



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Güç Sistemi Kararlılığını İyileştirecek Facts Cihazlarının Bağlantı Noktasının Belirlenmesi

Ali ÖZTÜRK^a, Beytullah BOZALI^{a,*}, Salih TOSUN^b

^a Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fak., Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^b Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fak., Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: beytullahbozali@duzce.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, tristor kontrollü seri kompanzator (TSCS) ve statik var kompanzator (SVC) denetleyicilerinin güç sistemi gerilim kararlılığına olan etkileri incelenmiştir. İncelemeler 5 örnek olarak seçilen 5 baralı sistem üzerinde yapılmıştır. Sürekli güç akışı analizi yöntemi kullanılarak TSCS ve SVC'nin gerilim çökmeleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Hatların kararlılık indeksi değerleri ve yük baralarına ait voltaj kararlılık indeksi değerleri hesaplanmıştır. Bu index değerlerine göre güç sistemi Esnek alternatif akım cihazları iletim cihazları (FACTS) bağlantı noktaları belirlenmiştir. FACTS cihazları bağlandıktan sonra simülasyon programı ile yük akışı çalışmaları yapılmıştır. Yapılan çalışma ile elde edilen sonuçlara göre güç sisteminin kararlılık sınır değerlerini iyileştirmede ve aktif güç kayıplarını azaltmada FACTS cihazlarının önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Güç Sistemi, Gerilim Kararlılığı, FACTS Cihazlar

Determination of Facts Devices Connection Points For the Improvement of Power System Stability

ABSTRACT

In this study, thyristor controlled series compensators (TSCS) and static var compensator (SVC) effects on voltage stability of power systems were investigated. Five bus power system was determined and investigations were carried out on this system. TSCS and SVC effects on the voltage drops were examined with continuous power flow analysis method. Line stability index values and voltage stability index values of load busses were calculated. According to these values FACTS Devices connection points of power system were determined. After connecting Facts devices, load flow analysis were made by simulation programs. According to the results obtained from studies in improving the stability limit of the power system and reduce active power loss has been shown to have a significant impact of FACTS devices.

Keywords: Power System, Voltage Stability, FACTS Devices

I. GİRİŞ

GELİŞEN teknoloji ile birlikte elektrik enerjisine olan talep de her geçen gün artmaktadır. Enerji talebindeki artış güç sistemlerini kararlılık sınırlarına yakın bölgelerde çalışmaya zorlamaktadır. Bu durum kararlılık sınırlarının azalmasına yol açtığından dolayı gerilim kararlılığının önemi de enerji ihtiyacının artmasıyla birlikte artmaktadır [1]. Gerilim kararlılığı, bir güç sisteminin yük baralarının, gerilim genlik değerlerini tüm koşullarda belirli limitler arasında tutabilme yeteneği olarak tanımlanabilir [2].

Gerilim kararlılığında en önemli problem olan gerilim çökmelerinin önüne geçebilmek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Kademe değiştiricili trafo denetimi, hızlı arıza temizleme iletim hatlarına seri ve paralel kompanzasyon yapılarak gerilim kararlılığı sınırlarını arttırmak mümkündür[3]. Kademe dönüştürme oranları sayesinde yük baralarındaki gerilimi istenilen seviyede tutmaya yararlar[4]. İletim hatlarına seri kompanzasyon yapılarak hattın seri reaktansı kompanze edilir ve bu sayede hattın taşıyabileceği maksimum güç sınırları artırılabilir. İletim hattına seri kompanzasyon yapılarak sisteme reaktif güç verilmesi sistemden reaktif güç çekilmesi ile gerilim değeri istenilen değerde tutmak mümkündür.

Elektrik enerjisine olan talep arttıkça güç sistemleri de büyüyerek karmaşık hale gelmektedir. Büyüyen ve karmaşıklaşan sistemlerde gerilim kararsızlığı ve çökmelerini önlemek için kullanılan klasik yöntemler bazen sistem ihtiyaçlarını karşılayamaz hale gelmiştir[5]. Günümüzde gelişen güç elektroniği elemanları tabanlı FACTS cihazları sayesinde karmaşıklaşan ve büyüyen sistemlerin gerilim problemleri daha hızlı ve etkin şekilde çözülmektedir. Bunun yanı sıra FACTS cihazları uygun olarak kullanıldıkları zaman güç sistemlerinin kararlılık sınırlarını artırarak mevcut kaynakların en iyi şekilde kullanılmasını sağlamaktadır[6].

Bu çalışmada, beş baralı bir güç sisteminde öncelikle Power System Analysis Toolbox (PSAT) [7], powerworld simülasyon programlarında iletim hattı çizilerek, her baranın gerilimleri aktif ve reaktif güçleri, iletim hattı değerleri bulunmuştur. Daha sonra Matlab programı ve bara indirgeme yöntemiyle kullanılarak hatların kararlılık indeksi ve baraların voltaj kararlılık indeksi bulunmuş olup, beş baralı iletim sisteminin en zayıf hattına, hatta seri bağlanan TSCS bağlanmış ve en zayıf olan baraya da hatta paralel olarak bağlanan SVC bağlanmıştır. Güç sistemin statik hal performansları olan; gerilim kararlılığı, sistemdeki aktif ve reaktif kayıpların analizini farklı senaryolar altında powerworld programı kullanılarak sonuçlar elde edilmiştir. Sonuç olarak gerilim kararlılığını iyileştirecek, kayıpları minimum yapacak FACTS bağlantı noktaları belirlenmiştir.

