



T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DAĞITIK GÜÇ ŞEBEKELERİNDE REAKTİF
GÜCÜN OPTİMAL YÖNETİMİ**

SABRİ MURAT KISAKÜREK

DOKTORA TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KAHRAMANMARAŞ 2025

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DAĞITIK GÜÇ ŞEBEKELERİNDE REAKTİF
GÜCÜN OPTİMAL YÖNETİMİ

SABRİ MURAT KISAKÜREK

DOKTORA TEZİ

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

KAHRAMANMARAŞ 2025

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada, alıntı yapılan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm

Sabri Murat KISAKÜREK



Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

DAĞITIK GÜÇ ŞEBEKELERİNDE REAKTİF GÜCÜN OPTİMAL YÖNETİMİ

(DOKTORA TEZİ)

SABRİ MURAT KISAKÜREK

ÖZET

Bu çalışma, Türkiye'deki dağıtım sistemlerindeki fotovoltaiik (PV) santrallerin verimliliğini artırmak ve şebeke kararlılığını sağlamak amacıyla, optimum düzeyde reaktif güç desteği alınarak şebekenin gerilim profilini optimize etmeyi hedeflemektedir. İlk olarak, enerji sektöründe dağıtım sistemleri ve fotovoltaiik santrallerin yapısı ile çalışma prensipleri ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Daha sonra, reaktif gücün tanımı, önemi, kullanım alanları ve teknolojileri hakkında bir literatür taraması yapılmış ve PV santrallerden sağlanabilecek reaktif güç desteği limitleri belirlenmiştir. Bu limitler dahilinde santrallerden alınması gereken reaktif gücün optimum düzeyinin belirlenmesi amacıyla Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), Genetik Algoritması (GA), Jaya Algoritması ve Ateş Böceği Algoritması kullanılmıştır. Algoritmalar, Adıyaman ve Kahramanmaraş illerinin elektrik dağıtım sistemi operatörü AKEDAŞ'a ait Adıyaman TM Şehir 1 fideri üzerinde yapılan simülasyonlar ile test edilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca, algoritmaların hesapladığı optimum reaktif güç değerlerini santrallerde uygulamak için Modbus protokolü ile santrallerin inverterleri üzerinden iletişim kuran ve reaktif güç set değerlerini ayarlayabilen bir uygulama geliştirilmiş ve gerçek bir santralde başarıyla test edilmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, Türkiye'deki elektrik dağıtım sektöründe şebekenin daha ideal gerilim profili şartlarında çalışmasına katkı sağlamak amacıyla, PV santrallerin reaktif güç kompanseörü olarak etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Bu durum, PV santrallerin artan kullanımıyla birlikte, dağıtım sistemlerindeki gerilim profili optimizasyonu ve şebeke kararlılık sorunlarına çözüm sunması açısından önemli bir adımdır.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaiik Santraller (PV), Kompanzasyon, Reaktif Güç, Optimizasyonu, Şebeke Kararlılığı, Optimizasyon Algoritmaları

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ocak /2025

Birinci Danışman: Prof. Dr. Ahmet Serdar YILMAZ

İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mücahid GÜNAY

Sayfa sayısı : 109

OPTIMAL MANAGEMENT OF REACTIVE POWER IN DISTRIBUTED POWER GRIDS

(Ph.D. THESIS)

SABRİ MURAT KISAKÜREK

ABSTRACT

This study aims to optimize the voltage profile of the grid by leveraging the reactive power support from photovoltaic (PV) plants to enhance the efficiency of Turkey's distribution systems and ensure grid stability. First, the structure and operating principles of distribution systems and photovoltaic plants in the energy sector were examined in detail. Subsequently, a literature review was conducted on the definition, importance, applications, and technologies of reactive power, and the reactive power support limits that can be provided by PV plants were identified. To determine the optimal level of reactive power that should be obtained from the plants within these limits, Particle Swarm Optimization (PSO), Genetic Algorithm (GA), Jaya Algorithm, and Firefly Algorithm were employed. These algorithms were tested through simulations conducted on the Adıyaman TM Şehir 1 feeder, part of the electricity distribution system operated by AKEDAŞ in Adıyaman and Kahramanmaraş provinces, and the results were compared. Additionally, an application capable of communicating with the inverters of the plants via the Modbus protocol and adjusting the reactive power setpoints was developed and successfully tested in a real PV plant. The results of this study demonstrate that PV plants can be effectively used as reactive power compensators to enable the grid to operate under more ideal voltage profile conditions in Turkey's electricity distribution sector. This finding represents a significant step in addressing voltage profile optimization and grid stability challenges in distribution systems, particularly in light of the increasing use of PV plants.

Keywords: Photovoltaic, Compensation, Reactive Power Optimization, Grid Stability, Optimization Algorithms

Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical and Electronics Engineering, Ocak/ 2025

Supervisor : Prof. Dr. Ahmet Serdar YILMAZ

Co-supervisor : Assist. Prof. Dr. Mücahid GÜNAY

Page number : 109

TEŞEKKÜR

Öncelikle, 2023 yılında yaşanan Kahramanmaraş depremlerinde hayatını kaybeden ve doktora sürecime başlamamda büyük bir ilham kaynağı olan rahmetli Prof. Dr. Mustafa Şekkeli'yi rahmetle anıyorum. Kendisi, akademik yolculuğumda benim için bir rehber olmuş ve kariyerime yön vermemde büyük bir katkı sağlamış ve destek vermiştir. Bu vesileyle, onun anısını saygıyla yad eder, minnet ve şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmam boyunca her türlü desteği sağlayan, bilgi ve deneyimiyle bana rehberlik eden danışman hocam Prof. Dr. Ahmet Serdar Yılmaz'a en derin teşekkürlerimi sunarım. Hocam, yalnızca akademik yönlendirmeleriyle değil, aynı zamanda sabrı, anlayışı ve motive edici yaklaşımıyla bu süreci benim için daha verimli hale getirmiştir. Tezimi zenginleştirmeme yönelik sunduğu olumlu ve değerli geri bildirimleri için Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölüm Başkanı Doç. Dr. Ökkeş Fatih Keçecioğlu'na, diğer kıymetli hocalarıma bilgi ve birikimlerini benimle paylaşarak, bana bu süreçte büyük destek sağlamışlardır. Kendilerine teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmada kullanılan verilerin temini ve saha çalışmaları sırasında bana büyük destek sağlayan AKEDAŞ ailesine, özellikle Alican Kayıkçı'ya, değerli katkılarından ötürü içtenlikle teşekkür ederim. Ayrıca, DİG SILENT yazılımı konusunda her türlü teknik desteği sağlayan ve sürecimi kolaylaştıran EPRA ailesine teşekkür etmek isterim. Özellikle simülasyon süreçlerinde sağladıkları destek, bu çalışmanın başarıyla tamamlanmasında kritik bir rol oynamıştır.

Son olarak, bu süreç boyunca her zaman yanımda olan ve beni her daim destekleyen başta eşim Mevhibe Kısakürek, babam Dr. Tevfik Kısakürek ve annem Leyla Kısakürek olmak üzere aileme en derin teşekkürlerimi sunarım. Gerek akademik gerekse manevi destekleriyle her zaman yanımda olan kıymetli abim Prof. Dr. Yusuf Uras'a, bu yolculuğumda bana rehberlik eden tüm arkadaşlarıma ve meslektaşlarıma minnettarlığımı ifade etmek isterim. Her birine sonsuz şükranlarımı sunarım.

Sabri Murat KISAKÜREK

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Enerji Sektöründe Dağıtım Sistemi	1
1.2. Fotovoltaik (PV) Santraller.....	2
1.3. Reaktif Güç	4
1.3.1. Reaktif güç nedir?	4
1.3.2. Reaktif gücün önemi ve kullanım alanları	6
1.3.3. Reaktif güç desteği teknolojileri	6
1.4. Şebekenin Gerilim Profili ve Optimizasyonu	8
1.5. Türkiye’deki Mevzuat ve Uluslararası Uygulamalar	10
1.5.1. Türkiye’deki mevzuat	10
1.5.2. Uluslararası uygulamalar ve standartlar	11
1.6. Kontrol Merkezleri	23
1.7. Bölüm Değerlendirmesi.....	24
2. MATERYAL VE METOD	27
2.1. PV Santrallerden Alınabilecek Reaktif Güç Destek Limitleri.....	27
2.1.1. Akım limiti	27
2.1.2. Gerilim limiti.....	28
2.1.3. Güç faktörü Limiti.....	29
2.2. Optimizasyon Algoritmaları	30
2.2.1. Parçacık sürü optimizasyonu.....	30
2.2.2. Genetik algoritması	32
2.2.3. Jaya algoritması.....	35
2.2.4. Ateş böceği algoritması.....	37
3. SİMÜLASYON TABANLI SAHA ÇALIŞMALARI.....	40
3.1. Örnek Dağıtım Şebekesi	40
3.2. DIgSILENT Simülasyon Programı.....	42
3.3. Bilgisayar Destekli Modelleme Çalışmaları	44
4. BULGULAR	54
4.1. Benzetimler.....	54
4.2. Dağıtım Sistemlerinde Ges Kaynaklı Reaktif Güç Üretiminin Optimizasyonu	57
4.2.1. PSO algoritması ile reaktif güç-gerilim iyileştirilmesi	58
4.2.2. Genetik algoritması ile reaktif güç-gerilim iyileştirilmesi	60
4.2.3. Jaya algoritması ile reaktif güç-gerilim iyileştirilmesi.....	62

4.2.4. Ateş böceği ile reaktif güç-gerilim iyileştirilmesi.....	64
4.3. Algoritmaların Karşılaştırılması	66
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	69
KAYNAKLAR.....	72
EKLER..	75
ÖZ GEÇMİŞ	



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AC	Alternatif Akım
AG	Alçak Gerilim
STATCOM	Statik Senkron Kompansatör
SVC	Statik Var Kompansatör
Cosφ	Güç faktörü
DC	Doğru Akım
DG	Dağıtık jeneratör
DSO	Dağıtım Sistemi Operatörü
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
kV	Kilovolt
kW	Kilowatt
LPF	Low-pass filter (alçak geçiren filtre)
LS-PVPP	Large Scale PV Power Plant (Büyük Ölçekli PV Güç Santrali)
QPTT	Reaktif güç noktası izleme
RPTT	Gerçek güç noktası izleme
PMPP	Maksimum Güç Noktası
PPC	Power Plant Controller (Santral Seviyesi Merkezi Kontrol)
DSO-PPC	Şebeke Seviyesi Merkezi Kontrol
MVA	Mega Volt Amper
MVAR	Mega Volt Amper Reaktif
MW	Mega Watt
OG	Orta gerilim ($36 \text{ kV} \geq \text{OG} \geq 1 \text{ kV}$)
p.f.	Power Factor (güç faktörü)
PPC	Power Plant Controller (Santral Seviyesi Merkezi Kontrolcüsü)
p.u.	Per Unit (Gerçek Değer / Baz Değer)
MPPT	Maximum Power Point Tracker (Maksimum Güç Değeri Takipçisi)
YG	Yüksek Gerilim

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1.1 Aktif – Reaktif Güç Üçgeni (Sezer, 2020).....	4
Şekil 1.2 Farklı ülkelerde reaktif güç zorunlulukları (Cabrera-Tobar ve ark., 2019).....	11
Şekil 1.3 Almanya’da dağıtım şebekesine bağlı PV santrallerde gerilime bağlı reaktif güç desteği yükümlülükleri	12
Şekil 1.4 Almanya’da dağıtım şebekesine bağlı PV santrallerin $\cos\theta$ kontrol zorunluluk eğrileri (VDE, 2017).....	13
Şekil 1.5 BS EN 50549-2:2019’ e göre nominal gerilimde reaktif güç kapasite eğrisi	14
Şekil 1.6 Reaktif güç destek sınırlarının şebeke bağlantı noktasındaki gerilime bağlı değişimi (BS EN 50549-2:2019).....	15
Şekil 1.7 IEEE Std. 1547-2018 Standardı- Sabit güç faktörü modu	18
Şekil 1.8 IEEE Std. 1547 Gerilim-reaktif güç kontrol modunda önerilen katsayılar.....	19
Şekil 1.9 Reaktif güç destek modeli (Cabrera-Tobar ve ark., 2019).....	20
Şekil 1.10 Aktif güç öncelikli çalışan bir jeneratörün günlük aktif güç üretimi (Cabrera-Tobar ve ark., 2019)	21
Şekil 1.11 Aktif güç öncelikli çalışan jeneratörün şebekeden çekebileceği maksimum reaktif güç (a); çalışma bölgesi (b) (Cabrera-Tobar ve ark., 2019)	21
Şekil 1.12 Aktif güç öncelikli çalışan jeneratörün reaktif güç eğrisi (a); çalışma bölgesi (b) (Cabrera-Tobar ve ark., 2019).....	22
Şekil 1.13 PV jeneratör reaktif güç öncelikli çalışırsa aktif ve reaktif güç eğrileri (Cabrera-Tobar ve ark., 2019)	22
Şekil 1.14 Tek bir invertör üzerinden şebekeye bağlı PV jeneratörün şematik gösterimi (Cabrera-Tobar ve ark., 2019).....	23
Şekil 1.15 Birden fazla PV jeneratörlü santrallerde kontrol mekanizması (Cabrera-Tobar ve ark., 2019).....	24
Şekil 2.1 PV reaktif güç akım limiti (Albarracín, ve Alonso, 2013).....	27
Şekil 2.2 İnverter akım ve gerilim limitleri (Albarracín, ve Alonso, 2013).....	29
Şekil 2.3 Parçacık sürü optimizasyonu algoritmasının akış diyagramı	32
Şekil 2.4 Genetik algoritma çalışma adımları (Karadöl,2021).....	34
Şekil 2.5 Jaya algoritmasının akış diyagramı (Rao,2016).....	37
Şekil 2.6 Ateş böceği algoritması.....	39
Şekil 3.1 Adıyaman ili şebeke bilgileri	40

Şekil 3.2 Kahramanmaraş ili şebeke bilgileri.....	41
Şekil 3.3 AKEDAŞ bölgesi dağıtık üretim kurulu gücü	41
Şekil 3.4 AKEDAŞ Adıyaman TM – şehir 1 fideri.....	42
Şekil 3.5 Yük akış analizi erişim ekranı	43
Şekil 3.6 Yük akış fonksiyonu belirleme ekranı	44
Şekil 3.7 Yük Akış analizinden önce gerilim profili	45
Şekil 3.8 Yük akış analizi uygulanması sonucu gerilimdeki iyileşme	45
Şekil 3.9 Örnek bir dağıtım merkezi tek hat şeması.....	46
Şekil 3.10 Renkler ve anlamları	46
Şekil 3.11 Örnek bir baradaki gerilim ve yük bilgileri.....	47
Şekil 3.12 İnci INCI5_2GES güç değerleri.....	48
Şekil 3.13 INCI5_2GES yıllık yük profili.....	48
Şekil 3.14 DIgSILENT -Python entegrasyonu için gerekli Manuel’e ulaşım ekranı.....	50
Şekil 4.1 DIgSILENT uygulaması üzerinde GES’lerin coğrafi gösterim	54
Şekil 4.2 DIgSILENT uygulaması üzerinde GES’lerin tek hat şeması üzerinde gösterimi	54
Şekil 4.3 DIgSILENT uygulaması üzerinde GES’lerin tek hat şeması üzerinde yakınlaştırmış gösterimi	55
Şekil 4.4 Yunus Emre fiderindeki geslerin tek hat şeması üzerinde gösterimi	55
Şekil 4.5 Ormes fiderindeki geslerin tek hat şeması üzerinde gösterimi	56
Şekil 4.6 İpekli fiderindeki geslerin tek hat şeması üzerinde gösterimi.....	57
Şekil 4.7 PSO algoritması ile optimizasyon öncesi ve sonrası şebeke gerilim profili	58
Şekil 4.8 Genetik algoritması ile optimizasyon öncesi ve sonrası şebeke gerilim profili...	60
Şekil 4.9 Jaya algoritması ile optimizasyon öncesi ve sonrası şebeke gerilim profili.....	62
Şekil 4.10 Ateş böceği algoritması ile optimizasyon öncesi ve sonrası şebeke gerilim profili	64
Şekil 4.11 Gerilim sapma endeksindeki iyileştirme sonuçları	67
Şekil 4.12 Her bir GES’in sağlamış olduğu reaktif güç veriş-çekişi.....	68

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 1.1 IEEE Std. 1547-2018 göre DG'lerin zorunlu kontrol fonksiyonları	16
Çizelge 1.2 IEEE Std 1547 göre DG'ler için önerilen minimum reaktif güç kapasitesi	16
Çizelge 3.1 Optimum reaktif güç desteği alınan geslerin listesi	49
Çizelge 4.1 PSO algoritması ile gerilim sapma endeksi iyileşme oranı	59
Çizelge 4.2 GES santrallerinden verilen-çekilen güç değerleri.....	59
Çizelge 4.3 Genetik algoritması ile gerilim sapma endeks iyileşme oranı.....	61
Çizelge 4.4 GES santrallerinden verilen-çekilen güç değerleri.....	61
Çizelge 4.5 JAYA algoritması ile gerilim sapma endeksi iyileşme oranları.....	63
Çizelge 4.6 GES santrallerinden verilen-çekilen güç değerleri.....	63
Çizelge 4.7 Ateş böceği gerilim sapma endeksi iyileşme oranları	65
Çizelge 4.8 GES santrallerinden verilen-çekilen güç değerleri.....	65
Çizelge 4.9 Algoritma Parametreleri ve Değerleri	66

1. GİRİŞ

Bu tez çalışmasında, elektrik dağıtım sisteminde kurulu olan fotovoltaik santrallerden reaktif güç desteği alınarak şebekenin gerilim profili optimizasyonunu sağlayan bir çalışmanın sonuçlarını içermektedir. Bu bağlamda, raporun daha anlaşılır ve bütüncül bir şekilde sunulabilmesi için bu bölümde temel kavramlar detaylı olarak açıklanmıştır.

- Enerji Sektöründe Dağıtım Sistemi
- Fotovoltaik (PV) Santraller
- Reaktif Güç
- Şebekenin Gerilim Profili ve Optimizasyonu

1.1. Enerji Sektöründe Dağıtım Sistemi

Enerji sektöründe dağıtım sistemi, elektrik enerjisinin iletiminden sonra tüketicilere ulaştırılmasından sorumlu olan kritik bir alt sistemdir (Alshahrani ve ark., 2020). Elektrik enerjisi, iletim aşamasından sonra dağıtım sistemleri aracılığıyla son kullanıcıya iletilir. Bu sistem, yüksek gerilim hatlarından başlayarak alçak gerilim hatlarına kadar farklı gerilim seviyelerini kapsayan ağlardan oluşur.

Dağıtım sistemi, elektrik enerjisini dağıtarak kullanıcılara güvenilir ve sürekli bir enerji kaynağı sağlamayı amaçlar. Bu sistem, enerji sektöründe büyük bir öneme sahiptir çünkü enerjinin güvenilir ve etkin bir şekilde iletilmesini sağlar. Aynı zamanda, dağıtım sisteminin enerji verimliliği, sürdürülebilirlik ve yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu gibi temel meseleleri de kapsamlı bir şekilde ele alması gerekmektedir (Alshahrani ve ark., 2020).

Enerji verimliliği, dağıtım sistemlerinin operasyonel performansını artırırken, sürdürülebilirlik ise çevresel etkileri azaltmak için kritik bir faktördür. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu, enerjinin çevre dostu ve sürdürülebilir şekilde sağlanmasına olanak tanımaktadır (Ahmadi ve ark., 2018).

Dağıtım sistemi, genellikle transformatörler, dağıtım hatları, şalt ekipmanları ve dağıtım merkezlerinden oluşur. Transformatörler, yüksek gerilimli enerjiyi daha düşük gerilim seviyelerine dönüştürerek, enerji akışının etkin ve güvenli bir şekilde son kullanıcılara ulaşmasını sağlar. Dağıtım hatları, enerjinin kullanıcılara taşınmasında kullanılan elektrik hatlarıdır. Şalt ekipmanları ise enerji akışını kontrol etmek ve güvenliği

sağlamak amacıyla anahtarlar, kesiciler ve sigortalar gibi elemanları içerir. Dağıtım merkezleri ise enerjinin toplandığı ve yönlendirildiği ana noktaları temsil eder.

Enerji sektöründe dağıtım sistemi, çeşitli zorluklarla karşı karşıya kalmaktadır. Bu zorluklar arasında enerji verimliliği, güvenlik, sürdürülebilirlik, güç kalitesi ve yük dengelemesi gibi konular bulunmaktadır. Özellikle fotovoltaik sistemler gibi dağıtılmış üretim kaynaklarının entegrasyonunun artmasıyla birlikte, gerilim kararlılığı önemli bir sorun haline gelmiştir (Zhang ve ark., 2024). Enerji verimliliği, enerjinin dağıtımı ve kullanımı sırasında kayıpların minimize edilmesini amaçlar. Sürdürülebilirlik, çevresel etkilerin azaltılmasını ve gelecek nesillere sürdürülebilir bir enerji kaynağı bırakılmasını hedefler.

Bu bağlamda, yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu, dağıtım sistemlerinin temel özelliklerinden biri haline gelmiştir. Güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi ve diğer yenilenebilir kaynaklar, dağıtım şebekelerinde giderek daha fazla yer almaktadır ve bu kaynakların entegrasyonu, şebeke yönetiminde önemli değişikliklere yol açmaktadır.

Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu, özellikle fotovoltaik (PV) sistemlerinin artışıyla daha karmaşık hale gelmiştir. Fotovoltaik santraller, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren sistemler olup, çevre dostu bir enerji üretimi sağlamaktadırlar. PV santrallerinin dağıtım sistemlerine entegrasyonu, bu alandaki önemli bir gelişmedir ve enerji sektörü üzerinde çeşitli etkiler yaratmaktadır.

Bu entegrasyon, enerji üretiminin daha çevreci bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak tanımakta, ancak aynı zamanda şebeke yönetimi açısından zorluklar da getirmektedir. PV santralleri, aktif güç üretimiyle orantılı olarak reaktif güç desteği verebilmekte ve böylece dağıtım sisteminin gerilim profili iyileştirilebilmektedir (Almeida ve ark., 2021).

Sonuç olarak, dağıtım sistemi, enerji verimliliği, güvenlik, sürdürülebilirlik ve yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu gibi meseleleri kapsamlı bir şekilde ele alan ve sürekli evrilen bir alt sistemdir. PV santrallerinin dağıtım şebekelerine entegrasyonu, güneş enerjisi gibi yenilenebilir kaynakların daha geniş kullanımını mümkün kılarak, çevre dostu ve sürdürülebilir enerji üretimini artırmaktadır (Dalal ve ark., 2023).

1.2. Fotovoltaik (PV) Santraller

Fotovoltaik (PV) güneş enerji santralleri, güneş ışığının içerdikleri fotonlar aracılığıyla elektrik enerjisini üretir. Güneş panelleri, bir dizi fotovoltaik hücreden oluşur. Bu hücreler

genellikle silisyum gibi yarıiletken malzemelerden yapılmıştır. Güneş ışığı panelin yüzeyine düştüğünde, fotovoltaiik hücrelerdeki elektronlar serbest bırakılır (Haviv ve ark., 2020).

PV santraller, enerji sektöründe büyük bir öneme sahiptir. Bunun başlıca nedeni, güneş enerjisinin sınırsız ve temiz bir enerji kaynağı olmasıdır. Güneş enerjisi, yenilenebilir bir kaynak olduğu için çevre dostu bir enerji üretimi sağlar ve fosil yakıtlara bağımlılığı azaltır (Almeida ve ark., 2021). PV santraller, elektrik üretimi için arazilere veya çatılara kurulabilir ve enerji ihtiyacının karşılanmasına katkıda bulunabilir.

PV santrallerin çalışma prensibi, fotovoltaiik hücrelerin güneş ışığı ile etkileşime girmesiyle başlar. Güneş ışığı, hücrelerdeki yarıiletken malzeme üzerindeki elektronları hareket ettirir ve bu da elektrik akımının oluşmasına neden olur. Birçok fotovoltaiik hücre bir araya getirilerek bir panel veya modül oluşturulur. Bu paneller, güneş ışığından maksimum düzeyde enerjiyi almak için güneşe doğru optimal bir açıyla konumlandırılır. (Nakamoto ve Eguchi, 2024)

PV santrallerin verimliliği, güneş ışığına olan maruziyet, panelin kalitesi ve sistem tasarımı gibi faktörlere bağlıdır. Gelişmiş teknolojiler ve daha verimli panellerin kullanılmasıyla birlikte PV santrallerin verimliliği artmaktadır (Nakamoto ve Eguchi, 2024). Ayrıca, PV santrallerin boyutları da farklı ölçeklerde olabilir. Küçük ölçekli sistemler evlerde veya işyerlerinde kullanılırken, büyük ölçekli PV santralleri ise elektrik enerjisi üretimi için büyük arazilere kurulur.

PV santrallerin avantajları arasında düşük işletme maliyetleri, bakım kolaylığı, sessiz çalışma ve uzun ömürlü olmaları sayılabilir. Ayrıca, PV santrallerinin kurulumu hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilir ve enerji üretimine hemen başlanabilir. Bu özellikler, PV santrallerini tercih edilen bir enerji üretim yöntemi haline getirmektedir.

PV santrallerinin yaygın olarak kullanılması, enerji sektöründe sürdürülebilir bir dönüşümün bir parçasıdır. Güneş enerjisi potansiyeli yüksek olan bölgelerde, PV santralleri büyük miktarda elektrik enerjisi üretebilir ve enerji arzını çeşitlendirebilir. Ayrıca, PV santrallerinin kullanımı, enerji maliyetlerinin düşürülmesine ve enerji güvenliğinin artırılmasına da katkıda bulunabilir.

Sonuç olarak, fotovoltaiik (PV) santraller güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren ve enerji sektöründe önemli bir yere sahip olan sistemlerdir. PV santralleri, temiz ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak çevre dostu bir enerji üretimi sağlar. Gelişen teknolojiler ve düşen maliyetlerle birlikte PV santrallerinin kullanımı giderek artmakta ve

enerji sektöründe dönüşümün bir parçası olmaktadır. Aynı zamanda, Fotovoltaik enerji kaynaklarının güç şebekesine entegrasyonu, modern güç sistemi çalışmalarında öncü bir yaklaşımı temsil etmektedir (Wang ve ark., 2024).

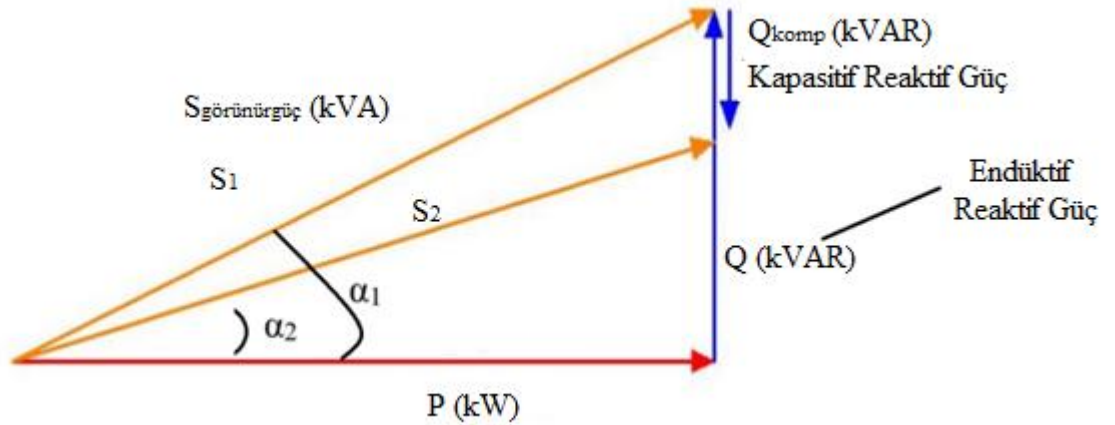
1.3. Reaktif Güç

1.3.1. Reaktif güç nedir?

Reaktif güç, elektrik sistemlerinde aktif güçle birlikte önemli bir rol oynayan bir kavramdır. Elektrik sistemlerinde enerji transferi ve kullanımı sırasında, elektrik akımı ve gerilim arasında bir faz farkı oluşur. Bu faz farkı, reaktif gücün varlığına işaret eder. Reaktif güç, akım ve gerilim arasındaki faz farkının neden olduğu bir güç türüdür.

Aktif güç, bir elektrik devresinde gerçek iş yapan ve enerjiyi faydalı bir şekilde dönüştüren güç bileşenidir. Elektrik enerjisinin mekanik enerji (motorlar), ısı enerjisi (rezistanslar) veya ışık enerjisi (ampuller) gibi farklı enerji türlerine dönüşümünü ifade eder. Aktif güç, doğrudan tüketilen veya iş yapmak için kullanılan enerji miktarını temsil eder ve genellikle watt (W), kilowatt (kW) veya mega watt (MW) birimleriyle ölçülür.

Reaktif güç ise endüktif veya kapasitif yüklerin varlığından kaynaklanan bir etkidir. Bu yükler, elektrik sistemine enerji depolayabilir veya enerji talep edebilir.



Şekil 1.1 Aktif – Reaktif Güç Üçgeni (Sezer, 2020)

Şekil 1.1’ de verilen Aktif-Reaktif Güç Üçgeni, elektrik sistemlerinde aktif güç (P), reaktif güç (Q) ve görünür güç (S) arasındaki ilişkiyi net bir şekilde ifade etmektedir. Bu üçgen, aynı zamanda kompanzasyon öncesi ve sonrası durumları görselleştirmek için kullanılmıştır. Güç Faktörü ($\cos \alpha$), (P) yani aktif gücün (S) yani görünür güce oranı ile elde edilir.

$$\cos \alpha = P / \sqrt{(P)^2 + (Q)^2} = P / S \quad (1.1)$$

Alternatif akım sistemlerinde reaktif güç, motorların kalkışı sırasında elektromanyetik alanın oluşturulması gibi ihtiyaçlar için gereklidir. Bu güç, enerji aktarımı sırasında manyetik alanın korunmasını sağlar, ancak faydalı iş yapmaz. Şekil 1.1 ‘de, reaktif güç (Q) eksenini dikey olarak gösterilmiş olup, eksen üzerinde Q_{komp} (kompanzasyonlu reaktif güç) ve kompanzasyon öncesi reaktif güç arasındaki fark ifade edilmiştir.

Üçgendeki açılar şu şekilde açıklayabiliriz:

- Kompanzasyon Öncesi Durum (α_1): Sistemdeki reaktif gücün (Q) daha yüksek olduğu durumdur. Bu durumda güç faktörü düşük olup, görünür güç (S_1) ile aktif güç arasındaki açı (α_1) daha büyüktür.
- Kompanzasyon Sonrası Durum (α_2): Kompanzasyon sonrası, sistemdeki reaktif güç azalmış ve kompanzasyonlu reaktif güç (Q_{komp}) devreye alınmıştır. Bu durum, güç faktörünü iyileştirir ve görünür güç (S_2) ile aktif güç arasındaki açı (α_2) küçülür.

Şekil 1.1, elektrik sistemlerinde kompanzasyonun önemini görselleştirir. Kompanzasyon, reaktif güç ihtiyacını azaltarak sistemin daha verimli çalışmasını sağlar. Bu sayede güç faktörü iyileştirilir, kayıplar minimize edilir ve görünür güç daha etkin kullanılır.

Elektrik sistemlerinde reaktif güç, iki ana kategoriye ayrılır: endüktif reaktif güç ve kapasitif reaktif güç. Endüktif reaktif güç, endüktif yükler (motorlar, transformatörler, bobinler gibi) tarafından çekilir ve Q ekseninde yukarı yönlü bir vektör olarak temsil edilir. Bu durumda görünür güç (S) vektörü aktif güç (P) ve endüktif reaktif güç (Q) bileşenlerinden oluşur.

Kapasitif reaktif güç ise kapasitif yükler (kondansatörler gibi) tarafından sağlanır ve Q ekseninde aşağı yönlü bir vektör olarak temsil edilir. Kapasitif reaktif güç, endüktif reaktif gücü dengelemek ve güç faktörünü iyileştirmek amacıyla sistemlere eklenir. Bu, özellikle endüktif yüklerin hâkim olduğu sistemlerde enerji verimliliğini artırmak ve güç iletim kayıplarını azaltmak için kritik öneme sahiptir. Şekil 1.1’ de belirtildiği gibi, endüktif reaktif

güç yukarı doğru pozitif bir vektörle ifade edilirken, kapasitif reaktif güç tam tersi yönde bulunur. Bu iki bileşenin dengelenmesi, elektrik sistemlerinin kararlılığı ve verimliliği açısından büyük önem taşır.

Reaktif güç, doğrudan tüketilmeyen ancak elektrik sistemlerinde stabiliteyi korumak ve enerji transferini sağlamak için gerekli olan bir bileşendir. Bu nedenle reaktif güç yönetimi hem teknik hem de ekonomik açıdan önemlidir. Kompanzasyon cihazları (örneğin, şönt kapasitörler veya statik var kompanzasyonlar), reaktif gücü dengeleyerek güç faktörünü iyileştirir ve sistem kayıplarını azaltır (Almeida ve ark., 2021).

1.3.2. Reaktif gücün önemi ve kullanım alanları

Reaktif gücün önemi, elektrik sistemlerinin verimli ve güvenli bir şekilde çalışabilmesi için vurgulanmaktadır. Reaktif güç, aşırı gerilim ve akım dalgalanmalarını düzenleyerek, güç faktörünü düzeltir ve enerji kayıplarını azaltır. Ayrıca, reaktif güç, gerilim düşmesini engelleyerek, elektrik ekipmanlarının ve motorların daha iyi performans göstermesini sağlar (Almeida ve ark., 2021). Reaktif güç planlaması, güç sistemi işlevselliğinde önemli bir rol oynar ve gerilim kararlılığı, güç kalitesi ve enerji iletim verimliliğini derinden etkiler (Mohammed ve ark., 2024).

Reaktif güç, birçok farklı endüstride önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle endüstriyel tesislerde, büyük motorlar, transformatörler ve endüktif yükler gibi reaktif güce ihtiyaç duyan cihazlar bulunmaktadır. Reaktif güç, bu tür yüklerin çalışması için gereklidir ve düşük bir reaktif güç faktörü, enerji verimliliğini düşürür, elektrik faturalarını artırır ve ekipmanlarda aşırı ısınma gibi sorunlara neden olabilir. Bu nedenle, reaktif güç yönetimi, enerji sistemlerinde maliyetlerin düşürülmesi ve verimliliğin artırılması açısından kritik bir öneme sahiptir.

1.3.3. Reaktif güç desteği teknolojileri

Reaktif güç desteği sağlamak amacıyla birçok teknoloji ve çözüm mevcuttur. Bunlar arasında kondansatör bankaları, statik reaktif güç kompanzasyon üniteleri, STATCOM ve SVC gibi cihazlar bulunmaktadır.

Kondansatör bankaları, reaktif güç tüketen cihazlara paralel bağlanarak güç faktörünün düzeltilmesini sağlar. Bu cihazlar, endüstriyel tesislerde yaygın olarak kullanılmakta olup, enerji verimliliğini artırırken enerji kayıplarını azaltmaktadır (Jambhulkar ve Adware, 2018).

Statik reaktif güç kompanzasyon üniteleri, hızlı ve hassas bir şekilde reaktif güç desteği sağlamak için kullanılır. Bu üniteler, endüstriyel tesislerdeki dalgalanmaları düzeltir ve güç faktörünü optimize eder (Jambhulkar ve Adware, 2018).

Sonuç olarak, reaktif güç, elektrik sistemlerinde önemli bir rol oynayan bir kavramdır. Reaktif güç yönetimi, enerji verimliliğini artırır, güç faktörünü düzeltir ve enerji kayıplarını azaltır. Reaktif güç desteği sağlamak için kullanılan teknolojiler, endüstriyel tesislerde ve güç sistemlerinde önemli bir yere sahiptir. Bu teknolojiler, enerji verimliliğini artırarak maliyetleri düşürür ve elektrik sistemlerinin güvenli ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlar.

Bu cihazlara ek olarak son yıllarda, fotovoltaik (PV) santrallerden de reaktif güç desteği sağlanabilme potansiyeli giderek artmaktadır. Geleneksel olarak, reaktif güç desteği sağlamak için özellikle kompanzasyon sistemleri ve kondansatör bankaları kullanılmıştır. Ancak, PV santralleri yenilenebilir enerji kaynakları olarak hızla yaygınlaşmış ve gelişmiştir.

PV santralleri, güneş ışığından elde edilen enerjiyi doğru gerilim ve akım düzeylerine dönüştürerek elektrik enerjisi üretir. Bu süreç sırasında, reaktif güç üretimi de mümkündür. PV santralleri hem aktif hem de reaktif güç yönetimi için optimize edilerek enerji sistemlerine entegre edilebilir (Almeida ve ark., 2021).

PV santrallerinden reaktif güç desteği sağlamak için çeşitli teknolojiler ve yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar arasında:

- Statik Reaktif Güç Kompanzasyonu: PV santralleri, statik reaktif güç kompanzasyonu sağlamak için kullanılan kompanzasyon sistemleriyle entegre edilebilir. Bu sistemler, reaktif güç dengesini sağlamak için kondansatör bankalarını kullanır. (Lourenço ve ark., 2018).
- Aktif Güç Elektronikleri: PV santrallerinde kullanılan güç elektronikleri, reaktif güç desteği sağlamak için de optimize edilebilir. Kontrollü redresörler, invertörler ve dönüştürücüler aracılığıyla reaktif güç akışı kontrol edilebilir (Lourenço ve ark., 2018).
- Akıllı Kontrol ve Optimizasyon Algoritmaları: Akıllı algoritmalar, PV santrallerinin üretim profili ve şebeke ihtiyaçlarını analiz ederek reaktif güç akışını optimize eder. Bu algoritmalar, PV santrallerinin üretim profilini ve şebekenin ihtiyaçlarını analiz ederek reaktif güç akışını optimize eder (Santhoshi ve ark., 2019).

- Batarya Depolama Sistemleri: PV santralleriyle entegre edilen batarya depolama sistemleri, reaktif güç desteği sağlamak için kullanılabilir. Bataryalar, faz farklarını düzeltmek ve reaktif güç dengelemesi yapmak için kullanılabilir (Almeida ve ark., 2021).

Bu teknolojilerin kullanımıyla PV santralleri, reaktif güç desteği sağlayarak şebekenin gerilim profilini optimize etme yeteneğine sahip olabilir. Bu, PV santrallerinin daha etkin bir şekilde entegre edilmesini ve enerji sektöründeki güç kalitesini artırmasını sağlar.

Sonuç olarak, son yıllarda PV santrallerinden reaktif güç desteği sağlanabilme potansiyeli artmıştır. Gelişen teknolojiler ve akıllı kontrol sistemleri sayesinde, PV santralleri hem aktif hem de reaktif güç üretimi ve yönetimi konusunda daha esnek bir rol oynayabilir. Bu da enerji sektöründe daha sürdürülebilir ve güvenilir bir güç sistemi oluşturma yolunda önemli bir adımdır.

1.4. Şebekenin Gerilim Profili ve Optimizasyonu

Şebekenin gerilim profili, enerji iletim ve dağıtım sistemlerindeki gerilim seviyelerini ifade eder. Bir şebeke sisteminin gerilim profili, enerji akışının sağlıklı ve istikrarlı bir şekilde gerçekleşmesi için kritik bir öneme sahiptir. Gerilim profili, enerji talebinin karşılanması, güç kalitesi ve şebekenin stabilitesi açısından kritik bir faktördür (Sarkar ve ark., 2018).

Gerilim profili, enerji üretim kaynaklarından tüketim noktalarına kadar olan yol boyunca değişiklik gösterebilir. Bu değişiklikler, kaynakların ve tüketim noktalarının dağılımına, yük miktarına, iletim hatlarının uzunluğuna ve direncine bağlı olarak ortaya çıkar. Şebekenin gerilim profili, nominal gerilim değeri ve belirlenen tolerans aralığı içinde tutulması gereken bir parametredir. Gerilim düşmesi veya yükselmesi, enerji kalitesi sorunlarına, ekipman arızalarına ve hatta şebekenin çökmesine yol açabilir.

