



HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/humder>

Genetik Algoritma Kullanılarak Gerilim Düşümlerinin Kestirimi

Voltage Sag Estimation with Genetic Algorithm

Yazar(lar) (Author(s)): Sümeyye ÇOLAK¹, Hasari KARCI², Buket SONBAŞ³

¹ ORCID ID: 0000-0002-9033-0470

² ORCID ID: 0000-0002-2433-043X

³ ORCID ID: 0000-0001-7335-0616

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Çolak S., Karci H., Sonbaş B., "Genetik Algoritma Kullanılarak Gerilim Düşümlerinin Kestirimi", *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 7(2): 50-59, (2022).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/humder/archive>



Genetik Algoritma Kullanılarak Gerilim Düşümlerinin Kestirimi

Sümeyye ÇOLAK^{1,*} Hasari KARCI² Buket SONBAŞ³

¹Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Haliliye/Şanlıurfa

²Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Haliliye/Şanlıurfa

³Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Haliliye/Şanlıurfa

Öz

Bu çalışmada genetik algoritma kullanılarak elektrik dağıtım sistemlerinde buslarda meydana gelen gerilim düşümlerinin sayıları kestirilmeye çalışılmıştır. Geliştirilen metot, IEEE 24-Bus, IEEE 30-Bus ve IEEE 118-Bus sistemlerinde farklı eşik değerleri ve farklı popülasyon büyüklükleri için denenmiştir. Her farklı durum için 10 adet benzetim yapılarak ortalama hata değeri hesaplanmış ve sonuçlar tablolar halinde sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre genetik algoritmanın gerilim düşümü sayısının kestirimindeki başarısının kabul edilebilir düzeyde olduğu, hata sayının genellikle 2'den küçük olduğu görülmüştür.

Makale Bilgisi

Başvuru: 12/05/2022

Kabul: 26/08/2022

Anahtar Kelimeler

Güç Kalitesi
Genetik Algoritma
Gerilim Düşmesi Kestirimi

Keywords

Power Quality
Genetic Algorithm
Voltage Sag Estimation

Voltage Sag Estimation with Genetic Algorithm

Abstract

In this study, it has been tried to estimate the voltage sag numbers occurring in the busses in electricity distribution systems by using genetic algorithm. The developed method has been tested for different threshold values and different population sizes in IEEE 24-Bus, IEEE 30-Bus and IEEE 118-Bus systems. 10 simulations are carried out for each different situation, the average error value was calculated and the results were presented in tables. According to the results, it has been seen that the success of the genetic algorithm in estimating the number of voltage drops is at an acceptable level, and the error number is generally less than 2.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Elektrik enerjisinin kullanım alanları sürekli olarak artmaktadır. Elektrik enerjisinin kullanımının artması beraberinde güç kalitesi sorunlarını da getirmektedir. Teknolojik gelişmelerle beraber güç kalitesi problemlerinden etkilenen hassas cihaz sayısı da artmaktadır. Sunucular, tıbbi görüntüleme cihazları, PLC vb. bu tür cihazlara örnek olarak verilebilir. Hassas cihazların endüstride ve evlerde yoğun kullanımından dolayı güç kalitesi problemi ve çözümleri önem kazanmaktadır.

Güç kalitesi; elektrik sistemlerinde cihazların işleyişini etkilemeden sorunsuz çalışmalarını için enerjinin üretim, iletim ve dağıtım aşamalarındaki kalitesi olarak ifade edilebilir. Gerilim yükselmesi, gerilim düşmesi, kısa ve uzun süreli güç kesintileri ve harmonik bozulmalar güç kalitesi problemlerine örnek olarak verilebilir. Güç kalitesi problemleri ve analizleri [1,2]'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Yaygın görülen güç kalitesi sorunlarından biri gerilim düşmesidir. Gerilim düşmeleri güç kaynaklarında direk kesintiye sebep olmasa da özellikle hassas cihazlarda verimli çalışmayı engelleyecek seviyede olabilmektedir. Gerilim düşmeleri, yüksek güçteki yüklerin devreye alınması sırasında veya dağıtım ve iletim sistemindeki arızalardan dolayı meydana gelebilmektedir. Kısa süreli oluşan gerilim düşmeleri yüksek maddi kayıplara neden olabilmektedir [3]. Bu yüzden işletmelerdeki arızalardan dolayı sık sık

*İletişim yazarı, e-mail: colak.summeyer@harran.edu.tr

meydana gelen gerilim düşmelerinin önüne geçebilmek için çözüm yolları aranmaktadır. Örneğin; besleme kaynak gerilimine ek farklı kaynakların bulundurulması, iletim ve dağıtım sistemlerindeki gerilim düşmeleri için de sistemin ihtiyacı olan enerjinin karşılanabileceği ayrı bir enerji kaynağının bulundurulması önerilmektedir [4]. Dinamik gerilim yenileyiciler, kesintisiz güç kaynakları, sabit gerilim transformatörleri gerilim düşümünün önüne geçmek için kullanıcılar tarafından tercih edilen cihazlardır [5].

