

Radyal Fidere En Uygun Büyüklükteki Yerel Elektrik Santralin En Uygun Yere Yerleştirilmesi

Tuba GÖZEL
Eposta: tgozel@gyte.edu.tr

Abdulkadir BALIKÇI
a.balikci@gyte.edu.tr

M. Hakan HOCAOĞLU
hocaoglu@gyte.edu.tr

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Elektronik Mühendisliği Bölümü 41400 Gebze / Kocaeli
Anahtar Kelimeler: Yerel elektrik santralleri, radyal sistemler, güç kaybı, optimum yerleşim

Abstract

Due to the increasing interest on renewable sources all over the world in recent times, the studies on local generation have rapidly increased. In order to minimize line losses of power systems, it is crucially important to define the size and location of local generation to be placed. There have been studies, to define the optimum location of local generation. Additional to the current studies in the literature, in this study, the optimum size and location of local generation that will be placed in the radial system will be defined by an analytical method. The results will be verified by simulations.

1. Giriş

Yakın gelecekte hidrolik, rüzgâr, güneş, jeotermal, biokütle, biyogaz, dalga, akıntı enerjisi ve gel-git gibi fosil olmayan enerji kaynakları gibi yenilenebilir kaynakların güç sistemlerinde önemli ağırlığı olacağı tahmin edilmektedir. Bugünlerde yenilenebilir kaynakları da içine alan Yerel Elektrik Santralleri (YES) ile ilgili çalışmalar ön plandadır.

YES'in literatürde henüz tutarlı bir tanımlaması bulunmamasıyla beraber tanımlamalardan biri, birkaç kW seviyelerinden 100 MW üzeri seviyeler arasında üretim yapan fotovoltaik hücresi, yakıt hücresi, rüzgâr tribünü, küçük hidro elektrik santralleri ve batarya enerji saklama sistemi gibi kaynaklar şeklindedir [1-3]. Dağıtım sistemlerinin gerilim profilini düzeltmesi, kayıplarını azaltması, maliyeti düşürmesi, güvenilirliğini artırması gibi pek çok avantajı bulunan YES'in en uygun yerini ve büyüklüğünü elde etmek önemlidir.

Literatürde [4-10] dağıtım sistemlerinde YES'in yerleştirileceği uygun yeri ve büyüklüğünü elde etmek için optimal yük akışı [4], yapay zeka tekniklerinin kullanımı [5-6] ve diğer optimizasyon metodları [7-10] gibi çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalardan referans [4]; optimal yük akışı ile her bir yük barasında YES bulunduğunu varsayarak kaybı, hat yüklenmesini ve reaktif gücü minimum yapacak dağıtılmış YES'lerin en uygun büyüklüğünü ve yerini elde edilmesi için bir algoritma önermiştir. Kullanılan algoritma klasik optimal yük akışı algoritmalarından bunlara temel olan üretim maliyeti kısıtlaması noktasında farklıdır ve bir çok çalışma tarafından karşılaştırma amaçlı kullanılmaktadır [5-10]. Referans

[5]'de optimal yük akışı metodu ile Genetik algoritma ve geliştirilmiş Hereford Ranch algoritması karşılaştırılmış ve Hereford Ranch algoritması ile en iyi sonuç elde edilmiştir. Bulanık Mantık-Genetik Algoritma metodu ile referans [6]'da, Tabu Arama metodu ile de referans [7]'de en az kayıp için YES'lerin en uygun yerini elde edilmesi gerçekleştirilmiştir. Referans [8]'de ise dağıtım sistemlerindeki YES'lerin sistem kayıplarına göre yaklaşık en uygun yeri bulan bir algoritma geliştirilmiş ve en uygun yere yerleştirilen YES'in dağıtım sistemleri üzerindeki etkileri anlatılmıştır. Dağıtım sistemlerinde şönt kondansatörün yerleştirilmesinde kullanılan kural olan '2/3 kuralı' ile kaynak yerleştirilmesi referans [9]'da kullanılmaktadır. Bu metotta düzgün dağılmış yükü olan radyal sisteme için yerleştirilecek YES'in büyüklüğü üretim kapasitesinin 2/3 oranında hattın uzunluğunun 2/3 ünde yerleştirilmesi önerilmektedir. Referans [10] radyal sistemde ve gözlü bir sistemde sistemin kaybını minimum yapacak YES'in yerleştirilecek en uygun yeri belirleyen analitik bir metod anlatılmaktadır.