Şebekenin gerilim profili optimizasyonu, gerilim seviyelerinin istenen aralıkta tutulması ve enerji akışının verimli bir şekilde sağlanması için yapılan çalışmaları kapsar. Bu optimizasyon, şebeke operatörlerinin görevlerinden biridir ve genellikle gerilim regülasyonu, gerilim dengelemesi ve gerilim düşümü kompanzasyonunu içerir.

Gerilim regülasyonu, enerji iletiminde gerçekleşen gerilim düşüşlerini telafi etmek için gerilim seviyelerini ayarlamayı içerir. Bu genellikle regülatör cihazları veya otomatik gerilim kontrol sistemleri kullanılarak gerçekleştirilir (Santhoshi ve ark., 2019). Gerilim

regölasyonu, enerji tüketim noktalarında istenen gerilim aralığının korunmasını sağlar ve elektrik cihazlarının doğru çalışmasını ve uzun ömürlü olmasını sağlar.

Gerilim dengelemesi, enerji üretim kaynaklarından tüketim noktalarına doğru gerçekleşen enerji akışının neden olduğu gerilim dalgalanmalarının kontrol altına alınması anlamına gelir. Bu, gerilim seviyelerinin dalgalanmalarının minimize edilmesi ve istikrarlı bir gerilim profili sağlanması yoluyla gerçekleştirilir.

Gerilim düşümü kompanzasyonu ise enerji iletim hatlarında gerçekleşen gerilim düşüşlerinin kompanse edilerek gerilim kayıplarının azaltılmasını hedefler. Bu, iletim hatlarına reaktif güç desteği sağlanması veya gerilim düşümü kompanzasyon ekipmanlarının kullanılmasıyla gerçekleştirilir.

Son yıllarda, fotovoltaik (PV) santrallerinin şebekenin gerilim profili optimizasyonunda önemli bir rol oynayabileceği fark edilmiştir. Fotovoltaik invertörler, reaktif güç desteği yoluyla gerilim düzenlemesine aktif olarak katılabilir ve dağıtım şebekelerinde gerilim sapmalarını önemli ölçüde azaltabilir (Filho ve ark., 2024). PV santralleri, şebekeye aktif güç üretimi sağlamanın yanı sıra reaktif güç desteği de sağlayabilir (Almeida ve ark., 2021). PV santrallerin reaktif güç üretimiyle şebeke gerilim seviyelerinin istenen aralıkta tutulması ve gerilim düşüşlerinin önlenmesi mümkün olabilir. Bu, şebeke stabilitesini artırabilir ve enerji verimliliğini iyileştirebilir.

Özellikle akıllı şebekelerin gelişimiyle birlikte, PV santrallerinin gerilim profili optimizasyonunda aktif bir rol oynaması beklenmektedir. Akıllı şebekelerde, PV santrallerinin reaktif güç üretimini şebeke ihtiyaçlarına göre dinamik olarak ayarlayabilen ve gerilim profili optimizasyonunda etkili olan ileri kontrol sistemleri kullanılabilir. Bu şekilde, şebeke operatörleri ve enerji yöneticileri, PV santrallerinin reaktif güç desteği sağlayarak şebekenin gerilim profili optimizasyonunu daha etkin bir şekilde gerçekleştirebilir.

Sonuç olarak, şebekenin gerilim profili optimizasyonu, enerji iletim ve dağıtım sistemlerinin güvenilirliği, enerji verimliliği ve sürdürülebilirliği açısından büyük öneme sahiptir. Gerilim regölasyonu, gerilim dengelemesi ve gerilim düşümü kompanzasyonu gibi yöntemlerle gerçekleştirilen optimizasyon çalışmaları, PV santrallerinin reaktif güç desteğiyle daha da etkin hale getirilebilir. Bu, enerji sektöründe yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonunu ve akıllı şebekelerin gelişimini destekleyen önemli bir adımdır.

1.5. Türkiye’deki Mevzuat ve Uluslararası Uygulamalar

Bu bölümde, dağıtım şebekesine OG’den bağlı konveksiyonel ve PV santrallerden reaktif güç desteği sağlanmasına yönelik Türkiye’deki ve uluslararası mevzuat ve uygulamalar özetlenmiştir.

1.5.1. Türkiye’deki mevzuat

Türkiye’de dağıtım sistemine OG’den bağlı lisanslı PV santrallerin sağlamakla yükümlü oldukları reaktif güç desteği Dağıtım Yönetmeliği tarafından belirlenmektedir. Bu yönetmeliğin kritik maddeleri aşağıda özetlenmiştir:

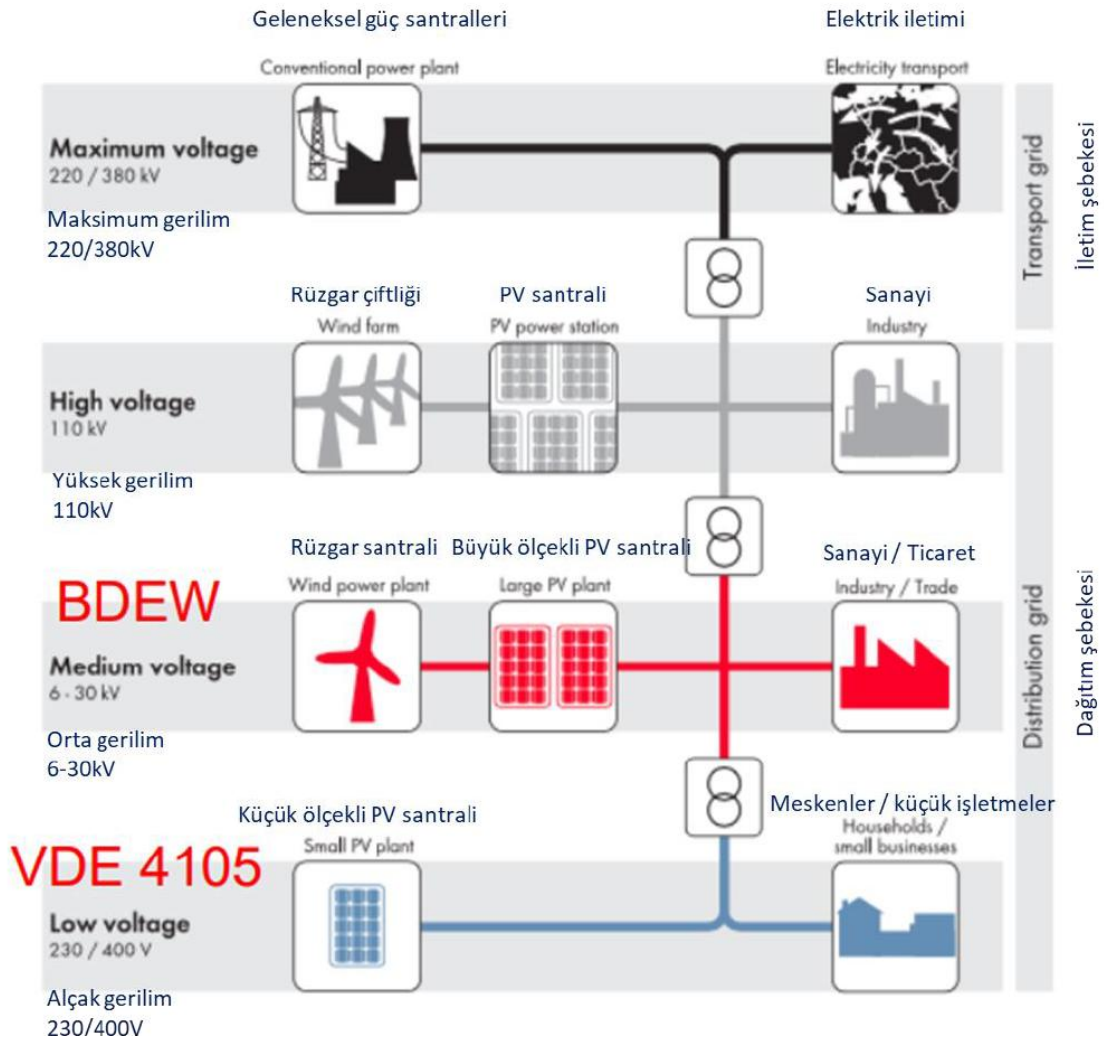
Dağıtım Yönetmeliği Madde 13- (1)’e göre üniteler, aşırı ikazlı olarak (kapasitif) 0.85 ve düşük ikazlı olarak (endüktif) 0.95 güç faktörleri arasında nominal güç çıkışını sağlayacak kapasitede olmalıdır. Bu maddeye göre, santralde maksimum üretimin yapıldığı durumlarda, reaktif güç desteği vermek için santralin aktif gücünü kısıtlamak zorunda kalmaması için PV üretim tesislerinde kullanılan inverterin kapasitesi tesisin nominal gücünden daha büyük seçilmelidir. Aksi halde şebekeye reaktif güç vermek ya da şebekeden reaktif güç çekmek için şebeke operatörü tarafından belirlenen güç faktörüne göre tesisin aktif gücünde azalma yaşanabilir. En kötü durumda (0.85 güç faktöründe) santralin aktif gücünde herhangi bir kısıtlama yapılmaması için kullanılan inverterin kapasitesi, santralin nominal gücünün minimum $\frac{1}{0.85} \cong 1.176$ katı seçilmelidir.

Şebeke Yönetmeliği Madde 20 (2)’ye göre 30 MW kurulu gücün altındaki üretim tesisleri bu maddenin 8. fıkrasında düzenlenen şartlara uymak zorunda olup diğer fıkralardaki şartlardan muaftır.

Şebeke Yönetmeliği Madde 20 (4) fıkrasına (muaf olunan 4. fıkra) göre konvansiyonel tip senkron jeneratörler, nominal aktif güçleri seviyesinde üretim yaptıkları durumda jeneratör terminallerinde sürekli çalışmada aşırı ikazlı olarak 0,85 düşük ikazlı olarak da 0,95 güç faktörü sınır değerleri arasında her noktada çalışabilme yeteneğine sahip olmak zorundadır. Yani, 30 MW kurulu gücün altındaki fotovoltaik üretim tesisleri şebekeye reaktif güç vermek ile mükellef değildir.

Yan Hizmetler Yönetmeliği Madde 39- (2)’ye göre TEİAŞ ile bağlantı anlaşması imzalamış OG’den bağlı DG’lerin ilgili dağıtım şirketinin talebi ve TEİAŞ’ın uygun görüşü doğrultusunda, ilgili dağıtım şirketi ile reaktif güç kontrolü hizmet anlaşması imzalamaları zorunludur. Dağıtım sistemine bağlı 30 MW kurulu gücün altındaki üretim santralleri için

Dağıtım şebekesine bağlı PV santrallerin reaktif güç destek yükümlülükleri konusunda ise birçok ülkede henüz bir yönetmelik yayınlanmamıştır. Bu konuda öncü ülkelerden Almanya’da geçerli standartlar, Şekil 1.3’de gösterildiği gibi Orta gerilimden bağlı santraller için BDEW Standardı, Alçak gerilimden bağlı santraller için ise VDE-AR-N 4110:2017-02 Standardıdır. Bu standartlara göre, dağıtım şebekesine bağlı PV santraller zorunlu olarak sabit güç faktörü ($\cos\theta$) kontrolü yapmakla yükümlüdür. Şekil 1.’de 4gösterildiği gibi, PV santralin şebeke bağlantı noktasında gerilim yükselmesi/düşümü %5’in üzerinde ise (soldaki eğri gri bölge), bu yükümlülüğünü sağlamak için gerekirse santralin aktif güç üretimi kapasitesinin %10’u kadar şebeke operatörü tarafından kısılabılır. Santral aktif güç kapasitesinin %5’i ile %100’ü arasındaki tüm üretimlerde reaktif güç desteği verebiliyor olmalıdır. PV santralin toplam reaktif güç kapasitesi, toplam aktif güç kapasitesinin %44’ü kadardır ($\cos\theta = 0,9$).



Şekil 1.3 Almanya’da dağıtım şebekesine bağlı PV santrallerde gerilime bağlı reaktif güç desteği yükümlülükleri



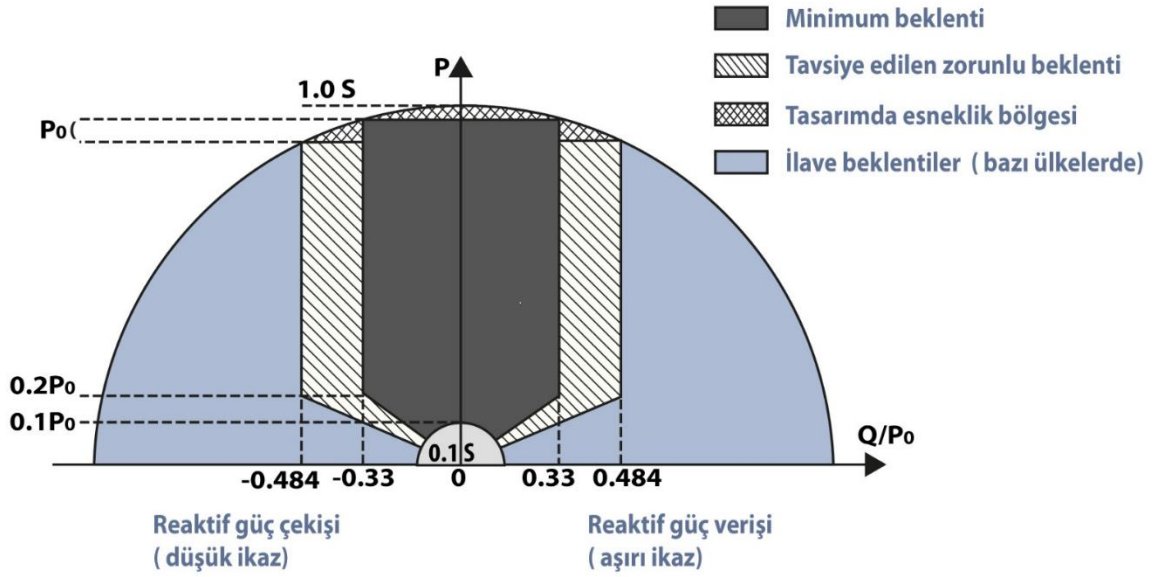
Şekil 1.4 Almanya’da dağıtım şebekesine bağlı PV santrallerin $\cos\theta$ kontrol zorunluluk eğrileri (VDE, 2017)

Diğer yandan, Amerika Birleşik Devletleri’nde bu konudaki düzenlemelerde göz önüne alınan temel referans IEEE Std. 1547-2018 standardıdır. Şebekeye bağlanan PV santral ve diğer tipte dağıtık jeneratörlerin (DG) şebeke entegrasyonu ve entegrasyon sonrası işletmesinde göz önüne alınan kriterler en geniş biçimde IEEE Std. 1547-2018’de yer almaktadır. Diğer bir standart ise Avrupa kullanılmakta olan BS EN 50549-2:2019 standardıdır.

Aşağıdaki bölümlerde BS EN 50549-2:2019 (Avrupa) ve IEEE Std. 1547-2018 (ABD) standartlarında konu ile ilgili öne çıkan kriterler özetlenmiştir.

BS EN 50549-2:2019 standartlarına göre, dağıtım sistemi operatörü (DSO) ve sorumlu tarafça gerilim desteğine katkı istendiğinde, üretim tesisi, bu maddenin gereklerine göre reaktif ve/veya aktif güç üretimini yönetme kabiliyetine sahip olacak şekilde tasarlanmalıdır ve kabul edilebilir limitlerin dışında gerilim değişikliklerine yol açmamalıdır. Bu limitler ulusal mevzuatla tanımlanmalıdır.

BS EN 50549-2:2019 Standardına göre santrallerin nominal gerilimde minimum ve opsiyonel reaktif güç kapasite miktarları Şekil 1.5’de gösterilmiştir.

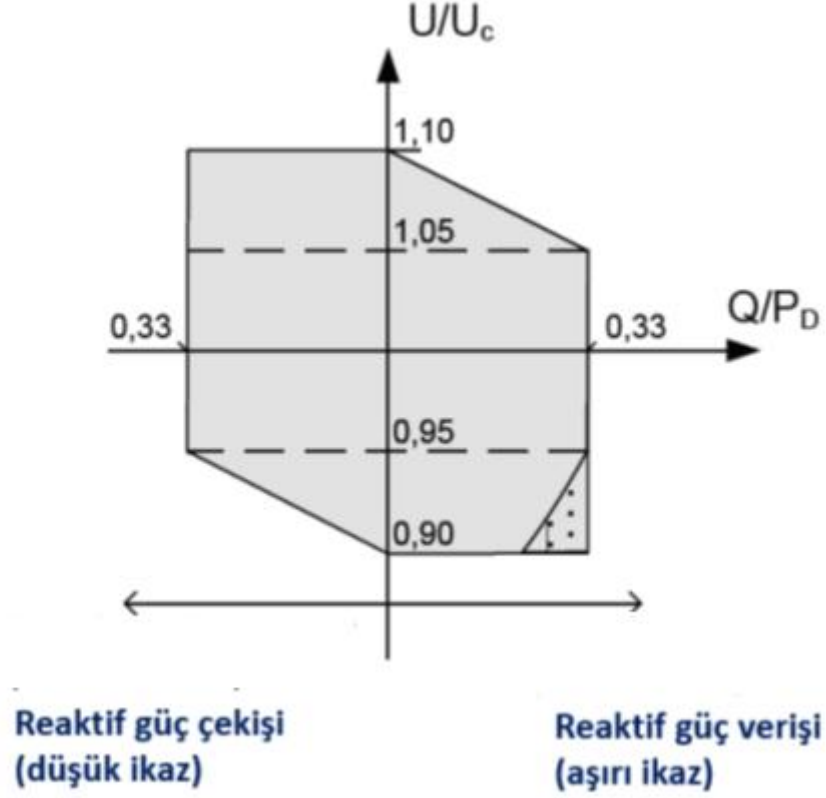


Şekil 1.5 BS EN 50549-2:2019' e göre nominal gerilimde reaktif güç kapasite eğrisi

Minimum reaktif güç kapasitesi- santral, aktif güç tasarım kapasitesinin (P_D) %20'sinin üzerinde çalışırken- hem aşırı ikazlı hem de düşük ikazlı olarak santral kapasitesinin en az %33'ü ($p.f=0.95$) kadar olmalıdır. %20'nin altındaki aktif güçte çalışırken ise, minimum 0,52 güç faktöre kadar Şekil 1.5' te gösterildiği gibi reaktif güç kapasitesi olmalıdır.

Önerilen en katı reaktif güç kapasitesi ise- santral, aktif güç tasarım kapasitesinin (P_D) %20'sinin üzerinde çalışırken- hem aşırı ikazlı hem de düşük ikazlı olarak santral kapasitesinin %48.4'ü ($p.f=0.9$) kadardır. %20'nin altındaki aktif güçte çalışırken ise, minimum 0,38 güç faktöre kadar Şekil 1.5' te gösterildiği gibi reaktif güç kapasitesi olmalıdır.

Şekil 1.5' de belirtilen sınırlar, şebeke bağlantı noktasında nominal gerilim altında geçerli olup, reaktif güç destek sınırlarının şebeke bağlantı noktasındaki gerilime bağlı değişimi için önerilen sınırlar Şekil 1.6 'da gösterilmiştir.



Şekil 1.6 Reaktif güç destek sınırlarının şebeke bağlantı noktasındaki gerilime bağlı değişimi (BS EN 50549-2:2019)

BS EN 50549-2:2019 Standardı tarafından önerilen reaktif güç kontrol prensipleri:

- Q set değeri modu
- Q (U) (Gerilime bağlı reaktif güç destek modu)
- Q (P) (Aktif güce bağlı reaktif güç destek modu)
- Cosθ setpoint mode (Cosθ set değeri modu)

Bu çalışma prensipleri BS EN 50549-2:2019 ve IEEE 1547-2018 Standardında aynı olup, BS EN 50549-2:2018 Standardı aşağıdaki kontrol prensiplerini opsiyonel olarak tanımlamıştır:

- Aktif güç öncelikli kontrol prensibi
- Reaktif güç sınırlama

IEEE 1547 Standardın 5. Bölümünde PV santraller de dahil DG'lerin reaktif güç kapasiteleri ve gerilim/güç kontrol kriterleri açıklanmıştır. Bu bölümde öncelikle reaktif ve aktif güç regülasyonu için zorunlu olan (mandatory) reaktif güç kontrol modları tanımlanmıştır. Çizelge 1.1'de:

- Kategori A: DG toplam kapasitesi düşük seviyeye (şebeke frekansına etkisi oldukça düşük);
- Kategori B: DG toplam kapasitesi önemli seviyeye karşılık gelmektedir.

Bir güç sisteminin hangi kategoride olduğunun belirlenmesine yönelik yönlendirici açıklamalar standartta yer almaktadır. Türkiye'deki kurulu DG miktarı henüz Kategori A kapsamında değerlendirilebilir. Fakat önümüzdeki yıllarda Kategori B'ye geçilebileceği göz önüne alınmalıdır. Standartta göre hangi kategoriye girildiği şebeke operatörü tarafından tanımlanmalıdır. Standartta öne çıkan kriterler Çizelge 1.1'de farklı alt başlıklar altında özetlenmiştir.

Çizelge 1.1 IEEE Std. 1547-2018 göre DG'lerin zorunlu kontrol fonksiyonları

DG kategori	Kategori A	Kategori B
Reaktif Güç Kontrolü ile Gerilim Regülasyonu		
Sabit güç faktörü modu	Zorunlu	Zorunlu
Gerilim-reaktif güç modu ¹	Zorunlu	Zorunlu
Aktif güç-reaktif güç modu ²	Gerekli değil	Zorunlu
Sabit reaktif güç modu	Zorunlu	Zorunlu
Gerilim ve aktif güç kontrol		
Gerilim-aktif güç (volt-watt) modu	Gerekli değil	Zorunlu
¹ Gerilim-reaktif güç modu yaygın olarak "volt-var" modu olarak da adlandırılabilir. ² Aktif güç-reaktif güç modu yaygın olarak "watt-var" modu olarak da adlandırılabilir.		

DG'ler için standartta önerilen minimum reaktif güç kapasitesi, reaktif güç veriş (kapasitif) ve çekiş (endüktif) olmak üzere Çizelge 1.2'de ayrı ayrı belirlenmiştir.

Çizelge 1.2 IEEE Std 1547 göre DG'ler için önerilen minimum reaktif güç kapasitesi

Kategori	Görünür güç (kVA) oranının yüzdesi cinsinden veriş kapasitesi	Görünür güç (kVA) oranının yüzdesi cinsinden çekiş kapasitesi
A (DG anma gerilimi)	44	25
B (ANSI C84. A aralığının tümünde)	44	44

Çizelge 1.2'ye göre örneğin 1 MW kapasiteli bir PV santralin minimum reaktif güç kapasitesi:

- Kapasitif (şebekeye reaktif güç veriş): 0,44 MVAR (yani $\cos\theta = 0,90$)
- Endüktif (şebekeden reaktif güç çekiş): 0,25 MVAR (yani $\cos\theta = 0,97$)

IEEE Std. 1547-2018 'e göre bu PV santralin invertörlerinin toplam kapasitesi (S) minimum 1,1 MVA olmalıdır: $S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{1 + 0,442} \approx 1,1 \text{ MVA}$

Yani, IEEE Std. 1547-2018 Standardına göre 1 MW kapasiteli bir PV santralin invertörleri en az %10 daha büyük seçilmelidir.

Eğer bu santralin toplam invertör kapasitesi 1 MVA seçilirse, bu santral tam kapasite ile 1 MW üretirken şebekeye reaktif güç desteği veremez. Başka bir deyişle, eğer bu santralden tam kapasite çalışabilecek güneş ışıması koşullarında reaktif güç desteği vermesi istenirse, 1 MW'dan daha düşük üretim yapması gerekir.

Almanya'da PV santraller tam kapasite aktif güç üretiminde vermesi gereken kapasitif ve endüktif reaktif güç $\cos\theta = 0,9$ olduğu için , invertörler PV aktif kurulu güç kapasitesinin en az %10'u daha büyük seçilmek zorundadır. Yani, Almanya'da IEEE Std. 1547-2018 Standardı tarafından önerilen Kategori B için önerilen minimum reaktif kapasite zorunlulukları uygulanmaktadır.

IEEE Std. 1547-2018 Standardına göre Çizelge 1.1'de zorunlu olması önerilen reaktif güç destek modları;

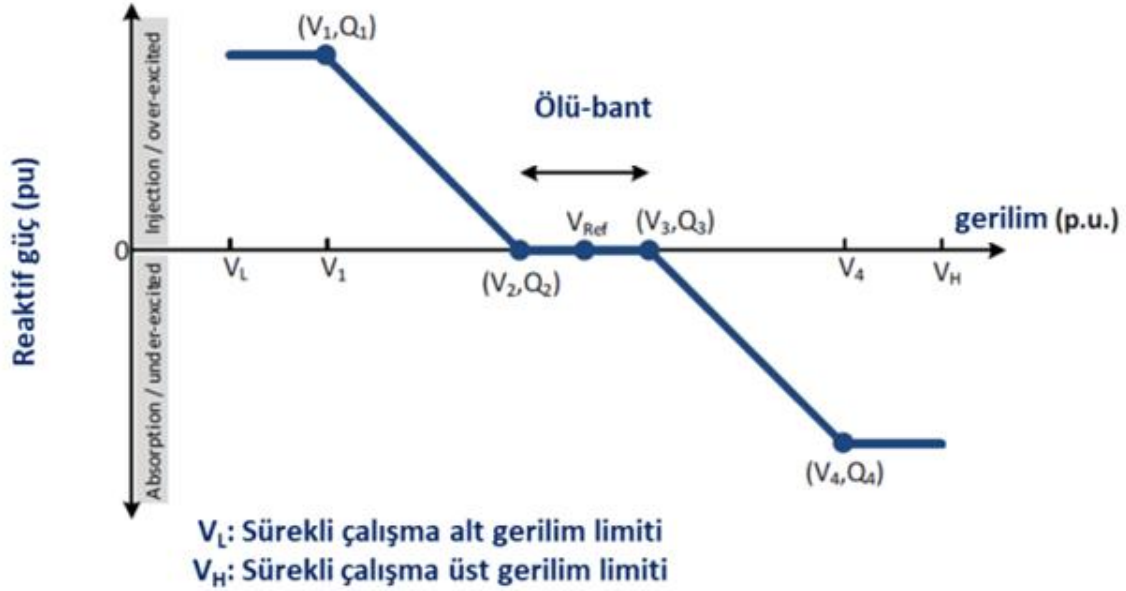
- Sabit güç faktörü ($\cos\theta$) modu
- Gerilim-reaktif güç kontrol modu
- Sabit reaktif güç modu

IEEE Std. 1547-2018 Standardına göre sabit güç faktörü modunda çalışan bir santral, şebeke operatörü tarafından belirlenecek güç faktörü ($\cos\theta$) set değerini sağlayacak şekilde çalışır. Güç faktörü santralin kapasitesinin üzerinde reaktif güç talebi olmayacak şekilde belirlenmelidir. Güç faktörü set değeri manuel olarak veya uzaktan şebeke operatörü tarafından verilebiliyor olmalıdır. Reaktif güç aktivasyon süresi maksimum 10 saniyedir. Sabit güç faktörü modu literatürde aynı zamanda Q(P) modu olarak da anılır.

IEEE Std. 1547-2018 Standardına göre gerilim-reaktif güç kontrol modunda çalışan bir santral Şekil 1.7'de gösterilen Q-V eğrisi üzerinde çalışmalıdır. Bu eğri üzerindeki noktalar şebeke operatörü tarafından belirlenmelidir. Önerilen (default) katsayılar Şekil 1.8'de gösterilmiştir.

Bir PV santralin bağlı olduğu OG şebeke noktasındaki gerilim (VPV) kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu sürece (örneğin $1,05 \text{ p.u.} > VPV > 0,95 \text{ p.u.}$), bu santralden reaktif güç desteği alınmasına gerek olmayabilir. Böyle durumlar için reaktif güç kontrolcüsünde

bir ölü-bant (dead-band) tanımlanır (Şekil 1.7’de [V2-V3] aralığı). Gerilimdeki değişim ölü-bant sınırları içinde olduğu müddetçe kontrolcünün reaktif güç set değeri $Q_{set} = 0$ ’dır. Sabit güç faktörü modu literatürde aynı zamanda Q(V) modu olarak da adlandırılır.



Şekil 1.7 IEEE Std. 1547-2018 Standardı- Sabit güç faktörü modu

Reaktif güç kontrol prensibinde reaktif güç hedef miktarı (Q_{set}) set edilir. Q_{set} miktarı genellikle eğim (droop) sabiti ile belirlenir. Şekil 1.7’de eğim sabiti pozitif ekseninde (kapasitif yönde) $= Q_1 (p.u.) / |V_2 - V_1| p.u.$ Eğim kapasitif ve endüktif noktalarda eşit veya farklı olabilir. Eğim p.u. cinsinden hesaplanmak suretiyle, şebekede bağlantı noktasındaki gerilimdeki değişime santralin kapasitesi ile oransal reaktif güç destek vermesi sağlanır. Örneğin, şebekede farklı noktalara bağlı iki PV santral olduğunu ve her iki santralin de şebeke bağlantı noktasındaki gerilim yükselmesi p.u. cinsinden eşit olduğunu varsayalım. Santrallerin reaktif güç kontrol eğim sabitleri eşit olduğunda (p.u. cinsinden), kapasitesi büyük olan santral oransal olarak daha fazla reaktif güç çekecektir. Standarda göre gerilim-reaktif güç kontrolcüsü alçak geçiren filtre (low-pass filter, LPF) içermelidir.

IEEE Std. 1547 Standardına göre sabit reaktif güç modunda çalışan bir santral, şebeke operatörü tarafından belirlenecek reaktif güç set değerini (Q_{set}) sağlayacak şekilde çalışır. Reaktif güç set değeri santralin kapasitesinin üzerinde reaktif güç talebi olmayacak şekilde belirlenmelidir. Güç faktörü set değeri manuel olarak veya uzaktan şebeke operatörü tarafından verilebiliyor olmalıdır. Reaktif güç aktivasyon süresi maksimum 10 saniyedir.

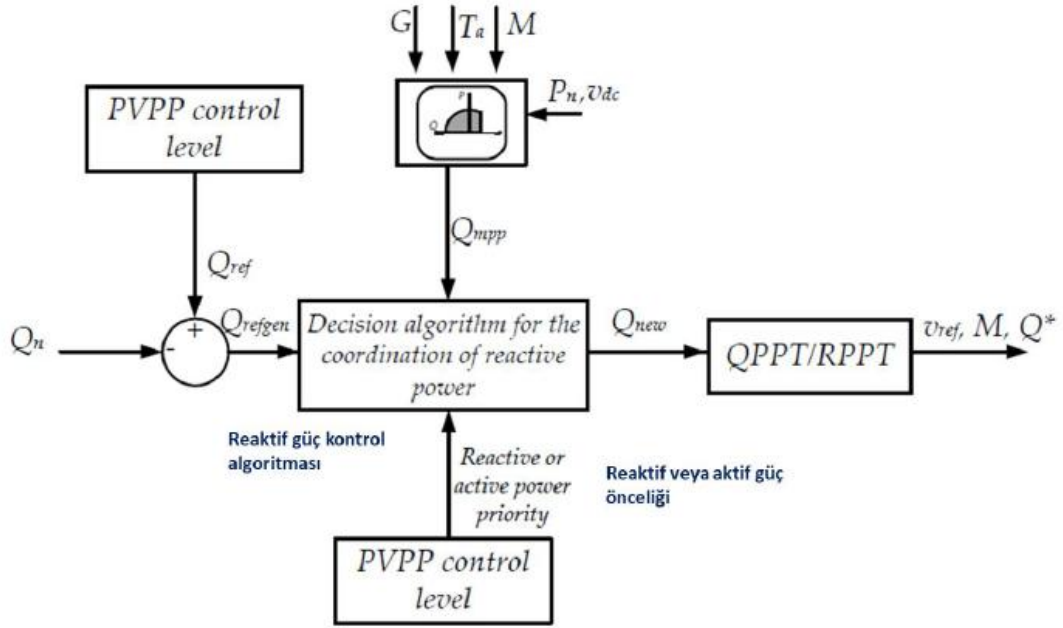
Gerilim-reaktif güç parametreleri	Varsayılan ayarlar		Müşade edilen ayarlar aralığı	
	Kategori A	Kategori B	Minimum	Maksimum
V_{Ref}	V_N	V_N	$0.95 V_N$	$1.05 V_N$
V_2	V_N	$V_{Ref} - 0.02 V_N$	Kategori A: V_{Ref} Kategori B: $V_{Ref} - 0.03 V_N$	V_{Ref}^C
Q_2	0	0	Etiket reaktif güç kapasitesinin %100'ü, çekiş	Etiket reaktif güç kapasitesinin %100'ü, veriş
V_3	V_N	$V_{Ref} + 0.02 V_N$	V_{Ref}^C	Kategori A: V_{Ref} Kategori B: $V_{Ref} + 0.03 V_N$
Q_3	0	0	Etiket reaktif güç kapasitesinin %100'ü, çekiş	Etiket reaktif güç kapasitesinin %100'ü, veriş
V_1	$0.9 V_N$	$V_{Ref} - 0.08 V_N$	$V_{Ref} - 0.18 V_N$	$V_2 - 0.02 V_N^C$
Q_1^a	Etiket görünür güç oranının %25'i, veriş	Etiket görünür güç oranının %44'ü, veriş	0	Etiket reaktif güç kapasitesinin %100'ü, veriş ^b
V_4	$1.1 V_N$	$V_{Ref} + 0.08 V_N$	$V_3 + 0.02 V_N^C$	$V_{Ref} + 0.18 V_N$
Q_4	Etiket görünür güç oranının %25'i, çekiş	Etiket görünür güç oranının %44'ü, çekiş	Etiket reaktif güç kapasitesinin %100'ü, çekiş	0
Açık döngü tepki süresi	10 sn	5 sn	1 sn	90 sn
^a DG reaktif güç kapasitesi daha düşük gerilimde azaltılabilir. ^b Gerekirse DG bu gereksinimi karşılamak için aktif güç çıkışını azaltabilir. ^c Bu değerlerin yanlış seçimi sistem kararsızlığına neden olabilir.				

Şekil 1.8 IEEE Std. 1547 Gerilim-reaktif güç kontrol modunda önerilen katsayılar

Dağıtım şebekesine bağlı PV santrallerden reaktif güç desteği, temelde iki farklı öncelikli kontrol prensibi ile alınabilir:

- Reaktif güç öncelikli kontrol prensibi
- Aktif güç öncelikli kontrol prensipleri

Aktif veya reaktif güç öncelikli reaktif güç destek modeli Şekil 1.9'da verilmiştir.



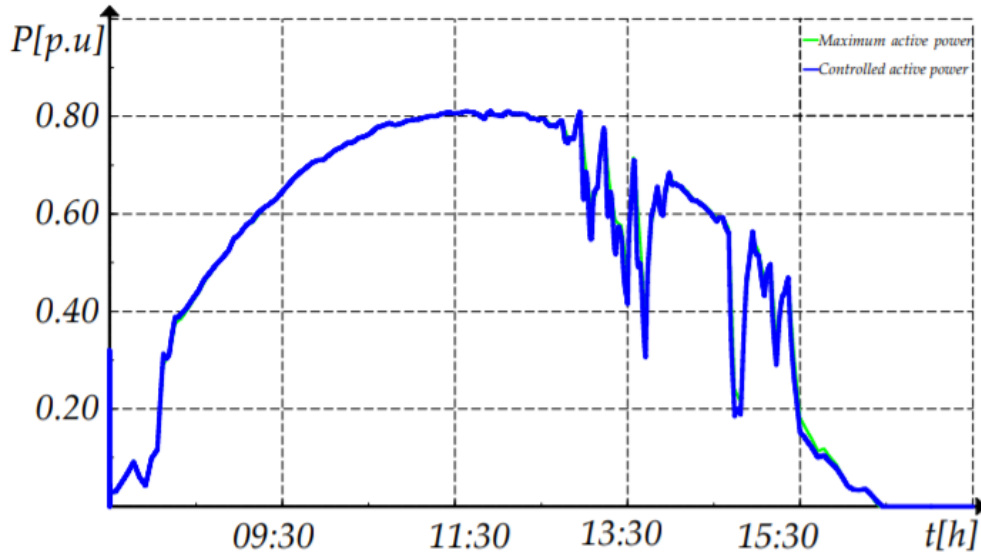
Şekil 1.9 Reaktif güç destek modeli (Cabrera-Tobar ve ark., 2019)

Şekil 1.9 ‘da anlatılmak istenen iş akışı adım adım olarak aşağıda yazılmıştır.

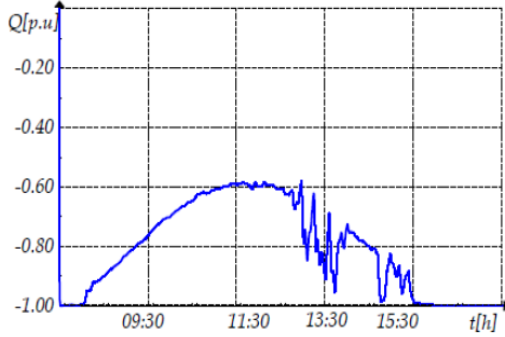
- 1.Adım:** Şebekeden Gelen Talep (Q_n) Şebeke, PV santralinden belirli bir miktarda reaktif güç talep eder (Q_n). Bu talep, PV santralinin kontrol seviyesine iletilir.
- 2.Adım:** PVPP Kontrolü PVPP kontrol seviyesi, mevcut reaktif güç kapasitesine dayanarak bir referans değeri (Q_{ref}) belirler. Belirlenen Q_{ref} , Karar Algoritması'na (Decision Algorithm) iletilir.
- 3. Adım:** Karar Algoritması (Decision Algorithm for the Coordination of Reactive Power) Algoritma, aktif güç üretimi ile reaktif güç desteği arasında bir denge kurar. Maksimum reaktif güç noktası (Q_{mpp}) ve şebeke gereksinimleri dikkate alınarak yeni bir reaktif güç komutu (Q_{new}) oluşturulur.
- 4. Adım:** QPPT/RPPT İşlemi Yeni reaktif güç komutu (Q_{new}), şebekeye gönderilir. Bu süreçte, gerilim referansı (v_{ref}) ve diğer kontrol parametreleri dikkate alınır.

BS EN 50549-2:2019 Standardında opsiyonel olarak tanımlanmış olan aktif güç öncelikli prensipte çalışan bir PV jeneratörü ele alalım. Bu PV jeneratörün tipik bir günde üretebileceği maksimum aktif güç miktarının değişiminin Şekil 1.10'daki gibi olduğunu varsayalım (Mavi eğri: kontrol edilen aktif güç; yeşil eğri: maksimum aktif güç). PV jeneratörün, maksimum aktif güç üretirken, şebekeden çekebileceği maksimum reaktif güç miktarının da Şekil 1.11 (a)' da gibi olduğunu varsayalım. Bu PV jeneratörün PQ eğrisi ve

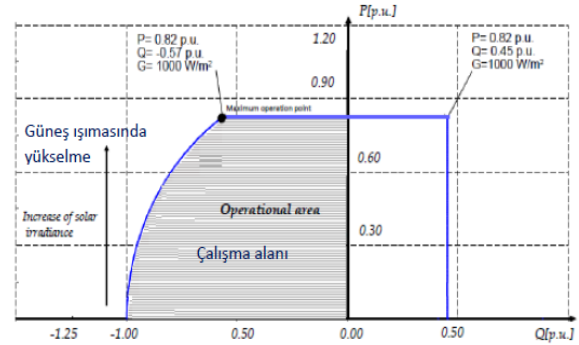
Çalışma bölgesi Şekil 1.11 (b)' de gösterilmiştir. PV jeneratörün aktif güç üretirken çekebileceği reaktif güç miktarı 0,6 p.u. ile 1 p.u. arasında değişmektedir.