Gerilim düşmelerinin analizi için istatistiksel yaklaşım ve güç kaynaklarının izlenmesi yöntemi kullanılmaktadır. İstatistiksel yaklaşım mevcut bir sistem için bilinen geçmiş hata istatistik verilerini kullanarak gerilim düşüm sayılarının tahmin edilmesi esasına dayanır. İstatistiksel yaklaşımlar güç kalitesi problemlerini tespit edip hata anını belirleyebilmektedir [6]. Bu yöntem uzun süreli tahmin verileri için kullanımı kolaylaştırırsa da yıllara göre tahmin verileri için iyi bir yöntem değildir. Çünkü yıllar arasında büyük farklılıklar gerçekleşebilmektedir. Belirli bir sistem üzerinden izleme yoluyla voltaj düşüşlerinin büyüklüğü ve süresi hakkında istatistiksel veriler elde edilebilir. Ancak bu sonuçların elde edilebilmesi için sistem izleme metodu gerekecektir. İstatistiksel yaklaşım yöntemine alternatif bir yaklaşım olarak güç sistemlerinin izlenmesi yöntemi kullanılmaktadır [7]. Gerilim düşümü analiz yöntemi olan güç kaynaklarının izlenmesi yönteminde gerçek ölçüm ile istatistiksel ölçüm arasındaki hatayı en aza indirmek amaçlanır [8]. Elektrik dağıtım şebekesindeki tüm buslara ölçüm cihazı yerleştirilerek gerilim düşümü problemlerinin hangi hat ve buslardan kaynaklandığını ölçmek mümkündür. Ancak elektrik dağıtım şebekesindeki bus sayısının fazla olması sebebi ile tüm buslara ölçüm cihazı yerleştirmek ekonomik değildir [9]. Bu yüzden tüm sistemi kapsayacak şekilde ölçüm cihazlarının yerleşiminin yapılması gerekir. Tamsayı programlama tabanlı bir modelleme ile ölçüm cihazlarının sayısı ve yerleşimi yapılmıştır [10,11]. Ölçüm cihazı yerleştirilen buslar aracılığıyla ölçüm cihazı yerleştirilmeyen buslardaki gerilim düşümleri tespit edilmeye çalışılır. Ölçüm cihazı yerleştirilen buslar tarafından şebekedeki tüm hatalar ve toplam sayı kaydedilir ancak hatanın hangi hatta meydana geldiği kestirim metotları ile tespit edilmeye çalışılır [7].

Bu çalışmada genetik algoritma ile monitör edilen buslardaki gerilim düşümleri bilgisi kullanılarak monitör edilmeyen buslardaki gerilim düşüm sayılarının kestirimi amaçlanmıştır. Octave [12] programının genetik algoritma kütüphanesi ile gerilim düşüm problemi farklı test sistemleri için modellenmiş [13–15] ve yapılan benzetimler ile geliştirilen metodun performansı gösterilmiştir. Bölüm 2 problemin modellenmesi, bölüm 3 de ise elde edilen sonuçlar tablolar halinde sunulmuştur. Sonuç kısmında ise elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

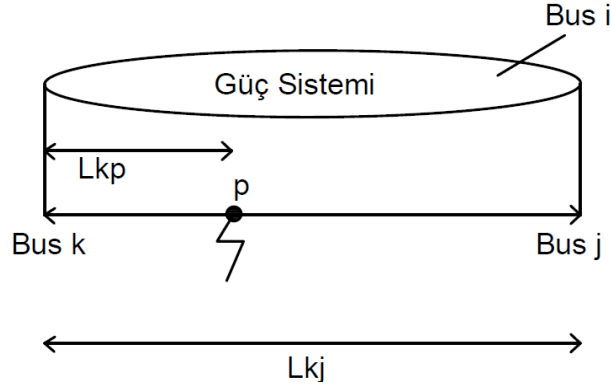
2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

Gerilim düşmeleri kaynak geriliminin *rms* şiddetinde kısa süreli gerçekleşen gerilim azalmalarıdır. Bu arızalar bazen büyük yüklerin sisteme bağlanması bazen de kısa devre ve toprak arızaları gibi farklı nedenlerden dolayı oluşabilmektedir. Gerilim düşümleri durum kestirimi için [7] çalışmalarında sınırlı sayıda izlenen güç kaynağından izlenmeyen güç kaynaklarındaki gerilim düşüm sayılarının kestirimi yapılmıştır. Ölçüm cihazı yerleştirilen bus bilgilerini kullanarak ölçüm cihazı yerleştirilmeyen buslardaki hataların kestirimi için

$$H = MX + E \quad (1)$$

ifadesini dikkate alalım. Burada E sistemdeki gürültüyü ifade etmektedir ve bu çalışmada değeri sıfır olarak alınmıştır. *H* vektörü monitörlerin kaydettiği hata sayısını içerir ve vektörün her satırı bir monitöre karşılık gelmektedir. İletim hatları oluşan hatanın buslarda gerilim düşmesine sebep olup olmamasına göre bölgelere ayrılır. Bu bölgelerde oluşan hataların sayısı *X* vektörü ile ifade edilir. *X* vektörün uzunluğu tüm dağıtım sistemindeki toplam bölge sayısıdır. *M* ikili ölçüm matrisidir ve satırları monitör edilen buslara karşılık gelir. Sütunları ise *X* vektöründe ifade edilen bölgelere karşılık gelir. Eğer ilgili bölgedeki hata monitör edilen busta hataya sebep oluyorsa $m_{ij} = 1$ aksi takdirde $m_{ij} = 0$ olur.

