



**T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARININ KONUM VE ŞARJ
ZAMANI AÇISINDAN OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Achmet MOLLA

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

TEMMUZ 2025

**T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARININ KONUM VE ŞARJ
ZAMANI AÇISINDAN OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Achmet MOLLA

22434981045

ORCID: 0009-0004-2055-7882

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı**

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi İbrahim Gürsu TEKDEMİR

ORCID: 0000-0003-1381-3513

TEMMUZ 2025

BTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 22434981045 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Achmet MOLLA, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARININ KONUM VE ŞARJ ZAMANI AÇISINDAN OPTİMİZASYONU” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Gürsu TEKDEMİR**

Bursa Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ÖZDEN**

Bursa Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Şule KUŞDOĞAN

Kocaeli Üniversitesi

Savunma Tarihi : **28 Temmuz 2025**

Teslim Tarihi : **.... / .../ 2025**



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, Bursa Teknik Üniversitesi’nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu yüksek lisans tezimi, eğitim hayatım boyunca ve tez yazım sürecimde beni her zaman destekleyen sevgili anne ve babama ithaf ediyorum.

ÖNSÖZ

Elektrikli araçların yaygınlaşmasıyla birlikte dağıtım sistemleri üzerindeki yük profili giderek daha karmaşık bir hâl almakta ve şebekelerin planlama ihtiyaçları yeniden şekillenmektedir. Şarj altyapısının doğru planlanması, hem enerji verimliliği hem de sistem güvenilirliği açısından kritik öneme sahiptir. Bu çalışmanın temel amacı, elektrikli araç şarj istasyonlarının (EAŞİ) dağıtım sistemine entegrasyonunun teknik etkilerini ortaya koymak ve enerji kayıplarını minimize edecek optimizasyon temelli çözümler geliştirmektir.

Yapılan gözlem üzerine şarj istasyonlarının optimum konumlarının belirlenmesi amacıyla Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) algoritması uygulanmış ve EAŞİ'lerin hangi baralara yerleştirilmesi durumunda sistem kayıplarının minimum seviyelere ulaşacağı hesaplanmıştır. PSO'nun önerdiği yerleşimlerle elde edilen sonuçlar, önceki rastgele senaryolarla karşılaştırılmış ve algoritmanın önemli ölçüde iyileştirme sağladığı gözlemlenmiştir. Ayrıca aynı problem Genetik Algoritma (GA) ile de çözülmüş ve elde edilen optimum yerleşimlerin PSO ile örtüştüğü görülmüştür. Aradaki farkın çok az olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum her iki algoritmanın da güvenilirliğini doğrulamış, kullanılan yaklaşımın sağlamlığını desteklemiştir.

Devam eden aşamada ise EAŞİ'lerin sabit güç tüketiminin şebeke üzerindeki etkilerini daha gerçekçi analiz edebilmek amacıyla zaman boyutu sisteme dahil edilmiştir. Her bir elektrikli aracın 24 saatlik zaman diliminde yalnızca 8 saat boyunca şarj olduğu varsayımıyla ideal şarj zamanlarını belirlemek için Genetik Algoritma kullanılmıştır. Burada amaç, toplam enerji kaybını yine minimumda tutmaktır. Bu kapsamda şarj istasyonlarının konumları genetik algoritmayla daha önce belirlenen baralar için sabit tutulmuş, yalnızca zamanlama optimizasyonuna odaklanılmıştır. Ayrıca her şarj istasyonuna bir fotovoltaiik (PV) üretim birimi entegre edilerek şebeke üzerindeki yükün azaltılması hedeflenmiştir. Elde edilen zamanlama sonuçları rastgele 8 saatlik sürekli şarj senaryoları ile karşılaştırılmış ve GA temelli yaklaşımın sistem verimliliğini önemli ölçüde artırdığı görülmüştür.

Bu çalışma ile elektrikli araç altyapısının dağıtım sistemlerine entegrasyonunda yalnızca konumsal değil, zamansal optimizasyonunun da dikkate alınması gerektiği ortaya konmuştur. PSO ve GA gibi sezgisel algoritmaların birlikte ve farklı aşamalarda kullanımı, gelecek akıllı şebeke tasarımlarında karar destek mekanizmalarının temel yapı taşlarından biri olabileceğini göstermektedir.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR	x
SEMBOLLER	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xiv
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
2.1 PV Entegrasyonlu Şarj Altyapısının Etkileri	5
2.2 Bütüncül Optimizasyon Yaklaşımları	6
2.3 Elektrikli Araçlar ve Şarj Altyapısı.....	7
2.4 Akıllı Şebekeler (Smart Grid) ve Dağıtım Sistemleri	7
2.5 Şarj İstasyonu Yerleşim Noktası Optimizasyon Çalışmaları	8
2.6 Araçlar ve Şarj Altyapısının Önemi	10
2.7 Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) Yaklaşımı	11
2.7.1 PSO'nun avantajları	12
2.7.2 PSO'nun EAŞİ konumlandırılmasındaki kullanımı	12
2.8 Genetik Algoritma.....	13
2.8.1 GA'nın temel adımları	14
2.8.2 GA'nın avantajları	15
2.9 Problem Tanımı ve Motivasyon.....	17
2.10 Literatür Taraması	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	21
3.1 Kullanılan Test Sistemi	22
3.2 Problem Tanımı.....	22
3.3 Performans Kriterleri.....	22
3.4 Parçacık Sürüsü Optimizasyonu Uygulaması	23
3.5 Genetik Algoritma Uygulaması	23
3.6 Simülasyon Ortamı.....	24
3.7 Akış Diyagramları	24
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	26
4.1 Simülasyon Kurulumu ve Senaryo Tanımları	26
4.2 PSO Sonuçları	27
4.2.1 PSO sonuçları üzerine değerlendirme	27
4.2.2 Senaryo 1	28
4.2.3 Senaryo 2	30
4.2.4 Senaryo 3	32
4.2.5 Senaryo 4	34

4.2.6 Senaryo 5	37
4.3 Rastgele Durum ve PSO Karşılaştırması	39
4.4 GA Sonuçları ve Değerlendirme	40
4.4.1 GA gerilim profili	41
4.4.2 Karşılaştırmalı gerilim profili	42
4.5 PV Destekli EVCS Optimizasyonu: GA ile Zaman Planlaması ve Kayıp Analizi.....	43
4.5.1 Çizelge 4.7 analizi	44
4.5.2 Optimize edilmiş şarj planı	45
4.5.3 Sürekli şarj plan analizi	47
4.5.4 Saatlik yük karşılaştırması.....	49
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	52
5.1 Elektrikli Araç Şarj Optimizasyon Sonuçları.....	53
KAYNAKLAR	55
ÖZGEÇMİŞ.....	57



KISALTMALAR

EA	: Elektrikli Araç
EAŞİ	: Elektrikli Araç Şarj İstasyonu
EVCS	: Electric Vehicle Charge Station
PV	: Fotovoltaik
PSO	: Parçacık Sürüsü Optimizasyonu
GA	: Genetik Algoritma
IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineers
SOC	: State of Charge
V2G	: Vehicle to Grid
p.u	: Per Unit

SEMBOLLER

P	: Aktif Güç
V	: Gerilim
I	: Akım
R	: Direnç
X	: Reaktans
q	: Faz Yüğü
t	: Zaman
w	: Açısal Hız
XC	: Kapasitif Reaktans
XL	: Endüktif Reaktans

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: PSO ve GA Yöntemlerinin Temel Özelliklerinin Karşılaştırması	15
Çizelge 4.1: 5'li Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Gerilim Profili (p.u)	28
Çizelge 4.2: 4'lü Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Gerilim Profili (p.u)	30
Çizelge 4.3: 3'lü Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Gerilim Profili (p.u)	32
Çizelge 4.4: 2'li Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Gerilim Profili (p.u)	34
Çizelge 4.5: 1'li Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Gerilim Profili (p.u)	37
Çizelge 4.6: Senaryoların değerlendirilmesi.....	39
Çizelge 4.7: Kayıp Karşılaştırması	44

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1: GA Akış Diyagramı.....	14
Şekil 3.1: PSO ve GA Algoritmalarının Akış Diyagramları	24
Şekil 4.1: IEEE-33 Baralı Sistemde 5’li EVCS.....	30
Şekil 4.2: IEEE-33 Baralı Sistemde 4’lü EVCS.....	32
Şekil 4.3: IEEE-33 Baralı Sistemde 3’lü EVCS.....	34
Şekil 4.4: IEEE-33 Baralı Sistemde 2’li EVCS.....	36
Şekil 4.5: IEEE-33 Baralı Sistemde 1’li EVCS.....	39
Şekil 4.6: PSO ve Rastgele Durum Karşılaştırması	40
Şekil 4.7: GA Gerilim Profili (p.u).....	41
Şekil 4.8: Karşılaştırmalı Gerilim Profili (p.u).....	42
Şekil 4.9: Optimize Edilmiş Plan.....	45
Şekil 4.10: Sürekli Plan	47
Şekil 4.11: Saatlik Yük Karşılaştırması.....	49

ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARININ KONUM VE ŞARJ ZAMANI AÇISINDAN OPTİMİZASYONU

ÖZET

Elektrikli araçların enerji sistemlerine entegrasyonu, dağıtım şebekeleri üzerinde yeni yük profilleri oluşturarak planlama ve işletme açısından çeşitli zorlukları beraberinde getirmektedir. Bu tez çalışmasında elektrikli araç şarj istasyonlarının dağıtım sistemine entegrasyonunun sistem kayıpları üzerindeki etkileri değerlendirilmiş, konumsal ve zamansal optimizasyon yaklaşımları kullanılarak toplam aktif güç kayıplarını en aza indirmeye yönelik bir yöntem önerilmiştir. Çalışma IEEE 33 baralı test sistemi temel alınarak gerçekleştirilmiştir.

İlk aşamada farklı sayıda EAŞİ'lerin sisteme rastgele yerleştirildiği senaryolar oluşturulmuş ve her bir durumda oluşan kayıplar hesaplanmıştır. Rastgele yerleşim sonucunda gözlemlenen kayıp artışlarına karşılık Parçacık Sürüsü Optimizasyonu algoritması kullanılarak EAŞİ'lerin en uygun konumları belirlenmiş ve bu yerleşimlerle sistem kayıplarında önemli azalmalar sağlanmıştır. Elde edilen PSO sonuçları sonrasında aynı problem Genetik Algoritma ile çözümlenerek karşılaştırılmış ve her iki sistemin de 1 bara hariç aynı baraları seçtiği gözlemlenmiştir. GA ile çözülen yöntemde daha az kayıp elde edilmiştir.

İkinci aşamada zamana bağlı bir şarj senaryosu geliştirilmiştir. 24 saat içerisinde her aracın 8 saat boyunca şarjda kalması varsayımı altında Genetik Algoritma yardımıyla her bir EAŞİ için en uygun şarj zaman dilimleri belirlenmiştir. Bu süreçte GA ile daha önce belirlenen baralardaki sabit EAŞİ konumları esas alınmış ve her bir şarj noktasına fotovoltaik (PV) üretim ünitesi eklenmiştir. Bu yaklaşım sayesinde hem yenilenebilir enerji kullanımı teşvik edilmiş hem de şebeke üzerindeki yük dengelenmiştir. GA ile elde edilen ideal zaman dilimi senaryoları, sabit ve rastgele 8 saatlik şarj modelleriyle karşılaştırılmış ve kayıpların önemli ölçüde azaldığı gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak hem EAŞİ konumlarının hem de şarj zamanlamasının eş zamanlı optimize edilmesinin dağıtım sistemlerinde kayıpları azaltma ve gerilim profilini iyileştirme açısından önemli kazanımlar sağladığını ortaya koymuştur. Bu tez, PSO ve GA gibi sezgisel algoritmaların elektrikli araç şarj altyapısı planlamasında etkin biçimde kullanılabileceğini göstermekte ve gelecekteki akıllı şebeke uygulamaları için temel bir model sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: IEEE 33 Baralı Sistem, Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO), Genetik Algoritma (GA), Elektrikli Araç Şarj İstasyonu, Hat Kayıpları, Optimizasyon.

OPTIMIZATION OF ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATIONS IN TERMS OF LOCATION AND CHARGING TIME

SUMMARY

The integration of electric vehicles (EVs) into power systems introduces new load patterns, creating significant challenges for the planning and operation of distribution networks. This thesis investigates the technical impacts of Electric Vehicle Charging Stations (EVCS) on distribution systems and proposes an optimization-based approach to minimize total active power losses through spatial and temporal planning. The study is conducted using the IEEE 33-bus test system as the modeling framework.

In the first phase, five different scenarios were developed by randomly placing EVCS units on the network, beginning with five charging stations and reducing the number progressively down to one. For each case, total power losses were calculated. It was observed that random placement leads to substantial increases in system losses. To address this, the Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm was applied to determine the optimal EVCS locations, resulting in significantly lower losses. These PSO results were compared with those obtained using the Genetic Algorithm (GA), and it was found that both algorithms identified the same optimal bus locations, validating the robustness of the proposed approach.

In the second phase, a time-based charging scenario was introduced. Assuming each vehicle charges for 8 hours within a 24-hour period, the GA was used to determine the most suitable charging intervals for each EVCS. During this analysis, the EVCS locations obtained from the PSO algorithm were kept fixed. Furthermore, a photovoltaic (PV) generation unit was integrated at each charging station to alleviate the load on the grid and support renewable energy utilization. The optimal charging schedules derived by GA were then compared with fixed 8-hour charging profiles, demonstrating that the optimized schedules led to significantly lower power losses.

The results of this study highlight that simultaneous optimization of both spatial placement and temporal operation of EVCS units can lead to considerable improvements in power loss reduction and voltage profile regulation within distribution systems. This thesis demonstrates that heuristic algorithms such as PSO and GA can be effectively utilized for intelligent planning of EV charging infrastructure and offers a practical foundation for future smart grid applications.

Keywords: IEEE 33-Bus System, Particle Swarm Optimization (PSO), Genetic Algorithm (GA), Electric Vehicle Charging Station, Line Losses, Optimization.

1. GİRİŞ

Günümüzde çevre dostu yaklaşımlar enerji kullanımında verimliliğin artırılması ve fosil yakıt bağımlılığının azaltılması gibi küresel hedefler doğrultusunda elektrikli araçlar (EA'lar) kara taşımacılığında önemli bir alternatif haline gelmiştir. Elektrikli araç teknolojilerinde yaşanan ilerlemeler bu araçların enerji tüketiminde artışa yol açmakta ve bu durum dağıtım sistemlerini ciddi şekilde etkilemektedir. Şehir içi enerji ağlarında artan şarj istasyonu ihtiyacı yeni ve değişken yük profillerinin ortaya çıkmasına neden olurken bu ağların söz konusu değişken koşullara göre yeniden yapılandırılmasını da zorunlu kılmıştır.

Elektrikli araç şarj istasyonlarının (EAŞİ) enerji dağıtım altyapısına entegre edilmesi sürecinde karşılaşılan temel zorluklardan biri de bu istasyonların aktif güç kayıplarını artırıcı etkisidir. Şarj istasyonlarının dağıtım ağı üzerindeki konumları sistemdeki kayıpların miktarını doğrudan etkileyebilecek düzeydedir. Rastgele yerleştirilen EAŞİ'ler güç akışında dengesizliklere yol açarak yalnızca enerji verimliliğini düşürmekle kalmaz, aynı zamanda gerilim dengesini bozarak sistemin genel güvenilirliğini de tehdit edebilir. Bu yüzden şarj altyapısının optimum noktalarda konumlandırılması hem teknik performans hem de ekonomik sürdürülebilirlik açısından kritik öneme sahiptir.

Bu tez kapsamında IEEE 33 baralı test sistemi üzerinde farklı sayılarda elektrikli araç şarj istasyonu (EAŞİ) entegre edilerek rastgele yerleşim senaryoları oluşturulmuştur. İlk olarak beş şarj istasyonu ile başlatılan analizlerde istasyon sayısı kademeli olarak azaltılarak toplamda beş farklı senaryo değerlendirilmiştir. Her bir durumda ortaya çıkan toplam aktif güç kaybı hesaplanmış ve analiz edilmiştir. Sonuçlar, EAŞİ'lerin rastgele konumlandırılmasının sistem üzerindeki güç kayıplarını belirgin şekilde artırdığını göstermiştir.

Bu çalışmada sistemdeki güç kayıplarını en aza indirmek için Parçacık Sürüş Optimizasyonu (PSO) algoritmasından yararlanılmış ve elektrikli araç şarj istasyonları (EAŞİ'ler) için en uygun yerleşim noktaları belirlenmiştir. PSO ile elde edilen sonuçlar, rastgele yerleştirme senaryolarına kıyasla kayıplarda dikkate değer bir düşüş

sağlandığını ortaya koymuştur. Algoritmanın başarımının doğrulanması amacıyla aynı problem Genetik Algoritma (GA) ile de çözülmüş ve her iki yöntem de sadece bir bara farklı olacak şekilde benzer baraları seçmiştir. Fakat minimum kayıp açısından GA daha verimli bir sonuç vermiştir. Bu durum önerilen yöntemin güvenilirliğini destekleyen önemli bir bulgu olarak değerlendirilmiştir.

Çalışmanın sonraki aşamasında yalnızca konumsal değil, zamansal optimizasyon da hedeflenmiştir. Elektrikli araçların 24 saatlik zaman diliminde yalnızca 8 saat boyunca şarj edildiği varsayımıyla Genetik Algoritma kullanılarak en uygun şarj zamanları belirlenmiştir. Bu aşamada EAŞİ konumları GA ile daha önce belirlenen baralarda sabit tutulmuş, her bir istasyona fotovoltaik (PV) üretim kaynağı eklenerek hem yenilenebilir enerji entegrasyonu sağlanmış hem de şebeke üzerindeki yük azaltılmaya çalışılmıştır. GA ile elde edilen ideal zaman dilimi senaryoları, sabit 8 saatlik şarj modelleriyle karşılaştırılmış ve sistem kayıplarının optimize edildiği gösterilmiştir.

Bu tez, elektrikli araç şarj altyapısının dağıtım sistemine entegrasyonunda konum ve zaman seçiminin eş zamanlı olarak ele alınmasının sistem performansını önemli ölçüde artırabileceğini göstermeyi amaçlamaktadır. Ayrıca sezgisel algoritmaların (PSO ve GA) birlikte kullanılması, gelecekteki akıllı şebeke tasarımları için bütüncül yaklaşımların geliştirilmesine katkı sunmaktadır.

1.1 Tezin Amacı

Bu tezin temel amacı, elektrikli araç şarj istasyonlarının (EAŞİ) dağıtım sistemi üzerindeki etkilerini analiz ederek konumsal ve zamansal optimum şarj altyapısının belirlenmesini sağlamaktır. Çalışmada IEEE 33 baralı test sistemi üzerinde rastgele yerleştirilmiş EAŞİ senaryoları incelenmiş, ardından Parçacık Sürüşü Optimizasyonu (PSO) ve Genetik Algoritma (GA) kullanılarak kayıpları minimize edecek en uygun yerleşim nokta ve şarj zamanlamaları belirlenmiştir.

Tezin özgün hedeflerinden bir diğeri de yalnızca EAŞİ konumlarının değil, aynı zamanda şarj süreci zaman planlamasının da sistem kayıpları üzerinde belirleyici rol oynadığını göstermektir. Bu doğrultuda PV üretim desteğiyle güçlendirilen şarj altyapısında Genetik Algoritma ile en uygun ve minimum kayıpla 8 saatlik şarj dilimleri tespit edilmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmayla birlikte dağıtım sistemlerine entegre edilen EAŐI'lerin daha verimli yönetilebilmesi için sezgisel optimizasyon temelli bütüncül bir yaklaşım önerilmekte ve gelecekteki akıllı Şebeke planlamalarına katkı sağlayacak bir yöntem modeli sunulmaktadır.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Elektrikli araçların (EA) yaygınlaşması geleneksel enerji altyapılarının yeniden yapılandırılmasını zorunlu kılmıştır. Dağıtım sistemleri özellikle şehir merkezlerinde artan EA şarj talepleri karşısında teknik ve operasyonel açıdan önemli yükler altına girmektedir. Literatürde yapılan araştırmalar elektrikli araç şarj istasyonlarının (EAŞİ) rastgele yerleştirilmesi durumunda dağıtım sistemlerinde ciddi aktif güç kayıpları ve gerilim sapsmaları meydana getirdiğini ortaya koymuştur.

