



Elektrik Dağıtım Sistemlerinde Esnek Hesaplama Yöntemleri ile Güç Kalite İzleyici Yerleşimi

Mustafa TURAN¹, Hasari KARCI²

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

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

Öz

Bu çalışmada, elektrik dağıtım sisteminde güç kalitesi problemlerinden biri olan gerilim düşümlerini kaydetmek için gerekli olan minimum sayıdaki izleyicinin yerleşim planını elde etme amaçlanmıştır. IEEE 24-Bus, IEEE 30-Bus, IEEE 118-Bus ve IEEE 50 generator 145-Bus test sistemlerinde üç fazlı arızaların sistem boyunca yarattığı voltaj düşümleri hesaplanmıştır. Düşük voltaj değerleri voltaj eşik değeri ile karşılaştırılarak hangi baralarda izleyici gerektiği bilgisi çıkarılmıştır. Elde edilen izleyici yerleşim planındaki izleyici sayısı ikili tamsayılı programlama ve genetik algoritma kullanılarak minimize edilmeye çalışılmıştır. Optimize edilmiş yerleşim planları tablolar halinde sunulmuştur. Benzetim sonuçları dikkate alındığında bara sayısının göreceli az olduğu IEEE 24-Bus, IEEE 30-Bus test sistemlerinde genetik algoritmanın ikili tamsayılı programlama ile benzer performansa sahiptir. Ancak, IEEE 118-Bus ve IEEE 50 generator 145-Bus test sistemlerinde bara sayısı arttıkça genetik algoritmanın izleyici sayısını minimize etmekteki performansının düştüğü görülmüştür. Bununla beraber genetik algoritmanın ikili tamsayılı programlama ile elde edilemeyen farklı yerleşim planları elde edilebildiği görülmüştür.

Makale Bilgisi

Başvuru: 06/08/2021

Yayın: 31/08/2021

Anahtar Kelimeler

Güç Kalitesi
Simetrik Arızalar
İkili Tamsayılı
Programlama
Genetik Algoritma

Keywords

Power Quality
Symmetrical Faults
Binary Integer
Programming
Genetic Algorithm

Power Quality Monitor Placement with Soft-Computing Methods in Electricity Distribution System

Abstract

In this study, it is aimed to obtain the layout of the minimum number of monitors required to record voltage drops, which is one of the power quality problems in the electrical distribution system. In IEEE 24-Bus, IEEE 30-Bus, IEEE 118-Bus and IEEE 50 generator 145-Bus test systems, voltage drops created by three-phase faults throughout the system were calculated. By comparing the low voltage values with the voltage threshold value, the information on which busbars need a monitor is obtained. The number of monitors in the resulting monitor layout was tried to be minimized by using binary integer programming and genetic algorithm. Optimized layouts are presented in tables. Considering the simulation results, the genetic algorithm has similar performance with binary integer programming in IEEE 24-Bus and IEEE 30-Bus test systems, where the number of busbars are relatively low. However, in the IEEE 118-Bus and IEEE 50 generator 145-Bus test systems, the performance of the genetic algorithm in minimizing the number of monitors decreased as the number of busses increased. However, it has been seen that genetic algorithm can obtain different layouts that cannot be obtained with binary integer programming.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

TEİAŞ'ın 2020 faaliyet raporuna [1] göre 2020 yılı sonunda ülkemizin kurulu gücü bir önceki yıla göre % 5,1 artış göstererek 95.890,6 MW olmuştur. Bu % 5,1'lik artışa baktığımızda ise termik santrallerde 130,8

MW, hidrolik santrallerde 2.480,9 MW, jeotermal santrallerde 98,5 MW, rüzgâr santrallerinde 1.241,2 MW ve güneş santrallerindeki 672,2 MW'lık artış ile toplam 4.623,6 MW artış olduğu görülmüştür. Bu gücün miktarı kadar kalitesi de hem üretici hem tüketici açısından önemli olmaktadır. İnsanların ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisi, teknolojik gelişmelere bağlı olarak sürekli artmakta, fakat elektriğin üretimi, iletimi ve dağıtımını sağlayan altyapı aynı hızla gelişme göstermemektedir. Bu durum güç kalitesi problemlerinin oluşmasına neden olmaktadır.

