

Investigation of Static Voltage Stability Effects of Tap Changer Transformer in Power Systems

Güç Sistemlerinde Kademe Değiştirici Transformatörlerin Statik Gerilim Kararlılığındaki Etkilerinin İncelenmesi

M.K. Döşoğlu¹, S. Tosun¹, A. Öztürk¹, B. Saraçoğlu and G. Poyraz²

¹ Duzce University, Duzce/Turkey, kenandosoglu@duzce.edu.tr, salihtosun@duzce.edu.tr, aliozturk@duzce.edu.tr, bilalsaracoglu@duzce.edu.tr

²Bilecik Şeyh Edebali University, Bilecik/Turkey, gokhan.poyraz@bilecik.edu.tr

Abstract— In this study, it is emphasized that the effects of the static voltage stability that have been consisted by tap changer. The voltage-maximum loading parameters values of 3 transformers used in IEEE 14 bus system in different scenarios has been gained. In this simulation study, Power System Analysis Toolbox (PSAT) has been used. The bus voltage profile has been investigated by doing continuous power flow that is connected to the changed in value of transformer while one of the transformers between 4-7, 4-9 and 5-6 buses is stable. As a result of the study, it has been observed that static voltage stability on the tap changer of the transformers between buses at 5-6 is very effective compared to the tap changer of the other transformers.

Keywords— Tap changer transformer, static voltage stability, voltage loading parameter, maximum loading parameter, continuous power flow

Özet— Yapılan bu çalışmada, kademe değiştirici transformatörlerin statik gerilim kararlılığı üzerinde oluşturmuş oldukları etkiler üzerinde durulmuştur. IEEE 14 baralı güç sisteminde kullanılan 3 adet transformatörün kademe değişimlerinin farklı senaryolarda gerilim-maksimum yüklenme parametre değerleri elde edilmiştir. Bu benzetim çalışmasında Güç Sistemleri Analizi Programı (PSAT) kullanılmıştır. 4-7, 4-9 ve 5-6 numaralı baralar arasındaki transformatörlerin biri sabit kalacak şekilde diğer transformatör değerindeki değişime bağlı olarak sürekli yük akışı yapılarak bara gerilimleri profilleri incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda 5-6 numaralı baralar arasında bulunan transformatörde kademe değişimindeki yükselmede statik gerilim kararlılığının diğer transformatörlerdeki kademe değişimlerine nazaran daha çok etkili olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler— Kademe değiştirici transformatör, statik gerilim kararlılığı, gerilim yüklenme parametresi, maksimum yüklenme parametresi, gerilim profili

I. GİRİŞ

Güç sistemlerinde yük değerlerindeki artmalar veya azalmalar, generator çıkış güçlerindeki değişimler ve güç akışı sonucunda iletim hattı kayıplarının artması problemlerin oluşumunu teşkil etmektedir. Karmaşık güç sistemlerine bu problemlerin ortaya çıkması genel olarak gerilim kararsızlığı olarak adlandırılmaktadır [1]. Literatürde gerilim kararlılığı ile yapılan çalışmalar incelenirse; Güç sistemlerinde statik, ve dinamik yük modellerinin gerilim kararlılığı üzerinde oluşturmuş oldukları etkiler üzerinde durulmuştur. Bu yük modellerinin maksimum yüklenme ve gerilim arasındaki ilişkiler incelenmiştir [2-4]. Güç sistemlerinde sürekli durum çalışmada gerilim kararlılığı özdeğer analizi ile gerçekleştirilmiştir. Özdeğer analizinde jacobien matrisin indirgeme metodu ile geliştirilmiştir [5]. Statik gerilim kararlılığının tekil noktadaki bozulmalarda önemli bir etki oluşturduğu görülmüştür. Geri beslemeli bir kontrol devresi ile tekil noktadaki bozulmaları ortadan kaldırıldığı yapılan çalışma sonucunda görülmüştür [6]. Sürekli durum analizinde dinamik davranışlara karşı maksimum yüklenme parametresini gerilim-reaktif güç ilişkisini önemli bir unsur olmuştur [7-8]. Statik gerilim kararlılığında maksimum yüklenebilirlik noktasının arttırmasında güç elektroniği tabanlı Esnek AC İletim Sistemi (FACTS) cihazları kullanılmaktadır. Baraya paralel bağlı olan FACTS bağlı oldukları barada reaktif güç alış-verişi sağlarken, İletim hattına seri olarak bağlanan FACTS akım ve empedansa bağlı olarak iletim hattını kontrol etmektedir [9-14].