Şekil 1.10 Aktif güç öncelikli çalışan bir jeneratörün günlük aktif güç üretimi (Cabrera-Tobar ve ark., 2019)



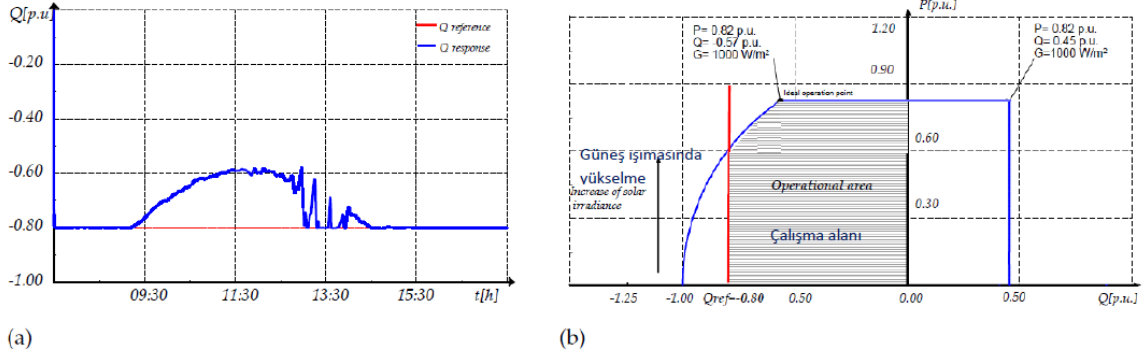
(a)



(b)

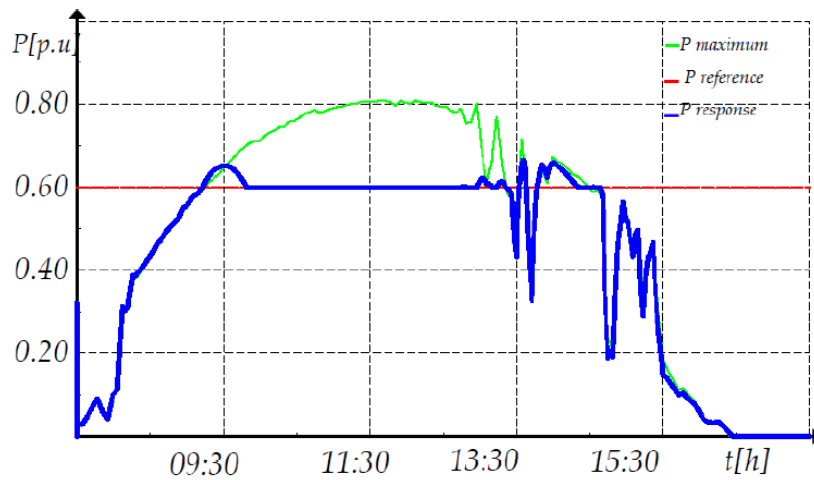
Şekil 1.11 Aktif güç öncelikli çalışan jeneratörün şebekeden çekebileceği maksimum reaktif güç (a); çalışma bölgesi (b) (Cabrera-Tobar ve ark., 2019)

Şimdi aktif güç öncelikli çalışan bu PV jeneratörün lokal kontrolcüsüne Q_{set} değeri -0,8 p.u. verildiğini varsayalım. Bu durumda PV jeneratörün reaktif güç eğrisi Şekil 1.12'de gösterilmiştir (Soldaki grafikte kırmızı: Q referans; mavi: Q tepki). PV jeneratörün kontrolcüsü aktif güç öncelikli çalıştığı için, bazı saatlerde $Q_{set} = -0,8$ p.u. değerini sağlamamıştır. Bununla birlikte, diğer tüm saatlerde aktif güç miktarını düşürmeden $Q_{set} = -0,8$ p.u. değerini sağlamıştır.



Şekil 1.12 Aktif güç öncelikli çalışan jeneratörün reaktif güç eğrisi (a); çalışma bölgesi (b) (Cabrera-Tobar ve ark., 2019)

Eğer bu santral reaktif güç öncelikli çalışsaydı, $Q_{set} = -0,8$ p.u. durumunda aktif ve reaktif güç eğrisi Şekil 1.13'deki gibi olacaktı (Yeşil eğri: P maksimum; Kırmızı eğri: P referans; Mavi eğri: P tepki). Yani, güneş ışımasının yüksek olduğu saatlerde, aktif güç değerini düşürmek suretiyle istenilen reaktif güç miktarını sağlayacaktı. Reaktif güç zorunlulukları olmayan ve standart olarak $\cos\theta = 1$ 'de çalışan Türkiye'deki dağıtım şebekesine bağlı PV santrallerden reaktif güç desteği alınmasında aktif güç öncelikli reaktif güç kontrol prensibi bir alternatif olarak değerlendirilebilir. Zira, bu şekilde çalışan bir PV santral aktif gücünde bir kayıp yaşamadan, kapasitesi ölçüsünde reaktif güç desteği sağlayabilir. Fakat, yukarıda da açıklandığı üzere, bu durumda santralin toplam teknik kaybı bir miktar artacaktır. Dolayısıyla, bu şekilde bir çalışma prensibi ancak yönetmelikler ile düzenlenmelidir.



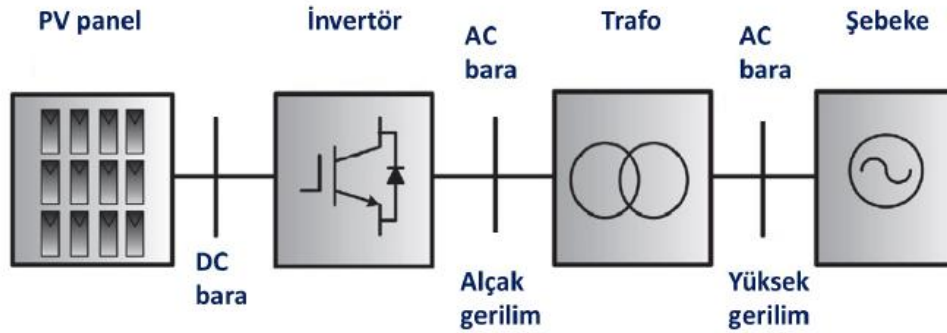
Şekil 1.13 PV jeneratör reaktif güç öncelikli çalışırsa aktif ve reaktif güç eğrileri (Cabrera-Tobar ve ark., 2019)

1.6. Kontrol Merkezleri

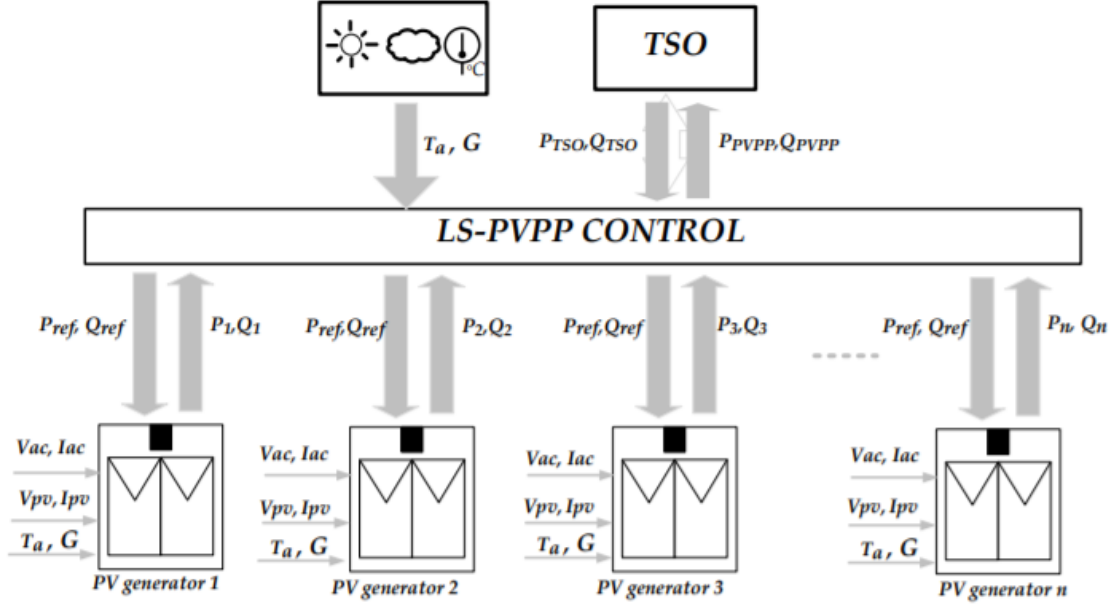
PV santrallerden reaktif güç desteği, santraldeki teknolojik altyapıya bağlı olarak, üç farklı seviyede gerçekleştirilebilir:

- İnvertör Seviyesi Lokal Kontrol – Manuel (invertör kontrolcüsü üzerinden manuel)
- Santral Seviyesi Merkezi Kontrol – PPC (santral ana kontrolcüsü üzerinden manuel)
- Şebeke Seviyesi Merkezi Kontrol DSO-PPC (santral ana kontrolcüsü üzerinden uzaktan)

İnverter seviyesi lokal kontrol, PV santralin tek bir inverter üzerinden şebekeye bağlandığı santraller için uygundur. Tek bir invertör üzerinden şebekeye bağlı PV jeneratörün şematik gösterimi Şekil 1.14’de verilmiştir. Ancak, Birden fazla PV grubunun olduğu santrallerde her bir PV jeneratörün ayrı invertörü bulunmaktadır. Bu durumda, kontrol santral seviyesinden manuel veya dağıtım sistemi operatörü tarafından uzaktan yapılmalıdır. Birden fazla inverterin bulunduğu büyük ölçekli bir PV santralde (LLS-PVPP) hiyerarşik reaktif güç kontrol mekanizması Şekil 1.15’de verilmiştir. Bu mekanizma ile sadece reaktif değil aynı zamanda aktif güç de kontrol edilebilir.



Şekil 1.14 Tek bir invertör üzerinden şebekeye bağlı PV jeneratörün şematik gösterimi
(Cabrera-Tobar ve ark., 2019)



Şekil 1.15 Birden fazla PV jeneratörlü santrallerde kontrol mekanizması (Cabrera-Tobar ve ark., 2019)

Şekil 1.15’de adım adım anlatılmak istenen ise; TSO yani Elektrik iletim şebekesi operatörü, şebekenin ihtiyaçlarına göre LS-PVPP’ ye yani PV santralinin merkezi kontrol birimi aracılığı ile, aktif ve reaktif güç taleplerini (P_{TSO}, Q_{TSO}) PV jeneratörlere gönderir. Bu talepler, şebeke frekansını ve gerilimini düzenlemek için yapılır. PV santralinin merkezi kontrol birimi (LS-PVPP) gelen talepleri analiz eder ve her bir PV jeneratöre uygun referans değerleri (P_{ref}, Q_{ref}) dağıtır. Aynı zamanda çevresel verileri (T_a, G) kullanarak sistemin üretim kapasitesini optimize eder. PV jeneratörler ise LS-PVPP tarafından verilen referans değerlere (P_{ref}, Q_{ref}) göre aktif ve reaktif güç üretir. Her jeneratörün ölçülen güç değerleri ($P_1, Q_1; P_2, Q_2; \dots$) LS-PVPP’ ye geri bildirilir.

1.7. Bölüm Değerlendirmesi

Dağıtım sistemine bağlı PV santrallerden reaktif güç destek hizmeti alınması literatür çalışmasını içeren bu raporda öne çıkan sonuçlar aşağıda listelenmiştir:

- İnverterden şebekeye verilebileceği maksimum reaktif gücü (kapasitif), gerilim limiti; inverterin şebekeden çekebileceği maksimum gücü (endüktif) ise, akım limiti belirlir.
- Türkiye’deki mevcut mevzuata göre, 30 MW kapasitenin altında olan ve dağıtım sistemine OG seviyeden bağlı lisanslı ve lisanssız PV santrallerin reaktif güç destek zorunluluğu bulunmamaktadır. Dolayısıyla, bu santraller genellikle güç faktöründe

1 çalışmakta olup invertörler tüm kapasitesini aktif güç üretmek için kullanmaktadır (aktif güç öncelikli çalışma prensibi).

- Avrupa Birliği ülkelerinin çoğunda da PV'lerden reaktif güç desteği henüz yönetmeliklerle düzenlenmemiştir. Fakat bazı ülkelerde olduğu (örn. Almanya), şebekeye bağlanan PV ve diğer DG'lerin reaktif güç yükümlülükleri ile ilgili yönetmelikler düzenlenmiştir. Bu yönetmelikler, santral belirli bir seviyenin üstünde üretim yapıyorken yükümlü olabileceği minimum reaktif güç destek limitlerini tanımlamıştır. Bu limitlerden yola çıkarak santralde aktif gücünde bir kısıtlama yaşamamak için kullanılacak inverterin nominal gücünün santralin kurulu gücünden en az %10 büyük seçilmesi gerekmektedir.
- Şebekeye bağlanan PV santral ve diğer tipte dağıtık jeneratörlerin şebeke entegrasyonu ve entegrasyon sonrası işletmesinde göz önüne alınan kriterler en geniş biçimde IEEE Std. 1547'de yer almaktadır. Bu standartlara göre, Almanya'daki standartlarda olduğu gibi, PV santrallerin invertör kapasitesi, PV panel aktif güç kapasitesinin en az %10'u daha büyük olmalıdır.
- PV santrallerden reaktif güç desteği, santraldeki teknolojik altyapıya bağlı olarak, üç farklı seviyede gerçekleştirilebilir:
 - İnvertör Seviyesi Lokal Kontrol – Manuel (invertör kontrolcüsü üzerinden manuel)
 - Santral Seviyesi Merkezi Kontrol – PPC (santral ana kontrolcüsü üzerinden manuel)
 - Şebeke Seviyesi Merkezi Kontrol DSO-PPC (santral ana kontrolcüsü üzerinden uzaktan)
- Türkiye'de reaktif güç destek zorunluluğu olmayan dağıtım şebekesine bağlı PV santrallerden reaktif güç desteği alınmasında, aktif güç öncelikli çalışma prensibi iyi bir opsiyon olabilir. Bu sayede santral aktif gücünde kısıtlama yapmadan, kalan kapasitesi ölçüsünde reaktif güç desteği sağlayarak şebekenin daha iyi koşullar altında (kayıpların azaltılması, gerilim profillerinin iyileştirilmesi vb.) çalışmasına katkıda bulunabilir. Ancak, santral reaktif güç desteği verirken, santralde oluşacak teknik kayıplarda bir miktar artacaktır. Dolayısıyla, böyle bir çalışma prensibi yönetmelikler ile düzenlenmelidir.

Bu Tez çalışmasında, elektrik dağıtım şebekelerinin gerilim regülasyonu için ihtiyaç duyduğu kompanzasyon çalışmalarının hali hazırda dağıtım şirketine şebekesine bağlı olan PV inverterler aracılığı ile katkı verebileceği düşüncesinde hareketle; dağıtım sistemine bağlı PV santrallerin her birinin inverterlerinden optimum düzeyde alınabilecek reaktif güç desteği ile aynı zamanda şebekenin genel gerilim profilinin iyileştirilmesini hedefleyen optimizasyon algoritmaları ve bu algoritmaların şebeke modelleme ve analiz için kullanılan DIgSILENT PowerFactory uygulaması ile entegrasyonu açıklanmıştır. Oluşturulan algoritmada santralin mevcut aktif güç üretiminde bir kısıtlama yapılmamış ve inverterlerden sağlanabilecek reaktif güç limitleri göz önüne alınmıştır.



2. MATERYAL VE METOD

2.1. PV Santrallerden Alınabilecek Reaktif Güç Destek Limitleri

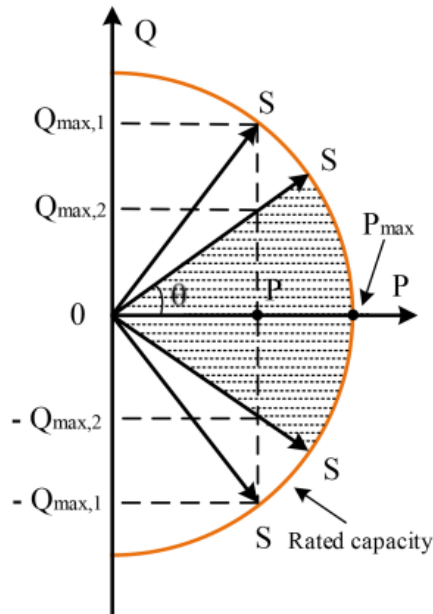
2.1.1. Akım limiti

İnverterden reaktif güç destek limiti denince ilk akla gelen limit inverterin kapasitesinin ne kadarının kullanılabilir olduğudur. Bu limit inverterin akım limiti olarak geçmektedir. Akım limiti perspektifinden inverterden alınacak reaktif güç limitleri şöyledir:

$$P^2 + Q^2 = S^2 \quad (2.1)$$

$$-\sqrt{S^2 - P^2} \leq Q \leq \sqrt{S^2 - P^2} \quad (2.2)$$

Denklem 2.1 ve 2.2 'de merkezi orijinde olan yarıçapı S olan bir çemberi tanımlamaktadır. Denklemden de anlaşılabileceği ve Şekil 2.1'de gösterildiği üzere PV sistemlerinde inverterin toplam gücü, aktif ve reaktif güçlerin vektörel toplamı ile sınırlıdır. Bu nedenle, PV sisteminin aktif güç üretimi maksimum seviyedeysen reaktif güç desteği sağlama kapasitesi sınırlanır veya tamamen devre dışı kalır. Ancak aktif güç üretimi azaldığında, inverterin toplam gücü içinde daha fazla reaktif güç üretimine yer açılır ve bu sayede reaktif güç destek limiti artar (Albarracín ve Alonso, 2013).



Şekil 2.1 PV reaktif güç akım limiti (Albarracín, ve Alonso, 2013)

2.1.2. Gerilim limiti

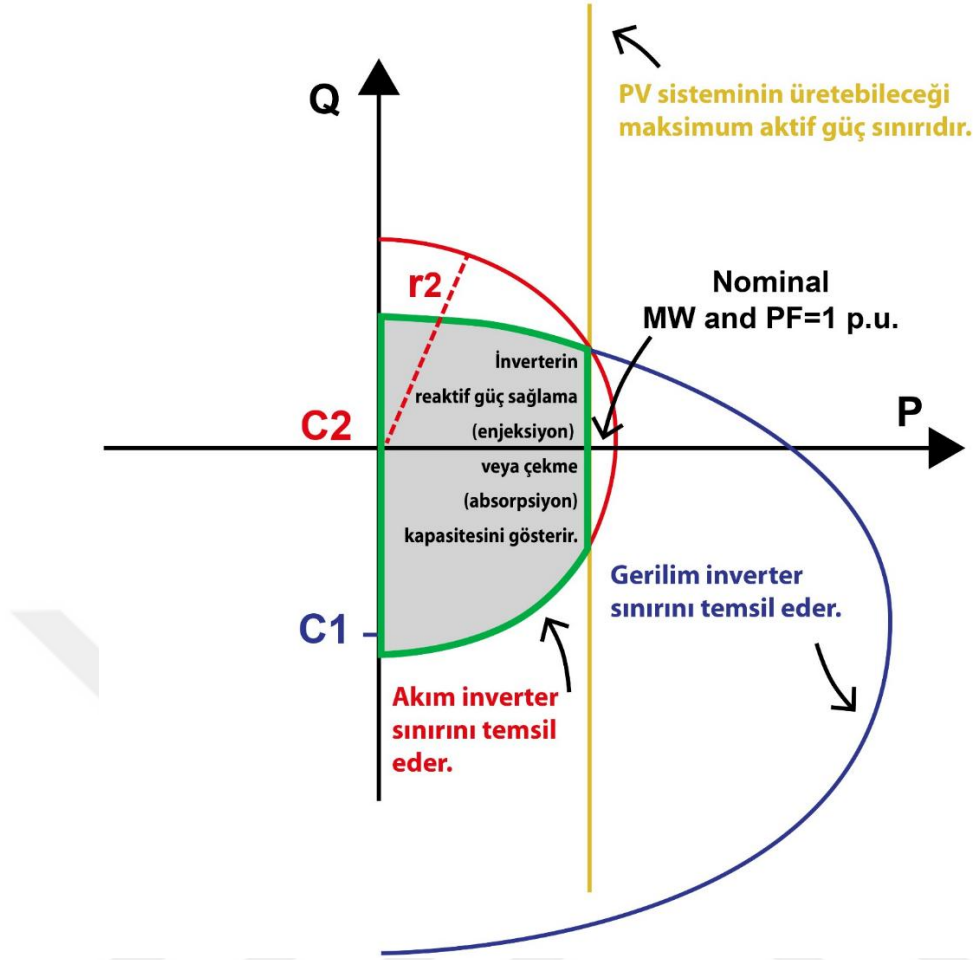
Kararlı çalışma koşulları altında, bir fotovoltaiik (PV) enerji santralinin inverterinden elde edilebilecek reaktif güç desteği, gerilim bağımlı bir limit içinde olmalıdır ve bu limit aşağıdaki şekilde ifade edilir (Bollen ve Hassan, 2011).

$$-\sqrt{\frac{V_g V_t}{x_{eq}}} - P^2 - \frac{V_g^2}{x_{eq}} \leq Q \leq \sqrt{\frac{V_g V_t}{x_{eq}}} - P^2 - \frac{V_g^2}{x_{eq}} \quad (2.3)$$

Denklem 2.3'de;

- **V_g** : PV sisteminin bağlı olduğu şebeke gerilimini ifade eder.
- **V_t** : İnverterin çıkış gerilimini ifade eder.
- **x_{eq}** : PV sisteminin bağlantı noktası ile inverter arasındaki eşdeğer empedansı ifade eder.

Bu denklem, per-unit (p.u.) biriminde merkez noktası $(0, -\frac{V_g^2}{x})$ olan ve yarıçapı $\sqrt{\frac{V_g V_t}{x}}$ olan bir daireyi tanımlar. Bu daire, inverterin hem akım hem de gerilim limitleri dikkate alındığında reaktif güç desteği sağlayabileceği alanı temsil eder ve Şekil 2.2 'de gösterilmektedir.



Şekil 2.2 İnverter akım ve gerilim limitleri (Albarracín, ve Alonso, 2013)

Şekil 2.2’de belirtilen renklerin ve İngilizce terimlerin açıklaması şunlardır:

- **Yeşil Alan** (Reactive Power Injection/Absorption): İnverterin reaktif güç sağlama (enjeksiyon) veya çekme (absorpsiyon) kapasitesini gösterir.
- **Kırmızı Çizgi** (Current Inverter Limit): Akım inverter sınırını temsil eder.
- **Mavi Çizgi** (Voltage Inverter Limit): Gerilim inverter sınırını temsil eder.
- **Turuncu Çizgi** (Photovoltaic Active Power Limit): PV sisteminin üretebileceği maksimum aktif güç sınırını gösterir.

2.1.3. Güç faktörü Limiti

Her inverterin tasarımının doğasından gelen çalışabileceği izin verilebilir güç faktörü limitleri vardır. Bu limitler kullanılan teknolojiye bağlı olarak değişmekle beraber çoğu inverter 0.8 kapasitif – 0.8 endüktif güç faktörleri arasında çalışabilmektedir. Güç faktörü (pf) limiti perspektifinden inverterden alınacak reaktif güç limitleri (p.u.) Denklem 2.4 gösterilmiştir.

$$-\sqrt{1 - pf_{kap}^2} \leq Q \leq \sqrt{1 - pf_{end}^2} \quad (2.4)$$

Denklem 2.4'de, pf_{kap}^2 ve pf_{end}^2 sırasıyla PV inverterin kapasitif ve endüktif modda çalışırkenki minimum güç faktörü değerini temsil etmektedir. Bu limitlerin ışığında PV santrallerden alınabilecek p.u. cinsinden minimum ve maximum reaktif güç Denklem 2.5.a ve Denklem 2.5.b'deki gibidir (Albarracín, ve Alonso, 2013)

$$Q_{min} = \max \left(-\sqrt{S^2 - P^2}, -\sqrt{\frac{V_g \cdot V_t}{x_{eq}} - P^2} - \frac{V_g^2}{x_{eq}}, -\sqrt{1 - pf_{kap}^2} \right) \quad (2.5.a)$$

$$Q_{max} = \min \left(\sqrt{S^2 - P^2}, \sqrt{\frac{V_g \cdot V_t}{x_{eq}} - P^2} - \frac{V_g^2}{x_{eq}}, \sqrt{1 - pf_{end}^2} \right) \quad (2.5.b)$$

2.2. Optimizasyon Algoritmaları

2.2.1. Parçacık sürü optimizasyonu

Parçacık sürü optimizasyonu (PSO), belirli bir kalite ölçüsüne göre aday bir çözümü yinelemeli olarak iyileştirmeye çalışarak bir sorunu optimize eden bir hesaplama yöntemidir (Kennedy ve Eberhart, 1995). Bir problemi, parçacıklar olarak adlandırılan bir aday çözümler popülasyonuna sahip olarak ve bu parçacıkları arama uzayında basit matematiksel formüle göre parçacığın konumu ve hızı üzerinde hareket ettirerek çözer. Her parçacığın hareketi, yerel olarak en iyi bilinen konumundan etkilenir, ancak aynı zamanda, diğer parçacıklar tarafından daha iyi konumlar bulunduğca güncellenen, arama uzayındaki en iyi bilinen konumlara doğru yönlendirilir. Böylelikle sürüyü en iyi çözümlere doğru hareket ettirmektedir.

Parçacık sürü optimizasyonunun temel elemanları aşağıda listelenmiştir:

- **Parçacık:** Hız ve konum bileşenlerine sahip olan ve iteratif olarak bu bileşenleri kendisinin ve diğer parçacıkların konumuna göre güncelleyen elemandır. Parçacık sayısı ile optimum sonuca ulaşma arasında doğru, sonuca ulaşma hızı arasında ters orantı vardır.
- **Uygunluk fonksiyonu:** Optimum çözümü bulmak için kullanılan hedef fonksiyondur.
- **Yerel en iyi:** Parçacığın ziyaret edilen tüm konumları arasında en iyi konumudur. Bu değer iteratif süreç boyunca değişmektedir.
- **Küresel en iyi:** Mevcut iterasyona kadar tüm parçacıklar tarafından ziyaret edilen konumlar arasında en iyi uygunluğun elde edildiği konumdur. Bu değer iteratif süreç boyunca değişmektedir.

- **Hız güncellemesi:** Hız, parçacığın hızını ve yönünü belirleyen bir vektördür. Hız güncelleme denklemi PSO'nun farklı varyasyonlarına göre değişiklik gösterebilmektedir (Del Valle ve ark., 2008). Orijinal PSO'nun hız güncelleme denklemi Denklem 2.6'daki gibidir.

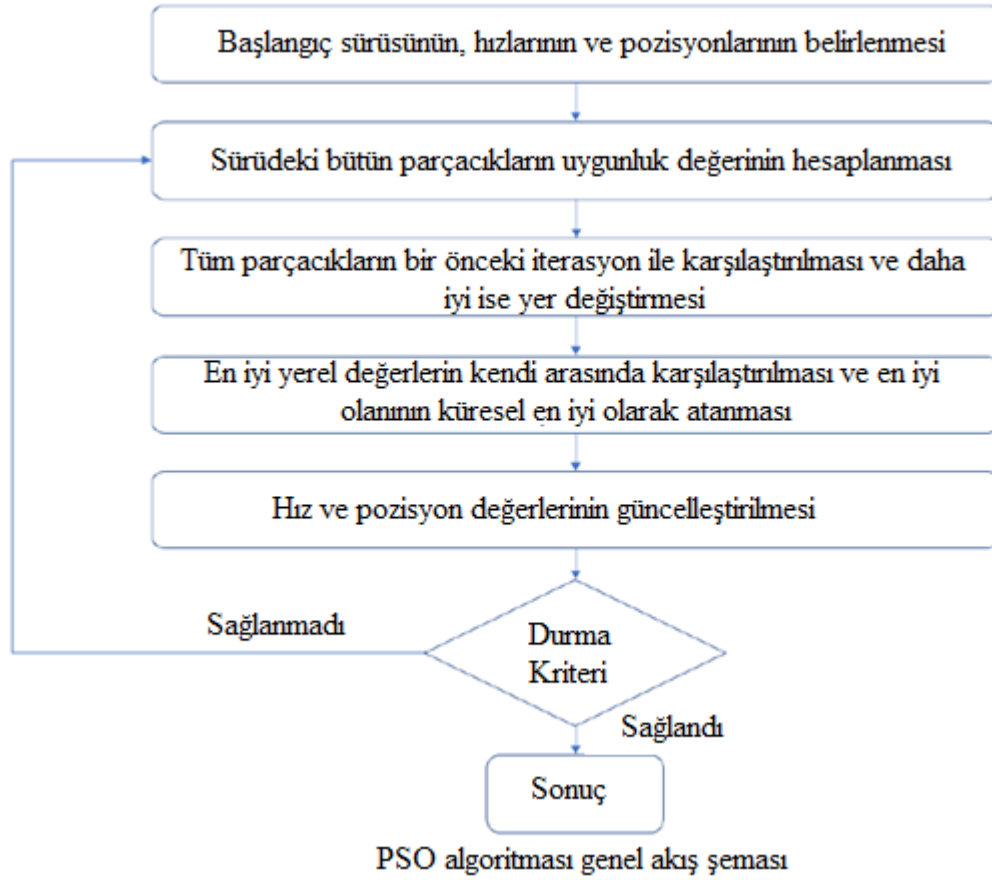
- **Konum güncellemesi:** Tüm parçacıklar, optimum uygunluk için en iyi konuma doğru hareket etmeye çalışır. PSO' daki her parçacık, küresel optimumu bulmak için konumlarını günceller. Konum güncelleme denklemi de PSO' nun türüne göre değişebilmektedir. Orijinal PSO'nun konum güncellemesi Denklem 2.7'de verilmiştir.

$$V_i(t + 1) = V_i(t) + C_1 * r_1 * (Y_{best} - X_i(t)) + C_2 * r_2 * (K_{best} - X_i(t)) \quad (2.6)$$

$$X_i(t + 1) = X_i(t) + V_i(t + 1) \quad (2.7)$$

Denklem 2.6 ve Denklem 2.7'de, V_i i. parçacığın hızını, X_i i. parçacığın konumunu, t mevcut iterasyon sayısını, Y_{best} parçacığın yerel en iyi konumunu, K_{best} sürünün mevcut iterasyona kadarki küresel en iyi konumunu, r_1 ve r_2 $[0,1]$ arasında her iterasyonda yeniden oluşturulan random değerleri ve C_1 ve C_2 öğrenme faktörlerini temsil etmektedir. Orijinal PSO'da C_1 ve C_2 iterasyon öncesinde sabit bir değer olarak oluşturulup iterasyon süresince değiştirilmezken PSO'nun bazı çeşitlerinde bu değer iterasyon boyunca güncellenmektedir. Yapılan çalışmalarda öğrenme faktörleri $C_1 = C_2 = 2$ 'nin hızlı bir çözüm için ideal olduğu bulunmuştur (Zhan ve ark, 2009).

Aynı zamanda Parçacık Sürü Optimizasyonun akış diyagramı Şekil 2.3’de belirtilmiştir.



Şekil 2.3 Parçacık sürü optimizasyonu algoritmasının akış diyagramı

2.2.2. Genetik algoritması

Genetik algoritma doğal seçilime dayanan evrimsel arama algoritmasını kullanan yöntemdir. Burada temel amaç daha iyi olan bireyin bir sonraki kuşağa geçmesidir.

Genetik algoritma metodu yazılım algoritması olarak kullanıldığı için birbirinden farklı kullanım amaçları mevcuttur. Genetik algoritmalar karmaşık problemlerin optimal çözümünde kullanılan bir optimizasyon yöntemidir. Bu algoritma farklı parametreleri aynı anda optimize eder ve birtakım çözüm olasılıklarını eş zamanlı değerlendirebilir. Genetik algoritmalar gerçek sayı vektörlerinden oluşan popülasyon üzerinden işlem yaparak çalıştığı için yapısının bir vektör popülasyonu olması gerekir (Pamuk, 2024).

Algoritmanın yapısı genlerden oluşmaktadır. Genetik Algoritma aramaya, genleri temsil eden dizilerin rastgele sayıdaki popülasyon miktarından başlar. Her bir gendeki

kodlanan diziye kromozom adı verilir. Genetik algoritmanın performansını etkilediğinden kromozomların kodlanması gereklidir (Pamuk, 2024).

Genetik algoritmanın yapısında üç çalışma durumu vardır. Bunlar genlerin çoğaltılması, çaprazlanması ve mutasyonudur. Bu durumlar ile daha iyi gen dizilimleri oluşturularak yeni nesiller üretilir. Genetik algoritma çalışmaları başlatılmadan önce optimizasyonun parametrelerinin, sınır koşullarının, uygunluk ölçüsünün ve durdurma koşulunun belirlenmesi gerekmektedir. Algoritmada kullanılan amaç fonksiyonun en büyük veya en küçük hale getirildiği değerlere uygunluk denir (Pamuk, 2024).

Uygunluk ölçüsü bireyin ne kadar başarılı olduğunun bir göstergesidir. Mevcut olan her kromozom değerlendirilir ve uygunluk ölçüsü hesaplanır. Genetik algoritma ile popülasyon arasındaki bağlantı hakkında bilgi veren tek kavram uygunluk ölçüsüdür. Uygunluk ölçeklendirmesinin amacı en uygun kromozomların çoğalma şanslarını ortaya çıkarmaktır. Ortalama ve en iyi uygunluk değerleri arasındaki farkın daha belirgin hale gelmesi için ölçeklendirme yapılır. Ölçeklendirme formülasyonu denklem 2.8’ de gösterilmiştir.

$$f' = af + b \quad (2.8)$$

Burada f' , ölçeklendirilmiş uygunluk değerini, f ise ham uygunluk değerini gösterir

$$a = \frac{(C-1).f_{avg}}{f_{max}-f_{avg}}, b = \frac{f_{avg}.(f_{max}-Cf_{avg})}{f_{max}-f_{avg}} \quad (2.9)$$

Denklem 2.9 kullanılarak, mevcut neslin maksimum ve ortalama değerleri belirlenir ve her yeni nesil için hesaplamalar yapılır. Denklem 2.9’ da ki C değişkeninin değeri 1.2 ile 2 arasında seçilmektedir (Pamuk, 2024).

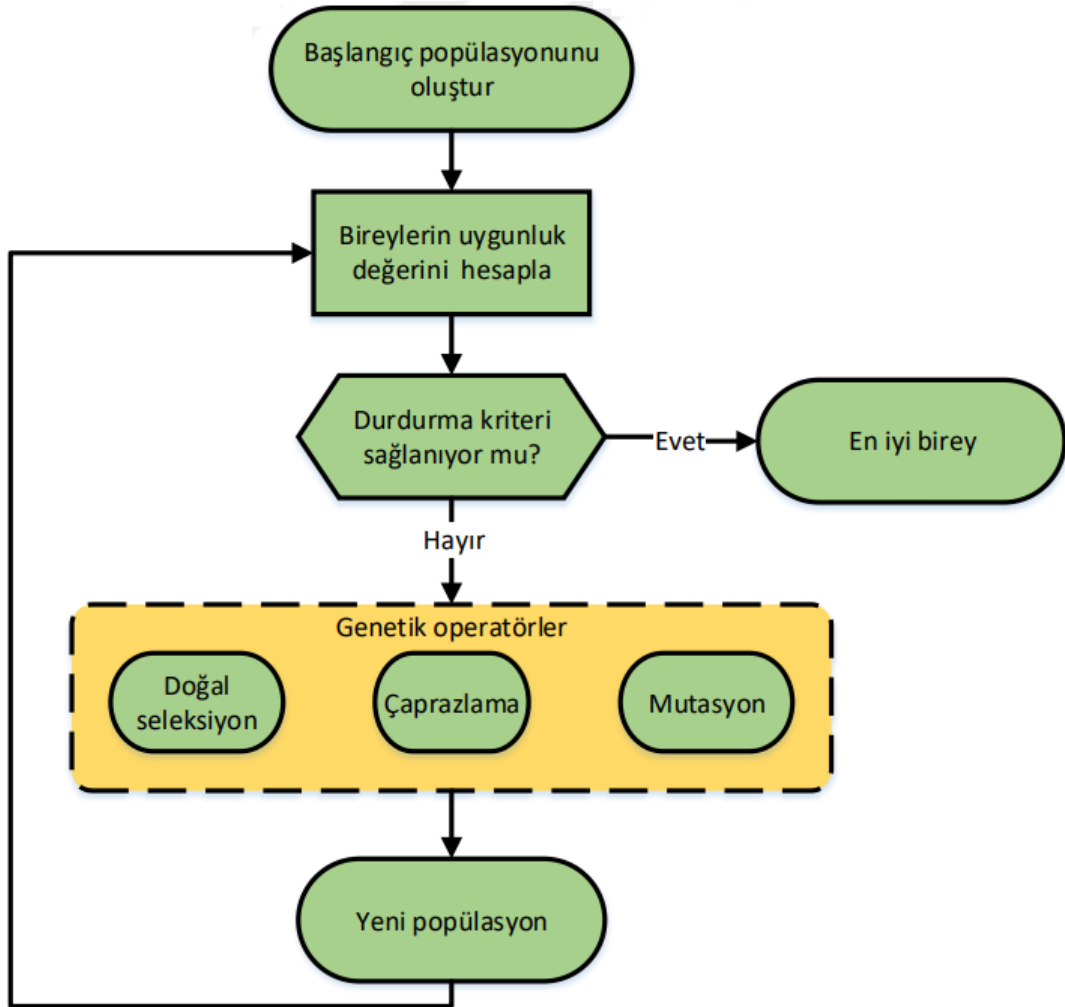
Genetik algoritmaların bir özelliği de çaprazlamadır. Ebeveynlerin sayı vektörlerindeki parçanın değiştirildiği bir noktayı gelişigüzel seçerek ebeveyn çiftini birleştirir. Yer değiştirme adımı iki adet x_1 ve x_2 vektörünün aritmetik çaprazlaması ile gerçekleştirilir. Çaprazlama aşamasından sonra denklem 2.10 kullanılarak yavru bireyler elde edilir.

$$x_1 = a.x_1 + (1 - a).x_2 \quad (2.10.a)$$

$$x_2 = a.x_2 + (1 - a).x_1 \quad (2.10.b)$$

Çevre amaç fonksiyonunu belirtir. Bu fonksiyonun döndürdüğü değer uygunluk ölçüsünü tanımlamaktadır. Genetik algoritmada arama aşaması süresiz olarak çalışabilir. Bu

nedenle algoritma yapısına durdurma kuralı eklenerek durdurma zamanı belirlenmelidir. Durdurma koşulu yöntemlerinden bazıları, nesil sayısını sabitlemek ve tüm nesillerin en iyi bireyini kullanarak optimum sonuca ulaşmaktır. Birkaç adımdan sonra en uygun nesil elde edilerek sorun çözülür. Genetik algoritmanın çalışma adımları Şekil 2.4’de gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Genetik algoritma çalışma adımları (Karadöl,2021)

Tüm çalışma operatörleri görevlerini yerine getirdikten sonra yeni nesil bireyler oluşmaktadır. En iyi özellikler gelecek nesillere aktarılmakta ve yeni bilgilere sahip kromozomlar oluşmaktadır (Pamuk, 2024).

Genetik algoritmanın diğer algoritmaların yerine tercih edilmesinin sebebi, tasarımın geniş ve karmaşık olduğu problemlerde üstünlük sağlamasıdır. Genetik algoritma optimizasyonunda sadece uygunluk değeri kullanıldığından amaç fonksiyonu hakkında başka bilgiye ihtiyaç duyulmaz. Bu durum, algoritma kullanımını kolay ve her soruna uyarlanabilir bir hale dönüştürmektedir (Pamuk, 2024).

