

400 kV Enterkonnekte Elektrik Şebeke Sisteminde FACTS Uygulamaları

FACTS Applications in 400 kV Interconnected Electric Network System

Ergin KAYAR¹, Hamza Feza CARLAK², Halil İbrahim AYDINÖZ³

¹Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ)
erginkayar07@gmail.com

²Akdeniz Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği
fezacarlak@akdeniz.edu.tr

³Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ)
halil.ibrahim.aydinoz@gmail.com

Özet

Enerji kalitesinin en uygun değerde işlenebilmesi için enerji iletim sistemlerindeki kontrol edilebilir parametrelerin optimize edilmesi amacıyla sistemin matematiksel modellemesinin gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir. Güç elektroniğine dayalı mikro elektronik, haberleşme ve ileri kontrol uygulamaları içeren FACTS (Esnek Alternatif Akım İletim Sistemleri) olarak isimlendirilen kontrol sistemi ile güç sistemleri kontrol altında tutularak aktif (MW) ve reaktif (MVar) güç transferlerinin düzenlenip taşıma kapasitelerinin de belirli sınırlar dâhilinde artırılabilmesi şebeke sistemlerinde faydalı olduğu öngörülmektedir. FACTS kontrolörlerinin tanımlanması, gelişimi ve sınıflandırılması ele alınarak, 400 kV enterkonnekte elektrik şebeke sisteminde öncelikle Power Factory (Dig-silenet) programında 10 baralı elektrik şebeke sisteminde Newton-Raphson yöntemi ile yük akışı gerçekleştirilmiştir. Yük akışı analizi ile elde edilen sonuçların yorumlanarak, esnek alternatif akım iletim sisteminin sağlamış olduğu dinamik bir sistem olan güç sistemlerinde faydaları; anlık ihtiyaçlara bağlı olarak reaktif güç üretip tüketebilen, reaksiyon süresi oldukça yüksek olan, geniş bir aralıkta çalışabilen, güvenli ve işletme esnekliğine sahip sistemler olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Güç Sistemi Analizi FACT, Voltaj Regülasyonu, Reaktif Güç Regülasyonu

Abstract

It is aimed to realize the mathematical modeling of the system in order to optimize the controllable parameters in the energy transmission systems so that the energy quality can be processed at the most appropriate value. With the control system called FACTS (Flexible Alternating Current Transmission Systems), which includes microelectronics, communication and advanced control applications based on power electronics, the power systems can be kept under control and the active (MW) and reactive (MVar) power transfers can be

regulated and the carrying capacity can be increased within certain limits. In the 400 kV interconnected electrical network system, first of all, load flow was carried out in the Power Factory (Digsilenet) program with the Newton-Raphson method in the 10 busbar electrical network system. By interpreting the results obtained with the load flow analysis, the benefits of the flexible alternating current transmission system in power systems, which are a dynamic system provided; It has been seen that there are systems that can produce and consume reactive power depending on instantaneous needs, have a very high reaction time, operate in a wide range, are safe and have operational flexibility.

Keywords: Power System Analysis FACT, Voltage Regulation, Reactive Power Regulation

1. Giriş

Mevcut elektrik şebeke altyapısı, giderek daha karmaşık hale gelen ve gelişen güç sistemlerindeki gereksinimleri karşılamada yetersiz kalmaktadır. Bununla birlikte son yıllarda, enerji üretimi için kullanılan fosil yakıtlarının tükenen miktarda azalmasına bağlı olarak yeni enerji kaynaklarına yönelmeler başlamıştır. Bu durum dinamik salınımlar, geçici ve sürekli hal kararsızlığı, gerilim çökmesi ve salınımları, düşük transfer kapasitesi ve iletim hatlarındaki termal kapasitelerin aşılması gibi sorunları ortaya çıkarmaktadır. Enerji iletiminde en önemli parametreler, kalite, güvenilirlik, süreklilik ve bütün parametrelerin en ekonomik şekilde sağlanabilmesidir. Bu aşamada, enerji kalitesi ve üretim maliyetinin en uygun değerde işlenebilmesi için enerji üretim sistemlerindeki kontrol edilebilir parametrelerin optimize edilmesi gerekir. Güç elektroniğine dayalı mikro elektronik, haberleşme ve ileri kontrol uygulamaları içeren FACTS olarak isimlendirilen yeni bir kontrol sistemi ile güç sistemleri kontrol altında tutularak, güç transferlerinin düzenlenip taşıma kapasitelerinin de belirli sınırlar dâhilinde artırılabilmesi ön görülmektedir. FACTS cihazları ile seçilen bara

gerilim büyüklüğü ve faz açısı kontrol edilecektir. İletim hatlarının termal limitler dâhilinde güvenli bir şekilde yüklenmesi ve tam kapasiteli kullanımı ile sistem kayıplarının en aza indirgenmesi sağlanabilecek ve güç akışı da kontrol merkezi tarafından anlık olarak takip edilebilecektir. Gerçekçi bir bölgeye ait ulusal veriler kullanılarak önerilen yöntemle analizler gerçekleştirilecek ve elde edilen sonuçlar hali hazırda kullanılan mevcut sistemle karşılaştırılarak önerilen yöntemin sağlamış olduğu faydalar Türkiye enterkonnekte sisteminin iyileştirmesi için değerlendirilecektir.

