

HARMONİ ARAMA ALGORİTMASI İLE ELEKTRİK DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE GÜÇ YÖNETİMİ İÇİN VOLT-VAR CİHAZLARININ KULLANIMININ OPTİMİZASYONU

Gülcihan ÖZDEMİR

İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, Bilişim Uygulamaları Bölümü,
34469, Maslak, İstanbul, Türkiye

gulcihan.ozdemir@be.itu.edu.tr

ÖZET

Elektrik dağıtım şebekelerinde verimi artırmak için reaktif güç yönetimi ve voltaj kontrolünün çok iyi yapılması ve planlanması konuları çok önem arz etmektedir. Günümüz elektrik dağıtım şebekelerinde giderek sayısı daha da artan ve artacak olan dağıtık enerji kaynakları bunlar arasında yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş, rüzgar ve elektrikli araçları da dahil olmak üzere şebekeye entegrasyonu söz konusudur. Şebekede istenilen her noktada voltajın kabul edilebilir sınırlar içerisinde olması, aktif güç kayıplarının azaltılarak verimin yükseltilmesidir. Bunun sağlanması için reaktif güç cihazları ile sistemdeki tüm volt-var cihazları arasında koordinasyonunun iyi bir şekilde sağlanmasıdır. Günümüz elektrik şebekelerinde teknolojinin gelişimi ile akıllı sayaçlar gibi ölçüm cihazlarının gelişimi ve iletişim alanlarındaki gelişmeler ile şebekelerin daha fazla izlenebilirliği artmıştır. Bu imkanlarla elde edilen verilerin akıllı sistem çözümlene yöntemlerinin uygulanması ile şebekeler daha verimli çalıştırılabilecektir. Bu çalışmada şebekede talep edilen toplam görünür güç ve aktif güç kayıplarının azaltılması şebekedeki tüm reaktif güç ve voltaj kontrol cihazlarının birleşik ve koordineli bir şekilde optimal olarak çalıştırılmalarını sağlamak için meta-hüristik algoritmalar içerisinde harmoni arama isimli optimizasyon yöntemi kullanılmıştır. Uygulama için örnek test sistemi olarak IEEE 13 baralı dengesiz yüklü dağıtım şebekesi verileri kullanılmıştır. Simülasyonlar Matlab ortamında OpenDSS adlı açık kaynak kodlu güç akış programı kullanılarak ve ilave kodlar yazılarak gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler — elektrik güç yönetimi; volt-var kontrol ve optimizasyonu; güç kayıp azaltımı; akıllı şebekeler; harmoni arama algoritması; OpenDSS.

1. GİRİŞ

Günümüz elektrik dağıtım şebekelerinde giderek sayısı daha da artan ve artacak olan dağıtık enerji kaynakları bunlar arasında yenilenebilir enerji kaynakları güneş, rüzgar, elektrikli araçlar ve diğer dağıtık enerji kaynakları da dahil olmak üzere bu enerji kaynaklarının şebekeye entegrasyonu söz konusudur. Şebekede istenilen her noktada voltajın kabul edilebilir sınırlar içerisinde tutulması, aktif güç kayıplarının azaltılarak verimin yükseltilmesi ve bu yüzden reaktif güç cihazları (var) ile sistemdeki tüm volt-var cihazları (volt) arasında koordinasyonunun (volt-var) iyi bir şekilde sağlanması büyük önem kazanmaktadır. Volt-var kontrolünün (VVC) temel amacı tüm yükleme koşulları altında tüm müşteriler için her noktada gerilim (voltaj) değerinin limitler içerisinde olmasıdır [1], [2].

