

Araştırma Makalesi - Research Article

V2G Şarj İstasyonlarının Optimum Konum ve Kapasitelerinin Gri Kurt Optimizasyon Algoritması ile Belirlenmesi

Determination of Optimum Position and Capacity of V2G Charging Stations with Grey Wolf Optimization Algorithm

Ömer Sarıdağ^{1*}, Ahmet Doğan²

Geliş / Received: 15/04/2021

Revize / Revised: 25/06/2021

Kabul / Accepted: 11/07/2021

ÖZ

Dünyada nüfusun artması ile birlikte enerji ihtiyacında gerçekleşen büyük artış fosil kaynakların hızlı bir şekilde tükenmesine neden olmaktadır. Fosil yakıtlara olan bağımlılıktan kurtulmak ve sera gazı emisyonlarını azaltmak için ülkeler düşük karbon stratejisi uygulamaktadır. Gelişmiş ülkelerin elektrikli araçlar (EV) teknolojisine yaptığı yatırımlar göz önüne alındığında artan EV şarj gücünün elektrik şebekesine olumsuz şekilde yansıtacağı öngörülmektedir. Bunun yanında, EV şarj gücünü avantaja çevirmek adına EV bataryalarında depolanan enerjinin şebekeye aktarılabilmesi, araçtan şebekeye (Vehicle to Grid-V2G) kavramı önem kazanmaktadır. Puant zamanlarda, V2G şarj istasyonları şebekede dağıtık üretim kaynağı olarak değerlendirilebilmektedir. V2G şarj istasyonlarının şebekeye katkısının optimum şekilde olabilmesi için konumu ve kapasitesi önemlidir. Bu çalışmada, V2G şarj istasyonlarının puant zamanlarda şebekeye enerji aktarımı yapması amacıyla en uygun konum ve kapasitede yerleşimi sağlanmaktadır. Hat kayıplarının minimize edilmesi, hedef fonksiyon olarak tanımlanmıştır. V2G şarj istasyonlarının optimum yerleşimi için Gri Kurt Optimizasyon Algoritması (GWO) kullanılmış ve sonuçlar Sinüs Kosinüs Algoritması (SCA) ve Şempanze Optimizasyon Algoritması (COA) ile karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Algoritmalar 34-baralı ve 85-baralı test sistemleri için çalıştırılmıştır. Her iki test sisteminde de en başarılı sonuçları veren algoritma GWO olmuştur.

Anahtar Kelimeler- Elektrikli Araç, Araçtan Şebekeye Sistemler, Sezgisel Algoritmalar, Gri Kurt Optimizasyon Algoritması

ABSTRACT

The large increase in energy requirement with the increase in population in the world leads to a rapid depletion of fossil resources. To get rid of dependence on fossil fuels and to reduce greenhouse gas emissions, countries are implementing a low-carbon strategy. It is expected that increased electric vehicles (EV) charging power will negatively affect the electricity when investments of developed countries in EV technology are considered. In addition, the concept of Vehicle to Grid (V2G), in which the stored energy in EV batteries can be transferred to the grid in order to turn EV charging power to an advantage, comes into prominence. V2G charging stations can be utilized as a distributed generation source in the network. The location and the capacity of V2G charging are important for optimum contribution to the grid. In this study, the placement of V2G charging stations in the optimal location and capacity is provided to transfer energy to the network at peak times. Minimizing of line losses is

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: omersrdg@icloud.com (<https://orcid.org/0000-0003-2255-1180>)

Fen Bilimleri Enstitüsü, Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, Kocasinan, Kayseri

²İletişim: adogan@nny.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-9552-1997>)

Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, Kocasinan, Kayseri

defined as the objective function. The Grey Wolf Optimization Algorithm (GWO) is used for optimal placement of V2G charging stations. The results were presented in comparison with the Sin Cos Algorithm (SCA) and the Chimpanzee Optimization Algorithm (COA). The algorithms were run for 34-bus and 85-bus test systems. GWO algorithm has achieved the best result for both test systems.

Keywords- *Electric Vehicle, Vehicle to Grid, Heuristic Algorithms, Grey Wolf Optimization Algorithm*

I. GİRİŞ

Günümüzde kullanımda olan taşıtların büyük bir kısmı fosil yakıtlı taşıtlardır. Özellikle ulaşım sektöründe fosil yakıtların geniş kullanımıyla artan sera gazı emisyonları, geleneksel enerji kaynaklarının giderek tükenmesi, son yıllarda lityum iyon bataryalarının ve hızlı şarj teknolojisinin sürekli gelişmesi ve ucuzlaması, elektrikli araç (EV)'lere yönelimin artmasını sağlamıştır. Bu doğrultuda birçok ülke, EV'lerin yollardaki sayısını artırmak adına teşvik politikaları uygulamaktadır. Uluslararası enerji ajansının EV araştırma raporunda, yollardaki toplam EV sayısının 2030'a kadar 8 milyon araçtan 245 milyon araca ulaşması öngörülmüştür [1]. Ulaşım sektöründe fosil yakıtlı taşıtlar yerine EV'lerin yaygın kullanımı ile yakıt maliyetlerini ve gaz emisyon oranlarını mümkün olduğu kadar aşağı seviyelere indirmek hedeflenmektedir. EV'ler yalnızca temiz enerji kullanımını artırmak ve gaz emisyonunu azaltmakla kalmaz, rüzgâr üretimi gibi değişken yenilenebilir enerjilerle koordinasyon sağlayarak ilgili güç sisteminin güvenliğini ve ekonomisini geliştirebilmektedir. Bunun yanında, yine şebeke için bir depolama aracı olarak değerlendirilebilir ve araçtan şebekeye (V2G) şarj istasyonları puant yük zamanlarında şebekenin desteklemesi için de kullanılabilir. Puant yük, talebinin en yüksek olduğu saatlerdeki tüketilen elektrik güç miktarını ifade etmekte olup, bu zaman diliminde V2G ile EV güçleri şebekedeki talebi karşılamak amacıyla kullanılmaktadır.

Uluslararası enerji ajansının raporuna göre, EV şarj istasyonlarının sayısı 2019 yılı sonunda bir önceki yıla göre %60 artarak tüm dünyada yaklaşık 7.3 milyona ulaşmıştır [1]. EV sayıları arttıkça, bu araçların yeniden şarj edilmesi için gerekli altyapının bir unsuru olan halka açık şarj istasyonlarının sayısının da artırılmasına ihtiyaç vardır. EV şarj istasyonları, otopark alanları, dinlenme tesisleri, alışveriş merkezleri ve mevcut dolmuş istasyonlarında bulunabilmektedir [2]. Şarj istasyonunun ve EV'lerin teknik özelliklerine bağlı olarak, EV'lerin şarj olma süresi on dakika ile birkaç saat arasında değişebilmektedir. EV'lerin şarj yükü, dağıtım sistemleri üzerindeki baskıyı artırarak şebekenin olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır. Özellikle yüksek güç çeken hızlı şarj istasyonlarının şebekeye etkisi çok daha fazladır. EV şarj istasyonlarının mevcut güç sistemine uygun olmayan konum ve kapasitede yerleştirilmesi, şebeke kayıplarında önemli artışlara neden olurken aynı zamanda bara gerilim profilinde bozulmalara neden olabilmektedir. Bir güç sisteminde bara, jeneratörler, yükler ve besleyiciler gibi güç sisteminin çeşitli bileşenlerinin bağlandığı hat olarak tanımlanır. Bunun yanında, V2G kavramı, güç sisteminin çalışmasını iyileştirmek için EV'lerin depolama özelliklerinden faydalanılan akıllı şebeke teknolojilerinden biridir. V2G kavramı, elektrik şebekesine birçok açıdan destek sağlama potansiyeline sahip olan EV ile elektrik şebekesi arasında enerji alışverişine izin vermektedir. S. G. Wirasingha vd. araçların günün büyük bir bölümünde park halinde bulunduğunu ve araçların en az %90'ı teorik olarak V2G için kullanılabilir durumda olduğunu ifade etmiştir [3]. Bir EV bataryası şebeke ölçeğinde oldukça küçük bir enerji depolama kapasitesine sahiptir ancak birçok EV batarya kapasitesi bir araya geldiğinde ise önemli bir enerji depolama kapasitesi ve güç değerine sahip olmaktadır. K. C. Nyks vd.'e göre elektrik şebeke hizmetlerinin sağlanabilmesi adına gün içerisinde park halindeki taşıtların şebekeye bağlı olması için EV sahipleri teşvik edilmelidir [4].

