

Şebeke Olaylarının Orta Güçteki Santrallerin Devrede Kalma Durumlarına Etkisinin İncelenmesi

Stability Analysis of Medium Sized Power Plants Subjected to Grid Events

Levent Kılıç¹, Ayşen Basa Arsoy²

¹Enerji Verimlilik Müdürlüğü
Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş.
lkilic@sisecam.com

²Elektrik Mühendisliği Bölümü
Kocaeli Üniversitesi
aba@kou.edu.tr

Özet

Dağıtım sistemine bağlanan küçük güçlü üretim ünitelerinin sayısı her geçen gün artmaktadır. Dağıtılmış üretim (DÜ) olarak tanımlanmış bu tür ünitelerin dağıtım sistemindeki yük akışı, kısadevre, gerilim ve frekans kontrolü, güç kalitesi, kararlılık, ada ve senkron çalışma ve röle koordinasyonu ile güvenilirlik üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır.

Bu çalışmada, Trakya bölgesindeki dağıtım şebekesindeki türbin ve gaz motorlarından oluşan senkron generatörlü (SG) özel bir santralin, arıza sonrası devrede kalabilmesinin, dağıtım şebekesi ve santralin kararlılığına etkisi incelenmiş ve kritik temizleme zamanı belirlenmiştir. Çalışmalar, generatör sayısı sabit ve yük değişken ve tersi için tekrarlanmıştır.

Şebeke operatörleri DÜ'nin sisteme katılım oranlarını sınırlandırmakta, arıza durumlarında mevcut olanları da devreden çıkarmaktadır. Kararlılığın bozulmasına DÜ katılım oranlarından çok, gerilim düşümünün yol açtığı görülmüştür. Kısadevre gerilim düşümlerinin 0,5 pu'de tutulabilmesi halinde devreden çıkarmanın gerekmediği, genellikle reaktif cezalardan dolayı güç faktörü 1,0 civarında çalıştırılan SG'lerin 0,8 civarına çekilmesi halinde kararlılığa olumlu katkıda bulunduğu görülmüştür.

Dağıtım sistemine bağlanacak SG 'lü santrallerin normal çalışma durumları için %100'e varabilen katılım oranlarında dahi kararlılığını bozmadığı belirlenmiştir.

Abstract

Connection of small generating units in the medium voltage distribution system is increasing substantially. Such units, called distributed generation, can have a significant impact on, load flow, shortcircuit, voltage, frequency, power quality, stability, islanding and synchronized running, protection and reliability.

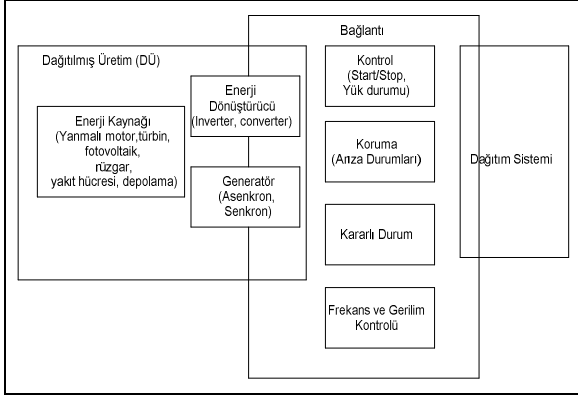
In this study, the stability impact of a private sector power plant in Thrace region having synchronous generators driven by gas engine and gas turbine has been investigated in terms of fault ride through capability. Critical clearing time has been determined, once the criteria of fault ride through capability were explored.

Grid operators do limit penetration levels of such plants and can also disconnect available units when grid fails. Stability is affected by voltage dip much worsely than penetration levels. It has been seen that the disconnection of power plants is not necessary, when the voltage dip is restricted to 0,5 pu. Also that the stability is positively affected when the power factor is decreased to 0,8 from 1,0.

The results also show that even 100% penetrated SG based power plants in distribution system do not affect stability badly in steady state operation.

1. Giriş

Geleneksel güç sistemleri az sayıda fakat yüksek anma değere sahip generatörlerle karakterize edilmektedir. Geleneksel yapı çok sayıda DÜ'nün entegrasyonu ile farklılaşmaktadır. Dağıtım şebekeli güç sistemindeki örneğin generatörlerden oluşan bu tür santrallerin etkisini incelemek için, bunların toplu olarak değerlendirilmesi gibi bazı basitleştirme yöntemleri kullanmak gerekmektedir. DÜ'nin güç sistemindeki etkilerinin araştırıldığı ayrıntılı çalışmaların yanında, dağıtım şebekesi işletimi üzerindeki etkilerini araştırılan çalışmalar, Şekil 1' de sistematikleştirilmiştir. Arızalı bir dağıtım şebekesinde DÜ arıza akımına katkıda bulunabilir ve dağıtım şebekesindeki arızanın saptanmasını doğrudan etkileyebilir.



Şekil 1. DÜ - dağıtım sistemi bağlantısıyla yaşanabilecek olaylar

DÜ santrallerin artması güç sistemleri için yeni fırsatlarla beraber, bazı problemlerin oluşumuna da neden olmaktadır. Radyal dağıtım sisteminin değişik yerlerine bağlanan DÜ santrallerinin şebeke gerilim profili ve kısadevre etkileri üzerine simülasyon çalışması yürütülmüştür. DÜ santrallerin gerilim profiline olumlu katkıda bulunacağı, bağlı olduğu baranın kısadevre akımlarını arttıracığı, bunun arıza durumunu açmadan önce, sağlıklı hattın da devre dışı kalmasına neden olabileceği, DÜ santrallerin sisteme dahil olmasıyla yük akışının artık tek yönden değil, iki yönden olacağı, güvenli şebeke yönetimi için, koruma durumlarının buna göre revize edilmesi gerektiği belirtilmektedir [1,2,3,4,5,6].

Son zamanlarda, yenilenebilir enerji ve yüksek verimli sistemlerin elektrik üretimine dönük teşvik edici çabalar harcandığını, generatörlerin dağıtım seviyesinden sisteme bağlanmakta ve dağıtılmış üretim olarak adlandırıldıklarını, sanayi ve akademi tarafından yürütülen çeşitli araştırmalar, DÜ'lerin ana dağıtım sistemini bir takım yollarla olumsuz etkileyeceğini gösterdiği belirtilmektedir. Bunlardan biri de geçici durum kararlılığıdır. Dağıtım şebekelerinin pasif karakterli olmaları nedeniyle geçici durum kararlılığın genel olarak bir sorun olmadığı, ancak, son zamanlarda, DÜ'lerin artan katılımıyla bunun önem arz etmeye başladığı görülmektedir. DÜ'lerin kritik açma zamanları, mevcut Danimarka 10 kV dağıtım şebekesi için saptanmıştır [8]. Farklı şebeke noktalarındaki üç faz arızaları analiz edilmiştir. Böyle kritik açma zamanı DÜ'nin kararsız olmaya başlaması ile belirlenmektedir. Durum senaryolarından elde edilen sonuçlar sunulmakta ve değerlendirilmektedir. Genel sonuç, DÜ'lerin dağıtım şebekesi seviyesinde geçici durum kararlılık problemleri oluşturabileceğidir. Bu yüzden, yeni DÜ üniteleri şebekeye bağlanırken bu durumun dikkate alınması gerekmektedir. DÜ düşük gerilim koruma ayarlarının da geçici durum kararlılık analizi baz alınarak saptanabileceği sonucuna da varılmıştır. Bu durum bazı tür DÜ ünitelerinin bir arıza süresince ve sonrasında şebekeye desteğinin ve bağlı kalabilmesinin sağlanabilmesi için önemlidir.