Son yıllarda akıllı şebekeler kavramı ile elektrik dağıtım şebekeleri hem dizayn açısından hem de çalıştırılmaları açısından değişime uğramıştır. Bu arada volt-var kontrol biçimlerinde de büyük değişimler olmuş ve volt-var kontrolü optimizasyon işlemi de içerisinde barındırarak volt-var optimizasyonu (VVO) olarak birleştirilmiştir [3]. Bunlar elektrik güç talebinin azaltılması ile enerji tasarrufuna gidilerek ilave bir üretim olmadan sistemin verimliliğinin artırılmasıdır. Elektrik güç sistemlerinde, güç talebinin daha iyi yönetilmesi ve güç kayıplarının

azaltılmasında sistemdeki güç akış ve voltaj kontrol cihazlarının çalışma zaman çizelgelerinin optimal bir şekilde düzenlenmesinde akıllı sistem çözümlerinin kullanılması büyük fayda sağlayacaktır[4].

Günümüz elektrik şebekelerinde gelişen teknoloji ile akıllı sayaçların kullanımının yaygınlaşması bunların yanı sıra bir çok ölçüm cihazının gelişimi ve iletişim alanlarındaki gelişmeler ile şebeke kontrol merkezlerine daha fazla veri aktarımı sayesinde şebekelerin daha fazla izlenebilirliği artmıştır [5]. Bu sayede elde edilen verilerin işlenmesi ile sistemler daha akıllı yönetilebilirler. Bu çalışmada güç kullanım talebinin azaltılmadan üretim talebinin ve sistem güç kayıplarının (aktif ve reaktif güç) azaltılması için Volt-Var (voltaj birimi, Volt, reaktif güç birimi, Var) kontrol cihazlarının – (transformatör yük kademe ayarlayıcısı- Load Tap Changer, (LTC), voltage regülatör (VR) ve sabit olmayan, gerektiğinde devreye alınan, gerekmediğinde de devreden çıkartılan kapasitör (CAP) gruplarının optimal olarak çalışma planlarının yapılması.

Klasik kontrol modelinde ya yalnızca voltaj kontrolüne ya da reaktif güç kontrolüne bakılır. Burada voltaj ve reaktif güç kontrol cihazlarının birlikte koordineli bir şekilde birleşik Volt-Var kontrol modeli akıllı elektrik şebekelerinde kolaylıkla uygulanabilmektedir [3], [6], [7].

Bu çalışmada birleşik volt-var kontrolü ile birlikte güç kayıplarını azaltma ve şebekeden güç talebini düşürme amaçlarını gerçekleştirmek için kontrol aygıtlarının bu amaçlar doğrultusunda optimal bir şekilde çalışmaları için gerekli ayar değerlerinin oluşturulması harmoni arama algoritması ile gerçekleştirilmiştir [8], [9]. Burada elde edilen sonuçlar klasik yöntemle elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Aynı şebekenin iki

farklı yolla çalıştırılmasında, akıllı şebeke uygulamasıyla güç talebi ve kayıpların azaltılmasında büyük kazanımlar elde edilmiştir.

2. HARMONİ ARAMA ALGORİTMASI

Harmoni arama algoritması (HAA) jazz müzisyenlerinin doğaçlama çalmalarından esinlenilerek geliştirilmiş bir meta-hüristik popülasyon tabanlı olup, ilk olarak Geem at el tarafından 2001 de geliştirilmiş bir evrimsel global optimizasyon algoritmasıdır [8], [9]. Diğer sezgisel ve evrimsel algoritmalarla benzerlik gösterebilir. Karmaşık matematiksel işlemler ve türev gerektirmez. Hem ayrık hem de sürekli değişkenli problemlere uygulanabilir. Evrimsel algoritmalarından genetik algoritmalarla (GA) büyük benzerlikler vardır. Ancak GA’larda yeni çözüm oluşturulurken popülasyon için sadece iki birey çözüm seti seçilerek gerekli operatörler çaprazlama ve mutasyon gibi uygulanarak yeni nesil veya çözüm seti oluşturulur. HAA’ında ise yeni çözüm tüm popülasyon içerisinde olabilir. Ayrıca karar değişkenleri için bir başlangıç değeri gerektirmemesi de bir avantajdır. HAA’sın da sezgisel ve rastgele arama teknikleri kullanılır.