Reaktif güç kompanzasyonu, elektrik enerji sistemlerinin kontrolünde önemli bir sorundur. Reaktif güç, iletim sisteminde kayıpları artırırken iletim hattının güç iletim kapasitesini de azaltır ve hat sonundaki gerilimin genliğinde çok büyük değişimler meydana getirir. Bu yüzden alternatif akımlı güç sistemlerinde iletilebilir gücü artırmak ve kayıpları azaltmak için kompanzasyon yapmak gerekir. Ayrıca, uzun iletim hatlarında hat endüktansının ve kapasitesinin etkisi, az yüklü durumlarda aşırı gerilimlere ve çok yüklü durumlarda ise gerilim düşümlerine neden olur. Bu nedenle iletim hattı geriliminin kontrolü gerekmektedir. Bu da hattın belli noktalarında güç akış kontrolörleri ile kompanzasyon yapılarak gerçekleştirilir. Bara gerilimi ve baranın reaktif gücü kontrol edilerek, kararlılık sınırları artırılır, iletim kapasitesinin etkili kullanımı sağlanır ve gerilim düşümü azaltılır. Sabit ve mekanik anahtarlamalı reaktör-kondansatör grupları ve senkron generatörler, iletim hatlarındaki gerilim profilini kontrol ederek kararlı durum güç akışını artırmak için uzun süreden beri kompanzasyon amacı ile kullanılmaktadırlar. Geleneksel kondansatör ve reaktör grupları ile yapılan kompanzasyonun en büyük dezavantajı sistemde meydana gelen değişmelere yeterince hızlı cevap verememesidir. Enerji iletim hatlarıncı transfer edilen gücün kapasitesini, kontrol edilebilirliğini artırmak sistemin reaktif güç talebinin hızlı bir şekilde sağlamak için, statik kontrolörler ve güç elektroniği elemanları yardımı ile kompanzasyon yapılmaktadır. Kompanzasyon için kullanılan bu tip aygıtlara FACTS aygıtları denir. FACTS aygıtları, iletim hatlarının kompanzasyonun da kondansatör veya reaktör gruplarına ihtiyaç duymadan anahtarlamalı dönüştürücü devreleri yardımı ile reaktif güç üretip tüketebilmektedirler. Sistemin kararlılığını artırmak ve güç akışını kontrol etmek amacıyla da kullanılmaktadırlar. Bu tip aygıtların en büyük avantajı esneklikleri ve kontrol edilebilirlikleridir. FACTS uygulamaları genellikle gerilim kararlılığının artırılması, salınımların sönümlenmesi, güç sistemlerinde gerilim kontrolü ve güç sistemlerinin kararlılığının iyileştirilmesi gibi konular üzerine gerçekleştirilmektedir. Bu uygulamalar gerilim değerinin ve faz açısının kontrolü ile yapılabilir. Güç iletim sistemlerinde FACTS 'lerin kullanılması ve gelişmesi güç sistemlerinin kararlılığını iyileştirmek için birçok uygulamayı da beraberinde getirmektedir [1]. Sistemin kararlılığını artırmak ve güç akışını kontrol etmek için kullanılabilirler. Bu tür cihazların en önemli avantajları esneklikleri ve kontrol edilebilirlikleridir [2].

