



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Kuzeybatı Anadolu Güç Sisteminde Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Optimal Boyutlandırılması ve Yerleşimi

 Rukiye B.AYMAZ^{a,*},  Mehmet Ali YALÇIN^b,  Talha Enes GÜMÜŞ^b

^a Elektrik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, TÜRKİYE

^b Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: rukiye.baymaz@kocaeli.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1078418

ÖZ

Bu çalışmada güç sistemlerine eklenecek dağıtık üretim (DÜ) kaynaklarının bağlantı yeri ve güç değerlerinin belirlenmesi problemi, sezgisel optimizasyon yöntemlerinden genetik algoritma (GA) kullanılarak hesaplanmıştır. Optimizasyon probleminin çözümünde amaç fonksiyonu olarak aktif güç kayıplarının minimize edilmesi ve sistem bara gerilimlerin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle sistem bara gerilimlerinin belirli aralıkta tutulması kısıt olarak optimizasyon problemine eklenmiştir. Önerilen yaklaşım Kuzeybatı Anadolu (KBA) 114 baralı güç iletim sistemine 2 farklı amaç fonksiyonu için uygulanmıştır. Bu yaklaşımla güç sisteminin ağ topolojisini değiştirmeksizin dağıtık üretim kaynaklarının eklenmesi halinde her durum için aktif güç kayıplarının azaldığı ve bara gerilim profilinin iyileştiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Genetik algoritma, Dağıtık üretim, Optimizasyon, Yenilenebilir enerji kaynakları

Optimal Sizing and Allocation of Renewable Sources in Northwest Anatolia Power System

ABSTRACT

In this study, the problem of determining the location and sizing of the distributed generation (DG) resources added to the power systems has been calculated using genetic algorithms (GA), one of the heuristic optimization methods. The optimization problem aims to minimize the active power losses and improve the system bus voltages as an objective function. Therefore, keeping the system bus voltages within the defined limits has been added to the optimization problem as a constraint. The proposed approach has been applied for two objective function to 114 bus North West Anatolia (KBA) power system. With this approach, it has been observed that the active power losses for each case have been reduced and the bus voltage profile has been improved when distributed generation resources are added without changing the network topology of the power system.

Keywords: Genetic algorithms, Distributed generation, Optimization, Renewable energy sources

I. GİRİŞ

Teknolojik gelişmelere bağlı olarak elektrik enerjisi hayatımızın vazgeçilmez bir parçası olmuştur. Fosil kaynaklar sınırlı olduğundan, enerji tüketim artışını karşılamak için yeni kaynak arayışına girilmiştir. Fosil kaynaklı karbon salınımlı elektrik santralleri ile karşılaştırıldığında nispeten çevreye zarar vermeyen yenilenebilir enerji kaynaklarının (YEK) kullanımı ülkemizde ve dünyada yaygınlaşmaktadır. Enerji ihtiyacındaki artışın yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulumuyla karşılanması, çevre açısından temiz olmaları ve sınırlı miktardaki geleneksel enerji kaynaklarının yerini almaları nedeniyle daha iyi bir alternatif sunmaktadır [1] – [3]. 2021 küresel enerji raporuna göre, elektrik enerjisi talebi 10 yıldan fazla süredir en hızlı büyümesine doğru ilerlemektedir. Ayrıca politikacılar petrol ve doğal gaz fiyatlarındaki artışlardan dolayı elektrik enerjisinin karbondan arındırılması hızlandırmak için elektrik enerjisinin ulaşım ve ısınmada kullanılması yönünde adımlar atmaktadır. Elektrik üretiminde yenilenebilir enerji katkısının %30'lara çıkacağı öngörülmektedir [4].