Generatör parametrelerinin güç sisteminin kararlılığı üzerindeki etkileri araştırılan diğer bir konudur. Generatör modeli, uyarım sistemi ve güç sistemi stabilizatör parametrelerinin güç sistemi geçici durumları ve dinamik kararlılığı üzerine simülasyon çalışmaları yapılmıştır [9]. Güç

sisteminin kararlılık derecesi, sistemi oluşturan parçaların değerlerinin doğruluğuna ve uygunluğuna bağlıdır. Güç sistemi kararlılık çalışmalarına başlamadan önce generatör parametrelerinin doğruluğunu kontrol ve test etmek en önemli işittir. Parametrelerden yalnız biri bile hatalı olursa, sonuç gerçek durumu yansıtmayacaktır. Bununla birlikte, tüm generatörlerin parametrelerinin çok sıkı bir şekilde test edilmesi uygulamada mümkün ve ekonomik olmamaktadır. Makalede bu sorunu açacak bir model önerilmektedir.

Geleneksel dağıtım şebekesi koruma sistemleri pasif dağıtım şebekesinde arızayı temizlemede yeterince hızlıdır. Fakat, senkron generatörlü bir DÜ bağlandığında koruma sisteminin arızayı saptaması ve açması için gereken zaman DÜ'nin kararlılık sınırlarını aşabilir, böylece DÜ kararlılık sınırları aşılmadan ayrılmak zorundadır. Bazı teknik standartlara göre, örneğin [10], DÜ arıza ya da anormal bir durum olduğunda otomatik olarak ayrılmalıdır. Bu DÜ'nin hasar görmesini engeller ve koruma sistemiyle karışmasını engeller [11]. DÜ artan önemi nedeniyle, DÜ gereksiz ayrılması artık arzu edilmemektedir. Bu durum, beklenen DÜ faydalarını azalttığı için bundan kaçınılmalıdır [12].

DÜ ünitelerinin kararlılığı: Arıza sonrası devrede kalabilme kriterleri uygulandığında, dağıtım şebekesine bağlanan DÜ üniteleri, belirlenen limitler içerisinde, kararlılığını kaybetmeden, arıza sonucu oluşan gerilim düşmelerine dayanabilmek zorundadır. Mevcut koruma sistemleri göreceli olarak ucuz ve basittir ve DÜ olmayan dağıtım şebekesi yapısına göre tasarlanmışlardır. Arıza temizleme süresi, özellikle trafo merkezine yakın arızalar için, lokal bağlanmış DÜ ünitelerinin kararlılık limitlerini aşabilir. Böylece, DÜ ünitelerini geleneksel koruma sistemi ile korunan dağıtım şebekesine bağlı tutmak arıza sonrası devrede kalabilme kriteri uygulandığında bağlı olan DÜ ünitelerinin kararsızlığına yol açabilir.

Bu çalışmada aşağıdaki soruların cevapları gerçek saha/devre parametreleri ile DigSilent programı aracılığıyla cevaplanmaya çalışılacaktır.

- Bir dağıtım şebekesi arızasında ya da sonrasında DÜ'nin bağlı kalmasının ne etkisi olur?
- Bir dağıtım şebekesi arızasında ya da sonrasında dağıtım sistemine bağlı DÜ, kararlılığını kaybetmeden bağlı kalabilir mi?
- Ne tür bir arıza dağıtım şebekesine bağlı DÜ'nin ayrılmasına neden olur?
- DÜ'nin devre dışı olmasını engellemek için minimum arıza sonrası devrede kalabilme kriteri nedir?
- Çeşitli DÜ katılım oranlarında durum nasıl değişir?

2. Şebeke Olaylarının Etkisinin İncelenmesi

Yük akışı hesabı belirli bir yük ve üretim için sistemin durumunu saptamada kullanılmaktadır [Tablo 1]. Bu, kararlı duruma karşılık gelmektedir. Ancak gerçekte, bu durum açma-kapamalarla, yüklerin ve üretim kaynaklarının devreye girip çıkmalarıyla ve sıralı ya da rastgele kaskat durumlarla değişecektir.

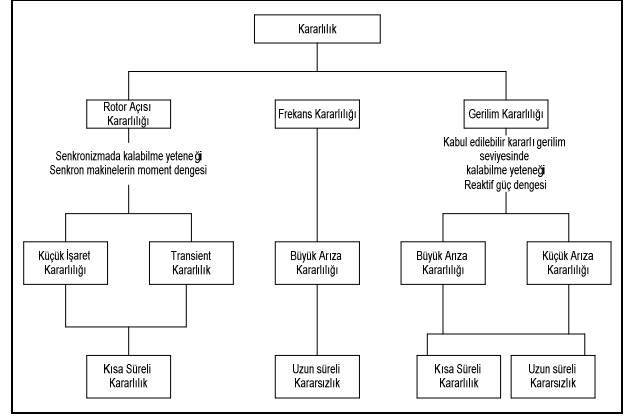
Tablo 1. Baradaki yük akışı parametreleri

Bara türü	P	Q	V	δ	Açıklama
Yük	$\sqrt{\quad}$	$\sqrt{\quad}$			Genel yük gösterimi
Generatör ya da Senkron Kondansatör	$\sqrt{\quad}$		$\sqrt{\quad}$ ($Q^- < Q_g < Q^+$ iken)		Generatör ya da Senkron Kondansatör ($P=0$) Q^- = Minimum VAR sınırı Q^+ = Maksimum VAR sınırı
Senkron Kondansatör		$\sqrt{\quad}$ $Q_g < Q^-$ ya da $Q_g > Q^+$			$ V $, Q_g sınırlarının içerisinde oldukça sınırlarında tutulur
Salınım			$\sqrt{\quad}$	$\sqrt{\quad}$	Salınım barası gerilimi sabit tutmak için net gücü ayarlamaktadır (Bu çözüm için zorunludur)

Yük akışı, kısadevre, kararlılık, motor kalkışları, harmonik çalışmalar gibi çalışmalara temel oluşturmaktadır. Sistem verileri üzerinden bu tür çalışmalar için başlangıç koşulları sağlanmaktadır. [13]., Kısadevre çalışmaları, bir arıza meydana geldiğinde, güç sistemi üzerinde akması beklenen akımın büyüklüğünü belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Akımın büyüklüğü kararlı haline ulaşana kadar zamanla değişmektedir. Dağıtım şebekesinin kararlılığını analiz edebilmek için, arıza ya da bazı sistem elemanlarının devreden çıkması ya da girmesi durumlarındaki ani yük değişikliklerinin davranışlarının incelenmesi gerekmektedir. Sistemin sağlamlığı, normal ve arızalı durumlara karşı, kararlılık sağlanması ile tanımlanır. Bu nedenle dağıtım şebekesini olası zararlı geçici durum olaylarına karşı, yük kaybı, senkronizasyon kaybı, vb. gibi kayıplara yol açmayacak şekilde tasarlamak ve işletmek gerekmektedir, Şekil 2. Kararlılık, denge noktası civarlarındaki küçük değişimlerden olan küçük işaret (statik) ve kısadevreler, üretimin ani kaybı gibi büyük genlikli arızalarla ilgili geçici durum ya da açılı kararlılığı, gerilim çökmeleri gibi dinamik kararlılık olarak düşünülebilir. DÜ' nin kararlılığa, dağıtım şebekesindeki gerilim ve frekansa normal şartlarda ve bozulmalarında belli bir süre için dayanabilmesi ve destek vermesi beklenebilir.