2.2.3. Jaya algoritması

Jaya optimizasyon algoritması, popülasyon tabanlı optimizasyon yöntemlerinden biridir. Bu algoritma, kolektif davranış kavramından esinlenmiştir; özellikle Hintçe'deki "Jaya" veya "Zafer" kelimesi, bir ekibin iş birliği ruhunu ifade eder. Jaya algoritması, optimizasyon problemlerini çözmeyi, olası çözümlerden oluşan bir popülasyonun kalitesini iterasyonlarla iyileştirerek amaçlar. Algoritma, popülasyondaki bireylerin performanslarına dayalı olarak pozisyonlarını yinelemeli bir şekilde güncelleyerek çalışır. Jaya algoritması, çaprazlama ve mutasyon gibi geleneksel genetik operatörlere dayanmaz; bu da onu hesaplama açısından verimli ve uygulanması basit bir yöntem haline getirir (Rao, 2016).

Jaya algoritmasında, her bireyin pozisyonu iki temel faktöre dayalı olarak güncellenir: iyileştirme ve keşif. (Zitar et al., 2021). Bir bireyin pozisyonunun güncellenmesi için kullanılan formül Denklem 2.11'de verilmiştir.

$$\text{yeni_pozisyon} = \text{mevcut_pozisyon} - \beta * \text{rastgelesayi} * (\text{eniyipozisyon} - \text{mevcut_pozisyon}) - \alpha * \text{rastgelesayi} * (\text{enkötüpozisyon} - \text{mevcut_pozisyon}) \quad (2.11)$$

Denklem 2.11 de kullanılan parametreler aşağıdaki açıklanmıştır.

- yeni_pozisyon, bireyin güncellenmiş konumudur.
- mevcut_pozisyon, bireyin mevcut konumudur.
- β ve α en iyi ve en kötü konumların etkisini belirleyen kontrol parametreleridir.
- eniyipozisyon, popülasyondaki en iyi bireyin konumunu gösterir.
- enkötüpozisyon, popülasyondaki en kötü bireyin konumunu gösterir.
- rastgelesayi, 0 ile 1 arasında rastgele bir sayıdır.

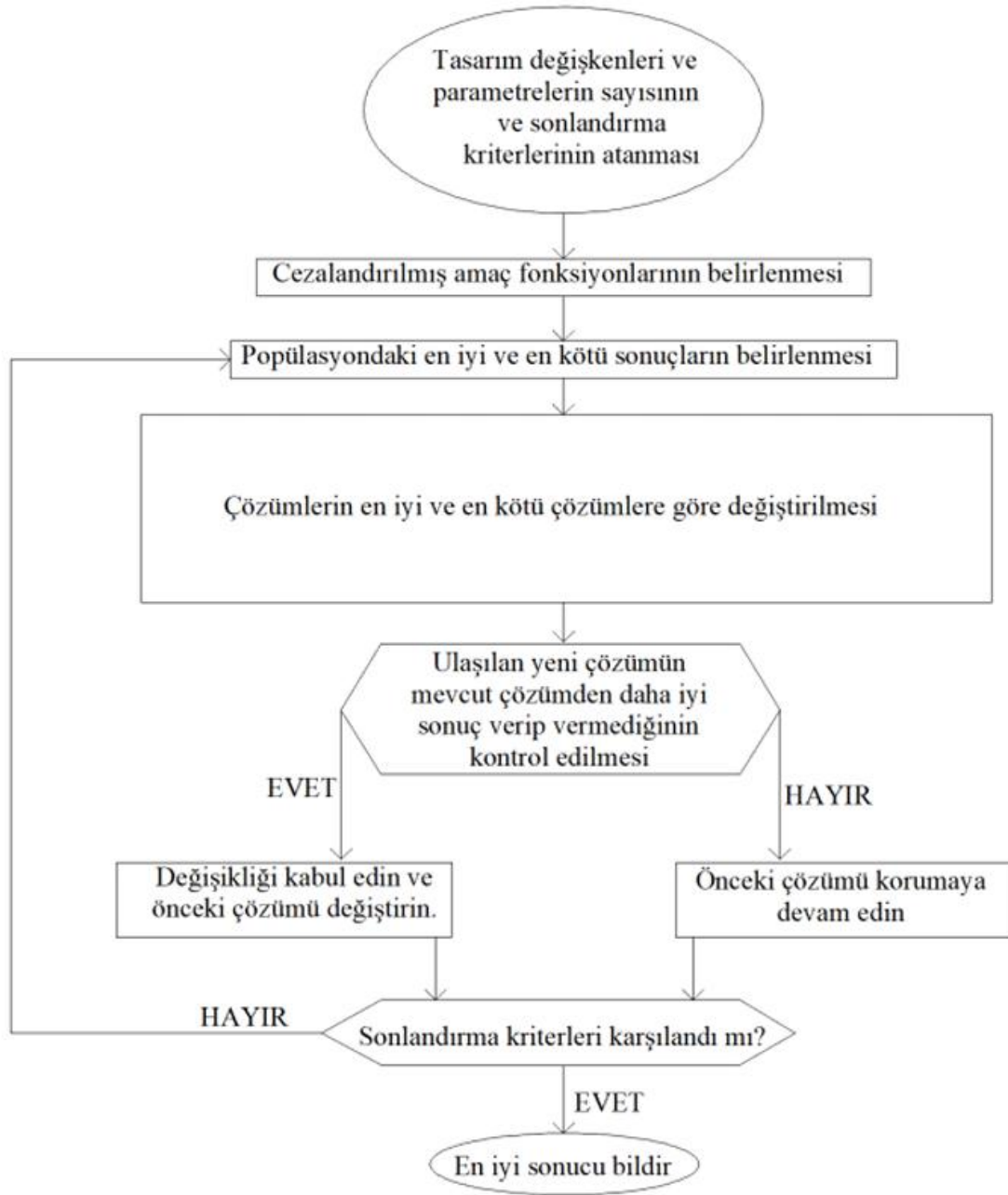
Jaya algoritması, basit bir yinelemeli süreç izler. İlk olarak, bireylerin rastgele bir popülasyonu arama alanı içinde başlatılır. Her bireyin uygunluğu, bir uygunluk fonksiyonu kullanılarak değerlendirilir. Popülasyondaki en iyi ve en kötü bireyler, uygunluk değerlerine göre belirlenir. Her iterasyonda, bireylerin pozisyonları, en iyi ve en kötü pozisyonları içeren güncelleme formülü kullanılarak güncellenir. Güncellenmiş pozisyonlar, bireylerin uygunluk değerlerinde iyileştirmelere yol açabilir. Bu süreç, maksimum iterasyon sayısına ulaşılması veya istenen bir uygunluk seviyesine ulaşılması gibi bir durdurma koşulu sağlanana kadar devam eder. Jaya algoritmasının nihai sonucu, optimize edilmiş çözümü temsil eden en iyi pozisyonudur (Rao, 2016).

Jaya algoritması, basitliği, hızlı yakınsama özelliği ve hesaplama verimliliği ile dikkat çeker. Parametre gerektirmeyen yapısı sayesinde kolay anlaşılır ve uygulanabilir bir yöntem

sunar. Çaprazlama ve mutasyon gibi karmaşık genetik operatörlere ihtiyaç duymaması, algoritmayı büyük ölçekli optimizasyon problemlerini çözmede etkili kılar. Ayrıca, kolektif davranış ve bireyler arasındaki iř birliği sayesinde yerel optimumdan kaçış sağlayarak daha geniş bir çözüm uzayını keşfetme imkânı sunar. Algoritmada kullanılan β ve α gibi kontrol parametreleri, iyileştirme ve keşif süreçleri arasında denge kurarak esnek bir yapı sağlar ve bu da Jaya algoritmasını hem akademik hem de endüstriyel uygulamalarda değerli bir araç haline getirir (Rao, 2016).

Jaya algoritmasının akış diyagramı şekil 2.5’ de gösterilmiştir.





Şekil 2.5 Jaya algoritmasının akış diyagramı (Rao,2016)

2.2.4. Ateş böceği algoritması

Ateşböceği Algoritması (FA), ateşböceklerinin yanıp sönme davranışından ilham alır. Bu davranış, bir sürü içindeki ışık iletişimini optimize etmeyi ve verimliliği artırmayı amaçlar. FA'da, ateşböcekleri olası çözümleri temsil eder ve hareketleri çözüm uzayındaki konumlarını iyileştirmek için belirli kurallara göre yönlendirilir. Çekicilik, ateşböcekleri arasındaki etkileşimi ifade eder. Daha parlak ateşböcekleri daha fazla çekicidir ve çekicilik,

mesafe arttıkça azalır. Uygunluk fonksiyonu, her çözümün etkinliğini değerlendirir. (Yang, 2010).

Ateşböceği Algoritması'nın matematiksel formüllerden olan çekicilik fonksiyonu Formül 2.12' de belirtilmiştir.

$$\beta(r) = \beta_0 * e^{-\gamma r^2} \quad (2.12)$$

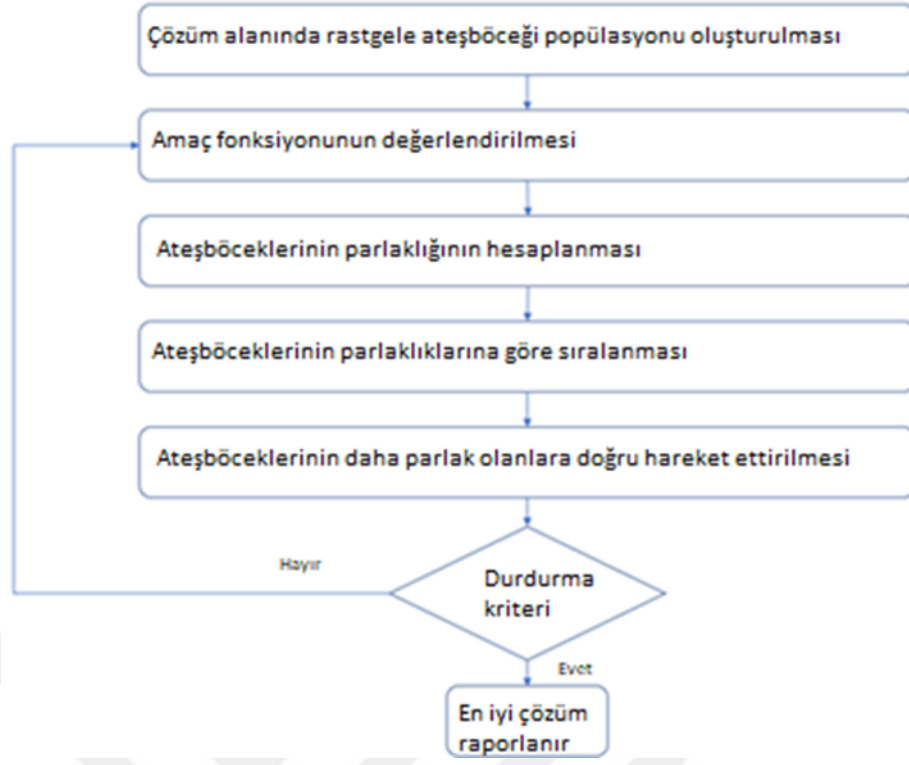
Bu formülde, β_0 mesafe sıfır olduğunda çekicilik değerini, γ ortam ışık emilim katsayısını ve r ateşböcekleri arasındaki Öklid uzaklığını temsil eder. Pozisyon güncelleme formülü ise aşağıda belirtilmiştir.

$$x_i(t+1) = x_i(t) + \beta_0 * e^{-\gamma r^2} * (x_j - x_i) + \alpha \varepsilon_i \quad (2.13)$$

Formül 2.13'de belirtilen formül parametrelerinin detayları aşağıda belirtilmiştir:

- $x_i(t)$: i-ince ateşböceğinin t zamanındaki pozisyonu,
- $x_j(t)$: j-inci ateşböceğinin t zamanındaki pozisyonu,
- $\beta_0 * e^{-\gamma r^2}$: Ateşböceği j'den kaynaklanan çekim,
- α : Rastgelelik parametresi,
- ε_i : [0, 1] aralığında rastgele bir sayıdır.

Ateşböceği Algoritmasının Şekil 2.6 ' da gösterilen akış şeması, doğal davranışları taklit etmek için benzersiz bir yaklaşım sunar ve hız gibi bir yönlendirme parametresine dayanmadan optimizasyon zorluklarını ele almak için yenilikçi bakış açıları sağlar. Algoritmanın başarısı, parlaklık ve çekicilik ilkelerini kullanarak çözüm uzayında hızlı bir şekilde gezinme yeteneğine bağlıdır.

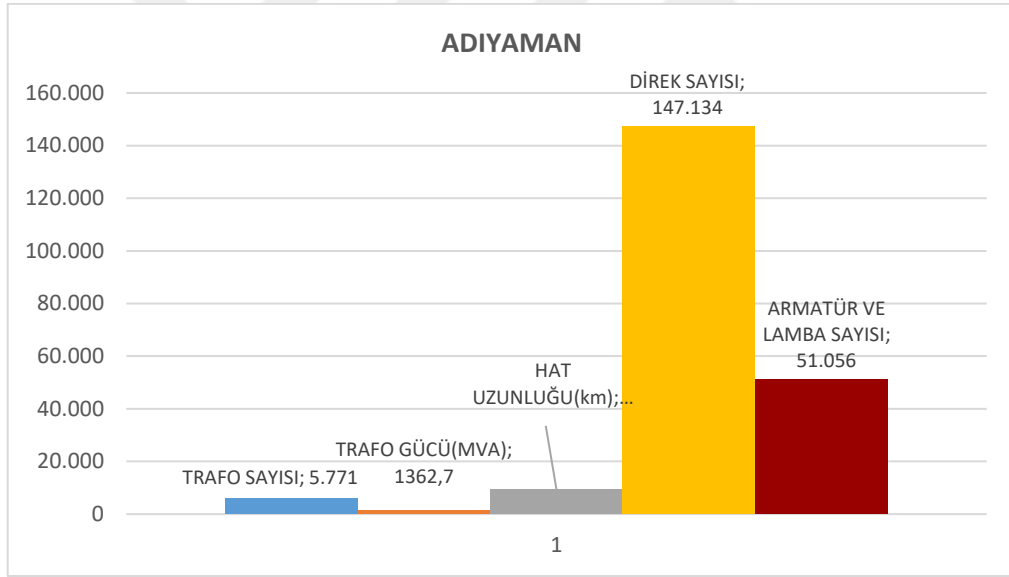


Şekil 2.6 Ateş böceği algoritması

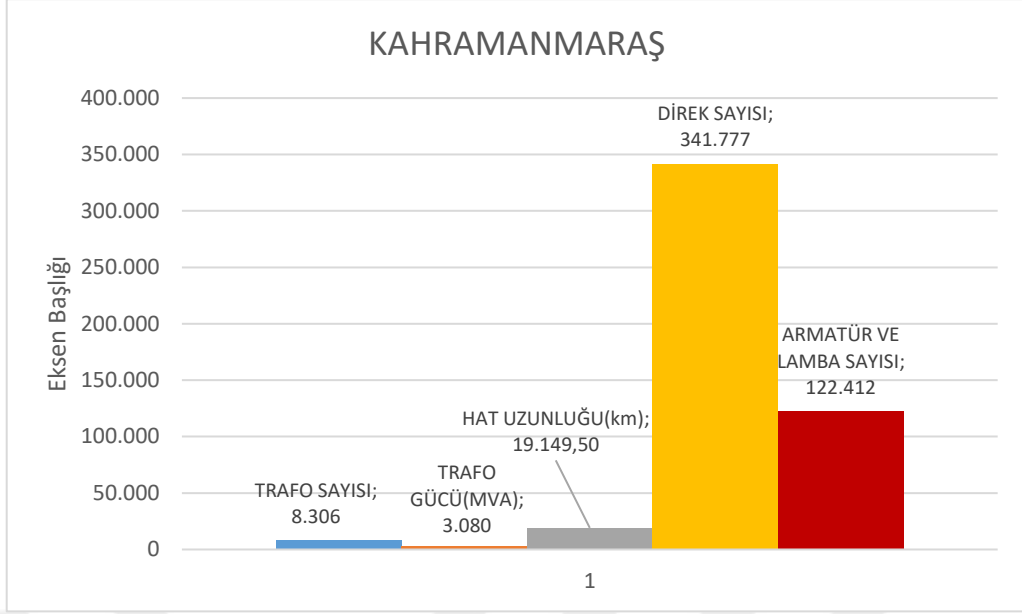
3. SİMÜLASYON TABANLI SAHA ÇALIŞMALARI

3.1. Örnek Dağıtım Şebekesi

Bu tez çalışmasında yapılan analiz ve simülasyonlarda Kahramanmaraş ve Adıyaman bölgelerinde dağıtım hizmeti veren AKEDAŞ' ın örnek bir dağıtım şebekesi kullanılmıştır. Kahramanmaraş ve Adıyaman bölgelerinde bulunan 1.672.890 nüfusa elektrik hizmeti veren AEKDAŞ, TEDAŞ tarafından özelleştirilen 20 numaralı dağıtım bölgesinin faaliyetlerini yürütmektedir. 2023 yılı itibarı ile Şekil 3.1'de görüldüğü gibi, Adıyaman bölgesinde bulunan şebekeye ait ekipmanların sayıları görülmektedir. Bu grafikte görüldüğü gibi çalışmanın yapıldığı Adıyaman ilinde AKEDAŞ'a bağlı 5771 adet trafo bulunmaktadır ve bunların toplam kurulu gücü 1362,7 MVA'dır. Toplam hat uzunluğu 9368,6 kilometredir. Toplam direk sayısı 147134 ve armatür ve lamba sayısı 51056 adettir.



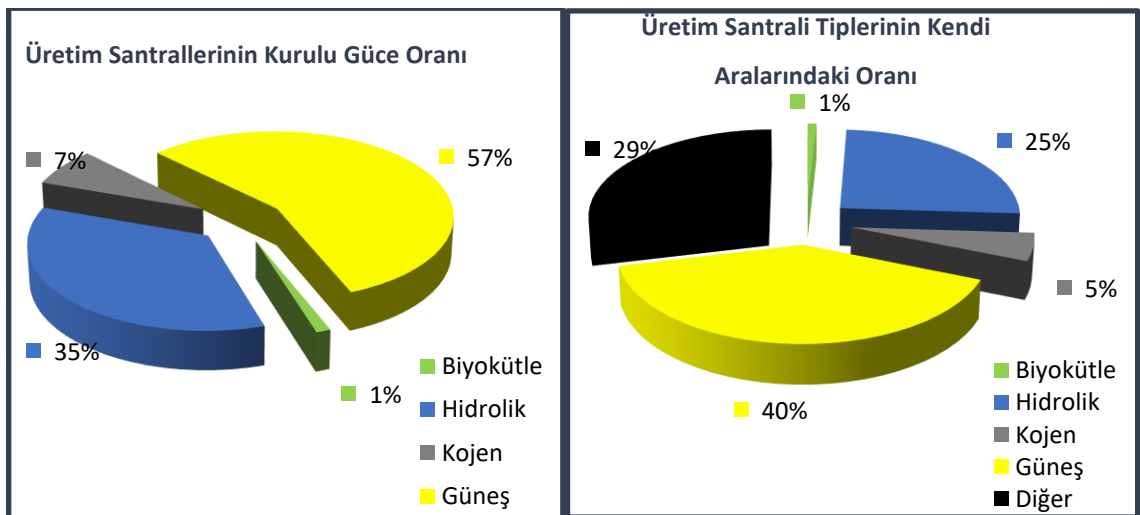
Şekil 3.1 Adıyaman ili şebeke bilgileri



Şekil 3.2 Kahramanmaraş ili şebeke bilgileri

Şekil 3.2’de ise AKEDAŞ bünyesinde Kahramanmaraş ilindeki şebeke bilgileri ve bulunan ekipmanların sayıları görülmektedir. Yukarıdaki grafikteki bilgilerde görüldüğü gibi Kahramanmaraş ilinde AKEDAŞ’ a bağlı; 8306 tane Trafo vardır. Bu trafoların toplam kurulu gücü 3080 MVA’ dır. Toplam hat uzunluğu 19149,50 kilometredir. Toplam direk sayısı 341777 adet ve armatür ve lamba sayısı 122412’ adettir.

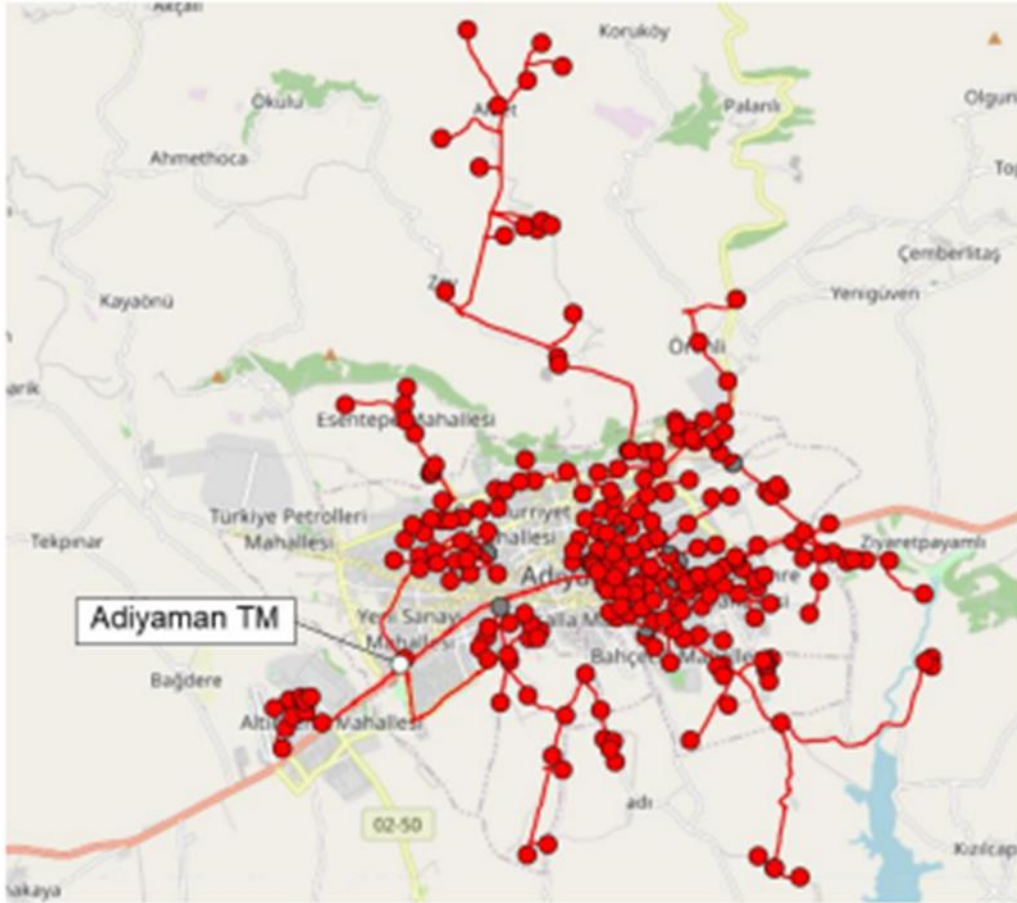
Şekil 3.3’de ise AKEDAŞ dağıtım bölgesinde bulunan dağıtık üretim santrallerinin primitif kaynağa göre dağılımı görülmektedir. Burada önemli bir kısmının Güneş Enerjisi ve HES’lerden oluştuğu görülmektedir.



Şekil 3.3 AKEDAŞ bölgesi dağıtık üretim kurulu gücü

AKEDAŞ Kahramanmaraş'ta şahıslara ait 587 tane ag/og trafo vardır. AKEDAŞ'ın toplam yükü 692 MW, dağıtımına bağlı üretim santral kurulu gücü 494 MW'tır. Bu tezde, Adıyaman TM1 şehir fiderinden alınan örnekler üzerinde çalışılmıştır. Bu bölgede 11,8 MW kurulu gücünde 12 adet fotovoltaik santral bulunmaktadır.

Şekil 3.4'de Adıyaman TM1 şehir fiderinin AKEDAŞ'da kullanılan coğrafi bilgi sisteminden alınmış görüntüsü görülmektedir.



Şekil 3.4 AKEDAŞ Adıyaman TM – şehir 1 fideri

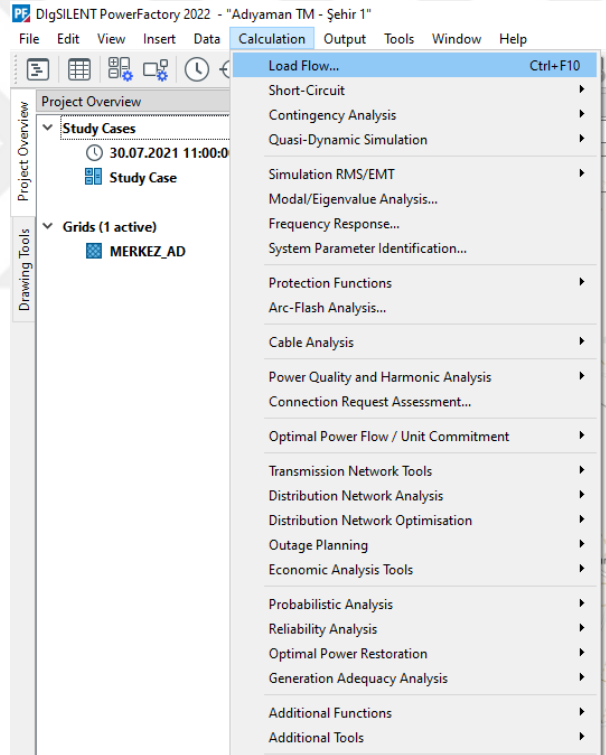
3.2. DIgSILENT Simülasyon Programı

DIgSILENT PowerFactory yazılımı gerek üretim gerek iletim gerekse dağıtım şebekelerinin modellenmesinde yaygın olarak kullanılabilir. Ayrıca programın Matlab, Python ve C gibi dillerle dışardan yazılmış model, sisteme adapte edilerek dışardan program üzerinde yeni simülasyonlar gerçekleştirilebilir.

DIgSILENT, temel analiz yazılımı olarak bir veri tabanı ve üzerinde çalışan analiz algoritmalarından oluşmaktadır. Her veri tabanı yapısında olduğu gibi, kullanıcıya ait açık

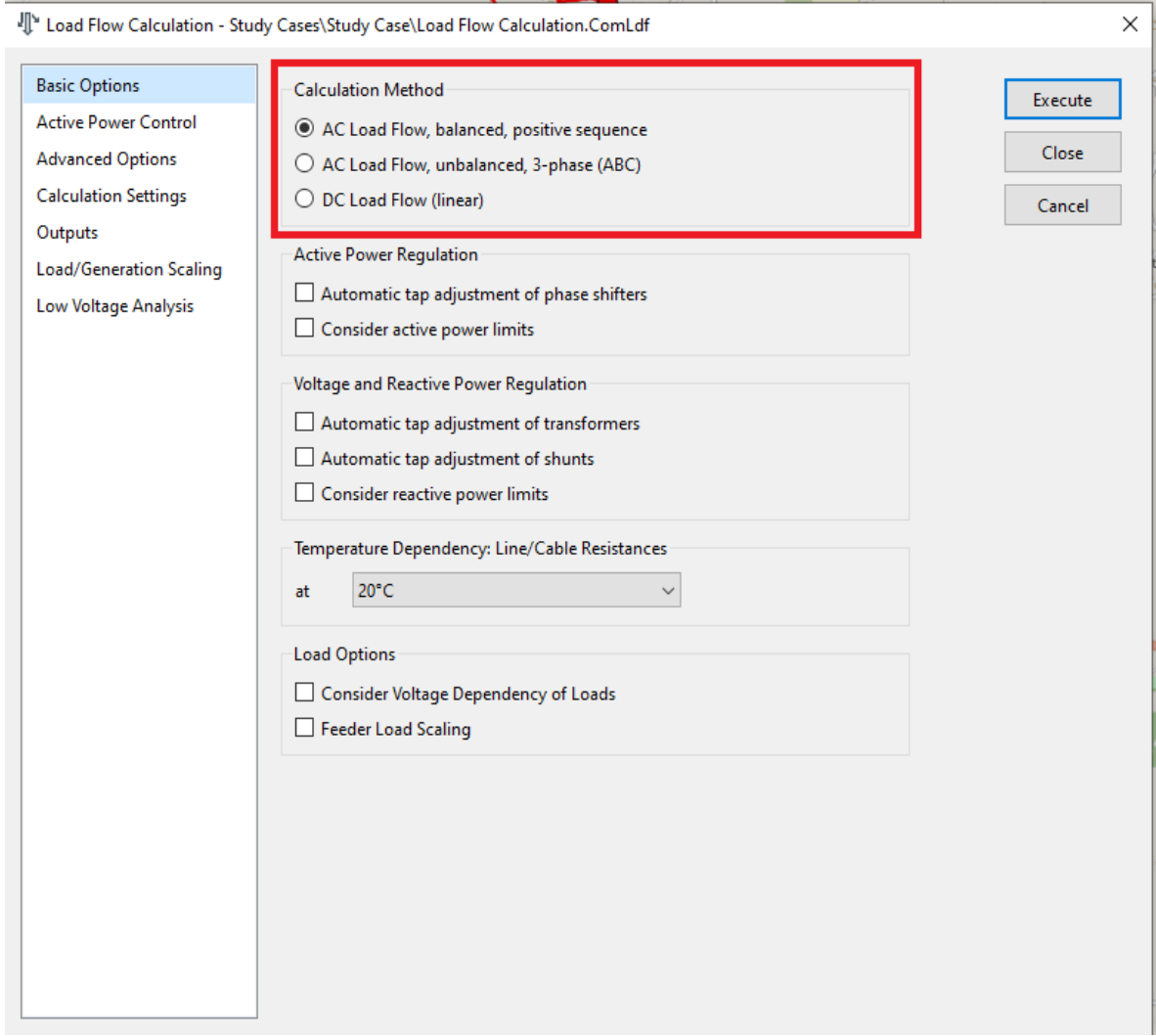
veri depolama alanına sahiptir ve içerisinde bir veri yöneticisi bulunmaktadır. Veri yöneticisi ortak veri alanları, mevcut kullanıcıya ait erişilebilir tüm veri alanlarını tek bölme üzerinde görebilmektedir.

DIgSILENT PowerFactory, enerji sistemleri modelleme ve analizinde geniş bir yelpazede araçlar sunan kapsamlı bir yazılım platformudur. Yük akış analizi, kısa devre analizi, harmonik analiz ve güç kalitesi gibi şebeke performansını değerlendirmek için kullanılan pek çok özelliğe sahiptir. Bu yazılım hem iletim hem de dağıtım şebekelerinde enerji akışlarının optimize edilmesi, kararlılığın sağlanması ve güvenilirlik analizlerinin yapılması için kullanılmaktadır. Bu çalışmada, DIgSILENT PowerFactory'nin yük akış analizi özelliği, şebeke gerilim profillerinin optimize edilmesi ve reaktif güç akışlarının incelenmesi amacıyla etkin bir şekilde kullanılmıştır. Yazılımda yük akış analizine Şekil 3.5'de gösterilen ekrandan giriş yapılmaktadır.



Şekil 3.5 Yük akış analizi erişim ekranı

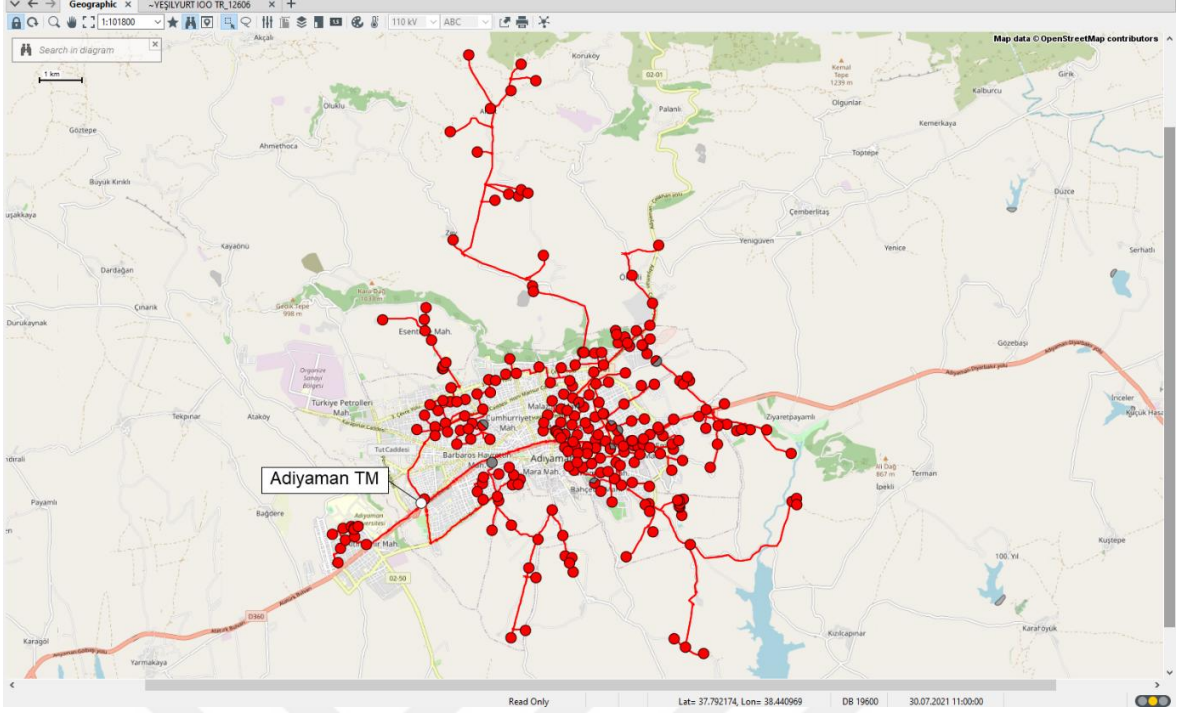
Sonrasında açılan Şekil 3.6'daki ekranda şebekedeki dengesizliğin kısıtlı olması nedeniyle, dengeli AC yük akışı seçilerek yük akışı fonksiyonu çalıştırılmıştır.



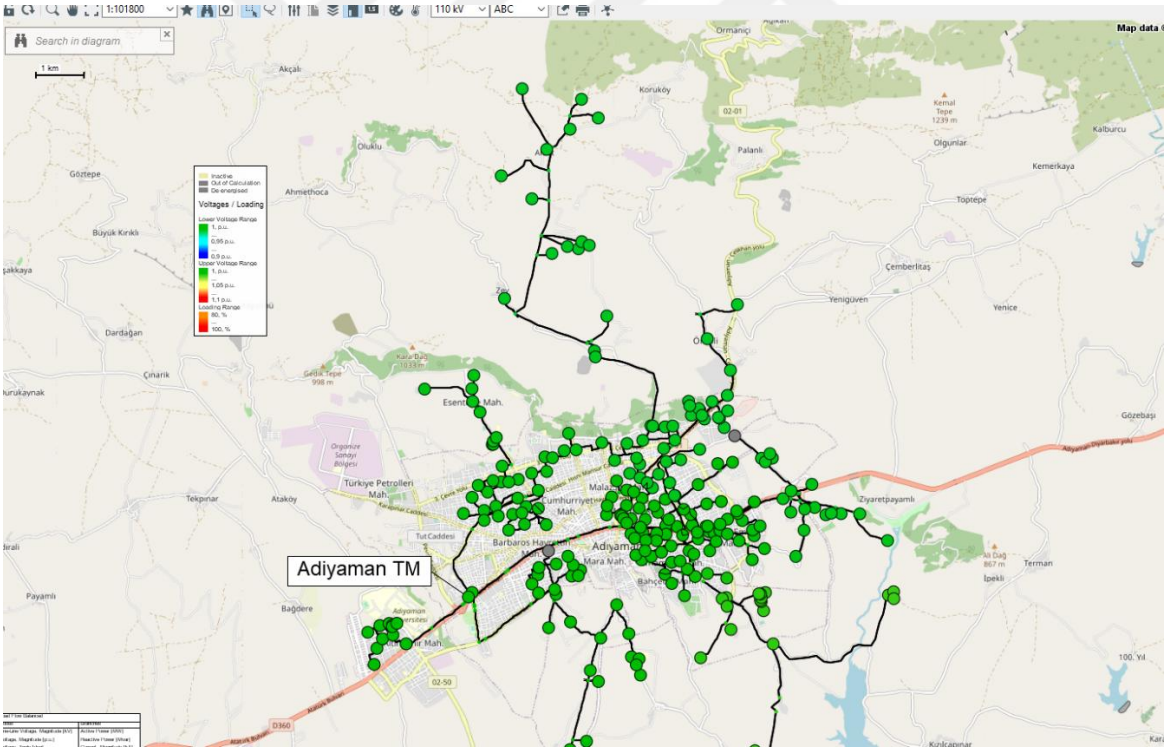
Şekil 3.6 Yük akış fonksiyonu belirleme ekranı

3.3. Bilgisayar Destekli Modelleme Çalışmaları

Daha önceki bölümlerde anlatıldığı üzere Adıyaman bölgesindeki trafo merkezi ve buna bağlı Şehir1 TM fideri üzerinde benzetim çalışması yapılmıştı ve Coğrafi Bilgi Sisteminde alınan veriler DİgSILENT yazılımı ile entegre edilerek Şekil 3.7’de görülmekte olan bir şebeke bağlantı modeli verilmiştir. DİgSILENT yazılımı içerisinde gömülü olarak Coğrafi Bilgi Sistemi verileri işlenmektedir. Aynı zamanda Şekil 3.7’de bu trafo merkezine bağlı ve kırmızı ile gösterilen yerler dağıtım trafo postalarını göstermektedir. Burada yük akışı analizi çalıştırılmadan önce kırmızı ile gözüken bu trafo bu şebeke yük akışı analizi çalıştırıldıktan sonra gerilim ideal seviyeler içinde kaldı ise Şekilde 3.8’de de belirtildiği üzere yeşil olarak gözükmetedir.

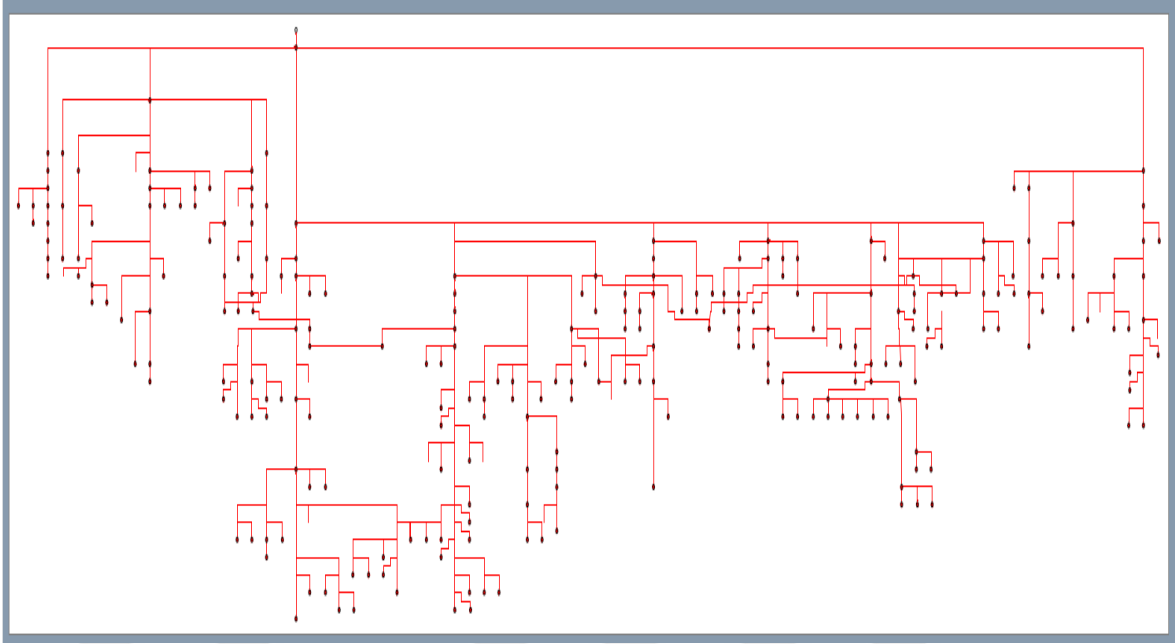


Şekil 3.7 Yük Akış analizinden önce gerilim profili



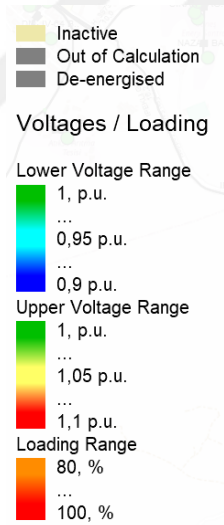
Şekil 3.8 Yük akış analizi uygulanması sonucu gerilimdeki iyileşme

Şekil 3.8’de çalışmanın yapıldığı Adiyaman Şehir-1 TM Fiderinden çıkan orta gerilim şebekesine ait tek hat şeması yer almaktadır ve bu sistem DİgSILENT yazılımı üzerinde simüle edilecektir.