Elektrik enerji sistemlerinde Dağıtık Üretim (DÜ) genellikle yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşan, yüklere yakın yerlere entegre edilebilen elektrik üretim tesisleri olarak tanımlanmaktadır [5]. Yenilenebilir enerji kaynaklarının diğer üretim kaynaklarıyla birlikte kullanılabilmesi, sistemde oluşan harmoniklerin azaltılması [6], güç kalitesinin iyileştirilmesi [7], sistem güvenilirliğinin iyileştirilmesi [7] ve gerilim profilinin iyileştirilmesi DÜ ünitelerinin tercih edilmesinde başlıca etkenlerdir. Güç sistemlerinin yapısına baktığımızda doğrudan iletim sistemine bağlanan üretim tesislerinin yanı sıra dağıtım sistemine bağlanan üretim tesisleri de yaygınlaşmaktadır [8], [9]. Böylelikle elektrik enerjisi ihtiyacını anlık olarak karşılayacak tesisler tüketiciye yakın yerlere kurulabilir. Tüketici tarafında da elektrik enerji üretilmesi çift yönlü bir enerji akışı oluşturmaktadır. Bu tip üretim sistemlerinin üretim süreksizliği ve belirsizliği nedeniyle şebekeyle entegrasyonu zor hale gelmekle beraber elektrik üretimindeki süreksizlik ve belirsizlikler elektrik enerji sistemleri yük akışlarında anlık değişimlere sebep olmaktadır. Bu durum şebeke de gerilim problemlerine yol açmaktadır. Reaktif güç akışını değiştirdikleri için dağıtık üretimin boyutları ve konumları gerilim kararlılığında önemli bir etkidir. Güç sistemine eklenecek yenilenebilir enerji kaynağının bağlantı noktaları ve güçleri hakkında çalışmalar yapılmaktadır. Dağıtık üretimin şebekenin nihai performansını kötü etkilememesi için dağıtık üretimlerin güçleri ve konumları farklı çözüm yöntemleri kullanılarak belirlenebilmektedir. Bu çözüm yöntemleri nümerik, analitik metot; optimal boyutlandırma ve konumlandırma için kayıp hassaslık faktörünün kullanımını içermektedir [10], [11].

Dağıtık üretimler enerji verimliliğinde ve gerilim profilinde iyileşme sağlayarak güç sistemine katkıda bulunurlar ancak bu katkılar kaynakların optimal boyutlandırılması ve yerleşimi için uygun optimizasyon algoritmalarının kullanımı ile mümkündür [12]. Popovic ve arkadaşları güvenilirlik kısıtlı dağıtım ağının kabul edebileceği şekilde kaynakların optimum yerleşimi için bir yöntem formüle etmişler ve dağıtık üretimin maksimum gücün %20'sini geçmeyecek şekilde kısıtlandırılmasını önermişlerdir [13]. Mouti ve Hawary dağıtım ağlarında yapay arı kolonisi algoritması aracılığıyla dağıtık üretimin tahsisi ve boyutlandırılmasını için yeni bir optimizasyon yaklaşımı sunmuşlardır. Optimizasyonda aktif ve reaktif güç kısıtını %40'ı geçmeyecek şekilde ve eklenecek dağıtık üretim sayısını 2 adet olarak belirlemişlerdir [14]. Stokastik optimizasyon yöntemlerinden parçacık sürü optimizasyonu, sürünün partikül adlı birkaç bireyi içerdiği popülasyon tabanlı bir metottur. Hız ve konuma sahip olan parçacıklar iterasyon yaparlar ve daha önceki iterasyon deneyimini kullanarak optimum pozisyona hareket ederler. Varesi dağıtık üretimleri gerilim profilini iyileştirecek ve güç kaybı minimizasyonu sağlayacak şekilde yerleştirmek için parçacık sürü optimizasyonu kullanmıştır [15]. Moradi ve Abedini dağıtık üretimin gücünün ve yerleşimin belirlenmesinde gerilim kararlılığı, bakır kayıpları ve gerilim kararlılığı indisini kısıt olarak kullanan hibrid genetik ve parçacık sürü optimizasyonu önermişlerdir. Genetik algoritma kaynakların yerleşimi için, parçacık sürü optimizasyonu ise kaynakların gücünün belirlenmesi için kullanılmıştır. Önerilen algoritma, genetik algoritma ve parçacık sürü optimizasyonunun performansından daha iyi bir performans sağlamıştır [16]. Gümüş ve arkadaşları genetik algoritma ve çevresel etki analizi ile değişen yük taleplerini göz önünde bulundurarak IEEE 34 baralı test sisteminde güç kaybı minimizasyonu sağlamış ve gerilim kararlılığını kontrol etmek için de gerilim kararlılığı indisini geliştirmişlerdir. Gerilim ve reaktif güç kontrolünün

kapasitör bankı ve dağıtım statik kompensatörü (DSTATCOM) ile sağlanması, bu durumlara dağıtık üretimlerin eklenmesinden oluşan 4 farklı durumda sistemin davranışını incelemişlerdir. Tüm durumlar hem geleneksel Newton-Raphson algoritması hem de evrimsel tabanlı genetik algoritma ile değerlendirilmiş olup güç kaybı minimizasyonu için tüm baraların belli gerilim sınırları içinde tutulması halinde evrimsel tabanlı genetik algoritmanın daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Genel sonuçlar test sistemiyle DSTATCOM ve Dağıtık Üretimlerin birlikte bulunduğu durumun en iyi güç kaybı minimizasyonu ve sera gazı emisyon azaltımı sağladığını göstermiştir [17].

