



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Gerilim-Reaktif Güç Kontrol Modelli Kademe Değiştirici Transformatörün Gerilim Kararlılığı Üzerindeki Etkisi

 M.Uğur DOĞAN^a,  M.Kenan DÖŞOĞLU^{b,*}

^a *Elektronik ve Otomasyon Bölümü, BTBMYO, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu, TÜRKİYE,*

^b *Elektrik -Elektronik Mühendisliği Bölümü,, Teknoloji Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE*

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

DOI : 10.29130/dubited.521863

ÖZET

Gerilim kararlılığı çok makinalı güç sistemlerinde baralardaki yüklenme durumuna bağlı gerilim ile maksimum yüklenme parametreleri arasındaki ilişki olarak tanımlanmaktadır. Gerilim ile maksimum yüklenme parametresi değiştiren bir çok etken bulunmaktadır. Bunlardan birisi de kademe değiştirici transformatörlerin etkisidir. Bu çalışmada, IEEE 14 baralı güç sisteminde kademe değiştirici transformatörün güç sistemi üzerindeki etkileri incelenmiştir. IEEE 14 baralı güç sisteminde kademe değiştirici transformatörün kullanılması ile gerilim kararlılığı analizi maksimum yüklenme parametresi-gerilim açısından yorumlanmıştır. Kademe değiştirici transformatörde analiz için gerilim ve reaktif güç kontrol modelleri kullanılmıştır. Kademe değiştirici transformatörün kullanılmadığı durum, kademe değiştirici transformatör gerilim ve reaktif güç kontrol modellerinin karşılaştırmaları yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda kademe değiştirici transformatörün kullanılmasında maksimum yüklenme parametre değerlerinin ve bara gerilim profillerinin azaldığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: *Kademe değiştirici transformatör, Maksimum Yüklenme Parametresi Gerilim İlişkisi, Gerilim Kararlılığı*

Effect On Voltage Reactive Power Control Model Tap Changer Transformer On Voltage Stability

ABSTRACT

Voltage stability is defined as the relation between the voltage related to the loading condition of the buses of multi machine power systems and maximum loading parameters. There are many factors that change voltage and maximum loading parameters. One of them is the effects of tap changer transformers. In this study, the effects of the tap changer transformer on the power system in the IEEE 14 bus power system were researched.

Geliş: 04/02/2019, Düzeltme: 06/03/2019, Kabul: 16/03/2019

Using tap changer transformers and the voltage stability analysis in the IEEE 14 bus power systems is interpreted in terms of maximum loading parameters. Voltage and reactive power control models are used for analysis for tap changer transformers. The condition of the tap changer transformer that was not used, tap changer transformer voltage and reactive power control models are compared. As a result of this study, It was seen that the maximum loading parameter values and bus voltage profiles were reduced when using the tap changer transformer.

Keywords: Tap Changer Transformer, Maximum Loading Paramete- Voltage Relationship, Voltage Stability