Şekil 3.9 Örnek bir dağıtım merkezi tek hat şeması

Simülasyondaki renklerin her birinin bir anlamı vardır ve bu renklerin gerilim karşılığı olarak (p.u olarak) anlamı DIgSILENT uygulaması üzerinde Şekil 3.9’da görülmüştür.



Şekil 3.10 Renkler ve anlamları

Yük akışı analizi yapılan 258 adet barada analiz sonrasında gerilim ve açılı bilgileri elde edilmiştir. Bu örnek sistemin ayrıntılı gerilim, hattın km’si ve açılı bilgileri EK-1 bara listesinde’de ayrıca sunulmuştur. Aynı zamanda 250 adet trafo bilgilerini içeren liste EK-2 trafo listesin de sunulmuştur.

Yapılan simülasyon ile ilgili olarak 2 adet GES ‘in bağlı olduğu baranın ayrıntılı sonuçları Şekil 3.10’ da gösterilmiştir. Burada görüldüğü gibi gerilim datası 1,00405 p.u. ,

faz-açı bilgisi bilgisi 30,05 derece olarak analiz edilmiştir. Aynı zamanda GES'lerin aktif üretimi 0,7 MWH iken bu 2 GES'den alınan reaktif enerji destekleri -0,4 MVAR'dır. INCI5_2GES'in hattında gerilim yüksek olduğu için gerilimi düşürmek adına GES'ler hattan reaktif enerji çekmektedir.

Şekil 3.11 Örnek bir baradaki gerilim ve yük bilgileri

Örnek alınan 2 GES'den biri olan INCI5_2GES 'a ait DIgSILENT üzerinde Şekil 3.11'de görüldüğü üzere LOAD FLOW ekranından Aktif Güç, Reaktif Güç vb. bilgilere ulaşmak mümkündür.

PV System - MERKEZ_AD\INCI\5.2 GES TR_19360\INCI5_2 GES.ElmPvsys

Basic Data
Description
Load Flow
Short-Circuit VDE/IEC
Short-Circuit Complete
Short-Circuit ANSI
Short-Circuit IEC 61363
Short-Circuit DC
Quasi-Dynamic Simulation
Simulation RMS
Simulation EMT
Power Quality/Harmonics
Reliability
Generation Adequacy
Hosting Capacity Analysis
Optimal Power Flow
Unit Commitment
Optimal Equipment Placement
State Estimation

General Operational Limits Environment Data Advanced Automatic Dispatch

☐ Reference Machine Local Controller Const. Q

☐ Out of service when active power is zero

External Station Controller

Operating Point

Active Power
Active Power 672,9068 kW
Prim. Frequency Bias 0, kW/Hz

Reactive Power/Voltage
Input Mode P, Q
Reactive Power -390,523 kvar
Voltage 1, p.u.
Angle 0, deg
Scaling Factor 1,

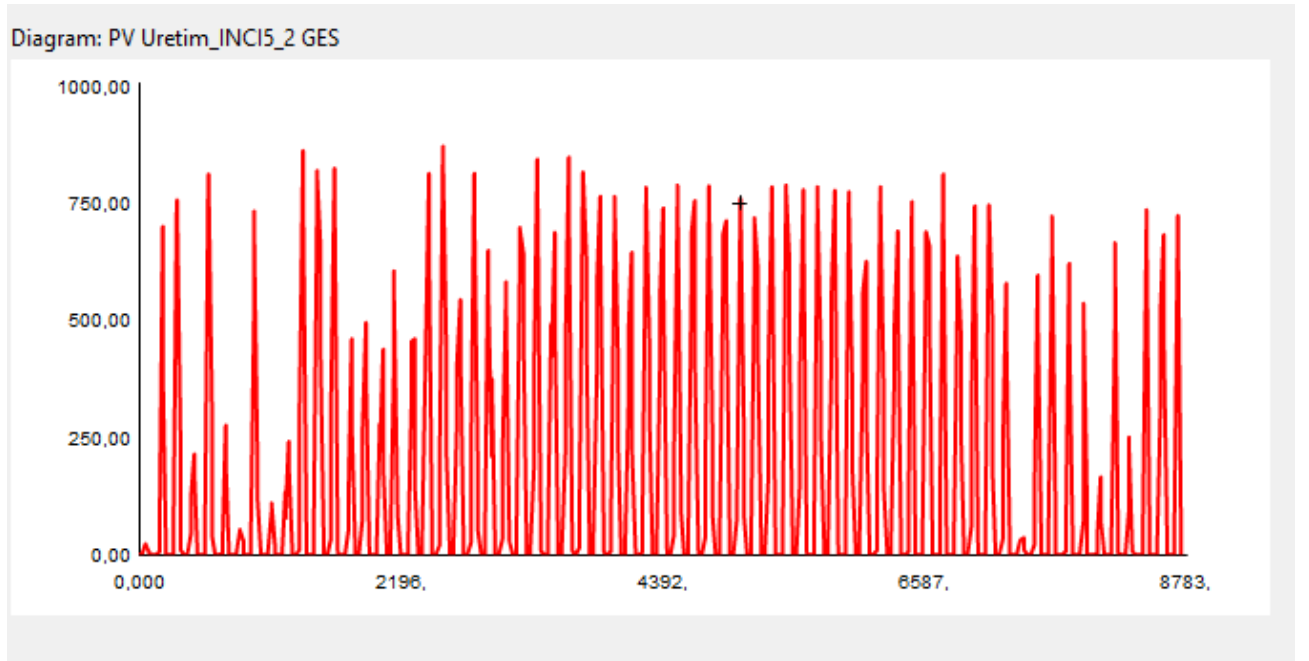
Actual Operating Point

Active Power (act.)	672,9068 kW
Reactive Power (act.)	-390,5234 kvar
Apparent Power (act.)	778,0181 kVA
Power Factor (act.)	0,8648987 cap.
Scaling Factor(act.)	1,

OK
Cancel
Figure
Jump to ...

Şekil 3.12 İnci INCI5_2GES güç değerleri

DİGSILENT uygulaması üzerinde INCI5_2GES 'a ait yıllık yük profili Şekil 3.12'de gösterilmiştir.



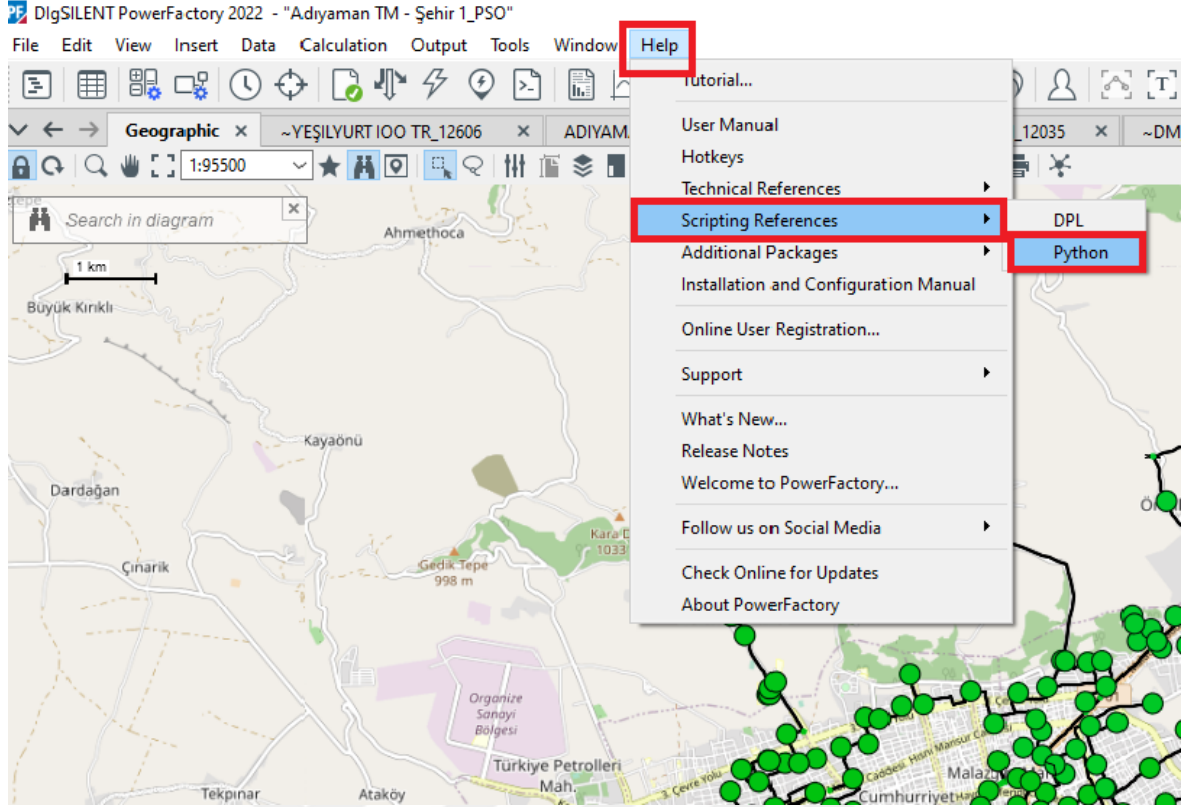
Şekil 3.13 INCI5_2GES yıllık yük profili

Çizelge 3.1’de aynı zamanda örnek şebekede belirtilmiş olan 12 adet GES’ in listesi ve aktif- reaktif güç bilgileri bulunmaktadır.

Çizelge 3.1 Optimum reaktif güç desteği alınan geslerin listesi

GES ADI	Reaktif Güç	Aktif Güç
	Mvar	MW
A.KADIREROGLU GES	0,383051	0,73073
FAMOR GES	0,053758	0,73142
GAZI KAYA GES	0,125962	0,73073
HASANBASRI KAYA GES	-0,341544	0,73073
INCI5_1 GES	-0,390523	0,67291
INCI5_2 GES	-0,390523	0,67291
NAZAN BAGCI GES	0,109919	0,73073
ORMES 2 GES	0,261024	0,70219
ORMES 3 GES	-0,061656	0,73071
ORMES 4 GES	0,319201	0,73072
SINAN BAGCI GES	-0,146507	0,73073
ZEYNALEROGLU GES	0,393026	0,73073

DİgSILENT PowerFactory, birden fazla araç ve yetenek sunmasına rağmen, ağ ve senaryo analizi karmaşıktıkça bu araçları etkin bir şekilde uygulamak zorlayıcı olabilir. Örneğin, bu tezde geliştirilen 4 farklı algoritmanın şebekeden okunan veriler üzerinde çalıştırılması ve elde edilen sonuçların tekrar örnek şebekeye uygulanması doğrudan yazılım üzerinden mümkün olmamıştır. Bu durumu aşmak için DİgSILENT PowerFactory’nin sağladığı Python API kullanılmıştır. API’nin temel amacı, manuel olarak uygulandığında zaman alıcı ve hata yapmaya açık olabilecek görevleri otomasyon yoluyla kolaylaştırmak ve daha güvenilir hale getirmektir. API ‘nin kullanımı ve detay bilgiler DİgSILENT uygulaması üzerinde Şekil 3.13’ de gösterildiği üzere “Scripting References” sekmesinde de indirilebilen dokümanda detaylı olarak bulunmaktadır.



Şekil 3.14 DİgSİLENT -Python entegrasyonu için gerekli Manuel'e ulaşım ekranı

Bu proje, Python kodlarının yazılması ve çalıştırılması için PyCharm Community Edition editörü kullanılarak geliştirilmiştir. Kodların sorunsuz bir şekilde çalışabilmesi için DİgSİLENT uygulamasının mutlaka kapalı olması gerekmektedir. Kodun ilk aşamasında, referans dokümanda da belirtildiği üzere, DİgSİLENT üzerinde bir projenin tanımlı olması gereklidir. Bu tezde kullanılan projede, “Adıyaman TM – Şehir 1_PSO” adı altında şebeke bilgilerini içeren proje, DİgSİLENT yüklendikten sonra EK 4’de verilen kod bloklarıyla yazılıma bağlanılarak aktive edilmiştir. Bu bağlantının ardından proje bilgileri okunmuş ve kod çalıştırılmaya başlanmıştır.

Yapılan çalışmada, güneş enerji santrallerinden optimum reaktif enerji desteği sağlamak için daha öncede belirtildiği üzere dört farklı algoritma kullanılmıştır.

EK 5 ‘de ise geliştirilmiş olan Python kodda, Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) algoritmasının ana döngüsünü ve temel işlemleri ifade edilmiştir. Kodda, her parçacığın hızı ve pozisyonu iterasyonlar boyunca güncellenmekte ve reaktif güç sınırları kontrol edilmektedir. Ayrıca, fotovoltaiik (PV) terminallerin gerilim değerleri kullanılarak yeni işletme noktaları belirlenmektedir.

EK 5’de geliştirilmiş olan PSO Algoritmasının çalışma adımları aşağıda verilmiştir.

- 1. Adım:** while Iter < max_iter: ifadesi ile algoritmanın iterasyon sınırına kadar çalıştırılması sağlanır. Her iterasyon başında, mevcut iterasyon numarası ve toplam iterasyon sayısı konsola yazdırılır.
- 2. Adım:** for i in range(n): döngüsü, her parçacığın işlemde geçmesini sağlar. Bu döngüde her parçacık için uygunluk değerleri hesaplanır ve güncellenir.
- 3. Adım:** swarm[i].velocity[k] ifadesi, parçacıkların hızını yeni değerlere göre günceller. Hesaplama şu şekilde yapılır: Önceki hız ağırlığı kullanılır. Parçacığın kendi en iyi konumuna ve sürünün en iyi konumuna olan uzaklığı dikkate alınır. Rastgele sayılar (r1 ve r2) kullanılarak parçacıkların keşif yeteneği artırılır.
- 4. Adım:** swarm[i].position[k] += swarm[i].velocity[k] ile her parçacığın yeni konumu, hıza bağlı olarak güncellenir. Bu işlem, parçacıkların çözüme doğru hareket etmelerini sağlar.
- 5. Adım:** if ve elif ifadeleri kullanılarak parçacıkların konumlarının sınırlar içinde kalması sağlanır. Eğer bir parçacığın konumu min veya max sınırlarını aşarsa, bu sınırlar dahilinde ayarlanır.
- 6. Adım:** fitness(swarm[i].position) çağrısı ile her parçacığın mevcut konumunun uygunluğu değerlendirilir. Uygunluk değeri, parçacığın çözüm kalitesini belirlemek için kullanılır.
- 7. Adım:** minQ_check ve maxQ_check listeleri, PV panellerinin alabileceği minimum ve maksimum reaktif güç değerlerini belirler. Bu değerler, şebekenin kararlı ve güvenli çalışmasını sağlamak için dikkate alınır.
- 8. Adım:** getattr(PV_terminal, 'm:u') ile PV terminallerinin gerilim bilgileri alınır ve optimize edilen sonuçlarla karşılaştırılır.
- 9. Adım:** Eğer belirli bir uygunluk değeri veya maksimum iterasyon sayısına ulaşılmışsa, döngü sona erer. Durdurma kriteri olarak adlandırılan bu mekanizma, algoritmanın gereksiz yere çalışmasını engeller.
- 10. Adım:** Algoritma sona erdiğinde, her parçacığın elde ettiği sonuçlar ve en iyi çözüm raporlanır.

Sonuç olarak, bu çalışma PSO algoritmasının temel bileşenlerini içerir ve güneş enerjisi sistemleri gibi uygulamalarda optimizasyon yapmayı amaçlar. Her bir parçacığın

dinamikleri ve sınır kontrolleri, sistemin genel performansını etkileyen önemli faktörlerdir. Bu algoritmanın başarılı bir şekilde çalışabilmesi için parametre ayarları ve fonksiyon tanımlamaları da oldukça önemlidir.

EK 6’da geliştirilmiş olan kod, genetik algoritmayı kullanarak sistem kayıplarını ve gerilim ihlallerini minimize etmeyi amaçlar. Yapılan işlem adımları aşağıda belirtilmiştir.

1. Adım: Popülasyondaki her birey için uygunluk değeri hesaplanır. Bu işlem, güç kayıpları ve gerilim ihlal indeksi gibi kriterler kullanılarak gerçekleştirilir ve bireylerin uygunluk değerleri belirlenir.

2. Adım: Uygunluk değerine göre en iyi birey (kromozom) seçilir. Bu bireyin uygunluk değeri ve genetik yapısı kaydedilerek algoritmanın ilerleyen aşamalarında referans olarak kullanılır.

3. Adım: En uygun bireylerden bir havuz oluşturulur (ebeveynler). Bu havuz, çaprazlama işlemiyle yeni bireylerin oluşturulmasında kullanılmak üzere hazırlanır.

4. Adım: Çaprazlama işlemi gerçekleştirilir. Bu aşamada, ebeveynler arasında genetik bilgi değişimi yapılarak yeni bireyler oluşturulur. Çaprazlama noktası, rastgele bir yöntemle seçilerek çeşitlilik sağlanır.

5. Adım: Mutasyon işlemi uygulanır. Rastgele gen değerleri değiştirilerek popülasyondaki çeşitlilik artırılır. Bu işlem, algoritmanın daha geniş bir çözüm uzayını keşfetmesini ve yerel minimumlara takılmamasını sağlar.

6. Adım: Yeni ebeveynler ve çocuklar birleştirilerek yeni bir popülasyon oluşturulur. Bu işlem sırasında, gen değerleri sınırlandırılır (clip) ve geçersiz değerlerin oluşmasının önüne geçilir.

EK 7’de belirtilen Python kodu, Jaya algoritması kullanılarak güneş enerjisi sistemlerinin (PV) reaktif güç çıkışını optimize etmek için tasarlanmış olup Jaya algoritmasının detay açıklaması aşağıda yer almaktadır.

1.Adım: Algoritmanın başlangıç parametreleri (pop_size, Gen, mini, maxi) belirlenir ve popülasyon rastgele oluşturulur.

2.Adım: Her bireyin uygunluk değeri (fitness) myobj fonksiyonu ile hesaplanır ve saklanır.

3.Adım: Ana döngü while (gen < Gen): ifadesiyle başlar ve belirlenen jenerasyon sayısına kadar devam eder.

4.Adım: updatepopulation ve trimr fonksiyonları kullanılarak popülasyon güncellenir ve sınır değerler kontrol edilir.

5.Adım: greedyselector fonksiyonu, en iyi uygunluk değerine sahip bireyleri seçer ve yeni popülasyonu oluşturur.

6.Adım: Döngü sonunda en iyi uygunluk değeri ve bireyin pozisyonu best ve xbest değişkenlerinde saklanarak geri döndürülür.

EK 8’de yazılmış olan Python kodunda yer alan, fotovoltaiik (PV) sistemlerin reaktif güç ayarlarını optimize etmeyi amaçlayan ve gene bir optimizasyon algoritması olan Ateşböceği Algoritması açıklamaları ve akışı aşağıda yer almaktadır.

1.Adım: Ateş böceklerinin başlangıç pozisyonları, belirlenen sınırlar (bounds) içinde rastgele bir şekilde oluşturulur ve fireflies listesinde saklanır.

2.Adım: Her bir ateş böceği için uygunluk değeri (fitness), belirlenen function kullanılarak hesaplanır ve fitnesses listesinde saklanır.

3.Adım: Ateş böcekleri arasındaki çekicilik, mesafeye bağlı olarak hesaplanır. Çekicilik, daha parlak olan ateş böceğine olan mesafeye ve formüldeki çekicilik parametrelerine dayanır.

4.Adım: Daha az parlak olan ateş böcekleri, daha parlak olanlara doğru hareket ettirilir. Bu hareket, çekicilik ve mesafe faktörlerine göre güncellenir.

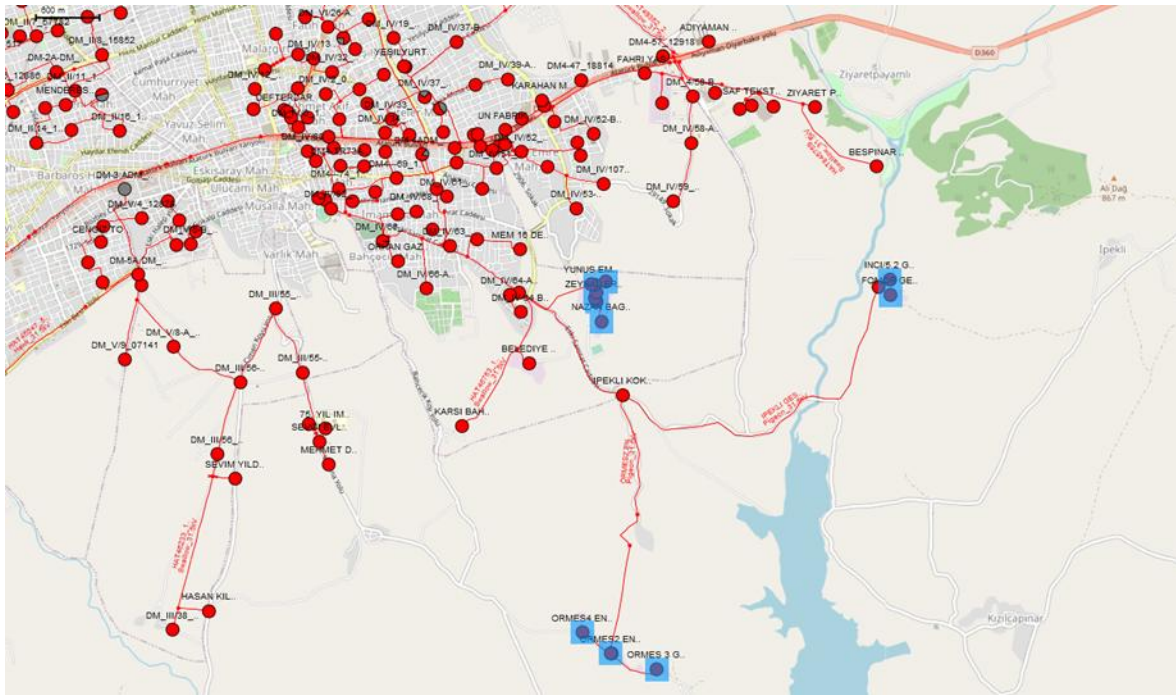
5.Adım: Güncellenen pozisyonların sınırlar içinde kalması sağlanır. Pozisyonlar, belirlenen alt ve üst sınırların dışına çıkarsa uygun sınır değerine ayarlanır.

6.Adım: Algoritma boyunca en iyi uygunluk değerine sahip olan çözüm ve buna karşılık gelen pozisyon güncellenir ve sonuç olarak döndürülür.

4. BULGULAR

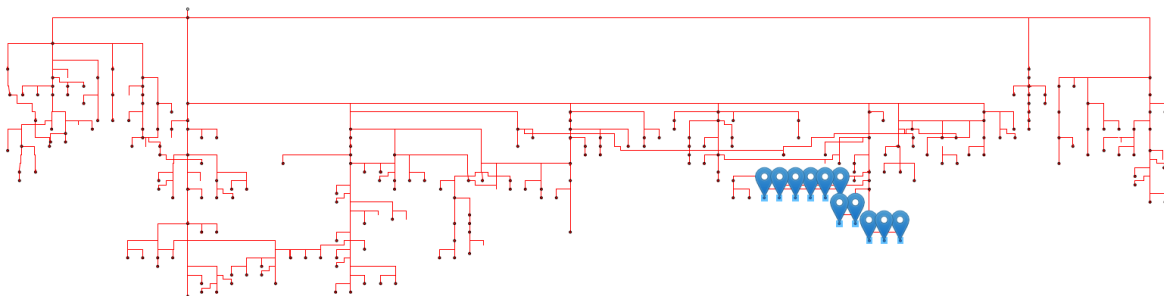
4.1. Benzetimler

Bu çalışmada, ülkemizin Kahramanmaraş ve Adıyaman illerinin dağıtım sistemi operatörü olan AKEDAŞ'ın Adıyaman TM-Şehir 1 fideri üzerinde analizler yapılmıştır. Şebekede toplam 11.792 GW kurulu gücünde 12 adet PV santral bulunmaktadır ve Şekil 4.1'de GES'lerin coğrafik konumları DIGSILENT uygulaması üzerinde işaretlenmiştir.



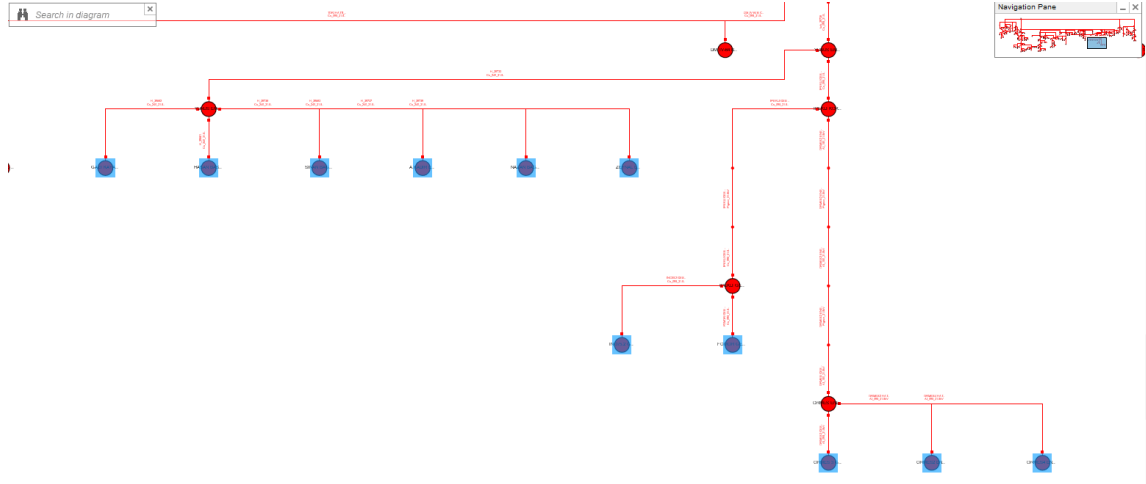
Şekil 4.1 DIgSILENT uygulaması üzerinde GES'lerin coğrafi gösterim

Çalışmanın yapıldığı Adıyaman Şehir-1 TM Fiderinden çıkan orta gerilim şebekesine ait tek hat şeması üzerindeki 11 adet GES Şekil 4.2’de mavi ile işaretlenip gösterilmiştir.



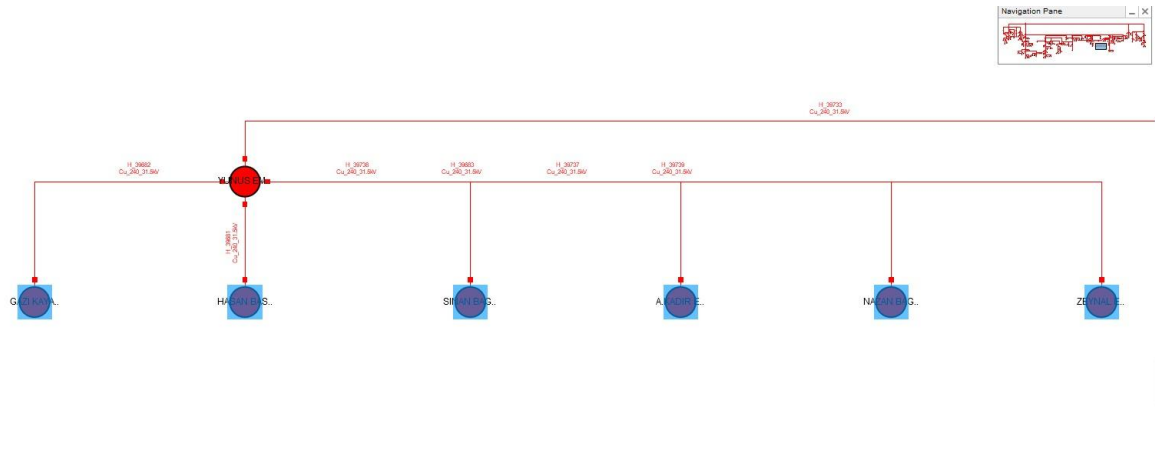
Şekil 4.2 DIgSILENT uygulaması üzerinde GES'lerin tek hat şeması üzerinde gösterimi

Şekil 4.3 'de ise belirtilmiş olan şebekeye ait ağaç yapısını ve şebeke üzerindeki çeşitli yüklerin (örneğin, PV sistemleri) yerleşimini zoom yaparak göstermektedir. Kırmızı çizgiler hatları temsil ederken, işaretlenmiş mavi simgeler GES'leri göstermektedir.



Şekil 4.3 DİGSİLENT uygulaması üzerinde GES'lerin tek hat şeması üzerinde yakınlaştırılmış gösterimi

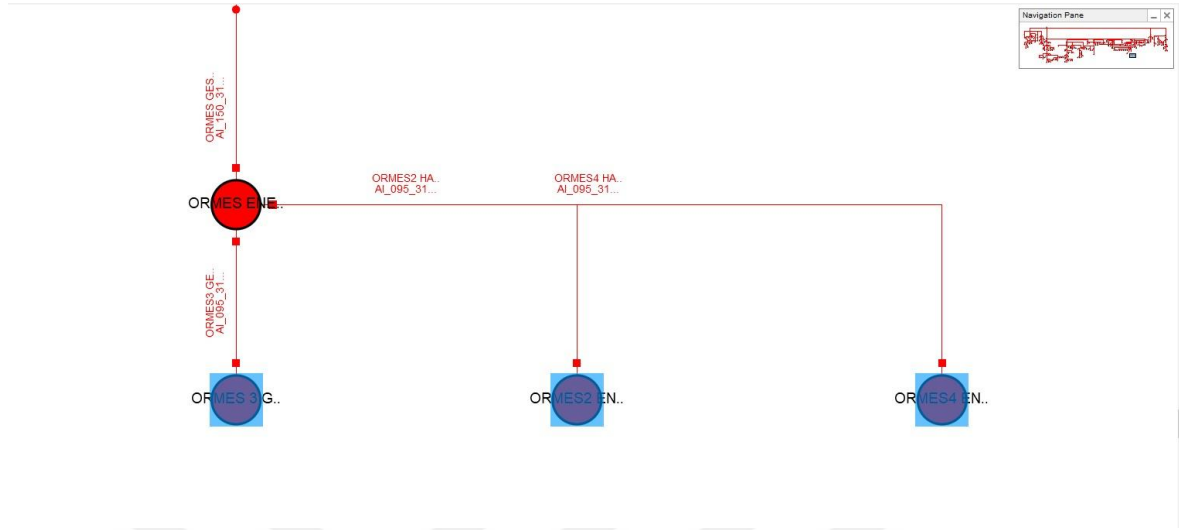
Şekil 4.4'de gösterildiği üzere, YUNUS BUS bağlantı noktasını ve dağıtım şebekesindeki yapıyı göstermektedir. Merkezi bir düğüm olan YUNUS BUS, dağıtım trafosu olarak görev yapmaktadır ve kendisine bağlı altı farklı GES (Güneş Enerji Santrali)'in enerji iletimini düzenlemektedir. Bu GES'ler, ürettikleri enerjiyi YUNUS BUS üzerinden şebekenin diğer bölümlerine aktararak enerji dağıtımını desteklemektedir.



Şekil 4.4 Yunus Emre fiderindeki geslerin tek hat şeması üzerinde gösterimi

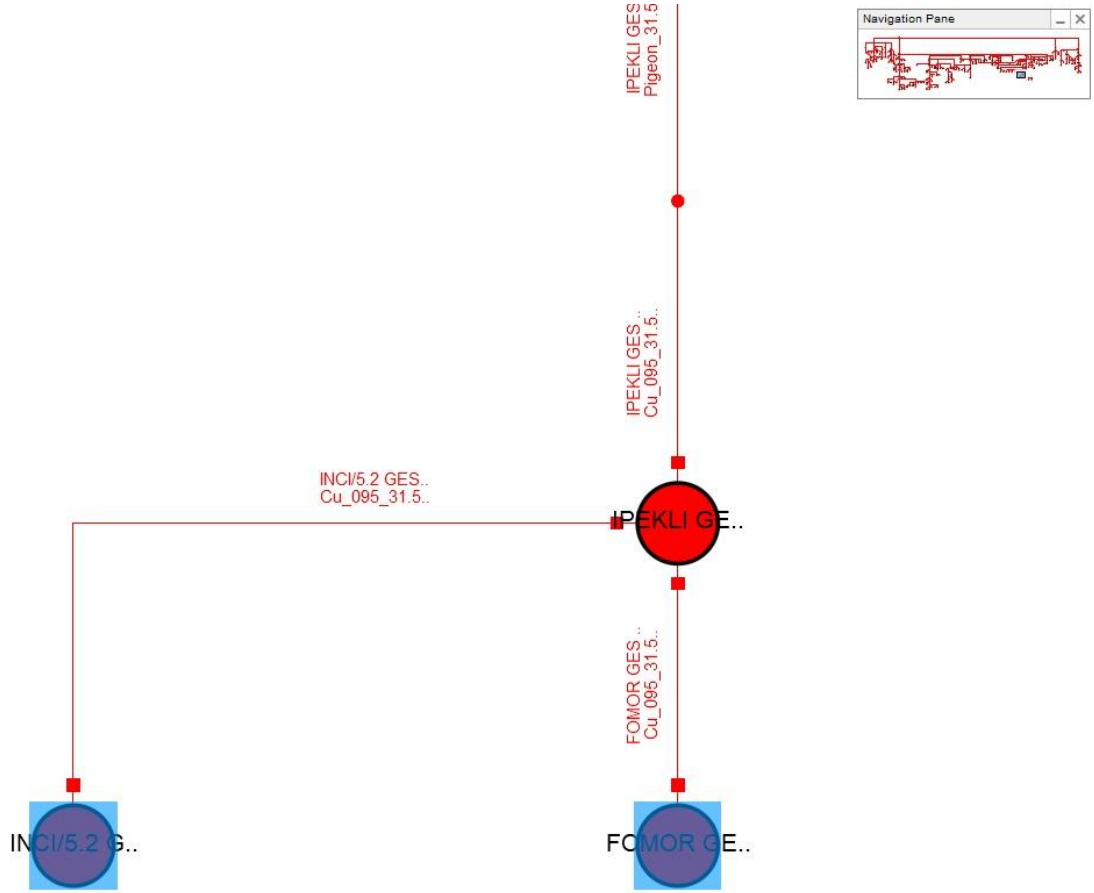
Şekil 4.5'de ORMES GES bağlantı noktalarını ve dağıtım şebekesindeki yapıyı göstermektedir. Merkezi bir düğüm olan ORMES ENE, dağıtım trafosu olarak görev yapmakta ve kendisine bağlı üç farklı GES (Güneş Enerji Santrali) olan ORMES2 GES,

ORMES3 GES, ve ORMES4 GES'e enerji iletimini düzenlemektedir. ORMES ENE, bu üç GES'ten aldığı enerjiyi şebekenin diğer bölümlerine aktararak enerji dağıtımını sağlamaktadır.



Şekil 4.5 Ormes fiderindeki geslerin tek hat şeması üzerinde gösterimi

Şekil 4.6'da İPEKLİ GES bağlantı noktasını ve dağıtım şebekesindeki yapıyı göstermektedir. Merkezi bir düğüm olan İPEKLİ GES, dağıtım trafosu olarak görev yapmaktadır ve kendisine bağlı iki farklı GES (Güneş Enerji Santrali) olan İNCİ/5.2 GES ve FOMOR GES'e enerji iletimini düzenlemektedir. Bu GES'ler, ürettikleri enerjiyi İPEKLİ GES üzerinden şebekenin diğer bölümlerine aktararak enerji dağıtımını sağlamaktadır.



Şekil 4.6 İpekli fiderindeki geslerin tek hat şeması üzerinde gösterimi

4.2. Dağıtım Sistemlerinde Ges Kaynaklı Reaktif Güç Üretiminin Optimizasyonu

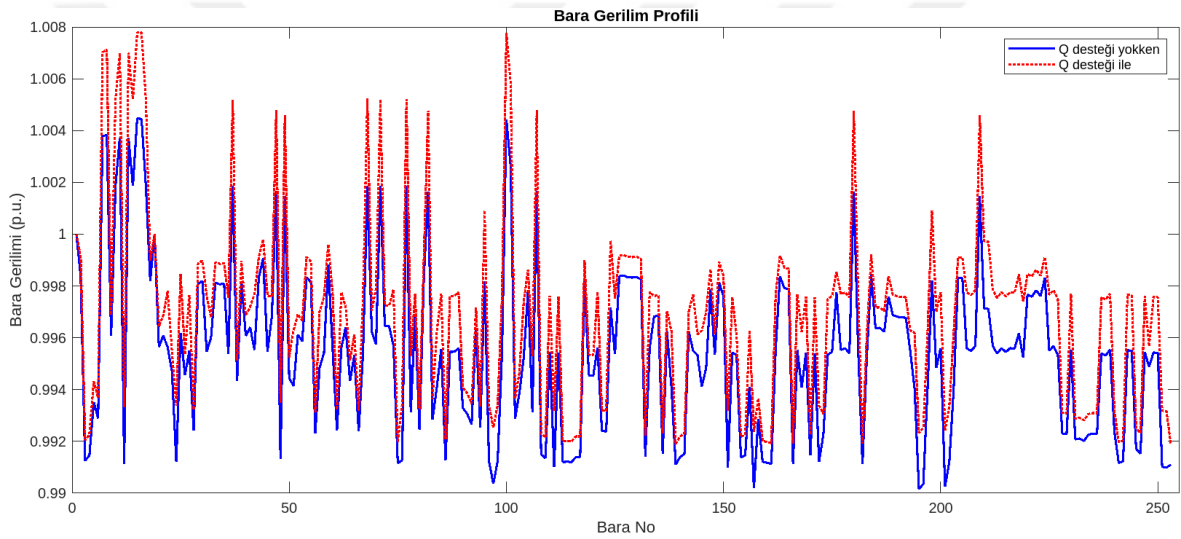
Dağıtım sistemine bağlı fotovoltaik (PV) santrallerin her birinin inverterlerinden optimum düzeyde alınabilecek reaktif güç desteği ile şebekenin genel gerilim profilinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaç doğrultusunda, Python tabanlı geliştirilmiş dört farklı algoritma, şebeke modellemesi için DIGSILENT PowerFactory uygulaması üzerinde test edilmiştir.

Algoritmalar, santralin mevcut aktif güç üretimini kısıtlamaksızın, inverterlerin boşta kalan kapasitelerinden reaktif enerji üretimini optimize etmek üzere tasarlanmıştır. Tasarım sırasında, inverterlerin akım, gerilim ve tanımlı maksimum güç limitleri dikkate alınmış, bu limitler dahilinde en uygun reaktif güç değerlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Böylece, inverterlerin mevcut kapasiteleri etkin bir şekilde değerlendirilerek şebeke gerilim profillerinin iyileştirilmesi sağlanmıştır.

