



Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının ve Elektrikli Araçların Belirsizlikleri Göz Önüne Alınarak Dağıtım Sisteminin QPSO Yöntemi ile Yeniden Yapılandırılması

İbrahim Çağrı BARUTÇU¹ , Ali ERDUMAN^{2*} , Faruk AYGÜN³

¹ Elektrik ve Enerji Bölümü, Çölemerik MYO, Hakkari Üniversitesi, Türkiye. ibrahimcagribarutcu@hakkari.edu.tr

² Elektrik ve Enerji Bölümü, Sakarya MYO, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Türkiye.

alierduman@subu.edu.tr

³ Bilgisayar ve Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı, Lisansüstü Enstitüsü, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Türkiye, 0750Y22106@subu.edu.tr

ÖZ

Bu çalışma kapsamında, IEEE 33 baralı test sistemi üzerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının ve elektrikli araçların kullanıldığı dağıtım besleyicisinin yeniden yapılandırması problemini çözmek için kuantum parçacık sürü optimizasyonu (QPSO) uygulanmıştır. Kullanılan yöntem ile QPSO parçacık uzunluğunu değiştirerek daha hızlı bir sürede en yakın çözümün bulunması sağlanmıştır. Optimizasyonun amaç fonksiyonu elektrik dağıtım sistemlerinde aktif güç kaybını en aza indirmektir. Optimizasyonun kısıtları arasında bara gerilimleri, dağıtım hattı taşıma kapasiteleri, üretim kaynaklarının minimum ve maksimum güç değerleri, aktif ve reaktif güç denge denklemleri eşitlik ve eşitsizlik kısıtları olarak alınmıştır. Çalışma kapsamında rüzgâr ve güneş enerji üretim santralleri ve elektrikli araç modellerini dikkate alarak dağıtım sistemi besleyicilerinin yeniden yapılandırılması araştırılmıştır. Dağıtık üretim kaynaklarından olan rüzgar ve güneş enerji santrallerin üretim belirsizliklerinin ve elektrikli araçların yük olarak tüketim belirsizliklerinin ayrı ayrı ve birlikte dikkate alındığı senaryolar oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: QPSO yöntemi, dağıtım sisteminde yeniden yapılandırma, yenilenebilir enerji belirsizlikleri, elektrikli araçlar

Restructuring The Distribution System With QPSO Method Considering The Uncertainties Of Renewable Energy Sources And Electric Vehicles

ABSTRACT

In this study, quantum particle swarm optimization (QPSO) is applied to solve the distribution feeder reconfiguration problem using renewable energy sources and electric vehicles on the IEEE 33-bus test system. With the method used, the closest solution is found in a faster time by changing the QPSO

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: alierduman@subu.edu.tr

particle length. The objective function of the optimization is to minimize the active power loss in electricity distribution systems. Busbar voltages, distribution line carrying capacities, minimum and maximum power values of generation sources, active and reactive power balance equations are taken as equality and inequality constraints. Within the scope of the study, the reconfiguration of distribution system feeders considering wind and solar power generation plants and electric vehicle models is investigated. Scenarios are created in which the production uncertainties of wind and solar power plants, which are distributed generation sources, and the consumption uncertainties of electric vehicles as load are taken into account separately and together.

Keywords: QPSO method, distribution system reconfiguration, renewable energy uncertainties, electric vehicles

1 Giriş

Yeniden yapılandırma problemi, radyal topolojinin sağlanması, hatlardaki ve trafo merkezlerindeki güç akışının kapasite sınırlarının altında olması, gerilim büyüklüklerinin sınırlar dahilinde olması ve tüm baraların birbirine bağlı olması gibi tüm elektrik sistemi kısıtlamaları karşılanırken, minimum güç kaybıyla yeni bir şebeke topolojisinin tanımlanmasından oluşmaktadır. Dağıtım sistemleri yatırım maliyetinin yanı sıra sistemin işletme maliyetini de düşürecek şekilde planlanmakta ve tasarlanmaktadır. Transformatörlerin ve hatların beklenmedik zorunlu kesintileri sırasında veya aşırı yüklemeler ve bakım sırasında sistem operatörlerinin yeni çalışma koşulları için sistem verimliliğini, güvenilirliğini ve işletme maliyetini iyileştirmek amacıyla farklı anahtarların durumunu kontrol ederek sistemi yeniden yapılandırmaları gerekmektedir. Çalışma koşullarına göre, dağıtım sistemleri, kayıpların azaltılması, yük dengeleme ve servis restorasyonu gibi amaçlar doğrultusunda yeniden yapılandırılmaktadır. Bu anlamda, yükün aşırı yüklü hat ve trafo merkezlerinden nispeten daha az yüklü hat ve transformatörlere aktarılması amacıyla bağlantı ve bölümlendirme anahtarlarının açık / kapalı durumları değiştirilerek dağıtım sistemlerinin verimli çalışması sağlanabilir. Hatlar ve trafo merkezleri üzerindeki yük seviyesinin azaltılmasıyla güç kayıpları azaltılır ve hatlar boyunca gerilim profili iyileştirilir. Bu nedenle, dağıtım sistemi yeniden yapılandırma problemi, tüm sistem kısıtlamaları karşılanırken, minimum güç kaybıyla yeni bir konfigürasyon belirleme görevi olarak kavramsallaştırılabilir. Bu problem, amacın büyük ölçekli bir dağıtım sistemindeki tüm anahtarların açık / kapalı son durumunu belirlemek olduğu kombinatoriyal bir optimizasyon problemidir.

Son yıllarda birçok araştırmacı dağıtım şebekelerinin yeniden yapılandırılmasını araştırmıştır. Torres vd., güç dağıtım sistemlerinin minimum kayıpla yeniden yapılandırılmasını optimize etmek için kenar pencere kod çözücü tekniğini temel alan genetik algoritma yöntemini önermişlerdir [1]. Saffar vd., bulanık değişkenlere sahip çok amaçlı bir fonksiyon kullanarak ve hatlardaki hem yük dengeleme hem de kayıp azaltma hedeflerini dikkate alarak optimal yeniden yapılandırma için karınca kolonisi arama tabanlı algoritma kullanmışlardır [2]. Mirhoseini vd., aktif güç kayıplarını en aza indirmek ve gerilim profilini iyileştirmek amacıyla geliştirilmiş uyarlanabilir emperyalist rekabetçi algoritmaya dayanan bir yeniden yapılandırma yöntemi önermişlerdir [3]. Nguyen ve Nguyen, elektrik dağıtım şebekesinin yeniden yapılandırılması problemi için geliştirilmiş bir guguk kuşu arama algoritması geliştirmişlerdir [4]. Karimianfard ve Haghghat, optimizasyon tabanlı veya yük akışı tabanlı programları kullanmadan dağıtım sistemi yeniden yapılandırma probleminin çözümlerini seçmek için basit ve hızlı bir strateji sunmuşlardır [5]. Cikan ve Kekezoglu, aktif güç kayıplarını azaltmak, gerilim büyüklüğünü artırmak ve güvenilirlik endekslerini iyileştirmek için güç dağıtım şebekesinin yeniden yapılandırılmasına denge optimize edici algoritmayı uygulamışlardır [6]. Nguyen ve Truong, aktif güç kaybını en aza indirmek ve gerilim profilini iyileştirmek için guguk kuşu algoritmasına dayalı bir yeniden yapılandırma yöntemi önermişlerdir [7].

Tran The vd., dağıtım sistemlerindeki güç kaybını en aza indirmek ve gerilim profilini iyileştirmek amacıyla yeniden yapılandırma problemini çözmek için kaotik bir stokastik fraktal arama algoritması yöntemi önermişlerdir [8]. Abdelaziz vd., güç kaybının en aza indirilmesi için optimal dağıtım sistemi yeniden yapılandırma probleminin çözümü için parçacık sürü optimizasyonu algoritmasını sunmuşlardır [9]. Home-Ortiz vd., karışık tamsayılı ikinci dereceden programlama formülasyonu kullanan ve radyal dağıtım sistemleri için planlamaya ilişkin bir çalışma sunmuşlardır [10]. Önerdikleri yöntem, hem sabit hem de anahtarlanabilir kapasitör bankalarında minimum genel yatırım ve işletme maliyetlerine ulaşmak amacıyla, besleyicilerin yeniden yapılandırılması ve kapasitör bankalarının tahsisi ile ilgili problemlerin eş zamanlı olarak çözülmesine yönelik bir modelden oluşmuştur. Dağıtım şebekesinin yeniden yapılandırılması ve kapasitör yerleşimi, dağıtım sistemlerinde güç kayıplarını azaltmak ve gerilim profillerini izin verilen sınırlar içinde tutmak için uygulanan faydalı seçeneklerdir. Sedighzadeh ve Bakhtiary, radyal dağıtım sistemlerinin yeniden yapılandırma ve kapasitör yerleşimi yoluyla optimizasyonu için bir algoritma sunmuşlardır [11]. Salau vd., farklı yüklenme koşullarını dikkate alarak güç kaybının azaltılması ve gerilim profilinin iyileştirilmesi amacıyla bir güç dağıtım sistemindeki yeniden yapılandırma problemini optimize etmek için seçici parçacık sürü optimizasyonu yöntemini sunmuşlardır [12]. Aman vd., sistem yüklenebilirliğinin maksimuma çıkarılmasına dayanan şebekenin yeniden yapılandırılması için bir algoritma sunmuşlardır [13]. Maksimum yüklenebilirlik noktasını bulmak için sürekli güç akışı teoremini ve radyal dağıtım sistemi yük akışı analizini kullanmışlardır. Das, bulanık çok amaçlı yaklaşıma dayalı olarak şebekenin yeniden yapılandırılması için bir algoritma sunmuştur [14]. Tüm yüklerin enerjilendirilmesi gereken bir radyal şebeke yapısını sağlayarak, besleyiciler arasında yük dengeleme, bara gerilimlerdeki minimum sapma, güç kaybının en aza indirilmesi ve hat akımı kısıt ihlalinin azaltılması gibi amaçları göz önünde bulundurmıştır. Bununla birlikte, bu çalışmalar dağıtım sisteminin yeniden yapılandırma probleminin çözümünde dağıtık enerji üretim sistemlerinin veya yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye bağlantılarını göz ardı etmişlerdir. Ayrıca, bu çalışmalarda sadece şebekenin orijinal yük seviyesi veya yük belirsizliği göz önünde bulundurulmuştur.