Sürekli hal kararlılığı, bir sistemin ufak arıza ya da değişimden sonra, bu değişim devam etse dahi, başlangıç ya da buna yakın durumuna geri gelebilmesidir. Normal kararlı durum kararlılığı, sistemin teknik ve ekonomik tasarımında kullanılırken; arıza kararlı durum kararlılığı ise sistemin yeni duruma tepkisinin analizinde, arıza sonrası kararlı durum kararlılığı ise bir ya da daha fazla sistem elemanının devreden çıkması durumunda ortaya çıkacak daha zayıf sistemi incelemede kullanılmaktadır.

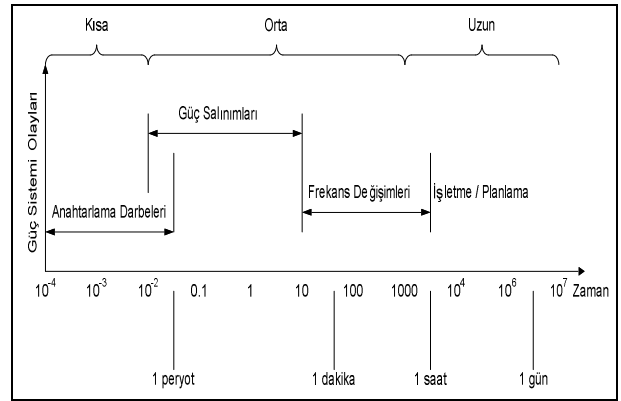
Geçici durum kararlılığı büyük arızalar sonrası sistemin ilk haline toparlanabilme yeteneğidir [8,14]. Geçici durum davranışın doğasını bilmek doğru tepkilerin ve ekipmanın belirlenmesine olanak sağlayacaktır. Geçici durum kararlılık durumu simülasyon fonksiyonu, elektromekanik ve kontrol elemanlarının dinamiklerini göz önüne almaktadır. Pasif elektrik şebekesinin simetrik, kararlı hal durumu kullanılmakta, gerilim ve akımların sadece temel bileşenleri hesaba katılmaktadır.



Şekil 2. Kararlılık sınıflandırması

Geçici durumlar, Şekil 3' te görüldüğü üzere, üç zaman domenine ayrılabilir [15,16,17,18]:

- Kısa dönemli ya da elektromanyetik geçici durumlar
- Orta dönemli ya da elektromekanik geçici durumlar
- Uzun dönemli geçici durumlar



Şekil 3. Sürelerine göre sınıflandırılmış şebeke olayları

Şiddetli bir arıza durumunda, sistem değerleri kararlı durumlarındaki değerlerinden sapacak, yeni durumuna geçecektir. Bu yeni durumdaki kararlılık, bara gerilim ve generatör rotor açılarının, arıza öncesi durumlarına kabul edilebilir ölçüde dönmesi ile sağlanabilecektir. Kararlılık göstergesi olarak genellikle generatör rotor açısı kullanılmaktadır. Bir arıza anında bara gerilimleri düşecektir. Yakın noktada bağlı olan generatörlerin verdiği güç de düşecektir. Bu durumda, elektriksel güç değişimine karşılık makinenin verdiği mekanik güç aynı hızda olmayabilir. Bu da iyi bilinen, denklem (1)'de verilen, salınım denklemini oluşturmaktadır [19]:

$$\frac{2H}{\omega_s} \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_m - P_e \quad (1)$$

Burada;

P_m : Mekanik güç [pu]

P_e : Elektriksel güç [pu]

H : Rotor eylemsizlik sabiti [MW.s/MVA]

δ : Rotor açısı [rad]

ω_s : Açısal frekans [rad/s]
 t : zaman [s]

Rotor açısal hızı denklem 2'deki gibi, generatör elektriksel gücü de denklem 3'teki gibi tanımlandığında, denklem 4 elde edilir.

$$w_r = \frac{d\delta}{dt} = w - w_s \quad (2)$$

$$P_e = P_{max} \sin \delta \quad (3)$$

$$\frac{2H}{w_s} \frac{dw_r}{dt} = P_m - P_{max} \sin \delta \quad (4)$$

Denklem 4'e uygulanan bir takım matematiksel işlemlerden sonra, güç açısı diyagramı yardımı ile denklem 5 elde edilir [19].

$$\int_{\delta_0}^{\delta_{cr}} (P_m - P_{max} \sin \delta) d\delta = \int_{\delta_{cr}}^{\delta_{max}} (P_m - P_{max} \sin \delta) d\delta \quad (5)$$

Denklemin sol kısmı arıza periyoduna, sağ tarafı ise arıza sonrası duruma karşılık gelmektedir. Burada δ_0 : Sürekli durumdaki açıyı, δ_{cr} : kritik temizleme açısını temsil etmektedir. Denklem (5)'in çözümü ile kritik temizleme açısı hesaplanabilir.

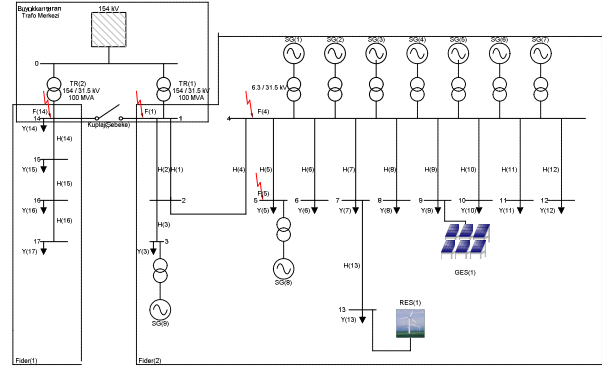
$$\delta_{cr} = \cos^{-1}[(\pi - 2\delta_0) \sin \delta_0 - \cos \delta_0] \quad (6)$$

Arıza temizleme zamanı generatörün kinetik enerjisini geri kazanmasını belirlemektedir. Eğer bu süre çok uzunsa, generatörün kararlılık sınırları aşılabilecek ve generatör kararsız duruma gelecektir. Generatörün geçici durum kararlılığı bakımından arıza temizleme zamanı önemli bir niceliktir ve kararlılık sınırı kritik temizleme zamanı olarak ifade edilebilir. [18]'de kritik temizleme zamanı, arızanın olması ile temizlenmesi arasındaki zaman olarak tanımlanmaktadır. Kritik temizleme zamanı Denklem (7)'de ifade edilmektedir:

$$t_{cr} = \sqrt{\frac{4H(\delta_{cr} - \delta_0)}{w_s P_m}} \quad (7)$$

3. Arızalar Karşısında DÜ Davranışı

Dağıtım şebekesi genişlemeye uygun yapıda olabilir. Sistemi, çeşitli olası işletim modellerine göre incelemek önem taşımaktadır. Bunun için basitleştirilmiş tek hat diyagramları kullanılmaktadır. Tek hat diyagramı, çalışılacak sistemin şebeke, bara, transformatör, generatör, yük, kondansatör, reaktör, hat, vb. gibi tüm elemanlarından oluşmaktadır. Şekil 4, çalışılacak dağıtım şebekesine ait, gerçek sistemin genişletilmiş tek hat diyagramını göstermektedir.



Şekil 4. Üzerinde Çalışılan Dağıtım Şebekesi

Şebeke elemanlarına ait veriler [20]'de verilmiştir.

Şebeke olaylarının kritik temizleme zamanına etkisini inceleyebilmek için sistemdeki herhangi bir barada bir kısa devre oluşturulması ve arızanın başka bir elemanı devre dışı bırakarak sonlandırılması gibi bir seri durum analizi yapılmıştır.

Çalışılan durumların tümü Tablo 2'de sistematik olarak özetlenmiştir. Bu durumlar altında rotor açısı ve generatör aktif gücü gibi çeşitli parametreler izlenmiştir.

