

Dengesiz Güç Sistemlerinde Dağıtılmış Üretim Distributed Generation in Unbalanced Power Systems

Mustafa Selim SEZGİN, Ayşen BASA ARSOY

Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği
Kocaeli Üniversitesi

mselimsezgin@gmail.com, aba@kocaeli.edu.tr

Özet

Son yıllarda artan elektrik enerjisi talebi karşısında elektrik dağıtım şebekelerinde farklı karakteristiğe sahip üretim kaynakları kullanılmaya başlanmıştır. Dağıtılmış Üretim Kaynakları (DÜK) olarak adlandırılan bu kaynaklar tüketiciye yakın, şebekeye bağlı ya da ayrı olarak çalışabilmektedir. Dağıtım şebekelerinde dengesiz çalışma sık rastlanabilecek durumdur. Bu çalışmada, DÜK'ün dengesiz yüklü bir dağıtım şebekesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yapılan modelleme ve analiz çalışması göstermiştir ki; dağıtılmış üretim kaynakları, şebekenin gerilim profilini iyileştirmesinde ve kayıpların azalmasında önemli rol oynamıştır.

Abstract

In recent years, increasing electrical energy demand caused different type of energy resources to be utilized. These resources, called distributed generation resources(DGR), are located to nearby consumption unit, connected to grid or operated in islanding mode. Unbalanced operation can be experienced in power distribution systems. This study presents the impact of DG on an unbalanced loaded distribution systems. Performed study on modelling and analysis shows that DGR plays an important role in improving voltage profile and reducing losses of the grid.

1. Giriş

Elektrik güç sistemleri, büyük güçlü elektrik santralleri ile üretim, kilometrelerce uzunluktaki hatlarla sağlanan iletim ve radyal yapıdaki dağıtım sistemlerinden oluşur. Günümüzde fosil yakıt kaynaklarının azalması, bu kaynakların elektrik enerjisi üretiminde kullanılmasından kaynaklanan çevresel etkiler ve enerji kalitesinin düşük olması konuları dünya çapında geleneksel elektrik enerji sistemlerinin karşı karşıya kaldığı sorunlar olarak görülmektedir. Oluşan bu sorunlar dağıtım gerilimi seviyesinde yerel olarak kullanılan doğalgaz biyogaz, rüzgar enerjisi fotovoltaik piller, yakıt hücreleri birleşik ısı-güç sistemleri ve mikro-türbinler gibi yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına olan eğilimi artırmıştır.

Tüketici merkezlerine yakın elektrik dağıtım şebekesine bağlı ya da tek başına çalışabilen, coğrafi olarak yayılı kaynakları içeren yapı Dağıtılmış Üretim (DÜ) olarak adlandırılır. Küçük güçlü santrallerin yanında, rüzgâr güneş gibi yenilenebilir enerji kaynakları, yakıt pili ve enerji depolama birimleri dağıtılmış üretim kaynaklarıdır [1].

Dağıtılmış üretim, elektrik şebekesinde bir çok üstünlük sağlar. Bu üstünlükler şu şekilde sıralanabilir: 1- İletim şebekesinin az yüklenmesi, 2- İletim ve dağıtım sistemi kayıplarının azalması, 3- Güvenilirlik ve güç kalitesinin artması, 4- Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artması. Bu üstünlükleri etkileyen faktörlerin bir kısmı ise DÜK'lerin sistemdeki yeri, anma gücü, tipi kontrol modu ve sistemdeki transformatör bağlantısı, hat empedansı ve sistem yükü olarak sayılabilir. Dağıtılmış üretimin dağıtım sistemlerinde kullanımı arttıkça bu faktörler doğru analiz edilmelidir. Aksi takdirde beklenmeyen sistem davranışı ile karşılaşılabilir [2].