YES kaynaklı enerjinin maliyeti fosil kaynaklar ile karşılaştırıldığında sosyal, çevresel ve kullanım gibi unsurların fiyatlandırılmamasından dolayı yüksek olmaktadır. Dolayısıyla çalışmalarda genellikle sistem kayıplarını en aza indirmek için eklenen YES'in en uygun yerini ve büyüklüğünü belirlemede üretim maliyeti hesaba katılmamaktadır.

Bu çalışmada, referans [10]'daki gibi analitik olarak düzgün, merkezi ve artımlı dağılmış yük tiplerinde radyal fiderin kaybını en aza indirecek YES'in en uygun yeri ve büyüklüğü belirlenmiştir. Bir radyal fider, analitik olarak elde edilen değerlerle simülasyon yapılarak sistem kaybına ve gerilim profiline bakılarak test edilmiştir. YES'in yerleştirilmesinde sadece en uygun yeri belirleyen referans [10]'daki sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışma ile referans [10]'da eklenen YES'in büyüklüğünden daha küçük değerlerle sistemin kaybını daha çok azaldığı gösterilmiştir.

2. Teorik Analiz

Güç sisteminde güç faktörünün bir olduğu, iletim hattı parametreleri direnç R ve reaktans X değerleri hat boyunca değişmediği, şönt kapasitenin ihmal edildiği, hattın birim uzunluğundaki empedansı $Z=R+jX \Omega/\text{km}$ olduğu ve radyal sistemde bir fiderin yükleri, hat

boyunca fazör akım yoğunluğu $I_d(x)$ ile dağıldığı kabul edilebilir. Bu kabuller altında sistemdeki herhangi bir x noktasındaki fazör fider akımı

$$I(x) = \int_0^x I_d(x) dx \quad (1)$$

ile hesaplanabilir. $I_d(x)$, hattın herhangi bir x noktasındaki fazör akım yoğunluğudur. Uzunluğu u ile gösterilen iletim hattında hat sonu referans kabul edilerek, hat başına doğru gelmesi durumunda fiderin toplam güç kaybı,

$$P_{loss} = \int_0^u \left(\int_0^x I_d(x) dx \right)^2 R dx \quad (2)$$

x noktası ile hat sonu arasındaki gerilim düşümü ise

$$V_{drop}(x) = \int_0^x \int_0^x I_d(x) dx \cdot Z dx \quad (3)$$

şeklinde yazılabilir. Herhangi bir x noktasındaki gerilim ise

$$V(x) = V_0 + V_{drop}(x) = V_u - V_{drop}(u) + V_{drop}(x) \quad (4)$$

ile hesaplanabilir.

Gerçekte YES eklendiğinde gerilimdeki yükselme yüzünden $I_d(x)$ akım yoğunluğunda bir değişim olmalıdır. Analiz hesabında akım yoğunluğundaki bu değişimi YES'in sisteme verdiği akım büyüklüğü (I_{dg}) sebebiyle oluşacak gerilim yükselmesi önceki gerilime nazaran çok küçük olacağından dolayı ihmal edilebilir. YES'in sabit akım veren bir eleman olduğu varsayılacak olursa, herhangi bir x_0 noktasına YES eklendikten sonraki hattın x noktasındaki fider akımı aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$I(x) = \begin{cases} \int_0^x I_d(x) dx & 0 \leq x \leq x_0 \\ \int_0^{x_0} I_d(x) dx - I_{dg} & x_0 \leq x \leq u \end{cases} \quad (5)$$

Yukarıdaki formülde x_0 , YES'in eklendiği konumdur. Akım formülüne göre YES eklendiğinde toplam güç kaybı,

$$P_{loss} = \int_0^{x_0} \left(\int_0^x I_d(x) dx \right)^2 R dx + \int_{x_0}^u \left(\int_0^{x_0} I_d(x) dx - I_{dg} \right)^2 R dx \quad (6)$$

gerilim düşümü

$$V_{drop}(x) = V_x - V_0 = \begin{cases} \int_0^x I_d(x) dx \cdot Z dx & \text{if } 0 \leq x \leq x_0 \\ \int_0^{x_0} I_d(x) dx \cdot Z dx + \int_{x_0}^x \left(\int_0^{x_0} I_d(x) dx - I_{dg} \right) \cdot Z dx & \text{if } x_0 \leq x \leq u \end{cases} \quad (7)$$

ile bulunabilir.

