alışverişinin gün öncesi çizelgelemesi yapılmıştır (Ghasemi, 2018).

Çizelgeleme alanındaki diğer çalışmalara ise, Çizelge A.1'de detayları verilmiş olan Jalali ve Kazemi (2015), Bahramara ve Golpira (2018), Nan ve diğ. (2018) ve Roy ve diğ. (2018) yayınları örnek verilebilir.

3.5 Ekonomik Amaçlı Çalışmalar

Endüstriyel mikro şebekelerde enerji yönetimi çalışmalarında en fazla rastladığımız amaç türü ekonomik amaçlardır. Bunların içinde maliyet ve kâr optimizasyonu ile fiyat odaklı çalışmalar sayılabilir. Bu çalışmaların sayıca çok olması, enerji yönetimi alanında en önemli odak noktasının ekonomik boyut olduğunun da göstergesidir.

Çok sayıda çalışmada, maliyet enküçüklemesi amaçlanırken çeşitli matematiksel programlama yaklaşımları kullanıldığı görülmüştür. Alharbi ve Bhattacharya (2018), doğrusal ve stokastik programlama ile depolama sistemlerinin net şimdiki değerini optimize etmeyi amaçlamışlardır. Kim ve diğ. (2017) ise, bağımsız bir mikro şebekenin kurulum maliyetlerinin net şimdiki değerini enküçüklemişlerdir. Bir başka örnek olarak, Koko ve diğ. (2017) ana şebeke bağlantısı olmayıp mikro hidro kinetik sistem ve pompalı hidro depolama sisteminden oluşan bir mikro şebekenin maliyet enküçüklemesine odaklanmışlardır. Van Ackooij ve diğ. (2018) ise, iki seviyeli stokastik karışık tam sayılı programlama kullanarak akıllı şebeke altyapısı olan bir mikro şebekede birim yüklenme problemini ele almışlardır.

Leone ve diğ. (2017), çalışmalarında destek vektör makineleri ve karışık tam sayılı doğrusal programlama kullanarak, maliyet tahmini ve enerji yönetimi yapmışlardır. Üzerinde çalıştıkları ana şebeke bağlantılı mikro şebekede, fotovoltaik sistem,

hidroelektrik tesisi ve batarya bulunmaktadır. Bir talep tepkisi çalışmasında, Marzband ve diğ. (2013b) bağımsız bir mikro şebekenin maliyet enküçüklemesinde karışık tam sayılı doğrusal olmayan programlama kullanmışlardır. Sreedharan ve diğ. (2016) ise, bir üniversite kampüsü için optimal dağıtım ve talep tepkisi programlarının bir arada uygulandığı bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada hem yük talebinin hem de aylık elektrik faturalarının enküçüklemesi amaçlanmıştır. Bir yük kaydırma çalışmasında ise, Tu ve diğ. (2019) iki aşamalı bir karışık tam sayılı modelle bağımsız bir mikro şebekede toplam maliyeti enküçüklemişlerdir. Marzband ve diğ. (2017a), ana şebeke bağlantılı bir mikro şebekede güç dengesi, üretici/tüketici teklifleri, güç kaynağı kapasiteleri, depolama kapasiteleri, yük talebi gibi çok sayıda kısıdı göz önünde bulundurarak maliyet enküçüklemesi yapmışlardır.

Yu ve diğ. (2016), enerji yönetimi çalışmalarında gürbüz optimizasyon ile maliyet enküçüklemesini amaçlamışlardır. Zakariazadeh ve diğ. (2014), ele aldıkları mikro şebekenin hem operasyonel maliyetlerini hem de dışarıdan alınan enerji ve depolama nedeniyle oluşan giderlerini enküçüklemek için karışık tam sayılı doğrusal olmayan programlamaya başvurmuşlardır. Koltsaklis ve diğ. (2018), önerdikleri karışık tam sayılı doğrusal modelle maliyet enküçüklemesi yaparken, yük talebi, piyasa fiyatları ve sera gazı salımı analizi de yapmışlardır. Qiu ve diğ. (2018), işletme maliyetlerinin enküçüklemesi için bir ekonomik dağıtım programı uygulamış ve karışık tam sayılı kuadratik programlama ve nokta tahmini yöntemlerini kullanmışlardır. Wu ve diğ. (2013) ise, iç nokta yöntemiyle ana şebeke bağlantılı bir mikro şebekenin depolama ihtiyacı ve üreticilerde gücün akış ve tırmanma limitlerini dikkate alarak maliyet enküçüklemesi yapmışlardır. Hohmann ve diğ. (2020), doğrusal olmayan enerji depolama problemleri için dual dinamik programlamayla bir optimizasyon yaklaşımı önermişlerdir. Maliyet fonksiyonlarını polinomsal alarak ve dinamik model durumlarını olasılık dağılımları ile tanımlayarak iki farklı açıdan dinamik modelleme yapmışlardır. Thomas ve diğ. (2020), bir mikro şebekenin maliyet enküçüklemesi ve güç kalitesi optimizasyonu için iki aşamalı bir yaklaşım önermişlerdir. Ele alınan mikro şebeke yenilenebilir ve konvansiyonel dağıtık güç kaynakları, enerji depolama sistemi, elektrikli araçlar ve yük eğrisi doğrusal ya da doğrusal olmayan tüketiciler içermektedir.

Maliyet enküçüklemede meta sezgisel yöntemlerin kullanımına da sıklıkla rastlanmıştır. Anand ve Ramasubbu (2018), yırtıcı olmayan PSO algoritması ile

bağımsız bir mikro şebekenin enerji üretim maliyetlerini enküçükleyerek gerçek zamanlı enerji yönetimi ve sera gazı salımı dağıtımı yapmışlardır. Sharma ve diğ. (2018)'in çalışmasında, belirsizlik altında operasyonel maliyet enküçüklemesi yapılırken nokta tahmin yöntemi, domuz gribi salgını karantinası optimizasyonu ve balina optimizasyonu algoritmaları bir arada kullanılmıştır. Chaudhary ve Rizwan (2018), YSA ve dalgacık dönüşümü kullanarak fotovoltaik sistem ve pompalı hidro depolama sistemi bulunduran bir mikro şebekede enerji maliyetlerinin enküçüklenmesini amaçlamışlardır. Marzband ve diğ. (2014), çok periyotlu yerçekimsel arama algoritması ile bir talep tepkisi çalışması yaparak işletme maliyetlerini enküçüklemişlerdir. Sardou ve diğ. (2018), PSO ve primal-dual iç nokta yöntemini bir arada kullanarak bağımsız bir mikro şebekede toplam maliyetlerin enküçüklenmesini amaçlamışlardır. Muralitharan ve diğ. (2016) ise, bağımsız bir mikro şebekede talep tarafı yönetimi programı uygulayarak, çok amaçlı evrimsel algoritma ile toplam operasyon maliyeti ve cihazların toplam bekleme sürelerini bir arada enküçüklemişlerdir.

Yuan ve diğ. (2019), PSO yönteminin yanında model öngörülü kontrol ve aşırı öğrenme makineleri tekniği kullanarak bir mikro şebekede talep tepkisi programı uygulamışlardır. Sistem bileşenlerinin teknik kısıtlarını gözeterek operasyonel maliyetleri enküçüklemeyi amaçlamışlardır. Li ve Görges (2019), çalışmalarında hibrit elektrikli cihazlar için bir enerji yönetimi stratejisi geliştirmeyi amaçlamışlardır. Araçların hızları için YSA ile tahmin yaparak yakıt tüketimi optimizasyonu yapmışlardır. Sistem bileşenlerinin eş zamanlı kontrolü için benzetimsel dinamik programlama kullanmışlardır. Kullandıkları yöntemleri bir araya getirerek, etkin bir enerji yönetimi stratejisi ortaya koymuşlardır. Wu ve diğ. (2019), benzetimsel dinamik programlama ve evrimsel algoritma kullanarak bir elektrikli araç şarj istasyonunun operasyon maliyetlerini enküçüklemeyi amaçlamışlardır. Değişken elektrik fiyatlarını dikkate alıp, talep tarafı yönetimi programı uygulayarak toplam enerji maliyetlerinde %50'ye yakın azalma elde etmişlerdir. Marzband ve diğ. (2017b) ise, çok periyotlu yapay arı kolonisi algoritması ile gerçek zamanlı enerji yönetimi yaparak operasyon maliyetlerini enküçüklemişlerdir.

Bu başlık altındaki bir diğer yaygın amaç ise kâr enbüyüklemesidir. Endüstriyel mikro şebekelerde kâr enbüyüklemesi çalışmalarında da meta sezgiseller, stokastik programlama, oyun teorisi gibi farklı yöntemlerin kullanımını görmek mümkündür.

Han ve diğ. (2016), üzerinde çalıştıkları mikro şebekenin fayda-maliyet analizi için PSO, GA, yapay arı kolonisi algoritması ve iç nokta yöntemini hibrit bir biçimde kullanmışlardır. Mohammadi ve diğ. (2012), hibrit elektrik piyasası politikalarını dikkate alarak yaptıkları çalışmada GA kullanarak şebekenin işletiminden elde edilecek geliri enbüyüklemeyi amaçlamışlardır. Khayatian ve diğ. (2018), hem kâr enbüyüklemesini hem de kısa dönemli maliyetlerin enküçüklemesini amaçladıkları çalışmalarında stokastik karışık tam sayılı programlamadan faydalanmışlardır. Liu ve diğ. (2017), ana şebeke bağlantılı bir mikro şebekenin enerji yönetimi için Stackelberg oyununu kullanmışlardır. Derakhshandeh ve diğ. (2015), benzer bir mikro şebekede kâr enbüyüklemesi amacıyla bir birim yüklenme programı simülasyonu uygulamışlardır. Ju ve diğ. (2018) yaptıkları talep tepkisi çalışmasında gürbüz optimizasyonu tercih etmişler ve ele aldıkları bağımsız mikro şebekenin gelirlerini enbüyüklemeyi amaçlamışlardır. Hassan ve diğ. (2019), yenilenebilir kaynaklı bir mikro şebekede dinamik fiyat tabanlı bir talep tepkisi programı uygulayarak kâr enbüyüklemesini amaçlamışlardır. Kurulan modelin çözümünde PSO algoritması kullanılmış ve hem kârlılık hem de tüketici konforu açısından uygun olduğu görülmüştür. Son olarak Leonori ve diğ. (2020) ise, GA ve bulanık çıkarım sistemleri kullanarak bir mikro şebekenin ana şebeke ile güç alışverişinden doğan kârı enbüyüklemeyi amaçlamışlardır.

Ekonomik amaçlı çalışmalarda yöntem bakımından daha farklı yaklaşımlara da rastlanmıştır. Bunlara ilk olarak Korkas ve diğ. (2015) makalesi örnek verilebilir. Bu çalışmada, simülasyon tabanlı optimizasyon ile bir mikro şebekede enerji maliyeti ve termal konfor optimizasyonu amaçlanmıştır. Müller ve diğ. (2018), mikro hidro tesis bulunduran bağımsız bir mikro şebekede Monte Carlo analizi ile fiyat elastikiyeti tahmini yapmışlardır. Wang ve diğ. (2019), çok ajanlı stokastik optimizasyon ile ana şebeke bağlantısı ve depolama sistemi bulunan bir mikro şebekenin enerji ve başvuru maliyetleri enküçüklenmesini amaçlamışlardır. Xing ve diğ. (2019), kooperatif logaritmik bariyer ve model öngörülü kontrol yöntemlerini kullanarak yenilenebilir kaynaklar, batarya ve ana şebeke bağlantısı içeren bir mikro şebeke sisteminde operasyon maliyetlerinin enküçüklenmesini amaçlamışlardır. El-Baz ve diğ. (2019), üreten tüketiciler arasındaki enerji alım-satımını kolaylaştıracak kesikli zamanlı ve çift taraflı bir açık arttırma modeli önermişlerdir. Önerilen modelde, bu tür sistemlerde yer alabilecek elektrikli cihazlar, kombine ısı ve güç sistemleri, ısı pompaları gibi

bileşenlerin teknik kısıtları da dikkate alınmıştır. Alahmed ve Al-Muhaini (2020) talep tarafından yaklaştıkları enerji yönetimi çalışmasında, yenilenebilir kaynakların getirdiği stokastiklik problemiyle talep tarafı yönetimi programı uygulayarak baş etmeye çalışmışlardır. Önerdikleri nöro-bulanık ve yük öncelikleri temelli talep tarafı yönetimi sistemiyle kritik ve temel yüklerde kaydırma yapmadan operasyonel maliyetlerini enküçüklemişlerdir. McIlvenna ve diğ. (2020) ise, mikro şebekelerde maliyet enküçüklemesine farklı bir açıdan yaklaşarak enerji yönetimi sistemlerinin hesaplama yüklerinin maliyetini dikkate almışlardır. Önerdikleri yöntem gevşetme yaparak tam sayı değişkenlerin sayısını düşürmekte, böylece hem gerçek zamanlı operasyonların hesaplama sürelerini hem de şebekenin günlük operasyon maliyetlerini azaltmaktadır.

Endüstriyel mikro şebekelerdeki ekonomik amaçlı çalışmalara verilebilecek diğer örnekler ise, Çizelge A.1'de detayları verilen Murakami ve Yamagata (2017), Wanitschke ve diğ. (2017) ve Banaei ve Rezaee (2018)'dir.

3.6 Kaynakça Kümeleme Çalışması Sonuçları

Hazırlanan kaynakça tarama makalesi kapsamında, 2010 – 2019 yıllarındaki endüstriyel mikro şebekelerde enerji yönetimi konulu makaleler belirlenip irdelenmiştir. Makaleler amaçları, yöntemleri, güç kaynakları, enerji depolama opsiyonları ve ana şebeke bağlantıları yönlerinden incelenerek gruplandırılmıştır. Sistematik bir gruplandırma yapılabilmesi ve literatürdeki bolluk ve eksikliklerin daha net görülebilmesi için Öz Düzenleyici Haritalar (ÖDH) yöntemi ile kümeleme uygulaması da yapılmıştır. Bu kısımda, bu çalışmanın sonuçları verilecektir.

ÖDH, verinin topolojisine dayalı olarak kümeleme yapan bir makine öğrenme tekniğidir. Yöntem kısaca, rassal seçimlerle başlandıktan sonra tüm nöronların, yani verinin dolaşılarak uzaklık hesabı yapılması, giriş vektörüne en kısa mesafedeki nöron belirlendikten sonra adımların iteratif olarak sürdürülmesine dayalıdır (Kohonen, 1990). Diğer kümeleme yöntemleri sadece birimler arası farklılıkları dikkate alırken ÖDH, hem birimler arası hem de oluşturulan kümeler arası uzaklıkları hesaplayarak doğrulama yapmaktadır. Buna ek olarak ÖDH veri seti içindeki doğrusal olmayan ilişkileri saptamada daha başarılıdır. Yukarıda belirtilen iki özelliği nedeniyle kümeleme çalışması için ÖDH seçilmiştir.

Çalışmamızda, ÖDH verisi kaynakça taraması kapsamında elde edilen yüz beş makaledir. Bu makaleler belirlenen üç kritere göre kümelenmiştir. Bu üç kriter amaçlar, güç kaynakları ve yöntemlerdir. Bu kriterleri tanımlamak için gözlemlerimiz sonucunda elde ettiğimiz ana gruplar ve kümeleme için kullanılan kısaltmalar şu şekildedir: Amaçlar; ekonomik amaçlar (Eco), enerji arz/talep optimizasyonu amaçları (EnOpt), çevresel amaçlar (Env), çizelgeleme amaçları (Sch), sistem tasarımı amaçları (SDR). Güç kaynakları; güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, dizel jeneratör, diğer kaynaklar. Yöntemler; doğrusal programlama ve türevleri (L), doğrusal olmayan programlama ve türevleri (NL), stokastik programlama (Sto), dinamik programlama ve türevleri (Dyn), YSA ve türevleri (ANN), GA ve türevleri (GA), PSO ve türevleri (PSO), diğer meta sezgiseller (Omh), simülasyon (Sim), diğer yöntemler (O).

ÖDH yönteminin uygulanmasında RapidMiner Studio Educational 9.5.001 yazılımı kullanılmıştır. Çok sayıda deneme sonucunda, dokuz adet kümenin olduğu durumun en sağlıklı ayrıştırmayı yaptığına karar verilmiştir. Bu uygulama sonucunda elde edilen kümelere dair bilgi Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Her kümeye verilen isim, içeriğindeki makalelerin özelliklerine dair bilgi vermektedir. Elde edilen kümelerin, veriyi üç özellik bakımından net biçimde ayırdığı görülmektedir. Örneğin, 7 numaralı küme ekonomik ve enerji optimizasyonu amaçlı olup, dizel ve diğer kaynakları ve yöntem gruplamamızdaki ilk beş yöntem olan L, NL, Sto, Dyn, ANN yöntemlerini kullanan makaleleri içermektedir. 8 numaralı küme ise, onu tamamlar nitelikte, aynı amaç ve aynı güç kaynaklarıyla diğer beş yöntemin kullanıldığı makaleleri içermektedir. Kümeler detaylı incelendiğinde, bunun gibi pek çok durum fark edilebilmektedir.

Veriyi, prizmanın her ayrıtının bir özelliğe karşılık geldiği bir dikdörtgenler prizması üzerinde hayal ettiğimizde, üç boyutlu prizmanın her parçasının bir küme tarafından doldurulduğu sonucuna varabiliriz. Bazı kısımlar daha yoğun olmakla birlikte, bazı kısımlarda daha seyrek veri bulunacaktır. Seyrek veri bulunduran kısımlar, Çizelge 3.1'de gördüğümüz veri yüzdesi az olan kümelerin olduğu kısımlardır. Bu bakış açısı, endüstriyel mikro şebekelerde enerji yönetimi alanındaki literatür boşluklarını da ortaya koyar. Hayali olarak tasarladığımız prizmanın az sayıda veri ile doldurulmuş kısımları, küme 0, 3 ve 7'nin olduğu kısımlardır. Yani, "Dizel ve diğer kaynaklar ve PSO, Omh, Sim, O yöntemleriyle Env, Sch, SDR amaçları", "Dizel ve diğer kaynaklar ve L, NL, Sto, Dyn, ANN, GA yöntemleriyle Env, Sch, SDR amaçları" ve "Dizel ve

diğer kaynaklar ve L, NL, Sto, Dyn, ANN yöntemleriyle Eco, EnOpt amaçları" isimli kümelerde daha az sayıda makale bulunmaktadır.

Çizelge 3.1 : Amaçlar, güç kaynakları ve yöntemlere göre elde edilmiş kümeler.

Küme numarası	Küme ismi	Veri yüzdesi
0	Dizel ve diğer kaynaklar ve PSO, Omh, Sim, O yöntemleriyle Env, Sch, SDR amaçları	%8,2
1	Güneş ve rüzgâr kaynakları ve L, NL, Sto, Dyn, ANN, GA yöntemleriyle Env, Sch, SDR amaçları	%10,1
2	Güneş ve rüzgâr kaynakları ve GA, PSO, Omh, Sim, O yöntemleriyle Sch, SDR amaçları	%17,4
3	Dizel ve diğer kaynaklar ve L, NL, Sto, Dyn, ANN, GA yöntemleriyle Env, Sch, SDR amaçları	%4
4	Güneş ve rüzgâr kaynakları ve GA, PSO, Omh, Sim, O yöntemleriyle EnOpt, Env amaçları	%10,1
5	Güneş ve rüzgâr kaynakları ve L, NL, Sto, Dyn, ANN yöntemleriyle Eco, EnOpt amaçları	%14,4
6	Güneş ve rüzgâr kaynakları ve GA, PSO, Omh, Sim, O yöntemleriyle Eco amacı	%14,8
7	Dizel ve diğer kaynaklar ve L, NL, Sto, Dyn, ANN yöntemleriyle Eco, EnOpt amaçları	%8,5
8	Dizel ve diğer kaynaklar ve GA, PSO, Omh, Sim, O yöntemleriyle Eco, EnOpt amaçları	%12,5

Amaç kısaltmaları; Eco: Ekonomik, EnOpt: Enerji arz/talep opt., Env: Çevresel, Sch: Çizelgeleme, SDR: Sistem tasarımı

Yöntem kısaltmaları; L: Doğrusal prog. ve türevleri, NL: Doğrusal olm. prog. ve türevleri, Sto: Stokastik prog., Dyn: Dinamik prog., ANN: YSA ve türevleri, GA: GA ve türevleri, PSO: PSO ve türevleri, Omh: Diğer meta sezgiseller, Sim: Simülasyon, O: Diğer yöntemler

Bu üç kümenin özellikleri göz önüne alındığında, kümelerde farklı amaç ve yöntemlere rastlandığı, ama enerji kaynağı bakımından yalnızca dizel ve diğer kaynakların bulunduğu görülmektedir. Dolayısıyla, bu alandaki çalışmalarda güneş ve rüzgâr dışındaki dizel ve diğer kaynakların nispeten daha az kullanıldığını, literatürde bu kaynakları kullanan az çalışma olduğunu söylemek mümkündür.

Özetle, kaynak okumalarından ve kümeleme çalışmasından elde edilen çıkarımlar aşağıdaki gibidir:

- Enerji kaynağı seçimi bakımından, mikro şebekelerde güneş ve rüzgâr enerjileri olmazsa olmazdır. Ancak, literatürde az rastlanan ve uzmanlar tarafından kullanımı önerilen dizel jeneratör seçeneği de avantajlıdır.

- Enerji optimizasyonu amaçlı çalışmaların sayısı oldukça fazladır. Ancak, bunların içinde eş zamanlı olarak güç arzı ve yük talebini optimize etmeyi amaçlayan çalışmalar yok denecek kadar azdır.
- Dinamik programlama, tez çalışmasında ele aldığımız problemin gereği olarak kullanılacaktır. Ancak, yapılan analizler sonucunda da bu yöntemin ilgili alanda çok fazla başvurulan bir yöntem olmadığı görülmüştür. Özellikle dizel jeneratörün kaynak olarak kullanıldığı çalışmalarda en az kullanılan yöntemlerden olması, bizim çalışmamız için bir avantajdır.

4. ÇALIŞMADA UYGULANAN YÖNTEMLER

4.1 Tahmin Yöntemleri

Talep tahmini hem geçmiş trendlerden hem de gelecekteki öngörülebilir ve öngörülemez olaylardan etkilenir. Tahmin alanı altında önemli bir başlık olan talep tahmini içinde de talep edilen meta ya da varlığın ne olduğu, tahmin dönemleri, eldeki veri miktarı gibi pek çok etken kullanılarak yöntem değiştirebilir. Genel olarak, talep tahmini için istatistiksel yöntemler ya da makine öğrenme teknikleri kullanılır (Levenbach, 2017). Kaynakça taraması ve uzman görüşleriyle, saatlik yük talebi tahmini için kullanılabilecek senaryo bazlı yöntemler de belirlenmiştir.

Yük talebi tahmininde kullanılabilecek istatistiksel yöntemlerden biri bütünleşik oto regresif hareketli ortalama (ARIMA) yöntemidir. ARIMA, zaman serilerinin geçmiş veriye dayalı tahmininde, bu veri türündeki güvenilirliği nedeniyle en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Oto regresyon ve hareketli ortalamalar yöntemlerinin birleştirilmesiyle oluşmuş bir yöntemdir. Dolayısıyla, ikisinin de avantajlarını ve kısıtlarını içerir. Bir veri setinde ARIMA kullanılabilmesi için önerilen en küçük örnek büyüklüğü 50'dir (Jamil, 2020). Bir diğer önemli istatistiksel yöntem ise regresyon analizidir. Regresyon analizi, bağımsız değişkenlerdeki değişimin bağımlı değişken üzerindeki etkisini açıklayan, diğer bir deyişle sebep-sonuç ilişkisini analiz eden bir yöntemdir (Johnson ve Wichern, 2007). Regresyon analizi pek çok farklı varyasyonuyla, elektrik talebi tahmininde sık tercih edilen ve iyi sonuç alınan yöntemlerden biridir (Balcı ve diğ, 2012).

Saatlik elektrik talebi için kullanılabilecek makine öğrenme tekniklerine ise YSA, gradyan arttırma ve k-en yakın komşuluk algoritması örnek verilebilir. YSA beynin çalışma yapısından esinlenmiş, tecrübeden öğrenen, denetimli bir makine öğrenme tekniğidir (Reeves, 1991). YSA sayesinde, geçmiş veriler arasındaki kompleks, başka yöntemlerle ortaya çıkarılması güç olan ilişkiler tespit edilebilir. Buna bağlı olarak, tahmin için sık tercih edilen bir yöntemdir. Eldeki gözlem miktarı, yani YSA'nın eğitim verisi arttıkça algoritmanın başarı oranı da artar (Zhang ve diğ, 1998). Bir diğer

denetimli makine öğrenme tekniği olan gradyan arttırma, veri bilimcileri tarafından hem sınıflandırma hem de tahminde çok kullanılan bir yöntemdir. Doğrusal modellerden farklı olarak, eğitim verisindeki doğrusal olmayan ya da kesişen ilişkileri kavramakta oldukça başarılıdır. Hiyerarşik yapısı sayesinde dışa düşen değerlerle de başa çıkması kolaydır (Zhou ve diğ, 2019). K-en yakın komşuluk algoritması ise, zaman serileri tahmininde yaygın kullanılan, parametrik olmayan bir algoritmadır. Orijinal yöntemde komşulara olan uzaklıkların belirlenmesinde Öklid uzaklığı kullanılmakla birlikte, yöntemin farklı varyasyonlarında farklı uzaklıklar da kullanılmaktadır. Böylece, veri setinde bulunan daha kompleks ilişkiler açığa çıkarılabilmektedir (Lin ve diğ, 2021). K-en yakın komşuluk algoritması kısa dönem tahminlerinde de sık kullanılır (Cheng ve diğ, 2018).

4.2 Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama

Doğrusal programlama, en temel matematiksel modelleme araçlarından biridir. George Dantzig'in 1947 yılında doğrusal programlama modellerini çözmek için Simpleks algoritmasını geliştirmesiyle, uygulama alanları hızla genişlemiştir. Günümüzde finans, eğitim, enerji, ulaşım gibi pek çok sektörde etkin bir modelleme aracı olarak kullanılmaktadır. Farklı alanlardaki üretim planlama, karışım, çizelgeleme, ulaştırma, atama gibi pek çok problem doğrusal programlama ile modellenerek uygun çözüm algoritmalarıyla optimize edilebilirler (Winston, 2004).

Bir doğrusal programlama modeli karar değişkenlerine bağlı doğrusal bir fonksiyonun enbüyüklenmesi ya da enküçüklenmesi amaçlanarak, karar değişkenlerinin alacakları değerlerin her biri doğrusal olan eşitlik ya da eşitsizlik kısıtlarını sağlamak zorunda olduğu ve her karar değişkenine ait bir işaret kısıdının bulunduğu optimizasyon modelidir. Bir doğrusal programlama modelinde tüm değişkenler sürekli olmalı, tek bir enbüyükleme ya da enküçükleme amacı bulunmalı, amaç ve kısıt fonksiyonlarının tamamı doğrusal olmalıdır. Ayrıca, doğrusal programlamanın dört temel varsayımı bulunur. Bunlar oransallık, toplanabilirlik, bölünebilirlik ve kesinliktir. Oransallık, her karar değişkeninin amaç ve kısıt fonksiyonlarına katkısının karar değişkeninin değeri ile orantılı olduğunu ifade eder. Toplanabilirlik ise, bu katkının diğer karar değişkenlerinin değerlerinden bağımsız olduğunu ifade eder. Bölünebilirlik, karar değişkenlerinin tam sayı olmayan değerler alabileceklerini; kesinlik ise, modelde yer

alan tüm parametrelerin değerlerinin kesin olarak bilinmesi gerektiğini ifade eder (Winston, 2004).

Tam sayılı programlama ise, doğrusal programlamadan farklı olarak kesikli değişkenler içerir ve bu nedenle bölünebilirlik özelliği taşımaz. Doğrusal programlamadakine benzer bir optimizasyon modelinde, karar değişkenlerinin yalnızca tam sayı değerler alabildikleri durumda modelleme aracı tam sayılı programlama olur. Tüm karar değişkenleri tam sayı olduğunda saf tam sayılı programlama, karar değişkenlerinin yalnızca bir kısmı tam sayı olduğunda ise karışık tam sayılı programlama adını alır. Doğrusal programlama için etkin bir çözüm yöntemi olan Simpleks algoritması, değişkenlerin tam sayı olması kısıtlamasını içeremeyeceğinden, tam sayılı programlama modellerinin çözümünde Simpleks temelli farklı yöntemler ve sezgisel yöntemler kullanılır (Winston, 2004). Saf veya karışık tam sayılı programlama modelleri sırt çantası, seyyar satıcı gibi NP-Zor olarak tanımlanan problemlerin çözümünde kullanılan modelleri içerir.

4.3 Dinamik Programlama

Dinamik Programlama (DP), optimizasyon problemlerini çözmek için kullanılan matematiksel modelleme tekniklerinden biridir. DP'yi diğer modelleme yaklaşımlarından ayıran temel özelliği, problemi parçalara ayırarak her bir alt problemin ayrı ayrı ve bağlantılı biçimde sırayla çözüleceği bir yapı sunmasıdır. Bir alt problemden elde edilen optimal çözümün bir sonraki alt problemin girdisi olduğu yinelemeli bir yapı içinde çözüm ilerletilir. Son alt problem çözüldüğünde tüm problemin çözümü de elde edilmiş olur (Winston, 2004).

DP yönteminde bir model üç tanımlayıcı bileşenden oluşur. Bunlar aşamalar, alternatifler ve durumlardır. Aşama, bir DP modelini alt problemlere ayırmayı sağlayan kriterdir. Genellikle zaman birimi olsa da probleme göre farklı parametreler de aşama olarak kullanılabilir. Alternatif, dinamik modelin karar değişkeni olarak görülebilir. Durum ise, alternatif seçimine göre değişen büyüklüktür. Durum, ele alınan problemin amaç fonksiyonunun değeri olabileceği gibi, karar verici tarafından seçilebilecek başka bir gösterge de olabilir. Her aşama, birden çok durumla ilişkilidir. Optimizasyon için her aşamada bir alternatif seçilirken, karşılık geldiği durumlar dikkate alınır. Herhangi bir aşamada seçilen alternatif, bu aşamadaki durumun bir sonraki aşamadaki duruma nasıl dönüştüğünü açıklar (Winston, 2004).

Dinamik modelin aşamaları yani alt problemleri, modelin yineleme denklemi ile birbirlerine bağlıdırlar. Bir matematiksel modelin amaç fonksiyonu, DP'deki aşamalı yapı içinde yineleme denklemi adını alır. Yineleme denkleminin genel yapısı denklem 4.1 ile verilmiştir (Winston, 2004).

$$f_t(i) = \min_j \{c_{ij} + f_{t+1}(j)\} \tag{4.1}$$

DP her durumda bir belirsizlik barındırmaktadır. Farklı alternatifler için farklı durumlar ortaya çıkar ve bunlar içinden karar verilerek optimizasyon yapılır. Ancak belirli bir alternatifin getireceği belirli bir durum söz konusuysa bu deterministik DP; bileşenler deterministik olmadığında, yani mevcut durum ve alternatifle, sonraki aşamanın durum ve alternatifleri kesin olarak bilinemeyip olasılıklar söz konusu olduğunda ise bu olasılıklı DP adını alır. Deterministik DP'de yineleme denkleminin belirli değerleri optimize edilirken, olasılıklı DP'de bu denklemin beklenen değerleri optimize edilir (Winston, 2004). Olasılıklı DP aynı zamanda stokastik çözümlere de başlangıç yaratır.

4.4 Sistem Dinamiği

Sistem Dinamiği (SD), giderek sanayileşen dünyada ortaya çıkan karmaşık ve çok disiplinli sistemlerin analizi için geliştirilmiş bir disiplindir. İlk olarak Jay W. Forrester'ın yönettiği bir araştırma grubu tarafından 1950'lerin sonlarında ortaya çıkarılmıştır. Temelinde, kompleks bir mühendislik probleminin sadece bir mühendislik problemi olamayacağı, sosyal, politik, ekolojik vb. etkilerin de hesaba katılması gerektiği fikrine dayanır (Sterman, 2000). SD uygulamaları yaklaşık yirmi yıl içinde oldukça geniş bir yelpazeye yayılmıştır. Bunlara ülkelerin ekonomik modellemeleri, tedarik zinciri yönetimi, enerji sistemlerinin yönetimi, eğitim sistemi problemleri, psikoloji, sağlık sistemleri örnek verilebilir (Barlas, 2009).

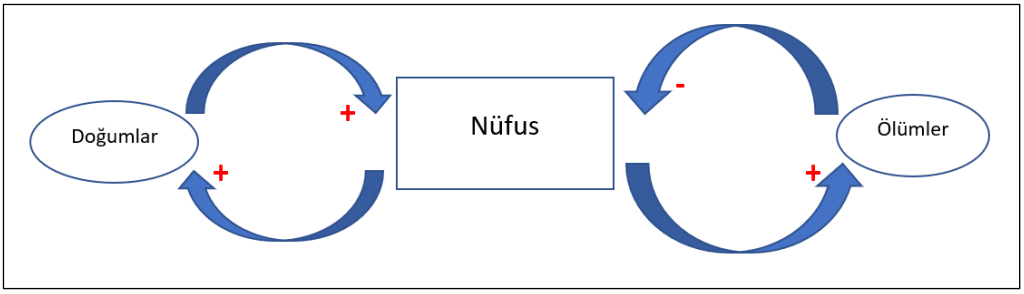
SD düşüncesinin uygulandığı alanlar incelendiğinde, ortak noktaları görülmektedir. Bunlar dinamik yapı, bileşenler arasında modellemesi zor, doğrusal olmayan ilişkiler, dış faktörlere bağlı belirsizlik, bileşenler arasında çift yönlü etkileşim ve döngüler olarak sayılabilir. Bu özelliklere sahip bir sistemin yönetimi, gelecek senaryolarının analizi ve bunlara bağlı olarak politika üretme çalışmaları için SD yaklaşımının uygun olduğu açıktır.

SD'nin beş temel prensibi, bu disiplinin uygulanabileceği problemlerin belirlenmesini de kolaylaştırır. SD'nin ele aldığı modeller istatistiksel ilişkilerden çok nedensel ilişkilerden oluşmalıdır. Ele alınan sistemin bileşenleri arasında döngüsel nedensellik de bulunmalıdır. Bileşenler geçmiş ve geleceklerinden bağımsız ele alınamayan dinamik öğeler olmalıdırlar. Ele alınan sistemin iç yapısı, dinamik davranışının asıl sebebi olmalıdır. SD metodolojisini bir probleme uygulayabilmek için, değişkenlerin dinamikleri sistemin iç işleyişiyle yakın ilişkili olmalıdır (Barlas, 2009).

SD yaklaşımının uygulandığı problemler genellikle insanın düşünce biçimi, alıştığı neden-sonuç ilişkisi ile kolay kavranamayacak şekildedirler. Buna örnek olarak, bir bebeğin sıcak bir cisme dokunduğunda elinin yanması üzerine, bir daha o cisme dokunmama çıkarımını yapabilmesi, ama elinin yanma acısını olaydan haftalar sonra hissedecek olması durumunda bu bağlantıyı kuramayacak olmasıdır. Dinamik sistemler, verilen örneğin ikinci kısmındakine benzer çok sayıda durum içerirler. Bu durumlara hâkim olup, yönetebilmek, bunlara bağlı öngörüler ve politikalar oluşturabilmek için bütünsel ve sistematik bir yaklaşım gerektiği aşikardır (Barlas, 2009).

SD modellerinde iki temel türde değişken bulunur: stok değişkenler ve akış değişkenleri. Stok değişkenler, zaman içindeki birikimlerin sonuçlarını temsil eden, birimlerinde zamana dair bir bileşen taşımayan değerlerdir. Örnek olarak, nüfus, ağırlık, öfke seviyesi verilebilir. Akış değişkenleri ise stok değişkenlerin değişim oranlarını ifade eden, zamana bağlı birimleri olan değişkenlerdir. Örnek olarak, doğumlar, ölümler, gelirler, giderler, öfke seviyesindeki artış verilebilir. Zaman boyutu olmadığında akış değişkenleri anlamsız kalır (Barlas, 2009).

Stok değişkenler sistemin iç kaynaklı dinamiklerinin nedeni olarak görülürler. Stok değişkenler, ancak onları etkileyen akış değişkenleri ile değişebilirler. Bir stok değişkeni etkileyen birden çok akış değişkeni olması kontrolü zorlaştırır. Ek olarak, bir sistemi dinamik sistem olarak tanımlayabilmek sistemde akış değişkenlerinin bulunmasından geçer. Şekil 4.1'de örnek olarak basit bir nüfus modelinin sistem şeması verilmiştir. Bu örnekteki sistemde nüfus stok değişkeni, doğum ve ölümler ise akış değişkenleri olarak tanımlanmıştır (Barlas, 2009).



Şekil 4.1 : Nüfus modelinin sistem dinamiği şeması, Barlas (2009)'dan uyarlanmıştır.

SD disiplinini tanıdıktan sonra anlaşılacağı gibi, bu disiplinle bir sistemin çeşitli bileşenleri arasındaki ilişkiler analiz edilebilir ve sistemin geri bildirim yapısı, işlevi ve davranışı hakkında bilgi edinilebilir. Bu sayede, kompleks bir sistemi anlamak ve dinamik yapısını kontrol ederek çeşitli politika ve senaryolar yaratmak kolaylaşır (Yuan ve diğ, 2008). SD'nin getireceği bakış açısı ile, incelenen sistemin bileşenlerine ve ihtiyaç duyulan sayısal çıktıya göre sonrası için yöntem ya da formülasyonlar da önerilebilir.

Çalışmamızda, SD senaryo analizi için kullanılacaktır. Ancak, zamana bağlı diferansiyel denklemlerle bir senaryo modellemesi yapılmayacak; zaman-sabit SD'den yararlanılarak, bunun sağladığı bakış açısıyla sistem analiz edilecektir. Zaman-sabit sistemler, zamana bağlı olmakla birlikte zamanın doğrudan bir fonksiyonu olmayan sistemlerdir. Bu tür sistemler, sistem analizinde ayrı bir sistem sınıfı olarak kabul edilir (Oppenheim ve Willsky, 1997). Ele alınacak olan endüstriyel mikro şebeke sistemi zaman-sabit SD bakış açısıyla irdelenerek bileşenler belirlenip, bunların arasındaki etkileşim ağları ortaya konulacaktır; böylece senaryoları yaratan nedenlerin de köküne inilmiş olacaktır. SD sayesinde, ele alınan sistem üzerinde değişikliğe neden olabilecek tüm iç ve dış etkenler belirlenmiş olacaktır. Gelecekte karşılaşılan farklı senaryoları yaratan da, bu etkenlerde gerçekleşecek değişimlerin sisteme kısa/uzun vadeli ve küçük/büyük etkileridir. Dolayısıyla SD ile sistem derinlemesine analiz edildiğinde, olası senaryoları ele almak ve onlarla çalışabilmek kolaylaşmaktadır.

4.5 Entropi Yöntemi

Entropi kavramı, ilk olarak 1865 yılında Rudolph Clausius isimli fizikçi tarafından termodinamikte bir sistemin düzensizliği ve belirsizliğinin ifadesi olarak ortaya

konulmuştur. Clausius'a göre daha büyük entropi değeri daha fazla düzensizlik anlamına gelmektedir. Kavramın Enformasyon Teorisi'nde kullanımı ise, matematikçi Claude E. Shannon'un 1948 yılında yazdığı bir makaleyle başlamıştır. Bu anlamda entropi, rassal bir değişkene bağlı belirsizliğin ölçüsü olarak kullanılmaktadır (Zhang ve diğ, 2011).

Karar verme süreçlerinde entropi kavramı, problemin bağlamına göre ilgili kriterin ağırlığı ya da taşıdığı yararlı bilgi miktarının bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır (Çakır ve Perçin, 2013). Entropi yöntemi karar vermede kullanılırken, ele alınacak karar matrisi genellikle $m\ x\ n$'lik boyutta olup, matriste n adet sütunla ifade edilen kriterler için birer entropi değeri hesaplanır (Zhang ve diğ, 2011).

Karar matrisinde satırlar, kriterler hakkında problemin bağlamına göre bilgi veren değerlendirme nesnelerinden oluşur. Matrisin hücreleri ise, anket vb. yöntemlerle elde edilmiş ve ortak bir skalada yer alan değerlerden oluşur. Entropi yöntemi ile ağırlık belirlemek için öncelikle karar matrisinin sütunlar bazında normalize edilmesi gereklidir. Burada, her hücre değerinin kendi sütunundaki en büyük hücre değerine bölündüğü normalizasyon tekniği uygulanır (Çakır ve Perçin, 2013).

Karar matrisinin normalizasyonu sonrası oluşan yeni matriste hücre değerleri r_{ij} ile gösterilir; burada $i = 1,2,\dots,m$ ve $j = 1,2,\dots,n$'dir. Bu aşamadan sonra kriterlerin entropi ağırlık değerlerinin hesaplanması için uygulanacak formüller adım adım denklem 4.2 – 4.4 ile verilmiştir (Li ve diğ, 2011).

$$f_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} r_{ij}} \quad \forall\, i,j \tag{4.2}$$

$$H_j = -\frac{\sum_{i=1}^{m} f_{ij}.\ln f_{ij}}{\ln m} \quad \forall\, i,j \tag{4.3}$$

$$w_j = \frac{1-H_j}{n-\sum_{j=1}^{n} H_j} \quad \forall\, j \tag{4.4}$$

Verilen formüllerde elde edilen H_j büyüklüğü, j kriterinin entropi değerini ifade eder. w_j büyüklüğü ise, entropi değerlerinin bir anlamda ters çevrilmesiyle elde edilen entropi ağırlık değeridir. Tüm j'ler için bulunan w_j değerlerinin toplamı 1'e eşit olmalıdır. Entropi ağırlık değeri ilgili kriterin içerdiği yararlı bilginin bir ölçüsüdür; daha büyük entropi ağırlık değeri daha önemli kriter anlamına gelir (Li ve diğ, 2011).

5. ENDÜSTRİYEL MİKRO ŞEBEKELERDE ENERJİ ÇİZELGELEME

Çalışmamızda asıl amaç, bir OSB'den oluşan endüstriyel bir mikro şebekenin enerji yönetimi için karar destek sistemi ortaya koymaktır. Bu amaç altında, eş zamanlı güç ve yük çizelgelemesi yapılarak enerji giderleri en aza indirilmek istenmekte, ayrıca üretimde yenilenebilir kaynakların payının olabildiğince arttırılması da arzu edilmektedir. Enerji yönetimi programlarından ekonomik dağıtım ve talep tarafı yönetimi bir arada uygulanarak, eş zamanlı olarak hem üretim hem tüketim tarafı yönetilip çizelgelenecektir. Bir OSB'deki birbirinden bağımsız endüstriyel tüketicilerin heterojen bir bakış açısını gerektireceği aşikardır. Dolayısıyla hem ortak amaçlar hem de tüketicilerin bireysel amaçları doğrultusunda, elektrik arzı ve talebinin eş zamanlı olarak dengelenmesi gerekmektedir.

Ele alınacak endüstriyel mikro şebekenin enerji üretimi bileşenleri fotovoltaik sistem, rüzgâr enerjisi sistemi, dizel jeneratör ve ana şebeke bağlantısı olarak belirlenmiştir. Yenilenebilir kaynakların yanında, yedek güç kaynağı olarak enerji depolama sistemi yerine dizel jeneratör seçilmesinin nedeni hem başvurulan uzman görüşleri hem de kaynakça taramalarının sonucunda elde edilen bulgulardır (Borhanazad ve diğ, 2014). Alınan uzman görüşlerine göre, kesintisizliğin kritik olduğu sistemlerde böyle bir alternatif kullanımı şarttır. Enerji depolama teknolojilerinin ülkemizdeki yüksek maliyetleri de dikkate alındığında, gelişmekte olan ülkelerde tasarlanacak bir endüstriyel mikro şebeke sisteminde dizel jeneratör kullanılmasının en efektif çözüm olduğu görülmüştür. Diğer yandan, kaynakça taraması sonucunda benzeri çalışmalarda dizel jeneratör kullanımının az olduğu, bu kaynağın tercihinin çalışmamızın orijinalitesine de katkı sağlayacağı görülmüştür (Bektaş ve Kayakutlu, 2021).

Bunun yanı sıra, ele alınan hem endüstriyel kullanıcılar hem de bir veri merkezi içeren mikro şebekede kesintisiz güç akışının önemi dikkate alındığında, natürel kaynakların yetersiz olması ve dizel yakıtın temin edilememesi durumuna karşı ana şebeke ile bağlantılı olunması zorunluluk haline gelmektedir. Ana şebeke bağlantısı hem ihtiyaç halinde ana şebekeden güç satın almak hem de arz fazlası durumunda ana şebekeye

güç satmak için kullanılacaktır. Natürel kaynaklı güç üreticileri ile çalışıldığından, güneş ışınımının ihtiyaç olan kadar kısmını kullanmak ya da mevcut rüzgâr hızının daha azıyla üretim yapmak mümkün değildir. Bu durum, güç arzı için bu kaynaklar kullanıldığında duruma göre talep edilenden daha fazlasının üretilmesine de neden olabilmektedir. Bu noktada, ana şebekeye güç satmak hem israfı önlemek hem de sistem için gelir elde etmek bakımlarından avantajlıdır (Tabar ve Abbasi, 2019).

Mikro şebeke, tüketici tarafı bakımından içerisinde veri merkezi de bulunan bir OSB'den oluşmaktadır ve talep hesaplanırken hiçbir elektrik gideri göz ardı edilmemelidir. Dolayısıyla, tüketici talebi OSB'de yer alan sanayi firmaları, ticari işletmeler, idari birimler ve veri merkezinden oluşur. Özetle, mikro şebekede güç üretimi tarafının tüm çıktıları bir havuzda toplanır ve sonra enerji talep eden müşteriler arasında paylaştırılır.