Literatürde EV şarj istasyonlarının kapasite ve konumunun belirlenmesi ile alakalı çeşitli çalışmalar yer almaktadır. M. Nurmhammed ve T. Karadağ çalışmalarında, şarj istasyonlarının yüksek güç talebinin elektrik şebekesinde ani yük artışına neden olacağı, dolayısıyla trafo ömürlerinin kısalması ve trafo kapasitelerinin yükseltilmesi ihtiyacı gibi önemli miktarda maliyet oluşturma potansiyeline sahip olacağını öngörmektedir [5]. Yazarlar, kurulacak olan şarj istasyonlarının en uygun noktalarla yerleştirilmesinin oluşabilecek ekstra maliyetleri azaltmaya yardımcı olacağını ve V2G şarj istasyonlarının konumlarının optimize edilerek EV'lerin enerji şebekesine etkilerinin minimize edilebileceğini, trafoların aşırı yüklenmesi engellenebileceğini ve enerji şebekesine yapılacak yatırım maliyetleri azaltılabileceğini vurgulamıştır. M. H. Amini vd. EV'lerin şarj davranışının olasılıksal bir modelini elde etmiş, devamında ise EV park alanlarının güvenlik kısıtlamalı olarak optimum yerleşimi önermiştir [6]. A. El-Zonkoly ve L.S. Coelho EV park alanlarının konumu ve büyüklüğünü enerji maliyetlerini en aza indirmek amacıyla optimize etmiştir [7]. P. Sadeghi-Barzani vd. çalışmalarında, hızlı şarj istasyonlarının optimum konumlandırılması ve boyutlandırılması için doğrusal olmayan optimizasyon yaklaşımını kullanmıştır [8]. S. R. Gampa vd. elektrikli araç istasyonlarının kapasitelerini ve konumlarının

optimum olması için Grasshopper Optimizasyon algoritmasını kullanılırken, gerilim profili gelişimi için diğer çalışmalardan farklı olarak şönt kapasitörler de kullanmıştır [9]. A. Awasthi vd. hedef fonksiyonu, şarj istasyonu kurulumu için arazi maliyeti, istasyon ekipmanı, işletme ve bakım maliyetlerini minimize etmeyi amaçlamıştır [10]. İstasyon için kullanılacak ekipman maliyeti, çıkış sayısı ve gücüne bağlı olarak değişmiştir. Yazarlar, maliyetin optimize edilmesi için hibrit bir optimizasyon yöntemi önermiştir. C. Su vd. bir dağıtım sisteminde EV'leri şarj istasyonlarına optimum biçimde yerleştirmek için bir algoritma sunmuştur [2]. Çalışmada, günlük zamanla değişen yükler, başlangıç zamanı, süresi ve güç dahil olmak üzere rastgele EV şarj modelleri ile birlikte göz önünde bulundurulmuştur. Problem, sistem kayıplarının kapasite ve sistem işletme kısıtlarına bağlı olarak en aza indirildiği diferansiyel olmayan kombinyonel bir optimizasyon problemi olarak formüle edilmiştir. Dikkate alınan yerleştirme alternatifleri yavaş şarj cihazları için düşünülmüştür. S. Faddel vd. ticari bir EV park alanının optimum boyutlandırılması için iki tabakalı çok amaçlı optimizasyon uygulamıştır [11]. Problemin tanımlanmasında, farklı özelliklere (batarya kapasiteleri ve maksimum şarj oranları) ve müşteri tercihlerine (hareket sürelerine) sahip birden fazla EV göz önünde bulundurulmuştur. Hem kâr maksimizasyonu sağlayan ekonomik yönler hem de dağıtım sistemindeki kayıpları ve gerilim sapmalarını en aza indirmeye çalışan teknik yönler dikkate alınmıştır. Ayrıca, farklı amaçların gerçekleştirilmesi için hassasiyet analizi de gerçekleştirilmiştir. Y. Zheng vd. Genetik Algoritma ve Parçacık Sürü Optimizasyonu'dan oluşan hibrit bir algoritma sunmuştur [12]. Çalışmada, EV şarj istasyonlarının yatırım maliyeti ile birlikte şebekenin güvenliğinin göz önünde bulundurulduğu bir hedef fonksiyon tanımlanmıştır. J. A. Domínguez-Navarro vd. hızlı şarj istasyonlarının, kârlılığı arttırmak ve şebekeden talep edilen yüksek enerjiyi azaltmak için yenilenebilir üretim kaynakları ve depolama sistemi ile koordinasyonunu incelemiştir [13].

S. Habib vd. V2G uygulama kabiliyetine sahip bir EV için, aktif güç regülasyonu, reaktif güç desteği, yük dengeleme, harmonik filtreleme vb. gibi çeşitli özellikler sunmuştur [14]. Şebeke frekansı dışındaki sinüzoidal dalgalar harmonikler olarak tanımlanır ve ciddi enerji kalitesi problemlerine neden olacağından filtrelenmesi gerekir. Çalışmada, EV'lerin entegrasyon seviyelerine ve şarj profillerine göre etkileri detaylı olarak tartışılmış ve bir dağıtım ağında koordine edilmiş/koordine edilmemiş şarj, gecikmeli şarj, yoğun olmayan ücretlendirme ve akıllı planlama hakkında kapsamlı bir analiz de sunulmuştur. Aynı zamanda, bir V2G teknolojisinin ekonomik faydalarının büyük ölçüde EV şarj gücü birleştirme stratejilerine bağlı olduğunu gösterilmektedir. A. Dogan vd. V2G'deki şarj/deşarj koordinasyonunu optimize etmek için popüler sezgisel algoritmalar kullanmıştır [15]. Optimizasyon algoritmaları, şebeke ve EV kısıtlarını dikkate alarak koordinasyon maliyetini en aza indirmek için her bir EV'nin şarj/deşarj durumunu belirlemiştir. A. Dogan ve M. Alci, V2G uygulamalarında batarya aşınmasını da göz önünde bulundurarak şarj/deşarj optimizasyonu gerçekleştirmiştir [16]. J. Prasomthong vd. bir dağıtım sisteminde V2G şarj istasyonunu zamanla değişen katsayılı PSO kullanarak en uygun şekilde yerleştirilmesini önermektedir [17]. Çalışmada puant değerleri dikkate alınmıştır. A. Aljanad vd. hat yüklenmesini, gerilim sapmasını ve güç kaybını en aza indirmek için, V2G teknolojisi ile çok amaçlı bir hedef fonksiyonu tanımlamıştır [18]. Optimizasyon işlemi, kuantum ikili yıldırım arama algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

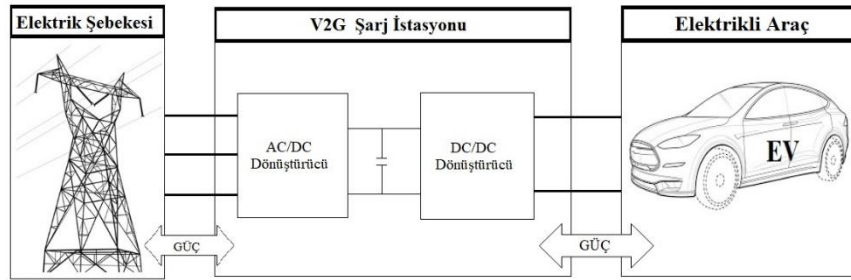
Literatürdeki çalışmalarda EV şarj istasyonlarının yerleşimi çeşitli hedef fonksiyonları ve algoritmalar ile gerçekleştirilmiş fakat V2G şarj istasyonlarının yerleşimi ile ilgili çalışma sayısı oldukça sınırlıdır. Bu çalışmada V2G şarj istasyonlarının optimum konum ve kapasite belirlenmesi Gri Kurt Optimizasyon (GWO) algoritması ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın gerçekçi olması açısından üç farklı şarj/deşarj gücüne sahip EV modeli göz önünde bulundurulmuştur. Senaryolar 34-baral ve 85-baral olmak üzere iki farklı test sistemine uygulanmıştır ve sonuçlar Sinüs Kosinüs Algoritması (SCA) ve Şempanze Optimizasyon Algoritması (COA) ile karşılaştırılmıştır. İstatistikî sonuçlar, 1000 iterasyonlu algoritmaların 100'er kez koşturulması sonucu elde edilmiştir.

II. ARAÇTAN ŞEBEKEYE (V2G) SİSTEMLER

EV şarj istasyonları, AC gücü şebekeden batarya şarjı için uygun DC güç düzeyine düzenlemek üzere tasarlanmıştır. Bu görevi gerçekleştirmek için EV şarj cihazları genellikle bir AC/DC dönüştürücü veya doğrultucu ile yapılmaktadır. J. Y. Yong vd. EV'lerin şarj olması harmonikler, sistem kayıpları, gerilim düşüşü, faz dengesizliği, güç talebinin artması, ekipmanın aşırı yüklenmesi ve kararlılık sorunları gibi güç şebekesine olumsuz etkiler getirebileceğini belirtmektedir [19].

