



ISSN:1306-3111

e-Journal of New World Sciences Academy  
2010, Volume: 5, Number: 2, Article Number: 1A0089

**ENGINEERING SCIENCES**

Received: September 2009

Accepted: March 2010

Series : 1A

ISSN : 1308-7231

© 2010 www.newwsa.com

**M. Kenan Döşoğlu**

**Ali Öztürk**

Düzce University

kenandosoglu@duzce.edu.tr

Düzce-Turkey

**RÜZGÂR SANTRALİNDE GERİLİM, REAKTİF GÜÇ VE AKTİF GÜÇ DEĞİŞİMLERİNİN  
TCSC VE SSSC İNCELENMESİ**

**ÖZET**

Bu çalışmada rüzgâr santrali ile beslenen bir güç sisteminde yük barasındaki gerilim, aktif güç ve reaktif güç kontrolünün yapılması amaçlanmıştır. Bu kontrol yöntemi Esnek AC İletim Sistemi (FACTS) elemanlarından Tristör Kontrollü Seri Kapasitör (TCSC) ve Statik Seri Senkron Kompansatör (SSSC) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sistemin modellenmesi Matlab/Simulink ortamında yapılmıştır. TCSC ve SSSC'nin devrede olduğu ve devrede olmadığı süre içerisinde yük barasındaki aktif güç, reaktif güç ve gerilim değerlerinde değişim grafikleri çizdirilerek yorumlanmıştır. Ayrıca TCSC ve SSSC'nin farklı yüklerdeki osilasyon sönümlenmeleri ve zaman cevapları da incelenerek tablolar halinde sunulmuştur. Elde edilen sonuçlarda test amaçlı olarak modellenen sistemde FACTS cihazlarının kullanılmasına bağlı olarak kararlılık yönünden iyi sonuçlar elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Rüzgâr Santrali, TCSC, SSSC, Aktif Güç Kontrolü, Reaktif Güç Kontrolü, Gerilim Kontrolü

**INVESTIGATION OF THE VOLTAGE, REACTIVE POWER AND ACTIVE POWER IN THE  
WIND FARM CHANGE BY TCSC AND SSSC**

**ABSTRACT**

In this study, voltage, active power and reactive power control on the load bus of the power system which is supplied by a wind farm is aimed. This control method was realized by using Thyristor Controller Series Capacitor (TCSC) and Static Series synchronous compensator (SSSC) from devices Flexible AC Transmission System (FACTS). The model on the system was done with matlab simulink. During the time with and without TCSC and SSSC, graphics showing voltage values of active power reactive power and voltage on the load bus were commented. Besides oscillation damping and time response on different loads of TCSC and SSSC were investigated and presented in tables. The system which was modeled as a testing system stability improvements were supplied due to the use of FACTS devices.

**Keywords:** Wind Farm, TCSC, SSSC, Active Power Controller, Reactive Power Controller, Voltage Controller

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda yenilebilir enerji kaynaklarından rüzgar santralleri dünya çapında çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Belirli bölgelerin rüzgâr santralleri tarafından beslenmesi ile güç sistemlerinin talep karşılama konusunda ortaya çıkabilecek problemleri azaltmış olurlar. Ancak Rüzgâr Santrallerinde beslenen tüketicilerin daha fazla güç talep etmesi bu bölgelerde bazı problemlerin ortaya çıkmasında kaçınılmaz bir durum teşkil eder. Talep edilen tüketici gücünü karşılamak için sisteme reaktif güç verebilen veya sistemden reaktif güç çeken elemanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun için kullanılan FACTS cihazları günümüzde yaygın olarak güç sistemlerinde kullanılmaktadır. Sabit hızlı rüzgâr santralinde şebekeye bağlı olduğunda gerçek zamanlı olarak kontrol gerçekleştirilmektedir. Güç sistemlerinde gerilim, reaktif güç karakteristiği STATCOM ile incelenmiştir. Ayrıca geçici kararlılık çalışmalarında terminal gerilim, rotor açısı ve hız yönünden iyileştirici sonuçlar bulunmuştur [1, 2 ve 3]. Çok generatörlü bir güç sistemine bağlı olan rüzgâr santralının rotor açısı, osilasyon sönümlemesi ve güç akışı kontrolü STATCOM ve SSSC ile incelenmiştir. Zorlanmalarda oluşabilecek kararsızlık durumlarında STATCOM ve SSSC'nin etkili olduğu görülmüştür [4]. Küçük güçlü sincap kafesli asenkron generatörden oluşan bir rüzgâr santralinde kayma-moment karakteristiği STATCOM ve SVC ile incelenmiştir [5]. Sabit hızlı rüzgâr santralinde şebekeye olarak çalışmasında akım ve gerilim limit kontrolü TCSC ve SSSC ile yapılmıştır [6 ve 7]. Rüzgâr santrallerinde FACTS cihazlarının kullanım alanlarından biriside harmonik analizidir. Rüzgâr santralinde Birleştirilmiş Güç Akışı kontrolü (UPFC) kullanımı ile harmonik eliminasyonu yapılmıştır[8]. Rüzgâr santrallerinde Statik Senkron Kompansatör (STATCOM) ve Statik Var Kompansatör'ün (SVC) kullanılması ile statik ve dinamik yüklerde yük barasındaki gerilim ve reaktif güç kontrolü kontrolü yapılmıştır. Yük barasındaki zaman cevapları ve osilasyon sönümleme aralıkları incelenmiştir [9].