Çalışma kapsamında, her bir algoritma 100 defa çalıştırılmış ve her çalıştırma sonunda, şebekedeki baraların gerilim seviyelerinin ideal değer olan 1 p.u. (per unit) ile olan sapmaları hesaplanmıştır. Bu sapmaların toplamı alınarak 100 farklı sonucun ortalaması belirlenmiş ve algoritmaların performansı bu sonuçlar üzerinden değerlendirilmiştir. Belirtilen bu sonuçlar EK 3 'de verilmiştir.

4.2.1. PSO algoritması ile reaktif güç-gerilim iyileştirilmesi

Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO), kuş sürüsü veya balık sürüsü gibi toplu davranışlardan esinlenen popülasyon tabanlı bir meta sezgisel algoritmadır. Geliştirilen Parçacık Sürüsü Optimizasyonu algoritması ile elden edilen sonucun grafiği Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7 PSO algoritması ile optimizasyon öncesi ve sonrası şebeke gerilim profili

Şekil 4.7, Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) Algoritmasının uygulanması öncesi ve sonrası şebeke gerilim profilindeki değişiklikleri göstermektedir. Burada:

- Yatay eksen, şebekedeki baraları temsil etmektedir.
- Dikey eksen, her bir baranın gerilim seviyesinin ideal değer olan 1 p.u. (per-unit) ile olan sapmasını ifade etmektedir.

Mavi renk, algoritmanın uygulanmasından önceki gerilim sapmalarını temsil ederken, turuncu renk algoritmanın uygulanması ve reaktif enerji desteğinin sağlanmasından sonraki iyileştirilmiş gerilim seviyelerini göstermektedir. Turuncu grafikte gerilimlerin ideal seviyeye daha yakın olduğu görülmekte, bu da PSO Algoritmasının gerilim sapmalarını azaltmada etkin bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. PSO Algoritmasının şebeke gerilim

profili üzerindeki etkisi, algoritmanın 100 iterasyon boyunca çalıştırılması sonucu elde edilen verilerle aşağıdaki çizelgede özetlenmiştir:

Çizelge 4.1 PSO algoritması ile gerilim sapma endeksi iyileşme oranı

Average	19,336%
Min	17,802%
Max	20,940%
Standart deviation	0,935%

Bu sonuçlar, PSO Algoritmasının şebeke gerilim profillerini optimize etmede etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir. Ortalama %19,336'lık bir iyileşme oranı, algoritmanın genel performansını ortaya koyarken, %0,935'lik standart sapma değeri, sonuçların kararlılığını ve tutarlılığını vurgulamaktadır. PSO Algoritması, hızlı yakınsama ve dengeli keşif-sömürü yapısıyla, dağıtım şebekelerinde gerilim kontrolü için başarılı bir optimizasyon aracı olduğunu kanıtlamaktadır.

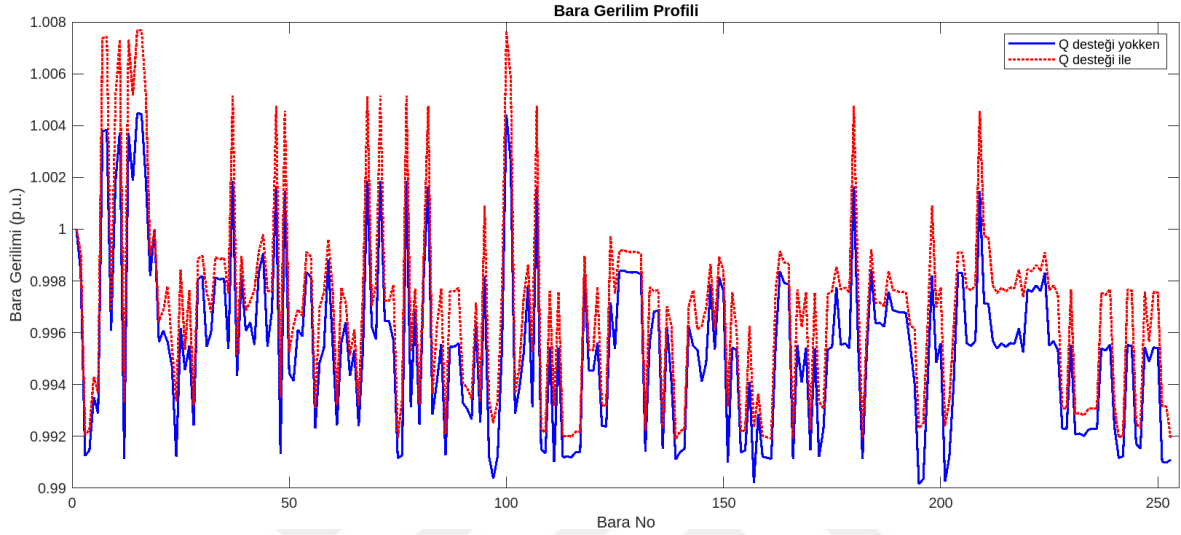
Aynı zamanda Çizelge 4.2 'de, belirtilmiş olan GES santrallerinden verilen-çekilen reaktif enerji miktarları da belirtilmiştir.

Çizelge 4.2 GES santrallerinden verilen-çekilen güç değerleri

GES ADI	Q (kVAR)	P(kW)	S (kVA)	Kurulu Güç (kW)
A.KADIR EROGLU GES	164,84	778,05	818.93	999
FAMOR GES	120,61	810	818.25	1020
GAZI KAYA GES	171,36	800,1	860.94	999
HASAN BASRI KAYA GES	309,86	803,25	758.01	999
INCI5_1 GES	-195,46	732,37	773.74	920
INCI5_2 GES	188,52	749,7	878.58	920
NAZAN BAGCI GES	395,59	782,77	857.79	999
ORMES 2 GES	329,32	789,07	909.18	960
ORMES 3 GES	236,76	878,85	926.66	999
ORMES 4 GES	-469,59	800,1	875.61	999
SINAN BAGCI GES	344,41	803,25	790.74	999
ZEYNAL EROGLU GES	11,68	790,65	818.93	999

4.2.2. Genetik algoritması ile reaktif güç-gerilim iyileştirilmesi

Daha öncede belirtildiği üzere Genetik Algoritma (GA), doğal seçim ve evrim sürecinden esinlenen güçlü bir optimizasyon tekniğidir. Geliştirilen Genetik Algoritma ile elden edilen sonucun grafiği Şekil 4.8’de paylaşılmıştır.



Şekil 4.8 Genetik algoritması ile optimizasyon öncesi ve sonrası şebeke gerilim profili

Şekil 4.8, Genetik Algoritmasının uygulanması öncesi ve sonrası şebeke gerilim profilinde meydana gelen değişiklikleri göstermektedir. Burada:

- Yatay eksen, şebekedeki baraları temsil etmektedir.
- Dikey eksen, her bir baranın gerilim seviyesinin ideal değer olan 1 p.u. (per-unit) ile olan sapmasını göstermektedir.

Mavi renk, algoritmanın uygulanmadan önceki gerilim sapmalarını temsil ederken, turuncu renk algoritma çalıştırıldıktan ve reaktif enerji desteği sağlandıktan sonraki iyileştirilmiş gerilim seviyelerini ifade etmektedir. Turuncu grafikte gerilimlerin ideal seviyeye (1 p.u.) daha yakın olduğu açıkça görülmektedir. Bu durum, Genetik Algoritmanın gerilim sapmalarını azaltma konusundaki etkinliğini göstermektedir. Genetik Algoritma'nın şebeke gerilim profilini iyileştirme performansı, algoritmanın 100 iterasyon boyunca çalıştırılmasıyla elde edilen veriler doğrultusunda Çizelge 4.3’de özetlenmiştir:

Çizelge 4.3 Genetik algoritması ile gerilim sapma endeks iyileşme oranı

Average	19,177%
Min	17,628%
Max	20,787%
Standart deviation	0,961%

Bu sonuçlar, Genetik Algoritmanın şebeke gerilim profillerini optimize etme konusunda etkili olduğunu göstermektedir. Ortalama %19,177’lik bir iyileşme oranı, algoritmanın genel performansını ortaya koyarken, %0,961’lik standart sapma değeri sonuçların tutarlılığını ve kararlılığını vurgulamaktadır. Genetik Algoritmanın sağladığı bu iyileşme, dağıtım şebekelerinde gerilim kontrolü için uygulanabilir bir yöntem olduğunu kanıtlamaktadır.

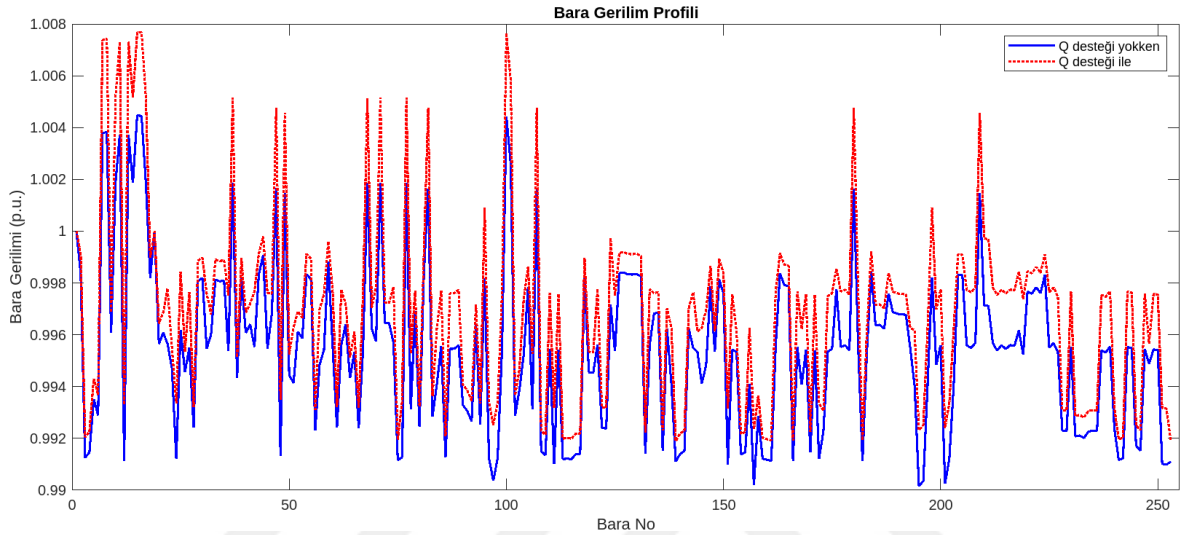
Aynı zamanda Çizelge 4.4 ’de belirtilmiş olan GES santrallerinden verilen-çekilen reaktif enerji miktarları da belirtilmiştir.

Çizelge 4.4 GES santrallerinden verilen-çekilen güç değerleri

GES ADI	Q (kVAR)	P(kW)	S (kVA)	Kurulu Güç (kW)
A.KADIR EROGLU GES	304,44	778,05	835.49	999
FAMOR GES	389,03	810	898.58	1020
GAZI KAYA GES	395,62	800,1	892.57	999
HASAN BASRI KAYA GES	337,72	803,25	871.36	999
INCI5_1 GES	95,79	732,37	738.61	920
INCI5_2 GES	-488,79	749,7	894.97	920
NAZAN BAGCI GES	-243,24	782,77	819.70	999
ORMES 2 GES	159,45	789,07	805.02	960
ORMES 3 GES	276,98	878,85	921.46	999
ORMES 4 GES	-31,31	800,1	800.71	999
SINAN BAGCI GES	350,37	803,25	876.34	999
ZEYNAL EROGLU GES	52,74	790,65	792.41	999

4.2.3. Jaya algoritması ile reaktif güç-gerilim iyileştirilmesi

Daha öncede belirtildiği üzere Jaya algoritması, yinelemeler boyunca potansiyel çözümlerden oluşan bir popülasyonun kalitesini iyileştirerek optimizasyon problemlerini çözmeyi amaçlar. Bunu, popülasyondaki bireyleri performanslarına göre yinelemeli olarak güncelleyerek başarır. Geliştirilen algoritma ile elden edilen sonucun grafiği aşağıdaki Şekil 4.9’ da verilmiştir.



Şekil 4.9 Jaya algoritması ile optimizasyon öncesi ve sonrası şebeke gerilim profili

Şekil 4.9, Jaya algoritmasının uygulanması öncesi ve sonrası şebeke gerilim profilindeki iyileştirmeyi göstermektedir. Burada:

- Yatay eksen, şebekedeki baraları temsil eder.
- Dikey eksen, her bir baranın gerilim seviyesinin ideal değer olan 1 p.u. (per-unit) seviyesine olan uzaklığını ifade eder.

Şekilde mavi renk, Jaya algoritmasının çalıştırılmadan önceki gerilim seviyelerini, turuncu renk ise algoritmanın uygulanması ve reaktif enerji desteğinin sağlanmasının ardından elde edilen iyileştirilmiş gerilim seviyelerini göstermektedir. Turuncu grafikte gerilimlerin ideal seviyeye (1 p.u.) daha yakın olduğu açıkça görülmektedir, bu da Jaya algoritmasının gerilim sapmalarını azaltmadaki başarısını ortaya koymaktadır. Jaya algoritmasının şebeke gerilim profili üzerindeki etkisi, algoritmanın 100 iterasyon boyunca çalıştırılması sonucu elde edilen verilerle aşağıdaki Çizelge 4.5’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.5 JAYA algoritması ile gerilim sapma endeksi iyileşme oranları

Average	19,919%
Min	18,430%
Max	21,579%
Standart deviation	0,891%

Bu sonuçlar, Jaya algoritmasının hem etkin hem de kararlı bir şekilde şebeke gerilim profillerini optimize ettiğini göstermektedir. Ortalama iyileşme oranının yaklaşık %20'lik bir değere sahip olması, algoritmanın güçlü bir performans sergilediğinin bir göstergesidir. Ayrıca, düşük standart sapma (%0,891) değeri, elde edilen sonuçların kararlılığını ve tekrarlanabilirliğini vurgulamaktadır.

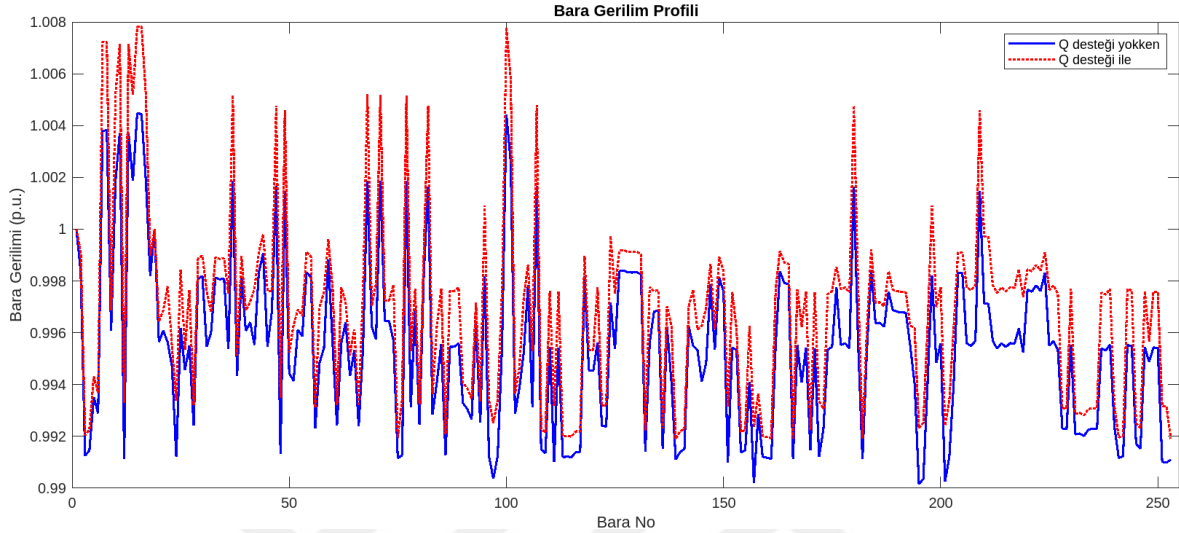
Aynı zamanda Çizelge 4.6' da belirtilmiş olan GES santrallerinden verilen-çekilen reaktif enerji miktarları da aşağıda belirtilmiştir.

Çizelge 4.6 GES santrallerinden verilen-çekilen güç değerleri

GES ADI	Q (kVAR)	P(kW)	S (kVA)	Kurulu Güç (kW)
A.KADIR EROGLU GES	395,24	778,05	872.69	999
FAMOR GES	-600,00	810	1008.02	1020
GAZI KAYA GES	381,02	800,1	886.19	999
HASAN BASRI KAYA GES	36,60	803,25	804.08	999
INCI5_1 GES	309,39	732,37	795.05	920
INCI5_2 GES	309,39	749,7	811.03	920
NAZAN BAGCI GES	395,20	782,77	876.88	999
ORMES 2 GES	374,95	789,07	873.63	960
ORMES 3 GES	51,61	878,85	880.36	999
ORMES 4 GES	-218,50	800,1	829.4	999
SINAN BAGCI GES	-8,70	803,25	803.3	999
ZEYNAL EROGLU GES	73,40	790,65	794.05	999

4.2.4. Ateş böceği ile reaktif güç-gerilim iyileştirilmesi

Geliştirilen Ateşböceği Algoritması (FA) algoritması ile elden edilen sonucun grafiği Şekil 4.10'da paylaşılmıştır.



Şekil 4.10 Ateş böceği algoritması ile optimizasyon öncesi ve sonrası şebeke gerilim profili

Şekil 4.10, Ateş Böceği Algoritmasının uygulanması öncesinde ve sonrasında şebeke gerilim profilinde meydana gelen değişiklikleri görselleştirmektedir. Burada:

- Yatay eksen, şebekedeki baraları temsil eder.
- Dikey eksen, her bir baranın gerilim seviyesinin ideal değer olan 1 p.u. (per-unit) ile olan sapmasını gösterir.

Mavi renk, algoritmanın çalıştırılmadan önceki gerilim sapmalarını temsil ederken, turuncu renk ise algoritmanın uygulanması ve reaktif enerji desteğinin sağlanmasının ardından elde edilen iyileştirilmiş gerilim seviyelerini göstermektedir. Turuncu grafikte gerilimlerin ideal seviyeye daha yakın olduğu açıkça görülmektedir. Bu, Ateş Böceği Algoritmasının gerilim sapmalarını azaltmada başarılı olduğunu göstermektedir. Ateş Böceği Algoritmasının şebeke gerilim profili üzerindeki etkisi, algoritmanın 100 iterasyon boyunca çalıştırılması sonucu elde edilen verilerle aşağıdaki Çizelge 4.7'de özetlenmiştir:

Çizelge 4.7 Ateş böceği gerilim sapma endeksi iyileşme oranları

Average	19,250%
Min	17,872%
Max	20,882%
Standart deviation	0,870%

Bu sonuçlar, Ateş Böceği Algoritmasının şebeke gerilim profilini iyileştirme konusunda etkili olduğunu göstermektedir. Ortalama %19,250’lik bir iyileşme oranı, algoritmanın güçlü performansını ortaya koyarken, %0,870’lik düşük standart sapma değeri, elde edilen sonuçların kararlılığını ve tutarlılığını vurgulamaktadır. Algoritmanın bu yeteneği, dağıtım sistemlerinde gerilim profilini optimize etmek için etkin bir araç olduğunu kanıtlamaktadır.

Aynı zamanda Çizelge 4.8’de, belirtilmiş olan GES santrallerinden verilen-çekilen reaktif enerji miktarları da belirtilmiştir.

Çizelge 4.8 GES santrallerinden verilen-çekilen güç değerleri

GES ADI	Q (kVAR)	P(kW)	S (kVA)	Kurulu Güç (kW)
A.KADIR EROGLU GES	304,44	810,00	865.32	999
FAMOR GES	389,03	778,05	869.89	1020
GAZI KAYA GES	395,62	800,1	892.57	999
HASAN BASRI KAYA GES	337,72	803,25	871.36	999
INCI5_1 GES	95,79	732,37	738.61	920
INCI5_2 GES	-488,79	749,7	894.97	920
NAZAN BAGCI GES	-243,24	782,77	819.70	999
ORMES 2 GES	159,45	789,07	805.02	960
ORMES 3 GES	276,98	878,85	921.46	999
ORMES 4 GES	-31,31	800,1	800.71	999
SINAN BAGCI GES	350,37	803,25	876.34	999
ZEYNAL EROGLU GES	52,74	790,65	792.41	999

4.3. Algoritmaların Karşılaştırılması

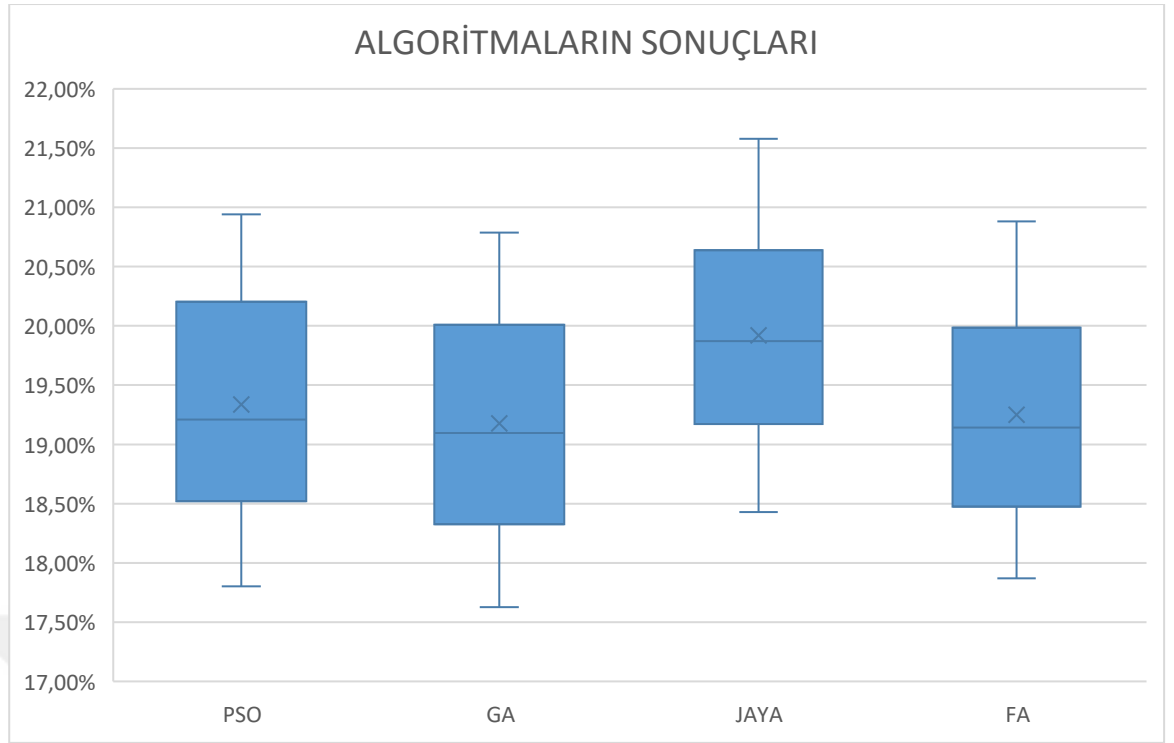
Yapılan çalışmada, Jaya, PSO, GA ve FA algoritmalarının tamamı, optimum reaktif güç desteği sağlayarak şebeke gerilim profilini iyileştirme yeteneğine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Optimizasyon sonrasında genel gerilim profillerinin ideal seviye olan 1 p.u.'ya yaklaştığı açıkça görülmüştür. Ancak bazı baralardaki gerilimlerde, özellikle reaktif güç kaynağının yer değiştirmesi nedeniyle, sınırlı bir artış meydana gelmiştir. Bu durum, fiderin ihtiyaç duyduğu reaktif gücün trafo merkezi yerine PV inverterlerden alınmasıyla, bu PV santrallerin bağlı olduğu veya yakınındaki merkezlerde gerilimin 1 p.u.'dan biraz uzaklaşmasına yol açmıştır. Bunun sonucunda, bu merkezlerde ve fiderlerde gerilimde hafif bir artış gözlenmiştir.

Algoritmalarda kullanılan parametre değerleri, parçacık sayıları ve iterasyon sayıları karşılaştırılmalı olarak Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9 Algoritma Parametreleri ve Değerleri

Algoritma	İterasyon Sayısı	Parçacık Sayısı	Parametreler
PSO	50	30	W_max: 0.9, W_min: 0.4, C1: 2.0, C2: 2.0
GA	50	100	Matting Pool Size: 20, Offspring Size: 80, Crossover Rate: Rastgele
JAYA	50	25	Parametre gerektirmez
FA	100	40	Alpha (Rastgelelik): 0.5, Beta (Çekicilik): 1.0, Gamma (Işık Soğurması): 1.0

Şekil 4.11'de Jaya, PSO, GA ve FA algoritmalarının şebeke gerilim profillerini iyileştirme performansını karşılaştırmalı olarak Çizelge 4.1, Çizelge 4.3, Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.7'deki değerler ile Kutu Grafiğinde (Boxplot) sunulmaktadır.



Şekil 4.11 Gerilim sapma endeksindeki iyileştirme sonuçları

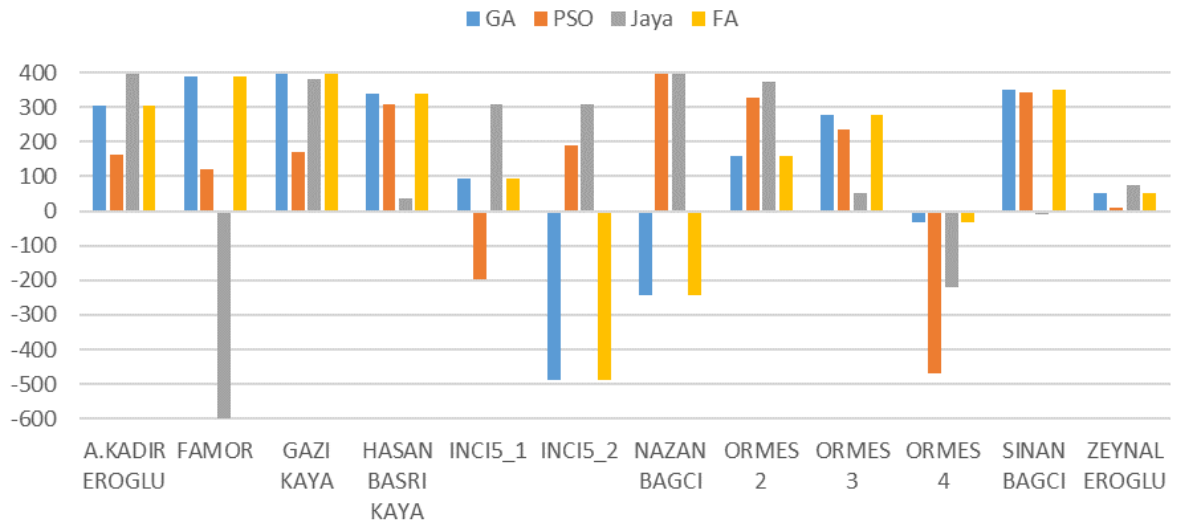
- Orta Çizgi (Median): Her kutunun ortasındaki çizgi, o algoritmanın sonuçlarının medyan değerini (orta nokta) gösterir.
- Kutunun Alt ve Üst Sınırları (Interquartile Range - IQR): Sonuçların %25 ve %75'lik dilimlerini kapsar. Bu, verilerin dağılımının orta %50'sini temsil eder.
- Whisker (Uzantılar): En düşük ve en yüksek değerleri gösterir (istisnalar dışında).
- X İşareti: Ortalama değeri temsil eder.

Jaya algoritmasının, %19,919 ile optimizasyon sonrasında en iyi gerilim iyileştirmesini sağladığı görülmektedir. PSO algoritması ise %19,336 ile bu performansa yakın bir sonuç elde etmiş, FA ve GA algoritmaları ise yakın sonuçlar sergilemekle birlikte biraz daha düşük iyileştirme oranları göstermiştir. (FA = %19,25 ve GA = %19,177) FA Algoritmasının ise en düşük standart sapma değeri ile (%0,87) daha stabil ve tutarlı sonuçlar verdiğini söylemek mümkündür.

Bu değerlendirme, Jaya algoritmasının üstün bir performans gösterdiğini ve diğer algoritmalarla kıyasla daha etkili bir şekilde gerilim sapmalarını minimize ettiğini açıkça ortaya koymaktadır. PSO'nun dengeli yapısı da iyi bir alternatif sunarken, FA ve GA algoritmaları, daha sınırlı iyileştirmelerle genel kararlılığa katkıda bulunmuştur. Bu sonuçlar, her bir algoritmanın optimizasyon yeteneklerini farklı bir bakış açısıyla vurgulamaktadır.

Şekil 4.12’deki grafikte, her bir algoritmanın Güneş Enerji Santrallerinden (GES) sağladığı reaktif güç destekleri gösterilmektedir. Reaktif güç değerlerinin pozitif olması, ilgili barada gerilim düşüşü yaşandığını ve GES’in reaktif güç üreterek gerilimi artırmaya çalıştığını ifade eder. Negatif reaktif güç değerleri ise, baradaki gerilimin yüksek olduğunu ve GES’in reaktif güç çekerek gerilimi düşürmeye çalıştığını gösterir. Dolayısıyla, GES inverterleri, şebeke ile etkileşimlerinde reaktif güç yönetimi yaparak gerilim profillerini iyileştirmede aktif rol oynayabilmektedirler.

Şekilde 4.12’deki bu grafikteki veriler, farklı algoritmaların güneş enerji santrallerinin (GES) reaktif güç desteği sağlama kapasitelerini karşılaştırmalı olarak göstermektedir. Bu veriler, GES’lerin reaktif güç üretimi veya şebekeden reaktif güç çekmesiyle şebeke gerilim seviyelerini düzenleme sürecindeki rolünü değerlendirmek için kullanılmaktadır. Algoritmaların şebekeye sağladıkları reaktif güç miktarları, şebekedeki yerel gerilim dengesini sağlama açısından önemli bir karşılaştırma sunmaktadır.



Şekil 4.12 Her bir GES’in sağlamış olduğu reaktif güç veri-çekişi

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu tezin amacı, ülkemizde özellikle ticari sebeplerle yalnızca aktif enerji üretmeye odaklanan GES'lerin, şebekedeki reaktif enerji ihtiyacını karşılayabilme potansiyelini ortaya koymaktır. Bu çalışma, GES inverterlerinin reaktif enerji desteği sağlayarak şebeke kararlılığına katkı sunabileceğini teknik ve simülasyon verileriyle desteklemektedir. Almanya, Çin ve Romanya gibi ülkelerde, GES'lerin reaktif enerji desteği sağlamasına yönelik önlemler ve altyapılar zaten oluşturulmuştur. Bu ülkelerde PV santraller, reaktif enerji desteği ile şebeke gerilim profillerini iyileştirme ve enerji kalitesini artırma yönünde aktif olarak kullanılmaktadır. Benzer şekilde, Güney Afrika ve Porto Riko gibi ülkelerde de PV santrallerin reaktif enerji desteği verme zorunluluğu şebeke yönetmelikleriyle entegre edilmiştir. Bu durum, PV santrallerin yalnızca aktif enerji değil, aynı zamanda reaktif enerji desteği sağlama potansiyelini de etkin bir şekilde kullandığını göstermektedir.

Bu çalışma kapsamında, Adıyaman ili Şehir TM1 fideri ve bu fidere bağlı şebekede yer alan GES'ler, AKEDAŞ Coğrafi Bilgi Sistemi'nden alınan verilerle DIGSILENT PowerFactory yazılımında modellenmiştir. Ayrıca, bu şebeke modeli üzerinde Python dilinde geliştirilen dört farklı optimizasyon algoritması çalıştırılmış ve bu algoritmaların performansları karşılaştırılmıştır. Jaya algoritmasının gerek gerilim sapmasını minimize etme gerekse şebeke kararlılığını sağlama açısından diğer algoritmalara kıyasla önemli üstünlükler sunduğu gözlemlenmiştir. PSO algoritması dengeli bir performans sergilerken, Ateş Böceği ve Genetik algoritmaların daha sınırlı iyileştirme sağladığı belirlenmiştir.

Jaya algoritması, elde edilen sonuçlar itibarıyla diğer algoritmalara kıyasla daha iyi bir performans göstermiştir. Ortalama değerinin 19,919 % olması, istikrarlı bir başarı sağladığını göstermektedir. En düşük değer 18,430 % en yüksek değer ise 21,579 % olarak kaydedilmiştir. Ayrıca standart sapmanın 0,891 % gibi düşük bir değer olması, Jaya algoritmasının sonuçlarının tutarlılığını ve güvenilirliğini vurgulamaktadır.

Jaya algoritmasının önemli bir avantajı, parametre gerektirmemesi ve bu sayede daha sade bir yapı sunmasıdır. Bu analizde 50 iterasyon ve 25 parçacık ile gerçekleştirilmiş olup, performansını etkileyen parametre karmaşıklığından bağımsız olarak üstün bir sonuç elde edilmiştir. Ayrıca Jaya algoritması, basit yapısı sayesinde daha hızlı bir optimizasyon süreci sunmaktadır. Parametre ayarlarına ihtiyaç duymadığı için ayar sürecinden kaynaklanan ek zaman kaybını ortadan kaldırır ve daha kısa sürede etkili sonuçlar üretir. Bu özellikleriyle

Jaya, hem hız hem de verimlilik açısından test edilen diğer algoritmalara göre daha etkin bir çözüm sunmuştur.

PSO algoritmasının ikinci sırada yer alması, parçacıkların kolektif hareketiyle dengeli bir şekilde çözüm arayabilme yeteneğine bağlıdır. Bu özellik, karmaşık şebeke yapılarına uyum sağlamasında önemli bir avantaj sunar. Ateş Böceği algoritması, parlaklık ve çekim mekanizmalarına dayalı yapısıyla belirli bir düzeyde iyileştirme sağlarken, rastgelelik faktörünün fazla olması nedeniyle daha az etkili olmuştur. Genetik algoritmanın son sırada yer almasının nedeni ise, çaprazlama ve mutasyon gibi işlemlerin yüksek hesaplama maliyetine yol açarak optimizasyon sürecini yavaşlatması ve bu süreçte daha sınırlı sonuçlar üretmesidir.

Türkiye’de yaygın olarak kullanılan GES inverterlerinin reaktif güç desteği verme özelliklerinin olduğu görülmüştür. Ayrıca, Kahramanmaraş ili Narlı bölgesinde örnek bir GES santralinde kullanılan EK 9 ‘da datasheet’i bulunan ABB marka inverter üzerinden reaktif enerji desteği verilebileceği modbus protokolü üzerinden yapılan çalışma ile gösterilmiştir.

Bu sonuçlar, GES’lerin reaktif enerji desteği sağlamasıyla şebekede çeşitli avantajlar elde edilebileceğini ortaya koymaktadır. Reaktif enerji desteği sayesinde şebekedeki gücün ve ısı kayıplarının azalacağı, şebeke gerilim profilinin iyileşeceği ve daha fazla aktif enerji iletiminin sağlanarak üretim, iletim ve dağıtım sistemlerinin kapasitesinin artacağı görülmüştür. Bunun yanı sıra, GES’lerin reaktif enerji desteği sağlamasıyla, kompanzasyon için kullanılan kondansatör veya benzeri yeni ekipmanlara olan ihtiyaç büyük ölçüde ortadan kalkmakta ve bu durum altyapı maliyetlerini düşürerek enerji yönetiminde önemli bir verimlilik sağlamaktadır. Bu durum, şebeke verimliliğinin artmasını sağlayarak enerji altyapılarında sürdürülebilir ve ekonomik bir gelişme sunmaktadır.

Türkiye’de, 30 MW’ın altında ve orta gerilim seviyesinde şebekeye bağlı GES’ler için reaktif gücün bir yan hizmet olarak sunulması yasal bir zorunluluk değildir. Ancak, yurt dışındaki uygulamaların da gösterdiği gibi, bu desteklerin sağlanması hem enerji kalitesi hem de şebeke kararlılığı için kritik bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, Türkiye’de reaktif enerji desteği sunulmasını teşvik etmek amacıyla bir piyasa yapısının oluşturulması önerilmektedir. Bu piyasa yapısı kapsamında, GES sahiplerinin reaktif enerji desteği sağlaması karşılığında belirli bir ücret alması sağlanabilir. Bu tür bir teşvik mekanizması, santral sahiplerini reaktif enerji desteği vermeye motive edebilirken, şebeke kararlılığını

artıracak altyapı yatırımlarını da hızlandırabilir. Ayrıca, reaktif enerji desteği için teknik standartların belirlenmesi, şebeke şşletmecileri ve enerji üreticileri arasında daha etkin bir koordinasyon sağlanmasına olanak tanıyacaktır. Mevzuatın bu doğrultuda yeniden düzenlenmesi ve PV santrallerin reaktif gücü destekleyici bir yapıda kullanılması yönünde adımlar atılması büyük önem taşımaktadır.



KAYNAKLAR

- Alshahrani, A., Omer, S., Su, Y., Mohamed, E., & Alotaibi, S. (2020). The Technical Challenges Facing the Integration of Small-Scale and Large-Scale PV Systems into the Grid. *Electronics*, 8(12), 1443. <https://www.mdpi.com/2079-9292/8/12/1443>
- Sezer, D. E. (2020). Güç faktörü ve $\cos\phi$. <https://ergunelektrik.com/guc-faktoru-ve-cos-%CF%86/> (Erişim Tarihi:25.12.2024)
- Zhang, W., Zhang, Z., Dai, Y., Dong, C., Yu, Z., & Hu, Y. (2024). Research on reactive power compensation control method for improving the voltage stability of photovoltaic station area. *Frontiers in Energy Research*.
- Ahmadi, M. H., Ghazvini, M., Sadeghzadeh, M., Alhuyi Nazari, M., Kumar, R., Naeimi, A., & Ming, T. (2018). Solar power technology for electricity generation: A critical review. *Energy Science & Engineering*, 6(5), 385-422.
- Almeida, D., Pasupuleti, J., & Ekanayake, J. (2021). Comparison of Reactive Power Control Techniques for Solar PV Inverters to Mitigate Voltage Rise in Low-Voltage Grids. *Electronics*, 10(1569). <https://doi.org/10.3390/electronics10131569>
- Dalal, D., Sondharangalla, M., Ayyanar, R., & Pal, A. (2023). Improving Photovoltaic Hosting Capacity of Distribution Networks with Coordinated Inverter Control -- A Case Study of the EPRI J1 Feeder. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2311.02793>
- Haviv, S., Revivo, N., Kruger, N., Manor, A., Khachatryan, B., Shustov, M., & Rotschild, C. (2020). Luminescent solar power: PV/thermal hybrid electricity generation for cost effective dispatchable solar energy. *arXiv preprint arXiv:2012.08314*. <https://arxiv.org/abs/2012.08314>
- Nakamoto, Y., & Eguchi, S. (2024). How do seasonal and technical factors affect generation efficiency of photovoltaic power plants? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 199, 114441.
- Wang, Q., Li, Y., Zhang, Q., & Wang, D. (2024). Active and reactive power optimization control of photovoltaic and energy storage based on grid forming inverters. *IEEE Xplore*.
- Mohammed, A., Sakr, E. K., Abo-Adma, M., & Elazab, R. (2024). A comprehensive review of advancements and challenges in reactive power planning for microgrids. *Energy Informatics*, 7(63).
- Lourenço, L. F. N., Monaro, R. M., Salles, M. B. C., Cardoso, J. R., & Quéval, L. (2018). Evaluation of the reactive power support capability and associated technical costs of photovoltaic farms' operation. *Energies*, 11(1567). <https://doi.org/10.3390/en11061567>
- Santhoshi, B. K., Sundaram, K. M., Padmanaban, S., Holm-Nielsen, J. B., & Prabhakaran, K. K. (2019). Critical review of PV grid-tied inverters. *Energies*, 12(1921).