Bu kapsamda EAŞİ'lerin şebeke üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak amacıyla çeşitli optimizasyon yaklaşımları geliştirilmiştir. Konum belirleme problemi, özellikle güç kayıplarını minimize etmek ve gerilim profilini iyileştirmek amacıyla çözülmeye çalışılmıştır. Yapılan birçok çalışmada Genetik Algoritma (GA), Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO), Yapay Arı Kolonisi (ABC) ve Tavlama Benzetimi (SA) gibi sezgisel algoritmalar yaygın olarak kullanılmıştır (Deeum ve diğ, 2023).

GA kullanarak Sundararajan ve diğ. (2023); dağıtım sistemine entegre edilen EA şarj istasyonlarının en uygun konumlarını belirlemiş ve rastgele yerleştirme durumlarına göre sistem kayıplarının %10'a kadar azaltıldığını göstermiştir. Benzer şekilde PSO algoritmasının uygulandığı bir başka çalışmada baralar üzerindeki yük dağılımının dengelendiği ve gerilim düşümlerinin azaltıldığı rapor edilmiştir.

Elektrikli araç şarj istasyonlarının konumsal etkilerinin değerlendirilmesinde IEEE 33 baralı test sistemi sıklıkla kullanılmaktadır. Literatürdeki birçok çalışma bu sistem üzerinde yapılan benzetimlerle optimizasyon stratejilerinin performansını test etmiştir.

Örneğin GA ve PSO kullanılarak yapılan bir çalışmada IEEE 33 ve 69 baralı sistemlerde güç kayıplarının %6,33 oranında azaltıldığı ve gerilim profilinin iyileştirildiği gösterilmiştir.

Son dönemde yalnızca konumsal değil, aynı zamanda zamansal optimizasyonun da önem kazandığı çalışmalar dikkat çekmektedir. Zamanlama stratejileri, özellikle 24 saatlik talep profilleri altında EA'ların hangi saatlerde şarj edileceğinin belirlenmesini içermektedir. EA'ların gece saatlerinde yoğun şarj edilmesinin dağıtım sistemi

üzerinde tepe yük etkisi oluşturduğunu ve bu durumun enerji kayıplarını artırdığını göstermiştir. Bu nedenle Genetik Algoritma gibi yöntemlerle şarj zamanlarının optimizasyonu sistem kararlılığı açısından önemli hale gelmiştir (Zhao ve diğ, 2023).

Bunun yanı sıra, elektrikli araçların yalnızca şarj eden değil, gerektiğinde şebekeye enerji de veren varlıklar olarak değerlendirilmesini sağlayan V2G (Vehicle-to-Grid) teknolojileri son yıllarda literatürde öne çıkmıştır. V2G desteğiyle şarj istasyonlarının çift yönlü çalışması sağlanmakta, böylece şebekeye aktif katkı yapmaları mümkün olmaktadır. Bu kapsamda V2G destekli sistemlerin dağıtım kayıplarını daha da azalttığı, örneğin %6,3 oranında ek bir iyileşme sağladığı çalışmalarda belirtilmiştir.

Akıllı şebeke teknolojilerinin yaygınlaşmasıyla birlikte EA şarj istasyonları daha esnek ve verimli yönetilebilir hâle gelmiştir. Akıllı şebekeler; zamanlama, fiyatlandırma ve yük yönetimi gibi hizmetlerin merkezi veya dağıtık biçimde kontrolünü mümkün kılarak hem kullanıcı hem de şebeke operatörü açısından daha dengeli sistemler kurulmasını sağlar (Fan ve diğ, 2021).

Tüm bu çalışmalar konum ve zamanlama kararlarının ayrı ayrı ele alınmasının sınırlı sonuçlar doğurabileceğini ortaya koymaktadır. Bu tez çalışması, EA şarj istasyonlarının konum ve şarj zamanlamasının birlikte optimize edilmesinin sistem üzerindeki olumlu etkilerini bir arada ele alan kapsamlı bir yaklaşım sunmaktadır. PSO ile belirlenen optimum konumlar sabit tutulmuş, GA ile zamanlama stratejileri geliştirilmiş ve PV destekli EAŞİ sistemler ile sonuçlar karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Böylece mevcut literatürde eksik kalan bütüncül yaklaşım ihtiyacına doğrudan katkı sağlanması hedeflenmiştir.

2.1 PV Entegrasyonlu Şarj Altyapısının Etkileri

Literatürde EA şarj istasyonlarının yenilenebilir enerji kaynaklarıyla desteklenmesi kapsamlı biçimde incelenmiştir. Özellikle fotovoltaik güneş enerjisi (PV) üretiminin şarj istasyonlarına entegre edilmesi hem şebeke üzerindeki yükü azaltmakta hem de temiz enerji kullanımıyla emisyonları düşürmektedir. PV destekli şarj istasyonları sayesinde EA'ların ihtiyaç duyduğu enerjinin bir kısmı doğrudan yerinde üretilebilir ve dağıtım şebekesinden çekilen güç azaltılabilir. Bu da iletim-dağıtım hatlarındaki akışları hafifleterek güç kayıplarını düşürür ve gerilim profilini iyileştirir. Nitekim PV

üretimini şebekeye entegre edilmesiyle şebeke güç talebinin bir bölümü karşılanarak trafo ve hatlardaki yük ile kayıplar belirgin şekilde azaltılmaktadır.

2.2 Bütüncül Optimizasyon Yaklaşımları

Yapılan çalışmalara bakıldığında EA şarj istasyonlarının konumsal ve zamansal kararlarının çoğunlukla ayrı ayrı ele alındığı görülmektedir. Oysa gerçek hayatta bir şarj altyapısının şebekeye etkisi bu iki faktörün etkileşimi ile belirlenir. Sadece konuma odaklanan optimizasyonlar şarjın gün içindeki dağılımını dikkate almadığı için istenen tüm faydaları sağlayamayabilir; benzer şekilde sadece zamanlama odaklı stratejiler de istasyonların şebekedeki yerleşiminden kaynaklı bazı sorunları çözemeyebilir. Literatürde son dönemde bu açığı kapatmaya yönelik ilk adımlar atılmaya başlanmıştır. Örneğin bazı çalışmalar konumsal ve zamansal optimizasyonu bir arada gerçekleştiren iki aşamalı modeller veya hibrit algoritmalar önermektedir (Deeum ve diğ, 2023).

Bununla birlikte hâlen kaynakların bütüncül optimizasyonu ile ilgili sınırlı sayıda çalışma bulunduğu ve güç kayıplarını minimize ederken gerilim kararlılığını maksimize eden optimum bütüncül çözümlerin tam anlamıyla araştırılmadığı belirtilmektedir. Bu tez çalışması literatürde eksik kalan bu noktaya doğrudan katkı sunmayı amaçlamaktadır. Çalışmamız kapsamında hem konumsal hem de zamansal optimizasyon birlikte ele alınmıştır.

EA şarj istasyonlarının en uygun konumları Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) ile belirlenmiş, bu sabit konumlar altında EA'ların şarj çizelgesi Genetik Algoritma (GA) ile optimize edilmiştir. Bununla birlikte önerilen yöntemin etkinliğini değerlendirmek üzere PV destekli EAŞİ senaryoları da analiz edilerek yenilenebilir enerjinin bütüncül optimizasyon üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Böylece EA şarj altyapısının dağıtım şebekesine entegrasyonunda konumsal ve zamansal boyutlarını entegre eden kapsamlı bir yaklaşım ortaya konmuş; literatürde ayrı ayrı ele alınan bu iki problemin birleşik çözümü ile daha düşük güç kaybı, daha iyi gerilim profili ve daha yüksek sürdürülebilirlik hedeflenmiştir.

Bu yaklaşım gelecekte akıllı şebeke kapsamında artacak EA penetrasyonuna hazırlık için bütüncül planlama yapmanın gerekliliğini vurgulamakta ve literatürdeki bu boşluğa önemli bir katkı sağlamaktadır.

2.3 Elektrikli Araçlar ve Şarj Altyapısı

Son yıllarda artan çevresel endişeler, fosil yakıtların tükenme riski ve enerji verimliliği hedefleri elektrikli araçların (EA) gelişimini önemli ölçüde hızlandırmıştır. Elektrikli araçlar geleneksel içten yanmalı motorlara sahip araçlara kıyasla daha düşük karbon salınımı ve daha yüksek enerji verimi sağlayarak sürdürülebilir ulaşım çözümleri sunmaktadır. Ancak bu araçların yaygınlaşması mevcut enerji altyapısının çeşitli yönlerden yeniden düzenlenmesini gerekli kılmıştır.

Elektrikli araçların şarj edilmesi için gereken enerji miktarı özellikle dağıtım sistemlerinde ek yükler oluşturarak hat kayıplarının artmasına, gerilim dalgalanmalarına ve güç kalitesi problemlerine yol açabilmektedir. Bu nedenle kullanıcı ihtiyaçlarına ve şebeke güvenliğine uygun bir şarj altyapısının oluşturulması büyük önem taşımaktadır.

Şarj istasyonları genel olarak üç ana kategoriye ayrılmaktadır; Seviye 1, Seviye 2 ve DC hızlı şarj sistemleri. Seviye 1, düşük güçlü ve genellikle ev ortamında kullanılan şarj türü iken Seviye 2, daha yüksek güç sağlayarak çoğunlukla halka açık alanlarda hizmet verir. DC hızlı şarj istasyonları ise yüksek güçlü donanımları sayesinde araç bataryalarını kısa sürede şarj etme olanağı sunar.

Etkili bir şarj altyapısı planlamasında kullanıcı yoğunluğu, mevcut şebeke kapasitesi, yatırım maliyetleri ve enerji temin güvenliği gibi birçok unsur dikkate alınmalıdır. Ayrıca şarj istasyonlarının doğru noktalara konumlandırılması; enerji kayıplarının azaltılması ve gerilim seviyelerinin dengede tutulması açısından kritik bir rol oynamaktadır.

Elektrikli araçlar için şarj altyapısının etkili biçimde planlanması ve yönetilmesi, bu araçların toplumda daha hızlı benimsenmesini sağlamanın yanı sıra, enerji şebekelerinin uzun vadeli sürdürülebilirliğine de katkıda bulunacaktır. Bu konuda şarj sistemlerine yönelik yapılacak optimizasyon çalışmaları enerji altyapılarının gelecekteki performansı ve güvenliği açısından kritik bir öneme sahiptir.

2.4 Akıllı Şebekeler (Smart Grid) ve Dağıtım Sistemleri

Akıllı şebekeler, enerji üretimi ve tüketimini dijital teknolojiler ve gelişmiş iletişim sistemleriyle bütünleştiren modern enerji altyapılarıdır. Geleneksel şebekelerden

ayrılarak enerji akışını gerçek zamanlı izleyebilen, analiz edebilen ve kontrol edebilen sensörler ile veri tabanlı yönetim araçları kullanmaktadırlar. Bu gelişmiş altyapı sayesinde enerji kullanıcıları tüketimlerini daha verimli şekilde kontrol edebilirken olası arızalar kısa sürede tespit edilerek sistemin yük dengesi korunabilir.

Elektrikli araç sayısındaki hızlı artış ve yenilenebilir enerji kaynaklarının daha fazla kullanılması, klasik şebeke yapılarında esneklik ve verimlilik ihtiyacını artırmıştır. Bu noktada akıllı şebekeler şarj altyapısıyla bütünleşik çalışarak elektrikli araçlarla uyumlu ve dinamik bir sistem sunar. Böylece şebeke yönetimi daha verimli hale gelir.

Akıllı şebeke mimarisinin temel bileşenleri arasında enerji depolama çözümleri, uzaktan izleme ve kontrol sistemleri, yenilenebilir üretim birimleriyle entegrasyon, esnek yük yönetimi ve elektrikli araç şarj altyapısı yer almaktadır. Bu unsurlar bir arada çalışarak enerji talebinin daha planlı ve sürdürülebilir biçimde yönetilmesine olanak tanır.

Elektrik dağıtım altyapısı, enerjinin üretimden itibaren son kullanıcıya aktarımını sağlayan temel bir sistemdir. Akıllı şebekeler bu yapının daha esnek çalışmasını mümkün kılarak her noktada hızlı müdahaleye olanak tanır. Özellikle şarj istasyonlarının yerleşimi akıllı ağlar tarafından dinamik olarak optimize edilerek talep dalgalanmaları karşısında sistemin dengede kalması sağlanır.

Gerçek zamanlı veri takibi ve analiz yeteneği sayesinde akıllı şebekeler şarj istasyonlarının hem konumunu hem de işletim düzenini iyileştirebilir. Böylelikle aşırı yüklenmelerin önüne geçilir, enerji israfı azaltılır ve sistem performansı artırılır. Aynı zamanda oluşabilecek arızalara hızlı tepki verilerek kesintisiz hizmet sağlanabilir.

Sonuç olarak akıllı şebeke teknolojileri, elektrikli araçların şarj altyapısında esnek ve ileri düzey çözümler sunar. Bu sistemlerin gelişimi enerji altyapısının sürdürülebilirliğini artırırken genel dayanıklılığı da güçlendirecektir.

2.5 Şarj İstasyonu Yerleşim Noktası Optimizasyon Çalışmaları

Elektrikli araçların (EA) yaygınlaşmasıyla birlikte şarj altyapısının verimli bir şekilde planlanması ve yönetilmesi modern enerji sistemlerinin en önemli sorunlarından biri hâline gelmiştir. Elektrikli araç şarj istasyonlarının yerleşim yerlerinin belirlenmesi sadece şarj istasyonlarının kullanım etkinliğini değil, aynı zamanda elektrik dağıtım sisteminin verimliliğini, güvenilirliğini ve sürdürülebilirliğini de doğrudan

etkilemektedir. Şarj istasyonlarının optimum yerleşimi enerji kayıplarını minimize etmek, gerilim dalgalanmalarını azaltmak ve şebekenin genel performansını iyileştirmek açısından kritik bir rol oynamaktadır.

Elektrikli araç şarj istasyonlarının yerleşim planlaması yalnızca yatırım maliyetlerini değil, aynı zamanda güç akışı sorunları, yük dengesizlikleri ve şebeke kapasite sınırları gibi teknik kısıtları da dikkate alan çok boyutlu bir optimizasyon problemidir. Bu nedenle bu tür karmaşık problemlerin çözümünde geleneksel analiz yöntemlerinin yanı sıra sezgisel ve meta-sezgisel algoritmalara sıkça başvurulmaktadır. Literatürde bu alana yönelik yapılan çalışmalar çeşitli optimizasyon yaklaşımlarının uygulanabilirliğini ve performanslarını değerlendirmiştir.

En uygun yerleşim noktalarının belirlenmesinde PSO (Parçacık Sürüsü Optimizasyonu) ve GA (Genetik Algoritma) gibi sezgisel yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır. PSO, az sayıda parametre ile çalışabilmesi ve karmaşık problemlerde hızlı çözümler sunabilmesiyle öne çıkar. Bu yönteme dayalı birçok çalışma şarj istasyonlarının yerleşimi yoluyla enerji kayıplarını azaltma ve gerilim istikrarını artırma hedeflerine odaklanmıştır. Örneğin Pal ve diğ, (2023); PSO algoritması ile gerçekleştirdikleri uygulamada sistem kayıplarında yaklaşık %15 oranında iyileşme sağlamıştır.

Genetik Algoritmalar ise geniş çözüm uzaylarında etkili tarama yapabilme kapasitesi sayesinde hem kaliteli hem de hızlı çözümler üretebilen güçlü bir optimizasyon aracıdır. Chauhan ve diğ, (2016); GA tabanlı yaklaşımları kullanarak enerji kayıplarını azaltmakla kalmayıp aynı zamanda şarj altyapısı yatırımlarında maliyet düşüşü de elde etmişlerdir.

Bazı araştırmalar ise çok amaçlı optimizasyon tekniklerini tercih ederek hem istasyon yerleşimi hem de şebeke performansı üzerindeki etkileri birlikte değerlendirmiştir. Örneğin He ve diğ, (2024); PSO tabanlı çok hedefli bir yaklaşım benimseyerek sistem kayıplarını minimize etmede başarılı sonuçlara ulaşmıştır. Bu çalışmalar, PSO ve GA gibi algoritmaların farklı koşullar altında yüksek performans gösterdiğini ancak seçimlerinin şebeke özelliklerine göre yapılmasının önem taşıdığını vurgulamaktadır.

Zhang ve Wang (2019); yürüttükleri dikkat çekici bir araştırmada IEEE 33-baralı test sistemi üzerinde PSO ve GA algoritmalarını karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Elde ettikleri sonuçlar PSO'nun daha hızlı çözüme ulaşma avantajına sahip olduğunu ancak

GA'nın küresel optimuma ulaşmada daha başarılı olduğunu göstermiştir. Bu tür karşılaştırmalar hangi algoritmanın hangi senaryoda avantaj sağlayabileceğini ortaya koyarak yönetime yönelik daha bilinçli seçimler yapılmasına olanak tanımaktadır.

Sonuç olarak elektrikli araçlar için şarj altyapısının doğru biçimde planlanması enerji sistemlerinin performansını artırmakta hem de kullanıcı ihtiyaçlarına daha etkin yanıtlar verebilmektedir. Bu alandaki karmaşık optimizasyon problemleri için sezgisel algoritmalar etkili ve esnek çözümler sunarak önemli bir rol oynamaktadır.

2.6 Araçlar ve Şarj Altyapısının Önemi

Elektrikli araçlar (EA), dünya genelinde hızla yaygınlaşarak ulaşım sektöründe köklü bir değişimin öncüsü haline gelmiştir. Bu araçlar içten yanmalı geleneksel otomobillere kıyasla çevresel yan etkilerinin düşük olmasıyla öne çıkmaktadır. Elektrik enerjisiyle çalışan sistemleri sayesinde egzoz emisyonunu sıfırlaması hava kirliliğini azaltmakta ve sera gazı salınımının sınırlandırılmasında etkili bir çözüm olarak değerlendirilmektedir. Birçok ülke karbon emisyonlarını azaltma hedefleri doğrultusunda bu teknolojiyi desteklemektedir. Örneğin European Commission (2019); Avrupa Birliği Yeşil Mutabakat çerçevesinde 2030 yılına kadar karbon salınımını %55 oranında azaltmayı, 2050 yılına kadar ise sıfırlamayı planlamakta ve elektrikli araçları bu stratejinin temel bileşenlerinden biri olarak görmektedir. Çevresel faydalarının yanı sıra, bu araçlar uzun vadede düşük işletme maliyetleri ve daha az bakım ihtiyacı gibi ekonomik avantajlar da sağlamaktadır (Kristian ve diğ, 2020).

Elektrikli araç kullanımındaki artış, şarj altyapısının kapsamlı ve erişilebilir şekilde kurulmasını zorunlu hale getirmiştir. Düzenli şarj gereksinimi göz önünde bulundurulduğunda hızlı şarj istasyonları, batarya değişim noktaları ve bireysel şarj ünitelerini içeren entegre bir sistem ihtiyacı doğmuştur.

Bu sistemlerin stratejik olarak planlanması kullanıcıların menzil kaygılarını azaltmakta ve elektrikli araçların toplumda daha geniş kabul görmesini kolaylaştırmaktadır. Ayrıca şarj altyapısının akıllı şebekelerle uyumlu çalışması enerji talebinin esnek yönetimini sağlayarak şebeke üzerindeki yükü dengeli biçimde dağıtabilmektedir.

