

	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		
	e-ISSN: 2147-835X Dergi sayfası: http://www.saujs.sakarya.edu.tr		
	<u>Geliş/Received</u> 31.03.2017 <u>Kabul/Accepted</u> 16.03.2018	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.303103	

Güç sistemlerinde meydana gelen kısa devre arızalarına karşı akım sınırlayıcı yapısının en uygun yerleşim yerinin belirlenmesi

Alişan Ayvaz^{*1}, Birsen Boylu Ayvaz¹

ÖZ

Güç sistemlerinde meydana gelen simetrik ve simetrik olmayan kısa devre arızaları şebekenin güç dengesini bozarak güç sistemini kararsız hale getirebilmektedir. Bu durumun önüne geçmek ve sistemin kararlı halde kalma yeteneğini geliştirmek için çeşitli arıza akımı sınırlayıcı yapıları, özellikle yenilenebilir enerji kaynakları içeren güç sistemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Nitekim, bu çalışmada, güç sistemlerinde meydana gelen kısa devre arızalarına karşı süperiletken arıza akımı sınırlayıcı (SAAS) yapısının en uygun yerleşim yeri bulunmaya çalışılmıştır. Güç sistemi modeli olarak 3 makinalı, 9 baralı batı sistemi koordinasyon konseyi (WSCC) test sistemi kullanılmış ve analizler MATLAB'da gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: kısa devre arıza, süperiletken arıza akımı sınırlayıcı, 9 baralı WSCC test sistemi

Determination of optimal placement of fault current limiting device against short circuit faults occur in power systems

ABSTRACT

Symmetrical and unsymmetrical short circuit faults occur in power systems may make the power system unstable by disrupting the power balance of grid. To prevent this situation and improve the ability of power system to remain stable, kind of fault current limiting devices are used in power systems include renewable energy sources especially. Thus, in this study, it is aimed to find optimal placement of superconducting fault current limiter (SFCL) in a power system against the short circuit faults. Western system coordinating council (WSCC) 3 machine, 9 bus test system is used as power system model for this study and analyses are performed in MATLAB software.

Keywords: short circuit fault, superconducting fault current limiter, 9 bus WSCC test system

* Sorumlu Yazar /Corresponding Author

¹ Amasya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, alisan.ayvaz@amasya.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Güç sistemleri, mekanik olarak elde edilen güç ile enerji kaynağı olan elektriksel gücün dengesi sayesinde kararlılığını koruyabilmekte ve güvenli bir şekilde çalışmaktadır. Yetersiz kalan mekanik güç karşısında fazla yüklenme yapılamayacağı gibi, az yük talebi durumunda da fazla mekanik güce ihtiyaç duyulmayacaktır.

Kararlı çalışma koşulları altında şebeke kontrol altındadır ve güç dengesi gerekli yük atma, generatör devreye alma gibi işlemlerle korunmaktadır. Fakat güç sisteminde bu dengeyi bozacak bir takım beklenmedik durumlar oluşabilmektedir. Bu beklenmedik durumlar genel olarak iletim hatlarının kısa devre olması ile meydana gelmektedir. Kısa devre olan iletim hattı ile şebekede akım artışına bağlı olarak yüksek güç talebi doğacaktır. Mekanik gücün de sınırlı oluşu ile bu güç talebi karşılanamayacağından sistemde kararsızlık durumu meydana gelebilmektedir. Bu kısa devre arızasının uzun bir süre boyunca devam etmesi durumunda ise güç sistemi artık geri dönüşü olmayan bir yola girebilmekte ve güç sisteminde büyük çaplı hasarlar meydana gelebilmektedir [1].

Güç sistemlerinde meydana gelen kısa devre arızalarından etkileri en ağır olanı üç faz-toprak (3FT) simetrik kısa devre arızasıdır. Üç faz-toprak kısa devre arızası yanında güç sistemlerinde; simetrik olmayan iki faz-toprak (2FT), tek faz-toprak (FT) ve faz-faz (FF) arızaları da meydana gelebilmektedir. Bu çalışmada güç sisteminde meydana getirdiği etkiler sebebiyle en ağır koşulları yaratan 3FT arızası durumu dikkate alınmıştır.

Güç sistemlerinin kısa devre arızalarından zarar görmemesi adına yapılan çalışmalar uzun yıllardır süregelmektedir. Bu çalışmalarda genel öncelik kısa devre akımının sınırlandırılması ve generatör çıkış geriliminin arıza öncesi değerine yükseltilmesidir. Çünkü yüksek kısa devre akımı güç sistemlerindeki yalıtım elemanlarına, koruma elemanlarına, sistem yüklerine vb. zarar verebilmektedir. Diğer yandan ise düşen gerilim yerel ölçekli bir sorun olsa dahi uzun süre devam eden arıza durumunda global ölçekli bir sorun haline dönüşebilmektedir.

Kısa devre akımını sınırlamakta kullanılan ve en çok bilinen yapılardan biri ise süperiletken arıza akımı sınırlayıcı (SAAS)'dır. SAAS, arıza anında

yükselen arıza akımını direnç özelliği ile sınırlayarak güç sisteminin kararlılığına ve güvenilirliğine katkıda bulunmaktadır. Süperiletken arıza akımı sınırlayıcı yapısını, esasen bir direnç olarak düşünülebilir. Bu direnç değeri akım miktarına bağlı olarak değişerek arıza akımına karşı yeterli etkiyi sağlamaktadır [2].