Kavram olarak caz müziğinde yapılan doğaçlama çalışmalarından mükemmel bir harmoniyi yakalamak bir optimizasyon probleminde en iyi çözümü elde etmeye benzer.

Algoritmanın parametreleri:

- harmoni hafıza boyutu (HHB),
- harmoni hafızasını dikkate alma oranı (HHDO)
- ton ayarlama oranı (TAO).

HBDAO ve TAO parametreleri, algoritmada elde edilen çözümleri doğrudan etkiler. Eğer HBDAO 0.95

olarak seçilmesi bir sonraki karar değişkenlerinin değerlerinin harmoni hafızasından seçilme olasılığının %95 olması anlamına gelir. Çözümü daha da iyileştirmek ve lokal optimumlardan kurtulmak için ilave bir çalışma daha gerekir. Bu da ton ayarlaması oranı ile yapılır. Eğer TAO 0.10 seçilirse algoritmaya göre %10 komşuluk aralığında (%5 altındaki değer aralığında veya %5 üstündeki değer aralığında) değer seçilir. Literatürde HBDAO'nun 0,7 ile 0,95 arasında, TAO'nun ise 0,2 ile 0,5 arasında bir değer olması tercih edilmektedir [9].

Harmoni arama algoritmasındaki adımlar:

Adım 1. HHB'ü kadar başlangıç çözüm setleri rastgele bir şekilde ve karar değişkenlerinin alt ve üst sınırları arasında oluşturularak harmoni hafızasına (HH) atanır. Ondan sonra tüm aday çözümleri için başarımlar fonksiyonu $f(x)$ hesaplanır.

$$HH = \begin{pmatrix} x_{11} & K & x_{1n} \\ M & O & M \\ x_{HHB1} & L & x_{HHBn} \end{pmatrix},$$

$$f(x) = \begin{pmatrix} f_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ f_{HHB} \end{pmatrix}$$

$x_i = x_{ij}, i=1, \dots, HHB, j=1, \dots, n$

n karar değişkenleri sayısını gösterir.

Adım 2. Yeni bir çözüm vektörü oluşturulur. Bunun için gerekli aşamalar aşağıdaki Algoritma 1 ile verilmiştir.

```

1  r1 [0,1], r2 [0,1]
2  If r1<HHAO then
3       $x_{ij}^{new} = x_{ij}, x_{ij} \in \{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{HHBj}\}$ 
4      If r2<TAO then
5           $x_{ij}^{new} = x_{ij} \pm rand(0,1) \cdot (u_j - l_j)$ 
6          If  $x_{ij}^{new} < l_j$  then
7               $x_{ij}^{new} = l_j$ 
8          elseif
9              If  $x_{ij}^{new} > u_j$  then
10                  $x_{ij}^{new} = u_j$ 
11             elseif
12                 else
13                  $x_{ij}^{new} = l_j + (u_j - l_j) \cdot rand(0,1)$ 
14             endif
15     If  $x^{new} < x^{worst}$  then
16          $x^{worst} = x^{new}$ 
17     elseif

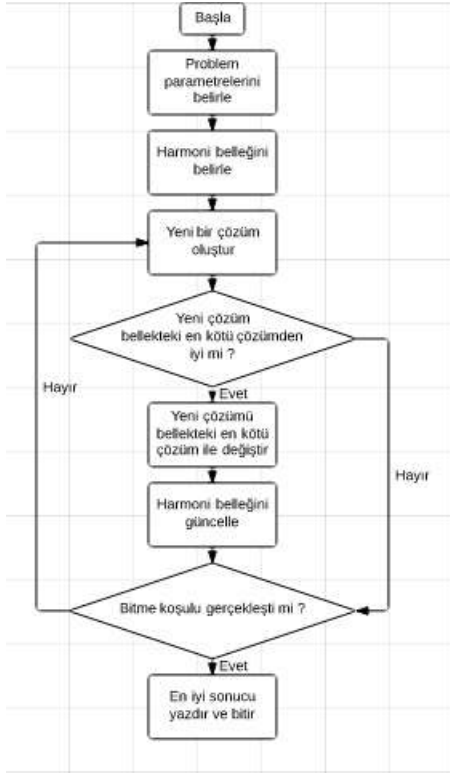
```

Algoritma 1. Rastgele çözüm vektörü seçme ve harmoni hafızasını güncelleme.