Akıllı şarj uygulamaları yalnızca enerji sistemi dengesini korumakla kalmaz, aynı zamanda yenilenebilir enerji kaynaklarının daha verimli kullanılmasını da mümkün

kılar. Güneş ve rüzgâr gibi kesintili üretim yapılan enerji kaynaklarla uyumlu şarj zamanlaması yapılması, elektrikli araçların enerji depolayabilen bir yapı kazanmasına olanak tanır. Böylece bu araçlar yalnızca ulaşım aracı değil, aynı zamanda enerji sistemlerinin aktif bir bileşeni hâline gelir. Sonuç olarak elektrikli araçların yaygın kabul görmesi yalnızca teknolojik ilerlemeye değil, aynı zamanda akıllı, planlı ve kapsayıcı bir şarj altyapısının varlığına da bağlıdır. Bu çalışmada elektrikli araçların enerji ağlarına entegrasyonu bağlamında akıllı şarj planlamasının önemi ele alınacak ve bu planlamayı gerçekleştirmede kullanılan genetik algoritma temelli optimizasyon yöntemi ayrıntılı biçimde açıklanacaktır.

2.7 Parçacık Sürüsü Optimizasyon (PSO) Yaklaşımı

PSO (Parçacık Sürüsü Optimizasyonu), doğal sistemlerden esinlenen ve optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan bir algoritmadır. Kennedy ve Eberhart (1995); geliştirdikleri bu yöntemde kuşların topluca yön değiştirme davranışını temel alınır. PSO'da çözüm adayları "parçacık" olarak adlandırılır ve her biri belirli bir hız ve konumla temsil edilir. Parçacıklar hem kendi deneyimlerinden hem de grup içerisindeki en iyi çözüm bilgisinden yararlanarak çözüm uzayında hareket eder ve zamanla daha iyi sonuçlara ulaşmaya çalışırlar.

PSO, genetik algoritmaya (GA) benzer şekilde popülasyon tabanlı bir yaklaşımdır ancak PSO'nun yapısı daha basit olup daha az parametre gereksinimine sahiptir. PSO, her bir parçacığın çözüm uzayında yaptığı hareketleri takip eder ve en iyi çözümü bulmaya çalışırken tüm parçacıkların birbirleriyle etkileşimini optimize eder. Bu özellik PSO'yu özellikle çok hedefli ve karmaşık optimizasyon problemleri için uygun bir araç hâline getirir.

PSO algoritmasının çalışmasındaki temel adımlar aşağıdaki gibidir:

1. Başlangıç Popülasyonu: İlk adımda çözüm uzayında rastgele bir parçacık popülasyonu oluşturulur. Her parçacık, bir çözüm vektörü (konum) ve bu çözüm vektörüne karşılık gelen hız ile temsil edilir.
2. Kişisel En İyi (pbest): Her bir parçacık önceki iterasyonlarda keşfettiği en iyi çözümü kaydeder. Bu her parçacığın kişisel en iyi konumudur.
3. Sürünün En İyisi (gbest): Sürünün genelinde en iyi çözümü temsil eden parçacık belirlenir. Bu tüm parçacıkların en iyi konumudur.

4. Hız ve Konum Güncelleme: Her iterasyonda parçacıkların hız ve konumları güncellenir. Hız, bireysel en iyi çözüm ve genel en iyi çözüm arasındaki mesafeye bağlı olarak değiştirilir. Güncelleme formülü aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$v_i^{(t+1)} = w * v_i^{(t)} + c1 * r1 * (p(best)_i - x_i^{(t)}) + c2 * r2 * (g(best)_i - x_i^{(t)}) \quad (1)$$

Denklem 1’de;

- $v_i(t)$: Parçacığın Hız Vektörü
- $x_i(t)$: Parçacığın Mevcut Konumu
- $p(best)_i$: Parçacığın Kişisel En İyi Konumu
- $g(best)_i$: Sürünün Genel En İyi Konumu
- $c1, c2$: Kişisel ve Sürü Şeklindeki Etkileşim Katsayıları
- $r1, r2$: Rastgele Sayılar (0 ile 1 Arasında)

Güncellenen hızla birlikte parçacıkların yeni konumları hesaplanır:

$$x_i^{(t+1)} = x_i^{(t)} + v_i^{(t+1)} \quad (2)$$

2.7.1 PSO'nun avantajları

- Basit Yapı: PSO'nun algoritması oldukça basittir ve az sayıda parametre ile uygulanabilir. Bu algoritmanın anlaşılmasını ve uygulanmasını kolaylaştırır.
- Hızlı Çözüm Bulma: PSO, diğer birçok sezgisel tekniğe göre daha kısa sürede optimal çözümlere ulaşabilir. Bu yönüyle özellikle büyük ve karmaşık problem setlerinde zamandan kazandırır.
- Esneklik: PSO, çok hedefli optimizasyon problemlerinde etkili bir şekilde kullanılabilir. Çeşitli endüstriyel ve mühendislik problemlerine uygulanabilir.

2.7.2 PSO'nun EAŞİ konumlandırılmasındaki kullanımı

PSO algoritması, elektrikli araç şarj noktalarının yer seçimi süreçlerinde başarıyla kullanılmaktadır. Uygun yerleşim; enerji verimliliği sağlamak, voltaj dalgalanmalarını önlemek ve şebeke kaynaklarını etkin kullanmak açısından kritik önemdedir. PSO bu kriterleri dikkate alarak istasyon yerleşimini optimize etme potansiyeline sahiptir.

Mohamed ve diğ. (2017); yürüttüğü çalışmada PSO algoritması kullanılarak elektrikli araç şarj noktalarının ideal konumlandırılması yapılmış ve hat kayıplarında %15'e varan

azalma elde edilmiştir. Benzer şekilde Zhang ve Wang (2019), IEEE 33 baralı test sistemi üzerinde PSO uygulayarak hem enerji kayıplarının azaltıldığını hem de gerilim dengesinin iyileştirildiğini rapor etmiştir.

2.8 Genetik Algoritma

Genetik Algoritma (GA) IEEE 33 baralı sistem üzerinde yapılan yerleşim ve zamanlama optimizasyonlarında sıkça başvurulan bir yöntem hâline gelmiştir. Doğal seleksiyon prensiplerine dayanan GA, geniş çözüm uzaylarını etkin biçimde tarayarak, optimuma yakın sonuçları hızlı şekilde elde etme potansiyeline sahiptir. Literatürde, GA'nın özellikle şarj istasyonlarının en uygun baralara yerleştirilmesi, dağıtım kayıplarının azaltılması, gerilim sapmalarının minimize edilmesi ve şebeke üzerindeki yük dengesinin sağlanması gibi teknik hedeflerde başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

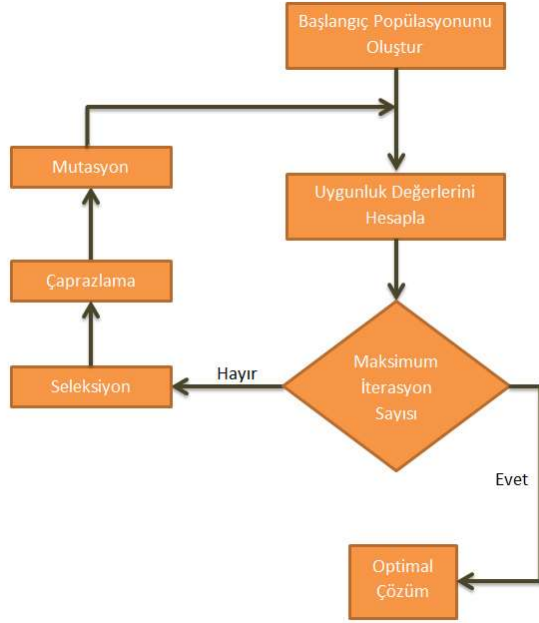
GA'nın temel avantajı, deterministik yöntemlerin çözüm bulmakta zorlandığı çok boyutlu ve doğrusal olmayan problemler için uygun bir çözüm alternatifi sunmasıdır. Sezgisel yaklaşımı sayesinde başlangıç koşullarına duyarlılığı düşük, esnek ve farklı senaryolara kolaylıkla adapte edilebilen bir yapıya sahiptir. Bu özellikleri GA'yı IEEE 33 baralı sistem gibi karmaşık topolojiler üzerinde yürütülen şarj altyapısı planlama, yenilenebilir enerji entegrasyonu, yük yönetimi gibi alanlarda oldukça etkili kılmaktadır.

Yapılan çeşitli akademik çalışmalarda, GA kullanılarak IEEE 33 baralı sistemde gerçekleştirilen optimizasyon işlemlerinin, rastgele yerleştirme yöntemlerine kıyasla aktif güç kayıplarını %6 ila %15 arasında azalttığı, gerilim profillerinde belirgin bir iyileşme sağladığı ve şebeke kararlılığını artırdığı rapor edilmiştir. Ayrıca, GA'nın PSO (Parçacık Sürüsü Optimizasyonu) gibi diğer sezgisel yöntemlerle karşılaştırıldığında, çözüm çeşitliliğini daha uzun süre koruyabilme ve yerel minimumlara takılmadan ilerleyebilme gibi avantajlara sahip olduğu da belirtilmektedir.

Sonuç olarak Genetik Algoritma IEEE 33 baralı sistem gibi dağıtım şebekesi analizlerinde etkili, esnek ve uyarlanabilir bir optimizasyon aracı olarak öne çıkmaktadır. Şarj altyapısı, yük profili düzenlemesi ve yenilenebilir kaynak entegrasyonu gibi çok yönlü sistem ihtiyaçlarının aynı anda ele alınması gereken

durumlarda GA'nın sunduğu yüksek çözüm kalitesi ve algoritmik verimlilik, gelecekteki akıllı şebeke planlamalarında da geniş bir uygulama alanı bulacaktır.

2.8.1 GA'nın temel adımları



Şekil 2.1: GA Akış Diyagramı.

Genetik algoritmanın genel işleyişi şu şekilde özetlenebilir:

- Başlangıç Popülasyonu: Çözüm uzayında rastgele bireylerden oluşan bir başlangıç popülasyonu oluşturulur. Her birey bir çözümü temsil eder ve genellikle bir kromozom gibi kodlanır.
- Uygunluk Değerlendirmesi: Her bireyin uygunluğu değerlendirilir. Uygunluk, belirlenen hedef fonksiyonun başarımını yansıtır.
- Seçilim: Daha yüksek uygunluk değerine sahip bireyler bir sonraki nesil için seçilir. Seçilim işlemi iyi bireylerin üreme şansını artırır.
- Çaprazlama: Seçilen bireyler genetik bilgilerini birleştirerek yeni bireyler (çocuklar) oluşturur. Çaprazlama işlemi farklı çözümlerin özelliklerini bir araya getirerek daha iyi bireyler üretmeyi hedefler.
- Mutasyon: Çocuk bireylerde küçük değişiklikler yapılır. Mutasyon, popülasyondaki çeşitliliği koruyarak yerel minimumlara sıkışmayı önler.

- Yeni Nesil: Çaprazlama ve mutasyon işlemleri sonucunda oluşturulan yeni bireyler bir sonraki nesli oluşturur.
- Döngü: Bu süreç belirli bir durdurma kriterine ulaşıncaya kadar tekrar edilir.

2.8.2 GA'nın avantajları

- Küresel Optimuma Ulaşma Yeteneği: GA, lokal minimumlara takılmadan küresel optimum çözümü arayabilir.
- Çözüm Uzayında Geniş Arama: Popülasyon tabanlı yapısı sayesinde çözüm uzayında geniş çaplı bir araştırma yapar.
- Esneklik: GA, doğrusal olmayan, süreksiz ya da çok tepe noktalı problemlerde etkili sonuçlar üretebilen esnek bir yapıya sahiptir.
- Basit Uygulama: Kodlaması ve uygulanması nispeten kolaydır ve farklı problem türlerine uyarlanabilir.

Çizelge 2.1: PSO ve GA Yöntemlerinin Temel Özelliklerinin Karşılaştırılması.

Özellik	PSO	GA
İlham Kaynağı	Kuş ve balık sürüsü hareketi	Doğal seçim ve genetik evrim
Yapı	Parçacık arası bilgi paylaşımına dayalıdır	Genetik Operatörler (Seçilim, çaprazlama, mutasyon.) kullanılır
Parametre Sayısı	Azdır. (Hız, kişisel ve küresel en iyi.)	Fazladır. (Çaprazlama oranı, mutasyon oranı, seçim türü.)
Çeşitliliğin Korunması	Genellikle düşüktür, yerel minimuma düşme riski var.	Mutasyon sayesinde çeşitlilik korunur.
Küresel Arama Yeteneği	Hızlı yakınsama ancak erken yakınsama riski vardır.	Daha dengeli arama ve daha güvenli küresele optimum bulma ancak daha geç yakınsama.
Hesaplama Yükü	Göreceli olarak daha azdır. Sürekli	Genellikle daha fazladır.
Kullanım Alanı	optimizasyon problemleri için ideal.	Hem sürekli hem de ayrık problemler için uygundur.

Çizelge 2.1'de Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) ile Genetik Algoritma (GA) yöntemlerinin çeşitli yönlerden karşılaştırılmasını amaçlamaktadır. Her iki algoritma da sezgisel ve doğadan esinlenen optimizasyon teknikleri arasında yer almakla birlikte,

yapısal ve işlevsel farklılıklar göstermektedir. Çizelge 2.1'de, ilham kaynakları, yapısal bileşenleri, parametre gereksinimleri, çeşitlilik sağlama kapasiteleri, küresel optimuma ulaşma yetenekleri ve hesaplama yükleri gibi başlıca kıyaslama kriterlerine yer verilmiştir. PSO, bilgi paylaşımına dayalı hızlı bir yakınsama stratejisi sunarken, GA popülasyon çeşitliliğini korumaya yönelik mekanizmaları ile daha kapsamlı bir çözüm arama alanı sağlamaktadır. Bu bağlamda, farklı problem türlerine göre her iki yöntemin avantajları ve sınırlılıkları, uygulama bağlamında dikkate alınması gereken unsurlar arasında yer almaktadır (Gandomkar ve diğ, 2005).

Elektrikli araç şarj noktalarının en uygun konumlarının belirlenmesi gibi zorlu optimizasyon problemlerinde PSO ve GA gibi meta-sezgisel algoritmalara sıklıkla başvurulmaktadır. Bu yöntemlerin her ikisi de küresel optimum çözümleri bulmak için geniş çözüm alanlarında etkin tarama yapabilir. Ancak yapısal özellikleri, performansları ve uygulama biçimleri arasında dikkate değer farklar bulunmaktadır.

PSO, hızlı çözüm üretme kapasitesiyle öne çıkarken, GA çeşitli çözümleri koruyabilme yeteneğiyle daha sağlam küresel optimumlar elde edebilir. Bu nedenle hangi algoritmanın kullanılacağı, çözüm beklenen problemin türüne ve hedeflenen uygulama amacına bağlı olarak değişebilir. Son yıllarda, elektrikli araç şarj altyapısının planlanması ve dağıtım ağlarının optimizasyonunda PSO ve GA tabanlı çeşitli araştırmalara sıklıkla rastlanmaktadır:

- Zhang ve Wang (2019); IEEE 33-bus sisteminde elektrikli araç şarj istasyonlarının yerleşimi için PSO algoritmasını kullanarak hat kayıplarını %12 oranında azalttıklarını rapor etmiştir.
- Chauhan ve diğ, (2016); Genetik Algoritmayı kullanarak hem yerleşim hem de kapasite belirleme problemlerinde başarılı sonuçlar elde etmiş ve şebeke üzerindeki yükü optimize etmiştir.
- Ali ve diğ, (2020); PSO ve GA yöntemlerini karşılaştırarak yaptıkları çalışmada PSO'nun daha hızlı çözüm bulduğunu ancak GA'nın daha istikrarlı ve çeşitlilik içeren çözümler sunduğunu belirtmiştir.
- Wang ve diğ, (2021); çok hedefli optimizasyon problemlerinde (Örneğin hem maliyet hem de enerji verimliliği optimizasyonu.) PSO ile GA'yı hibrit hale getirerek her iki algoritmanın avantajlarından yararlanmış ve önemli performans iyileştirmeleri sağlamıştır.

- Kumar ve diğ, (2022); elektrikli araç şarj altyapısının şebeke üzerindeki etkilerini azaltmak amacıyla Genetik Algoritma tabanlı çok amaçlı bir optimizasyon modeli geliştirmiştir.

Bu çalışmalar PSO ve GA'nın elektrikli araç şarj istasyonu yerleşim optimizasyonunda etkili araçlar olduğunu göstermektedir. Ancak hangi algoritmanın daha başarılı olduğu genellikle problem yapısına, hedef fonksiyonların karmaşıklığına ve uygulama koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Bazı durumlarda her iki yöntemin güçlü yönlerini birleştiren hibrit yaklaşımlar daha üstün performans sağlayabilmektedir.

2.9 Problem Tanımı ve Motivasyon

Elektrikli araçların düzensiz ve aynı anda şarj edilmesi, elektrik dağıtım sistemlerinde çeşitli teknik zorluklara yol açabilmektedir. Özellikle enerji talebinin yoğunlaştığı saatlerde çok sayıda aracın eşzamanlı şarj sürecine girmesi trafo merkezlerinde aşırı yüklenmelere neden olabilirken, gerilim seviyelerinde düşümlere ve sistemin yük dengesinde bozulmalara sebep olmaktadır. Bu tür ani talepler iletim hatlarında gerilim dalgalanmalarını ve güç kalitesi sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Koordinasyonsuz şarj davranışları, iletim hatlarında enerji kayıplarının artmasına ve kısa süreli yüksek talep sıçramalarına neden olabilir.

Avrupa Birliği genelinde faaliyet gösteren birçok dağıtım operatörü, bu tür olumsuz etkileri önlemek amacıyla talep yönetimi stratejileri geliştirmeye başlamıştır. Örneğin, AB'nin 2022/1854 sayılı düzenlemesi üye ülkelerin yüksek talep dönemlerinde en az %5 oranında enerji tüketimini azaltmasını zorunlu kılmaktadır.

Bu tür uygulamaların temel amaçlarından biri hem enerji kayıplarını azaltmak hem de şebeke işletme maliyetlerini düşürmektir. Özellikle akşam saatlerinde rastgele başlatılan elektrikli araç şarj işlemleri, bu pik talep noktalarını daha da şiddetlendirerek sistem üzerindeki baskıyı artırmaktadır.

Bu bağlamda çözülmesi gereken temel sorun sınırlı sayıda elektrikli aracın gün içerisinde hangi zaman aralıklarında şarj edilmesinin sistem açısından en verimli olacağıdır. Buradaki amaç her aracın ihtiyaç duyduğu enerjiyi zamanında temin edebilmesini sağlarken şebeke genelindeki enerji kaybını minimize etmektir. Ayrıca kullanıcıların batarya doluluk hedefleri (State of Charge- SOC) doğrultusunda ihtiyaçlarını karşılayabilmeleri de güvence altına alınmalıdır. Bu tür bir

optimizasyonun gerekçesi sistemin güvenli ve verimli işletilmesini sağlamak ve aynı zamanda yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonundan azami fayda elde etmektir.

Özellikle güneş enerjisi gibi kaynakların üretim eğrilerinin elektrikli araç şarj talepleriyle uyumlu hale getirilmesi önemli avantajlar sunar. Güneş üretiminin yüksek olduğu saatlere şarj yükünün kaydırılması hem dağıtım şebekesi üzerindeki yükü azaltır hem de hat kayıplarının düşürülmesine katkı sağlar. Örneğin yapılan bir çalışmada, konut tipi dağıtım sistemlerinde elektrikli araç şarj işlemlerinin güneş enerjisi üretimiyle senkronize biçimde planlanması sayesinde enerji kayıplarının %66 oranında azaltılabildiği gösterilmiştir. Bu bulgu akıllı şarj stratejilerinin sistem performansı üzerindeki olumlu etkilerini net biçimde ortaya koymaktadır.