I. GİRİŞ

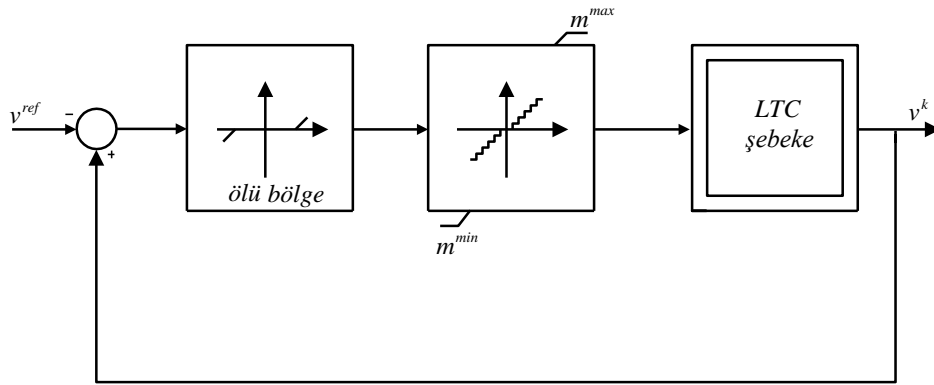
Güç sistemleri arıza ve yüklenme gibi çeşitli nedenlerden dolayı problemler ile karşı karşıya kalabilmektedir. Genelde karşılaşılan problemlerin çoğunluğu çok makinalı güç sistemlerinde gerilim kararlılığı olarak ortaya çıkmaktadır. Gerilim kararlılığı bara gerilim profili ile sistemin yüklenme parametresi arasındaki ilişki durumu olarak tanımlanmaktadır. Güç sistemlerinde gerilim kararlılığı ile literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Sürekli yük akışı analizinde sistemin çalışma koşullarının iyileştirilmesi gerilim kararlılığı açısından çok önemlidir. Bunu sağlamak için sürekli yük akışı esnasında Jakobien matrisin daha etkin bir şekilde kullanılması ile elde edilebilmektedir. Geliştirilen Jakobien matrisin sürekli yük akışında bara ve baralar arasındaki gerilim, açı, aktif ve reaktif güç ilişkisini daha iyi ayarlayarak gerilim kararlılığının daha etkili olmasını sağlamıştır [1]. Öte yandan güç sistemlerinde farklı güç katsayısı değerindeki değişimler, hat başı gerilim değişmesi hat kayıp faktörü, kullanılan paralel hat sayısı, şönt-seri kompanzasyon değişim durumları, hat uzunluğunun değişmesi gibi etkenler gerilim kararlılığı sınıfı altında toplanmaktadır. Farklı parametre değerlerindeki bara gerilim-aktif güç ilişkisi güç sisteminde incelenmiştir [2]. Bahsedilen bu parametre değerlerinin bara çalışma limitleri üzerinde çok etkili olduğu görülmüştür. Hat üzerinde bulunan kesicileri yanlış koordinasyon sonucu açması sonucunda meydana gelen olumsuz durumların gerilim kararlılığı üzerinde oluşturmuş olduğu etkiler üzerinde durulmuştur. Hatta bulunan kesici açması ile maksimum yüklenme parametre değerinin ve bara gerilim profillerinin azaldığı görülmüştür [3-4]. Farklı yük modellerinin gerilim kararlılığı üzerinde etkileri bulunmaktadır. Bunlardan birisi lineer olmayan yük modellerinden sabit empedans-sabit akım ve sabit aktif güç (ZIP) yük modelidir. ZIP yük modelinin farklı parametre değerindeki etkileri çeşitli güç sistemlerinde incelenmiştir. Güç sistemlerinin maksimum yüklenme parametresi ve güç kayıpları bakımından önemli sonuçlar verdiği ilgili çalışmalarda görülmüştür [5-6]. Gerilim kararlılığına etki eden diğer bir yük modeli ise asenkron motorun belli bir süre devrede kalmasıdır. Asenkron motorun kısa süreli olarak devreye girip çıkması gerilim kararlılığı açısından önemli bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır [7]. Güç sistemlerinde gerilim kararlılığı analizinde transformatör farklı açılarda faz kaydırma işlemi ve 3 sargılı transformatör kullanılmıştır. farklı açılarda faz kaydırma işlemi ve 3 sargılı transformatör değişik oranlarının gerilim kararlılığı üzerinde oluşturmuş olduğu etkiler incelenmiş ve bara çalışma limitleri yorumlanmıştır [8-9]. Çeşitli arızalar ve değişik yüklenme durumlarına göre gerilim kararlılığı için bara geriliminin çalışma limitlerinin artırılması ve gerilim değerlerinin kararlı bölgede kalması için Esnek AC İletim Sistemi (FACTS) elemanları yaygın olarak kullanılmaktadır. Genelde paralel olarak kullanılan FACTS cihazları bara gerilim kontrolünü reaktif güce bağlı olarak kontrol ederken, seri FACTS cihazları hattın akım ve empedans kontrolünü gerçekleştirir. Dahası evirici tabanlı

kullanılan FACTS cihazları açılı kontrolü için de 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 Kontrolü (UPFC)'den oluşmaktadır. STATCOM, SVC, SSSC, TCSC ve UPFC güç sistemlerinin maksimum yüklenme parametre değerini arttırmakta ve gerilim profilini iyileştirmektedir [10-13].