Adım 3. Yeni çözüm vektörü için başarımlar değeri hesaplanır. Bu başarımlar değeri ile harmoni hafızasındaki en kötü başarımlar değeri karşılaştırılır, harmoni hafızası matrisi içerisindeki tüm aday çözümleri arasında. Eğer yeni değer daha küçükse ona ait çözüm satırı bu çözüm adayları ile değiştirilir. Eğer yeni değer en kötü değerden büyükse o zaman bu çözüm atılır.

Adım 4. Önceden belirlenen iterasyon sayısına ulaşıncaya kadar adım 2'ye dönülerek adımlar tekrarlanır.

Şekil 1'de HAA'nın uygulanma akış şeması verilmiştir.



Şekil1. HAA'sının akış şeması [10].

3. PROBLEM FORMÜLASYONU

Birleşik Volt-Var kontrol ve optimizasyon modelinde şebekedeki tüm kontrol aygıtları hem güç istasyonu hem de fider seviyesinde (LTC, VR, CAP) birlikte düşünülmüştür. Örnek test sistemi üzerinde güç akışları simülasyonları yapılarak şebeke üzerinde sistem büyüklüklerinin değişimleri incelenmiştir. Simülasyonlarda amaç fonksiyonu olarak görünür güç alınırken bunu gerçeklemek için aktif güç kayıplarının minimizasyonu HAA 'sında başarımlı fonksiyonu olarak değerlendirilmiştir. Aralarındaki karesel bağıntı ile orantılı olarak değişmektedirler. Denklemler (1) - (6) arasında verilmiştir.

$$\begin{aligned} \min \quad & f(x, u) \\ \text{s.t.} \quad & g(x, u) = 0 \\ & h(x, u) \leq 0 \end{aligned} \quad (1)$$

Burada $f(x, u)$ amaç fonksiyonu olarak görünür güç

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2)$$

Başarım fonksiyonu olarak aktif güç kayıpları

$$P_{\text{loss}} = \sum_{j=0}^{n-1} r_j \frac{S_j^2}{V_j^2} \quad (3)$$

$g(x, u)$ eşitlik kısıtları (aktif ve reaktif güç akışı denklemleri)

$$P_i = V_i \sum_{j=1}^N V_j (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) \quad (4)$$

$$Q_i = V_i \sum_{j=1}^N V_j (G_{ij} \sin \delta_{ij} - B_{ij} \cos \delta_{ij})$$

(5)

$h(x, u)$ eşitsizlik kısıtları

s.t.

$$0.95 \leq V_i \leq 1.05$$

$$u = [\text{tap}_1, \dots, \text{tap}_m, \text{cap}_1, \dots, \text{cap}_n]$$

$$\text{cap}_s = [0, 1]$$

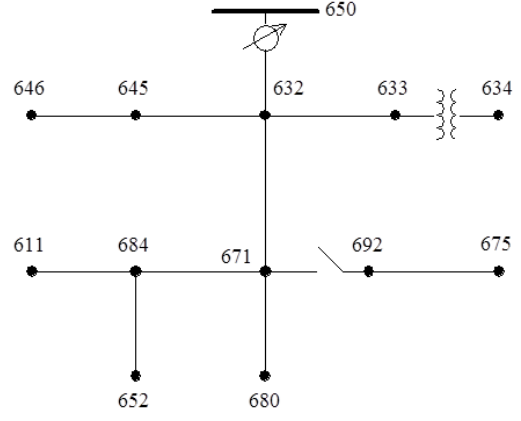
$$\text{tap}_k = [-16, -15, -14, \dots, 0, \dots, -14, -15, -16]$$