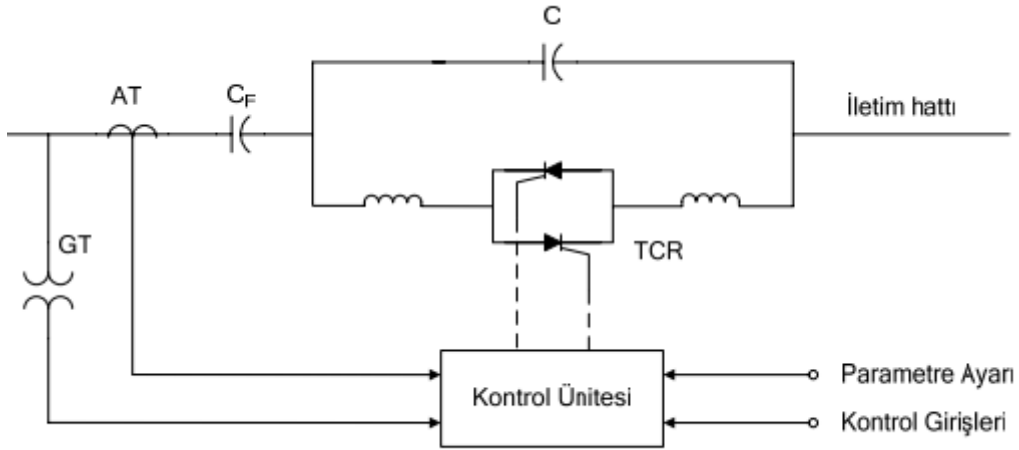
## 2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgâr santrallerinde büyük güçlü üretim yapılmasında talep edilen yük ihtiyacının düzenli bir şekilde karşılanması çok önemlidir. Yük barasında oluşabilecek salınımların ve güç ile gerilim kararsızlıklarının en kısa süre içerisinde ortadan kaldırılması gerekmektedir. Bunun için büyük güçlü rüzgâr santrallerinde FACTS cihazlarının kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada bir güç sisteminde bulunan rüzgâr santralinin sistemdeki kontrolü sağlamak amacıyla FACTS cihazlarında TCSC ve SSSC'nin yük barasındaki aktif güç, reaktif güç ve gerilim kontrolü yapılmaktadır. 3 baralı bu sistemde TCSC ve SSSC'ün devrede olduğu sürede yük barasındaki değişimlerin grafikleri çizdirilmiş olup farklı yük değerlerinde sonuçları tablolar halinde verilmiştir.

## 3. TCSC ve SSSC

### 3.1. TCSC (Thyristor Controller Series Capacitor)

TCSC Tristör Kontrollü Reaktör (TCR) ve Tristör Anahtarlamalı Kapasitör (TSC) den oluşmaktadır. İletim hattına seri olarak bağlanarak sistemde aktif güç reaktif güç ve gerilim kontrolünü sağlamaktadır. TCSC'ün devre modeli Şekil 1'de gösterilmiştir[10].



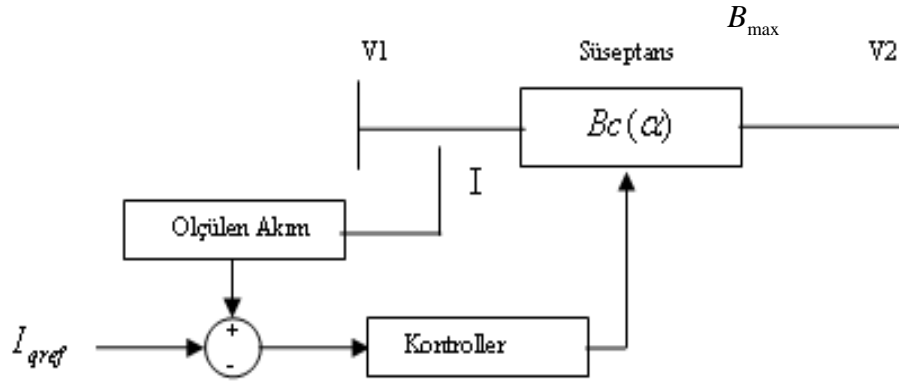
Şekil 1. TCSC devre modeli  
(Figure 1. TCSC circuit modeling)

TCSC de gerilim ve güç kontrolleri eşdeğer reaktansı ve kapasitörün değerlerine bağlı olarak elde edilir. Eşdeğer reaktans,

$$X_v = \frac{X_c X_l}{X_c [2(\pi - \alpha) + \sin 2\alpha] / \pi - X_l} \quad (1)$$

formülü ile bulunur.

$X_v$  eşdeğer durumunda oluşan rezonansa karşılık gelen rezonans tetikleme açısı  $r_x = X_c / X_l$  oranına göre değişir. Rezonans tetikleme açısı sisteme verilecek olan ya da sistemden çekilecek olan reaktif akımına bağlı olarak değişir[11]. TCSC'ün kontrolü Şekil 2.de gösterilmektedir[12].



