

Effects on Static Voltage Stability of the Nonlinear Load Modelling in Power Systems

M. Kenan
DÖŞOĞLU*
Asst. Prof. Düzce
University,
Düzce

Mustafa DURSUN
Asst. Prof. Düzce
University,
Düzce

Mahmut ÖZBAY
Asst. Prof. Düzce
University,
Düzce

Gökhan POYRAZ
Exp. Bilecik Şeyh
Edebali University,
Bilecik

Bayram KÜÇÜK
Res. Assit. Gazi
University,
Ankara

ABSTRACT

One of the most problems arising among energy consumer is effect on static voltage stability of the nonlinear load modeling. In this study, effects of static voltage stability of linear load modeling in 11 bus power system were investigated. In nonlinear load modelling; constant impedances, constant current, and constant active power (ZIP) load model were used. The impacts of ZIP load modelling on different parameter values were evaluated in terms of voltage-maximum loading parameters. Besides, voltage profile of 11 buses power system was examined. It was found that static voltage stability increased while maximum loading parameter values decreased as the ZIP load modelling constant current value changed.

Keywords: Static voltage stability, ZIP load model, voltage-maximum loading parameter

Güç Sistemlerinde Lineer Olmayan Yük Modelinin Statik Gerilim Kararlılığı Üzerindeki Etkileri

ÖZET

Enerji tüketicileri arasında ortaya çıkan en büyük problemlerden biri lineer olmayan yük modellerinin statik gerilim kararlılığı üzerindeki etkisidir. Yapılan bu çalışmada 11 baralı güç sisteminde lineer olmayan yük modelinin statik gerilim kararlılığında oluşturmuş olduğu etkiler üzerinde durulmuştur. Lineer olmayan yük modeli olarak güç sisteminde Sabit empedans-akım-empedans ve sabit aktif güç (ZIP) yük modeli kullanılmıştır. ZIP yük modelinin farklı parametre değerindeki etkileri gerilim-maksimum yüklenme parametresi açısından yorumlanmıştır. Dahası farklı parametre değerlerinde 11 baralı güç sisteminin gerilim profilleri ayrıca incelenmiştir. Özellikle ZIP yük modelinin sabit akım değerlerinin değişmesi ile statik gerilim kararlılığının daha etkili olduğu ve maksimum yüklenme parametre değerinin azaldığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Statik gerilim kararlılığı, ZIP yük modeli, gerilim-maksimum yüklenme parametresi

GİRİŞ

Güç sistemlerinin karmaşık yapıda bulunması ve sürekli olarak alıcıların güç taleplerindeki değişimler kararlılık açısından önemli bir unsur olmaktadır. Özellikle bara gerilim profillerinin değişimi bunların en önemlilerinden birisidir. Bunu kısaca gerilim kararlılığı sınıfı altında toplayabiliriz. Gerilim kararlılığı için bara gerilim belli sınırlar içerisinde tutmak ve çalışma koşulları dengelemek için literatürde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Literatür çalışmalarının genelinde geçici çalışma durumu ve sürekli çalışma durumu altında gerilim kararlılığı analizleri incelenmektedir.

Sonsuz baralı güç sisteminde arızalar ve hat kopması gibi çeşitli geçici durum analizlerinde senkron generatörde farklı kontrol yapıları kullanılmaktadır. Bunlar farklı otomatik gerilim regülatörleri, farklı türbin yöneticileri ve farklı uyartım modelleri olarak oluşturulmuştur. Bu kontrol yapılarının bara gerilimleri ve aktif ve reaktif güçler üzerindeki oluşturmuş olduğu etkiler incelenmiştir (Alvarado, ve ark., 2001; Corsi, ve ark., 2004). Dahası senkron generatörde geliştirilmiş dinamik ve generik kontrol modelleri kullanarak güç sisteminde gerilim kararlılığı analizleri gerçekleştirilmiştir (Eberly, ve ark., 2002; Nimpitiwan, ve ark., 2007).