Literatüre bakıldığında, dağıtım şebekelerinde yeniden yapılandırma probleminin dağıtık enerji üretim sistemleri ve yenilenebilir enerji kaynakları göz önünde bulundurulmuş ve uygulandığı önemli çalışmaların bulunduğu görülmektedir. Bu çalışmalardan bir kısmı sabit güçlü dağıtık enerji üretim sistemlerinin göz önünde bulundurulduğu çalışmalardır [15]–[24]. Lotfipour ve Afrakhte, dağıtık enerji üretiminin bulunduğu dağıtım şebekesinde güç kaybının en aza indirilmesi ve gerilim profilinin iyileştirilmesi amacıyla dağıtım sisteminin yeniden yapılandırılması için öğretim-öğrenme tabanlı optimizasyon algoritması sunmuşlardır [15]. Azizivadeh vd., dağıtık enerji üretim sistemlerinin bulunduğu dağıtım şebekelerinde güç kaybını, gerilim kararlılık endeksini ve anahtarlama sayısını hem çalışma hem de güvenlik beklentilerini karşılayabilecek amaç fonksiyonları olarak ele almışlardır [16]. İlgili problemi çözmek için karışık sıçrayan kurbağa algoritması ve parçacık sürü optimizasyonunun hibritleştirilmesine dayanan bir optimizasyon algoritması sunmuşlardır. Nguyen vd., aktif güç kaybını azaltmak amacıyla, eş zamanlı şebekenin yeniden yapılandırılması ve dağıtık enerji üretim yerleşimi problemi için çakalların sosyal yaşamından ilham alan çakal algoritmasına dayalı bir yöntem sunmuşlardır [17]. Sedighzadeh vd., eşzamanlı optimal şebekenin yeniden yapılandırılması ve dağıtık enerji üretim güç tahsisi için çok amaçlı bir yapı önermişlerdir [18]. Önerdikleri yöntemi, güç kayıpları, gerilim kararlılığı, dağıtık enerji üretim maliyeti ve sera gazı emisyonları fonksiyonlarını güç sisteminin operasyonel ve teknik kısıtlamalarına göre optimize ederek uygulamışlardır. Arandian vd., farklı şebeke yük seviyelerinde dağıtık enerji üretiminin güç üretim kontrolü ve kayıp azaltılması yoluyla dağıtım şirketi maliyetlerinin azaltılması için bir yöntem sunmuşlardır [19]. Wang vd., paralel balçık kalıp algoritmasına dayalı olarak dağıtık enerji üretimi ile dağıtım şebekesi yeniden yapılandırma problemi için bir çözüm önermişlerdir [20]. Rajaram

vd., değiştirilmiş bitki büyüme simülasyon algoritmasını kullanarak, dağıtık enerji üretiminin bulunduğu dağıtım şebekesinde yeniden yapılandırmayı uygulamışlardır [21]. Siahbalaee vd., geliştirilmiş karıştırılmış kurbağa sıçrama algoritmasını kullanarak tüm kısıtlamaları karşılarken minimum güç kaybı, minimum anahtarlama işlemi sayısı ve minimum bara gerilimi sapsması elde etmeyi amaçlayan, dağıtık üretimin bulunduğu şebekenin yeniden yapılandırma yöntemini önermişlerdir [22]. Shaheen vd., güç dağıtım sistemlerinin yeniden yapılandırılmasını dikkate alarak dağıtık jeneratör ve kapasitör tahsisi için yapay ekosistem optimize edici tekniğinin yeni bir uygulamasını geliştirmişlerdir [23]. Jafar-Nowdeh vd., güvenilirliği göz önünde bulundurarak ağırlık faktörü yöntemini kullanarak dağıtık enerji üretim sistemlerine sahip radyal dağıtım sistemlerinin optimal çok kriterli yeniden yapılandırılmasını sunmuşlardır [24]. Ancak, yenilenebilir enerji sistemlerindeki belirsizliklerin dikkate alınmadığı ve sadece sabit güçlü dağıtık enerji üretim sistemlerinin ele alındığı çalışmalar, pratik ortamda uygulanabilirlik açısından beklenen sonuçları vermeyebilir.

Dağıtım şebekesinin yeniden yapılandırma probleminin yenilenebilir enerji kaynaklarındaki belirsizlikler göz önüne alınarak uygulandığı çalışmalar, bu problemin önemini artırmakla birlikte probleme yeni bir çerçeve kazandırmaktadır [25]–[31]. Kianmehr vd., stokastik çok amaçlı bir yeniden yapılandırma modeli önermiş olup, dağıtık üretim sahibinin karını maksimuma çıkarmayı ve dağıtım şirketinin maliyetlerini minimuma indirmeyi amaçlamışlardır [25]. Fathi vd., riskten kaçınma stratejisiyle birlikte bilgi açığı karar teorisi adı verilen bir yaklaşımı kullanarak, üretim ve yük belirsizliğini göz önünde bulundurarak, güvenilirliğin artırılması ve güç kayıplarının maliyetinin en aza indirilmesi amacıyla fotovoltaik paneller ve rüzgar türbinleri gibi temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının optimal ve eş zamanlı tahsisi ve radial dağıtım şebekelerinin yeniden yapılandırılması için bir yaklaşım sunmuşlardır [26]. Zidan ve El-Saadany, yük değişiminin etkisini ve yenilenebilir dağıtık üretim ünitelerinin stokastik güç üretimini dikkate alarak dağıtım sistemi yeniden yapılandırma problemini araştırmak için genetik algoritmaya dayalı bir yöntem sunmuşlardır [27]. Monteiro vd., sistemin yeniden yapılandırılması yoluyla fotovoltaik dağıtık üretimin ve enerji depolama cihazının bulunduğu dağıtım şebekelerinde teknik güç kayıplarının azaltılmasını amaçlayan ikili parçacık sürü optimizasyonu tabanlı bir çözüm sunmuşlardır [28]. Hooshmand ve Rabiee, yenilenebilir enerji kaynaklarının, enerji depolama sistemlerinin, talep yanıtının ve yeniden yapılandırmanın enerjinin optimal paylaşımı üzerindeki etkisini gösteren bir çerçeve önermişlerdir [29]. Li vd., şebekenin yeniden yapılandırılmasını ve talep yanıt yöntemini koordine ederek rüzgar enerjisinin varlığında en uygun dağıtım sistemi çalışmasını tartışmışlardır [30]. De Oliveira vd., yük talebindeki ve rüzgar bazlı dağıtık üretimdeki belirsizlikleri göz önünde bulundurarak enerji kayıplarını en aza indirmek için elektrik dağıtım sistemlerinin optimal şekilde yeniden yapılandırılmasına yönelik bir yaklaşım sunmuşlardır [31]. Bununla birlikte, bu çalışmalarda QPSO yöntemi göz önünde bulundurulmamıştır. Guan vd., aktif güç kaybını en aza indirme hedefiyle farklı dağıtık enerji üretimi modellerini dikkate alarak dağıtım sistemi besleyicisinin yeniden yapılandırılmasına yönelik bir yöntem sunmuşlardır [32]. İlgili çalışmada, QPSO yöntemi göz önünde bulundurulmuş olsa da, farklı dağıtık enerji üretim sistemleri sabit güçlü olarak modellenmiş olup, yenilenebilir enerji kaynaklarındaki ve yük taleplerindeki belirsizlikler göz önünde bulundurulmamıştır.

Literatürde yapılan değerlendirmeler sonucunda, müşterilere tutarlı ve istikrarlı gücün sağlanmasında, yenilenebilir enerji kaynaklarındaki ve yüklerdeki belirsizliklerin bulunduğu dağıtım şebekesinin yeniden yapılandırılmasının son derece önemli rol oynadığı açıktır. Ancak, yayınlanmış araştırmalarda farklı belirsizlik koşulları altında QPSO optimizasyon yöntemi çerçevesinde şebekenin yeniden yapılandırılması konusunda eksiklikler olduğu görülmektedir. Bunun ışığında, bu çalışma, güneş enerjisi sistemlerinin, rüzgar türbinlerinin ve elektrikli araçların belirsizliklerinin QPSO optimizasyon yaklaşımı ile dağıtım şebekesinin yeniden yapılandırılmasına etkilerinin araştırılmasına odaklanmaktadır.

Önerilen yaklaşım, Tablo 1’de bu çalışmada ele alınan konular dikkate alınarak literatürdeki mevcut çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Tablo 1’de sunulduğu gibi, literatürde çeşitli kriterlere göre önemli eksiklikler gözlemlenmiştir. Bu kriterler, yenilenebilir enerji kaynaklarındaki belirsizliklerin, yük belirsizliklerinin, QPSO yönteminin ve dağıtım şebekesinin yeniden yapılandırılmasının göz önünde bulundurulmasına göre sınıflandırılmıştır. Bu çalışmanın yeniliği literatürdeki eksiklikleri tamamlayarak önerilen yaklaşımda tüm bu kriterleri dikkate almasıdır.