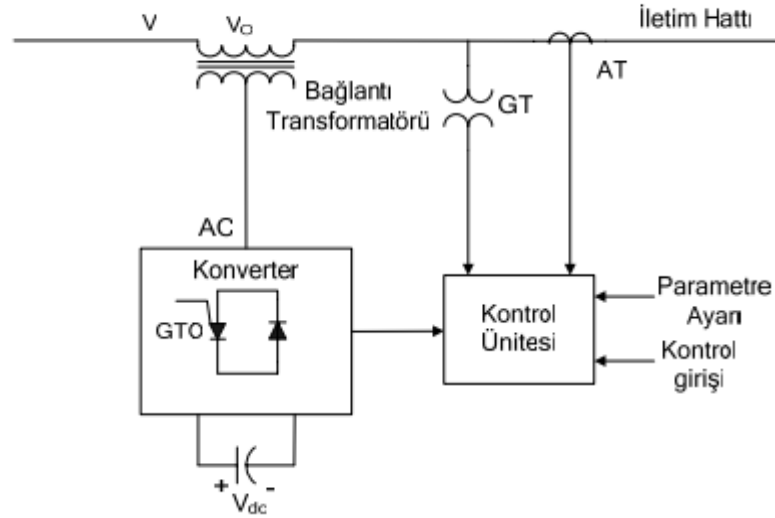
Şekil 2. TCSC kontrol modeli  
(Figure 2. Control model TCSC)

Ölçülen akım ve gerilim değerleri referans değeri ile karşılaştırılarak faz kilitleme döngüsündeki senkronizmaya bağlı olarak tristörlerin tetikleme açıları belirlenir. Bu tetikleme açıları sayesinde sistemin süseptans ihtiyacı karşılanır.

### 3.2. SSSC (Static Series Synchronous Compensator)

SSSC iletim hattına seri olarak bağlanan invertör tabanlı bir FACTS cihazıdır. SSSC devrede genel olarak aktif güç, reaktif güç ve

gerilim kontrol etmek amaçlı olarak kullanılır. SSSC'nin devre şeması Şekil 3'de gösterilmektedir[10].

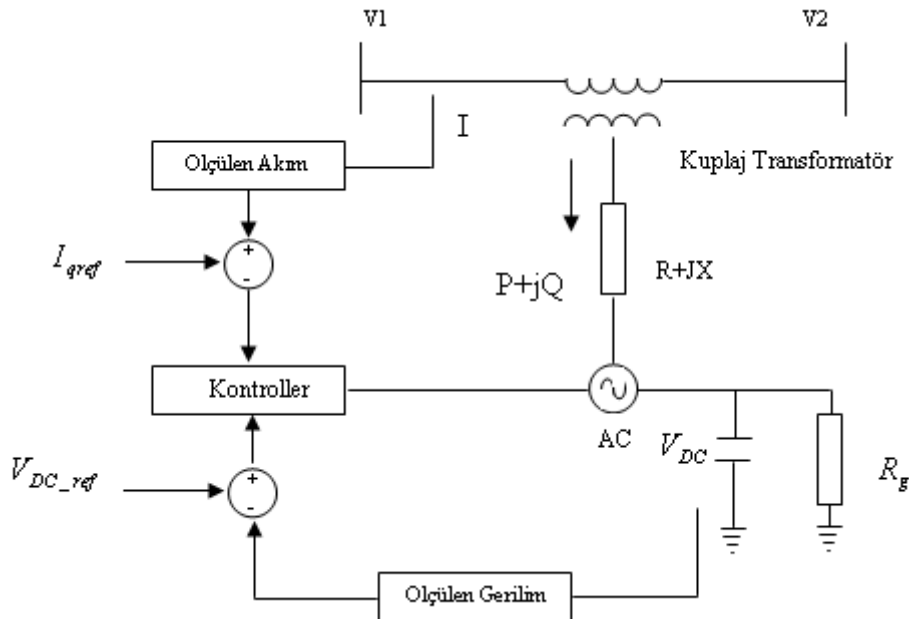


Şekil 3. SSSC devre modeli  
(Figure 3. SSSC circuit modeling)

SSSC'nin hatta bağlı olduğunda endüktif ve kapasitif olarak çalışma modları bulunmaktadır. SSSC'nin kapasitif çalışma modunda endüktif hat empedansı gerilime bağlı olarak hat akımı ve aktarılan güç ile artmakta, Endüktif çalışma modunda ise hat akımı ve aktarılan güç azalmaktadır. Kapasitif ve endüktif çalışma durumları hat gerilimi ile SSSC'nin çıkış gerilimi arasındaki ilişkiye bağlı olarak belirlenir. SSSC'nin çıkış gerilim ifadesi,

$$V_c = -jXI \quad (2)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada k seri kompanzasyon derecesi, X hat reaktansı ve I hat akımıdır [11]. SSSC'nin kontrol modeli Şekil 4'de gösterilmektedir [12].

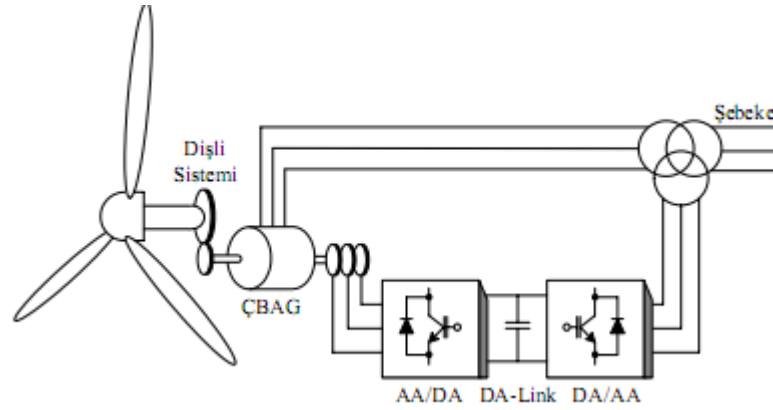


Şekil 4. SSSC kontrol modeli  
(Figure 4. Control model SSSC)

İki kontrol metodunun birleşimine göre SSSC hattı kontrol edebilmektedir. Öncelikli olarak kapasitör geriliminin değeri ile referans gerilim değeri arasındaki hata miktarı kontrollere girmektedir. Aynı şekilde hattan ölçülen akım değeri de referans akımı ile karşılaştırılarak iki değer arasındaki fark kontroller devresine girmektedir. Kapasitör geriliminin ve akımının değerlerine bağlı olarak SSSC sistemin kontrolünü sağlamaktadır.