Bu çalışmanın amacı, dengesiz yüklü bir sistemde dağıtılmış üretim kaynaklarının etkilerini bara (düğüm) gerilimleri kısa devre akımları ve toplam kayıplar bakımından incelemektir. Bu incelemeyi gerçekleştirebilmek için önce dengesiz yüklü şebeke modellenmiş, toplam dağıtılmış üretim gücü değiştirilmeden, DÜK'ün yeri ve yaygınlığı artırılarak her durum için analizler yapılmıştır. Modelleme ve analiz çalışmaları DigSilent PowerFactory programı kullanılarak yapılmıştır.

2. Dağıtılmış Üretimin Gerekliği

Geleneksel elektrik üretim sistemleri birtakım nedenlerden ötürü hızla artan elektrik enerji talebini yeterli güvenilirlikte karşılayamamakta ve enerji üretim sektöründe alternatif arayışa neden olmaktadır. Kyoto Protokolü'ne göre birçok ülke, iklim değişikliğini engellemek ve küresel ısınmaya karşı sera gazları emisyonunu düşürmeye çalışmaktadırlar. Bundan dolayı yenilenebilir enerji kaynakları, rezervleri hızla azalmakta olan fosil yakıtların yerine tercih edilmektedir. Isı gereksiniminin önemsenecek derecede olduğu yerlerde dağıtılmış üretim uygulaması olarak birleşik ısı-güç santrallerinin kullanımı daha uygun bir çözüm yöntemi olarak görülmektedir.

Dağıtılmış üretim yapıları sayesinde planlama aşamasında olan bir elektrik enerji sisteminde iletilecek güç azalır, yeni iletim hatlarına duyulan gereksinim ortadan kalkar. Dağıtılmış üretim kaynakları tüketicinin yük talebini tam olarak karşılayabilecek şekilde boyutlandırılabilirler. Küçük güçlü olduklarından, kolaylıkla modüler olarak istenilen yere kurulabilir, kurulum süresi kısa ve modüller birbirinden bağımsız çalışabilir. Kapasite yeni modüller eklenerek istenildiği zaman arttırılabilir.

Dağıtılmış üretim kaynakları; elektriksel uygulamalar kaynak süresi, üretilen gücün tipi ve yenilenebilir teknolojiler açısından birçok sınıflandırma söz konusudur. Ayrıca kullanılan yakıt türüne bağlı olarak da bir gruplandırma yapmak mümkündür. Farklı teknolojiler farklı bağlantı modellerini gerektirmektedir. Fotovoltaik, rüzgar santralleri yakıt pili gibi hızlı gelişen teknolojiler güç elektroniği devre elemanları üzerinden bağlandığı gibi küçük güçlü hidro elektrik ya da doğalgaz üretim kaynakları (senkron generatör grubu) direkt bağlanmaktadır. Senkron generatörler hem aktif ve hem de reaktif güç üretebilmelerine rağmen rüzgar türbinlerinin generatörleri sadece aktif güç üretmektedirler.

Bu çalışmada, kaynakların şebeke içindeki yerinin ve yaygınlığının etkilerini incelemek amaçlanmıştır, bu nedenle kaynak olarak senkron generatör kullanılmıştır.

3. Dağıtılmış Üretimin Etkileri

Geleneksel elektrik iletim ve dağıtım sistemlerimizde güç akışı tek yönlüdür. Genellikle dağıtım sistemlerinin bir çoğu dağıtım kısmında üretim olmaksızın radyal olarak çalıştırıldıkları için, aktif ve reaktif güç akışı her zaman yüksek gerilim seviyelerinden daha düşük gerilim seviyelerine doğru olmaktadır. Ancak günümüzde dağıtılmış üretim kaynaklarının artan kullanımı ile enerji akış yönü değişmeye başlamıştır. Bu durumun kaçınılmaz bir sonucu olarak dağıtım sistemlerinin iki yönlü enerji transferini sağlayabilen ve gerilim seviyesinin üretimle birlikte yükler tarafından belirlenebildiği aktif bir sistem haline dönüşmesi gerekmektedir.

DÜ kaynaklarının büyüklüğü ve çıkış gücü dağıtım sisteminde gerilim seviyesi değişim oranının artmasına sebep olmaktadır.