Çok baralı güç sisteminde sürekli çalışma durumunda kademe değiştirici transformatör ve faz kaydırıcı transformatörlerin gerilim kararlılığı üzerindeki etkileri üzerinde durulmuş olup, farklı kademe değiştirici ve faz kaydırma oranlarında bara gerilim ve maksimum yüklenme parametresi üzerindeki analizleri yapılmış ve değerlendirmeler yapılmıştır (Döşoğlu, ve ark., 2013; Döşoğlu, ve ark., IATS'13)

Bunların dışında sürekli çalışma durumunda bara geriliminin çalışma limitlerinin artırılması ve gerilim değerlerinin kararlı bölgede kalması için farklı çalışmalar literatürde yaygın olarak bulunmaktadır. Çalışma koşullarının genişletilmesi işleminde bara geriliminin istenen değerde tutulması istenmektedir. Bunun sağlanması için Esnek AC İletim Sistemi (FACTS) cihazları kullanılmaktadır. FACTS cihazları, Statik Senkron Kompanzator (STATCOM), Statik Var Kompanzator (SVC), Statik Senkron Seri Kompanzator (SSSC), Tristör Kontrollü Seri Kompanzator (TCSC) ve Birleşik Güç Akışı Kontrol (UPFC)'den oluşmaktadır. Paralel olarak kullanılan FACTS cihazları sistemden reaktif güç alarak veya sisteme reaktif güç vererek bara gerilim kontrolünü sağlarken seri olarak sisteme bağlanan diğer FACTS cihazları hatta akım ve empedans kontrolünü gerçekleştirmektedir (Kazemi, ve ark., 2004; Kamarposhti, ve ark., 2008; Sode-Yome, ve ark., 2005; Sode-Yome and Mithulananthan, 2004; Natesan and Radman, 2004; Kamarposhti and Lesani 2011).

Yapılan bu çalışmada gerilim kararlılığı etkilemesi söz konusu olan lineer olmayan yük modelin gerilim kararlılığı üzerinde durulmuştur. Lineer olmayan yük modeli olarak kullanılan ZIP yük modelinin normal yük akışı yapılarak gerilimi en düşük olan baraya bağlanması sağlanmıştır. Daha sonraki aşamalarda newton raphson ile sürekli yük akışı analizi yapılarak sürekli çalışma durumunda gerilim-maksimum yüklenme parametre arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

STATİK GERİLİM KARARLILIĞI VE SÜREKLİ YÜK AKIŞI

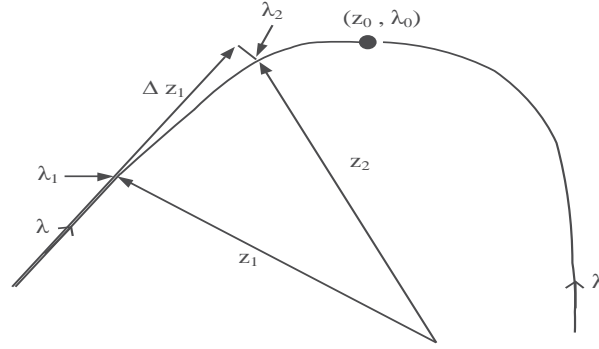
Statik gerilim kararlılığı reaktif güç değişimine bağlı olarak değer almaktadır. Reaktif gücün sağlanması ile yük barasının çalışma koşulları iyileştirilmiş olur. Eğer reaktif güç desteği belirlenen sınırların altında kaldığında ve gerilim düşümü başladığında sistem çökmeye gider. Bunun engellemek için reaktif güç bağlı olarak gerilim dengelemesi statik gerilim kararlılığı için önemli bir durum oluşturmaktadır. Sistemin gerilim- maksimum yüklenme parametresi ile baranın aktif güç ve reaktif güç değeri arasındaki ilişki denklem 1 ve denklem 2'de gösterilmiştir.

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

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

Burada, P_L ve Q_L yükün aktif güç ve reaktif güç değeri, P_{L0} ve Q_{L0} yükün başlangıç aktif güç ve reaktif güç değerleri ve yükün aktif güç ve reaktif güç değerleri, λ maksimum yüklenme parametre değeridir (Kazemi, ve ark., 2004). Sürekli yük akışında gerilim ve maksimum yüklenme parametresi arasındaki ilişkiden yararlanılmaktadır. Sürekli yük akışı analizinde belli sistem modellerinin desteklenmesi olmaksızın belirli zorluklara karşı çözümlemeye çok üstündür. Ayrıca sistem

eşitliklerindeki tekil çözümler durumunun oluşturacağı olumsuz durumlara karşı gerilim otomatik olarak değiştirme özelliğine sahiptir. Sürekli yük akışındaki strateji kullanımı Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1: Method Sürekli Yük Akış 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.