Süperiletken arıza akımı sınırlayıcı yapısına ek olarak kapı kontrollü seri kapasitör (GCSC) ve tristör kontrollü seri kapasitör (TCSC) yapıları da arıza akımını sınırlamada kullanılan yapılardandır [3]. Akım sınırlayıcı yapıların yanında arıza esnasında sistem reaktif güç isteğini karşılamada kullanılan cihazlar da vardır. Bunlardan senkron var kompanatör (STATCOM) ve statik var kompanatör (SVC) yapıları piyasada en çok bilinenleridir [4, 5]. Arıza esnasında güç sistemine ihtiyaç duyduğu reaktif gücü sağlayarak generatör çıkış geriliminin yükselmesine ve buna bağlı olarak güç sisteminin kararlı halde kalmasına olumlu yönde etki etmektedir.

Bu çalışmada, IEEE tarafından referans olarak sunulan 9 baralı, 3 makineli bölgesel bir güç sisteminin herhangi bir yerinde meydana gelebilecek olan kısa devre arızasına karşı güç sisteminin kararlılığını en iyi şekilde sağlayacak olan SAAS yapısı yerleşim noktasının bulunması adına bir yöntem önerilmektedir. Farklı iletim hatlarında ayrı ayrı olarak 3FT arızası uygulanarak en kritik arıza konumunun bulunması, bu çalışmanın ilk etabını oluşturmaktadır. Daha sonrasında ise bu noktaya yerleştirilen SAAS yapısı ile güç sisteminde bulunan generatörlerin akım ve gerilim değerlerinin nasıl değiştiği gözlemlenmeye çalışılmıştır.

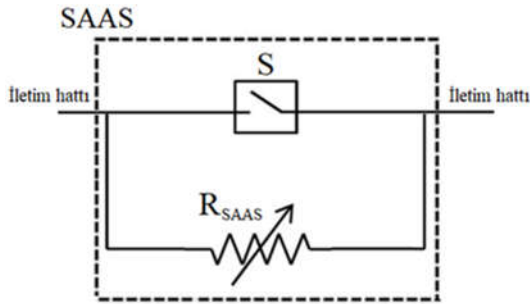
Literatürde, SAAS yapısının en uygun yerleşim noktasının bulunması adına yapılan çalışmaların genel olarak iletim hattı akımı değişimini dikkate aldığı görülmektedir. Çalışma [6], [7] ve [8]'de, arıza sonrası iletim hattı akım artışı dikkate alınarak analizler yapılmış ve SAAS yapısı yerleşim yeri bulunmaya çalışılmıştır. Fakat bu çalışmalarda formül tabanlı sayısal bir hesaplama üzerinden çözüme yönelik bir analize yer verilmemiştir. Diğer yandan ise arıza sonrası generatör rotor açısı ve generatör terminal gerilimi değişimini de dikkate alan çalışmalar bulunmaktadır [9, 10, 11]. Bu çalışmalarda, rotor açısı ve gerilim değişimine bağlı sadece görsel analizler veya görsel ile birlikte sayısal analizler verilmiş fakat akım değişimine bağlı formül tabanlı sayısal analizlere değinilmemiştir. Literatürden farklı olarak bu çalışmada, arıza

sonrası akım değişimi dikkate alınarak akım artışına bağlı görsel analizler ile formül tabanlı sayısal analizler dikkate alınarak en iyi SAAS lokasyonu bulunmaya çalışılmıştır. Ayrıca görsel olarak generatör terminal gerilimi değişimleri de verilerek tespit edilen SAAS yerleşim noktasının güç sistemi kararlılığına olumlu etkisinin daha iyi anlaşılması sağlanmaya çalışılmıştır.

Bu çalışmanın planı şu şekildedir: Bölüm 2’de SAAS yapısı hakkında bilgiler verilmiştir. Çalışmanın gerçekleştirildiği güç sistemine ait bilgiler Bölüm 3’tedir. Bölüm 4’de en kritik kısa devre arıza noktasının bulunması için önerilen yöntem anlatılmaktadır. Bölüm 5’te simülasyon sonuçları sonucu elde edilen görsel ve sayısal analizler verilmiştir. Son olarak ise Bölüm 6’da bu çalışmadan çıkarılan sonuçlar sunulmuştur.

2. SÜPERİLETKEN ARIZA AKIMI SINIRLAYICI (SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT LIMITER)

Süperiletken arıza akım sınırlayıcı; güç sisteminde iletim hatlarına seri olarak bağlanan, güç sistemi kararlılığını geliştirici ve güç sistemi güvenliğini arttırıcı bir yapıdır. Arıza esnasında direnç etkisi ile arıza akımını sınırlayarak güç sistemi elemanlarının zarar görmesini engellemekte ve generatör çıkışında aşırı akım sonucu meydana gelen gerilim düşümünü önlemektedir.