3. YES'in En Uygun Büyüklüğü ve Yerleştirileceği Yerin Belirlenmesi

Radyal fidere eklenecek YES'in en uygun yeri ve büyüklüğü belirlemek için amaç fonksiyonu, güç kaybını en aza indirmektir. Belirlenen en uygun değerlerde bara gerilimlerinin $1 \pm 0.05pu$ sınırları içinde kalması ve YES'in azami büyüklüğü toplam yük kadar olması fonksiyonun kısıtıdır.

Radyal fiderin toplam güç kaybını en aza indirmek için yerleştirilecek olan YES'in en uygun büyüklük ve yerleştirileceği yer sırasıyla güç kaybının YES'in yerleşeceği x_0 noktasına göre türevini ve YES'in sisteme verdiği akım büyüklüğüne göre türevini sıfır yapan değerlerdir. Elde edilen en uygun değerlerde bara gerilimlerinin istenilen sınırlar içinde olup olmadığına bakılır, sınırların içinde olmayan uygun değerler civarında bara gerilimlerine tekrar bakılarak kısıtlamayı sağlayan en uygun değer bulunur.

$$\frac{d}{dx_0} P_{loss} = \frac{d}{dI_{dg}} P_{loss} = 0 \quad (8)$$

Denklem 5 ve 6 kullanılarak çıkartılan sistemin güç kayıp ifadesi düzgün dağılmış yük için denklem 9'da merkezi dağılmış yük için denklem 10'da ve artımlı dağılmış yük için denklem 11'de verilmiştir.

$$P_{loss} = \int_0^{x_0} \left(\int_0^x I_0 dx \right)^2 R dx + \int_{x_0}^u \left(\int_0^{x_0} I_0 dx - I_{dg} \right)^2 R dx \quad (9)$$

$$P_{loss} = \int_0^{\frac{u}{2}} \left[\int_0^{x_0} I_0(x) dx \right]^2 R dx + \int_{\frac{u}{2}}^{x_0} \left[\int_0^{x_0} I_0(u-x) dx + \int_0^{\frac{u}{2}} I_0(x) dx \right]^2 R dx \quad (10)$$

$$+ \int_{x_0}^u \left[\int_0^{\frac{u}{2}} I_0(u-x) dx + \int_0^{x_0} I_0(x) dx - I_{dg} \right]^2 R dx \quad (11)$$

$$P_{loss} = \int_0^{x_0} \left[\int_0^x I_0(u-x) dx \right]^2 R dx + \int_{x_0}^u \left[\int_0^{x_0} I_0(u-x) dx - I_{dg} \right]^2 R dx \quad (11)$$

Düzgün dağılmış yükü bulunan radyal fiderin güç kaybını en aza indirecek YES'in ekleneceği en uygun yeri (x_0) ve YES'in en uygun akım büyüklüğü (I_{dg}); denklem 12' de verilmiş türev ifadelerini sıfır yapacak değerlerdir.

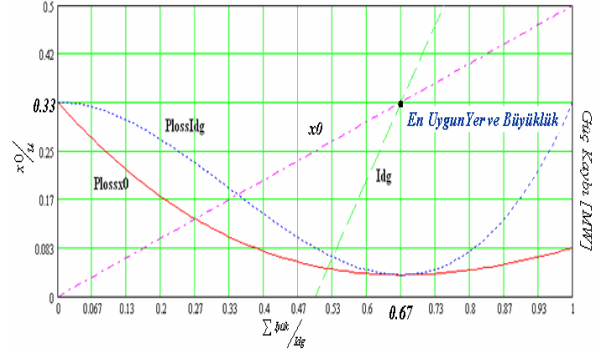
$$\frac{d}{dx_0} P_{loss} = 3 \cdot x_0^2 \cdot I_0^3 - 6 \cdot x_0 \cdot I_0^2 \cdot I_{dg} + 3 \cdot I_0 \cdot I_{dg}^2$$

$$\frac{d}{dI_{dg}} P_{loss} = \frac{1}{3} \cdot R \cdot \frac{(-3 \cdot u^2 \cdot I_0^2 + 6 \cdot u \cdot I_0 \cdot I_{dg} - 3 \cdot I_{dg}^2)}{I_0} - \frac{1}{3} \cdot R \cdot \frac{(-3 \cdot x_0^2 \cdot I_0^2 + 6 \cdot x_0 \cdot I_0 \cdot I_{dg} - 3 \cdot I_{dg}^2)}{I_0} \quad (12)$$