Uygulamaları genellikle voltaj kararlılığının artırılması, salınımların azaltılması, güç sistemlerinde voltaj kontrolü ve güç sistemlerinin kararlılığının artırılması gibi konulara yoğunlaşmıştır. Bu uygulamalar voltaj değeri ve faz açısı kontrol edilerek yapılabilir [3]. STATCOM yük kompanzasyonu yapılmış ve geleneksel STATCOM ile DGM-STATCOM arasındaki kontrol farkını daha iyi görebilmek için geleneksel STATCOM 'la ilgili benzetim sonuçlarına da yer verilmiştir. Gerçekleştirilen simülasyon çalışması, STATCOM 'un beklenmedik ani voltaj değişikliklerine çok hızlı tepki verdiğini göstermektedir [4]. FACTS modelleri cihazlarının enerji iletim şebekesine dahil etmek için bir metodoloji açıklanmaktadır. DIG-SILENT Power Factory programının, elektrik güç sistemlerinin kararlılık çalışmalarına uygulanması için kullanılan SVC, TCSC, SSSC ve STATCOM uygulama metodolojisi dört aşamayı içermektedir. Sonuçlar, DIG-SILENT Power Factory programındaki modellerin uygun şekilde uygulandığını ve FACTS cihazlarının güç sisteminin istikrarını iyileştirmeye nasıl katkıda bulunduğunu göstermiştir [5]. Literatürde, güç sistemlerinin FACTS teknolojisi üzerine çalışmalar çoğunlukla FACTS kontrolörleri sınıflandırılarak yapılmıştır. Ancak, bu çalışmanın yenilikçiliği olan enerji iletim sistemi için tüm parametreler dikkate alınarak gerçekçi güç sistemi modeli için FACTS teknolojisi kullanılarak fizibilite çalışmaları yapılmamıştır. Bu çalışmada, süresiz dağıtık üretim değişken güç talep durumları altında gün içi dinamik yük akış analizi yapılmış, değişken güç talep durumları ve bara elektriksel parametrelerinin saatlik değişimleri hesaplanmıştır. Böylece üretim süresizliği gösteren kaynaklardan oluşan dağıtık üretimin bara gerilim ve güç faktörü stabilizesi üzerindeki etkileri değişen güç talepleri karşısında analiz edilebilir. Son yıllarda, verimli enerji kullanımı, talep kontrolü, voltaj dengeleme, güç kalitesi iyileştirme, güç faktörü düzeltilmesi ve harmonik azaltma konularında esnek AC iletim sistemi (FACTS) teknolojisi kullanımı yaygınlaşmıştır [6,7]. İlave uygulamalar arasında güç akış kontrolü, voltaj regülasyonu, reaktif güç kompanzasyonu, geçici ve sabit durum voltaj kararlılığı artırma, güç kaybını azaltma, güç şartlandırma ve kalite iyileştirme sayılabilir [8,9]. Ortaya çıkan yenilenebilir ve dağıtık üretimin kullanılması, verimli elektrik kullanımını ve elektrikli şebekesinin daha fazla güvenilirliği için rolünü hızlandırdı ve genişletti [10]. Ayrıca, güneş fotovoltaik (PV) sistemleri, mikro-hidroelektrik sistemleri, rüzgâr, biokütle, kaynakları kullanılarak yenilenebilir enerji kullanımı ile ilgili olarak bağımsız mikro şebeke için yeni uygulamalar ortaya çıkmıştır [11]. Harmonikler güç kalitesinin bozulmasına neden olurlar. Güç kalitesi sorunları ve harmoniklerin azaltılması, elektrik hizmetleri kuruluşlarının ve endüstriyel kullanıcılarının karşılaştığı ciddi zorluklar ve sorunlar olarak ortaya çıkmıştır [12]. Çeşitli FACTS cihazları ve kontrol stratejileri, güç kalitesi sorunlarının azaltılmasına yardımcı olabilir. Güç sistemi kaynaklarının verimli kullanımı için, 1980'lerin sonunda FACTS kavramı tanıtılmıştır. FACTS cihazlarının temel konsepti, iletim sistemindeki gerçek ve reaktif güç akışını ve voltajı

kontrol etmek için yüksek voltajlı güç elektroniğinin kullanımına dayanmaktadır [13]. Kapsamlı araştırmalar, FACTS cihazlarının iletim ve dağıtım sistemlerindeki performansını artırmak ve dolayısıyla güç sistemi güvenliğini arttırmak için voltaj kaynaklı dönüştürücülerin (VSCs) yeni topolojilerine ve mimarilerine odaklanmıştır [14,15]. FACTS cihazları ve akıllı kontrol stratejileri, yenilenebilir kaynaklardan enerji üretiminde daha belirgin bir rol oynamaktadır [16]. Bugün, FACTS adı altında birçok güç akış kontrol cihazı geliştirilmiştir. En sık kullanılanlar; Statik Var Kompansatör (SVC), Tristör Kontrollü Seri Kondansatör (TCSC), Statik Kompansatör (STATCOM), Güç Akışı Kontrol Cihazı (UPFC), Faz Değiştirici ve Statik Senkron Seri Kondansatör (SSSC). Belirli bir güç sisteminin karakteristikleri, yük büyüdükçe ve üretim arttıkça zaman ile değişir. Eğer iletim olanakları yeterli bir şekilde geliştirilmezse, güç sistemi sürekli durum ve geçici durum problemlerine karşı zayıf bir hale gelir ve kararlılık sınırları daralır. FACTS kontrolörü belirli iletim sınırlamalarını hafifletmek, üretimin dağıtımını kolaylaştırmak için kullanılır ve yeterli sistem güvenilirliği sağlar.

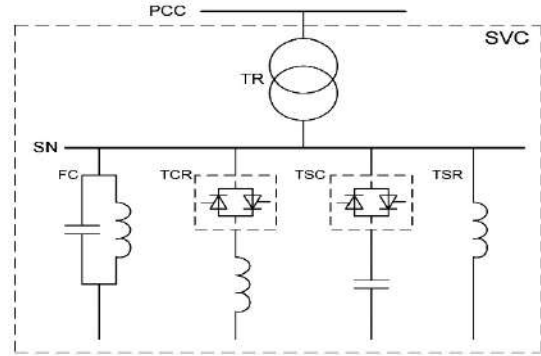
Enerji iletim sistemi için FACTS kontrolörlerinden SVC ve STATCOM sistemleri, Dig-SILENT Power Factory Güç Sistemi Analizi programı kullanılarak, statik ve dinamik (kademeli olarak değişen) yükler için reaktif güç kompanzasyonu yapılarak, hat empedansının değiştirilmesi yoluyla yük akımı ve geriliminin kontrolü sağlanacaktır. Bununla birlikte çok sayıda generatör ve iletim hattının bağlı olduğu güç sisteminde, SVC ve STATCOM kontrolörleri kullanılarak, sırasıyla paralel ve seri kompanzasyon uygulamaları için sistemdeki aktif ve reaktif güç akışının değişimi uzun vadeli yük belirsizlikleri altında, FACTS cihazlarının bara gerilim değişimleri ve hat kapasiteleri açısından performansının gerçek değerler kullanılarak test edilmesi ve elde edilen sonuçların literatüre sunulması hedeflenmektedir.