Bu çalışmada statik gerilim kararlılığı üzerinde etkili olabilecek bir konu olan kademe değiştirici transformatörler üzerinde durulmuştur. IEEE 14 baralı güç sisteminde yapılan bu çalışmada kademe değiştirici transformatörlerin her yalnızca bir tanesinin değeri değişecek iken, diğer kademe değiştirici transformatörlerin değerleri sabit kalacak şekilde gerilim-maksimum yüklenme parametresi arasındaki ilişki incelenmiştir. Statik gerilim kararlılığı analizi newton-raphson programı ile sürekli yük akışı yapılarak incelenmiştir.

II. STATİK GERİLİM KARARLILIĞI

Statik gerilim kararlılığı doğrudan reaktif güç değişimine bağlı olarak değer almaktadır. Reaktif güç desteğinin sağlanması ile yük barasının yüklenebilir limitinin genişlemesi ve güç sisteminin çalışma koşulları iyileştirilmiştir. Eğer reaktif güç desteği belirlenen sınırların altında kaldığında ve gerilim düşümü azalmaya başladığında sistem çökmeye gider. Bunun engellemek için reaktif güç bağlı olarak gerilim dengelemesi statik gerilim kararlılığı için önemli bir durum oluşturmaktadır. Sistemin gerilim- maksimum yüklenme parametresi (V, λ) ile baranın aktif güç ve reaktif güç değeri arasındaki ilişki,

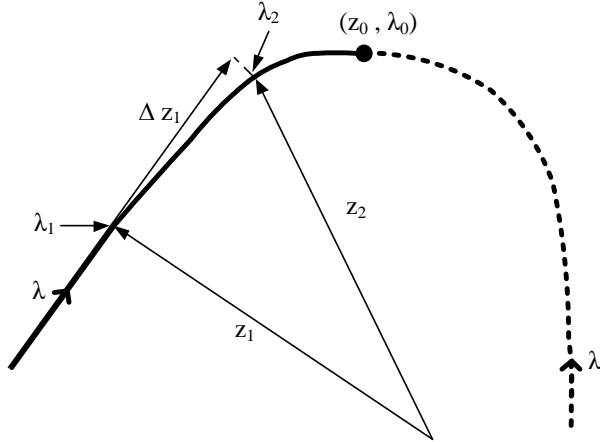
$$P_L = P_{L0}(1 + \lambda) \quad (1)$$

$$Q_L = Q_{L0}(1 + \lambda) \quad (2)$$

Şeklinde ifade edilmektedir. P_{L0} ve Q_{L0} başlangıç aktif güç ve reaktif güç değerleri, P_L ve Q_L yükün aktif güç ve reaktif güç değerleri, λ ise maksimum yüklenme parametre değeridir [15].

III. SÜREKLİ YÜK AKIŞI

Gerilim ve maksimum yüklenme parametresi arasındaki çözümlemede sürekli yük akışı analizinden yararlanılmaktadır. Sürekli yük akışı güç akışı analizinde belli sistem modellerinin desteklenmesi olmaksızın belirli zorluklara karşı çözümlemede çok üstündür. Ayrıca sistem eşitliklerindeki tekil çözümleme durumunun oluşturacağı olumsuz durumlara karşı gerilim otomatik olarak değiştirme özelliğine sahiptir. Sürekli yük akışındaki strateji kullanımı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1: Sürekli yük akışı metodu

Burada, (z_1, λ_1) denge noktaları olarak bilinen durumdur, $\Delta\lambda_1$ sistem parametre değerinin değişmesi ve Δz_1 vektör çözümlemesinde kullanılmaktadır. İlk adımda tahmin etme işlemi yapılmaktadır. Başlangıç olarak $z_1 + \Delta z_1, \lambda_1 + \Delta\lambda_1$ değerleri üretilmektedir. Bu üretilen değerler sistem profilindeki $z_2 + \Delta z_2$ yeni denge noktalarını düzenlemek için kullanılır [10].