Bu çalışmada; dağıtık üretim tesislerinin güç sistemindeki optimal yerinin ve boyutunun belirlenmesi bir optimizasyon problemi olarak modellenmiş ve genetik algoritma optimizasyon yöntemi ile çözülmüştür. Bu çalışmada literatürde yapılan çalışmalardan farklı olarak güç sistemindeki yüklerde artış olması durumunda hedeflenen amaç fonksiyonlarındaki değişimler gözlemlenmiş ve %8'e kadar yük artımı [24] durumunda da sistem kayıplarının azaldığı, bara gerilim değerlerinin iyileştiği gözlemlenmiştir.

II. MATERYAL VE METOT

A. GENETİK ALGORİTMA

Genetik Algoritma, doğal sistemlerde ve canlı popülasyonlarında gözlenen genetik ve evrim mekanizmalarından ilham alan ilkelere dayanan genel amaçlı bir arama tekniğidir. Temel ilkeleri, zaman içinde gelişen kodlanmış bilgi bireyleri olarak bir soruna yönelik çözüm popülasyonunun (genotipler) sürdürülmesidir [19].

Genetik algoritma genellikle üç aşamadan oluşur. Bu aşamalar, bir başlangıç popülasyonunun oluşturulması, uygunluk fonksiyonunun değerlendirilmesi ve yeni bir popülasyonun üretilmesi olarak sıralanabilir. Problemin her bir çözüm adayı kromozom ya da genotip olarak adlandırılır. Kromozomlar birçok genden oluşur. Popülasyon mevcut nesildeki çözüm topluluğudur. Her yeni nesilde yeni bir popülasyon oluşmaktadır. Problem tipine bağlı olarak yeni nesil sayısının artmasıyla popülasyonun yerel minimum ya da yerel maksimuma ulaştığı varsayılır. Uyumluluk değeri bireyin problemdeki performansını gösterir. Yüksek uyumluluk değerine sahip birey problemin iyi bir çözüm anlamına gelir. Çözüm uzayı probleme uygulanabilecek tüm çözüm adaylarının birleşimidir. Optimizasyon problemlerinde GA'nın tercih edilmesinin başlıca sebebi çözüm uzayındaki çözüm adaylarının çokluğudur. GA ve operatörlerini kullanarak, çözüm uzayının sadece küçük bir kısmı değerlendirilir ve en iyi ya da en iyiye yakın çözümlere ulaşılır. Popülasyon nesilden nesile geliştikçe kötü çözümler yok olma, iyi çözümler ise daha iyi çözümler oluşturmak için kullanıma eğilimindedirler. Bu da sonunda yüksek performanslı bireylerden oluşan bir nesil oluşturur [20].

Şekil 1'de çalışmada kullanılan genetik algoritma akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 1. Genetik Algoritma akış şeması.

B. KBA GÜÇ SİSTEMİ

Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketinden (TEİAŞ) alınan verilere göre, Türkiye kurulu gücü 99.374,3 MW'tır. İletim sistemleri bölgelere ayrılarak her bölge kendi merkezinden kontrol edilmekte olup Kuzeybatı Anadolu bölgesinde bu bölgelerden birisidir. KBA bölgesinde işletme gerilimi 380 kV ve 154 kV'tur. Toplamda 12 tane 380 kV ve 102 tane 154 kV'luk bara (trafo merkezi) bulunmaktadır. Güç sisteminde bulunan 114 baranın 18'i üretim barası, geri kalan 96 bara yük barasıdır [18]. Bu güç sisteminde 5 otoprodüktör santral, 4 özel santral, 7 termik santral ve 2 hidrolik santral bulunmaktadır. Üretim santrallerinin değerleri Tablo 1'de verildiği gibidir [18]. KBA 114 baralı güç sisteminin tüm hat parametre değerleri [18]'den alınmıştır.

Tablo 1. KBA 114 baralı güç sistemi üretim değerleri [18]

KBA'NIN SORUMLULUĞUNDA BULUNAN ÜRETİM SANTRALLERİNİN ÜRETİM DEĞERLERİ				
İstasyon Adı	P (MW)	Q (MVar)	P (pu)	Q (pu)
380 kV Ada DGKÇS 1	1432	186	14,32	1,86
380 kV Ada DGKÇS 2	722	72	7,22	0,72
154 kV Çolakoğlu	474	116	4,74	1,16
154 kV Enerji Sa	41	4	0,41	0,04
154 kV Nuh Enerji	58	14	0,58	0,14
154 kV Entek 2	97	30	0,97	0,30
154 kV Sarıyar	160	17	1,60	0,17
154 kV Yeni Çates	228	97	2,28	0,97
154 kV Bozöyük Akenerji	111	18	1,11	0,18
154 kV Seyitömer	370	120	1,10	0,10
154 kV Tutes A	125	10	1,25	0,10
154 kV Tutes B	130	10	1,30	0,10
154 kV Bursa DGKÇS	715	135	7,15	1,35
154 kV Orhaneli	130	10	1,30	0,10
154 kV Entek 1	137	9	1,37	0,09
380 kV Bursa DGKÇS	350	67	3,50	0,67
380 kV Tutes Şalt	105	5	1,05	0,05
380 kV Seyitömer	370	0	3,70	0,00