Problemi daha ayrıntılı açıklamak gerekirse, amaçlanan elektrik tüketicilerinin yük tüketim detaylarına girmeden, saatlik toplam elektrik taleplerini dengeleyip eş zamanlı olarak güç üretimi ve ana şebekeden alınacak gücü çizelgelemektir. Bu noktada, ele alınan problemin çift taraflı belirsizlik içerdiğini vurgulamak gerekir. Hem güç üretimi hem yük tüketimi stokastiktir ve bu iki stokastik öğe dengelenmeye çalışılacaktır. Sunulan problemin gereklerine uygun bir algoritma önerilerek optimum çizelgenin ve dengenin elde edilmesi planlanmaktadır.

Talep tarafı yönetimi çalışması ile nihai tüketicinin elektrik talebi yönetilirken, yük talebinin ne düzeyde değiştirilebileceği, yani kaydırma yapılacak aralıkların belirlenmesi gerekmektedir. Çalışmamızda, tüketicilerin tek tek tüm elektrik tüketim kalemleri irdelenmeyeceğinden, kaydırılabilir/kaydırılamaz cihaz ayrımı yapmak anlamlı değildir. Dolayısıyla orijinal bir yük kaydırma yöntemi uygulanarak, n adet tüketicinin altışar saatlik yük talep toplamları sabit kalacak şekilde, talepler bu altışar saatlik aralıklar -diğer bir isimlendirmeyle, günün çeyrekleri- içinde kaydırılacaktır. Böyle bir aralık belirlenmesinin nedeni, ikisi de belirsizlik içeren üretici ve tüketici taraflarının ikisine birden esneklik hakkı tanımak, güç ve yük dengelemeyi kolaylaştırırken tüketici konforunu tamamen ihlal etmemektir. Tüketici tarafıyla bu şekilde bir anlaşmaya varılıp, çalışma sonunda bu amacın başarılması çalışmamızda önerilen çözümün kabul edilebilirliğini de arttıracaktır.

Ele aldığımız problemin çözümünde farklı yöntemler bir arada kullanılacaktır. Talep tahmini için birden çok yöntem değerlendirilecek, çizelgeleme ile enerji üretim-tüketim optimizasyonu için karışık tam sayılı kısıtlı DP ve senaryo analizi içinse SD yaklaşımı kullanılacaktır. Yapılan kaynakça tarama ve kümeleme çalışmaları ışığında, ele alınan problem ve çözüm yaklaşımlarına göre bizim çalışmamızın da literatürde karşılık geldiği yer saptanmalıdır. Bu bağlamda, bölüm 3.6'da elde edilen sonuçlar ışığında, amaç, kullanılan güç kaynakları ve yöntemler dikkate alındığında çalışmanın tam olarak karşılık geldiği yer "Güneş, rüzgâr ve dizel kaynakları ve NL, Dyn, yöntemleriyle Eco, EnOpt ve Sch amaçları" olacaktır. Bu sınıflandırma, elde edilen ve Çizelge 3.1'de detayları verilen kümelerden herhangi biriyle tamamen örtüşmemektedir. Çalışmamızın ancak küme 1, 3, 5, ve 7'nin bileşiminde yer aldığı söylenebilir. Bu durum, tez çalışmasının kaynakça taramasında ele alınan kriterler bakımından farklılık yaratacağını göstermektedir.

5.1 Varsayımlar

Problemin varsayımları aşağıdaki gibidir:

- Elektrik üretim ve tüketim noktaları arasındaki mesafeden kaynaklı güç kayıpları ihmal edilmektedir (Marzband ve diğ, 2016).
- Reaktif güç akışı ihmal edilmektedir (Marzband ve diğ, 2016).
- Güç arzı ve yük talebi miktarları kesikli değişkenlerdir.
- Mikro şebekenin yalnızca işletim optimizasyonu yapılacaktır.
- Mikro şebekede yer alan tüm elektrik tüketicisi birimler 7 gün-24 saat çalışmaktadır (Mahani ve diğ, 2017).
- Modelde kullanılan parametreler deterministik ve planlama dönemi boyunca sabittir (Salahi ve Jafari, 2016).
- Mikro şebekede kullanılan teknolojilerin planlama dönemi boyunca erişilebilir ve dönem boyunca aynı kapasitede kullanılabilir olacağı varsayılmıştır (Mahani ve diğ, 2017).

Bir şebekede tüketicilerin gerilim değerleri daima aynı olacağından, bu konuda bir varsayıma gerek duyulmamıştır. Farklı gerilim ya da akım ihtiyacı olan tüketiciler olduğunda, bu şartları kendi iç mekanizmaları ile sağlayacaklardır. Elektrik tüketicilerinin 7 gün-24 saat çalıştığı varsayımıysa, kimi firmalar bu şekilde çalışmıyor

olsalar dahi önerilen modelin bu yapıya uygun olacağını ifade etmektedir. Elektrik tüketicilerinin saatlik talep verisi, önerilen model için gerekli bilgiyi sağlayacaktır.

5.2 Veri Merkezleri

Veri Merkezi (VM), içerisinde bilgisayar sistemleri, ağ donanımları ve diğer teknik ekipmanlar bulunan, çok büyük boyutlarda verinin toplanması, işlenmesi, depolanması veya dağıtılması amacıyla var olan donanımların yoğun biçimde kullanıldığı tesislerdir. VM'lere veri güvenliği ve iletim kalitesi için ihtiyaç duyulur. Bulut bilişim hizmetlerinin yaygınlaşmasıyla VM'lerin önemi ve rolü artmıştır. Bir VM enerji tüketimi açısından bakıldığında dört bileşenden oluşur; sunucular, havalandırma ve soğutma sistemleri, "Uninterruptible Power Supply" (UPS) ve aydınlatma sistemi, diğer enerji tüketen kalemler. Bunların ortalama enerji tüketim yüzdeleri sırasıyla %46, %31, %12 ve %11'dir (Yang ve diğ, 2018). VM'ler ihtiyaca göre bir binanın yalnızca bir odasında, bir veya daha fazla katında ya da binanın tamamında bulunabilir. VM'ler hakkında yayımlanmış genelgeçer standartlar bulunmaktadır. Bunların temel olanı, akredite olmuş profesyonel bir kuruluş olan Telecommunications Industry Association tarafından yayımlanmış VM tasarım standartlarıdır. Ek olarak, Telcordia'nın da tamamlayıcı nitelikte standartları bulunmaktadır. Bu standartlarda nem oranı, sıcaklık, yer seçimi vb. faktörler ile ilgili koşullar yer almaktadır.

VM'ler, özel VM'ler ve internet VM'ler olmak üzere ikiye ayrılır. Özel VM'ler yalnızca bir kuruluşa hizmet verirken, internet VM'ler üçüncü şahıslara hizmet vermektedir. Diğer VM türleri ise karanlık VM'ler, yeraltı VM'ler ve yeşil VM'ler olarak sıralanabilir. Karanlık VM'lerde personel çalışmaz, yalnızca olağanüstü durumlarda içeriye giriş olabilir. Dolayısıyla aydınlatma kullanılmaz ve bu da enerji tüketimini kayda değer oranda düşürür. Yeraltı VM'lerde ise amaç soğutma kaynaklı enerji tüketiminden tasarruf etmektir. Tesis yeraltında bulunduğunda, VM'lerin önemli enerji kalemlerinden biri olan soğutma daha az enerji harcanarak yapılabilir (Sun ve Lee, 2006). Yeşil VM'ler ise, son yıllarda ortaya çıkan, çevreye duyarlı VM'lerdir (Deng ve diğ, 2016). Şu an Google, Facebook gibi dünyanın en büyük bilişim firmaları bu tür VM'lere sahiptirler.

Bir VM'de kesintisiz güç akışı şarttır. VM'nin verdiği hizmetlerin aksamaması adına son derece tedbirli davranılarak, tesis bileşenleri belirlenir. Yedek güç sistemleri, genellikle bir ya da daha fazla kesintisiz güç kaynağı, batarya depoları ve dizel

jeneratörlerden oluşur. Tüm bileşenlerin yedeği bulunmalıdır. Bunun yanında kritik görevlerdeki sunucular, kesintisiz güç kaynaklarının hem A hem B çıkışlarına bağlanırlar. VM'lere özel bir yedek güç ünitesi olan UPS sistemi de bu yedek bileşenlere dahildir. UPS sistemi bataryalardan oluşur (Urgaonkar ve diğ, 2011). UPS yapısı, VM yöneticilerine ihtiyaca göre modül ekleme imkânı sağlar (Sawyer, 2011). Kullanılan güç kaynağında herhangi bir kesinti olması durumunda, dizel jeneratör ya da muadili olan bir güç kaynağı çalışana kadar geçecek 10-20 saniyelik sürede güç tedariki UPS ile sağlanır. Ancak bir UPS'in hazır olarak beklemesi için, bu süreden çok daha uzun bir süre (5-30 dakika arası) yeterli olabilecek güç depolamış olması gerekmektedir. Bu doğrultuda, ana şebekeden güç satın alma şansı olan sistemlerde fiyatın düşük olduğu zamanlarda UPS için alım yapmak da alternatif bir uygulamadır (Urgaonkar ve diğ, 2011). Son yıllarda, yeşil VM fikrinin de yaygınlaşmasıyla VM'lerinde yenilenebilir enerji kullanımına başlayan firmalar bulunmaktadır. Bunlar Apple, Facebook, McGraw-Hill, eBay, HP, Dell, Google'dır (Rong ve diğ, 2016; Yang ve diğ, 2018).

2005 yılı verilerine göre, dünya genelindeki VM'lerdeki bilgisayar donanımlarının toplam elektrik tüketimi, dünyanın elektrik tüketiminin %0,5'ini teşkil eder. VM'lerin soğutma vb. diğer elektrik tüketimleri de hesaba katıldığında bu oran %1'e kadar çıkmaktadır (Koomey, 2008). 2011 yılı verilerine göre ise, 2005'te %0,5 olan oranın yaklaşık %1,3'e çıktığı bilinmektedir (Rong ve diğ, 2016). On yıl içinde, bu oranın üçe katlanacağı öngörülmektedir (Cheung ve diğ, 2018).

Dünya genelindeki VM'lerin elektrik tüketiminin 2/3'ü ABD ve Avrupa ülkeleri kaynaklıdır. Avrupa'nın tüketim oranı tek başına 1/4'ün üzerindedir. Diğer yandan, bu oranların yıllık artışlarına bakıldığında en büyük sıçrayışın Asya-Pasifik bölgesinde olduğu görülür. VM'lerin elektrik tüketimindeki artışın ana sebebi temel sunucuların sayı ve kapasitesindeki artıştır. Çevresel faktörler açısından bakıldığında ise, 2007 yılı verilerine göre iletişim ve telekomünikasyon teknolojileri sektörünün tüm dünyada %2'lik bir karbon salımından sorumlu olduğu; VM'lerin ise bu oranın %14'ünü teşkil ettikleri görülmektedir (Koomey, 2008).

VM'lerin ülkemizdeki durumuna bakıldığında, 2010'dan itibaren yaşanan gelişmeler dikkate değerdir. İnternet kullanımı, bulut bilişim ve telekomünikasyon alanındaki rekabet doğrultusunda ihtiyacın artmasının yanı sıra, BDDK kendine ait bankaların VM'lerinin yurt içinde olması zorunluluğunu getirmiştir (URL-2). Bunu takip eden

yıllarda Türkiye, VM alanında dünya büyüme sıralamasında birinci olmuştur. Türkiye'deki önemli VM'ler arasında Turkcell Gebze VM, Turkcell İzmir VM, Esenyurt Türk Telekom VM sayılabilir. Bunlardan Turkcell Gebze VM ve Turkcell İzmir VM bulundukları bölgelerdeki OSB'ler içinde yer almaktadırlar.

Ülkemizde 2016 yılında çıkarılan 678 sayılı Kanun Hükmünde Kararname (KHK) ile, VM'lerin kurulması ve işletilmesi için teşvikler hükme bağlanmıştır. Bu KHK kapsamında VM'ler için enerji, iletişim altyapısı ve yatırım yeri tahsisi destekleri bulunmaktadır. Yatırım yeri tahsisinde ise önceliğin OSB'ler içindeki boş parsellere verileceği, yani uygun alan bulunduğu sürece kurulacak VM'lerin OSB'lerde yer alacağı belirtilmiştir (URL-3).

VM'lerin yüksek enerji tüketimi göz önüne alındığında, bunların diğer sanayi kuruluşlarıyla aynı güç şebekesi içinde yer alacak olmalarının enerji yönetimi açısından olumsuz olacağı öngörülmektedir. VM'lerin OSB'lerde yer aldığı durumda, bunlara sağlanan enerji desteği de dikkate alınırsa, enerji arz ve talebinin dengelenmesi ayrı bir problem haline gelecektir. Bu tez çalışmasında, bu durumun endüstriyel enerji tüketicilerine nasıl zarar verdiği, talep yönetimini nasıl olumsuz etkilediği üzerinde de durulacaktır. Diğer yandan, VM alanında önemli otoritelerin beyanlarına göre, yeni trendin VM'lerin şehir merkezlerine taşınması olduğu da bilinmektedir. Bunun sebebi, günümüzde saniyelik veri iletim hızı farklarının dahi önem kazanmış olmasıdır.

VM'lerin en önemli giderlerinin başında gelen enerji maliyetlerini ve çevresel etkilerini azaltmak için tasarruflu altyapı sistemleri yaygınlaşmaktadır. VM'lerin enerji tüketimlerini düşürmek üzerine çok sayıda bilimsel çalışma da yapılmaktadır. Bu çalışmalarda göze çarpan, enerji yönetiminde sık kullanılan talep tarafı yönetimi yaklaşımının VM'lere uyarlanmış versiyonlarıdır. 'Sunucu yoğunlaştırma' ve 'sanallaştırma' gibi bu yaklaşımlarda bilişim sistemlerindeki verimsizlikler üzerine çalışılarak, talep tarafı yönetimi programlarında elektrik tüketen cihazların kullanımının çizelgelenmesine benzer bir yol izlenir. Yapılmış çalışmalar incelendiğinde, bu yaklaşımlarla %90'lara varan enerji tasarrufu sağlanabildiği görülmüştür (Uddin ve Rahman, 2010).

Literatürdeki ilgili çalışmaları gruplamak gerekirse, şu şekilde sıralanabilir: VM soğutma stratejileri çalışmaları (Cho ve diğ, 2017), yazılımsal ağ teknikleri (Yang ve diğ, 2018), "high performance computing" (bir optimizasyon yazılımı ile sunucular

arası iş paylaştırma), düşük güçlü sunucu tasarımı, sunucu odalarında enerji koruma çalışmaları, yenilenebilir enerji uygulamaları (Rong ve diğ, 2016). Bunun yanı sıra, Sun ve Lee tarafından, ABD ve Avrupa dışı VM çalışmalarının sınırlı sayıda olduğu ve bunun literatürde bir boşluk yarattığı çıkarımı yapılmıştır (Sun ve Lee, 2006).

VM'lerin yük talebine dair bir diğer önemli nokta ise değişkenliktir. Örneğin, Facebook şirketine ait küçük bir VM'nin yük eğrilerine göre, yarım saat içinde tepe ve çukur farkı %80'e ulaşabilmektedir. Bu durum, hem VM yük talebinin yönetilmesinin zorluğunu hem de VM'lerin talep tarafı yönetimi çalışmaları için oldukça uygun birer aday olduklarını göstermektedir (Yang ve diğ, 2018).

VM'lerin OSB'lerde yer alması durumundaki etkileşimi gözlemek istediğimizde, Türkiye dışındaki ülkelerden herhangi bir örnek bulunamamaktadır. Bunun nedeni, ABD ve Avrupa ülkeleri gibi VM verilerinin nispeten şeffaf olduğu yerlerde OSB içinde yer alan VM bulunmamasıdır. Türkiye'deki OSB içerisindeki VM'lere baktığımızda ise, bu OSB'lerin VM kurulmadan öncesi/sonrası durumları için analiz yapılmasına yardımcı olacak verilere ulaşılamamaktadır. Bu doğrultuda, bu tez çalışmasında VM içermeyen bir OSB ele alınıp, buraya büyük bir VM kurulması durumunda sistemin nasıl etkileneceği araştırılacaktır.

6. ENERJİ ÇİZELGELEME PROBLEMİNE ÇÖZÜM ÖNERİSİ

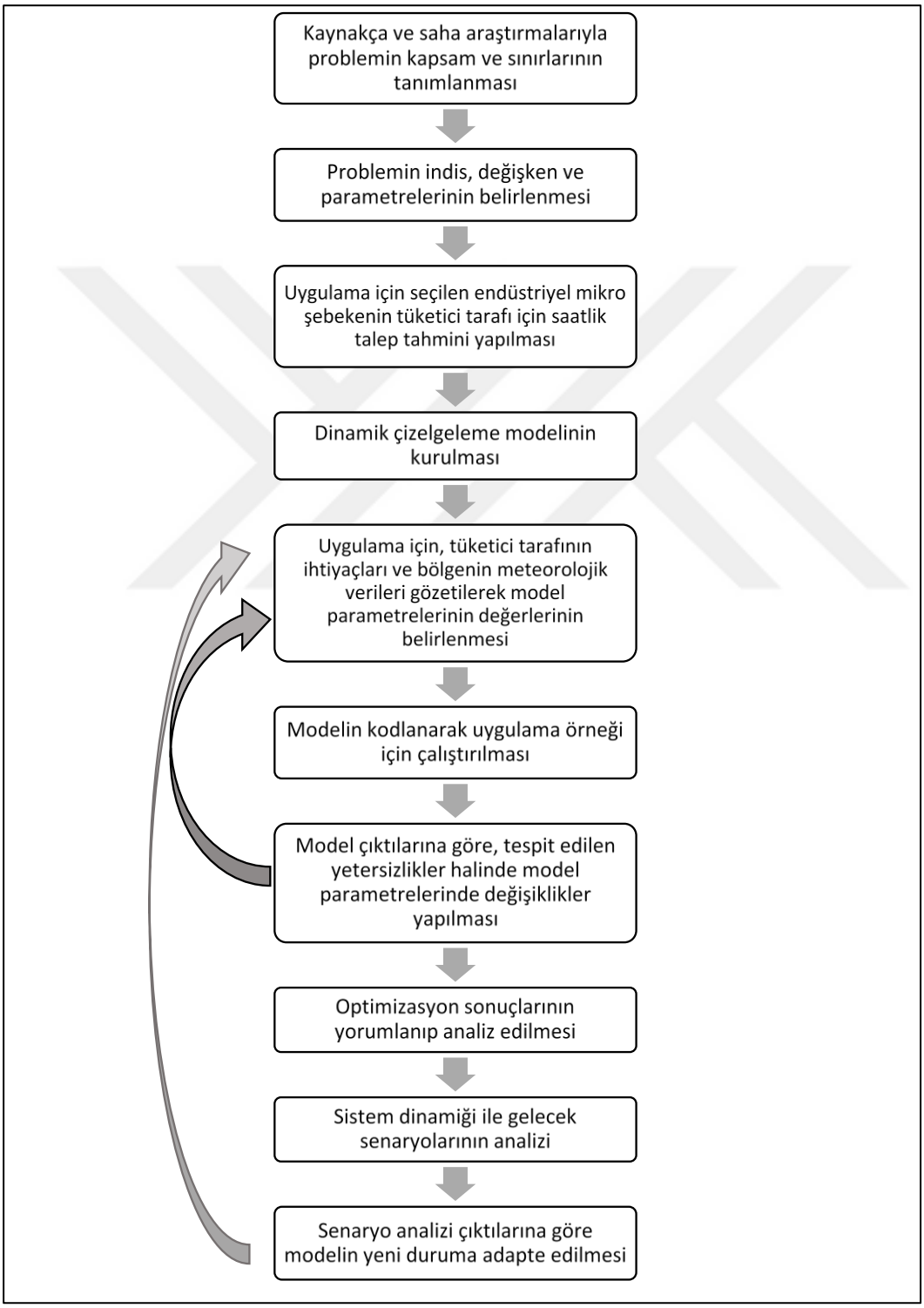
Çalışmamızda, endüstriyel mikro şebekelerde enerji üretim-tüketim çizelgeleme probleminin çözümü kapsamlı olarak ele alınarak, farklı yöntemler bir arada kullanılacaktır. Talep tahmini aşamasında, bu alanda performansı iyi olan ve veri tipine uygun olan farklı istatistiksel yöntemler ve makine öğrenme yöntemleri denenerek en iyi sonuç vereni tercih edilecektir. Optimizasyon aşamasında, problemin matematiksel formülasyonu geliştirildikçe ortaya çıkan modelin bizi önce karışık tam sayılı doğrusal programlamaya yönlendirdiği görülmüş, ardındansa kısıtlı DP yönteminin kullanılması gerektiği anlaşılmıştır; böylece bu aşamanın yöntemi karışık tam sayılı kısıtlı DP olarak belirlenmiştir. Ele alınan problemin doğal, sosyal ve ekonomik etkenler kaynaklı pek çok farklı senaryoda işler olması gerektiğinden, etkin bir senaryo analiziyle modelin uyarlanması gerektiği aşikardır. Bunun içinse SD disiplininden yararlanılacaktır. Önerilen tüm bu çözüm süreci Şekil 6.1'de verilen akış diyagramı ile de özetlenmiştir.

6.1 Mikro Şebekeler için Talep Tahmini

Enerji yönetimi için, öncelikle belirsizlik gösteren sistem parametrelerinin çözümlenmesi gerekmektedir. Endüstriyel mikro şebeke sistemi tüm bileşenleriyle göz önüne alındığında, bu parametreler yük talebi, güneş ışınımı, ortam sıcaklığı ve rüzgâr hızı olarak belirlenmiştir. Bu verilerin sağlıklı bir şekilde temini ve önerilecek optimizasyon algoritmasının doğru sonuç vermesi için, çalışmanın ilk adımında etkin bir tahmin yöntemi kullanılması gerekmektedir. Ancak tahmin yöntemi yalnızca yük talebi için kullanılacak; güneş ışınımı, ortam sıcaklığı ve rüzgâr hızı verileri meteorolojiden temin edilecektir. Çünkü, mikro şebeke sistemlerinin talebe duyarlılığı yüksektir. Dolayısıyla, talep tahmini ile maliyet enküçüklemesini amaçlayan bir üretim-tüketim çizelgeleme problemi bağımsız olarak ele alınamazlar (Ufluoğlu, 2018).

Tahmin yapmak için aday yöntemler veri seti üzerinde denenerek, belirlenecek ölçütlere göre en iyi sonuç vereni nihai yöntem olarak kabul edilebilir. Bununla

birlikte, farklı tarihler için yapılan tahminlerde kullanımına karar verilecek yöntem değişiklik de gösterebilir. Çalışmamızın tahmin aşaması, mikro şebekenin bütünsel bir şekilde yönetilmesi adına önerilmektedir. Talep tahmini yapılmadığı durumda da çalışmamızın optimizasyon aşamasında önerilen model ve yaklaşımlar uygulanabilir. Ancak talep tahmini aşaması bunlar için tamamlayıcı niteliktedir.



Şekil 6.1 : Önerilen çözüm yaklaşımının akış diyagramı.

Talep tahmini aşamasında, her bir tüketici için saatlik yük talebi tahmini yapılmalıdır. Tüketicilerin talepleri saatlik bazda karakteristik özellik göstereceğinden, bir tüketicinin herhangi bir saatteki talebini tahmin etmek için, önceki günlerde aynı tüketicinin aynı saatte gerçekleşen yük talepleri dikkate alınmalıdır. Bunu yaparken, resmî tatiller ve tüketimin düşeceği özel günler gibi, dışa düşen değerlere neden olabilecek günlerin belirlenmesi ve ayrı ele alınmasına dikkat edilecektir.

Tahminler sonucu elde edilecek talep değerleri, bir sonraki aşama olan optimizasyon modelinde tüketici tarafının talebi olarak ele alınacak; program dahilinde bu taleplere cevap verilecektir. Tahmin modelinde kullanılacak indis ve değişken tanımlamaları aşağıda verilmiştir.

$i = 1, 2, \dots, n$ → OSB'de yer alan elektrik tüketen tarafların her biri
$j = 1, 2, 3, 4$ → Bir günün çeyrek dilimleri
$k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ → Bir çeyrek içindeki saatler
$d_{i,j,k}$: i. tüketicinin günün j. çeyreğinin k. saatindeki yük talebi tahmini (kWh)

6.2 Enerji Çizelgeleme Optimizasyonu için Önerilen Dinamik Model

Bu bölümde, OSB genelindeki tüm tüketicileri dikkate alan ve sistemin toplam maliyetini enküçüklemeyi amaçlayan bir çizelgeleme modeli önerilecektir. Modelin amacı merkezi biçimde ele alınmalıdır; çünkü enerji arzı bir havuzda toplandıktan sonra tüketicilere dağıtılır ve bu sürecin maliyeti OSB bazında ele alınabilir. Dolayısıyla en küçük maliyet amacı OSB yönetiminin meselesidir. Model önce karışık tam sayılı doğrusal programlama ile kurulmuştur. Küçük ölçekli uygulama örneklerinde modelin nasıl çalıştığı incelendiğinde ise, problemin dinamik modelleme yapısını gerektirdiğine karar verilmiştir. Ardından model, karışık tam sayılı kısıtlı DP modeli olarak kurulmuştur.

6.2.1 Değişkenler ve parametreler

Çalışmanın optimizasyon aşamasındaki karar değişkenleri, bir gün için her tüketicinin saatlik gerçekleşen talebi ve üreticilerin ya da güç alışveriş kanallarının saatlik güç çıktısıdır. Ancak, güneş ve rüzgâr sistemlerinin saatlik güç çıktılarının natürel değişkenler olduğuna dikkat edilmelidir. Bu yüzden de, bağlı oldukları güneş ışınımı, ortam sıcaklığı ve rüzgâr hızı verileri meteorolojiden temin edilecektir. Optimizasyon aşamasının stokastiklikten arındırılmış girdisi ise, tahmin modelinin çıktısı olacak olan

tüketicilerin saatlik yük talebi tahminleridir. Problemde kullanılan indisler ve karar değişkenleri aşağıda tanımlanmış, diğer değişken ve parametreler ise Çizelge 6.1 ile verilmiştir.

İndisler:

$i = 1, 2, \dots, n$ → OSB'de yer alan elektrik tüketen tarafların her biri

$j = 1, 2, 3, 4$ → Bir günün çeyrek dilimleri

$k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ → Bir çeyrek içindeki saatler

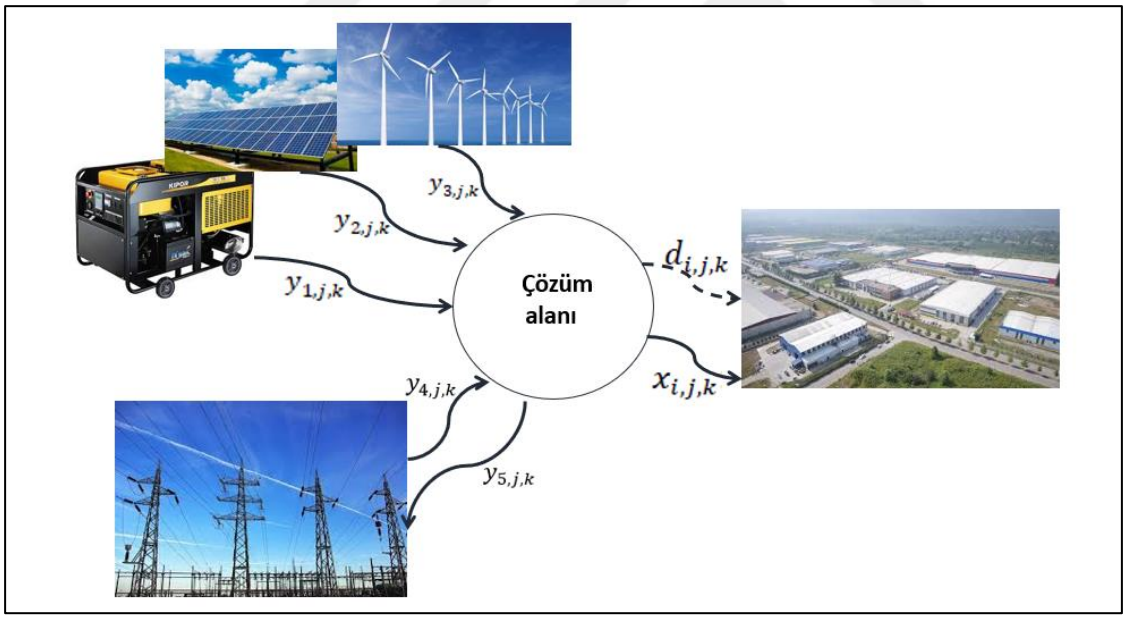
$p = 1, 2, 3, 4, 5$ → Güç akış kanalları (1: Dizel jeneratör, 2: Fotovoltaik sistem, 3: Rüzgâr türbini, 4: Ana şebekeden alış, 5: Ana şebekeye satış)

Karar değişkenleri:

$x_{i,j,k}$: i. tüketicinin günün j. çeyreğinin k. saatinde havuzdan alacağı yük miktarı (kWh)

$y_{p,j,k}$: p kanalından günün j. çeyreğinin k. saatinde havuza aktarılan güç çıktısı (kWh)

Ele alınan problemin yapısı ise, Şekil 6.2'de şema ile ifade edilmiştir.



Şekil 6.2 : Problem şeması.

6.2.2 Mikro şebekenin güç kaynakları

6.2.2.1 Dizel jeneratör

Önerilen modelde dizel jeneratörlerden alınan saatlik güç miktarı $y_{1,j,k}$ karar değişkeni ile ifade edilmektedir. $y_{1,j,k}$, saatlik yük talebine göre modelin karar vereceği, diğer

Çizelge 6.1 : Problemin değişken ve parametreleri.

Değişken/ Parametre	Açıklama	Birim
$D_{i,j}$	i. tüketicinin günün j. çeyreğindeki tahmin edilen toplam yük talebi ($D_{i,j} = \sum_{k=1}^{6} d_{i,j,k} \quad \forall\, i,j$)	kWh
$F_{j,k}$	Dizel jeneratörün günün j. çeyreğinin k. saatindeki yakıt tüketimi	lt
a	Dizel jeneratörün yakıt tüketimi ile ilgili sabit bir katsayı	lt/kW
b	Dizel jeneratörün yakıt tüketimi ile ilgili sabit bir katsayı	lt/kW
P_1^{nom}	Dizel jeneratörün nominal güç değeri	kW
P_1^{min}	Dizel jeneratör ile üretilecek gücün alt sınırı	kW
N_{DG}	Kullanılan özdeş dizel jeneratörlerin sayısı	-
CF	Dizel jeneratör için satın alınan yakıtın birim maliyeti	TL/lt
e_1	Dizel jeneratörün harcadığı yakıtın karbondioksit salım miktarı	g/lt
$P_{2,j,k}$	Bir güneş panelinin günün j. çeyreğinin k. saatindeki güç çıktısı	kW
N_{PV}	Kullanılan özdeş güneş panellerinin sayısı	-
η_{PV}	Fotovoltaik sistemin verimlilik katsayısı	-
S_{PV}	Bir güneş panelinin alanı	m^2
$\Phi_{j,k}$	Günün j. çeyreğinin k. saatinde panel alanındaki güneş ışınımı	kW/m^2
K_{PV}	Güneş paneli sıcaklık katsayısı	1/°C
$T_{a,j,k}$	Günün j. çeyreğinin k. saatindeki ortam sıcaklığı	°C
P_2^{max}	Bir güneş paneli ile üretilecek gücün standart üst sınırı	kW
C_2	Fotovoltaik sistem ile üretilen elektriğin birim üretim maliyeti	TL/kWh
e_2	Fotovoltaik sistem ile üretilen enerjinin karbondioksit salım miktarı	g/kWh
$P_{3,j,k}$	Bir rüzgâr türbininin günün j. çeyreğinin k. saatindeki nominal güç çıktısı	kW
N_{WT}	Kullanılan özdeş rüzgâr türbinlerinin sayısı	-
P_3^{max}	Bir rüzgâr türbini ile üretilecek gücün standart üst sınırı	kW
η_{WT}	Rüzgâr türbininin verimlilik katsayısı	-
$\omega_{j,k}$	Günün j. çeyreğinin k. saatinde ilgili bölgedeki rüzgâr hızı	m/s
v_{ci}	Rüzgâr türbininin çalışmaya başlayacağı rüzgâr hızı	m/s
v_{co}	Rüzgâr türbininin çalışmayı durduracağı rüzgâr hızı	m/s
v_r	Rüzgâr türbininin nominal hızı	m/s
C_3	Rüzgâr türbini ile üretilen elektriğin birim üretim maliyeti	TL/kWh
e_3	Rüzgâr türbini ile üretilen enerjinin karbondioksit salım miktarı	g/kWh
$C_{4,j,k}$	Ana şebekeden alınacak elektriğin günün j. çeyreğinin k. saatindeki birim fiyatı	TL/kWh
e_4	Ana şebekeden alınacak enerjinin neden olduğu karbondioksit salım miktarı	g/kWh
$C_{5,j,k}$	Ana şebekeye satılacak elektriğin günün j. çeyreğinin k. saatindeki birim fiyatı	TL/kWh
P_4^{max}	Bir saat içinde ana şebekeden satın alınabilecek en fazla enerji miktarı	kWh
P_5^{max}	Bir saat içinde ana şebekeye satılabilecek en fazla enerji miktarı	kWh

bir deyişle ihtiyaca göre belirlenen bir büyüklüktür. İhtiyaç duyulan miktar doğrudan dizel jeneratörden çekileceğinden, bu aşamada jeneratörün çalışma tekniğine ait formüllere ihtiyaç duyulmaz. Ancak, dizel jeneratör kullanılırken jeneratörün

tüketeceği yakıtın maliyetini hesaplamak için bir formüle ihtiyaç duyulur. Denklem 6.1'de verilen bu formüldeki sabit değerler $a = 0{,}246\ lt/kW,\ b = 0{,}08415\ lt/kW$ olarak alınır (Borhanazad ve diğ, 2014). Ayrıca, dizel jeneratörün güç çıktısı için alt ve üst sınırlar da mevcuttur. Bunlar kullanılan jeneratörün teknik standartlarına göre belirlenen parametrelerdir (Choobineh ve Mohagheghi, 2016). Denklem 6.2'de gösterilen bu sınırların da, modelde kısıt olarak ele alınması gerekir.

Denklem 6.2'deki alt sınır, sistemde kullanılacak özdeş dizel jeneratörlerden her birinin üretim alt sınır değeri; üst sınır ise bir jeneratörün üretim üst sınır değeri ile sistemdeki toplam dizel jeneratör sayısının çarpımından oluşur. Diğer yandan, denklem 6.2'nin modele tek başına eklenmesi, modeli her saatte mutlaka en az P_1^{min} kadar dizel jeneratörle üretim yapılması gerektiği şeklinde yanlış yönlendirir. Gerçekteki durum, herhangi bir saat için dizel jeneratörün ya hiç kullanılmayarak $y_{1,j,k} = 0$ olması ya da kullanılıyorsa $y_{1,j,k}$'nın en az P_1^{min} kadar olmasıdır. Bu durumu doğru yansıtabilmek için denklem 6.3 ve 6.4 ile verilen biri ya da diğeri kısıtları da modele eklenir. Bu kısıtlarda, M probleme göre çok büyük bir sayı, $u_{j,k}^d$ ise 0 ve 1 değerlerini alabilen bir yardımcı değişkendir.

$$F_{j,k} = a\ .\ y_{1,j,k} + b\ .\ P_1^{nom} \quad \forall\ j,k \tag{6.1}$$

$$P_1^{min} \leq y_{1,j,k} \leq N_{DG}.P_1^{nom} \quad \forall\ j,k \tag{6.2}$$

$$y_{1,j,k} \leq M.\ u_{j,k}^d \tag{6.3}$$

$$-y_{1,j,k} \leq M.\ (1 - u_{j,k}^d) \tag{6.4}$$

6.2.2.2 Fotovoltaik sistem

Modelde fotovoltaik sistemin saatlik güç çıktısı $y_{2,j,k}$ değişkeni ile ifade edilmektedir. $y_{2,j,k}$ formül çıktısıdır ve saatlik güneş ışınımı miktarına bağlı olduğundan değerine müdahale edilemez. $y_{2,j,k}$ değeri, ele alınacak mikro şebekedeki özdeş güneş panellerinden bir tanesinin günün j. çeyreğinin k. saatindeki güç çıktısı ile bu güneş panellerinin sayısının çarpımı ile bulunur (Bogaraj ve Kanakaraj, 2016). Güneş panellerinin güç çıktısı için farklı kaynaklar incelenerek denklem 6.6'da verilen formülün kullanılmasına karar verilmiştir (Misaghian ve diğ, 2018; Choobineh ve Mohagheghi, 2016) Formülde yer alan güneş panelinin sıcaklık katsayısı sabiti $K_{PV} = -3{,}7\ .\ 10^{-3}\ 1/℃$ olarak alınacaktır (Borhanazad ve diğ, 2014). Panelin verimlilik

katsayısı ise, genel verimlilik katsayısı 0,129 ile Marmara Bölgesi için geçerli yıllık ortalama bulutluluk oranı 0,8'in çarpımıyla elde edilir. Dolayısıyla çalışmamızda $\eta_{PV} = 0{,}1032$ alınacaktır (Kalogirou, 2013). Ayrıca, her bir güneş panelinin güç çıktısı için standart üst sınırlar mevcuttur (Marzband ve diğ, 2013a). Bunlar, uygulama aşamasında karar verilecek panel modeli seçimlerine göre belirlenecektir. Fotovoltaik sistemin güç çıktısı için, denklem 6.7 kullanılacaktır.

$$y_{2,j,k} = N_{PV} \,.\, P_{2,j,k} \quad \forall\, j,k \tag{6.5}$$

$$P_{2,j,k} = \eta_{PV} \,.\, S_{PV} \,.\, \Phi_{j,k} \,.\, \left[1 + K_{PV} \,.\, \left(T_{a,j,k} - 25\right)\right] \quad \forall\, j,k \tag{6.6}$$

$$P_{2,j,k} = \begin{cases} \eta_{PV} \,.\, S_{PV} \,.\, \Phi_{j,k} \,.\, \left[1 + K_{PV} \,.\, \left(T_{a,j,k} - 25\right)\right], & \eta_{PV} \,.\, S_{PV} \,.\, \Phi_{j,k} \,.\, \left[1 + K_{PV} \,.\, \left(T_{a,j,k} - 25\right)\right] \leq P_2^{max} \\ P_2^{max}, & \eta_{PV} \,.\, S_{PV} \,.\, \Phi_{j,k} \,.\, \left[1 + K_{PV} \,.\, \left(T_{a,j,k} - 25\right)\right] > P_2^{max} \end{cases} \quad \forall\, j,k \tag{6.7}$$

6.2.2.3 Rüzgâr türbini

Modelde rüzgâr türbininin saatlik güç çıktısı $y_{3,j,k}$ değişkeni ile ifade edilmektedir. $y_{3,j,k}$ formül çıktısıdır ve saatlik rüzgâr hızına bağlı olduğundan, fotovoltaik sistemde olduğu gibi, değerine müdahale edilemez. $y_{3,j,k}$ değeri, bir rüzgâr türbininin günün j. çeyreğinin k. saatindeki nominal güç çıktısının, kullanılan özdeş rüzgâr türbinlerinin sayısı ve türbin verimlilik katsayısı ile çarpılmasıyla elde edilir. Türbinin saatlik nominal güç çıktısı, rüzgârın hızına bağlı parçalı bir fonksiyon ile hesaplanır. Bu fonksiyonun yapısı gereği, rüzgâr türbininin güç çıktısı için ayrıca alt ve üst sınır kısıtlarına ihtiyaç duyulmaz. Modelde $P_{3,j,k}$ ile ifade edilen rüzgâr türbini güç çıktısının formülü denklem 6.9'da verilmiştir (Amrollahi ve Bathaee, 2017). Türbinin verimlilik katsayısı ise, genel verimlilik katsayısı 0,4 ile türbinin kafa hareketinin (yowing) kayıplarını yansıtmak için kullanılan 0,8 katsayısının çarpımıyla elde edilir. Dolayısıyla çalışmamızda $\eta_{WT} = 0{,}32$ alınacaktır (Barutçu, 2019).

$$y_{3,j,k} = N_{WT} \,.\, P_{3,j,k} \,.\, \eta_{WT} \quad \forall\, j,k \tag{6.8}$$

$$P_{3,j,k} = \begin{cases} 0, & \omega_{j,k} \leq v_{ci} \; veya \; \omega_{j,k} \geq v_{co} \\ P_3^{max} \,.\, \frac{{\omega_{j,k}}^3 - {v_{ci}}^3}{{v_r}^3 - {v_{ci}}^3}, & v_{ci} < \omega_{j,k} \leq v_r \\ P_3^{max}, & v_r < \omega_{j,k} \leq v_{co} \end{cases} \quad \forall\, j,k \tag{6.9}$$

6.2.2.4 Ana şebeke

Modelde ana şebeke ile yapılan saatlik güç alışverişi sırasıyla $y_{4,j,k}$ ve $y_{5,j,k}$ karar değişkenleri ile ifade edilir; bu büyüklükler ihtiyaca göre belirlenen karar

değişkenleridir. Diğer üç güç kaynağından farklı olarak, ana şebeke ile çift taraflı güç akışı mümkündür. Bununla birlikte, mantıksal olarak aynı zaman diliminde ya şebekeye satış yapılır ya da şebekeden alım yapılır. Dolayısıyla, bu iki karar değişkeni aynı anda değer alamazlar. Şebeke ile herhangi bir alışverişin olmadığı saatlerde ise ikisi de değer almaz. Güç alımı ve güç satışı değişkenleri, mevcut regülasyonlar kapsamında belirli üst sınır değerleri ile kısıtlı olmak durumundadırlar (Banaei ve Rezaee, 2018).

Ana şebekeden alınacak elektriğin fiyatı için, OSB'lere uygun üç zamanlı tarife kullanılacaktır. Ana şebekeye satılacak elektriğin birim fiyatı ise, EPİAŞ'ın sunduğu sistem marjinal fiyatları ile belirlenecektir (Ufluoğlu, 2018).

$$y_{4,j,k} \leq P_4^{max} \quad \forall\, j,k \tag{6.10}$$

$$y_{5,j,k} \leq P_5^{max} \quad \forall\, j,k \tag{6.11}$$

6.2.3 Model önerisi

6.2.3.1 Dinamik modelin değişken ve parametreleri

Önerilen karışık tam sayılı kısıtlı DP modeli, OSB'deki tüm tüketicileri içerecek şekilde kurulacaktır. Günün her çeyreği için (her $j = 1,2,3,4$ için) bağımsız birer dinamik model kurulacaktır. Dolayısıyla, daha önce tanımlanmış olan değişken ve parametrelerin, dinamik model için j indisinden arındırılarak yeniden tanımlanması gerekmektedir. Dinamik modelde kullanılan indisler ve karar değişkenleri aşağıda tanımlanmış, diğer değişken ve parametreler ise Çizelge 6.2 ile verilmiştir.

İndisler:

$i = 1, 2, \dots, n$ → OSB'de yer alan elektrik tüketen tarafların her biri

$k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ → Bir çeyrek içindeki saatler

$p = 1, 2, 3, 4, 5$ → Güç akış kanalları (1: Dizel jeneratör, 2: Fotovoltaik sistem, 3: Rüzgâr türbini, 4: Ana şebekeden alış, 5: Ana şebekeye satış)

Karar değişkenleri:

$x_{i,k}$: i. tüketicinin ilgili çeyreğin k. saatinde havuzdan alacağı yük miktarı (kWh)

$y_{p,k}$: p kanalından ilgili çeyreğin k. saatinde havuza aktarılan güç çıktısı (kWh)

Bilindiği gibi, dinamik model yapısının kurulmasını sağlayan üç bileşen aşamalar, alternatifler ve durumdur. Çalışmamızda önerilen dinamik modelin bileşenleri aşağıda verilmiştir.

Aşamalar: Bir çeyrek içindeki saatler ($k = 1,2,3,4,5,6$)
Alternatifler: Modelin karar değişkenleri
Durum: İlgili çeyreğin toplam talebinden kalan karşılanmamış miktar

6.2.3.2 Amaç fonksiyonu

Önerilen optimizasyon modelinin amaç fonksiyonu, model DP ile kurulduğunda yineleme denklemi halini alır. Modelin amacı, mikro şebekenin toplam enerji giderlerinin enküçüklenmesidir. Bu amacı ifade eden yineleme denklemi denklem 6.12 ile verilmiştir. Denklem, mikro şebekenin k. aşamaya (k. saate) ait toplam enerji gideri ve bir sonraki aşamanın yineleme denklemi değerinin toplamını verir.

$$f_k = \min_{y_{p,k}}\{[\, CF\,.\,(a\,.\,y_{1,k} + b\,.\,P_1^{nom}) + C_2\,.\,y_{2,k} + C_3\,.\,y_{3,k} + C_{4,k}\,.\,y_{4,k} - C_{5,k}.\,y_{5,k}] + f_{k+1}\} \quad (6.12)$$

f_k ile verilen denklemin ilk kısmı formüle edilirken, enerji giderlerine ve gelirlerine neden olacak her bir kalem dikkate alınmıştır. Güç tedarik edilebilen her bir kaynağın güç çıktısı birim maliyetiyle çarpılarak toplanmıştır. Ana şebekeye güç satılması durumunda elde edilecek gelir ise, aynı şekilde formüle edilip denkleme önüne eksi konularak eklenmiştir.

Tüm aşamaları çözülerek sonuca ulaştırılmış her bir dinamik modelde, altı saatin sonunda ilgili çeyreğe ait kısıtlar sağlanacak ve f_k yineleme denklemi değerleri enküçüklenecek şekilde karar değişkenleri değer alacaktır.