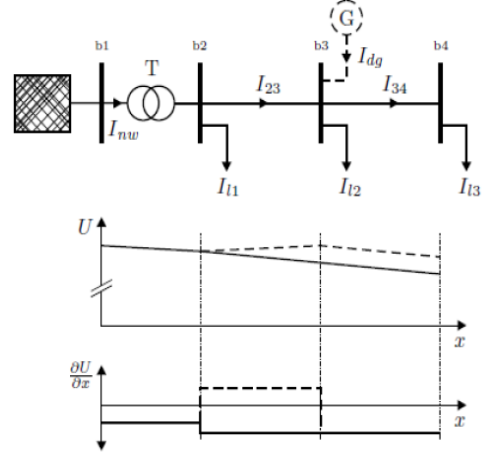
Tüketicilere yakın noktalarda şebekeye bağlantı yapan DÜ kaynakları sistemdeki kayıp ve gerilim düşümlerini azaltmaktadırlar. Bununla birlikte DÜ kaynaklarının tüketicilerden uzak olduğu, üst gerilim seviyelerine doğru enerji transferinin gerektiği durumlarda hatlarının aşırı yüklenmesine ve kayıpların artmasına neden olmaktadır.

3.1. Gerilim Profili

Genellikle elektrik dağıtım sistemlerine entegre edilen dağıtılmış üretim kaynaklarının gerilim profili üzerinde olumlu bir etki yarattığı görülmüştür.

Güç akışı yönü, gerilim gradyanına bağlıdır. Şekil 1’de dağıtılmış üretim kaynağının bir dağıtım fiderine bağlı

olduğu ve bağlı olmadığı durumlardaki etkisi görülmektedir. Sürekli çizgi $I_{dg} = 0$ yani G generatörü dağıtım fiderine bağlı değil ve kesikli çizgi ise $I_{dg} > I_{l2} + I_{l3}$ durumlarını ifade etmektedir. Buna göre, gerilim profilindeki iyileşmenin yanında b2 ve b3 baraları arasında değişen güç akışı yönü görülmektedir [3].

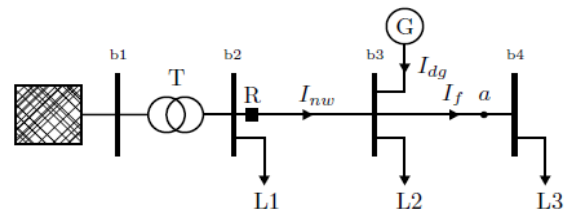


Şekil 1: Gerilim profili ve gradyanın değişimi

3.2. Kısa Devre

Arıza empedansı Z_{th} , dağıtılmış üretim kaynağı baraya paralel bağlandığından normal arıza empedansına göre daha küçük olacağından arıza akımının genlik değeri dağıtılmış üretim kaynağının olmadığı duruma göre daha büyük olur [3].

Şekil 2’de gösterilen a noktasındaki bir arıza meydana gelmesi durumunda oluşacak arıza akımı G generatörünün katkısıyla $I_f = I_{dg} + I_{nw}$ olacaktır. Oysa R rölesi, I_f arıza akımının sadece I_{nw} bileşenini algılayabileceğinden korumanın tam anlamıyla gerçekleştirileceğinden bahsedilemez.



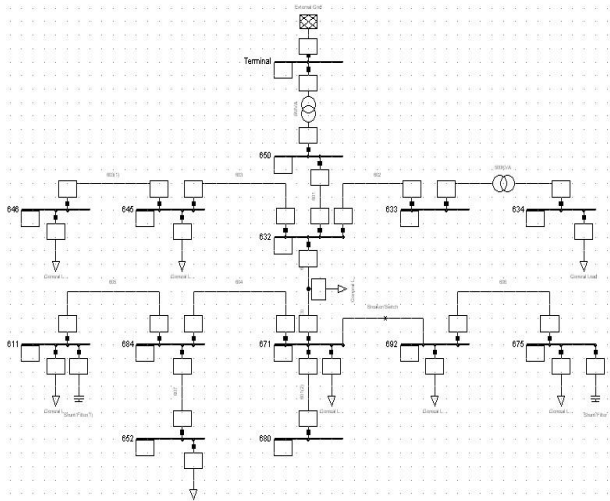
Şekil 2: a noktasında kısa devre arızası. I_{nw} şebekeden çekilen akım I_{dg} dağıtılmış üretim kaynağının sisteme verdiği akım ve I_f a noktasındaki arıza akımıdır.