Güç kalitesi problemi nedeniyle yaşanan uzun ya da kısa süreli elektrik kesintileri evsel ve endüstriyel cihazların bozulmasına neden olabilmektedir. Özellikle sanayide yaşanan uzun ya da kısa süreli elektrik kesintileri cihazların bozulmasına neden olmakta ve enerji kaynağının kesilmesinden dolayı uzun ya da kısa bir süre için sanayide üretim durma noktasına gelmektedir. Görüldüğü gibi güç kalitesi problemleri nedeniyle günlük hayatı etkileyen durumlar hem elektriğin üretimi, iletimi ve dağıtımında rol alan firmalar açısından hem de tüketici açısından maliyet olarak geri dönmektedir. Bu durum güç kalitesinin önemini ortaya koymaktadır.

Güç kalitesi terimi, akımın kalitesi ile gerilimin kalitesinin toplamını ifade eder [2]. Ancak akım kalitesi sisteme bağlanan yüklere de bağlı olduğundan ve üreticinin kontrolünde olmadığından, daha çok voltaj kalitesi öne çıkmaktadır. Büyük yüklerin sisteme bağlanması, lineer olmayan cihazlar, harmonik üreten cihazlar, vb. cihazlar sistemdeki voltajın dalga şeklini, frekansını etkileyerek ve istenmeyen harmonikler üreterek güç bozulmalarına sebep olurlar. Güç kalitesi problemleri geçici olaylar, kısa süreli gerilim değişimleri, uzun süreli gerilim değişimleri, gerilim dengesizliği, dalga şeklindeki bozulmalar, gerilim dalgalanması ve frekans değişimleri şeklinde sınıflandırılabilir. Güç kalitesi problemlerinin türleri ve matematiksel modelleri [3,4]'de detaylı olarak verilmiştir.

Temel güç kalitesi problemlerinden olan gerilim düşümlerinin izlenmesi için gerilim izleyicileri kullanılır. Bu izleyiciler sayesinde, elektrik dağıtım şebekesindeki hangi baralarda ne sıklıkla voltaj düşümleri gerçekleştiği izlenebilir. İzleyicilerin pahalı olması sebebi ile az sayıdaki izleyiciyi uygun baralara yerleştirerek tüm baralardaki voltaj düşümlerini izlemek daha ekonomiktir. Burada temel problem, izleyicileri baralarda meydana gelen voltaj düşümlerinin en az bir izleyici tarafından kaydedilecek şekilde yerleştirirken, izleyici sayısını minimum tutmaktır.

G. Olgun, vd. büyük bir iletim sisteminde gerilim düşümünün kaydedilmesi amacıyla izleyici yerleştirme yöntemi üzerine çalışmışlardır [5]. İzleyici konumlarının yerleşimi amacıyla tamsayı programlama modelini önermişlerdir. İzleyici sayısı ve sistemdeki konumlarını bulmaya yarayan bir tamsayı doğrusal optimizasyon problemi ifade edilmiştir. Yöntemi test etmek amacıyla 87 baradan oluşan bir sistem üzerine uygulanmış olup ayrıca sistem üzerindeki çözüm alanlarını bulmak amacıyla genetik algorithmadan faydalanılmıştır. Önerilen yöntem ile sınırlı sayıda izleyici ile voltaj düşümleri açısından iletim sistemlerinin gerçek performansı ile ilgili bir fikir verebileceği anlaşılmıştır.

K. Mazlumi, vd. izleyicilerin en uygun yerini tespit eden izleme programı üzerinde çalışmışlardır [6]. Arıza konumlarının hem bara hem de iletim hatlarında olduğu görülmüştür. Dengeli ve dengesiz arızalar dikkate alınarak en uygun izleme konumlarını baraların gerilim düşümlerini tespit etmek amacıyla bir bilgisayar algoritması geliştirilmiştir. Optimal problemi çözmek için genetik algorithmadan faydalanılmış olup yöntem 42 baraya sahip Tahran İletim Ağı üzerinde test edilmiştir. Önerilen yöntemden elde edilen sonuçlar yöntemin başarılı olduğunu göstermiştir.