Bu çalışmanın temel amacı elektrikli araçların günlük enerji gereksinimlerini karşılayan bir şarj çizelgelemesi oluşturmak ve bu planlamayı yaparken enerji iletim sistemindeki kayıpları en aza indirmektir. Ayrıca şarj zamanlarının mümkün olduğunca yenilenebilir enerji üretimiyle eş zamanlı olacak şekilde uyarlanması da hedeflenmektedir. Bu yaklaşım enerji kaybı, gerilim dalgalanmaları ve pik yüklenmeler gibi teknik problemlerin önüne geçilmesini amaçlamaktadır. Sonuçta uzun vadede daha sürdürülebilir, güvenilir ve verimli bir elektrik altyapısı oluşturmak hedeflenmektedir. Takip eden bölümde, bu hedeflere ulaşmak için tercih edilen genetik algoritma yönteminin nasıl çalıştığı ve sistem üzerindeki avantajları ayrıntılı biçimde ele alınacaktır.

2.10 Literatür Taraması

Elektrikli araçların akıllı şarj edilmesi konusu son yıllarda akademik literatürde yoğun şekilde ele alınmakta farklı optimizasyon teknikleri, hedefler ve senaryolar çerçevesinde çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu kapsamda öne çıkan bazı çalışmaların sonuçları ile bu çalışmada benimsenen yöntem karşılaştırmalı biçimde değerlendirilmektedir.

Optimizasyon Teknikleri: Elektrikli araç şarj planlamasında kullanılan yöntemler genel olarak kesin (deterministik) algoritmalar ve meta-sezgisel yöntemler olarak ikiye ayrılmaktadır. Kesin yöntemler arasında karma tam sayılı programlama (MIP), doğrusal programlama (LP) ve doğrusal olmayan programlama (NLP) öne

çıkılmaktadır. Örneğin Grammenou (2024); bir dağıtım ağı üzerinde elektrikli araç şarj zamanlamasını doğrusal güç akışı modeli ile karma tam sayılı optimizasyon problemi olarak tanımlamış ve bu problemi GAMS platformu kullanarak çözmüştür. Çalışma kontrolsüz şarjla karşılaştırıldığında hem gerilim profillerinde iyileşme hem de güç kayıplarında önemli ölçüde azalma sağlamış ayrıca fotovoltaik (PV) sistemlerin yerleşimi de birlikte optimize edilerek toplam kayıpta %66'ya varan azalma elde edilmiştir.

Kesin yöntemlerin temel avantajı çözümün matematiksel olarak optimal olduğunun garanti edilmesidir. Ancak problem boyutu büyüdükçe bu yöntemlerin hesaplama süresi ciddi biçimde artar. Bu durumda daha esnek ve hızlı sonuç üretebilen meta-sezgisel algoritmalar tercih edilir.

Çalışmamızda tercih edilen genetik algoritma (GA) söz konusu meta-sezgisel yöntemler arasında yer almakta ve benzer nitelikteki literatür çalışmalarıyla kıyaslanabilir durumdadır. GA dışında yaygın olarak uygulanan diğer algoritmalar arasında Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO), Karınca Kolonisi (ACO), Tavlama Benzetimi (SA), Yapay Arı Kolonisi ve çok amaçlı NSGA-II gibi gelişmiş teknikler sayılabilir. Örneğin dağılmış enerji sistemleri bağlamında geliştirdiği çalışmasında, NSGA-II yöntemini kullanarak EV şarj zamanlamasını optimize etmiş ve aynı anda hem enerji kaybını düşürmeyi hem de kullanıcı memnuniyetini artırmayı hedeflemiştir.

Başka bir örnekte, PSO algoritması kullanılarak EA şarj noktalarının konumlandırılması ve kapasite belirleme süreçleri yürütülmüştür. Sonuçlar hem gerilim kararlılığında hem de sistem kayıplarında önemli iyileşmelere işaret etmiştir. Meta-sezgisel yöntemlerin genel özelliği, mutlak optimum garantisi vermemelerine karşın karmaşık problemlerde yüksek kaliteli çözümleri makul sürede sunabilmeleri ve farklı problem boyutlarına kolaylıkla ölçeklenebilmeleridir.

Nitekim elektrikli araç şarj optimizasyonuna ilişkin yapılan bir derleme çalışmasında, çeşitli meta-sezgisel algoritmaların yaygın biçimde kullanıldığı sezgisel yaklaşımların ise klasik yöntemlere göre daha esnek ve zaman açısından avantajlı çözümler sunduğu vurgulanmıştır. Bu araştırmada kullanılan GA yöntemi de bu genel eğilimle örtüşmektedir. Özellikle bu çalışmada kullanılan GA algoritmasının etkinliği yaklaşık 100 nesilde istikrarlı bir çözüme ulaşmasıyla gözlemlenmiştir. Her ne kadar alternatif

algoritmalarla doğrudan bir karşılaştırma yapılmamış olsa da literatürde benzer sorunları ele alan birçok araştırma, GA'nın yüksek uyum kabiliyeti ve sağlam performans özelliklerine dikkat çekmektedir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında elektrikli araç şarj istasyonlarının (EAŞİ) dağıtım sistemine entegrasyonunun teknik etkileri incelenmiş ve enerji kayıplarını minimize edecek bir yerleşim ve zamanlama stratejisi geliştirilmiştir. Analizler IEEE 33 baralı test sistemi üzerinde yürütülmüş ve tüm hesaplamalar MATLAB ortamında gerçekleştirilmiştir. Güç akışı analizleri, klasik Newton-Raphson yöntemi temel alınarak yapılmıştır.

İlk olarak, sistemde rastgele yerleştirilen EAŞİ'lerin toplam aktif güç kaybına etkisi değerlendirilmiştir. Bu amaçla beş farklı senaryo oluşturulmuş, EAŞİ sayısı beşten bire kadar düşürülerek sistem davranışı analiz edilmiştir. Her bir şarj istasyonunun güç tüketimi sabit 22 kW olarak alınmış ve bu yük, seçilen baralara doğrudan entegre edilmiştir. Rastgele yerleşimlere karşılık oluşan kayıplar hesaplanarak referans senaryolar elde edilmiştir.

Daha sonra toplam kaybı azaltmak amacıyla Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) algoritması uygulanmış ve EAŞİ'lerin en uygun konumları belirlenmiştir. PSO ile elde edilen optimum baralar sadece 5 EAŞİ için Genetik Algoritma (GA) ile de çözümlenmiş ve karşılaştırılmış ve her iki yöntemin sadece bir farklı bara seçimi olmuş ve oluşan kayıplar kısmında minimum kaybı GA algoritmasının bulduğu anlaşılmıştır ve algoritmaların doğruluğu açısından önemli bir bulgu olarak değerlendirilmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında sistemin zaman boyutlu bir şarj yönetimi senaryosu altında nasıl davrandığı analiz edilmiştir. 24 saatlik bir zaman dilimi içerisinde her elektrikli aracın yalnızca 8 saat boyunca şarjda kaldığı varsayılmış ve bu 8 saatlik aralığın hangi saatlerde gerçekleşmesinin sistem kayıplarını minimize edeceği Genetik Algoritma ile belirlenmiştir. Bu optimizasyon sürecinde her şarj istasyonunun saatlik enerji tüketimi 3.7 kW olarak modellenmiştir. GA ile daha önce elde edilen EAŞİ konumları bu aşamada sabitlenmiş, yalnızca zamanlama değişkeni üzerinde çalışılmıştır.

Zamansal optimizasyona ek olarak, her bir şarj istasyonuna sabit çıkış gücüne sahip fotovoltaik (PV) üretim birimi entegre edilmiştir. PV üretimi zamanla değişen bir

profil üzerinden değil sabit bir üretim kapasitesi üzerinden tanımlanmış, böylece şebekeye binen net yükün azaltılması ve yenilenebilir enerji katkısının incelenmesi hedeflenmiştir. PV çıkış gücü sisteme sürekli olarak sabit bir değerle katkı sağlayacak şekilde modellenmiş ve optimizasyon sürecinde bu üretim sabit kalmıştır.

Genetik Algoritma ile belirlenen ideal şarj zaman aralıkları sabit ve kesintisiz 8 saatlik şarj senaryoları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar zamansal planlamanın aktif güç kaybı açısından önemli ölçüde iyileşme sağladığını ortaya koymuştur. Böylece hem konum seçimi hem de şarj zamanlamasının birlikte optimize edilmesinin dağıtım sistemi performansı üzerinde olumlu etki yarattığı deneysel olarak doğrulanmıştır.

3.1 Kullanılan Test Sistemi

Çalışmada kullanılan IEEE 33-bus dağıtım sistemi tipik bir orta gerilim şebekesini temsil etmektedir. Bu sistem 12.66 kV nominal gerilimde çalışan 32 dağıtım hattı ve 33 düğümden oluşan bir test sistemidir. Sistemde toplam 5.7 MW aktif güç ve 3.0 Mvar reaktif güç yükü bulunmaktadır. Referans düğüm (bara 1) sabit gerilim kaynağı olarak tanımlanmış, diğer düğümler yük noktaları olarak modellenmiştir.

3.2 Problem Tanımı

Optimizasyon problemi şarj istasyonlarının en uygun konumlarının belirlenmesiyle sistem kayıplarının (aktif güç kayıpları) en aza indirilmesini hedeflemektedir. Problemin karar değişkenleri şunlardır:

- Yerleştirilecek şarj istasyonlarının düğüm numaraları,
- Her bir istasyonun aktif ve reaktif güç kapasitesi.

Bu bağlamda amaç fonksiyonu sistemdeki toplam aktif güç kaybının (Ploss) minimize edilmesi olarak tanımlanmıştır. Ayrıca gerilim limitleri ve sistem kısıtları da dikkate alınarak optimizasyon süreci gerçekleştirilmiştir.

3.3 Performans Kriterleri

Optimizasyon sürecinde aşağıdaki performans göstergeleri değerlendirilmiştir:

- Toplam aktif güç kaybı (kW).
- Gerilim profilinin iyileştirilmesi.

- Algoritma yakınsama hızı.
- Hesaplama süresi.

3.4 Parçacık Sürüsü Optimizasyonu Uygulaması

PSO algoritması her bir parçacığın olası bir çözüm olduğu, parçacıkların hız ve konum bilgisi ile yönlendirildiği bir arama yöntemidir. Bu çalışmada PSO parametreleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

- Parçacık sayısı: 30
- Maksimum iterasyon: 100
- Eylemsizlik ağırlık (w): 0.9 \rightarrow 0.4 (lineer azalan)
- Öğrenme katsayıları: $c_1=1.5$, $c_2=1.5$

Her parçacık bir şarj istasyonunun konumunu ve güç seviyesini temsil etmektedir. En iyi çözüm hem bireysel (pbest) hem de küresel (gbest) başarıya göre güncellenmiştir.

3.5 Genetik Algoritma Uygulaması

GA yöntemi kromozom olarak kodlanmış çözüm adaylarını nesiller boyunca evrimleştirerek daha iyi çözümlere ulaşmayı amaçlamaktadır. Bu çalışmada kullanılan GA parametreleri:

- Popülasyon büyüklüğü: 100
- Maksimum nesil sayısı: 20
- Çaprazlama oranı: 0.8
- Mutasyon oranı: 0.1

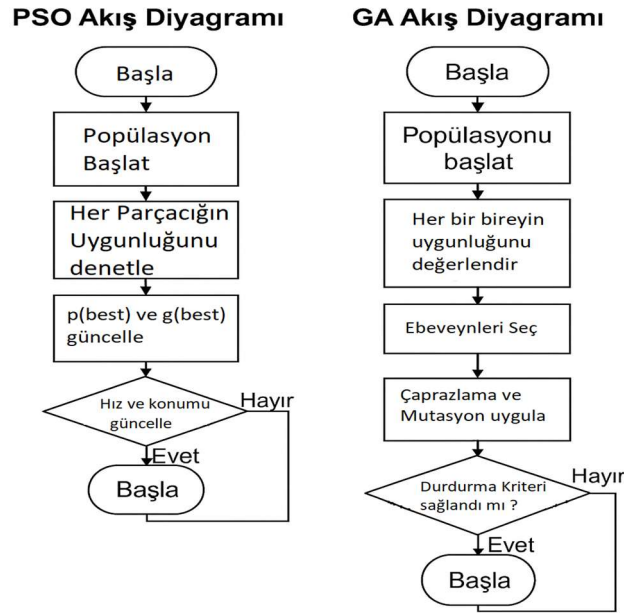
Her birey şarj istasyonlarının konumlarını ve güç kapasitelerini temsil edecek şekilde kodlanmıştır. Uygunluk fonksiyonu olarak sistemdeki toplam aktif güç kaybı kullanılmıştır. Seçilim işlemi turnuva yöntemi ile yapılmış, tek noktalı çaprazlama ve rastgele mutasyon operatörleri uygulanmıştır.

3.6 Simülasyon Ortamı

Tüm algoritmalar MATLAB yazılımı kullanılarak geliştirilmiştir. IEEE 33 baralı sistemi yük akışı analizleri için Newton-Raphson yöntemi ile çözülmüş ve PSO ile GA bu yük akışı sonuçları üzerinden optimize edilmiştir.

3.7 Akış Diyagramları

Aşağıda bu tez kapsamında uygulanan Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) ve Genetik Algoritma (GA) yöntemlerinin işleyiş adımlarını gösteren akış diyagramları yer almaktadır. (Şekil 3.1) Bu diyagramlar algoritmaların nasıl çalıştığını ve çözüm üretme süreçlerini adım adım ortaya koymaktadır.



Şekil 3.1: PSO ve GA Algoritmalarının Akış Diyagramları.

Sol taraftaki diyagram PSO algoritmasının temel adımlarını göstermektedir. Parçacıkların başlangıçta rastgele yerleştirilmesiyle başlayan süreçte her bir parçacık için uygunluk değeri hesaplanmakta ardından bireysel ve küresel en iyi değerler güncellenmektedir. Yeni hız ve konum bilgilerine göre parçacıklar güncellenerek iteratif şekilde çözüm aranmaktadır.

Sağdaki diyagram ise Genetik Algoritma (GA) sürecini özetlemektedir. GA'da başlangıç popülasyonu oluşturulduktan sonra uygunluk fonksiyonuna göre bireyler seçilir ve yeni bireyler oluşturmak üzere çaprazlama ve mutasyon işlemleri uygulanır.

Her nesil sonunda durma kriteri kontrol edilerek algoritma ya sonlandırılır ya da bir sonraki nesle geçilir.

Bu görsel karşılaştırma PSO'nun yönlendirilmiş ve hız temelli bir arama gerçekleştirdiğini, GA'nın ise biyolojik evrim süreçlerine dayalı çeşitliliği koruyan bir yapı sunduğunu açıkça ortaya koymaktadır.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde IEEE 33 baralı test sistemi üzerinde gerçekleştirilen EAŞİ yerleşim ve şarj zamanlama senaryoları doğrultusunda elde edilen aktif güç kaybı değerleri ve sistem davranışı sunulmaktadır. Çalışmanın ilk kısmında EAŞİ'lerin rastgele yerleştirildiği senaryolar analiz edilmiş, ardından Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) ile belirlenen optimum konumlarla karşılaştırmalar yapılmıştır. Sonrasında PSO ile GA karşılaştırması yapılmıştır ve GA sonuçları minimum kayıp için daha iyi sonuç verdiği için GA tarafından konumlandırılan baralar seçilmiştir. Son aşamada ise sabit konumlu EAŞİ'ler için Genetik Algoritma (GA) ile zamansal şarj optimizasyonu gerçekleştirilmiş ve bu sonuçlar da geleneksel şarj senaryoları ile kıyaslanmıştır.

4.1 Simülasyon Kurulumu ve Senaryo Tanımları

Bu araştırmada gerçekleştirilen tüm simülasyon çalışmaları MATLAB platformu kullanılarak yürütülmüştür. Analizlerde referans sistem olarak, 12.66 kV gerilim seviyesinde çalışan ve bir ana bara ile toplam 33 bara içeren IEEE 33-bus test sistemi tercih edilmiştir. Sistemde yer alan tüm yükler sabit kabul edilerek zamana bağlı değişkenlik göz önünde bulundurulmamıştır. Güç akışı analizleri, klasik Newton-Raphson algoritması esas alınarak MATLAB ortamında geliştirilen özel bir çözüm aracı ile gerçekleştirilmiştir.

Simülasyon süreci iki ana bölümden oluşmaktadır. İlk aşamada şarj istasyonlarının şebekeye entegrasyonunun konumsal etkileri değerlendirilmiş, ikinci aşamada ise zamana dayalı şarj stratejileri analiz edilmiştir. Her iki adımda da çeşitli senaryolar oluşturulmuş ve elde edilen sonuçlar sistem kayıpları üzerinden karşılaştırmalı biçimde incelenmiştir.

Birinci bölümde beş farklı senaryo tasarlanarak sistem üzerine sırasıyla 5, 4, 3, 2 ve 1 adet elektrikli araç şarj istasyonu (EAŞİ) rastgele baralara yerleştirilmiştir. Her bir şarj noktası 22 kW sabit güç tüketimi ile modellenmiştir. Rastgele yerleştirilen bu istasyonların neden olduğu aktif güç kayıpları, başlangıç referansı olarak kullanılmıştır. Daha sonra aynı senaryolar için Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO)

algoritması uygulanarak, minimum kayba yol açacak en uygun konumlar belirlenmiştir. Bu optimum yerleşimler ayrıca Genetik Algoritma (GA) ile de test edilerek sonuçların doğruluğu teyit edilmiş ve GA algoritmasının sonucu minimum kayıp için en iyi sonuç olarak seçilmiştir.

İkinci aşamada ise zamana bağlı şarj senaryoları simüle edilmiştir. Burada her elektrikli aracın gün içinde sadece 8 saatlik bir zaman diliminde şarj edildiği varsayılmış ve bu 8 saatin hangi zaman aralığında gerçekleştirilmesinin şebeke üzerindeki kaybı en aza indireceği araştırılmıştır. Konumsal yerleşimler önceki aşamada GA ile sabitlenmiş, bu bölümde yalnızca zaman çizelgesi GA aracılığıyla optimize edilmiştir. Şarj gücü her saat için sabit 3.7 kW olarak tanımlanmıştır.

Ayrıca her şarj noktasına sabit çıkış gücüne sahip fotovoltaik (PV) üretim birimi eklenmiştir. PV kaynakları gün boyunca sabit üretim yapacak şekilde modellenmiş, bu sayede hem şarj talebinin bir kısmı doğrudan yenilenebilir kaynaktan karşılanmış hem de şebekeye binen toplam yük azaltılmıştır.

Tüm senaryolar sonunda elde edilen aktif güç kayıpları analiz edilerek hem konumsal hem de zamansal optimizasyonun dağıtım sisteminin performansına olan etkisi değerlendirilmiştir. Böylece rastgele yerleştirme ve sabit zamanlı şarj uygulamaları ile yapay zekâ tabanlı optimizasyon yaklaşımları karşılaştırmalı olarak test edilmiştir.

4.2 PSO Sonuçları

Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) algoritması kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyonda, sistemin kayıplarını minimize etmek amacıyla beş adet elektrikli araç şarj istasyonunun konumlandırılması hedeflenmiştir. Elde edilen sonuçlar, PSO'nun problem çözümünde başarılı olduğunu ve optimum çözüm bölgelerine etkili şekilde yöneldiğini göstermektedir. Optimizasyon Sonuçları:

- Seçilen Bus Numaraları: 20, 2, 21, 3, 19
- Her İstasyona Atanan Güç (kW): 22
- Toplam Güç Kaybı: 203,856 kW

4.2.1 PSO sonuçları üzerine değerlendirme

PSO algoritması arama uzayında daha hızlı yakınsama ve daha az hesaplama yüküyle stabil bir sonuç üretmiştir. Seçilen baraların hem merkezî hem de uç bölgeleri

kapsayacak şekilde dağılmış olması, gerilim profilinin genelinde iyileşmeye katkı sağlamıştır. Minimum gerilim değeri, sistemin güvenli çalışmasını sağlayacak sınırlar içinde tutulmuş ve referans duruma kıyasla ciddi bir toparlanma sağlanmıştır.