2. Yöntem

Kompanzasyon, güç iletim hatları tarafından aktarılan gücün kontrol edilebilirliğini artırmak ve sistemin reaktif güç talebini hızlı bir şekilde sağlamak için statik kontrolörler ve güç elektroniği elemanlarının yardımıyla yapılır. Şönt reaktif kompansatör cihazları, anahtarlama tipi dönüştürücüler ile tasarlanabilir. FACTS cihazları, iletim hatlarının telafisinde kapasitör veya reaktör gruplarına ihtiyaç duymadan anahtarlı dönüştürücü devrelerini kullanarak reaktif güç üretebilir ve tüketebilir. Modern kompanzasyon yöntemlerini oluşturan sinüs FACTS cihazları, kısa bir süre içinde reaksiyona giren, her aşamanın ayrı ayrı kontrol edilebilirliği dengesiz yükleri telafi edebilir, bu cihazların kullanımı önemlidir [19]. Bu cihazlar, düzgün kullanıldığında iletim hatlarının stabilite sınırlarını artırır. Bugün, FACTS adı altında birçok güç akışı kontrolörü geliştirilmiştir. En sık kullanılanlar; Statik Var Kompansatör (SVC), Tristör Kontrollü Seri Kapasitör (TCSC), Statik Kompansatör (STATCOM),

Kombine Güç Akışı Kontrolörü (UPFC), faz kaydırıcı ve statik senkron seri kapasitör (SSSC).

SVC, voltaj gibi güç sistemi parametrelerini kontrol etmek için reaktif güç üretmek veya tüketmek için güç sistemine paralel olarak bağlanabilen bir FACTS cihaz ailesinin bir parçasıdır. Birincil amacı, sistem için hızlı etkili, hassas ve ayarlanabilir sürekli reaktif güç üretmek ve tüketmek, yüksek tepki süresine sahip olmakla birlikte, sınırsız bir aralıkta çalışır, güvenlidir ve operasyonel esnekliğe sahiptir [20]. SVC ayrıca büyük endüstriyel tesislerde reaktif güç talebi yüksek olduğunda, SVC güç faktörünü arttırdığında, girişindeki voltaj dalgalanmalarını en aza indirdiğinde ve tesisin işletim maliyetlerini azalttığına dinamik güç faktörü düzeltilmesi için de kullanılır. Esas olarak voltaj kontrolü ve sistem kararlılığı iyileştirmesi için SVC güç sistemlerinde kullanılır.



Şekil 1.SVC Bağlantı Yapısı

SVC genellikle tristör kontrollü reaktör (TCR), tristör anahtarlanmış reaktör (TSR) ve tristör anahtarlanmış kapasitör (TSC) gibi reaktif güç kontrol elemanlarından oluşur. Ayrıca, bir SVC sistemi mekanik olarak anahtarlanmış kapasitör (MSC), mekanik olarak anahtarlanmış reaktör (MSR), sabit kapasitör (FC), sabit reaktör (FR) ve harmonik filtreler gibi bileşenleri içerebilir. Yarı iletkenlerin kullanımı ile gerçekleştirilen SVC elemanının çalışma prensibi. Hesaplanan tetik açılarına bağlı olarak kapasitörleri ve reaktörleri şebeke ağına ekleyerek ve çıkararak değişken değerlerin şönt empedansının elde edilmesine dayanır. Reaktif güç, statik kapasitif reaktif güç değerinden, statik VAR jeneratörünün uygun bir tetikleme ile bağlandığı bara ile maksimum kapasitif reaktif güç değerinden maksimum endüktif reaktif güç değerine kadar ayarlanabilir [21]. İndüktans, cihazın kapasitif veya endüktif çalışmasını belirler. Endüktans değeri aşağıdaki denklem ile belirlenir [22].

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

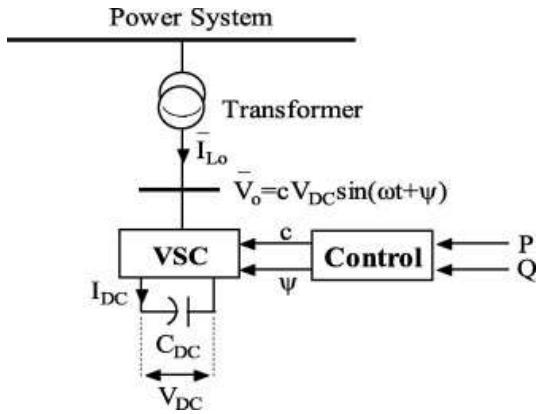
X_L tristör temel endüktif reaktans ve α tetik açısıdır. Kontrolörün toplam empedansı aşağıdaki denklemle belirlenir.

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

$r_x = X_c/X_L$ Tetikleyici açılarının sınırlarını ve kontrolörlerin sınır değerlerini verir ve X_c kapasitif reaktansdır. SVC'nin çıkış gücü Denklem 3 ile belirlenir.