Tablo 2. Durum Çalışmaları Özeti

Kısaydevre Noktası	Durum Nosu	Fider 2 Yüklü [MW]	Açıklama	Alt Durum
Bara 5	1	50	Önceki simülasyonların gen nominal gücünü değiştirerek incelenmesi	b
Bara 14	2	50	Tüm generatörler için $\cos \phi = 0,98$	b
	3	50	SG1,2 için $\cos \phi = 0,8$, SG3 için $\cos \phi = 0,98$	b
Bara 4	4	100	Gen gücü sabit fider yükleri değiştiriliyor	b
	5	50		a,b,c
	6	10		b
Bara 5	7	50	Kısaydevre anında bara gerilimi 0 pu	b
	8	50	Kısaydevre anında bara gerilimi 0,5 pu	b
	9	50	Kısaydevre anında bara gerilimi 0,6 pu	b
	10	50	Kısaydevre anında bara gerilimi 0,7 pu	b
	11	50	Kısaydevre anında bara gerilimi 0,8 pu	b
	12	50	Kısaydevre anında bara gerilimi 0,9 pu	b
Bara 5	13	50	Generatör $\cos \phi = 0,98$	b
	14	50	Generatör $\cos \phi = 0,8$	b
	15	50	Generatör $\cos \phi = 0,7$	b
	16	50	Generatör $\cos \phi = 0,6$	b
	17	50	Generatör $\cos \phi = 0,5$	b

Bara 5	18	10	Hat 4 açık	b
	19	10	Hat 4 açık	b + res
	20	10	Hat 4 kapalı	b + res
Bara 2	21	50	Bara değişikliği	b
	22	50	Bara değişikliği	b + res
Bara 14	23	50	Bara değişikliği, Trafo devreden çıkarma	b
	24	50	Bara değişikliği, Trafo devreden çıkarma	b + res
Bara 5	25	10	Hat 4 açık	b + ges
	26	10	Hat 4 açık	b + ges + res
	27	10	Hat 4 kapalı	b + ges
	28	10	Hat 4 kapalı	b + ges + res
Bara 5	29	100	Gen gücü sabit, fider yükleri değiştiriliyor	a,b,c
	30	50		
	31	10		
Bara 5	32	50	Kısadevre anında bara gerilimi 0,5 pu	c
Bara 5	33	10	Hat 4 açık	c + res
Bara 5	34	10	Hat 4 kapalı	c + res
Bara 5	35	10	Hat 4 açık 7 kapalı	c + res + ges

a: SG1 devrede

b) SG1+SG'+SG3 devrede

c)SG1+SG2+SG3+SG8+SG9 devrede

res: Rüzgar Enerji Santrali

ges: Güneş Enerji Santrali

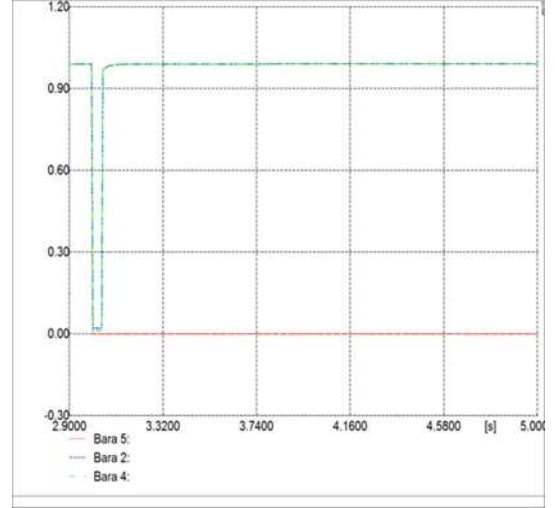
3.1. Örnek Durum - 1

İzlenen sistematığın görülmesi bakımından bu kısım detaylı verilecektir. Diğer çalışmalarda elde edilen sonuçlar verilmiştir [20].

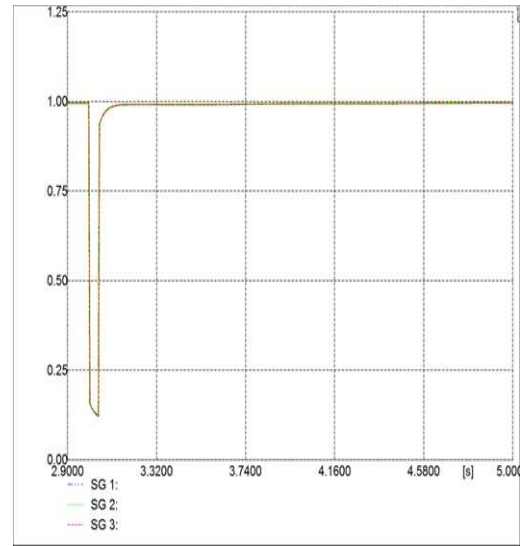
Bu durumda fider -2 de 50 MW yük vardır. Yükler ve senkron generatörler özdeş ve SG1, SG2 ve SG3 devrededir. Bara 5'de kısadevre oluşturulmuş, farklı açtırma süreleri için durum analizleri tekrarlanmıştır. Kritik açtırma süreleri ve durumlar Tablo 3'de ve her bir durum için generatör aktif güç ve rotor açt değişimleri Şekil 5-13'te verilmektedir.

Tablo 3. Durum 1 (b) kritik açtırma süreleri

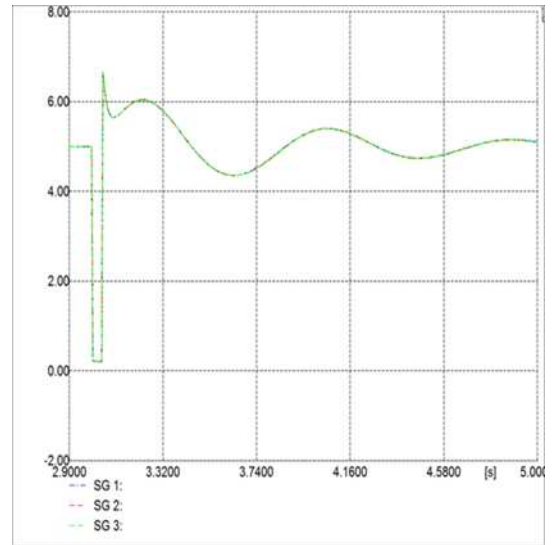
Durum	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7	1-8
Kritik Açtırma Süresi [ms]	45	90	135	180	240	285	330	360



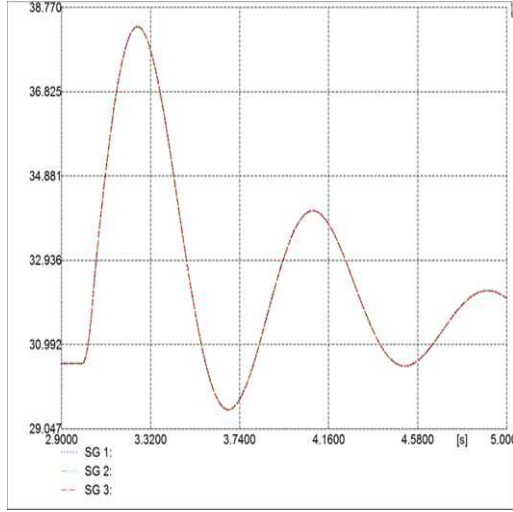
Şekil 5. Durum 1-1 Bara Gerilimleri



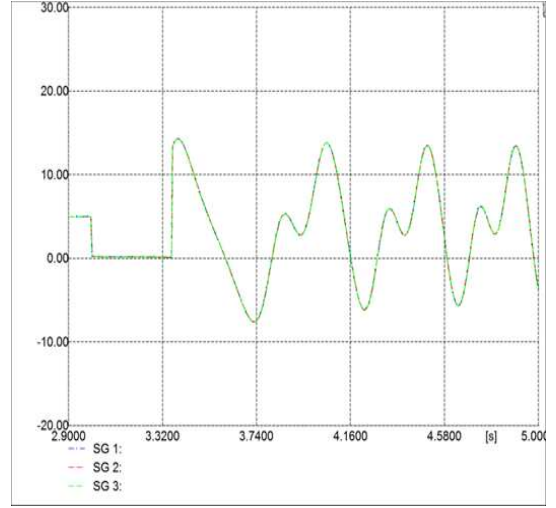
Şekil 6. Durum 1-1 Generatör Gerilimleri