<https://doi.org/10.3390/en12101921>

- Filho, L.G., Corrêa, H. P., & Vieira, F. H. T. (2024). Analytical distributed PV inverter reactive power support strategy for loss and voltage deviation reduction. *OPSEARCH*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12667-024-00695-3>
- Sarkar, M. N. I., & Meegahapola, L. G. (2018). Reactive power management in renewable rich power grids: A review of grid-codes, renewable generators, support devices, control strategies, and optimization algorithms. *IEEE Access*, 6, 14626–14643. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2838563>
- Jambhulkar, S., & Adware, R. (2018). Technologies Compensating Reactive Power: A Review. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 5(4)
- Cabrera-Tobar, A., Bullich-Massagué, E., Aragüés-Peñalba, M., & Gomis-Bellmunt, O. (2019). Active and reactive power control of a PV generator for grid code compliance. *Energies*, 12(20), 3872.
- Albarracín, R., & Alonso, M. (2013). Photovoltaic reactive power limits. (2013) *12th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)*, 13–18. <https://doi.org/10.1109/EEEIC.2013.6549630>
- Bollen, M., & Hassan, F. (2011). Integration of Distributed Generation in the Power System. Wiley–IEEE Press. Reviewed in *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 48, 69–70.
- Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995, November). Particle swarm optimization. In *Proceedings of ICNN'95-international conference on neural networks (Vol. 4, pp. 1942-1948)*. IEEE
- Del Valle, Y., Venayagamoorthy, G. K., Mohagheghi, S., Hernandez, J. C., & Harley, R. G. (2008). Particle swarm optimization: basic concepts, variants and applications in power systems. *IEEE Transactions on evolutionary computation*, 12(2), 171-195.
- Zhan, Z. H., & Zhang, J. (2008, September). Adaptive particle swarm optimization. In *International conference on ant colony optimization and swarm intelligence (pp. 227-234)*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Pamuk, N. (2024). Genetik algoritma optimizasyonu kullanılarak senkron makine tasarımı ve uygunluk parametrelerinin belirlenmesi. *Journal of Innovative Engineering and Natural Sciences*, 4(2), 276-288. <https://doi.org/10.61112/jiens.1392071>
- Rao, R. V. (2016). Jaya: A simple and new optimization algorithm for solving constrained and unconstrained optimization problems. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 7(1), 19–34.
- Zitar, R. A., Al-Betar, M. A., Awadallah, M. A., Abu Doush, I., & Assaleh, K. (2021). An Intensive and Comprehensive Overview of JAYA Algorithm, its Versions and Applications. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 29, 763–792.

- Yang, X. S. (2010). Firefly algorithm for multimodal optimization. In O. Watanabe & T. Zeugmann (Eds.), *Stochastic Algorithms: Foundations and Applications, SAGA 2009* (pp. 169–178). Springer.
- VDE. (2017). VDE-AR-N 4110:2017-02 – Technical requirements for the connection and operation of customer installations to the medium voltage network (TAR Medium Voltage). VDE Publishing.
- British Standards Institution. (2019). BS EN 50549-2:2019 – Requirements for generating plants to be connected in parallel with distribution networks – Part 2: Connection to medium voltage distribution networks. BSI Standards Publication.
- IEEE Standards Association. (2018). IEEE Std. 1547-2018 - Standard for Interconnection and Interoperability of Distributed Energy Resources with Associated Electric Power Systems Interfaces. IEEE.
- Karadöl, İ., (2021). Yenilenebilir Enerji Santrallerinin Şebeke Entegrasyonundaki Problemlerinin Optimal Çözümü. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kahramanmaraş. 115s.

EKLER

EK 1 Bara Listesi

Bara-Hat Adı	Nom.L- L Volt.	Ul, Magnitude	u, Magnitude	U, Angle	Distance
	kV	kV	p.u.	deg	km
ORMES 3 GES TR_13766	31,5	31,7	1,004822	29,9	12,001
ORMES4 ENERJI GES TR_20828	31,5	31,7	1,004822	29,9	11,8102
ORMES2 ENERJI GES TR_20829	31,5	31,6	1,004741	29,9	11,4418
ORMES ENERJI GES DAG_20826	31,5	31,6	1,00474	29,9	11,4342
FOMOR GES TR_19358	31,5	31,6	1,004053	30	12,439
INCI/5.2 GES TR_19360	31,5	31,6	1,004048	30	12,4351
IPEKLI GES DM_19359	31,5	31,6	1,00404	30	12,307
IPEKLI KOK-1_19357	31,5	31,6	1,003148	29,9	8,8113
ZEYNAL EROGLU GES_19072	31,5	31,6	1,002573	29,8	8,3826
NAZAN BAGCI GES_19076	31,5	31,6	1,002572	29,8	8,5904
GAZI KAYA GES_19074	31,5	31,6	1,002559	29,8	8,3298
A.KADIR EROGLU GES_19071	31,5	31,6	1,002552	29,8	8,1673
SINAN BAGCI GES_19075	31,5	31,6	1,00255	29,8	8,4045
YUNUS EMRE GES DM_19149	31,5	31,6	1,002548	29,8	8,1266
HASAN BASRI KAYA GES_19073	31,5	31,6	1,002544	29,8	8,2719
YUNUS EMRE MH GES KO_19148	31,5	31,6	1,002278	29,8	7,2055
DM_IV/64-A TOKI_12987	31,5	31,6	1,002273	29,8	7,2019
DM_IV/64_07227	31,5	31,6	1,002266	29,8	7,315
DM_IV-64 B TOKI_18958	31,5	31,6	1,002266	29,8	7,4461
KARSI BAHCECIK TR_07228	31,5	31,6	1,002085	29,8	8,8529
BELEDIYE ARITMA TR_20647	31,5	31,6	1,002085	29,8	8,1252
ADIYAMAN TM_13097	154	154	1	0	0
ADIYAMAN TM_13097	31,5	31,5	1	30	0
ADIYAMAN TM_13097	31,5	31,5	0,999216	29,7	0
DM-1 ADM_12998	31,5	31,5	0,998975	29,7	0,2177
DM_IV/63-A_07237	31,5	31,5	0,998732	29,7	6,7649
MEM 16 DERSLIKLI TR_20492	31,5	31,5	0,998727	29,7	7,2498
DM-5A DM_13075	31,5	31,5	0,998579	29,7	3,317
DM_V/1_12883	31,5	31,5	0,998563	29,7	3,8348
DM_V/8_07140	31,5	31,5	0,998534	29,7	3,4511
DM_V/2_12884	31,5	31,5	0,99853	29,7	4,1805
DM_V/5_12881	31,5	31,5	0,998502	29,7	3,9427
DM_I/50_12853	31,5	31,5	0,998495	29,7	2,1037
DM_V/3_12885	31,5	31,5	0,998491	29,6	4,734
DM_V/6_12880	31,5	31,5	0,998489	29,6	4,2567

CENGİZ TOPEL İÖÖ_59912	31,5	31,5	0,998487	29,6	4,9429
DM_V/7_12879	31,5	31,5	0,998483	29,6	4,5104
DM_V/4_12878	31,5	31,5	0,99848	29,6	5,1449
DM_V/5-B_07201	31,5	31,5	0,998479	29,7	4,1179
DM_V/5-A_07190	31,5	31,5	0,998471	29,7	4,2155
DM_V/9_07141	31,5	31,5	0,998465	29,7	4,1682
DM_I/51_12856	31,5	31,4	0,998402	29,7	2,5646
DM_I/52_15410	31,5	31,4	0,998352	29,7	2,846
KREDİ YURTLAR KURUMU_11043	31,5	31,4	0,998347	29,7	3,0058
Nehir Yurt TR_18171	31,5	31,4	0,998347	29,7	2,9275
VETAL OGRENCİ YURDU_15364	31,5	31,4	0,998345	29,7	3,0154
DM_I/53_12860	31,5	31,4	0,998308	29,7	3,2488
DM_V/8-A_13782	31,5	31,4	0,998299	29,7	4,1704
DM_I/54_12846	31,5	31,4	0,998279	29,7	3,5682
DM_I/55_12843	31,5	31,4	0,998246	29,7	4,079
DM_I/56_12845	31,5	31,4	0,998231	29,7	4,4053
DM_I/56-A_12844	31,5	31,4	0,998219	29,7	4,9297
DM_III/56-A_07203	31,5	31,4	0,998076	29,6	4,9155
DM_III/56_07204	31,5	31,4	0,998029	29,6	5,6102
SEVİM YILDIRIM TR_13875	31,5	31,4	0,998016	29,6	6,0377
HASAN KILINC TR_19152	31,5	31,4	0,997995	29,6	7,3896
DM_III/38_07205	31,5	31,4	0,997991	29,6	7,3107
DM_III/55_07193	31,5	31,4	0,997921	29,6	5,7066
DM_III/55-A_07207	31,5	31,4	0,997821	29,6	6,4017
MEHMET SEVER TR_07202	31,5	31,4	0,997757	29,6	6,9389
SEVGİ EVLERİ TR_11292	31,5	31,4	0,997749	29,6	7,1016
MEHMET DAŞKOL TR_07206	31,5	31,4	0,997744	29,6	7,2986
75. YIL İMKB YİBO TR_13930	31,5	31,4	0,997743	29,6	7,0441
DM_IV/63_12925	31,5	31,4	0,997664	29,7	6,3154
DM_IV/65_07226	31,5	31,4	0,99765	29,7	6,6784
DM_IV/66-A_07225	31,5	31,4	0,99762	29,7	7,0852
DM-2A-DM_13027	31,5	31,4	0,99707	29,5	3,0117
DM_II/1_12897	31,5	31,4	0,997032	29,5	3,6997
DM_II/13_12895	31,5	31,4	0,997007	29,5	3,7099
DM_II/2_12896	31,5	31,4	0,996977	29,5	4,1517
DM_II/14_12894	31,5	31,4	0,996967	29,5	4,2178
DM_II/4_12899	31,5	31,4	0,996962	29,5	4,773
DM_II/15_12893	31,5	31,4	0,996945	29,5	4,6592
DM_II/16_12892	31,5	31,4	0,996927	29,5	5,3634
DM_II/5_12886	31,5	31,4	0,996623	29,5	3,6877
DM_IV/60_12924	31,5	31,4	0,996622	29,6	5,6261
DM_IV/61_07216	31,5	31,4	0,99662	29,6	5,8086
DM_II/5-A UCGEN PARK_12887	31,5	31,4	0,9966	29,5	3,974

DM_II/8_15852	31,5	31,4	0,996565	29,5	3,5571
DM_II/24_12898	31,5	31,4	0,996553	29,5	4,3755
DM_II/11_12890	31,5	31,4	0,99654	29,5	4,2022
MENDERES ILKOGRETİM_20377	31,5	31,4	0,996537	29,5	4,431
DM_II/12_12891	31,5	31,4	0,996533	29,5	4,6118
DM_II/6_07517	31,5	31,4	0,996398	29,5	4,0676
DM_II/27-A_10678	31,5	31,4	0,99639	29,5	4,4053
İL MILLİ EGİTİM MUD._15280	31,5	31,4	0,996389	29,5	4,5536
OGRENCİ PANSİYONU TR_15553	31,5	31,4	0,996389	29,5	4,5687
DM_II/28_12985	31,5	31,4	0,99627	29,5	3,9942
DM_II/7_57782	31,5	31,4	0,996238	29,5	4,5991
ADİYAMAN İŞKUR TR 31192	31,5	31,4	0,996235	29,5	4,8228
YENİ MAH. GENCLİK VE_15360	31,5	31,4	0,99623	29,5	4,803
DM-4ADM_12999	31,5	31,4	0,996173	29,6	5,2079
DM_II/7-A_12958	31,5	31,4	0,996154	29,5	4,9677
DM_IV/33_12911	31,5	31,4	0,99613	29,6	5,7696
DM_IV/34_07224	31,5	31,4	0,996112	29,6	5,9873
DM_IV/35_07229	31,5	31,4	0,996106	29,6	6,0559
DM_IV/36_07578	31,5	31,4	0,996103	29,6	6,1297
DM_IV/37_12914	31,5	31,4	0,99607	29,6	6,3319
DM_IV/39_12915	31,5	31,4	0,996045	29,6	6,6051
DM_IV/1_12912	31,5	31,4	0,996037	29,6	6,2549
DM4---69_12900	31,5	31,4	0,996028	29,6	5,7083
DM_IV/40_07235	31,5	31,4	0,996024	29,6	6,9001
DM_IV/72_07221	31,5	31,4	0,996023	29,6	6,0068
DM4-TR73A_20851	31,5	31,4	0,996022	29,6	6,3544
DM_IV/73_07219	31,5	31,4	0,996021	29,6	6,1253
DM_IV/70_07217	31,5	31,4	0,996021	29,6	6,0538
DM_III/61_12992	31,5	31,4	0,996021	29,4	4,3763
ADİYAMAN UNV. TIP FA_11047	31,5	31,4	0,996016	29,6	5,9678
DM_IV/45_07231	31,5	31,4	0,996015	29,6	6,0085
DM_IV/71_07218	31,5	31,4	0,996001	29,6	6,3785
SİTELER MAHALLESİ TR_28644	31,5	31,4	0,995982	29,6	7,1259
DM_IV/39-A_07565	31,5	31,4	0,99597	29,6	7,3824
DM_IV/5_12986	31,5	31,4	0,995967	29,6	6,5644
DM_IV/2_07583	31,5	31,4	0,995964	29,6	6,7145
DM4---74_12927	31,5	31,4	0,995955	29,6	6,2987
DM_IV/79_07232	31,5	31,4	0,99595	29,6	6,5696
BEDEN TERBYESİ YUZME_06962	31,5	31,4	0,995949	29,6	6,6376
DM_IV/3_07579	31,5	31,4	0,995947	29,6	6,7133
DM_IV/37-B_07581	31,5	31,4	0,995933	29,6	7,1255

UN FABRIKASI_14644	31,5	31,4	0,995928	29,6	6,5952
DM_IV/41_12916	31,5	31,4	0,995928	29,6	6,3816
DM_IV/4_07580	31,5	31,4	0,995926	29,6	6,9792
DM_IV/82_07230	31,5	31,4	0,99592	29,6	6,8179
DM_IV/77_06958	31,5	31,4	0,995906	29,6	6,8434
DM_IV/6_12902	31,5	31,4	0,995889	29,6	6,9319
DM_IV/80 ESKI OTOGAR_18457	31,5	31,4	0,995889	29,6	7,0772
KARAHAN MENZIL TURIZ_15056	31,5	31,4	0,995886	29,6	6,657
DM_IV/66_12901	31,5	31,4	0,995882	29,6	7,1217
DM_IV/75_07233	31,5	31,4	0,995879	29,6	7,3465
KARAHAN MENZIL TURIZ_19052	31,5	31,4	0,995878	29,6	6,713
DM_IV/9_06952	31,5	31,4	0,995878	29,6	7,1155
ORHAN GAZI ILKOGRETI_20877	31,5	31,4	0,995877	29,6	7,4231
DM_IV/76_07220	31,5	31,4	0,995874	29,6	7,6881
DM4-47_18814	31,5	31,4	0,995867	29,6	7,0954
MUSTAFA YUCELOZBILGI_18478	31,5	31,4	0,995857	29,6	7,1847
FATİH ANADOLU LİSESİ_07640	31,5	31,4	0,995854	29,6	7,8255
DM_IV/103_06968	31,5	31,4	0,995851	29,6	7,3254
DEFTERDARLIK TR_14301	31,5	31,4	0,995848	29,6	7,3769
DM_IV/10_12909	31,5	31,4	0,995838	29,6	7,4204
DM_IV/37-A_07637	31,5	31,4	0,995837	29,6	7,9867
DM_IV/11_06953	31,5	31,4	0,995824	29,6	7,9206
DM_IV/67_07223	31,5	31,4	0,995824	29,6	7,5369
DM_IV/12_07585	31,5	31,4	0,99582	29,6	8,1841
DM_IV/68_07222	31,5	31,4	0,995809	29,6	7,7135
DM_III/62_12959	31,5	31,4	0,995803	29,4	4,722
DM_IV/13 FATİHTUR MO_12905	31,5	31,4	0,995796	29,6	7,8052
DM_IV/32_12908	31,5	31,4	0,995789	29,6	8,1213
DM_IV/14_07576	31,5	31,4	0,99577	29,6	8,0263
DM_IV/15_07577	31,5	31,4	0,995759	29,6	8,421
DM_IV/16_07584	31,5	31,4	0,995745	29,6	8,3747
DM_IV/50_12920	31,5	31,4	0,995661	29,6	5,7208
DM_IV/55_07215	31,5	31,4	0,995659	29,6	5,8854
SEHİT CEM ÖZGÜL İÖO_07498	31,5	31,4	0,995638	29,4	5,0301
ADİYAMAN FEN LİSESİ_13863	31,5	31,4	0,995499	29,5	5,819
GÜZEL SANATLAR LİSESİ_14434	31,5	31,4	0,995497	29,5	5,8922
ESENTEPE ANAOKULU TR_14332	31,5	31,4	0,995497	29,5	5,9157

16.DERSLİKLİ BİLİM S_14702	31,5	31,4	0,995496	29,5	5,9202
ANADOLU OGRET MEN LIS_07513	31,5	31,4	0,995444	29,5	5,883
DM_IV/51_12921	31,5	31,4	0,995268	29,6	6,1287
DM_IV/62_07236	31,5	31,4	0,995264	29,6	6,4696
ARAŞTIRMA HASTANESİ_13922	31,5	31,4	0,995252	29,6	6,3238
DM_II/10-A_07502	31,5	31,3	0,995031	29,4	6,5041
KOKS DUGUN SALONU KO_12034	31,5	31,3	0,994857	29,4	6,7593
DM_II/17 TOKI ESENTE_12934	31,5	31,3	0,994714	29,4	7,149
GAZETECILER CEMIYETI_12035	31,5	31,3	0,99471	29,4	7,9373
DM_II/18 TOKI ESENTE_12933	31,5	31,3	0,994688	29,4	7,5528
DM_III/80_12988	31,5	31,3	0,994607	29,4	5,323
DM_IV/52_12919	31,5	31,3	0,99456	29,5	6,6357
YUNUS EMRE ORTA OKUL_14860	31,5	31,3	0,99454	29,5	7,2854
SAGLIK MESLEK LISESI_14128	31,5	31,3	0,99454	29,5	7,2927
BEYAZYILDIZ TR_15257	31,5	31,3	0,994531	29,5	6,8653
HOTEL ANTIOCHOS TR_27945	31,5	31,3	0,994521	29,5	6,9387
IL OZEL IDARE TR_07238	31,5	31,3	0,994514	29,5	7,1661
DM_IV/53_07234	31,5	31,3	0,994499	29,5	6,9979
KAYALIK MNB_17652	31,5	31,3	0,994494	29,4	5,6141
IKRA KOLEJI TR_17495	31,5	31,3	0,994494	29,4	6,0643
DM_IV/107_07270	31,5	31,3	0,994472	29,5	7,5533
DM_IV/53-A_07274	31,5	31,3	0,994452	29,5	7,5321
DM03-TR35A3 MNB_18828	31,5	31,3	0,994014	29,4	6,4177
DM_III-34_20529	31,5	31,3	0,993675	29,4	7,012
DM_IV/52-A_14544	31,5	31,3	0,993551	29,5	7,5297
DM_IV/52-B_18899	31,5	31,3	0,993542	29,5	8,0841
DM06ATR05_20526	31,5	31,3	0,993442	29,3	7,6886
DM06ATR04_20525	31,5	31,3	0,993215	29,3	8,3706
DM06ATR03_20524	31,5	31,3	0,993044	29,3	8,9023
DM_IV/54_07590	31,5	31,3	0,993021	29,3	9,2721
RAMAZAN HAN TR_18823	31,5	31,3	0,993021	29,3	9,3243
ADIYAMAN BELEDIYESI_89011	31,5	31,3	0,992993	29,3	9,6249
DM06ATR02_20523	31,5	31,3	0,992816	29,3	9,7954
DM6ATR01_20522	31,5	31,3	0,992703	29,3	10,2446
DM-6A DM_13007	31,5	31,3	0,9926	29,3	10,6774
DM_IV/20_12906	31,5	31,3	0,992581	29,3	11,0191
DM_IV/20-A_13003	31,5	31,3	0,992572	29,3	11,4099
DM_IV/19_12904	31,5	31,3	0,992556	29,3	11,5229
DM_IV/17_12913	31,5	31,3	0,992542	29,3	11,9101

YEŞİLYURT IOO TR_12606	31,5	31,3	0,992541	29,3	11,9298
DM_IV/21_07582	31,5	31,3	0,992541	29,3	11,8376
DM_IV/26_12907	31,5	31,3	0,992475	29,3	11,6895
DM_IV/30_07575	31,5	31,3	0,992464	29,3	12,022
DM_VI/26-A_07592	31,5	31,3	0,992455	29,3	11,9596
DM_IV/31_07591	31,5	31,3	0,992453	29,3	11,9506
DM_VI/27_07571	31,5	31,3	0,992436	29,3	12,1561
DM_VI/28_07573	31,5	31,3	0,99242	29,3	12,2308
23 NISAN IOO TR_07593	31,5	31,3	0,992419	29,3	12,2609
BELEDIYE KONKASOR TR_07561	31,5	31,3	0,992269	29,3	11,6469
BELEDIYE KONKASOR TR_07562	31,5	31,3	0,992236	29,3	11,7732
MALTEPE MH_07560	31,5	31,3	0,992174	29,3	12,8026
ZEY KY_07478	31,5	31,2	0,991872	29,3	14,0433
DM4-57_12918	31,5	31,2	0,991748	29,4	9,0965
ADYAMAN YENI OTOGAR_13008	31,5	31,2	0,991698	29,4	9,6518
ÖZEL İDARE İÖO TR_07586	31,5	31,2	0,991682	29,3	11,9635
TPAO 16 DERSLİKLİ IL_15446	31,5	31,2	0,991669	29,3	12,111
FAHRI YASAR HATTI_19915	31,5	31,2	0,991667	29,4	9,8039
TPAO ANADOLU LİSESİ_15610	31,5	31,2	0,991664	29,3	12,2059
DM_4/58-B_20427	31,5	31,2	0,991664	29,4	9,6467
HALİT CALIŞ TR_18700	31,5	31,2	0,991658	29,3	15,2897
DM_IV/58-A_07271	31,5	31,2	0,991637	29,4	10,0871
DM_IV/58_12928	31,5	31,2	0,991632	29,4	9,922
DM_IV/59_07272	31,5	31,2	0,991631	29,4	10,6973
DM06ATR06_20527	31,5	31,2	0,991622	29,3	11,855
DM_IV/23_07630	31,5	31,2	0,991615	29,3	11,8581
DOĞUM HASTANESİ TR_14183	31,5	31,2	0,991611	29,3	11,9202
HÜSEYİN DOĞAN TR_15656	31,5	31,2	0,991577	29,3	15,9762
400 YATAKLI TR_20441	31,5	31,2	0,991565	29,4	9,8074
ABUZER ÇELİK TR_16565	31,5	31,2	0,991555	29,3	16,2588
HÜSEYİN GÜZEL TR_16655	31,5	31,2	0,991553	29,3	16,4194
HASARI OKSUZ TR_15279	31,5	31,2	0,991551	29,3	16,411
POLİS LOJMANLARI_14330	31,5	31,2	0,991539	29,3	12,1833
MEHMET ALI ÇANLI TR_18695	31,5	31,2	0,991509	29,3	16,5007
FIRAT TEKSTİL TR MER_07629	31,5	31,2	0,991444	29,4	10,1493
CEYLAN DÜĞÜN SALONU_18055	31,5	31,2	0,991442	29,4	10,2652
AVEA VODAFONE İŞ ORT_20654	31,5	31,2	0,991438	29,3	17,9581
BİRMAN GIDA TR_14340	31,5	31,2	0,991425	29,4	10,2908
RENTAŞ GIDA TR_07628	31,5	31,2	0,991418	29,4	10,3719

DM06ATR07_20528	31,5	31,2	0,991407	29,3	12,2931
YESILTEPE (ALBERT) K_07528	31,5	31,2	0,991392	29,3	17,3782
DM_IV/23-A_07633	31,5	31,2	0,991376	29,3	12,7343
SEYHO DOGAN TR_17135	31,5	31,2	0,991373	29,3	17,8513
M.ALI KARAKOC TR_17394	31,5	31,2	0,99136	29,3	18,6553
ZEYNAL ARIK TR_17133	31,5	31,2	0,991357	29,3	18,4806
DM_IV/24_07632	31,5	31,2	0,991335	29,3	13,2945
DICLE MERMER TR_07531	31,5	31,2	0,991323	29,3	18,6823
ÖZEL HAREKAT TR_93292	31,5	31,2	0,991316	29,3	12,8177
DM_VI/25_07631	31,5	31,2	0,991292	29,3	14,1164
DM_IV/23-C_07638	31,5	31,2	0,991287	29,3	13,1691
KIZ TEKNİK MESLEK LI_11666	31,5	31,2	0,99128	29,3	13,2265
HARUN PETROL TR_07626	31,5	31,2	0,991263	29,3	15,5837
DM_IV/23-D_15409	31,5	31,2	0,991261	29,3	13,4543
BESPINAR SPOR SALONU_20075	31,5	31,2	0,990787	29,4	11,5935
ZİYARET PAYAMLI KY._07268	31,5	31,2	0,990785	29,4	10,729
SAF TEKSTİL TR_07273	31,5	31,2	0,990677	29,4	10,4089
SAF TEKSTİL TR_14127	31,5	31,2	0,990616	29,4	10,4322
SAF ET KOMBİNE TR_07269	31,5	31,2	0,990585	29,4	10,4794
DM_1/40_12937	31,5	0	0	0	0
DM-1 ADM_12998	31,5	0	0	0	0
DM-3 ADM_13018	31,5	0	0	0	0
DM-3 ADM_13018	31,5	0	0	0	0
GOZEBASI KABINI_07627	31,5	0	0	0	0

EK 2 Trafo Listesi

ADI	u, Magnitude	Active Power	Reactive Power	Apparent Power	Power Factor
	p.u.	MW	Mvar	MVA	
ÖZEL İDARE İÖO TR_07586	0,989	0	0	0	0,974
ZİYARET PAYAMLI KY_07268	0,988	0	0	0	0,974
ZEYNAL EROGLU GES_19072	1	0,2	0	0,2	0,974
ZEYNAL ARIK TR_17133	0,989	0	0	0	0,974
ZEY KY_07478	0,989	0	0	0	0,974
YUNUS EMRE ORTA OKUL_14860	0,992	0	0	0	0,974
YEŞİLYURT İOO TR_12606	0,99	0	0	0	0,974
YESİLTEPE (ALBERT) K_07528	0,989	0	0	0	0,974
YENİ MAH. GENCLİK VE_15360	0,994	0,2	0	0,2	0,974
VETAL OGRENCİ YURDU_15364	0,996	0,1	0	0,1	0,974
TPAO ANADOLU LİSESİ_15610	0,989	0	0	0	0,974
TPAO 16 DERSLİKLİ İL_15446	0,989	0	0	0	0,974
SİTELER MAHALLESİ TR_28644	0,994	0,1	0	0,1	0,974
SİNAN BAGCI GES_19075	1	0,2	0	0,2	0,974
SEYHO DOĞAN TR_17135	0,989	0	0	0	0,974
SEVİM YILDIRIM TR_13875	0,996	0	0	0	0,974
SEVGİ EVLERİ TR_11292	0,995	0	0	0	0,974
SEHİT CEM ÖZGÜL İOO_07498	0,993	0	0	0	0,974
SAGLIK MESLEK LİSESİ_14128	0,992	0	0	0	0,974
SAF TEKSTİL TR_14127	0,988	0,3	0,1	0,3	0,974
SAF TEKSTİL TR_07273	0,988	0,4	0,1	0,4	0,974
SAF ET KOMBİNE TR_07269	0,988	0,4	0,1	0,4	0,974
RENTAŞ GIDA TR_07628	0,989	0,1	0	0,1	0,974
RAMAZAN HAN TR_18823	0,991	0	0	0	0,974
POLİS LOJMANLARI_14330	0,989	0	0	0	0,974
ORMES4 ENERJİ GES TR_20828	1,002	0,2	0	0,2	0,974
ORMES2 ENERJİ GES TR_20829	1,002	0,2	0	0,2	0,974
ORMES 3 GES TR_13766	1,002	0,2	0	0,2	0,974
ORHAN GAZİ İLKÖĞRETİM_20877	0,993	0	0	0	0,974
OGRENCİ PANSİYONU TR_15553	0,994	0	0	0	0,974
Nehir Yurt TR_18171	0,996	0,1	0	0,1	0,974
NAZAN BAGCI GES_19076	1	0,2	0	0,2	0,974
MUSTAFA YUCELOZBİLGİ_18478	0,993	0,2	0	0,2	0,974
MENDERES İLKÖĞRETİM_20377	0,994	0	0	0	0,974
MEM 16 DERSLİKLİ TR_20492	0,996	0	0	0	0,974
MEHMET SEVER TR_07202	0,995	0	0	0	0,974
MEHMET DAŞKOL TR_07206	0,995	0	0	0	0,974
MEHMET ALİ CANLI TR_18695	0	0	0	0	1
MALTEPE MH_07560	0,99	0	0	0	0,974
M.ALI KARAKOC TR_17394	0,989	0	0	0	0,974
KIZ TEKNİK MESLEK Lİ_11666	0,989	0,1	0	0,1	0,974
KAYALIK MNB_17652	0,992	0,1	0	0,1	0,974
KARSI BAHCERİK TR_07228	1	0	0	0	0,974
KARAHAN MENZİL TURİZ_19052	0,993	0,3	0,1	0,3	0,974
KARAHAN MENZİL TURİZ_15056	0,993	0	0	0	0,974
İNCI/5.2 GES TR_19360	1,002	0,2	0	0,2	0,974
İL ÖZEL İDARE TR_07238	0,992	0,1	0	0,1	0,974
İL MİLLİ EĞİTİM MÜD_15280	0,994	0	0	0	0,974
HÜSEYİN GÜZEL TR_16655	0,989	0	0	0	0,974
HÜSEYİN DOĞAN TR_15656	0,989	0	0	0	0,974
HOTEL ANTIOCHOS TR_27945	0,992	0,1	0	0,1	0,974
HASARI OKSUZ TR_15279	0,989	0	0	0	0,974
HASAN KILINÇ TR_19152	0	0	0	0	1
HASAN BASRI KAYA GES_19073	1	0,2	0	0,2	0,974

HARUN PETROL TR_07626	0,989	0	0	0	0,974
HALIT CALIS TR_18700	0	0	0	0	1
GUZEL SANATLAR LISES_14434	0,993	0,1	0	0,1	0,974
GAZI KAYA GES_19074	1	0,2	0	0,2	0,974
FOMOR GES TR_19358	1,002	0,2	0	0,2	0,974
FIRAT TEKSTIL TR MER_07629	0,989	0	0	0	0,974
FATIH ANADOLU LISESI_07640	0,993	0	0	0	0,974
FAHRI YASAR HATTI_19915	0	0	0	0	1
ESENTEPE ANAOKULU TR_14332	0,993	0	0	0	0,974
DOGUM HASTANESI TR_14183	0,989	0,1	0	0,1	0,974
DM_VI/28_07573	0,99	0	0	0	0,974
DM_VI/27_07571	0,99	0	0	0	0,974
DM_VI/26-A_07592	0,99	0,1	0	0,1	0,974
DM_VI/25_07631	0,989	0	0	0	0,974
DM_V/9_07141	0,996	0	0	0	0,974
DM_V/8_07140	0,996	0	0	0	0,974
DM_V/8-A_13782	0,996	0	0	0	0,974
DM_V/7_12879	0,996	0,1	0	0,1	0,974
DM_V/6_12880	0,996	0	0	0	0,974
DM_V/5_12881	0,996	0,1	0	0,1	0,974
DM_V/5-B_07201	0,996	0,1	0	0,1	0,974
DM_V/5-A_07190	0,996	0,1	0	0,1	0,974
DM_V/4_12878	0,996	0,1	0	0,1	0,974
DM_V/3_12885	0,996	0,1	0	0,1	0,974
DM_V/2_12884	0,996	0,1	0	0,1	0,974
DM_V/1_12883	0,996	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/9_06952	0,993	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/82_07230	0,993	0	0	0	0,974
DM_IV/80 ESKI OTOGAR_18457	0,993	0,2	0	0,2	0,974
DM_IV/79_07232	0,993	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/77_06958	0,993	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/76_07220	0,993	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/75_07233	0,993	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/73_07219	0,994	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/72_07221	0,994	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/71_07218	0,994	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/70_07217	0,994	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/68_07222	0,993	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/67_07223	0,993	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/66_12901	0,993	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/66-A_07225	0,995	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/65_07226	0,995	0	0	0	0,974
DM_IV/64_07227	1	0	0	0	0,974
DM_IV/64-A TOKI_12987	1	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/63_12925	0,995	0	0	0	0,974
DM_IV/63-A_07237	0,996	0	0	0	0,974
DM_IV/62_07236	0,993	0	0	0	0,974
DM_IV/61_07216	0,994	0	0	0	0,974
DM_IV/60_12924	0,994	0,2	0	0,2	0,974
DM_IV/5_12986	0,994	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/59_07272	0,989	0	0	0	0,974
DM_IV/58_12928	0,989	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/58-A_07271	0,989	0	0	0	0,974
DM_IV/55_07215	0,993	0	0	0	0,974
DM_IV/54_07590	0	0	0	0	1
DM_IV/53_07234	0,992	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/53-A_07274	0,992	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/52-B_18899	0,991	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/52-A_14544	0,991	0,1	0	0,1	0,974

DM_IV/51_12921	0,993	0	0	0	0,974
DM_IV/50_12920	0,993	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/4_07580	0,993	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/45_07231	0,994	0	0	0	0,974
DM_IV/41_12916	0,993	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/40_07235	0,994	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/3_07579	0,993	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/39_12915	0,994	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/39-A_07565	0,994	0	0	0	0,974
DM_IV/37_12914	0,994	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/37-B_07581	0,993	0	0	0	0,974
DM_IV/37-A_07637	0,993	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/36_07578	0,994	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/35_07229	0,994	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/34_07224	0,994	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/32_12908	0,993	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/31_07591	0,99	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/30_07575	0,99	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/2_07583	0,994	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/24_07632	0,989	0	0	0	0,974
DM_IV/23_07630	0,989	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/23-D_15409	0,989	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/23-C_07638	0,989	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/23-A_07633	0,989	0	0	0	0,974
DM_IV/21_07582	0,99	0	0	0	0,974
DM_IV/20-A_13003	0,99	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/1_12912	0,994	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/17_12913	0,99	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/16_07584	0,993	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/14_07576	0,993	0	0	0	0,974
DM_IV/13 FATIHTUR MO_12905	0,993	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/12_07585	0,993	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/11_06953	0,993	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/10_12909	0,993	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/107_07270	0,992	0	0	0	0,974
DM_IV/103_06968	0,993	0,1	0	0,1	0,974
DM_III/80_12988	0,992	0,1	0	0,1	0,974
DM_III/62_12959	0,993	0,1	0	0,1	0,974
DM_III/61_12992	0,994	0,1	0	0,1	0,974
DM_III/56_07204	0,996	0	0	0	0,974
DM_III/56-A_07203	0,996	0	0	0	0,974
DM_III/55_07193	0,995	0	0	0	0,974
DM_III/55-A_07207	0,995	0	0	0	0,974
DM_III/38_07205	0,996	0	0	0	0,974
DM_III-34_20529	0,991	0,1	0	0,1	0,974
DM_II/7-A_12958	0,994	0,1	0	0,1	0,974
DM_II/5_12886	0,994	0	0	0	0,974
DM_II/5-A UCGEN PARK_12887	0,994	0,1	0	0,1	0,974
DM_II/4_12899	0,995	0,1	0	0,1	0,974
DM_II/28_12985	0,994	0,1	0	0,1	0,974
DM_II/24_12898	0,994	0,1	0	0,1	0,974
DM_II/1_12897	0,995	0	0	0	0,974
DM_II/18 TOKI ESENTE_12933	0,992	0,3	0,1	0,3	0,974
DM_II/17 TOKI ESENTE_12934	0,992	0,2	0	0,2	0,974
DM_II/16_12892	0,994	0,1	0	0,1	0,974
DM_II/15_12893	0,994	0,1	0	0,1	0,974
DM_II/14_12894	0,995	0,1	0	0,1	0,974
DM_II/13_12895	0,995	0	0	0	0,974
DM_II/12_12891	0,994	0	0	0	0,974

DM_II/11_12890	0,994	0	0	0	0,974
DM_II/10-A_07502	0,993	0	0	0	0,974
DM_I/56_12845	0,996	0,1	0	0,1	0,974
DM_I/56-A_12844	0,996	0,1	0	0,1	0,974
DM_I/55_12843	0,996	0,1	0	0,1	0,974
DM_I/54_12846	0,996	0,1	0	0,1	0,974
DM_I/53_12860	0,996	0,1	0	0,1	0,974
DM_I/51_12856	0,996	0,1	0	0,1	0,974
DM_I/50_12853	0,996	0,1	0	0,1	0,974
DM_4/58-B_20427	0,989	0,1	0	0,1	0,974
DM6ATR01_20522	0,99	0,1	0	0,1	0,974
DM4-TR73A_20851	0	0	0	0	1
DM4-47_18814	0,993	0,1	0	0,1	0,974
DM06ATR07_20528	0,989	0,1	0	0,1	0,974
DM06ATR06_20527	0,989	0,1	0	0,1	0,974
DM06ATR05_20526	0,991	0,1	0	0,1	0,974
DM06ATR04_20525	0,991	0,1	0	0,1	0,974
DM06ATR03_20524	0,991	0,1	0	0,1	0,974
DM06ATR02_20523	0,99	0,1	0	0,1	0,974
DM03-TR35A3 MNB_18828	0,992	0,1	0	0,1	0,974
DICLE MERMER TR_07531	0,989	0	0	0	0,974
DEFTERDARLIK TR_14301	0,993	0,1	0	0,1	0,974
CEYLAN DUGUN SALONU_18055	0,989	0	0	0	0,974
CENGİZ TOPEL İÖO_59912	0,996	0	0	0	0,974
BIRMAN GIDA TR_14340	0,989	0	0	0	0,974
BEYAZYILDIZ TR_15257	0,992	0,1	0	0,1	0,974
BESPINAR SPOR SALONU_20075	0	0	0	0	1
BELEDİYE KONKASOR TR_07562	0,99	0	0	0	0,974
BELEDİYE KONKASOR TR_07561	0,99	0,1	0	0,1	0,974
BELEDİYE ARITMA TR_20647	1	0,1	0	0,1	0,974
BELEDİYE ARITMA TR_20647	1	0,1	0	0,1	0,974
BEDEN TERBYESİ YUZME_06962	0,993	0	0	0	0,974
AVEA VODAFONE İS ORT_20654	0,989	0	0	0	0,974
ARAŞTIRMA HASTANESİ_13922	0,993	0,3	0,1	0,3	0,974
ANADOLU OGRET MEN LİS_07513	0,993	0,1	0	0,1	0,974
ADİYAMAN İŞKUR TR_31192	0,994	0,1	0	0,1	0,974
ADİYAMAN YENİ OTOGAR_13008	0,989	0,2	0	0,2	0,974
ADİYAMAN UNV. TIP FA_11047	0,994	0,3	0,1	0,3	0,974
ADİYAMAN FEN LİSESİ_13863	0,993	0	0	0	0,974
ADİYAMAN BELEDİYESİ_89011	0,991	0,1	0	0,1	0,974
ABUZER ÇELİK TR_16565	0,989	0	0	0	0,974
A.KADIR EROĞLU GES_19071	1	0,2	0	0,2	0,974
75. YIL İMKB YİBO TR_13930	0,995	0,1	0	0,1	0,974
400 YATAKLI TR_20441	0,989	0,3	0,1	0,3	0,974
400 YATAKLI TR_20441	0,989	0,3	0,1	0,3	0,974
400 YATAKLI TR_20441	0,989	0,3	0,1	0,3	0,974
400 YATAKLI TR_20441	0,989	0,3	0,1	0,3	0,974
23 NİSAN İÖO TR_07593	0,99	0	0	0	0,974
16.DERSLİKLİ BİLİM S_14702	0,993	0	0	0	0,974
ÖZEL HAREKAT TR_93292	0,989	0,1	0	0,1	0,974
YUNUS EMRE GES DM_19149	1	0	0	0	0,974
KREDİ YURTLAR KURUMU_11043	0,996	0,1	0	0,1	0,974
GAZETECİLER CEMİYETİ_12035	0,992	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/6_12902	0,993	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/52_12919	0,992	0	0	0	0,974
DM_IV/33_12911	0,994	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/26_12907	0,99	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/20_12906	0,99	0,1	0	0,1	0,974
DM_IV/19_12904	0,99	0	0	0	0,974