Sistemin herhangi bir noktasında meydana gelen hatanın monitör edilmeyen bus-I'da hata oluşturup oluşturumama durumunu incelemek için Şekil 1 'i dikkate alalım.



Şekil 1: p noktasında hata meydana gelen elektrik sistemi.

Bus-k ve Bus-j arasındaki p noktasındaki hatanın bus-i’de oluşturacağı gerilimin büyüklüğü p noktasının yerine bağlı olarak p.u biriminde denklem (2) de ifade edilmiştir.

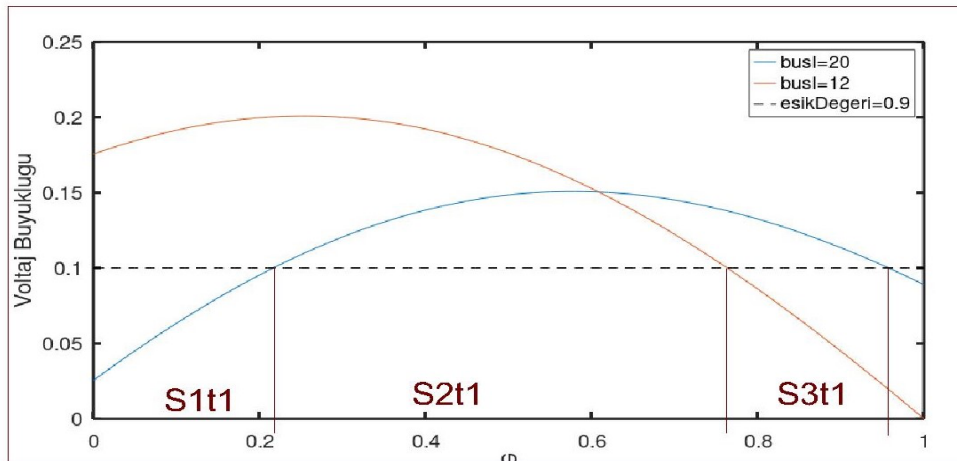
$$V_i = 1 - \frac{(1 - \Psi)Z_{ik} + \Psi Z_{ij}}{(1 - \Psi)^2 Z_{kk} + \Psi^2 Z_{jj} + 2\Psi(1 - \Psi)Z_{kj} + \Psi(1 - \Psi)Z_{kj}} \quad (2)$$

Burada, Z_{ij} bus empedansı iken z_{kj} k, j busları arasındaki hat empedansıdır. Ψ parametresi denklem (3) gösterildiği gibi, p noktasının hat üzerindeki yerinin bir ölçüsüdür ve değeri $0 \leq \Psi \leq 1$ aralığında değişir. L_{kp} hata noktasının bus-k’ ya olan uzaklığı iken; L_{kj} hattın toplam uzunluğudur.

$$\Psi = \frac{L_{kp}}{L_{kj}} \quad (3)$$

Denklem (2) verilen ifadenin elde edilmiş detayları [7]’de verilmiştir. Denklem (2) kullanılarak k-l hattı boyunca meydana gelen hataların hangi buslarda ne kadar voltaj düşümüne sebep olacağını hesaplamak mümkündür. Buslarda meydana gelen voltaj düşümlerinin eşik değerinden küçük olup olmamasına göre k-l hattı bölgelere ayrılabilir. Her bölge X vektöründe bir satır olarak temsil edilir.

Şekil 2’de 1, k hattının eşik değeri 0.9 için bölgelere nasıl ayrıldığını göstermek amacı ile IEEE 24-bus [13] sisteminde monitör edilmeyen $BusI = \{12, 24\}$ buslarının gerilimleri Ψ parametresine göre çizilmiştir. Bus voltajının eşik değerinin altında kaldığı bölgeler işaretlenerek X vektöründe ifade edilmiştir. Eşik değerinin altında kalan bölgede meydana gelecek bir arızanın ilgili busta gerilim düşümüne sebep olduğu anlaşılmaktadır. Her ne kadar Şekil 2’de monitör edilmeyen iki bus için bölgeler gösterilmiş olsa da gerçek uygulamada 1, k hattı monitör edilmeyen tüm buslar dikkate alınarak bölgelere ayrılır.



Şekil 2: Bus i’de oluşan hata için kalan gerilim, Bus I, t_1 eşik değeri.

İletim hatları monitör edilmeyen bus gerilimleri dikkate alınarak bölgeler ayrıldığı için X vektörünün eleman sayısı yüksek olmaktadır. Bu durumda X vektörünün kestirimi uzunlukla beraber güçleşmektedir.