Bir başka durum olarak arızanın b2 barasında meydana geldiği düşünülürse bu durumda da G generatörü arızayı besleyecektir fakat R rölesinden I_{dg} ters yönde akacaktır. Röle bu durum göz önünde bulundurularak yeniden

boyutlandırılmalıdır. İşte bu bahsedilen durumlar göz önünde bulundurularak koruma koordinasyonunda yeni düzenlemeler yapılmalıdır.

4. Sistem Modellemesi ve Etki Analizleri

Dağıtılmış üretim kaynaklarının yeri ve yaygınlığının etkilerini inceleyebilmek için, dengesiz üç fazlı radyal yapıda bir dağıtım sistemi modeli olan 13 düğümlü IEEE test fideri seçilmiştir. 4,16kV fideri, hem havai hat hem de yer altı kablolarını içeren, şönt kapasitörlere, dengesiz ve noktasal yüklere sahip olan bir fiderdir. Modellemesi DigSilent Power Factory'de yapılan bu fider Şekil 3'te verilmektedir. Bu fider modellemesinde kullanılan parametreler [4]'ten alınmıştır.



Şekil 3: DigSilent'te oluşturulan 13 düğümlü test fiderine ait tek hat şeması

Dağıtılmış üretim kaynağının sürekli durumda etkilerini gözlemleyebilmek için gerçekleştirilen yük akışı ve kısa devre analizlerinde beş durum göz önünde bulundurulmuştur. Bu durumlar;

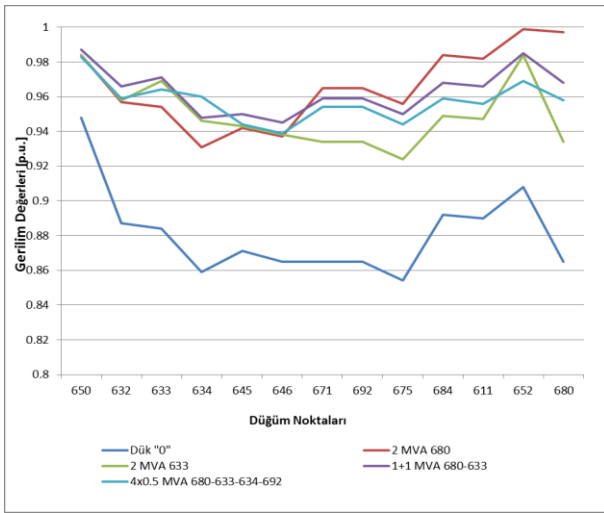
- Sistemde dağıtılmış üretim kaynağı yok,
- 680 nolu düğüme 0.9 (end.) güç katsayılı ve 2 MVA gücünde senkron generatör,
- 633 nolu düğüme 0.9 (end.) güç katsayılı ve 2 MVA gücünde senkron generatör,
- 680 ve 633 nolu düğümlere 0.9 (end.) güç katsayılı ve 1 MVA gücünde senkron generatörler,
- 680, 633, 634 ve 692 nolu düğümler 0.9 (end) güç katsayılı ve 0.5 MVA gücünde senkron generatörler

DÜK olarak seçilen senkron generatörler 3 faz beslenen düğümlere bağlanmıştır. Yukarıda belirtilen durumlar için elde edilen düğümlere ait faz gerilimleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1: Yük akışı analizi sonucunda elde edilen düğüm gerilimleri