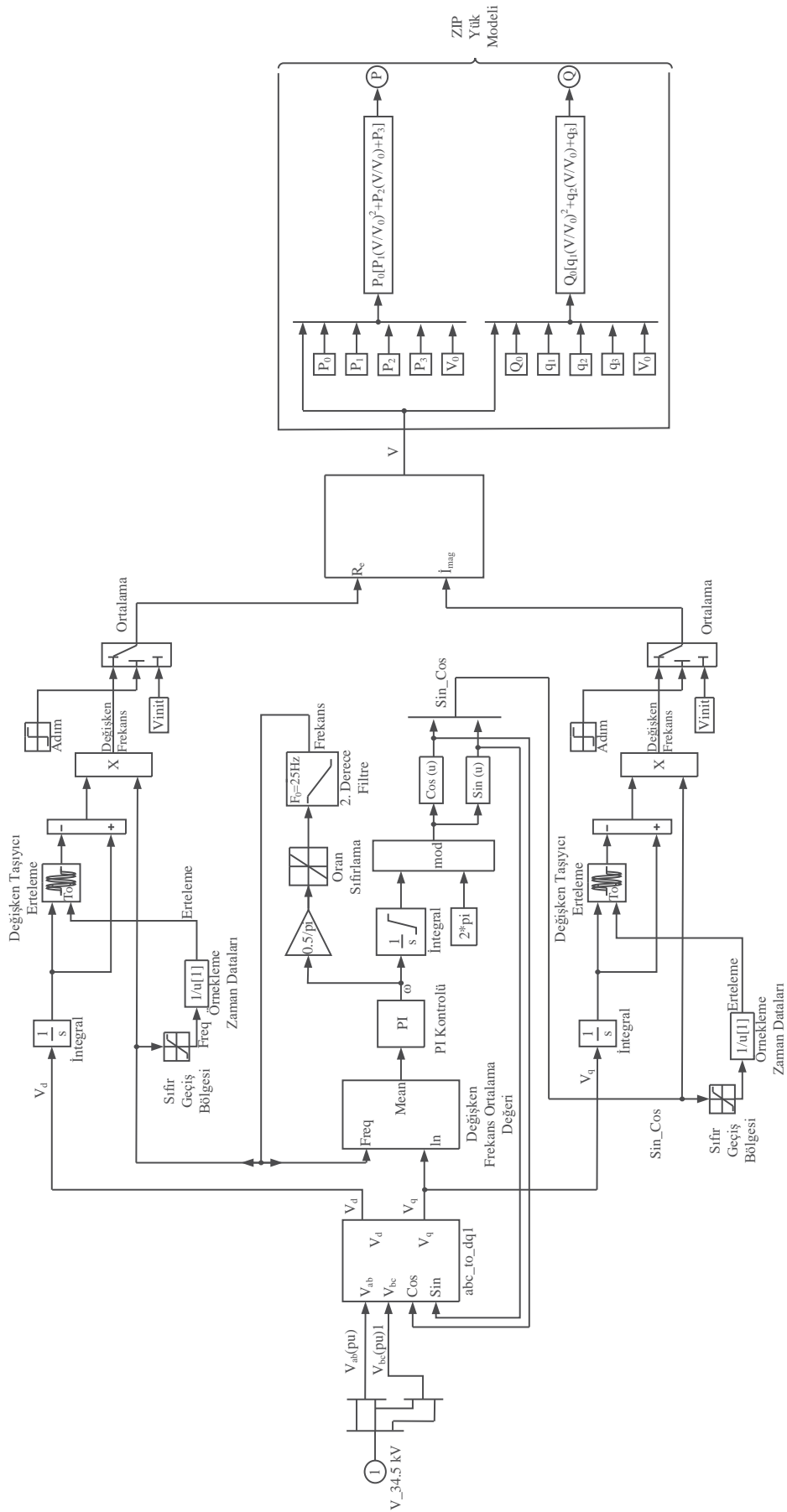
ZIP YÜK MODELİ

Statik yük karakteristiği gerilime bağlı olarak sabit empedans, sabit akım ve sabit aktif güç olarak sınıflandırılan yük modelidir. Sabit empedanslı yük için güç gerilime bağlı ikinci dereceden bir denklem olmaktadır. Sabit akımın doğrusal olmasında ve gücün sabit olmasında güç gerilim değişiminden tamamen bağımsız olmaktadır. ZIP model aktif ve reaktif güç eşitliklerini gösterecek olursak;