Elektrikli araçlar, elektrik şebekesinden beslenen bir yük olmanın yanında güç sistemlerine entegre edilebilir şekilde tasarlanırsa, şebekeye besleyen, dinamik enerji depolama sistemleri gibi kullanılabilir. Şekil 1'de gösterildiği gibi elektrikli araçların şebekeye iki yönlü güç alışverişi yapılmasını sağlayan yapıya V2G sistemleri denir. Bu teknoloji, elektrik şebekesi ile elektrikli araçlar arasındaki güç akışına bağlı olarak tek yönlü V2G ve çift yönlü V2G olmak üzere ikiye ayrılır. F. Mwasilu vd. tek yönlü güç akışında, şebekeden elektrikli araca

yalnızca bir yönde güç akışı sağlanacağını belirtmiştir [20]. Tek yönlü V2G, temel batarya şarj işlemi, reaktif güce dayalı hizmetler ve şebekeye akış olmadan EV şarj oranlarının dinamik olarak ayarlanmasını sağlayabilir. Çıkış dışında bir donanım gerektirmez ve çevrim sayısından kaynaklanan batarya bozulmalarını önler. Bu sistemin uygulanması neredeyse hiçbir ek maliyet gerekmeden kontrol sistemleri aracılığı ile yapılabilir. Çift yönlü güç akışında, şarj istasyonu üzerinden elektriğin her iki yönde de akışı sağlanmaktadır. EV sahipleri çift yönlü şarj cihazlarını kullanarak elektriği araçtan şebekeye transfer edebilirler. Elektrikli araçlarda batarya şarj ünitesi, Şekil 1'de gösterildiği gibi AC/DC dönüştürücü ve DC/DC dönüştürücüden oluşur [21]. AC/DC dönüştürücünün, şarj sırasında AC gücü DC güce çevirmek için kullanılır ve deşarj sırasında bataryadaki DC gücü AC güce çevirir. DC/DC dönüştürücü, akım kontrol teknikleri ile çift yönlü güç akışını kontrol etmekten sorumludur ve şarj/deşarj sırasında bir yükseltici/düşürücü görevi de görmektedir.



Şekil 1. Çift Yönlü V2G için güç akış şeması [21]

A. V2G Sistemlerinin Faydaları

Çift yönlü V2G sistemleri puant yük tıraşlama, reaktif güç desteği, gerilim ve frekans regülasyonu gibi yardımcı servisler olarak kullanılabilirler. Dahası çift yönlü V2G sistemleri, depolama kaynağı olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik şebekesine entegrasyonunda da önemli rol oynayabilir [21]. V2G sistemleri aşağıdaki faydaları sağlamaktadır.

- Elektrikli araçlar, elektrik şebekesi için güç kaynağı olarak kullanılabilir.
- Dağıtım hatlarındaki gerilim düşümlerini ve kayıpları azaltır.
- Şebeke güvenilirliğini artırır.
- Frekans dalgalanmalarını azaltarak güç kalitesinin artmasını sağlar.
- Gerilim dengesizliklerini düzenler.

B. V2G Sistemlerinin Zorlukları

V2G sistemleri henüz olgunlaşmamış yeni bir teknolojidir. V2G teknolojisini benimsemek için ekonomik, teknik ve sosyal zorluğun üstesinden gelinmesi gerekmektedir. V2G'nin uygulanmasının önündeki engeller şu şekildedir;

- Çift yönlü şarj cihazının karmaşıklığı, ek donanım gerektirir ve ekstra yatırım ihtiyacına yol açar.
- V2G uygulamasının gerektirdiği şarj/deşarj döngülerinden kaynaklı batarya aşınmaları artar.
- V2G'nin benimsenmesi için en büyük zorluklardan biri sosyal engeldir. EV sahipleri, V2G teknolojisinde yer almak, elektrikli araç batarya enerjisini elektrik şebekesiyle paylaşılması gerektiği için elektrikli araç sahipleri arasında menzil kaygısı yaratacaktır.

V2G konseptiyle verimliliği, kararlılığı, güvenilirliği ve güç dağıtımını iyileştirmeye yönelik stratejiler güvenle oluşturulduğunda ve uygulandığında, elektrikli araçların benimsenmesi kullanıcılar için daha cazip hale gelecektir.

III. AMAÇ FONKSİYONU

Bu çalışmada amaç fonksiyonu, toplam hat kayıplarının minimize edilmesi şeklinde belirlenmiştir [22]. Toplam hat kayıpların hesaplanabilmesi için hat akımlarının ve bara gerilim değerlerinin hesaplanması

gerekmektedir. Bunun için ileri geri süpürme yöntemi kullanılmıştır [23]. Bu yöntem, öncelikle hat akımlarını hat sonundan hat başına doğru hesaplar, hat başından hat sonuna doğru ise bara gerilim değerlerini hesaplamaktadır. Mevcut iterasyonda bulunan gerilim değerleri ile bir önceki iterasyondaki gerilim değeri arasındaki fark, belirlenen hassasiyet değerinden küçük olmasında iterasyon yakınsamaktadır.

Bara akımlarının hesaplanması: j barasından k 'inci iterasyonda çekilen akım Denklem (1)'de hesaplanır. S_j j barasındaki yükün görünür güç değeri iken $V_j^{(k-1)}$ $k - 1$ iterasyonundaki gerilim değeridir.

$$I_j^{(k)} = \left(\frac{S_j}{V_j^{(k-1)}} \right)^* \quad (1)$$

Hat akımlarının hesaplanması: Baranın çektiği akım ve baraya bağlı sonraki hatların çektiği akımların toplamı mevcut baranın öncesinde bağlı olduğu hattın toplam akımını verir. Son baradan ilk baraya doğru hat akımları hesaplanır. S_m mevcuttaki baradan sonra gelen hattın çektiği güç değerinin göstermektedir. Her bir hat akımı Denklem (2) ile hesaplanmaktadır.

$$I_L^{(k)} = I_j^{(k)} + \sum_{m=1}^M \left(\frac{S_m}{V_j^{(k)}} \right)^* \quad (2)$$

Bara gerilimlerinin hesaplanması: Hat akımları hesaplandıktan sonra ilk baradan son baraya doğru bara gerilimleri hesaplanır. Bir önceki bara geriliminden hatta meydana gelen gerilim düşümü çıkarılarak bir sonraki baranın gerilimi hesaplanır. Bu işlem bütün baralar için gerçekleştirilir. Bara gerilimlerinin hesaplanması Denklem (3)'de verilmiştir.

$$V_j^{(k)} = V_i^{(k)} - Z_n * I_n^{(k)} \quad (3)$$

Hassasiyetin kontrol edilmesi: Bu işlemler sonunda elde edilen gerilim değerleri bir önceki iterasyonda elde edilen gerilim değerinden çıkarılır aradaki fark hesaplanır. Bu değer belli bir değer altında olduğunda iterasyon yakınsamıştır.

$$\Delta V_j^{(k)} = \left| |V_j^{(k)}| - |V_j^{(k-1)}| \right| \quad (4)$$

Bir hattaki kayıplar $I_L^2 R_L$ şeklinde hesaplanırken, bir güç sistemindeki toplam aktif güç kayıpları Denklem (5)'de formüle edilir. I_L hat akımı Denklem (2)'de gösterilmiştir ve R_L ise hat direncini ifade etmektedir.

$$P_{kayıplar} = \sum_{L=1}^{hatsaysız} I_L^2 R_L \quad (5)$$

Amaç fonksiyonu toplam hat kayıplarının minimize edilmesi şeklinde Denklem (6)'da tanımlanmıştır.

$$f = \min(P_{kayıplar}) \quad (6)$$

IV. OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI

A. Gri Kurt Optimizasyon Algoritması (GWO)

S. Mirjalili vd. tarafından 2014 yılında gri kurtların avlanma stratejisini ve sosyal liderliğini taklit eden Gri Kurt Optimizasyonu adı verilen bir algoritma geliştirilmiştir [24]. Gri kurtlar doğada genellikle sayıları beş ile on iki arasında değişkenlik gösteren gruplar halinde bulunurlar. Gri kurtların hiyerarşisi, alfa (α), beta (β), delta (δ) ve omega (ω) kurtları olmak üzere dört grup şeklinde oluşmaktadır. Lider kurda alfa kurt denir ve alfa kurt grubundaki diğer kurtları yönetir. Sürü, alfanın emirlerini uyguladığı için alfa aynı zamanda baskın kurt olarak isimlendirilir. Gri kurt topluluğunun sosyal derecelendirilmesinde en iyi ikinci kurdu beta kurttur. Alfa kurdun yardımcı olarak adlandırabileceğimiz beta kurdu, alfadan aldığı emirleri uygularken, hiyerarşide düşük seviyedeki kurtlara komutlar vermesinin yanı sıra alfanın komutlarının sürüye aktarılmasına yardımcı olur ve alfaya geri beslemeler verir. Gri kurt topluluğunun sosyal derecelendirilmesinde en iyi üçüncü kurdu delta kurttur. Yalnızca omega kurtlarına emir verebilen delta kurdu, alfa ve beta kurtlarından gelen emirlere uymak zorundadır. İzçiler, gözcüler, yaşlılar, avcılar ve bekçiler delta grubunu oluşturur. Üzerinde kalan kurtlardan gelen emirleri alan omega kurdu, hiyerarşisindeki son seviyededir. Omega kurdu en alt seviyede bulunmasından dolayı önemsiz gibi düşünülemez. Omega kurdunun olmaması durumunda sürü iç çatışmalar ve problemler ile karşı karşıya kalır.