Bununla birlikte GA algoritmasıyla elde edilen çözümle PSO'nun bulduğu çözümün aynı olması dikkat çekicidir. Bu durum, çözüm uzayının belirli bir yapı altında daralmış olabileceğini ve kullanılan parametrelerin farklı algoritmaların aynı sonucu üretmesine yol açtığını göstermektedir.

4.2.2 Senaryo 1

Çizelge 4.1: 5'li Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Gerilim Profili (p.u).

Bara Numarası	Referans	Rastgele 5 EAŞİ	PSO 5 EAŞİ
1	1.0000	1.0000	1.0000
2	0,9970	0,9970	0,9970
3	0,9829	0,9825	0,9828
4	0,9755	0,9747	0,9753
5	0,9681	0,9670	0,9679
6	0,9497	0,9479	0,9495
7	0,9462	0,9444	0,9461
8	0,9414	0,9394	0,9412
9	0,9351	0,9330	0,9349
10	0,9293	0,9270	0,9291
11	0,9284	0,9261	0,9283
12	0,9269	0,9245	0,9268
13	0,9208	0,9182	0,9207
14	0,9185	0,9158	0,9184
15	0,9171	0,9143	0,9170
16	0,9158	0,9128	0,9156
17	0,9137	0,9106	0,9136
18	0,9131	0,9099	0,9130
19	0,9965	0,9964	0,9964
20	0,9929	0,9929	0,9924
21	0,9922	0,9921	0,9916
22	0,9916	0,9915	0,9910
23	0,9794	0,9789	0,9792
24	0,9727	0,9722	0,9726
25	0,9694	0,9689	0,9692
26	0,9478	0,9458	0,9476
27	0,9452	0,9431	0,9451
28	0,9338	0,9310	0,9336
29	0,9255	0,9223	0,9254
30	0,9220	0,9184	0,9218
31	0,9178	0,9138	0,9177
32	0,9169	0,9127	0,9168

Çizelge 4.1(devam): 5’li Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Gerilim Profili (p.u).

Bara Numarası	Referans	Rastgele 5 EAŞİ	PSO 5 EAŞİ
33	0,9166	0,9124	0,9165

Çizelge 4.1’de 33 baralı bir dağıtım sisteminde üç farklı senaryo altında elde edilen gerilim değerlerini ve toplam aktif güç kayıplarını karşılaştırmalı olarak sunmaktadır.

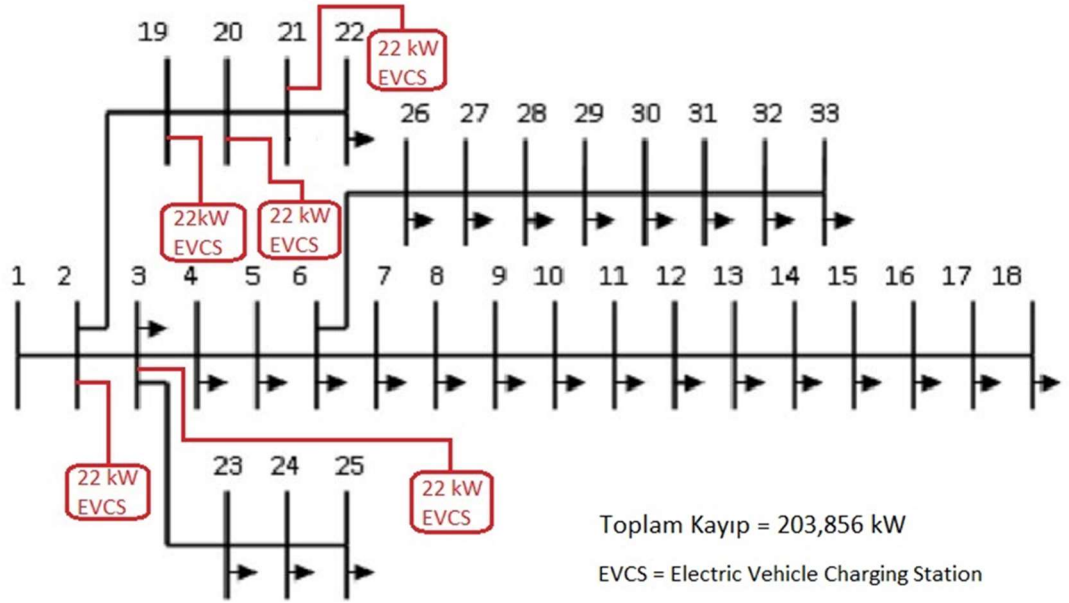
Senaryolar sırasıyla; referans durum (şarj istasyonu bulunmayan), rastgele yerleştirilmiş beş EAŞİ içeren durum ve PSO algoritması kullanılarak optimize edilmiş yerleşimdir.

Her bir bara için elde edilen gerilim büyüklükleri üç senaryoda da yer almakta ve aralarındaki farklar doğrudan kıyaslanabilmektedir. Referans senaryoda sistem üzerinde herhangi bir şarj istasyonu yer almadığı için en düşük kayıp değeri (202,488 kW) gözlemlenmiştir. Bu değer ideal sistem dengesini ve yük profilini yansıtmaktadır.

Rastgele yerleştirme senaryosunda, EAŞİ’lerin hangi baralara yerleştirileceği sistematik olarak belirlenmediği için toplam güç kaybı 217,330 kW'a yükselmiş; bu da referansa göre yaklaşık %7,3’lük bir artışa işaret etmektedir. Aynı zamanda bu senaryoda birçok barada gerilim değerlerinde düşüşler kaydedilmiştir, özellikle düşük numaralı baralara göre daha uzakta bulunan baralarda bu etki belirginleşmiştir.

PSO algoritmasıyla optimize edilen senaryoda ise toplam kayıp değeri 203,856 kW olarak belirlenmiş ve referansla neredeyse eşdeğer bir performans elde edilmiştir. Gerilim değerleri de bu senaryoda referans durumuna oldukça yakın seviyelerde korunmuş, bu da optimizasyon algoritmasının hem kayıpları minimize etmekte hem de gerilim profilini dengelemek konusunda başarılı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.1’deki verileri rastgele yerleşimin sistem performansını olumsuz etkilediğini buna karşın PSO tabanlı yaklaşımların sistemin teknik dengesini koruyarak verimli çalışmasını sağladığını açıkça ortaya koymaktadır.



Şekil 4.1: IEEE-33 baralı sistemde 5’li EVCS.

4.2.3 Senaryo 2

Çizelge 4.2: 4’lü Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Gerilim Profili (p.u).

Bara Numarası	Referans	Rastgele 4 EAŞİ	PSO 4 EAŞİ
1	1.0000	1.0000	1.0000
2	0,9970	0,9970	0,9970
3	0,9829	0,9826	0,9829
4	0,9755	0,9748	0,9754
5	0,9681	0,9672	0,9680
6	0,9497	0,9483	0,9496
7	0,9462	0,9447	0,9461
8	0,9414	0,9398	0,9413
9	0,9351	0,9333	0,9350
10	0,9293	0,9273	0,9292
11	0,9284	0,9264	0,9284
12	0,9269	0,9249	0,9269
13	0,9208	0,9185	0,9208
14	0,9185	0,9162	0,9185
15	0,9171	0,9147	0,9171
16	0,9158	0,9132	0,9157
17	0,9137	0,9110	0,9137
18	0,9131	0,9102	0,9131
19	0,9965	0,9964	0,9964
20	0,9929	0,9929	0,9924
21	0,9922	0,9922	0,9916
22	0,9916	0,9915	0,9910
23	0,9794	0,9790	0,9193
24	0,9727	0,9723	0,9726

Çizelge 4.2(devam): 4'lü Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Gerilim Profili (p.u).

Bara Numarası	Referans	Rastgele 4 EAŞİ	PSO 4 EAŞİ
25	0,9694	0,9690	0,9693
26	0,9478	0,9462	0,9477
27	0,9452	0,9435	0,9451
28	0,9338	0,9316	0,9337
29	0,9255	0,9230	0,9255
30	0,9220	0,9192	0,9219
31	0,9178	0,9146	0,9178
32	0,9169	0,9135	0,9169
33	0,9166	0,9132	0,9166

Çizelge 4.2’de elde edilen bilgilerle, dağıtım sistemine entegre edilen elektrikli araç şarj istasyonlarının (EAŞİ) farklı yerleşim stratejileri altında sistem performansı üzerindeki etkilerini açık bir şekilde ortaya koymaktadır. Üç farklı senaryo değerlendirilmiş olup, bunlar: hiçbir şarj istasyonu içermeyen referans durumu, dört EAŞİ’nin rastgele baralara yerleştirildiği kontrolsüz entegrasyon ve parçacık sürü optimizasyonu (PSO) algoritması ile yönlendirilen kontrollü yerleşimdir.

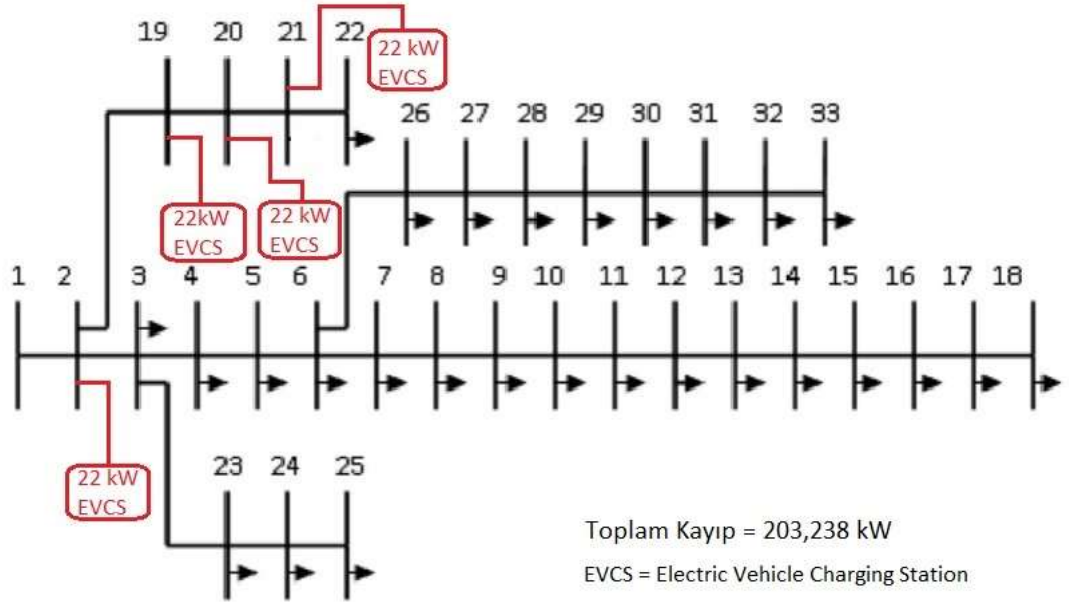
Gerilim profili incelendiğinde, referans senaryoda tüm baralardaki gerilim seviyelerinin belirli bir denge içerisinde dağıldığı görülmektedir. Bu senaryoda, toplam aktif güç kaybı 202,488 kW olarak hesaplanmıştır ve bu değer, sistemde herhangi bir şarj yükü olmamasından kaynaklanan ideal durumu yansıtmaktadır.

Dört adet EAŞİ rastgele yerleştirildiği ikinci senaryoda ise, kayıp değeri 214,574 kW’a yükselmiştir. Bu artış, istasyonların sistem üzerindeki yük dağılımı ve gerilim dengesine rastgele müdahale etmesi sonucunda ortaya çıkmıştır. Baralara ait gerilim büyüklükleri, özellikle sistemin uç noktalarında anlamlı ölçüde düşmüş ve bu da enerji kalitesinde azalma anlamına gelmiştir.

Üçüncü senaryo ise, PSO algoritmasıyla kayıpların en aza indirileceği şekilde optimize edilmiş bir yerleşim planına dayanmakta olup toplam kayıp değeri 203,238 kW olarak hesaplanmıştır. Bu durumda, gerilim değerlerinin referans senaryoya oldukça yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bu, algoritmanın sistem üzerindeki yük akışını dengeleyerek hem gerilim profilini koruduğunu hem de kayıpları minimize ettiğini göstermektedir.

Sonuç olarak, Çizelge 4.2’deki verileri açıkça göstermektedir ki, EAŞİ’lerin yerleşim stratejisi sistem performansını doğrudan etkilemektedir. Rastgele yerleştirmeler hem enerji kayıplarını artırmakta hem de gerilim dengesini bozmaktadır. Buna karşılık,

optimizasyon tabanlı yöntemler sistemin hem ekonomik hem de teknik performansını iyileştirmede etkili bir araç olarak öne çıkmaktadır.



Şekil 4.2: IEEE-33 baralı sistemde 4'lü EVCS.

4.2.4 Senaryo 3

Çizelge 4.3: 3'lü Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Gerilim Profili (p.u).

Bara Numarası	Referans	Rastgele 3 EAŞİ	PSO 3 EAŞİ
1	1.0000	1.0000	1.0000
2	0,9970	0,9970	0,9970
3	0,9829	0,9827	0,9829
4	0,9755	0,9750	0,9754
5	0,9681	0,9674	0,9680
6	0,9497	0,9486	0,9496
7	0,9462	0,9451	0,9462
8	0,9414	0,9400	0,9413
9	0,9351	0,9334	0,9350
10	0,9293	0,9273	0,9292
11	0,9284	0,9263	0,9284
12	0,9269	0,9247	0,9269
13	0,9208	0,9182	0,9208
14	0,9185	0,9157	0,9185
15	0,9171	0,9142	0,9171
16	0,9158	0,9127	0,9157
17	0,9137	0,9105	0,9137
18	0,9131	0,9098	0,9131
19	0,9965	0,9965	0,9964
20	0,9929	0,9929	0,9926

Çizelge 4.3(devam): 3'lü Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Gerilim Profili (p.u).

Bara Numarası	Referans	Rastgele 3 EAŞİ	PSO 3 EAŞİ
21	0,9922	0,9922	0,9919
22	0,9916	0,9915	0,9913
23	0,9794	0,9791	0,9793
24	0,9727	0,9724	0,9726
25	0,9694	0,9691	0,9693
26	0,9478	0,9467	0,9477
27	0,9452	0,9441	0,9452
28	0,9338	0,9324	0,9337
29	0,9255	0,9241	0,9255
30	0,9220	0,9205	0,9219
31	0,9178	0,9161	0,9178
32	0,9169	0,9152	0,9169
33	0,9166	0,9149	0,9166

Çizelge 4.3'te elde edilen bilgiler doğrultusunda, dağıtım sisteminde üç farklı şarj istasyonu yerleşim senaryosu için elde edilen gerilim profilleri ve sistemin toplam hat kayıpları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. 33 baralı sistem üzerinden gerçekleştirilen bu analiz, şarj istasyonlarının yerleşim biçiminin sistem performansı üzerindeki etkisini sayısal olarak ortaya koymaktadır.

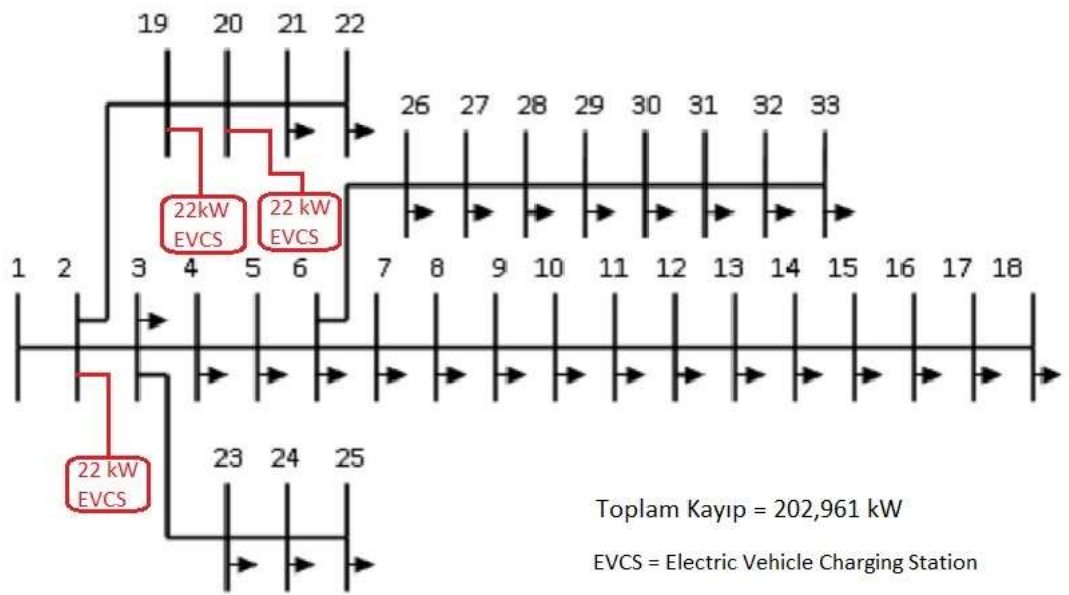
İlk senaryo, referans durumu temsil etmektedir. Bu yapıda, sistemde herhangi bir elektrikli araç şarj istasyonu (EAŞİ) bulunmamaktadır. Dolayısıyla sistem yalnızca sabit yüklerle çalışmaktadır. Bu senaryo altında elde edilen toplam aktif güç kaybı 202.488 kW olup, sistemin ideal çalışma koşullarındaki teknik kayıplarını temsil etmektedir. Baralardaki gerilim değerleri ise oldukça dengeli bir dağılım göstermekte, tüm baralarda nominal seviyeye yakın değerlere ulaşılmaktadır.

İkinci senaryoda, üç adet şarj istasyonu sistem üzerinde rastgele baralara yerleştirilmiştir. Bu kontrolsüz entegrasyon sonucunda toplam kayıplar 211,708 kW seviyesine yükselmiştir. Bu artış, istasyonların sistemin gerilim dengesi ve yük akışı üzerindeki etkilerinin dikkate alınmadan yerleştirilmesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca bu senaryoda birçok barada gerilim düşüşü gözlemlenmiş, özellikle sistemin uç noktalarına yakın baralarda gerilim sapsmaları belirginleşmiştir. Bu durum, rastgele yerleştirmenin sistem performansı açısından risk oluşturabileceğini göstermektedir.

Üçüncü senaryoda ise parçacık sürü optimizasyonu (PSO) algoritması kullanılarak şarj istasyonları, sistemdeki toplam hat kayıplarını en aza indirecek şekilde stratejik olarak yerleştirilmiştir. Bu yaklaşım sonucunda, kayıplar 202,961 kW seviyesine düşürülmüş

ve referans senaryoya oldukça yakın bir sonuç elde edilmiştir. Gerilim değerleri de genel olarak referans duruma paralel bir yapı sergilemiştir. Bu, PSO algoritmasının yalnızca teknik kayıpları azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda sistemdeki gerilim profilini de dengeleme konusunda başarılı olduğunu göstermektedir.

Senaryoların tamamı sonunda elde edilen aktif güç kayıpları değerlendirilerek, konumsal ve zamansal düzeyde yapılan optimizasyonların sistem verimliliği üzerindeki etkileri ortaya konmuştur. Böylelikle rastgele yerleşim ve sabit zamanlı şarj uygulamaları, meta sezgisel temelli optimizasyon teknikleri ile karşılaştırmalı biçimde analiz edilmiştir.



Şekil 4.3: IEEE-33 baralı sistemde 3'lü EVCS.