$$P = P_0 \left[p_1 \left(\frac{V}{V_0} \right)^2 + p_2 \frac{V}{V_0} + p_3 \right] \quad (3)$$

$$Q = Q_0 \left[q_1 \left(\frac{V}{V_0} \right)^2 + q_2 \frac{V}{V_0} + q_3 \right] \quad (4)$$

şeklinde ifade edilir. Burada P_0 yükün aktif gücü, Q_0 reaktif gücü, V bara gerilimini, V_0 yük akışı sonucundaki bara gerilimini, p ve q değerleri aktif ve reaktif güç parametreleridir. ZIP yük modelde $p_1+p_2+p_3=1$ ve $q_1+q_2+q_3=1$ olarak alınmaktadır (Döşoğlu, 2014). Şekil 2’de ZIP yük modelinin devre bağlantısı görülmektedir.

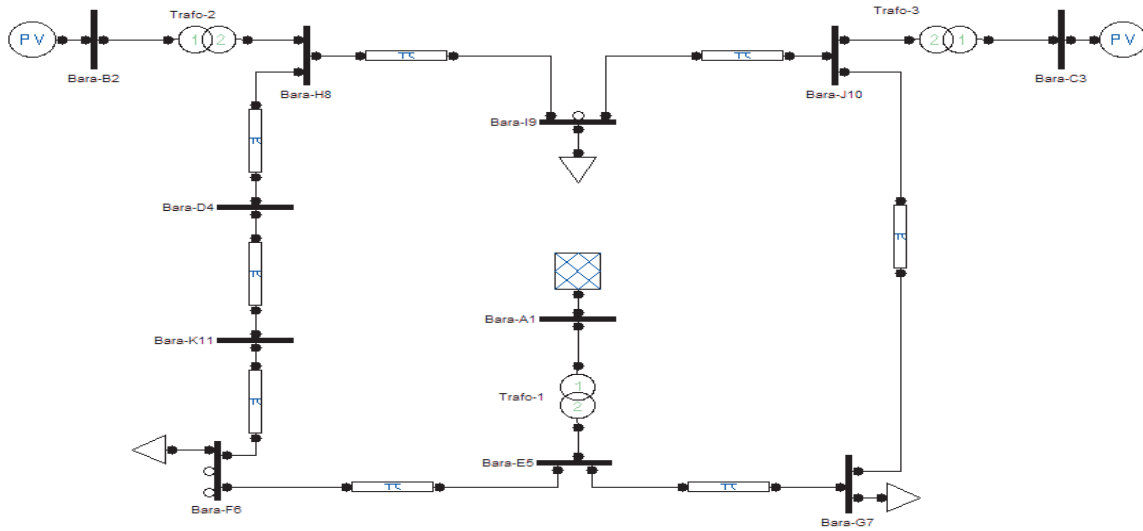


Şekil 2: ZIP Yük Modeli

Şekil 2’de görüldüğü gibi ZIP yük modeli d-q eksen dönüşümü, değişken frekans ortalama değeri, sıfır geçiş bölgesi ve aktif ve reaktif güç hesaplama devresinden oluşmaktadır. Bara gerilimi giriş olarak ZIP yük modelinde kullanılırken çıkışta aktif ve reaktif güç elde edilmektedir.

BENZETİM MODELİ

11 baralı test sistemi 1 adet salınım barası, 3 PV generatör, 3 transformatör, 7 hat ve 3 PQ yükünden oluşur. Sistemdeki toplam yük 315 MW ve 115 MVAR’dır. Normalde 9 baralı olan test sistemi orijinal test sistemi yapılacak incelemeye uygun olarak önce 10 ve sonra 11 baralı hale getirilmiştir. İlk olarak H8-F6 baraları arasında hat ortadan ikiye ayrılarak D4 barası ilave edilmiştir. Seçim en fazla yükün olduğu baranın F6 barası olmasından ötürü yapılmıştır. Bunlara ilave bir K11 barasıyla sistem 11-baralı hale gelmiştir (Kaya, 2015; Milano, 2005). 11 numaralı güç sisteminin devre modeli Şekil’3 de gösterilmiştir.