2. GENETİK ALGORİTMA İLE OPTİMİZASYON ÇALIŞMASI

Genetik algoritma, doğal seçim ilkesine dayalı olarak geliştirilmiş bir optimizasyon metodudur [14]. Genetik algoritma, başlangıçta problemin çözümünü zayıf bir şekilde sağlayan bireylerden oluşmuş bir popülasyon ile başlar. Başlangıç popülasyonundaki bireylerin problemi çözme kabiliyetleri dinçlik fonksiyonu yardımı ile ölçülür. Problemin çözümü için gerekli olan kriterleri daha iyi sağlayan bireylerin dinçlik değeri yüksek, problemin çözümünde başarıya uzak olan bireylerin ise dinçlik değeri daha düşük hesaplanır. Dinçlik değeri yüksek olan bireyler kullanılarak çaprazlama yöntemi ile yeni bireyler elde edilir. Dinçlik değeri yüksek olan bireyler, yeni bireylerin oluşumu için daha çok seçilirken, dinçlik değeri düşük bireylerin seçim şansı daha düşüktür. Böylece bir sonraki kuşakta, popülasyon içerisinde dinçlik değeri yüksek bireylere benzeyen bireylerin sayısı daha fazla olur. Yani dinçlik değeri yüksek bireylerin genetik mirasının korunma ihtimali daha yüksektir. Ayrıca yeni kuşaktaki bazı bireyler önceki kuşaktaki bireylerin mutasyona uğraması ile elde edilir. Mutasyon başlangıç popülasyonunda bulunmayan veya çaprazlama yöntemi ile elde edilemeyen bireylerin oluşmasına yardımcı olmaktadır.

Bu çalışmada, denklem (1)'deki X vektörünün içeriği genetik algoritma kullanılarak tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bunun için GNU Octave [12] ve onun genetik algoritma kütüphanesi kullanılmıştır. X vektörünün her bir elemanı iletim hatlarındaki bir bölüme karşılık geldiğinden, ilgili bölümdeki hata sayısı kestirilebilirse denklem (1) kullanılarak monitör edilmeyen buslardaki gerilim düşmelerinin sayısını bilmek mümkündür. X vektörü daha çok sıfırlardan oluşan seyrek değerli bir vektördür. X vektörünün bu özelliği dikkate alınarak, X vektörlerinden oluşan başlangıç popülasyonu oluşturulmuş ve genetik algoritma ile problemin çözümü bulunmaya çalışılmıştır.

Dinçlik değerini hesaplamak için denklem (4) kullanılmıştır.

$$F(X_i) = \sum |H - MX_i| \quad (4)$$

burada X_i popülasyon içerisindeki bireyi temsil etmekte iken MX_i ifadesi ile hesaplanan H_i değeri gerçek H değeri ile karşılaştırılarak aradaki toplam hatanın mutlak değeri X_i bireyinin dinçlik değeri olmaktadır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

Genetik algoritmanın çalışma prensibi çaprazlama ve mutasyon yöntemiyle yeni bireyler üreterek probleme en iyi çözüm yolunu bulmaktır. Çaprazlama ve mutasyon işlemleri rassal olarak yapıldığı için, problemlerin çözümü için yapılan her deneme farklı sonuçlar elde edilir. Bu yüzden benzetim çalışmalarında her problem 10 kez tekrarlanmış ve elde edilen sonuçların aritmetik ortalamaları burada sunulmuştur. Kestirimi yapılan buslardaki gerçek voltaj düşümleri ile elde edilen sonuçlar arasındaki hata değerleri toplanıp toplam benzetim sayısına bölünerek hatanın aritmetik ortalaması alınmıştır. Problem 3 farklı elektrik dağıtım sistemi için 5 farklı popülasyon büyüklüğünde test edildi. Her sistem için ölçüm cihazı yerleştirilen bus sayısı ve konumu farklılıklar göstermektedir. IEEE 24-Bus [13] sistemi için [7]'de belirlenen ölçüm cihazı yerleşimini kullanılırken, IEEE 30-Bus [14], IEEE 118-Bus [15], sistemlerinde ise [10]'de belirlenen ölçüm cihazı sayısı ve konumuna göre benzetimler gerçekleştirildi.

IEEE 24-Bus sistemi için monitör edilen buslar $m = [3,5,8,17]$ 'dir. Kestirimi yapılacak olan Bus1 büyüklüklerine göre elde edilen ortalama hata değerleri Tablo 1'de sunulmuştur. Tablo 1'deki değerler incelendiğinde başarımın popülasyon büyüklüğü ile doğrudan bir ilgisinin olmadığı görülmektedir. Sadece Bus13 ve Bus23 de popülasyon büyüklüğü arttıkça hata sayısı azalmaktadır. Tablo 1'de görüldüğü gibi bazı busların kestirimin diğer buslara göre daha başarılı olduğu görülmektedir. Monitör yerleşimi planında mümkün olan en az sayıda monitör kullanımı dikkate alındığı için denklem (1) in çok sayıda farklı çözümleri mümkündür. Monitör sayısı artırılarak farklı çözümlerin sayısı azaltılabilir. Bu

durumda genetik algoritmanın başarımının popülasyon büyüklüğü ile ilgisi daha net bir şekilde çıkacağını düşünmekteyiz.