II. FACTS CİHAZLARI

Modern kompanzasyon yöntemlerini oluşturan FACTS aygıtlarının, çok kısa sürede tepki vermesi, her fazın ayrı ayrı denetlenebilirliği, dengesiz yükleri kompanze edebilmesi dikkate alındığında bu cihazlarının kullanımı önem kazanmaktadır [8, 9]. FACTS kontrolü bakımından güç elektroniği tabanlı olduğundan geleneksel kontrolörlere göre daha hızlı tepki verirler. Bu cihazlar uygun olarak kullanıldıkları zaman iletim hatlarının kararlılık sınırlarını artırır. FACTS'ların iki temel amaçları vardır. Bunlardan birincisi iletim sistemlerinin güç taşıma kapasitelerinin artırılması, ikincisi ise iletim hatları üzerindeki güç akışını kontrol etmektir [10]. Günümüzde FACTS adı altında bir çok güç akış denetleyicisi geliştirilmiştir. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanları; Statik Var Kompanzator (SVC), Tristör Kontrollü Seri Kapasitör (TCSC), Statik Kompanzator (STATCOM), Birleşik Güç

Akış Kontrolörü (UPFC), Faz Kaydırıcısı ve Statik Senkron Seri Kapasitör (SSSC) olarak gösterilebilir.

A.STATİK VAR KOMPANZATÖR

SVC'nin ana görevi, bağlı olduğu baraya kontrol verilerine bağlı olarak kapasitif veya endüktif akım enjekte etmektir [11]. Statik VAR kompanzator güç sisteminde çekilen reaktif gücün kontrolü ile bağlı olduğu sistem geriliminin belirlenen sınırlarda kontrolüne imkan sağlamaktadır. Çok bilinen şekilleri, sabit kapasiteli tristör kontrollü reaktör (TCR) ve tristör kontrollü kapasite (TSC)'dir. Şekil 1'de SVC'nin basit yapısı, gerilim kontrolü için gösterilmiştir.

Yarı iletkenlerin kullanılmasıyla gerçekleştirilen SVC elemanının çalışma prensibi; kondansatör ve/veya reaktörlerin, hesaplanan tetikleme açılarına bağlı olarak şebekeye sokup çıkarılarak, değişken değerli şönt empedans elde etmeye dayanır. Uygun tetikleme ile statik VAR generatörünün bağlı olduğu barada maksimum kapasitif reaktif güç değerinden, maksimum endüktif reaktif güç değerine kadar geniş bir aralıkta reaktif güç ayarı yapılabilir [12]. Cihazın kapasitif veya endüktif çalışma durumunu endüktans belirler. Endüktansın değeri ise aşağıdaki denklem (1) ile belirlenir [13].

$$X_v = X_L \frac{\pi}{2(\pi - \alpha) + \sin 2\alpha} \quad (1)$$

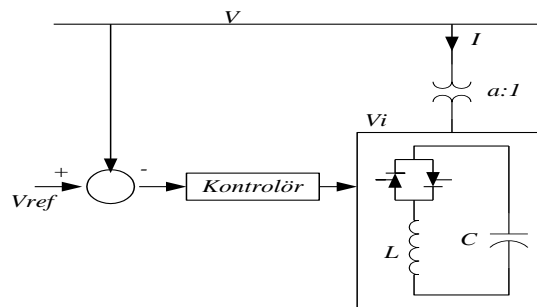
Burada X_L tristör kontrolsüz temel endüktif reaktans ve α ise tetikleme açısıdır. Kontrolörün toplam empedansı aşağıdaki denklem (2) eşitliği ile bulunur.

$$X_e = X_c \frac{\pi / r_x}{\sin 2\alpha - 2\alpha + \pi(2 - \frac{1}{r_x})} \quad (2)$$

Burada, $r_x = X_c / X_L$ tetikleme açılarının sınırları ile kontrolörlerin limit değerlerini verir, X_c ise kapasitif reaktanstır. SVC'nin çıkış gücü ise aşağıda belirtilen denklem (3) ile belirlenir.

$$Q_c = \frac{V^2}{X_v} - \frac{V^2}{X_c} \quad (3)$$

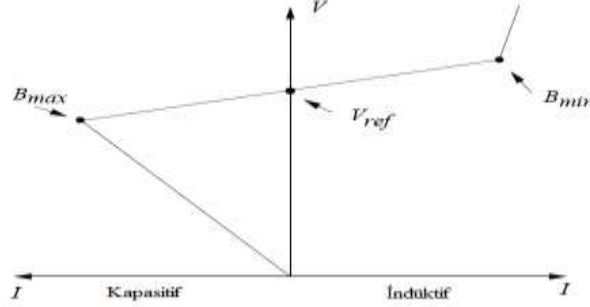
Burada, V hattın gerilimidir.



Şekil 1. SVC sistematik modeli

SVC'nin sürekli çalışma altındaki gerilim kontrol karakteristiği de Şekil 2'de gösterilmiştir [14]. Burada V_{ref} sistemin normal yüklenme durumundaki gerilim değerini göstermektedir. B_{max} tüm

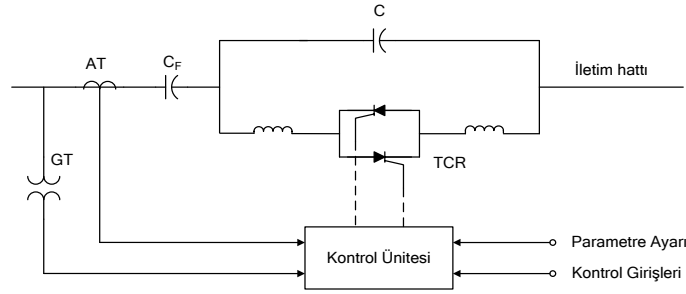
kapasitelerin devreye alınmasını, B_{min} ise tüm kapasitelerin devreden çıkartıldığını göstermektedir. Bunlara bağlı olarak sisteme verilen akımın endüktif veya kapasitif olması sağlanır. Bu sistemde SVC ayarlanabilir bir reaktif güç kaynağı gibi davranarak bağlı olduğu güç sistemini kontrol eder.