#### 4. RÜZGÂR TÜRBİNİ (WIND FARM)

Bu çalışmada rüzgâr türbininde Çift beslemeli asenkron generatör kullanılmıştır. Çift beslemeli asenkron generatörün devre modeli Şekil 5'de gösterilmiştir [13].

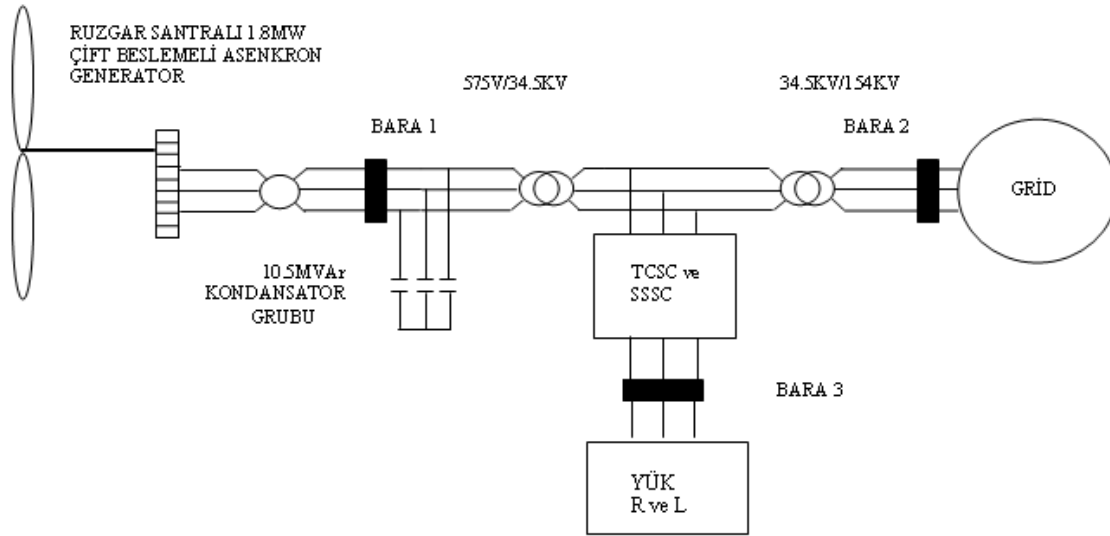


Şekil 5. Çift beslemeli asenkron generatör  
(Figure 5. Double Feed Induction Generator)

Çift beslemeli asenkron generatörde rotor sargıları gerilim kaynaklı converter'e bağlı iken stator sargıları direkt olarak şebekeye bağlı olarak çalışmaktadır. Rotor devresinden elde edilen akım değişken genlik ve frekansta olması için stator terminal geriliminin sabit olması gerekmektedir. Çift beslemeli asenkron generatörün bağlandığı sistemde arka arkaya bağlı olan 2 tane converter bulunmaktadır. Rotor tarafında bulunan converter asenkron generatörün aktif ve reaktif güç sağlamaktadır. Şebeke tarafında bulunan converter ise arka arkaya bağlı bulunan kapasitörün gerilimini sabit tutmaktadır [14].

#### 5. PROBLEMİN TANIMLANMASI (DEFINING OF PROBLEM)

Bu çalışmada rüzgâr santralının bağlı olduğu bir güç şebekesinden beslenen yük barasının gerilim kontrolü, reaktif güç ve aktif güç kontrolü yapılmaktadır. Benzetim çalışması yapılacak olan sistem modeli Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Simülasyonu yapılacak olan sistem  
(Figure 6. the system that will be simulated)

Talep edilen gücün zaman içerisinde artması veya azalması, sistemin kararsız çalışmasına sebep olur. Sınırlar aşıldığında gerilim kararsızlığı durumu ortaya çıkar. Bu olumsuz durum belli bir değere bağlı olarak rüzgâr türbini içerisinde bulunan generator sayesinde uyarım kontrolü yapılır. Uyarımın yetersiz kalması durumunda kararsızlığını ortadan kaldırmak için sisteme reaktif güç veren veya sistemden reaktif güç çeken elemanların bulunması gerekmektedir. Sisteme alınması gereken reaktif veya kapasitif elemanların devreye girip çıkma süresi yeterince hızlı olmalıdır.

Reaktif güç ile gerilimin kontrolünde gelişmiş kontrol ünitesine sahip güç elektroniği elemanlarının oluşturduğu sistemler kullanılmaktadır. FACTS elemanlarından olan TCSC ve SSSC elemanları güç sisteminde yük barasına seri olarak bağlanırlar ve oluşabilecek kararsızlık problemlerini ortadan kaldırırlar. SSSC TCSC'ün daha gelişmiş hali olduğu için, darbe sayısına bağlı olarak bozulum salınımlarını filtre kullanmaya gerek kalmadan yok edebilir. Rüzgâr santrali aktif güç üretimini yaparken, ihtiyaç duyduğu reaktif gücü bağlı olduğu şebekeden çeker. Reaktif güç gereksinimi yetersiz kaldığı durumlarda sisteme ilaveten kapasitör grupları eklenebilir.