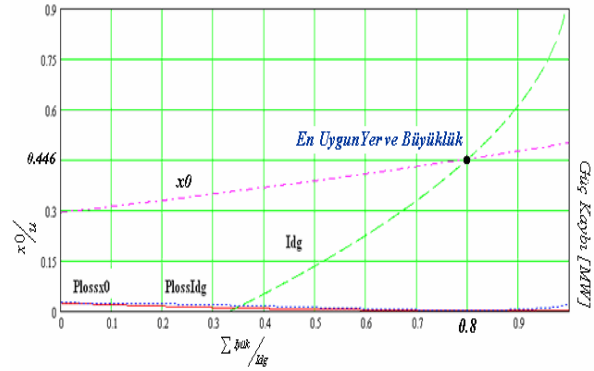
Düzgün dağılmış yüklü fider için yukarıdaki türevleri sıfır yapan YES'in en uygun büyüklüğü toplam yükün 0.67'si ve en uygun yerin hat uzunluğunun 0.33' ü dür. Merkezi ve artımlı dağılmış yük içinde türevleri

sıfır yapılarak elde edilen değerler, merkezi için YES'in en uygun yeri hattın 0.446'i, artımlı için hattın 0.225'i ve YES'in büyüklüğü her iki tip içinde toplam yükün 0.8'i olarak bulunmuştur.

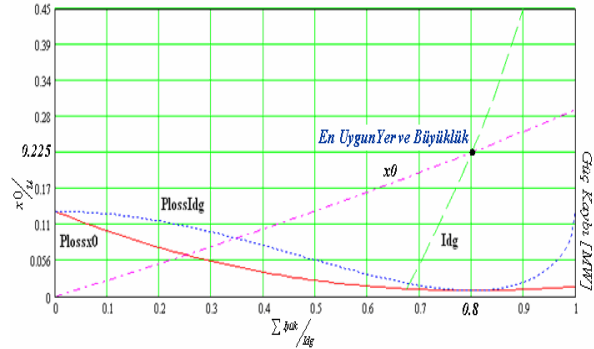
Şekil 1, her yük tipi için sıfır ile toplam yük büyüklüğü ($\sum I_{yük}$) aralığındaki YES'in büyüklüğüne göre değişen YES'in yerleşiminin en uygun yer ($x\theta$) eğrisi, bu eğri değerlerine karşılık gelen güç kaybının



(a) Düzgün Dağılmış Yük için



(b) Merkezi Dağılmış Yük için

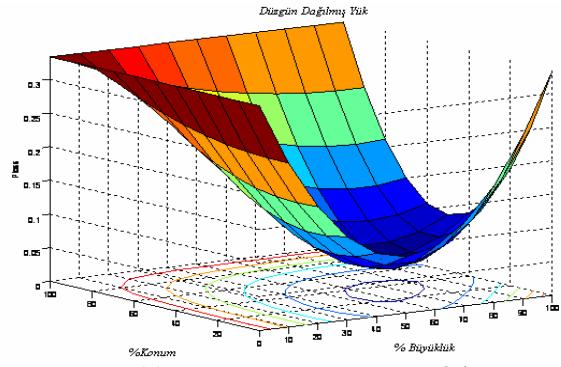


(c) Artımlı Dağılmış Yük için

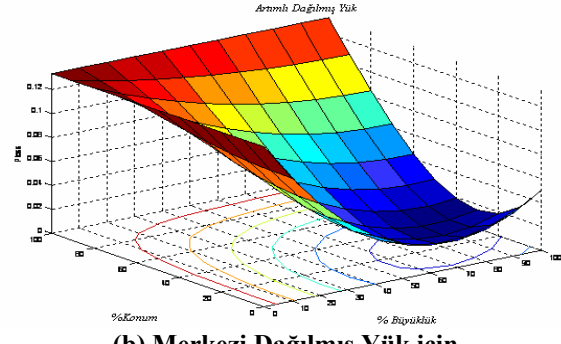
Şekil 1 Eklenecek YES'in En Uygun Yer ve Büyüklüğü ve Sistemin Güç Kaybı