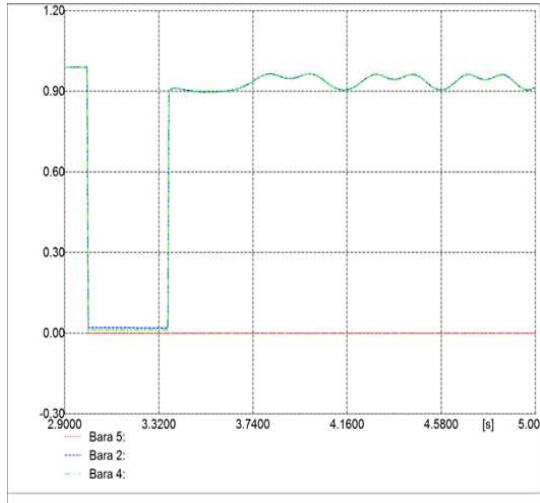
Şekil 7. Durum 1-1 Generatör Aktif Gücü



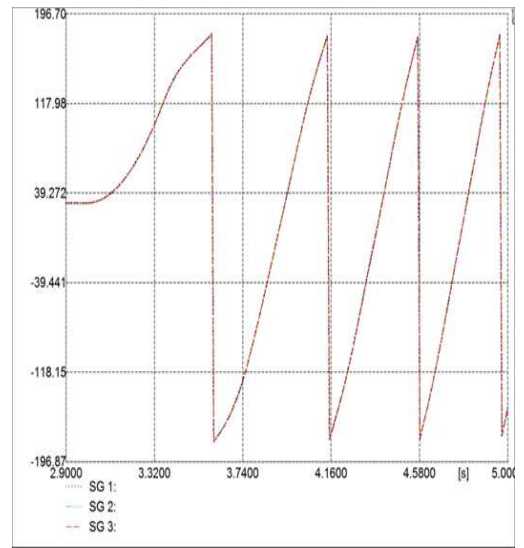
Şekil 8. Durum 1-1 Generatör Rotor Açısı



Şekil 11. Durum 1-8 Generatör Aktif Gücü

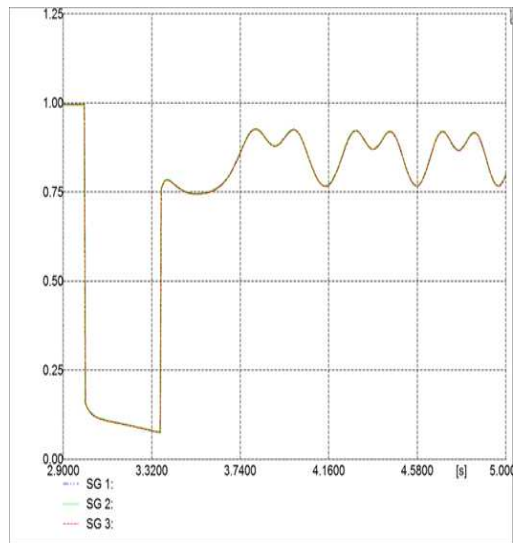


Şekil 9. Durum 1-8 Bara Gerilimleri

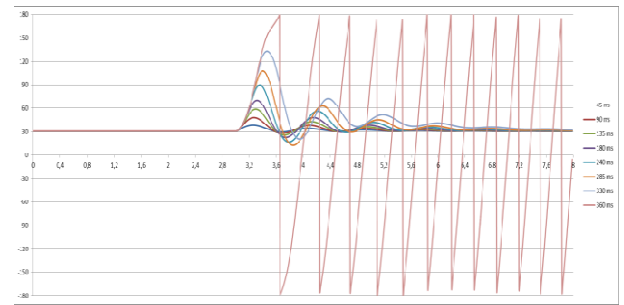


Şekil 12. Durum 1-8 Generatör Rotor Açısı

Ayrıntılı grafikleri görülen durum incelemesinin aynı grafiğe indirgenmiş hali Şekil 13'da verilmektedir.



Şekil 10. Durum 1-8 Generatör Gerilimleri



Şekil 13. Karşılaştırmalı arıza süresi ve kararlılık sınırı

Arıza, 240 ms içinde sonlandırıldığında, rotor açısının 90 dereceye çıkmadığı, 360 ms'de 90 dereceyi aşıya bile yeniden kararlı duruma geçebildiği, 360 ms'den sonra sonlandırılması durumunda ise kararlı durumun bozulduğu görülmektedir.

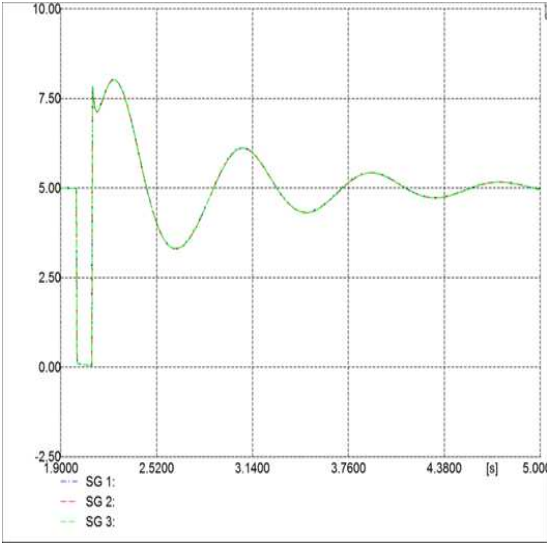
3.2. Örnek Durum - 2

Bu durumda kısadevre edilen bara 14 nolu bara olarak seçilmiş, arıza 2. saniyede oluşturulmuştur. Durum 1'de olduğu gibi, fider -2 de 50 MW yük vardır, yükler ve senkron generatörler özdeş ve $\cos\phi$ 'leri 0,98 olan üç generatör (SG1, SG2 ve SG3) devrededir.

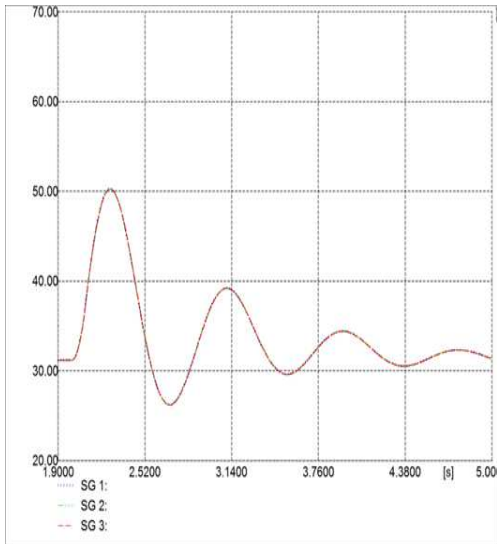
Farklı açma zamanları için analizler tekrarlanmıştır. Açma zamanı ve durumlar Tablo 9'da görülmektedir. Bu durumlar için generatörlerin aktif güç ve rotor açışimleri de Şekil 14-21'de verilmektedir.