### 5.1. Problemin Çözümü (Solution of Problem)

Bu çalışmada rüzgâr santralinin bağlı olduğu bir güç şebekesinden beslenen yük barasının gerilimin, reaktif gücün ve reaktif gücün kontrolü Matlab/Simulink ortamında yapılmıştır. Simülasyon çalışmasında yük barasına paralel olarak 9MW'lık rüzgâr santrali ve seri olarak da 10MVARlık TCSC ve SSSC kullanılmıştır. Rüzgâr santrali 154 KV'luk şebekeye paralel olarak bağlanmıştır. Rüzgâr santralinin iç yapısında çift beslemeli asenkron generator kullanılmıştır. Şebeke tarafında 154KV'u 34,5 KV'a düşüren bir transformatör, rüzgâr santralinin olduğu kısımda 575V'u 34.5KV'a çıkaran bir transformatör kullanılmıştır. Sistemde 3 tane bara kullanılmıştır. Bir numaralı bara rüzgâr santraline, iki numaralı bara şebekeye bağlı olarak kullanılmıştır. Üç numaralı bara ise şebeke ve rüzgâr santralinin beslediği yük barası olarak ele alınmıştır. Sistemdeki üç numaralı yük barasındaki gerilim reaktif güç VE aktif güç kontrolleri TCSC ve SSSC'nin iç ünitesinde bulunan PI kontrol ile yapılmış olup, gerilim reaktif güç ve aktif gücün referans değerinde

tutulması sağlanmıştır. Sistemin TCSC ile SSSC devrede olduğu andaki kontrolü sağlanmıştır. Yapılan bu çalışmada gerilim referans değeri olarak 1.0 p.u ve reaktif güç referans değeri olarak 0.0 p.u belirlenmiştir.

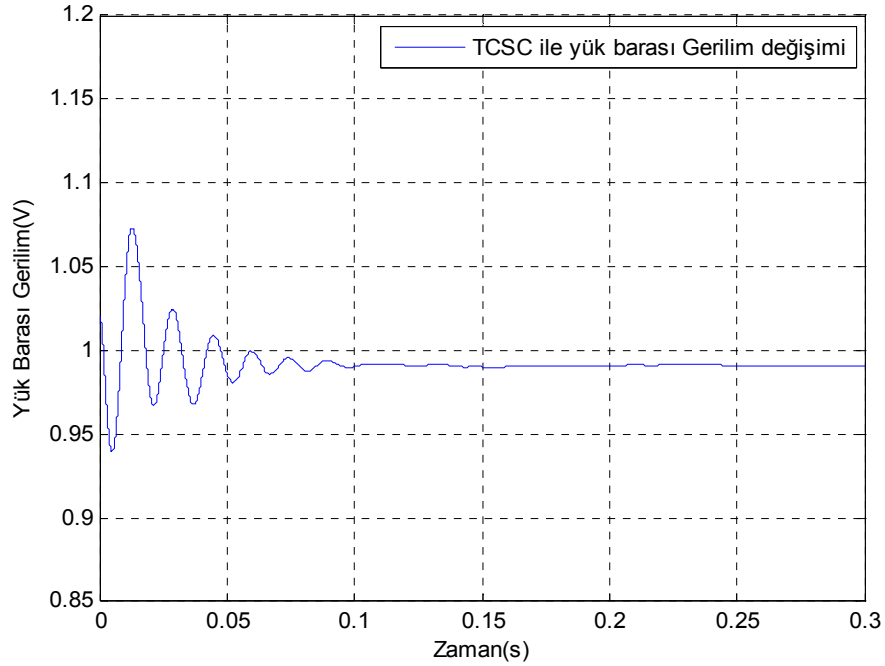
## 6. SİMULASYON SONUÇLAR (RESULTS OF SIMULATION)

şekil 7'da verilen g sisteminin Matlab ile simülasyonu için, yk barasına bağlı olan yük değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

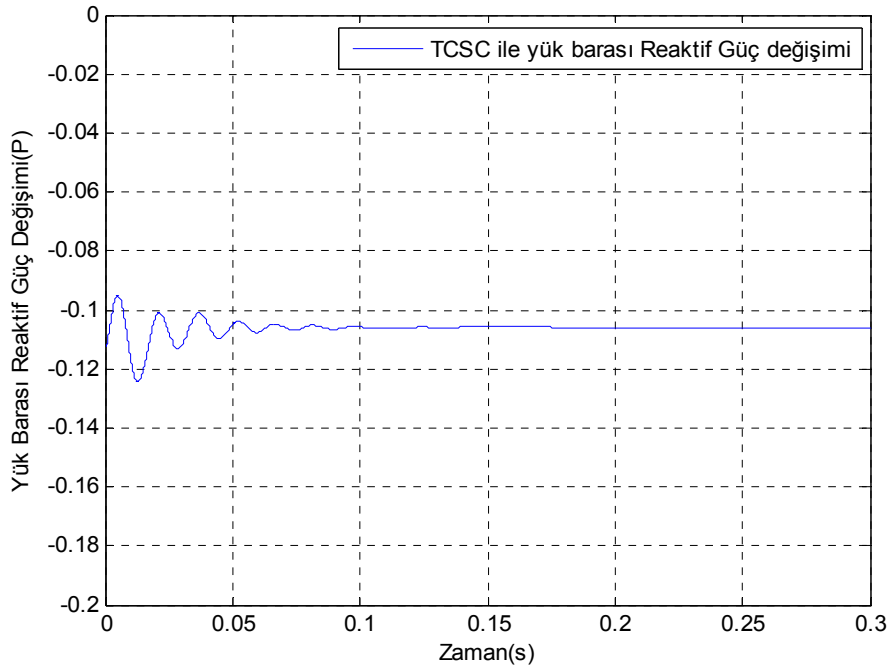
Tablo 1. Aktif ve reaktif yükler  
(Table 1. Active and reactive loads)