Gri kurtlar avlanma stratejisi olarak öncelikle avın yerini tanırlar ve alfa kurdunun önderliğinde avı kuşatırlar. Gri kurtların avlanma stratejisinin matematiksel modelinde alfa (α), beta (β) ve delta (δ) kurtların avın yeri hakkında daha iyi bilgi sağladığı varsayılmaktadır. Bundan dolayı, en iyi ilk üç çözüm (alfa, beta, delta) GWO algoritmasında kurtların konumlarını güncellemek için kullanılır. Gri kurtların avının yerini belirlemek için kullanılan matematiksel model Denklem (7) – (19)'da verilmiştir [24].

$$\vec{D}_\alpha = |\vec{C}_\alpha \cdot \vec{X}_\alpha - \vec{X}_i| \quad (7)$$

$$\vec{D}_\beta = |\vec{C}_\beta \cdot \vec{X}_\beta - \vec{X}_i| \quad (8)$$

$$\vec{D}_\delta = |\vec{C}_\delta \cdot \vec{X}_\delta - \vec{X}_i| \quad (9)$$

$$\vec{U}_\alpha = \vec{X}_\alpha - \vec{A}_\alpha \vec{D}_\alpha \quad (10)$$

$$\vec{U}_\beta = \vec{X}_\beta - \vec{A}_\beta \vec{D}_\beta \quad (11)$$

$$\vec{U}_\delta = \vec{X}_\delta - \vec{A}_\delta \vec{D}_\delta \quad (12)$$

$$\vec{X}_i = \frac{(\vec{U}_\alpha + \vec{U}_\beta + \vec{U}_\delta)}{3} \quad (13)$$

Burada \vec{D}_α , \vec{D}_β , \vec{D}_δ , denklemleri gri kurtların avları ile aralarında bulunan vektör mesafesini ifade eder. \vec{U}_α , \vec{U}_β , \vec{U}_δ denklemleri ise alfa, beta ve delta kurtları için deneme vektörlerini, \vec{X}_α , \vec{X}_β , \vec{X}_δ vektörleri gri kurtların avlamak istediği avın pozisyon vektörünü, \vec{X}_i bulunan kurdun i 'ninci iterasyonda pozisyon vektörünü, \vec{C}_α , \vec{C}_β , \vec{C}_δ , \vec{A}_α , \vec{A}_β , \vec{A}_δ omega hariç gri kurtların katsayı vektörlerini göstermektedir. Katsayı vektörleri alfa, beta ve delta kurtları için aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$\vec{A}_\alpha = 2\vec{a}\vec{r}_{\alpha 1} - \vec{a} \quad (14)$$

$$\vec{C}_\alpha = 2\vec{r}_{\alpha 2} \quad (15)$$

$$\vec{A}_\beta = 2\vec{a}\vec{r}_{\beta 1} - \vec{a} \quad (16)$$

$$\vec{C}_\beta = 2\vec{r}_{\beta 2} \quad (17)$$

$$\vec{A}_\delta = 2\vec{a}\vec{r}_{\delta 1} - \vec{a} \quad (18)$$

$$\vec{C}_\delta = 2\vec{r}_{\delta 2} \quad (19)$$

Burada \vec{a} , vektörün optimizasyon sırasında doğrusal olarak 2'den 0'a düştüğünü gösterir $\vec{r}_{\alpha 1}$, $\vec{r}_{\beta 1}$, $\vec{r}_{\delta 1}$ ifadeleri [0, 1] de ilk rastgele vektörleri, $\vec{r}_{\alpha 2}$, $\vec{r}_{\beta 2}$, $\vec{r}_{\delta 2}$ ifadeleri de [0, 1]'de ikinci rastgele vektörlerini gösterir. Gri kurt grubunun üyeleri alfa, beta, delta kurtları avlarına göre pozisyonlarını güncelleyerek avlarını yakalar.

GWO tasarlarken kurtların sosyal hiyerarşisini matematiksel olarak modellemek için en uygun çözüm alfa (α) olarak kabul edilir. Beta (β) ikinci ve delta (δ) ise üçüncü en iyi çözümdür. GWO algoritmasında optimizasyon (av) alfa, beta ve delta tarafından yönlendirilirken, sürüde bulunan diğer kurtlar ise bu üç kurdu takip eder [24]. Gri kurtların ava saldırma aşamasında, \vec{A} 'nın değişim aralığındaki azalmanın sebebi, a değerindeki azalmadır. Gri kurtlar çoğunlukla en iyi üç çözümün pozisyonuna bakarak arama yaparlar. Kuşatma yapacakları avı aramak ve avlanma sırasında tekrar toplanmak üzere birbirlerinden uzaklaşırlar. Gri kurtların birbirlerinden uzaklaşarak yaptığı av arama davranışını matematiksel olarak modellemek için \vec{A} 'nın alabileceği -1 'den küçük ve 1 'den büyük aralıkta bulunan değerlerden faydalanılır.

B. Sinüs Kosinüs Algoritması (SCA)

S. Mirjalili tarafından önerilen ve popülasyona dayalı algoritmalar arasında bulunan SCA iki ana matematiksel denklem kullanılarak çözümün üretildiği ve geliştirildiği bir algoritmadır [25]. Keşif ve sömürü aşamaları olarak optimizasyon süreci iki aşamaya bölünür. İlk olarak, algoritmada arama alanlarının değerlendirilebilecek bölgelerini bulmak için çözüm kümeleri yüksek rastgelelik oranıyla birleştirilir. İkinci aşama olan sömürü aşamasında ise rastgele çözümlerde aşamalı değişiklikler vardır. Sömürü aşamasındaki varyasyonlar keşif aşamasındakilerden önemli ölçüde azdır. Arama alanını araştırmak için bulunan çözümler, karşılık gelen

hedefler arasındaki alanın dışında da olumlu sonuçları değerlendirmek üzere arama yapabilmektedir. Sömürü aşamasında gelişigüzel çözümlerde değişiklikler yapılır ve bu aşamada yapılan varyasyonlar keşif aşamasına göre daha azdır. İki aşama için pozisyon güncelleme denklemleri Denklem (20) ve Denklem (21)'de verilmiştir.

$$X_i^{t+1} = x_i^t + r_1 \times \sin(r_2) \times |r_3 P_i^t - X_i^t| \quad (20)$$

$$X_i^{t+1} = x_i^t + r_1 \times \cos(r_2) \times |r_3 P_i^t - X_i^t| \quad (21)$$

Burada X_i^t i . boyutta bulunan t . iterasyondaki güncel durumunu ifade eder. r_1 , r_2 , r_3 rastgele sayıları verirken, r_4 ise $[0,1]$ değerleri arasındaki rastgele bir sayıyı temsil etmektedir. Rastgele denklemlerinin SCA algoritmasında kullanım amaçları farklıdır. r_1 sonraki durumun alanını belirler, r_2 amaca ulaşmak için yapılacak hareketleri belirler. r_3 hedefin tahmini katkı seviyesini belirlerken son olarak r_4 ise algoritmanın sinüs ve kosinüs elemanları arasında eşit olasılıkla geçiş yapılmasını sağlar. P_i^t 'de i . boyutta hedef noktanın konumunu göstermektedir. Yukarıda verilen iki eşitlik Denklem (22)'deki gibi birlikte kullanılır [26].

$$X_i^{t+1} = \begin{cases} x_i^t + r_1 \times \sin(r_2) \times |r_3 P_i^t - X_i^t|, & r_4 < 0.5 \\ x_i^t + r_1 \times \cos(r_2) \times |r_3 P_i^t - X_i^t|, & r_4 \geq 0.5 \end{cases} \quad (22)$$

SCA algoritması, arama alanında bulunan en iyi sonuca ulaşmak ve en iyi global değere yakınsamak için keşif ve sömürüyü dengelemelidir. Keşif ve sömürüyü dengelemek için Denklem (23) kullanılarak Denklem (20) - (22)'de bulunan sinüs ve kosinüs aralığı uyarlanarak değiştirilir.

$$r_1 = a - t \frac{a}{T} \quad (23)$$

Denklem (23)'te bulunan a sabit olup, t mevcut iterasyondur. T ise maksimum iterasyon sayısıdır.

SCA, denklemlerde elde edilen en iyi çözümleri kayıt eder ve o çözümleri hedef olarak seçer. Seçilen çözüme göre diğer çözümleri de günceller. Çözümler elde edildikçe fonksiyonların aralıkları ve tekrarlamaya sayıları fazla olduğunda arama alanının kullanımı da güncellenir. Bunun yanında, sinüs ve kosinüs fonksiyonları -1'den küçük veya 1'den büyük değerler arasında olursa, arama uzayının keşfedilmemiş bölgelerine erişir. SCA, sinüs ve kosinüs fonksiyonlarındaki adaptif aralık değişimini kullanır ve keşiften sömürüye sorunsuz geçiş sağlar. Küresel optimumun en iyi yaklaşımı, optimizasyon sırasında asla kaybolmaz ve değişkenlerde hedef nokta olarak saklanır. Çözümler, elde edilen en iyi çözüm etrafında güncellendiği için optimizasyon esnasında arama alanlarının optimum bölgelerine doğru eğilim vardır.