Tablo 4. Durum 2 (b) kritik açma süreleri

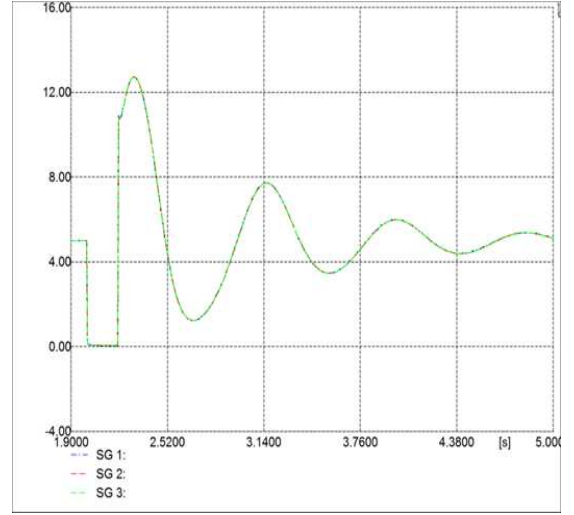
Durum	2-1	2-2	2-3	2-4
Kritik Açma Süresi [ms]	100	200	235	350



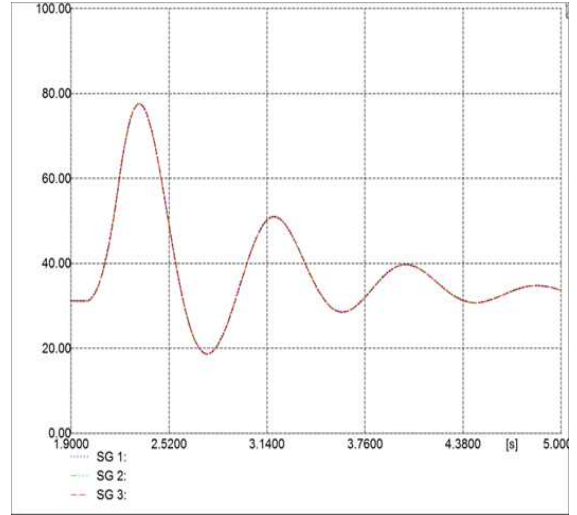
Şekil 14. Durum 2-1 Generator Aktif Gücü



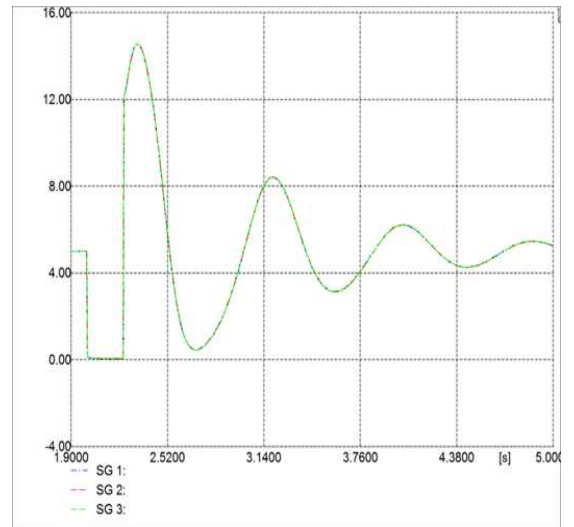
Şekil 15. Durum 2-1 Generator Rotor Açısı



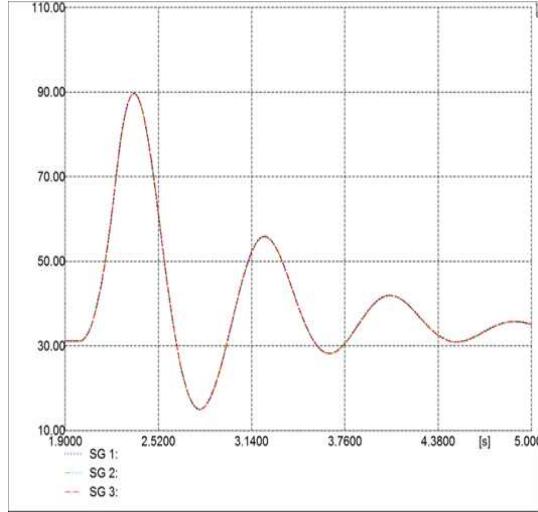
Şekil 16. Durum 2-2 Generator Aktif Gücü



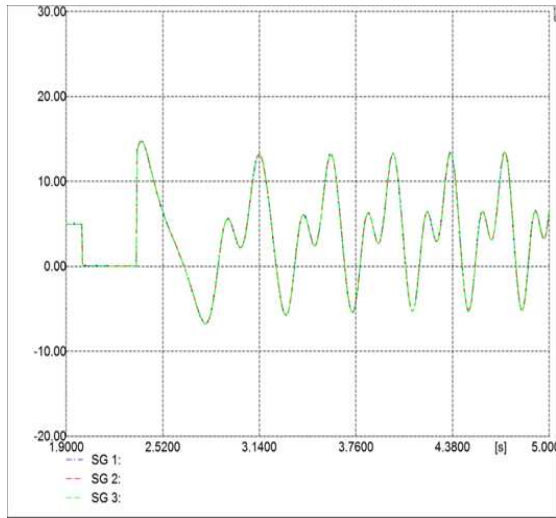
Şekil 17. Durum 2-2 Generator Rotor Açısı



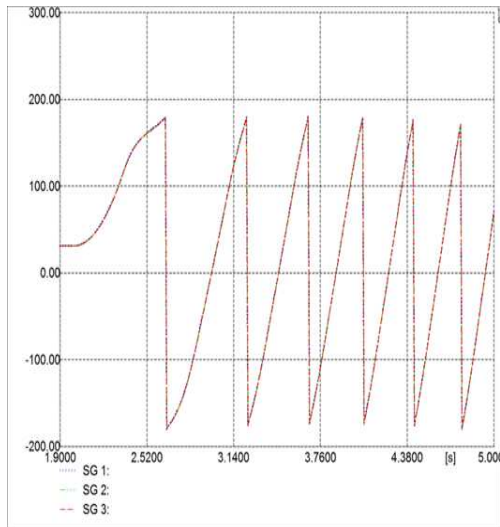
Şekil 18. Durum 2-3 Generator Aktif Gücü



Şekil 19. Durum 2-3 Generatör Rotor Açısı



Şekil 20. Durum 2-4 Generatör Aktif Gücü



Şekil 21. Durum 2-4 Generatör Rotor Açısı

3.3. 3 – 35 Durumları

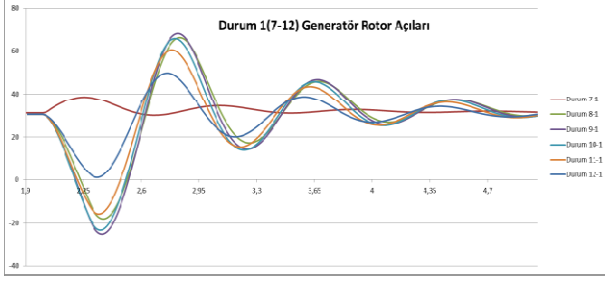
Tablo 2'deki tüm durumların aynı yöntemle incelenmesi sonucu oluşan değerler Tablo 5, Tablo 6 ve Tablo 7'de düzenlenmiştir. Ayrıca, seçili durumlar için farklı açma süreleri karşısında generatör açısı değişimi Şekil 22-26'da verilmiştir.