S. Haotian, vd. arıza tespiti ile bozulma toleransını dikkate alarak voltaj düşümü izleyicileri için iki seviyeli en uygun izleme üzerinde çalışmışlardır [7]. İzleyici Erişim Alanı MRA (Monitor Reaching Area) problemi kurulmuş ve elde edilen ikili optimizasyon problemini çözmek amacıyla yer çekimi arama algoritması

(BGSA kullanılmıştır. Sonra bozulma toleransını ölçerek ve en yüksek tolerans indeks değerine sahip en uygun çözümü belirleyerek 39 baralı test sistemine uygulanmış olup yöntemin uygulanabilirliği ve verimliliği doğrulanmıştır.

Bu çalışmada, IEEE 24-Bus [8], IEEE 30-Bus [9], IEEE 118-Bus [10] ve IEEE 50 generator 145-Bus [11] test sistemlerinin modelleri MATLAB kullanılarak oluşturulmuştur. Üç fazlı arızaların meydana getirdiği voltaj düşümlerini izlemek için uygun olan izleyici yerleşim planı ikili tamsayı programlama ve genetik algoritma kullanılarak oluşturulmaya çalışılmıştır. Bölüm 2’de üç fazlı arızalardan dolayı baralarda meydana gelen voltaj düşümleri anlatılmıştır. Bölüm 3’de ikili tamsayı programlama ve genetik algoritma kullanılarak elde edilen sonuçlar tablolar halinde sunulmuş ve sonuçlar yorumlanmıştır. Kullanılan metodların performansları sonuç bölümünde özetlenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

Yaygın görülen güç kalitesi problemlerinden olan gerilim düşümü, elektrik dağıtım sisteminde meydana gelen ani voltaj düşüşünü ifade eder. Herhangi bir arızanın neden olduğu gerilim düşümü tüm sistem boyunca yayılır ve sistem baralarında voltaj düşüşüne sebep olur [12]. Elektrik dağıtım sistemlerinde hat arızaları bara arızalarından daha çok olmakta ve tek faz, iki faz, iki faz toprak ve üç fazlı arızalar şeklinde sınıflandırılırlar. Bunlardan üç fazlı arızalar simetrik arızalar iken, diğerleri asimetrik olan arızalardır. Arıza öncesi bara gerilimlerini 1 pu (per unit) kabul edersek üç fazlı arıza sırasında tüm baralarda oluşan gerilimleri içeren V_{dip} matrisi Denklem 0.1 ile ifade edilir [5].

$$V_{dip} = ones - Z inv(diag Z) \quad 0.1$$

Bara sayısı N olan bir sistem için, **ones** matrisi $N \times N$ boyutlu birlerden oluşan bir matris iken, Z sistemin empedans matrisidir. **diagZ** ise empedans matrisinin köşegen elemanlarının sıfırlanması ile elde edilir.

Elektrik dağıtım sistemindeki voltaj düşümlerini kaydetmek maksadı ile yerleştirilen izleyicilerin sistemdeki tüm voltaj düşümlerini kaydetmesi zorunlu şarttır. Bu şartı sağlayan izleyicilerin sayısını minimumda tutmak ise maliyeti düşürecektir.

İzleyici erişim alanı **MRA** matrisi elektrik dağıtım şebekesine yerleştirilen izleyicilerin gözlemleyebildiği alanı ifade etsin. Voltaj eşik değeri p , 0 ve 1 pu arasında değer alır. p değeri 1 pu değerine yaklaştıkça izleyicinin erişim alanı artmakta 0 pu değerinde ise izleyici sadece bağlı bulunduğu baradaki üç fazlı arızayı kaydedebilmektedir.

p eşik değeri için izleyici erişim alanı matrisi Denklem 0.2 deki ifade ile elde edilir.

$$MRA_p = MRA_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } V_{ij} \leq p \\ 0 & \text{Eğer } V_{ij} > p \end{cases} \quad 0.2$$

Denklem 0.1’deki V_{dip} voltaj değerleri p eşik değeri ile karşılaştırılır, voltaj değerinin küçük eşit olması durumunda MRA_{ij} 1 alınır, diğer durumda ise 0 alınır. **MRA** matrisinin j sütununa bakarak j barasına yerleştirilen bir izleyicinin i barasında meydana gelen arızayı kaydedip etmeyeceği anlaşılabilir.