Şekil 3: 11 Baralı Sistem

11 baralı test sisteminin bara giriş parametreleri ve hat bilgileri Tablo 1 ve Tablo 2’te verilmiştir.

Tablo 1: 11 Baralı Test Sistemi Gerilim Ve Yük Verileri

Bara	Gerilim (kV)	Yük (MVA)	
A1	1	230	0
B2	2	230	0
C3	3	230	0
D4	4	230	0
E5	5	230	0
F6	6	230	125+j50
G7	7	230	90+j30
H8	8	230	0
I9	9	230	100+j35
J10	10	230	0
K11	11	230	0

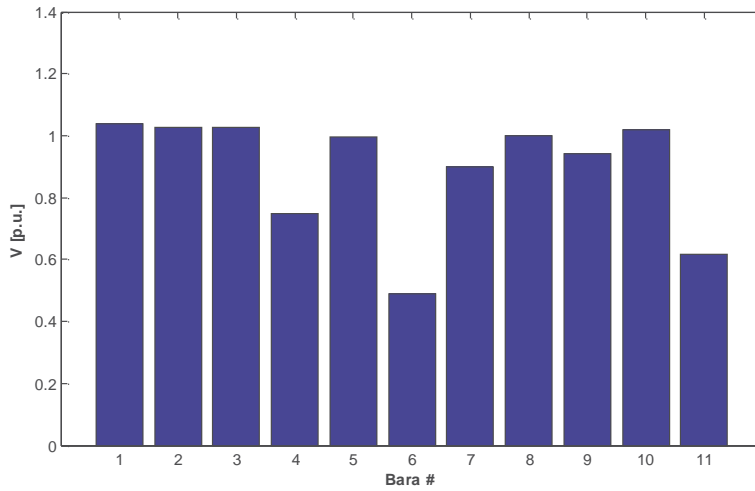
Tablo 2: 11 Baralı Test Sistemi Hat Verileri

Bağlı Olduğu Baralar	Direnç (p.u.)	Reaktans (p.u.)	Suseptans (p.u.)	Çevirme Oranı (kV/kV)
8 9	0.0085	0.072	0.149	0
9 10	0.0119	0.1008	0.209	0
10 7	0.039	0.17	0.358	0
7 5	0.017	0.092	0.158	0
8 4	0.016	0.0805	0.306	0
4 11	0.008	0.04025	0.0765	0
11 6	0.008	0.04025	0.0765	0
6 5	0.01	0.085	0.176	0
1 5	0	0.0576	0	16.5/230
3 10	0	0.0586	0	13.8/230
2 11	0	0.0625	0	18/230

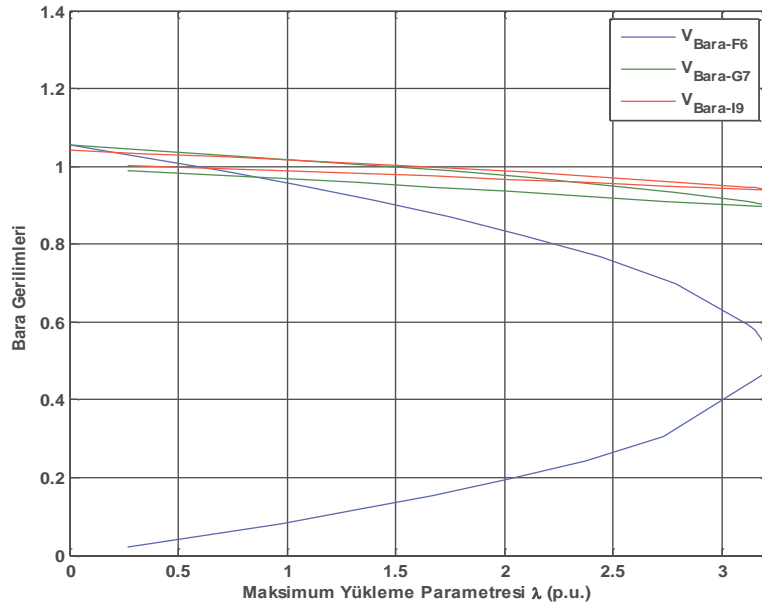
BENZETİM MODELİ SONUÇLARI

Üçüncü senaryoda gerilim profili en düşük olan baraya PQ yük modeli yerine ZIP yük modeli bağlanarak ZIP yükün giriş parametrelerinin farklı değerlerde ayarlanmasıyla yapılan Sürekli Yük Akışı analizi sonucu sistemin statik gerilim kararlılığı incelenmiştir.