4.2.5 Senaryo 4

Çizelge 4.4: 2'li Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Gerilim Profili (p.u).

Bara Numarası	Referans	Rastgele 2 EAŞİ	PSO 2 EAŞİ
1	1.0000	1.0000	1.0000
2	0,9970	0,9970	0,9970
3	0,9829	0,9828	0,9829
4	0,9755	0,9752	0,9754
5	0,9681	0,9676	0,9680
6	0,9497	0,9490	0,9497
7	0,9462	0,9455	0,9462
8	0,9414	0,9405	0,9413
9	0,9351	0,9341	0,9351

Çizelge 4.4(devam): 2’li Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Gerilim Profili (p.u).

Bara Numarası	Referans	Rastgele 2 EAŞİ	PSO 2 EAŞİ
10	0,9293	0,9281	0,9293
11	0,9284	0,9272	0,9284
12	0,9269	0,9256	0,9269
13	0,9208	0,9193	0,9208
14	0,9185	0,9169	0,9185
15	0,9171	0,9154	0,9171
16	0,9158	0,9140	0,9157
17	0,9137	0,9117	0,9137
18	0,9131	0,9110	0,9131
19	0,9965	0,9965	0,9965
20	0,9929	0,9929	0,9929
21	0,9922	0,9922	0,9922
22	0,9916	0,9916	0,9915
23	0,9794	0,9792	0,9793
24	0,9727	0,9725	0,9727
25	0,9694	0,9692	0,9693
26	0,9478	0,9470	0,9477
27	0,9452	0,9444	0,9452
28	0,9338	0,9328	0,9337
29	0,9255	0,9245	0,9255
30	0,9220	0,9208	0,9220
31	0,9178	0,9165	0,9178
32	0,9169	0,9155	0,9169
33	0,9166	0,9153	0,9166

Çizelge 4.4’te elde edilen bilgiyle, 33 baralı bir dağıtım sistemi üzerinde gerçekleştirilen üç farklı senaryoya ait gerilim profilleri ve sistem kayıpları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Hazırlanan Çizelge 4.4’te, referans durumu, rastgele yerleştirilmiş iki adet elektrikli araç şarj istasyonu (EAŞİ) senaryosu ve parçacık sürü optimizasyonu (PSO) algoritması ile belirlenen yerleşim stratejisini kapsamaktadır.

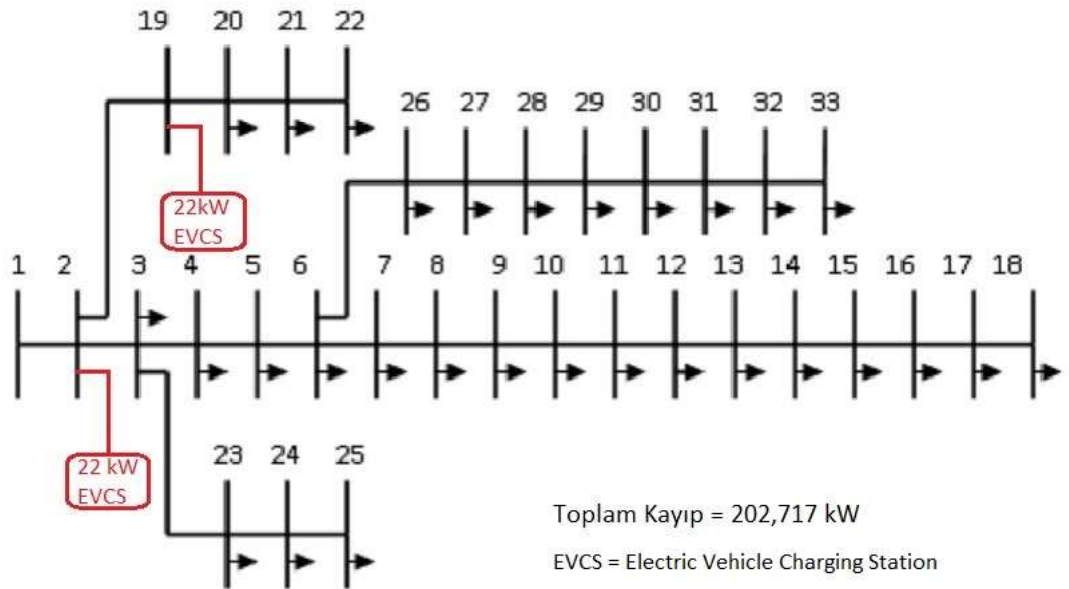
Referans senaryoda, sistemde herhangi bir EAŞİ bulunmamakta ve tüm baralar yalnızca mevcut yüklerle çalışmaktadır. Bu durumda sistemin toplam aktif güç kaybı 202,488 kW olarak ölçülmüş olup, bu değer sistemin ideal ve müdahalesiz durumunu temsil etmektedir. Gerilim değerleri bu senaryoda oldukça dengelidir ve tüm baralarda nominal seviyeye yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Rastgele yerleştirme senaryosunda, iki adet EAŞİ sisteme herhangi bir ön koşul olmadan atanmıştır. Bu durum sistemdeki aktif güç kayıplarını 208,584 kW seviyesine çıkarmış ve bazı baralarda dikkat çekici gerilim düşüşlerine neden olmuştur. Gerilim

profilindeki bu bozulma, özellikle orta ve uç baralarda daha belirgin hale gelmiştir. Bu sonuç, şarj istasyonlarının kontrolsüz entegrasyonunun sistem performansı üzerinde olumsuz etkiler yaratabileceğini göstermektedir.

PSO senaryosunda, PSO algoritması sistem kayıplarını minimize edecek şekilde çalıştırılmış ve en uygun iki bara belirlenerek EAŞİ yerleştirilmiştir. Bu yöntemle elde edilen toplam kayıp 202,717 kW olup, referans durumuna oldukça yakın bir performans sergilemektedir. Gerilim değerleri ise rastgele yerleştirme senaryosuna kıyasla daha stabil bir dağılım göstermiş ve genel olarak sistemin voltaj profilini referans düzeyine yaklaştırmıştır.

Sonuç olarak, Çizelge 4.4'teki verileri şunu açıkça ortaya koymaktadır: EAŞİ'lerin yerleşim biçimi sistemin enerji verimliliği ve gerilim kararlılığı üzerinde doğrudan etkilidir. Rastgele yapılan yerleşimler sistem kayıplarını artırırken, PSO gibi algoritmalar bu kayıpları önemli ölçüde azaltmakta ve gerilim profilini dengelemektedir. Bu nedenle, dağıtım sistemlerinde EAŞİ entegrasyonu planlanırken optimizasyon tabanlı stratejilerin tercih edilmesi hem teknik hem de ekonomik açıdan sistem performansını olumlu yönde etkilemektedir.



Şekil 4.4: IEEE-33 baralı sistemde 2'li EVCS.

4.2.6 Senaryo 5

Çizelge 4.5: 1’li Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Gerilim Profili (p.u).

Bara Numarası	Referans	Rastgele 1 EAŞİ	PSO 1 EAŞİ
1	1.0000	1.0000	1.0000
2	0,9970	0,9970	0,9970
3	0,9829	0,9828	0,9829
4	0,9755	0,9753	0,9755
5	0,9681	0,9679	0,9681
6	0,9497	0,9493	0,9497
7	0,9462	0,9458	0,9462
8	0,9414	0,9409	0,9413
9	0,9351	0,9344	0,9351
10	0,9293	0,9284	0,9293
11	0,9284	0,9276	0,9284
12	0,9269	0,9260	0,9269
13	0,9208	0,9197	0,9208
14	0,9185	0,9173	0,9185
15	0,9171	0,9158	0,9171
16	0,9158	0,9143	0,9158
17	0,9137	0,9121	0,9137
18	0,9131	0,9114	0,9131
19	0,9965	0,9965	0,9965
20	0,9929	0,9929	0,9929
21	0,9922	0,9922	0,9922
22	0,9916	0,9916	0,9916
23	0,9794	0,9793	0,9793
24	0,9727	0,9726	0,9727
25	0,9694	0,9693	0,9694
26	0,9478	0,9474	0,9477
27	0,9452	0,9448	0,9452
28	0,9338	0,9334	0,9337
29	0,9255	0,9252	0,9255
30	0,9220	0,9216	0,9220
31	0,9178	0,9175	0,9178
32	0,9169	0,9165	0,9169
33	0,9166	0,9163	0,9166
33	0,9166	0,9163	0,9166

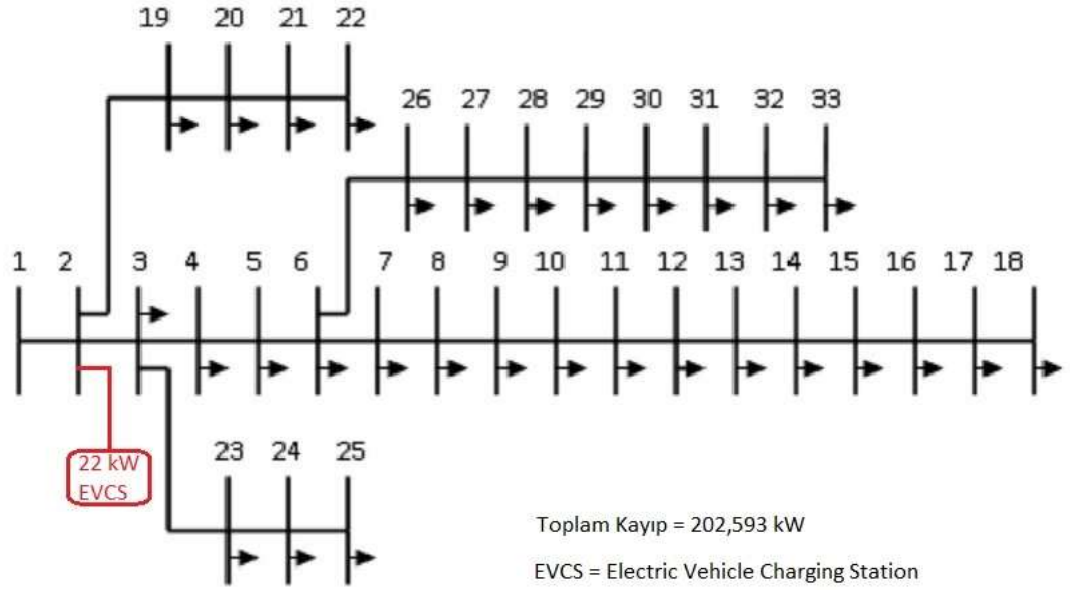
Çizelge 4.5’te 33 baralı bir dağıtım sistemine uygulanan üç farklı senaryo çerçevesinde elde edilen gerilim düzeyleri ve toplam hat kayıpları kıyaslamalı olarak değerlendirilmiştir. Senaryolar sırasıyla: (1) sistemde elektrikli araç şarj istasyonunun (EAŞİ) bulunmadığı referans yapı, (2) rastgele seçilmiş bir baraya EAŞİ eklenmesi ve (3) PSO algoritması kullanılarak belirlenen optimal konuma yerleştirilmiş bir şarj istasyonu durumlarını kapsamaktadır.

İlk senaryo herhangi bir şarj yükünün sisteme entegre edilmediği ve yalnızca mevcut yük profilinin çalıştığı referans durumudur. Bu yapı altında toplam aktif güç kaybı 202.488 kW olarak hesaplanmıştır. Baralardaki gerilim değerleri nominal sınırların içinde kalmış ve sistem genelinde dengeli bir dağılım göstermiştir. Bu senaryo dış etkilerden bağımsız, sistemin doğal hâlini temsil eden temel karşılaştırma noktası olarak değerlendirilmiştir.

İkinci senaryoda EAŞİ herhangi bir optimizasyon tekniği kullanılmadan sistemde rastgele belirlenmiş bir baraya yerleştirilmiştir. Bu durumda gözlemlenen toplam aktif güç kaybı 205,767 kW seviyesine yükselmiştir. Ayrıca özellikle 10 numaralı baradan itibaren belirgin gerilim düşüşleri yaşanmıştır. Bu senaryo, kontrolsüz şarj istasyonu entegrasyonunun şebeke performansını olumsuz etkileyebileceğini hem enerji kayıplarını artırdığını hem de voltaj profilinde bozulmalara yol açtığını göstermektedir.

Üçüncü senaryoda ise PSO algoritması uygulanarak elektrikli araç şarj istasyonlarının sisteme en uygun şekilde yerleştirileceği bara belirlenmiştir. Bu optimizasyon sonucunda sistemdeki toplam aktif güç kaybı 202,594 kW olarak kaydedilmiştir. Gerilim değerleri referans senaryoya oldukça yakın kalmış, voltaj profili dengeli bir şekilde dağılmış ve rastgele yerleşim senaryosuna göre önemli ölçüde iyileşmiştir. Bu durum meta-sezgisel algoritmaların yerleşim stratejilerinin sistem stabilitesini artırmakta etkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Analiz sonuçları genel olarak yalnızca tek bir şarj istasyonunun bile dağıtım sisteminin teknik performansını doğrudan etkileyebileceğini göstermektedir. Rastgele entegrasyonlar sistem üzerindeki kayıpları artırırken, PSO gibi optimizasyon temelli yaklaşımlar kayıpları azaltmakta ve voltaj profilini iyileştirmektedir. Bu bağlamda şarj altyapısının dağıtım sistemlerine entegre edilmesinde optimizasyon esaslı planlamaların dikkate alınması gerekliliği net bir biçimde ortaya çıkmaktadır.



Şekil 4.5: IEEE-33 baralı sistemde 1’li EVCS.

4.3 Rastgele Durum ve PSO Karşılaştırması

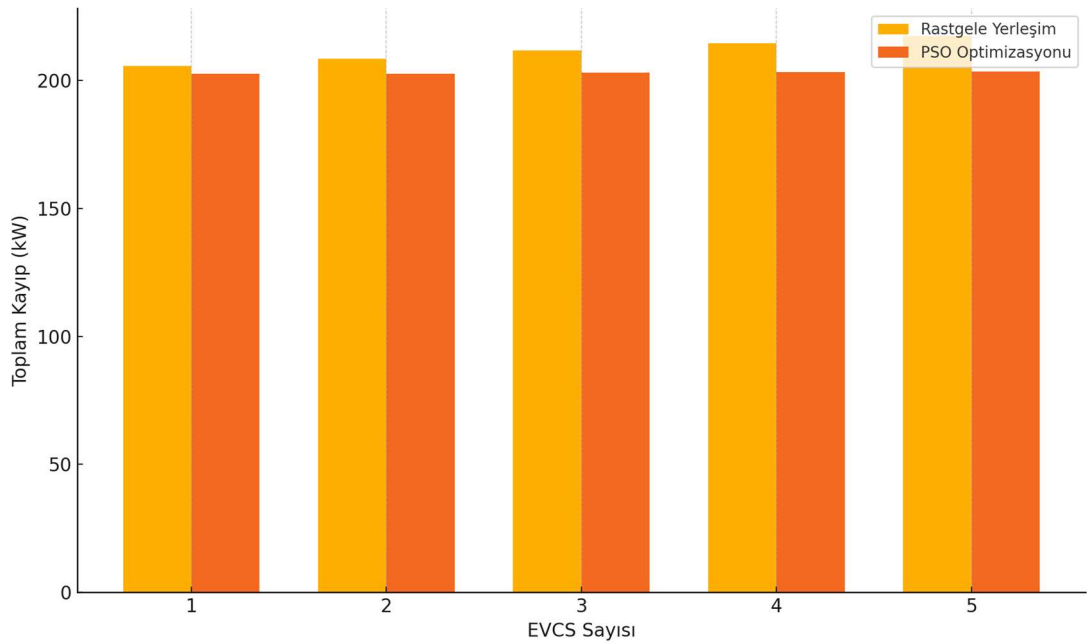
Bu çalışmada IEEE 33 baralı dağıtım sistemi üzerine farklı sayılarda elektrikli araç şarj istasyonu (EAŞİ) yerleştirilerek sistem kayıplarına olan etkileri analiz edilmiştir. Temel hedef, şebekeye entegre edilen elektrikli araç şarj istasyonlarının konumlarının sistem performansı üzerindeki etkilerini ortaya koymak ve kayıpları minimize edecek optimum yerleşimi, Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) algoritması yardımıyla belirlemektir. İlk olarak şebekeye rastgele yerleştirilen elektrikli araç şarj istasyonlarından elde edilen referans senaryolar değerlendirilmiş, ardından aynı sistemde PSO algoritmasıyla optimize edilen yerleşimlerin getirdiği değişimler incelenmiştir. Elde edilen bulgular Çizelge 4.6’da özetlenmiştir.

Çizelge 4.6: Senaryoların değerlendirilmesi.

Senaryolar	EAŞİ Sayısı	Rastgele Kayıp (kW)	PSO Kayıp (kW)
Senaryo 1	5	217,330	203,856
Senaryo 2	4	214,571	203,238
Senaryo 3	3	211,708	202,961
Senaryo 4	2	208,584	202,717
Senaryo 5	1	205,767	202,593
EAŞİ olmadan sistem	0	202,488	–

Yukarıdaki Çizelge 4.6 değerlendirildiğinde rastgele yerleştirilen elektrikli araç şarj istasyonları sistem kayıplarını artırmakta, ancak PSO algoritması ile yapılan yerleşimler bu kayıpları anlamlı biçimde azaltmaktadır. Özellikle EAŞİ sayısının artmasına rağmen PSO uygulaması sayesinde, EAŞİ olmayan senaryoya oldukça yakın, hatta bazı durumlarda daha düşük kayıplar elde edilmiştir. Örneğin, beş adet elektrikli araç şarj istasyonunun rastgele yerleştirilmesiyle oluşan 217,330 kW'lık kayıp, PSO optimizasyonu ile 203,856 kW seviyesine çekilmiştir. Benzer şekilde tek elektrikli araç şarj istasyonu sistemde referans kayıp 205,767 kW iken PSO ile bu değer 202,593 kW'a kadar düşürülmüştür.

Aşağıdaki Şekil 4.6, EAŞİ sayısına göre sistemde oluşan kayıp değerlerinin, rastgele yerleştirme ve PSO optimizasyonu durumlarında nasıl değiştiğini görsel olarak sunmaktadır:



Şekil 4.6: PSO ve Rastgele durum karşılaştırması.