Yük sırası	P(Aktif Yük)	Q(Reaktif Yük)
1	4MW	2MVAr
2	5MW	1.5 MVAr
3	3MW	2.1 MVAr

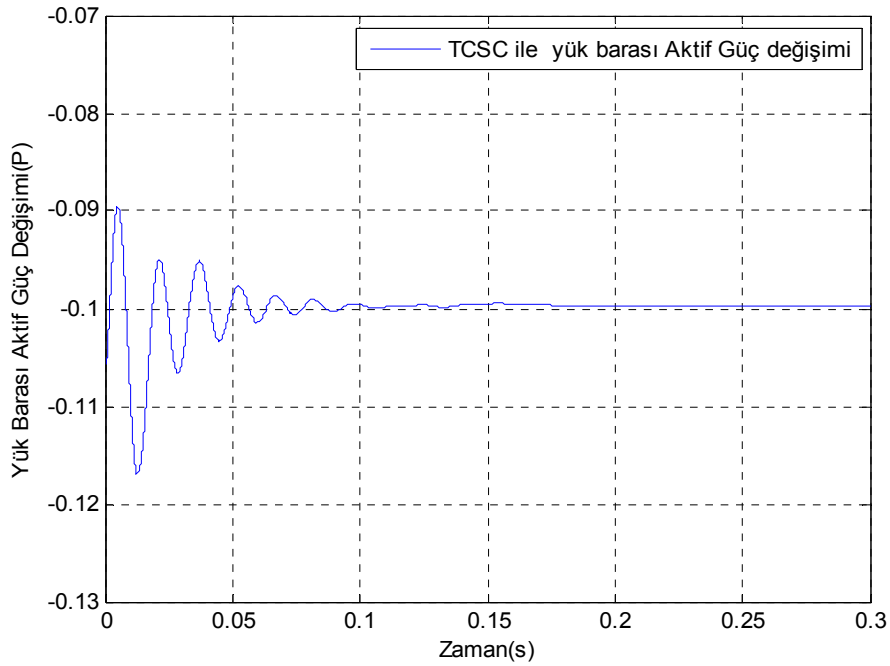
Yük barasına, 4MW 2MVAr statik bir yük ile TCSC'n bağlı olduğu durumda, gerilim, reaktif güç ve aktif güç kontrolü simülasyon sonucu şekil 7. şekil 8. ve şekil 9.'da gösterilmiştir.



şekil 7. TCSC'n gerilim kontrolü  
(Figure 7. Voltage control of TCSC)



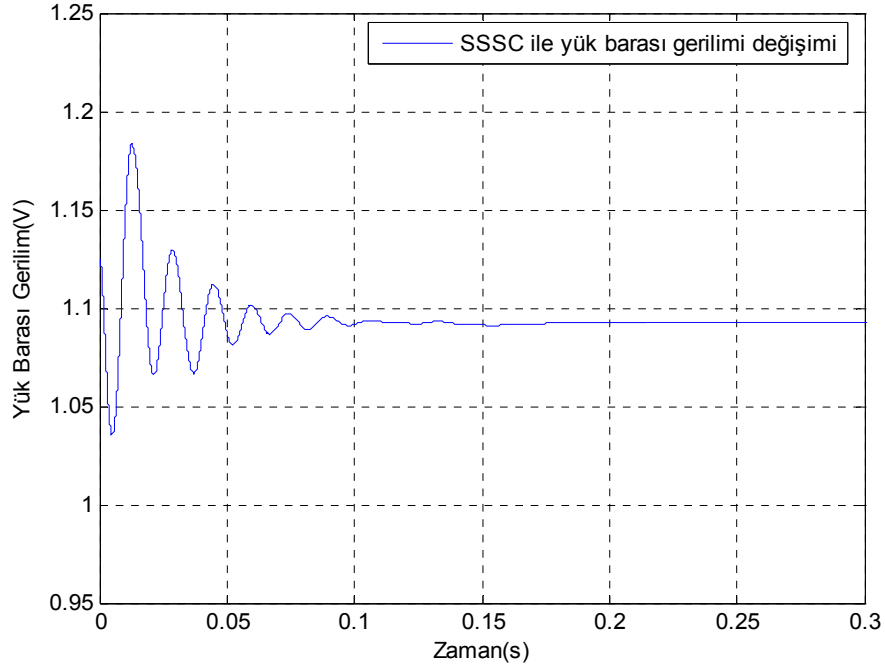
Şekil 8. TCSC'ün reaktif güç kontrolü  
(Figure 8. Reactive power control of TCSC)