Tablo 1: Önerilen yaklaşımın literatürdeki mevcut çalışmalarla karşılaştırılması

Referanslar	Yenilenebilir Enerji Kaynaklarındaki Belirsizlikler	Yük Belirsizlikleri	QPSO Yöntemi	Dağıtım Şebekesinin Yeniden Yapılandırılması
[1]	x	x	x	✓
[2]	x	✓	x	✓
[3]	x	x	x	✓
[4]	x	x	x	✓
[5]	x	x	x	✓
[6]	x	x	x	✓
[7]	x	x	x	✓
[8]	x	x	x	✓
[9]	x	x	x	✓
[10]	x	✓	x	✓
[11]	x	x	x	✓
[12]	x	✓	x	✓
[13]	x	✓	x	✓
[14]	x	x	x	✓
[15]	x	x	x	✓
[16]	x	x	x	✓
[17]	x	x	x	✓
[18]	x	x	x	✓
[19]	x	✓	x	✓
[20]	x	x	x	✓
[21]	x	x	x	✓
[22]	x	x	x	✓
[23]	x	✓	x	✓
[24]	x	x	x	✓
[25]	✓	✓	x	✓
[26]	✓	✓	x	✓
[27]	✓	✓	x	✓
[28]	✓	✓	x	✓
[29]	✓	✓	x	✓
[30]	✓	✓	x	✓
[31]	✓	✓	x	✓
[32]	x	x	✓	✓
Bu Çalışma	✓	✓	✓	✓

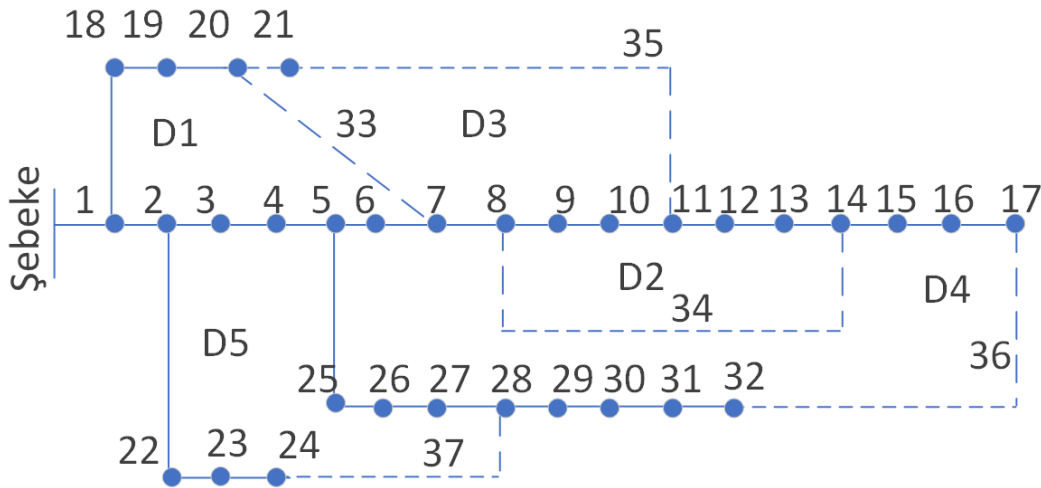
Bu çalışma kapsamında, IEEE 33 baralı test sistemi üzerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının ve elektrikli araçların kullanıldığı dağıtım besleyicisinin yeniden yapılandırması problemini çözmek için kuantum parçacık sürü optimizasyonu (QPSO) uygulanmıştır. Kullanılan yöntem ile QPSO parçacık

uzunluğunu değiştirerek daha hızlı bir sürede en yakın çözümün bulunması sağlanmıştır. Optimizasyonun amaç fonksiyonu elektrik dağıtım sistemlerinde aktif güç kaybını en aza indirmektir. Optimizasyonun kısıtları arasında bara gerilimleri, dağıtım hattı taşıma kapasiteleri, üretim kaynaklarının minimum ve maksimum güç değerleri, aktif ve reaktif güç denge denklemleri eşitlik ve eşitsizlik kısıtları olarak alınmıştır. Çalışma kapsamında rüzgâr ve güneş enerji üretim santralleri ve elektrikli araç modellerini dikkate alarak dağıtım sistemi besleyicilerinin yeniden yapılandırılması araştırılmıştır. Dağıtık üretim kaynaklarından olan rüzgar ve güneş enerji santrallerin üretim belirsizliklerinin ve elektrikli araçların yük olarak tüketim belirsizliklerinin ayrı ayrı ve birlikte dikkate alındığı senaryolar oluşturulmuştur. Sonuç olarak her bir senaryoda ortaya çıkan farklı belirsizlikler ve bu belirsizlikler altında aktif güç kayıplarını en az yapan bağlantı konfigürasyonları bulunmuştur.

2 Metodoloji

2.1. IEEE 33 Baralı Dağıtım Sistemi

Dağıtım sistemlerinin analiz edilmesinde farklı test sistemleri kullanılabilir. Bu çalışma kapsamında, Şekil 1’de verilen IEEE 33 baralı sistem kullanılmış olup test sisteminin jeneratör, bara ve hatlarına ilişkin detaylı bilgi [13]’te verilmiştir.



Şekil 1: IEEE 33 baralı test sistemi

Elektrik dağıtım sistemleri radyal ağ topoloji yapısındadır, ağdaki anahtarların açılması ve kapatılması ile oluşabilecek radyal topolojiler belirlenir. Uygun dağıtım ağı topolojisi için sistem bileşenleri optimizasyon ve güç akışı algoritmalarının birlikte çalıştırılması ile analiz edilmelidir. Ağ yapısını baralardaki anahtarlama elemanlarının bağlantı anahtarının kapatılması ile küçük bir döngü oluşturacaktır. Radyal topolojide, her döngüde bir bölümlenme şalteri açmamız gerekir. Bu nedenle, bir bağlantı şalteri bir döngüye karar verir, şalterin açılması ve kapanması tüm anahtarlar bir dağıtım ağı yeniden yapılandırmasını oluşturur. Ondalık döngü kodlama kurallarına göre tüm bağlantı anahtarlarını doğal sayılarıyla numaralandırılır. Ardından her bir döngüde ayrı ayrı 1'den her bir döngünün toplam sayısına kadar açılıp katılır. Böylece tüm seçenekleri güç sisteminde değerlendirilir. Elde edilen sonuçları neticesinde en iyi global ve lokal optimal sonuçlar hesaplanır. Bu global ve lokal optimal sonuçları veren parçacık değişkenleri algoritma ile hafızada tutulur. İşlem sonucunda belirlenen iterasyon sayısına ulaşıncaya kadar veya sistemin önceden belirlenen hata değerine ulaşıncaya kadar tekrarlanır. Elde

edilen sonuçlar global ve lokal optimizasyon sonucu olarak tanımlanır. Çalışma kapsamında 33-baralı dağıtım sistemin üzerinde 5 adet göz ve bu gözlerin dikkate alındığı bara grupları Tablo 2’de belirtilmiştir.

Tablo 2: IEEE 33 baralı sistemdeki döngü grupları

Döngü	Bara Numaraları
D1	[2 , 3 , 4 , 5 , 6 , 7 , 18 , 19 , 20]
D2	[8 , 9 , 10 , 11 , 21 , 33 , 35]
D3	[12 , 13 , 14 , 34]
D4	[15 , 16 , 17 , 29 , 30 , 31 , 32 , 36]
D5	[22 , 23 , 24 , 25 , 26 , 27 , 28 , 37]

3 Teori ve Hesaplama

3.1. Belirsizlik Fonksiyonları

3.1.1. Elektrikli Araçların Belirsizliği

Yük talebi verileri normal dağılım dikkate alınarak (1) üretilmiştir [33]. Yükün belirsizliğini gösteren dağılım fonksiyonu Denklem (1) aşağıda verilmiştir.

$$f(P_{Load,m}) = \left(\frac{1}{\sigma_{L,m}\sqrt{2\pi}} \right) \exp \left(-\frac{(P_{Load,m} - P_{Load,m,avg})^2}{2\sigma_{L,m}^2} \right) \quad (1)$$

Burada $P_{Load,m,avg}$ m barasındaki yük gücünün ortalaması, $P_{Load,m}$ m barasındaki yük gücü, $\sigma_{L,m}$ m barasındaki yük gücünün standart sapmasıdır.

3.1.2. Güneş Işımmının Belirsizliği

Bu çalışmada, uzun dönemli güneş ışınımı verileri beta dağılımı dikkate alınarak (2) oluşturulmuştur [34]. Beta dağılımını temsil eden olasılık dağılımı fonksiyonu Denklem (2) aşağıda verilmiştir.

$$f(SR_m) = \begin{cases} \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} SR_m^{\alpha-1} (1 - SR_m)^{\beta-1} & 0 \leq SR_m \leq 1, \alpha \geq 0, \beta \geq 0 \\ 0 & \text{diğer durumlar} \end{cases} \quad (2)$$

Burada SR_m dağıtım sisteminin m barasında PV sistemine düşen güneş radyasyonu, β (3) ve α (4) beta dağılım fonksiyonunun parametreleridir. Denklem (3) ve (4) aşağıda verilmiştir.

$$\beta = (1 - \mu) \left(\frac{\mu(1 - \mu)}{\sigma^2} - 1 \right) \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{\mu\beta}{1 - \mu} \quad (4)$$

Burada μ ve σ sırasıyla ortalama ve standart sapma değerlerini göstermektedir. Güneş radyasyonuna bağlı olarak, PV aktif güçleri Denklem (5) aşağıda verilmiştir.

$$P_{PV,m} = P_{PV,rated}SR_m \quad (5)$$

Burada $P_{PV,m}$ m barasındaki PV'nin aktif gücü, $P_{PV,rated}$ $1000 W/m^2$ güneş radyasyonu için PV'nin nominal aktif gücüdür.