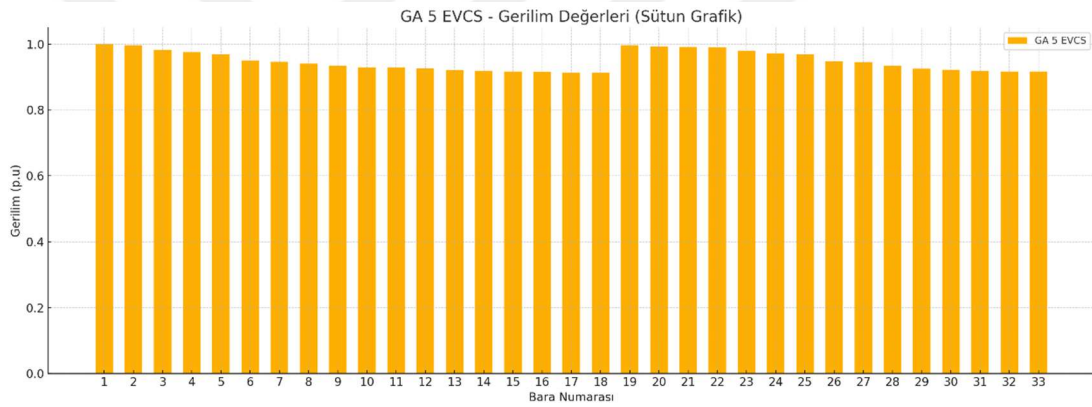
4.4 GA Sonuçları ve Değerlendirme

Bu çalışmada Genetik Algoritma (GA) elektrikli araç şarj istasyonlarının (EAŞİ) dağıtım sistemine optimum yerleşimini belirlemek amacıyla uygulanmış ve sistem performansı üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. GA tarafından önerilen yerleşim konfigürasyonu ile toplam aktif güç kaybı 203,550 kW olarak hesaplanmış, bu değer PSO algoritmasıyla elde edilen sonuca kıyasla daha düşük bir kayıp düzeyi sunmuştur. Ayrıca gerilim profili incelendiğinde en düşük gerilim değeri 0.9131 olarak

kaydedilmiş ve bu sonuç sistem genelinde voltaj kararlılığının korunduğunu göstermiştir. GA'nın yüksek çözüm kalitesi ve adaptasyon yeteneği sayesinde yalnızca enerji kayıpları azaltılmakla kalmamış, aynı zamanda sistemin gerilim dengesinde de iyileşme sağlanmıştır. Elde edilen bulgular, GA algoritmasının EVCS yerleşim optimizasyonunda etkin bir yöntem olduğunu ve özellikle enerji verimliliği ile sistem kararlılığı gibi kritik parametreler üzerinde olumlu etkiler yarattığını göstermektedir. Elde Edilen Optimizasyon Sonuçları:

- Seçilen Bara Numaraları: 20, 2, 21, 22, 19
- Her İstasyona Atanan Güç (kW): 22
- Toplam Güç Kaybı: 203,550 kW

4.4.1 GA gerilim profili

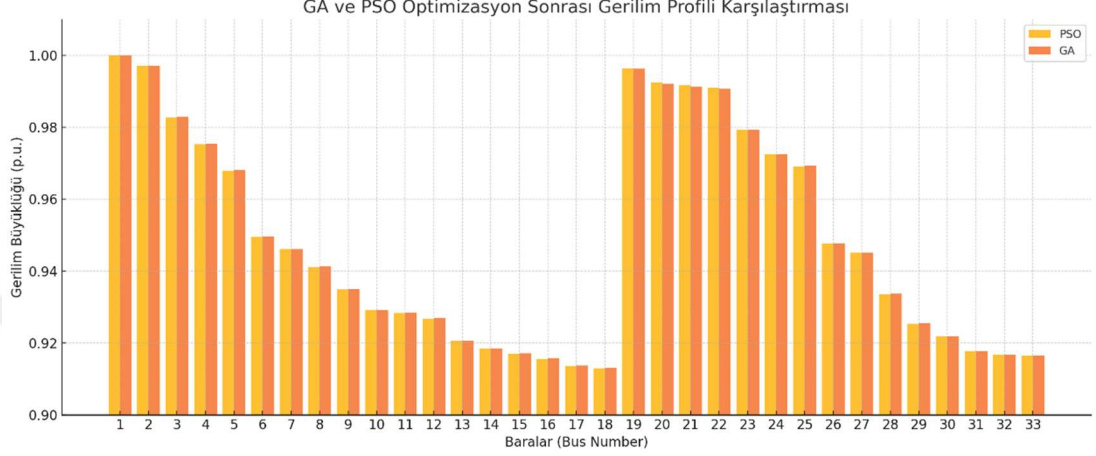


Şekil 4.7: GA Gerilim Profili (p.u).

Şekil 4.7’de gösterilen GA sonrası gerilim profili incelendiğinde sistem genelinde gerilim seviyelerinin 0.9 p.u. sınırının üzerinde kaldığı ve dağılımın oldukça dengeli bir şekilde sağlandığı görülmektedir. Bu durum şarj istasyonlarının GA ile etkin şekilde konumlandırılması sayesinde gerilim düşümlerinin minimize edildiğini ve sistem voltaj profilinin iyileştirildiğini göstermektedir. GA yöntemi yüklerin dengeli dağılımını sağlayarak özellikle sistemin uç noktalarında meydana gelebilecek düşük gerilim problemlerini azaltmış ve böylece sistemin kararlılığını artırmıştır. Ayrıca gerilim profili kritik sınırın altına düşmeden tüm baralarda kabul edilebilir aralıkta kalmıştır. Bu durum dağıtım sisteminin voltaj regülasyonu açısından başarılı bir şekilde optimize edildiğini ve enerji kalitesinin artırıldığını göstermektedir.

4.4.2 Karşılaştırmalı gerilim profili

Aşağıdaki Şekil 4.8’de referans durumu, PSO ve GA algoritmaları ile optimize edilmiş sistemler için gerilim profilleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Gerilim değerleri p.u. (per-unit) cinsinden gösterilmiş olup, her bir bara için hesaplanan gerilim büyüklükleri dikey eksende sıralanmıştır.



Şekil 4.8: Karşılaştırmalı Gerilim Profili (p.u.).

Şekil 4.8’de PSO (Parçacık Sürüsü Optimizasyonu) ve GA (Genetik Algoritma) tabanlı yerleşim senaryoları sonucunda elde edilen gerilim profillerini bara bazında karşılaştırmalı olarak göstermektedir. Her iki optimizasyon yöntemi sistemin gerilim kararlılığını koruma açısından genel olarak benzer bir performans sergilemiş olsa da GA’nın bazı baralarda daha yüksek gerilim değerleri sağladığı gözlemlenmiştir. Özellikle 10 numaralı baradan sonraki bölgelerde GA ile elde edilen profil, PSO’ya göre daha dengeli bir eğilim göstermektedir.

Bu çalışmada IEEE 33 baralı dağıtım sistemine 5 adet elektrikli araç şarj istasyonunun (EAŞİ) entegrasyonu ile sistemdeki toplam güç kaybının en aza indirilmesi hedeflenmiştir. Optimum yerleştirme işlemi için Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) ve Genetik Algoritma (GA) olmak üzere iki farklı optimizasyon algoritması kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar hem toplam kayıp açısından hem de baralardaki gerilim profilleri açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Optimizasyon algoritmalarının her ikisi de elektrikli araç şarj istasyonlarını sistemde benzer baralara yerleştirmiştir. PSO algoritması 19, 21, 3, 2 ve 20 numaralı baraları seçerken; GA algoritması 21, 19, 2, 20 ve 22 numaralı baralara yerleşim önermiştir.

Baraların büyük oranda örtüşmesi, her iki algoritmanın çözüm uzayında benzer bölgelerde yoğunlaştığını göstermektedir.

Toplam güç kaybı açısından GA algoritması 203,550 kW ile PSO algoritmasına kıyasla marjinal bir üstünlük sağlamıştır (PSO için toplam kayıp: 203,856 kW). Bu fark her iki yöntemin sistem üzerindeki etkinliğinin benzer düzeyde olduğunu ancak GA'nın çözümünde bir miktar daha iyi bir yerleşim sağladığını ortaya koymaktadır.

Referans durumlarla kıyaslandığında:

- Rastgele yerleşim durumunda: Toplam kayıp 217,574 kW olarak bulunmuştur.
- Hiç EAŞİ olmadığında: Toplam kayıp 202,488 kW'tır.

Bu durum uygun şekilde yerleştirilmemiş elektrikli araç şarj istasyonlarının sistem kayıplarını artırabileceğini gösterirken optimizasyon temelli yerleşimlerin ise referans yerleşime kıyasla önemli ölçüde kayıp azalttığını ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak her iki optimizasyon yöntemi de IEEE 33 baralı dağıtım sistemi üzerinde benzer sonuçlar üretmiş, toplam güç kaybını anlamlı ölçüde düşürmüş ve gerilim profillerini iyileştirmiştir. GA toplam kayıp açısından çok küçük bir farkla daha iyi sonuç verirken, PSO da rekabetçi ve uygulanabilir bir alternatif olduğunu göstermiştir. Rastgele yerleşime kıyasla her iki algoritmanın da sistem verimliliğini artırdığı açıkça görülmektedir.

4.5 PV Destekli EVCS Optimizasyonu: GA ile Zaman Planlaması ve Kayıp Analizi

Bu bölümde dağıtım sistemine entegre edilen beş adet elektrikli araç şarj istasyonunun (EAŞİ), sabit konumları esas alınarak (baralar: 2, 19, 20, 21, 22), 24 saatlik zaman diliminde hangi saatlerde şarj edilmesinin şebeke teknik kayıplarını en aza indireceği incelenmiştir. Sisteme ayrıca saatlik değişen fotovoltaik (PV) üretim profili entegre edilmiştir. Bu bağlamda Genetik Algoritma (GA) tabanlı zaman planlama optimizasyonu gerçekleştirilmiş ve çeşitli sabit stratejilerle karşılaştırılmıştır.

Optimizasyon Yapısı:

- Her elektrikli araç, gün içerisinde 8 saat boyunca şarj edilmek zorundadır.
- PV üretimi saat 07:00 civarında başlayıp, 13:00–14:00 saatlerinde maksimum değere ulaşmakta ve ardından azalmaktadır.

- Kayıp fonksiyonu; EV yükü, PV üretimi, şebekeye çekilen net güç ve saat faktörleri (tepe saatler, gece saatleri vb.) dikkate alınarak oluşturulmuştur.

Sonuç olarak GA ile elde edilen optimum zaman planına göre:

- Toplam kayıp 51.97 kW olarak hesaplanmıştır.
- En iyi sabit strateji olan Gündüz Şarjı (08:00–15:00) ile karşılaştırıldığında (kayıp: 79.37 kW), yaklaşık %34,5 oranında daha düşük kayıp elde edilmiştir.
- Mutlak kayıp azalması 27,4 kW olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4.7: Kayıp Karşılaştırması.

Senaryolar	Kayıp (kW)	Optimize Edilmiş Göre Fark (%)	PV Kullanım Oranı (%)
Gece Şarjı (00:00-08:00)	101,05	+94.4%	2.8%
Gündüz Şarjı (08:00-16:00)	79,37	+52.7%	14.4%
Akşam Şarjı (16:00-00:00)	113,38	+118.2%	6.4%
Sabah-Öğle Şarjı (05:00-13:00)	84,58	+62.7%	11.7%
Öğle-Akşam (11:00-19:00)	84,20	+62.0%	14.4%
Gece Geçişi (19:00-03:00)	118,44	+127.9%	1.0%
Optimize Edilmiş (GA)	51,97	0.0%	10.8%

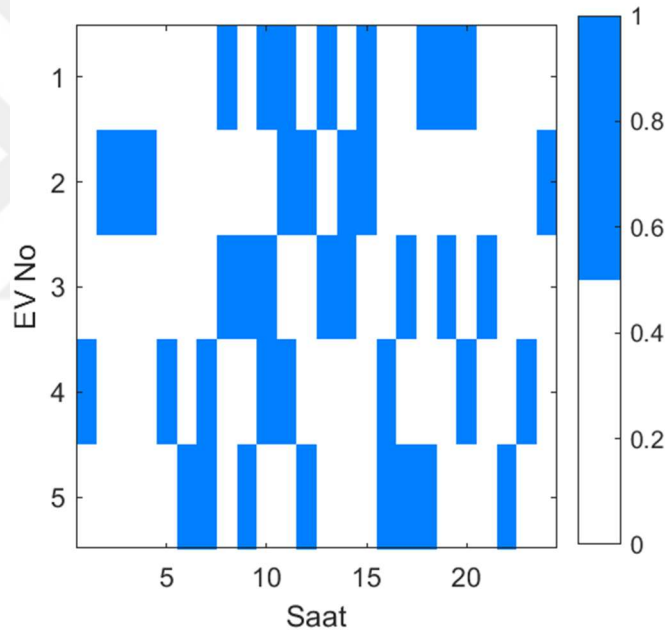
4.5.1 Çizelge 4.7 analizi

- Kayıp Karşılaştırması: Optimize edilmiş zaman planı, tüm sabit stratejilere kıyasla belirgin biçimde daha düşük kayıp sunmuştur.
- Yük Profili: Saatlik yük analizine göre, optimize edilmiş çözüm, PV üretimiyle daha uyumlu bir dağılım sergilemiş, ancak PV kullanım oranı sabit gündüz şarj stratejisine kıyasla biraz daha düşüktür (%10.8 ile %14.4).
- Net Yük (EV- PV): Optimize edilmiş strateji, özellikle PV üretiminin yoğun olduğu saatlerde net yükü negatif değerlere indirerek, şebekeye olan bağımlılığı azaltmıştır.

- Şarj Planları: Optimize edilmiş plan, şarj saatlerini araçlar arasında dağıtarak yük profilini dengelemiştir. En iyi sabit strateji olan gündüz şarjı ise tek bir zaman dilimine odaklanmaktadır.

Bu analiz yalnızca elektrikli araç şarj istasyonlarının konumlarının değil, şarj zamanlamasının da PV üretimiyle senkronize edilmesinin şebeke kayıplarını azaltmada kritik olduğunu ortaya koymaktadır. Her ne kadar PV kullanım oranı optimize çözümde sabit gündüz şarjına göre bir miktar düşük olsa da, toplam sistem kaybı açısından çok daha verimli sonuçlar elde edilmiştir. Bu durum, yük dengelemesinin ve zamanlama optimizasyonunun toplam sistem verimliliği üzerinde doğrudan etkili olduğunu göstermektedir.

4.5.2 Optimize edilmiş şarj planı



Şekil 4.9: Optimize Edilmiş Plan.

Görselde karşımıza çıkan plan her bir aracın günün hangi saatlerinde şarj edildiğini açık bir şekilde ortaya koymaktadır. Bu plan, sistemdeki toplam teknik kaybı (kWh cinsinden) minimize etmek amacıyla, genetik algoritma ile otomatik olarak oluşturulmuştur. Dikkat çeken temel noktalar şunlardır:

- a) Şarj Zamanlarının Dağılımı Rastgele Değil, Amaç Odaklıdır.

Her aracın toplamda 8 saat şarj edilmesi gerekmektedir; ancak bu saatler araçtan araca farklı zaman dilimlerine dağılmıştır. Örneğin:

- EV 1, sabah 9–12 ve akşam 18–20 saatleri arasında şarj edilmekte,
- EV 2, çok daha erken saatlerde (yaklaşık 2–4 arası) ve bir miktar da akşam saatlerinde enerji çekmektedir,
- EV 3, günün ortasına daha çok yayılmış; öğle civarından akşam saatlerine kadar geniş aralıklarla şarj edilmektedir,
- EV 4 ve EV 5 ise şarj saatlerini sabah-öğle-akşam arasında daha dengeli bir şekilde yaymış durumdadır.

Bu çeşitlilik, sistemdeki yükü bir zaman diliminde yoğunlaştırmak yerine dağıtarak hem şebeke üzerindeki baskıyı azaltmakta hem de PV üretiminden daha fazla faydalanılmasını sağlamaktadır.

b) Zamanlama PV Üretim Eğrisi ile Örtüşüyor

PV (fotovoltaik) üretimi genellikle sabah 7'den sonra başlar, öğlen 13–14 sularında maksimuma ulaşır ve akşam 18'e doğru azalır. Bu görselde şarj zamanlarının yoğunlukla:

- Sabah 9 ile öğleden sonra 15 arasında yoğunlaştığı,
- Akşam saatlerinde daha seyrekleştiği gözlemlenmektedir.

Bu dağılım, PV üretiminden maksimum verim alma amacıyla şarj işleminin güneş üretiminin yüksek olduğu saatlerde gerçekleşmesini hedefler.

c) Çakışmalar Azaltılmış, Sistem Dengelenmiş

Optimizasyon algoritması, tüm araçların aynı anda şarj edilmesini engellemek için zamanları dengeli biçimde dağıtmıştır. Örneğin, hiçbir zaman diliminde beş aracın birden şarjda olduğu görülmemektedir. Bu da şebeke üzerinde ani yüklenmeleri önleyerek teknik kayıpları düşürmekte ve sistem kararlılığını artırmaktadır.

d) İnsan Odaklılık ve Esneklik

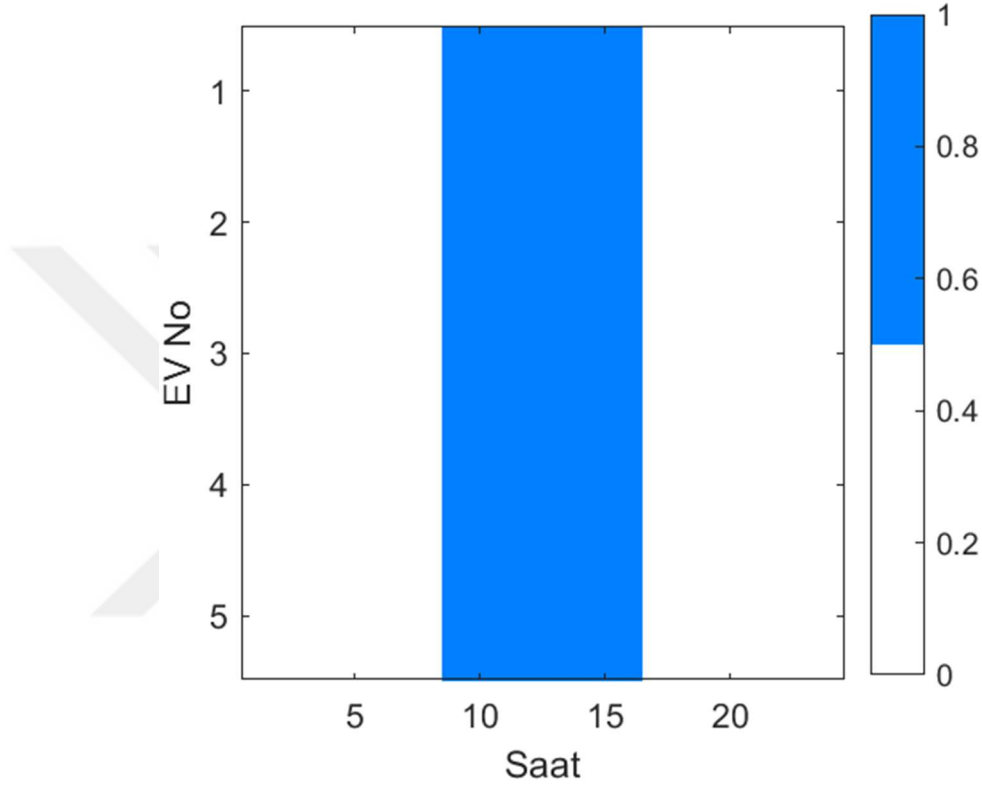
Bu planın bir başka olumlu yanı, şarj zamanlarının kullanıcı esnekliğini göz önüne alabilecek şekilde çeşitlenmiş olmasıdır. Örneğin:

- EV 1 ve EV 4'ün şarj zamanları ofis saatleri dışına denk geliyor, bu da işyerinde değil evde şarj eden kullanıcılar için ideal.

- EV 3 gibi bir kullanıcı ise gün ortasında şarj edilmekte; bu da kamu alanlarında (alışveriş merkezleri, otoparklar) gündüz şarjı için uygun bir senaryodur.

Bu yapı sayesinde sistem yalnızca teknik açıdan değil, aynı zamanda kullanıcı dostu ve uygulanabilir bir düzeye ulaşmıştır.

4.5.3 Sürekli şarj plan analizi



Şekil 4.10: Sürekli Plan.

Bu şarj planı, günün 08:00 ile 15:00 saatleri arasında tüm araçların aynı anda şarj edilmesini öngörüyor. Bu yaklaşım, genetik algoritmanın optimizasyonu ile elde edilen plana kıyasla daha sade, daha uygulanabilir ve kullanıcıya daha tahmin edilebilir bir şarj deneyimi sunuyor. Ancak bu sadelik, sistem açısından bazı önemli dezavantajlar da barındırıyor.

a) PV Üretimiyle Mükemmel Örtüşme Ama Aşırı Yığılma:

Bu zaman dilimi, güneş paneli üretiminin en yüksek olduğu saatlere denk geliyor. Saat 08:00 itibariyle PV üretimi artmaya başlar ve 13:00–14:00 civarında zirveye ulaşır. Dolayısıyla bu strateji, PV üretiminin yoğun olduğu zaman aralığında şarj yaparak teorik olarak PV enerjisinden maksimum fayda sağlamayı hedefliyor.