6.2.3.3 Kısıtlar

Talep kısıtları

$$\frac{1}{6}.D_i \leq x_{i,k} \quad \forall\, i,k = 6 \quad (6.13a)$$

$$0{,}9 \leq \frac{x_{i,k}}{x_{i,k+1}} \leq 1{,}1 \quad \forall\, i,k = 2,3,4,5 \quad (6.13b)$$

$$0{,}9 \leq \frac{x_{i,k}}{x_{i,k+2}} \leq 1{,}1 \quad \forall\, i,k = 2,3,4 \quad (6.13c)$$

$$0{,}9 \leq \frac{x_{i,k}}{x_{i,k+3}} \leq 1{,}1 \quad \forall\, i,k = 2,3 \quad (6.13d)$$

$$0{,}9 \leq \frac{x_{i,k}}{x_{i,k+4}} \leq 1{,}1 \quad \forall\, i, k = 2 \tag{6.13e}$$

$$x_{i,k} = D_i - \left(x_{i,k+5} + x_{i,k+4} + x_{i,k+3} + x_{i,k+2} + x_{i,k+1}\right) \quad \forall\, i, k = 1 \tag{6.13f}$$

Çizelge 6.2 : Dinamik modelin değişken ve parametreleri.

Değişken/ Parametre	Açıklama	Birim
D_i	i. tüketicinin ilgili çeyrekteki tahmin edilen toplam yük talebi ($D_i = \sum_{k=1}^{6} d_{i,k} \quad \forall\, i$)	kWh
F_k	Dizel jeneratörün ilgili çeyreğin k. saatindeki yakıt tüketimi	lt
a	Dizel jeneratörün yakıt tüketimi ile ilgili sabit bir katsayı	lt/kW
b	Dizel jeneratörün yakıt tüketimi ile ilgili sabit bir katsayı	lt/kW
P_1^{nom}	Dizel jeneratörün nominal güç değeri	kW
P_1^{min}	Dizel jeneratör ile üretilecek gücün alt sınırı	kW
N_{DG}	Kullanılan özdeş dizel jeneratörlerin sayısı	-
CF	Dizel jeneratör için satın alınan yakıtın birim maliyeti	TL/lt
e_1	Dizel jeneratörün harcadığı yakıtın karbondioksit salım miktarı	g/lt
$P_{2,k}$	Bir güneş panelinin ilgili çeyreğin k. saatindeki güç çıktısı	kW
N_{PV}	Kullanılan özdeş güneş panellerinin sayısı	-
η_{PV}	Fotovoltaik sistemin verimlilik katsayısı	-
S_{PV}	Bir güneş panelinin alanı	m^2
Φ_k	İlgili çeyreğin k. saatinde panel alanındaki güneş ışınımı	kW/m^2
K_{PV}	Güneş paneli sıcaklık katsayısı	1/°C
$T_{a,k}$	İlgili çeyreğin k. saatindeki ortam sıcaklığı	°C
P_2^{max}	Bir güneş paneli ile üretilecek gücün standart üst sınırı	kW
C_2	Fotovoltaik sistem ile üretilen elektriğin birim üretim maliyeti	TL/kWh
e_2	Fotovoltaik sistem ile üretilen enerjinin karbondioksit salım miktarı	g/kWh
$P_{3,k}$	Bir rüzgâr türbininin ilgili çeyreğin k. saatindeki nominal güç çıktısı	kW
N_{WT}	Kullanılan özdeş rüzgâr türbinlerinin sayısı	-
P_3^{max}	Bir rüzgâr türbini ile üretilecek gücün standart üst sınırı	kW
η_{WT}	Rüzgâr türbininin verimlilik katsayısı	-
ω_k	İlgili çeyreğin k. saatinde bölgedeki rüzgâr hızı	m/s
v_{ci}	Rüzgâr türbininin çalışmaya başlayacağı rüzgâr hızı	m/s
v_{co}	Rüzgâr türbininin çalışmayı durduracağı rüzgâr hızı	m/s
v_r	Rüzgâr türbininin nominal hızı	m/s
C_3	Rüzgâr türbini ile üretilen elektriğin birim üretim maliyeti	TL/kWh
e_3	Rüzgâr türbini ile üretilen enerjinin karbondioksit salım miktarı	g/kWh
$C_{4,k}$	Ana şebekeden alınacak elektriğin ilgili çeyreğin k. saatindeki birim fiyatı	TL/kWh
e_4	Ana şebekeden alınacak enerjinin neden olduğu karbondioksit salım miktarı	g/kWh
$C_{5,k}$	Ana şebekeye satılacak elektriğin ilgili çeyreğin k. saatindeki birim fiyatı	TL/kWh
P_4^{max}	Bir saat içinde ana şebekeden satın alınabilecek en fazla enerji miktarı	kWh
P_5^{max}	Bir saat içinde ana şebekeye satılabilecek en fazla enerji miktarı	kWh

Denklem 6.13 ile gösterilen kısıt setiyle, her bir tüketiciye sağlanacak saatlik yükün bir çeyrek içindeki toplamının, ilgili tüketicinin bu çeyrek için tahmin edilen yük talebine eşit tutulacağı vurgulanmıştır. Mikro şebekenin tüketim tarafında yer alan elektrik tüketicileri bağımsızdırlar ve her biri kendi elektrik talebinin sağlanmasını önemser. Bu heterojen yapı dolayısıyla, kısıt seti her tüketicinin ayrı ele alınacağı şekilde formüle edilmiştir.

Setteki kısıtlar dinamik modelin her bir aşamasında ayrı ayrı kullanılır. Aşamalar k indisi ile ifade edildiğinden, her bir k aşamasında bu kısıt setinden ilgili k değeri için olanlar modele dahil edilir. Kendi içinde farklılaşan böyle bir kısıt setine karar verilmesi, çalışmanın başından bu yana yapılan denemeler sonucunda olmuştur. Her aşama için benzer alt kısıtlar ya da aralıklar tanımlandığında, modelin son aşamaya kadar olan aşamalara yalnızca kısıdı karşılayacak en az miktarda yükü atadığı, son aşamada ise tüketicilere orantısız bir yükleme yaptığı gözlemlenmiştir. Bu da saatler arasında, yalnızca matematiksel modellemenin yapısının sebep olduğu bir güç akışı dengesizliğine yol açacaktır. Bunu önlemek adına başlangıçta, ele alınan ilk saat için altı saatlik toplamın altıda birinin alt sınır olmasına, sonraki saatler içinse gerçekleşen yük akışlarıyla mevcut saatin yük akışı arasındaki oranın belirli bir aralıkta olmasına karar verilmiştir. Son saatin yük akışı ise, altı saatlik toplam mutlaka sağlanacağından, bu toplam ile önceki beş saatte gerçekleşen yük akışlarının farkına eşit tutulmuştur.

Ek olarak, yukarıda verilen talep kısıtları mevcut halleri ile modelin doğrusal yapısını bozmaktadırlar. Ancak, bu şekilde bölüm durumunda olan iki karar değişkeninin ilişkisini doğrusal hale getirmek oldukça kolaydır. Kısıtlar, yalnızca durumu daha net ifade etmeleri adına bu şekilde bırakılmıştır. Önerilen model kodlanıp çalıştırılırken, doğrusal biçimleriyle kullanılacaklardır.

Güç dengesi kısıdı

$$\sum_{i=1}^{n} x_{i,k} - [y_{1,k} + y_{2,k} + y_{3,k} + y_{4,k} - y_{5,k}\,] = 0 \quad \forall\, k \qquad (6.14)$$

Denklem 6.14, güç dengesi kısıdıdır. Mevcut durumda sistemde enerji depolama alternatifi bulunmadığından ve daha önce problem varsayımlarında belirtildiği gibi güç kayıp ve kaçakları ihmal ediliyor olduğundan, her saatteki enerji girdi ve çıktı toplamları eşit olmalıdır.

Güç kaynaklarına ait teknik kısıtlar

$$P_1^{min} \leq y_{1,k} \leq N_{DG}.P_1^{nom} \quad \forall\, k \tag{6.15}$$

$$y_{1,k} \leq M.u_k^d \quad \forall\, k \tag{6.16}$$

$$-y_{1,k} \leq M.(1-u_k^d) \quad \forall\, k \tag{6.17}$$

$$y_{2,k} = N_{PV}\,.\;P_{2,k} \quad \forall\, k \tag{6.18}$$

$$P_{2,k} \leq P_2^{max} \quad \forall\, k \tag{6.19}$$

$$y_{3,k} = N_{WT}\,.\;P_{3,k}\,.\eta_{WT} \quad \forall\, k \tag{6.20}$$

$$P_{3,k} \leq P_3^{max} \quad \forall\, k \tag{6.21}$$

$$y_{4,k} \leq P_4^{max} \quad \forall\, k \tag{6.22}$$

$$y_{5,k} \leq P_5^{max} \quad \forall\, k \tag{6.23}$$

Kullanılacak güç kaynaklarına ait önceden verilen teknik formüllere, modelin karmaşık görünmemesi açısından kısıtlarda detaylı olarak yer verilmemiştir. Denklem 6.15 – 6.23, bunlara ait temel eşitlikleri ve sınırları ifade eder.

Karbondioksit salımı kısıdı

$$e_1.\left(a\,.y_{1,k} + b\,.P_1^{nom}\right) + e_2.y_{2,k} + e_3.y_{3,k} + e_4.y_{4,k} \leq\; 0{,}6.e_4.\left[\frac{1}{6}.\sum_i D_i\right] \quad \forall\, k \tag{6.24}$$

Denklem 6.24 ise, karbondioksit salımı kısıdır. Avrupa Birliği'nin 2030 projeksiyonlarına göre, tüm sera gazlarının salım miktarında 1990'a göre %40 azalma hedeflenmektedir (URL-4). Bu doğrultuda, mikro şebekemizde güç üreten kaynakların ve ana şebekeden enerji alımının neden olduğu karbondioksit salımları toplamı, aynı talep durumunda ortalama şartlarda arz tamamen şebekeden sağlansaydı gerçekleşecek olan karbondioksit salımının %60'ı ile üstten sınırlandırılmıştır. Ek olarak, dizel jeneratör için karbondioksit salım miktarı tüketilen yakıt miktarına göre belirlendiğinden, denklemin sol tarafındaki ilk terimde diğerlerinden farklı olarak enerji çıktısı yerine yakıt tüketimi formülü yer almaktadır.

Diğer kısıtlar

Son olarak modelde yer alması gereken kısıtlar, yapılan uygulamaya göre belirlenebilecek, tüketicilerin elektrik ihtiyacına göre $x_{i,k}$'lar için bazı alt ya da üst sınırlar ile modelin karar değişkenleri için denklem 6.25 ve 6.26 ile verilen işaret kısıtlarıdır.

$$x_{i,k} \geq 0 \quad \forall\, i,k \tag{6.25}$$

$$y_{p,k} \geq 0 \quad \forall\, p,k \tag{6.26}$$

6.2.3.4 Dinamik model

Belirlenen değişken, parametre, amaç fonksiyonu ve kısıtlar doğrultusunda, günün bir çeyreği için önerilen karışık tam sayılı kısıtlı DP modeli aşağıdaki gibidir. Model, daha önce denklem 6.12 – 6.26 ile verilen denklemler bir araya getirilerek oluşturulmuştur.

$$f_k = \min_{y_{p,k}}\{\left[\, CF\,.\ (a\,.\,y_{1,k} + b\,.\,P_1^{nom}) + C_2\,.\,y_{2,k} + C_3\,.\,y_{3,k} + \ C_{4,k}\,.\,y_{4,k} - C_{5,k}.\,y_{5,k}\right] + f_{k+1}\} \tag{6.12}$$

Öyle ki,

$$\frac{1}{6}.\,D_i \ \leq x_{i,k} \quad \forall\, i,k = 6 \tag{6.13a}$$

$$0{,}9 \leq \frac{x_{i,k}}{x_{i,k+1}} \leq 1{,}1 \quad \forall\, i,k = 2{,}3{,}4{,}5 \tag{6.13b}$$

$$0{,}9 \leq \frac{x_{i,k}}{x_{i,k+2}} \leq 1{,}1 \quad \forall\, i,k = 2{,}3{,}4 \tag{6.13c}$$

$$0{,}9 \leq \frac{x_{i,k}}{x_{i,k+3}} \leq 1{,}1 \quad \forall\, i,k = 2{,}3 \tag{6.13d}$$

$$0{,}9 \leq \frac{x_{i,k}}{x_{i,k+4}} \leq 1{,}1 \quad \forall\, i,k = 2 \tag{6.13e}$$

$$x_{i,k} = D_i - \left(x_{i,k+5} + x_{i,k+4} + x_{i,k+3} + x_{i,k+2} + x_{i,k+1}\right) \quad \forall\, i,k = 1 \tag{6.13f}$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{i,k} - [y_{1,k} + y_{2,k} + y_{3,k} + y_{4,k} - y_{5,k}\,] = 0 \quad \forall\, k \tag{6.14}$$

$$P_1^{min} \leq y_{1,k} \leq N_{DG}.\,P_1^{nom} \quad \forall\, k \tag{6.15}$$

$$y_{1,k} \leq M.\,u_k^d \quad \forall\, k \tag{6.16}$$

$$-y_{1,k} \leq M.\,(1 - u_k^d) \quad \forall\, k \tag{6.17}$$

$$y_{2,k} = N_{PV}\ .\ P_{2,k} \quad \forall\, k \tag{6.18}$$

$$P_{2,k} \ \leq P_2^{max} \quad \forall\, k \tag{6.19}$$

$$y_{3,k} = N_{WT}\ .\ P_{3,k}\,.\,\eta_{WT} \quad \forall\, k \tag{6.20}$$

$$P_{3,k} \ \leq P_3^{max} \quad \forall\, k \tag{6.21}$$

$$y_{4,k} \leq P_4^{max} \quad \forall\, k \tag{6.22}$$

$$y_{5,k} \leq P_5^{max} \quad \forall\, k \tag{6.23}$$

$$e_1.\left(a\,.\,y_{1,k} + b\,.\,P_1^{nom}\right) + e_2.\,y_{2,k} + e_3.\,y_{3,k} + e_4.\,y_{4,k} \;\leq\; 0{,}6.\,e_4.\left[\frac{1}{6}.\sum_i D_i\right] \quad \forall\, k \quad (6.24)$$

$x_{i,k}$'lar için tüketicilerin elektrik ihtiyacına göre bazı alt sınırlar

$$x_{i,k} \geq 0 \quad \forall\, i,k \quad (6.25)$$

$$y_{p,k} \geq 0 \quad \forall\, p,k \quad (6.26)$$

Önerilen model, bir günün içindeki çeyrekler bazında çalıştırılacağından, mevsimsellik etkisi hesaba katılmamıştır. Gün, ay ya da yıl içindeki arz ve talep değişkenlikleri, zamana bağlı parametrelerle zaten dikkate alınmış olacaktır. Değişken fiyat değerleri de aynı şekilde zamana bağlı olarak kullanılacaktır.

6.3 Önerilen Modelin Farklı Senaryolara Uyarlanabilmesi için Sistem Dinamiği Yaklaşımı

Endüstriyel mikro şebekelerde enerji yönetimi çalışması kapsamında, mevcut matematiksel modeli çözerek kısa vadeli enerji üretim-tüketim çizelgeleri elde etmenin yanında daha genelgeçer ve geleceği hesaba katan politikalar da üretilip sunulabilmelidir. Bunu yapabilmek için SD yaklaşımını kullanmak oldukça uygun bir yoldur. Bu bölümde önceki bölümlerde önerilen çizelgeleme problemini tamamlamak değil, iç ve dış etkenlerdeki değişikliklere çizelgeleme probleminin nasıl uyarlanabileceğini gösteren bir kılavuz üretmek amaçlanmaktadır. Ancak bu şekilde tam bir enerji yönetimi çalışması ortaya konulmuş olacaktır. Dolayısıyla, bu bölümdeki değişkenler, kavramlar ve analizler çizelgeleme problemindeki gibi saatlik bazda değildir. Bu anlamda, çizelgeleme yapılan dinamik modelin sisteme büyüteçle ve daha kısa vadede baktığı, SD ile senaryo analizinde ise aynı sistemin daha geniş bir bakış açısıyla ele alındığı söylenebilir.

Çalışmamızda ele alınan problemin ve bunun için önerilen ana modelin varsayımlarından bazılarının senaryo analizi yaparken ihlal edileceği aşikardır. Senaryo analizinde, olası farklı durumlar ya da gelecekteki durumlar ele alındığından, mevcut varsayımların ihlali olağandır. Bu bölümde yapılan senaryo analizi kapsamında, mikro şebekenin işletim optimizasyonunun ötesine geçilip kurulum yatırımları dikkate alınacak, değişken model parametreleri ile ilgilenilecek ve kullanılan teknolojilerin iç ve dış etkenlerden nasıl etkilendikleri araştırılacaktır. Dolayısıyla, ilgili problem varsayımlarının dışına çıkılmış olacaktır.

Enerji yönetimi doğal, sosyal, politik ve ekonomik pek çok farklı unsurdan etkilenen bir alandır. Ayrıca, bu etkileşimler kolayca görülemeyecek, dolaylı ve doğrusal olmayan şekillerde karşımıza çıkabilir. Bunun için, endüstriyel mikro şebeke sistemi zaman-sabit SD yaklaşımı ile analiz edilip öncelikle stok ve akış değişkenleri belirlenmelidir. Uzman görüşlerine de başvurularak yapılan çalışmalar sonucunda, ele alınan sistemin değişkenleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

Stok değişkenler:

- S1: Dizel jeneratör kullanımı
- S2: Ana şebeke kullanımı
- S3: Dizel jeneratör yatırımı
- S4: Enerji depolama sistemi yatırımı
- S5: Yenilenebilir enerji yatırımı

Akış değişkenleri:

- F1: Enerji talebi
- F2: Enerji fiyatları
- F3: Mikro şebeke yönetiminin öngörüleri
- F4: Ana şebeke kesintileri
- F5: OSB'deki firma sayısı
- F6: OSB'ye kâğıt, kimya, cam ve çimento sektöründen firmaların girişi
- F7: OSB'ye veri merkezi kurulması
- F8: Fosil yakıt fiyatları
- F9: Yenilenebilir enerji teşvikleri
- F10: Doğalgaz pazarı
- F11: Ekonomik krizler
- F12: Olağanüstü durumlar
- F13: İletim hatları ve trafolara yatırım
- F14: İletim hatları ve trafo bakımları

Sistemin mevcut zamandaki ve gelecekteki etkileşimleri ve bunlardan etkilenebilecek stok durumları dikkate alındığında, beş stok ve on dört akış değişkeni elde edilmiştir. Değişkenlerden de anlaşılabileceği üzere, sistemi asıl tanımlayan ve iç ve dış faktörlerden etkilenen stoklar üretim tarafıyla ilgilidir. Yenilenebilir enerji

sistemlerinin güç çıktılarına, yeni yatırımlarla kapasiteyi arttırmak dışında müdahale etmek mümkün olmadığından bunlar stok değişkenlere eklenmemiştir. Stok değişkenler arasında, mevcut sistemde bulunmayan enerji depolama sisteminin yatırım olarak bulunma nedeni ise, bu teknolojilerin fiyatlarında düşüş ile yakın gelecekte böyle bir sistemde kullanımlarının cazip hale gelebilecek olması, dolayısıyla gelecek senaryolarının analizinde dikkate alınmaları gerekliliğidir.

Stokları ve birbirlerini etkileyen önemli iç ve dış etkenler ise, akış değişkenleri ile verilmiştir. Bunların sayısının çalışmanın kapsamına göre çok daha ileri götürülebileceği açıktır; ancak çalışmamızda bu kapsamla sınırlı kalınmıştır. Değişkenlere karar verildikten sonra, birbirleriyle etkileşimleri belirlenmiştir. Bu etkiler Şekil 6.3'te gösterilmektedir. Belirlenen olası etkiler doğrultusunda çizilen mikro şebekenin SD şeması ise Şekil 6.4'te verilmiştir. Sistemin stok ve akış değişkenleri arasındaki etkileşimler şemada daha net görülebilmektedir.

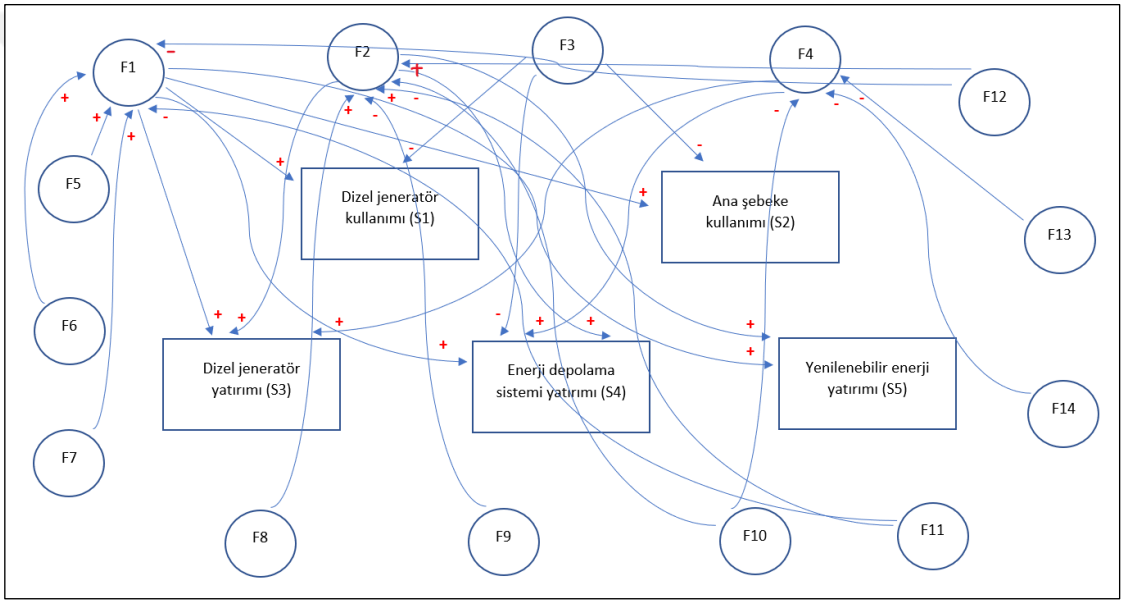
	S1	S2	S3	S4	S5	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14
S1																			
S2																			
S3																			
S4																			
S5																			
F1	+	+	+	+	+														
F2			+	+	+														
F3	-	-		-															
F4			+	+															
F5						+													
F6						+													
F7						+													
F8							+												
F9							-												
F10							-		-										
F11						-	+												
F12						-	+												
F13									-										
F14									-										

Şekil 6.3 : Sistem stok ve akış değişkenleri arasındaki etkileşim tablosu.

SD yaklaşımıyla Şekil 6.3'te görülen yirmi altı adet olası etki ve yönleri belirlendikten sonra yapılması gereken, bu etkilerin varlıklarının uzman görüşleri alınarak doğrulanması ve miktarlarının belirlenmesidir. Bunun için bir anket hazırlanacaktır. Ankette uzmanların hem belirlenen etkiler hem de hepsinin ters yönleri hakkındaki

düşünceleri sorulacaktır. Sonuçlar değerlendirilirken ise, bir etki için hem öngörülen yön hem ters yöndeki soruların yanıtları kullanılarak ortalama alınacaktır. Böylece daha gerçekçi ve tarafsız sonuçlar elde edilebilecektir. Bu kapsamda hazırlanan anket Ek B'de verilmiştir. Anket sorularına bir örnek olarak, "E7: Şebekeden ortalama alış fiyatı artarsa, dizel jeneratör yatırımı artar." verilebilir. Bu soruda F2 akış değişkeninin S3 stok değişkenine etkisi araştırılmaktadır.

Anket ilgili alandaki sektör çalışanları ile ekonomi, elektrik mühendisliği, endüstri mühendisliği, makine mühendisliği gibi çeşitli disiplinlerden bu alanda çalışmakta olan akademisyenlere uygulanacaktır. Anket sonuçlarının değerlendirilmesine dair detaylar uygulama kısmında verilecektir.



Şekil 6.4 : Mikro şebekenin sistem dinamiği şeması.

Daha önce de belirtildiği gibi, çalışmamızda SD yaklaşımından son derece kompleks etkileşimler içeren mikro şebeke sisteminin ilişkiler ağını kurgulamakta ve etkileri analiz etmekte faydalanılacaktır. SD ve anket çalışmaları ile etkiler, yönleri ve miktarları açığa çıkarıldıktan sonra ise, anket sonuçlarının değerlendirilerek ele alınan senaryolar için çözüm önerileri üretebilecek bir formülasyon önerilecektir. Anket sonuçlarının nihai hali, etkilerin miktar ve yönlerine dair doğrudan sayısal cevaplar içerecektir. Ayrıca, anket sonuçları dolaylı olarak akış değişkenlerinin entropi ağırlıklarının belirlenmesinde de kullanılacaktır. Elde edilecek sayısal değerlerin senaryoların analizinde kullanılması için, doğrudan ve dolaylı ilişkileri ifade edecek bir formülasyon üretilmiştir. Entropi yöntemi kullanılarak her akış değişkeni için elde

edilecek w entropi ağırlık değeri, bu değişkenlerin stok değişkenlere etkilerini ifade eden E değerleri ve bu akış değişkenlerinin gerçekleşme durumlarını ifade eden F değerleri ile çarpılarak her bir stok değişkeni için nihai bir skor elde edilecektir. Bu formülasyon, stok ve akış değişkenleri arasındaki Şekil 6.3'te verilen direkt ve dolaylı ilişkiler gözetilerek oluşturulmuş ve denklem 6.27 – 6.31 ile verilmiştir.

$$S1 = w_1.F1.E2 + w_3.F3.(-E5) + w_1.E2.[w_5.F5.E14 + w_6.F6.E15 + w_7.F7.E16 + w_{11}.F11.(-E20) + w_{12}.F12.(-E22)] \quad (6.27)$$

$$S2 = w_1.F1.E1 + w_3.F3.(-E4) + w_1.E1.[w_5.F5.E14 + w_6.F6.E15 + w_7.F7.E16 + w_{11}.F11.(-E20) + w_{12}.F12.(-E22)] \quad (6.28)$$

$$S3 = w_1.F1.E10 + w_2.F2.E7 + w_4.F4.E12 + w_1.E10.[w_5.F5.E14 + w_6.F6.E15 + w_7.F7.E16 + w_{11}.F11.(-E20) + w_{12}.F12.(-E22)] + w_2.E7.[w_8.F8.E17 + w_9.F9.(-E18) + w_{10}.F10.(-E19) + w_{11}.F11.E21 + w_{12}.F12.E23] + w_4.E12.[w_{10}.F10.(-E26) + w_{13}.F13.(-E24) + w_{14}.F14.(-E25)] \quad (6.29)$$

$$S4 = w_1.F1.E3 + w_2.F2.E8 + w_3.F3.(-E6) + w_4.F4.E13 + w_1.E3.[w_5.F5.E14 + w_6.F6.E15 + w_7.F7.E16 + w_{11}.F11.(-E20) + w_{12}.F12.(-E22)] + w_2.E8.[w_8.F8.E17 + w_9.F9.(-E18) + w_{10}.F10.(-E19) + w_{11}.F11.E21 + w_{12}.F12.E23] + w_4.E13.[w_{10}.F10.(-E26) + w_{13}.F13.(-E24) + w_{14}.F14.(-E25)] \quad (6.30)$$

$$S5 = w_1.F1.E11 + w_2.F2.E9 + w_1.E11.[w_5.F5.E14 + w_6.F6.E15 + w_7.F7.E16 + w_{11}.F11.(-E20) + w_{12}.F12.(-E22)] + w_2.E9.[w_8.F8.E17 + w_9.F9.(-E18) + w_{10}.F10.(-E19) + w_{11}.F11.E21 + w_{12}.F12.E23] \quad (6.31)$$

Verilen denklemlerde, F değerleri ele alınan gelecek senaryosunu ifade edecek, akış değişkenlerinin bu senaryodaki durumunu gösterecektir. Değişkenin özelliğine göre F'ler 0/1 ya da -1/0/1 değerlerini alacaklardır. Her bir akış değişkeninin alabileceği değerler kümesi denklem 6.32'de verilmiştir. E değerleri ise, ankete verilen cevaplar sonucunda hesaplanacak olan ve yüzdeleri ifade eden $[0,1]$ aralığındaki değerlerdir. E1 – E26 değerleri için aynı numaralandırma Ek B'de yer alan ankette de kullanılmıştır.

$$F1 \in \{-1,0,1\} \quad F2 \in \{-1,0,1\} \quad F3 \in \{-1,0,1\} \quad F4 \in \{0,1\} \quad F5 \in \{-1,0,1\}$$
$$F6 \in \{0,1\} \quad F7 \in \{0,1\} \quad F8 \in \{-1,0,1\} \quad F9 \in \{0,1\} \quad F10 \in \{0,1\}$$

$$F11 \in \{0,1\} \quad F12 \in \{0,1\} \quad F13 \in \{0,1\} \quad F14 \in \{0,1\} \qquad (6.32)$$

Denklem 6.27 – 6.31 sonucunda elde edilenler, her stok değişken için birer skor olacaktır. Bu değerler, değişikliklere karşı alınabilecek hızlı aksiyonlarla ilgili olan S1 ve S2 stok değişkenleri için bir arada, gelecek yatırımlarla ilgili olan S3, S4 ve S5 stok değişkenleri için de ayrıca bir arada normalize edilerek karar ve politika belirlemede kullanılabilecektir.

7. GEBZE ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİNDE UYGULAMA ÇALIŞMASI

Çalışmamızın uygulama aşamasında Gebze OSB ele alınacak, önerilen çözüm yaklaşımı buranın enerji yönetimi için uygulanacaktır. Bunun için ilk adım veri teminidir. İlk olarak, farklı kaynaklardan elde edilen veri ve parametreler sunulacaktır. Ardından, bunlar kullanılarak vaka çalışması ve geleceğe yönelik senaryo analizleri yapılacaktır.

7.1 Veriler

Önerilen model için gerekli verilerden $\Phi_{j,k}$ saatlik güneş ışınımı, $T_{a,j,k}$ saatlik ortam sıcaklığı ve $\omega_{j,k}$ saatlik rüzgâr hızı verileri meteorolojiden temin edilecektir. $d_{i,j,k}$ talep tahminleri ise, çalışmamızın tahmin aşamasında önerilen yöntemlerle elde edilebileceği gibi, diğer veriler gibi hazır olarak da temin edilebilir.

Çalışmamızın uygulama aşaması için Gebze OSB'nin dokuz yıllık (Haziran 2010 – Mayıs 2019) saatlik elektrik tüketim verisi temin edilmiştir. OSB'nin içindeki tüm işletmeler ve diğer birimler dikkate alındığında, seksen altı ayrı tüketiciye ait veri söz konusudur. Temin edilen veri Gebze OSB'de yer alan Turkcell Gebze VM'nin tüketim miktarlarını içermemektedir. Bu sebeple, çalışmamızda VM'lerin OSB'lerde yer alması durumundaki etkileri gözlemek de amaçlandığından, temin edilen veriye hipotetik bir VM'nin saatlik elektrik tüketim verisi de katılacaktır. Bunun için, Sun ve Lee (2006) makalesindeki VM elektrik tüketimine dair verilen veri ve hesaplamalardan faydalanılmıştır. Dinamik model bu şekilde seksen yedi tüketici için çalıştırılacaktır.

Ele alınan mikro şebekenin saatlik yük talebi tahmini için, burada bir istatistiksel yöntem ve bir makine öğrenme tekniği kullanılacaktır. Bunlar yalnızca, önerilen yönetim paketinin opsiyonel olan tahmin aşaması için örnek olması adına yapılacaktır. Tahmin yönteminin geliştirilmesiyle, tahmin hatalarının düşürülmesi ve optimizasyon modelinden daha gerçeğe yakın çizelgeleme sonuçları alınması mümkündür. Önerilen

bütünleşik yaklaşımın herhangi bir aşamasındaki geliştirme, mikro şebekenin daha etkin yönetilmesine katkı sağlar.

Yük talebi tahmini için ARIMA ve YSA yöntemleri kullanılacak, elde edilen tahmin sonuçlarının MAPE ve R^2 değerleri karşılaştırılarak uygulamada kullanılacak yönteme karar verilecektir. MAPE, tahmin doğruluğunun ölçüsü olarak sık kullanılan göstergelerden biridir. MAPE ölçütü ile, gerçek değeri de bilinmekte olan tahmin sonuçlarının doğruluğu ölçülür. Denklem 7.1'de verilen formülle hesaplanır. Burada, n tahmin edilen gözlem sayısını, A_t t. gözlemin gerçek değerini, F_t ise t. gözlemin tahmin değerini ifade eder (Agresti, 2013).

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n} \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| \quad (7.1)$$

R^2 ise belirlilik katsayısıdır; bir veri grubunun diğer veri grubunu ne kadar iyi açıkladığını ifade eder. Tahmin sonuçlarının değerlendirilmesinde sık kullanılır. 0 ile 1 arasında değer alabilen R^2 ölçütünün, genel olarak 0,50 ila 0,70 arasında olduğunda dikkate değer olduğu, 0,70'in üzerinde ise tahmin sonuçlarının oldukça iyi olduğunu ifade ettiği söylenebilir (Asan, 2017).

Yük talebi tahmini için kullanılacak veri dokuz yıllık saatlik elektrik tüketim verisidir. Tüm veri seti 78889 satırdan oluşmaktadır. Bu veri seti daha önce de belirtildiği gibi ele alınan OSB'ye ait gerçek veridir. Ele alınacak hipotetik VM'nin tüketim verisi tahmin aşamasında dikkate alınmayacaktır. Ayrıca, örnek olarak yapılan tahmin uygulaması OSB'nin toplam tüketimi için yapılacak, tüketiciler ayrı ayrı ele alınmayacaktır.

Tahmin yöntemlerine gelmeden önce, verinin ön işlemesi yapılmalıdır. Bunun için öncelikle veri seti yıllık grafikler halinde incelenmiştir. Bu grafiklerden, veride mevsimsellik bulunmadığı, cumartesi ve pazar günlerinde düzenli bir düşüş olduğu, dinî bayramlarda ve bunlara bağlı tatil günlerinde ise dışa düşen değer olarak nitelendirilebilecek düşüşler olduğu sonucuna varılmıştır. Bu üç gözlem, ele alınan veri bir OSB'ye ait elektrik tüketim verisi olduğundan beklenen durumlardır. Bir başka gözlem ise, veri setinin hafta içi günlerde de güne bağlı bir örüntü oluşturuyor olduğudur. Bu yüzden veri setinin her bir satırı, tarihinin karşılık geldiği güne göre 1-7 arası numaralandırılmıştır. Bir alt seviyedeki değişkenlik etkeni ise gün içindeki saatlerdir. Bu da beklenen bir durumdur. Veri seti, saatlere göre de 1-24 arası etiketlenmiş, bu da bir diğer bağımsız değişken olarak ele alınmıştır.

Dışa düşen değer olarak saptanan dinî bayram tatillerindeki günlerde düzeltme yapılması gerekmektedir. Bunun için, bir dışa düşen değerin gün ve saatine göre, gerçek değer yerine ilgili gün ve saatin diğer verilerdeki ortalama değeri yazılmıştır. Tüm bu analiz ve değişiklikler için IBM SPSS Statistics 20 programı kullanılmıştır.

Verinin ön işleme süreci tamamlandıktan sonra, OSB'nin toplam elektrik tüketimi için ARIMA ve YSA yöntemleri ile iki ayrı tahmin uygulaması yapılmıştır. Bu iki yöntem de SPSS programı ile uygulanmıştır. Yöntemler uygulanırken, verinin konusu gereği gün ve saat bağımsız değişken, elektrik tüketimi bağımlı değişken olarak seçilmiştir. Tahmin sonuçları, farklı mevsimlerden dışa düşen değer içermeyen dört ayrı tarih seçilip, bunlar için detaylı incelenmiştir. Karşılaştırma yapmak adına bu sonuçların MAPE ve R^2 değerleri Çizelge 7.1'de gösterilmektedir. Ayrıca, tahminlerin saatlik sonuçları da Ek C Çizelge C.1, C.2, C.3 ve C.4'te verilmiştir.

Çizelge 7.1 : Tahmin sonuçlarının karşılaştırılması.

Tahmin yapılan tarih	**ARIMA tahmin sonuçları**		**YSA tahmin sonuçları**	
	MAPE	**R^2**	**MAPE**	**R^2**
28 Ağustos 2018	%5,84	0,962	%8,76	0,988
30 Kasım 2018	%6,57	0,937	%12,7	0,984
28 Şubat 2019	%6,61	0,954	%15,8	0,975
27 Mayıs 2019	%7,92	0,964	%10,5	0,969

Çizelge 7.1'de verilen değerler incelendiğinde, kullanılan iki yöntemin de hata oranları ve belirlilik açılarından iyi sonuçlar verdiği görülür. Burada yakından incelenen örnekler dışında, tüm veri setinin de gerek tahminlerin niteliği gerekse ölçütlerin değerleri açısından benzer olduğu görülmüştür. Tahmin sonuçlarıyla yapılacak uygulama çalışmasında, tarihe göre ölçütlerin değerleri dikkate alınarak karar verilecektir.

7.2 Maliyet Parametreleri

Modelde kullanılan maliyet parametreleri CF, C_2, C_3, $C_{4,j,k}$ ve $C_{5,j,k}$'dır. CF dizel jeneratör için satın alınan yakıtın birim maliyetini (TL/lt) ifade eder. Bu parametre için güncel değer Çizelge 7.2'de verilmiştir (EPDK, 2020). C_2 fotovoltaik sistem ile, C_3 rüzgâr türbini ile üretilen elektriğin birim üretim maliyetini (TL/kWh) ifade eder. Mevcut piyasa şartlarındaki C_2 ve C_3 değerleri de Çizelge 7.2'de verilmiştir (EIA, 2019).

$C_{4,j,k}$, ana şebekeden alınacak elektriğin saatlik birim fiyatı verisi üç zamanlı tarifeler dikkate alınarak EPDK'dan temin edilir. 2020 yılının 4. çeyreğine ait tarifelere göre, uygulama örneğimiz için uygun olan orta gerilim, çift terimli, üç zamanlı sanayi tarifesindeki fiyatlar kullanılmıştır. Bunlar Çizelge 7.2'de verilmiştir (EPDK, 2020). $C_{5,j,k}$, ana şebekeye satılacak elektriğin saatlik birim fiyatı verisi ise, ilgili tarihin sistem marjinal fiyatı dikkate alınarak EPİAŞ'tan temin edilir (EPİAŞ, 2020).

Çizelge 7.2 : Maliyet parametreleri.

Parametre		Değer
CF		6,563 TL/lt
C_2		0,217 TL/kWh
C_3		0,211 TL/kWh
$C_{4,j,k}$	Gündüz (7-18)	0,624339 TL/kWh
	Puant (18-23)	0,964358 TL/kWh
	Gece (23-7)	0,349911 TL/kWh

7.3 Karbondioksit Salımı Parametreleri

Modelde kullanılan çevresel parametreler e_1, e_2, e_3 ve e_4'tür. e_1 dizel jeneratörün harcadığı yakıtın karbondioksit salım miktarını (g/lt) ifade eder. Bu değer hesaplanırken, Jakhrani ve diğ. (2012) çalışmasındaki tahmin sonuçları dikkate alınarak 1 litre yakıt başına karbondioksit salımı 51,906 gram olarak belirlenmiştir.

e_2 ve e_3, sırasıyla fotovoltaik sistem ve rüzgâr türbinleri ile üretilen enerjilerin karbondioksit salım miktarlarını (g/kWh) ifade ederler. Güneş panelleri ve rüzgâr türbinleri yenilenebilir, çevre dostu kaynaklardır ve karbondioksit salımları ihmal edilebilecek düzeyde düşüktür (Ufluoğlu, 2018). Dolayısıyla, çalışmamızda bu değerler 0 olarak kabul edilecektir.

e_4 ana şebekeden alınacak enerjinin neden olduğu karbondioksit salım miktarını (g/kWh) ifade eder. Bu değerin hesaplanmasında, yararlandığımız bir doktora tezi çalışmasındaki yaklaşım örnek alınmıştır. Buradaki verilere göre, Türkiye'de şebeke elektriği üretiminde doğalgaz, kömür, yenilenebilir kaynaklar ve petrolün kullanım yüzdeleri sırasıyla %41, %41, %12 ve %6'dır. Bu kaynakların karbondioksit salım miktarları ise, sırasıyla 49,04 g/kWh, 86,47 g/kWh, 0 g/kWh, 72,40 g/kWh'dur (Ufluoğlu, 2018). Bu değerler kullanılarak, şebeke elektriği için ortalama karbondioksit salım miktarı 59,90 g/kWh olarak hesaplanır. Kullanılacak tüm çevresel parametrelerin değerleri Çizelge 7.3'te verilmiştir.

Çizelge 7.3 : Karbondioksit salımı parametreleri ve değerleri.

Parametre	Değer
e_1	51,906 g/lt
e_2	0 g/kWh
e_3	0 g/kWh
e_4	59,90 g/kWh

7.4 Güç Kaynaklarına ait Parametreler

Güç kaynaklarının parametrelerini belirlemek için öncelikle, uygulamada ele alınan OSB'nin toplam tüketimi dikkate alınarak kurulu gücün ne kadar olması gerektiğine karar verilmelidir. Hipotetik VM'nin tüketimi de hesaba katılarak toplam tüketim verisinin son bir yıllık kısmı incelendiğinde, böyle bir mikro şebekenin kurulu gücünün 20 MW olması gerektiği sonucuna varılır. Dolayısıyla, mikro şebekenin hâlihazırdaki yenilenebilir kaynaklarıyla kendi kendine yetebilmesi amacı doğrultusunda, güneş ve rüzgâr enerjisi sistemlerinin kurulu gücünün yaklaşık olarak 20 MW olması gerekmektedir.

Planlanan kapasitenin iki yenilenebilir kaynak arasında paylaştırılması için, Gebze bölgesinin meteorolojik verileri ile bölgedeki mevcut ve planlanan tesislerin kurulu güçleri dikkate alınmalıdır. Bu veriler incelendiğinde, bölgenin rüzgâr enerjisi bakımından daha verimli olduğu, ama güneş enerjisi kapasitesinin de dikkate değer olduğu görülmüştür. Dolayısıyla, kurulu kapasitede rüzgâr enerjisi sistemine ağırlık verilmelidir (URL-5). Bunlar dikkate alınarak, uygulama çalışmamızdaki güç kaynakları için uygun model, büyüklük ve sayılara karar verilecektir.

Dizel jeneratörün kapasitesinin de benzer şekilde belirlenmesi gerekir. Mikro şebeke sistemimizde, dizel jeneratör ve ana şebeke yenilenebilir kaynakların yeterli olmadığı durumda yedek güç kaynağı görevi görmektedirler ve uygulamada ele alınan OSB ve VM için kesintisiz güç akışı kritiktir. Dolayısıyla, mikro şebekedeki tüketicilerin yük taleplerinin yenilenebilir kaynakların en yetersiz olduğu durumda dahi dizel jeneratör ve ana şebekeden karşılanabiliyor olması gerekmektedir. Diğer yandan, aynı yük talebi karşısında dizel jeneratör veya ana şebeke alternatiflerinin seçilmeleri durumunda, ana şebekenin sebep olacağı karbondioksit salımının dizel jeneratörünkinden yaklaşık 3,5 kat daha fazla olduğu hesaplanmıştır. Bunlar doğrultusunda, mikro şebekede yer alacak dizel jeneratörün kapasitesinin de yaklaşık 20 MVA olması gerektiğine karar verilmiştir.

Uygulamada kullanılmak için FG Wilson markasının P275-2 model dizel jeneratörü seçilmiştir (URL-6). Güneş paneli için JinkoSolar firmasının Tiger Pro 78TR Monofacial modeli seçilmiştir (URL-7). Rüzgâr sistemi içinse, VESTAS firmasının 3,45 MW'lık V126 model türbini seçilmiştir (URL-8). Tüm güç üreticilerinin parametreleri ile ana şebekeye ait dışsal parametreler Çizelge 7.4'te verilmiştir. Ancak, uygulama sonuçlarına göre bu parametrelerde değişiklik yapılmasına karar verilebilecektir.

Çizelge 7.4 : Güç kaynaklarının parametreleri ve değerleri.

Parametre	Değer
P_1^{nom}	1100 kW
P_1^{min}	200 kW
N_{DG}	18
P_2^{max}	0,580 kW
S_{PV}	2,276 m^2
N_{PV}	10000
P_3^{max}	3450 kW
v_{ci}	3 m/s
v_{co}	22,5 m/s
v_r	20 m/s
N_{WT}	4
P_4^{max}	2500 kWh
P_5^{max}	2500 kWh

7.5 Önerilen Dinamik Modelin Gebze OSB'ye Uygulanması

Uygulamada ele alınan OSB belirlendikten sonra, buna ait parametreler ve daha önce dinamik modelde "$x_{i,k}$'lar için tüketicilerin elektrik ihtiyacına göre bazı alt sınırlar" diye belirtilen sınırlar netlik kazanmıştır. Bunlar doğrultusunda, dinamik modele aşağıda bir kez daha denklem 7.2 – 7.17 ile yer verilmiştir. Seksen yedi tüketiciden oluşan OSB'de, işletmelerde ya da OSB merkezindeki devamlı çalışması gereken elektrikli cihaz ya da sistemlere göre beş farklı alt sınır saptanmıştır. Bunlar, modelde 7.15 denklem seti ile yer alan kısıtlarda görülebilir.