IV. KADEME DEĞİŞTİRİCİ TRANSFORMATÖRLER

Primer tarafı sabit kalacak şekilde ayarlanıp, sekonder kısmı kademeli olarak istenilen gerilim değerine ulaşılmasını sağlayan transformatörlerdir. Bu transformatörün güç aktarımındaki eşitlikleri aşağıda verilmiştir.

$$P_k = V_k^2(g_{km} + g_{k0}) - V_k V_m(g_{km} \cos \theta_{km} + b_{km} \sin \theta_{km}) \quad (3)$$

$$Q_k = -V_k^2(b_{km} + b_{k0}) - V_k V_m(g_{km} \sin \theta_{km} + b_{km} \cos \theta_{km}) \quad (4)$$

$$P_m = V_k^2(g_{km} + g_{m0}) - V_k V_m(g_{km} \cos \theta_{km} - b_{km} \sin \theta_{km}) \quad (5)$$

$$Q_k = -V_k^2(b_{km} + b_{m0}) - V_k V_m(g_{km} \sin \theta_{km} + b_{km} \cos \theta_{km}) \quad (6)$$

Burada, $\theta_{km} = \theta_k - \theta_m$ ve g_{km}, b_{km}, b_{k0} ve g_{k0} fonksiyonlarının m kademe değiştirici oranı ile olan ilişkisi denklem 7 ile denklem 9 arasında gösterilmiştir.

$$g_{km} + jb_{km} = m/z \quad (7)$$

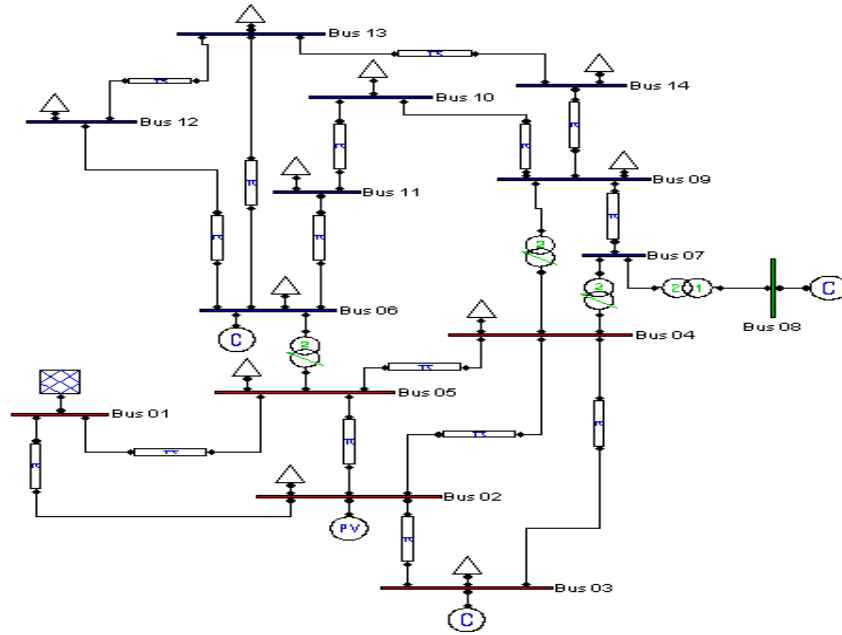
$$g_{k0} + jb_{k0} = (1-m)/z \quad (8)$$

$$g_{m0} + jb_{m0} = m(m-1)/z \quad (9)$$

burada $z = r + jx$ olarak alınmıştır[17].

V. BENZETİM ÇALIŞMASI

Yapılan bu çalışmada IEEE 14 baralı güç sistemi üzerinde test edilmiştir. Bu çalışma Güç Sistemleri Analizi Programı (PSAT) ile yapılmıştır [18]. Oluşturulan 14 baralı güç sisteminin devre modeli Şekil 2'de gösterilmiştir.