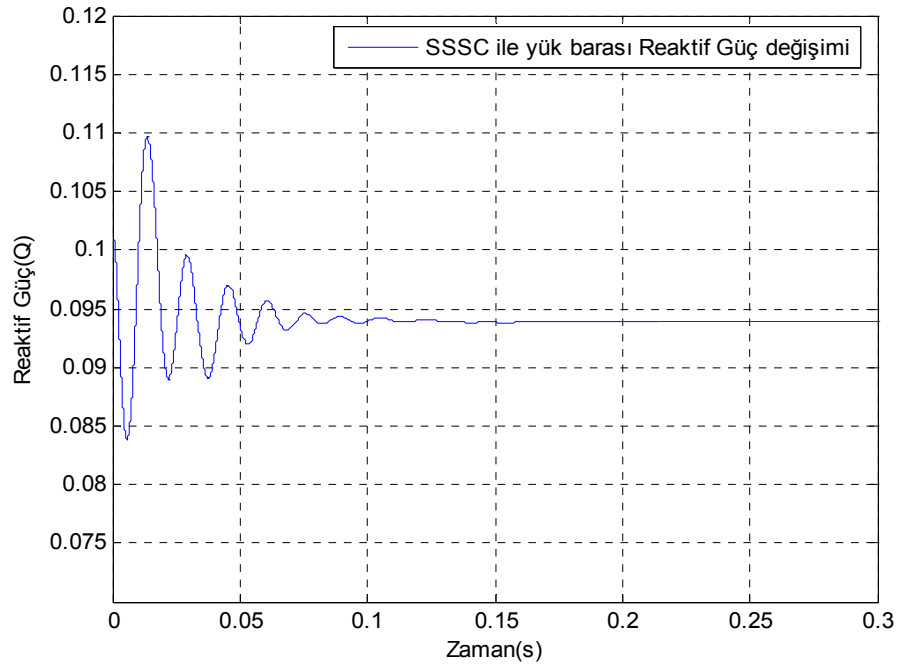
Şekil 9. TCSC'ün aktif güç kontrolü  
(Figure 9. Active power control of TCSC)

Yük barasına, 4MW 2MVar statik bir yük ile SSSC bağlı olduğu durumda, gerilim, reaktif güç ve aktif güç kontrolü simülasyonu sonucu Şekil 10, 11 ve 12'de gösterilmiştir.

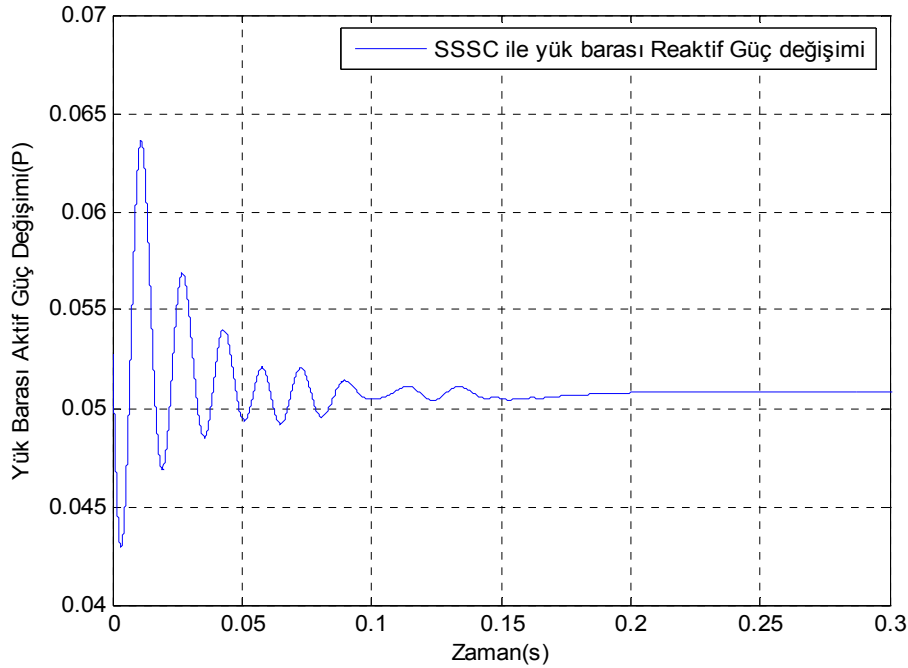




şekil 10. SSSC'nin gerilim kontrolü  
(Figure 10. Voltage control of SSSC)



şekil 11. SSSC'nin reaktif güç kontrolü  
(Figure 11. Reactive power control of SSSC)



Şekil 12. SSSC'nin aktif güç kontrolü  
(Figure 12. Active power control of SSSC)

4MW ve 2MVAR yük değerlerinde yük barasındaki gerilim, reaktif güç ve aktif güç kontrolleri sonuçları Tablo 2'de belirtilmiştir.

Tablo 2. Gerilim, aktif güç ve reaktif güç değerleri (4MW-2MVAR)  
(Table 2. Voltage, active power and reactive power values (4MW-2MVAR))

Kompansatör tipi	Völç (p.u)	Pölç (p.u)	Qölç (p.u)	Zaman Cevabı (sn)	Osilasyon sönümlenme aralığı (V)	Osilasyon sönümlenme aralığı (P)	Osilasyon sönümlenme aralığı (Q)
TCSC	1.002	0.003	-0.003	0.12sn	[1.17,0.81]p.u	[0.021,-0.011]p.u	[0.011,-0.015]p.u
SSSC	0.98	-0.01	-0.009	0.17sn	[1.4-0.7]p.u	[0.011-0.095]p.u	[-0.021-0.0195]p.u

Yük değeri 5MW aktif yük ve 1.5MVAR reaktif yük olduğunda gerilim, reaktif güç, aktif güç ve osilasyon sönümlenme aralığı p.u değerleri ile zaman cevapları Tablo 3'de gösterilmiştir.