Verilen altı aşamalı dinamik model çözüldüğünde, bir günün bir çeyreği için en küçük maliyetli enerji üretim-tüketim çizelgesi elde edilecektir. Bu çizelge, altı saatin her biri için her bir tüketicinin havuzdan ne kadar elektrik alacağı, her bir üreticinin ne kadar elektrik üretip havuza aktaracağı ve ana şebeke ile ne kadar yük alışverişinde

bulunulacağı bilgilerini içerecektir. Model GAMS yazılımında kodlanarak çalıştırılacaktır.

$$f_k = \min_{y_{p,k}}\{[CF\,.\,(a\,.\,y_{1,k} + b\,.\,P_1^{nom}) + C_2\,.\,y_{2,k} + C_3\,.\,y_{3,k} + C_{4,k}\,.\,y_{4,k} - C_{5,k}.\,y_{5,k}] + f_{k+1}\} \quad (7.2)$$

Öyle ki,

$$\frac{1}{6}.D_i \le x_{i,k} \quad \forall\, i,k = 6 \quad (7.3a)$$

$$0{,}9 \le \frac{x_{i,k}}{x_{i,k+1}} \le 1{,}1 \quad \forall\, i,k = 2{,}3{,}4{,}5 \quad (7.3b)$$

$$0{,}9 \le \frac{x_{i,k}}{x_{i,k+2}} \le 1{,}1 \quad \forall\, i,k = 2{,}3{,}4 \quad (7.3c)$$

$$0{,}9 \le \frac{x_{i,k}}{x_{i,k+3}} \le 1{,}1 \quad \forall\, i,k = 2{,}3 \quad (7.3d)$$

$$0{,}9 \le \frac{x_{i,k}}{x_{i,k+4}} \le 1{,}1 \quad \forall\, i,k = 2 \quad (7.3e)$$

$$x_{i,k} = D_i - \left(x_{i,k+5} + x_{i,k+4} + x_{i,k+3} + x_{i,k+2} + x_{i,k+1}\right) \quad \forall\, i,k = 1 \quad (7.3f)$$

$$\sum_{i=1}^{87} x_{i,k} - [y_{1,k} + y_{2,k} + y_{3,k} + y_{4,k} - y_{5,k}\,] = 0 \quad \forall\, k \quad (7.4)$$

$$P_1^{min} \le y_{1,k} \le N_{DG}.P_1^{nom} \quad \forall\, k \quad (7.5)$$

$$y_{1,k} \le M.u_k^d \quad \forall\, k \quad (7.6)$$

$$-y_{1,k} \le M.\left(1 - u_k^d\right) \quad \forall\, k \quad (7.7)$$

$$y_{2,k} = N_{PV}\,.\,P_{2,k} \quad \forall\, k \quad (7.8)$$

$$P_{2,k} \le P_2^{max} \quad \forall\, k \quad (7.9)$$

$$y_{3,k} = N_{WT}\,.\,P_{3,k}\,.\eta_{WT} \quad \forall\, k \quad (7.10)$$

$$P_{3,k} \le P_3^{max} \quad \forall\, k \quad (7.11)$$

$$y_{4,k} \le P_4^{max} \quad \forall\, k \quad (7.12)$$

$$y_{5,k} \le P_5^{max} \quad \forall\, k \quad (7.13)$$

$$e_1.\left(a\,.\,y_{1,k} + b\,.\,P_1^{nom}\right) + e_2.y_{2,k} + e_3.y_{3,k} + e_4.y_{4,k} \le 0{,}6.e_4.\left[\frac{1}{6}.\sum_i D_i\right] \quad \forall\, k \quad (7.14)$$

$$x_{i,k} \ge 5 \quad \forall\, i = 1,\ldots,26,85,86,\ k \quad (7.15a)$$

$$x_{i,k} \ge 10 \quad \forall\, i = 27,\ldots,52,\ k \quad (7.15b)$$

$$x_{i,k} \ge 20 \quad \forall\, i = 53,\ldots,83,\ k \quad (7.15c)$$

$$x_{84,k} \geq 30 \quad \forall k \tag{7.15d}$$

$$x_{87,k} \geq 2500 \quad \forall k \tag{7.15e}$$

$$x_{i,k} \geq 0 \quad \forall i,k \tag{7.16}$$

$$y_{p,k} \geq 0 \quad \forall p,k \tag{7.17}$$

7.6 Gebze OSB'de Farklı Tarih ve Durumlar için Uygulama Çözümleri

Ele alınan OSB için ilk olarak, gerçekleşmiş talep verisi ve önceki bölümlerde verilen parametreler kullanılarak bir kış ve bir ilkbahar gününe ait iki ayrı çeyrekte uygulama yapılmıştır. Seçilen zaman dilimleri 28 Şubat 2019 Perşembe gününün ikinci çeyreği (06:00 – 12:00) ve 31 Mayıs 2019 Cuma gününün üçüncü çeyreğidir (12:00 – 18:00). İkisi için de parametre ve veri setleri güncellenerek dinamik modeller ve GAMS kodları düzenlenmiştir. Kodlar çalıştırıldığında elde edilen sonuçlar sırasıyla Çizelge 7.5 ve 7.6'da verilmiştir.

Çizelge 7.5 : 28.02.2019 günü ikinci çeyreği için optimum sonuçlar.

	06:00 – 07:00	07:00 – 08:00	08:00 – 09:00	09:00 – 10:00	10:00 – 11:00	11:00 – 12:00
Dizel jen. üretim mik. (kWh)	17521,634	9734,181	9332,823	8741,064	8526,982	9855,799
Fotovoltaik sis. üretim mik. (kWh)	-	-	475,137	719,011	891,874	1128,451
Rüzgâr sis. üretim mik. (kWh)	1891,990	1854,354	1780,575	2128,460	2169,679	2169,679
Ana şeb. alış mik. (kWh)	2500	2500	2500	2500	2500	2500
Ana şeb. satış mik. (kWh)	-	-	-	-	-	-
87 tük. toplam tük. mik. (kWh)	21913,625	14088,536	14088,536	14088,536	14088,536	15653,93
Altı saat için toplam maliyet değeri (f_1)	118.416,15 TL					

Çizelge 7.5 ve 7.6'da verilen sonuçlarda görüldüğü üzere, mikro şebekenin enerji üretimi tarafında kaynaklar arasında, arzu edilenin tersi yönde bir dengesizlik vardır. Yenilenebilir kaynakların güç çıktılarının meteorolojik verilere göre değişiklik göstermesi beklenen bir durumdur, ancak yine de kapasite olarak dizel jeneratörün altında kaldıkları ve OSB'nin enerji tüketiminin çoğunun dizel jeneratörden karşılandığı görülmektedir. Buna, yenilenebilir enerji sistemlerinin düşük verimlilik katsayılarının neden olduğu düşünülmektedir ve istenilen bir durum değildir.

Çizelge 7.6 : 31.05.2019 günü üçüncü çeyreği için optimum sonuçlar.

	12:00 – 13:00	13:00 – 14:00	14:00 – 15:00	15:00 – 16:00	16:00 – 17:00	17:00 – 18:00
Dizel jen. üretim mik. (kWh)	15052,218	8150,550	8234,698	8417,745	8729,349	10477,094
Fotovoltaik sis. üretim mik. (kWh)	1701,071	1720,618	1628,234	1446,137	1127,724	739,776
Rüzgâr sis. üretim mik. (kWh)	0,301	7,201	15,437	14,488	21,297	36,875
Ana şeb. alış mik. (kWh)	2500	2500	2500	2500	2500	2500
Ana şeb. satış mik. (kWh)	-	-	-	-	-	-
87 tük. toplam tük. mik. (kWh)	19253,592	12378,37	12378,37	12378,37	12378,37	13753,744
Altı saat için toplam maliyet değeri (f_1)	110.200,10 TL					

Yapılan uygulamaların sonuçlarına göre, yenilenebilir enerji teknolojilerinin kapasitelerinin, yani kurulu gücün arttırılması gerektiği açıktır. Diğer yandan, ana şebeke ile olan iletim hattının kapasitesinin de daha fazla olması gerektiği anlaşılmıştır. Bunlar doğrultusunda, Çizelge 7.4'te yer alan parametrelerden dördünün Çizelge 7.7'deki gibi değiştirilmesi uygun görülmüştür. Bu değişikliklerin anlamı, önceki duruma göre güneş ve rüzgâr enerjisi sistemlerinin kapasitelerinin üçer kat, ana şebeke ile iletim hattı kapasitesinin ise çift yönlü olarak dört kat arttırıldığıdır.

Çizelge 7.7 : Güç kaynaklarının değişen parametre değerleri.

Parametre	Yeni değer
N_{PV}	30000
N_{WT}	12
P_4^{max}	10000 kWh
P_5^{max}	10000 kWh

Yeni belirlenen kapasiteler kullanılarak, aynı tarih ve saat dilimleri için tekrar uygulama yapılmıştır. Bu uygulamalara dair sonuçlar Çizelge 7.8 ve 7.9'da verilmiştir.

Çizelge 7.8 : Yükseltilmiş üretim kapasiteleriyle 28.02.2019 günü ikinci çeyreği için optimum sonuçlar.

	06:00 – 07:00	07:00 – 08:00	08:00 – 09:00	09:00 – 10:00	10:00 – 11:00	11:00 – 12:00
Dizel jen. üretim mik. (kWh)	8799,633	200	200	200	200	200
Fotovoltaik sis. üretim mik. (kWh)	-	-	1425,412	2157,032	2675,622	3385,354
Rüzgâr sis. üretim mik. (kWh)	5675,971	5563,063	5341,724	6385,381	6509,037	6509,037
Ana şeb. alış mik. (kWh)	7438,020	8325,472	7121,399	5346,121	4703,876	5559,539
Ana şeb. satış mik. (kWh)	-	-	-	-	-	-
87 tük. toplam tük. mik. (kWh)	21913,625	14088,536	14088,536	14088,536	14088,536	15653,93
Altı saat için toplam maliyet değeri (f_1)	51.144,18 TL					

Çizelge 7.8 ve 7.9'da verilen sonuçlar incelendiğinde, aynı zaman dilimleri için yenilenebilir teknolojilerin ve ana şebekeyle alışveriş kapasitesinin daha düşük olduğu duruma göre, dizel jeneratörün üretimdeki payının düştüğü ve bu farkın mümkün olduğunca yenilenebilir kaynaklardan elde edilen güç çıktılarıyla kapatıldığı görülmektedir. İki durum arasında, her iki tarih için enerji tüketim miktarları tamamen aynıdır. Üretimde, temiz kaynakların oranının artmasının yanında, ana şebekeden satın alınan güç miktarı da artmıştır.

Çizelge 7.9 : Yükseltilmiş üretim kapasiteleriyle 31.05.2019 günü üçüncü çeyreği için optimum sonuçlar.

	12:00 – 13:00	13:00 – 14:00	14:00 – 15:00	15:00 – 16:00	16:00 – 17:00	17:00 – 18:00
Dizel jen. üretim mik. (kWh)	7594,974	200	200	200	963,089	4132,732
Fotovoltaik sis. üretim mik. (kWh)	5103,212	5161,854	4884,703	4338,410	3383,172	2219,327
Rüzgâr sis. üretim mik. (kWh)	0,903	21,604	46,312	43,463	63,890	110,624
Ana şeb. alış mik. (kWh)	6554,500	6994,912	7247,355	7796,497	7968,219	7291,061
Ana şeb. satış mik. (kWh)	-	-	-	-	-	-
87 tük. toplam tük. mik. (kWh)	19253,592	12378,37	12378,37	12378,37	12378,37	13753,744
Altı saat için toplam maliyet değeri (f_1)	57.987,03 TL					

Seçilen zaman dilimlerinin düşük ve yüksek yenilenebilir kapasiteleriyle yapılan uygulamalarının toplam maliyet açısından karşılaştırmaları da Çizelge 7.10'da verilmiştir. Bu değerler incelendiğinde, beklendiği gibi enerji giderleri açısından yeni kapasite parametrelerinin ciddi iyileşmeler sağladığı, %45 ila %55 oranında azalma elde edildiği görülmektedir. Dolayısıyla, sonraki uygulamalarda bu yeni parametreler ile devam edilecektir.

Çizelge 7.10 : Üretim kaynakları parametrelerindeki değişiklerin öncesi ve sonrasının karşılaştırılması.

	Toplam maliyet
28.02.2019 – 2. çeyrek – Düşük kapasite	118.416,15 TL
28.02.2019 – 2. çeyrek – Yüksek kapasite	51.144,18 TL
31.05.2019 – 3. çeyrek – Düşük kapasite	110.200,10 TL
31.05.2019 – 3. çeyrek – Yüksek kapasite	57.987,03 TL

Gelinen yeni durumda, henüz uygulama yapılmayan yaz ve sonbahar mevsimlerinden de birer tarih seçilerek modelin bunlarda nasıl çalıştığı görülmek istenmiştir. 18 Temmuz 2018 Çarşamba gününün ikinci çeyreği (06:00 – 12:00) ve 23 Ekim 2018

Salı gününün üçüncü çeyreği (12:00 – 18:00) seçilmiştir. Bu tarihler için yapılan uygulamalarda da gerçekleşmiş talep verisi kullanılmıştır. Modelin nasıl çalıştığını kontrol ederken kritik olan enerji tüketiminin yüksek olduğu saatler olduğundan, bu uygulamalarda da ikinci ve üçüncü çeyrekler dikkate alınmıştır. İki tarih için de parametre ve veri setleri güncellenerek dinamik modeller ve GAMS kodları düzenlenmiştir. Kodlar çalıştırıldığında elde edilen sonuçlar sırasıyla Çizelge 7.11 ve 7.12'de verilmiştir.

Çizelge 7.11 : 18.07.2018 günü ikinci çeyreği için optimum sonuçlar.

	06:00 – 07:00	07:00 – 08:00	08:00 – 09:00	09:00 – 10:00	10:00 – 11:00	11:00 – 12:00
Dizel jen. üretim mik. (kWh)	13262,065	2159,239	382,240	200	200	200
Fotovoltaik sis. üretim mik. (kWh)	908,408	2257,930	3607,271	5193,915	5905,594	6718,546
Rüzgâr sis. üretim mik. (kWh)	411,456	500,990	549,844	684,543	1049,310	1291,663
Ana şeb. alış mik. (kWh)	5852,768	8219,556	8598,358	7059,256	5982,809	6387,251
Ana şeb. satış mik. (kWh)	-	-	-	-	-	-
87 tük. toplam tük. mik. (kWh)	20434,697	13137,712	13137,712	13137,712	13137,712	14597,46
Altı saat için toplam maliyet değeri (f_1)	61.090,34 TL					

Çizelge 7.11 ve 7.12'deki yaz ve sonbahar uygulamalarının sonuçları incelendiğinde, güneş ve rüzgâr enerjisi sistemlerinin güç çıktılarının bunları etkileyen meteorolojik verilere göre dalgalandığı, ana şebeke ile alışveriş ve dizel jeneratörle güç üretiminin ise bunlara göre şekillendiği görülmektedir.

Aynı üretici parametreleri ile yapılan önceki iki uygulama da göz önünde bulundurulduğunda, mevcut durum için her mevsime ait birer uygulama sonucu elde edilmiş olur. Öte yandan, mevsimin yanında, uygulama için seçilen saat aralığı da önemli ve sonuçlar üzerinde oldukça etkilidir. Dolayısıyla, önerilen endüstriyel mikro şebeke sistemini tam olarak değerlendirebilmek için dört mevsim için de modelin her

çeyrekte nasıl çalıştığı gözlenmelidir. Bu bağlamda yapılacak ilave uygulama çalışmalarına bölüm 7.8'de yer verilecektir.

Çizelge 7.12 : 23.10.2018 günü üçüncü çeyreği için optimum sonuçlar.

	12:00 – 13:00	13:00 – 14:00	14:00 – 15:00	15:00 – 16:00	16:00 – 17:00	17:00 – 18:00
Dizel jen. üretim mik. (kWh)	8771,180	200	200	868,050	2289,240	5598,376
Fotovoltaik sis. üretim mik. (kWh)	3086,783	3605,771	2694,023	1863,973	1381,064	395,998
Rüzgâr sis. üretim mik. (kWh)	2289,576	2166,737	2048,284	2106,967	1471,641	1379,758
Ana şeb. alış mik. (kWh)	7202,455	7753,647	8783,847	8887,164	8584,210	7877,154
Ana şeb. satış mik. (kWh)	-	-	-	-	-	-
87 tük. toplam tük. mik. (kWh)	21349,996	13726,151	13726,151	13726,151	13726,151	15251,283
Altı saat için toplam maliyet değeri (f_1)	68.481,41 TL					

7.7 Önerilen Modelin Talebe Duyarlılığının İncelenmesi

Endüstriyel mikro şebekelerde enerji üretim-tüketim optimizasyonu çalışmalarında, maliyetin en duyarlı olduğu parametrenin enerji talebi olduğu bilinmektedir (Ufluoğlu, 2018). Bu nedenle, çalışmamızda önerilen modelin farklı açılardan talebe karşı duyarlılığı detaylı olarak incelenecektir. İlk olarak, ele alınan problemde yer alan ve talep üzerindeki etkisi ciddi boyutlarda olan VM'ler için duyarlılık analizi yapılacaktır. İkinci kısımda, önerilen modelin talep kısıtlarında yer alan sistem dışı parametrelere duyarlılığı araştırılacaktır. Üçüncü olarak ise, önceki bölümde gerçekleşmiş tüketim verisi ile yapılan bir uygulama tahmin edilen talep değerleri ile tekrarlanarak iki durum karşılaştırılacaktır.

7.7.1 Organize sanayi bölgelerinde veri merkezleri

Çalışmamızda kullanılan elektrik talebi verileri incelendiğinde, beklendiği gibi OSB'de yer alan VM'nin toplam tüketimi tek başına %20 ila %25 oranında arttırdığı

görülmektedir. Gerek bu büyük etki gerekse daha önce bölüm 5.2'de bahsedilen KHK ile ülkemizde VM'lerin OSB'ler içinde yer almasının destekleniyor oluşu, VM'lerin OSB'lere katılımının sonuçlarını tartışmayı gerekli kılmaktadır.

Çalışmamızda her bir endüstriyel tüketici ayrı bir birim olarak ele alındığından ve VM de tek bir birim olarak diğer tüm tüketim birimlerine göre fahiş miktarda bir enerji talep ettiğinden, VM'nin varlığı enerji yönetimini güçleştirmektedir. Ele alınan OSB'de VM yerine, toplam enerji talebi onunkine eşit örneğin otuz adet diğerleri gibi işletmenin bulunduğu durumda üretim-tüketim çizelgelemenin daha rahat gerçekleştirilebileceği ve buna bağlı olarak toplam enerji maliyetinin düşeceği öngörülmektedir. Bunu doğrulamak adına, önceki bölümde sonuçları Çizelge 7.9'da verilen 31.05.2019 günü üçüncü çeyreği için yapılan uygulamada, toplam talep değiştirilmeksizin VM tüketiciler arasından çıkartılarak, onun talebi sisteme hipotetik olarak dahil edilen otuz adet küçük çaplı endüstriyel tüketiciye paylaştırılmıştır. Aynı çeyrek için bu değişiklikle çalıştırılan modelin sonuçları Çizelge 7.13'te verilmiştir.

Çizelge 7.9 ve 7.13'teki sonuçlar karşılaştırıldığında, yük akışının saatler arasında daha düzgün bir eğri yarattığı, planlanan saatlik toplam tüketim miktarlarının çok daha dengeli olduğu görülür. Ayrıca, sistemde bir VM'nin bulunduğu duruma göre, toplam elektrik talebi aynı olmasına rağmen maliyette yaklaşık %10'luk bir düşüş elde edilmiştir. Sonuçlar önceki paragraftaki öngörüyü doğrular niteliktedir. VM'nin OSB'de yer almasıyla hem her bir tüketiciye düşen enerji maliyetleri artacak hem de yük eğrilerinin daha düzgün olma imkânı elden kaçırılarak iletim ve dağıtım sistemleri olumsuz etkilenecektir. Buradan, VM'lerin toplam enerji talebi en az kendisi kadar yüksek, ama enerji yönetimi açısından daha farklı bir yapı gerektiren OSB'lere katılımının iki taraf için de verimsiz ve zaman zaman zararlı olduğu sonucuna varılır.

7.7.2 Talep kısıdı parametrelerinin duyarlılık analizi

Önerilen dinamik çizelgeleme modelinin talep kısıtları, farklı yaklaşımların denenmesi sonucunda belirlenmiştir. İlgili başlık altında da açıklandığı gibi, her bir dinamik model altı saat içindir ve tüketici tarafına vadedilen, bu altı saat için tüketmeyi planladıkları yükün saatlik olarak değişiklik gösterse de altı saat toplamında sabit kalacağıdır. Bu altı saatlik toplamın arz dengesi için saatler arasında düzgün dağılmasında ise, modelin talep kısıtları önemli rol oynar. Ancak diğer yandan, modelin amacı maliyet enküçükleme olduğundan, her saat, diğer bir deyişle aşama,

için benzer alt kısıtlar ya da aralıklar tanımlandığında, modelin son aşamaya kadar olan aşamalara yalnızca kısıdı karşılayacak en az miktarda yükü atadığı, son aşamada ise tüketicilere orantısız bir yükleme yaptığı gözlemlenmiştir. Bu durumun gerçekleşmemesi için, ele alınan ilk saat için altı saatlik toplamın altıda birinin alt sınır olmasına, sonraki saatler içinse gerçekleşen yük akışlarıyla mevcut saatin yük akışı arasındaki oranın belirli bir aralıkta olmasına karar verilmiştir. Bu aralığı tanımlamak için kullanılan 0,9 ve 1,1 katsayıları var olan sistemi doğrudan yansıtmayan, karar verici tarafından dışarıdan entegre edilmiş parametrelerdir. Dolayısıyla, bu değerler için duyarlılık analizi yapılması kritik önemdedir.

Çizelge 7.13 : 31.05.2019 günü üçüncü çeyreği için, sistemde VM'nin bulunmadığı duruma ait optimum sonuçlar.

	12:00 – 13:00	13:00 – 14:00	14:00 – 15:00	15:00 – 16:00	16:00 – 17:00	17:00 – 18:00
Dizel jen. üretim mik. (kWh)	4593,585	200	200	200	1073,089	4189,962
Fotovoltaik sis. üretim mik. (kWh)	5103,212	5161,854	4884,703	4338,410	3383,172	2219,327
Rüzgâr sis. üretim mik. (kWh)	0,903	21,604	46,312	43,463	63,890	110,624
Ana şeb. alış mik. (kWh)	5552,200	7805,272	8057,715	8606,857	8668,579	7996,08
Ana şeb. satış mik. (kWh)	-	-	-	-	-	-
116 tük. toplam tük. mik. (kWh)	15249,903	13188,73	13188,73	13188,73	13188,73	14515,993
Altı saat için toplam maliyet değeri (f_1)	52.148,49 TL					

Yapılan uygulama örneklerinin GAMS çıktılarında ilgili kısıtların marjinal maliyetleri incelendiğinde, modelin saatlik tüketim için üst sınır olan 1,1 katsayısına duyarlı olmadığı, ama alt sınırı ifade eden 0,9 katsayısına duyarlı olduğu görülmüştür. Bunun anlamı, üst sınırın değiştirilmesinin modelin çözümünü etkilemeyeceği, alt sınırda yapılacak her bir birimlik değişikliğin ise çözüme etkisi olacağıdır. Bu beklenen bir durumdur, çünkü model maliyet enküçüklemesi amacı doğrultusunda daha az tüketmenin yollarını aramaktadır ve dolayısıyla tüketimin alt sınırına göre karar

değişkenlerinin değerlerini belirlemektedir. Bu nedenle, yalnızca alt sınırda yer alan 0,9 katsayısı için farklı durumlar incelenecektir.

Daha önce yapılan uygulamalardan 18.07.2018 günü ikinci çeyreği ve 23.10.2018 günü üçüncü çeyreği, bu denemeleri yapmak üzere seçilmiştir. Bu zaman dilimlerine ait Çizelge 7.11 ve 7.12'de verilen sonuçlar, talep kısıtlarının alt sınırlarında 0,9 katsayısının kullanıldığı durumları gösterir. Aynı uygulamalar bu katsayı 0,8 ve 1 olarak değiştirilerek tekrarlanacaktır. Ancak seçilen ilk tarih için alt sınır katsayısı 0,8 olarak kullanıldığında, modelin olursuz çıktığı görülmüştür. Bunun nedeni, bazı saatlerde tüketim önceki duruma göre azalırken, altı saatlik toplam sabit olduğundan diğer saatlere atanan tüketimin daha da artması ve bunun da saatlik karbondioksit salımı gibi kısıtları ihlal etmesidir. Dolayısıyla, aynı uygulama alt sınır katsayısı 0,85 olarak değiştirilerek yinelenmiştir. Bu değişiklik sonrasında, modelin yeniden olurlu hale geldiği görülür. Seçilen iki zaman dilimi için 0,85 alt sınır katsayısıyla yapılan uygulamaların sonuçları Çizelge 7.14 ve 7.15'te verilmiştir.

Çizelge 7.14 ve 7.15'te verilen üretim-tüketim çizelgeleri, aynı durumlarda talep kısıdı alt sınır katsayısının 0,9 olduğu versiyonla karşılaştırıldığında, iki zaman dilimi için de talebin saatler arasındaki dağılımının daha düzensiz bir hal aldığı ve buna bağlı olarak da toplam enerji maliyetinin sırasıyla yaklaşık %5 ve %3 oranlarında arttığı görülür. Beklenmekte olan bu sonuçta, modelin talebin kısıtlandığı saatlerde önceki duruma göre daha az tüketim yapıyor olması ve diğer saatlere daha fazla tüketim kalması düzensizliği arttırmakta; buna bağlı olarak, kalan bu talebi karşılayabilmek için ilgili saatlerde model mecburen daha pahalı alternatiflere yönelerek maliyeti yükseltmektedir.

Aynı zaman dilimleri için, talep alt sınır katsayıları 1 yapılarak da birer uygulama yapılmıştır. Bunların sonuçları ise, Çizelge 7.16 ve 7.17'de verilmiştir.

Çizelge 7.16 ve 7.17'de verilen üretim-tüketim çizelgeleri aynı durumlarda talep kısıdı alt sınır katsayısının 0,85 ve 0,9 olduğu versiyonlarla karşılaştırıldığında, iki zaman dilimi için de beklendiği gibi talebin dağılımında çok daha düzenli bir yapı elde edildiği görülmektedir. Ek olarak, toplam enerji maliyetlerinin de önceki durumlara göre daha düşük olduğu gözlenir. Öyle ki, yalnızca bu iki uygulamanın sonucuna dayanarak modelin talep kısıtlarında alt sınır katsayısı 1 olarak değiştirilebilir. Ayrıca, bu bölümün başındaki incelemelerde belirtildiği gibi, şimdiye kadar yapılan

uygulamalarda talep kısıtlarındaki üst sınırlar işlevsiz olduğundan, üst sınırın kaldırılmasına da karar verilebilir. Ancak, mevcut talep kısıtlarının yapısı modelin geçerliliğini arttırmaktadır. Saatlik tüketim için mevcut durumdaki gibi birer alt ve üst sınır tanımlamanın, mikro şebeke karar vericilerinin farklı zamanlardaki farklı önceliklerini model aracılığıyla gerçekleştirmesine daha elverişli olacağı düşünülmektedir. Önemli olan, hangi parametre ne yönde değiştirildiğinde hangi anlamda iyileşme elde edileceğinin farkında olmaktır. Dolayısıyla, önerilen dinamik modelin talep kısıtları mevcut haliyle kalacaktır.

Çizelge 7.14 : 18.07.2018 günü ikinci çeyreği için (talep alt sınır oranı 0,85 iken) optimum sonuçlar.

	06:00 – 07:00	07:00 – 08:00	08:00 – 09:00	09:00 – 10:00	10:00 – 11:00	11:00 – 12:00
Dizel jen. üretim mik. (kWh)	16972,502	1231,627	200	200	200	200
Fotovoltaik sis. üretim mik. (kWh)	908,408	2257,930	3607,271	5193,915	5905,594	6718,546
Rüzgâr sis. üretim mik. (kWh)	411,456	500,990	549,844	684,543	1049,310	1291,663
Ana şeb. alış mik. (kWh)	5061,814	8417,295	8050,726	6329,383	5252,936	6387,251
Ana şeb. satış mik. (kWh)	-	-	-	-	-	-
87 tük. toplam tük. mik. (kWh)	23354,181	12407,841	12407,841	12407,841	12407,841	14597,46
Altı saat için toplam maliyet değeri (f_1)	63.882,39 TL					

Önerilen modelin talebe olan duyarlılığında, talep kısıtları parametrelerinin yeri bu bölümde ortaya konmuştur. Talep kısıtlarındaki saatlik tüketim için tanımlanan alt ve üst sınırların mevcut durumda saatler arasında dengesizliği bir miktar arttırdığı görülmüştür. Ancak, yukarıda da açıklandığı gibi iç ve dış etkenlere ve dolayısıyla değişikliklere son derece açık bir endüstriyel mikro şebeke sisteminde, duyarlılık analizinin yapılan uygulamalar için daha iyi olduğuna işaret ettiği parametreleri kullanmak, talebin saatler arasındaki dağıtım esnekliğini azaltarak farklı durumlarda zorluklara neden olabilecektir. Örneğin, sistemde yer alan VM'nin kapasitesinin

artması, yeni bir VM'nin daha OSB'ye katılması, OSB'ye kâğıt, kimya, çimento gibi enerji tüketimi çok yüksek olan sektörlerden firmaların katılması gibi talebin yönetimi ve yükün çizelgelenmesini güçleştiren etkenlere karşı mevcut talep kısıtları yapısı daha uygundur. Önerilen modelin genelgeçerliğini korumak adına, mevcut talep kısıtları korunmalıdır.

Çizelge 7.15 : 23.10.2018 günü üçüncü çeyreği için (talep alt sınır oranı 0,85 iken) optimum sonuçlar.

	12:00 – 13:00	13:00 – 14:00	14:00 – 15:00	15:00 – 16:00	16:00 – 17:00	17:00 – 18:00
Dizel jen. üretim mik. (kWh)	12647,819	200	200	200	1320,080	5598,376
Fotovoltaik sis. üretim mik. (kWh)	3086,783	3605,771	2694,023	1863,973	1381,064	395,998
Rüzgâr sis. üretim mik. (kWh)	2289,576	2166,737	2048,284	2106,967	1471,641	1379,758
Ana şeb. alış mik. (kWh)	6376,073	6991,083	8021,283	8792,651	8790,805	7877,154
Ana şeb. satış mik. (kWh)	-	-	-	-	-	-
87 tük. toplam tük. mik. (kWh)	24400,252	12963,587	12963,587	12963,587	12963,587	15251,283
Altı saat için toplam maliyet değeri (f_1)	70.698,80 TL					

7.7.3 Tahmin sonuçlarıyla yapılan uygulama

Hem çalışmamızın talep tahmini aşamasında önerilen yaklaşımın bütün bir uygulamasına yer vermek hem de talebin stokastik yapısının optimizasyon üzerindeki etkilerini görmek adına, daha önce gerçekleşmiş talep verisiyle yapılan uygulamalardan biri bu bölümde tahmin edilen talep ile tekrarlanacaktır. Bunun için, 28 Şubat 2019 Perşembe gününün ikinci çeyreği (06:00 – 12:00) seçilmiştir. Bu, talebin ve rüzgâr enerjisi potansiyelinin yüksek, güneş ışınımının nispeten düşük olduğu bir zaman dilimidir.

Seçilen tarih için, daha önce bölüm 7.1'de ARIMA ve YSA yöntemleriyle birer tahmin uygulaması yapılmıştır. Burada, ARIMA yöntemi ile elde edilen tahmin sonuçları

kullanılacaktır. Bu karar, daha önce Çizelge 7.1'de verilen MAPE ve R^2 ölçütlerinin değerleri karşılaştırılarak verilmiştir. Bu tarih için ARIMA ve YSA yöntemleriyle yapılan tahminlerin sonuçlarında R^2 değerleri çok farklı olmadığından, yaklaşık %10'luk bir farklılık içeren MAPE değerleri dikkate alınarak ARIMA yönteminde karar kılınmıştır. Seçilen tarihin daha önce gerçekleşmiş veri ile yapılan versiyonunun sonuçları ise Çizelge 7.8'de bulunmaktadır. İki uygulamada, tüketim verileri dışında tüm parametre ve veriler aynı kalacaktır. 28 Şubat 2019 Perşembe gününün ikinci çeyreği için tahmin edilen talep verisi ile yapılan uygulamanın sonuçları Çizelge 7.18'de verilmiştir.

Çizelge 7.16 : 18.07.2018 günü ikinci çeyreği için (talep alt sınır oranı 1 iken) optimum sonuçlar.

	06:00 – 07:00	07:00 – 08:00	08:00 – 09:00	09:00 – 10:00	10:00 – 11:00	11:00 – 12:00
Dizel jen. üretim mik. (kWh)	5841,159	4014,462	2237,464	200	200	200
Fotovoltaik sis. üretim mik. (kWh)	908,408	2257,930	3607,271	5193,915	5905,594	6718,546
Rüzgâr sis. üretim mik. (kWh)	411,456	500,990	549,844	684,543	1049,310	1291,663
Ana şeb. alış mik. (kWh)	7434,681	7824,078	8202,880	8519,002	7442,555	6387,251
Ana şeb. satış mik. (kWh)	-	-	-	-	-	-
87 tük. toplam tük. mik. (kWh)	14595,705	14597,46	14597,46	14597,46	14597,46	14597,46
Altı saat için toplam maliyet değeri (f_1)	56.982,27 TL					

Çizelge 7.8 ve 7.18'deki sonuçlar karşılaştırıldığında, tahmin sonuçlarındaki yaklaşık %6'lık hatadan kaynaklı toplam tüketimde ve maliyette farklılık olduğu görülmektedir. Oransal olarak bakıldığında ise tüketimin saatler arasındaki dağılımının aynı olduğu görülür. Güneş ve rüzgâr enerjisi sistemlerinin güç çıktıları doğal olarak aynıdır; dizel jeneratör üretimi ve ana şebeke ile güç alışverişiyse toplam tüketime paralel olarak bir miktar değişmiştir.

Çizelge 7.17 : 23.10.2018 günü üçüncü çeyreği için (talep alt sınır oranı 1 iken) optimum sonuçlar.

	12:00 – 13:00	13:00 – 14:00	14:00 – 15:00	15:00 – 16:00	16:00 – 17:00	17:00 – 18:00
Dizel jen. üretim mik. (kWh)	1017,883	516,717	1826,022	2806,370	4227,560	5598,376
Fotovoltaik sis. üretim mik. (kWh)	3086,783	3605,771	2694,023	1863,973	1381,064	395,998
Rüzgâr sis. üretim mik. (kWh)	2289,576	2166,737	2048,284	2106,967	1471,641	1379,758
Ana şeb. alış mik. (kWh)	8855,225	8962,058	8682,954	8473,973	8171,018	7877,154
Ana şeb. satış mik. (kWh)	-	-	-	-	-	-
87 tük. toplam tük. mik. (kWh)	15249,468	15251,283	15251,283	15251,283	15251,283	15251,283
Altı saat için toplam maliyet değeri (f_1)	66.566,51 TL					

Bu karşılaştırma, enerji çizelgeleme optimizasyonu tahmin edilen talep verisi kullanılarak yapıldığında karşılaşılabilecek durumları da ortaya koymaktadır. Örneğin 28 Şubat 2019 Perşembe gününün ikinci çeyreğinin iki durumdaki sonuçları incelendiğinde, eğer bu zaman dilimi için tahmini elektrik tüketim değerlerine göre üretim-tüketim çizelgeleme yapılırsa ana şebekeden alınması üzerine anlaşılan yük miktarlarının gerçek talep değerleri kesinleştiğinde yetersiz kalacağı ve bunu telafi etmek adına sistemin bu açığı kapatmakta optimizasyon modelinin ikinci tercihi olan dizel jeneratöre yöneleceği anlaşılmaktadır. Bu da daha iyi bir enerji yönetimi ile önüne geçilebilecek olan maliyetler yaratarak, sistemin toplam enerji maliyetini yükseltecektir. Tahmin hatalarının yol açması muhtemel böyle sorunlara karşı, ya çizelgeleme optimizasyonu daha kısa vadeli yapılmalı ya da talep tahmini aşaması geliştirilerek tahmin doğruluğu arttırılmalıdır.

7.8 Gebze OSB'de Uç Senaryolar için Uygulama Çözümleri

Bölüm 7.6'da, önerilen dinamik modelin her mevsime ait birer uygulama örneği ele alınarak bunların sonuçlarına yer verilmiştir. Ancak, önerilen mikro şebeke sistemini

tam olarak değerlendirebilmek için, dört mevsim için de modelin her çeyrekte nasıl çalıştığı gözlenmelidir. Tüm bu mevsim-çeyrek ikilileri göz önüne alındığında ise, bunlardan bazılarının elektrik talebi ve meteorolojik veriler bakımından uç durumları temsil ettiği anlaşılmıştır. Bu bölümde, bu uç senaryo uygulamalarına yer verilecektir.

Çizelge 7.18 : 28.02.2019 günü ikinci çeyreği için tahmin verisiyle optimum sonuçlar.

	06:00 – 07:00	07:00 – 08:00	08:00 – 09:00	09:00 – 10:00	10:00 – 11:00	11:00 – 12:00
Dizel jen. üretim mik. (kWh)	7805,543	200	200	200	200	200
Fotovoltaik sis. üretim mik. (kWh)	-	-	1425,412	2157,032	2675,622	3385,354
Rüzgâr sis. üretim mik. (kWh)	5675,971	5563,063	5341,724	6385,381	6509,037	6509,037
Ana şeb. alış mik. (kWh)	7063,017	7445,261	6241,188	4465,910	3823,666	4581,528
Ana şeb. satış mik. (kWh)	-	-	-	-	-	-
87 tük. toplam tük. mik. (kWh)	20544,532	13208,325	13208,325	13208,325	13208,325	14675,916
Altı saat için toplam maliyet değeri (f_1)	46.599,19 TL					

Bilindiği gibi, 00:00 – 06:00 ve 18:00 – 00:00 saat aralıklarına karşılık gelen birinci ve dördüncü çeyreklerde güneş ışınımı, mevsimlere göre ufak değişiklikler gösterse de neredeyse hiç yoktur. Dolayısıyla, bu saatlerde fotovoltaik sistemin üretim tarafına katkısı yok farz edilebilir. Uygulama için seçilen Gebze bölgesinin verileri dikkate alındığında ise, güneş ışınımının ortalama olarak en düşük olduğu mevsimin sonbahar, en yüksek olduğu mevsimin yaz olduğu görülür. Rüzgâr hızı verilerinden ise, rüzgâr kaynağının hiç olmadığı bir saat diliminin bulunmadığı ve güneşe göre gün içinde çok daha dengeli bir grafik seyrettiği görülür. Bunun yanında, Gebze için rüzgâr hızının ortalama olarak en düşük olduğu mevsimin ilkbahar, en yüksek olduğu mevsimin kış olduğu görülür. Ayrıca, daha önce de bahsedildiği gibi, OSB'deki işletmeler genellikle mesai saatlerinde çalıştığından, yük talebinin asıl yüksek olduğu saatler ikinci ve

üçüncü çeyreğe denk gelen saatlerdir. Birinci ve dördüncü çeyrekler ise, sırasıyla talebin en düşük olduğu zaman dilimleridir.

Tüm bunlar göz önüne alındığında, uç durumlar için yapılacak ek uygulamalar ilkbaharda birinci ve dördüncü çeyrek ile kış mevsiminde dördüncü çeyrek olarak belirlenmiştir. İlkbaharda bir günün birinci çeyreği talebin nispeten düşük olup hem güneş hem de rüzgâr kaynaklarının en yetersiz olduğu durumu, ilkbaharda bir günün dördüncü çeyreği talebin düşük olup rüzgârın en yetersiz olduğu durumu, kış mevsiminde bir günün dördüncü çeyreği ise talebin düşük olup güneş enerjisinden yararlanılamayan durumu yansıtmaktadır. Talebin yüksek olduğu uç durumlara dair uygulamalar ise, daha önce bölüm 7.6'da zaten ele alınmıştır.

Uç senaryolar için yapılacak uygulamalarda 8 Ocak 2019 Salı gününün dördüncü çeyreği (18:00 – 00:00), 4 Nisan 2019 Perşembe gününün dördüncü çeyreği (18:00 – 00:00) ve 24 Nisan 2019 Çarşamba gününün birinci çeyreği (00:00 – 06:00) seçilmiştir. Bu tarihler için yapılan uygulamalarda da gerçekleşmiş talep verisi kullanılmıştır. Parametre ve veri setleri güncellenerek dinamik modeller ve GAMS kodları düzenlenmiştir. Kodlar çalıştırıldığında elde edilen sonuçlar sırasıyla Çizelge 7.19, 7.20 ve 7.21'de verilmiştir.

Çizelge 7.19, 7.20 ve 7.21'de yer alan, uç durumları gösteren uygulamaların sonuçları beklentileri karşılar niteliktedir. Çizelge 7.19'daki kış mevsiminden bir günün dördüncü çeyreğine ait sonuçlarda, saat aralığı gün batımından sonrasına denk geldiği için fotovoltaik sistemin hiç güç çıktısı olmadığı, yük talebinin mümkün olduğu kadar rüzgâr enerjisi sisteminden karşılandığı, eksik kalan miktarı karşılamak için ise dizel jeneratöre göre daha yüksek oranda ana şebekenin seçildiği görülmektedir.

Çizelge 7.20'deki ilkbaharda bir günün dördüncü çeyreğine ait uygulamanın sonuçlarında, rüzgâr enerjisi sisteminden çok küçük miktarlarda güç çıktısı elde edildiği, fotovoltaik sistemden ise yalnızca gün batımından önceki bir saatte çıktı elde edilebildiği görülmektedir. Bu saat diliminde talep nispeten düşük olmasına rağmen, sistemin boyutları yanında oldukça küçük kalan bu üretim çıktıları yeterli olmamış, model enerji kaynağı olarak dizel jeneratör ve ana şebekeden bir arada faydalanmayı seçmiştir. Çizelge 7.21 ise ilkbahardan bir birinci çeyreğe ait uygulama sonuçlarını içermektedir. Bu zaman dilimi, önceden de belirtildiği gibi talebin en düşük, ama bunun yanında hem güneş hem de rüzgârın en yetersiz olduğu dönemdir. Çizelgede de

görüldüğü gibi güneş ışınımından hiç yararlanılamamış, rüzgâr ise çok az miktarda güç çıktısı sağlamıştır. Önceki örnekte olduğu gibi, bu talep açığı için yine dizel jeneratör ve ana şebeke bir arada kullanılmıştır.

Çizelge 7.19 : 08.01.2019 günü dördüncü çeyreği için optimum sonuçlar.

	18:00 – 19:00	19:00 – 20:00	20:00 – 21:00	21:00 – 22:00	22:00 – 23:00	23:00 – 00:00
Dizel jen. üretim mik. (kWh)	3016,059	200	200	200	200	653,017
Fotovoltaik sis. üretim mik. (kWh)	-	-	-	-	-	-
Rüzgâr sis. üretim mik. (kWh)	5451,651	5020,756	4916,671	4227,717	3690,582	3439,781
Ana şeb. alış mik. (kWh)	5087,975	3494,351	3598,436	4287,390	4824,524	5590,659
Ana şeb. satış mik. (kWh)	-	-	-	-	-	-
87 tük. toplam tük. mik. (kWh)	13555,686	8715,11	8715,11	8715,11	8715,11	9683,452
Altı saat için toplam maliyet değeri (f_1)	38.993,98 TL					

Böylece daha sık karşılaşılan ve üretim-tüketim taraflarından ikisinin de daha yoğun olduğu durumların ardından, uç durumlar için de model test edilmiş olur. Sistem bileşenlerinin kapasiteleri doğru belirlendiği takdirde, modelin uygulanacağı zaman dilimlerinden hiçbirinde herhangi bir sorunla karşılaşılmayacağı anlaşılmıştır.

7.9 Uygulama Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Önceki bölümlerde, hem daha çok karşılaşılan ve üretim-tüketim taraflarından ikisinin de daha yoğun olduğu durumlar hem de uç durumlar için model test edilmiş, ayrıca modelin talebe olan duyarlılığı da farklı açılardan incelenmiştir. Yapılan tüm uygulamalarda öncelikle elde edilen her bir GAMS çıktısı kontrol edilmiş, gerekli sağlamalar yapılarak herhangi bir hesaplama hatası olmadığından emin olunmuştur. Çalışmamızın başında, önerilen modeli deneme ve modelleme aracına karar verme aşamalarında yapılan talep tarafının toplam üç tüketiciden oluştuğu örneklerde, kodun

çalışma süresi ortalama olarak 5 – 10 saniye olarak kaydedilmiştir. Bu süre, seksen yedi tüketiciden oluşan gerçek uygulamada ise 50 – 65 saniye aralığındadır.

Çizelge 7.20 : 04.04.2019 günü dördüncü çeyreği için optimum sonuçlar.

	18:00 – 19:00	19:00 – 20:00	20:00 – 21:00	21:00 – 22:00	22:00 – 23:00	23:00 – 00:00
Dizel jen. üretim mik. (kWh)	8560,576	3897,035	3892,289	3872,200	3864,659	5106,563
Fotovoltaik sis. üretim mik. (kWh)	1309,966	-	-	-	-	-
Rüzgâr sis. üretim mik. (kWh)	0,450	0,903	4,638	20,444	26,378	46,312
Ana şeb. alış mik. (kWh)	4072,154	5066,280	5067,292	5071,575	5073,182	4807,370
Ana şeb. satış mik. (kWh)	-	-	-	-	-	-
87 tük. toplam tük. mik. (kWh)	13943,147	8964,221	8964,221	8964,221	8964,221	9960,243
Altı saat için toplam maliyet değeri (f_1)	76.247,50 TL					

Yapılan uygulamalardan ortak olarak varılabilecek bir sonuç, önerilen dinamik modelin ardışık saatler arasında güç arzı kaynağını değiştirme ya da ana şebekeyle ilişkisinde alıcı/satıcı taraflar arasında geçiş yapmada bir problem yaratmadığı, saatlik ihtiyaçlara göre esnek bir biçimde bu değişiklikleri gerçekleştirebildiğidir. Bu durum, modelin beklenen performansı sağladığını, gerçek hayatın iyi bir modellemesi olduğunu gösterir.