$$k = 1, \dots, n, k = 1, \dots, m$$

4. TEST SONUÇLARI

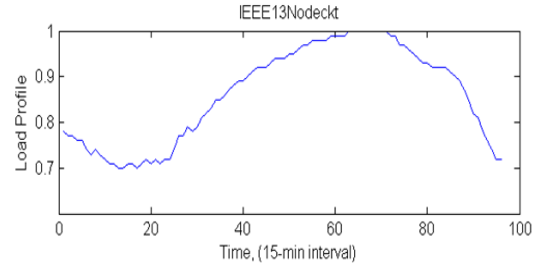
Simülasyonlar modifiye edilmiş IEEE 13 bara test fideri [11] üzerinde Matlab ortamında dengesiz yüklü bir şebekede güç akışının yapılabildiği OpenDSS [12][13] açık kaynak kodlu program ve ilave yazılan kodlarla yapılmıştır. Bu fider üzerinde bir LTC regülatörü, bir tane üç fazlı VR, ile bir tanesi tek fazlı olup diğeri üç fazlı olan kapasitör grubu CAP bulunmaktadır. Simülasyonlar puant gücün (en yüksek talep değerinin) olduğu an yani güç tüketim profil değerinin 1'e eşit olduğu zaman için kaydedilmiştir. Amaç fonksiyonunun başarımlı değerine göre arama

algoritması ile voltaj ve reaktif güç kontrol aygıtlarının tümünün birlikte koordineli olarak çalışabilmeleri için tap değerlerinin tespit edilmiştir. Şekil 2’de verileri kullanılan test fideri görülmektedir. Şekil 3’de günlük yük profili verilmiştir. HAA’sının parametre değerleri HAAB 8, HAAO 0.9, TAO 0.3 ve iterasyon sayısı 10000 olarak alınmıştır. Yerel optimallere takılmadan elde edilen çözümün global optimal değere ulaşıldığından emin olmak için iterasyon sayısı yüksek seçilmiştir.



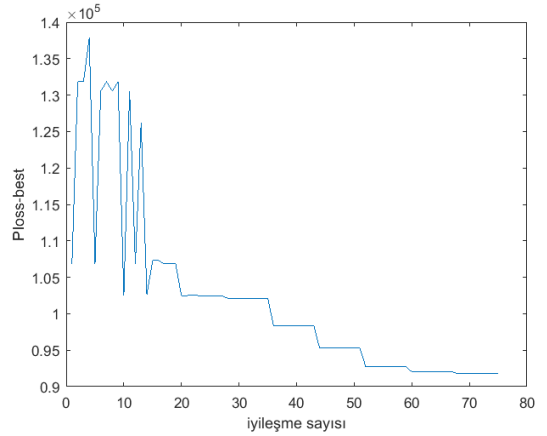
Şekil2. IEEE13 test fideri.

Şekil 4’de başarımlı fonksiyonu olarak seçilen aktif güç kaybının iterasyonla değişimi görülmektedir. Aynı şekilde Şekil 5’de de şebekenin toplam görünür gücünün değişimi görülmektedir. Her iki şekilde de görüldüğü üzere problemin simülasyonu için iterasyon sayısı 10000 seçilmesine rağmen sadece üretilen çözümün harmoni hafızasındaki çözümlerden en kötüsünden daha iyi olanlar için başarımlı fonksiyonu hesaplanmış gereksiz fonksiyon hesaplamaları yapılmamıştır. Hem hafıza daha efektif kullanılmış hem de hesaplama süresi gereksiz yere uzatılmamıştır. Simülasyon sayısının yüksek seçilmesinin nedeni ise çözümün globale çözüme yeterince yaklaşmasını sağlamak içindir. Programı her çalıştırdığımızda (20’yi aşkın deneme) aynı sonucu elde etme gayreti başarılı olmuştur.