İzleyicilerin bağlandığı baraları gösteren N uzunluğundaki X konum vektörü 1 ve 0 lardan oluşur. MRA_p matrisinin tüm elemanları kontrol edilerek i barasında bir izleyiciye ihtiyaç olup olmadığına karar verilir.

$$X_I = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } i \text{ 'de monitör gerekiyorsa} \\ 0, & \text{Eğer } i \text{ 'de monitör gerekmiyorsa} \end{cases} \quad \forall_{i,j} \quad 0.3$$

Denklem 0.3'de görüldüğü gibi 1 değeri izleyicinin gerekli olduğu anlamına gelirken 0 değeri ise ilgili barada izleyiciye ihtiyaç olmadığı anlamına gelmektedir.

Konum vektörü X ile MRA_p çarpılarak elde edilen $XMRA_p$ vektörü analiz edildiğinde arıza konumunu görebilen izleyici sayısını verir. Yani $XMRA_p$ arıza konumunu görebilen izleyici sayısını gösteren bir satır vektörüdür. Burada satır vektörünün uzunluğu F_p aynı zamanda baralardan kaynaklı arıza sayısına eşittir. Baralardan kaynaklı arıza sayısı ise herhangi bir elektrik dağıtım sisteminde mevcut olan bara sayısı kadardır.

İzleyici sayısını minimize etmek için optimizasyon problemi 0.4 numaralı denklemdeki gibi ifade edilir [5]. Denklemde bulunan b değerleri baranın kaç adet izleyici tarafından izlenmesi gerektiğini ifade eder. Bu çalışmada, her bir baranın en az bir izleyici tarafından izlenecek şekilde optimizasyon problemi oluşturulmuştur.

$$\begin{aligned} & \min(\chi_1 + \chi_2 + \dots, \chi_{Fp}) & 0.4 \\ & MRA_{11}\chi_1 + MRA_{21}\chi_2 + \dots MRA_{n1}\chi_{Fp} = b_1 \\ & MRA_{12}\chi_1 + MRA_{22}\chi_2 + \dots MRA_{nFp}\chi_{Fp} = b_2 \\ & MRA_{13}\chi_1 + MRA_{23}\chi_2 + \dots MRA_{nFp}\chi_{Fp} = b_3 \\ & \vdots \\ & MRA_{1Fp}\chi_1 + MRA_{2Fp}\chi_2 + \dots MRA_{nFp}\chi_{Fp} = b_{Fp} \end{aligned}$$

Bu çalışmada gerekli olan en az sayıda izleyiciyi bulmak amacıyla MATLAB tarafından geliştirilen ikili tamsayı programlama ara yüzü ve genetik algoritma ara yüzü kullanılır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

Makalede belirtilen yöntemler sırasıyla 24 baralı, 30 baralı, 118 baralı ve 145 baralı sistemlere uygulanmıştır. Öncelikle, IEEE Test 24-Bus sistemi için üç fazlı arızalar dikkate alınarak, arıza sırasında gerilimleri içeren sistemin V_{aip} matrisi oluşturulmuş. Sonra p voltaj eşiği değeri için, MRA matrisi oluşturulmuştur. X konum vektörünün uzunluğu sistemde 24 bara mevcut olduğu için 24 olarak alınmıştır. Oluşturulan optimizasyon problemi MATLAB'da ikili tamsayı programlama ara yüzü ile 0.9, 0.8, 0.7, 0.6 pu eşik değerleri için çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1: IEEE 24-Bus Test Sistemi İkili Tamsayı Programlama Benzetim Sonuçları

Voltaj Eşik Değeri(p)	İzleyici Konumu	İzleyici Sayısı
0.9	4,7,22	3
0.8	2,4,7,22	4
0.7	4,5,7,22	4
0.6	4,5,7,22,24	5

Görüldüğü gibi eşik değeri 1 pu değerine yaklaştıkça gerekli olan izleyici sayısı azalmaktadır. Ayrıca bu sistemi izleyebilmek için 4,7 ve 22 numaralı baralarda izleyici gerektiği sonucu çıkmaktadır.