Talebin yüksek olduğu gün içi saatlerde sırasıyla kış, ilkbahar, yaz, sonbahar mevsimlerinden birer uygulamanın sonuçlarını içeren Çizelge 7.8, 7.9, 7.11 ve 7.12 karşılaştırıldığında, sonuçların beklendiği gibi uygulamada ele alınan Gebze bölgesinin meteorolojik verileriyle uyumlu olduğu görülmektedir. Elde edilen çizelgelerin üretim tarafları, mevsim ve çeyreklere göre karakteristik özellikler göstermektedir. Çizelge 7.8'de yer alan kış mevsiminden bir günün ikinci çeyreğine ait uygulamada, güneş enerjisinin katkısının düşük, rüzgâr enerjisinin katkısının ise oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Yenilenebilir sistemlerin toplam güç çıktısı

yetersiz kaldığında ise, model enerji açığını öncelikle ana şebekeden alım yaparak kapatmış; maliyet ve karbondioksit salımındaki artışı göz önüne alarak yer yer dizel jeneratöre de başvurmuştur. Çizelge 7.9'da yer alan ilkbahar mevsiminden bir günün üçüncü çeyreğine ait uygulamada ise, sistemin toplam güç çıktısına güneşin katkısı nispeten yüksek, rüzgârınki ise oldukça düşüktür. Yük talebi ile aradaki farkı kapatmak için öncelikli olarak ana şebekeye, farkın büyüdüğü saatler içinse ana şebekeyle birlikte dizel jeneratöre de başvurulduğu görülmüştür. Çizelge 7.11'deki yaz mevsiminden bir ikinci çeyreğe ait uygulamada, sistemin toplam güç çıktısına güneşin katkısı saate bağlı olarak giderek yükselmekte, rüzgârınki ise nispeten düşük olmakla birlikte öğlen saatlerine doğru artmaktadır. Öncekilere benzer şekilde, model ana şebekeden alınan güç miktarı kısıtlar doğrultusunda yeterli olduğunda dizel jeneratöre en az seviyede başvurmuş; talep ile üretim arasındaki açık arttığında ise dizel jeneratör ile üretilen miktar artmıştır. Çizelge 7.12'de ise, sonbahar mevsiminden bir üçüncü çeyreğin sonuçları yer almaktadır. Bu üretim-tüketim çizelgesi incelendiğinde, mevsimden beklendiği gibi güneş ve rüzgâr sistemlerinin güç çıktılarının çok yüksek olmamakla birlikte saate göre değişiklik gösterdiği, kalan üretim ihtiyacının ise öncelikle ana şebeke, ikincil olarak da dizel jeneratörle karşılandığı görülmüştür.

Çizelge 7.21 : 24.04.2019 günü birinci çeyreği için optimum sonuçlar.

	00:00 – 01:00	01:00 – 02:00	02:00 – 03:00	03:00 – 04:00	04:00 – 05:00	05:00 – 06:00
Dizel jen. üretim mik. (kWh)	7224,536	2762,777	2769,064	2772,060	2773,231	3661,353
Fotovoltaik sis. üretim mik. (kWh)	-	-	-	-	-	-
Rüzgâr sis. üretim mik. (kWh)	4,638	9,584	4,638	2,281	1,359	4,638
Ana şeb. alış mik. (kWh)	2588,425	3539,537	3538,197	3537,559	3537,309	3347,231
Ana şeb. satış mik. (kWh)	-	-	-	-	-	-
87 tük. toplam tük. mik. (kWh)	9817,6	6311,916	6311,916	6311,916	6311,916	7013,221
Altı saat için toplam maliyet değeri (f_1)	46.139,11 TL					

Talebin nispeten düşük olduğu saatlere ait uç durumları temsil eden Çizelge 7.19, 7.20 ve 7.21'de ise ilgi çekici sonuçlarla karşılaşılmıştır. Çizelge 7.19'daki kış mevsiminden bir günün dördüncü çeyreğine ait sonuçlarda, gün batımından sonraki saatlerde olunduğundan talebin mümkün olduğu kadar rüzgâr enerjisi sisteminden karşılandığı, eksik kalan miktarın ise ağırlıklı olarak ana şebekeden satın alındığı görülmüştür. Talep ile yenilenebilir kaynakların toplam güç çıktısı arasındaki fark arttığında ise, dizel jeneratöre yönelinmiştir. Bu kararlarda hem saate bağlı elektrik alım-satım fiyatlarının hem de karbondioksit salımı katsayılarının etkili olduğu düşünülmektedir. Çizelge 7.20 ve 7.21'deki sırasıyla ilkbaharda bir günün dördüncü çeyreği ve birinci çeyreğine ait uygulamalarda da, ele alınan saat ve mevsimler güneş ve rüzgâr enerjisi kapasiteleri bakımından oldukça yetersiz zaman dilimleri olduğundan dizel jeneratör ve ana şebekeye başvurulmuştur. Ancak bunlarda da saate göre, bazen dizel jeneratör ile üretimin bazen ana şebekeden alımın daha ağırlıklı olduğu görülmektedir. Burada da, ana amacı maliyet enküçüklemesi olan modelin değişken şebeke fiyatlarına göre hareket ettiği anlaşılmaktadır.

Hem talebin yüksek ve düşük olduğu uç durumları hem de yenilenebilir kaynakların güç çıktıları bakımından uç durumları barındıran tüm uygulamaların sonuçları göz önüne alındığında, dikkat çekici kısım modelin üretim açığı için ana şebeke ve dizel jeneratör alternatifleri arasındaki kararıdır. Bilindiği gibi, yenilenebilir enerji sistemlerinin güç çıktılarına müdahale edilemez; çalışmamızdaki yenilenebilir enerji sistemlerinin çıktıları tamamen dışsal değişkenler olan güneş ışınımı, ortam sıcaklığı ve rüzgâr hızının değerlerine göre belirlenirler. Dolayısıyla, ilgili saat için modelin karşılanmasına karar verdiği yük talebi ile yenilenebilir sistemlerin toplam saatlik güç çıktısı arasındaki fark ana şebeke ve dizel jeneratör ile karşılanır. Bu iki alternatif kaynak ise, yenilenebilir kaynaklara göre hem maliyet hem karbondioksit salımı bakımından yüksek katsayılara sahiptirler. Kurulan dinamik model yük talebini karşılarken maliyet enküçükleme amacı gütmekte, ama bunun yanında ana şebeke ile dizel jeneratör arasında karar verirken göz önüne aldığı başka etkenler de bulunmaktadır. Bunlar karbondioksit salımı kısıdı, saate göre değişkenlik gösteren ana şebekeden alım birim fiyatı ve üretim fazlası olması durumunda, saate göre değişen ana şebekeye satış birim fiyatıdır.

Öte yandan, birim maliyet ve birim karbondioksit salımı katsayıları bakımından ana şebekeden alınan elektrik ile dizel jeneratör karşılaştırmasının tek bir sonucu yoktur.

Dizel jeneratörün, daha önce denklem 6.1 ile verilen, yakıt tüketim formülü dolayısıyla hem maliyet hem de karbondioksit salımı formülleri parçalı yapıdadırlar. Örneğin, dizel jeneratörle küçük miktarlarda üretim yapıldığında, bu üretim miktarındaki artış karbondioksit salımını daha çok arttırmakta, üretim miktarı dört basamaklı sayılara ulaştığında ise bu etki önemsizleşmektedir. Dizel jeneratör ile üretimin maliyeti de benzer şekildedir. Dolayısıyla, model hem önceki paragrafta verilen etkenleri hem de dizel jeneratörün güç çıktısının bu etkenlere doğrusal olmayan biçimdeki etkisini dikkate alarak, her saat için güç üretimi eksiğini ana şebeke ile dizel jeneratör arasında paylaştırmaktadır.

Bu bölümde, ek olarak, yapılan tüm uygulamaların çalışmamızda önerilen endüstriyel mikro şebeke sistemi kurulmayıp mevcut talebin doğrudan ana şebekeden sağlandığı durumda yaratacağı sonuçlar gösterilecektir. Bu iki durum hem enerji maliyeti hem karbondioksit salımı açısından karşılaştırılacaktır. Yapılan hesaplamaların sonuçları Çizelge 7.22'de verilmiştir. Buradaki değerler, ilgili çizelgede yapılan uygulamada ele alınan çeyreğin toplam maliyet ve karbondioksit salımı değerleridir.

Çizelge 7.22 : Önerilen mikro şebeke sisteminin olduğu ve olmadığı durumlarda uygulama sonuçları.

Uygulama	Mikro şebekenin varlığında toplam maliyet	Tüm talep ana şebekeden sağlandığında toplam maliyet	Mikro şebekenin varlığında toplam CO_2 salımı	Tüm talep ana şebekeden sağlandığında toplam CO_2 salımı
Çizelge 7.8	51.144,18 TL	52.625,27 TL	2.459.774,532 gr	5.625.909,596 gr
Çizelge 7.9	57.987,03 TL	51.520,96 TL	2.825.303,918 gr	4.942.996,75 gr
Çizelge 7.11	61.090,34 TL	49.073,63 TL	2.760.072,788 gr	5.246.221,956 gr
Çizelge 7.12	68.481,41 TL	57.130,69 TL	3.198.133,576 gr	5.481.202,31 gr
Çizelge 7.19	38.993,98 TL	50.078,82 TL	1.696.204,86 gr	3.480.164,644 gr
Çizelge 7.20	76.247,50 TL	51.510,26 TL	2.148.149,354 gr	3.579.640,384 gr
Çizelge 7.21	46.139,11 TL	14.723,72 TL	1.512.557,77 gr	2.520.501,132 gr

Çizelge 7.22'de, önerilen mikro şebeke sistemini bütün olarak iyi temsil ettiği düşünülen yedi farklı uygulamanın, önerilen sistemin varlığı ve yokluğu durumlarındaki sonuçları yer almaktadır. Gün ve saat bazında pek çok farklı etken söz konusu olduğundan, tek bir uygulama sonucuna bakılarak sistem hakkında bir yargıya varılamaz; ancak sistemin hem kritik ve sık karşılaşılan durumlarını hem de uç durumlarını ifade eden uygulamalarının sonuçları topluca incelendiğinde genele dair bir fikir edinilebilir. Öncelikle, önerilen sistemin varlığı ve yokluğu durumlarında, ele alınan OSB'nin elektrik tüketiminin sebep olacağı karbondioksit salım miktarları karşılaştırıldığında, önerilen sistem sayesinde kayda değer bir iyileşme elde edileceği,

olumsuz çevresel etkilerin ortalama olarak %39 ila %55 oranında azaltılacağı görülmektedir.

Çizelge 7.22'de verilen, uygulama örneklerinde ele alınan çeyreklerin toplam enerji maliyetlerinin karşılaştırılmasına gelindiğinde ise, sonuçların karbondioksit salımı karşılaştırmasındaki kadar iyi olmadığı görülür. Bazı uygulama örneklerinde, çalışmamızda önerilen sistem daha düşük maliyetli sonuçlar sağlamış; ancak bazılarında ise, tüm talebin ana şebekeden karşılandığı durumun daha düşük maliyetli olduğu görülmüştür. Bunun nedeninin, daha önce de açıklandığı gibi, modelde yer alan karbondioksit salımı kısıdının yüksek üretim miktarlarında sistemi dizel jeneratörle üretime yönlendirmesi, buna bağlı olarak toplam maliyetin bu noktalarda çok hızlı artması olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, bir alt etken olarak yüksek dizel yakıt fiyatları da dikkate alınmalıdır. Bu fikrin doğruluğunu göstermek adına, yapılan uygulamalardan rastgele seçilen üç tanesi, çevresel kısıt modelden çıkarılarak tekrar çalıştırılmıştır. Bunların sonuçları, yalnızca toplam maliyetleriyle Çizelge 7.23'te verilmiştir.

Çizelge 7.23 : Çevresel kısıdın olmadığı durumdaki uygulama sonuçlarının öncekilerle karşılaştırılması.

Uygulama	Mikro şebekenin varlığında toplam maliyet	Mikro şebekenin varlığında (çevresel kısıt olmadan) toplam maliyet	Tüm talep ana şebekeden sağlandığında toplam maliyet
Çizelge 7.8	51.144,18 TL	47.904,33 TL	52.625,27 TL
Çizelge 7.12	68.481,41 TL	61.546,11 TL	57.130,69 TL
Çizelge 7.21	46.139,11 TL	19.882,46 TL	14.723,72 TL

Çizelge 7.23'te görülen sonuçlar, önceki paragrafta öne sürülen fikri doğrulamaktadır. Model belirli bir karbondioksit salımı miktarının altında kalmaya zorlanmadığında, dolayısıyla bu kısıdı sağlamak adına yüksek maliyetli alternatife yönelmediğinde, toplam maliyetlerin ciddi oranda azaldığı görülür. Bu toplam maliyetlerin, yenilenebilir güç üreticilerinin kapasiteleri arttıkça daha da azalacağı ve tüm talebin ana şebekeden karşılandığı duruma göre ciddi oranda avantajlı hale geleceği açıktır. Ayrıca, yenilenebilir sistemlerin kapasiteleri arttığında karbondioksit salımı kısıdı da önemini yitirecek ve modelden çıkarılması çevresel kaygılara yol açmayacaktır. Bunu ispatlamak adına, son olarak uygulamalardan bir tanesi, kurulu güneş ve rüzgâr enerjisi kapasiteleri mevcut durumlarının dört katına ve üretim fazlasının boşa gitmeyip ana şebekeye satılabilmesi için bu satış kanalının kapasitesi de üç katına çıkartılarak

yeniden çalıştırılacaktır. Bunun için, daha önce sonuçları Çizelge 7.11'de verilen 18.07.2018 gününün ikinci çeyreği seçilmiştir. Bu uygulama yapılırken çevresel kısıt da, belirtildiği gibi modelden çıkarılmıştır. Elde edilen sonuç Çizelge 7.24'te karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 7.24 : 18.07.2018 gününün ikinci çeyreği için yapılan uygulama sonuçlarının karşılaştırılması.

	Toplam maliyet
18.07.2018 – 2. çeyrek – Mevcut kapasite	61.090,34 TL
18.07.2018 – 2. çeyrek – Yükseltilmiş kapasite	32.462,14 TL
18.07.2018 – 2. çeyrek – Tüm talep ana şebekeden sağlanıyorken	49.073,63 TL

Çizelge 7.24'te verilen değerler incelendiğinde, öne sürüldüğü gibi sistemin yüksek yenilenebilir kapasitesiyle ortaya çıkan toplam maliyetinin önceki durumun maliyetinin yaklaşık olarak yarısı kadar olduğu görülmektedir. Mikro şebeke sisteminin var olmayıp talebin ana şebekeden sağlandığı duruma göre ise, toplam maliyetin yaklaşık üçte bir oranında azaldığı görülür. Ayrıca, yapılan bu son uygulama çevresel kısıt modelden çıkarılmadan çalıştırıldığında da sonuçlarda hiçbir değişiklik olmamıştır. Sonuç olarak, daha önce de savunulduğu gibi, sistemin kurulu yenilenebilir gücü toplam maliyet ve karbondioksit salımı çıktılarını doğrudan etkilemektedir. Ama bu, elbette yenilenebilir kapasitesi ne kadar artarsa bunların da o kadar düşeceği anlamına gelmez. Belirli bir noktadan sonra yenilenebilir kapasitesi gereksiz olup, güç çıktısının bir kısmı boşa gidecek ve fazladan maliyete neden olacaktır. Bunun denge noktasını belirlemek için başa baş noktası analizi gibi mühendislik ekonomisi teknikleri kullanılabilir.

Böylece, çalışmamızda önerilen endüstriyel mikro şebeke sistemi için kurulan optimizasyon modelinin geçerliliği kanıtlanmış olmaktadır. Yapılan uygulama sonuçlarından, sistemin kendi içinde tutarlı olduğu, parametreleri değiştirilerek iyileştirilmeye açık olduğu görülmektedir. Yapılması gereken, kurulum maliyetleri de dikkate alınarak yenilenebilir enerji sistemlerinin kurulu güçlerinin arttırılmasıdır. Bu süreçte, ekonomik analizlerle karar verilmelidir. Bu şekilde sistemin her bir bileşeninin kapasitesi doğru belirlendiğinde, önerilen modelin toplam maliyeti enküçükleyerek üretim-tüketim çizelgesi elde etmekte oldukça faydalı olacağı, herhangi bir sorunla karşılaşılmayacağı sonucuna varılmıştır. Mevcut durumun ötesindeki olası senaryolar ise, sonraki bölümde ele alınacaktır.

7.10 Gelecek Senaryolarının Analizi

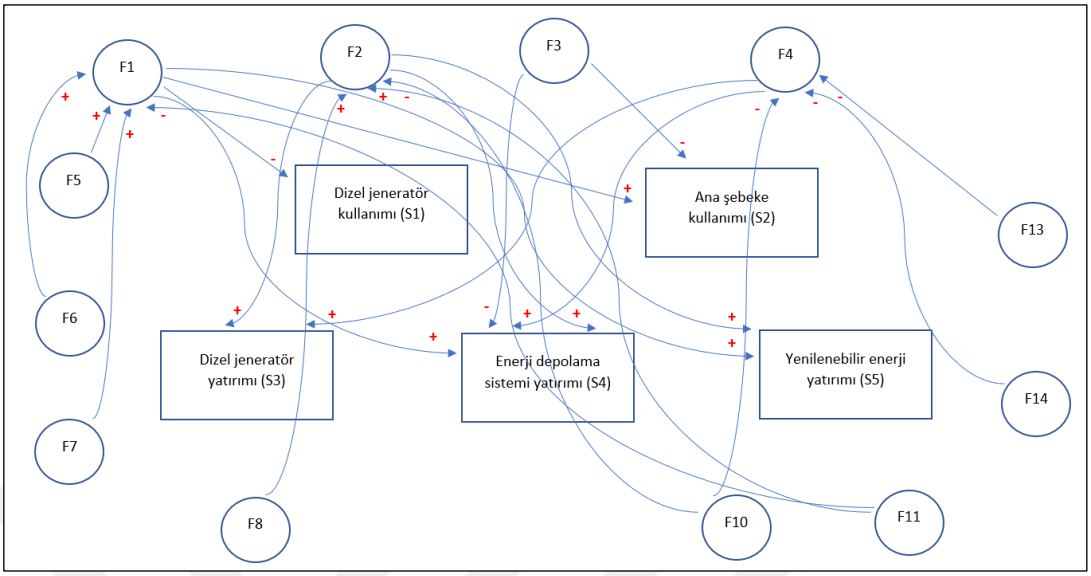
Senaryo analizi uygulaması için öncelikle, bölüm 6.3'te verilen, endüstriyel mikro şebeke sisteminin stok ve akış değişkenleri arasındaki olası etkileşimler hakkında uzmanların görüşlerinin sorulduğu anketin değerlendirilmesi gerekir. Daha önce de belirtildiği gibi, anket konunun farklı alanlardaki uzmanlarına uygulanmıştır. Toplam dokuz uzmana başvurulmuştur. Doldurulan anketler uzmanlardan alındıktan sonra, öncelikle her soru için verilen cevapların medyanı alınmış, ardından belirlenmiş yirmi altı etkiden her biri için öngörülen yönde ve tersi yönde hazırlanan anket sorularının cevaplarının medyanlarından ikincisi eksi ile çarpılıp ortalamaları alınmıştır. Böylece hem her etki için iki kez doğrulama yapılmış hem de daha tarafsız sonuçlar elde edilmiş olur. Son olarak, her bir etki için elde edilen puanlar normalize edilip yüzdelik değerlere dönüştürülmüştür. Sonuçta, Çizelge 7.25'te verilen E değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 7.25 : Anket sonucunda elde edilen etki değerleri.

Etki	Değer	Etki	Değer
E1	1	E14	0,75
E2	-0,25	E15	0,75
E3	0,50	E16	0,75
E4	0,50	E17	0,50
E5	0	E18	0
E6	0,50	E19	0,50
E7	0,25	E20	0,50
E8	0,50	E21	0,50
E9	0,75	E22	0
E10	0	E23	0
E11	0,50	E24	1
E12	0,50	E25	1
E13	0,50	E26	0,25

Ankette yer alan sorular mevcut sisteme göre tanımlanmış stok ve akış değişkenleri arasındaki olası etkilerden oluşmaktadır. Uzmanlarca doldurulan anketlerin sonuçları ise, bu etkilerin gerçekten söz konusu olup olmadığını ve olanların da önem derecesini ifade etmektedir. Çizelge 7.25'teki değerler incelendiğinde, E2 etkisinin öngörülen yönünün değiştiği, E5, E10, E18, E22 ve E23 etkilerinin ise ortadan kalktığı görülmektedir. Ayrıca, bunlara bağlı olarak F9 ve F12 akış değişkenleri de, etkileri ortadan kalktığı için sistemden çıkarılabilirler. Dolayısıyla, daha önce Şekil 6.4 ile

verilen SD şemasında anket sonuçları doğrultusunda bazı değişiklikler olacaktır. Sistemin uzman görüşleri doğrultusundaki yeni şeması Şekil 7.1 ile verilmektedir.



Şekil 7.1 : Anket sonuçları sonrası mikro şebekenin sistem dinamiği şeması.

Yapılacak senaryo analizi için hesaplanması gereken diğer bir değer ise, akış değişkenlerinin entropi ağırlıklarıdır. Entropi ağırlıklarının hesaplanabilmesi için öncelikle bir karar matrisine ihtiyaç vardır. Bu matrisin sütunları kriterlerden, satırları ise kriterler hakkında bilgi veren değerlendirme nesnelerinden oluşmalıdır. Çalışmamızda bu değerlendirme nesneleri stok değişkenleri olarak kabul edilmiştir. Matrisin sütunlarını oluşturan kriterler ise, yöntem sonunda entropi ağırlıkları hesaplanacak olan akış değişkenleridir. Karar matrisi, uzmanların doldurduğu anketlerin sonuçlarının bir kez de stok ve akış değişkenleri arasındaki ilişkiler açısından değerlendirilmesi ve matris formuna getirilmesiyle elde edilir. Karar matrisine, daha önce bölüm 4.5'te verilmiş olan entropi yöntemi adımları teker teker uygulanarak, akış değişkenleri için Çizelge 7.26'da verilen entropi ağırlıkları elde edilmiştir. Bu değerler, akış değişkenlerinin sistem içindeki önem katsayıları olarak görülebilir.

Anket sonuçlarının senaryoların analizinde kullanılması için, bölüm 6.3'te üretilip denklem 6.27 – 6.31 ile verilen formül seti, elde edilen E ve w değerleri yerlerine konularak düzenlenmiştir. Uzman görüşleri sonrasında elde edilen yeni formüller denklem 7.18 – 7.22 ile verilmiştir. Bunlar kullanılarak farklı gelecek senaryosu örnekleri analiz edilebilir.

Çizelge 7.26 : Akış değişkenlerinin entropi ağırlık değerleri.

Entropi ağırlığı	Değer	Entropi ağırlığı	Değer
w_1	0,0053	w_8	0,0936
w_2	0,0937	w_9	0,0936
w_3	0,0921	w_{10}	0,0943
w_4	0,1676	w_{11}	0,0041
w_5	0,0053	w_{12}	0,0048
w_6	0,0053	w_{13}	0,1675
w_7	0,0053	w_{14}	0,1675

$$S1 = -0{,}001325.F1 - 0{,}001325.(0{,}003975.F5 + 0{,}003975.F6 + 0{,}003975.F7 - 0{,}0021.F11) \quad (7.18)$$

$$S2 = 0{,}0053.F1 - 0{,}04605.F3 + 0{,}0053.(0{,}003975.F5 + 0{,}003975.F6 + 0{,}003975.F7 - 0{,}0021.F11) \quad (7.19)$$

$$S3 = 0{,}0234.F2 + 0{,}0838.F4 + 0{,}0234.(0{,}0468.F8 - 0{,}0471.F10 + 0{,}0021.F11) + 0{,}0838.(-0{,}0236.F10 - 0{,}1675.F13 - 0{,}1675.F14) \quad (7.20)$$

$$S4 = 0{,}00265.F1 + 0{,}04685.F2 - 0{,}04605.F3 + 0{,}0838.F4 + 0{,}00265.(0{,}003975.F5 + 0{,}003975.F6 + 0{,}003975.F7 - 0{,}0021.F11) + 0{,}04685.(0{,}0468.F8 - 0{,}04715.F10 + 0{,}0021.F11) + 0{,}0838.(-0{,}02358.F10 - 0{,}1675.F13 - 0{,}1675.F14) \quad (7.21)$$

$$S5 = 0{,}00265.F1 + 0{,}0703.F2 + 0{,}00265.(0{,}003975.F5 + 0{,}003975.F6 + 0{,}003975.F7 - 0{,}0021.F11) + 0{,}0703.(0{,}0468.F8 - 0{,}04715.F10 + 0{,}0021.F11) \quad (7.22)$$

7.10.1 Gelecek senaryosu örnekleri

Çalışmamızda önerilen SD yaklaşımı ve formülasyon iki örnek üzerinde uygulanacaktır. Bunlardan ilkinde, mikro şebeke yönetiminin öngörülerindeki hata oranlarının yükselmekte olduğu, diğer yandan OSB'ye hem enerji tüketimi çok yüksek olan kâğıt, kimya, cam ve çimento sektörlerinden hem de başka sektörlerden firmaların katılımıyla firma sayısının yükseldiği; genel duruma bakıldığında ise fosil yakıt fiyatlarında artış olduğu ve diğer yandan ülkede beklenen doğalgaz pazarının kurulmuş olduğu bir ortam ele alınacaktır. Tasvir edilen senaryoda, sistemin akış değişkenleri denklem 7.23 ile verilen değerleri alır.

$$F1 = 0 \quad F2 = 0 \quad F3 = -1 \quad F4 = 0 \quad F5 = 1 \quad F6 = 1$$
$$F7 = 0 \quad F8 = 1 \quad F10 = 1 \quad F11 = 0 \quad F13 = 0 \quad F14 = 0 \qquad (7.23)$$

Örnek senaryoyu ifade eden F değerleri kullanılarak denklem 7.18 – 7.22 hesaplandığında elde edilen stok değişkenlerin değerleri ise, denklem 7.24 ile verilmiştir.

$$S1 = -10{,}534 \,.\, 10^{-6} \quad S2 = 46{,}092 \,.\, 10^{-3}$$
$$S3 = -19{,}847.\, 10^{-4} \quad S4 = 44{,}081 \,.\, 10^{-3} \quad S5 = 42{,}158 \,.\, 10^{-6} \qquad (7.24)$$

Elde edilen S skorlarından S1 ve S2 birlikte, S3, S4 ve S5 de ayrıca birlikte normalize edilirler. Normalizasyon işlemi sırasında, negatif katsayılı skorların yönlerinin kaybolmamasına dikkat edilmelidir. Doğrusal normalizasyon uygulayarak ulaşılan nihai S değerleri denklem 7.25 ile verilmiştir.

$$S1 = -0{,}00023 \quad S2 = 0{,}99977$$
$$S3 = -0{,}04304 \quad S4 = 0{,}95604 \quad S5 = 0{,}00091 \qquad (7.25)$$

İkinci senaryo örneğinde ise, bir ekonomik kriz sırasında sistemin enerji taleplerinin azalmakta, enerji fiyatlarının ise artmakta olduğu, ana şebeke kesintilerinin ise giderek sıklaştığı bir durum ele alınacaktır. Bu senaryoyu ifade eden akış değişkenleri denklem 7.26 ile verilmiştir.

$$F1 = -1 \quad F2 = 1 \quad F3 = 0 \quad F4 = 1 \quad F5 = 0 \quad F6 = 0$$
$$F7 = 0 \quad F8 = 0 \quad F10 = 0 \quad F11 = 1 \quad F13 = 0 \quad F14 = 0 \qquad (7.26)$$

İkinci senaryoyu ifade eden F değerleri denklem 7.18 – 7.22'de kullanıldığında stok değişkenler için elde edilen değerler, denklem 7.27 ile verilmiştir.

$$S1 = 13{,}278 \,.\, 10^{-4} \quad S2 = -53{,}111 \,.\, 10^{-4}$$
$$S3 = 10{,}725 \,.\, 10^{-2} \quad S4 = 12{,}809 \,.\, 10^{-2} \quad S5 = 67{,}792 \,.\, 10^{-3} \qquad (7.27)$$

Önceki örnekte olduğu gibi doğrusal normalizasyon işlemi uygulanmış nihai S değerleri ise, denklem 7.28'de verilmiştir.

$$S1 = 0{,}2 \quad S2 = -0{,}8$$
$$S3 = 0{,}354 \quad S4 = 0{,}422 \quad S5 = 0{,}224 \qquad (7.28)$$

7.10.2 Sonuçların değerlendirilmesi

Bu bölümde, ele alınan iki gelecek senaryosu örneğine uygulanan SD yaklaşımı ve devamındaki formülasyonun sonuçlarının nasıl kullanılacağı gösterilecektir. Önceki

bölümde farklı örnekler için hesaplanan normalize edilmiş nihai S değerleri, daha önce de belirtildiği gibi, değişikliklere karşı alınabilecek hızlı aksiyonlarla ilgili ve yatırım önerileri ile ilgili olmak üzere iki ayrı grupta ele alınacaklardır. Bunun yanı sıra unutulmaması gereken, S değerlerinin ancak stok değişkenlerinin artış/azalış yönleri ve bu değişimlerin kabaca birbirlerine göre oranları hakkında bilgi vermekte olduğudur.

İlk örnekte, mikro şebeke yönetiminin öngörülerindeki hata oranlarının yükselmekte olduğu, OSB'ye hem enerji tüketimi çok yüksek olan kâğıt, kimya, cam ve çimento sektörlerinden hem de başka sektörlerden firmaların katılımıyla firma sayısının yükseldiği, fosil yakıt fiyatlarında artış olduğu ve diğer yandan ülkede beklenen doğalgaz pazarının kurulmuş olduğu bir ortam ele alınmıştır. Bu durum önerilen çözüm yaklaşımıyla analiz edildiğinde denklem 7.25'teki S değerleri elde edilmiştir. $S1 = -0{,}00023$ ve $S2 = 0{,}99977$ değerlerine göre, söz konusu durumda ana şebeke kullanımı arttırılmalı, dizel jeneratör kullanımı azaltılmalıdır. Ancak iki değer arasındaki fark dikkate alındığında, $S1$ stok değişkeninin skorunun ihmal edilebilir büyüklükte olduğu görülür. Senaryo analizinin gerçek hayat uygulamalarının yeni durumlara adapte edilmesi için yapıldığı göz önüne alınırsa, bu örnek için alınacak hızlı önlemlerin tamamen ana şebeke kullanımını arttırmaya yönelik olması gerektiği söylenebilir. Net artış/azalış miktarları, ancak ilgili durum sayısal verileriyle birlikte ele alındığında belirlenebilecek olmakla birlikte; bu örnek için ilgili senaryoda kısa vadeli önlem olarak yapılması gereken, enerji üretimi açığının tamamen ana şebekeyle bağlantı kapasitesi arttırılarak/iyileştirilerek kapatılmasıdır.

İlk örneğin sonuçlarının yatırım önerileri bakımından yorumlanması ise, denklem 7.25 ile verilen $S3 = -0{,}04304$, $S4 = 0{,}95604$ ve $S5 = 0{,}00091$ değerleri kullanılarak yapılır. Bunlara göre, söz konusu durumda uzun vadede dizel jeneratör yatırımı azaltılmalı, enerji depolama sistemi yatırımı yapılarak mevcut sisteme eklenmeli, var olan yenilenebilir enerji teknolojilerine ise daha fazla yatırım yapılarak kapasiteleri arttırılmalıdır. Ancak değerlerin büyüklükleri dikkate alındığında gerçekte yapılması gerekenin, asıl olarak enerji depolama sistemine yatırım yapmak ve bunun yanında uzun vadede dizel jeneratör sisteminin kapasitesini koruyacak bakım-onarım gibi işlemlere daha az bütçe ayırarak bu kaynağın kapasitesinin zaman içinde bir miktar azalmasına göz yummak olduğu anlaşılır. Net artış ve azalış miktarları ancak ilgili durum sayısal verileriyle birlikte ele alındığında belirlenebilecektir.

İkinci örnekte, bir ekonomik kriz sırasında sistemin enerji taleplerinin azalmakta, enerji fiyatlarının ise artmakta olduğu ve ana şebeke kesintilerinin giderek sıklaştığı bir durum ele alınmıştır. Bu durum önerilen yaklaşımla analiz edildiğinde denklem 7.28'deki normalize edilmiş S değerleri elde edilmiştir. $S1 = 0{,}2$ ve $S2 = -0{,}8$ değerleri göz önüne alındığında, dizel jeneratör kullanımının arttırılması, ana şebeke kullanımının da bunun dört katı oranında azaltılması gerektiği söylenebilir. Bu S değerlerini gerçek hayattaki bir uygulama için yorumlamak gerekirse, yaşanan senaryoda sistemin gerek amacı gerek kısıtları bakımından mevcut durumunu koruyabilmek adına yapılması gereken dizel jeneratör kullanımını arttırmak ve bundan daha yüksek miktarda da ana şebeke kullanımını azaltmaktır.

İkinci örnek için elde edilen ve denklem 7.28'de verilen $S3 = 0{,}354$, $S4 = 0{,}422$ ve $S5 = 0{,}224$ değerlerine bakılarak ise, söz konusu senaryoda hem dizel jeneratöre hem de yenilenebilir teknolojilere ek yatırımlar yapılması gerektiği, ayrıca yeni bir yatırımla da enerji depolama alternatifinin mikro şebeke sistemine eklenmesi gerektiği sonucuna varılır. Durumun sayısal olarak analizi sonrasında ihtiyaç duyulan ek kurulu güç miktarı belirlenip bu artışlar daha net ifade edilebilecektir; ancak stok değişkenlerin skorlarına bakarak, yapılacak yatırımlarla her birinin kapasitesinin yaklaşık olarak aynı miktarda artması gerektiği söylenebilir.

Önerilen senaryo analizi yaklaşımı sonucunda elde edilen S skorlarıyla yalnızca değişim yönleri ve oranları hakkında yorum yapabilmemizin nedeni, bu kısımdaki analizin gelecek odaklı ve dolayısıyla sözel ifadelere bağlı olmasıdır. Örneğin, talebin artmakta olduğu durum F1 akış değişkeninin değerini 1 yapmakta ve buna bağlı olarak S değerleri değişmektedir. Ancak burada talebin ne miktarda arttığı belirtilmez; talep mevcut durumun %10'u kadar da artsa, %50'si kadar da artsa F1 değişkeni 1 değerini alır. Dolayısıyla, SD yaklaşımı ve devamında kullanılan formülasyonun bize sağladığı yönler ve oranlar sonrasında, bu sonuçları gerçek hayata uygularken mutlaka vaka bazlı sayısal analiz yapılmalıdır.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sanayi sektörü dünyanın toplam elektrik tüketiminin büyük bir yüzdesinden sorumlu iken, talep tarafında endüstriyel elektrik tüketicilerinin ele alındığı enerji yönetimi çalışmalarının önemi giderek artmaktadır. Mikro şebekeler ise, gerek endüstriyel tüketicilerin giderek daha fazla yer aldığı bir yapı olmaları gerekse de geleceğin dağıtık enerji sistemi olarak görülmeleri nedeniyle bu alandaki çalışmalarda önemli bir gelişimdir (Almada ve diğ, 2016). Bu bağlamda, tez çalışmamızda endüstriyel bir mikro şebeke sistemi için kapsamlı bir enerji yönetimi paketi ortaya konulmuştur. Endüstriyel bir mikro şebekenin mevcut durumu için eş zamanlı güç üretimi ve yük tüketimi çizelgelemesi yapmak ve dinamik bir çevrede yer alan bu sistemin farklı gelecek senaryolarına uyarlanabilir olmasını sağlamak bu çalışmanın temel amaçlarıdır.

Çalışmamızın başında, ele alınacak çizelgeleme probleminin bileşenleri ve detayları kapsamlı kaynakça taraması ve uzman görüşleri sayesinde belirlenmiştir. Çözümlenen endüstriyel mikro şebekenin enerji üretimi bileşenleri fotovoltaik sistem, rüzgâr enerjisi sistemi, dizel jeneratör ve ana şebekedir. Bu sistemde enerji üretimi fazlası durumunda ana şebekeye satış yapılabilmektedir. Tüketici tarafında ise bir organize sanayi bölgesi ve buna dahil bir veri merkezi dikkate alınmış, bu durumun etkileri de incelenmiştir. Mikro şebekede yer alan tüm elektrik tüketici birimlerin saatlik toplam elektrik talepleri dengelenerek eş zamanlı olarak güç üretimini ve ana şebekeyle güç alışverişini çizelgelemek, bu şekilde mikro şebekenin toplam enerji giderini en aza indirmek ve üretimde yenilenebilir kaynakların payını olabildiğince arttırmak amaçlanmıştır. Ayrıca, talebi yönetirken tüketicilerin günün her bir çeyreği içindeki yük talep toplamları sabit kalacak şekilde bir yük kaydırma yaklaşımı uygulanmıştır. Bu şekilde güç üretici ve yük tüketici taraflara karşılıklı olarak esneklik tanınarak, hem eş zamanlı çizelgelemeye alan yaratılmış hem de tüketici konforu tamamen ihlal edilmemiştir. Problem için önerilen çözüm talep tahmini, çizelgeleme ile enerji üretim-tüketim optimizasyonu ve senaryo analizi aşamalarından oluşmaktadır. Çalışmamızda bu çözüm önerisinin optimizasyon ve senaryo analizi kısımlarına

ağırlık verilmiştir. Optimizasyon kısmında dinamik programlama yöntemi, sonrasında ise sistem dinamiği temelli bir senaryo analizi yaklaşımı kullanılmıştır.

Önerilen enerji yönetimi paketinin örnek uygulamasını yapmak için Gebze Organize Sanayi Bölgesi seçilmiştir. Çalışmanın yedinci bölümünde bu kapsamlı uygulama tüm adımlarıyla verilmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Öncelikle, önerilen çözüm yaklaşımının talep tahmini aşaması için iki farklı yöntemle uygulama yapılmıştır. Gebze Organize Sanayi Bölgesi'nin gerekli tüm veri ve parametrelerinin tahmini ve temini sonrasında, enerji çizelgeleme optimizasyonu için önerilen dinamik model GAMS yazılımı aracılığıyla kodlanarak çalıştırılmıştır. Çeşitli denemelerle varılan çıkarımlar sonucunda, dinamik modelin tüm bileşenleri son halini almıştır. Model farklı mevsimlerden farklı çeyrekler için çalıştırılarak, hem daha çok karşılaşılan ve üretim-tüketim taraflarından ikisinin de daha yoğun olduğu durumlar hem de uç durumlar için testler gerçekleştirilmiştir. Ek olarak, önerilen modelin talebe olan duyarlılığı da farklı açılardan incelenmiştir. Bunlar organize sanayi bölgesinde bulunan bir veri merkezinin enerji yönetimine etkileri, talep kısıdı parametrelerinin duyarlılık analizi ve talep tahmininin çizelgeleme sonuçlarına etkileridir. Bu şekilde, önerilen modelin genelgeçerliği gösterilmiştir. Sistemin kurulu gücü toplam enerji talebine göre güncel tutulduğu sürece, önerdiğimiz model ile optimum güç ve yük çizelgelemesi yapmak mümkün olacaktır. Önerilen dinamik çizelgeleme modelinin beklendiği gibi çalıştığı, her saatteki ihtiyaç ve potansiyellere göre, optimizasyon amacını da dikkate alarak üretimin ve yükün dağıtımını gerçekleştirdiği görülmüştür. Modelin üretim ve yükü dağıtmadaki davranış ve eğilimleri de tartışılmıştır.

Yapılan uygulamaların sonuçları, aynı şartlarda tüm talebin ana şebekeden karşılandığı durum ile toplam maliyet ve toplam karbondioksit salımı açılarından karşılaştırılmıştır. Önerilen modelin çevresel anlamda büyük avantaj sağladığı, sistemin bir çeyrek için toplam karbondioksit salımında yaklaşık olarak %39 ila %55 oranında azalma elde edildiği görülmüştür. Diğer yandan, karşılaştırma sonucunda, önerilen sistemin maliyet açısından her durumda daha iyi sonuç vermediği izlenmiştir. Bu sonucun nedenleri tartışılarak, sistemin işlevini koruyarak toplam enerji giderlerini düşürecek yollar önerilmiş ve uygulama örnekleriyle bunların işlerlikleri gösterilmiştir. Elde edilen bir sonuç, güç üreticileri arasında bulunan dizel jeneratörün yakıt tüketimi ve buna bağlı olarak maliyet ve karbondioksit salımı fonksiyonları parçalı yapıda olduğundan, optimizasyon modellerinin maliyet enküçükleme amacı ve

karbondioksit salımını belirli bir miktarın altında tutma kısıdını bir arada gerçekleştirmeye çalışmalarının zorlayıcı olduğudur. Büyük ölçekli sistemlerde uygulama sonuçları bu iki fonksiyon açısından dikkatle analiz edilmeli, gerekli görüldüğü takdirde karbondioksit salımı kısıdı modelin dışında tutularak, daha sonra ele alınmalıdır. Bu duruma bir diğer çözüm ise, çok amaçlı bir optimizasyon modeli kurmak ya da biri maliyet biri karbondioksit salımı enküçüklemeyi amaçlayan iki ayrı model çalıştırarak özgün bir yaklaşımla bunların sonuçlarını bir arada kullanmak olabilir.

Mikro şebeke sistemini etkileyen iç ve dış etkenlerde değişiklikler olup yakın ya da uzak gelecekte farklı senaryolarla karşı karşıya gelindiğinde, önerilen modelin aynı şekilde optimum çizelge üretebilmesi için sistem dinamiği disiplini ve entropi yönteminden yararlanılarak senaryo analizi yapılmıştır. İki farklı gelecek senaryosu örneği ele alınmış; senaryolar üzerinden, önerilen yaklaşımın nasıl kullanılacağı ve modelin uyarlanmasında ne şekilde yönlendirici olacağı açıklanmıştır. Ayrıca, önerilen yaklaşımın yalnızca model parametre ve bileşenlerinin değişim yönleri ve oranları hakkında bilgi verdiği, daha kesin sonuçlar için ele alınacak senaryolarda vaka bazlı sayısal analiz yapılması gerektiği de vurgulanmıştır.

Çalışmamızda sunulan endüstriyel mikro şebeke yapısı ve bunun en iyi biçimde işlemesi için önerilen enerji yönetimi paketi ile elde edilenler şöyle sıralanabilir:

- Önerilen endüstriyel mikro şebeke yapısı için, hem mevcut durumda optimum çözümler ortaya koyan hem de gelecekteki olası değişimleri dikkate alarak bunlara karşı önlemler sunan, böylece geleceğe dönük politikalar üretmeyi de mümkün kılan bir enerji yönetimi paketi üretilmiştir.
- Çizelgeleme modelinin çözümleri, enerji talebi oldukça yüksek böyle bir tüketici grubunun ihtiyaçlarının, ana bileşeni yenilenebilir enerji kaynakları olan hibrit bir enerji üretim sistemi ile karşılanabileceğini ortaya koymuştur. Bu sonucun, yenilenebilir enerji kaynaklarına duyulan güveni arttıracağı, dolayısıyla enerjide fosil yakıtların payının ve dışa bağımlılığın azalmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.
- Önerilen sistemin büyük miktardaki endüstriyel enerji talebi karşısında geçerliliğinin gösterilmesi, ülkemizde mikro şebekelerin ve bununla birlikte dağıtık enerji üretiminin yaygınlaşmasına da katkı sağlayacaktır.

- Eş zamanlı enerji üretim-tüketim çizelgelemesi yapan bir model önerisiyle, enerji yönetiminde sorun oluşturan hesaplama sürelerinin azaltılmasına katkı sağlanmış, tek bir modelle hem üretim hem tüketim tarafları dikkate alınarak en iyi çözüm ortaya konulabilmiştir.
- Çizelgeleme sonuçlarının, önerilen sistem yerine talebin tamamen ana şebekeden karşılandığı durumla karşılaştırılmasıyla sistemin çevresel anlamda sağlayacağı katkılar vurgulanmıştır.
- Önerilen mikro şebeke sisteminin kurulu yenilenebilir gücünün, toplam maliyet ve karbondioksit salımı çıktılarını doğrudan etkilediği görülmüştür. Buna bağlı olarak, detaylı fizibilite çalışmaları ve ekonomik analizler sonucunda belirlenebilecek bir noktaya kadar yapılacak yenilenebilir üretim kapasitesi artışının sistem çıktılarında iyileşme yaratacağı sonucuna varılmıştır.
- Matematiksel fonksiyonlara dönüştürüldüğünde çok farklı yapılar ortaya koyan çeşitli enerji üretimi bileşenlerinin optimizasyon modeline etkileri incelenmiş ve bir arada kullanılabilmelerinin mümkün olduğu gösterilmiştir; bunlar, gelecek modelleme çalışmaları için de yol gösterici olacaktır.
- Ülkemizde 2016 yılında çıkarılan bir KHK ile veri merkezlerinin organize sanayi bölgeleri içinde yer almasının teşvik edilmesinin, maliyetleri ayrı ayrı işletilecekleri durumdan daha fazla arttırıp enerji yönetimini güçleştirerek hem organize sanayi bölgelerindeki farklı karakterli elektrik tüketicilerini hem de veri merkezlerini nasıl olumsuz etkilediği ortaya konmuştur.
- Ele alınan problemin hem mevcut durum içindeki dinamik yapısı hem de bugün ve gelecekte içinde bulunacağı dinamik çevre ile, uygun yöntem ve yaklaşımlar kullanılarak baş edilebileceği gösterilmiştir.