Şekil 1. SAAS yapısı şematik gösterimi (Schematic display of SFCL device)

Şekil 1’de iletim hattına seri olarak bağlanmış halde SAAS yapısı şematik modeli görülmektedir. Burada “S”, akım artışına bağlı bir kontrollü anahtar ve R_{SAAS} ise arıza akımına karşı SAAS yapısının gösterdiği direnç değeridir. SAAS yapısının gösterdiği direnç değeri 3 aşama şeklinde değişmektedir. Bu aşamalar; süperiletken durum, akı akışı durumu ve normal iletkenlik durumu şeklindedir [11, 13]. Süperiletken durumda iletim hattındaki akım yoğunluğu değeri (J) kritik akım yoğunluğu değerinin (J_K) altında ve sıcaklık değeri (T) kritik sıcaklık değerinin (T_K)

altındadır. Bu durumda “S” anahtarı kapalı konumdadır ve SAAS yapısının gösterdiği direnç değeri 0 (sıfır)’dır. Akı akışı durumunda iletim hattındaki akım yoğunluğu değeri kritik akım yoğunluğu değerinin üstünde, fakat sıcaklık değeri kritik sıcaklık değerinin altındadır. Bu durumda “S” anahtarı açık konumda ve R_{SAAS} değeri Denklem (1)’deki gibi akım yoğunluğunun fonksiyonu şeklindedir.

$$R_{SAAS} = f[(J/J_K)^n] \quad (1)$$

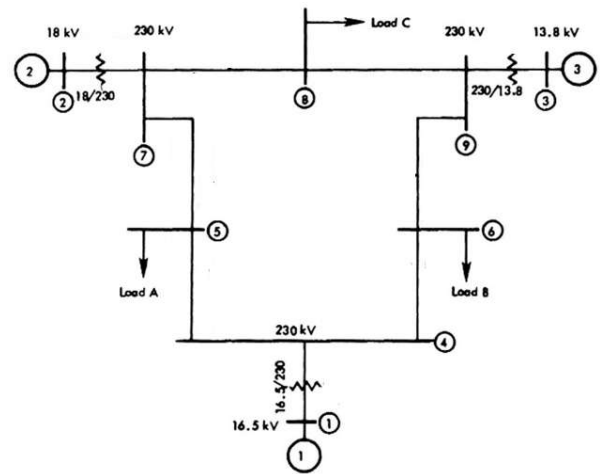
burada n değeri genellikle 20’nin üzerinde seçilen bir sabittir [13]. Bu çalışmada n değeri 20 olarak alınmıştır.

Son aşama olarak, normal iletkenlik durumunda ise hem iletim hattındaki akım yoğunluğu değeri hem de sıcaklık değeri kritik değerin üstündedir ve R_{SAAS} değeri sıcaklığın fonksiyonu şeklindedir. Kritik akım yoğunluğu aşıldıktan yaklaşık 1-2 mili saniye sonra kritik sıcaklık değeri de aşılır ve direnç değeri sıcaklıkla lineer eğilim içinde değişir.

R_{SAAS} direnç değerinin aşamalara bağlı olarak değişimi Denklem (2) ile de ayrıca görülebilmektedir.

$$R_{SAAS} = \begin{cases} 0, & (J < J_K \text{ ve } T < T_K) \\ f[(J/J_K)^n], & (J > J_K \text{ ve } T < T_K) \\ f[T], & (J > J_K \text{ ve } T > T_K) \end{cases} \quad (2)$$

3. 9 BARALI, 3 MAKİNALI WSCC GÜÇ SİSTEMİ (9 BUS, 3 MACHINE WSCC POWER SYSTEM)



Şekil 2. 9 baralı WSCC güç sistemi (9 bus WSCC power system)

Bu çalışmada kullanılan güç sistemi 9 adet bara, 3 generatör, 3 adet yük, 3 adet transformatör ve 6 adet iletim hattından oluşmaktadır. Şekil 2’de bu

güç sistemine ait tek hat şeması görülmektedir. Bu güç sistemine ait diğer bazı bilgiler Tablo 1 ve 2’de verilmiştir [12].

Tablo 1. Generatör verileri (Generator data)

Genaratör No	Aktif Güç Değeri
1	Referans Generatör
2	163 MW
3	85 MW

Tablo 2. İletim hattı verileri (Transmission line data)

İletim Hattı	R+jX	B/2
L ₄₋₅	0.01+j0.085	j0.088
L ₄₋₆	0.017+j0.092	j0.079
L ₅₋₇	0.032+j0.161	j0.153
L ₆₋₉	0.039+j0.17	j0.179
L ₇₋₈	0.0085+j0.072	j0.0745
L ₈₋₉	0.0119+j0.1008	j0.1045

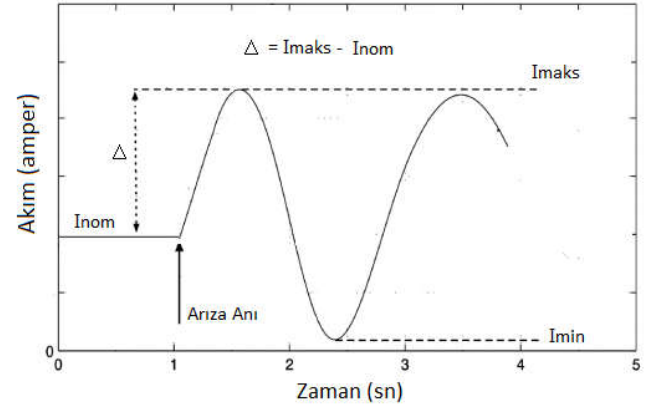
4. KRİTİK KISA DEVRE ARIZA NOKTASININ BELİRLENMESİ (DETERMINATION OF THE CRITICAL SHORT CIRCUIT FAULT POINT)

Güç sisteminde meydana gelen kısa devre arızaları, türüne ve arıza oluşum noktasına göre etkileri farklı olmaktadır. Arıza türü olarak en ağır koşullar 3FT kısa devre arızasında görülmekteyken, arızanın meydana gelme konumu güç sisteminden güç sistemine değişiklik gösterebilmektedir. Nitekim, literatürdeki çalışmalarda da farklı güç sistemleri için olası 3FT arızası dikkate alınarak analizler dikkate alınmıştır [9, 11, 14]. Bu çalışmada örnek güç sistemi modeli olan 9 baralı WSCC test sisteminin farklı iletim hatlarına 3FT arıza uygulanarak generatör baraları akım ve gerilim değişimleri görsel olarak gözlemlenmiştir.

