

Genetik Algoritmalar Kullanılarak Transformatörde Kademe Ayarı ile Enerji Verimliliği İyileştirme

Talha Enes GÜMÜŞ¹, Cüneyt SARIGÜZEL², Mustafa TURAN¹, Mehmet Ali YALÇIN¹

ÖZET: Bu çalışmada amaç, bir optimizasyon problemi olarak, dağıtım sisteminin aktif güç kayıplarını minimum yapmaktır. Bunun için, sistem değişkeni olarak kademe değiştiricili transformatörün kademe pozisyonu kullanılmıştır. Yöntem adımları olarak önce, IEEE 13 Baralı test sisteminde bulunan kademe değiştiricili transformatörün kademe ayarı, 24 saat için önceden öngörülen yük durumuna göre OpenDSS yazılımı ile güç akışı yapılarak elde edilmiştir. OpenDSS yazılımında kademe değeri transformatörün çıkış gerilimi istenilen seviyeye (genellikle fiderin tam ortasında 1 per-unit (pu) olacak şekilde) ayarlanmaktadır. Sonra esas amaç olan, dağıtım sistemindeki aktif güç kayıplarını minimum yapacak transformatör kademe değerleri MATLAB programında, sezgisel yöntemlerden olan genetik algoritmalar kullanılarak bulunmuştur. Kısıt olarak sistemdeki gerilim seviyesi 0.95 - 1.05 pu arasında tutulmuştur. Yapılan Simülasyon çalışmaları, genetik algoritmalarla elde edilen kademe değerleri ile kayıp minimizasyonun daha etkin daha iyi enerji verimliliği sağladığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji verimliliği, Optimizasyon, Transformatör kademe ayarı, Genetik algoritmalar.

Energy Efficiency Improvement by Tap Adjustment in Transformer Using Genetic Algorithms

ABSTRACT: Main purpose in this study is to minimize the active power losses of the distribution systems as an optimization problem. To achieve this, the tap position of the ULTC (Under Load Tap Changer) is used as the system variable. As the processual flow of the method, the tap setting of the ULTC in the IEEE 13 Bus test system, was obtained by power flow with OpenDSS software according to the predetermined load condition for 24 hours, on the first step. The step value of the transformer's output voltage of the transformer is adjusted to the desired level (usually 1 per-unit (pu) in the middle point of the feeder), in OpenDSS software. In the next step, as the main objective, an implementation is designed in MATLAB to compute the transformer tap values, which will minimize the active power losses in distribution systems by using genetic algorithms which is a heuristic method. As a constraint, the voltage level in the system is kept between 0.95 - 1.05 pu. Simulation studies have shown, loss minimization provides more effectiveness and better energy efficiency by using the step values obtained by genetic algorithms.

Keywords: Energy efficiency, Optimization, Genetic algorithms, Transformer tap changing.

¹ Talha Enes GÜMÜŞ (Orcid ID: 0000-0002-6716-6414), Mustafa TURAN (Orcid ID: 0000-0002-9184-1061), Mehmet Ali YALÇIN (Orcid ID: 0000-0003-3846-177X), Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Müh. Bölümü, Sakarya, Türkiye

² Cüneyt SARIGÜZEL (Orcid ID: 0000-0002-4685-3776), CSR Enerji Yatırım Müh. San. ve Tic. Ltd. Şti., Sakarya, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Talha Enes GÜMÜŞ, e-mail: tgumus@sakarya.edu.tr

* Bu çalışma Cüneyt SARIGÜZEL'in Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

GİRİŞ

Günümüzde enerjinin hayatımızdaki yeri gün geçtikçe artmaktadır. Enerji tesis yatırımları maliyetli olacağı için enerji verimliliği ön plana çıkmaya başlamıştır. Tüketicilere kaliteli ve sürekli enerji sağlanması dağıtım şirketlerinin politikası haline gelmiştir. Ekonomik ve teknik olarak istenilen hedeflere ulaşmak için enerji kayıpları olabildiğince azaltılmalıdır. Enerji verimliliği arttırmak adına son zamanlarda birçok değişik metod kullanılmaktadır. Dağıtım sistemlerine eklenecek olan dağıtık üretim merkezleri optimizasyon algoritmaları kullanarak en az kayıp olan noktaya yerleştirilmektedir. (Zongo O A ve Oonsivai A, 2017) 'de dağıtık üretim jeneratörlerinin yerini Parçacık Sürü Optimizasyon algoritması kullanarak güç kaybı minimizasyonu yapmıştır.

Dağıtım şebekelerinde gerilimi istenilen aralıkta tutarak enerji verimliliği sağlamak için transformatör kademeleri değiştirilebilir ve ayarlanabilir, kondansatör bankaları devreye alınabilir. Doğrusal olmayan güç akış denklemleri, sınırlı değişkenler ve birçok kısıtlama ile güç kayıp probleminin optimizasyonu doğrusal olmayan ve karmaşık tam sayılı programlama problemi haline gelir (Mahdad ve ark., 2010; Sayah ve Zehar, 2008; Gonggui ve ark., 2014).