ZIP yük aktif ve reaktif giriş parametrelerinin her ikisi de 0.15 – 0.15 – 0.70 olarak girildiğinde sistemin maksimum yüklenme parametresi 3.21'dir. Elde edilen gerilim profilleri ve gerilim-maksimum yüklenme parametresi arasındaki ilişki Şekil 4 ve Şekil 5'de gösterilmiştir.

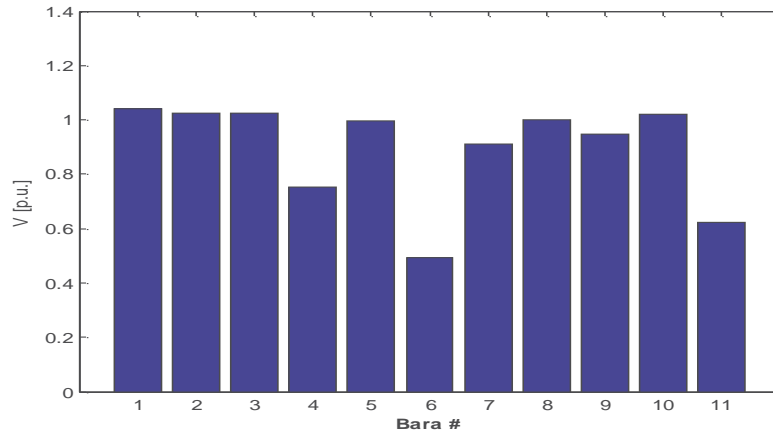


Şekil 4: Sistemde ZIP Yük Mevcut İken (0.15 – 0.15 – 0.70) Baraların Gerilim Profilleri

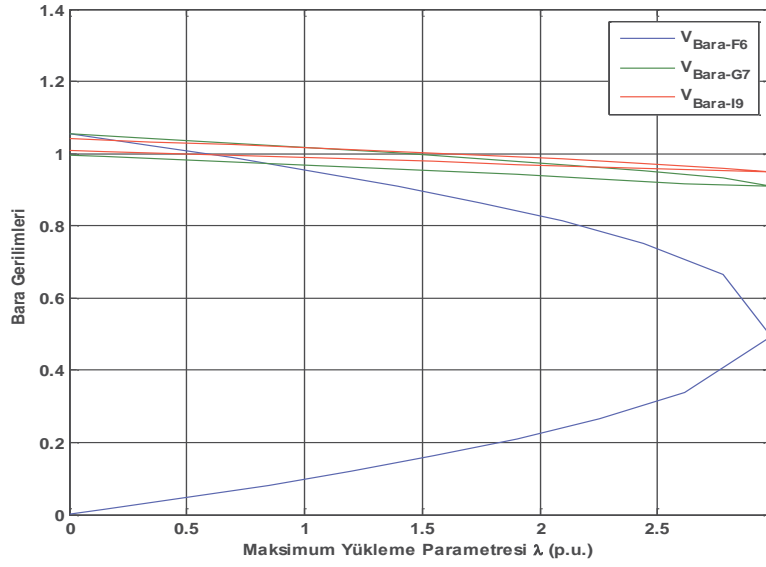


Şekil 5: Sistemde ZIP Yük Mevcut İken F6, G7 Ve I9 Yük Baralarının Gerilim-Maksimum Yükleme Parametresi (3.21)

ZIP yük aktif ve reaktif giriş parametrelerinin her ikisi de 0.1 – 0.1 – 0.80 olarak girildiğinde sistemin maksimum yüklenme parametresi 2.97 olmuştur. Elde edilen gerilim profilleri ve gerilim-maksimum yüklenme parametresi arasındaki ilişkiler Şekil 6 ve Şekil 7’de gösterilmiştir.