C. PROBLEMİN FORMÜLASYONU

Dağıtık üretimler, yenilenebilir kaynaklarla daha temiz enerji sağlamanın yanında gerilim profilini, güç kalitesini ve sistem verimini iyileştirmek, güç kayıplarını azaltmak gibi amaçlarla dağıtım sistemlerine entegre edilebilirler. Ancak DÜ'lerden maksimum fayda sağlayabilmek için en uygun güçte ve en uygun yere entegre edilmesi önemli bir konudur [21]. En uygun güç ve yerin belirlenmesi için çeşitli optimizasyon yöntemlerinden faydalanılmaktadır [22]. Bu çalışmada dört farklı durum ele alınmış olup amaç fonksiyonu olarak aktif güç kayıplarının azaltılması ve gerilim profilinin iyileştirilmesi kullanılmıştır.

C. 1. Aktif Güç Kayıplarının Minimize Edilmesi

Birinci amaç fonksiyonu dağıtım sistemindeki toplam aktif güç kayıplarını minimize etmektir. Amaç fonksiyonu Denklem 1 de verildiği gibi formüle edilir.

$$\min \text{Toplam } P_{kayıp} = \sum_{k=1}^{N_{hat}} R_{hat} \cdot I_{hat}^2 \quad (1)$$

Burada R_{hat} hattın direnci, I_{hat} hat akımıdır.

C. 2. Gerilim Profilinin iyileştirilmesi

İkinci amaç fonksiyonu sistemdeki bütün bara gerilimlerinin 1 pu'e en yakın değere getirilmesidir. Bu nedenle ikinci amaç fonksiyonu Denklem 2'de verildiği gibi formüle edilir.

$$\min GS = \sum_{i=1}^N (1 - V_i)^2 \quad (2)$$

Denklem 2'de i ilgili bara numarası ve N toplam bara sayısını ifade etmektedir.

C. 3. Kısıtlar

Optimizasyon probleminde kısıt olarak, sisteme eklenecek dağıtık üretim kapasitesinin toplam yük değerinden küçük olması ve bara gerilim değerlerinin 0.95-1.05 pu arasında tutulması hedeflenmektedir. Kısıt fonksiyonları Denklem 3'de verilmiştir.

$$\sum P_{DÜ} < \sum P_{yük} \text{ ve } 0.95 < V_{bara} < 1.05 \quad (3)$$

III. BULGULAR

Önerilen yaklaşım KBA 114 baralı güç sisteminde uygulanmış ve sonuçlar temel durum ile karşılaştırılmıştır. Güç sistemi MATLAB-MATPOWER kullanılarak modellenmiştir [23]. Güç sistemine eklenecek dağıtık üretimlerin güçleri ve bağlantı noktaları genetik algoritma ile bulunmuştur. Benzetim çalışmasında dört farklı durum değerlendirilmiştir.

Durum 1: Amaç fonksiyonu olarak aktif güç kayıplarının minimize edilmesi ve Denklem 3 ile verilen kısıtlar kullanılmıştır. Yük değerleri olduğu gibi alınmıştır. Genetik algoritma ile belirlenen dağıtık üretim gücü KBA 114 baralı güç sisteminin toplam üretiminin %24.58'ini oluşturmaktadır.