Gerilim regülatörlerini (GR) ve şönt kapasitörleri kullanıp, gerilim ve reaktif güçleri ayarlayarak şebekeyi kontrol ve optimize etmek yaygın bir uygulamadır (Castro ve ark., 2016, Araujo L R ve ark., 2018, Aryanezhad M, 2018). Gerilim regülatörleri, dağıtım şebekesinde gerilimi istenilen seviyede tutmak için transformatör merkezlerinde kullanılırlar. GR' nin kademe ayarları, transformatörün çevirme oranını değiştirerek gerilimi ayarlar (Leisse ve ark., 2010). Ayrıca, kapasitör bankaları hatlardaki reaktif güç ve gerilimi istenilen profilde tutmak için kullanılır (Bravo ve ark., 2014). Bu sistem yavaş cevap verdiği için alternatif cihaz kullanım ihtiyacı doğmuştur. FACTS cihazları ile yapılan birçok çalışma bu ihtiyacın karşılanabileceğini göstermiştir (IEEE Standarts, 2003).

Son zamanlarda dağıtım şebekelerinde güç kaybı minimizasyonu ve/veya gerilim profili iyileştirme amacı ile farklı yöntemler kullanılarak bir çok güç sistemi optimizasyon problemi çözülmüştür. (Alzyoudz ve ark., 2018)'de Jordanian güç sistemi üzerindeki kademe değiştiricili transformatörün kademe değerleri optimize edilerek ve kapasitif güç bankaları ile sisteme gerekli reaktif güç sağlanarak , aktif kayıpların azaltılması sağlanmıştır. (Ettappan ve ark. 2020)'de Yapay Arı Kolonisi algoritması kullanarak IEEE 30 ve IEEE 57 baralı test sisteminde aktif güç kayıplarını kademe değiştirici transformatörlerin kademe ayarları optimal değere getirmiş ve minimum aktif güç kaybını sağlamıştır.

(Kumar ve Jayabarathi, 2012)'de dağıtım şebekesinin yeniden yapılandırılması ve kayıpların azaltılması için kullanılan bakteriyel besin arama algoritmasına dayanan bir yöntem sunmaktadır.

Bazı çalışma kısıtlamalarına tabi olarak dağıtımdaki enerji kayıplarını azaltmak için genetik algoritmalar (GA) ile dağıtım şebekelerinin yeniden yapılandırılması çalışmaları da önerilmiştir (Torres ve ark., 2013).

Bu çalışmada, transformatör otomatik kademe ayarı ile gerilimin belirlenen seviye aralığında tutularak aktif güç kayıplarının minimuma indirmesi amaçlanmıştır. Sistemdeki kayıpları minimuma indirecek kademe değerleri sezgisel yöntemlerden olan GA kullanılarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada ilk olarak, kayıpları en aza indirme probleminin formülasyonu tartışılmıştır. Sezgisel yöntemlerden olan genetik algoritma ikinci olarak açıklanmaktadır. Önerilen yöntemin IEEE13 Baralı test sistemi üzerinde simülasyonu yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Güç Kaybını En Aza İndirecek Kademe Değeri Formülasyonu

Gerilim regülatörünün kademe ayarı ve değiştirilebilir şönt kapasitörlerin durumu ayrık değişkenler olduğu için, gerilimin büyüklüğü ve açılar sürekli değişken olmasına karşın, güç kaybı optimizasyon problemi doğrusal olmayan bir programlama modeli kullanılarak formüle edilebilir (Varadarajan ve Swarup, 2008).

Formülasyonda, kayıplar doğrusal olmayan güç akışı denklemleri kullanılarak hesaplanır ve gerilim ihlallerinin mutlak değerleri kısıtlar olarak ele alınır.

Optimizasyon probleminin amacı, düğüm gerilimlerini kabul edilebilir sınırlar dahilinde tutarak dağıtım şebekesindeki güç kayıplarını en aza indirmektir.

Dağıtım sistemlerindeki aktif güç kayıpları, üretilen toplam aktif güç ile tüketilen toplam aktif güç arasındaki fark ile hesaplanabilir. Bir dağıtım sisteminde aktif güç kayıplarını minimuma indirmek amacıyla denklem (1)'de verilen güçlerin farkı amaç fonksiyonu kullanılabilir.