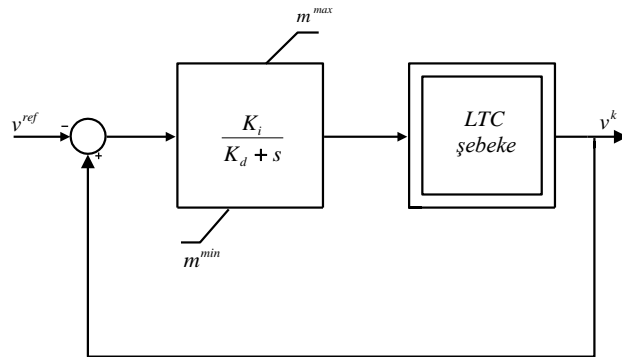
Yapılan bu çalışmada, gerilim kararlılığı analizinde literatürden farklı olarak IEEE 14 baralı güç sisteminde faz kaydırıcı transformator yerine kademe değiştirici transformator kullanılmıştır. Kademe değiştirici transformatorün gerilim ve reaktif güç kontrol modelleri ile sistemin maksimum yüklenme parametresi-gerilimi arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda kademe değiştirici transformatorün sistemin maksimum yüklenme parametre değerini ve bara gerilim profilini ciddi bir oranda düşürdüğü görülmüştür.

II. YÜK ALTINDA KADEME DEĞİŞTİRİCİ TRANSFORMATÖRLER

Yük altında kademe değiştirici transformatorler, kademe oranını değiştirerek gerilimi veya reaktif gücü kontrol eden cihazlardır. Yük altında iki adet kademe değiştirici transformator modeli vardır. Bunlar ayrık ve sürekli bir transformator modelidir. Yük altında kademe değiştirici transformatorünün ayrık ve sürekli gerilim denetleyicinin blok diyagramı Şekil 1'de gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 1. Yük altında kademe değiştirici transformatorünün gerilim kontrolü blok diyagramı (a) ayrık kontrol (b) sürekli kontrol

Ayrık model, m^{max} maksimum kademe oranı ve m^{min} minimum kademe oranı değerleri arasında sabit bir Δm adım ile değişebilen ayrık bir değişken olarak adım oranının modellenmesinden oluşur. Ayarlanan v_k (sekonder sargı gerilim) gerilim miktarının sapmasına bağlı olarak, v^{ref} referans gerilim değeri ölü bölge gerilimi Δv sınırını aşıyorsa, düzenleyici model, kademe oranını basitçe Δm kadar aşağı yukarı kaydırır. Buradaki anahtarlama mantığı Denklem 1’de gösterilmiştir.

$$m = \begin{cases} m + \Delta m, & v_k - v^{ref} < \Delta v \quad \text{ve } m < m^{max} \\ m & |v_k - v^{ref}| < \Delta v \\ m - \Delta m & v_k - v^{ref} > \Delta v \quad \text{ve } m > m^{min} \end{cases} \quad (1)$$

Her kademe anahtarı, hassas bir işlemdir çünkü fiziksel olarak kademe konumunu hareket ettirmeyi gerektirir. Gereksiz anahtarlama işlemlerinden sakınmak için, düzenleyici gecikir, böylelikle bir Bu sebepten dolayı yük altında kademe değiştirici denetleyiciler yavaştır. Sürekli modelde, kademe oranı adımı Δm ’in küçük olduğunu varsayılır; Böylece ayrık anahtarlar, m kademe oranının sürekli değişmesiyle istenilen çözüme yaklaştırılabilir. Zaman gecikmesi gecikme transfer fonksiyonu olarak ifade edilir. Kademe oranı diferansiyel denklemi Denklem 2’de gösterilmiştir.