3.1.2. Rüzgar Hızının Belirsizliği

Rüzgar hızının uzun dönemli verileri Weibull dağılımı dikkate alınarak üretilmiştir [35]. Rüzgar hızını temsil eden dağılım fonksiyonu Denklem (6) aşağıda verilmiştir.

$$f(v_{WT,m}) = \left(\frac{2v_{WT,m}}{c^2}\right) \exp\left(-\left(\frac{v_{WT,m}}{c}\right)^2\right) \quad (6)$$

Burada $v_{WT,m}$ m barasındaki WT üzerindeki rüzgar hızıdır, c ise dağılım fonksiyonunun parametresidir. m barasındaki WT aktif gücü değeri Denklem (7) aşağıda verilmiştir.

$$P_{WT,m} = \begin{cases} \left(\frac{v_{cut-in} - v_{WT,m}}{v_{cut-in} - v_{WT-rated}}\right) P_{WT,rated} & v_{cut-in} \leq v_{WT,m} \leq v_{WT-rated} \\ P_{WT,rated} & v_{WT-rated} \leq v_{WT,m} \leq v_{cut-out} \\ 0 & \text{diğer durumlar} \end{cases} \quad (7)$$

Burada $P_{WT,rated}$ WT'nin nominal aktif gücü, $v_{WT-rated}$ WT'nin nominal hızı, v_{cut-in} ve $v_{cut-out}$ sırasıyla WT'nin devreye girme ve devreden çıkma hızlarıdır.

3.2. Optimizasyon Yapısı

Bu çalışma kapsamında, bara gerilimleri ve hat akımları gibi kısıtlamalar göz önünde bulundurularak dağıtım sisteminin optimal konfigürasyonunun ve bu sistemdeki PV ve WT'lerin optimal kapasitelerinin belirlenmesi için QPSO yöntemi uygulanmıştır. Şebeke optimizasyon planlamasına ilişkin araştırmalar, hem PV hem de WT sistemlerinin kesikli güç yapılarının ve elektrik tüketimindeki belirsizliklerin dahil edilmesini gerektirmektedir. Çalışmada, farklı belirsizlik durumlarında kısıtlamalar dikkate alınarak enerji kayıpları minimize edilmektedir. Planlama çalışmasında belirsizlik etkileri dikkate alınarak enerji kayıplarının en aza indirilmesi ve şebeke teknik kısıtlarının ilgili sınırlar içerisinde tutulması temel amaçtır. Amaç fonksiyonu (8) aşağıda Denklem (8)'de gösterilmektedir:

$$E_{kayıp} = \sum_{st=1}^{Nst} \sum_{n=1}^{Nhat} P_{kayıp,n}^{st} \quad (8)$$

Burada $E_{kayıp}$ toplam güç şebekesi enerji kayıpları, Nst belirsizliklerdeki toplam durum sayısı, $P_{kayıp,n}^{st}$ $st.$ durum için güç sisteminin $n.$ hattındaki aktif güce karşılık gelen kayıp, $Nhat$ güç şebekesindeki toplam hat miktarıdır. Tekrarlı güç akışı analizinden değerlendirilen teknik durum değişkenleri, optimizasyon sürecinde kısıtlar olarak dikkate alınmıştır.

Bu kısıtlar QPSO algoritmasının Nst durumları için uygulanan güç akışı algoritmasından belirlenmiştir. Eşitsizlikleri temsil eden gerilim (9) ve Akım (10) kısıtları aşağıda Denklem (9) ve (10) aşağıda verilmiştir.

$$V_{m,min} \leq V_m^{st} \leq V_{m,max} \quad m = 1, \dots, NBUS \quad st = 1, \dots, Nst \quad (9)$$

$$I_{flow,n}^{st} \leq I_{flow,n,max} \quad n = 1, \dots, NLine \quad st = 1, \dots, Nst \quad (10)$$

Burada V_m^{st} $st.$ durum için güç şebekesinin m numaralı barasındaki gerilimin büyüklüğü, $I_{flow,n}^{st}$ $st.$ durum için güç sisteminin n numaralı hattındaki hat akımı, $V_{m,min}$ ve $V_{m,max}$, 0.9 pu ve 1.1 pu, m barasındaki gerilim büyüklüğünün alt ve üst sınırları, $I_{flow,n,max}$ n hattındaki hat akımının maksimum sınırı, $NBUS$ baraların toplam miktarıdır.

Aktif güç (11) ve reaktif güç (12) Eşitlikleri temsil eden kısıtlamalar Denklem (11) ve (12) aşağıda verilmiştir.

$$P_{gen,m} - P_{yük,m} - \sum_{l=1}^{NBUS} |V_m||V_l||y_{m,l}| \cos(\delta_{m,l} - \theta_m + \theta_l) = 0 \quad (11)$$

$$Q_{gen,m} - Q_{yük,m} - \sum_{l=1}^{NBUS} |V_m||V_l||y_{m,l}| \sin(\delta_{m,l} - \theta_m + \theta_l) = 0 \quad (12)$$

Burada $P_{yük,m}$ ve $Q_{yük,m}$ aktif ve reaktif güçlere karşılık gelen yükleri, $P_{gen,m}$ ve $Q_{gen,m}$ aktif ve reaktif güçlere karşılık gelen üretimleri, $|y_{m,l}|$ ve $\delta_{m,l}$ sırasıyla $m.$ satır ve $l.$ sütuna karşılık gelen admitans matrisinin büyüklük ve açı değerlerini, θ_m ise $m.$ baradaki gerilim açısını göstermektedir.

QPSO planlama sürecinin optimal çözümleri olan kontrol değişkenleri Denklem (13), Denklem (14), Denklem (15) ve Denklem (16), 'de verilmiştir.

$$X = \begin{pmatrix} OS_1, \dots, OS_i, \dots, OS_{NLOOP} \\ P_{PV,rated,1}, \dots, P_{PV,rated,m}, \dots, P_{PV,rated,NPV} \\ P_{WT,rated,1}, \dots, P_{WT,rated,m}, \dots, P_{WT,rated,NWT} \end{pmatrix} \quad (13)$$

$$OS_{i,min} \leq OS_i \leq OS_{i,max} \quad i = 1, \dots, NLOOP \quad (14)$$

$$P_{PV,m,min} \leq P_{PV,rated,m} \leq P_{PV,m,max} \quad m = 1, \dots, NPV \quad (15)$$

$$P_{WT,m,min} \leq P_{WT,rated,m} \leq P_{WT,m,max} \quad m = 1, \dots, NWT \quad (16)$$

Burada $P_{PV,rated,m}$ ve $P_{WT,rated,m}$ sırasıyla m barasındaki PV sistemin aktif güç kapasitesi ve m barasındaki WT sistemin aktif güç kapasitesidir. OS_i şebekenin her bir kapalı döngüsünde açılması gereken anahtarların bulunduğu hat numaralarını temsil etmektedir. $P_{PV,m,min}$ ve $P_{WT,m,min}$ sırasıyla PV ve WT aktif güçlerinin minimum sınırlarını temsil eder, $P_{PV,m,max}$ ve $P_{WT,m,max}$ ise sırasıyla PV ve WT aktif güçlerinin maksimum sınırlarını göstermektedir. $OS_{i,min}$ ve $OS_{i,max}$ şebekenin her bir kapalı döngüsünde açılması gereken anahtarların bulunduğu minimum ve maksimum hat numaralarını, NLOOP, NPV ve NWT şebekedeki kapalı döngülerin, PV ve WT sistemlerinin toplam miktarıdır.

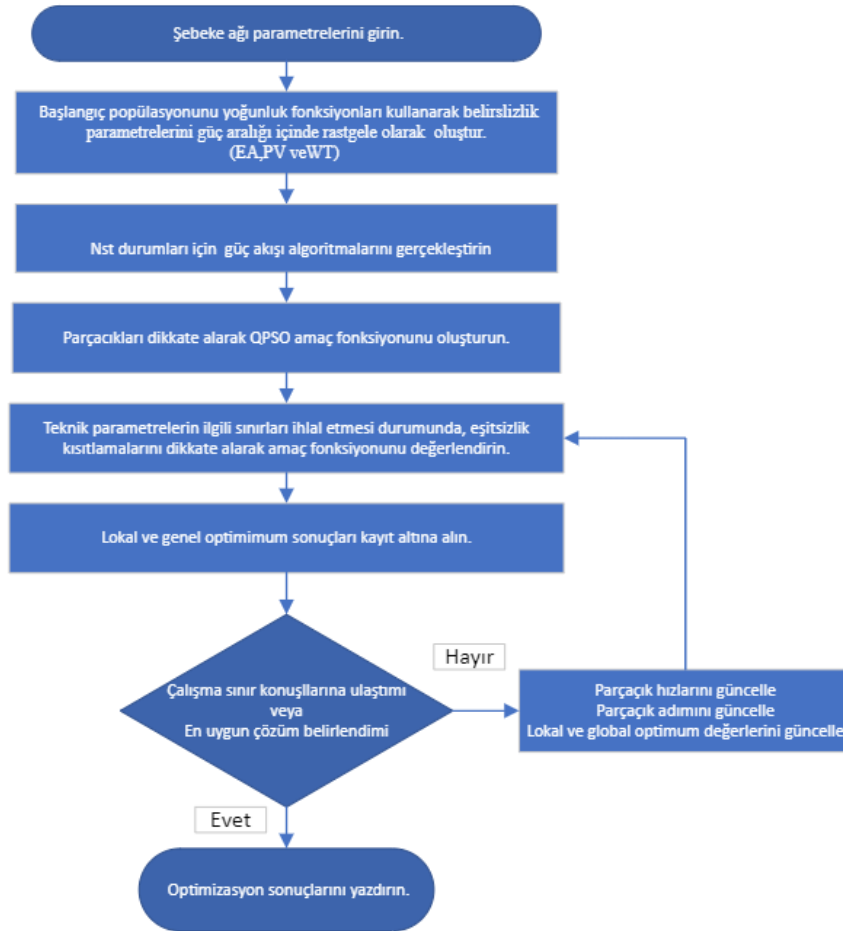
3.3. QPSO Yöntemi ve Probleme Uygulanması