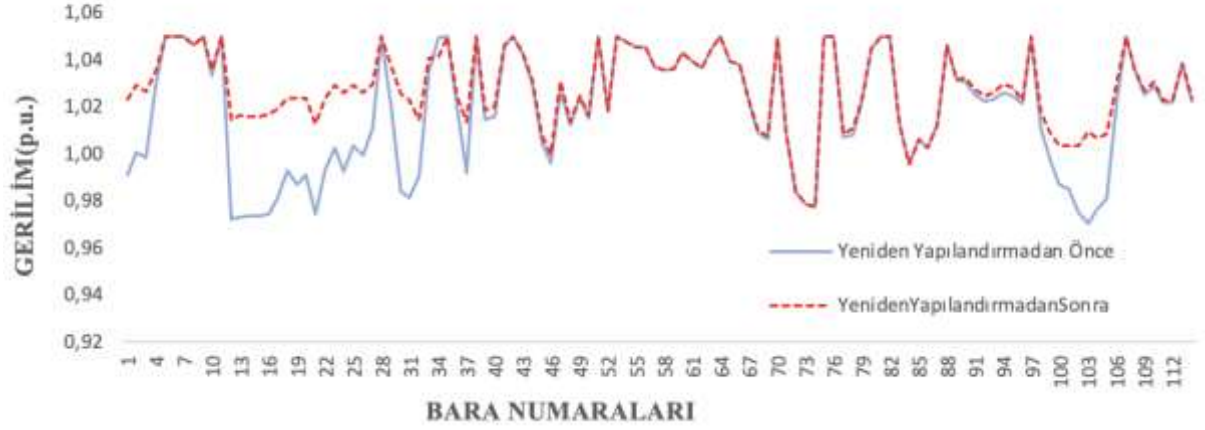
Durum 2: Amaç fonksiyonu olarak aktif güç kayıplarının minimize edilmesi ve gerilim profilinin iyileştirilmesi amaçlanmış ayrıca Denklem 3 ile verilen kısıtlar kullanılmıştır. Yük değerleri olduğu gibi alınmıştır. Genetik algoritma ile belirlenen dağıtık üretim gücü KBA 114 baralı güç sisteminin toplam üretiminin %24.38'ini oluşturmaktadır.

Durum 3: Amaç fonksiyonu olarak aktif güç kayıplarının minimize edilmesi ve Denklem 3 ile verilen kısıtlar kullanılmıştır. Toplam yük değeri %8 artırılmıştır [24]. Genetik algoritma ile belirlenen dağıtık üretim gücü KBA 114 baralı güç sisteminin toplam üretiminin %29,7' sini oluşturmaktadır.

Durum 4: Amaç fonksiyonu olarak aktif güç kayıplarının minimize edilmesi ve gerilim profilinin iyileştirilmesi amaçlanmış ayrıca Denklem 3 ile verilen kısıtlar kullanılmıştır. Toplam yük değeri %8 artırılmıştır [24]. Genetik algoritma ile belirlenen dağıtık üretim gücü KBA 114 baralı güç sisteminin toplam üretiminin %27,3' ünü oluşturmaktadır.

Tüm durumlarda optimal bağlantı noktaları ve boyutları genetik algoritma belirlenen KBA 114 baralı güç sistemi optimizasyon yapılmamış KBA 114 baralı güç sistemiyle karşılaştırılmıştır. Durum 1,

Durum 2, Durum 3 ve Durum 4'e ait gerilim profilinin iyileşmesi sırasıyla şekil 2, şekil 3, şekil 4 ve şekil 5'de gösterilmektedir. Grafikte yer alan yeniden yapılandırmadan önce ifadesi KBA 114 baralı güç sisteminin optimizasyon yapılmadan önceki gerilim değerlerini ifade etmektedir. Yeniden yapılandırmadan sonra ifadesi ise optimizasyondan sonraki değerleri göstermektedir.

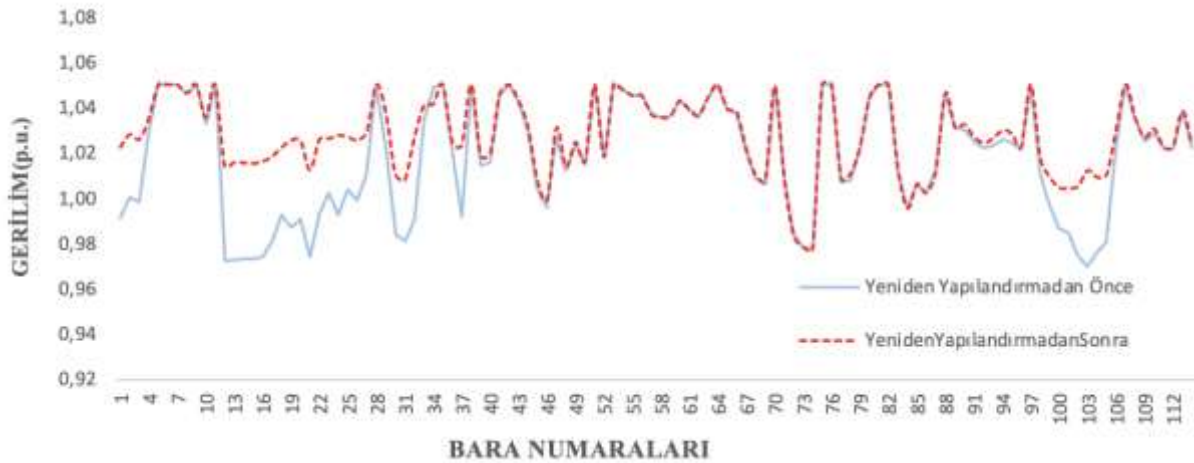


Şekil 2. Durum 1'e ait gerilim profili.