($Plossx0$) değişimi, aynı şekilde en uygun büyüklük (Idg) eğrisinin YES'in büyüklüğe göre değişimi ve buna karşılık gelen güç kaybı ($PlossIdg$) değişimini göstermektedir. $x\theta$ ve Idg eğrisinin birbirine eşit olduğu nokta, $Plossx0$ ve $PlossIdg$ 'in minimumu olup $Plossx0$ ve $PlossIdg$ 'in değerleri birbirine eşittir. Bu noktaya karşılık gelen YES'in büyüklük değeri en uygun değerdir. Ayrıca bu nokta YES'in yerleşeceği en uygun yeri de göstermektedir.

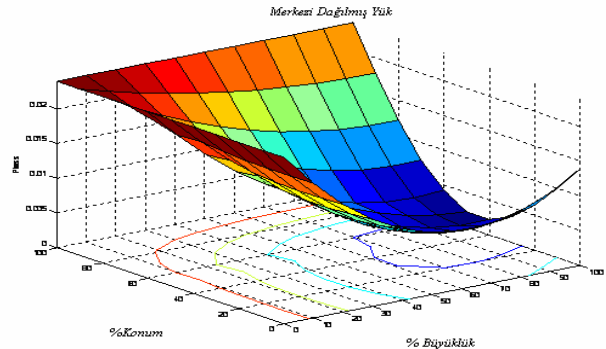
Bu hesaplamalara ek olarak eklenecek YES'in yer ve büyüklük değişimine göre sistemin güç kaybı her yük tipi için hesaplanmıştır. YES'in büyüklüğünün sıfır ile toplam yük büyüklüğü ($\sum I_{yük}$) aralığındaki değişimine ve hattın sonu referans olarak YES'in hattın herhangi bir noktasına yerleştirilmesine göre elde edilen sistemin güç kaybı Şekil 2' de gösterilmiştir. Analitik olarak elde edilen değerler civarında güç kaybının en az olduğu görülmüştür.



(a) Düzgün Dağılmış Yük için



(b) Merkezi Dağılmış Yük için


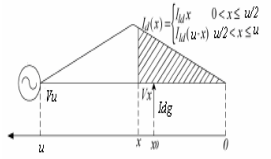
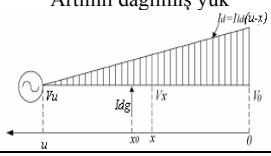


(c) Artımlı Dağılmış Yük için

Şekil 2 Eklenecek YES'in Her Büyüklüğe ve Yere Göre Sistemin Güç Kaybı

Radyal fiderin analitik olarak elde edilen YES ekleden önceki sistem kaybı, toplam kaybı en aza indirecek YES'in en uygun yeri ve büyüklüğü, eklendikten sonraki sistem güç kaybı ve kaybın yüzde kaç azaldığı Tablo 1' de verilmiştir. Ayrıca Tablo 1' de [10]'da hesap edilen fiderin toplam yükü büyüklüğündeki YES'in en uygun yeri, bu değerlere göre sistemin güç kaybı ve YES eklenmeden önceki güç kaybına göre oranı da verilmiştir.