Şekil 2. SVC sistem karakteristiği

B. TRİSTÖR KONTROLLÜ SERİ KAPASİTÖR

TCSC tipik seri bir FACTS cihazıdır. TCSC konfigürasyonları Şekil 3'Te de görüldüğü gibi sabit kapasitör yanında (C_F), Tristör kontrollü reaktörler (TCR) ve bunlara paralel bağlı bir kapasitör (C) kullanır. TCR-C kombinasyonu temel frekans kapasitif reaktansının geniş bir aralık üzerinde düzgün bir şekilde kontrol edilmesine izin verir [15].



Şekil 3. TCSC'nın devre modeli

Aşırı gerilim seviyelerinden korumak üzere C kapasitörüne paralel bir metal oksit varistör (MOV) yerleştirilir

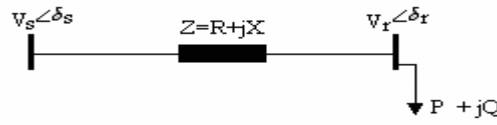
C. KARARLILIK İNDEKSLERİ

C.1. Sürekli Durum Gerilim Kararlılığı

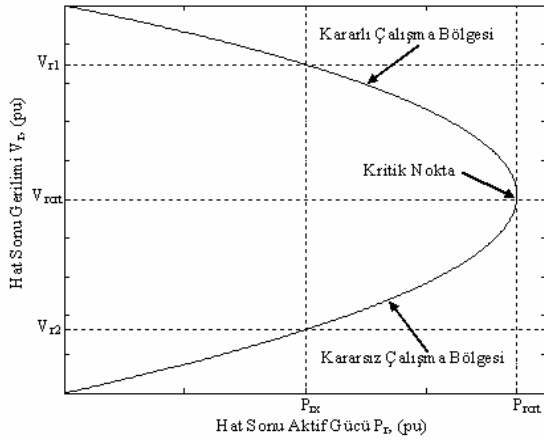
Gerilim kararlılığının statik analizler (yük akış analizleri) için bir sürekli durum problemi olarak görülmesi uygundur. Gerilim kararlılığı yük kararlılığı olarak da adlandırılır. Sistem ve gerilim kararlılığı dinamik olmasına rağmen statik analiz ile incelenebilir. Verilen bir çalışma noktası ve bozucu etki şartları altındaki bir güç sisteminde, eğer gerilimler, bozucu etki sonrası denge değerlerinde veya yakın bir değerde kalabiliyor ise bu güç sistemi gerilim kararlıdır [17]. Eğer bozucu etki sonrası gerilimler kabul edilebilir limitlerin altında ise sistem kararsız bölgededir ve gerilim çökmesi ortaya çıkabilir. Gerilim çökmesi, verilen çalışma durumundaki bir güç sistemini durumu ve verilen bozucu etkilere katlanmanın konusu olarak tanımlanabilir [16].

Gerilimde gittikçe artan ve kontrol edilemeyen bir düşmeye neden olan yük talebindeki artma veya sistem durumundaki değişme gibi bir bozucu etki olduğu zaman, sistem gerilim kararsızlığı durumuna

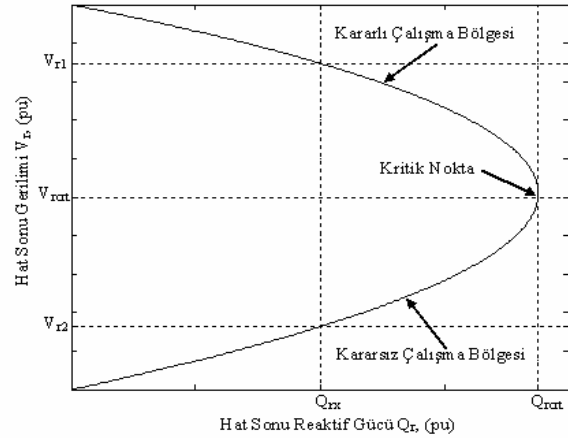
girer. Kararsızlığa neden olan ana etken, reaktif güç talebini karşılamakta güç sisteminin yetersiz kalmasıdır. Gerilim kararsızlığı normal olarak ağır biçimde yüklenen sistemlerde meydana gelir. Gerçekte gerilim kararsızlığı güç (P, Q) ve gerilim (V) arasındaki ilişkilere bağlıdır. Bu ilişkileri gösteren karakteristikler radyal hat için (Şekil 4) analitik olarak elde edilebilirken, daha büyük baralı karmaşık sistemler için yük-akışı analizi kullanılarak belirlenebilir. İki-baralı iletim hattına ilişkin P-V eğrisi Şekil 5’de, QV eğrisi ise Şekil 6’de gösterilmektedir. Şekil 5’den görüleceği gibi her bir sabit Pr gücüne Vr1 ve Vr2 gibi iki farklı gerilim değeri karşılık düşmektedir. Sadece bir noktada belirli bir güce (Pr crt), bir tek gerilim değeri (Vr crt) karşılık düşmektedir. Bu nokta gerilim kararlılığı açısından taşınabilecek azami güç sınırını ve buna karşılık gelen kritik gerilim değerini göstermektedir. Bu nokta sistemin kritik yüklenme noktası olarak adlandırılmaktadır. Gösterilen P-V eğrisinin üst kısmı normal kararlı çalışma bölgesini yansıtmaktadır, alt bölge ise gerilim kararsızlığına karşılık gelen bölgedir. Kritik güçten daha fazla güç talebi sistemi kararsızlığa götürmektedir. Aynı durumlar Şekil 6’da verilen Q-V eğrisi içinde geçerlidir [18].