Düğüm	Faz	Düğüm Gerilimleri [p.u]				
		680	633	680-633	680-633	
						634-692
		DÜK	DÜK	DÜK	DÜK	DÜK
		0 MVA	2 MVA	2 MVA	1+1 MVA	4x0.5 MVA
Terminal	A	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	B	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	C	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
650	A	0.963	0.996	0.994	0.994	0.989
	B	0.948	0.984	0.984	0.987	0.983
	C	0.963	0.995	0.991	0.993	0.989
632	A	0.931	0.992	0.991	0.988	0.978
	B	0.887	0.957	0.958	0.966	0.959
	C	0.932	0.994	0.984	0.988	0.980
633	A	0.928	0.989	0.996	0.989	0.979
	B	0.884	0.954	0.969	0.971	0.964
	C	0.930	0.992	0.991	0.990	0.981
634	A	0.905	0.968	0.975	0.968	0.977
	B	0.859	0.931	0.946	0.948	0.960
	C	0.909	0.972	0.972	0.970	0.981
645	A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	B	0.871	0.942	0.943	0.950	0.944
	C	0.936	0.998	0.988	0.992	0.984
646	A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	B	0.865	0.937	0.938	0.945	0.939
	C	0.938	1.000	0.989	0.993	0.986
671	A	0.911	0.998	0.983	0.984	0.968
	B	0.865	0.965	0.934	0.959	0.954
	C	0.895	0.986	0.952	0.970	0.961
692	A	0.911	0.998	0.983	0.984	0.968
	B	0.865	0.965	0.934	0.959	0.954
	C	0.895	0.986	0.952	0.970	0.961
675	A	0.897	0.986	0.970	0.971	0.956
	B	0.854	0.956	0.924	0.950	0.944
	C	0.888	0.981	0.946	0.965	0.955
684	A	0.909	0.999	0.984	0.985	0.969
	B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	C	0.892	0.984	0.949	0.968	0.959
611	A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	C	0.890	0.982	0.947	0.966	0.956
652	A	0.908	0.999	0.984	0.985	0.969
	B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	C	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
680	A	0.911	0.999	0.983	0.986	0.969
	B	0.865	0.981	0.934	0.968	0.958
	C	0.895	0.997	0.952	0.977	0.964

Çizelge 1 incelendiğinde dağıtılmış üretim kaynakları kullanılması ile düğüm gerilimlerinin yükseldiği görülmektedir. Aynı büyüklükteki DÜK'ün bağlantı noktasını değişmesiyle düğüm gerilimi değerleri üzerindeki etkisi değişmektedir. Ana şebekeden uzaklaştıkça istenen gerilim değeri elde edildiği görülmektedir. 13 düğümlü test fiderinin tek hat şeması incelendiğinde 680 nolu düğümün 633 nolu düğüme göre ana şebekeye daha uzak olduğu görülmektedir. Çizelge 1 bu bilgiler ışığında incelendiğinde aynı güçlü dağıtılmış üretim kaynağı 680 nolu düğüme bağlandığı durumda gerilim seviyelerinin 633 nolu düğüme göre daha yüksek gerilim seviyeleri elde edildiği görülmektedir. Dağıtılmış üretim kaynaklarının sisteme verdiği toplam güç değiştirilmeden yaygınlık oranı artırıldığında gerilim açısından en uygun durum olduğu yine Çizelge 1'de görülmektedir. Çizelge 1'de elde edilen veriler Şekil 4'te grafik halinde verilmiştir.

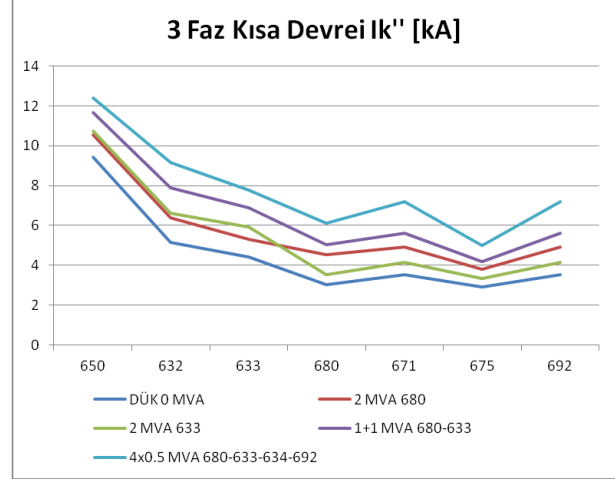


Şekil 4: Düğüm gerilim profillerine ait grafik

Aynı sistem üzerinde DÜK'lerin kısa devre akımları üzerindeki etkilerini inceleyebilmek için tüm düğümlerde ayrı ayrı 3 faz kısa devresi ve faz toprak kısa devresi oluşturulmuştur. Bu durumlara ait veriler Çizelge 2, Şekil 5 ve Çizelge 3, Şekil 6'da verilmiştir.