QPSO, klasik Parçacık Sürü Optimizasyonunu kuantum mekaniği prensiplerine dayandıran bir yöntemdir [32]. QPSO, kuantum mekaniği prensiplerini kullanarak çözüm uzayında daha dinamik ve esnek bir arama yapabilir. Bu, özellikle karmaşık, çok boyutlu optimizasyon problemlerinde avantaj sağlayabilir. Kuantum bitleri (qubits) kullanımı, QPSO'nun bir dizi olasılık durumunu eş zamanlı olarak değerlendirmesini sağlar. Bu, birçok olası çözümü aynı anda inceleyerek daha hızlı yakınsama sağlayabilir [36]. QPSO, kuantum süperpozisyonu kavramını kullanarak paralel hesaplama yeteneği sunar. Bu, birçok potansiyel çözümün eşzamanlı olarak değerlendirilmesini ve en iyi çözüme daha hızlı yaklaşılmasını sağlayabilir. QPSO, kuantum çaprazlama operatörlerini kullanarak çözümleri birleştirme ve yeni çözümler oluşturma yeteneği ile çaprazlama süreçlerini iyileştirebilir. QPSO yönteminin ayrıntılı formülasyonu [32]'de verilmiştir. Belirsizlik tabanlı QPSO algoritması Şekil 2'de verilmiştir.

Bu çalışma kapsamında, QPSO planlama sürecinin adımları aşağıdaki gibi gösterilmiştir.

1. Şebeke ağı parametrelerini girin.
2. Yoğunluk fonksiyonlarından elektrik tüketimi, güneş ışınımı ve rüzgar hızı durumlarını üretin.
3. Başlangıç popülasyonunu rastgele üretin.
4. Nst durumları için talep, PV sistemi ve WT sistemi aktif güçlerini hesaplayın ($st=1, \dots, Nst$).
5. Nst durumları için teknik parametreleri elde etmek için tekrarlayan güç akışı algoritmalarını gerçekleştirin.
6. Parçacıkları dikkate alarak amaç fonksiyonunun değerlerini belirleyin.
7. Teknik parametrelerin ilgili sınırları ihlal etmesi durumunda, eşitsizlik kısıtlamalarını dikkate alarak amaç fonksiyonunu değerlendirin.
8. PSO planlama sürecinin kriterlerinin karşılanıp karşılanmadığını değerlendirin.
9. Kriterler karşılanmıyorsa, adım 3'e gidin, aksi takdirde adım 10'a gidin.

10. Optimizasyon sonuçlarını yazdırın.



Şekil 2: Belirsizlik tabanlı QPSO algoritması

4 Bulgular ve Tartışma

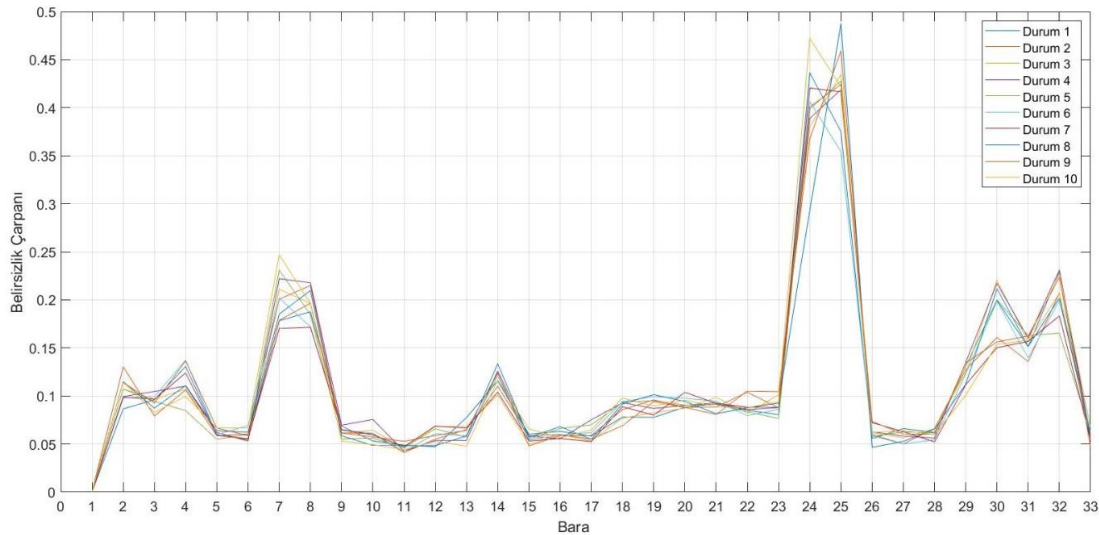
Bu makalede, planlama çalışmalarında teknik limitler dikkate alınarak, belirsizliklerin elektrik şebekesi üzerindeki enerji kayıpları üzerindeki etkilerinin gözlemlenmesi için yük, güneş ışınımı ve rüzgar hızı değişkenliklerinden oluşan beş farklı senaryo ele alınmıştır. İlk olarak, şebekeye PV ve WT sistemleri kurulmadan yük belirsizliğinin elektrik şebekesi enerji kayıpları üzerindeki etkileri göz önünde bulundurulmuştur. İkinci olarak, kayıplar üzerindeki etkilerin incelenmesi için hem PV ve WT ünitelerinin kesintili özellikleri hem de elektrik tüketimlerinin belirsizlikleri dikkate alınmıştır. Bundan sonra, güneş ışınımı, talep ve rüzgar hızından biri sabit tutularak ve diğer iki değişkenin belirsizlikleri dikkate alınarak ek üç senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryolar Tablo 3'te sunulmuştur.

Bu çalışmada, maksimum iterasyon ve popülasyon büyüklüğü olan QPSO parametreleri sırasıyla 200 ve 30 olarak seçilmiştir. Bu makalede, aktif güç sisteminde enerji kaybının minimizasyonu olan optimizasyon probleminin simülasyonlarını gerçekleştirmek için 2.80 GHz CPU'ya sahip PC kullanılmıştır. PV ve WT sistemlerinin nominal kapasiteleri, güç şebekesindeki entegre edildikleri baralarda 1 MW olarak kabul edilmiştir. 5, 14, 18 numaralı baralar WT sistemlerinin entegrasyonu için dikkate alınırken, PV sistemleri için sırasıyla 26, 30, 33 numaralı baralar dikkate alınmıştır.

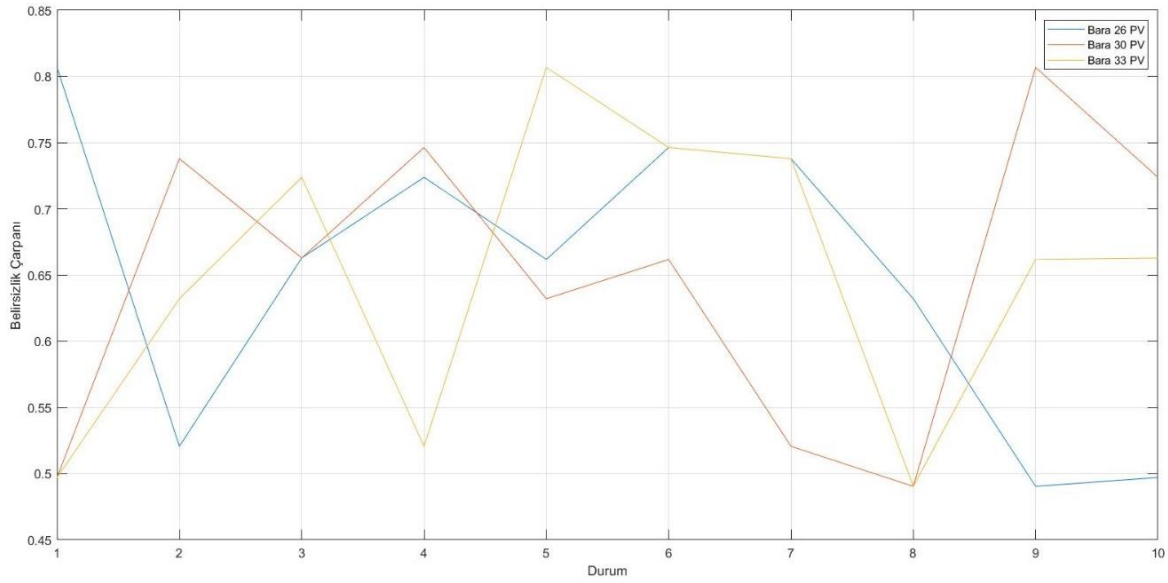
Tablo 3: Bu çalışmada ele alınan senaryolar

Senaryo	Belirsizlikler			Bilgi
	EA	PV	WT	
Senaryo 1	1	0	0	Sadece yük belirsizliği dikkate alınmıştır.
Senaryo 2	1	1	0	Rüzgar hızı 25 m/s olarak sabit tutulurken yük ve güneş ışınımı belirsizlikleri eş zamanlı olarak dikkate alınmıştır
Senaryo 3	1	0	1	Güneş ışınımı 1000 W/m ² olarak sabit tutulurken yük ve rüzgar hızı belirsizlikleri eş zamanlı olarak dikkate alınmıştır
Senaryo 4	0	1	1	Güneş ışınımı ve rüzgar hızı belirsizlikleri, elektrik şebekesinin orijinal yük profili göz önünde bulundurulurken aynı anda dikkate alınmıştır
Senaryo 5	1	1	1	Yük, güneş ışınımı ve rüzgar hızı belirsizlikleri aynı anda dikkate alınmıştır.