Literatürdeki çalışmalarda arıza sonrası akım artışının önemi dikkate alınarak SAAS yapısı en uygun yerleşim yeri akım değişimi simülasyon görsel ve ölçüm analizlerine göre bulunmaya çalışılmıştır [6, 7, 8, 9]. Bu çalışmada, literatürden farklı olarak arıza sonrası meydana gelen akım artışı indeks değeri olarak tanımlanmış ve bu

indeks değeri dikkate alınarak en uygun SAAS yerleşim yeri tespiti yapılmıştır.

Şekil 3’te iletim hattı akımının arıza durumundaki değişimi görülmektedir. Burada I_{maks} , arıza anı akım maksimum değerini; I_{min} , arıza anı akım minimum değerini; I_{nom} , iletim hattı nominal akım değerini ve Δ , arıza anı maksimum akım değeri ile iletim hattı nominal akımı arasındaki farkı göstermektedir.



Şekil 3. Arıza akımı zamana bağlı değişimi (Time dependent change of fault current)

Arıza akımının artış oranı (α) ve maksimum arıza akımı değeri ilgili generatörün meydana gelen arızadan ne derecede etkilendiği hakkında bize net bilgiler vermektedir. Bu sebeple bu çalışmada da akımın değişim oranı ve maksimum arıza akımı değerine bağlı olarak kritik arıza oluşum noktasının tespiti temel alınmıştır. Ayrıca gerilim düşümü değerleri de akım değişimi analizlerine ek olarak yorum yapmak için incelenmiştir. Denklem (3), (4) ve (5)’de kritiklik indisinin (K_{i-j}) eldesi için oluşturulan eşitlikler görülmektedir.

$$\alpha = (I_{maks} - I_{nom})/I_{nom} \quad (3)$$

$$\alpha_{toplamlam} = \sum_{i=1}^3 \alpha_i \quad (4)$$

$$K_{i-j} = I_{maks}' \cdot \alpha_{toplamlam} \quad (5)$$

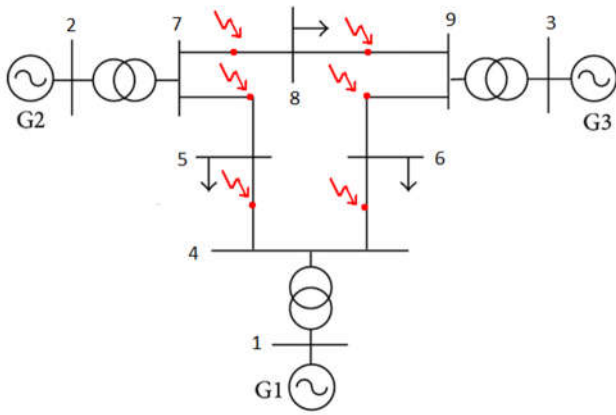
burada I_{maks}' , ilgili arıza noktası için 3 generatörde meydana gelen akım artışlarından en yüksek olanın değerini simgelemektedir. Bunun sebebi her ne kadar akım değişim oranı önemli olsa da akımın maksimum değeri de güç sistemi elemanlarının dayanıklılığı açısından bir kritiklik ifade etmektedir. Diğer yandan $\alpha_{toplamlam}$, ilgili arıza noktası için 3 generatörde meydana gelen akım değişimlerine bağlı hesaplanan α değerlerinin toplamına eşittir.

K_{i-j} değeri, güç sisteminin 6 farklı noktasına uygulanan kısa devre arızalarından hangisinde en yüksek değeri veriyorsa o nokta bu güç sistemi için

en kritik arıza noktası olacaktır. K_{i-j} değerini bulmada i ve j parametreleri 1'den 9'a kadar olan bara numaralarını, $i-j$ ifadesi ise i 'nci ve j 'nci bara arasındaki iletim hattını ifade etmektedir. Bu analize ek olarak ilgili generatör baralarındaki gerilim düşümleri de kritik arıza noktası belirlenmesi konusundaki yorumlamalarda yardımcı olacaktır.

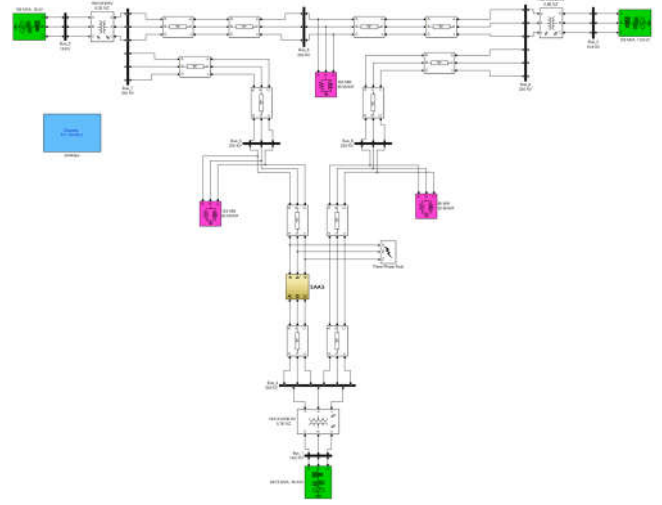
Kritik arıza noktasının belirlenmesinin ardından ilgili noktaya yerleştirilecek olan SAAS yapısının güç sisteminin kararlılığına ve güvenilirliğine etkisi görsel ve analitik olarak incelenebilecektir.