$$\dot{m} = -K_d m + K_i (v_k - v^{ref}) \quad (2)$$

Kademe oranı (m) doğrusal olmayan kontrol döngüsünün kararlılık karakteristiğinden dolayı hata işaretinin gerilimine $e_v = v_k - v^{ref}$ ve anti windup sınırlayıcısına maruz kalmaktadır. Düzenleyici kararlılık denge noktası yük altında kademe değiştirici transformatörün yük karakteristiğinin negatif bir teğet eğimi için meydana gelir. Uzaktan bir bara gerilimini veya reaktif güç çıkışını düzenleyerek benzer bir denetim elde edilmesi denklem 3’de ifade edilmiştir.

$$\dot{m} = -K_d m + K_i (q^{ref} + q_k) \quad (3)$$

Yük altında kademe değiştirici transformatörün denetim parametreleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Yük altında kademe değiştirici denetim parametreleri

Parametre	İntegral Sapması	İntegral Kazancı	Referans Gerilim	Reaktif Güç	Kademe oranı adımı
Değişken	K_d	K_i	v^{ref}	q^{ref}	Δm
Birim	1/s	1/s/pu	pu	pu	pu/pu

Yük, v_L geriliminin tek terimli bir fonksiyonudur. Eğer $\alpha_p = \alpha_q = 2$ olduğunda, yük sabit bir empedanstır. Bu ise $r_L + jx_L$ olarak ifade edilir. Thevenin eşdeğerinin, bir reaktansın x_{Th} arkasındaki

sabit bir gerilim v_{Th} olduğu ifade edilirse, transformatör reaktansı, x_T olduğu varsayılır. v_L geriliminin tek terimli bir fonksiyon ifadesi Denklem 4' de gösterilmiştir.

$$\bar{v}_L = \bar{v} \frac{m(r_L + jx_L)}{m^2 r_L + j(x_{Th} + m^2 x'_L)} \quad (4)$$

Burada $x'_L = x_T + x_L$ olursa maksimum gerilim elde edilir. Kademe oranı ve maksimum gerilim değeri ifadesi Denklem 5 ve Denklem 6'da ifade edilmiştir.

$$m^* = \sqrt{\frac{x_{Th}}{r_L^2 + x_L^2}} \quad (5)$$

$$v_L^{max} = \sqrt{v_{Th}^2 a \frac{r_L}{2x_{Th}}} \quad (6)$$

Düzenleyici referans gerilimi v^{ref} ile kesişme noktalarına karşılık gelen iki olası denge noktası vardır. Tek uygun denge noktası ($m^{max} \leq m \leq m^{min}$ olan) eğrinin negatif bir teğet eğimiyle (v_L, m) karakterize edilmektedir.

A. SÜREKLİ GÜÇ AKIŞI

Sürekli güç akış yöntemi, teğet vektörün hesaplanmasıyla gerçekleştirilen bir tahminci adımdan ve yerel bir parametrelendirme veya dikey bir kesişme yoluyla elde edilebilecek bir düzeltici adımdan oluşur.

B. TAHMİNCİ ADIM

Sürekli güç akış analizinde, tahminci (öngörücü) adım ilişkisi denklem 7'de gösterilmiştir. Genel i adımı ve $(y^{(i)}, \mu^{(i)})$ çözümü ve ψ homotopi haritası için ilişkili denklem aşağıda verilmiştir.

$$\psi(y^{(i)}, \mu^{(i)}) = 0 \quad \rightarrow \quad \left. \frac{d\psi}{d\mu} \right|_i = 0 = \psi_y \Big|_i \frac{dy}{d\mu} \Big|_i + \psi_\mu \Big|_i \quad (7)$$

Dolayısıyla, $(y^{(i)}, \mu^{(i)})$ çözümü için tanjant (teğet) vektörü ve kısalma adımları Denklem 8 ile Denklem 10 arasında gösterilmiştir.