Şekil 4. İki baralı güç ve gerilim sistem modeli



Şekil 5. İletim hattı P-V eğrisi



Şekil 6. İletim hattı Q-V eğrisi

D. HAT KARARLILIK İNDEKSİ

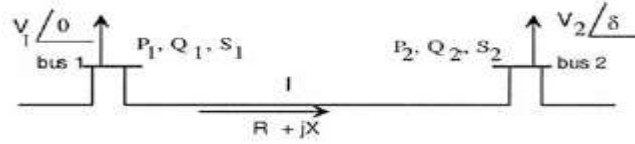
Güç sistemlerinde yükteki değişimler sistemdeki gerilim seviyesini istenmeyen değerlere düşürmektedir. Gerilim büyüklüğü sistemin güvenli çalışması açısından büyük öneme sahiptir. Bu nedenle sistemde yük değişimi sonucunda gerilim çökmesinin meydana geleceği baranın belirlenmesi gerekmektedir. Bu yük artışı ile her bir baranın P-V ve Q-V eğrileri oluşturularak belirlenebilmektedir. Fakat bu durumda sistemler için her bir yüklenme durumunda güç akışı analizinin yapılması gerekmektedir. Ayrıca sistem yükü kritik yüklenme noktasına yaklaştıkça yani gerilim çökmesinin olduğu yüklenme durumuna yaklaşıldıkça güç akışı analizinin yapılması zorlaşmakta kullanılan güç akışı algoritmalarında yakınsama problem görülmektedir. Bu nedenle birden fazla güç akışına ihtiyaç duymaksızın sistemlerdeki kritik baranın belirlenmesi için bir çok kararlılık indeksleri geliştirilmiştir. Bunlardan biri olan hat kararlılık indeksi aşağıda belirtilen denklem 4’te verilmiştir.

$$L_{mn} = \frac{4XQ}{(V_s \sin(\theta - \delta))^2} \quad (4)$$

Hat kararlılık indeksi denkleminde X iletim hattının empedansının real kısmı, Vs salınım barasının gerilim değeri, θ değeri ise iletim hattının empedansının acı değeri, δ ise ($\delta_{12} = \delta_1 - \delta_2$) iki baranın acılarının farkıdır [19].

E. VOLTAJ KARARLILIK İNDEKSİ

Voltaj kararlılık indeksi bulunurken aşağıda şekil 7’de olduğu gibi tüm sistem iki baraya indirgenir. Baralardan biri salınım barası diğeri yük barasıdır [20].



Şekil 7. İki baralı güç sistemi modeli

V_1, V_2 = Salınım barasından gönderilen, yük barasından alınan gerilimler.

P_1, Q_1 = Salınım barasından gönderilen aktif ve reaktif güçleri

P_2, Q_2 = Yük barasından çekilen aktif ve reaktif güçleri.

S_1, S_2 = Gönderilen ve alınan görünür güç.

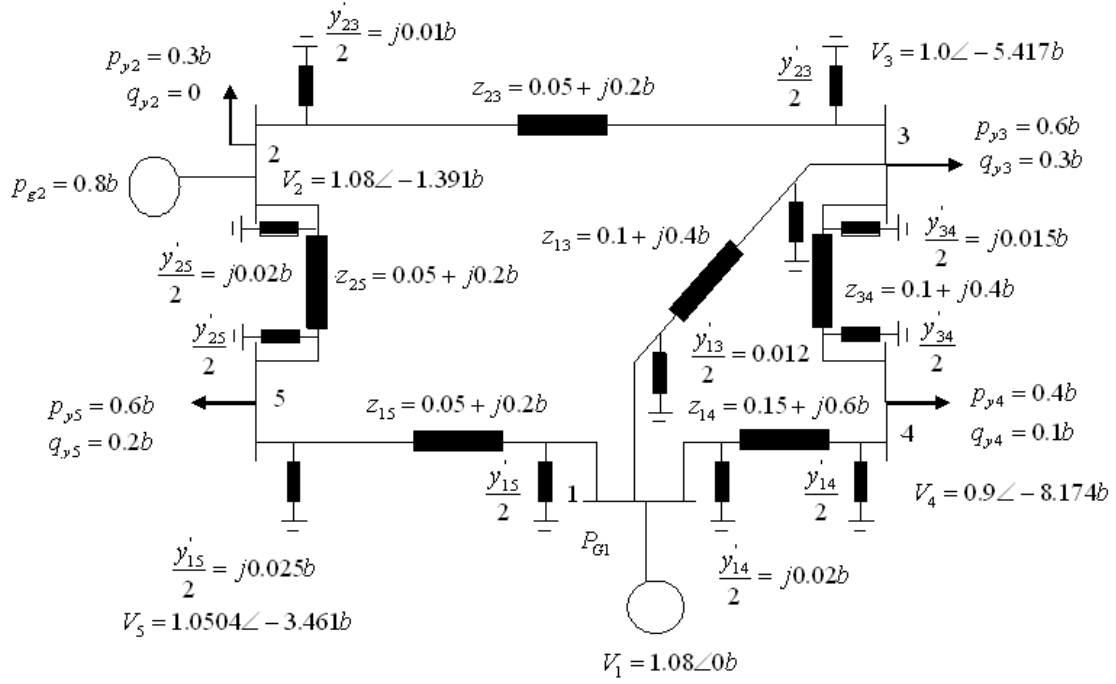
$\delta = \delta_1 - \delta_2$ (baralar arasındaki acı farkı)

$$\frac{4Z^2 Q_2}{(V_1)^2 (R \sin \delta + X \cos \delta)^2} \leq 1 \quad (5)$$

(5) denklemini kullanmak için öncelikle şekil 8’deki gibi beş baralı sistemi, bir salınım barası ve yük barası olmak üzere iki baraya indirgeyerek (matlab kodları yardımıyla) ve (5) nolu denklemini kullanarak voltaj kararlılık indeksini bulmuştur.