DM_IV-64 B TOKI_18958	1	0,1	0	0,1	0,974
DM_II/8_15852	0,994	0	0	0	0,974
DM_II/7_57782	0,994	0,1	0	0,1	0,974
DM_II/6_07517	0,994	0,1	0	0,1	0,974
DM_II/2_12896	0,995	0	0	0	0,974
DM_II/27-A_10678	0,994	0,1	0	0,1	0,974
DM_I/52_15410	0,996	0,1	0	0,1	0,974
DM4-57_12918	0,989	0,1	0	0,1	0,974
DM4---74_12927	0,993	0,1	0	0,1	0,974
DM4---69_12900	0,994	0,2	0	0,2	0,974
DM-6A DM_13007	0,99	0,1	0	0,1	0,974
DM-5A DM_13075	0,996	0,1	0	0,1	0,974
DM-4ADM_12999	0,994	0,1	0	0,1	0,974
DM-3 ADM_13018	0	0	0	0	1
DM-2A-DM_13027	0,995	0	0	0	0,974
DM-1 ADM_12998	0	0	0	0	1
DM_1/40_12937	0	0	0	0	1
ADİYAMAN TM_13097	0	0	0	0	1
ADİYAMAN TM_13097	0	0	0	0	1

EK 3 Optimizasyon Sonuçları

Çalışması Sayısı	Gerilim Sapma Değeri Q desteği yokken	Gerilim Sapma Değeri PSO ile	Gerilim Sapma Değeri GA ile	Gerilim Sapma Değeri JAYA ile	Gerilim Sapma Değeri FA ile
1	1,2596424	1,029474	1,023787	1,00404	1,018953
2	1,2596424	1,005882	1,01071	0,990782	1,02229
3	1,2596424	0,999478	1,020571	1,010767	1,032268
4	1,2596424	1,035298	1,01176	1,011594	1,01887
5	1,2596424	1,032496	1,004622	0,994474	1,009942
6	1,2596424	1,024721	1,025492	1,014592	1,029229
7	1,2596424	1,026884	1,012622	1,01495	1,000615
8	1,2596424	1,030982	1,029066	1,026637	1,028594
9	1,2596424	1,01753	1,034795	0,99895	1,027961
10	1,2596424	1,016335	0,999904	1,018991	1,017038
11	1,2596424	1,030912	1,003726	1,018473	1,005443
12	1,2596424	1,018581	1,014473	1,01505	1,024857
13	1,2596424	1,019451	1,027681	0,987829	1,031272
14	1,2596424	0,998255	1,016715	0,992676	1,013952
15	1,2596424	1,009612	1,013694	0,992419	1,033012
16	1,2596424	1,013555	0,998155	1,017593	1,003813
17	1,2596424	1,006665	1,010489	0,995295	1,001082
18	1,2596424	1,026023	1,009301	1,027028	1,005579
19	1,2596424	1,021592	1,002407	1,019642	1,029552
20	1,2596424	1,019937	1,005139	0,997947	1,031517
21	1,2596424	1,026431	1,021518	0,993887	1,024326
22	1,2596424	1,006463	1,03036	1,022213	1,005747
23	1,2596424	0,998066	1,025977	1,008685	1,029856
24	1,2596424	0,995873	1,014528	1,013891	1,021068
25	1,2596424	1,021279	0,999735	1,006765	0,9972
26	1,2596424	1,020073	1,034782	1,004884	1,007294
27	1,2596424	0,996356	1,002966	0,989866	1,014139
28	1,2596424	1,004912	0,997797	0,989083	1,027787
29	1,2596424	1,021799	1,004949	1,011996	1,014644
30	1,2596424	1,010642	1,0314	0,992291	0,997105

31	1,2596424	1,023863	1,026455	1,000466	1,010694
32	1,2596424	1,018973	1,024272	1,024373	1,034523
33	1,2596424	1,021106	1,034506	0,991184	1,012789
34	1,2596424	1,034293	1,017879	1,025703	1,026835
35	1,2596424	1,015322	1,026284	0,998124	1,024617
36	1,2596424	1,006039	1,001181	1,013344	1,024163
37	1,2596424	1,000997	1,035567	1,009884	1,006381
38	1,2596424	1,0283	1,009423	1,017264	1,026816
39	1,2596424	1,016983	1,012608	1,024027	1,013989
40	1,2596424	0,999595	1,025606	1,00107	1,012953
41	1,2596424	1,020305	1,032458	1,015625	1,00871
42	1,2596424	1,013235	1,015018	1,020406	0,996607
43	1,2596424	0,998123	1,006552	0,994383	1,030996
44	1,2596424	1,020948	1,019453	1,026698	1,025648
45	1,2596424	1,019726	1,023326	1,005386	1,018788
46	1,2596424	0,999879	1,019155	0,989375	1,003687
47	1,2596424	1,009871	0,998659	1,000311	1,031396
48	1,2596424	1,017796	1,037352	1,009479	1,03198
49	1,2596424	1,031191	1,018501	1,021141	1,013552
50	1,2596424	1,021117	1,029692	1,004165	1,0273
51	1,2596424	1,033074	1,0236	1,008935	1,017392
52	1,2596424	1,0297	1,036736	1,020492	1,0079
53	1,2596424	1,009908	1,015794	1,005969	1,000562
54	1,2596424	1,016581	1,01986	1,023883	0,997723
55	1,2596424	0,997771	1,031938	1,023373	0,997505
56	1,2596424	1,009547	0,998002	1,007783	1,032739
57	1,2596424	1,001269	1,012433	0,999611	1,00351
58	1,2596424	1,024856	1,011776	0,988742	1,018264
59	1,2596424	1,035404	1,003465	1,001917	1,020318
60	1,2596424	1,025392	1,027956	1,005599	1,031564
61	1,2596424	1,027174	1,000268	1,000847	1,013631
62	1,2596424	1,00295	0,997953	0,998608	1,020895
63	1,2596424	1,030522	1,008583	1,011075	1,024421
64	1,2596424	1,008686	1,007272	1,006148	1,032363
65	1,2596424	1,00511	1,010561	0,988048	1,019243

66	1,2596424	1,031455	1,019036	1,025252	1,030193
67	1,2596424	1,022831	1,003544	1,007389	1,011782
68	1,2596424	0,997855	1,034735	1,01004	0,996665
69	1,2596424	1,010726	1,03515	0,998271	1,026945
70	1,2596424	1,022086	1,01558	1,018896	1,021425
71	1,2596424	1,033168	1,002964	1,005248	1,026598
72	1,2596424	1,004521	1,021614	1,01688	1,028688
73	1,2596424	1,009841	1,034585	0,992162	1,009557
74	1,2596424	1,014353	1,022031	1,017087	1,004733
75	1,2596424	1,00639	1,027435	1,004739	1,030851
76	1,2596424	1,030432	1,030459	1,002792	1,019875
77	1,2596424	1,03475	1,016017	1,00059	1,001724
78	1,2596424	1,031309	1,012617	0,990287	0,998676
79	1,2596424	1,004738	1,033237	1,027488	1,017987
80	1,2596424	1,00136	1,030193	1,01593	1,01174
81	1,2596424	1,005233	0,998491	1,019054	1,012871
82	1,2596424	1,009443	0,998158	1,01515	1,003841
83	1,2596424	1,029378	1,037206	1,022096	1,029473
84	1,2596424	1,02813	1,034189	1,008193	1,01459
85	1,2596424	1,025706	1,037589	1,011415	1,020517
86	1,2596424	1,001609	1,029233	1,019604	1,012302
87	1,2596424	0,997974	1,021804	1,009166	1,004107
88	1,2596424	1,035179	1,023506	1,017758	1,005855
89	1,2596424	1,011287	1,004308	1,021916	1,025054
90	1,2596424	1,00499	1,00454	1,018196	1,026004
91	1,2596424	1,004578	0,997914	1,023197	1,027339
92	1,2596424	1,021794	1,019004	1,013295	1,009147
93	1,2596424	1,018828	1,031111	1,004498	1,002712
94	1,2596424	1,002684	1,030457	0,999316	1,025018
95	1,2596424	1,031341	1,02584	1,017969	1,016332
96	1,2596424	1,000269	1,036488	1,016983	1,010968
97	1,2596424	1,012835	1,020204	0,999918	1,033108
98	1,2596424	1,029829	1,00924	1,025961	1,007903
99	1,2596424	1,022431	1,023327	1,011579	1,020986
100	1,2596424	0,997582	1,026454	0,998069	1,025452

EK 4 PowerFactory Projesinin Python Aracılığıyla Aktivasyonu

```
python_release = str(sys.version_info[0]) + "." + str(sys.version_info[1])
pf_path = "C:\Program Files\DigSILENT\PowerFactory 2022 SP3"
os.environ["PATH"] = pf_path + ";" + os.environ["PATH"]
py_pf_path = pf_path + "\\Python\\" + python_release # 3.6"
sys.path.append(str(py_pf_path))
import powerfactory as pf
app = pf.GetApplication()
if app is None:
    print("HATA! DigSILENT PowerFactory ile Baglanti Kurulamadi!")
user = app.GetCurrentUser()
print("Collecting Network data and preparing for optimization algorithm...")
cont_prj = app.ActivateProject("Adiyaman TM - Şehir 1_PSO") # NAME OF THE
PROJECT
```



EK 5 PSO Algoritması Python Uygulaması

main loop of pso

Iter = 0

while Iter < max_iter:

print("PSO algorithm is running. Iteration= " + str(Iter + 1) + "/" + str(max_iter))

for i **in** range(n): *# process each particle*

convergence = 0

while convergence == 0:

compute new velocity of current particle

for k **in** range(dim): *# evaluate each PV*

r1 = rnd.random() *# randomizations*

r2 = rnd.random()

```
swarm[i].velocity[k] = (
    ((w_max - (w_max - w_min) * Iter / max_iter) *
     swarm[i].velocity[k]) +
    (c1 * r1 * (swarm[i].best_part_pos[k] - swarm[i].position[k])) +
    (c2 * r2 * (best_swarm_pos[k] - swarm[i].position[k]))
)
```

compute new position using new velocity

for k **in** range(dim):

swarm[i].position[k] += swarm[i].velocity[k]

if position[k] is not in [minx, maxx]; then clip it

if swarm[i].position[k] < minx[k]:

swarm[i].position[k] = minx[k]

elif swarm[i].position[k] > maxx[k]:

swarm[i].position[k] = maxx[k]

max Q changes with PV terminal voltages. So, check if Q in limits. If not, recalculate

minQ_check = [0] * dim

maxQ_check = [0] * dim

p = 0

fitness(swarm[i].position) *# to get new operating point*

for PV_terminal **in** PV_terminals:

PV_terminal_vol[p] = getattr(PV_terminal, 'm:u')

p += 1

p = 0

for PV **in** PVs:

V_g = PV_terminal_vol[p]

```
minQ_check[p] = max(-math.sqrt(PV_S[p] ** 2 - PV_Pgen[p] ** 2),
    -math.sqrt(3 * V_g * V_t / x_eq - PV_Pgen[p] ** 2) - V_g ** 2 /
```

x_eq,

```
-math.sqrt(PV_Pgen[p]**2 / pf_min[p] ** 2 - PV_Pgen[p]**2)) #
```

in p.u.

```
maxQ_check[p] = min(math.sqrt(PV_S[p] ** 2 - PV_Pgen[p] ** 2),
```

```

x_eq,
    math.sqrt(3 * V_g * V_t / x_eq - PV_Pgen[p] ** 2) - V_g ** 2 /
    math.sqrt(PV_Pgen[p]**2 / pf_min[p] ** 2 - PV_Pgen[p]**2)) # in
p.u.

    PV.q_min = minQ_check[p]
    PV.q_max = maxQ_check[p]
    p += 1
maxx = maxQ_check
minx = minQ_check

# compute fitness of new position --- This data comes from DIgSILENT

swarm[i].fitness = fitness(swarm[i].position)
e = [0] * dim
for k in range(dim):
    if minQ_check[k]*1.001 <= swarm[i].position[k] <= maxQ_check[k]*1.001:
        e[k] = 1
if sum(e) == dim:
    convergence = 1
    # Personal best evaluation
    if swarm[i].fitness < swarm[i].best_part_fitnessVal:
        swarm[i].best_part_fitnessVal = swarm[i].fitness
        swarm[i].best_part_pos = copy.copy(swarm[i].position)

    # Global best evaluation
    if swarm[i].fitness < best_swarm_fitnessVal:
        best_swarm_fitnessVal = swarm[i].fitness
        best_swarm_pos = copy.copy(swarm[i].position)
        minQ_best = minQ_check
        maxQ_best = maxQ_check

# for-each particle
    Iter += 1
# end_while
return best_swarm_pos, best_swarm_fitnessVal

```

EK 6 Genetik Algoritması Python Uygulaması

```
for generation in range(generations):
    print("Generation: ", generation+1)
    i = 0
    fitness = []
    for i in range(len(population)):
        j = 0
        for PV in PVs:
            PV.qgini = population[i][j] * PV.sgn
            j += 1

        oLoadflow.Execute() # execute load flow
        loss = getattr(summary_grid, 'c:LossP')
        # Calculate voltage violation index with new operating condition
        VVI = 0
        for terminal in terminals:
            VVI += abs(getattr(terminal, 'm:u') - 1)
        if loss <= loss_without:
            fitnessVal = VVI
        else:
            fitnessVal = VVI + 1000
        fitness.append(fitnessVal)
    fitness = np.array(fitness)
    fittestIndex = np.where(fitness == np.min(fitness))[0][0]
    # Getting Best chromosome
    fittestInd = population[fittestIndex, :]
    bestFitness = fitness[fittestIndex]
    print("Best Fitness: " + str(bestFitness))
    # Following statement will create an empty two dimensional array to store parents
    parents = np.empty((mattingPoolSize, population.shape[1]))
    # A loop to extract one parent in each iteration
    for p in range(mattingPoolSize):
        # Finding index of fittest chromosome in the population
        fittestIndex = np.where(fitness == np.min(fitness))
        # Extracting index of fittest chromosome
        fittestIndex = fittestIndex[0][0]
        # Copying fittest chromosome into parents array
        parents[p, :] = population[fittestIndex, :]
        # Changing fitness of fittest chromosome to avoid reselection of that chromosome
        fitness[fittestIndex] = 9999
    # Following statement will create an empty two dimensional array to store offspring
    offspring = np.empty((offspringSize, population.shape[1]))
    for k in range(offspringSize):
        #Determining the crossover point
        crossoverPoint = np.random.randint(0, genes)
        # Index of the first parent.
        parent1Index = k % parents.shape[0]
        # Index of the second.
        parent2Index = (k+1) % parents.shape[0]
        # Extracting first half of the offspring
```

```

offspring[k, 0: crossoverPoint] = parents[parent1Index, 0: crossoverPoint]
# Extracting second half of the offspring
offspring[k, crossoverPoint:] = parents[parent2Index, crossoverPoint:]
# Implementation of random initialization mutation.
for index in range(offspring.shape[0]):
    randomIndex = np.random.randint(1, genes)
    randomValue = np.random.uniform(lb[randomIndex], ub[randomIndex], 1)
    offspring [index, randomIndex] = offspring [index, randomIndex] + randomValue
population[0:parents.shape[0], :] = parents.clip(lb, ub)
population[parents.shape[0]:, :] = offspring.clip(lb, ub)

```



EK 7 JAYA Algoritması Python Uygulaması

```
def jaya(*argv):
    pop_size, Gen, mini, maxi = argv
    lb = np.array(mini)
    ub = np.array(maxi)
    p1 = initialpopulation(lb, ub, pop_size)
    p1['f'] = myobj(p1)

    dim = len(lb)
    gen = 0
    best = []
    while (gen < Gen):
        print("iteration= " + str(gen + 1) + "/" + str(Gen))
        new_p1 = updatepopulation(p1, dim)
        new_p1 = trimr(new_p1, lb, ub)
        new_p1['f'] = myobj(new_p1)
        p1 = greedyselector(p1, new_p1)
        gen = gen + 1
        best = p1['f'].min()
        xbest = p1.loc[p1['f'].idxmin()][0:dim].tolist()
    # print('Best={}'.format(best))
    # print('xbest={}'.format(xbest))
    return best, xbest
```

EK 8 Ateş Böceği Algoritması Python Uygulaması

try:

```
# Initialize fireflies randomly within the bounds
num_dimensions = len(bounds)
fireflies = []
for i in range(0, num_dimensions):
    fireflies.append(np.random.uniform(low=bounds[i][0], high=bounds[i][1],
size=(num_fireflies, 1)).tolist())
fireflies = np.array(fireflies)
fireflies = np.transpose(np.reshape(fireflies, (num_dimensions, num_fireflies)))
# Initialize the best solution and its fitness value
best_solution = fireflies[0]
best_fitness = function(best_solution)
# Run the algorithm for the specified number of generations
for generation in range(max_generations):
    # Calculate the attractiveness between each pair of fireflies
    attractiveness = np.zeros((num_fireflies, num_fireflies))
    fitnesses = []
    for i in range(num_fireflies):
        fitnesses.append(function(fireflies[i]))
    for i in range(num_fireflies):
        for j in range(num_fireflies):
            if fitnesses[j] < fitnesses[i]:
                distance = np.linalg.norm(fireflies[i] - fireflies[j])
                attractiveness[i, j] = alpha / (1 + beta * distance ** 2)
    # Move each firefly towards the most attractive one
    for i in range(num_fireflies):
        for j in range(num_fireflies):
            if attractiveness[i, j] > 0:
                distance = np.linalg.norm(fireflies[i] - fireflies[j])
                step_size = gamma * (np.random.rand(num_dimensions) - 0.5)
                fireflies[i] += attractiveness[i, j] * (fireflies[j] - fireflies[i]) + step_size
    # Ensure the firefly stays within the bounds
    for k in range(num_dimensions):
        if fireflies[i, k] < bounds[k][0]:
            fireflies[i, k] = bounds[k][0]
        elif fireflies[i, k] > bounds[k][1]:
            fireflies[i, k] = bounds[k][1]
    # Update the best solution if a better one is found
    fitness = function(fireflies[i])
    if fitness < best_fitness:
        best_solution = fireflies[i]
        best_fitness = fitness
    print("iteration " + str(generation + 1) + " best_solution:" + str(best_solution) + "
best_fitness:" + str(best_fitness))
    return (best_solution, best_fitness)
except Exception as e:
    # Log the error
    print(f"Error: {e}")
    return (None, None)
```

EK 9 Inverter Datasheet

Registers

Holding Registers

Register address (1)	Number of registers	Register content description	Range	Default value	Unit	Data type	Notes
0180	1	Remote on/off	0 or 1	0		Unsigned Integer	0 = Remote on; 1 = Remote off NOTE: This register can be written only if the "Remote on/off" function is enabled in the inverter.
0181	1	Reset by-hand	0 or 1	0		Unsigned Integer	Set to 1 to reset the alarms manually. After the reset, this register is reset to 0. NOTE: This register can be written only if the "Reset by-hand" function is enabled in the inverter.
0181 to 0189	9	RESERVED					
0190	1	Permanent and dynamic mode - Power ramping interval -Holds time interval used by Inverter when write commands to registers 0200, 0202, 0210, 0212, 0220, 0222, 0225 or 0227 are received	See Note 12	See Note 12	See Note 12	Unsigned Integer	
0191	1	Dynamic mode - Timeout - Holds initial value of countdown timer used by Inverter to time out a Dynamic Mode command of Active or Reactive Power. It is read when new values of PF or Active Power are written to registers 0200, 0210, 0220 or 0225 respectively.	0 to 250	2	min	Unsigned Integer	
0192 to 0197	6	RESERVED					
0198	1	Set transient options	See Note 13	See Note 13	See Note 13	Unsigned Integer	
0199	1	RESERVED					
0200	2	Dynamic Mode - Reactive Power management by fixed PF	-1.0 to -0.8 OR 0.8 to 1.0	1	N/A	IEEE 32 Float	Set a negative value for over-excited (capacitive injection) or a positive value for under-excited (inductive injection). Must be used with registers 0190, 0191, 0198 and 0299
0202	2	Permanent Mode - Reactive Power management by fixed PF	-1.0 to -0.8 OR 0.8 to 1.0	1	N/A	IEEE 32 Float	Set a negative value for over-excited (capacitive injection) or a positive value for under-excited (inductive injection). Must be used with registers 0190, 0198 and 0299
0204	1	RESERVED					
0205	1	Permanent Mode - Reset PF to 1	0 or 1 (Toggle bit)	0	Decimal	Unsigned Integer	When the register is written to 1, the inverter resets PF setting from current value to 1 and the register value resets to 0

Register address [1]	Number of registers	Register content description	Range	Default value	Unit	Data type	Notes
0206 to 0209	4	RESERVED					
0210	1	Dynamic Mode – Active Power management; set Active Power expressed as percentage of Nominal Power (P_{NOM}) in 1% steps	0 to 100	100	%	Unsigned Integer	Must be used with registers 0190, 0191, 0198 and 0299
0211	1	RESERVED					
0212	1	Permanent Mode – Active Power management; set Active Power expressed as percentage of Nominal Power (P_{NOM}) in 1% steps	0 to 100	100	%	Unsigned Integer	Must be used with registers 0190, 0198 and 0299
0213 to 0214	2	RESERVED					
0215	1	Permanent Mode – Reset Active Power to 100% of Nominal Power (P_{NOM})	0 or 1 (Toggle bit)	0	Decimal	Unsigned Integer	When the register is written to 1, the Inverter resets Active Power setting from current value to 100% of P_{NOM} and the register value resets to 0
0216 to 0219	4	RESERVED					
0220	2	Dynamic Mode – Reactive power management; set fixed Q by conventional PF	-0.8 to 0.8	0	N/A	IEEE 32 Float	Set a negative value for over-excited (capacitive injection) or a positive value for under-excited (inductive injection). Must be used with registers 0190, 0191, 0198 and 0299
0222	2	Permanent Mode – Reactive power management; set fixed Q by conventional PF	-0.8 to 0.8	0	N/A	IEEE 32 Float	Set a negative value for over-excited (capacitive injection) or a positive value for under-excited (inductive injection). Must be used with registers 0190, 0198 and 0299
0224	1	RESERVED					
0225	1	Dynamic Mode – Reactive Power management; set fixed Q by percentage of Nominal Power (P_{NOM}) in 1% steps	-80 to 80	0	%	Signed Integer	Set a negative value for over-excited (capacitive injection) or a positive value for under-excited (inductive injection). Must be used with registers 0190, 0191, 0198 and 0299
0226	1	RESERVED					
0227	1	Permanent Mode – Reactive Power management; set fixed Q by percentage of Nominal Power (P_{NOM}) in 1% steps	-80 to 80	0	%	Signed Integer	Set a negative value for over-excited (capacitive injection) or a positive value for under-excited (inductive injection). Must be used with registers 0190, 0198 and 0299
0299	1	Transient options configurable	0 to 1	0	Decimal	Unsigned Integer	Read-only register. 0 = The transient options are not configurable (holding registers 0198 and 0505); 1 = The transient options are configurable (holding registers 0198 and 0505)
0300	1	Heartbeat counter	0 to 65535	0	Decimal	Unsigned Integer	Increments every second. Resets to 0 automatically when reaches 65535
0301	2	Inverter – Grid Reactive Power	-	-	VAR	IEEE 32 Float	Read-only register. If the read of the Reactive Power is not supported by the inverter, returns 0xFFFFFFFF
0303	2	Inverter – Grid Voltage	-	-	V	IEEE 32 Float	Read-only register

Register address [1]	Number of registers	Register content description	Range	Default value	Unit	Data type	Notes
0305	2	Inverter – Grid Power	-	-	W	IEEE 32 Float	Read-only register
0307	2	Inverter – Grid Current	-	-	A	IEEE 32 Float	Read-only register
0501	1	Set unit of registers 0507, 0508, 0511 and 0512 (% or ‰).	0 to 1	0	Decimal	Unsigned Integer	0 = ‰; 1 = %
0502	1	Set active mode (permanent or dynamic)	0 to 1	0	Decimal	Unsigned Integer	0 = Dynamic mode; 1 = Permanent mode
0503	1	Permanent and dynamic mode – Power ramping interval – Holds time interval used by Inverter when write commands to registers 0507, 0508, 0509, 0511, 0512 or 0513 are received	See Note 12	See Note 12	See Note 12	Unsigned Integer	
0504	1	Dynamic mode – Timeout – Holds initial value of countdown timer used by Inverter to time out a Dynamic Mode command of Active or Reactive Power. It is read when new values of PF or Active Power are written to registers 0507, 0508 or 0509, respectively.	0 to 250	2	min	Unsigned Integer	
0505	1	Set transient options	See Note 13	See Note 13	See Note 13	Unsigned Integer	
0506	1	Set reactive power control mode (Q fixed or PF fixed)	0 to 1	0	Decimal	Unsigned Integer	0 = PF fixed mode ; 1 = Q fixed mode
0507	1	Dynamic Mode – Reactive Power management; set fixed Q by percentage of Nominal Power (P _{NOM}) in 1% steps	-80 to 80 OR -800 to 800	0	% OR ‰	Signed Integer	Set a negative value for over-excited (capacitive injection) or a positive value for under-excited (inductive injection). Must be used with registers 0299, 0501, 0502, 0503, 0504, 0505 and 0506
0508	1	Dynamic Mode – Active Power management; set Active Power expressed as percentage of Nominal Power (P _{NOM}) in 1% steps	0 to 100 OR 0 to 1000	100 OR 1000	% OR ‰	Unsigned Integer	Must be used with registers 0299, 0501, 0502, 0503, 0504 and 0505
0509	2	Dynamic Mode – Reactive Power management by fixed PF	-1.0 to -0.8 OR 0.8 to 1.0	1	N/A	IEEE 32 Float	Set a negative value for over-excited (capacitive injection) or a positive value for under-excited (inductive injection). Must be used with registers 0299, 0502, 0503, 0504, 0505 and 0506
0511	1	Permanent Mode – Reactive Power management; set fixed Q by percentage of Nominal Power (P _{NOM}) in 1% steps	-80 to 80 OR -800 to 800	0	% OR ‰	Signed Integer	Set a negative value for over-excited (capacitive injection) or a positive value for under-excited (inductive injection). Must be used with register 0299, 0501, 0502, 0503, 0505 and 0506
0512	1	Permanent Mode – Active Power management; set Active Power expressed as percentage of Nominal Power (P _{NOM}) in 1% steps	0 to 100 OR 0 to 1000	100 OR 1000	% OR ‰	Unsigned Integer	Must be used with register 0299, 0501, 0502, 0503 and 0505
0513	2	Permanent Mode – Reactive Power management by fixed PF	-1.0 to -0.8 OR 0.8 to 1.0	1	N/A	IEEE 32 Float	Set a negative value for over-excited (capacitive injection) or a positive value for under-excited (inductive injection). Must be used with

Register address [1]	Number of registers	Register content description	Range	Default value	Unit	Data type	Notes
							register 0299, 0502, 0503, 0505 and 0506
0515	1	Reset Active Power management	0 or 1 (Toggle bit)	0	Decimal	Unsigned Integer	When the register is written to 1, the Inverter resets Active Power setting from current value to 100% of P_{NOM} and the register value resets to 0
0516	1	Reset Reactive Power management	0 or 1 (Toggle bit)	0	Decimal	Unsigned Integer	When the register is written to 1, the Inverter resets PF setting from current value to 1 or Q setting from current value to 0 and the register value resets to 0



Input Registers

Inverter

Register address (H)	Number of registers	Register content description	Unit	Data type	Notes
0100	1	Inverter – Start register	Decimal	Unsigned Integer	Fixed Value: 4370
0101	1	Inverter – Map size	Decimal	Unsigned Integer	Fixed Value: 72
0102	1	Inverter – Map Version – Major and minor version in numerical format	Decimal	Unsigned Integer	Fixed Value: 02
0103	1	Inverter address	Decimal	Unsigned Integer	
0104	1	Inverter – Serial number (SN0)	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	Six bytes in write order: MSB.....LSB SN0 SN1 SN2 SN3 SN4 SN5
0105	1	Inverter – Serial number (SN1)	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	
0106	1	Inverter – Serial number (SN2)	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	
0107	1	Inverter – Serial number (SN3)	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	
0108	1	Inverter – Serial number (SN4)	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	
0109	1	Inverter – Serial number (SN5)	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	
0110	1	Inverter – Part number (PN0)	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	Six bytes in write order: MSB.....LSB PN0 PN1 PN2 PN3 PN4 PN5
0111	1	Inverter – Part number (PN1)	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	
0112	1	Inverter – Part number (PN2)	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	
0113	1	Inverter – Part number (PN3)	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	
0114	1	Inverter – Part number (PN4)	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	
0115	1	Inverter – Part number (PN5)	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	
0116	1	Inverter – Model identifier	Decimal	Unsigned Integer	See Note 2
0117	1	Inverter – Country/Grid standard	Decimal	Unsigned Integer	See Note 3
0118	1	Inverter – Transformer type	Decimal	Unsigned Integer	See Note 4
0119	1	Inverter – Inverter type	Decimal	Unsigned Integer	See Note 5
0120	1	Inverter – Week production – High byte	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	
0121	1	Inverter – Week production – Low byte	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	
0122	1	Inverter – Year production – High byte	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	
0123	1	Inverter – Year production – Low byte	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	
0124	1	Inverter – States (Byte 0) – Global state	Decimal	Unsigned Integer	See Note 6

Register address (1)	Number of registers	Register content description	Unit	Data type	Notes
0125	1	Inverter – States (Byte 1) – Inverter state	Decimal	Unsigned Integer	See Note 7
0126	1	Inverter – States (Byte 2) – DC/DC Channel 1 state	Decimal	Unsigned Integer	See Note 8
0127	1	Inverter – States (Byte 3) – DC/DC Channel 2 state	Decimal	Unsigned Integer	See Note 8
0128	1	Inverter – States (Byte 4) – Alarm state	Decimal	Unsigned Integer	See Note 9
0129	1	Display Board – Presence – Indicates status of board to inverter	Decimal	Unsigned Integer	0= Not Present; 1= Present
0130	1	Communication Board – Presence – Indicates status of board to inverter	Decimal	Unsigned Integer	0= Not Present; 1= Present
0131	1	Fuse Control Board – Presence – Indicates status of board to inverter	Decimal	Unsigned Integer	0= Not Present; 1= Present Not used in –US model
0132	2	Inverter – Daily Energy	Wh	IEEE 32 Float	
0134	2	Inverter – Total Energy	kWh	IEEE 32 Float	
0136	2	Inverter – Partial Energy	kWh	IEEE 32 Float	
0138	2	Inverter – Week Energy	kWh	IEEE 32 Float	
0140	2	Inverter – Monthly Energy	kWh	IEEE 32 Float	
0142	2	Inverter – Yearly Energy	kWh	IEEE 32 Float	
0144	2	Inverter – Grid Voltage	V	IEEE 32 Float	Vgrid phase-neutral (phase R)
0146	2	Inverter – Grid Current	A	IEEE 32 Float	
0148	2	Inverter – Grid Power	W	IEEE 32 Float	
0150	2	Inverter – Frequency	Hz	IEEE 32 Float	
0152	2	Inverter – Input 1 Power	W	IEEE 32 Float	
0154	2	Inverter – Input 1 Voltage	V	IEEE 32 Float	
0156	2	Inverter – Input 1 Current	A	IEEE 32 Float	
0158	2	Inverter – Input 2 Power	W	IEEE 32 Float	
0160	2	Inverter – Input 2 Voltage	V	IEEE 32 Float	
0162	2	Inverter – Input 2 Current	A	IEEE 32 Float	
0164	2	Inverter – Inverter Temperature	°C	IEEE 32 Float	
0166	2	Inverter – Booster Temperature	°C	IEEE 32 Float	
0168	2	Inverter – Isolation Resistance	MΩ	IEEE 32 Float	
0170	2	Inverter – Wind Generator Frequency	Hz	IEEE 32 Float	

Register address (i)	Number of registers	Register content description	Unit	Data type	Notes
0172	2	Inverter – Cos(φ)	N/A	IEEE 32 Float	
0174	1	Inverter – Presence – Indicates status of board to inverter	Decimal	Unsigned Integer	0= Not Present; 1= Present



Auxiliary Boards

Register address [1]	Number of registers	Register content description	Unit	Data type	Notes
0250	1	Auxiliary Boards – Start register	Decimal	Unsigned Integer	Fixed Value: 8739
0251	1	Auxiliary Board – Map size	Decimal	Unsigned Integer	Fixed Value: 117
0252	1	Auxiliary Board – Map Version – Major and minor version in numerical format	Decimal	Unsigned Integer	Fixed Value: 02
0253	1	RESERVED			
0254	1	Inverter – Serial number (SN0)	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	Six bytes in write order: MSB.....LSB SN0 SN1 SN2 SN3 SN4 SN5
0255	1	Inverter – Serial number (SN1)	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	
0256	1	Inverter – Serial number (SN2)	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	
0257	1	Inverter – Serial number (SN3)	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	
0258	1	Inverter – Serial number (SN4)	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	
0259	1	Inverter – Serial number (SN5)	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	
0260 to 0275	16	RESERVED			
0276	1	Communication Board – Serial number (SN0)	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	Six bytes in write order: MSB.....LSB SN0 SN1 SN2 SN3 SN4 SN5
0277	1	Communication Board – Serial number (SN1)	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	
0278	1	Communication Board – Serial number (SN2)	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	
0279	1	Communication Board – Serial number (SN3)	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	
0280	1	Communication Board – Serial number (SN4)	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	
0281	1	Communication Board – Serial number (SN5)	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	
0282	1	Communication Board – Part number (PN0)	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	Six bytes in write order: MSB.....LSB PN0 PN1 PN2 PN3 PN4 PN5
0283	1	Communication Board – Part number (PN1)	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	
0284	1	Communication Board – Part number (PN2)	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	
0285	1	Communication Board – Part number (PN3)	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	
0286	1	Communication Board – Part number (PN4)	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	
0287	1	Communication Board – Part number (PN5)	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	
0288	1	Communication Board – Week production – High byte	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	
0289	1	Communication Board – Week production – Low byte	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	
0290	1	Communication Board – Year production – High byte	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	
0291	1	Communication Board – Year production – Low byte	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	

Register address [1]	Number of registers	Register content description	Unit	Data type	Notes
0292	1	Fuse Control Board – Serial number (SN0)	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	Six bytes in write order: MSB.....LSB SN0 SN1 SN2 SN3 SN4 SN5 Not used in –US model
0293	1	Fuse Control Board – Serial number (SN1)	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	
0294	1	Fuse Control Board – Serial number (SN2)	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	
0295	1	Fuse Control Board – Serial number (SN3)	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	
0296	1	Fuse Control Board – Serial number (SN4)	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	
0297	1	Fuse Control Board – Serial number (SN5)	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	
0298	1	Fuse Control Board – Part number (PN0)	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	Six bytes in write order: MSB.....LSB PN0 PN1 PN2 PN3 PN4 PN5 Not used in –US model
0299	1	Fuse Control Board – Part number (PN1)	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	
0300	1	Fuse Control Board – Part number (PN2)	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	
0301	1	Fuse Control Board – Part number (PN3)	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	
0302	1	Fuse Control Board – Part number (PN4)	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	
0303	1	Fuse Control Board – Part number (PN5)	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	
0304	1	Fuse Control Board – Week production – High byte	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	Not used in –US model
0305	1	Fuse Control Board – Week production – Low byte	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	Not used in –US model
0306	1	Fuse Control Board – Year production – High byte	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	Not used in –US model
0307	1	Fuse Control Board – Year production – Low byte	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	Not used in –US model
0308	1	Communication Board – States (Byte 4)	Binary	Unsigned Integer	See Note 10
0309	1	Communication Board – States (Byte 5)	Binary	Unsigned Integer	
0310	1	Fuse Control Board – States (Byte 0)	Binary	Unsigned Integer	See Note 11 Not used in –US model
0311	1	Fuse Control Board – States (Byte 1)	Binary	Unsigned Integer	
0312	1	Fuse Control Board – States (Byte 2)	Binary	Unsigned Integer	
0313	1	Fuse Control Board – States (Byte 3)	Binary	Unsigned Integer	
0314	1	Fuse Control Board – States (Byte 4)	Binary	Unsigned Integer	
0315	2	Communication Board – PT100	°C	IEEE 32 Float	
0317	2	Communication Board – PT1000	°C	IEEE 32 Float	
0319	2	Communication Board – Analog Input 1	V OR mA	IEEE 32 Float	
0321	2	Communication Board – Analog Input 2	V OR mA	IEEE 32 Float	
0323	2	Communication Board – NTC	°C	IEEE 32 Float	

Register address (1)	Number of registers	Register content description	Unit	Data type	Notes
0325	2	Fuse Control Board – Voltage 1A	V	IEEE 32 Float	Not used in –US model
0327	2	Fuse Control Board – Voltage 1B	V	IEEE 32 Float	Not used in –US model
0329	2	Fuse Control Board – Voltage 1C	V	IEEE 32 Float	Not used in –US model
0331	2	Fuse Control Board – Voltage 1D	V	IEEE 32 Float	Not used in –US model
0333	2	Fuse Control Board – Voltage 1E	V	IEEE 32 Float	Not used in –US model
0335	2	Fuse Control Board – Voltage 2A	V	IEEE 32 Float	Not used in –US model
0337	2	Fuse Control Board – Voltage 2B	V	IEEE 32 Float	Not used in –US model
0339	2	Fuse Control Board – Voltage 2C	V	IEEE 32 Float	Not used in –US model
0341	2	Fuse Control Board – Voltage 2D	V	IEEE 32 Float	Not used in –US model
0343	2	Fuse Control Board – Voltage 2E	V	IEEE 32 Float	Not used in –US model
0345	2	Fuse Control Board – Voltage Ch1	V	IEEE 32 Float	Not used in –US model
0347	2	Fuse Control Board – Voltage Ch2	V	IEEE 32 Float	Not used in –US model
0349	2	Fuse Control Board – Current 1A	A	IEEE 32 Float	Not used in –US model
0351	2	Fuse Control Board – Current 1B	A	IEEE 32 Float	Not used in –US model
0353	2	Fuse Control Board – Current 1C	A	IEEE 32 Float	Not used in –US model
0355	2	Fuse Control Board – Current 1D	A	IEEE 32 Float	Not used in –US model
0357	2	Fuse Control Board – Current 1E	A	IEEE 32 Float	Not used in –US model
0359	2	Fuse Control Board – Current 2A	A	IEEE 32 Float	Not used in –US model
0361	2	Fuse Control Board – Current 2B	A	IEEE 32 Float	Not used in –US model
0363	2	Fuse Control Board – Current 2C	A	IEEE 32 Float	Not used in –US model
0365	2	Fuse Control Board – Current 2D	A	IEEE 32 Float	Not used in –US model
0367	2	Fuse Control Board – Current 2E	A	IEEE 32 Float	Not used in –US model
0369	1	Fuse Control Board – States (Byte 5)	Binary	Unsigned Integer	See Note 11 Not used in –US model

Registers Map Version

Register address (1)	Number of registers	Register content description	Unit	Data type	Notes
3650	1	Registers Map – Type	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	Fixed Value: 71 ('G')
3651	1	Registers Map – Inverter family supported	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	Fixed Value: 84 ('T')
3652	1	Registers Map – Major Version	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	
3653	1	Registers Map – Minor Version	Decimal (ASCII)	Unsigned Integer	

ÖZ GEÇMİŞ