C. Şempanze Optimizasyon Algoritması (COA)

Şempanzeler, yunuslar gibi insanlara benzer beyin-vücut oranına sahiptir ve DNA'ları insan DNA'sına çok benzemektedir. Şempanze optimizasyon algoritması, diğer yırtıcılardan farklı olarak şempanzelerin takım avcılığındaki kişisel zekâları ve cinsel motivasyonu ile sürü zekasına dayanan yeni bir sezgisel algoritmadır. COA, M. Khishe, & M. R. Mosavi tarafından 2020 yılında önerilmiştir [27]. COA'da farklı zekâların benzetimini yapmak için kolonide saldırgan, bariyer, avcı ve sürücü başlıklı dört tür şempanze vardır. Avlanmanın kovalamak, engellemek, saldırmak ve sürmek gibi dört ana adımı vardır [27].

- Sürücüler, avı yakalamaya çalışmadan takip eder.
- Bariyerler, avın ilerlemesi sırasında bir engel koymak için bir ağaca yerleşirler.
- Avcılar, avı yakalamak için hızla hareket ederler.
- Saldırganlar ise avın sonuç noktasını avcılara doğru çekmek için tahmin ederler.

Şempanzelerin konumunu güncellemek için kullanılan matematiksel model Denklem (24) ve Denklem (25)'de açıklanmıştır.

$$X_1(t+1) = X_{saldırgan}(t) - a_1 \cdot d_{saldırgan}$$
$$X_2(t+1) = X_{bariyer}(t) - a_2 \cdot d_{bariyer} \quad (24)$$

$$X_3(t+1) = X_{avcı}(t) - a_3 \cdot d_{avcı}$$

$$X_4(t+1) = X_{sürücü}(t) - a_4 \cdot d_{sürücü}$$

$$X_{şempanze} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + X_4}{4} \quad (25)$$

Denklemlerdeki t , geçerli yineleme sayısını temsil eder. Bu yineleme şempanzenin konumuna göre güncellenir. Dinamik katsayı a ile vektör ise d ile gösterilmektedir.

$$\begin{aligned} a_1 &= 2 \cdot f_1 \cdot r_1 - f_1, d_{\text{saldırğan}} = |c \cdot X_{\text{saldırğan}}(t) - m \cdot X(t)| \\ a_2 &= 2 \cdot f_2 \cdot r_1 - f_2, d_{\text{bariyer}} = |c \cdot X_{\text{bariyer}}(t) - m \cdot X(t)| \\ a_3 &= 2 \cdot f_3 \cdot r_1 - f_3, d_{\text{avcı}} = |c \cdot X_{\text{avcı}}(t) - m \cdot X(t)| \\ a_4 &= 2 \cdot f_4 \cdot r_1 - f_4, d_{\text{sürücü}} = |c \cdot X_{\text{sürücü}}(t) - m \cdot X(t)| \end{aligned} \quad (26)$$

Yukarıda verilen denklemlerdeki yinelemenin geçmesiyle f katsayısı doğrusal olmayan bir şekilde 2,5'den 0'a düşer. $c = 2r_2 \cdot r_1$ olup, c ve r_2 $[0,1]$ arasında rastgele sayılardır. m ise kaotik bir vektördür [28].

Algoritmada bulunan μ olasılığının $[0,1]$ arasında rastgele bir sayı için, $\mu \geq 0,5$ olduğunda Denklem (27)'de gösterildiği gibi kaotik model konum güncellemesi için kullanılır. $\mu < 0,5$ değerini koruduğu zaman Denklem (25) kullanılmaya devam edilir.

$$X_{\text{şempanze}}(t + 1) = \text{kaotik_değer} \quad (27)$$

Saldırğanlar, avın sonraki hareketlerini tahmin etmede fazla çaba gösterdiği için başarılı avdan sonra diğer şempanzelerden daha büyük bir et parçası ile ödüllendirilmektedir. Bu önemli rol yaş, zekâ ve fiziksel yetenek ile ilişkilidir. Şempanzeler avlanma sırasında görevlerini değiştirebilir veya avlanma boyunca aynı görevleri sürdürebilirler.

V. BULGULAR ve TARTIŞMA

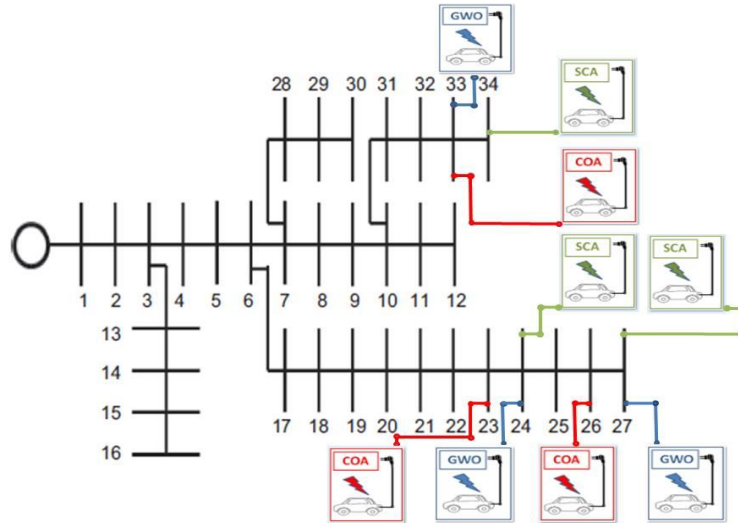
Günümüzde şarj sistemleri üzerine yapılan çalışmalar ve dünyada elektrikli araç teknolojisindeki gelişmeler elektrikli araç kullanımının yaygınlaşmasına neden olmuştur. Petrol gibi tükenmekte olan enerji kaynaklarına olan bağımlılığın azalması elektrikli araçların yaygın kullanımıyla gerçekleşecektir. Son zamanlarda elektrikli araçların güç sistemlerine entegrasyon oranları hızla artmaktadır. Bu artışın sistemden çekilen şarj gücü nedeniyle güç sistemlerini olumsuz etkileyeceği düşünülmektedir. Diğer taraftan, V2G teknolojisi elektrikli araç batarya enerjisini çift yönlü aktarımla şebekeye destek olabilmektedir ve bu sayede EV bataryaları enerji şebekesinin yoğun saatlerinde şebekeye enerji vermesi sağlanabilmektedir. Bu açıdan düşünüldüğünde, V2G şarj istasyonlarının şebekenin hangi barasına ve hangi kapasite ile bağlanacağı da önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, araçtan şebekeye aktarım yapabilen elektrikli araç şarj istasyonlarının yerleşimi farklı algoritmalar kullanılarak gerçekleştirilmiş ve elde edilen istatistiki sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Benzetimler için, D. B. Prakash & C. Lakshminarayana'nın çalışmasında yer alan 34-baralı ve 85-baralı test sistemleri kullanılmıştır [29]. Elektrikli araç şarj istasyonları, test sistemlerinin optimum kapasiteleri ve konumları GWO, SCA ve COA algoritmalarıyla belirlenmiştir. Şarj istasyonları konum olarak üç farklı baraya yerleştirilmiştir. Her bir baraya yerleştirilen şarj istasyonlarında farklı sayılarda şarj/deşarj noktası vardır. Bu noktalardan şebekeye yapılacak toplamdeşarj kapasitesi ise o baradaki şarj istasyonunun toplam kapasitesini ifade etmektedir. Elektrikli araçtan şebekeye aktarılan güç miktarı ve bu gücün şebekeye aktarıldığı bara numaraları problemin değişkenleridir. Algoritmaların, değişkenlerin değerlerini belirlemesi ile amaç fonksiyonu olan aktif güç kayıpları minimize edilmiştir. Şebekeye yerleştirilen V2G teknolojisine sahip şarj istasyonları arasında en az iki baralık mesafe bulunmaktadır.

Algoritmalar arasında adil bir karşılaştırılma yapılması için her algoritma için popülasyon sayıları=40, iterasyon sayıları=1000 alınarak algoritmalar 100'er kez koşturulmuştur. Dolayısıyla, her bir algoritma için maksimum fonksiyon değerlendirme sayısı (MaxFEs) olarak ifade edilen "popülasyon sayısı \times iterasyon sayısı" değerleri her bir algoritma için eşit ve 40000'dir. Test sistemlerinin yük değerleri puant değerler olarak göz önünde bulundurulmuş ve EVdeşarjlarının puant yük zamanında gerçekleştiği varsayılmıştır.