Aynı problem MATLAB'da genetik algoritma ile de çözülmüştür. Genetik algoritmanın rassal özellikleri dikkate alınarak her problem 10 kez tekrar edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2: IEEE 24 Bus Test Sistemi Genetik Algoritma Benzetim Sonuçları

No	İzleyici Konumu (p=0.9 pu)	İzleyici Konumu (p=0.8 pu)	İzleyici Konumu (p=0.7 pu)	İzleyici Konumu (p=0.6 pu)
1	4,7,22	1,4,6,7,11,12,20,21, 22,23,24	2,4,7,12,15,20,22	2,3,4,5,6,7,12,22
2	4,7,22	1,4,5,7,13,14,22	1,4,7,20,22,23	3,4,5,6,7,8,14,17,18,19 , 20,22,24
3	4,7,22	4,5,7,22	2,4,6,7,8,12,16,19,20,22	1,2,3,4,7,11,15,16,22
4	3,4,7,11,13,16,22, 24	2,4,7,22,24	4,5,7,9,22	4,5,7,22,24
5	4,7,22	1,4,7,18,19,22,23	2,4,5,7,20,21,22,23	1,2,4,6,7,8,10,11,13,22 , 24
6	4,7,22	4,5,7,20,22,23	2,4,7,22	2,3,4,7,22,23
7	4,7,22	4,5,7,9,22	2,4,5,7,22	2,4,7,9,11,13,15,16,22, 24
8	2,4,6,7,18,22	1,4,5,7,10,14,19,20, 21,22	2,3,4,7,22	4,5,7,22,24
9	2,4,7,11,20,22	4,5,7,22	2,4,7,19,22	4,5,7,8,9,10,11,14,16, 18,19,22,23,24
10	2,3,4,5,8,10,17,22	1,4,7,16,22	1,4,7,14,22	1,4,7,17,22,24

Tablo 1 ve Tablo 2 karşılaştırıldığında, 0.9 voltaj eşiği değeri için Tablo 1'e göre sırasıyla 4, 7, 22 numaralı baralara yerleştirilmek üzere 3 izleyiciye ihtiyaç vardır. Tablo 2'de 1,2,3,5,6 ve 7 numaralı benzetim sonuçlarında sırasıyla 4,7 ve 22 numaralı baralara yerleştirmek üzere 3 izleyiciye ihtiyaç olduğu görülür. Aynı şekilde Tablo 1'de 0.8 pu eşik değeri için sırasıyla 2,4,7 ve 22 numaralı baralara izleyici konulup toplamda 4 izleyiciye ihtiyaç duyulurken Tablo 2'de 3. ve 9. benzetim sonucuna göre 4,5,7 ve 22 numaralı baralara toplamda 4 izleyici yerleşmesi gerekmektedir. Tablo 2 incelendiğinde genetik algoritmanın izleyiciler için farklı konum vektörleri üretebildiği görülmektedir.

Optimizasyon problemi voltaj eşik değeri 0.9, 0.8, 0.7, 0.6 pu değerleri için IEEE 30-Bus Test Sistemi içinde çözüldü. İkili tamsayı programlama metodu ile elde edilen sonuçlar Tablo 3'de sunulmuştur.

Tablo 3: IEEE 30 Bus Test Sistemi İkili Tamsayı Programlama Benzetim Sonuçları

Voltaj Eşik Değeri(p)	İzleyici Konumu	İzleyici Sayısı
0.9	11,13,14,20,23,26,30	7
0.8	11,13,14,20,23,26,30	7
0.7	11,13,14,17,19,23,26,30	8
0.6	11,13,14,16,19,23,26,29	8

Sonuçlar incelendiğinde; 0.9 pu ve 0.8 pu eşik değeri için sırasıyla 11, 13, 14, 20, 23, 26 ve 30 numaralı baralara konumlandırmak üzere 7 adet izleyicinin gerekli olduğu görülürken 0.7 pu ve 0.6 pu eşik değeri için 8 adet izleyicinin gerekli olduğu görülür. Aynı probleme genetik algoritma uygulandığında elde edilen sonuçlar Tablo 4'de sunulmuştur.