Durum 1 için dağıtık üretim değerleri tablo 2'de gösterilmektedir. Güç kayıpları %27 azalmıştır.

Tablo 2. Durum 1'e göre dağıtık üretimin ekleneceği baraları, güçleri ve güç kaybını gösteren tablo.

Metot	Bara	DÜ Gücü (MW)	P _{Kayıp} (MW)
Genetik algoritma	13	231,3370	206,75
	15	244,4355	
	16	202,7134	
Amaç fonksiyonu (aktif güç kayıplarının minimize edilmesi)	18	222,7261	
	19	199,7224	
	23	211,9434	
	24	215,5790	
	26	233,8526	
	30	123,6096	
	103	80,1285	

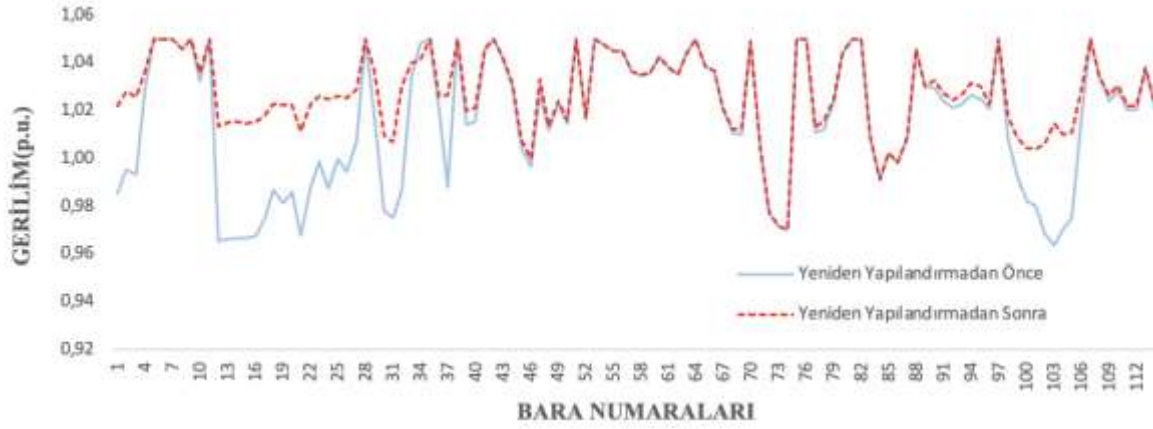


Şekil 3. Durum 2'ye ait gerilim profili.

Durum 2'ye göre dağıtık üretim değerleri Tablo 3'te gösterilmektedir. Güç kayıpları %27 azalmıştır.

Tablo 3. Durum 2'ye göre dağıtık üretimin ekleneceği baraları, güçleri ve güç kaybını gösteren tablo.

Metot	Bara	DÜ Gücü (MW)	P _{Kayıp} (MW)
Genetik algoritma	13	235,5587	204,42
	15	238,9561	
	16	223,5597	
Amaç fonksiyonu (aktif güç kayıplarının minimize edilmesi ve gerilim profilinin iyileştirilmesi)	19	229,7044	
	22	211,1126	
	24	234,3709	
	25	128,7376	
	26	238,7255	
	32	121,6427	
	103	88,3326	

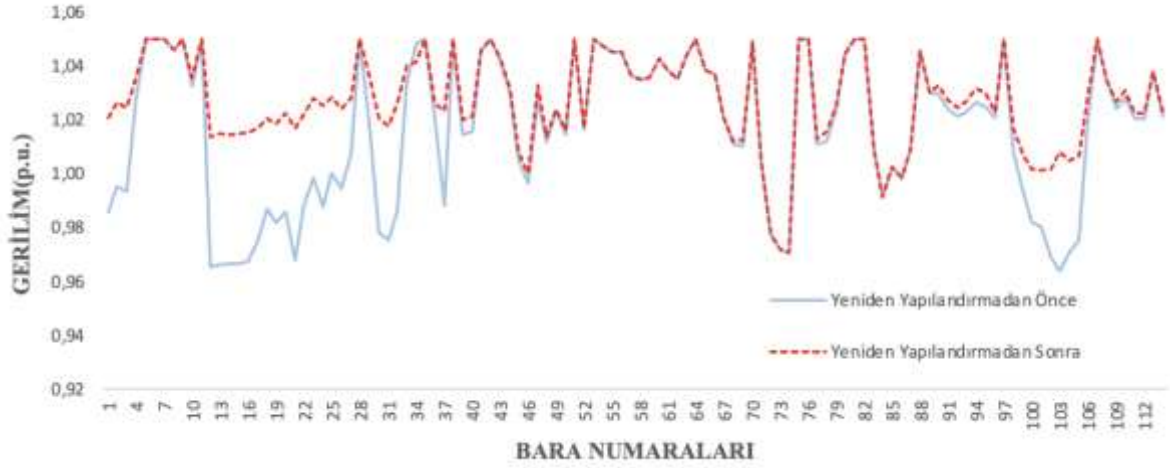


Şekil 4. Durum 3'e ait gerilim profili.