Aşağıda verilen denklemlerde i ve j bara numaralarını, n_b sistemdeki bara sayısını temsil etmektedir.

$$P_{\text{loss}} = \sum_{i=1}^{n_b} P_{Gi} - \sum_{i=1}^{n_b} P_{Li} = \sum_{i=1}^{n_b} \sum_{j=1}^{n_b} V_i V_j Y_{ij} \cos(\theta_{ij} + \delta_{ji}) \quad (1)$$

Denklem (1) de P_{Gi} baradaki aktif güç üretimini ve P_{Li} aktif güç tüketimini temsil etmektedir. Y_{ij} ve θ_{ij} i . ve j . bara arasındaki admitansın genliğini ve açısıdır. V_i ve V_j ile δ_{ji} i . ve j . baralarına ait gerilimlerin genlik değerleri ve açılarıdır.

Optimizasyon probleminde, Aktif ve reaktif güç akışı denklemleri optimizasyonda eşitlik kısıtı olarak ele alınır. Güç akışı eşitlikleri denklem (2) ve denklem (3) teki gibi yazılır;

$$\Delta P_i = P_{Gi} - P_{Li} - P_i = 0 \quad (2)$$

$$\Delta Q_i = Q_{Gi} - Q_{Li} - Q_i = 0 \quad (3)$$

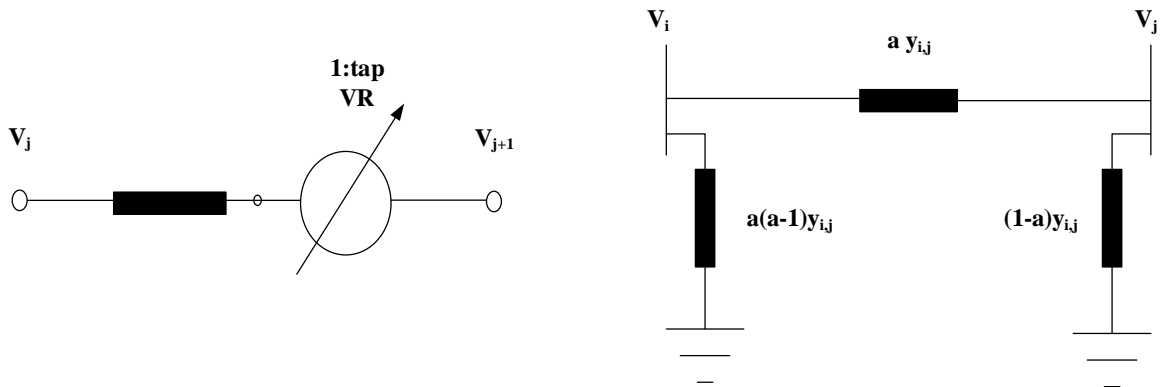
Denklem (2) ve denklem (3) de verilen P_i ve Q_i açık olarak yazılırsa;

$$P_i = V_i \sum_{j=0}^{n_b} V_j (\cos \theta_{ij} G_{ij} + \sin \theta_{ij} B_{ij}) \quad (4)$$

$$Q_i = V_i \sum_{j=0}^{n_b} V_j (\sin \theta_{ij} G_{ij} - \cos \theta_{ij} B_{ij}) \quad (5)$$

Denklem (4) ve denklem (5) elde edilir. Burada P_{Gi} ve Q_{Gi} baralardaki aktif ve reaktif üretimi, P_{Li} ve Q_{Li} aktif ve reaktif tüketimdir.

Dağıtım sisteminde kademe değiştiricili transformatörler olduğunda, Şekil (1) 'de verilen kademe değiştiricili transformatörün pi eşdeğer devresi kullanılarak admitans matrisinin elemanları denklem (6) ile hesaplanır.



Şekil 1. Kademe Değiştiricili Transformatör Pi Eşdeğeri (F. Qiao ve ark., 2020)

$$y_{ij} = ay_{ij}, y_{ii} = a^2 y_{ij}, y_{jj} = y_{ij}, y_{ij} = y_{ji} = G_{ij} + jB_{ij} \text{ ve } Y_{ii} = G_{ii} + jB_{ii} \quad (6)$$

Denklem (6)'da verilen y_{ij} , i. ve j. bara arasındaki admitans, a çevirme oranı ve tap trafonun kademe pozisyonu olmak üzere;

$$a = V_0 + tap \cdot \Delta_{tap} = 0.00625 \text{ ise } a = 1 + tap \cdot 0.00625 \quad (7)$$

Denklem (7)'de kademe değiştiricili transformatörün girişi ile çıkışı arasındaki gerilim ilişkisini vermektedir. Bu çalışmada kullanılan transformatörler 16 kademe değeri ile gerilim seviyesini %10 arttırma veya %10 azaltabilmektedir. Böylece toplam 32 kademe değeri ile gerilim seviyesi %20 değiştirilebilmektedir. Kademe değiştiricili transformatörün bulunduğu baradaki güç akışı denklemleri aşağıdaki gibi olmaktadır. Denklemlerde a kademe değiştiricili transformatörün çevirme oranını temsil etmektedir.