Tablo 4: IEEE 30 Bus Test Sistemi Genetik Algoritma Benzetim Sonuçları

No	İzleyici Konumu (p=0.9 pu)	İzleyici Konumu (p=0.8 pu)	İzleyici Konumu (p=0.7 pu)	İzleyici Konumu (p=0.6 pu)
1	11,13,14,18,19,20, 23,26,29	3,6,11,13,14,20,23, 26, 30	11,13,14,16,19,23,26,29	11,13,14,16,19,23,24, 26,29
2	11,13,14,18,19,20, 23,26,29	1,11,12,13,14,19,23, 26,29	2,3,8,11,12,13,14,17,18, 19,22,23,24,26,30	2,8,10,11,13,14,15,17, 18,19,23,26,27,30
3	11,13,14,18,19,20, 23,26,29	1,7,8,11,13,14,18,21, 23,26,29	11,13,14,15,16,18,19,24, , 27,30	11,13,14,17,18,19,23, 26,30
4	11,13,14,18,19,20, 23,26,29	11,13,14,19,23,26,30	11,13,14,17,18,19,23,23 , 29	11,13,14,17,19,23,26, 27,29
5	11,13,14,18,23,26, 29	1,3,11,13,14,18,23, 24,25,26,28,29	1,5,7,8,9,11,13,14,17,18 ,19,20,23,26,30	1,4,7,11,13,14,16,18,19 , 23,26,30
6	11,13,14,18,19,20, 23,26,29	4,5,7,9,11,13,14,17, 18,23,25,26,30	10,11,12,13,14,15,18,20 ,23,25,26,28,30	11,13,14,17,18,23,26, 30
7	5,9,11,12,13,14,23, 26,30	11,13,14,18,23,24,26 ,29	2,6,7,11,12,13,14,16,19, 22,23,25,26,28,29,30	11,13,14,16,17,18,19, 23,26,30
8	11,13,14,18,19,20, 23,26,29	11,13,14,18,23,26,29	1,11,13,14,17,19,23,26, 28,29	3,5,6,8,9,11,13,14,16, 19,20,23,24,26,28,29
9	11,13,14,18,19,20, 23,26,29	11,13,14,23,26,30	11,13,14,16,19,23,26,29	3,4,9,11,13,14,15,17,18 ,23,26,27,29,30
10	3,11,13,14,19,23,26 ,30	3,7,10,11,13,14,15,1 6,19,21,23,26,28,29	4,8,10,11,12,13,14,15,1 6, 18,19,22,23,24,26,29,30	11,13,14,16,19,23,26,2 9

Tablo 4’ de 5. benzetime bakıldığında 0.9 pu eşik değeri için sırasıyla 11, 13, 14, 18, 23, 26 ve 29 numaralı baralarda olmak üzer 7 adet izleyiciye ihtiyaç duyulmaktadır. Tablo 3’te 0.9 pu için elde edilen sonuçlar ve Tablo 4’te 0.9 pu için 5. benzetim sonuçları ile sistemin tümü izlenebilir.

Tablo 5: IEEE 118 Bus Test Sistemi İkili Tamsayı Programlama Benzetim Sonuçları

Voltaj Eşik Değeri(p)	İzleyici Konumu	İzleyici Sayısı
0.9	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	30
0.8	3,10,13,14,16,18,22,23,24,25,26,28,33,36,39,41,43,45,46,47,48,53,57, 59,61,62,67,72,73,74,79,87,97,112,113,117,118	37
0.7	3,10,13,14,16,18,19,21,23,24,25,26,29,33,36,39,41,42,43,45,46,47,48,50, 53,57,58,59,60,62,63,67,72,73,74,79,87,97,98,112,113,115,117,118	44
0.6	3,10,13,14,16,18,19,21,23,24,25,26,29,33,36,39,41,42,43,45,46,47,48,50, 53,57,58,59,60,62,63,67,72,73,74,79,87,97,98,112,113,115,117,118	47

Tablo 5'te IEEE 118-Bus sistem için ikili tamsayı programlama sonuçlarını göstermektedir. İhtiyaç duyulan izleyici sayısı 30 ile 47 arasında değişmektedir.

Tablo 6: IEEE 118-Bus Test Sistemi Genetik Algoritma Benzetim Sonuçları

Voltaj Eşik Değeri(p)	İzleyici Konumu	İzleyici Sayısı
0.9	1,2,5,7,10,11,12,16,18,21,24,25,26,28,33,35,40,41,43,45,47,48,52,53,57,59,62,67,70,72,73,74,76,78,79,83,84,89,90,95,97,98,100,102,109,110,113,118	48
0.8	7,10,11,13,14,15,16,18,22,23,24,25,26,33,36,37,40,42,43,45,46,47,48,52,55,56,57,58,59,62,63,66,67,71,72,73,74,78,79,83,84,87,89,95,111,112,113,114,117,118	50
0.7	1,2,6,10,13,16,17,18,22,24,25,26,30,31,33,36,38,39,40,41,43,44,46,47,48,50,52,57,59,62,67,69,72,73,74,78,79,82,83,84,86,93,95,97,111,113,114,116,117,118	50
0.6	8,9,10,12,13,16,18,20,22,24,25,26,28,33,36,37,40,41,42,43,45,47,48,49,51,53,56,57,58,59,60,62,67,72,73,74,75,76,78,79,82,92,98,101,102,103,104,106,109,113,118	51