Elde edilen sonuç ve çıkarımlar doğrultusunda, çalışmamızda amaçlananların gerçekleştirildiğini ve ilgi çekici bazı sonuçlarla karşılaşıldığını söylemek mümkündür. Mevcut çalışmayı geliştirebilecek ya da gelecek çalışmalar için dikkate alınabilecek bazı öneriler ise aşağıda sıralanmıştır:

- Mikro şebeke sisteminin yatırım maliyetlerinin de dikkate alındığı bir hesaplama ile, önerdiğimiz sistemin maliyet açısından net getirisi ortaya konabilir.
- Çalışmamızda problem varsayımları kapsamında ihmal edilen güç kayıplarının sistemi ne ölçüde etkilediği araştırılarak, ilgili varsayımın kaldırılıp kayıpların da optimizasyon modeline dahil edilmesi gözden geçirilebilir.
- Enerji depolama sistemlerinin ülkemizdeki maliyetleri giderek azalmakta olduğundan, buna bağlı olarak fizibilite açısından avantajlı hale gelmekte olduklarından, hibrit bir enerji depolama sistemi mikro şebeke sistemine dahil edilebilir.
- Talep tarafının yük tüketimi davranışları daha yakından incelenerek, birim enerji maliyetlerinin tüketime etkisi gözlenebilir. Bu doğrultuda, saatler arasındaki güç arzı kapasitesi ve fiyat farkları dikkate alınarak tüketicilerin aktif oldukları saatlerin birbirini tamamlayıcı hale gelmesini amaçlayan bir yük yönetimi çalışması çözüm paketine eklenebilir.
- Çizelgeleme modelinin talep yönetme anlayışı geliştirilerek, tüketicilere her bir çeyrek için olan talep toplamlarının sabit kalacağı vaadi yanında, saatlik taleplerinden de olabildiğince az sapma olacağı garantisi verilebilir. Bunun için, çizelgeleme modeline her bir tüketicinin saatlik taleplerinden sapmayı enküçükleyecek ya da belirli oranlarla kısıtlayacak bir amaç ya da kısıt fonksiyonu eklenebilir.
- Mevcut durumda günün dört ayrı çeyreği bazında ele alınan dinamik modelin, zaman bölümlemesinde optimizasyon yapılabilir. Günün saatlerinin yoğunluğuna göre farklı büyüklüklerde belirlenecek zaman dilimleri kullanılarak modelin başarımının arttırılıp arttırılamayacağı araştırılabilir.
- Değişiklik ve geliştirmelerle eklenecek yeni amaç ve kısıt fonksiyonları gözetilerek, optimizasyon modeli stokastik yöntemlerle kurulabilir.
- Çalışmamızda önerilen enerji yönetimi paketinin opsiyonel bir aşaması olarak verilen ve iki farklı yöntemle uygulama örnekleri yapılan tahmin aşamasının üzerinde çalışılarak geliştirilebilir; böylece sunulan çözüm önerisi güçlendirilebilir.

- Uç durumlarda optimizasyon modelinin davranışlarını inceleme amacıyla, senaryo bazında bir yaklaşım modele entegre edilebilir.
- Çalışmanın senaryo analizi kısmında ele alınan uygulama örnekleri daha somut verilerle analiz edilerek, önerilen senaryo analizi yaklaşımının çizelgeleme modelinin kısıt ve/veya parametrelerini dinamik biçimde değiştirdiği adaptif bir yönetim modeli ortaya konabilir.
- Sistem dinamiği yaklaşımında stok ve akış değişkenleri ile kapsamı belirlenen sistemin sınırları genişletilebilir. Daha fazla iç ve dış etkeni dikkate alacak bir bakış açısıyla, gerçek zamanlı değişimler yapabilecek bir yönetim planı önerilebilir.
- Sistem dinamiği, zaman değişimlerini de yansıtacak şekilde girdilerin zaman serileri ile birlikte uygulanabilir.

Çalışmamızın endüstriyel mikro şebekelerde enerji yönetimi alanında çalışan araştırmacı ve yatırımcılara yeni bir bakış açısı kazandırması umulmaktadır. Önerdiğimiz dinamik çözüm paketi ve yapılan uygulama örneğiyle elde edilen sonuçların, bu alanda yapılacak çalışma ve ilerlemelere destek olması beklenmektedir.

KAYNAKLAR

Abdelaziz, E. A., Saidur, R. ve Mekhilef, S. (2011). A review on energy saving strategies in industrial sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15*, 150–168.

Acharya, S., El Moursi, M. S. ve Al-Hinai, A. (2018). Coordinated Frequency Control Strategy for an Islanded Microgrid With Demand Side Management Capability. *IEEE Transactions on Energy Conversion, 33/2*, 639-651.

Afrakhte, H. ve Bayat, P. (2020a). A contingency based energy management strategy for multi-microgrids considering battery energy storage systems and electric vehicles. *Journal of Energy Storage, 27*, 101087.

Afrakhte, H. ve Bayat, P. (2020b). A self-evolving type-2 fuzzy energy management strategy for multi-microgrid systems. *Computers and Electrical Engineering, 85*, 106702.

Aghajani, G. R., Shayanfar, H. A. ve Shayeghi, H. (2015). Presenting a multi-objective generation scheduling model for pricing demand response rate in micro-grid energy management. *Energy Conversion and Management*, *106*, 308-321.

Aghajani, G. R., Shayanfar, H. A. ve Shayeghi, H. (2017). Demand side management in a smart micro-grid in the presence of renewable generation and demand response. *Energy*, *126*, 622-637.

Agresti, A. (2013). *Categorical Data Analysis*. John Wiley & Sons, New Jersey, ABD.

Aktas, A., Erhan, K., Ozdemir, S. ve Ozdemir E. (2018). Dynamic energy management for photovoltaic power system including hybrid energy storage in smart grid applications. *Energy*, *162*, 72-82.

Aktaş, A. ve Kırçiçek, Y. (2020). A novel optimal energy management strategy for offshore wind/marine current/battery/ultracapacitor hybrid renewable energy system. *Energy*, *199*, 117425.

Alahmed, A. S. ve Al-Muhaini, M. M. (2020). An intelligent load priority list–based integrated energy management system in microgrids. *Electric Power Systems Research, 185*, 106404.

Alharbi, H. ve Bhattacharya, K. (2018). Stochastic Optimal Planning of Battery Energy Storage Systems for Isolated Microgrids. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, *9/1*, 211-227.

Almada, J. B., Leao, R. P. S., Sampaio, R. F. ve Barroso, G. C. (2016). A centralized and heuristic approach for energy management of an AC microgrid. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *60*, 1396-1404.

Amirkhan, S., Radmehr, M., Rezanejad, M. ve Khormali, S. (2020). A robust control technique for stable operation of a DC/AC hybrid microgrid

under parameters and loads variations. *Electrical Power and Energy Systems, 117,* 105659.

Amrollahi, M. H. ve Bathaee, S. M. T. (2017). Techno-economic optimization of hybrid photovoltaic/wind generation together with energy storage system in a stand-alone micro-grid subjected to demand response. *Applied Energy, 202,* 66-77.

Anand, H. ve Ramasubbu, R. (2018). A real time pricing strategy for remote micro-grid with economic emission dispatch and stochastic renewable energy sources. *Renewable Energy, 127,* 779-789.

Antonyraj, S. ve Giftson-Samuel, G. (2019). Optimal Energy Scheduling of Renewable Energy Sources in Smart Grid using Cuckoo Optimization Algorithm with Enhanced Local Search. *National Conference on Recent Advances in Fuel Cells and Solar Energy*, Karaikal, U.T of Puducherry, India, May 11-12.

Arefi, A. ve Shahnia, F. (2018). Tertiary Controller-Based Optimal Voltage and Frequency Management Technique for Multi-Microgrid Systems of Large Remote Towns. *IEEE Transactions on Smart Grid, 9/6,* 5962-5974.

Arif, A., Javed, F. ve Arshad, N. (2014). Integrating renewables economic dispatch with demand side management in micro-grids: a genetic algorithm-based approach. *Energy Efficiency, 7,* 271-284.

Asan, U. (2017). *Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Analiz* (Ders notları). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Aslam, S., Khalid, A. ve Javaid, N. (2020). Towards efficient energy management in smart grids considering microgrids with day-ahead energy forecasting. *Electric Power Systems Research, 182,* 106232.

Atawi, I. E. ve Kassem, A. M. (2017). Optimal Control Based on Maximum Power Point Tracking (MPPT) of an Autonomous Hybrid Photovoltaic/Storage System in Micro Grid Applications. *Energies, 10,* 1-14.

Aviles, C., Oliva, S. ve Watts, D. (2019). Single-dwelling and community renewable microgrids: Optimal sizing and energy management for new business models. *Applied Energy, 254,* 113665.

Azaza, M. ve Wallin, F. (2017). Multi objective particle swarm optimization of hybrid micro-grid system: A case study in Sweden. *Energy, 123,* 108-118.

Bahlawan, H., Morini, M., Pinelli, M. ve Spina, P. R. (2019). Dynamic programming based methodology for the optimization of the sizing and operation of hybrid energy plants. *Applied Thermal Engineering, 160,* 113967.

Bahramara, S. ve Golpira, H. (2018). Robust optimization of micro-grids operation problem in the presence of electric vehicles. *Sustainable Cities and Society, 37,* 388-395.

Balcı, H., Işıklı Esener, İ. ve Kurban, M. (2012). Regresyon Analizi Kullanılarak Kısa Dönem Yük Tahmini. *ELECO '2012 Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, Bursa, 29 Kasım-1 Aralık.

Banaei, M. ve Rezaee, B. (2018). Fuzzy scheduling of a non-isolated micro-grid with renewable resources. *Renewable Energy*, *123*, 67-78.

Bandeiras, F., Gomes, M., Coelho, P., Fernandes, J., Camacho, A. ve Castilla, M. (2018). Microgrid Architecture Evaluation for Small and Medium Size Industries. *International Journal of Emerging Electric Power Systems, 19/2*, 1-11.

Barbato, A. ve Capone, A. (2014). Optimization Models and Methods for Demand-Side Management of Residential Users: A Survey. *Energies, 7*, 5787-5824.

Barlas, Y. (2009). *System dynamics: Systemic feedback modeling for policy analysis*. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), Paris, Fransa.

Barutçu, B. (2019). *Wind Energy and Conversion Technology* (Ders notları). İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.

Bektaş, Z. ve Kayakutlu, G. (2021). Review and clustering of optimal energy management problem studies for industrial microgrids. *International Journal of Energy Research*, *45*, 103-117.

Bernardi, E., Morato, M. M., Mendes, P. R. C., Normey-Rico, J. E. ve Adam, E. J. (2021). Fault-tolerant energy management for an industrial microgrid: A compact optimization method. *Electrical Power and Energy Systems, 124*, 106342.

Boait, P., Advani, V. ve Gammon, R. (2015). Estimation of demand diversity and daily demand profile for off-grid electrification in developing countries. *Energy for Sustainable Development, 29*, 135-141.

Bogaraj, T. ve Kanakaraj, J. (2016). Intelligent energy management control for independent microgrid. *Sadhana, 41/7*, 755–769.

Borhanazad, H., Mekhilef, S., Ganapathy, V. G., Modiri-Delshad, M. ve Mirtaheri, A. (2014). Optimization of micro-grid system using MOPSO. *Renewable Energy, 71*, 295-306.

Bracale, A., Caramia, P., Carpinelli, G., Mancini, E. ve Mottola, F. (2015). Optimal control strategy of a DC micro grid. *Electrical Power and Energy Systems, 67*, 25-38.

Bukar, A. L., Tan, C. W., Yiew, L. K., Ayop, R. ve Tan, W. S. (2020). A rule-based energy management scheme for long-term optimal capacity planning of grid-independent microgrid optimized by multi-objective grasshopper optimization algorithm. *Energy Conversion and Management, 221*, 113161.

Camacho, A., Castilla, M., Canziani, F., Moreira, C., Coelho, P., Gomes, M. ve Mercado, P. E. (2017). Performance Comparison of Grid-Faulty Control Schemes for Inverter-Based Industrial Microgrids. *Energies, 10/12*, 1-25.

Cansiz, A., Faydaci, C., Qureshi, M. T., Usta, O. ve McGuiness, D. T. (2018). Integration of a SMES–Battery-Based Hybrid Energy Storage System into Microgrids. *J Supercond Nov Magn, 31*, 1449–1457.

Casolino, G. M., Russo, M., Varilone, P. ve Pescosolido, D. (2018). Hardware-in-the-Loop Validation of Energy Management Systems for Microgrids: A Short Overview and a Case Study. *Energies, 11/11*, 2978-2994.

Cesena, E. A. M., Good, N., Syrri, A. L. A. ve Mancarella, P. (2018). Techno-economic and business case assessment of multi-energy microgrids with co-optimization of energy, reserve and reliability services. *Applied Energy, 210*, 896–913.

Cha, H. J., Won, D. J., Kim, S. H., Chung, I. Y. ve Han, B. M. (2015). Multi-Agent System-Based Microgrid Operation Strategy for Demand Response. *Energies, 8/12*, 14272-14286.

Chassin, D. P., Behboodi, S. ve Djilali, N. (2018). Optimal subhourly electricity resource dispatch under multiple price signals with high renewable generation availability. *Applied Energy, 213*, 262-271.

Chaudhary, P. ve Rizwan, M. (2018). Energy management supporting high penetration of solar photovoltaic generation for smart grid using solar forecasts and pumped hydro storage system. *Renewable Energy, 118*, 928-946.

Chen, W., Shao, Z., Wakil, K., Aljojo, N., Samad, S. ve Rezvani, A. (2020). An efficient day-ahead cost-based generation scheduling of a multisupply microgrid using a modified krill herd algorithm. *Journal of Cleaner Production, 272*, 122364.

Chen, Y. ve Trifkovic, M. (2018). Optimal scheduling of a microgrid in a volatile electricity market environment: Portfolio optimization approach. *Applied Energy, 226*, 703-712.

Cheng, S., Lu, F., Peng, P. ve Wu, S. (2018). Short-term traffic forecasting: An adaptive ST-KNN model that considers spatial heterogeneity. *Computers, Environment and Urban Systems, 71*, 186-198.

Cheung, H., Wang, S., Zhuang, C. ve Gu, J. (2018). A simplified power consumption model of information technology (IT) equipment in data centers for energy system real-time dynamic simulation. *Applied Energy, 222*, 329-342.

Cho, K., Chang, H., Jung, Y. ve Yoon, Y. (2017). Economic analysis of data center cooling strategies. *Sustainable Cities and Society, 31*, 234-243.

Choobineh, M. ve Mohagheghi, S. (2016). A multi-objective optimization framework for energy and asset management in an industrial Microgrid. *Journal of Cleaner Production, 139*, 1326-1338.

Choobineh, M., Silva-Ortiz, D. ve Mohagheghi, S. (2018). An Automation Scheme for Emergency Operation of a Multi-Microgrid Industrial Park. *IEEE Transactions on Industry Applications, 54/6*, 6450-6459.

Cintuglu, M. H., Martin, H. ve Mohammed, O. A. (2015). Real-Time Implementation of Multiagent-Based Game Theory Reverse Auction Model for Microgrid Market Operation. *IEEE Transactions on Smart Grid, 6/2*, 1064-1072.

Cooremans, C. ve Schonenberger, A. (2019). Energy management: A key driver of energy-efficiency investment? *Journal of Cleaner Production, 230,* 264-275.

Çakır, S. ve Perçin, S. (2013). AB Ülkeleri'nde Bütünleşik Entropi Ağırlık-TOPSIS Yöntemiyle Ar-Ge Performansının Ölçülmesi. *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, XXXII (1),* 77-95.

Deng, X., Wu, D., Shen, J. ve He, J. (2016). Eco-Aware Online Power Management and Load Scheduling for Green Cloud Datacenters. *IEEE Systems Journal, 10(1),* 78-87.

Derakhshandeh, S. Y., Ghiasian, A. ve Masoum, M. A. S. (2019). A New Time-Decoupled Framework for PEVs Charging and Scheduling in Industrial Microgrids. *IEEE Transactions on Smart Grids, 10/1*, 568-577

Derakhshandeh, S. Y., Golshan, M. E. H., Ghazizadeh, M. S. ve Masoum, M. A. S. (2017). Stochastic scenario-based generation scheduling in industrial microgrids. *Int. Trans. Electr. Energ. Syst., 27*, 1-17.

Derakhshandeh, S. Y., Masoum, A. S., Deilami, S., Masoum, M. A. S. ve Golshan, M. E. H. (2013). Coordination of Generation Scheduling with PEVs Charging in Industrial Microgrids. *IEEE Transactions on Power Systems, 28/3,* 3451-3461.

Derakhshandeh, S. Y., Masoum, M. A. S. ve Golshan, M. E. H. (2015). Unit commitment in industrial microgrids with plug-in electric vehicles and photovoltaic generation. *Int. Trans. Electr. Energ. Syst., 25,* 1349–1365.

Egbue, O. ve Uko, C. (2020). Multi-agent approach to modeling and simulation of microgrid operation with vehicle-to-grid system. *The Electricity Journal, 33,* 106714.

EIA (U.S. Energy Information Administration) (2019). https://www.eia.gov/ adresinden alındı

El-Baz, W., Tzscheutschler, P. ve Wagner, U. (2019). Integration of energy markets in microgrids: A double-sided auction with device-oriented bidding strategies. *Applied Energy, 241,* 625-639.

Elsied, M., Oukaour, A., Gualous, H. ve Lo Brutto, O. A. (2016). Optimal economic and environment operation of micro-grid power systems. *Energy Conversion and Management, 122,* 182-194.

EPDK (T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu) (2020). https://www.epdk.gov.tr/ adresinden alındı

EPİAŞ (Enerji Piyasaları İşletme A.Ş.) (2020). https://www.epias.com.tr/ adresinden alındı

Fabrizio, E., Branciforti, V., Costantinob, A., Filippi, M., Barberoc, S., Teccoc, G., Mollod, P. ve Molinod, A. (2017). Monitoring and managing of a micro-smart grid for renewable sources exploitation in an agro-industrial site. *Sustainable Cities and Society, 28,* 88-100.

Fang, X., Yang, Q. ve Dong, W. (2018). Fuzzy decision based energy dispatch in offshore industrial microgrid with desalination process and multi-type DGs. *Energy, 148*, 744-755.

Firouzmakan, P., Hooshmand, R. A., Bornapour, M. ve Khodabakhshian, A. (2019). A comprehensive stochastic energy management system of micro-CHP units, renewable energy sources and storage systems in microgrids considering demand response programs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 108*, 355-368.

Foroutan, V. B., Moradi, M. H. ve Abedini, M. (2016). Optimal operation of autonomous microgrid including wind turbines. *Renewable Energy*, *99*, 315-324.

Ghanaee, R. ve Foroud, A. A. (2019). Enhanced structure and optimal capacity sizing method for turbo-expander based microgrid with simultaneous recovery of cooling and electrical energy. *Energy, 170*, 284-304.

Ghanbari, A., Karimi, H. ve Jadid, S. (2020). Optimal planning and operation of multi-carrier networked microgrids considering multi-energy hubs in distribution networks. *Energy, 204*, 117936.

Ghasemi, A. (2018). Coordination of pumped-storage unit and irrigation system with intermittent wind generation for intelligent energy management of an agricultural microgrid. *Energy*, *142*, 1-13.

Ghasemi, A. ve Enayatzare, M. (2018). Optimal energy management of a renewable-based isolated microgrid with pumped-storage unit and demand response. *Renewable Energy, 123*, 460-474.

Ghiasi, M. (2019). Detailed study, multi-objective optimization, and design of an AC-DC smart microgrid with hybrid renewable energy resources. *Energy, 169*, 496-507.

Gonzalez-Rivera, E., Sarrias-Mena, R., Garcia-Trivino, P. ve Fernandez-Lamirez, L. M. (2020). Predictive energy management for a wind turbine with hybrid energy storage system. *International Journal of Energy Research, 44*, 2316-2331.

Gordic, D., Babic, M., Jovicic, N., Sustersic, V., Koncalovic, D. ve Jelic. D. (2010). Development of energy management system – Case study of Serbian car manufacturer. *Energy Conversion and Management*, *51*, 2783–2790.

Guelpa, E. ve Verda, V. (2021). Demand response and other demand side management techniques for district heating: A review. *Energy, 219*, 119440.

Haghifam, S., Dadashi, M., Zare, K. ve Seyedi, H. (2020). Optimal operation of smart distribution networks in the presence of demand response aggregators and microgrid owners: A multi follower Bi-Level approach. *Sustainable Cities and Society, 55*, 102033.

Hakimi, S. M., Hasankhani, A., Shafie-khah, M. ve Catalao, J. P. S. (2020). Demand response method for smart microgrids considering high renewable energies penetration. *Sustainable Energy, Grids and Networks, 21*, 100325.

Han, X., Zhang, H., Yu, X. ve Wang, L. (2016). Economic evaluation of grid-connected micro-grid system with photovoltaic and energy storage under different investment and financing models. *Applied Energy*, *184*, 103-118.

Harmon, E., Ozgur, U., Cintuglu, M. H., Azevedo, R., Akkaya, K. ve Mohammed, O. A. (2018). The Internet of Microgrids: A Cloud-Based Framework for Wide Area Networked Microgrids. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, *14/3*, 1262-1274.

Hassan, M. A. S., Chen, M., Lin, H., Ahmed, M. H., Khan, M. Z. ve Chughtai, G. R. (2019). Optimization modeling for dynamic price based demand response in microgrids. *Journal of Cleaner Production, 222*, 231-241.

Heydari, A., Garcia, D. A., Keynia, F., Bisegna, F. ve Santoli, L. D. (2019). A novel composite neural network based method for wind and solar power forecasting in microgrids. *Applied Energy, 251*, 113353.

Hohmann, M., Warrington, J. ve Lygeros, J. (2020). A moment and sum-of-squares extension of dual dynamic programming with application to nonlinear energy storage problems. *European Journal of Operational Research, 283*, 16-32.

Hong, B., Zhang, W., Zhou, Y., Chen, J., Xiang, Y. ve Mu, Y. (2018). Energy-Internet-oriented microgrid energy management system architecture and its application in China. *Applied Energy*, *228*, 2153–2164.

Hosseinnia, H. ve Tousi, B. (2019). Optimal operation of DG-based micro grid (MG) by considering demand response program (DRP). *Electric Power Systems Research, 167*, 252-260.

Indragandhi, V., Logesh, R., Subramaniyaswamy, V., Vijayakumar, V., Patrick, S. ve Lorna, U. (2018). Multi-objective optimization and energy management in renewable based AC/DC microgrid. *Computers and Electrical Engineering*, *70*, 179-198.

ISO Standards (2019). https://www.iso.org/iso-50001-energy-management.html adresinden alındı

Jafari, M. ve Malekjamshidi, Z. (2020). Optimal energy management of a residential-based hybrid renewable energy system using rule-based real-time control and 2D dynamic programming optimization method. *Renewable Energy*, *146*, 254-266.

Jakhrani, A. Q., Othman, A. K., Rigit, A. R. H., Samo, S. R. ve Kamboh, S. A. (2012). Estimation of Carbon Footprints from Diesel Generator Emissions. *International Conference in Green and Ubiquitous Technology*, 78-81. Bandung, Indonesia.

Jalali, M. M. ve Kazemi, A. (2015). Demand side management in a smart grid with multiple electricity suppliers. *Energy*, *81*, 766-776.

Jamil, R. (2020). Hydroelectricity consumption forecast for Pakistan using ARIMA modeling and supply-demand analysis for the year 2030. *Renewable Energy*, *154*, 1-10.

Jayachandran, M. ve Ravi, G. (2017). Design and Optimization of Hybrid Micro-Grid System. *Energy Procedia, 117*, 95-103.

Je, S. M. ve Huh, J. H. (2018). An Optimized Algorithm and Test Bed for Improvement of Efficiency of ESS and Energy Use. *Electronics, 7*, 388-412.

Ji, J., Zheng, X., He, C., Zhang, Z., Wang, Y. ve Roskilly, T. (2017). Experimental study for a micro smart grid to meet the energy demand of a household. *Energy Procedia, 105*, 1219-1225.

Johnson, R. A. ve Wichern, D. W. (2007). *Applied Multivariate Statistical Analysis*. Pearson Prentice Hall, New Jersey, ABD.

Ju, L., Li, P., Tan, Q., Tan, Z. ve De, G. F. (2018). A CVaR-Robust Risk Aversion Scheduling Model for Virtual Power Plants Connected with Wind-Photovoltaic-Hydropower-Energy Storage Systems, Conventional Gas Turbines and Incentive-Based Demand Responses. *Energies*, *11*, 2903-2930.

Kalogirou, S. A. (2013). *Solar Energy Engineering – Processes and Systems*. Academic Press, Cambridge, Massachusetts.

Katal, F. ve Fazelpour, F. (2018). Multi-criteria evaluation and priority analysis of different types of existing power plants in Iran: An optimized energy planning system. *Renewable Energy, 120*, 163-177.

Khalilpour, K. R. ve Vassallo, A. (2016). A generic framework for distributed multi-generation and multi-storage energy systems. *Energy*, *114*, 798-813.

Khavari, F., Badri, A. ve Zangeneh, A. (2020). Energy management in multi-microgrids considering point of common coupling constraint. *Electrical Power and Energy Systems, 115*, 105465.

Khayatian, A., Barati, M. ve Lim, G. J. (2018). Integrated Microgrid Expansion Planning in Electricity Market With Uncertainty. *IEEE Transactions on Power Systems*, *33/4*, 3634-3643.

Kia, M., Nazar, M. S., Sepasian, M. S., Heidari, A. ve Sharaf, A. M. (2017). Coordination of heat and power scheduling in micro-grid considering inter-zonal power exchanges. *Energy*, *141*, 519-536.

Kim, H., Bae, J, Baek, S., Nam, D., Cho, H. ve Chang, H. J. (2017). Comparative Analysis between the Government Micro-Grid Plan and Computer Simulation Results Based on Real Data: The Practical Case for a South Korean Island. *Sustainability*, *9*, 197-214.

Kinhekar, N., Padhy, N. P., Li, F. ve Gupta, H. O. (2016). Utility Oriented Demand Side Management Using Smart AC and Micro DC Grid Cooperative. *IEEE Transactions on Power Systems*, *31/2*, 1151-1160.

Kiptoo, M. K., Lotfy, M. E., Adewuyi, O. B., Conteh, A., Howlader, A. M. ve Senjyu, T. (2020). Integrated approach for optimal techno-economic planning for high renewable energy-based isolated microgrid considering cost of energy storage and demand response strategies. *Energy Conversion and Management*, *215*, 112917.

Kitson, J., Williamson, J. S., Harper, P. W., McMahon, C. A., Rosenberg, G., Tierney, M. J., Bell, K. ve Gautam, B. (2018). Modelling of an expandable, reconfigurable, renewable DC microgrid for off-grid communities. *Energy*, *160*, 142-153.

Kohonen, T. (1990). The Self-organizing Map. *Proceedings of the IEEE, 78/9,* 1464-1480.

Koko, S. P., Kusakana, K. ve Vermaak, H. J. (2017). Optimal energy management of a grid-connected micro-hydrokinetic with pumped hydro storage system. *Journal of Energy Storage, 14,* 8-15.

Koltsaklis, N. E., Giannakakis, M. ve Georgiadis, M. C. (2018). Optimal energy planning and scheduling of microgrids. *Chemical Engineering Research and Design, 131,* 318-332.

Kong, X., Liu, D., Wang, C., Sun, F. ve Li, S. (2020). Optimal operation strategy for interconnected microgrids in market environment considering uncertainty. *Applied Energy, 275,* 115336.

Koomey, J. G. (2008). Worldwide electricity used in data centers. *Environmental Research Letters, 3,* 1-8.

Korkas, C. D., Baldi, S., Michailidis, I. ve Kosmatopoulos, E. B. (2015). Intelligent energy and thermal comfort management in grid-connected microgrids with heterogeneous occupancy Schedule. *Applied Energy, 149,* 194-203.

Kumar, J. S., Raja, S. C., Srinivasan, D. ve Venkatesh, P. (2018). Hybrid renewable energy-based distribution system for seasonal load variations. *Int. Journal of Energy Research, 42,* 1066-1087.

Kumar V, A., Verma, A. ve Talwar, R. (2020). Optimal techno-economic sizing of a multi-generation microgrid system with reduced dependency on grid for critical health-care, educational and industrial facilities. *Energy, 208,* 118248.

Kwon, Y., Kwasinski, A. ve Kwasinski, A. (2016). Coordinated Energy Management in Resilient Microgrids for Wireless Communication Networks. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, 4/4,* 1158-1173.

Lei, X., Yan, W. J., Peng, P. ve Ye, T. (2015). An optimal purchase and sale power model considering microgrids. *Int. Trans. Electr. Energ. Syst., 25,* 246–261.

Leone, R. D., Giovannelli, A. ve Pietrini, M. (2017). Optimization of power production and costs in microgrids. *Optim. Lett., 11,* 497-520.

Leonori, S., Paschero, M., Mascioli, F. M. F. ve Rizzi, A. (2020). Optimization strategies for Microgrid energy management systems by Genetic Algorithms. *Applied Soft Computing Journal, 86,* 105903.

Levenbach, H. (2017). *Change & Chance Embraced: Achieving Agility with Smarter Forecasting in the Supply Chain*. Createspace, Amazon, ABD.

Li, G. ve Görges, D. (2019). Energy management strategy for parallel hybrid electric vehicles based on approximate dynamic programming and velocity forecast. *Journal of the Franklin Institute, 356,* 9502-9523.

Li, M., Zhang, X., Li, G. ve Jiang, C. (2016). A feasibility study of microgrids for reducing energy use and GHG emissions in an industrial application. *Applied Energy, 176,* 138-148.

Li, X. Wang, K., Liu, L. Xin, J., Yang, H. ve Gao, C. (2011). Application of the Entropy Weight and TOPSIS Method in Safety Evaluation of Coal Mines. *Procedia Engineering, 26*, 2085-2091.

Lin, G., Lin, A. ve Cao, J. (2021). Multidimensional KNN algorithm based on EEMD and complexity measures in financial time series forecasting. *Expert Systems with Applications, 168*, 114443.

Liu, C., Wang, Y. Wang, L. ve Chen, Z. (2019). Load-adaptive real-time energy management strategy for battery/ultracapacitor hybrid energy storage system using dynamic programming optimization. *Journal of Power Sources, 438*, 227024.

Liu, N., Yu, X., Wang, C. ve Wang, J. (2017). Energy Sharing Management for Microgrids With PV Prosumers: A Stackelberg Game Approach. *IEEE Transactions on Industrial Informatics, 13/3*, 1088-1098.

Liu, Z., Chen, Y., Zhuo, R. ve Jia, H. (2018). Energy storage capacity optimization for autonomy microgrid considering CHP and EV scheduling. *Applied Energy, 210*, 1113–1125.

Loeser, M. ve Redfern, M. A. (2010). Balancing power supply and demand in remote off-grid regions by means of a novel micro-scale combined feedstock biomass generation plant. *Int. J. Energy Res*., *34*, 986–1001.

Lokeshgupta, B. ve Sivasubramani, S. (2018). Multi-objective dynamic economic and emission dispatch with demand side management. *Electrical Power and Energy Systems, 97*, 334–343.

Lopes, R. F., Costa, F. F., Oliveira, A. ve Lima, A. C. C. (2018). Algorithm based on particle swarm applied to electrical load scheduling in an industrial setting. *Energy, 147*, 1007-1015.

Lopez-Salamanca, H., Arruda, L. V. R., Magatao, L. ve Normey-Rico, J. E. (2018). Optimization of Grid-Tied Microgrids Under Binomial Differentiated Tariff and Net Metering Policies: A Brazilian Case Study. *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*, *29*, 731–741.

Lu, R., Li, Y. C., Li, Y., Jiang, J. ve Ding, Y. (2020). Multi-agent deep reinforcement learning based demand response for discrete manufacturing systems energy management. *Applied Energy, 276*, 115473.

Lu, X., Zhou, M. C., Ammari, A. C. ve Ji, J. (2016). Hybrid Petri Nets for Modeling and Analysis of Microgrid Systems. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 3/4*, 349-356.

Luo, L., Abdulkareem, S. S., Rezvani, A., Miveh, M. R., Samad, S., Aljojo, N. ve Pazhoohesh, M. (2020). Optimal scheduling of a renewable based microgrid considering photovoltaic system and battery energy storage under uncertainty. *Journal of Energy Storage, 28*, 101306.

Maghami, M. R., Hassani, R., Gomes, C., Hizam, H., Othman, M. L. ve Behmanesh, M. (2020). Hybrid energy management with respect to a hydrogen energy system and demand response. *International Journal of Hydrogen Energy, 45*, 1499-1509.

Mahani, K., Farzan, F. ve Jafari, M. A. (2017). Network-aware approach for energy storage planning and control in the network with high penetration of renewables. *Applied Energy, 195*, 974-990.

Mallol-Poyato, R., Jimenez-Fernandez, S., Diaz-Villar, P. ve Salcedo-Sanz, S. (2016). Joint optimization of a Microgrid's structure design and its operation using a two-steps evolutionary algorithm. *Energy, 94*, 775-785.

Mallol-Poyato, R., Jimenez-Fernandez, S., Diaz-Villar, P. ve Salcedo-Sanz, S. (2017). Adaptive nesting of evolutionary algorithms for the optimization of Microgrid's sizing and operation scheduling. *Soft Comput., 21*, 4845–4857.

Marino, C. A. ve Marufuzzaman, M. (2020). A microgrid energy management system based on chance-constrained stochastic optimization and big data analytics. *Computers & Industrial Engineering, 143*, 106392.

Marzband, M., Alavi, H., Ghazimirsaeid, S. S., Uppal, H. ve Fernando, T. (2017b). Optimal energy management system based on stochastic approach for a home Microgrid with integrated responsive load demand and energy storage. *Sustainable Cities and Society, 28*, 256-264.

Marzband, M., Ghadimi, M. Sumper, A. ve Dominguez-Garcia, J. L. (2014). Experimental validation of a real-time energy management system using multi-period gravitational search algorithm for microgrids in islanded mode. *Applied Energy, 128*, 164-174.

Marzband, M., Ghazimirsaeid, S. S., Uppal, H. ve Fernando, T. (2017a). A real-time evaluation of energy management systems for smart hybrid home Microgrids. *Electric Power Systems Research, 143*, 624-633.

Marzband, M., Javadi, M., Pourmousavi, S. A. ve Lightbody, G. (2018). An advanced retail electricity market for active distribution systems and home microgrid interoperability based on game theory. *Electric Power Systems Research, 157*, 187-199.

Marzband, M., Sumper, A., Dominguez-Garcia, J. L. ve Gumara-Ferret, R. (2013a). Experimental validation of a real time energy management system for microgrids in islanded mode using a local day-ahead electricity market and MINLP. *Energy Conversion and Management, 76*, 314-322.

Marzband, M., Sumper, A., Ruiz-Alvarez, A., Dominguez-Garcia, J. L. ve Tomoiaga, B. (2013b). Experimental evaluation of a real time energy management system for stand-alone microgrids in day-ahead markets. *Applied Energy, 106*, 365-376.

Marzband, M., Yousefnejad, E., Sumper, A. ve Dominguez-Garcia, J. L. (2016). Real time experimental implementation of optimum energy management system in standalone Microgrid by using multi-layer ant colony optimization. *Electrical Power and Energy Systems, 75*, 265-274.

Mavrigiannaki, A., Kampelis, N., Kolokotsa, D., Marchegiani, D., Standardi, L., Isidori, D. ve Christalli, C. (2017). Development and testing of a

micro-grid excess power production forecasting algorithms. *Energy Procedia, 134*, 654-663.

Mazidi, M., Rezaei, N. ve Ghaderi, A. (2019). Simultaneous power and heat scheduling of microgrids considering operational uncertainties: A new stochastic p-robust optimization approach. *Energy, 185*, 239-253.

Mazidi, M., Zakariazadeh, A., Jadid, S. ve Siano, P. (2014). Integrated scheduling of renewable generation and demand response programs in a microgrid. *Energy Conversion and Management, 86*, 1 118–1127.

McIlvenna, A., Herron, A., Hambrick, J., Ollis, B. ve Ostrowski, J. (2020). Reducing the computational burden of a microgrid energy management system. *Computers & Industrial Engineering, 143*, 106384.

Misaghian, M. S., Saffari, M., Kia, M., Heidari, A., Shafie-khah, M. ve Catalao, J. P. S. (2018). Tri-level optimization of industrial microgrids considering renewable energy sources, combined heat and power units, thermal and electrical storage systems. *Energy, 161*, 396-411.

Misak, S., Stuchly, J., Platos, J. ve Krömer, P. (2015). A heuristic approach to Active Demand Side Management in Off-Grid systems operated in a Smart-Grid environment. *Energy and Buildings, 96*, 272–284.

Mohamed, M. A., Jin, T. ve Su, W. (2020). Multi-agent energy management of smart islands using primal-dual method of multipliers. *Energy, 208*, 118306.

Mohammadi, M., Hosseinian, S. H. ve Gharehpetian, G. B. (2012). GA-based optimal sizing of microgrid and DG units under pool and hybrid electricity markets. *Electrical Power and Energy Systems, 35*, 83-92.

Moretti, L., Martelli, E. ve Manzolini, G. (2020). An efficient robust optimization model for the unit commitment and dispatch of multi-energy systems and microgrids. *Applied Energy, 261*, 113859.

Moretti, L., Polimeni, S., Meraldi, L., Raboni, P., Leva, S. ve Manzolini, G. (2019). Assessing the impact of a two-layer predictive dispatch algorithm on design and operation of off-grid hybrid microgrids. *Renewable Energy, 143*, 1439-1453.

Murakami, D. ve Yamagata, Y. (2017). Micro grids clustering for electricity sharing: an approach considering micro urban structure. *Energy Procedia, 142*, 2748-2753.

Muralitharan, K., Sakthivel, R. ve Shi, Y. (2016). Multiobjective optimization technique for demand side management with load balancing approach in smart grid. *Neurocomputing, 177*, 110-119.

Müller, M. F., Thompson, S. E. ve Gadgil, A. J. (2018). Estimating the price (in)elasticity of off-grid electricity demand. *Development Engineering, 3*, 12-22.

Nan, S., Zhou, M. ve Li, G. (2018). Optimal residential community demand response scheduling in smart grid. *Applied Energy, 210*, 1280-1289.

Nasr, M. A., Nikkhah, S., Gharehpetian, G. B., Nasr-Azadani, E. ve Hosseinian, S. H. (2020). A multi-objective voltage stability constrained energy

management system for isolated microgrids. *Electrical Power and Energy Systems, 117*, 105646.

Nazari-Heris, M., Abapour, S. ve Mohammadi-Ivatloo, B. (2017). Optimal economic dispatch of FC-CHP based heat and power micro-grids. *Applied Thermal Engineering, 114*, 756–769.

Nazir, R., Laksono, H. D., Waldi, E. P., Ekaputra, E. ve Coveria, P. (2014). Renewable Energy Sources Optimization: A Micro-Grid Model Design. *Energy Procedia, 52*, 316-327.

Nguyen, T. L., Guillo-Sansano, E., Syed, M. H., Nguyen, V. H., Blair, S. M., Reguera, L., Tran, Q. T., Caire, R, Burt, G. M., Gavriluta, C. ve Luu, N. A. (2018). Multi-Agent System with Plug and Play Feature for Distributed Secondary Control in Microgrid Controller and Power Hardware-in-the-Loop Implementation. *Energies, 11*, 3253-3273.

Nosratabadi, S. M., Hooshmand, R. A. ve Gholipour, E. (2016). Stochastic profit-based scheduling of industrial virtual power plant using the best demand response strategy. *Applied Energy, 164*, 590–606.

Nosratabadi, S. M., Hooshmand, R. A., Gholipour, E. ve Rahimi, S. (2017). Modeling and simulation of long term stochastic assesment in industrial microgrids proficiency considering renewable resources and load growth. *Simulation Modelling Practice and Theory, 75*, 77-95.

Nouri, A., Khodaei, H., Darvishan, A., Sharifian, S. ve Ghadimi, N. (2018). Optimal performance of fuel cell-CHP-battery based micro-grid under real-time energy management: An epsilon constraint method and fuzzy satisfying approach. *Energy, 159*, 121-133.

Obara, S., Morizane, Y. ve Morel, J. (2013). Economic efficiency of a renewable energy independent microgrid with energy storage by a sodiumesulfur battery or organic chemical hydride. *Int. Journal of Hydrogen Energy, 38*, 8888-8902.

Oppenheim, A. V. ve Willsky, A. S. (1997). *Signals & Sytems*. Prentice Hall, New Jersey, ABD.

O'Shaughnessy, E., Cutler, D., Ardani, K. ve Margolis, R. (2018). Solar plus: Optimization of distributed solar PV through battery storage and dispatchable load in residential buildings. *Applied Energy, 213*, 11-21.

Othman, A. M. ve Gabbar, H. A. (2017). Advanced optimization methods of micro energy grids. In H.A. Gabbar (Ed.), *Smart Energy Grid Engineering* (381-398). Londra : Elsevier.

Petreus, D., Etz, R., Patarau, T. ve Cirstea, M. (2019). An islanded microgrid energy management controller validated by using hardware-in-the-loop emulators. *Electrical Power and Energy Systems, 106*, 346-357.

Pham, T. T., Kuo, T. C. ve Bui, D. M. (2020). Reliability evaluation of an aggregate battery energy storage system in microgrids under dynamic operation. *Electrical Power and Energy Systems, 118*, 105786.

Pinceti, P., Vanti, M., Brocca, C., Carnesecchi, M. ve Macera, G. P. (2015). Design criteria for a power management system for microgrids with renewable sources. *Electric Power Systems Research, 122*, 168-179.

Pu, Y., Li, Q., Chen, W. ve Liu, H. (2019). Hierarchical energy management control for islanding DC microgrid with electric-hydrogen hybrid storage system. *Int. Journal of Hydrogen Energy, 44,* 5153-5161.

Qiu, J., Zhao, J., Yang, H., Wang, D. ve Dong, Z. Y. (2018). Planning of solar photovoltaics, battery energy storage system and gas micro turbine for coupled micro energy grids. *Applied Energy, 219,* 361-369.

Rahim, S., Javaid, N., Khan, R. D., Nawaz, N. ve Iqbal, M. (2019). A convex optimization based decentralized real-time energy management model with the optimal integration of microgrid in smart grid. *Journal of Cleaner Production, 236,* 117688.

Rathor, S. K. ve Saxena, D. (2020). Energy management system for smart grid: An overview and key issues. *International Journal of Energy Research, 44,* 4067-4109.

Reeves, C. R. (1991). *Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems*. John Wiley & Sons, New York, ABD.

RGI (Renewables Grid Initiative) (2017). Glossary of technical terms: https://renewables-grid.eu/fileadmin/user_upload/UP_Glossary_of_Technical_Terms_v4_AC__1_.pdf - 2017

Rong, H., Zhang, H., Xiao, S., Li, C. ve Hu, C. (2016). Optimizing energy consumption for data centers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 58,* 674-691.

Roy, K., Mandal, K. K., Mandal, A. C. ve Patra, S. N. (2018). Analysis of energy management in micro grid – A hybrid BFOA and ANN approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 82,* 4296-4308.

Rudberg, M., Waldemarsson, M. ve Lidestam, H. (2013). Strategic perspectives on energy management: A case study in the process industry. *Applied Energy, 104,* 487–496.

Salahi, N. ve Jafari, M. A. (2016). Energy-Performance as a driver for optimal production planning. *Applied Energy, 174,* 88-100.

Sardou, I. G., Zare, M. ve Azad-Farsani, E. (2018). Robust energy management of a microgrid with photovoltaic inverters in VAR compensation mode. *Electrical Power and Energy Systems, 98,* 118-132.

Sarshar, J., Moosapour, S. S. ve Joorabian, M. (2017). Multi-objective energy management of a micro-grid considering uncertainty in wind power forecasting. *Energy, 139,* 680-693.

Sawyer, R. L. (2011). Calculating Total Power Requirements for Data Centers. *White Paper 3 Rev. 1*, Schneider Electric's Data Center Science Center.

Schulze, M., Nehler, H., Ottosson, M. ve Thollander, P. (2016). Energy management in industry - a systematic review of previous findings and an integrative conceptual framework. *Journal of Cleaner Production, 112,* 3692-3708.

Sedighizadeh, M., Esmaili, M., Jamshidi, A. ve Ghaderi, M. H. (2019a). Stochastic multi-objective economic-environmental energy and reserve

scheduling of microgrids considering battery energy storage system. *Electrical Power and Energy Systems, 106,* 1-16.

Sedighizadeh, M., Mohammadpour, A. H. ve Alavi, S. M. M. (2019b). A two-stage optimal energy management by using ADP and HBB-BC algorithms for microgrids with renewable energy sources and storages. *Journal of Energy Storage, 21*, 460-480.

Shamshuddin, M. A., Babu, T. S., Dragicevic, T., Miyatake, M. ve Rajasekar, N. (2017). Priority-based Energy Management Technique for Integration of Solar PV, Battery, and Fuel Cell Systems in an Autonomous DC Microgrid. *Electric Power Components and Systems*, *45/17,* 1881-1891.

Sharma, S., Bhattacharjee, S. ve Bhattacharya, A. (2018). Probabilistic operation cost minimization of Micro-Grid. *Energy*, *148,* 1116-1139.

Shen, J., Jiang, C., Liu, Y. ve Wang, X. (2016). A Microgrid Energy Management System and Risk Management Under an Electricity Market Environment. *IEEE Access*, *4,* 2349-2356.

Smith, C. B. ve Parmenter, K. (2015). *Energy Management Principles*. Elsevier.

Sreedharan, P., Farbes, J., Cutter, E., Woo, C. K. ve Wang, J. (2016). Microgrid and renewable generation integration: University of California, San Diego. *Applied Energy, 169,* 709-720.

Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Irwin/McGraw-Hill, Boston, ABD.

Sun, H. S. ve Lee, S. E. (2006). Case study of data centers' energy performance. *Energy and Buildings, 38,* 522-533.

Tabar, V. S. ve Abbasi, V. (2019). Energy management in microgrid with considering high penetration of renewable resources and surplus power generation problem. *Energy, 189,* 116264.

Tavakoli, M., Shokridehaki, F., Akorede, M. F., Marzband, M., Vechiu, I. ve Pouresmaeil, E. (2018). CVaR-based energy management scheme for optimal resilience and operational cost in commercial building microgrids. *Electrical Power and Energy Systems, 100,* 1-9.