5. SİMÜLASYON SONUÇLARI VE ANALİZLER (SIMULATION RESULTS AND ANALYSES)

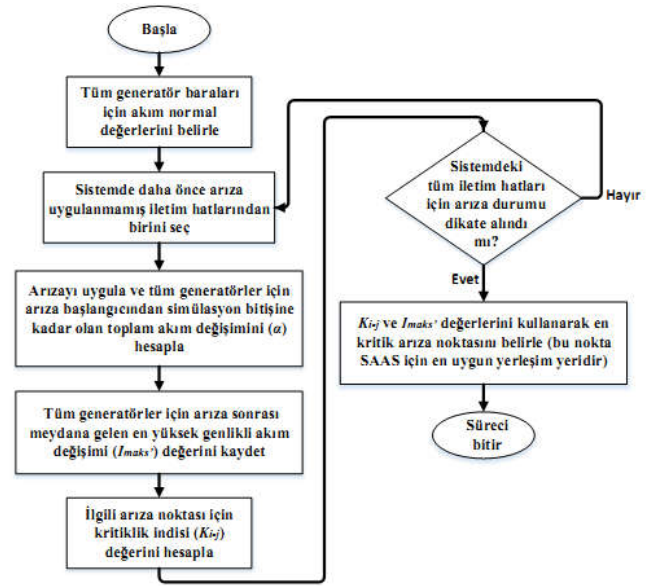


Şekil 4. Güç sistemi kısa devre arıza noktaları (Power system short circuit fault points)

Şekil 4'te 9 baralı WSCC güç sistemi ve farklı iletim hatlarına uygulanmış kısa devre arızaları görülmektedir. Simülasyon çalışmasında ilgili iletim hattı için kısa devre arızasının iletim hattının tam orta noktasında olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca uygulanan bu kısa devre arızasının $t=0.1$ saniye simülasyon zamanında başlayıp 100 ms sürdüğü varsayılmıştır. Analizler için Şekil 4'te verilen güç sistemi, Şekil 5'te görüldüğü üzere MATLAB/Simulink [15] programında oluşturulmuş ve farklı iletim hatlarına ayrı ayrı 3FT kısa devre arızaları uygulanarak en kritik arıza noktasının bulunması amaç edinilmiştir. Bu sürece ait akış diyagramı Şekil 6'da görülmektedir. En kritik arıza noktasının bulunması sonrasında ise modellenen SAAS yapısı en kritik arıza noktası olan iletim hattına seri bağlanarak SAAS yapısının güç sistemine olan olumlu etkileri incelenmiştir.



Şekil 5. Güç sistemi MATLAB/Simulink modeli (MATLAB/Simulink model of power system)



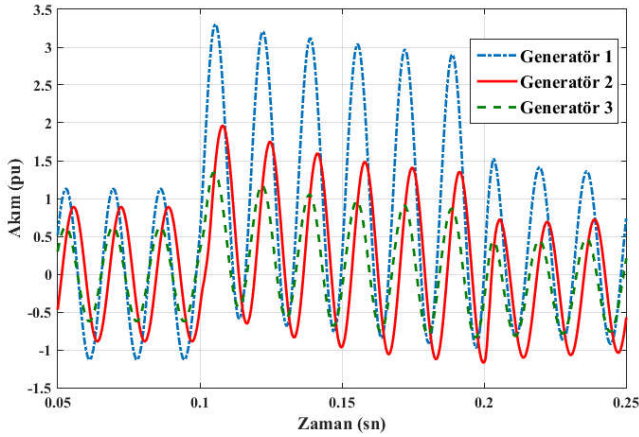
Şekil 6. İşlem sürecine ait akış diyagramı (Flow chart belonging to operation process)

Tablo 3'te modellenen güç sistemindeki 6 iletim hattına ait simülasyon çalışmaları sonucu elde edilen α_{toplam} , I_{maks}' ve K_{i-j} değerleri görülmektedir.

Tablo 3. Simülasyon sonuçları (Simulation results)

İletim Hattı	α_{toplam}	I_{maks}'	K_{i-j}
L4-5	4.26	3.3 pu	14.06
L4-6	4.16	3.22 pu	13.4
L5-7	4.03	2.57 pu	10.36
L6-9	3.89	2.48 pu	9.64
L7-8	4.63	2.65 pu	12.27
L8-9	4.5	2.31 pu	10.4

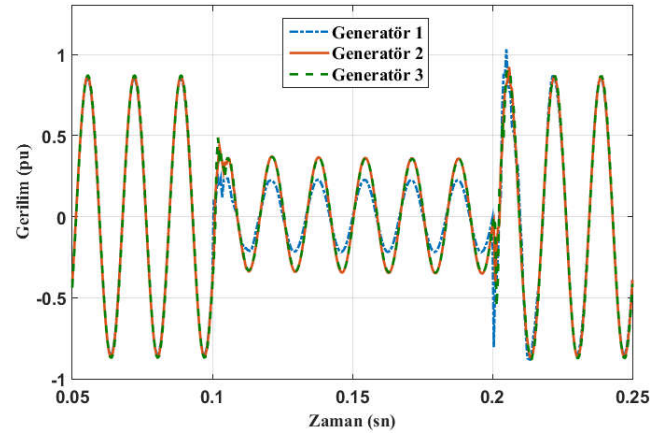
Tablo 3'deki veriler incelendiğinde arıza esnasında en fazla akım değişiminin L₇₋₈ iletim hattında olduğu ama buna karşılık en yüksek arıza akımı değerinin ise L₄₋₅ iletim hattında meydana geldiği görülmektedir. Nihai sonuçta ise kritiklik indisi en yüksek olarak L₄₋₅ iletim hattında elde edilmiştir. Bu sonuçla en kritik kısa devre arıza noktasının L₄₋₅ iletim hattı olduğu söylenebilmektedir. Şekil 7'de L₄₋₅ iletim hattında meydana gelen 3FT arıza sonrası generatör baraları arıza akımı değişimleri görülmektedir. Ayrıca şekilden en yüksek arıza akımının 1 no'lu generatör barasında meydana geldiği anlaşılmaktadır.