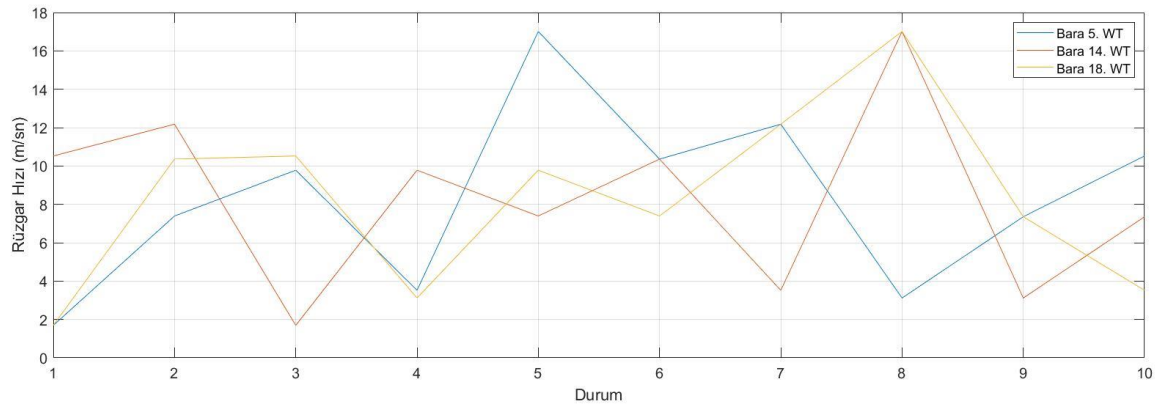
Elektrik şebekesindeki elektrikli araçların belirsizlik özelliği, normal olasılık dağılım ifadesi dikkate alınarak üretilmiştir. Talep durumlarının üretimi, ortalama değerlerin güç şebekesinin orijinal aktif yükleri olarak kabul edilmesi ve standart sapmanın % 10 olarak dikkate alınmasıyla sağlanmıştır. Şebekenin toplam aktif güç talebinin değişkenliği Şekil 3'te gösterilmektedir. PV sistemlere düşen güneş ışınımının durumları, α ve β parametreleri sırasıyla 7 ve 3 alınarak üretilmiştir. Bu durumlar, Şekil 4'te gösterilmektedir. WT'nin kesikli özelliklerini gösteren durumlar, devreye girme hızı 4 m/s, nominal hızı 16 m/s ve devreden çıkma hızı 25 m/s olarak dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu durumlar ise, Şekil 5'te gösterilmektedir. Yenilenebilir sistemlerin kesikli özellikleri ve elektrik yüklerinin değişkenliği, elektrik şebekesinin doğru planlama açısından değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Optimizasyon planlama sürecinde, elektrik tüketiminin, güneş ışınımının ve rüzgar hızının çeşitli durumları dikkate alınmış ve bu durumlar için tekrarlı güç akışı analizleri yapılmıştır.



Şekil 3: Güç şebekesindeki toplam yük belirsizliği



Şekil 4: Güneş ışınımı belirsizliği



Şekil 5: Rüzgar hızı belirsizliği

Planlama sürecinde QPSO uygulaması dikkate alınarak çeşitli belirsizlik senaryoları için optimizasyon sonuçları Tablo 4'te gösterilmektedir. Tablo 4'te görüldüğü gibi, şebeke konfigürasyonu, senaryolara göre değişiklik göstermiş olmakla birlikte senaryo 4 ve 5'te aynı kalmıştır. Diğer taraftan, PV ve WT sistemlerinin optimal çıkış güçlerine bakıldığında, şebekeye bağlanan optimal WT kapasitelerinin PV sisteme göre daha az olduğu gözlemlenmektedir. Özellikle, senaryo 2 ve 3'te elde edilen sonuçlara göre şebekenin 18. barasındaki optimal WT kapasitelerinin alt limitlerine daha yakın olduğu gözlemlenmektedir. Optimizasyon planlama süreci, 2, 3, 4 ve 5 numaralı senaryolarda PV sistemlerin buldukları baralardaki optimal kapasitelerinin WT sistemlere göre daha fazla olmasına olanak tanımaktadır. Bununla birlikte, senaryo 2 ve 3'te şebekenin 33. barasındaki PV sistemin optimal kapasitelerinin nispeten daha az olduğu görülmektedir. Tüm senaryolarda, optimal şebeke konfigürasyonları, PV ve WT sistem çıkış güçleri, planlamada teknik parametreler sınırlar dahilinde tutularak belirlenmiştir.

Tablo 4: Optimizasyon sonuçları

Karar değişkenleri	Senaryolar				
	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5
OS_1	7	5	5	7	7
OS_2	9	9	35	9	9
OS_3	14	34	12	14	14
OS_4	37	28	28	28	28
OS_5	32	17	15	30	30
$P_{WT,5}$ (kW)	-	452.02	634.36	345.21	338.35
$P_{WT,14}$ (kW)	-	569.68	581.34	711.47	710.67
$P_{WT,18}$ (kW)	-	42.66	7.14	248.17	207.87
$P_{PV,26}$ (kW)	-	997.72	824.07	992.99	985.05
$P_{PV,30}$ (kW)	-	999.36	982.85	1000	1000
$P_{PV,33}$ (kW)	-	739.26	517.35	1000	1000

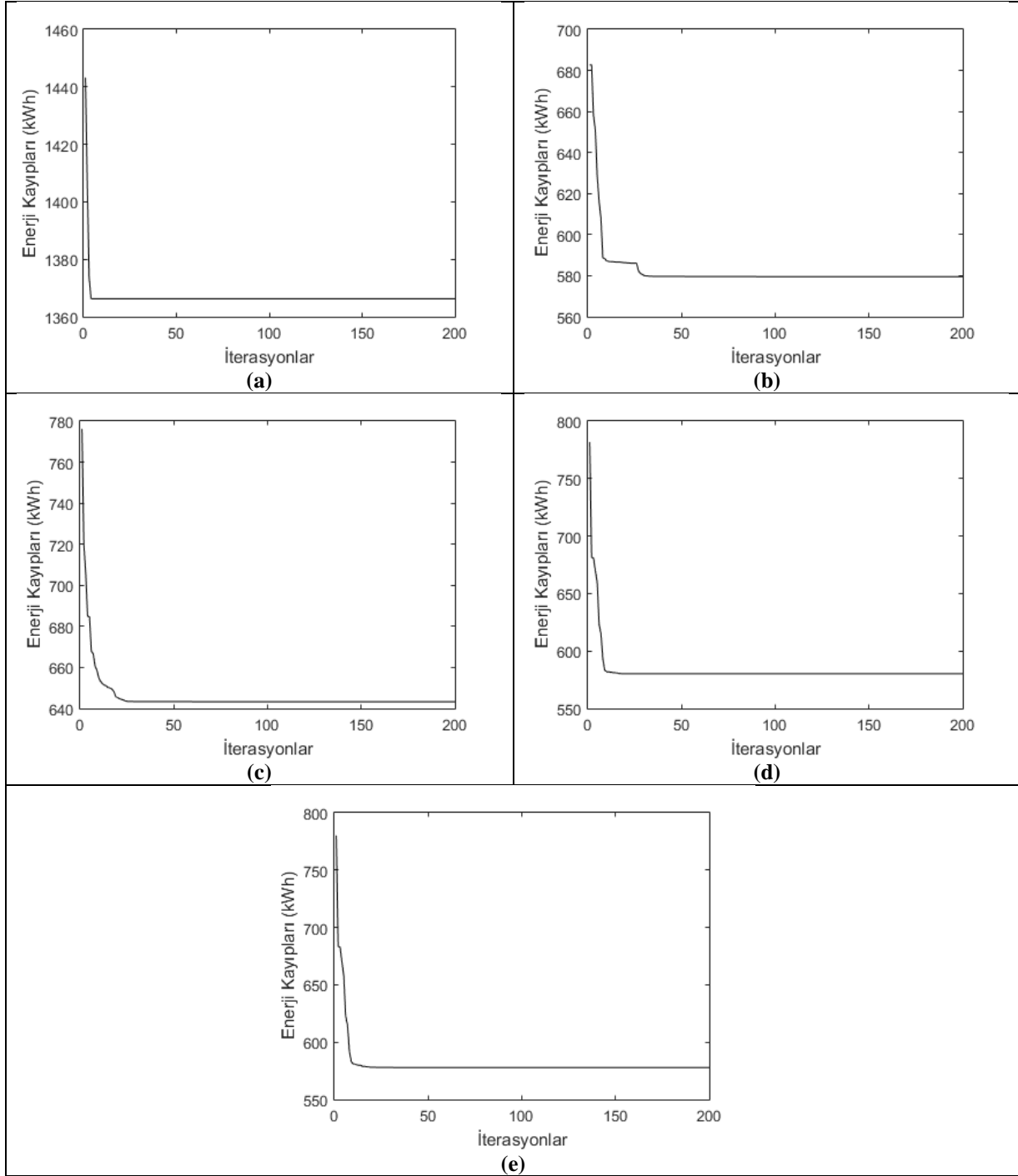
Tüm senaryolar için QPSO algoritması uygulandığında, hem amaç fonksiyonlarının yakınsamış optimal değerleri hem de simülasyon süreleri Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 5: Tüm senaryolarda QPSO yakınsaması

Senaryolar	Yakınsama	
	Zaman (s)	Amaç Fonksiyonu (kWh)
Senaryo 1	239.7406	1366.279
Senaryo 2	257.5295	579.571
Senaryo 3	253.2165	643.337
Senaryo 4	256.5862	580.248
Senaryo 5	250.6734	577.903

Toplam güç şebekesi enerji kayıpları olan amaç fonksiyonları, Şekil 6'da gösterilmektedir. Enerji kayıpları sırasıyla senaryo 1 için 1366.279 kWh, senaryo 2 için 579.571 kWh, senaryo 3 için 643.337 kWh, senaryo 4 için 580.248 kWh ve senaryo 5 için 577.903 kWh olarak minimize edilmiştir. Toplam şebeke kayıpları, senaryo 1'e göre sırasıyla senaryo 2'de % 57.58, senaryo 3'te % 52.91, senaryo 4'te % 57.53 ve senaryo 5'te % 57.70 oranında azaltılmıştır.