III. BULGULAR ve TARTIŞMA

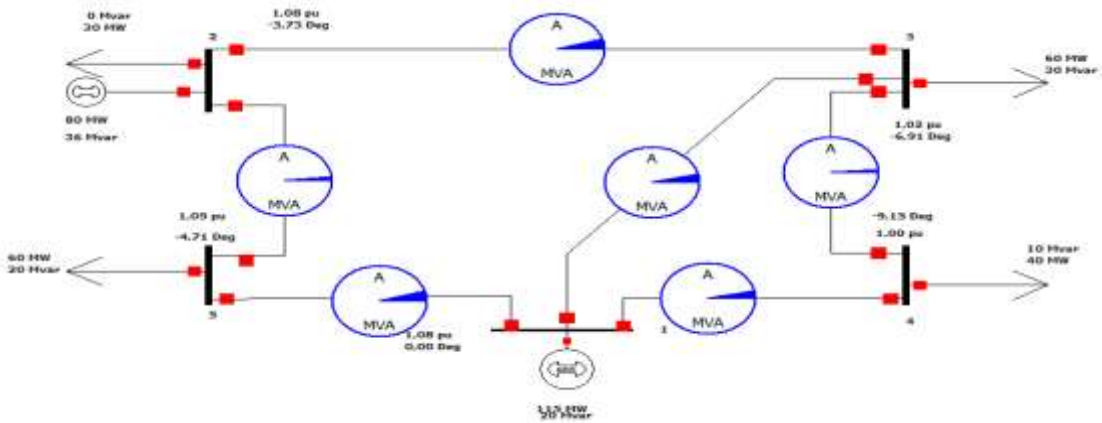
Aşağıda şekil 8’de uygulamamızda kullandığımız beş baralı iletim sistemi verimmiş ve tablo’1 de iletim sistemimize ait iletim hatlarının değerleri verilmiştir.



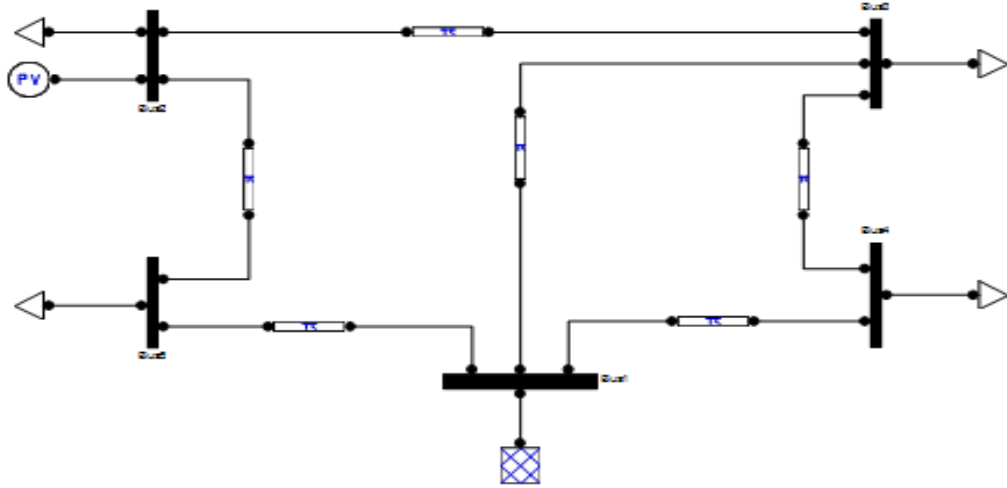
Şekil 8. 5 baralı sistem [21].

Tablo 1. Beş baralı sistem hat verileri

Hat no	Hat baralar	Omik direnç	Endüktans	Şönt admitans
		(R)	(X)	(B)
1	1-3	0.1	0.4	0.012
2	1-4	0.15	0.6	0.02
3	1-5	0.05	0.2	0.025
4	2-3	0.05	0.2	0.01
5	2-5	0.05	0.2	0.02
6	3-4	0.1	0.4	0.015



Şekil 9. 5 Baralı sistem powerworld simülasyonu



Şekil 10. 5 Baralı sistem PSAT simülasyon

A.BEŞ BARALI SİSTEMİN VOLTAJ VE HAT KARARLILIK İNDEKSİ

Matlab programı kullanılarak hatların kararlılık indeksi değerleri 4'üncü dekleme göre saptanarak hesaplanarak aşağıda tablo 2'de verilmiştir. Bu değerlere göre kararlılık indeksi en yüksek değere sahip olan 2 nolu (2-3 baralar arası) iletim hattına sistemin kararlılığını ve kayıpları min yapmak için %20 ile %80 artan değerlerde seri TSCS bağlanmıştır. Tablo 3'te Matlab programı ve bara indirgeme yöntemiyle kullanılarak ve denklem 5'e göre yük baralarına ait voltaj kararlılık indeksi değerleri hesaplanmıştır. Voltaj kararlılık indeksi en yüksek değerde olan 4 nolu baraya paralel olarak, sistemin kararlılığını ve kayıpları min yapmak için 2 Mar- 15 Mar değerleri arasında değer verilerek SVC bağlanmış ve en iyi farklı senaryolar altında FACTS cihazlarının bağlantı noktaları belirlenmiştir.