$$P_{ij} = a^2 V_i^2 G_{ii} + a V_i V_j (\cos \theta_{ij} G_{ij} + \sin \theta_{ij} B_{ij}) \quad (8)$$

$$Q_{ij} = -a^2 V_i^2 B_{ii} + a V_i V_j (\sin \theta_{ij} G_{ij} - \cos \theta_{ij} B_{ij}) \quad (9)$$

$$P_{ji} = V_i^2 G_{ii} + V_i V_j a (\cos \theta_{ij} G_{ij} + \sin \theta_{ij} B_{ij}) \quad (10)$$

$$Q_{ji} = V_i^2 B_{ii} + V_i V_j a (\sin \theta_{ij} G_{ij} - \cos \theta_{ij} B_{ij}) \quad (11)$$

Bu çalışmada $g(x,u)$ güç akışı denklemlerini temsil etmektedir.

$$g(x, u) = 0 \quad (12)$$

Denklem (12) optimizasyonu yapılacak güç akışı probleminde;

Durum değişkenleri $x = [V]$ ve kontrol değişkenleri $u = [tap]$ olur. Değişkenlerin alt üst limitleri eşişsizlik kısıtlarını temsil eder. Kontrol değişkenlerinin alt ve üst limitleri aşağıdaki gibi probleme eklenir.

$$[u_{min}] \leq [u] \leq [u_{max}] \quad (13)$$

u kontrol değişkeni olarak kademe değiştiricili trafonun kademesini kontrol eder. Kontrol değişkeninin limitleri eşişsizlik kısıtı olarak optimizasyon problemine eklenir.

Kademe değiştiricili transformatörün kademe pozisyonu;

$$[tap_{min}] \leq [tap] \leq [tap_{max}] \quad (14)$$

$$[-16] \leq [tap] \leq [16] \quad (15)$$

Durum değişkeni olarak bara gerilimleri, eşişsizlik kısıtı olarak optimizasyon problemine dahil edilerek;

$$[|V_{min}|] \leq [|V|] \leq [|V_{maks}|] \quad (16)$$

olarak denklemlere katılır (Emiroglu ve ark.,2017). Elde edilen doğrusal olmayan güç akışı denklemlerinde sistemdeki bütün baraların gerilim değerleri önceden belirlenen aralıktaki tutularak

transformatörlerin kademe değerleri optimize edilerek ve test sistemindeki aktif güç kayıplarını en aza indirmesi amaçlanır. Test sisteminde baralarında bulunan yüklerin çektiği aktif güç değerleri bütün koşullarda sabit tutularak gerilim değişiminden etkilenmemektedir.

Genetik Algoritmalar İle Optimizasyon

Genetik algoritmalar (GA), lineer olmayan denklemlerin çözümlerinin araştırılması için kullanılan yaygın sezgisel bir yöntemdir. GA, çok boyutlu bir arama uzayında en iyi bireyleri arayarak, onların hayatta kalmaya devam ettiği en iyi çözümü arar (Varadarajan ve Swarup, 2008; Öztürk ve ark., 2009; Nassar ve ark. 2019).

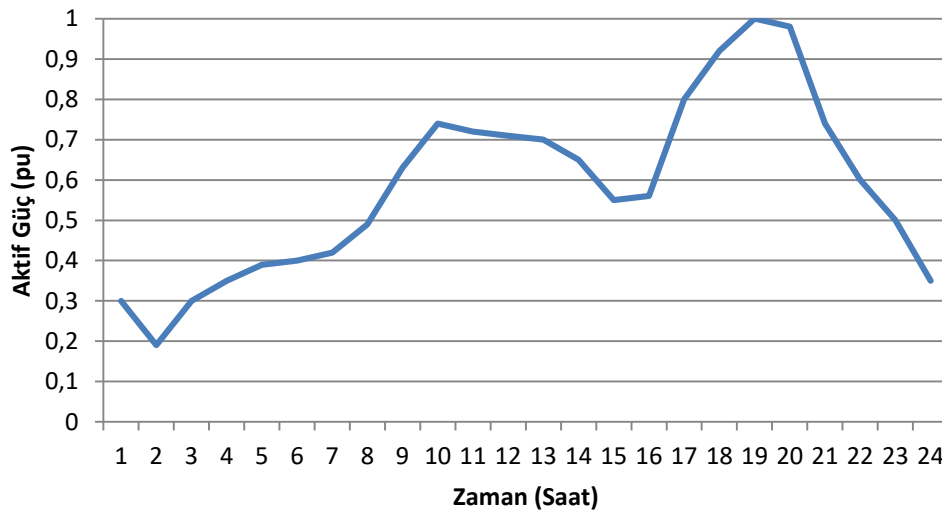
GA, biyolojik dünyadaki doğal seçime ve doğal genetik mekanizmaya atıfta bulunan rastgele bir arama algoritmasıdır ve bu da küresel çözümü verimli bir şekilde verir (Melanie, 1996). Bu çalışmada MATLAB'ın genetik algoritmalar optimizasyon fonksiyonu uygulanmıştır.