Tablo 5. 3 - 6 Durumları İçin Kritik Açma Süreleri

Durum	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	3-6
Kritik Açma Süresi [ms]	100	200	235	260	350	400
Durum	4-1	4-2	4-3	4-4	4-5	4-6
Kritik Açma Süresi [ms]	100	150	200	235	300	342
Durum	5a-1	5a-2	5a-3	5a-4	5a-5	5a-6
Kritik Açma Süresi [ms]	100	150	200	235	300	345
Durum	5b-1	5b-2	5b-3	5b-4	5b-5	5b-6
Kritik Açma Süresi [ms]	100	150	200	230	300	342
Durum	5c-1	5c-2	5c-3	5c-4	5c-5	5c-6
Kritik Açma Süresi [ms]	100	150	200	230	300	340
Durum	6-1	6-2	6-3	6-4	6-5	6-6
Kritik Açma Süresi [ms]	100	150	200	227	300	341

Tablo 6. 7 - 12 Durumları İçin Kritik Açma Süreleri

Durumlar	Kd Anındaki Bara Gerilimi [pu]	Kd Direnci [Ω]	Kritik Açma Süresi [ms]	
			Açımın 90° olduğu durum	Kararsız olduğu durum
Durum 7	0	0	240	355
Durum 8	0,5	0,65	1340	1600
Durum 9	0,6	0,90	2600	3200
Durum 10	0,7	1,20	4700	5900
Durum 11	0,8	1,65	13000	14900
Durum 12	0,9	3,00	53500	55000

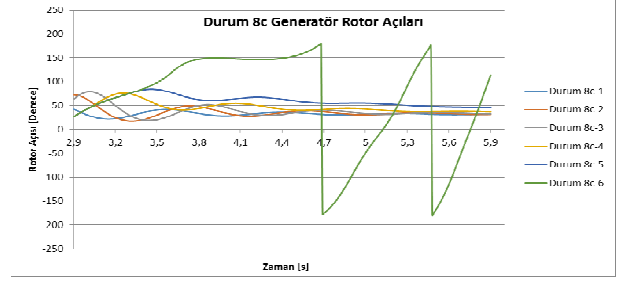


Şekil 22 Arıza çalışma durumları karşılaştırması

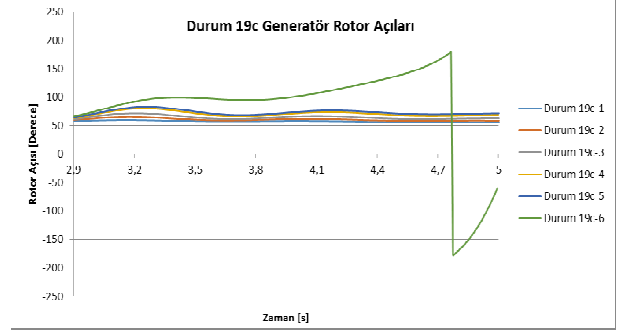
Gerilim seviyesini 0,5 pu değerinin üzerinde sınırlandırabilmenin kararlılık değerlendirmesinde en önemli parametre olduğu görülmektedir. pu değeri arttıkça kararlılığa etkisi de üssel olmaktadır. Kısadevre direnci hatların belli noktasındaki kısadevre durumlarını temsil etmektedir.

Tablo 7. 13 - 35 Durumları İçin Kritik Açma Süreleri

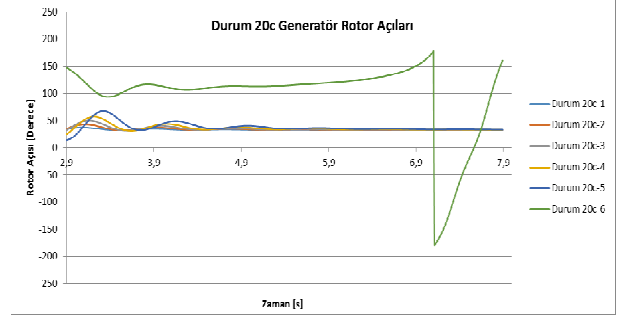
Durumlar	Kısadevre Sonlandırılma Süreleri [ms]	
	Açının 90 ⁰ olduğu durum	Kararsız olduğu durum
Durum 13	240	355
Durum 14	320	380
Durum 15	320	390
Durum 16	320	401
Durum 17	320	412
Durum 18	215	260
Durum 19	80	83
Durum 21	300	342
Durum 22	300	341
Durum 23	300	344
Durum 24	300	343
Durum 25	120	168
Durum 26	50	60
Durum 27	300	355
Durum 28	300	353
Durum 29 b	244	358
Durum 30 b	238	354
Durum 31 b	232	354
Durum 32	300	600
Durum 33	80	83
Durum 34	300	351
Durum 35	300	352



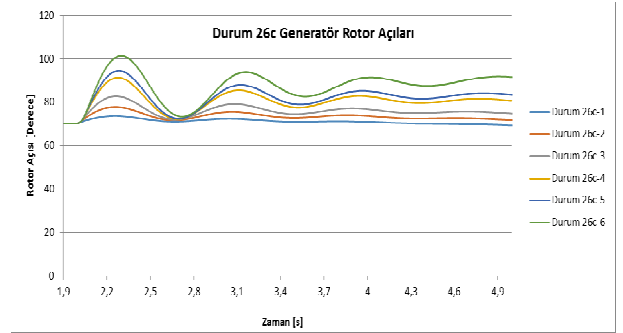
Şekil 23. Arıza çalışma durumları karşılaştırması



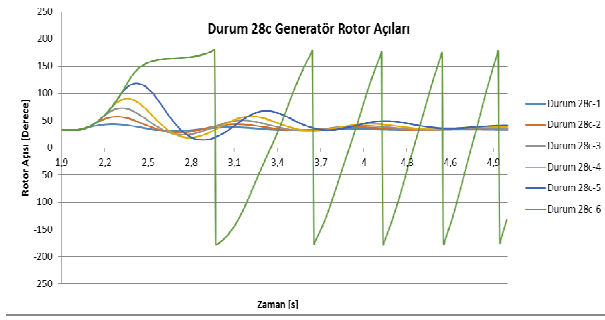
Şekil 24. Arıza çalışma durumları karşılaştırması



Şekil 25 Arıza çalışma durumları karşılaştırması



Şekil 26a. Arıza çalışma durumları karşılaştırması



Şekil 26b Arıza çalışma durumları karşılaştırması

Simülasyonlardan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmektedir:

- Klasik şebeke yapısına bağlanmış DÜ santral makinelerinin kritik temizleme zamanının (KTZ) düşük olduğu (230 ms) belirlenmiştir. Bu durum koruma sistemleri için önem taşımaktadır. Röle koordinasyonunun bu süre dikkate alınarak yapılması halinde, senkron generatörlerin devrede kalmaları sağlanabilmektedir.
- Güç faktörünün 1,0'dan 0,8'e çekilmesi durumunda KTZ'nin 320 ms'e yükseldiği, güç faktörünün daha düşük değerlere çekilmesi durumunda ise KTZ'nin değişmediği görülmüştür.
- Dağıtım şebekesinde ve santral barasındaki bazı arıza noktalarında arıza temizleme zamanı, DÜ santral makinelerinin kritik temizleme zamanını aşabilmekte ve bu durum DÜ santral makinelerinin kararsız çalışmasına sebep olmaktadır.
- Şiddetli geçici durum arızalarında, DÜ santral makineleri senkron kaldıkları halde kritik zaman sonrasında geçici durum kararlılıklarının bozuldukları görülmektedir.
- Dağıtım şebekesinde arıza sonrasında devrede kalabilme kriteri, kararlı bir güç sistemi için yük ile üretim arasındaki dengeye bağlıdır. Yük ile üretim arasındaki dengesizliği önlemek için DÜ santrali bir şebeke arızası süresince ve sonrasında şebekeye bağlı kalmak zorundadır. Bu durum, gerilim ve frekans desteği ile sağlanabilmektedir. Sistemlerin arızalara karşı farklı duyarlılıkları nedeniyle kritik temizleme zamanı sonrasında, DÜ santral makinelerinin bunu karşılayamadığı görülmektedir. Devrede kalabilme, gerilim düşümü ile doğrudan ilişkili olduğundan, gerilim düşümü 0,5 pu değerinin ne kadar üzerinde tutulabilirse, BIGS'lerin devreden çıkması o kadar önlenabilmektedir.
- Kısa devre sonrasında oluşan gerilim düşmesinin 0,5 pu ile sınırlandırılması durumunda KTZ'nin 1340 ms'lere ulaştığı ve bu durumda senkron generatörlerin arıza sonrasında kararlılıklarını koruyarak devrede kaldıkları belirlenmiştir.
- Aynı karakteristikte motor/türbin bağlanmasının ve yük durumunun kritik temizleme zamanına önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür.
- Normal çalışma koşullarında, dağıtım sistemine SG katılımının % 100'e varan oranlarda artabileceği görülmüştür.