Tablo 1: $th = 0.1$ değerine göre farklı popülasyonlarda IEEE24-Bus sistemlerinde ortalama hata değerleri.

| BusI\Pop | 20 | 50 | 100 | 200 | 300 |
|----------|------|------|------|-------|-------|
| 2 | 1.2 | 1.7 | 2 | 2.001 | 2.002 |
| 4 | 1.9 | 1.8 | 2.9 | 2.901 | 2.902 |
| 5 | 0.9 | 0.8 | 2.2 | 2.201 | 2.202 |
| 9 | 1.6 | 2.5 | 1.9 | 1.901 | 1.902 |
| 10 | 1.9 | 1.3 | 1.9 | 1.901 | 1.902 |
| 11 | 2.4 | 2.1 | 3.4 | 3.401 | 3.402 |
| 13 | 3 | 4.2 | 2.1 | 2.101 | 2.102 |
| 18 | 1.8 | 1.3 | 3.5 | 3.501 | 3.502 |
| 21 | 2.3 | 1.3 | 0.8 | 0.801 | 0.802 |
| 23 | 4.4 | 6.9 | 0.9 | 0.901 | 0.902 |
| ORTALAMA | 2.14 | 2.39 | 2.16 | 2.161 | 2.162 |

Tablo 2’de IEEE 24-Bus sistemi için $th = 0.2$ eşik değerlerinde BusI = [2, 4, 5, 9, 10, 11, 13, 18, 21, 23] busları için ortalama hata kestirim değerleri sunulmuştur. Problem popülasyon büyüklüğü pop = [20, 50, 100, 200, 300] olacak şekilde çözülmüştür. Bus18 ve Bus23 de popülasyon büyüklüğü arttıkça başarımda iyileşmeler görülmektedir.

Tablo 2: $th = 0.2$ değerine göre farklı popülasyonlarda IEEE24-Bus sistemlerinde ortalama hata değerleri.

| BusI \ Pop | 20 | 50 | 100 | 200 | 300 |
|------------|------|------|------|------|------|
| 2 | 1.9 | 3 | 1.9 | 1.2 | 3 |
| 4 | 1.9 | 1 | 2.7 | 2.1 | 2.2 |
| 5 | 1.4 | 1.6 | 1.9 | 2.4 | 1.9 |
| 9 | 2.5 | 2.1 | 1.9 | 2.8 | 1.4 |
| 10 | 3.2 | 1.8 | 1.2 | 2.2 | 3.1 |
| 11 | 2.2 | 1.3 | 5.7 | 2.3 | 2.3 |
| 13 | 1.5 | 2.2 | 4.2 | 1.8 | 1.6 |
| 18 | 1.6 | 1.3 | 1.1 | 1.4 | 0.9 |
| 21 | 2.3 | 1.5 | 1.3 | 2 | 3.7 |
| 23 | 2.1 | 3.3 | 1.9 | 1.3 | 1.7 |
| ORTALAMA | 2.06 | 1.91 | 2.36 | 1.95 | 2.18 |

Tablo 3’de IEEE 24-Bus sisteminde $th = 0.3$ eşik değeri için monitör edilmeyen buslardaki gerilim düşümlerinin sayıları kestirilmeye çalışılmıştır. Bus I = [2, 4, 5, 9, 10, 11, 13, 18, 21, 23] busları için bulunan ortalama hata değerleri tabloda sunulmuştur. Daha önceki çalışmalarda olduğu gibi popülasyon büyüklüğü pop = [20, 50, 100, 200, 300] olacak şekilde alınmıştır. Tablo 3’deki değerler incelendiğinde başarımın popülasyon büyüklüğü ile alakalı olmadığı görülmüyor. Sadece Bus13 ve Bus23 de popülasyon büyüklüğü arttıkça hata sayısı azalmaktadır. Tablo 1 ve Tablo 2değerleri ile karşılaştırıldığında elde edilen hata değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir.

Tablo 3: $th = 0.3$ değerine göre farklı popülasyonlarda IEEE24-Bus sistemlerinde ortalama hata değerleri.

| Bus\Pop | 20 | 50 | 100 | 200 | 300 |
|----------|------|------|------|------|------|
| 2 | 1 | 1.2 | 1.1 | 1.3 | 2 |
| 4 | 1.9 | 0.7 | 1.2 | 1.1 | 1.6 |
| 5 | 2.3 | 1.3 | 2.4 | 3 | 1.6 |
| 9 | 1.1 | 2.1 | 2.5 | 2.1 | 1.8 |
| 10 | 1 | 1.4 | 1.2 | 1.4 | 1.2 |
| 11 | 0.9 | 0.6 | 1.9 | 1.5 | 1.2 |
| 13 | 2.1 | 2.8 | 1.8 | 0.7 | 0.7 |
| 18 | 0.3 | 1.5 | 0.6 | 1.5 | 0.5 |
| 21 | 1.1 | 1.7 | 0.5 | 1.4 | 0.4 |
| 23 | 1.8 | 0.9 | 1 | 1.2 | 2.3 |
| ORTALAMA | 1.35 | 1.42 | 1.42 | 1.52 | 1.33 |

Tablo 4: $th = 0.1$ değerine göre farklı popülasyonlarda IEEE30-Bus sistemlerinde ortalama hata değerleri.