Tablo 2. 5 Barajlı sistemde hat kararlılık indeksi (LSI) değerleri)

Baralar	Hat No	Hat Baraları	LSI
1	1	1-3	0.6223
2	2	1-4	0.7178
3	3	1-5	0.1922
4	4	2-3	1.1274
5	5	2-5	0.2990
6	6	3-4	0.1632

Tablo 3. 5 Barajlı sistem voltaj kararlılık indeksi değerleri

Yük Baraları	VSI
3	0.2305
4	0.3953
5	0.0179

B. 5 BARALI SİSTEM FACTS CİHAZLARI YERLEŐTİRME DEĞERLERİ

Tablo 3. TSCS yerleőtirme değerleri

Bara no	%20		%40		%60		%80	
	FACTS cihazı yerleştirmeden önce	FACTS cihazı yerleőtirdikten sonra	FACTS cihazı yerleştirmeden önce	FACTS cihazı yerleőtirdikten sonra	FACTS cihazı yerleştirmeden önce	FACTS cihazı yerleőtirdikten sonra	FACTS cihazı yerleştirmeden önce	FACTS cihazı yerleőtirdikten sonra
1	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08
2	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08
3	1.02	1.1	1.02	1	1.02	1	1.02	0.99
4	1	0.99	1	0.99	1	0.98	1	0.98
5	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
Aktif Güç Kayıpları [p.u.]	0.047	0.047	0.047	0.048	0.047	0.048	0.047	0.049
Reaktif Güç Kayıpları [p.u.]	-0.036	-0.028	-0.036	-0.02	-0.036	-0.013	-0.036	-0.006

İki nolu iletim hattına seri olarak %20 ile %80 artan değerlerde TSCS bağlayarak elde edilen sonuçlar tablo 3'te verilmiş olup, sonuçlara göre güç açısından aktif güç kayıplarını etkilemezken, reaktif güç kayıplarını azatlığı görülmüŐ ve gerilim kararlılığına da olumlu etkisi olduğu anlaşılmıştır.

Tablo 4. SVC yerleőtirme değerleri

Bara no	FACTS cihazı yerleştirmeden önce	SVC	SVC	SVC	SVC	SVC	SVC
		2 Mar Değerinde	4 Mar Değerinde	5 Mar Değerinde	8 Mar Değerinde	10 Mar Değerinde	15 Mar Değerinde
1	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08
2	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08
3	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
4	1	1	1	1	1	1	1.04
5	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
Aktif güç Kayıpları [p.u.]	0.047	0.046	0.046	0.046	0.045	0.045	0.044
Reaktif güç Kayıpları [p.u.]	-0.036	-0.039	-0.042	-0.043	-0.046	-0.048	-0.052

Dört nolu baraya 2 Mar ile 15 Mar arasında farklı değerler verilerek SVC bağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar tablo 4'te verilmiş olup, sonuçlara göre güç açısından SVC aktif güç kayıplarını azaltmış, aşırı kompanzasyon üzerine ve gerilim kararlılığına olumlu etkisi olduğu anlaşılmıştır.

C. 5 BARALI SİSTEME SVC VE TSCS BİRLİKTE YERLEŞTİREREK DEĞERLERİ

Tablo 5. TSCS %20 yük durumu için SVC sonuçları

Bara no	FACTS cihazı yerleştirmeden önce	SVC 5 Mar Değerinde	SVC 10 Mar Değerinde	SVC 15 Mar Değerinde
1	1.08	1.08	1.08	1.08
2	1.08	1.08	1.08	1.08
3	1.02	1.02	1.02	1.02
4	1	1	1	1.04
5	1.05	1.05	1.05	1.05
Aktif güç Kayıpları [p.u.]	0.047	0.046	0.045	0.044
Reaktif güç Kayıpları [p.u.]	-0.036	-0.051	-0.056	-0.059

Tablo 6. TSCS %40 yük durumu için SVC sonuçları

Bara no	FACTS cihazı yerleştirmeden önce	SVC 5 Mar Değerinde	SVC 10 Mar Değerinde	SVC 15 Mar Değerinde
1	1.08	1.08	1.08	1.08
2	1.08	1.08	1.08	1.08
3	1.02	1.02	1.02	1.02
4	1	1	1	1.04
5	1.05	1.05	1.05	1.05
Aktif güç Kayıpları [p.u.]	0.047	0.046	0.045	0.044
Reaktif güç Kayıpları [p.u.]	-0.036	-0.06	-0.064	-0.067

Tablo 7. TSCS %60 yük durumu için SVC sonuçları

Bara no	FACTS cihazı yerleştirmeden önce	SVC 5 Mar Değerinde	SVC 10 Mar Değerinde	SVC 15 Mar Değerinde
1	1.08	1.08	1.08	1.08
2	1.08	1.08	1.08	1.08
3	1.02	1.02	1.02	1.02
4	1	1	1	1.03
5	1.05	1.05	1.05	1.05
Aktif güç Kayıpları [p.u.]	0.047	0.046	0.045	0.045
Reaktif güç Kayıpları [p.u.]	-0.036	-0.069	-0.073	-0.075