Çizelge 2: 3 Faz kısa devre akımı sonuçları

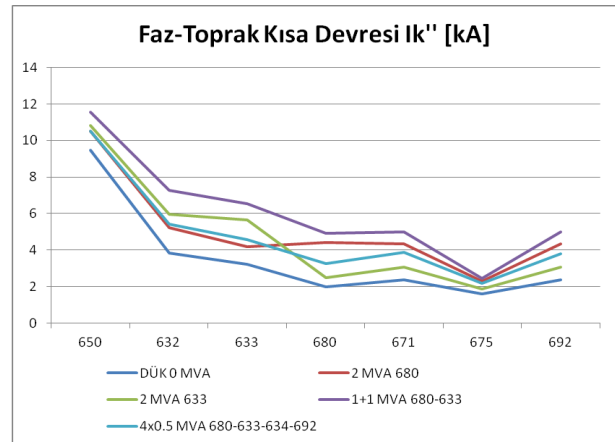
Düğüm	3 faz kısa devresi I _k " [kA]				
	680	633	680-633	680-633	680-633
					634-692
	DÜK	DÜK	DÜK	DÜK	DÜK
	0 MVA	2 MVA	2 MVA	1+1 MVA	4x0.5 MVA
650	9.430	10.560	10.740	11.660	12.400
632	5.130	6.390	6.610	7.900	9.150
633	4.420	5.320	5.940	6.870	7.770
680	3.040	4.530	3.510	5.040	6.120
Terminal	50.200	50.240	50.250	50.270	50.290
634	15.980	17.240	18.030	18.940	19.590
671	3.520	4.920	4.160	5.600	7.210
675	2.900	3.800	3.320	4.180	5.000
692	3.520	4.920	4.160	5.600	7.210



Şekil 5: 3 Faz kısa devre akımlarının grafiksel gösterimi

Çizelge 3: Faz toprak kısa devre akımı sonuçları

Düğüm	Faz toprak kısa devresi I _k " [kA]				
	680	633	680-633	680-633	680-633
					634-692
	DÜK	DÜK	DÜK	DÜK	DÜK
	0 MVA	2 MVA	2 MVA	1+1 MVA	4x0.5 MVA
650	9.460	10.530	10.810	11.540	10.530
632	3.820	5.220	5.970	7.290	5.430
633	3.220	4.170	5.650	6.540	4.570
680	2.000	4.410	2.470	4.900	3.260
Terminal	50.200	50.230	50.230	50.250	50.230
634	13.830	15.640	18.030	18.750	18.670
671	2.380	4.350	3.070	5.010	3.870
675	1.600	2.300	1.880	2.460	2.160
692	2.380	4.350	3.070	5.010	3.800

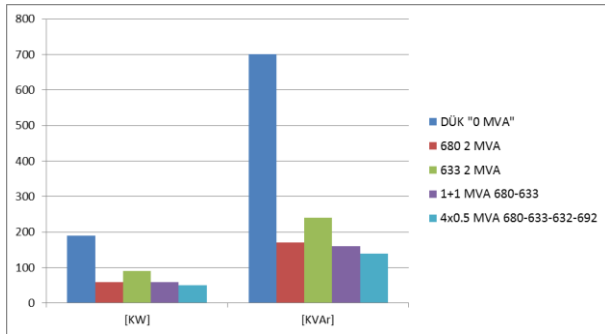


Şekil 6: Faz toprak kısa devre akımlarının grafiksel gösterimi

Faz-toprak ve 3 faz kısa devresi durumundaki tablolar ve grafikler incelendiğinde dağıtılmış üretim kaynağının arıza akımlarını artırıcı bir etki yaptığı görülmektedir. Terminal düğümündeki kısa devre akımının büyüklüğü şebekenin kısa devre gücüne bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca 633 ile 634 nolu düğümler arasında transformatör bağlı olduğundan ve bu transformatörün düşük gerilim tarafı 634 nolu düğüme bağlıdır. Bundan dolayı bu düğüme ait kısa devre akım değeri diğer düğümlere göre daha yüksektir.