Tablo 1 Çeşitli Yüklerdeki Radyal Fiderin Teorik Analiz Sonuçları

Yük Tipleri	YES'siz	Toplam Yük Büyüklüğündeki YES ile			En Uygun Yer ve Büyüklüğe Göre Hesaplanan YES ile			
	Toplam Güç Kaybı	Toplam Güç Kaybı	Güç Uygun Yer x0	%Kayıp Azalması	Toplam Güç Kaybı	En Uygun Yer x0	En Uygun YES Büyüklüğü	%Kayıp Azalması
Düzgün dağılmış yük 	$I^2 Ru^3 / 3$	$I^2 Ru^3 / 12$	$u/2$	%75.00	$\frac{1}{27} I^2 Ru^3$	$\frac{1}{3} u$	$\frac{2}{3} I.u$	%88.89
Merkezi dağılmış yük 	$\frac{23}{960} I^2 Ru^5$	$I^2 Ru^5 / 320$	$u/2$	%86.96	$2.10^{-3} I^2 Ru^5$	$0.446.u$	$\frac{1}{5} I.u^2$	%91.52
Artımlı dağılmış yük 	$0.133 I^2 Ru^5$	$0.0155 I^2 Ru^5$	$0.29.u$	%88.39	$9.4.10^{-3} I^2 Ru^5$	$0.225.u$	$\frac{2}{5} I.u^2$	%92.95

Tablo 1' de her yük tipi için en uygun yer ve büyüklüğe göre yerleştirilen YES ile sistemin kaybı önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. Her yük tipine göre en uygun yer ve büyüklük değerleri farklıdır.

Tablodan referans [9]'daki 2/3 kuralının sadece düzgün dağılmış yük tipinde geçerli olduğu ve yük dağılımı tipine göre en uygun değerlerin değiştiği görülmektedir.

Bu çalışmada gerçekleştirilen en uygun yer ve büyüklüğe göre güç kaybı, referans [10]'da gerçekleştirilen YES'in en uygun yere göre elde edilen güç kaybına göre daha çok azaldığı görülmüştür.

4. Simülasyon Sonuçları

Şekil 3'teki radyal fiderin her bir barasına YES ekleyerek; teorik analizinden elde edilen değerleri ve civarındaki değerleri kullanarak toplam yük büyüklüğündeki YES ile, en uygun yer ve büyüklüğe göre eklenecek YES ile ve YES'siz sistemin kayıplarına bakılmıştır.

Hat boyunca gerilim seviyesinin 1 ± 0.05 pu aralığında olup olmadığına bakılarak gerilim profili incelenmiştir. Teorik analiz sonuçlarının doğruluğu kontrol edilmiştir.

Şekil 3'te gösterilen radyal fiderin düzgün, merkezi ve artımlı dağılmış yük tiplerinde UWPFLOW [11] ile yük akış analizi yapılmıştır. Radyal fiderin hat parametreleri, yük ve YES büyüklükleri Ekte Tablo A1'te verilmiştir.

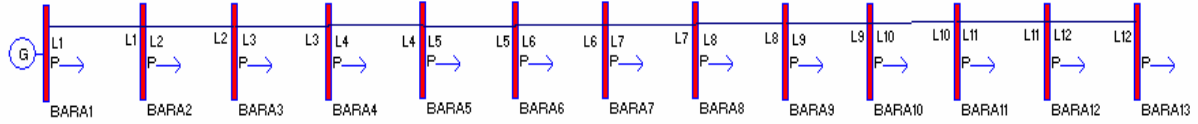
Düzgün dağılmış yükteki radyal fiderin toplam yük büyüklüğünde eklenen YES dışındaki diğer her durumda sistemdeki gerilim seviyeleri 1 ± 0.05 pu seviyesi içinde kalmıştır. Tablo 2'de her durum için sistem kayıpları ve kayıp azalma yüzdesi gösterilmiştir. Teorik analiz ile elde edilen değerlerde ve civarındaki değerlerle simülasyon yapılmıştır. Teorik değerlerin yukarıya yuvarlanmış değerlerinde sistem kaybı en az değerini almıştır. Her bir baraya çeşitli büyüklükte YES eklenerek yapılan simülasyonda da en uygun yer ve büyüklük için hesaplanan değerlerde sistem kaybı en az olmuştur.

Simülasyon sonuçları, teorik analiz sonuçlarını doğrulamaktadır.

5. Sonuç

Bu çalışmada; düzgün, merkezi ve artarak dağılmış yük tiplerindeki radyal fiderin kaybını en aza indiren YES'in en uygun büyüklüğü ve yeri analitik olarak gösterilmiştir. Simülasyon ile de teorik analiz doğrulanmıştır. Yük tipine göre yerleştirilecek YES'in en uygun değerlerinin değiştiği görülmüştür.