Tablo 4 durum 3'e ait dağıtık üretim değerlerini göstermektedir. Güç kayıpları %34,3 azalmıştır.

Tablo 4. Durum 3'e göre dağıtık üretimin ekleneceği baraları, güçleri ve güç kaybını gösteren tablo.

Metot	Bara	DÜ Gücü (MW)	P _{Kayıp} (MW)
Genetik algoritma	13	246,2067	186,74
	14	219,9213	
	15	247,3779	
Amaç fonksiyonu (aktif güç kayıplarının minimize edilmesi)	18	233,8808	
	19	218,6966	
	23	171,0659	
	24	231,4271	
	26	239,0297	
	32	170,1789	
	103	105,8310	



Şekil 5. Durum 4'e ait gerilim profili.

Durum 4'e göre genetik algoritma ile belirlenen dağıtık üretim değerleri tablo 5'te gösterilmektedir. Güç kayıpları %33,8 azalmıştır.

Tablo 5. Durum 4'e göre dağıtık üretimin ekleneceği baraları, güçleri ve güç kaybını gösteren tablo.

Metot	Bara	DÜ Gücü (MW)	P _{Kayıp} (MW)
Genetik algoritma	13	228,2228	188,024
	15	243,1686	
	16	220,5422	
Amaç fonksiyonu (aktif güç kayıplarının minimize edilmesi ve gerilim profilinin iyileştirilmesi)	20	245,9556	
	21	189,7756	
	23	220,2021	
	24	243,7229	
	30	101,0931	
	32	132,7693	
	103	88,0978	

IV. SONUÇ

Bu çalışmada dağıtık üretimlerin güç sisteminde optimal bağlantı noktası ve boyutlarının belirlenmesi problemi sezgisel yöntemlerden genetik algoritma optimizasyon yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Optimizasyon probleminin amacı sistem aktif güç kayıplarının azaltılması ve bara gerilim değerlerinin belirlenen aralıklarda tutulmasıdır.

Önerilen yaklaşım KBA 114 baralı güç iletim sistemine dört farklı senaryo ile uygulanmış ve elde edilen sonuçlar optimizasyon öncesi durumlar ile karşılaştırılmıştır. DÜ'lerin güç sistemine önerilen yaklaşım ile belirlenen yer ve boyutta entegre edilmesi ile güç sisteminin aktif kayıplarının azaldığı ve bara gerilim değerlerinin iyileştiği bütün senaryolarda gözlemlenmiştir. Tek amaç fonksiyonunun olduğu senaryo durumlarında dahi güç kayıplarının en az %24 azaldığı gözlemlenmiştir. Güç sisteminde %8'e kadar yük artımı durumunda bile önerilen yaklaşımın kayıpları azalttığı ve bara gerilim değerlerini iyileştirdiği görülmüştür.

Gelecek çalışması olarak güç sistemi gerilim kararlılığı değerlendirilmesi adına optimizasyon probleminde gerilim kararlılık indeksinin iyileştirilmesi amaç fonksiyonu olarak eklenebilir. Böylelikle

yük artışı olması durumunda sistemin kararlılık durumunun detaylı incelenmesine imkân sağlanmış olacaktır.