Tablo 8. TSCS %80 yük durumu için SVC sonuçları

Bara no	FACTS cihazı yerleştirmeden önce	SVC 5 Mar Değerinde	SVC 10 Mar Değerinde	SVC 15 Mar Değerinde
1	1.08	1.08	1.08	1.08
2	1.08	1.08	1.08	1.08
3	1.02	1.02	1.02	1.02
4	1	1	1	1.03
5	1.05	1.05	1.05	1.05
Aktif güç Kayıpları [p.u.]	0.047	0.047	0.046	0.045
Reaktif güç Kayıpları [p.u.]	-0.036	-0.08	-0.083	-0.084

5 Mar ile 15 Mar arasında farklı değerlerde dört nolu baraya SVC ve %20 ile %80 arasında farklı yük değerlerinde iki nolu iletim hattına seri TSCS birlikte beş baralı sisteme yerleştirilerek elde edilen sonuçları yukarıda tablolar halinde verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, SVC 15 Mar değerinde ve TSCS %20 reaktif güç yük değerinde sistem en kararlı çalıştığı, aktif ve reaktif güç değerlerin minimum olduğu en iyi güç transferi sağlandığı anlaşılmıştır. Sonuç olarak sistemde belirlenen bağlantı

noktalarının SVC ve TSCS bağlayarak, sisteme endüktif ve kapasitif enerji vererek sistemin çok daha kararlı çalışması sağlanmıştır.

D. 5 BARALI SİSTEME SVC VE TSCS BİRLİKTE YERLEŞTİREREK GÜÇ, GERİLİM, ACI DEĞERLERİ

Tablo 9. 3 nolu bara üzerindeki aktif güç, reaktif güç ve acı değerleri

		3 Nolu Bara	Pkrt	Vkrt	δkrt
		TSCS cihazı yerleştirmeden önce değerler	233MW	0.57pu	-43.59
2 Nolu İletim Hattına TSCS Farklı Bağlantı Değerler.	%20 yük değerinde TSCS bağlandığında	257MW	0.58pu	-47.66	
	%40 yük değerinde TSCS bağlandığında	287MW	0.63pu	-52.92	
	%60 yük değerinde TSCS bağlandığında	320MW	0.72pu	-56.28	
	%80 yük değerinde TSCS bağlandığında	350MW	0.84pu	-58.39	

Tablo 10. 4 nolu bara üzerindeki aktif güç, reaktif güç ve acı değerleri

		4 Nolu Bara	Pkrt	Vkrt	δkrt
		FACTS cihazı yerleştirmeden önce	141MW	0.63pu	-43.01
2 Nolu İletim Hattına FSCS ve 4 nolu Baraya SVC Farklı Bağlantı Değerler.	5 Mar Değerinde SVC bağlanırsa	143MW	0.65pu	-42.32	
	10 Mar Değerinde SVC bağlanırsa	145MW	0.68pu	-40.81	
	15 Mar Değerinde SVC bağlanırsa	145MW	0.73pu	-37.98	
	TSCS %20 ve 5 Mar Değerinde SVC bağlanırsa	146MW	0.63pu	-43.92	
	TSCS %20 ve 10 Mar Değerinde SVC bağlanırsa	148MW	0.66pu	-43.00	
	TSCS %80 ve 5 Mar Değerinde SVC bağlanırsa	163MW	0.65pu	-45.15	
	TSCS %80 ve 15 Mar Değerinde SVC bağlanırsa	165MW	0.62pu	-48.31	

IV. SONUÇ

2 nolu iletim hattına TSCS bağlayarak ve 3 nolu baranın Aktif Güç, Reaktif Güç ve Acı değerleri tablo 9 gibi elde edilmiştir. Tabloda TSCS'nin artan (%20 ile %80 arası) yük değerlerine göre taşıyabileceği max Pkrt ve Vkrt değerleri bulunmuştur. Bu değerlere göre sisteme sadece TSCS bağlandığı zaman artan yük değerlere göre Pkrt değeri taşınabilecek azami güç sınırını artarken ve Vkrt değeri de artmaktadır. Bu durum sonucunda sisteme sadece TSCS bağlandığı zaman gerilim kararlılığını olumlu etkilemezken güç transferini olumlu etkilemektedir.

4 nolu baraya SVC ve 2 nolu iletim hattına TSCS bağlayarak 4 nolu bara üzerindeki Aktif Güç, Reaktif Güç ve Acı Sonuçları tablo 10'daki gibi elde edilmiştir. Tabloda TSCS ve SVC birlikte bağlandığında, TSCS'nin artan (%20 ile %80 arası) yük değerleri ve SVC 5 Mar- ile 15 Mar güç değerlerine karşılık sistemin taşıyabileceği max Pkrt ve Vkrt değerleri bulunmuştur. Bu değerlere göre sisteme sadece TSCS ve SVC bağlandığı zaman artan yük değerlere göre Pkrt değeri taşınabilecek azami güç sınırını artarken ve Vkrt değeri de azalmaktadır. Bu durum sonucunda sisteme TSCS %80

ve 15 Mar Değerinde SVC bağlanırsa gerilim kararlılığını ve güç transferini olumlu etkilemektedir. Sistemde hem gerilim kararlılığı hem de güç transferi iyileşmiş olur.