A. 34-Baralı Test Sistemi

Şekil-2’de 34-baralı test sistemi bara numaraları ile birlikte verilmiştir [29]. Herhangi bir şarj istasyonu bağlı olmadığı 34-baralı test sisteminin temel durumunda toplam aktif güç kaybı değeri 221.5748 kW, reaktif güç kaybı değeri ise 65.0740 kVAR’dır. Diğer taraftan, en küçük bara gerilim değeri 0.9423 p.u olarak 27 numaralı barada görülmektedir. Temel durumda baraların ortalama gerilim değeri ise 0.9660 p.u’dur. Benzetim zamanı 0.065 saniye olarak ölçülmüştür.



Şekil 2. 34-baralı test sisteminde GWO, COA ve SCA ile şarj istasyonlarının optimum konumları

Benzetimde çeşitliliğin sağlanması açısından üç farklı güçte şarj/deşarj olabilen EV modeli seçilmiş ve şarj istasyonları, bütün modelleri şarj edebilecek kapasite ve güçte kurulduğu varsayılmıştır. Model-1, Model-2 ve Model-3’ün şarj/deşarj güç kapasiteleri sırasıyla 3.6 kW, 6.6 kW ve 7.2 kW’tır. Elektrikli araç şarj istasyonlarından şebekeye aktarılacak maksimum toplam anlık güç değeri, güç sistemindeki toplam yük değeri 4636.5kW’ın %25’i yani 1165.8 kW olacak şekilde maksimum şarj noktaları sayıları belirlenmiştir. Buna göre, test sisteminde 3.6 kW, 6.6 kW ve 7.2 kW güçlerin her biri için belirlenebilecek en fazla şarj noktası sayısı 67’dir. Bu değer $67 \times (3.6 + 6.6 + 7.2) = 1165.8 \text{ kW}$ şeklinde hesaplanmıştır. Şarj istasyonlarındaki her güçteki minimum şarj noktası sayısı ise 13 olarak seçilmiştir. Bu da sistemden toplam çekilen yükün %4.8’ine karşılık gelmektedir. 34-baralı test sisteminde hat kayıplarını hedef fonksiyonu ile minimize etmek için yerleştirilecek üç V2G şarj istasyonlarının konum ve kapasite değerleri GWO, COA ve SCA kullanılarak belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 1’de verilmiştir.

Öncelikle, elektrikli araç istasyonlarının girdi değerlerinin çıktılara etkisinin daha iyi anlaşılması için istasyonlar rastgele olarak 2, 9 ve 20 numaralı baralara 483 kW, 395.4 kW ve 287.4 kW’lık kapasiteler ile konumlanmıştır. Bu durumda 171.0 kW’luk aktif güç kaybı, 49.7230 kVAR’da reaktif güç kaybı elde edilmiştir. Algoritmalar kullanılmadan rastgele yerleştirilen V2G şarj istasyonlarının şebekede iyileştirme sağlasa da etkisi sınırlı kalmıştır.

Optimizasyon algoritmaları kullanarak elde edilen en iyi sonuçlar için şarj istasyonlarının konumu Şekil 2’de gösterilmiştir. Buna göre benzetim GWO algoritması ile yapıldığında 24, 27 ve 33 numaralı baralara şarj istasyonları yerleştirilmiş ve bu baralara bağlı V2G şarj istasyonunun şarj/deşarj güç kapasiteleri sırasıyla 519.0 kW, 420.6 kW ve 226.2 kW olarak elde edilmiştir. Şarj istasyonlarının optimum konumu COA tarafından 28, 26 ve 33 numaralı baralar olarak belirlenirken,deşarj kapasite değerleri ise 226.2 kW, 713.4 kW ve 226.2 kW olmuştur. SCA’nın verdiği optimum sonuçlara göre ise 480.0 kW, 459.6 kW ve 226.2 kW gücündeki istasyonlar 24, 27 ve 34 numaralı baralara yerleştirilmiştir.

Tablo 1’de görüldüğü gibi, 1000 iterasyonlu üç farklı algoritmanın 100’er defa koşutulması sonucunda, en düşük ortalama aktif güç kaybı değeri GWO tarafından 129.0430 kW’lık değerle sağlanmıştır. Onu takiben, SCA 129.0564 kW ve COA ise 129.6945 kW’luk ortalama aktif güç kaybı sunmuştur. Algoritmaların sunduğu en iyi ve en kötü değerler açısından karşılaştırıldığında; COA algoritması 141.6539 kW’lık değeriyle optimizasyon için en kötü sonucu veren algoritma olmuştur. En iyi sonuçlara bakıldığında 129.0126 kW ile GWO algoritması

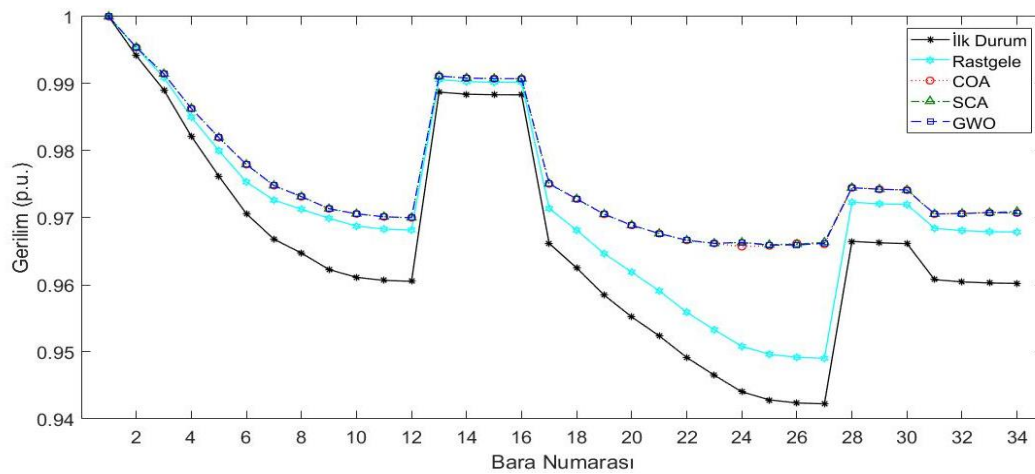
en iyi değeri vermiştir. Reaktif güç kayıpları açısından da 38.8480 kVAR ile en az güç kaybı GWO tarafından sağlanmıştır.

Tablo 1. 34-baralı test sisteminde GWO, COA ve SCA kullanılarak elde edilen benzetim sonuçları

34-baralı test sistemi					
	İLK DURUM	RASTGELE	GWO	COA	SCA
(Ortalama)			129.0430	129.6945	129.0564
Aktif Güç					
(En İyi)	221.5748	171.0	129.0126	129.0322	129.0127
(En Kötü)			129.0902	141.6539	129.0996
Kayıpları (kW)					
(Standart Sapma)	-	-	0.0244	2.6870	0.0238
Ortalama Benzetim Zamanı (sn)	-	-	40.73	42.99	41.23
Minimum Gerilim (p.u)	0.9423	0.9491	0.9659	0.9657	0.9660
Ortalama Gerilim (p.u)	0.9660	0.971	0.976	0.975	0.976
Reaktif Güç Kayıpları (kVAR)	65.0740	49.7230	38.8480	38.8595	38.8517
En İyi Sonuç İçin V2G Şarj		2/483.0	24/519.0	23/226.2	24/480.0
İstasyonu Bara Numaraları/		9/395.4	27/420.6	26/713.4	27/459.6
Güçleri (kW)		20/287.4	33/226.2	33/226.2	34/226.2

Bu çalışmada en düşük standart sapma değeri 0.0238 ile SCA algoritmasındadır. Ardından, 0.0244 değeriyle GWO ve 2.6870 değeriyle COA gelmektedir. İstatistiksel değer olarak standart sapmanın düşük olması, algoritmanın her çalışmasında ortalamaya yakın sonuçlar verdiğine işaret eder ve bu da algoritmanın stabil değerler verdiğinin göstergesidir. Zaman penceresinden bakıldığında en iyi sonucu veren GWO algoritması 40.73 sn. ile 1000 iterasyonlu çalışmayı en hızlı tamamlayan algoritma olmuştur. COA algoritması ise 42.99 sn. ile iterasyonu en geç tamamlayan algoritma olmuştur.