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

Gelişmiş Statik Var Compansator (ASVC) olarak bilinen STATCOM, güç sisteminden reaktif akım çekmek için kontrol edilen ve bir DC enerji depolama elemanı ile üç fazlı bir sistem arasındaki bir invertöre bağlanan bir FACTS denetleyicisidir. STATCOM iletim hattından kontrollü bir reaktif akım çekerek bağlantı noktasındaki iletim hattının voltajını düzenleyen, iletim hattına bir şönt bağlanır. Bu süreç STATCOM'un birincil işlevidir [23]. Bir STATCOM denetleyicisi bir bağlantı transformatörü, voltaj kaynağı invertör ve DC enerji depolama elemanından oluşur (Şekil 2). Enerji depolama elemanı küçük bir kapasitör olduğundan, sadece STATCOM iletim sistemi ile reaktif güç değiştirebilir.

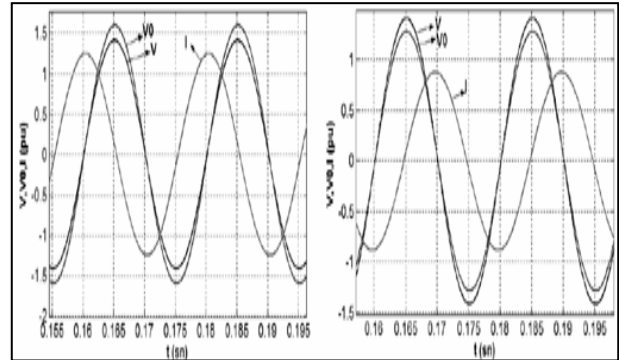


Şekil 2. STATCOM Devre Şeması

Şebeke voltajı invertörün 3 fazlı çıkış voltajının genliğini değiştiren STATCOM, reaktif güç üretilip üretilmeyeceği ve voltaj kontrol edilebilir. Invertörün çıkış voltajı (V_0) AC şebeke sistem voltajından (V_{AC}) büyükse, AC akımı (I_{AC}) invertörden AC sistemine akar ve transformatör reaktansı yoluyla reaktif güç üretir. Bu durumda, invertör AC sistemi için voltajının ötesinde bir açıda kapasitif akım üretir. Invertör çıkış voltajının genliği AC şebeke sistem voltajından daha küçükse, AC akımı AC sisteminden voltaj kaynağı invertöre akar. Ve bu nedenle, invertör voltajın arkasındaki bir açıda bir endüktif akım çiker ve endüktif bir reaktif güç tüketir. Invertörün çıkış voltajı ve AC sistem voltajlarının genliği eşitse, invertörden AC sistemine AC akımı akışı olmayacaktır. Kısacası, invertör reaktif güç üretmez veya tüketmez [24].

Şekil 3. SVC ve STATCOM V-I özelliklerini gösterir. Düşük voltajlarda, STATCOM akım besleme kapasitesi SVC'den çok daha iyidir. STATCOM, herhangi bir sistem voltajında tam kapasitif veya tam endüktif çıkış akımı sağlayabilir. STATCOM tarafından sağlanan reaktif güç telafisi miktarı, SVC tarafından sağlanan reaktif güç miktarından daha yüksektir. SVC'deki düşük voltaj seviyesinde, reaktif güç voltajın karesi ile orantılı

olarak azalırken, STATCOM voltajla doğrusal olarak azalır. Bu, STATCOM'un reaktif gücünü SVC'den daha kontrol edilebilir kılar [24].



Şekil 3. STATCOM Kapasitif mod (a) endüktif mod (b)

3. Simülasyon Çalışmaları ve Bulgular

Oluşturacağımız elektrik şebeke sisteminde trafo merkezleri ve üretim santralleri oluşturulup; gerilimleri sürekli dengesiz olan trafo merkezleri bara sistemlerine FACTS cihazlarını bağlayıp sistemin güç hesaplamaları ve yük akışı analizi yapılarak, gerilim düşümü ve aktif ve reaktif güç kontrolleri sağlanacaktır. Bu şebeke sisteminde enerji iletim hattı modelinin sistem özeti; bara Sayısı 81 adet, Terminal Sayısı 10 adet, Hat Sayısı 48 adet, 2-sargılı trafo Sayısı 65 adet, Senkron Makine Sayısı 20; Yüklerin Sayısı 29adet, SVS Sayısı 1 adet, Toplam Üretim 2464.00 MW aktif güç, 501.79 Mvar Reaktif güç, 2514.58 MVA görünür güç, Harici Besleme 2478.47 MW aktif güç, -274.11 Mvar reaktif güç, 2493,58 MVA görünür güç, toplam yük P(U) 4915.00 MW / 1148.00 Mvar 5047.29 MVA, Şebeke Kayıpları (P) 27,47 MW Kompanzasyon 1065.33 Mvar, Kurulu Güç 3769.80 MW Sıcak Rezerv 1305.80 MW Toplam Güç Faktörü: Üretim 0.98 Yük/Motor 0,97 olarak belirlenmiştir.

Enterkonekte İletim Sistemi simülasyon çalışmalarında FACTS denetleyicilerinin tanımlanması, geliştirme ve sınıflandırması yapılmıştır. FACTS kontrolörler güç sistemi gerçekçi parametreler ile modelleme yapıp, analiz ve simülasyon ile bu model için, modelleme ve voltaj düşüşü kullanılarak, analiz anlık güç üretimi gibi çeşitli durumlar için gerçekleştirildi. En yüksek yüklü manuel durum (şu anda) FACTS cihazlarının sistem voltajının çökmesine karşı, çıkarabilecekleri daha yüksek bir nokta Tablo 1 ve Tablo 2'de gözlemlenmiştir.