Tablo 11. FACTS cihazı yerleştirmeden önce ve sonra güç kayıpları

	Ploss	Qloss
FACTS Cihazı Yerleştirmeden Önce	0.047	-0.036
80% TSCS Yük Yüklendiğinde	0.049	-0.006
TSCS ve SVC bağlı iken	0.045	-0.028

Bu çalışmada, tristor kontrollü seri kompanzator(TSCS) ve statik var kompanzator (SVC) denetleyicilerinin güç sistemi gerilim kararlılığına olan etkileri incelenmiştir. İncelemeler 5 örnek olarak seçilen 5 baralı sistem üzerinde yapılmıştır. Sürekli güç akışı analizi yöntemi kullanılarak TSCS ve SVC'nin gerilim çökmeleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Hatların kararlılık indeksi değerleri ve yük baralarına ait voltaj kararlılık indeksi değerleri hesaplanmıştır. Bu index değerlerine göre güç sistemi Esnek alternatif akım cihazları iletim cihazları (FACTS) bağlantı noktaları belirlenmiştir. FACTS cihazları bağlandıktan sonra simülasyon programı ile yük akışı çalışmaları yapılmıştır. Yapılan çalışma ile elde edilen sonuçlara göre güç sisteminin kararlılık sınır değerlerini iyileştirmede ve aktif güç kayıplarını azaltmada FACTS cihazlarının önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür.

FACTS cihazları yerleştirmeden önce ve sonra güç kayıp değerleri yukarıdaki tablo 11'de verilmiştir. Bu değerlere göre TCSC yerleştirdiğimiz zaman aktif ve reaktif güç kaybı FACTS cihazları yerleştirmeden önceki değerlere göre yükselmektedir. Daha sonra hem TSCS ve hem SVC yerleştirildiğinde sisteme, sistemin aktif ve reaktif güç kaybı FACTS cihazları yerleştirmeden önceki değerlere göre ve sadece FACTS cihazı yerleştirildiği değere göre çok daha düşüktür.

Sonuç olarak sistemin kararlılığının iyileştirilecek FACTS cihazlarının bağlanacağı noktalar belirlenmiştir. Sistem kararsızlaştığında sisteme dört nolu yük barasına SVC ve iki nolu iletim hattına TSCS bağlanmıştır. Farklı yük ve güç değerleri denenmesi sayesinde sistemin endüktif veya kapasitif enerji vererek beş baralı iletim sistemin çok daha kararlı, gerilim kararlılığını ve güç transferini olumlu çalışacak değerler ve gerilim kararlılığı hem de güç transferi iyileştirecek bağlandı noktaları elde edilmiştir.

V. KAYNAKLAR

- [1] C. W. Taylor, *Power System Voltage Stability*, McGraw-Hill Ryerson, New York (1994).
- [2] M. A. Yalçın, *Enerji Sistemlerinde Gerilim Kararlılığının Yeni Bir Yaklaşımla İncelenmesi*, Doktora Tezi, İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi, İstanbul-Türkiye.
- [3] H. Dirik, *Statcom Ve Sssc Denetleyicilerinin Güç Sistemi Gerilim Kararlılığı Üzerine Etkisinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun-Türkiye.
- [4] R. Balanathan, *Techniques to efficiently improve power system voltage stability*, Doktora Tezi, The University of Auckland, New Zealand, (1998).
- [5] T. E. Gümüş, M. A. Yalçın *SAÜ. Fen Bil. Der.* **17(2)** (2013) 1-6.
- [6] N. Mithulanathan, A. Sode -Yome, N. Acharya, *Application of FACTS Controllers in Thailand Power Systems*, School of Environment, Resources and Development Asian Institute of Technology, Thailand, (2005).
- [7] F. Milano, L. Vanfretti, J. C. Morataya *IEEE Transactions on Education*, **51(1)** (2008) 17-23.
- [8] TMMOB, *TMMOB Reaktif Güç Kompanzasyonu Seminer Notları*, İstanbul EMO (1999).
- [9] M. Bayram, *Reaktif Güç Kompanzasyonu*, ENTES, İstanbul (1997).

- [10] A. Hasanovic, (2000) *Modeling and Control of The Unified Power Flow Controller (UPFC)*, Yüksek Lisans Tezi, West Virginia University, ABD.
- [11] IEEE FACTS working group 15.05.15, *FACTS Application*, December 1995.
- [12] U. Arifoğlu, *Güç Sistemlerinin Bilgisayar Destekli Analizi*, Alfa Yayınları, (2002).
- [13] C. A. Canizares, T. F. Zeno *IEEE Transactions on Power Systems*, **14(1)** (1999) 158-165.
- [14] C. A. Canizares, *Power Flow and Transient Stability Models of FACTS Controllers for Voltage and Angle Stability Studies In Proc. of IEEE/PES Winter Meeting*, Singapore (2000).
- [15] P.K. Tiwari, Y.R. Sood, *Optimal Location Of Facts Devices In Power System Using Genetic Algorithm*”, **Nature & Biologically Inspired Computing, 2009. NaBIC 2009. World Congress On**, Coimbatore- India, (2009) 1034–1040.
- [16] M. Bağrıyanık *Enerji iletiminde gerilim kararlı en uygun reaktif güç desteklemelerinin incelenmesi*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul-Türkiye, (1997).
- [17] T. V. Cutsem, C. Vournas, *Voltage Stability of Electric Power Systems*, Kluwer Academic Publishers, Boston/London/Dordrecht (1998).
- [18] P. Kunder, *Power system stability and control*, Power System Engineering Series, Mc Graw Hill. (1993).
- [19] B. Mallaiiah and P. Ramana Reddy. (2015). “voltage Stability Enhancement Through optimization Techniques”, Internet.
- [20] C. Subramani, S. S. Dasch, M. Arun Bhaskar, M. Jagdeshkumar *International Journal of Recent Trends in Engineering* **2(5)** (2009) 263.
- [21] A. Uğur, *Güç Sistemlerinin Bilgisayar Destekli Analizi*, Alfa Basım Yayım Dağıtım Ltd. Şti, 243-260 (2002).