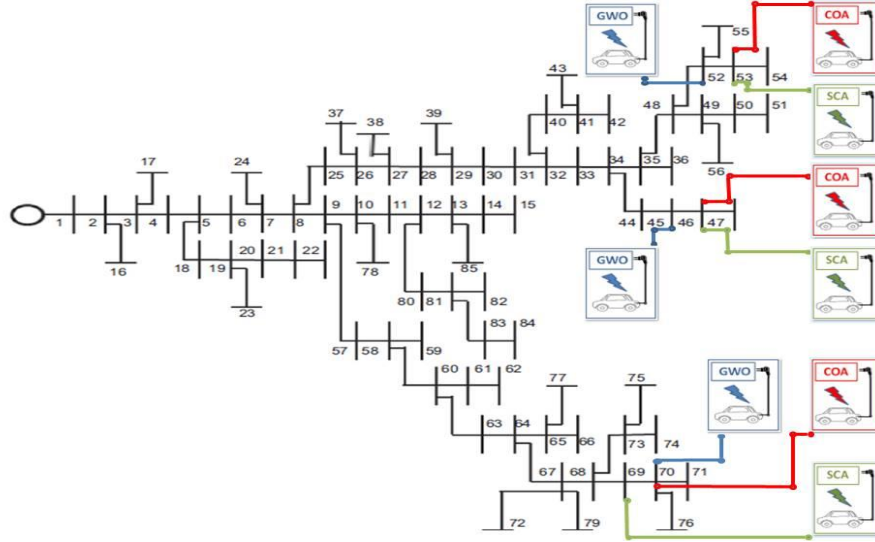
Baraların temel durumda, rastgele ve V2G şarj istasyonlarının GWO, COA ve SCA algoritmaları ile yerleştirildikten sonraki gerilim profili Şekil 3'te gösterilmiştir. Temel durumda, 34 baranın ortalama gerilim değeri 0.9423 p.u. iken rastgele, GWO, COA ve SCA algoritmaları ile V2G şarj istasyonlarını yerleşimi sonucu sistemdeki minimum bara gerilimleri sırasıyla 0.9491 p.u., 0.9659 p.u., 0.9657 p.u., 0.9660 p.u. değerlerine yükselmiştir. Bara gerilimlerinin sonuçları birbirine çok yakın olmakla birlikte en iyi bara gerilimi SCA algoritmasına aittir. Bara gerilimlerinin düşüklüğü kayıp değerlerini de etkilemektedir, optimizasyon algoritmaları içinde en düşük bara gerilimi olan COA en fazla kaybın olduğu algoritma olmuştur.



Şekil 3. 34-baralı test sistemi bara gerilimleri

B. 85-Baralı Test Sistemi

V2G araç şarj istasyonlarının optimum yerleşimi çalışmasında bir başka test sistemi olarak Şekil 4'te gösterilen 85-baralı test sistemi kullanılmıştır [29]. İlk durumda aktif güç kayıpları 314.5378 kW iken reaktif güç kayıpları 197.6246 kVAR olarak gözlemlenmiştir. İleri geri süpürme güç akışı 0.076 saniyede tamamlanmıştır.



Şekil 4. 85-baralı test sisteminde GWO, COA ve SCA ile şarj istasyonlarının optimum konumları

Yukarıda da belirtildiği gibi benzetimde yine üç farklı güçte şarj/deşarj olabilen EV modeli kullanılmıştır. Şarj istasyonlarındaki araç sayıları sistemin kapasitesine göre farklılık göstermektedir. 85-baralı test sisteminin toplam yük değeri 2570.28 kW'tır. 3.6 kW, 6.6kW ve 7.2kW'lık araç tiplerinin her birinden en fazla 37 şarj noktası bulunmaktadır. Dolayısıyla sistemde aktarılabilecek güç en fazla 643.8 kW olarak yani sistemdeki toplam yükün %25'i ile sınırlandırılmıştır. Bu değer $37 \times (3.6 + 6.6 + 7.2) = 643.8 \text{ kW}$ şeklinde hesaplanmıştır. Farklı güçlerdeki minimum şarj noktası sayısı 7'dir ve güç kapasitesi sistemden toplam çekilen yükün %4,8'ine karşılık gelmektedir. 85-baralı test sisteminde de V2G şarj istasyonları GWO, COA ve SCA optimizasyon algoritmaları kullanılarak üç farklı baraya yerleştirilmiş, yerleştirilen konumlar Şekil 4'te ve detaylı sonuçlar ise Tablo 2'de gösterilmiştir.

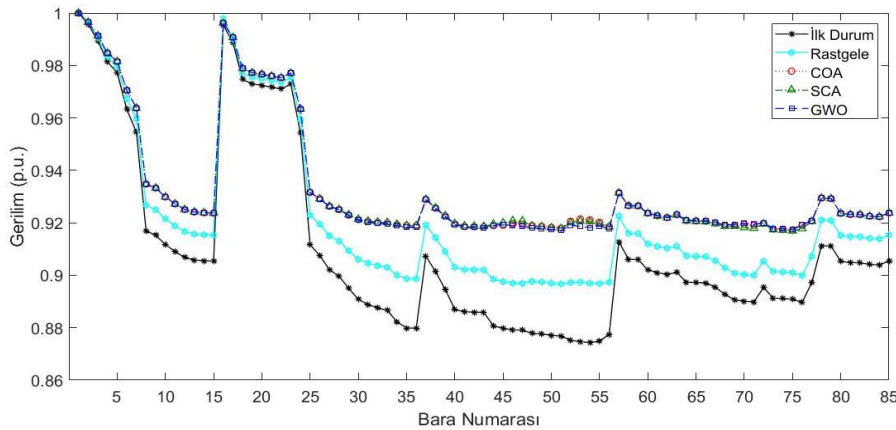
Öncelikle, şarj istasyonları üç farklı baraya kısıtlara uyarak farklı güçlerde rastgele yerleştirilmiştir. 16, 28 ve 53 numaralara yerleştirilen şarj istasyonlarının en yüksekdeşarj kapasiteleri sırasıyla, 298.2 kW, 187.8 kW ve 157.8 kW'dır. Bu durumda aktif güç kaybı 260.8991 kW iken, sistemdeki en küçük bara gerilim değeri 0.8967 p.u. olarak elde edilmiştir. Daha sonra, optimum konum ve kapasitenin belirlenmesi işlemi üç farklı algoritma ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 4'te ise GWO algoritması ile şarj istasyonlarının 45, 52 ve 70 numaralı baralara yerleştirildiği görülmektedir. Bu baralardaki şarj istasyonu şarj/deşarj güçleri sırasıyla 161.4 kW, 273.6 kW ve 208.8 kW olarak belirlenmiştir. COA tarafından şarj istasyonlarının belirlenen optimum konumları 46, 53 ve 70 numaralı baralar olurken güç sağlama kapasite değerleri 121.8 kW, 321.0 kW ve 201.0 kW olarak belirlenmiştir. SCA tarafından belirlenen optimum bara numaraları 46, 53 ve 69 olmuş ve şarj istasyonlarının kapasite değerleri ise 161.4 kW, 288.0 kW ve 194.4 kW olarak bulunmuştur.

Tablo 2'den de görüldüğü gibi minimum aktif güç kaybı 215.9577 kW ile GWO tarafından sağlanmıştır. İkinci iyi değer SCA tarafından 215.9644 kW ile sağlanırken, COA en iyi değer açısından üçüncü sırada yer almaktadır. Diğer taraftan, benzetim sonucunda 216.6996 kW'lık değer ile en kötü sonucu COA algoritması vermiştir. Benzetimin ortalama değerlerine bakılacak olursa; GWO, SCA ve COA'nın ortalama değerleri sırası ile 215.9717 kW, 216.2304 kW ve 216.3664 kW'tır. Ortalama değer olarak da en iyi sonuç yine GWO algoritması tarafından elde edilmiştir. En düşük standart sapma oranı 0.0305 ile GWO algoritması tarafından elde edilmiştir. Daha sonra 0.1330 ile SCA ve 0.2107 değeriyle COA algoritmaları gelmektedir. 85-baralı test sistemini zaman bakımından incelediğimizde 172.63 sn'lik sonuç ile SCA algoritması 1000 iterasyonu en kısa sürede tamamlamıştır. 173.63 sn'lik süre ile GWO ikinci, 176.10 sn'lik süre ile COA algoritması 1000 iterasyonu en geç bitiren algoritma olmuştur.

Tablo 2. 85-baralı test sisteminde GWO, COA ve SCA kullanılarak elde edilen benzetim sonuçları.

85-baralı test sistemi						
	İLK DURUM	RASTGELE	GWO	COA	SCA	
	(Ortalama)		215.9717	216.3664	216.2304	
Aktif Güç	(En İyi)	314.5378	260.8991	215.9577	216.0001	215.9644
Kayıpları	(En Kötü)			216.1805	216.6996	216.6365
(kW)	(Standart Sapma)	-	-	0.0305	0.2107	0.1330
Ortalama Benzetim Zamanı (sn.)	-	-	173.63	176.10	172.63	
Minimum Gerilim (p.u)	0.8743	0.8967	0.9171	0.9172	0.9169	
Ortalama Gerilim (p.u)	0.9102	0.9213	0.9332	0.9334	0.9334	
Reaktif Güç Kaybı (kVAR)	197.6246	164.0092	137.2693	137.3510	137.3440	
En İyi Sonuç İçin V2G Şarj		16/298.2	45/161.4	46/121.8	46/161.4	
İstasyonu Bara Numaraları/	-	25/187.8	52/273.6	53/321.0	53/288.0	
Güçleri (kW)		53/157.8	70/208.8	70/201.0	69/194.4	

Şekil 5'te 85-baralı test sistemi için temel durumdaki bara gerilim profili, rastgele gerilim profili ve GWO, COA, SCA ile kapasite ve konumları belirlen V2G şarj istasyonları yerleşiminden sonraki bara gerilim profili verilmiştir. SCA ve COA ile sistemin ortalama bara gerilim değeri 0.9334 p.u iken, GWO algoritması ile ortalama bara gerilim değeri 0.9332 p.u. olmuştur. Diğer taraftan, 85-baralı test sistemi için minimum bara gerilimleri temel durumda 0.9102 p.u. iken rastgele için 0.8967 p.u., SCA için 0.9169 p.u., GWO için 0.9171 p.u. ve COA için 0.9172 p.u. değerlerine yükselmektedir.