$$\tau^{(i)} = \frac{dy}{d\mu} \Big|_i \approx \frac{\Delta y^{(i)}}{\Delta \mu^{(i)}} \quad (8)$$

$$\tau^{(i)} = -\psi_y^{-T} \Big|_i \psi_\mu \Big|_i \quad (9)$$

$$\Delta y^{(i)} = \tau^{(i)} \Delta \mu^{(i)} \quad (10)$$

$\|\tau^{(i)}\|_2$ arttığında büyük adımlardan kaçınmak için Denklem 8 ile Denklem 10 arasında görünen $\Delta \mu^{(i)}$ ve $\Delta y^{(i)}$ 'nin artışını belirlemek için bir adım boyut denetimi k 'nin seçilmesi gerekir. k adım boyut büyüklüğünün işareti, μ 'nün artırılıp azaltılması ile belirlenir. Tam bir burun eğrisi elde etmek için üst kısımda $k > 0$ ve alt kısımda ise $k < 0$ olur. Jacobian matrisi işaretinin determinantı eyer düğüm çatallaşmasından (SNB) önce ve sonra veya kritik limite bağlı çatallaşma (LIB) noktasının değişiminden dolayı akım noktasının burun eğrisinin üst kısmında mı yoksa alt kısmında mı olduğunu anlamak kolaydır. Tanjant (teğet) tahmincisi, teğet vektör dışındaki tahminci adımların uygulanabileceğini gözlemlemeye değer bir tahmincidir. Sekant tahmincisi, iki çözüm $(y^{(i-1)}, \mu^{(i-1)})$ ve $(y^{(i)}, \mu^{(i)})$ bilindiği zaman, Denklem 11'de verilen tanjant $\tau^{(i)}$ ifadesinde yakın çözüm elde edilmesi sağlanmış olur.

$$\tau^{(i)} = - \left. \frac{dy}{d\mu} \right|_i \approx y^{(i)} - y^{(i-1)} \quad (11)$$

C. DÜZELTİCİ ADIM

En yaygın kullanılan düzeltici adım $n_y + 1$ değişkenlerinde bir $n_y + 1$ denklem kümesi olan durumdur. Bu çözüm, ψ ve ρ 'nun çatallanma manifoldunda olmalıdır, çatallanma noktasında tekil olmayan bir seti garanti etmek için ek bir denklem kullanılmaktadır. Burada ρ ifadesini seçmek için ise birkaç seçenek bulunmaktadır. Yaygın olarak kullanılan sürekli denklemler dikey kesişme ve yerel parametrelendirmedir. Dikey kesişme ifadesi Denklem 12'de gösterilmiştir.

$$\rho(y, \mu) = \left| \begin{array}{c} \Delta y^{(i)T} \\ \Delta \mu^{(i)} \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} y - (y^{(i)} + \Delta y^{(i)}) \\ \mu - (\mu^{(i)} + \Delta \mu^{(i)}) \end{array} \right| = \left| \begin{array}{c} \Delta y^{(i)T} \\ \Delta \mu^{(i)} \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} y - \tilde{y}^{(i)} \\ \mu - \tilde{\mu}^{(i)} \end{array} \right| \quad (12)$$

Denklem 12'de, ρ ifadesi yerel parametre belirleme için, ya μ parametresi yada y_k değişkeni atanmış bir değer olmaya zorlanması gerekir. μ parametresi yada y_k değişkeni atanmış olması durumunda oluşan yeni durum Denklem 13 ve Denklem 14'de gösterilmiştir.

$$\rho(y, \mu) = \mu - \mu^{(i)} - \Delta \mu^{(i)} = \mu - \tilde{\mu}^{(i)} \quad (13)$$

$$\rho(y, \mu) = y_k - y_k^i - \Delta y_k^{(i)} = y_k - \tilde{y}_k^{(i)} \quad (14)$$

Sabitlenecek değişkenin seçimi, ψ çatallık manifolduna bağlıdır [14].

III. STATİK GERİLİM KARARLILIĞI

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 15 ve Denklem 16'da gösterilmiştir.