IEEE 118-Bus test için optimizasyon problemi genetik algoritma kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 6'da sunulmuştur. Her voltaj eşik değeri için 10 adet benzetim yapılmış, en az sayıda izleyici içeren sonuçlar burada paylaşılmıştır. Sonuçları incelendiğinde ihtiyaç duyulan izleyici sayısının ikili tamsayı programlamaya göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bu da sistemdeki bara sayısı artırılınca genetik algoritmanın performansının düştüğü göstermektedir.

Tablo 7'da IEEE 145-Bus sistemin test sonuçlarını göstermektedir. Sonuçlar incelendiğinde 0.9 pu için 36 izleyiciye ihtiyaç olduğu, 0.6 pu için 61 izleyiciye ihtiyaç olduğu görülür. Voltaj eşik değeri artıkça ihtiyaç duyulan izleyici sayısının azaldığı görülür.

Tablo 7: IEEE 145-Bus Test Sistemi İkili Tamsayı Programlama Benzetim Sonuçları

Voltaj Eşik Değeri(p)	İzleyici Konumu	İzleyici Sayısı
0.9	11,13,32,43,44,49,50,52,55,58,64,65,68,70,71,75,79,81,84,85,86,87,88,89,96,97,99,101,103, 104,106,109,111,112,129,133	36
0.8	11,13,15,16,21,26,31,33,38,39,40,45,46,49,50,51,52,53,64,65,68,70,71,75,81,84,85,86,87,88,89,91,95,96,97,99,101,103,104,107,109,111,112, 123,133,145	46
0.7	8,11,13,15,16,19,20,26,31,32,38,39,40,43,44,49,50,51,52,53,64,65,68,70,71,75,78,81,84,85,86,87,88,89,91,94,96,97,99,100,101,103,104,107,109,112,123,129,133,140	50
0.6	8,11,13,15,16,18,19,20,21,26,28,29,31,32,38,39,40,43,44,49,50,51,52,53,54,55,56,57,62,64,65,68,70,71,77,78,81,83,84,85,87,88,90,91,95,96,97,98,99,100,101,103,104,106,107,109,112,123,127,133,137	61

Aynı optimizasyon problemi genetik algoritma ile çözülmüş ve sonuçlar Tablo 8’de gösterilmiştir. Her p değeri için yapılan 10 adet benzetimden izleyici sayısı en az olanlar Tablo 8’de sunulmuştur. Daha önceki gözlemlerle uyumlu olarak bara sayısı arttıkça genetik algoritmanın performansı düşmüştür.

Tablo 8: IEEE 145-Bus Test Sistemi Genetik Algoritma Benzetim Sonuçları

Voltaj Eşiği Değeri (p)	İzleyici Konumu	İzleyici Sayısı
0.9	4,7,9,11,13,26,27,28,32,33,35,36,37,38,39,44,46,48,49,50,51,52,54,55,56,62,64,65,67,68,70,71,72,74,77,78,81,82,84,85,88,90,94,96,99,100,101,103,104,105,107,111,112,124,126,133,135,137,144	59
0.8	4,7,8,11,13,19,22,29,30,32,34,35,36,37,38,39,43,44,45,47,49,52,55,57,62,64,65,67,68,69,70,71,77,81,84,85,86,87,88,89,90,94,96,99,100,101,103,105,106,109,112,115,116,118,119,121,122,133,134,136,139,140	62
0.7	7,8,11,12,13,14,18,19,22,24,25,28,29,30,32,34,35,37,39,41,44,46,48,49,50,52,53,54,57,64,65,67,68,70,71,73,74,76,81,83,84,85,86,87,88,91,92,94,96,97,99,100,101,103,109,112,113,115,119,121,126,133,137,143	64
0.6	5,7,11,13,15,19,23,29,32,34,37,39,40,45,46,47,48,49,50,52,53,55,59,63,64,65,67,68,70,71,72,74,79,81,83,84,85,86,87,88,95,96,99,100,101,103,104,105,109,111,112,115,117,121,123,124,125,132,133,135,137,142,143,144	64