Çizelge 4: Kayıplara ait analiz sonuçları

DÜK Gücü ve Yeri	Toplam Aktif Güç Kaybı [MW]	Toplam Reaktif Güç Kaybı [MVar]
0 MVA	0.19	0.70
2 MVA 680	0.06	0.17
2 MVA 633	0.09	0.24
1+1 MVA 680-633	0.06	0.16
4x0.5 MVA 680-633-634-692	0.05	0.14



Şekil 7: Kayıpların grafiksel gösterimi

Toplam kayıplar açısından dağıtılmış üretimin sistem profili üzerinde olumlu etki yaptığı Çizelge 4 ve Şekil 7’de görülmektedir. Üretim kaynaklarının tüketim noktalarına yakın olması, hatların aşırı yüklenmesini önleyerek hat kayıplarını azaltmıştır. Özellikle reaktif güç kaybının aktif güç kaybına oranla daha fazla azalması;

- Bu çalışmada DÜK olarak senkron generatör kullanılması nedeni ile senkron generatörlerin fiderin ihtiyacı olan reaktif gücü yerel olarak sağlamasıyla,
- Havai hatların reaktanslarının dirençlerine oranla daha büyük olmaları ve yine bu hatların aşırı yüklenmesinin engellenmesiyle bu kayıpların azalmasıyla açıklanabilir.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada toplam dağıtılmış üretim gücü sabit kalmak koşuluyla DÜK’ün bağlandığı düğüm noktası, DÜK sayısı gibi parametreler değiştirilerek dengesiz dağıtım şebekesi üzerine etkileri gerilim profili, kısa devre akımları ve toplam kayıplar bakımından incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Analiz sonuçları doğrultusunda; dağıtılmış üretim sistemleri gerilim profiline olumlu katkılar sağlamaktadır. Sisteme dağıtılmış enerji kaynakları ile uygulanacak toplam gücü, bir noktadan vermek yerine, aynı gücü dağıtarak uygulamak gerilim profilindeki olumlu etkinin derecesini arttırmaktadır.
- Dağıtılmış üretim kaynağı varlığının bir diğer etkisi ise arıza akımlarını arttırmasıdır. Birden fazla dağıtılmış üretim kaynağının ise arıza akımına olan etkisinin daha fazla olduğu analizler sonucu belirlenmiştir. Bu durum koruma planlamasında mutlaka dikkate alınmalıdır.
- Kayıplar açısından incelendiğinde dağıtılmış üretim kaynaklarının yaygınlık oranın artmasıyla kayıpların da azaldığı görülmüştür.
- Dağıtılmış enerji üretim kaynaklarının, kısa devre gücü düşük olan noktalardan yapılan bağlantılarında, gerilim-güç ilişkisi açısından daha kararlı bir şebeke ortaya çıkmıştır.

6. Kaynaklar

- [1] Ackermann, T. Anderson, G. and Söder, L. “Distributed Generation, A Definition,” Electric Power Systems Research, vol.57, pp.195-204, 2001
- [2] Nuroğlu, F. M. ve Basa Arsoy, A. “Dağıtılmış Üretim Kaynağı İçeren Dağıtım Sistemlerinde Sürekli Durum ve Kısa Devre Analizi” , 3e Electrotech, 177, 104, 2009
- [3] Geild M., “Protection of Power Systems with Distributed Generation: State of the Art”, Power Systems Laboratory Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zurich, 20th July 2005.
- [4] Kersting, W. H., “Radial Distribution Test Feeders” Distribution Systems Analysis Subcommittee, 2000