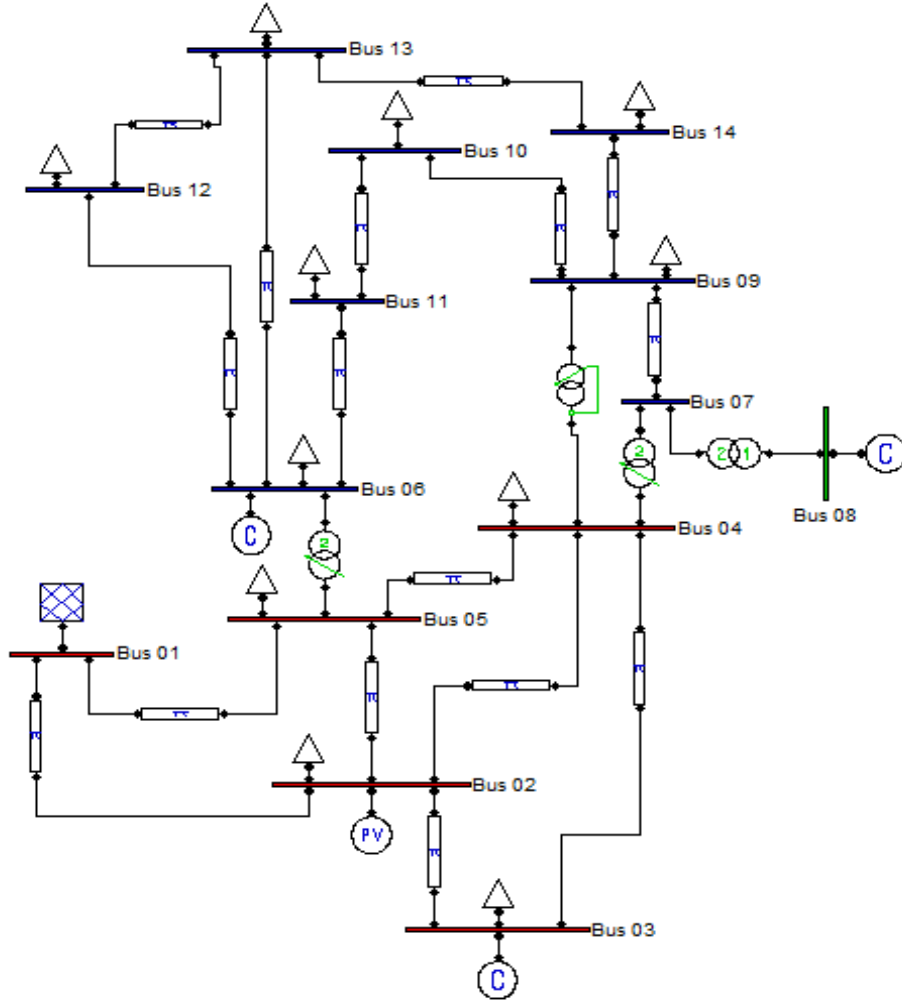
$$P_L = P_{L0}(1 + \lambda) \quad (15)$$

$$Q_L = Q_{L0}(1 + \lambda) \quad (16)$$

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 [15]. Sürekli yük akışında gerilim ve maksimum yüklenme parametresi arasındaki ilişkiden yararlanılmaktadır. Sürekli yük 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.

III. BENZETİM MODELİ

Yapılan çalışmada, IEEE 14 baralı güç sisteminde analiz edilmiştir. Bu analizde Güç Sistemleri Analizi Programı (PSAT) kullanılmıştır [16]. 14 baralı güç sisteminin devre modeli Şekil 2'de gösterilmiştir. IEEE 14 baralı güç sisteminde 1 numaralı bara salınım barası olarak kullanılırken, 2, 3, 6 ve 8 numaralı baralar generatör barası olarak kullanılmıştır. Diğer geri kalan 9 bara ise yük barası olarak kullanılmıştır.