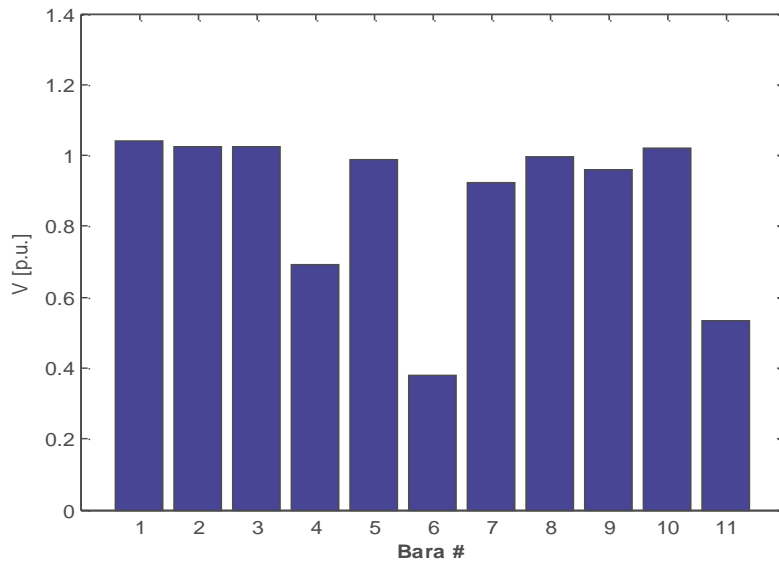


Şekil 6: Sistemde ZIP Yük Mevcut İken (0.1 – 0.1 – 0.80) Baraların Gerilim Profilleri

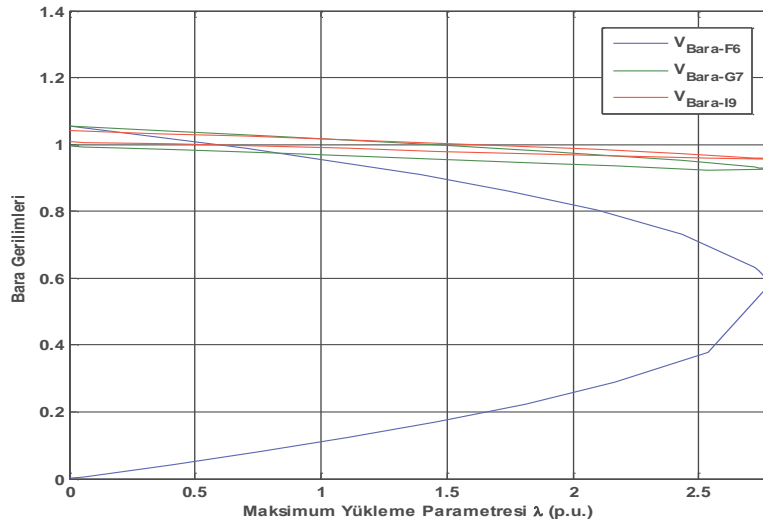


Şekil 7: Sistemde ZIP Yük Mevcut İken F6, G7 Ve I9 Yük Baralarının Gerilim-Maksimum Yüklenme Parametresi (2.97)

ZIP yük aktif ve reaktif giriş parametrelerinin her ikisi de 0.05 – 0.05 – 0.90 olarak girildiğinde sistemin maksimum yüklenme parametresi 2.78 olmuştur. Elde edilen gerilim profilleri ve gerilim-maksimum yüklenme parametresi arasındaki ilişkiler Şekil 8 ve Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 8: Sistemde ZIP Yük Mevcut İken (0.05 – 0.05 – 0.90) Baraların Gerilim Profilleri



Şekil 9: Sistemde ZIP Yük Mevcut İken F6, G7 Ve I9 Yük Baralarının Statik Gerilim Analizi (2.78)

SONUÇLAR

Bu çalışmada 11 baralı güç sisteminde sürekli yük akışı ile lineer olmayan yük modelinin gerilim kararlılığı üzerinde oluşturmuş olduğu etkiler incelenmiştir. Lineer olmayan yük modeli olarak kullanılan ZIP yükte özellikle sabit güç değişim değerleri sistemin maksimum yüklenme parametre değerinin diğer parametrele nazaran daha çok düşürdüğü görülmüştür. 11 baralı güç sisteminde ayrıca sürekli yük akışı analizi durumundaki bara gerilim profillerini de düşürdüğü yapılan çalışmada gösterilmiştir. Özellikle de sürekli yük akışı analizinde F6 barasındaki lineer olmayan yük modelini sabit güç değerinin 0.9 p.u. olduğu durum maksimum yüklenme parametresinin en düşük olduğu durum olmuştur.