Bu çalışmadaki optimizasyon probleminin amacı, Denklem 1'de verilen sistem kayıplarının minimum seviyeye indirilmesidir. Genetik algoritmalar ile test sistemindeki kayıpları en aza indirecek transformatör kademe değerleri bulunmuştur. Uygulanan yöntemin akış diyagramı Şekil 3'te verilmiştir.

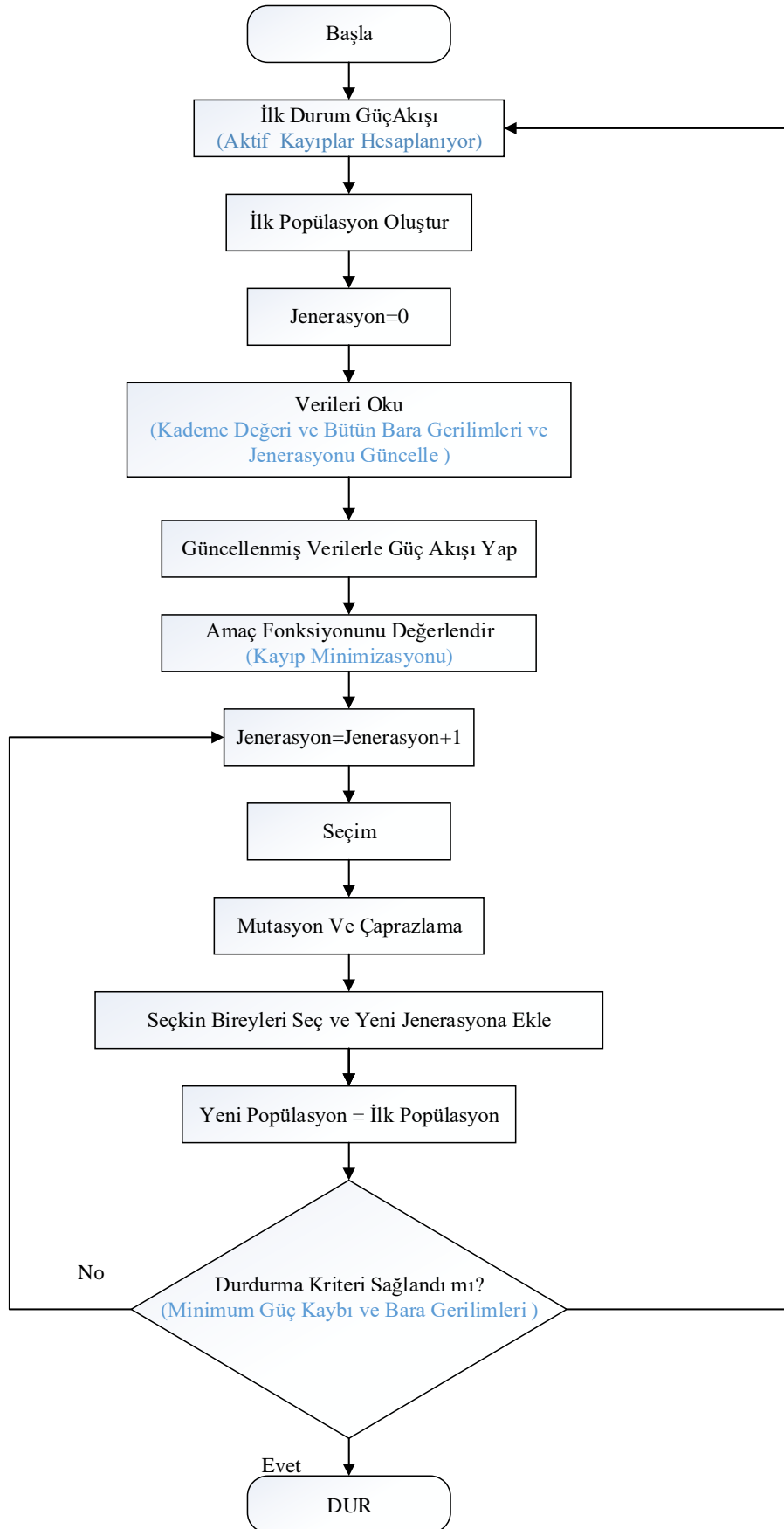
BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada önerilen yöntem IEEE 13 baralı test sisteminde denenmiş ve sonuçları tartışılmıştır. Genetik algoritma sonuçlarının karşılaştırılması için MATLAB tabanlı OpenDSS güç akış programı kullanılmıştır. IEEE 13 baralı dağıtım sisteminde ilk olarak Şekil 2'de verilen önceden öngörülen yük durumları için OpenDSS programı ile güç akışı yapılmış ve gerilim değerini fiderin ortasında 1 pu yapan kademe değerleri elde edilmiştir. Test sistemindeki aktif güç kayıplarını minimum yapacak kademe değerleri, sezgisel yöntemlerden olan genetik algoritmalar kullanılarak MATLAB de kodlanarak bulunmuştur. Test sistemine üzerinde hiçbir fiziki değişiklik(yeni hat ekleme, kompanzasyon sistemi, yeni generatör ekleme vs) yapılmamış, sadece transformatörün kademe pozisyonu karar değişkeni olarak kullanılmış ve güç tasarrufu sağlanmıştır. Test sistemi üzerindeki bütün baralardaki gerilim değerleri dağıtım firmaların izin verdiği sınırlar içinde ($\pm\%5$) tutulmuştur.