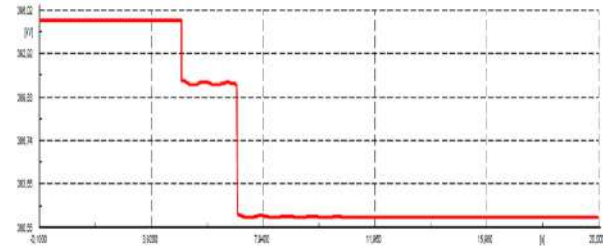
Tablo 1. İletim Hattı Hatası Arızalarından Sonra Durumu (Facts Serviste olduğunda Çalıştığında Bara Gerilimleri)

TM No	SVS YOK		SVS VAR	
	Arıza Öncesi Bara Gerilim	Arıza Sonrası Bara Gerilim	Arıza Öncesi Bara Gerilim	Arıza Sonrası Bara Gerilim
TM 1	395.32 kV	381.28 kV	400.00 kV	398.59 kV

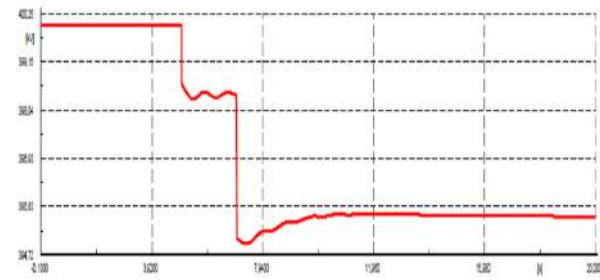
Tablo 2. İletim Hattı Arızalarından Sonra Durumu

Hat No	SVS YOK			
	UI kV	P/MW	Q/Mvar	S/MVA
Hat 1	381,281	36,142	26,118	44,591
Hat 2	394,326	57,887	27,807	64,219
Hat 3	381,561	109,08	135,33	173,82

Hat No	SVS VAR			
	UI kV	P/MW	Q/Mvar	S/MVA
Hat 1	395,59	38,566	19,325	43,137
Hat 2	397,05	64,008	49,921	81,174
Hat 3	395,8521	111,87	95,405	147,02

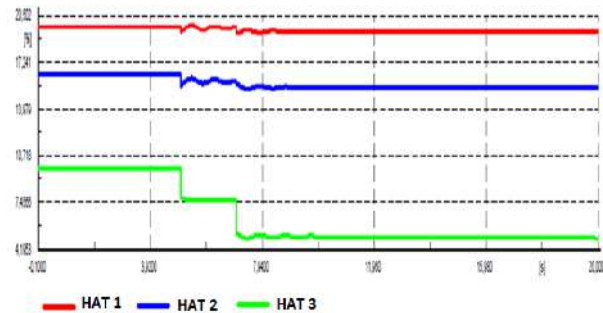


Şekil 4. Hat arızalarında kapasitör/reaktör kullanımında TM-1 voltajlarının yüklenme sınırları

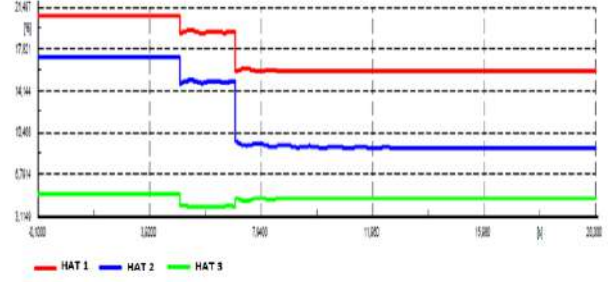


Şekil 5. Hat arızalarında FACTS denetleyicilerin kullanımında kritik TM-1 voltajlarının yüklenme sınırları

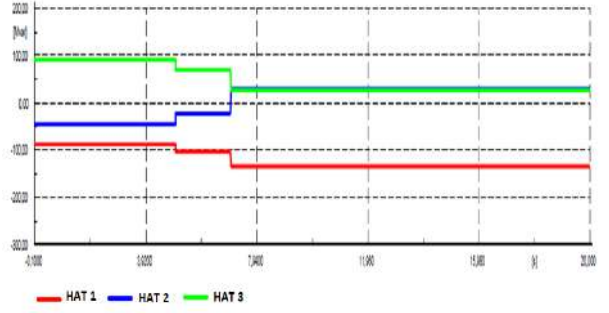
Simülasyon karşılaştırılması sonucu tespit edilen kritik noktalarında yapılan arızalar neticesinde sistem voltajı düşümlerine maruz kalır, bu noktalara FACTS cihazları, modellendiğinde reaktif gücün katkısı için incelenmiştir. Elektrik güç iletim sistemi voltaj problemi yaşayan en kritik bara, voltaj yüklü parametre eğrisini değerlendirmek için kritik baralara FACTS cihazlarına bağlanması sonucu (Şekil 4. & Şekil 5.).