V. KAYNAKLAR

- [1] H. Bevrani, A. Ghosh, and G. Ledwich, “Renewable energy sources and frequency regulation: Survey and new perspectives,” *IET Renewable Power Generation*, vol. 4, no. 5, pp. 438–457, Sep. 2010.
- [2] N. Eghtedarpour and E. Farjah, “Distributed charge/discharge control of energy storages in a renewable-energy-based DC micro-grid,” *IET Renewable Power Generation*, vol. 8, no. 1, pp. 45–57, 2014.
- [3] V. Veera, V. Satya, N. Murty, and A. Kumar, “Optimal DG integration and network reconfiguration in microgrid system with realistic time varying load model using hybrid optimisation; Optimal DG integration and network reconfiguration in microgrid system with realistic time varying load model using hybrid optimisation”, *IET Smart Grid*, vol. 2, no. 2, pp. 192 – 202, 2019.
- [4] (2021, 10 Aralık), “2021-Kuresel-Enerji-Raporu-Ozeti”, [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.dunyaenerji.org.tr/2021-kuresel-enerji-raporu/>
- [5] T. Ackermann, G. Ran Andersson, and L. Sö Der A, “Distributed generation: a definition,” *Smart Grid and Renewable Energy*, Vol.8 No.7, July 18, 2017, doi:10.1016/S0378 7796(01)00101-8.
- [6] Y. Alinejad-Beromi, M. Sedighzadeh and M. Sadighi, "A particle swarm optimization for sitting and sizing of Distributed Generation in distribution network to improve voltage profile and reduce THD and losses," 2008 43rd International Universities Power Engineering Conference, 2008, pp. 1-5.
- [7] S. Chaitusaney and A. Yokoyama, “Prevention of reliability degradation from recloser-fuse miscoordination due to distributed generation,” *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 23, no. 4, pp. 2545–2554, 2008.
- [8] V. V. S. N. Murty and A. Kumar, “Optimal placement of DG in radial distribution systems based on new voltage stability index under load growth,” *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 69, pp. 246–256, 2015.
- [9] A. Ali, M. U. Keerio, and J. A. Laghari, “Optimal Site and size of Distributed Generation Allocation in Radial Distribution Network Using Multi-objective Optimization,” *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, vol. 9, no. 2, pp. 404–415, Mar. 2021.
- [10] D. Q. Hung and N. Mithulanathan, “Multiple distributed generator placement in primary distribution networks for loss reduction,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 60, no. 4, pp. 1700–1708, 2013.
- [11] D. Q. Hung and N. Mithulanathan, “Loss reduction and loadability enhancement with DG: A dual-index analytical approach,” *Applied Energy*, vol. 115, pp. 233–241, Feb. 2014.
- [12] M. Pesaran, P. Dang Huy, and V. K. Ramachandramurthy, “A review of the optimal allocation of distributed generation: Objectives, constraints, methods, and algorithms,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 75, pp. 293-312, 2016.
- [13] D. H. Popovicápopovicá, J. A. Greatbanks, M. Begovic´c, B. Begovic´c, and A. Pregelj, “Placement of distributed generators and reclosers for distribution network security and reliability”, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 27, pp. 398-408, 2005.

- [14] F. S. Abu-Mouti and M. E. El-Hawary, "Optimal Distributed Generation Allocation and Sizing in Distribution Systems via Artificial Bee Colony Algorithm," *IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY*, vol. 26, no. 4, 2011.
- [15] K. Varesi, "Optimal Allocation of DG Units for Power Loss Reduction and Voltage Profile Improvement of Distribution Networks using PSO Algorithm," 2011, Accessed: Nov. 03, 2021. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/275354162>
- [16] M. H. Moradi and M. Abedini, "A combination of genetic algorithm and particle swarm optimization for optimal DG location and sizing in distribution systems," *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 34, no. 1, pp. 66–74, Jan. 2012.
- [17] T. E. Gümüş, C. Aksoy Tirmikçi, C. Yavuz, M. A. Yalçın, and M. Turan, "Power loss minimization for distribution networks with load tap changing using genetic algorithm and environmental impact analysis," *Tehnicki Vjesnik*, vol. 28, no. 6, pp. 1927–1935, Nov. 2021.
- [18] E. M. Nihat, "Nihat Pamuk, 380 ve 154 kV'luk Kuzeybatı Anadolu Şebekesi Güç Akışı Benzetimleri", Yüksek lisans tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2009.
- [19] M. Gandomkar, M. Vakilian, and M. Ehsan, "A combination of genetic algorithm and simulated annealing for optimal DG allocation in distribution networks," in *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, 2005, vol. 2005, pp. 645–648.
- [20] Y. Alinejad-beromi, M. Sedighzadeh, M. R. Bayat, and M. E. Khodayar, "Using genetic algorithm for distributed generation allocation to reduce losses and improve voltage profile.", 42nd International Universities Power Engineering Conference (UPEC 2007), 2007, 4-6 september, brighton, united kingdom.
- [21] K. M. Muttaqi, A. D. T. Le, M. Negnevitsky, and G. Ledwich, "An algebraic approach for determination of DG parameters to support voltage profiles in radial distribution networks," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 5, no. 3, pp. 1351–1360, 2014,.
- [22] R. Baños, F. Manzano-Agugliaro, F. G. Montoya, C. Gil, A. Alcayde, and J. Gómez, "Optimization methods applied to renewable and sustainable energy: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, no. 4, pp. 1753–1766, May 2011.
- [23] R. D. Zimmerman, C. E. Murillo-Sánchez, and R. J. Thomas, "MATPOWER: Steady-state operations, planning, and analysis tools for power systems research and education," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 26, no. 1, pp. 12–19, Feb. 2011.
- [24] (2022, 10 Şubat). "2021 Yılı Elektrik Üretim-Tüketim Raporu.". [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/aylik-elektrik-uretim-tuketim-raporlari>