24 saatli zaman dilimindeki yük talepleri Şekil 2'de verilmiştir.

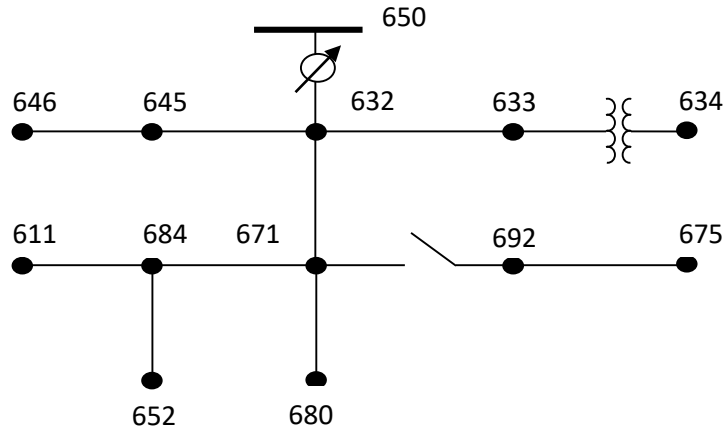


Şekil 2. 24 Saatlik zaman diliminde yük talepleri.



Şekil 3. Genetik algoritma akış diyagramı

Önerilen güç kaybı minimizasyon yaklaşımının test edildiği IEEE 13 Baralı test sisteminin tek hat diyagramı Şekil 4 te ve baralardaki yükler Şekil 5 te gösterilmektedir.



Şekil 4. IEEE 13 Baralı test sistemi.

Bara	R Fazı(kW)	R Fazı(kVAr)	S Fazı(kW)	S Fazı(kVAr)	T Fazı(kW)	T Fazı(kVAr)
634	160	110	120	90	120	90
645	0	0	170	125	0	0
646	0	0	230	132	0	0
652	128	86	0	0	0	0
671	385	220	385	220	385	220
675	485	190	68	60	290	212
692	0	0	0	0	170	151
611	0	0	0	0	170	80

Şekil 5. IEEE 13 Baralı test sistemi bara yük değerleri.

IEEE 13 baralı test sisteminde 24 saat için geleneksel Newton yöntemini kullanan OpenDSS programı ile ayarlanan kademe değerleri her faz için aşağıdaki Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. OpenDSS ile belirlenmiş kademe değerleri (24 Saat)

Saat	Yük Talebi	R Fazı	S Fazı	T Fazı	Saat	Yük Talebi	R Fazı	S Fazı	T Fazı
1	30%	4	4	5	13	70%	7	7	8
2	19%	3	4	4	14	65%	7	7	8
3	30%	4	4	5	15	55%	6	6	7
4	35%	4	5	5	16	56%	6	6	7
5	39%	5	5	5	17	80%	8	6	9
6	40%	5	5	5	18	92%	9	8	10
7	42%	5	5	6	19	100%	10	8	11
8	49%	5	6	6	20	98%	9	8	11
9	63%	7	6	8	21	74%	8	7	9
10	74%	8	7	9	22	60%	6	6	7
11	72%	7	7	9	23	50%	5	6	6
12	71%	7	7	8	24	35%	4	5	5

OpenDSS ile belirlenen kademe değerlerine göre sistemdeki enerji kayıpları 24 saat için Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. IEEE 13 baralı test sisteminde OpenDSS yazılımı ile elde edilen kayıp değerleri

Saat	Yük Talebi	Kayıp Enerji (kWh)	Saat	Yük Talebi	Kayıp Enerji (kWh)
1	30%	9.9226	13	70%	55.369
2	19%	3.9614	14	65%	47.421
3	30%	9.9226	15	55%	33.802
4	35%	13.584	16	56%	35.089
5	39%	16.895	17	80%	72.684
6	40%	17.79	18	92%	96.921
7	42%	19.561	19	100%	114.82
8	49%	26.86	20	98%	109.92
9	63%	44.424	21	74%	61.644
10	74%	61.644	22	60%	40.504
11	72%	58.389	23	50%	28.005
12	71%	57.045	24	35%	13.584

IEEE 13 baralı test sisteminde kayıpları minimize etmek için Genetik Algoritmalar kullanılarak kademe değıştiricili transformatörün kademe değeri bütün baralardaki gerilim seviyesi 0.95 pu - 1.05 pu arasında tutularak minimum güç kaybını veren kademe değeri 24 saat için hesaplanmıştır (Çizelge 3).