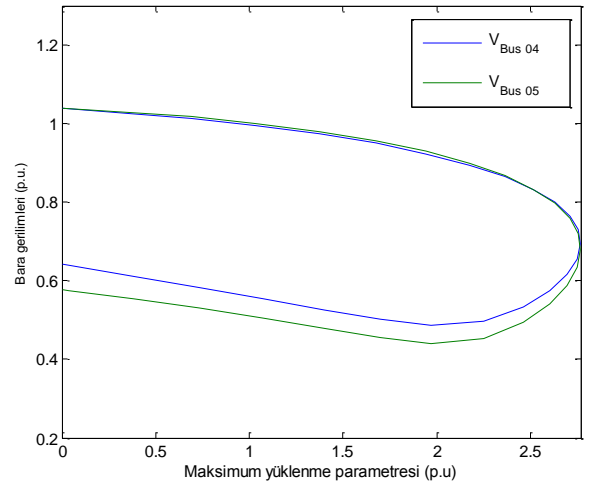


Şekil 2: Kademe değıştirci transformatörlerin statik gerilim kararlılığındaki sistem modellemesi

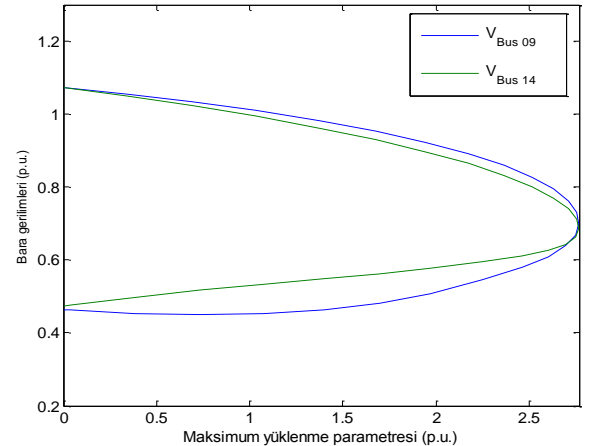
14 baralı bu güç sisteminde 1 numaralı bara sonsuz bara olarak kullanılırken, 2, 3, 6 ve 8 numaralı baralar generatör barası olarak kullanılmıştır. Geri kalan diğer 9 bara ise yük barası olarak kullanılmıştır. Bu sistemin 4-7, 4-8 ve 4-9 iletim hatlarında gerilimi düşüren transformatörler kullanılmıştır. 4-7 ve 4-9 nolu iletim hatları arasındaki transformatörlerde kademe değıştirme ve faz kaydırma işlemleri yapılmaktadır. 3 kademe değıştirci transformatörün kademe değışimleri 0.01 adım aralıklarında artırılarak sistemin statik gerilim kararlılığının incelenmesi amaçlanmıştır. 2 kademe değıştirci transformatörün kademesi sabit kalacak şekilde diğer transformatörün kademe değışimine bağlı olarak statik gerilim kararlılığı analizi gerçekleştirilmiştir.

VI. BENZETİM ÇALIŞMASI SONUÇLARI

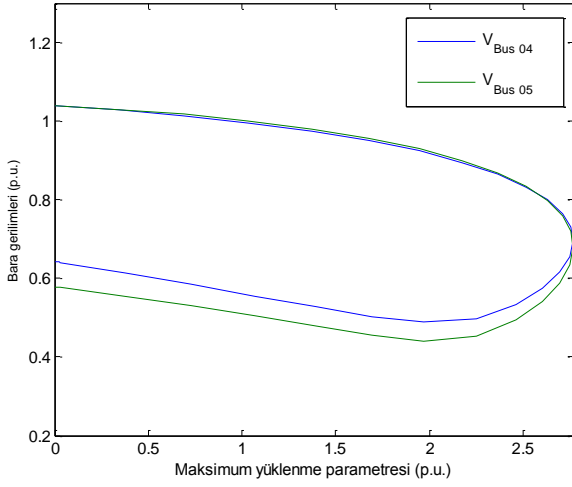
Yapılan sürekli yük akışı sonucunda açınsından bara 4, 5, 9 ve 14 bara gerilimlerinin en düşük değeri aldığı görülmüştür. IEEE 14 baralı güç sisteminde statik gerilim kararlılığı analizi sonuçları öncelikle kademe değıştirci transformatörlerin değeri 0.932, 0.969 ve 0.978 olduğu durumda incelenmiştir.