Tablo 3. Gerilim, aktif güç ve reaktif güç değerleri (5MW-1.5MVAR)  
(Table 3. Voltage, active power and reactive power values (5MW-1.5MVAR))

Kompansatör tipi	Völç (p.u)	Pölç (p.u)	Qölç (p.u)	Zaman Cevabı (sn)	Osilasyon sönümlenme aralığı (V)	Osilasyon sönümlenme aralığı (P)	Osilasyon sönümlenme aralığı (Q)
TCSC Statik	1.003	0.003	-0.001	0.12sn	[1.16,0.81]p.u	[0.021,-0.005]p.u	[0.012,-0.015]p.u
SSSC Statik	0.99	0.03	0.009	0.17sn	[1.4-0.7]p.u	[0.012-0.095]p.u	[-0.021-0.0195]p.u

Yük değeri 3MW aktif yük ve 2.1MVAR reaktif yük olduğunda gerilim, reaktif güç, aktif güç ve osilasyon sönümlenme aralığı p.u değerleri ile zaman cevapları Tablo 4'de gösterilmiştir.

Tablo 4. Gerilim, aktif güç ve reaktif güç değerleri(3MW-2.1MVar)  
(Table 4. Voltage, active power and reactive power values(3MW-  
2.1MVar))

Kompansatör tipi	Völç (p.u)	Pölç (p.u)	Qölç (p.u)	Zaman Cevabı (sn)	Osilasyon sönümleme aralığı (V)	Osilasyon sönümleme aralığı (P)	Osilasyon sönümleme aralığı (Q)
TCSC Statik	1.002	0.003	- 0.003	0.12sn	[1.17,0.81]p.u	[0.021,- 0.011]p.u	[0.011,- 0.015]p.u
SSSC Statik	0.99	0.04	- 0.009	0.17sn	[1.71-0.44]p.u	[0.012- 0.095]p.u	[-0.021- 0.0195]p.u

## 7. SONUÇ (CONCLUSION)

Rüzgâr santralının şebekeye bağlanması ile yük barasındaki gerilim değeri azalmaktadır. Aynı zamanda bara gerilimi, bara aktif güç ve reaktif gücünden salınımlar oluşmaktadır. Sistemde TCSC ve SSSC kullanılması ile yük barasında oluşan salınım durumu ortadan kaldırılmış olur. Zaman cevabı açısından TCSC'ün SSSC göre daha kısa sürede kararlı hale geldiği bu simülasyon çalışmasında görülmüştür. Gerilim için 1 p.u olarak kabul edilen referans değerine ve aktif güç ve reaktif güç için 0 p.u değerine hem TCSC hem de SSSC'nin yakın değerler aldığı görülmüştür. Osilasyon yönünden sistemin TCSC ve SSSC sayesinde kısa sürede sönümlendiği bulunmuştur.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Qi, L., Langston, J., Steurer, M., and Senior, (2008). "Applying a STATCOM for Stability Improvement to an Existing Wind Farm with Fixed-Speed Induction Generators", IEEE Power and Energy Society General Meeting, pp.1-6.
2. Paulo Fischer de Toledo and Hailian Xie, Wind Farm in Weak Grid Compensated with STATCOM, Inst.of Energy Tech., Aalborg University.
3. Qiao, W., Venayagamoorthy, G.K., and Harley, R., (2006). "Real Time Implementation of a STATCOM on a Wind Farm Equipped with Doubly Fed Induction Generators", IEEE Ind .Application Conference, vol 2, pp.1073-1080.
4. Wei, Q., Harley, R.G., and Venayagamoorthy, G.K., (2006). "Effect of FACTS Devices on a Power Systems Includes a Large Wind Farm", Power System Conference and Exposition, pp.2070-2076.
5. Suul, J.A. and Undeland, T., (2008). Low Voltage Ride through of Wind Farm with Cage Generators: STATCOM versus SVC, IEEE Transactions on, volume 23, pp. 1104-1117.
6. Joshi, N.N., Mohan, N., (2006). "Application of TCSC in Wind Farm Application", Speedam Internation Conference, pp.1196-1200.
7. Al Jowder F., "Application of Static Synchronous Series Compensator to Wind Farm", Internation Power Engineering Conference (IPEC), pp.544-549, 2007.
8. Papantoniou, A. and Coonick, A., (1997). "Simulation of FACTS for Wind Farm Applications", Power Electronics and Renewable Energy Conference, pp.1-8.
9. Öztürk, A. and Döşoğlu K., (2009). "Investigation of the Control Voltage and Reactive Power in Wind Farm Load Bus by STATCOM and SVC", ELECO, vol 1, pp.60-64.
10. Ertay, M.M., (2006). "Enerji İletim Sistemlerinin UPFC ile Kontrolü", Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi.
11. Canizares, C.A, Carsi, S., and Pazzi, M., (1999). "Modeling and Implementation of TCR and SVI based FACTS Controllers", University of Waterpoo, pp.1-32.

12. Kamarposhi, M.A., Alinezhad, M., Lesani, H., and Talebi, N., (2008). "Comparison of SVC, STATCOM, TCSC and UPFC Controller for static Voltage Stability Evaluated by Continuation Power Flow Method", IEEE Electrical Power Conference, pp.1-8.
13. Uyar, M., Genceoğlu, M.T. ve Yıldırım, S., (2005). "Değişken Hızlı Rüzgar Türbinleri için Generatör Sistemleri", YEKSEM III.Yenilenebilir Enerji Sempozyumu, Mersin, 173-178.
14. Erlich, I., Wilch, M., and Feltes, C., (2007). "Reactive power generation by DFIG based wind farms with AC grid connection", Power Electronics and Applications European Conference, pp.1-10.