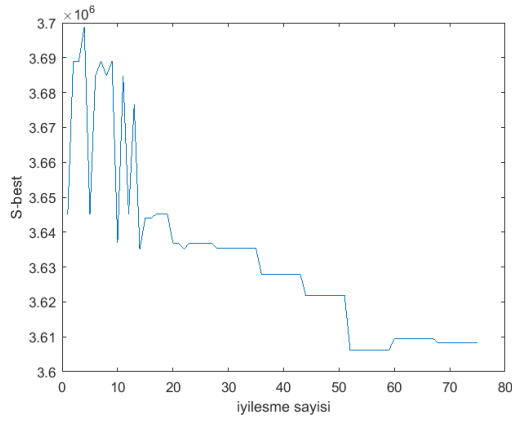


Şekil 3. Günlük yük profili, 15-dak. aralıklarla.

Simülasyonlar puant yük durumuna göre yük profilinin 1 değer aldığı durumlar için yapılmıştır. O yüzden CAP değerleri 1 olarak alınmıştır. Aynı algoritma diğer saatler için de aynı şekilde uygulanabilecektir. CAP değerleri çalışılan saate karşı gelen güç tüketim değerine göre farklılık göstereceği açıktır.



Şekil. 4. Aktif güç kaybının değişimi.



Şekil. 5. Toplam şebekeden talep edilen görünür gücün değişimi.

Tablo 1’de görüldüğü gibi Faz c’de voltaj değerleri Kabul edilir sınırlarda olmakla birlikte diğer fazlara göre daha düşüktür. Bu da Faz c’deki yüklerin fazlalığını göstermektedir. Zaten dengesiz yüklerin olması dağıtım şebekelerinin istenirse de var olan bir karakteristiğidir.

Tablo1.BaralarınVoltajDeğerleri

Bara No	Voltajp.u.		
	Faz a	Faz b	Faz c
sourcebus	1.0000	1.0000	1.0000
650	1.0000	1.0000	1.0000
rg60	1.0312	1.0312	1.0311
670	1.0013	1.0051	0.9680
671	1.0012	1.0420	0.9679
633	1.0027	1.0431	0.9788
634	0.9783	1.0248	0.9593
645	0	1.0358	0.9797
646	0	1.0341	0.9776
692	1.0012	1.0420	0.9679
675	0.9965	1.0480	0.9676
611	0	0	0.9639
652	0.9936	0	0
632	1.0058	1.0449	0.9816
680	1.0012	1.0420	0.9679
684	0.9993	0	0.9659

Tablo2’de volt-var cihazlarının tümünün kontrol ve koordinasyonu yapılarak elde edilen önerdiğimiz çözüm ile klasik

yöntemle lokal kontrol sonucu elde edilen kontrol sonucu tap pozisyonları karşılaştırılmıştır. Tap pozisyonlarının önerilen kontrol ile voltaj değerlerinin yine istenen aralıkta olması sağlanarak daha düşük olmaları sağlanmıştır. Daha düşük tap değerleri ile voltaj değerleri daha düşük tutularak şebekenin tüm yükleri de beslenerek daha az bir talep gücüne ulaşılmıştır. Böylece şebeke daha verimli işletilmiştir.

Tablo2.Voltaj Kontrol LTC ve VR Tap Değerleri

Bara No’ dan	Bara No’ ya	Tap Pozisyonları		
		ÖnerilenLokal Kontrol	Kontrol	
650 (faza,b,c)	rg60 (faza,b,c)	5	9	LTC
670 (faz a,)	671 (faz a,)	0	16	VR
670 (faz b,)	671 (faz b,)	-2	-16	VR
670 (faz c,)	671 (faz c,)	0	16	VR

Tablo 3’de akıllı optimizasyon metotları ile sistemdeki tüm kontrol cihazların arasında koordinasyonun sağlanması ile güç kayıplarının azaltılıp şebekeden talep edilecek toplam görünür gücünde ne kadar düşürülebileceği görülmektedir.