Teknik parametreler, tüm senaryolarda tekrarlı güç akışı analizi kullanılarak bütün yük, güneş ışınımı ve rüzgar hızı durumları için optimizasyon sonuçları test edilerek gözlemlenmiştir. Optimizasyon sonuçları test edilirken, optimizasyon işleminde ele alınan belirsizlik durumları tekrarlı güç akışı algoritmasında göz önünde bulundurulmuştur. Senaryo 5 için optimizasyon sonuçları test edildiğinde, bütün yük, güneş ışınımı ve rüzgar hızı belirsizlik durumları için dağıtım şebekesindeki bara gerilimleri Tablo 6'da gösterilmektedir. Bu çalışmada önerilen yaklaşım yardımıyla teknik parametrelerin limitleri içerisinde olduğu gözlemlenmiştir. Bütün senaryolarda, teknik limitler tüm durumlarda karar değişkenlerinin optimal değerleri için sağlanmıştır.



Şekil 6: (a) Senaryo 1, (b) Senaryo 2, (c) Senaryo 3, (d) Senaryo 4, (e) Senaryo 5 için iterasyonlara göre toplam enerji kayıpları

Tablo 6: Senaryo 5 için optimizasyon sonuçları test edildiğinde elde edilen bara gerilimleri

Bara	Durumlar									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2	0.9986	0.9987	0.9986	0.9983	0.9989	0.9987	0.9986	0.9989	0.9984	0.9987
3	0.9940	0.9949	0.9950	0.9938	0.9964	0.9949	0.9958	0.9950	0.9943	0.9955

4	0.9939	0.9946	0.9952	0.9937	0.9972	0.9947	0.9964	0.9952	0.9940	0.9957
5	0.9942	0.9947	0.9958	0.9940	0.9983	0.9949	0.9975	0.9958	0.9942	0.9962
6	0.9955	0.9952	0.9970	0.9953	0.9997	0.9952	0.9993	0.9978	0.9948	0.9973
7	0.9950	0.9946	0.9963	0.9946	0.9991	0.9946	0.9988	0.9972	0.9942	0.9966
8	0.9765	0.9749	0.9754	0.9676	0.9792	0.9777	0.9711	0.9845	0.9705	0.9722
9	0.9751	0.9729	0.9751	0.9644	0.9790	0.9765	0.9695	0.9841	0.9691	0.9703
10	0.9801	0.9817	0.9701	0.9741	0.9771	0.9805	0.9678	0.9919	0.9670	0.9743
11	0.9802	0.9818	0.9702	0.9742	0.9772	0.9806	0.9679	0.9920	0.9671	0.9743
12	0.9805	0.9821	0.9705	0.9745	0.9775	0.9809	0.9682	0.9923	0.9674	0.9746
13	0.9814	0.9841	0.9680	0.9752	0.9768	0.9819	0.9657	0.9962	0.9648	0.9741
14	0.9820	0.9850	0.9673	0.9756	0.9767	0.9824	0.9650	0.9978	0.9640	0.9740
15	0.9723	0.9689	0.9744	0.9582	0.9784	0.9742	0.9665	0.9831	0.9663	0.9664
16	0.9720	0.9681	0.9748	0.9566	0.9789	0.9740	0.9661	0.9835	0.9659	0.9657
17	0.9707	0.9660	0.9748	0.9530	0.9791	0.9729	0.9646	0.9835	0.9645	0.9636
18	0.9711	0.9659	0.9758	0.9521	0.9803	0.9733	0.9647	0.9845	0.9647	0.9636
19	0.9973	0.9973	0.9970	0.9967	0.9976	0.9974	0.9969	0.9981	0.9966	0.9971
20	0.9871	0.9870	0.9845	0.9830	0.9874	0.9875	0.9827	0.9922	0.9823	0.9845
21	0.9841	0.9840	0.9809	0.9791	0.9844	0.9847	0.9787	0.9904	0.9782	0.9809
22	0.9825	0.9827	0.9775	0.9772	0.9819	0.9830	0.9753	0.9902	0.9746	0.9786
23	0.9898	0.9915	0.9912	0.9897	0.9929	0.9914	0.9922	0.9909	0.9908	0.9921
24	0.9814	0.9848	0.9837	0.9814	0.9858	0.9845	0.9851	0.9829	0.9837	0.9855
25	0.9764	0.9812	0.9794	0.9764	0.9821	0.9809	0.9814	0.9776	0.9799	0.9825
26	0.9962	0.9956	0.9976	0.9959	1.0004	0.9956	1.0001	0.9986	0.9952	0.9979
27	0.9959	0.9954	0.9973	0.9957	1.0002	0.9954	0.9998	0.9984	0.9950	0.9977
28	0.9954	0.9948	0.9968	0.9952	0.9997	0.9949	0.9994	0.9978	0.9944	0.9972
29	0.9749	0.9807	0.9785	0.9749	0.9814	0.9801	0.9807	0.9762	0.9792	0.9822
30	0.9750	0.9818	0.9791	0.9751	0.9823	0.9808	0.9815	0.9763	0.9801	0.9834
31	0.9697	0.9638	0.9745	0.9498	0.9793	0.9720	0.9628	0.9830	0.9630	0.9619
32	0.9701	0.9643	0.9750	0.9503	0.9798	0.9724	0.9633	0.9834	0.9635	0.9624
33	0.9715	0.9656	0.9764	0.9518	0.9811	0.9737	0.9646	0.9847	0.9650	0.9638

5 Sonuçlar

Bu makalede, PV ve WT kurulu güç şebekelerindeki toplam kayıpların ve optimal şebeke konfigürasyonlarının belirlenmesinde, çeşitli belirsizlik senaryolarının etkileri dikkate alınarak elektrik talebindeki değişkenlikler, güneş ışınımı ve rüzgar hızı ele alınmıştır. Yenilenebilir kaynakların güç sistemine entegrasyonu durumunda belirsizliklerdeki değişiklikler teknik konuları etkileyebilir. Bu çalışmada, yük tüketimlerdeki belirsizlikler ve PV ve WT kaynaklarındaki kesintiler ve güç kalitesi dikkate alınarak toplam şebeke kayıplarının en aza indirilmesi ve optimal şebeke konfigürasyonunun sağlanması amaçlanmaktadır. Bu nedenle enerji kayıplarında en önemli iyileşme güneş ışınımı, rüzgar hızı ve yük belirsizlikleri aynı anda dikkate alındığında gözlemlenmiştir. Bu bakımdan toplam güç sistemi enerji kayıplarının gözlemlenmesinin, planlamada teknik konuların belirsizlik dikkate alınarak değerlendirilmesi açısından hayati önem taşıdığını belirtmekte fayda vardır. Çalışma ile literatürün de yapılan çalışmaların karşılaştırmaları Tablo 1 de verilmiştir. Bu kapsamda çalışmada belirsizliklerin şebekede dikkate alınması durumunda konfigürasyonlarının değiştiği tespit edilmiştir. Yeniden yapılandırma planlamasında dikkate alınması gerektiği görülmektedir. Sonuç olarak, elektrik yükleri gücü verimli bir şekilde tüketebilecektir. Elektrik şebekesinde toplam şebeke enerji kayıplarının teknik kısıtlamalarla birlikte doğru planlanmasının yapılması oldukça önemlidir. Simülasyon sonuçlarına göre, yenilenebilir enerji ünitelerinin dağıtım sistemlerine bağlanmasına bağlı olarak güç şebekesinin güvenlik sınırlarının önem kazanacağı düşünülmektedir.

6 Beyanname

6.1 Yazarların Katkıları

İbrahim Çağrı BARUTÇU: Makale için fikir geliştirme, sonuçlara ulaşma yöntemlerini planlama, sonuçların açıklanması ve sunumu için sorumluluk alma, literatür taraması sorumluluğunu alma, makalenin tamamının oluşturulmasında katkı sağlama.

Ali ERDUMAN: Makale için fikir geliştirme, sonuçlara ulaşma yöntemlerini planlama, sonuçların açıklanması ve sunumu için sorumluluk alma, literatür taraması sorumluluğunu alma, makalenin tamamının oluşturulmasında katkı sağlama.