Thomas, D., D'Hoop, G., Deblecker, O., Genikomsakis, K. N. ve Ioakimidis, C. S. (2020). An integrated tool for optimal energy scheduling and power quality improvement of a microgrid under multiple demand response schemes. *Applied Energy, 260,* 114314.

Tu, T., Rajarathnam, G. P. ve Vassallo, A. M. (2019). Optimization of a stand-alone photovoltaic–wind–diesel–battery system with multilayered demand scheduling. *Renewable Energy, 131*, 333-347.

Uddin, M. ve Rahman, A. A. (2010). Server Consolidation: An Approach to Make Data Centers Energy Efficient & Green. *International Journal of Scientific & Engineering Research, 1,* 1-7.

Ufluoğlu, E. E. (2018). *Ana Sisteme Bağlı Bir Mikro Şebeke için Gün İçi Elektrik Piyasasına Dayalı Çizelgeleme* (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Urgaonkar, R., Urgaonkar, B., Neely, M. J. ve Sivasubramanian, A. (2011). Optimal Power Cost Management Using Stored Energy in Data Centers. *SIGMETRICS'11,* Kaliforniya, ABD, 7-11 Haziran.

URL-1 <https://www.engr.ncsu.edu/news/2015/10/06/scheduling-energy-a-key-to-the-smart-grid/#:~:text=A%20new%20technique%20for%20%E2%80%9Cscheduling,both%20conventional%20and%20renewable%20sources.>, erişim tarihi 25.01.2021.

URL-2 <https://www.bddk.org.tr/ContentBddk/dokuman/mevzuat_0867.pdf>, erişim tarihi 18.10.2018.

URL-3 <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2016/11/20161122-2.htm>, erişim tarihi 27.09.2018.

URL-4 <https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en >, erişim tarihi 28.06.2020.

URL-5 <https://www.enerjiatlasi.com/>, erişim tarihi 19.12.2020.

URL-6 <https://www.fgwilson.com/en_GB/products/new/fg-wilson/diesel-generators /medium-range-225-938-kva/227227255580579.html>, erişim tarihi 19.12.2020.

URL-7 < https://www.jinkosolar.com/en >, erişim tarihi 01.07.2020.

URL-8 <https://www.vestas.com/ >, erişim tarihi 01.07.2020.

Van Ackooij, W., Boeck, J. D., Detienne, B., Pan, S. ve Poss, M. (2018). Optimizing power generation in the presence of micro-grids. *European Journal of Operational Research, 271*, 450-461.

Vergara-Dietrich, J. D., Morato, M. M., Mendes, P. R. C., Cani, A. A., Normey-Rico, J. E. ve Bordons, C. (2019). Advanced chance-constrained predictive control for the efficient energy management of renewable power systems. *Journal of Process Control, 74*, 120-132.

Wang, L., Li, Q., Ding, R., Sun, M. ve Wang, G. (2017). Integrated scheduling of energy supply and demand in microgrids under uncertainty: A robust multi-objective optimization approach. *Energy, 130*, 1-14.

Wang, S., Gangammanavar, H., Ekşioğlu, S. D. ve Mason, S. J. (2019). Stochastic Optimization for Energy Management in Power Systems With Multiple Microgrids. *IEEE Transactions on Smart Grid, 10(1),* 1068-1079.

Wanitschke, A., Pieniak, N. ve Schaller, F. (2017). Economic and environmental cost of self-sufficiency - analysis of an urban micro grid. *Energy Procedia, 135*, 445-451.

Winston, W. L. (2004). *Operations Research: Applications and Algorithms*. Thomson: Brooks/Cole, Michigan, ABD.

Wu, Q. ve Ren, H. (2017). Design and Evaluation of a CCHP based Micro-grid for an Urban Area. *Energy Procedia, 143*, 798-803.

Wu, Y. C., Chen, M. J., Lin, J. Y., Chen, W. S. ve Huang, W. L. (2013). Corrective economic dispatch in a microgrid. *International Journal of Numerical Modelling, 26*, 140-150.

Wu, Y., Ravey, A., Chrenko, D. ve Miraoui, A. (2019). Demand side energy management of EV charging stations by approximate dynamic programming. *Energy Conversion and Management, 196*, 878-890.

Xiao, F. ve Ai, Q. (2017). New modeling framework considering economy, uncertainty, andsecurity for estimating the dynamic interchange capability of multi-microgrids. *Electric Power Systems Research, 152*, 237-248.

Xing, X., Xie, L. ve Meng, H. (2019). Cooperative energy management optimization based on distributed MPC in grid-connected microgrids community. *Electrical Power and Energy Systems, 107*, 186-199.

Xiong, L., Li, P. Wang, Z. ve Wang, J. (2020). Multi-agent based multi objective renewable energy management for diversified community power consumers. *Applied Energy, 259*, 114140.

Yang, T., Zhao, Y., Pen, H. ve Wang, Z. (2018). Data center holistic demand response algorithm to smooth microgrid tie-line power fluctuation. *Applied Energy, 231*, 277-287.

Yao, J., Zhang, Y., Yan, Z. ve Li, L. (2018). A Group Approach of Smart Hybrid Poles with Renewable Energy, Street Lighting and EV Charging Based on DC Micro-Grid. *Energies, 11*, 3445-3461.

Yazdaninejad, M. ve Amjady, N. (2017). Risk-minimizing stochastic self-scheduling model for microgrid in day-ahead electricity market. *Int. Trans. Electr. Energ. Syst., 27*, 1-18.

Yilmaz, E. N., Aksoz, A. ve Saygin, A. (2018). Design of an off-grid model of micro-smart grid connection of an asynchronous motor fed with LUO converter. *Electrical Engineering, 100*, 2659–2666.

Yin, S., Ai, Q., Li, Z., Zhang, Y. ve Lu, T. (2020). Energy management for aggregate prosumers in a virtual power plant: A robust Stackelberg game approach. *Electrical Power and Energy Systems, 117*, 105605.

Yu, N., Kang, J. S., Chang, C. C., Lee, T. Y. ve Lee, D. Y. (2016). Robust economic optimization and environmental policy analysis for microgrid planning: An application to Taichung Industrial Park, Taiwan. *Energy, 113*, 671-682.

Yuan, D., Lu, Z., Zhang, J. ve Li, X. (2019). A hybrid prediction-based microgrid energy management strategy considering demand-side response and data interruption. *Electrical Power and Energy Systems, 113*, 139-153.

Yuan, X. H., Ji, X., Chen, H., Chen, B. ve Chen, G. Q. (2008). Urban dynamics and multiple-objective programming: A case study of Beijing. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 13*, 1998-2017.

Zakariazadeh, A., Jadid, S. ve Siano, P. (2014). Smart microgrid energy and reserve scheduling with demand response using stochastic optimization. *Electrical Power and Energy Systems, 63*, 523-533.

Zeng, Y., Wang, D., Zhang, R., Mu, Y. ve Jia, H. (2017). A new demand response algorithm to maximize renewable energy usage for grid-connect microgrid. *Energy Procedia, 142*, 2120-2125.

Zhang, G., Patuwo, B. E. ve Hu, M. Y. (1998). Forecasting with Artificial Neural Networks: The State of the Art. *International Journal of Forecasting, 14*, 35-62.

Zhang, H., Gu, C., Gu, L. ve Zhang, Y. (2011). The evaluation of tourism destination competitiveness by TOPSIS & information entropy – A case in the Yangtze River Delta of China. *Tourism Management, 32*, 443-451.

Zhang, K., Li, J., He, Z. ve Yan, W. (2018b). Microgrid energy dispatching for industrial zones with renewable generations and electric vehicles via stochastic optimization and learning. *Physica A, 501*, 356-369.

Zhang, Y. ve Wei, W. (2020). Model construction and energy management system of lithium battery, PV generator, hydrogen production unit and fuel cell in islanded AC microgrid. *International Journal of Hydrogen Energy, 45*, 16381-16397.

Zhang, Y., Meng, F., Wang, R., Kazemtabrizi, B. ve Shi, J. (2019). Uncertainty-resistant stochastic MPC approach for optimal operation of CHP microgrid. *Energy, 179*, 1265-1278.

Zhang, Y., Meng, F., Wang, R., Zhu, W. ve Zeng, X. J. (2018a). A stochastic MPC based approach to integrated energy management in microgrids. *Sustainable Cities and Society, 41*, 349-362.

Zhou, F., Zhang, Q., Sornette, D. ve Jiang, L. (2019). Cascading logistic regression onto gradient boosted decision trees for forecasting and trading stock indices. *Applied Soft Computing Journal, 84*, 105747.

Ziogou, C., Ipsakis, D., Seferlis, P., Bezergianni, S., Papadopoulou, S. ve Voutetakis, S. (2013). Optimal production of renewable hydrogen based on an efficient energy management strategy. *Energy, 55*, 58-67.

EKLER

EK A: Kaynakça tablosu
EK B: Mikro şebekenin sistem dinamiği anketi
EK C: Tahmin sonuçları

EK A Kaynakça tablosu

Çizelge A.1 : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
1	Acharya ve diğ, 2018	Frekans kontrolü koordinasyonu	Sistem bileşenlerinin teknik kısıtları ve yük talebi	Talep tarafı yönetimi	Fotovoltaik sistem ve dizel jeneratör	Batarya	Termostatik kontrollü yükler	Gerçek zamanlı simülasyon
2	Afrakhte ve Bayat, 2020a	Yük maksimizasyonu, voltaj değişkenlikleri minimizasyonu ve kâr maksimizasyonu	Güç dengesi ve akışı kısıtları, güç alışverişi sınırları, üretim kapasiteleri, teknik kısıtlar, yük kesintisi kısıtları ve batarya kısıtları	Enerji yönetimi	Fotovoltaik sistem, rüzgâr türbinleri ve mikro türbin	Sabit ve mobil bataryalar	Ana şebeke bağlantısı	Arama hedefli karışık evrimsel algoritma
3	Afrakhte ve Bayat, 2020b	Çoklu mikro şebekelerin optimizasyon ve koordinasyonunu sağlama	Güç dengesi ve akışı kısıtları, güç alışverişi sınırları, üretim kapasiteleri, teknik kısıtlar ve batarya kısıtları	Enerji yönetimi	Yenilenebilir kaynaklar ve mikro türbin	Batarya	Ana şebeke bağlantısı	Tip-2 bulanık kümeler ve arama hedefli karışık evrimsel algoritma
4	Aghajani ve diğ, 2015	İşletme maliyeti ve sera gazı salımı optimizasyonu	Yük dengesi, güç üretim kapasiteleri ve batarya limitleri	Talep tepkisi	Rüzgâr türbini, fotovoltaik hücreler ve mikro türbin	Yakıt hücresi ve batarya	-	Çok amaçlı parçacık sürü optimizasyonu

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
5	Aghajani ve diğ, 2017	Yenilenebilir kaynakların belirsizliği altında akıllı bir mikro şebekenin operasyon optimizasyonu	İşletme maliyetleri, sera gazı salımı ve güç dengesi	Talep tarafı yönetimi ve talep tepkisi	Fotovoltaik sistem ve rüzgâr türbini	Batarya	Ana şebeke	Çok amaçlı parçacık sürü optimizasyonu
6	Aktas ve diğ, 2018	Talep değişkenliğine cevap vermek için güç arzı yönetimi	Sistem bileşenlerinin teknik ve fiziksel kısıtları	Enerji yönetimi	Fotovoltaik sistem	Ultra-kapasitör ve batarya	Ana şebeke ve akıllı şebeke altyapısı	Simülasyon
7	Alahmed ve Al-Muhaini, 2020	Operasyonel maliyetlerin minimizasyonu	Sistem bileşenlerinin teknik kısıtları ve yük öncelik listesi	Talep tarafı yönetimi	Fotovoltaik sistem ve rüzgâr türbinleri	Batarya	Ana şebeke bağlantısı	Yapay sinir ağları ve bulanık mantık
8	Alharbi ve Bhattacharya, 2018	Maliyet minimizasyonuyla optimal depolama kapasitesini belirleme	Güç dengesi, üretici kısıtları, rezerv ve kapasite kısıtları ve bütçe	Enerji yönetimi	Rüzgâr türbinleri, fotovoltaik paneller ve yakıt hücresi	Batarya	-	Stokastik karışık tam sayılı doğrusal programlama ve simülasyon

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
9	Amirkhan ve diğ, 2020	Bir mikro şebekenin değişkenlikler altında kontrolünün yapılması	Sistem bileşenlerinin teknik kısıtları	Enerji yönetimi	Fotovoltaik sistem	Lityum batarya ve dağıtık enerji depolama sistemi	Ana şebeke bağlantısı	Pasiflik teorisi ve kayma modu düzlemleri
10	Amrollahi ve Bathaee, 2017	Yük çizelgeleme ve yaşam döngüsü maliyeti minimizasyonu	Mikro şebeke bileşenlerinin fiziksel kısıtları, güç dengesi, enerji güvenliği ve talep tepkisi kısıtları	Talep tepkisi	Fotovoltaik sistem ve rüzgâr türbini	Batarya	Evirgeç	Karışık tam sayılı doğrusal programlama
11	Anand ve Ramasubbu, 2018	Güç üretim maliyeti minimizasyonu	Güç dengesi ve üretim kapasiteleri	Gerçek zamanlı enerji yönetimi ve ekonomik sera gazı salımı dağıtımı	Rüzgâr türbinleri ve fotovoltaik sistem	Yakıt hücresi	-	Parçacık sürü optimizasyonu

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
12	Arefi ve Shahnia, 2018	Teknik, operasyonel ve çevresel maliyetlerin minimizasyonu ile voltaj-frekans yönetimi	Şarj/deşarj kısıtları, güç dengesi ve teknik kısıtlar	Talep tepkisi	Dizel jeneratör	Enerji depolama sistemi	-	Parçacık sürü optimizasyonu
13	Arif ve diğ, 2014	Optimum güç dağıtım çizelgesi elde etmek	Kullanıcı tercihleri ve üretim kapasitesi	Ekonomik dağıtım ve talep tarafı yönetimi	Rüzgâr türbini ve fotovoltaik paneller	Enerji depolama sistemi	-	Genetik algoritma
14	Aslam ve diğ, 2020	Akıllı cihaz ve elektrikli araçların kullanımını çizelgeleyerek enerji maliyeti minimizasyonu	Güç dengesi ve sistem bileşenlerinin teknik kısıtları	Enerji yönetimi ve tahmin	Fotovoltaik sistem ve rüzgâr türbinleri	Batarya	Ana şebeke bağlantısı, akıllı sayaç ve evirgeç	Karışık tam sayılı doğrusal programlama ve YSA
15	Atawi ve Kassem, 2017	Normal ve maksimum güç durumlarında sistem organizasyonu	Sistem bileşenlerinin teknik ve fiziksel kısıtları	Enerji yönetimi	Fotovoltaik sistem	Batarya	Su pompalama sistemi, indüksiyon motoru ve endüstriyel pompa	Yapay arı kolonisi algoritması

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
16	Aviles ve diğ, 2019	Optimal boyutlandırma ile maliyet minimizasyonu	Yenilenebilir kaynaklardaki, maliyetlerdeki, dizel yakıt fiyatlarındaki ve tarifelerdeki değişkenlikler ve teknik kısıtlar	Enerji yönetimi ve talep tepkisi	Fotovoltaik sistem, rüzgâr türbinleri ve dizel jeneratör	Batarya	Ana şebeke bağlantısı	İki seviyeli optimizasyon
17	Azaza ve Wallin, 2017	İşletme maliyetleri, sistem güvenliği ve çevresel etki optimizasyonu	Güç üretim kapasiteleri	Enerji yönetimi	Fotovoltaik paneller, rüzgâr türbinleri ve dizel jeneratör	Batarya	AC/DC evirgeç, şarj kontrolörü ve çift yönlü evirgeç	Parçacık sürü optimizasyonu
18	Bahlawan ve diğ, 2019	Boyutlandırma ve operasyon optimizasyonu	Güç dengesi, talep kısıtları ve teknik kısıtlar	Enerji yönetimi	Fotovoltaik panel ve kombine ısı ve güç sistemleri	Sıcak su depolama sistemi	Ana şebeke bağlantısı, ısı pompaları ve termal toplayıcı	Dinamik programlama
19	Bahramara ve Golpira, 2018	Mikro şebeke bileşenlerinin optimal çizelgesini elde etmek	Güç dengesi ve depolama sistemi kısıtları	Enerji yönetimi	Dağıtık güç üreticileri	Batarya	Ana şebeke bağlantısı ve şarj edilebilir hibrit elektrikli araçlar	Gürbüz optimizasyon

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
20	Banaei ve Rezaee, 2018	İşletim maliyetleri minimizasyonu	Üreticilerin ve depolama sisteminin kapasiteleri, şarj/deşarj kısıtları ve yük talebi	Enerji yönetimi	Rüzgâr türbinleri ve fotovoltaik paneller	Yakıt hücresi ve enerji depolama sistemi	Ana şebeke	Bulanık doğrusal programlama
21	Bandeiras ve diğ, 2018	Mikro şebekelerde enerji kaynaklarının merkeziyetçi ve merkezsizleşmiş biçimlerde dağıtımının analizi ve karşılaştırılması	Voltaj kısıtları, güç dengesi ve maliyetler	Performans değerlendirme	Fotovoltaik paneller ve rüzgâr türbinleri	Batarya	Ana şebeke ve merkezi iletişim ağı	Sayısal analiz
22	Barbato ve Capone, 2014	Ödeme ve termal konforsuzluk minimizasyonu ile yerel kaynak kullanımı maksimizasyonu	Cihazların çizelgeleme kısıtları ve güç dengesi	Talep tarafı yönetimi	Yerel yenilenebilir kaynaklar	Enerji depolama sistemi	Isıtma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) cihazları	Karışık tam sayılı programlama

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
23	Bernardi ve diğ, 2021	Hata tolerans kontrolü ve kâr maksimizasyonu	Operasyonel kısıtlar ve yük talepleri	Enerji yönetimi	Fotovoltaik sistem, rüzgâr türbinleri, kombine ısı ve güç sistemleri ve biyokütle	Batarya	Kazanlar ve soğutucular	Hareketli tahmin ve model öngörülü kontrol
24	Bogaraj ve Kanakaraj, 2016	Enerji kullanımı optimizasyonu	Atmosferik sıcaklık, güneş ışınımı, yükler ve bileşenlerin teknik kısıtları	Enerji yönetimi ve tahmin	Rüzgâr türbini, fotovoltaik sistem ve yakıt hücresi	Batarya	Evirgeç ve konverter	ARMA ve simülasyon
25	Borhanazad ve diğ, 2014	Elektrik maliyeti ve güç kaybı olasılığı optimizasyonu	Üreticiler ve depolama ekipmanı kapasiteleri, yenilenebilir faktörü ve hizmet kalitesi	Enerji yönetimi	Rüzgâr türbinleri, fotovoltaik paneller ve dizel jeneratör	Batarya	-	Çok amaçlı parçacık sürü optimizasyonu
26	Bracale ve diğ, 2015	Gün öncesi çizelgeleme ile günlük enerji maliyeti minimizasyonu	Sistem bileşenlerinin teknik kısıtları	Enerji yönetimi	Fotovoltaik panel ve mikro türbin	Batarya	-	Tam sayılı programlama

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
27	Bukar ve diğ, 2020	Bir mikro şebekenin uzun dönemli kapasite planlaması	Sistem bileşenlerinin operasyonel ve fiziksel kısıtları	Enerji yönetimi	Fotovoltaik sistem, rüzgâr türbini ve dizel jeneratör	Batarya	Evirgeç	Çekirge optimizasyonu algoritması
28	Camacho ve diğ, 2017	Endüstriyel mikro şebekelerin operasyonel kontrol şemalarının karşılaştırılması	Güç kalitesi, voltaj ve yük talebi	Karşılaştırma	Fotovoltaik sistem	Batarya	Ana şebeke, kontrolörler ve evirgeç	Simülasyon
29	Cansiz ve diğ, 2018	Önerilen enerji depolama sisteminin mikro şebekeye entegresi	Sistem bileşenlerinin teknik ve fiziksel kısıtları	Enerji yönetimi	Fotovoltaik sistem ve rüzgâr türbinleri	Lityum-iyon batarya ve süper iletken manyetik enerji depolama sistemi	Ana şebeke	Simülasyon
30	Casolino ve diğ, 2018	Önerilen sistemin doğrulanması	Yük talebi ve sistem bileşenlerinin teknik kısıtları	Enerji yönetimi	Üç adet güç üreticisi	-	Ana şebeke ve döngüde donanımsal benzetim mimarisi	Gerçek zamanlı simülasyon

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
31	Cesena ve diğ, 2018	Bir mikro şebekede enerji, rezerv ve güvenlik hizmetlerinin eş zamanlı optimizasyonu	Kaynak kapasiteleri, depolama kısıtları ve fiyatlar	Teknoekonomik analiz	Kombine ısı ve güç sistemleri, fotovoltaik paneller ve gaz kazanları	Termal enerji deposu ve batarya	Ana şebeke	Karışık tam sayılı doğrusal olmayan programlama ve Monte Carlo simülasyonu
32	Cha ve diğ, 2015	Çizelgeleme ile fayda maksimizasyonu	Saatlik elektrik fiyatları, işletme maliyetleri ve şarj/deşarj kısıtları	Talep tepkisi	-	Batarya	Akıllı yükler ve ana şebeke	Bulanık mantık ve simülasyon
33	Chassin ve diğ, 2018	Optimal güç eğrisi hesaplama	Enerji fiyatı ve fiyattaki yükselişler	Optimal enerji dağıtımı ve talep tepkisi	Rüzgâr türbini, hidroelektrik enerjisi ve fotovoltaik sistem	-	Kontrol bölgeleri	Optimal kontrol ve simülasyon
34	Chaudhary ve Rizwan, 2018	Enerji maliyetleri minimizasyonu	Tüketici yük çizelgeleri ve üretici ve bataryaların kapasiteleri	Talep tepkisi ve tahmin	Fotovoltaik paneller	Pompalı hidro depolama sistemi	Ana şebeke	Yapay sinir ağları ve dalgacık dönüşümü

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
35	Chen ve diğ, 2020	Gün öncesi güç çizelgelemesi ile operasyon maliyetlerinin minimizasyonu	Güç dengesi, üretim kapasiteleri ve batarya limitleri	Enerji yönetimi	Fotovoltaik sistem	Batarya	Ana şebeke bağlantısı	Modifiye edilmiş "krill herd" algoritması
36	Chen ve Trifkovic, 2018	Elektrik piyasası büyüme oranı maksimizasyonu	Güç dengesi ve sistem bileşenlerinin üretim kapasiteleri	Tahmin ve enerji yönetimi	Fotovoltaik üreticiler ve rüzgâr türbini	Batarya	Ana şebeke	Yapay sinir ağları
37	Choobineh ve diğ, 2018	Ağ topolojisini yeniden yapılandırarak arz edilen yük miktarını maksimize etmek ve yedek enerji kaynaklarının kullanımını maksimize etmek	Güç dengesi, üretim kapasiteleri ve şarj/deşarj kısıtları	Enerji yönetimi	Dağıtık enerji kaynakları	Batarya	Ana şebeke	Karışık tam sayılı doğrusal olmayan programlama

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
38	Choobineh ve Mohagheghi, 2016	İşletme maliyetleri ve kullanım ömrü kayıpları minimizasyonu	Güç dengesi, üretici kapasiteleri, talep tepkisi kısıtları ve birimlerin kullanım ömürleri ve kapasiteleri	Enerji yönetimi ve talep tepkisi	Fotovoltaik sistem ve dizel jeneratör	-	-	Hedef programlama
39	Cintuglu ve diğ, 2015	Dağıtık enerji kaynaklarının çizelgelenmesi	Gün öncesi piyasası koşulları ve sistem bileşenlerinin teknik kısıtları	Birim yüklenme problemi	Yenilenebilir kaynaklar	Batarya	Ana şebeke ve izleme sistemleri	Ajan temelli oyun teorisi
40	Derakhshandeh ve diğ, 2013	Çizelgeleme periyodu boyunca toplam maliyet minimizasyonu	Fabrikaların kısıtları, fotovoltaik depolama kısıtları ve fişe takılabilir elektrikli cihazların dinamik şarj kısıtları	Enerji yönetimi	Fotovoltaik sistem	Fotovoltaik depolama sistemi ve fişe takılabilir elektrikli cihaz bataryası	Fişe takılabilir elektrikli cihazlar ve ana şebeke	Dinamik programlama

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
41	Derakhshandeh ve diğ, 2015	Kar maksimizasyonu	Yük dengesi, ısı üretimi, hat kapasitesi ve fişe takılabilir elektrikli cihazların ve müşterilerin kısıtları	Birim yüklenme problemi	Fotovoltaik sistem ve kombine ısı ve güç sistemleri	-	Ana şebeke ve fişe takılabilir elektrikli cihazlar	Simülasyon
42	Derakhshandeh ve diğ, 2017	Güç üretimi çizelgeleme ile maliyet minimizasyonu	Ağ güvenliği, fabrikaların, fişe takılabilir elektrikli cihazların ve stokastik yüklerin kısıtları	Enerji yönetimi	Fotovoltaik sistem	Batarya	Fişe takılabilir elektrikli cihazlar	Karışık tam sayılı doğrusal programlama ve simülasyon
43	Derakhshandeh ve diğ, 2019	Güç üretimi çizelgeleme ile maliyet minimizasyonu	Güç akışı, güç dengesi, aktif ve reaktif güç üretimi limitleri ve bileşen kapasiteleri	Optimal güç akışı	Kombine ısı ve güç sistemleri	Batarya	Fişe takılabilir elektrikli cihazlar ve kazanlar	Dinamik programlama
44	Egbue ve Uko, 2020	Bir mikro şebekenin güç akışı çizelgelemesi	Güç dengesi ve sistem bileşenlerinin teknik kısıtları	Enerji yönetimi	Fotovoltaik sistem ve rüzgâr türbinleri	Batarya	Ana şebeke bağlantısı ve elektrikli araçlar	Ajan temelli modelleme ve simülasyon

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
45	El-Baz ve diğ, 2019	Üreten tüketiciler arasındaki enerji alım satımını kolaylaştıracak bir açık artırma modeli önerilmesi	Sistem bileşenlerinin fiziksel ve teknik kısıtları	Enerji yönetimi	Kombine ısı ve güç sistemleri	Batarya	Ana şebeke bağlantısı ve ısı pompası	Matematiksel modelleme ve simülasyon
46	Fabrizio ve diğ, 2017	Yerel şebeke ile ana şebeke arasındaki enerji alışverişi minimizasyonu ve yenilenebilir kaynak kullanımı optimizasyonu	Zirai bölgenin teknik kısıtları ve yük çizelgeleme kısıtları	Enerji yönetimi	Benzin, termal enerji, fotovoltaik paneller ve kojenerasyon tesisi	-	Akıllı şebeke altyapısı ve izleme sistemleri	Kestirimci optimizasyon algoritması
47	Fang ve diğ, 2018	Kıyıdan uzak endüstriyel mikro şebekelerde enerji dağıtımı	Dizel jeneratör kullanımı, şarj/deşarj kısıtları ve güç dengesi	Enerji yönetimi	Yenilenebilir kaynaklar ve dizel jeneratör	Enerji depolama sistemi	-	Bulanık karar verme

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
48	Firouzmakan ve diğ, 2019	Operasyon maliyetlerinin azaltılması ve mikro şebeke güvenilirliğinin arttırılması	Elektriksel ve termal güç dengesi	Talep tepkisi ve yük kaydırma	Mikro kombine ısı ve güç sistemleri ve yenilenebilir kaynaklar	Batarya	Ana şebeke bağlantısı ve yedek kazanlar	Stokastik programlama ve çok amaçlı optimizasyon
49	Foroutan ve diğ, 2016	Yakıt tüketimi minimizasyonu ve voltaj profili ve kararlılığının geliştirilmesi	Voltaj limiti, termal limit ve bileşenlerin üretim kapasiteleri	Optimal enerji yönetimi	Rüzgâr türbinleri ve doğal gaz	-	-	Harmonik arama algoritması ve genetik algoritma
50	Ghanaee ve Foroud, 2019	Optimal boyutlandırma	Turbo genleştiricinin teknik kısıtları	Enerji yönetimi	Doğal gaz, fotovoltaik sistem ve kombine ısıtma, soğutma ve güç sistemleri	Batarya	Ana şebeke bağlantısı	Parçacık sürü optimizasyonu

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
51	Ghanbari ve diğ, 2020	Sera gazı salımını azaltma, operasyon maliyetlerini minimize etme, yük taleplerini karşılama ve çift yönlü bir ağ oluşturma	Yük eğrileri, güç dengesi ve sistem bileşenlerinin teknik kısıtları	Enerji yönetimi	Yenilenebilir üreticiler, dizel jeneratör, yakıt hücresi ve kombine ısı ve güç sistemleri	Batarya	Ana şebeke bağlantısı, kazanlar ve soğutma sistemleri	Karışık tam sayılı doğrusal olmayan programlama
52	Ghasemi ve Enayatzare, 2018	Güç üretimi ve depolama bileşenlerinin optimal çizelgelemesi	Güç dengesi, maliyet, yük talebi, teknik kısıtlar, güvenlik kısıtları ve güç akışı	Talep tepkisi ve enerji yönetimi	Fotovoltaik sistem ve rüzgâr türbinleri	Pompalı depolama sistemi	-	İki nokta tahmin yöntemi
53	Ghasemi, 2018	Güç alışverişinin gün öncesi çizelgeleme optimizasyonu	Tahmin edilen rüzgâr gücü, yük talebi, su talebi ve piyasa fiyatları	Enerji yönetimi	Rüzgâr türbinleri	Pompalı depolama sistemi	Ana şebeke	İki nokta tahmin yöntemi

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
54	Ghiasi, 2019	Bileşen kapasitelerinin belirlenmesi, sistem dizaynı ve maliyetlerin azaltılması	Ulaşılabilirlik ve ekipman maliyeti	Enerji yönetimi	Fotovoltaik sistem ve rüzgâr türbinleri	Batarya	Ana şebeke bağlantısı	Çok amaçlı parçacık sürü optimizasyonu
55	Haghifam ve diğ, 2020	Akıllı dağıtım ağlarının optimal çizelgelenmesi, maliyet minimizasyonu ve kâr maksimizasyonu	Güç dengesi, voltaj kısıtları, ve güç alışverişi kısıtları	Talep tepkisi	Fotovoltaik sistem ve rüzgâr türbinleri	Enerji depolama sistemi	Ana şebeke bağlantısı	İki seviyeli optimizasyon, Karush-Kuhn-Tucker koşulları ve büyük M yöntemi
56	Hakimi ve diğ, 2020	Üretilen gücün maksimum kullanımı, maliyet azaltma ve güvenilirlik arttırma	Yük talepleri ve güç dengesi	Talep tepkisi	Fotovoltaik sistem ve rüzgâr türbinleri	Batarya	Akıllı şebeke ve kontrolörler	Matematiksel modelleme ve simülasyon

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
57	Han ve diğ, 2016	Ömür boyu net kâr maksimizasyonu	Güç dengesi ve depolama sistemi kısıtları	Fayda-maliyet analizi	Fotovoltaik paneller	Enerji depolama sistemi	Ana şebeke	Parçacık sürü optimizasyonu, yapay balık sürüsü algoritması, genetik algoritma, yapay arı kolonisi algoritması ve iç nokta yöntemi
58	Harmon ve diğ, 2018	Bulut tabanlı ve hibrit kablosuz bir ağın optimal yönetimi	Maliyet, yük talebi ve depolama kısıtları	Ekonomik dağıtım	Rüzgâr türbinleri, fotovoltaik birimler ve fosil yakıt	Batarya	-	İki seviyeli iç içe optimizasyon algoritması
59	Hassan ve diğ, 2019	Bir mikro şebekenin kâr maksimizasyonu	Dinamik fiyatlar, tüketici konforu ve sistem bileşenlerinin teknik kısıtları	Talep tepkisi	Fotovoltaik sistem ve rüzgâr türbinleri	-	Ana şebeke bağlantısı	Parçacık sürü optimizasyonu
60	Heydari ve diğ, 2019	Bir mikro şebekenin enerji tüketimi analizi	Sistem bileşenlerinin teknik özellikleri	Tahmin	Fotovoltaik sistem ve rüzgâr türbinleri	-	-	Dalgacık dönüşümü, hibrit özellik seçilimi, sinir ağları ve meyve sineği algoritması

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
61	Hohmann ve diğ, 2020	Enerji depolama optimizasyonu	Maliyetler ve bileşenlerin fiziksel ve teknik kısıtları	Enerji yönetimi	Dağıtık güç üreticileri	Enerji depolama sistemi	Ana şebeke bağlantısı	Doğrusal olmayan dual dinamik programlama, moment ve kareler toplamı yöntemleri
62	Hong ve diğ, 2018	Gün öncesi çizelgeleme ile tüm sistemin maliyet minimizasyonu	Teknik gereksinimler, piyasalar ve politikalar	Enerji yönetimi	Fotovoltaik sistem, rüzgâr türbinleri ve dizel jeneratörler	Enerji depolama sistemi	Ana şebeke ve akıllı şebeke altyapısı	Gürbüz optimizasyon ve sütun ve kısıt üretme algoritması
63	Hosseinnia ve Tousi, 2019	Optimal çizelgeleme	Operasyonel ve çevresel maliyetler, güç ve ısı dengesi	Talep tepkisi	Kombine ısı ve güç sistemleri ve fotovoltaik sistem	Isı depolama sistemi	Ana şebeke ve kazan	ε kısıt yöntemi ve bulanık karar verme
64	Indragandhi ve diğ, 2018	Enerji maliyeti ve güç kaybı minimizasyonu	Üreticiler ve depolama sisteminin kısıtları	Enerji yönetimi	Rüzgâr türbinleri ve fotovoltaik paneller	Batarya ve yakıt hücresi	-	Çok amaçlı parçacık sürü optimizasyonu
65	Jafari ve Malekjamshidi, 2020	Bir mikro şebekede enerji dağıtımının optimal yönetimi	Güç akışı ve dengesi kısıtları	Enerji yönetimi	Fotovoltaik sistem ve yakıt hücresi	Batarya	Ana şebeke bağlantısı ve kontrolör	Dinamik programlama

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
66	Jalali ve Kazemi, 2015	Üretici kârı ve tüketici giderlerini optimize ederek yük çizelgeleme	Puant dönem yükü, PAR oranı	Talep tarafı yönetimi	Termal üretim birimleri	-	Akıllı sayaçlar	Oyun teorisi
67	Jayachandran ve Ravi, 2017	Maliyet optimizasyonu, enerji akışı yönetimi ve cihaz boyutlandırma	Enerji güvenliği, yenilenebilir faktörü, bağımsız gün sayısı ve hane sayısı	Enerji yönetimi	Dizel jeneratör, rüzgâr türbini ve fotovoltaik sistem	Batarya	Çift yönlü evirgeç	Parçacık sürü optimizasyonu
68	Je ve Huh, 2018	Enerji kullanımı çizelgelemesi	Sistem bileşenlerinin teknik kısıtları ve iletişim ve e enerji verimliliği	Enerji yönetimi	Fotovoltaik sistem ve rüzgâr türbinleri	Sodyum-iyon batarya	Akıllı şebeke altyapısı ve ana şebeke	Oyun teorisi, bir açgözlü algoritma ve Floyd-Warshall algoritması
69	Ji ve diğ, 2017	Dinamik talebin karşılanması ve akıllı şebekenin performans ölçümü	Karbon salımı ve sistem bileşenlerinin kısıtları	Enerji yönetimi	Rüzgâr türbinleri, fotovoltaik sistem ve biyo-yakıt	Süper kapasitör ve batarya	Ana şebeke bağlantısı ve izleme sistemi	Kontrol stratejisi

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
70	Ju ve diğ, 2018	İşletme geliri maksimizasyonu	Güç dengesi, üretim kapasiteleri ve şarj/deşarj kısıtları	Talep tepkisi	Rüzgâr türbinleri, fotovoltaik tesisler, küçük hidro istasyonu ve gaz türbinleri	Enerji depolama sistemi	-	Gürbüz optimizasyon
71	Katal ve Fazelpour, 2018	İran'daki mevcut enerji tesislerinin uygunluğunun ortaya konulması	Verimlilik, yatırım maliyeti ve CO_2 salımı	Fizibilite çalışması	Hidro tesis, rüzgâr türbini ve kombine ısı ve güç sistemleri	Pompalı depolama sistemi	-	VIKOR
72	Khalilpour ve Vassallo, 2016	Optimal seçim, boyutlandırma ve operasyon çizelgeleme ile elektrik faturası minimizasyonu	Hava durumu verisi, elektrik fiyatları, maliyet, sistem yaşı ve tasarım ve operasyon parametreleri	Enerji yönetimi ve talep tarafı yönetimi	Fotovoltaik sistem	Enerji depolama sistemi	Ana şebeke	Karışık tam sayılı programlama
73	Khavari ve diğ, 2020	Güç çizelgelemesi ve kâr maksimizasyonu	İletim hatlarının kapasiteleri, güç akışı ve dengesi kısıtları ve depolama kısıtları	Enerji yönetimi	Dağıtık güç üreticileri	Enerji depolama sistemi	Ana şebeke bağlantısı	Matematiksel modelleme ve simülasyon

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
74	Khayatian ve diğ, 2018	Mikro şebeke, üretim ve iletim firmalarının kâr maksimizasyonu ve kısa vadeli işletme maliyetleri minimizasyonu	Maliyet efektifliği ve sistem güvenliği	Enerji yönetimi	Rüzgâr türbinleri, solar birimler, dizel jeneratörler ve mikro türbinler	Enerji depolama sistemi	Ana şebeke ve üretim ve iletim firmaları	Stokastik karışık tam sayılı programlama
75	Kia ve diğ, 2017	Optimal gün öncesi çizelgeleme ile işletme maliyeti minimizasyonu	Sistem hataları, güç dengesi, teknik kısıtlar, kapasiteler ve güç akışı	Birim yüklenme problemi	Kombine ısı ve güç sistemleri	Elektrik ve termal depolama sistemleri	Ana şebeke	Stokastik karışık tam sayılı doğrusal olmayan programlama
76	Kim ve diğ, 2017	Enerji ve kurulum maliyeti minimizasyonu	Yük talebi, maliyet, piyasa fiyatları ve meteorolojik koşullar	Enerji yönetimi	Fotovoltaik sistem, rüzgâr türbinleri ve dizel yakıt	Batarya	Konverter	Matematiksel modelleme ve HOMER simülasyonu
77	Kinhekar ve diğ, 2016	Akıllı bir AC/DC mikro şebekede optimal talep yönetimi	Yük çizelgeleme ve şarj/deşarj kısıtları	Talep tarafı yönetimi	Fotovoltaik sistem ve konvansiyonel kaynaklar	Batarya	Akıllı sayaç	Karışık tam sayılı doğrusal olmayan programlama

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
78	Kiptoo ve diğ, 2020	Bileşen boyutlandırma ve operasyon çizelgeleme	Kapasite kısıtları, talep tarafı kısıtları ve güç dengesi	Talep tarafı yönetimi	Fotovoltaik sistem ve rüzgâr türbinleri	Batarya ve termal depolama sistemi	-	Karışık tam sayılı doğrusal programlama
79	Kitson ve diğ, 2018	Sistem kapasitesi maksimizasyonu	Sistem bileşenlerinin teknik ve fiziksel kısıtları ve yük talebi	Enerji yönetimi	Rüzgâr türbinleri ve fotovoltaik sistem	Batarya	-	HOMER ve Simulink
80	Koko ve diğ, 2017	Şebeke enerji maliyetleri minimizasyonu	Güç dengesi, tarifeler ve bileşen kapasiteleri	Optimal enerji yönetimi	Mikro hidrokinetik sistem	Pompalı hidro depolama sistemi	Ana şebeke	Doğrusal programlama
81	Koltsaklis ve diğ, 2018	Toplam maliyet minimizasyonu	CO_2 salımı, elektrik fiyatları, yük talebi ve depolama sistemi kısıtları	Optimal enerji yönetimi	Rüzgâr türbini, fotovoltaik sistem ve doğal gaz	Batarya	Ana şebeke	Karışık tam sayılı doğrusal programlama
82	Kong ve diğ, 2020	Çoklu mikro şebekelerin optimal koordinasyonu	Değişken piyasa şartları, güç akışı ve dengesi kısıtları ve teknik kısıtlar	Enerji yönetimi	Fotovoltaik sistem ve mikro türbin	Enerji depolama sistemi	Ana şebeke bağlantısı	Şans kısıtlı programlama ve arttırılmış Lagrange metodu

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
83	Korkas ve diğ, 2015	Enerji maliyeti ve termal konfor optimizasyonu	Enerji talebi, tarifeler, konfor ve doluluk oranı	Enerji yönetimi ve talep tarafı yönetimi	Fotovoltaik sistem	-	Ana şebeke	Simülasyon tabanlı optimizasyon
84	Kumar V ve diğ, 2020	Mikro şebeke bileşenlerinin optimal boyutlandırması	Güç dengesi, bütçe kısıdı, batarya limitleri ve zamanlar arası denge kısıtları	Enerji yönetimi	Fotovoltaik sistem, biyokütle ve dizel jeneratör	Batarya	Ana şebeke bağlantısı	Karışık tam sayılı doğrusal programlama
85	Kumar ve diğ, 2018	Dağıtık güç üreticilerinin boyutlarına karar verme ve güç kaybı minimizasyonu	Dağıtık güç üreticilerinin teknik ve fiziksel kısıtları, voltaj kısıtları ve yük talebi	Enerji yönetimi	Fotovoltaik paneller, rüzgâr türbinleri ve yakıt hücresi	-	Ana şebeke	Hibrit Nelder Mead parçacık sürü optimizasyonu algoritması
86	Kwon ve diğ, 2016	Bir mikro şebekede yüksek dirençli güç arzı sağlanması	Sistem bileşenlerinin teknik kısıtları	Enerji yönetimi	Rüzgâr türbinleri ve fotovoltaik paneller	Batarya	Ana şebeke ve meteorolojik tahmin aygıtı	Niceliksel analiz

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
87	Lei ve diğ, 2015	Optimal çizelgeleme ile mikro şebeke ajanlarının fayda maksimizasyonu	Güç dengesi, üretici kapasiteleri, iletim kayıp faktörü ve elektrik fiyatları	Enerji yönetimi	Fotovoltaik paneller, mikro türbinler, rüzgâr türbinleri ve yakıt hücresi	-	Ana şebeke ve akıllı şebeke altyapısı	İki seviyeli optimizasyon ve simülasyon
88	Leone ve diğ, 2017	Tüm sistemin maliyet fonksiyonu minimizasyonu	Yük talebi, ağ güvenliği ve operasyonel kısıtlar	Tahmin ve enerji yönetimi	Fotovoltaik sistem ve hidroelektrik tesisi	Batarya	Ana şebeke	Destek vektör makineleri ve karışık tam sayılı doğrusal programlama
89	Leonori ve diğ, 2020	Şebeke ile enerji alışverişinden elde edilen kârın maksimizasyonu	Sistem bileşenlerinin teknik kısıtları	Enerji yönetimi	Yenilenebilir kaynaklar	-	Ana şebeke bağlantısı	Genetik algoritma ve bulanık çıkarım sistemleri
90	Li ve diğ, 2016	Ömür boyu enerji kullanımı ve sera gazı salımı minimizasyonu	Güneş ve rüzgâr enerjisi arzı kısıtları ve güç dengesi	Fizibilite çalışması	Fosil yakıt, doğal gaz, kombine ısı ve güç sistemleri, rüzgâr ve güneş enerjisi	Batarya	Kazan	Matematiksel programlama ve senaryo analizi

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
91	Li ve Görges, 2019	Yakıt tüketimi optimizasyonu	Sistem bileşenlerinin fiziksel ve teknik kısıtları	Enerji yönetimi ve tahmin	Konvansiyonel güç üreticisi	Batarya	Elektrikli araçlar	Yapay sinir ağları ve benzetimsel dinamik programlama
92	Liu ve diğ, 2017	Kar maksimizasyonu için enerji paylaşım yönetimi	Faturalandırma sistemleri ve güç kaybı	Enerji yönetimi	Fotovoltaik sistem	-	Ana şebeke	Stackelberg oyunu
93	Liu ve diğ, 2018	Enerji depolama kapasitesi optimizasyonu	Ömür boyu maliyet ve sera gazı salımları	Talep tarafı yönetimi	Rüzgâr türbini, fotovoltaik paneller, gaz türbinleri ve gaz kazanları	Süper kapasitör, lityum-iyon batarya ve kurşun asitli batarya	Elektrikli araçlar	Parçacık sürü optimizasyonu
94	Liu ve diğ, 2019	Enerji tasarrufu ve batarya ömrünü uzatma	Yük talepleri ve teknik kısıtlar	Gerçek zamanlı enerji yönetimi	Dağıtık güç üreticileri	Ultra-kapasitör ve batarya	-	Dinamik programlama ve genetik algoritma
95	Loeser ve Redfern, 2010	Uzak bölge müşterilerine güvenli yenilenebilir enerji sağlanması	Güç dengesi, depolama kısıtları ve tesis tasarım koşulları	Enerji yönetimi	Biyokütle ve mikro türbin	Yakıt depolama sistemi	-	Simülasyon