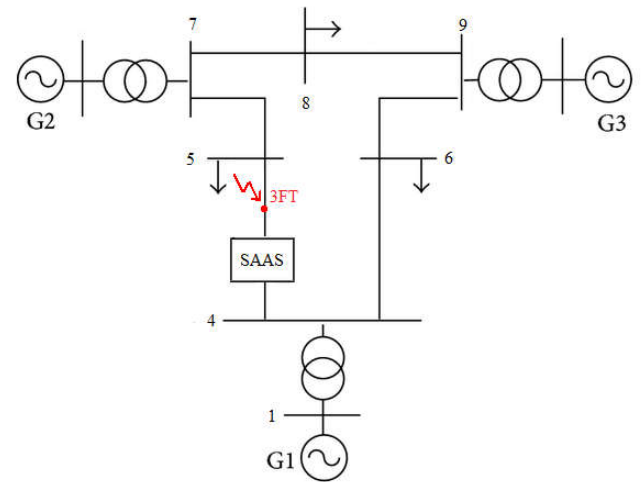
Şekil 7. L₄₋₅ iletim hattında meydana gelen kısa devre arızası sonucunda generatör barası akım değişimleri (Generator bus current changes as a result of short circuit fault on the transmission line L₄₋₅)

Şekil 8'de L₄₋₅ iletim hattında meydana gelen 3FT arıza sonrası generatör baraları gerilim değerlerinin değişimi görülmektedir. Arıza öncesinde 0.9 pu civarında değere sahip olan generatör bara gerilimleri arıza sonrasında 0.5 pu değerinin altına düşmüştür. Özellikle generatör 1 barasında gerilim düşümü diğer generatörlere oranla daha fazla olmuştur. Bunun sebebi ise L₄₋₅ iletim hattında meydana gelen arızanın generatör 1 barasında yüksek akım artışına neden olduğundan kaynaklanmaktadır.

Şekil 9'da simülasyon için kullanılan 9 baralı WSCC güç sistemi, L₄₋₅ iletim hattı üzerine yerleştirilen SAAS yapısı ile birlikte görülmektedir. Bu güç sistemi için en kritik arıza noktası olan L₄₋₅ hattı üzerinde tekrardan 3FT arızası uygulanarak SAAS yapısının güç sistemine olan katkıları incelenmiştir.



Şekil 8. L₄₋₅ iletim hattında meydana gelen kısa devre arızası sonucunda generatör barası gerilim değişimleri (Generator bus voltage changes as a result of short circuit fault on the transmission line L₄₋₅)

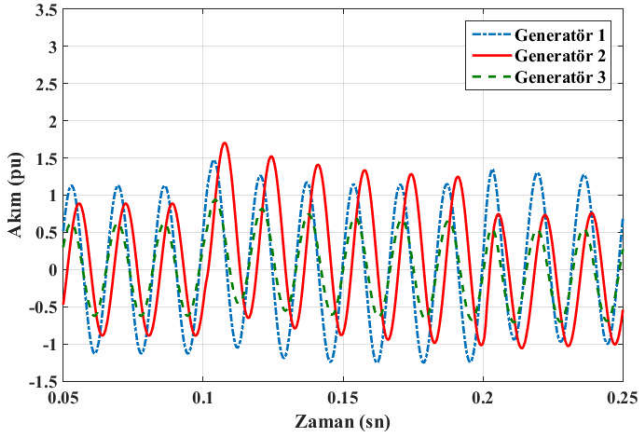


Şekil 9. SAAS yapısının dahil olduğu güç sistemi modeli (Power system model including SFCL device)

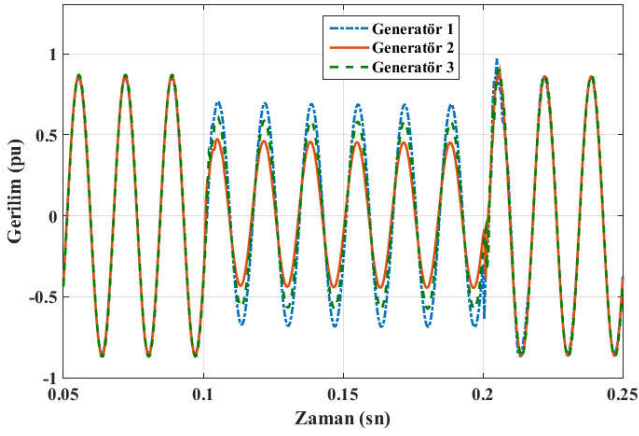
Şekil 10'da SAAS yapısı içeren güç sistemi için L₄₋₅ iletim hattında meydana gelen kısa devre arızası sonucunda generatör barası akım değişimleri görülmektedir. SAAS yapısı güç sistemine yerleştirilmeden önce meydana gelen arıza sonrasında generatör 1 barası maksimum akım değeri 3.3 pu iken SAAS yapısı yerleştirildikten sonra 1.5 pu civarına düşmüştür. Aynı şekilde diğer generatör baraları için de düşümler yaşanmış ama arızadan en çok etkilenen generatör 1 için maksimum arıza akım düşümü daha fazla olmuştur. Diğer yandan SAAS yapısının etkisi ile generatör baralarında gerilim düşümleri azalmış ve Şekil 11'de görüldüğü üzere arıza süresince 0.5 pu değerinin üzerinde kalmıştır.