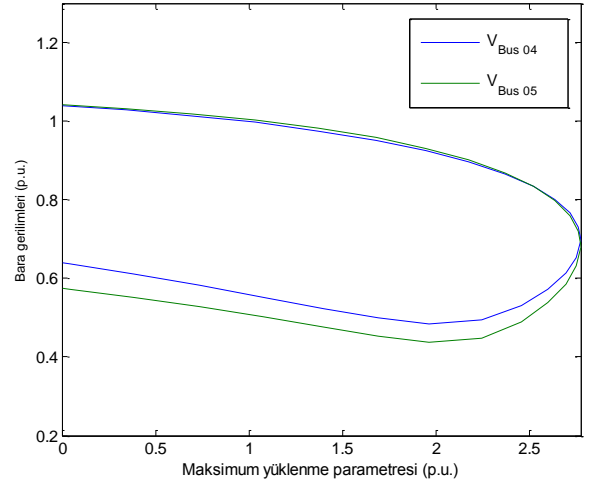
Şekil 3: Sabit kademe değıştirmede bara 4 ve 5 (V, λ) ilişkisi



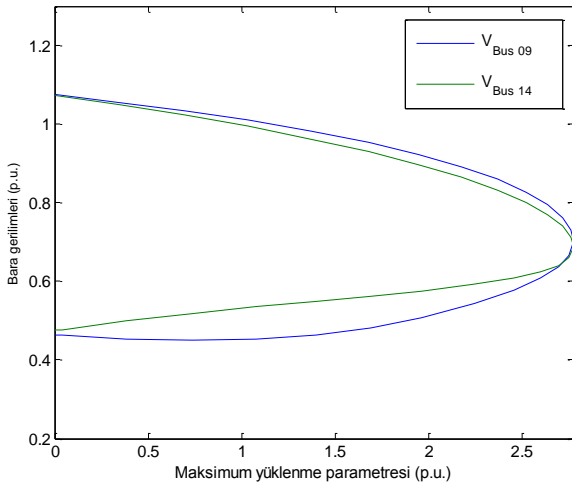
Şekil 4: Sabit kademe değıştirmede bara 9 ve 14 (V, λ) ilişkisi



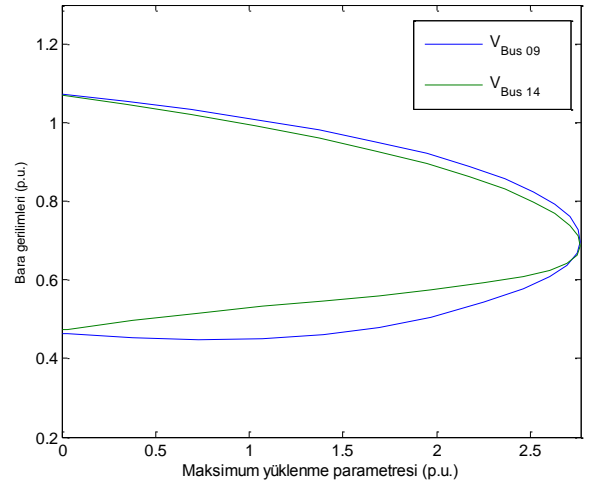
Şekil 5: Kademe değıştirici 0.979 olduğu durumda bara 4 ve 5 (V, λ) ilişkisi