Çizelge 3. Genetik Algoritmalar ile belirlenmiş kademe değeri (24 Saat)

Saat	Yük Talebi	R Fazı	S Fazı	T Fazı	Saat	Yük Talebi	R Fazı	S Fazı	T Fazı
1	30%	9	8	10	13	70%	11	7	15
2	19%	8	8	9	14	65%	11	10	14
3	30%	9	8	10	15	55%	10	8	13
4	35%	9	8	11	16	56%	10	8	13
5	39%	8	9	11	17	80%	10	7	15
6	40%	9	8	11	18	92%	12	7	16
7	42%	10	8	12	19	100%	12	7	16
8	49%	10	8	12	20	98%	12	7	16
9	63%	11	10	14	21	74%	11	7	15
10	74%	11	7	15	22	60%	10	8	13
11	72%	11	7	15	23	50%	10	7	12
12	71%	11	7	14	24	35%	9	8	11

Genetik Algoritmalar ile hesaplanan kademe değeri için sistemdeki kayıplar 24 saat için Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. IEEE 13 baralı sistemi için GA'da ayarlanan kademe değeri için kayıp değeri

Saat	Yük Talebi	Kayıp Enerji (kWh)	Saat	Yük Talebi	Kayıp Enerji (kWh)
1	30%	9.486	13	70%	52.457
2	19%	3.7895	14	65%	45.137
3	30%	9.4867	15	55%	32.227
4	35%	12.921	16	56%	33.45
5	39%	16.118	17	80%	69.401
6	40%	16.975	18	92%	92.429
7	42%	18.601	19	100%	110.438
8	49%	25.529	20	98%	105.761
9	63%	42.331	21	74%	58.921
10	74%	58.921	22	60%	38.589
11	72%	55.637	23	50%	26.626
12	71%	54.334	24	35%	12.921

24 saatlik yük profili için OpenDSS ve GA ile yapılan 24 kademeli optimizasyonlara ilişkin kayıp-kazanç değeri Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. OpenDSS ve GA'nın 24 saatlik kayıp-kazanç karşılaştırması

Saat	OpenDSS ile Enerji Kaybı (kWh)	GA ile Enerji Kaybı (kWh)	GA'nın Tasarrufu (%)	Saat	OpenDSS ile Enerji Kaybı (kWh)	GA ile Enerji Kaybı (kWh)	GA'nın Tasarrufu (%)
1	9.9226	9.486	4.40	13	55.369	52.457	5.26
2	3.9614	3.7895	4.34	14	47.421	45.137	4.82
3	9.9226	9.4867	4.39	15	33.802	32.227	4.66
4	13.584	12.921	4.88	16	35.089	33.45	4.67
5	16.895	16.118	4.60	17	72.684	69.401	4.52
6	17.79	16.975	4.58	18	96.921	92.429	4.63
7	19.561	18.601	4.91	19	114.82	110.438	3.82
8	26.86	25.529	4.96	20	109.92	105.761	3.78
9	44.424	42.331	4.71	21	61.644	58.921	4.42
10	61.644	58.921	4.42	22	40.504	38.589	4.73
11	58.389	55.637	4.71	23	28	26.626	4.91
12	57.045	54.334	4.75	24	13.584	12.921	4.88

24 saatlik yük profili için OpenDSS ve GA ile yapılan 24 kademeli optimizasyonlara ilişkin kayıp-kazanç değerleri Çizelge 6'da verilmiştir. GA ile ayarlanan kademe değerleri ile sistemdeki aktif güç kayıplarının azaldığı Çizelge 6'da görülmektedir.

Çizelge 6. Enerji kaybının 24 saatlik ortalaması

	24 Saat için
OpenDSS ile Toplam Enerji Kaybı	1049.8 kWh
GA ile Toplam Enerji Kaybı	1002.5 kWh
Tasarruf Edilen Toplam Enerji Oranı	4.5 %

SONUÇ

Bu çalışmada, Genetik Algoritma kullanılarak ayarlanan transformatör kademe değerleri ile klasik Newton Yük Akışı yöntemi kullanan OpenDSS programı ile ayarlanan transformatör kademe değerlerinin dağıtım sisteminde meydana gelen kayıplardan hareketle enerji verimliliği değerlendirilmiştir.