- Dağıtım şebeke yapısındaki bir ve daha fazla ünitenin ve bunlara entegre edilen RES ve GES durumları, değişik yük koşulları için, normal çalışma, ada modunda çalışma ve arıza durumları için karşılaştırılarak incelenmiştir.
- RES ve GES santrallerin şebekeye bağlı durumlarda BIGS'ler üzerinde herhangi bir olumsuz etkisinin olmadığı, aynı zamanda RES ve GES bağlantılarının şebekede kısadevre bakımından da önemli bir etkisinin olmadığı ancak ada modu çalışma durumunda bu bağlantıların kararlılığı bozduğu görülmüştür.
- %10 - %50 - %100 DÜ katılım oranlarında KTZ sırasıyla 242 – 240 – 234 ms bulunmuştur. Katılım oranının KTZ'ye etkisi çok küçük olmaktadır.
- Geçici durumlarda rotor açısının, açma süresinin uzaması halinde kararsız bölgeye salındığı belirlenmiştir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, DÜ olarak değerlendirilen SG bazlı özel bir santralin bağlandığı dağıtım şebekesinin belirli noktalarındaki çeşitli arızalar, değişik çalışma durumları ve farklı üretim-tüketim koşullarındaki geçici durum davranışları ve bu durumların kararlılığa etkileri incelenmiştir.

İlk olarak, DÜ santrallerini devreden çıkaracak şebeke olayları diğer ülkelerle karşılaştırmalı olarak çıkarılmıştır. Sonrasında, dağıtılmış üretim sistemleri kararlılık, frekans kontrolü ve güvenilirlik bakımından değerlendirilmiş olup, bu konu ile ilgili mevcut standartlar özetlenmiştir.

Çalışılan santralin üretim birimleri ve bağlandığı şebeke DigSilent yazılımı ile modellenmiş ve ilgili analizler gerçekleştirilmiştir. Dağıtım şebeke yapısındaki bir ve daha fazla ünitenin ve bunlara entegre edilen RES ve GES durumları, değişik yük koşulları için normal çalışma, ada modunda çalışma ve arıza durumları için karşılaştırılarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

- Büyük genlikli gerilim düşmelerinde senkron generatörlerin kritik temizleme zamanı simülasyonlarla kanıtlanmıştır. Senkron generatörlerin arıza sonrası devrede kalabilmeleri için gereken bu süre düşük olduğundan, gerek santral tarafında ve gerekse de şebekeye bağlantı noktasındaki röle koordinasyonu önem taşımaktadır. Şebeke gerilim istatistikleri ve sınıflandırılması buna uygun ayar değerlerinin belirlenmesine imkan sağlayacaktır.
- Kritik temizleme zamanını aşan süre devrede bırakılan senkron generatörlerin kendi ve bağlı olduğu şebekede kararsızlığa yol açtığı görülmüştür.
- Normal çalışma koşullarında şebekeye bağlanacak senkron generatörlerin katılım oranının artırılmasının gerilim ve frekans kontrolü ve güvenilirliğe olumlu katkı sağlayacağı saptanmıştır.
- Kısadevrenin uzak noktalarda oluşması durumunda senkron generatörlerin devreden çıkarılmasına gerek olmadığı görülmüştür.
- Aynı karakteristikte motor/türbin bağlanmasının ve yük durumunun kritik temizleme zamanına önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

5. Kaynaklar

- [1] Schavemaker P.H., Van der Sluis L., *Electrical Power System Essentials*, Wiley&Sons, Chichester, United Kingdom, 2008.
- [2] Reza M., *Stability analysis of transmission systems with high penetration of distributed generation*. Ph.D. Thesis, Technische universiteit Delft, 2006.
- [3] Ackermann T., Knyazkin V., *Interaction between distributed generation and the distribution network: Operation aspects*, *IEEE Transmission and distribution conference and exhibition Asia Pacific*, Yokohama, Japan 6-10 October 2002.
- [4] Ishchenko A., Myrzik J.M.A., Kling W.L., *Dynamic equivalencing of distribution networks with dispersed generation using hankel norm approximation*, *IET Proceedings on Generation, Transmission and Distribution*, 2007, **1**(5), 818-825.
- [5] Nuroglu F. M., Arsoy A. B., *Voltage Profile and Short Circuit Analysis in Distribution Systems with DG*, *Electric Power and Energy Conference*, Canada, 6-7 October 2008
- [6] Thong V. V., Vermeyen P., Driesen J., Belmans R., *Grid Connection Aspects of Distributed Generation*, *International Energy Journal*, 2005, **6**(1), 148-161.
- [7] Walling R.A. (Reigh), Saint R., Dugan R. C., Burke J., Kojovic L. A., *Summary of Distributed Resources Impact on Power Delivery Systems*, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2008, **23**(3), 1636-1644.
- [8] Xyngi I., Ishchenko A., Popov M., Sluis L. V. D., *Transient Stability Analysis of a Distribution Network With Distributed Generation*, *IEEE Transactions on Power Systems*, 2009, **24**(2), 1102-1104.
- [9] Sun X., Chen D., Gao M., Liu D., Zhu T., *Generator Parameters' Impact on Power System Stability and Their Engineering Testing Methods*, *Electrical Power Systems and Computers*, 2011, **99**, 259-276.
- [10] IEEE 1547, *IEEE Standard for interconnecting distributed resources with electrical power systems*, *The Institute of Electrical and Electronics Engineers*, New York, 2003
- [11] Mozina C. J., *Distributed generator interconnect protection practices*, *IEEE Power Engineering Society Power System Conference and Exposition*, Dallas, 29 October – 1 November 2006.
- [12] Driesen J., Belmans R., *Distributed generation: Challenges and possible solutions*, *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, Montreal, 18-22 June 2006.
- [13] DigSilent Power Factory Manual, Version 13.2, Germany, 2007.
- [14] IEEE Committee report, *Proposed terms and definitions for power system stability*, in *IEEE transactions PAS*, 1894-1898. 1982.
- [15] Venikov V., *Transient Processes in Electrical Power Systems*, Mir, Moscow, 1980.
- [16] Peterson H. A., *Transients in Power Systems*, John Wiley & Sons, New York, 1951.
- [17] Greenwood Allan, *Electrical Transients in Power Systems*, John Wiley & Sons, New York, 1991.
- [18] Pavella M., Murthy P. G., *Transient Stability of Power Systems*, John Wiley & Sons, West Sussex, 1994.
- [19] Grainger J. J., Stevenson W.D., *Power System Analysis*, McGraw-Hill, 1994.
- [20] Kılıç L., *Trakya bölgesindeki özel bir santralin geçici durum kararlılık kriterlerinin belirlenmesi*, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, 2015.