Pratikte yük tipleri bu çalışmadaki gibi olmasa da YES'in büyüklüğü ve yerleşeceği yeri hakkında genel bir bilgi bu metotla sağlanmaktadır. İleride gerçeğe yakın yük tipleri (sabit akım ve güç dışında) ve YES büyüklüğü içinde bu çalışma genişletilecektir.



Şekil 3. Bir Radyal Fider

Tablo 2 Eklenecek YES'in En Uygun Değerleri, Sistem Kayıpları ve Kayıpların Azalma Oranı

Yük Tipi	YES'siz	Toplam Yük Büyüklüğündeki Eklenecek YES					En Uygun Yer ve Büyüklüğe Göre Eklenecek YES				
	Kayıp [MW]	Teorik Bara No	En Uygun Bara No	DG [MW]	Kayıp [MW]	%Kayıp Azalması	Teorik Bara No	En Uygun Bara No	DG [MW]	Kayıp [MW]	%Kayıp Azalması
Düzensiz Dağılım	0.8494	7	7	3.9	0.191	77.51	9	9	2.6	0.0576	93.22
Merkezi Dağılım	0.43	7	7	2.94	0.067	84.42	7.648	8	2.352	0.032	92.56
Artımlı Dağılım	1.254	9.48	9	3.51	0.1274	89.84	10.3	10	2.808	0.052	95.85

EK

Tablo A1 Şekil 2'deki Sistemin Parametreleri

Yük Tipi	Her bir Baradaki Yük [MW]													Toplam Yük [MW]	DG [MW]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
Düzensiz Dağılım	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	3.9	2.6
Merkezi Olarak Dağılım	0.06	0.12	0.18	0.24	0.3	0.36	0.42	0.36	0.3	0.24	0.18	0.12	0.06	2.94	2.352
Artarak Dağılım	0.09	0.12	0.15	0.18	0.21	0.24	0.27	0.3	0.33	0.36	0.39	0.42	0.45	3.51	2.808

6. Kaynaklar

1 T. Ackermann, G. Anderson, L. Söder, "Distributed Generation: a Definition", Electric Power System Research 57,2001, pp. 195-204

2 P. P. Barker, R. W. de Mello, "Determining the Impact of Distributed Generation on Power Systems: Part 1 – Radial Distribution Systems", in Proc. of IEEE PES Summer Meeting, Vol.3, 2000, pp.1645-1656.

3 N. Hadjsaid, J. F. Canard, and F. Dumas, "Dispersed Generation Impact on Distribution Networks," IEEE Compt. Appl. Power, vol. 12, pp.22–28, Apr. 1999.

4 S. Rau and Y.H. Wan, "Optimum Location of Resources in Distributed Planning," IEEE Trans. Power Syst., vol. 9, pp. 2014–2020, Nov. 1994.

5 J. O. Kim, S. W. Nam, S. K. Park, and C. Singh, "Dispersed Generation Planning Using Improved Hereford Ranch Algorithm," Electric Power System Research, vol. 47, no. 1, pp. 47–55, Oct. 1998

6 K. H. Kim, Y. J. Lee, S. B. Rhee, S. K. Lee, and S.-K. You, "Dispersed Generator Placement Using Fuzzy-GA in Distribution Systems," in Proc. of IEEE PES Summer Meeting, Vol. 3, July 2002, pp. 1148–1153.

7 K. Nara, Y. Hayashi, K. Ikeda, and T. Ashizawa, "Application of Tabu Search to Optimal Placement of Distributed Generators", Power Engineering Society Winter Meeting, 2001, IEEE, Volume: 2, pp. 918 – 923

8 T. Griffin, K. Tomsovic, D. Secrest, and A. Law, "Placement of Dispersed Generation Systems for Reduced Losses," in Proc. 33rd Annu. Hawaii Int. Conf. Systems Sciences, Maui, HI, 2000; pp.1-9

9 H. L. Willis, "Analytical Methods and Rules of Thumb for Modeling DG-Distribution Interaction," in Proc. 2000 IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, vol. 3, Seattle, WA, July 2000, pp. 1643–1644.

10 C. Wang, M. H. Nehrir 'Analytical Approaches For Optimal Placement Of DG Sources In Power Systems'; IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 19, No. 4, November 2004; pp. 2068–2076

11 Serbest yazılım UWPFLOW: <http://www.power.uwaterloo.ca> erişim tarihi:11.05.2005