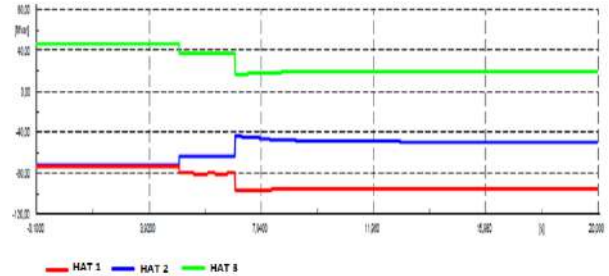
Şekil 6. Hat arızalarından sonra iletim hatları durumu (kapasitör/reaktör cihazlarının kullanımında)



Şekil 7. Hat arızalarından sonra iletim hatları durumu (FACTS cihazlarının kullanımında)



Şekil 8. Hat arızalarından sonra kritik TM-1 hattı reaktif gücünün (kapasitör/reaktör) yüklenme sınırları



Şekil 9. Hat arızalarından sonra kritik TM-1 hattı reaktif gücünün (gerçekler) yüklenme sınırları

Sistemdeki salınım voltajını ortadan kaldırmak için sistemde meydana gelen hata etkisinden sonra güç sisteminde meydana gelen voltaj çökmelerine karşı sistem stabilitesi sınırları üzerine çıkardığı, maksimum güç kapasitesini ve enerji iletimi artırmıştır. Hattın ve toplam sistem kaybının en aza indirildiği görülmüştür (Şekil 6. ve Şekil 7.). FACTS denetleyicileri Kritik TM bara yüklenme sınırını sistemdeki kararlı durum güç akışı analizinin incelenmesi için farklı yıkıcı etkiler, şebekedeki bir veya daha fazla, iletim hatlarında zayıflamanın da meydana geldiği bulunmuştur (Şekil 8. ve Şekil 9.).

4. Sonuçlar

FACTS denetleyicilerinin güç sistemi gerilim kararlılığına olan etkileri örnek olarak seçilen 10 bara sistem üzerinde incelenmiştir. Sürekli güç akışı analizi yöntemi kullanılarak FACTS aygıtların gerilim çökmeleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Hatların kararlılık indeksi değerleri ve yük baralarına ait voltaj kararlılık indeksi değerleri hesaplanmıştır. Bu index değerlerine göre güç sistemi FACTS aygıtların bağlantı

noktaları belirlenmiştir. FACTS aygıtları bağlandıktan sonra güç sistem simülasyon programı ile yük akışı çalışmaları yapılmıştır. Gerçekleştirilen çalışma ile elde edilen sonuçlara göre güç sisteminin kararlılık sınır değerlerini iyileştirmede aktif güç reaktif güç kayıplarını azaltmada FACTS cihazlarının önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür.

FACTS kontrolörlerinin tanımlanması, gelişimi ve sınıflandırılması ele alınarak elektrik enerji iletim sistemi için gerçekçi değerlerle modellenerek benzetim çalışması gerçekleştirilmiştir. Gerçekçi parametrelerle FACTS kontrolörlerini güç sistemi modelleme, analiz ve simülasyon programı kullanılarak, modellenmesi ve bu model için gerilim düşümü, anlık enerji üretimi gibi çeşitli durumlar için analizler gerçekleştirilmiştir. FACTS cihazlarının gerilim çökmesine karşı sistemin en yüksek yüklenebilirlik noktasını manuel sistemlere (mevcut durum) göre daha üst noktaya çıkartabildikleri görülmüştür.

Sistemin gerilim çökmesine uğradığı noktalar tespit edilip FACTS cihazlarının bu noktadaki etkinliğinin karşılaştırılması, yapılıp, Modellenen elektrik enerji iletim sisteminde gerilim sorunu yaşayan en kötü bara için gerilim-yüklenme parametresi eğrilerini değerlendirerek bu bara FACTS cihazlarının bağlandığında reaktif güce olan katkısının incelenmiştir. FACTS cihazları güç sisteminde oluşan gerilim çökmelerine karşı sistemin kararlılık sınırlarına etkileri incelenerek sistemde oluşan bozucu etkilerden sonra sistemde oluşan gerilim osilasyonlarının giderilmesine karşı etkisinin değerlendirilip, enerji iletim hattının maksimum taşıyabileceği güç kapasitesinin artırıldığı ve toplam sistem kayıplarının minimize edildiği görülmüştür.

Sistem güvenilirliği ve kararlılığını artırmak, hataların ve donanımsal bozuklukların etkilerini sınırlandırarak enerji kesilmelerini önlemek ve Türkiye enterkonnekte sisteminin gerilim ve güç kontrolünün kararlılığını artırarak daha verimli, kaliteli ve ekonomik bir şekilde elektrik enerjisi sürekliliğini sağlayabilmek için, benzetim çalışması yapılan elektrik enerji iletim sistemi için gerçekleştirilen modelleme ve simülasyon çalışması sonucunda elde edilecek olan sonuçların ışığında, Türkiye enterkonnekte sistemine FACTS cihazlarını entegre ederek gerilim kontrolü yapılması sayesinde güç sistemi üzerindeki kayıplar azaltılarak, elektrik enerjisinin güvenli, kontrollü ve en ekonomik şekilde iletilmesi sağlanarak ülke ekonomisine önemli ölçülerde katkılar sağlanabileceği düşünülmektedir. Pilot bölge olarak seçilen ulusal bir elektrik enerji iletim sistemini, FACTS teknolojisi kullanılarak gerçekçi değerlerle modelleyip fizibilite çalışmasını gerçekleştirerek, elde edilen sonuçlar ışığında Türkiye enterkonnekte sistemi için gerilim kontrolünün hassasiyetini artırarak üretim ve tüketim dengesini daha kararlı hale getirmek suretiyle teknik olarak enerji iletim maliyetinin düşürülmesine katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