Şekil 5. 85-baralı test sistemi bara gerilimleri

VI. SONUÇ VE ÖNERİLER

Akıllı şebekelerde çift yönlü bilgi ve enerji akışı sebebiyle V2G özelliğine sahip şarj istasyonları şebekenin desteklenmesi amacıyla özellikle puant saatlerde dağıtık üretim kaynağı olarak kullanılabilir. Bunun için V2G elektrikli araç şarj istasyonları dağıtık sisteminin en uygun noktasına en uygun kapasite ile yerleştirilmelidir. Bu çalışmada, V2G elektrikli araç şarj istasyonlarının şebekeye en uygun şekilde kapasitesinin belirlenmesi ve yerleşimini sağlamak için GWO, COA ve SCA algoritmaları kullanılmıştır. Hattaki aktif güç kayıplarını azaltmayı amaçlayan bir hedef fonksiyonu belirlenerek, bu hedef fonksiyonu optimize edilmiştir. Algoritmalar 1000 iterasyon ile 100'er defa çalıştırılarak istatistiksel sonuçlar elde edilmiştir. En başarılı sonuçlar hem 34-baralı hem de 85-baralı test sistemleri için GWO algoritması ile elde edilmiştir. GWO, hem aktif hem de reaktif kayıplar açısından diğer algoritmalara göre daha iyi bir performans göstermiştir. Diğer taraftan, GWO, V2G

şarj istasyonlarının konum ve kapasite belirlenmesi problemi için zaman açısından hızlı sonuç veren algoritmalarından biri olmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] Technology report. (2019). *IEA Global EV Report*. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2019>. (03.04.2021).
- [2] Su, C. L., Leou, R. C., Yang, J. C., & Lu, C. N. (2013). Optimal Electric Vehicle Charging Stations Placement in Distribution Systems. *IECON 2013 - 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Vienna, 2121-2126.
- [3] Wirasingha, S. G., Schofield, N., & Emadi, A. (2008). Plug-in Hybrid Electric Vehicle Developments in the US: Trends, Barriers, and Economic Feasibility. *2008 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, China, 1-8.
- [4] Nyns, K. C., Haesen, E., & Driesen, J. (2011). The Impact of Vehicle-to-Grid on the Distribution Grid. *Electric Power Systems Research*, 81(1), 185-192.
- [5] Nurmuhammed, M., & Karadağ, T. (2021). Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Konumlandırılması ve Enerji Şebekesi Üzerine Etkisi Konulu Derleme Çalışması. *Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation*, 8(2), 30-45.
- [6] Amini, M. H., & Islam, A. (2014). Allocation of Electric Vehicles' Parking Lots in Distribution Network. *ISGT 2014*, Washington, DC, 1-5.
- [7] El-Zonkoly, A., & Coelho, L. S. (2014). Optimal Allocation, Sizing of PHEV Parking Lots in Distribution System. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 67, 472-477.
- [8] Sadeghi-Barzani, P., Rajabi-Ghahnavieh, A., & Kazemi-Karegar, H. (2014). Optimal Fast Charging Station Placing and Sizing. *Applied Energy*, 125, 289-299.
- [9] Gampa, S. R., Jasthi, K., Goli, P., Das, D., & Bansal, R. C. (2020). Grasshopper Optimization Algorithm Based Two Stage Fuzzy Multiobjective Approach for Optimum Sizing and Placement of Distributed Generations, Shunt Capacitors and Electric Vehicle Charging Stations. *Journal of Energy Storage*, 27, 101117.
- [10] Awasthi, A., Venkitesamy, K., Padmanaban, S., Selvamuthukumar, R., Blaabjerg, F., & Singh, A. K. (2017). Optimal Planning of Electric Vehicle Charging Station at The Distribution System Using Hybrid Optimization Algorithm. *Energy*, 133, 70-78.
- [11] Faddel, S., Elsayed, A. T., & Mohammed, O. A. (2018). Bilayer Multi-Objective Optimal Allocation and Sizing of Electric Vehicle Parking Garage. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 54(3), 1992-2001.
- [12] Zheng, Y., Dong, Z. Y., Xu, Y., Meng, K., Zhao, J. H., & Qiu, J. (2014). Electric Vehicle Battery Charging/Swap Stations in Distribution Systems: Comparison Study and Optimal Planning. *IEEE Transactions on Power Systems*, 29(1), 221-229.
- [13] Domínguez-Navarro, J.A., Dufo-López, R., Yusta-Loyo, J. M., Artal-Sevil, J.S., & Bernal-Agustín, J.L. (2019). Design of an Electric Vehicle Fast-Charging Station with Integration of Renewable Energy and Storage Systems. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 105, 46-58.
- [14] Habib, S., Kamran, M., & Rashid, U. (2015). Impact Analysis of Vehicle-to-Grid Technology and Charging Strategies of Electric Vehicles on Distribution Networks – A review. *Journal of Power Sources*, 277, 205-214.
- [15] Dogan, A., Bahceci, S., Daldaban, F., & Alçi, M. (2018). Optimization of Charge/Discharge Coordination to Satisfy Network Requirements Using Heuristic Algorithms in Vehicle-to-Grid Concept. *Advances in Electrical and Computer Engineering*, 18, 121-130.
- [16] Dogan A., & Alci, M., (2018). Heuristic Optimization of EV Charging Schedule Considering Battery Degradation Cost, *Elektronika Ir Elektrotehnika*, 24, 15-20.
- [17] Prasomthong, J., Ongsakul, W., & Meyer, J. (2014). Optimal Placement of Vehicle-to-Grid Charging Station in Distribution System using Particle Swarm Optimization with Time Varying Acceleration Coefficient. *2014 International Conference and Utility Exhibition on Green Energy for Sustainable Development (ICUE)*, Thailand, 1-8.
- [18] Aljanad, A., Mohamed, A., Shareef, H., & Khatib, T. (2018). A Novel Method for Optimal Placement of Vehicle-to-Grid Charging Stations in Distribution Power System Using a Quantum Binary Lightning Search Algorithm. *Sustainable Cities and Society*, 38, 174-183.
- [19] Yong, J. Y., Ramachandaramurthy, V. K., Tan, K. M., & Mithulananthan, N. (2015). A Review on the State-of-the-Art Technologies of Electric Vehicle, Its Impacts and Prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 365-385.

- [20] Mwasilu, F., Justo, J. J., Kim, E. K., Do, T. D., & Jung, J. W. (2014). Electric Vehicles and Smart Grid Interaction: A Review on Vehicle to Grid and Renewable Energy Sources İntegration. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34, 501-516.
- [21] Tan, K. M., Ramachandaramurthy, V. K., & Yong, J. Y. (2016). İntegration of Electric Vehicles in Smart Grid: A Review on Vehicle to Grid Technologies and Optimization Techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 720-732.
- [22] Su, C. T., Chang, C. F., & Chiou, J. P. (2005). Distribution Network Reconfiguration for Loss Reduction by Ant Colony Search Algorithm. *Electr. Power Syst. Res.*, 75, 190–199.
- [23] Abou El-Ela, A. A., El-Sehiemy, R. A., Kinawy, A. M., & Mouwafi, M. T. (2016). Optimal Capacitor Placement in Distribution Systems for Power Loss Reduction and Voltage Profile Improvement. *IET Gener. Transm. Distrib.*, 10, 1209– 1221.
- [24] Mirjalili, S., Mirjalili, S. M., & Lewis, A. (2014). Grey Wolf Optimizer. *Advances in Engineering Software*, 69, 46-61.
- [25] Mirjalili, S. (2016). SCA: A Sine Cosine Algorithm for Solving Optimization Problems. *Knowledge-Based Systems*, 96, 120-133.
- [26] Demir, G., & Tanyıldızı, E. (2017). Optimizasyon Problemlerinin Çözümünde Sinüs Kosinüs Algoritması (SKA)'nın Kullanılması. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 29(1), 225-236.
- [27] Khishe, M., & Mosavi, M. R. (2020). Chimp Optimization Algorithm. *Expert Systems with Applications*, 149, 113338.
- [28] Jia, H., Sun, K., Zhang, W., & Leng, X. (2021). An Enhanced Chimp Optimization Algorithm for Continuous Optimization Domains. *Complex Intell. Syst.*
- [29] Prakash, D. B., & Lakshminarayana, C. (2016). Optimal Siting of Capacitors in Radial Distribution Network Using Whale Optimization Algorithm. *Alexandria Engineering Journal*, 56(4), 499-509.