Ancak şunu göz ardı etmemek gerek: Tüm araçların aynı anda ve sürekli şekilde şarj edilmesi, sistemin belirli saatlerde ani ve yüksek yüklenmelere maruz kalmasına neden oluyor. Bu da teknik kayıpları artırıyor ve enerji akışında dengesizlikler yaratabiliyor.

b) Kullanıcı Açısından Kolaylık Sağlayan Düz Bir Yapı:

Görselin mavi sütunları, planın ne kadar "düzenli" olduğunu ortaya koyuyor: Beş araç da aynı saatlerde, kesintisiz şekilde şarj ediliyor. Kullanıcı açısından bu çok avantajlı olabilir:

- Araçlar sabah bırakılır, öğleden sonra alınır.
- Kamu alanlarında (işyerleri, alışveriş merkezleri, belediye otoparkları) rahatça uygulanabilir.
- Şarj süreci planlaması için ek esneklik gerekmez.

Ancak bu avantajın, sistem verimliliği açısından bir bedeli vardır: herkesin aynı anda şarjda olması, şebeke tarafında talep yoğunluğu yaratır ve bu da hat kayıplarını artırır.

c) Karşılaştırmalı Performans Analizi:

Görselde temsil edilen plan, test edilen altı sabit strateji arasında en düşük kaybı sağlamış olsa da (79,37 kW), optimize edilmiş plana kıyasla:

- %34,5 daha fazla şebeke kaybına neden olmuştur.
- PV kullanım oranı %14.4 ile optimize plana göre daha yüksek çıkmış, ancak bu avantaj sistem kayıplarını telafi edememiştir.
- Yük profilinde oluşan tepe değerler, teknik olarak istenmeyen durumlardır.

d) Pratik Uygulamalarda Kullanılabilirliği:

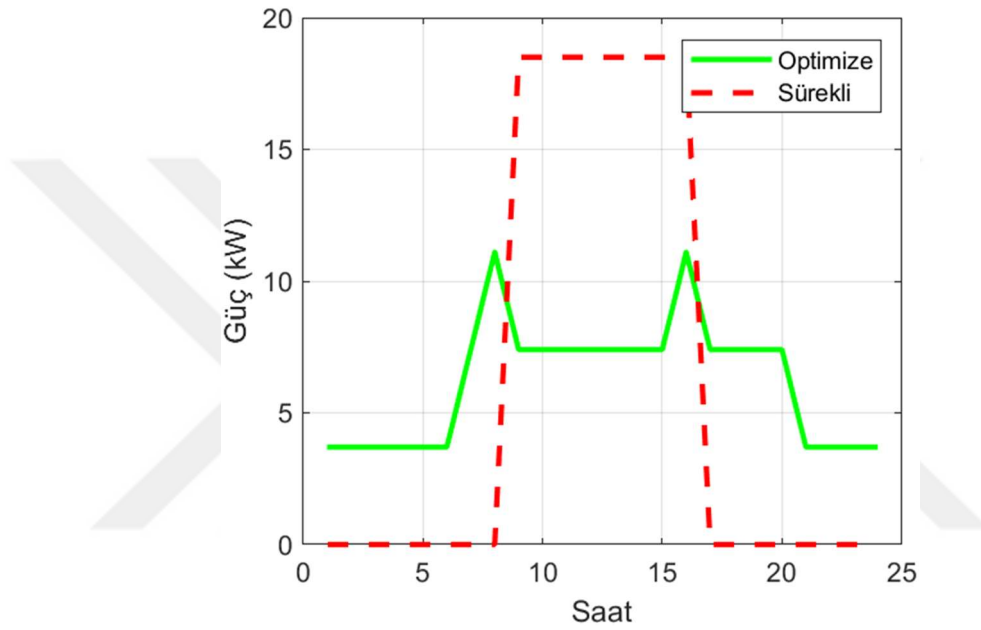
Bu planın basit yapısı ve zaman dilimi tercihi, gerçek hayatta şu senaryolarda avantaj sağlar:

- Kurumsal filo araçları için sabah-öğle arası şarj.
- Kamuya açık sabit şarj istasyonları (ör. belediyeler, şirket otoparkları).
- Ev dışı şarj alışkanlıkları olan kullanıcılar.

Ancak sistem seviyesi düşünüldüğünde, bu stratejinin uzun vadeli uygulanabilirliği sınırlıdır. Özellikle akıllı şebeke ve dağıtık enerji sistemlerinin yaygınlaşmasıyla birlikte, daha dinamik ve optimize edilmiş şarj stratejilerine geçiş gerekecektir.

Bu sürekli şarj planı ilk bakışta sade, pratik ve mantıklı görünse de sistemin genel kayıpları ve verimliliği açısından optimumdan uzak bir çözümdür. PV üretimiyle örtüşmesi bir avantaj olsa da aynı anda tüm araçların yük bindirmesi, şebekenin enerji kaybını artırmakta ve esnek enerji yönetimini zorlaştırmaktadır. Bu plan statik bir dünya için uygun olabilir; ancak geleceğin enerji sistemleri, bu düz yapının ötesine geçmeyi gerektirecektir.

4.5.4 Saatlik yük karşılaştırması



Şekil 4.11: Saatlik Yük Karşılaştırması.

Şekil 4.11’de elektrikli araç şarj stratejilerinin saatlik bazda şebekeye yük getirme durumunu görselleştiriyor. Grafik üç farklı eğri içeriyor:

- Yeşil çizgi (Optimize): Genetik algoritma ile belirlenen saatlik şarj yükü,
- Kırmızı kesikli çizgi (Sürekli): Sabit gündüz şarj stratejisi (08:00–15:00),
- Mavi noktalı çizgi (PV): Fotovoltaik (güneş enerjisi) üretimi.

Bu görsel, yalnızca teknik analiz için değil, aynı zamanda akıllı enerji yönetimi stratejilerinin nasıl tasarlanması gerektiğini göstermek açısından oldukça anlamlıdır.

- 1 Günün Şebeke Yüküne Etkisi Nasıl Dağılıyor?

PV eğrisi (mavi noktalı), sabah 07:00 civarında üretimin başladığını, 13:00–14:00 saatlerinde maksimum 150 kW düzeyine ulaştığını ve ardından hızla azaldığını

gösteriyor. Bu üretim eğrisi, güneşin hareketine doğal olarak bağlıdır ve değiştirilemez.

İşte burada iki farklı şarj stratejisi devreye giriyor:

- Sürekli Şarj (Kırmızı Kesikli Çizgi): PV'ye Doğru Yapışmış ama Riskli
- Araçlar sabah 08:00'de şarja başlıyor ve 15:00'e kadar sabit güç çekiyor (yaklaşık 18,5 kW).
- Bu, PV üretimi ile mükemmel örtüşüyor gibi görünse de sistemin tüm yükü bu saatlere sıkıştırılıyor.
- Kırmızı çizgi PV'ye ne kadar yakın olursa, PV'den o kadar çok faydalanılır gibi düşünülse de gerçek şu ki:
 - Ani güç çekişi yük yoğunluğuna neden olur.
 - Aynı saatlerde şarj edilmesi şebeke kayıplarını artırır.
 - PV üretimi fazla olsa da şebeke üzerindeki ani yüklenme risk oluşturur.

Bu strateji “PV'yi kullanıyoruz” dedirtse de arka planda hatlarda oluşan ısı, kayıp ve stres ihmal edilmemeli.

- Optimize Şarj (Yeşil Çizgi): Düşük, Dengeli ve Yayılmış Yük
- Genetik algoritmanın belirlediği plana göre, her araç farklı saat aralıklarında şarj ediliyor.
- Bu sayede yeşil eğri gün boyunca daha basık bir dağılıma sahip.
- En yoğun PV üretim saatlerinde (10:00–15:00) evet, yük biraz artıyor; ama hiçbir saatte sistemin tepesine oturmuyor.
- Diğer saatlerde de küçük miktarda enerji çekilmeye devam ediyor. Bu sayede:
 - Şebekedeki yükler yayılıyor,
 - Ani güç talepleri önleniyor,
 - PV üretimiyle yine uyumlu kalınıyor, ama “zorlama örtüşme” yerine esnek bütünleşmiş şarj stratejisi uygulanıyor.

Bu durum, elektrikli araçların şarjı sırasında sadece PV üretimine göre değil, aynı zamanda şebeke dayanımı, teknik kayıplar ve esneklik kriterleriyle birlikte hareket edilmesi gerektiğini gösteriyor.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada IEEE 33 baralı dağıtım sistemi üzerine entegre edilen farklı sayıda elektrikli araç şarj istasyonunun (EAŞİ) sistem kayıplarına etkisi analiz edilmiş ve optimum yerleşim noktaları Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) algoritması kullanılarak belirlenmiştir. Rastgele yerleştirme ile gerçekleştirilen referans senaryolar ile PSO tabanlı optimizasyon sonuçları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Bu sistem elektrikli araç şarj istasyonlarına bir kısıt olarak eklenerek gerçek dünyada uygulanabilir.

Elde edilen bulgular EAŞİ sayısının artmasıyla birlikte rastgele yerleştirme durumunda toplam sistem kayıplarının belirgin şekilde yükseldiğini göstermektedir. Örneğin beş adet şarj istasyonunun rastgele yerleştirilmesi sonucunda sistem kaybı 217,330 kW'a kadar çıkarken, aynı koşullarda PSO ile optimize edilen yerleşimde kayıp 203,856 kW seviyesine indirgenmiştir. Benzer şekilde, üç EAŞİ'li senaryoda rastgele kayıp 211,708 kW iken PSO uygulaması ile bu değer 202,961 kW'a düşürülmüştür. Bu iyileşmeler, yalnızca sayısal değil aynı zamanda dağıtım sisteminin gerilim profili üzerindeki olumlu etkileriyle de desteklenmiştir.

Analizler şarj istasyonlarının yerlerinin sistem performansı açısından kritik olduğunu ve gelişigüzel yerleştirmenin şebeke üzerinde ciddi kayıplara yol açabileceğini ortaya koymuştur. PSO algoritması hem toplam kaybı azaltmakta hem de gerilim kararlılığını koruyarak sistemin güvenilirliğini artırmaktadır.

Sonuç olarak EAŞİ entegrasyonu gibi yüksek etkileşimli sistem kararlarında, optimizasyon temelli yer seçimi yaklaşımları teknik, ekonomik ve operasyonel açıdan önemli avantajlar sunmaktadır. Bu doğrultuda, gelecekte dağıtım sistemlerinin planlamasında yalnızca şarj altyapısının genişletilmesi değil, aynı zamanda bu altyapının konumlandırılmasında sezgisel algoritmaların aktif rol oynaması gerektiği önerilmektedir.

5.1 Elektrikli Araç Şarj Optimizasyon Sonuçları

Bu çalışmada IEEE 33 baralı test sistemi üzerinde elektrikli araç şarj istasyonlarının (EAŞİ) entegrasyonu ve yönetimi bağlamında çok aşamalı bir optimizasyon yaklaşımı sunulmuştur. İlk aşamada, sistemin toplam aktif güç kaybını minimize etmek amacıyla beş adet elektrikli araç şarj istasyonunun optimum yerleşim noktaları Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) yöntemi ile belirlenen baralar 2, 3, 19, 20 ve 21 numaralı baralarda kayıp 203,856 kW olarak gözlemlenmiş olup Genetik Algoritma (GA) yöntemi uygulandığında ise sadece bir bara farklı çıkıyor GA tarafından seçilen baralar ise 2, 19, 20, 21 ve 22 numaralı baralar ve kayıp olarak ise 203,550 kW bir kayıp elde ettik bu yüzden yolumuza GA seçerek devam edilmiş ve rastgele senaryolara kıyasla önemli ölçüde kayıp azalttığı görülmüştür.

İkinci aşamada, sabit konumlandırılmış elektrikli araç şarj istasyonları ile sistemde 24 saatlik zaman diliminde şarj zamanlaması üzerine bir optimizasyon gerçekleştirilmiş; burada amaç PV üretimi entegre edilmiş bir yapıda şebeke kayıplarını minimize etmektir. Genetik algoritma kullanılarak her bir aracın 8 saatlik şarj zaman dilimi belirlenmiş ve bu çözüm, farklı sürekli şarj stratejileriyle karşılaştırılmıştır.

- GA ile elde edilen optimum zaman planı, tüm sabit stratejilere göre daha düşük şebeke kaybı sağlamış ve toplam kaybı 51,97 kW seviyesine indirmiştir.
- En iyi sürekli strateji olan “Gündüz Şarjı (08:00–15:00)” senaryosunda ise toplam kayıp 79,37 kW olarak hesaplanmış; bu da optimize edilmiş plana kıyasla %34.5 oranında daha fazla kayıp anlamına gelmektedir.
- PV kullanım oranı açısından en iyi değer sürekli gündüz şarjında elde edilmiş olsa da (%14.4), optimize stratejinin PV’den faydalanma oranı da yüksek olup %10.8 seviyesindedir. Daha önemlisi, yük profili optimize stratejide daha dengeli dağılmış, bu da sistem üzerinde yük tepelemelerini azaltmış ve hat kayıplarını düşürmüştür.
- Sürekli şarj stratejileri, özellikle kamuya açık sabit şarj alanlarında uygulanabilirlik açısından avantajlı görünse de, şebeke üzerindeki eşzamanlı yüklenmeler nedeniyle teknik kayıpları artırmakta; buna karşın optimize edilmiş şarj yönetimi hem enerji verimliliğini hem de sistem güvenilirliğini iyileştirmektedir.

Sonuç olarak bu çalışma şunu ortaya koymaktadır; Elektrikli araçların yalnızca doğru konumlara yerleştirilmesi değil, aynı zamanda şarj zamanlarının akıllı bir şekilde planlanması, dağıtım sistemlerinde teknik kayıpların azaltılması açısından kritik öneme sahiptir. PV üretiminin sistemle entegrasyonu, geleneksel sabit stratejilerle değil, dinamik ve esnek zamanlama yaklaşımlarıyla en verimli hale getirilebilir. Gelecekte, bu tür bütüncül optimizasyon stratejilerinin, dağıtık enerji kaynakları ve talep tarafı yönetimiyle birlikte daha da önem kazanacağı öngörülmektedir.

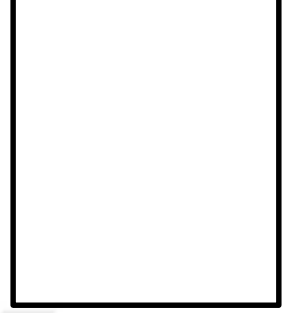


KAYNAKLAR

- Abido, M. A.** (2002). Optimal power flow using particle swarm optimization. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 24(7), 563–571.
- Alien, M., Fotuhi-Firuzabad, M., Aminifar, F.** (2013). On the performance of heuristic optimization techniques applied to smart distribution networks. *Electric Power Systems Research*, 95, 9–20.
- Ali, M., Ahmed, K., Hossain, M.** (2020). A comparison between PSO and GA for EVCS placement in distribution systems. *International Journal of Smart Grid*, 4(2), 98–106.
- Chaturvedi, K. T., Pandit M., Srivastava, L.** (2008). Particle swarm optimization with time varying acceleration coefficients for non-convex economic power dispatch. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 31(6), 249–257.
- Chauhan, P. S., Singh, A., Rawat, R.** (2016). Optimal EV charging station location using genetic algorithm. *International Journal of Computer Applications*, 145(3), 25–29.
- Deeum, S., Charoenchan, T., Janjamraj, N., Romphochai, S., Baum, S., Ohgaki, H., Mithulanathan, N., Bhumkittipich, K.** (2023). *Optimal Placement of Electric Vehicle Charging Stations in an Active Distribution Grid with Photovoltaic and Battery Energy Storage System Integration*. *Energies*, 16(22), 7628.
- Elmehdi, M., Abdelilah, M.** (2019). Genetic algorithm for optimal charge scheduling of electric vehicle fleet. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Networking, Information Systems and Security (NISS'19)* (Article 48, 7 pages).
- European Commission.** (2019). *The European Green Deal* (COM(2019) 640 final). Publications Office of the European Union.
- Fan, Y., Zhang, J.** (2021). Smart charging strategies for electric vehicles under renewable energy scenarios. *Renewable Energy*, 170, 222–235.
- Gandomkar, M., Vakilian, M., Ehsan, M.** (2005) A combination of genetic algorithm and particle swarm optimization for optimal DG allocation in power systems. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 27(8), 647–653.
- Grammenou, C. V., Dragatsika, M., Bouhouras, A. S.** (2024). Optimal EV charging and PV siting in prosumers towards loss reduction and voltage profile improvement in distribution networks. *World Electric Vehicle Journal*, 15(10), 462.

- Hannan, M. A., Hoque, M. M., Mohamed, A., Ayob, A.** (2017). Review of energy storage systems for electric vehicle applications: Issues and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 771–789.
- Han, Y., Li, Y.** (2018). Optimal charging scheduling of electric vehicles in smart grid: A review. *Protection and Control of Modern Power Systems*, 3(1), 1–13.
- He, C., Peng, J., Jiang, W., Wang, J., Du, L., Zhang, J.** (2024). *Vehicle-To-Grid (V2G) Charging and Discharging Strategies of an Integrated Supply–Demand Mechanism and User Behavior: A Recurrent Proximal Policy Optimization Approach*. *World Electric Vehicle Journal*, 15(11), 514
- Kennedy, J., Eberhart, R.** (1995). Particle swarm optimization. In *Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks* (Vol. 4, pp. 1942–1948).
- Korotunov, S., Tabunshchyk, G.** (2020). Genetic algorithms as an optimization approach for managing electric vehicles charging in the smart grid. *CEUR Workshop Proceedings*, 2608, 1–15.
- Kristian, M., Abramson, E.** (2020). Pairing solar and EV chargers can ensure carbon-free transportation (Pilot Project Report). *Drive Electric Minnesota Blog*, 16 November 2020.
- Kumar, B. A.** (2024). Hybrid genetic algorithm–simulated annealing based electric vehicle charging station placement for optimizing distribution network resilience. *Scientific Reports*, 14, 7637.
- Logenthiran, T., Srinivasan, D., Wong, D.** (2008). Multi-agent coordination for DER in MicroGrid. In *Proc. IEEE PES General Meeting* (pp. 1–8).
- Mahmud, M. A., Pota, H. R., Hossain, M. J.** (2014). Energy management and power sharing in a hybrid microgrid with PV generation. *Renewable Energy*, 72, 377–385.
- Pal, A., Bhattacharya, A., Chakraborty, A. K.** (2023). *Placement of electric vehicle charging station and solar distributed generation in distribution system considering uncertainties*. *Scientia Iranica*, 30(1), 183–206.
- Roy, P., Mandal, K., Ghoshal, S. P.** (2013). Optimal location of charging stations for electric vehicles using genetic algorithm. In *IEEE Conference on Power, Energy and Control (ICPEC)*, 693–698.
- Sundararajan, A., Kumar, B., Lee, C.** (2023). *Optimal placement of EV charging stations in distribution systems using a GA–PSO hybrid algorithm*. *Journal of Smart Grids and Electric Mobility*, 12(3), 145–160.
- Zhang, W., Wang, C.** (2019). Optimal EVCS siting using PSO in IEEE 33-bus test system. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 10(4), 3211–3220.
- Zhao, X., Liang, G.** (2023). *Optimizing electric vehicle charging schedules and energy management in smart grids using an integrated GA-GRU-RL approach*. *Frontiers in Energy Research*, 11, Article 1268513.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-SOYAD : Achmet MOLLA

Doğum Tarihi ve Yeri :

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2022, Trakya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Molla A., TEKDEMİR İ.G.** (2025). Parçacık Sürüsü Optimizasyon Algoritması Kullanılarak IEEE-33 Bus Sisteminde Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Optimum Yerleşimi, ICHORA 2025. *7th Internal Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications*, ANKARA.