OpenDSS ile yapılan transformatör kademe ayarlarında dağıtım sisteminde sadece fider ortasındaki gerilim seviyesinin belirli bir değerde tutulması amaçlanırken sistemde meydana gelen aktif güç kayıpları dikkate alınmamaktadır. Bu da çıkan sonucun enerji verimliliği konusunda en iyi sonuç olmamasına neden olmaktadır. Bu çalışmada, yük akışı OpenDSS ile yapılmakla beraber, MATLAB üzerinde koşturulan genetik algoritma ile hem her baranın gerilimi 0.95 - 1.05 pu aralığında tutulmuş, hem de enerji verimliliğini arttıracak şekilde transformatör kademe değerleri belirlenmiştir. Simülasyon sonuçlarından, Genetik Algoritma kullanılarak saatlik optimize edilmiş transformatör kademe değerleri ile 24 saatte %4.50 daha fazla enerji verimliliği sağlandığını görülmüştür (Çizelge 6).

KAYNAKLAR

- Zongo O A ve Oonsivai A, 2017. Optimal placement of distributed generator for power loss minimization and voltage stability improvement. Energy Procedia, 138: 134-139.
- Mahdad B, Bouktir T, Srairi K, Benbouzid ME, 2010. Dynamic strategy based fast decomposed GA coordinated with FACTS devices to enhance the optimal power flow. Energy Convers Manage, 51: 1370-1380.
- Sayah S, Zehar K, 2008. Modified differential evolution algorithm for optimal power flow with non-smooth cost functions. Energy Convers Manage, 49: 3036-3042.

- Gonggui C, Lilan L, Peizhu S, Yangwei D, 2014. Chaotic improved PSO-based multi-objective optimization for minimization of power losses and L index in power systems. *Energy Conversion and Management*, 86: 548–560.
- Castro JR, Saad M, Lefebvre S, Asber D, Lenoir L, 2016. Optimal voltage control in distribution network in the presence of DGs. *Electrical Power and Energy Systems*, 78: 239–247.
- Araujo L R, Penido D R R, Carneiro S, Pereira J L R, 2017. Optimal unbalanced capacitor placement in distribution systems for voltage control and energy losses minimization. *Electric Power Systems Research*, 154:110-121.
- Aryanezhad M, Management and coordination of LTC, SVR, shunt capacitor and energy storage with high PV penetration in power distribution system for voltage regulation and power loss minimization, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 100: 178-192.
- Leisse I, Samuelsson O, Svensson J, 2010. Electricity Meters for Coordinated Voltage Control in Medium Voltage Networks with Wind Power, 2010 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe), pp: 1-7.
- Bravo RJ, Robles SA, Bialek T, 2014. VAR support from solar PV inverters, 2014 IEEE 40th Photovolt. Spec. Conf. PVSC, pp: 2672–2676.
- IEEE Standards Coordinating Committee 21, 1547TM IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems. New York, NY, USA, 2003.
- Hussain M, Zuhaina Z, Rizman Z, Yasin M, 2018 Power loss estimation due to difference transformer tap changer position at interface. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*. 9. 685-697.
- Ettappan M, Virimala V, Ramesh S, Kesavan V T, 2020. Optimal reactive power dispatch for real power loss minimization and voltage stability enhancement using Artificial Bee Colony Algorithm, 76:1-7.
- Kumar KS, Jayabarathi T, 2012. Power system reconfiguration and loss minimization for an distribution systems using bacterial foraging optimization algorithm. *Int J Electric Power Energy Syst*, 36: 13–17.
- Torres J, Guardado JL, Rivas-Dávalos F, Maximov S, Melgoza E, 2013. A genetic algorithm based on the edge window decoder technique to optimize power distribution systems reconfiguration. *Int J Electric Power Energy System*, 45(1): 28–34.
- Varadarajan M, Swarup KS, 2008. Differential evolutionary algorithm for optimal reactive power dispatch. *Electrical Power and Energy Systems*, 30: 435–441.
- F. Qiao, and J. Ma, (2020). Voltage/Var Control for Hybrid Distribution Networks Using Decomposition-Based Multiobjective Evolutionary Algorithm,” *IEEE Access*, 8: 12015-12024.
- Emiroglu S , Uyaroglu Y , Ozdemir G, Distributed Reactive Power Control based Conservation Voltage Reduction in Active Distribution Systems. *Advances in Electrical and Computer Engineering*. 17:99-106.
- Melanie M, 1996. *An Introduction to Genetic Algorithms*. Cambridge, MA: MIT Press. ISBN 9780585030944.
- Öztürk A, Tosun S, Erdoğan P, Hasırcı U, 2009. Elektrik enerji dağıtım sisteminde ekonomik aktif güç dağıtımının genetik algoritma ile belirlenmesi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(3): 185-197.
- Nassar I A, Omara MA and Abdella MM, 2019. Enhancement of Voltage Profile in Power Systems by Using Genetic Algorithm. 21st International Middle East Power Systems Conference (MEPCON-2019), Cairo, Egypt, pp: 459-464.