KAYNAKLAR

- Alvarado, F.L., Meng, J., DeMarco, C.L., ve Mota, W.S. (2001). Stability Analysis Of Interconnected Power Systems Coupled With Market Dynamics, *IEEE Transactions on Power Systems*, 16(4), 695-701.
- Corsi, S., Pozzi, M., Sabelli, C., ve Serrani, A. (2004). The Coordinated Automatic Voltage Control of The Italian Transmission Grid-Part I: Reasons of The Choice and Overview of The Consolidated Hierarchical System, *IEEE Transactions on Power systems*, 19(4), 1723-1732.
- Döşoğlu, M.K., (2014). *Santrallerinin Dinamik Modellemesi ve Analizi*, Kocaeli üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi.
- Döşoğlu, M.K., Tosun, S., Öztürk, A., ve Poyraz G. (2013). Faz Kaydırıcı Transformatörlerin Statik Gerilim Kararlılığı Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 2(3), 43-52.
- Döşoğlu, M.K., Tosun, S., Öztürk, A., Saraçoğlu, B., ve Poyraz, G. (2013). Güç Sistemlerinde Kademe Değiştirici Transformatörlerin Statik Gerilim Kararlılığındaki Etkilerinin İncelenmesi, *7th International Advanced Technologies Symposium (IATS'13) (pp. 598-602)*, Istanbul, Turkey.
- Eberly, T.W., ve Schaefer, R.C. (2002). Voltage versus VAR/power-factor regulation on synchronous generators, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 38(6), 1682-1687.
- Kamarposhti, M.A., ve Lesani, H. (2011). Effects of STATCOM, TCSC, SSSC and UPFC on static voltage stability, *Electrical Engineering (Archiv fur Elektrotechnik)*, 93(1), 33-42.
- Kamarposhti, M.A., Alinezhad, M., Lesani, H., ve Talebi, N. (2008). Comparison of SVC, STATCOM, TCSC, and UPFC Controllers for Static Voltage Stability Evaluated by Continuation Power Flow Method, *In Electric Power Conference (pp. 1-8)*, USA, Canada.

- Kaya, K. (2015). *Esnek Alternatif Akım İletim Sistemleri Kontrolörlerinin İncelenmesi Ve Şebeke Üzerindeki Etkileri*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Kazemi, A., ve Badrzadeh, B. (2004). Modeling and Simulation of SVC and TCSC to Study Their Limit on Maximum Loadability Point, *International journal of Electrical Power Energy Systems*, 26(5), 619-626.
- Milano, F. (2005). Power System Analysis Toolbox, Version 1.3.4, Software and Documentation, <http://faraday1.ucd.ie/psat.html> adresinden 01 Haziran 2017 tarihinde alınmıştır.
- Natesan, R., ve Radman, G. (2004). Effects of STATCOM, SSSC and UPFC on Voltage Stability, *In System Theory, 2004. Proceedings of the Thirty-Sixth Southeastern Symposium on* (pp. 546-550).
- Nimpitiwan, N., Heydt, G. T., Ayyanar, R., ve Suryanarayanan, S. (2007). Fault current contribution from synchronous machine and inverter based distributed generators, *IEEE Transactions on power delivery*, 22(1), 634-641.
- Sode-Yome, A., ve Mithulanathan, N. (2004). Comparison of shunt capacitor, SVC and STATCOM in static voltage stability margin enhancement. *International Journal of Electrical Engineering Education*, 41(2), 158-171.
- Sode-Yome, A., Mithulanathan, N., ve Lee, K. Y. (2005). Static voltage stability margin enhancement using STATCOM, TCSC and SSSC. In *Transmission and Distribution Conference and Exhibition: Asia and Pacific, 2005 IEEE/PES* (pp. 1-6).