| Bus\Pop | 20 | 50 | 100 | 200 | 300 |
|----------|------|------|------|------|------|
| 2 | 2.5 | 1.4 | 1.9 | 2.7 | 1.5 |
| 4 | 2.5 | 1.3 | 2.3 | 1.8 | 1 |
| 5 | 0.9 | 2.4 | 0.7 | 0.7 | 0.6 |
| 9 | 0.1 | 0.9 | 0.9 | 0.1 | 0 |
| 10 | 0.8 | 0.7 | 0.1 | 0.6 | 0.6 |
| 12 | 0.2 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 |
| 18 | 1 | 0.8 | 0.5 | 0.4 | 1.4 |
| 21 | 1.2 | 1.3 | 2.4 | 1.4 | 1.5 |
| 22 | 1.2 | 1.8 | 1.4 | 1.3 | 1.1 |
| 29 | 0.7 | 0.8 | 2.7 | 2.3 | 1.3 |
| ORTALAMA | 1.11 | 1.14 | 1.29 | 1.14 | 0.91 |

Genetik algoritma ile gerilim düşümü kestirimi IEEE 30-Bus sistemi için de denemiştir. IEEE 30-Bus sisteminde monitör edilen buslar $m = [11,13,4,17,9,23,26,30]$ şeklindedir. Kestirimi yapılacak olan buslar monitör edilmeyen buslar içerisinde rastgele seçilmiştir. Tablo 4’de bu bus numaraları ve farklı

popülasyon büyüklüklerine göre ortalama hata sunulmuştur. Görüldüğü gibi $th = 0.1$ eşik değeri için hata ortalamaları 1.29 dan küçük çıkmaktadır.

Tablo 5'te IEEE 30-Bus sistemi için $th = 0.2$ değeri elde edilen ortalama hatalar sunulmuştur. $th = 0.2$ için elde edilen değerlerin $th = 0.1$ için elde edilen değerlerden daha düşük olduğu kestirim daha başarılı olduğu görülmektedir.

Tablo 5: $th = 0.2$ değerine göre farklı popülasyonlarda IEEE30-Bus sistemlerinde ortalama hata değerleri.

| Bus\Pop | 20 | 50 | 100 | 200 | 300 |
|----------|------|------|------|------|------|
| 2 | 1.5 | 1.3 | 0.8 | 0.9 | 2.6 |
| 4 | 1.2 | 2.3 | 1 | 1.7 | 0.4 |
| 5 | 1.1 | 1.2 | 0.7 | 1.4 | 0.7 |
| 9 | 0 | 0.2 | 1 | 0.2 | 0.4 |
| 10 | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.8 | 0.1 |
| 12 | 0.2 | 0 | 0.9 | 0 | 0 |
| 18 | 0.5 | 2.6 | 1.3 | 1.1 | 1.1 |
| 21 | 1.7 | 1.9 | 1 | 1.7 | 1.5 |
| 22 | 1.5 | 1.5 | 3.8 | 1.2 | 2 |
| 29 | 1.1 | 0.7 | 0.5 | 1.1 | 1.4 |
| ORTALAMA | 0.92 | 1.22 | 1.15 | 1.01 | 1.02 |

Tablo 6'da IEEE 30-Bus sistemi için $th = 0.3$ olacak şekilde yapılan kestirimlerin ortalama hataları sunulmuştur.

Tablo 6: $th = 0.3$ değerine göre farklı popülasyonlarda IEEE30-Bus sistemlerinde ortalama hata değerleri.

| Bus\Pop | 20 | 50 | 100 | 200 | 300 |
|----------|-----|------|------|-----|------|
| 2 | 1.2 | 1 | 1.3 | 1 | 0.8 |
| 4 | 2 | 0.7 | 1.6 | 1.3 | 1.6 |
| 5 | 1.1 | 1.5 | 1.2 | 2 | 0.8 |
| 9 | 0.3 | 0.4 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 1.7 | 1.1 | 2.4 | 2.7 | 1.8 |
| 12 | 0.7 | 0.8 | 0.2 | 0.3 | 0 |
| 18 | 1.5 | 1.9 | 1.6 | 1.4 | 1.3 |
| 21 | 1.1 | 1.3 | 1.3 | 1.6 | 2 |
| 22 | 2.8 | 0.8 | 3 | 1.3 | 1.3 |
| 29 | 0.6 | 0.8 | 0.9 | 1.4 | 0.5 |
| ORTALAMA | 1.3 | 1.03 | 1.35 | 1.3 | 1.01 |

IEEE 30-Bus sisteminin farklı eşik değerleri için yapılan benzetim sonuçları ile elde edilen ortalama hataların 2 den küçük olması, genetik algoritmanın kabul edilebilir sınırlar içerisinde başarılı bir şekilde kestirim yapabildiğini göstermektedir.