5. Kaynaklar

- [1] Cigre Study committee 14 working Group 14.14, FACTS Tutorial Draft 1, 1993
- [2] S., Maram, "Hierarchical Fuzzy Control of the UPFC and SVC located in AEP's Inez Area", Master Thesis ,Dep. of Elec.and Comp. Engin. of the Virginia Polytechnic Institute and State University, 2003
- [3] A. M. Vural, "Flexible AC Transmission a Unified Power Flow Controller", Master Thesis ,Gaziantep Üniv., 2001
- [4] M. A. Abido, "Power System Stability Enhancement Using Facts Controllers: A Review",The Arabian Journal for Science and Engineering, Volume 34, Number 1B,153-172,2008
- [5] R. Natesan,G. Radman,"Effects of STATCOM, SSSC and UPFC on Voltage Stability",2004,Proc.of the Thirty Sixth Southeastern Symposium on System Theory Georgia Institute of Technology Atlanta, 546 – 550
- [6] M. A. Kamarposhti, M. Alinezhad, H. Lesani, N. Talebi, "Comparison of SVC, STATCOM, TCSC, and UPFC Controllers for Static Voltage Stability Evaluated by Continuation Power Flow Method", 2008 Elec. Power Con., 1-8.
- [7] Hingorani, N. G. Gyugyi, L. and El-Hawary, M. (2000). Understanding FACTS: concepts and technology of flexible AC transmission systems (Vol. 2). New York: IEEE press.
- [8] Hingorani, N. G. (1993). Flexible AC transmission. IEEE spectrum, 30(4), 40-45.
- [9] Mathur, R. M. and Varma, R. K. (2002). Thyristor-based FACTS controllers for electrical transmission systems. John Wiley & Sons.
- [10] Zhang, X. P. Rehtanz, C. and Pal, B. (2006). Congestion Management and Loss Optimization with FACTS. Flexible AC Transmission Systems: Modelling and Control, 239-258.
- [11] Kumar, A. and Priya, G. (2012, December). Power system stability enhancement using FACTS controllers. In Emerging Trends in Electrical Engineering and Energy Management (ICETEEEM), 2012 International Conference on (pp. 84-87). IEEE.
- [12] Gao, B. Morison, G. K. and Kundur, P. (1996). Towards the development of a systematic approach for voltage stability assessment of large-scale power systems. IEEE transactions on power systems, 11(3), 1314-1324.
- [13] Hasanovic A., 'Modeling and Control of The Unified Power Flow Controller (UPFC)', MA Thesis, West Virginia Uni [2000]
- [14] Mithulanathan, N., Sode -Yome, A., and Acharya, N., Application of FACTS Controllers in Thailand Power Systems, School of Environment, Resources and Development Asian Institute of Technology,Thailand [2005]
- [15] Fuerte-Esquivel, C. R. and Acha, E. (1997). A Newton-type algorithm for the control of power flow in electrical power networks. IEEE Transactions on Power Systems, 12(4), 1474-1480.
- [16] Acha, E. Fuerte-Esquivel, C. R. Ambriz-Perez, H. and Angeles-Camacho, C. (2004). FACTS: modelling and simulation in power networks. John Wiley & Sons.

- [17] Abido M. A. 2008. Power System Stability Enhancement Using Facts Controllers: A Review, *The Arabian Journal for Science and Engineering*, Volume 34, Number 1B, 153-172
- [18] Hasanovic A. 2000., Modeling and Control of The Unified Power Flow Controller (UPFC), *MA Thesis*, West Virginia Uni.
- [19] U. Arifoğlu, “Güç Sistemlerinin Bilgisayar Destekli Analizi”, Alfa Yayınları, İstanbul, 2002.
- [20] C.A. Canizares, T.F. Zeno, “Analysis of SVC and TCSC Controllers in Voltage Collapse”, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 14, No. 1, February 1999.
- [21] R. Kowalak, "Resonant Conditions in a Node with an SVC Compensator," *Acta Energetica*, vol. 3, no.28, July 2016, pp. 70-75.
- [22] Schauder, C. and Mehta, H. “Vector Analysis and Control of Advanced Static VAR Compensators”, *IEE Proceedings-C*, Vol. 140, No.4, 1993, pp.299–306.
- [23] S.M.Abd-Elazim, E.S.Ali, “Imperialist competitive algorithm for optimal STATCOM design in a multi machine power” *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* Vol. 76, March 2016, pp. 136-146.
- [24] Md. Nazrul Islam, Md. Arifur Kabil, and Yashiro Kazushige “Design and Simulation of STATCOM to Improve Power Quality” *International Journal of Innovation and Applied Studies* ISSN 2028-9324 Vol. 3, No.3, July 2013, pp. 871-878.