Şekil 12 ve 13'de SAAS yapısının generatör 1 üzerindeki etkisini daha iyi anlayabilmek adına SAAS yapısı içermeyen eski güç sistemi modeli ve SAAS yapısı içeren yeni güç sistemi modeli karşılaştırılmaktadır. SAAS yapısının generatör 1

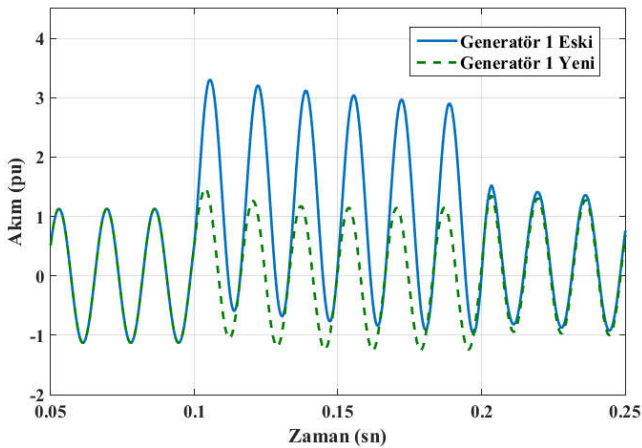
üzerindeki etkisinin oldukça yüksek olduğu şekillerden rahatlıkla anlaşılmaktadır.



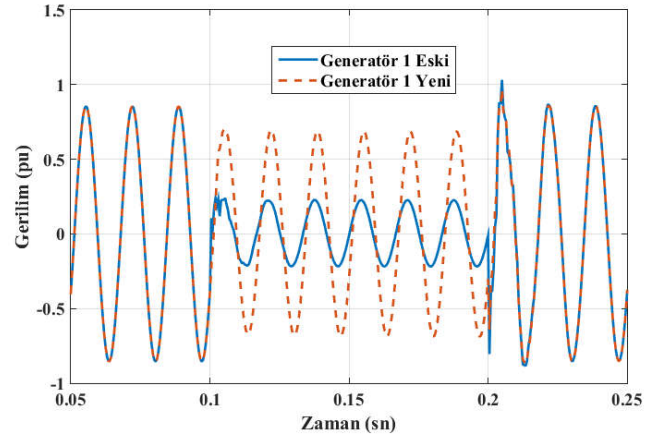
Şekil 10. SAAS yapısı içeren güç sistemi için L₄₋₅ iletim hattında meydana gelen kısa devre arızası sonucunda generatör barası akım değişimleri (Generator bus current changes as a result of short circuit fault on the transmission line L₄₋₅ for power system including SFCL)



Şekil 11. SAAS yapısı içeren güç sistemi için L₄₋₅ iletim hattında meydana gelen kısa devre arızası sonucunda generatör barası gerilim değişimleri (Generator bus voltage changes as a result of short circuit fault on the transmission line L₄₋₅ for power system including SFCL)



Şekil 12. SAAS yapısı içeren ve içermeyen güç sistemi modeli için L₄₋₅ iletim hattında meydana gelen kısa devre arızası sonucunda generatör 1 barası akım değişimi (Generator bus current changes as a result of short circuit fault on the transmission line L₄₋₅ for power system with and without SFCL)



Şekil 13. SAAS yapısı içeren ve içermeyen güç sistemi modeli için L₄₋₅ iletim hattında meydana gelen kısa devre arızası sonucunda generatör 1 barası gerilim değişimi (Generator bus voltage changes as a result of short circuit fault on the transmission line L₄₋₅ for power system with and without SFCL)

Tablo 4'te güç sisteminde SAAS yapısının bulunduğu ve bulunmadığı durumlar için hesaplanan α_{toplam} , I_{maks}' ve K_{i-j} değerleri görülmektedir. SAAS yokken kritiklik indisi değeri 14.06 iken SAAS yapısının sisteme dahil olduğu durumda büyük bir farkla 2.92'ye düşmüştür. Aynı şekilde I_{maks}' değeri de 3.3 pu'dan 1.7 pu değerine düşerek güç sistemine zarar verecek aşırı akım engellenmiştir.

Tablo 4. Güç sisteminde SAAS varken ve yokken simülasyon sonuçları (Simulation results for power system with and without SFCL)

Güç Sistemi Durumu	α_{toplam}	I_{maks}'	K_{i-j}
SAAS yok	4.26	3.3 pu	14.06
SAAS var	1.71	1.7 pu	2.92

6. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada güç sistemlerinde meydana gelen kısa devre arızalarına karşı süperiletken arıza akımı sınırlayıcı (SAAS) yapısının kullanılarak güç sisteminin kararlılığının ve güvenilirliğinin artırılması amaç edinilmiştir. Bu amaçla örnek güç sistemi modeli olan 9 baralı WSCC test sistemi üzerinde ilk olarak en kritik arıza noktası bulunmaya çalışılmıştır. En kritik arıza noktasının bulunması için en ağır güç sistemi şartlarını yaratan üç faz-toprak (3FT) arızası test sisteminde bulunan 6 adet iletim hattına ayrı ayrı olarak uygulanmıştır. Uygulanan bu arızalar sonucunda generatör baralarındaki akım ve gerilim değerleri incelenmiştir. Bu çalışmada önerilen yöntem yardımıyla arıza sonrası akım değişimine bağlı

olarak bulunan kritiklik indisi (K_{i-j}) değeri, hangi iletim hattı için en yüksek değerdeyse o iletim hattı örnek güç sistemi modeli için en kritik arıza noktası olarak seçilmiştir. Daha sonrasında ise bu iletim hattına yerleştirilen SAAS yapısı ile 3FT arıza durumunda generatör baraları akım ve gerilim değişimleri tekrardan incelenmiştir. SAAS yapısının arıza durumunda güç sistemine etkisi görsel ve analitik veriler ile sunulmuştur.

Çalışmada sunulan görsel ve analitik veriler ışığında, literatürdeki çalışmalardan farklı olarak uygulanan akım artışına bağlı arıza kritik nokta tespiti etkili bir çözüm sunmaktadır. Nitekim, SAAS yapısının bulunan bu kritik noktaya yerleştirilmediği durumda arıza sonrası akım değeri 3 p.u. değerini aşarken, SAAS yapısının kullanıldığı durumda hemen hemen 1.2 p.u. değerinde sınırlı kalmıştır. Aynı şekilde arıza sonrası generatör terminal gerilimlerindeki düşüş de SAAS yapısının arıza kritik noktasına yerleştirilmesiyle ciddi şekilde azalma göstererek arıza öncesi değerine yakın seyir göstermiştir. Bu sonuçlardan çıkarımla, bu çalışmada tanımlanan akıma bağlı kritik nokta tespiti diğer bir kararlılık parametresi olan terminal gerilimleri açısından da ciddi anlamda olumlu sonuçlar yaratmıştır.

REFERENCES

- [1] J. Machowski, J. W. Bialek, and J. R. Bumby, *Power System Dynamics: Stability and Control*, 2nd ed. West Sussex, United Kingdom: Wiley, 2009, pp. 6–7.
- [2] F. Zheng, C. Deng, and L. Chen, "Transient Performance Improvement of Microgrid by a Resistive Superconducting Fault Current Limiter," *IEEE Transaction on Applied Superconductivity*, vol. 25, no. 3, June 2015.
- [3] H. A. Mohammadpour, A. Ghaderi, H. Mohammadpour, and M. H. Ali, "Low voltage ride-through enhancement of fixed-speed wind farms using series FACTS controllers," *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 9, pp. 12-21, March 2015.
- [4] S. M. Muyeen, "A Combined Approach of Using an SDBR and a STATCOM to Enhance the Stability of a Wind Farm," *IEEE Systems Journal*, vol. 9, no. 3, pp. 922-932, Sept. 2015.
- [5] A. Ayvaz and M. Ozdemir, "A combined usage of SDBR and SVC to improve the transient stability performance of a PV/wind generation system," *2016 National Conference on Electrical, Electronics and Biomedical Engineering (ELECO)*, pp. 1-6, 2016.
- [6] M. Jangale and K. D. Thakur, "Optimum Positioning of Superconducting Fault Current Limiter for Wind Farm Fault Current in Smart Grid," *2017 International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology*, pp. 312-316, 2017.
- [7] A. A. Kalage, N. D Ghawghawe and T. V. Deokar, "Optimum Location of Superconducting Fault Current Limiter to Mitigate DG Impact," *International Conference on Advances in Electrical, Electronics, Information, Communication and Bio-Informatics*, pp. 1-4, 2016.
- [8] A. Jain, V. K. Dubey, G. Jawale, H.A. Mangalvedekar and K. Kanakgiri, "Feasibility Analysis for Optimal Placement of SFCL in a Loop Network: A Case Study," *1st IEEE International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems*, pp. 1-6, 2016.
- [9] G. Didier, J. Lévêque, and A. Rezzoug, "A Novel Approach to Determine the Optimal Location of SFCL in Electric Power Grid to Improve Power System Stability," *IEEE Transactions On Power Systems*, vol. 28, no. 2, May 2013.
- [10] M. E. Elshiekh, D.-E. A. Mansour, and A. M. Azmy, "Improving Fault Ride-Through Capability of DFIG-Based Wind Turbine Using Superconducting Fault Current Limiter," *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, vol. 23, no. 3, Dec. 2012.
- [11] D.-E. A. Mansour, and D. M. Yehia, "Analysis of 3-Phase Superconducting Fault Current Limiters in Power Systems with Inhomogeneous Quenching," *IEEE Transactions On Applied Superconductivity*, vol. 28, no. 3, June 2013.
- [12] P. M. Anderson and A. A. Fouad, *Power System Control and Stability*, 2nd ed. New York: IEEE Press, 2003.
- [13] K. Nam, C. Lee, D. K. Park, T. K. Ko, and B.-Y. Seok, "Thermal and electrical

analysis of coated conductor under AC over-current,” *IEEE Transaction on Applied Superconductivity*, vol. 17, no. 2, pp. 1923–1926, June 2007.

Electric Power System with Distributed Generations (DGs),” *IEEE Transaction on Applied Superconductivity*, vol. 23, no. 3, June 2013.

[14] H.-C. Jo, S.-K. Joo, and K. Lee, “Optimal Placement of Superconducting Fault Current Limiters (SFCLs) for Protection of an

[15] SimPowerSystems User’s Guide, The Math Works, Inc 2000.