Tablo 7: $th = 0.1$ değerine göre farklı popülasyonlarda IEEE 118-Bus sistemlerinde ortalama hata değerleri.

| Bus\Pop | 20 | 50 | 100 | 200 | 300 |
|-----------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| 2 | 0.6 | 3.1 | 0.6 | 0.6 | 0.5 |
| 12 | 1.7 | 1.6 | 1.3 | 1 | 2.6 |
| 21 | 0.6 | 0.9 | 0.7 | 0.5 | 1 |
| 29 | 1.1 | 1.3 | 1 | 0.7 | 1.2 |
| 37 | 1.8 | 1.5 | 1.5 | 2.5 | 1.2 |
| 46 | 0.7 | 1.5 | 1.9 | 1 | 1 |
| 60 | 1.2 | 1.3 | 1.5 | 0.9 | 1.4 |
| 76 | 0.7 | 1.5 | 0.8 | 2.7 | 0.7 |
| 104 | 1.8 | 1.6 | 1 | 1.5 | 0.9 |
| 109 | 0.8 | 1.1 | 1.6 | 0.7 | 1.7 |
| ORTALAMA | 1.1 | 1.54 | 1.19 | 1.21 | 1.22 |

Tablo 8: $th = 0.2$ değerine göre farklı popülasyonlarda IEEE 118-Bus sistemlerinde ortalama hata değerleri.

| Bus\Pop | 20 | 50 | 100 | 200 | 300 |
|-----------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| 2 | 0.6 | 0.3 | 1 | 0.5 | 0.5 |
| 12 | 1.7 | 3.8 | 2.3 | 4.5 | 1.4 |
| 21 | 0.7 | 1.2 | 0.3 | 1.1 | 0.8 |
| 29 | 0.6 | 1 | 1.2 | 1.2 | 1.3 |
| 37 | 1.5 | 0.7 | 2.7 | 0.9 | 0.5 |
| 46 | 3.7 | 1.5 | 1.5 | 1 | 3.2 |
| 60 | 2.6 | 0.8 | 0.7 | 1.5 | 1.8 |
| 76 | 0.9 | 2 | 1.1 | 1.2 | 1.8 |
| 104 | 0.4 | 0.8 | 1.5 | 3 | 1.7 |
| 109 | 1.3 | 0.9 | 1.2 | 0.9 | 0.9 |
| ORTALAMA | 1.4 | 1.3 | 1.35 | 1.58 | 1.39 |

Tablo 9: $th:0.3$ değerine göre farklı popülasyonlarda IEEE 118-Bus sistemlerinde ortalama hata değerleri.

| Bus\Pop | 20 | 50 | 100 | 200 | 300 |
|----------|------|------|------|------|------|
| 2 | 0.6 | 0.2 | 0.8 | 0.7 | 0.8 |
| 12 | 1.6 | 1.9 | 1.7 | 2.4 | 1.6 |
| 21 | 0.9 | 0.7 | 0.8 | 0.4 | 0.4 |
| 29 | 1.6 | 1.4 | 1.4 | 2 | 2.1 |
| 37 | 1.4 | 1.2 | 1.2 | 0.7 | 0.8 |
| 46 | 1.5 | 1.5 | 1.9 | 0.8 | 1 |
| 60 | 1.5 | 2.2 | 1.6 | 1.9 | 1.5 |
| 76 | 0.8 | 1.8 | 1.2 | 0.8 | 0.8 |
| 104 | 0.7 | 1.1 | 1.1 | 1 | 0.4 |
| 109 | 1.1 | 2.7 | 1.1 | 4.2 | 2 |
| ORTALAMA | 1.17 | 1.47 | 1.28 | 1.49 | 1.14 |

Kullanılan metodun başarımını tes etmek amacı ile IEEE 118-Bus sistemi için de farklı eşit değerleri için kestirim yapılmıştır. IEEE 118-Bus sisteminde monitör edilen buslar $m = [10,13,16,18,22,24,25,26,33,36,40,43,45,47,48,57,58,59,62,67,72,73,75,79,102,113,115,117,118]$ şeklindedir. Kestirimi yapılacak buslar monitör edilemeyen buslar içerisinde rasgele seçilmiştir.

Tablo 7, Tablo 8, Tablo 9'da farklı eşik değerleri ve popülasyon büyüklükleri için elde edilen ortalama hatalar sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde hata değerlerinin büyük çoğunluğunun 2 den küçük olduğu görülmektedir. Ayrıca popülasyon büyüklüğü ile başarımlar arasındaki ilişkinin zayıf olduğu da görülmektedir.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada elektrik dağıtım sistemlerinde meydana gelen gerilim düşmelerinin genetik algoritma ile kestirimi amaçlanmıştır. Elektrik dağıtım şebekelerindeki gerilim düşüm sayılarının bilinebilmesi için sistemdeki tüm buslara gerilim düşümlerini kaydeden monitör cihazlarının yerleştirilmesi gerekmektedir. Elektrik dağıtım sistemindeki bus sayısının fazla olması sebebi ile tüm buslara monitör yerleştirmek ekonomik değildir. Bunun yerine sistemde meydana gelen gerilim düşümlerinin tamamını gözlemleyecek şekilde daha az sayıdaki buslara monitör yerleştirmesi tercih edilmektedir. Monitör edilmeyen buslardaki gerilim düşüm sayıları farklı kestirim metotları ile bulunmaya çalışılmaktadır.