Tablo3.Birleşik volt-var kontrol ve optimizasyonu (VVO) ile Güç Yönetimi Sonuçları

	Klasik (Lokal kontrol) W	Önerilen (Birleşik kontrol) W	% İyileştirme
S	4.3543e+06	3.6082e+06	17.13
P	4.1106e+06	3.5536e+06	13.55
Q	1.4363e+06	0.6253e+06	60.09
Ploss	4.4150e+05	9.1794e+04	79.21
Qloss	-7.8233e+05	-1.4744e+06	88.46

5. SONUÇ

Volt-var cihazlarının optimal çalışma planının çıkarılması harmoni arama algoritması ile gerçekleştirilmiş ve sonuçlar klasik yöntem sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Aktif ve reaktif güç kayıpları ile talep edilen güç miktarının şebekenin çalışma koşullarından ödün vermeden ve tüm baralardaki voltaj değerlerinin kabul edilir sınırlar içerisinde tutarak düşürülmesi ekonomik açıdan büyük yararlar sağlayacaktır. Burada birleşik volt-var kontrol ve optimizasyonu ile şebedeki tüm voltaj regülatörleri hem indirici merkezinde hem de fider seviyesinde reaktif güç sağlayıcıları ile birlikte düşünülmüş olup şebekenin güç akışı kontrolü yapılmıştır. Her baradaki voltaj değerleri de kabul edilir sınırlarda tutulma kısıtları ve aktif güç kayıplarını da azaltma önceliği ile birlikte gerçekleştirilmiştir.

Gelecek çalışması olarak burada yapılan çalışmanın tam güne uygulanması ve başka akıllı optimizasyon metotlarını da ilave ederek en iyi yöntemin hem hesaplama performansı açısından hem de daha verimli sistem çözümüne ulaşmak açısından karşılaştırılması.

KAYNAKLAR

- [1] B. Uluski, "Volt/VAR Control and Optimization Concepts and Issues," slides, EPRI, <http://cialab.ee.washington.edu/nwess/2012/talks/uluski.pdf>.
- [2] B. Uluski, "Integrated Volt - VAR Control," IEEE PES Distribution Automation Tutorial, http://wiki.powerdistributionresearch.com/images/f/f0/DATutorial08Chapter5_SlidesRURRevised.pdf.
- [3] H. Ahmadi, J. R. Marti and H. W. Dommel, "A Framework for Volt-VAR Optimization in Distribution Systems," IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 6, no. 3, pp. 1473-1483, 2015
- [4] V. Borozan and M. E. Baran, "Integrated Volt/Var Control in Distribution Systems," in Power Engineering Society Winter Meeting, 2001. IEEE, vol.3, no., pp.1485,1490 vol.3,, 2001.
- [5] N. Markushevich and W. Luan, "Achieving greater VVO benefits through AMI implementation," in IEEE Power Energy Soc. Gen., San Diego, CA, USA, 2011.
- [6] B. Uluski, "Smart Distribution Applications & Their Integration in a Smart Grid Environment," in 2011 IEEE Power&Energy Society General Meeting, Detroit Michigan, USA, July 2011.
- [7] S. Genc and M. Baggu, "Look ahead Volt/VAR Control: A comparison of integrated and coordinated methods," in T&D Conference and Exposition, 2014 IEEE PES, Chicago, IL, 2014.
- [8] Z. W. Geem, J. H. Kim and G. V. Loganathan, "A New Heuristic Optimization Algorithm:," Simulation, Vols. 76-2, pp. 60-68, 2001.
- [9] K. S. Lee, and Z. W. Geem, "A new meta-heuristic algorithm for continuous engineering optimization: harmony search theory and practice", Comput. Methods. Appl. Mech. Engrg, vol. 194, pp. 3902-3933, Sept. 2005.
- [10] S. Özyön, C. Yaşar and H. Temurtaş, "Harmoni arama algoritmasının çevresel ekonomik güç dağıtım problemlerine uygulanması," Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 26(2), 65-76, 2001.
- [11] "IEEE 13 Node Test Feeder," IEEE Power Engineering Society Distribution System Analysis Subcommittee.
- [12] R. C. Dugan and T. E. McDermott, "An open source platform for collaborating on smart grid research," in IEEE Power and Energy Society General Meeting pp. 1-7., 24-29 July 2011.
- [13] N. U. Primer, «The Open Distribution System Simulator (OpenDSS).».