Faruk AYGÜN: Makale için fikir geliştirme, sonuçlara ulaşma yöntemlerini planlama, sonuçların açıklanması ve sunumu için sorumluluk alma, literatür taraması sorumluluğunu alma, makalenin tamamının oluşturulmasında katkı sağlama

Kaynakça

- [1] J. Torres, J. L. Guardado, F. Rivas-Dávalos, S. Maximov, and E. Melgoza, "A genetic algorithm based on the edge window decoder technique to optimize power distribution systems reconfiguration," *International journal of electrical power & energy systems*, vol. 45, no. 1, pp. 28–34, 2013.
- [2] A. Saffar, R. Hooshmand, and A. Khodabakhshian, "A new fuzzy optimal reconfiguration of distribution systems for loss reduction and load balancing using ant colony search-based algorithm," *Appl Soft Comput*, vol. 11, no. 5, pp. 4021–4028, 2011.
- [3] S. H. Mirhoseini, S. M. Hosseini, M. Ghanbari, and M. Ahmadi, "A new improved adaptive imperialist competitive algorithm to solve the reconfiguration problem of distribution systems for loss reduction and voltage profile improvement," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 55, pp. 128–143, 2014.
- [4] T. T. Nguyen and T. T. Nguyen, "An improved cuckoo search algorithm for the problem of electric distribution network reconfiguration," *Appl Soft Comput*, vol. 84, p. 105720, 2019.
- [5] H. Karimianfard and H. Haghghat, "An initial-point strategy for optimizing distribution system reconfiguration," *Electric Power Systems Research*, vol. 176, p. 105943, 2019.
- [6] M. Cikan and B. Kekezoglu, "Comparison of metaheuristic optimization techniques including Equilibrium optimizer algorithm in power distribution network reconfiguration," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 61, no. 2, pp. 991–1031, 2022.
- [7] T. T. Nguyen and A. V. Truong, "Distribution network reconfiguration for power loss minimization and voltage profile improvement using cuckoo search algorithm," *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 68, pp. 233–242, 2015, doi: 10.1016/j.ijepes.2014.12.075.
- [8] T. Tran The, D. Vo Ngoc, and N. Tran Anh, "Distribution network reconfiguration for power loss reduction and voltage profile improvement using chaotic stochastic fractal search algorithm," *Complexity*, vol. 2020, pp. 1–15, 2020.
- [9] A. Y. Abdelaziz, F. M. Mohammed, S. F. Mekhamer, and M. A. L. Badr, "Distribution systems reconfiguration using a modified particle swarm optimization algorithm," *Electric Power Systems Research*, vol. 79, no. 11, pp. 1521–1530, 2009.
- [10] J. M. Home-Ortiz, R. Vargas, L. H. Macedo, and R. Romero, "Joint reconfiguration of feeders and allocation of capacitor banks in radial distribution systems considering voltage-dependent models," *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 107, pp. 298–310, 2019, doi: 10.1016/j.ijepes.2018.11.035.
- [11] M. Sedighzadeh and R. Bakhtiary, "Optimal multi-objective reconfiguration and capacitor placement of distribution systems with the Hybrid Big Bang–Big Crunch algorithm in the fuzzy framework," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 7, no. 1, pp. 113–129, 2016.
- [12] A. O. Salau, Y. W. Gebru, and D. Bitew, "Optimal network reconfiguration for power loss minimization and voltage profile enhancement in distribution systems," *Heliyon*, vol. 6, no. 6, 2020.

- [13] M. M. Aman, G. B. Jasmon, A. H. A. Bakar, and H. Mokhlis, "Optimum network reconfiguration based on maximization of system loadability using continuation power flow theorem," *International journal of electrical power & energy systems*, vol. 54, pp. 123–133, 2014.
- [14] D. Das, "Reconfiguration of distribution system using fuzzy multi-objective approach," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 28, no. 5, pp. 331–338, 2006.
- [15] A. Lotfipour and H. Afrakhte, "A discrete Teaching–Learning–Based Optimization algorithm to solve distribution system reconfiguration in presence of distributed generation," *International journal of electrical power & energy systems*, vol. 82, pp. 264–273, 2016.
- [16] A. Azizivahed, H. Narimani, E. Naderi, M. Fathi, and M. R. Narimani, "A hybrid evolutionary algorithm for secure multi-objective distribution feeder reconfiguration," *Energy*, vol. 138, pp. 355–373, 2017, doi: 10.1016/j.energy.2017.07.102.
- [17] T. T. Nguyen, T. T. Nguyen, N. A. Nguyen, and T. L. Duong, "A novel method based on coyote algorithm for simultaneous network reconfiguration and distribution generation placement," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 12, no. 1, pp. 665–676, 2021.
- [18] M. Sedighzadeh, M. Esmaili, and M. Esmaili, "Application of the hybrid Big Bang–Big Crunch algorithm to optimal reconfiguration and distributed generation power allocation in distribution systems," *Energy*, vol. 76, pp. 920–930, 2014.
- [19] B. Arandian, R. A. Hooshmand, and E. Gholipour, "Decreasing activity cost of a distribution system company by reconfiguration and power generation control of DGs based on shuffled frog leaping algorithm," *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 61, pp. 48–55, 2014, doi: 10.1016/j.ijepes.2014.03.001.
- [20] H.-J. Wang, J.-S. Pan, T.-T. Nguyen, and S. Weng, "Distribution network reconfiguration with distributed generation based on parallel slime mould algorithm," *Energy*, vol. 244, p. 123011, 2022.
- [21] R. Rajaram, K. Sathish Kumar, and N. Rajasekar, "Power system reconfiguration in a radial distribution network for reducing losses and to improve voltage profile using modified plant growth simulation algorithm with Distributed Generation (DG)," *Energy Reports*, vol. 1, pp. 116–122, 2015, doi: 10.1016/j.egyr.2015.03.002.
- [22] J. Siahbalaee, N. Rezanejad, and G. B. Gharehpetician, "Reconfiguration and DG Sizing and Placement Using Improved Shuffled Frog Leaping Algorithm," *Electric Power Components and Systems*, vol. 47, no. 16–17, pp. 1475–1488, 2019, doi: 10.1080/15325008.2019.1689449.
- [23] A. Shaheen, A. Elsayed, A. Ginidi, R. El-Schiemy, and E. Elattar, "Reconfiguration of electrical distribution network-based DG and capacitors allocations using artificial ecosystem optimizer: Practical case study," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 61, no. 8, pp. 6105–6118, 2022, doi: 10.1016/j.aej.2021.11.035.
- [24] A. Jafar-Nowdeh *et al.*, "Meta-heuristic matrix moth–flame algorithm for optimal reconfiguration of distribution networks and placement of solar and wind renewable sources considering reliability," *Environ Technol Innov*, vol. 20, 2020, doi: 10.1016/j.eti.2020.101118.
- [25] S. Nikkhah and A. Rabiee, "Multi-objective stochastic model for joint optimal allocation of DG units and network reconfiguration from DG owner's and DisCo's perspectives," *Renew Energy*, vol. 132, pp. 471–485, 2019.
- [26] R. Fathi, B. Tousi, and S. Galvani, "A new approach for optimal allocation of photovoltaic and wind clean energy resources in distribution networks with reconfiguration considering uncertainty based on info-gap decision theory with risk aversion strategy," *J Clean Prod*, vol. 295, p. 125984, 2021.
- [27] A. Zidan and E. F. El-Saadany, "Distribution system reconfiguration for energy loss reduction considering the variability of load and local renewable generation," *Energy*, vol. 59, pp. 698–707, 2013, doi: 10.1016/j.energy.2013.06.061.
- [28] R. V. A. Monteiro, J. P. Bonaldo, R. F. da Silva, and A. S. Bretas, "Electric distribution network reconfiguration optimized for PV distributed generation and energy storage," *Electric Power Systems Research*, vol. 184, 2020, doi: 10.1016/j.epsr.2020.106319.
- [29] E. Hooshmand and A. Rabiee, "Energy management in distribution systems, considering the impact of reconfiguration, RESs, ESSs and DR: A trade-off between cost and reliability," *Renew Energy*, vol. 139, pp. 346–358, 2019, doi: 10.1016/j.renene.2019.02.101.

- [30] Z. Li, S. Wang, Y. Zhou, W. Liu, and X. Zheng, "Optimal distribution systems operation in the presence of wind power by coordinating network reconfiguration and demand response," *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 119, 2020, doi: 10.1016/j.ijepes.2020.105911.
- [31] L. W. De Oliveira, F. D. S. Seta, and E. J. De Oliveira, "Optimal reconfiguration of distribution systems with representation of uncertainties through interval analysis," *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 83, pp. 382–391, 2016, doi: 10.1016/j.ijepes.2016.04.020.
- [32] W. Guan, Y. Tan, H. Zhang, and J. Song, "Distribution system feeder reconfiguration considering different model of DG sources," *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 68, pp. 210–221, 2015, doi: 10.1016/j.ijepes.2014.12.023.
- [33] M. J. Sanjari and H. Karami, "Optimal control strategy of battery-integrated energy system considering load demand uncertainty," *Energy*, vol. 210, p. 118525, 2020.
- [34] S. Huang and O. Abedinia, "Investigation in economic analysis of microgrids based on renewable energy uncertainty and demand response in the electricity market," *Energy*, vol. 225, p. 120247, 2021.
- [35] T. M. Alabi, L. Lu, and Z. Yang, "Stochastic optimal planning scheme of a zero-carbon multi-energy system (ZC-MES) considering the uncertainties of individual energy demand and renewable resources: An integrated chance-constrained and decomposition algorithm (CC-DA) approach," *Energy*, vol. 232, p. 121000, 2021.
- [36] J. Sun, B. Feng, and W. Xu, "Particle swarm optimization with particles having quantum behavior," in *Proceedings of the 2004 congress on evolutionary computation (IEEE Cat. No. 04TH8753)*, IEEE, 2004, pp. 325–331.



© 2020 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).