Şekil 7: Kademe değıştirici 0.942 olduğu durumda bara 4 ve 5 (V, λ) ilişkisi



Şekil 6: kademe değıştirici 0.979 olduğu durumda bara 9 ve 14 (V, λ) ilişkisi

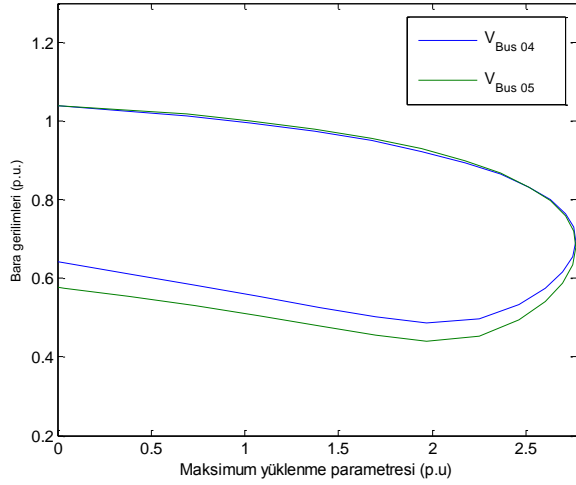


Şekil 8: Kademe değıştirici 0.942 olduğu durumda bara 9 ve 14 (V, λ) ilişkisi

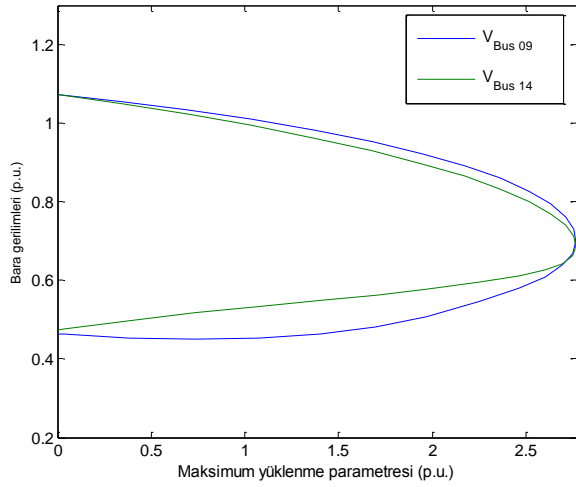
4-9 numaralı baralar arasındaki kademe değıştirici transformatörün değeri 0.979 değeri çıkarılıp, diğer kademede değıştirici transformatörlerin değeri sabit olduğu durumda sistem maksimum yüklenme parametre değeri 2.7672 olduğu görülmüştür. 5-6 numaralı baralar arasındaki kademe değıştirici transformatörün değeri 0.942 değeri çıkarılıp diğer kademe değıştirici transformatörlerin değeri sabit kalacak şekilde elde edilen sonuçlar Şekil 7 ile Şekil 8'de verilmiştir.

5-6 numaralı baralar arasındaki kademe değıştirici transformatörün değeri 0.942 değeri çıkarılıp, diğer kademede değıştirici transformatörlerin değeri sabit olduğu durumda sistem maksimum yüklenme parametre değeri 2.7745 olduğu görülmüştür. 4-7 numaralı baralar arasındaki kademe değıştirici transformatörün değeri 0.988 değeri çıkarılıp diğer kademe değıştirici transformatörlerin değeri sabit kalacak şekilde elde edilen sonuçlar Şekil 9 ile Şekil 10'da verilmiştir.

4-7 numaralı baralar arasındaki kademe değıştirici transformatörün değeri 0.988 değeri çıkarılıp, diğer kademede değıştirici transformatörlerin değeri sabit olduğu durumda sistem maksimum yüklenme parametre değeri 2.7674 olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar Tablo 1.'de gösterilmiştir.



Şekil 9: Kademe değıştirci 0.988 olduğu durumda bara 4 ve 5 (V, λ) ilişkisi



Şekil 10: Kademe değıştirci 0.988 olduğu durumda bara 9 ve 14 (V, λ) ilişkisi

Tablo 1. Farklı kademe değeri lerinde maksimum yüklenme parametre değeri

Trafo 4-9 kademe değeri	Trafo 5-6 kademe değeri	Trafo 4-7 kademe değeri	Maksimum yüklenme parametre değeri
0.969	0.932	0.978	2.7674
0.979	0.932	0.978	2.7672
0.989	0.932	0.978	2.7670
0.999	0.932	0.978	2.7668
0.969	0.942	0.978	2.7745
0.969	0.952	0.978	2.7816
0.969	0.962	0.978	2.7886
0.969	0.932	0.988	2.7674
0.969	0.932	0.978	2.7674

VII. SONUÇLAR

IEEE 14 baralı sistemde kademe değıştirci transformatörlerin statik gerilim kararlılığı üzerinde oluşturduğu etkiler incelenmiştir. Kademe değıştirci

transformatörlerin statik gerilim kararlılığı analizinde transformatör kademelerinin sistemin maksimum yüklenme parametresi üzerinde etkili olduğunu söyleyebiliriz. 3 kademe değıştirci transformatörlerden 2 tanesi sabit kalacak şekilde diğer transformatörün değeri 0.01 atırılarak 1'e en yakın olduğu duruma kadar analizi gerçekteştirilmiştir. Maksimum yüklenme parametresinin 5-6 nolu baralar arasındaki kademe değıştirci sayesinde yükseldiği görülmürken, 4-9 nolu baralar arasındaki kademe değıştircide maksimum yüklenme parametre değeri azaldığı görülmüştür. 4-7 nolu baralar arasında ise maksimum yüklenme parametre değeri değışmemektedir.