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
96	Lokeshgupta ve Sivasubramani, 2018	Maliyet ve sera gazı salımı minimizasyonu	Güç dengesi ve talep kısıtları	Talep tarafı yönetimi ve ekonomik dağıtım	Termal güç üreticileri	-	Ana şebeke bağlantısı	Dinamik programlama ve çok amaçlı parçacık sürü optimizasyonu
97	Lopes ve diğ, 2018	Belirli zamanlardaki yük talebini minimize etmek	Talep için alt ve üst sınırlar ve çizelgelenemeyen yükler	Talep tepkisi	belirtilmemiş	-	-	İkili parçacık sürü optimizasyonu
98	Lopez-Salamanca ve diğ, 2018	Endüstriyel tüketicilerin elektrik faturalarını azaltmak	Operasyonel kısıtlar, enerji tarifeleri ve sayaç politikaları	Enerji yönetimi	Fotovoltaik sistem	Enerji depolama sistemi	Ana şebeke	Karışık tam sayılı doğrusal programlama
99	Lu ve diğ, 2016	Mikro şebekenin davranışlarını tanımlamak	Zaman	Sistem analizi	Rüzgâr türbinleri, fotovoltaik paneller ve dizel jeneratör	Batarya	-	Hybrid Petri ağları
100	Lu ve diğ, 2020	Optimal çizelgeleme ve üretim ve bakım maliyetleri minimizasyonu	Sistem bileşenlerinin teknik kısıtları	Talep tepkisi	Dağıtık güç üreticileri	Lityum-iyon batarya	Ana şebeke bağlantısı ve akıllı şebeke altyapısı	Markov oyunu ve çok ajanlı gradyan algoritması

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
101	Luo ve diğ, 2020	Bir mikro şebekenin gün öncesi güç çizelgelemesi	Sistem bileşenlerinin belirsizlikleri ve limitleri ile batarya kısıtları	Enerji yönetimi	Fotovoltaik sistem, rüzgâr türbini, yakıt hücresi ve mikro türbin	Batarya	Ana şebeke bağlantısı	Modifiye edilmiş yarasa algoritması
102	Maghami ve diğ, 2020	Tepe noktasındaki yük talebini azaltmak ve maliyetleri minimize etmek	Sistem bileşenlerinin teknik kısıtları	Enerji yönetimi ve talep tepkisi	Fotovoltaik sistem, rüzgâr türbini, hidroelektrik enerjisi ve yakıt hücresi	Hidrojen ve elektrik depolama sistemleri	-	Simülasyon
103	Mallol-Poyato ve diğ, 2016	Güç üreticilerinin boyutlandırılması ve operasyonların ın çizelgelenmesi	Elektrik fiyatları ve işletme maliyetleri	Enerji yönetimi	Rüzgâr türbini ve fotovoltaik paneller	Enerji depolama sistemi	Ana şebeke	İki adımlı bir evrimsel algoritma
104	Mallol-Poyato ve diğ, 2017	Güç üreticile-rinin boyutlan-dırılması ve operasyonların ın çizelgelen-mesi	Yük talebi, maliyet ve şarj/deşarj kısıtları	Enerji yönetimi	Rüzgâr türbini ve fotovoltaik paneller	Elektrokimyasal batarya	Ana şebeke	İç içe bir evrimsel algoritma

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
105	Marino ve Marufuzzaman, 2020	Bir mikro şebekede operasyonel kararların verilmesi	Rüzgâr enerjisi sisteminin teknik kısıtları, şebeke kısıtları ve yük ve güç dengesi kısıtları	Veri analizi	Rüzgâr enerjisi sistemi	Batarya	Ana şebeke bağlantısı	Şans kısıtlı programlama
106	Marzband ve diğ, 2013a	Dağıtık güç üreticilerinin yüke göre en iyi dağıtımının belirlenmesi	Güç dengesi, enerji kullanımı ve sürdürülebilirlik	Gerçek zamanlı enerji yönetimi	Fotovoltaik sistem, rüzgâr türbini ve mikro türbin	Enerji depolama sistemi	-	Simülasyon
107	Marzband ve diğ, 2013b	Toplam işletme maliyetleri minimizasyonu	Güç dengesi, üretim kapasiteleri, enerji depolama limitleri ve talep tepkisi kısıtları	Talep tepkisi	Rüzgâr türbini, fotovoltaik sistem ve mikro türbin	Batarya	-	Karışık tam sayılı doğrusal olmayan programlama
108	Marzband ve diğ, 2014	Toplam işletme maliyetleri minimizasyonu	Güç dengesi, üretim kapasiteleri, enerji depolama limitleri ve talep tepkisi kısıtları	Talep tepkisi	Rüzgâr türbini, fotovoltaik sistem ve mikro türbin	Enerji depolama sistemi	-	Çok periyotlu yerçekimsel arama algoritması

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
109	Marzband ve diğ, 2016	Toplam işletme maliyetleri minimizasyonu ve güç üretimi optimizasyonu	Güç dengesi, güç kaynaklarının üretim ve çalışma süresi kapasiteleri, depolama teknolojisi kısıtları ve talep tepkisi kısıtları	Talep tepkisi ve talep tarafı yönetimi	Fotovoltaik sistem, rüzgâr türbini ve mikro türbin	Enerji depolama sistemi	-	Çok katmanlı karınca kolonisi optimizasyonu
110	Marzband ve diğ, 2017a	Operasyonel maliyetlerin minimizasyonu	Güç dengesi, üretici/tüketici teklifleri, güç kaynağı kapasiteleri, depolama kapasiteleri, duyarlı yük talebi ve ana şebeke kısıtları	Enerji yönetimi	Fotovoltaik sistem, rüzgâr türbini ve mikro türbin	Enerji depolama sistemi	Ana şebeke bağlantısı	Karışık tam sayılı doğrusal programlama

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
111	Marzband ve diğ, 2017b	Gerçek zamanlı operasyonel maliyetlerin minimizasyonu	Güç dengesi, kaynakların üretim ve çalışma zamanı kısıtları ve ana şebeke kısıtları	Gerçek zamanlı enerji yönetimi	Fotovoltaik sistem, rüzgâr türbini ve mikro türbin	Batarya	-	Çok periyotlu yapay arı kolonisi algoritması
112	Marzband ve diğ, 2018	Bir mikro şebekede operasyon optimizasyonu	Cihazların ve dağıtım sisteminin fiziksel kısıtları ve arz-talep dengesi	Talep tepkisi	Rüzgâr türbini, fotovoltaik paneller ve mikro türbin	Batarya	Ana şebeke bağlantısı	Oyun teorisi
113	Mavrigiannaki ve diğ, 2017	Gün öncesi üretim fazlasını belirlemek için 24 saatlik yük tahmini	Geçmiş üretim verisi, süre, ışınım ve ısı	Tahmin	Hidroelektrik tesisi, çatı üzeri fotovoltaik sistem, yer altı ısı pompası ve solar takip cihazı	Elektriksel ve termal depolama sistemleri	Ana şebeke bağlantısı	Yapay sinir ağları

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
114	Mazidi ve diğ, 2014	Çizelgeleme ile toplam işletme maliyeti minimizasyonu	Talep tepkisi katılımcılarının kısıtları, yük dengesi, üretim ve depolama birimlerinin kapasiteleri ve şarj/deşarj kısıtları	Talep tepkisi	Fotovoltaik paneller, rüzgâr türbinleri ve dizel jeneratörler	Batarya	-	Latin hiper küp örneklemesi ve stokastik optimizasyon
115	Mazidi ve diğ, 2019	Gün öncesi çizelgelemeyle kâr maksimizasyonu	Yenilenebilir kaynakların, talebin ve fiyatların değişken yapıları, teknik kısıtlar ve yük kısıtları	Talep tepkisi	Dağıtık güç üreticileri ve kombine ısı ve güç sistemleri	Enerji depolama sistemi	Ana şebeke bağlantısı	Stokastik p-gürbüz optimizasyon yöntemi
116	McIlvenna ve diğ, 2020	Enerji yönetimi sistemlerinin hesaplama maliyetlerinin minimizasyonu	Sistem bileşenlerinin teknik kısıtları ve modele dair gevşetme ve ceza kısıtları	Enerji yönetimi	Fotovoltaik sistem ve doğal gaz	Batarya	-	Karışık tam sayılı programlama

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
117	Misaghian ve diğ, 2018	Gelir maksimizasyonu ve şebeke operasyonu minimizasyonu	Sistem güvenliği, elektriksel ve termal kısıtlar ve güç akışı kısıtları	Birim yüklenme problemi	Rüzgâr türbini, fotovoltaik sistem ve kombine ısı ve güç sistemleri	Termal ve elektriksel depolama sistemleri	Ana şebeke	Stokastik programlama
118	Misak ve diğ, 2015	Şebekeye bağlı olmayan bir sistemde aktif talep tarafı yönetimi uygulayarak güç kesintilerini azaltma	Güç üreticilerinin, depolama sisteminin ve diğer sistem bileşenlerinin kısıtları	Tahmin ve talep tarafı yönetimi	Rüzgâr türbinleri, fotovoltaik paneller ve LPG üreticisi	Ni-Cd batarya	Merkezi evirgeç ve akıllı şebeke altyapısı	Yapay çok katmanlı sinir ağları
119	Mohamed ve diğ, 2020	Akıllı adalarda dağıtım temelli bir enerji yönetimi sistemi tasarlamak	Sistem bileşenlerinin teknik kısıtları ve yük ve güç dengesi kısıdı	Enerji yönetimi	Fotovoltaik sistem, rüzgâr türbini ve gelgit enerjisi birimi	Batarya	Kazanlar ve dönüştürücü	Primal-dual yöntemi

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
120	Mohammadi ve diğ, 2012	Mikro şebekenin net şimdiki değer maksimizasyonu	Dağıtık üreticilerin kullanımı, ana şebeke ile güç alışverişi ve aktif ve reaktif güç dengesi	Enerji yönetimi	Fotovoltaik sistem ve yakıt hücresi	Batarya	Ana şebeke	Genetik algoritma
121	Moretti ve diğ, 2019	Bir mikro şebeke için yönetim stratejisi belirleme	Yük kısıtları ve teknik kısıtlar	Enerji yönetimi ve birim yüklenme	Dağıtık güç üreticileri	Enerji depolama sistemi	-	Karışık tam sayılı doğrusal programlama ve iki seviyeli dağıtım algoritması
122	Moretti ve diğ, 2020	Mikro şebekelerde optimal çizelgeleme	Yenilenebilir kaynakların ve talebin belirsizlikleri ve teknik kısıtlar	Enerji yönetimi ve birim yüklenme	Kombine ısı ve güç sistemleri ve fotovoltaik sistem	Batarya	Kazanlar	Karışık tam sayılı programlama ve gürbüz optimizasyon
123	Murakami ve Yamagata, 2017	Elektrik paylaşım maliyetlerini minimize ederek mikro şebeke kümelerinin optimizasyonu	Elektrikli cihazların şarj kapasitesi	Kümeleme	Güneş panelleri	Batarya	Elektrikli araçlar	Lagrange çarpanları yöntemi ve tavlama benzetimi algoritması

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
124	Muralitharan ve diğ, 2016	Operasyonel maliyetlerin ve cihazların ortalama bekleme süresi minimizasyonu	Güç dengesi	Talep tarafı yönetimi	Fotovoltaik sistem ve rüzgâr türbini	Enerji depolama sistemi	-	Çok amaçlı evrimsel algoritma
125	Müller ve diğ, 2018	Şebekeyle bağlantısı olmayan bir sistemde fiyat elastikiyeti tahmini	Maliyetler ve hidro gücünün kısıtları	Tahmin	Mikro hidro tesisi	-	-	Monte Carlo analizi
126	Nan ve diğ, 2018	Yük çizelgeleme	Kullanıcıların elektrik maliyeti ve puant yükü	Talep tepkisi	Çatı üzeri güneş paneli	Batarya	Ana şebeke bağlantısı	Karışık tam sayılı doğrusal programlama
127	Nasr ve diğ, 2020	Güç kayıpları, voltaj sapmaları ve enerji maliyetleri minimizasyonu	Voltaj stabilliği ve üretim arızaları kısıtları, güç dengesi ve talep kısıtları	Enerji yönetimi	Fotovoltaik sistem, rüzgâr türbinleri ve dizel jeneratör	Batarya	-	Karışık tam sayılı doğrusal olmayan programlama

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
128	Nazari-Heris ve diğ, 2017	Maliyet ve sera gazı salımı minimizasyonu	Sistem bileşenlerinin teknik kısıtları ve güç dengesi	Ekonomik dağıtım ve talep tepkisi	Kombine ısı ve güç sistemleri	Yakıt hücresi ve batarya	Ana şebeke, kazan ve ısı tankı	ε kısıt yöntemi ve bulanık mantık
129	Nazir ve diğ, 2014	Yerel yenilenebilir kaynakların kullanım optimizasyonu	Operasyon maliyetleri, kurulum maliyetleri ve CO_2 salımı	Enerji yönetimi	Mikro hidro sistemi ve fotovoltaik sistem	-	Ana şebeke bağlantısı	HOMER ve MATLAB
130	Nguyen ve diğ, 2018	Bağımsız mikro şebekelerin kontrolü için çok ajanlı bir sistem geliştirme	Sistem bileşenlerinin fiziksel ve teknik kısıtları	Sistem kontrolü	Fotovoltaik sistem ve rüzgâr türbini	Batarya	Kontrolör ve döngüde donanımsal benzetim mimarisi	Ortalama konsensüs algoritması
131	Nosratabadi ve diğ, 2016	Rekabetçi piyasada üretim çizelgeleme ile kâr maksimizasyonu	Piyasa kısıtları, yük talebi ve üretim birimlerinin ve ağın kısıtları	Enerji yönetimi ve talep tepkisi	Rüzgâr türbinleri	-	Endüstriyel sanal güç tesisi ve ana şebeke	Stokastik karışık tam sayılı doğrusal olmayan programlama

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
132	Nosratabadi ve diğ, 2017	Güvenlik değerlendirmesi için endüstriyel bir mikro şebekenin operasyonlarının uzun dönemli çizelgelemesi	Güç dengesi, güç akışı kesintileri ve hizmetin ulaşılabilir olmama durumları	Talep tepkisi	Fotovoltaik paneller, rüzgâr türbinleri ve mikro gaz türbinleri	-	Ana şebeke	Stokastik optimizasyon ve dizisel Monte Carlo yöntemi
133	Nouri ve diğ, 2018	Kısa dönemli çizelgeleme ile maliyet ve sera gazı salımı optimizasyonu	Sistem bileşenlerinin teknik kısıtları ve güç dengesi	Gerçek zamanlı enerji yönetimi ve talep tepkisi	Kombine ısı ve güç sistemleri	Yakıt hücresi ve batarya	Kazan ve ısı tankı	ε kısıt yöntemi ve bulanık mantık
134	Obara ve diğ, 2013	İki enerji depolama sisteminin karşılaştırılması	Güç dengesi, işletme maliyetleri, ekipman kapasitesi ve operasyon yöntemleri	Enerji yönetimi	Fotovoltaik sistem, rüzgâr tarlası ve yakıt hücresi	Sodyum-sülfür batarya ve organik hidrit sistemi	Isı pompası ve evirgeç	Sayısal analiz

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
135	O'Shaughnessy ve diğ, 2018	Optimum maliyetli teknoloji seçimi, boyutlandırması ve dağıtımı	Sistem bileşenlerinin teknik kısıtları	Enerji yönetimi	Fotovoltaik paneller	Batarya	Ana şebeke bağlantısı	Yenilenebilir enerji optimizasyonu (REopt) modeli
136	Othman ve Gabbar, 2017	Net şimdiki maliyet ve CO_2 salımı minimizasyonu	Üretim kapasiteleri, güç ve ısı talebi	Optimal enerji yönetimi	Doğal gaz türbini, rüzgâr türbini ve fotovoltaik sistem	Hidrojen yakıt hücresi, doğal gaz yakıt hücresi ve batarya	Ana şebeke bağlantısı	Genetik algoritma ve uyarlanabilir nöro-bulanık çıkarım sistemleri
137	Petreus ve diğ, 2019	Mikro şebeke birimlerinin optimal çizelgelenmesi	Güç dengesi, yük talebi ve şarj/deşarj kısıtları	Enerji yönetimi	Jeotermal, güneş ve biyogaz enerjileri	Batarya	Evirgeç	Simülasyon
138	Pham ve diğ, 2020	Bir mikro şebekenin enerji depolama sisteminin güvenilirlik değerlendirmesi	Bileşenlerin teknik kısıtları ve güvenilirlik kısıtları	Sistem analizi	Fotovoltaik sistem	Enerji depolama sistemi	Ana şebeke bağlantısı	Markov analizi

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
139	Pinceti ve diğ, 2015	Sistemin operasyonel stabilliğini garanti etmek ve enerji üretimi optimizasyonu	Güç dengesi, yenilenebilir kaynak kullanımı, frekans ve voltaj	Enerji yönetimi	Fotovoltaik sistem ve dizel jeneratör	Enerji depolama sistemi	Ana şebeke	Bulanık mantık
140	Pu ve diğ, 2019	Kullanım maliyeti minimizasyonu ve enerji depolama seviyesi optimizasyonu	Yük talebi ve sistem bileşenlerinin teknik kısıtları	Enerji yönetimi	Yakıt hücresi ve fotovoltaik sistem	Elektrik-hidrojen hibrit depolama sistemi	Elektroliz sistemi ve hidrojen tankı	Matematiksel modelleme ve simülasyon
141	Qiu ve diğ, 2018	Toplam işletme maliyeti minimizasyonu	Güç ve gaz dengesi, üretici ve batarya kısıtları, güç ve gaz akışı, sistem rezervi, güç kesintileri ve güvenlik kısıtları	Ekonomik dağıtım	Fotovoltaik sistem ve gazla çalışan mikro türbin	Batarya ve yakıt hücresi	-	Karışık tam sayılı kuadratik programlama ve nokta tahmini yöntemi

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
142	Rahim ve diğ, 2019	Güç çizelgelemesi ile maliyet minimizasyonu	Ekonomik dağıtım kısıtları, tüketici cihazlarının kısıtları ve güç dengesi	Gerçek zamanlı enerji yönetimi	Fotovoltaik sistem, rüzgâr türbinleri ve fosil yakıt tesisi	Enerji depolama sistemi	Ana şebeke bağlantısı	Alt gradyan tabanlı dağıtık algoritma ve dual Lagrange ayrıştırması yöntemi
143	Roy ve diğ, 2018	Üretim maliyetlerini minimize ederek mikro kaynakların operasyonunu çizelgelemek	Güç dengesi ve üretim kapasiteleri	Talep tepkisi ve tahmin	Fotovoltaik sistem, rüzgâr türbini ve mikro türbin	Batarya	-	Bakteriyel yiyecek arama optimizasyonu algoritması ve yapay sinir ağları
144	Sardou ve diğ, 2018	İşletme maliyeti minimizasyonu	Mikro şebekenin fiziksel kısıtları ve panellerin güneşlenme limitleri	Enerji yönetimi	Fotovoltaik sistem ve dizel jeneratörler	-	Fotovoltaik evirgeçler	Parçacık sürü optimizasyonu ve primal-dual iç nokta yöntemi
145	Sarshar ve diğ, 2017	Günlük yük çizelgelemesi ile toplam maliyet ve sera gazı salımı minimizasyonu	Güç dengesi, güç üretim kapasitesi ve depolama limitleri	Tahmin ve ekonomik dağıtım	Rüzgâr türbini, fotovoltaik paneller ve mikro türbin	Yakıt hücresi ve batarya	-	Dalgacık ayrışımı, yapay sinir ağları, genetik algoritma ve TOPSIS

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
146	Sedighizadeh ve diğ, 2019a	Bir mikro şebekede sera gazı salımı ve maliyet minimizasyonu	Güç dengesi, üretim kapasiteleri ve batarya kısıtları	Enerji yönetimi ve talep tepkisi	Fotovoltaik sistem, rüzgâr türbinleri, fosforik asit yakıt hücresi ve mikro gaz türbini	Batarya	Ana şebeke bağlantısı	Diferansiyel evrimsel algoritma ve modifiye edilmiş parçacık sürü optimizasyonu
147	Sedighizadeh ve diğ, 2019b	Güç üretimi, dağıtımı ve tasarrufunun optimal yönetimi	Güç dengesi, üretim kapasiteleri ve depolama kısıtları	Enerji yönetimi ve talep tepkisi	Rüzgâr türbinleri ve fotovoltaik birimler	Batarya	Ana şebeke	Yapay sinir ağları, dinamik programlama ve hibrit büyük patlama-büyük çöküş algoritması
148	Shamshuddin ve diğ, 2017	Kaynaklardan maksimum güç eldesi ve batarya şarjı optimizasyonu	Güç dengesi, enerji korunumu, voltaj regülasyonu, batarya kısıtları ve yük talebi	Enerji yönetimi	Fotovoltaik sistem ve yakıt hücresi	Batarya	-	Gürbüz optimizasyon ve simülasyon

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
149	Sharma ve diğ, 2018	Belirsizlik altında mikro şebekenin toplam işletme maliyetleri minimizasyonu	Güç dengesi, aktif güç kısıtları, depolama sistemi ve ana şebeke kısıtları	Tahmin ve enerji yönetimi	Rüzgâr türbinleri, fotovoltaik paneller ve mikro türbin	Batarya ve yakıt hücresi	Ana şebeke	Nokta tahmini yöntemi, karantinalı domuz gribi modeli tabanlı optimizasyon ve balina optimizasyonu algoritması
150	Shen ve diğ, 2016	Kontrol edilebilir kaynakların çizelgelenmesi ile kâr maksimizasyonu	Güç dengesi, güç alışverişi kuralları ve bileşen kapasiteleri	Enerji yönetimi	Rüzgâr türbinleri, fotovoltaik paneller ve dizel jeneratör	Batarya	Akıllı şebeke altyapısı	Stokastik optimizasyon
151	Sreedharan ve diğ, 2016	Aylık enerji faturası minimizasyonu	Maliyetler, sıcak su ve soğutma kısıtları ve yük talebi	Optimal dağıtım ve talep tepkisi	Fotovoltaik sistem, doğal gaz ve kombine ısı ve güç sistemleri	Termal depolama sistemi	Ana şebeke, kazanlar ve soğutucular	Karışık tam sayılı doğrusal programlama

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
152	Tavakoli ve diğ, 2018	Minimum işletme maliyeti ve maksimum şebeke dayanıklılığını elde etme	Güç dengesi ve üretici ve depolama sistemi kısıtları	Enerji yönetimi	Fotovoltaik paneller	Batarya	Ana şebeke	Doğrusal programlama ve simülasyon
153	Thomas ve diğ, 2020	Bir mikro şebekenin maliyet minimizasyonu ve güç kalitesi optimizasyonu	Tüketicilerin yük eğrileri, güç dengesi ve voltaj kısıtları	Enerji yönetimi	Yenilenebilir ve konvansiyonel dağıtık güç kaynakları	Enerji depolama sistemi	Ana şebeke bağlantısı, elektrikli araçlar ve akıllı şebeke	Karışık tam sayılı doğrusal programlama
154	Tu ve diğ, 2019	Mikro şebekenin toplam maliyet minimizasyonu	Yük talebi ve güç üreticileri ve depolama sisteminin kısıtları	Yük kaydırma	Rüzgâr türbinleri, fotovoltaik sistem ve dizel jeneratör	Batarya	Evirgeç, yük kontrolörü ve yük boşaltıcı	Karışık tam sayılı doğrusal programlama
155	Van Ackooij ve diğ, 2018	Üretici firmalar ve mikro şebeke arası etkileşim durumunda toplam maliyet minimizasyonu	Üretici firmalar ve mikro şebeke arası anlaşmalara bağlı kısıtlar ve denge kısıtları	Birim yüklenme problemi	Konvansiyonel enerji kaynakları	Enerji depolama sistemi	Akıllı şebeke ve çift yönlü güç akış hatları	İki seviyeli stokastik karışık tam sayılı programlama

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
156	Vergara-Dietrich ve diğ, 2019	Yenilenebilir enerji kullanımını ve kârı maksimize etmek	Operasyonel ve teknik kısıtlar	Enerji yönetimi	Fotovoltaik sistem, rüzgâr türbinleri, biyokütle ve biyogaz	Batarya	Ana şebeke bağlantısı, kazanlar ve soğutucular	Model öngörülü kontrol ve şans kısıtlı programlama
157	Wang ve diğ, 2017	Belirsizlik altında eş zamanlı arz ve talep çizelgeleme	İşletme maliyetleri ve karbon salımı	Talep tepkisi ve yük kaydırma	Fotovoltaik sistem, yer altı ısı pompası ve kombine ısı ve güç sistemleri	Batarya	Ana şebeke ve çizelgeleme karar vericileri	Minimaks çok amaçlı gürbüz optimizasyon ve çok amaçlı çapraz entropi algoritması
158	Wang ve diğ, 2019	Toplam enerji ve başvuru maliyetleri minimizasyonu	Güç dengesi ve ağ kısıtları	Enerji yönetimi ve talep tepkisi	Konvansiyonel ve yenilenebilir üreticiler	Enerji depolama sistemi	Ana şebeke ve fişe takılabilir elektrikli cihazlar	Çok ajanlı stokastik optimizasyon
159	Wanitschke ve diğ, 2017	Operasyonel maliyetleri minimize ederek mikro şebeke bileşenleri arasındaki güç akışını modelleme	Güç dengesi, fotovoltaik sistemin nominal gücü, rüzgâr türbini sayısı, rüzgâr türbinlerinin nominal gücü, depolama kısıtları	Ekonomik ve çevresel fizibilite çalışması	Fotovoltaik sistem, rüzgâr türbini ve kombine ısı ve güç sistemleri	Lityum-iyon ve kurşun-asitli batarya	-	Çok amaçlı evrimsel algoritma

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
160	Wu ve diğ, 2013	Toplam enerji maliyeti minimizasyonu	Depolama ihtiyacı, kesikli üretim ve üreticilerde gücün akış ve tırmanma limitleri	Ekonomik dağıtım	Fotovoltaik hücre ve rüzgâr türbini	-	Ana şebeke	İç nokta yöntemi
161	Wu ve diğ, 2019	Bir elektrikli araç şarj istasyonunun operasyon maliyetleri minimizasyonu	Değişken elektrik fiyatları, bileşenlerin teknik kısıtları ve talep kısıtları	Talep tarafı yönetimi	-	-	Ana şebeke bağlantısı ve elektrikli araçlar	Benzetimsel dinamik programlama ve evrimsel algoritma
162	Wu ve Ren, 2017	Bir mikro şebekenin operasyonlarının çizelgeleme ve sistem konfigürasyonunu belirleme	Birincil enerji tasarrufları, operasyon maliyeti tasarrufu ve CO_2 salımı	Enerji yönetimi	Kombine ısı ve güç sistemleri	Isı depolama tankı	Ana şebeke bağlantısı	Maksimum dikdörtgen yöntemi

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
163	Xiao ve Ai, 2017	İşletme maliyetleri minimizasyonu ve güç alışverişi dayanıklılığı maksimizasyonu	Ekonomik operasyonlar, yenilenebilir kaynakların belirsizliği ve güvenlik kısıtları	Optimal enerji yönetimi	Fotovoltaik paneller, rüzgâr türbinleri, mikro türbin ve dizel motoru	Batarya	-	Nokta tahmini yöntemi ve ikinci dereceden konik programlama
164	Xing ve diğ, 2019	Operasyon maliyetleri minimizasyonu ve güç dengesinin sürdürülmesi	Tüketici yükleri, üreticilerin ve bataryanın teknik kısıtları, güç kayıpları ve güç alışverişi	Enerji yönetimi	Fotovoltaik sistem ve rüzgâr türbinleri	Batarya	Ana şebeke bağlantısı	Kooperatif logaritmik bariyer ve model öngörülü kontrol
165	Xiong ve diğ, 2020	Elektrik maliyeti minimizasyonu, ana şebekeden satın alınan gücün minimizasyonu ve güç kalitesi optimizasyonu	Yük kısıtları ve sistem bileşenlerinin teknik kısıtları	Enerji yönetimi	Fotovoltaik sistem ve rüzgâr türbinleri	Batarya	Ana şebeke bağlantısı ve elektrikli araçlar	Çok amaçlı optimizasyon

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
166	Yang ve diğ, 2018	İşgücü çizelgeleme ile güç arzı güvenilirliğini geliştirme	Sistem bileşenlerinin teknik kısıtları	Talep tepkisi	Fotovoltaik sistem ve rüzgâr gücü	Veri merkezi UPS mekanizması	Ana şebeke	Matematiksel modelleme ve simülasyon
167	Yao ve diğ, 2018	Bir mikro şebekede akıllı hibrit sistem tasarımı	Sistem bileşenlerinin teknik ve fiziksel kısıtları	Enerji yönetimi	Rüzgâr türbini ve fotovoltaik panel	Enerji depolama sistemi	Ana şebeke, elektrikli cihazlar ve cadde aydınlatma sistemi	İstatistiksel analiz
168	Yazdaninejad ve Amjady, 2017	Operasyon çizelgeleme ile risk minimizasyonu	Yük talebi, elektrik fiyatları, rüzgâr tahminleri ve sistem bileşenlerinin teknik kısıtları	Enerji yönetimi	Rüzgâr türbinleri	Batarya	Ana şebeke	Stokastik karışık tam sayılı doğrusal programlama
169	Yilmaz ve diğ, 2018	Toplam güç çıktısı tahmini	Maliyetler ve uygulanabilirlik	Tahmin ve sistem tasarımı	Fotovoltaik sistem	-	Akıllı şebeke altyapısı ve konverter	Uzay vektör darbe genişlik modülasyonu yöntemi

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
170	Yin ve diğ, 2020	Çizelgeleme ile üreten tüketicilerin operasyonel maliyetlerinin minimizasyonu	Yenilenebilir üreticilerin ve piyasa fiyatlarının belirsizliği ve sistem bileşenlerinin teknik kısıtları	Enerji yönetimi	Fotovoltaik sistem	-	Ana şebeke bağlantısı ve termal birimler	Stackelberg oyunu ve satır ve sütun üretme algoritması
171	Yu ve diğ, 2016	Maliyet minimizasyonu	Ekonomik akış, güç dengesi, üreticilerin teknik kısıtları ve depolama regülasyonları	Enerji yönetimi	Gaz motoru, gaz türbini, biyokütle, rüzgâr türbini ve fotovoltaik panel	Batarya, termal depolama birimi ve yakıt hücresi	Ana şebeke	Çok amaçlı optimizasyon
172	Yuan ve diğ, 2019	Operasyonel maliyetlerin minimizasyonu	Sistem bileşenlerinin teknik kısıtları, güç dengesi ve yük kısıtları	Talep tepkisi	Fotovoltaik sistem, rüzgâr türbinleri, mikro türbin ve yakıt hücresi	Enerji depolama sistemi	Ana şebeke bağlantısı ve evirgeç	Model öngörülü kontrol, aşırı öğrenme makineleri tekniği ve parçacık sürü optimizasyonu

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
173	Zakariazadeh ve diğ, 2014	İşletme maliyetleri ile elektrik ve rezerv maliyetleri minimizasyonu	Yük dengesi, talep tepkisi kısıtları, güç akışı ve depolama kısıtları	Talep tepkisi	Fotovoltaik birimler, rüzgâr türbinleri ve yakıt hücresi	Batarya	Ana şebeke	Karışık tam sayılı doğrusal programlama ve doğrusal olmayan programlama
174	Zeng ve diğ, 2017	Termostatik cihazların yük yönetimi	Müşteri termostat ayarları, ısı sınırları ve kompresörlerin çalışma aralıkları	Talep tepkisi	Rüzgâr türbini ve fotovoltaik sistem	Batarya	Ana şebeke bağlantısı	Ağırlık katsayılı kuyruk algoritması
175	Zhang ve diğ, 2018a	Optimal çizelgeleme tasarımının elde edilmesi	Yük talebi, maliyet, batarya kısıtları ve politikalar	Ekonomik dağıtım	Rüzgâr türbinleri ve solar paneller	Batarya	-	Markov karar süreci ve doğrusal aproksimasyon yaklaşımı
176	Zhang ve diğ, 2018b	İşletme maliyetleri minimizasyonu	Tahmin belirsizlikleri, güç dengesi ve üretim tarafı, talep tarafı ve depolama kısıtları	Enerji yönetimi	Fotovoltaik paneller, rüzgâr türbinleri, yakıt hücresi ve dizel jeneratör	Batarya	Ana şebeke	Stokastik karışık tam sayılı kuadratik programlama

Çizelge A.1 (devam) : Kaynakça tablosu.

No	Referans	Amaç	Kriterler	Fonksiyon	Güç kaynakları	Depolama sistemi	Diğer sistem bileşenleri	Yöntem
177	Zhang ve diğ, 2019	Bir mikro şebekenin çizelgeleme optimizasyonu	Sistem bileşenlerinin teknik ve operasyonel kısıtları, güç dengesi ve yük kısıtları	Talep tepkisi	Yakıt hücresi temelli kombine ısı ve güç sistemleri, rüzgâr türbinleri ve fotovoltaik sistem	Batarya ve termal enerji depolama sistemi	Ana şebeke bağlantısı	Model öngörülü kontrol ve karışık tam sayılı doğrusal programlama
178	Zhang ve Wei, 2020	Güç üretimi optimizasyonu	Teknik kısıtlar ve bileşenlerin kontrol stratejileri	Enerji yönetimi	Fotovoltaik sistem, hidrojen üretim birimi ve yakıt hücresi	Lityum batarya	-	Matematiksel modelleme
179	Ziogou ve diğ, 2013	Hidrojen üretimi maksimizasyonu	Batarya kısıtları ve sistem bileşenlerinin kullanım ömürleri ve kapasiteleri	Enerji yönetimi	Fotovoltaik sistem	Kurşun asitli batarya	Solar hidrojen üretim birimi ve elektroliz sistemi	Matematiksel modelleme

EK B Mikro şebekenin sistem dinamiği anketi

Aşağıdaki anket soruları, bir OSB'ye hizmet veren ve mevcut durumda içinde fotovoltaik sistem, rüzgâr enerjisi sistemi ve dizel jeneratör barındıran, ayrıca ana şebeke ile bağlantısı olup güç alışverişi olanağı olan bir mikro şebeke sisteminin gelecek senaryolarının analizi için hazırlanmıştır.

Etki No	**Etki**	Kesinlikle katılmıyorum	Katılmıyorum	Kararsızım	Katılıyorum	Kesinlikle katılıyorum
E1	Talep üretimden fazlaysa, ana şebeke kullanımı artar.					
E2	Talep üretimden fazlaysa, dizel jeneratör kullanımı artar.					
E3	Talep üretimden fazlaysa, enerji depolama sistemi yatırımı artar.					
E4	Mikro şebeke öngörülerinde başarım düşerse, ana şebeke kullanımı artar.					
E5	Mikro şebeke öngörülerinde başarım düşerse, dizel jeneratör kullanımı artar.					
E6	Mikro şebeke öngörülerinde başarım düşerse, enerji depolama sistemi yatırımı artar.					
E7	Şebekeden ortalama alış fiyatı artarsa, dizel jeneratör yatırımı artar.					
E8	Şebekeden ortalama alış fiyatı artarsa, enerji depolama sistemi yatırımı artar.					
E9	Şebekeden ortalama alış fiyatı artarsa, yenilenebilir enerji yatırımı artar.					
E10	Talep artarsa, dizel jeneratör yatırımı artar.					
E11	Talep artarsa, yenilenebilir enerji yatırımı artar.					
E12	Kesintiler (blackout) artarsa, dizel jeneratör yatırımı artar.					
E13	Kesintiler (blackout) artarsa, enerji depolama sistemi yatırımı artar.					
E14	OSB'deki firma sayısının artışı, talebi arttırır.					
E15	OSB'ye kâğıt, kimya, cam ve çimento sektöründen firmaların girişi, talebi arttırır.					
E16	OSB'ye veri merkezi kurulması, talebi arttırır.					
E17	Fosil yakıt fiyatlarının artışı, şebekeden alış fiyatını arttırır.					
E18	Yenilenebilir enerji teşviklerinin kaldırılması, şebekeden alış fiyatını arttırır.					
E19	Doğalgaz pazarının kurulması, şebekeden alış fiyatını azaltır.					
E20	Ekonomik krizler, talebi azaltır.					
E21	Ekonomik krizler, şebekeden alış fiyatını arttırır.					
E22	Olağanüstü durumlar, talebi azaltır.					

E23	Olağanüstü durumlar, şebekeden alış fiyatını arttırır.					
E24	İletim hatları ve trafolara yatırımın artması, kesintileri (blackout) azaltır.					
E25	İletim hatları ve trafo bakımlarının artması, kesintileri (blackout) azaltır.					
E26	Doğalgaz pazarının kurulması, kesintileri (blackout) azaltır.					
E27	Talep üretimden fazlaysa, ana şebeke kullanımı azalır.					
E28	Talep üretimden fazlaysa, dizel jeneratör kullanımı azalır.					
E29	Talep üretimden fazlaysa, enerji depolama sistemi yatırımı azalır.					
E30	Mikro şebeke öngörülerinde başarım düşerse, ana şebeke kullanımı azalır.					
E31	Mikro şebeke öngörülerinde başarım düşerse, dizel jeneratör kullanımı azalır.					
E32	Mikro şebeke öngörülerinde başarım düşerse, enerji depolama sistemi yatırımı azalır.					
E33	Şebekeden ortalama alış fiyatı artarsa, dizel jeneratör yatırımı azalır.					
E34	Şebekeden ortalama alış fiyatı artarsa, enerji depolama sistemi yatırımı azalır.					
E35	Şebekeden ortalama alış fiyatı artarsa, yenilenebilir enerji yatırımı azalır.					
E36	Talep artarsa, dizel jeneratör yatırımı azalır.					
E37	Talep artarsa, yenilenebilir enerji yatırımı azalır.					
E38	Kesintiler (blackout) artarsa, dizel jeneratör yatırımı azalır.					
E39	Kesintiler (blackout) artarsa, enerji depolama sistemi yatırımı azalır.					
E40	OSB'deki firma sayısının artışı, talebi azaltır.					
E41	OSB'ye kâğıt, kimya, cam ve çimento sektöründen firmaların girişi, talebi azaltır.					
E42	OSB'ye veri merkezi kurulması, talebi azaltır.					
E43	Fosil yakıt fiyatlarının artışı, şebekeden alış fiyatını azaltır.					
E44	Yenilenebilir enerji teşviklerinin kaldırılması, şebekeden alış fiyatını azaltır.					
E45	Doğalgaz pazarının kurulması, şebekeden alış fiyatını arttırır.					
E46	Ekonomik krizler, talebi arttırır.					
E47	Ekonomik krizler, şebekeden alış fiyatını azaltır.					
E48	Olağanüstü durumlar, talebi arttırır.					
E49	Olağanüstü durumlar, şebekeden alış fiyatını azaltır.					
E50	İletim hatları ve trafolara yatırımın artması, kesintileri (blackout) arttırır.					
E51	İletim hatları ve trafo bakımlarının artması, kesintileri (blackout) arttırır.					
E52	Doğalgaz pazarının kurulması, kesintileri (blackout) arttırır.					

EK C Tahmin sonuçları

Çizelge C.1 : 28.08.2018 için OSB'nin gerçek ve tahmini toplam elektrik tüketim değerleri.

Saat	Gerçek tüketim (kWh)	ARIMA tahmin sonucu (kWh)	YSA tahmin sonucu (kWh)
00:00 – 01:00	4473,64	4354,25	5255,49
01:00 – 02:00	4341,62	4599,29	5076,43
02:00 – 03:00	4508,39	4339,38	5143,7
03:00 – 04:00	4501,75	4634,58	5137,4
04:00 – 05:00	4467,73	4662,51	4999,37
05:00 – 06:00	4489,06	4928,64	5094,3
06:00 – 07:00	4599,13	5187,93	5225,98
07:00 – 08:00	6034,43	5555,19	5881,39
08:00 – 09:00	10449,22	7512,47	8806,15
09:00 – 10:00	12562,07	12213,21	11676,55
10:00 – 11:00	12774,01	12664,73	12164,42
11:00 – 12:00	13310,02	12846,32	12354,05
12:00 – 13:00	12343,85	13092,31	11912,84
13:00 – 14:00	12130,4	12226,1	11131,02
14:00 – 15:00	13309,29	13147,9	12105,37
15:00 – 16:00	13131,28	13430,53	12355,24
16:00 – 17:00	12640,01	12008,55	11930,58
17:00 – 18:00	11756,17	11401,07	11436,13
18:00 – 19:00	8869,41	9746,11	9194,04
19:00 – 20:00	6486,71	6887,54	7065,55
20:00 – 21:00	5786,7	5532,34	6064,46
21:00 – 22:00	5526,1	5427,4	5695,95
22:00 – 23:00	5299,82	5660,81	5692,79
23:00 – 00:00	5175,94	5560,01	5615,83
MAPE:		%5,84	%8,76
R^2:		0,962	0,988

Çizelge C.2 : 30.11.2018 için OSB'nin gerçek ve tahmini toplam elektrik tüketim değerleri.

Saat	Gerçek tüketim (kWh)	ARIMA tahmin sonucu (kWh)	YSA tahmin sonucu (kWh)
00:00 - 01:00	5367,49	5308,8	5197,83
01:00 - 02:00	5295,56	5156,92	5190,24
02:00 - 03:00	5339,65	5178,96	5075,7
03:00 - 04:00	5396,27	5235,01	5060,98
04:00 - 05:00	5465,55	5572,4	5251,24
05:00 - 06:00	5433,41	5791,47	5317,65
06:00 - 07:00	5439,89	6135,52	5370,39
07:00 - 08:00	6982,65	6410,81	5757,42
08:00 - 09:00	12102,15	8514,8	8715,68
09:00 - 10:00	14990,75	13880,47	11155,64
10:00 - 11:00	15198,81	14885,69	11734,97
11:00 - 12:00	15681,52	14654,26	12229,09
12:00 - 13:00	13390,11	14948,1	10925,58
13:00 - 14:00	11745,24	12421,67	9750,8
14:00 - 15:00	15091,36	12735,21	11618,41
15:00 - 16:00	14996,09	15965,49	11805,33
16:00 - 17:00	14320,81	13131,85	11802,92
17:00 - 18:00	13406,46	12980,83	10815,1
18:00 - 19:00	9929,08	10335,03	8892,58
19:00 - 20:00	7039,85	7236,12	6944,11
20:00 - 21:00	6342	6170,21	5714,1
21:00 - 22:00	6073,44	5787,52	5553,23
22:00 - 23:00	5843,64	5991,83	5378,88
23:00 - 00:00	5592,07	5885,62	4998,36
MAPE:		%6,57	%12,7
R^2:		0,937	0,984

Çizelge C.3 : 28.02.2019 için OSB'nin gerçek ve tahmini toplam elektrik tüketim değerleri.

Saat	Gerçek tüketim (kWh)	ARIMA tahmin sonucu (kWh)	YSA tahmin sonucu (kWh)
00:00 - 01:00	5501,78	5782,84	5320,2
01:00 - 02:00	5448,33	5732,2	4933,92
02:00 - 03:00	5484,18	5758,24	4953,08
03:00 - 04:00	5502,87	5708,89	4984,59
04:00 - 05:00	5571,54	5843,3	5215,99
05:00 - 06:00	5627,52	5993,11	5036,05
06:00 - 07:00	5686,67	6430,64	5087,87
07:00 - 08:00	7536,23	6747,22	5722,74
08:00 - 09:00	13374,3	9255,41	8951,57
09:00 - 10:00	16322,59	15404,58	11671,87
10:00 - 11:00	16506,12	16284,91	12256,02
11:00 - 12:00	16822,79	16257,99	12569,52
12:00 - 13:00	15492,48	16247,93	11865,09
13:00 - 14:00	15005,44	15131,3	10880,68
14:00 - 15:00	16069,63	16187,53	11920,08
15:00 - 16:00	15529,45	16147,43	12120,04
16:00 - 17:00	14860,99	14074,07	11922,14
17:00 - 18:00	14032,38	13240,16	11330,67
18:00 - 19:00	10597,71	11606,5	9354,53
19:00 - 20:00	7733,57	8021,92	7360,54
20:00 - 21:00	6854,29	6429,35	6240,71
21:00 - 22:00	6412,66	6212,83	5960,54
22:00 - 23:00	6053,35	6598,06	5644,09
23:00 - 00:00	5884,71	6504,29	5523,43
MAPE:		%6,61	%15,8
R^2:		0,954	0,975

Çizelge C.4 : 27.05.2019 için OSB'nin gerçek ve tahmini toplam elektrik tüketim değerleri.

Saat	Gerçek tüketim (kWh)	ARIMA tahmin sonucu (kWh)	YSA tahmin sonucu (kWh)
00:00 - 01:00	2467,6	2848,55	2002,48
01:00 - 02:00	2455,02	2408,41	2150,44
02:00 - 03:00	2437,74	2117,16	2051,36
03:00 - 04:00	2419,05	2101,2	2274,68
04:00 - 05:00	2624,34	2552,24	2279,25
05:00 - 06:00	2710,2	3177,52	2486,8
06:00 - 07:00	3005,8	3324,02	2623,03
07:00 - 08:00	5008,22	4196,79	4098,74
08:00 - 09:00	9864,72	6747,6	8044,39
09:00 - 10:00	12164,46	11871,61	10680,35
10:00 - 11:00	12576,38	12304,44	11634,1
11:00 - 12:00	13025,07	12595,71	11918,23
12:00 - 13:00	12203,49	12628,36	11709,03
13:00 - 14:00	11476,06	12144,18	11308,97
14:00 - 15:00	12889,56	12187,64	11969,11
15:00 - 16:00	12726,87	13175,55	12098,45
16:00 - 17:00	12450,01	11372,09	11601,7
17:00 - 18:00	11262,2	11384,03	10972,96
18:00 - 19:00	8088,3	9052,9	9714,07
19:00 - 20:00	6127,76	6158,69	7173,07
20:00 - 21:00	5285,13	5412,39	6177,13
21:00 - 22:00	5639,58	4992,75	5666,34
22:00 - 23:00	5877,81	6169,53	5328,49
23:00 - 00:00	5927,75	5986,03	5418,56
MAPE:		%7,92	%10,5
R^2:		0,964	0,969

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad **:** Zeynep Bektaş
Doğum Tarihi ve Yeri **:**

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** **:** 2012, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Matematik Mühendisliği
- **Yüksek lisans** **:** 2015, İstanbul Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Endüstri Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Bektaş, Z.**, Kayakutlu, G. 2021. Review and clustering of optimal energy management problem studies for industrial microgrids, *International Journal of Energy Research*, 45, 103-117.