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışma, elektrik dağıtım sistemindeki gerilim düşümlerini izlemek için izleyici yerleşim problemi çözülmeye çalışılmıştır. İzleyicilerin maliyetini düşürmek amacıyla, sistemin izleyecek şekilde en az sayıdaki izleyicinin yerleşim yerleri genetik algoritma ve ikili tamsayı programlama ile IEEE 24-Bus, IEEE 30-Bus, IEEE 118-Bus ve IEEE 145-Bus test sistemlerinde bulunmaya çalışılmıştır.

Test sistemlerinin empedans matrisleri oluşturulmuş, üç fazlı arıza esnasındaki bara gerilimleri hesaplanmış ve bu gerilimler ve voltaj eşik değerleri dikkate alınarak MRA matrisleri oluşturulmuştur. Benzetimler MATLAB programı kullanılarak 0.9 pu, 0.8 pu, 0.7 pu ve 0.6 pu voltaj eşik değerleri için yürütülmüştür. Benzetimler sonucunda elde edilen izleyici yerleşim yerleri tablolar şeklinde sunulmuştur. Benzetim sonuçları dikkate alındığında ikili tamsayı programlama tüm sistemi kapsayacak şekilde sonuçlar verirken genetik algoritma ile elde edilen sonuçlarda gerekli olan izleyici sayısı daha yüksek çıkmaktadır. Ancak genetik algoritma ile farklı izleyici yerleşim vektörleri elde etmek mümkün olmaktadır. Bara sayısı arttıkça genetik algoritmanın performansı kötüleşmektedir. Ayrıca, dört test sisteminin sonuçlarına bakıldığında, voltaj eşiği değeri arttıkça sistem için gerekli olan izleyici sayısının azaldığı gözlemlenmektedir. Genetik algoritmanın izleyici yerleşim problemindeki performansını arttırmak için çalışmalarımız devam etmektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

[1] 2020 TEIAS: <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/faaliyet-raporlari>. [Online] 12.03.2021

- [2] M.H.J. Bollen, What is power quality?, Electric Power System Research,(2003) 4-15.
- [3] R. Igual, C. Medrano, F. J. Arcega and G. Mantescu, Integral mathematical model of power quality disturbances, 2018 18th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP), (2018) 1-6
- [4] S. Khokhar, A. A. Mohd Zin, A. S. Mokhtar and N. Ismail, MATLAB/Simulink based modeling and simulation of power quality disturbances, 2014 IEEE Conference on Energy Conversion (CENCON), (2014) 445-450
- [5] G. Olguin, F. Vuinovich ve M.H.J. Bollen, An Optimal Monitoring Program for Obtaining Voltage Sag System Indexes, IEEE Transactions On Power Systems, 21:1 (2006) 378-384
- [6] K. Mazlumi, H. Askarian Abyaneh, Y. Gerivani and I. Rahimi Pordanjani, A New Optimal Meter Placement Method for Obtaining a Transmission System Indices, 2007 IEEE Lausanne Power Tech, (2007)1165-1169
- [7] S. Haotian, D. Xiaotang, Y. Hao, Z. Fang, L. Shanshan, Z. Jun, W. Xinxiang, L. Yongheng, Optimal Monitoring Allocation by Considering Voltage Sags Locating and Disturbance Tolerance, 2018 China International Conference on Electricity Distribution, (2018) 954-959
- [8] 2021 GITHUB: https://github.com/MATPOWER/matpower/blob/master/data/case24_ieee_rts.m. [Online], 20.03 2021
- [9] 2021 University of Washington: https://labs.ece.uw.edu/pstca/pf30/pg_tca30bus.htm. [Online], 11.06.2021
- [10] 2021 University of Washington: https://labs.ece.uw.edu/pstca/pf118/pg_tca118bus.htm. [Online], 13.07.2021
- [11] 2021 University of Washington: https://labs.ece.uw.edu/pstca/dyn50/pg_tcadd50.htm. [Online], 13.07.2021
- [12] G. Olguin, Stochastic Assessment of Voltage Dips Caused by Faults in Large Transmission System, Department Of Electric Power Engineering Chalmers University Of Technology, Thesis For The Degree Of Licentiate Of Engineering.