REFERENCES

- [1] P. K. Modi, S. P. Singh, J. D. Sharma, "Voltage stability evaluation of power system with FACTS application using fuzzy neural network", *Engineering Application of Artificial Intelligence*, vol. 20, pp. 481-491, June 2007.
- [2] J. Hongjie, Y. Xiaodan, Y. Yixin, An improved voltage stability index and its application. *Journal of Electric Power and Energy Systems* vol. 26, pp.567-74, 2005.
- [3] A. Nima, V. M. Hossein. Evaluation of the maximum loadability point of power systems considering the effect of static load models, *Energy Conversion and Management*, vol. 50, pp.3202-3210, 2009.
- [4] A. Sode-Yome, N. Mithulanathan, "An economical generation direction for power system static voltage stability", *Electric Power Systems Research*, vol. 76, pp. 1075-1083, 2006.
- [5] L.D. Arya, D.K. Sakravidia, D.P. Kothari. Corrective rescheduling for static voltage stability control. *Journal of Electric Power and Energy Systems*, vol.27, pp. 3-12, 2005.
- [6] L.-J. Cai, L. Erlich, "Power system static voltage stability analysis considering all active and reactive power controls—Singular value approach," *Proc. Power Tech 2007*, pp. 367-373, 2007.
- [7] D. Feng, B. H. Chowdhury, M. L. Crow, L. Acar, "Improving voltage stability by reactive power reserve management," *IEEE Transaction on Power System*, vol. 20, pp. 338-345, 2005.
- [8] F. M. Echavarren, E. Lobato, L. Rouco. "Steady-state analysis of the effect of reactive generation limits in voltage stability." *Electric Power Systems Research*, vol.79, pp. 1292-1299, 2009.
- [9] Y. H. Moon, H. S. Ryu, J. G. Lee, B. Kim, "Uniqueness of static voltage stability analysis in power systems", *IEEE In Power Engineering Society Summer Meeting 2001*, vol. 3, pp. 1536-1541, July 2001.
- [10] A. Kazemi, B. Badrzadeh, "Modeling and simulation of SVC and TCSC to study their limits on maximum loadability point", *Journal of Electric Power and Energy Systems*, vol. 26, pp. 381-388, October 2004.
- [11] N. Boonpirom, K. Paitoonwattanakij, "Static voltage stability enhancement using FACTS", *IEEE In Power Engineering Conference (IPEC 2005)*, vol. 2, pp. 711-715, Dec. 2005.
- [12] 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", *IEEE In Electric Power Conference*, pp.1-8, Oct. 2008.
- [13] M. Moghavvemi, M. O. Faruque, "Effects of FACTS devices on static voltage stability", *IEEE In TENCON 2000*, vol. 2, pp.357-362, Sep. 2000.
- [14] A. R. Phadke, S. K. Bansal, K. R. Niazi, "A comparison of voltage stability indices for placing shunt FACTS controllers", *IEEE In Emerging Trends in Engineering and Technology*, pp.939-949,2008.
- [15] N. Talebi, M. Ehsan, S. M. T. Bathaee, "Effect of SVC and TCSC control strategies on static voltage collapse phenomena", *IEEE Southeast Conference*, pp.161-168, Mar. 2004.
- [16] A. Sode-Yome, N. Mithulanathan, K. Y. Lee, "A comprehensive comparison of FACTS devices for enhancing static voltage stability", *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, pp. 1-8, June 2007.
- [17] F. Milano, "Documentation for PSAT version 1.3.4.", 2005, [2007-12-30]. [http://www. Power. uwaterloo. ca/~fmilano/archive/psat-1.3. 4. pdf](http://www.Power.uwaterloo.ca/~fmilano/archive/psat-1.3.4.pdf), 2005.
- [18] F. Milano, "An open source power system analysis toolbox", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol.20, pp. 1199-1206, Aug. 2005.