Bu çalışmada genetik algoritma kullanılarak monitör edilmeyen busların gerilim düşüm sayıları kestirilmeye çalışılmıştır. Geliştirilen algoritma IEEE 24-Bus, IEEE 30-Bus ve IEEE 118-Bus sistemlerine uygulanmıştır. Her dağıtım sistemi için monitör edilmeyen buslar içerisinde rasgele seçilen busların gerilim düşüm sayıları kestirilmiştir. Her durum için 10 adet benzetim yapılarak elde edilen hata değerlerin ortalamaları tablolar halinde sunulmuştur. Ayrıca popülasyon büyüklüğünün metodun başarımı üzerine etkileri de incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde genetik algoritmanın amaçlanan kestirimi düşük hata değerleri ile kabul edilebilir hata sınırları içerisinde gerçekleştirdiği ve popülasyon büyüklüğünün başarımlar üzerindeki etkisinin sınırlı olduğu gözlemlenmiştir. Büyük popülasyonlar ile yapılan benzetimlerin süresinin uzun olması ve daha fazla hesap günü tükettikleri dikkate alınırsa, küçük popülasyonlar ile çalışmanın daha doğru olduğu anlaşılmaktadır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] M.H.J. Bollen, What is power quality?, *Electric Power Systems Research*. 66 (2003) 5-14. doi:10.1016/S0378-7796(03)00067-1.
- [2] F. Apay, Güç kalitesi parametrelerinin ölçülmesi ve değerlendirilmesi, (2008). <http://dspace.yildiz.edu.tr/xmlui/handle/1/7750> (erişim 19 Nisan 2022).
- [3] E. Özdemir, Elektrik Enerjisi Kalitesi, içinde: *EVK 2009, Elektrik Mühendisleri Odası*, Kocaeli, Turkey, 2009: ss. 280-285. https://www.emo.org.tr/ekler/fe9a35b14808387_ek.pdf.
- [4] Ö. Gencer, S. Öztürk, E. Yeğin, K. Karaarslan, Gerilim Düşümü Kompanze Yöntemleri, içinde: *EVK 2005, EMO*, Kocaeli, Turkey, 2005: ss. 66-70. <https://avesis.kocaeli.edu.tr/yayin/70198c1a-497e-4424-9a47-9e502eab2b54/gerilim-dusumu-kompanze-yontemleri> (erişim 14 Nisan 2022).
- [5] Ş. Karadayı, Elektrik enerji sistemlerinde gerilim düşümlerinin etkileri, Master's Thesis, Sakarya Üniversitesi, 2007.
- [6] Ç. Arıkan, M. Özdemir, Güç Sistemlerinde Görülen Bazı Güç Kalitesi Bozunumlarının Belirlenmesinde Dalgacık Yaklaşımı ve Çarpıklık - Basıklık Katsayıları, içinde: *ELECO 2012 Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, EMO*, Bursa, Turkey, 2012: ss. 128-132. https://www.emo.org.tr/ekler/aad65521929e2b4_ek.pdf (erişim 14 Nisan 2022).
- [7] E. Espinosa-Juarez, A. Hernández, A Method for Voltage Sag State Estimation in Power Systems, *IEEE Transactions on Power Delivery*. 22 (2007) 2517-2526. doi:10.1109/TPWRD.2007.905587.
- [8] G. Olguin, Stochastic Assessment of Voltage Dips Caused by Faults in Large Transmission System, Thesis, CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, 2003. <http://webfiles.portal.chalmers.se/et/Lic/OlguinGabrielLic.pdf> (erişim 14 Nisan 2022).
- [9] E. Espinosa-Juarez, A. Hernández, Voltage sag state estimation: An approach based on the concept of fault positions, içinde: *Proc. Int. Conf. on Harmonics and Quality of Power (ICHQP-2006)*, Cascais, Portugal, 2006.
- [10] G. Olguin, F. Vuinovich, M.H.J. Bollen, An optimal monitoring program for obtaining Voltage sag system indexes, *IEEE Transactions on Power Systems*. 21 (2006) 378-384. doi:10.1109/TPWRS.2005.857837.
- [11] M. Turan, H. Karci, Elektrik Dağıtım Sistemlerinde Esnek Hesaplama Yöntemleri ile Güç Kalite İzleyici Yerleşimi, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*. 6 (2021) 102-110. doi:10.46578/humder.979632.
- [12] J.W. Eaton, D. Bateman, S. Hauberg, R. Wehbring, GNU Octave version 7.1.0 manual: a high-level interactive language for numerical computations, 2022. <https://www.gnu.org/software/octave/doc/v7.1.0/>.
- [13] MATPOWER/matpower, *MATPOWER Development*, 2022. https://github.com/MATPOWER/matpower/blob/5738668633cee06f6d45ce5d52290a472272cb01/d_ata/case24_ieee_rts.m (erişim 14 Nisan 2022).
- [14] pg_tca30bus, (t.y.). https://labs.ece.uw.edu/pstca/pf30/pg_tca30bus.htm (erişim 14 Nisan 2022).
- [15] pg_tca118bus, (t.y.). https://labs.ece.uw.edu/pstca/pf118/pg_tca118bus.htm (erişim 14 Nisan 2022).