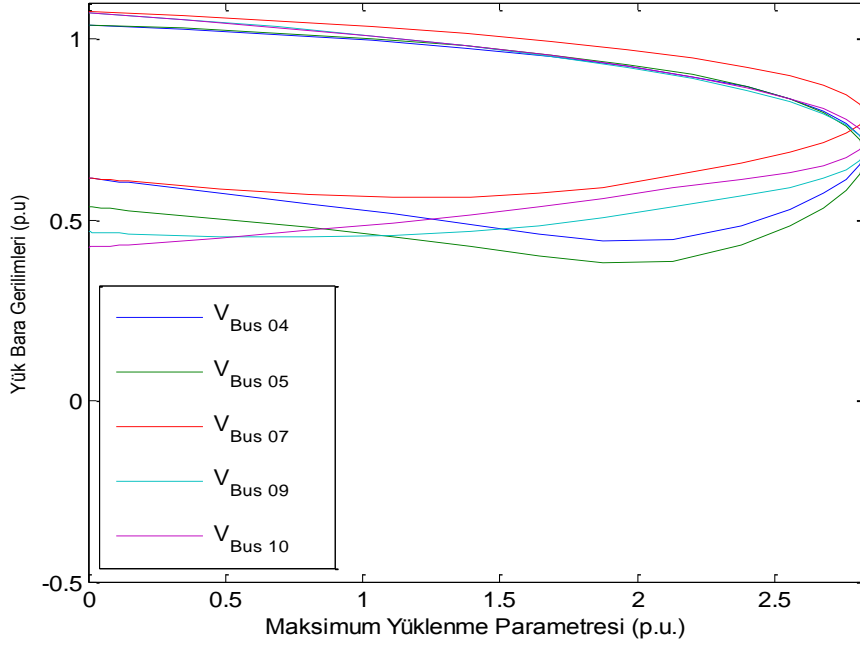


Şekil 2. 14 Baralı güç sistemi

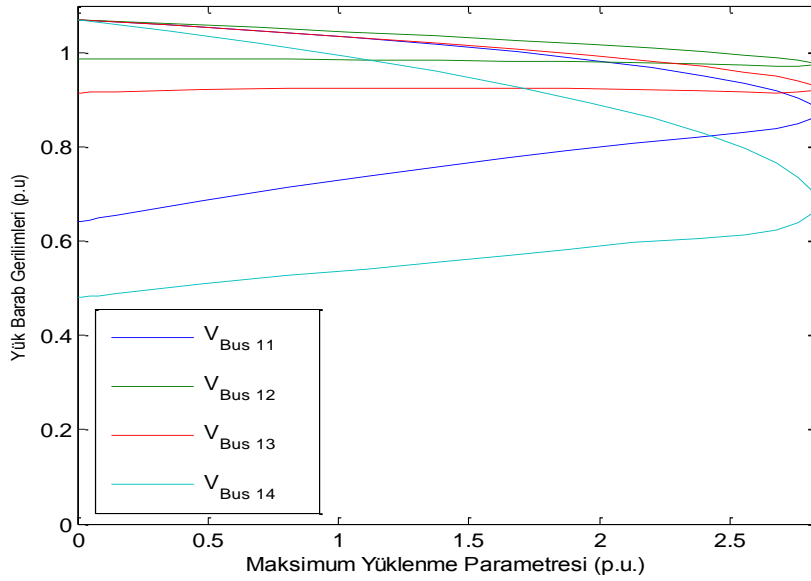
IEEE 14 baralı sistemin 5-6, 4-8 ve 4-9 iletim hatlarında gerilimi düşüren transformatörler kullanılmıştır. 5-6 ve 4-9 numaralı iletim hatları arasındaki transformatörlerde kademe değiştirme ve faz kaydırma işlemleri yapılmaktadır. 4-9 numaralı barada kullanılan kademe değiştirici transformatörde 2 farklı çalışma modu kullanılmıştır. Bunlar gerilim ve reaktif güç kontrol modelleridir. 2 ve 4 numaralı baralar arasında kesicinin açması sonucu oluşan kararsızlık durumu bu çalışmada incelenmiştir. 4-9 numaralı baralar arasında kullanılan kademe değiştirici transformatörde gerilim ve reaktif güç kontrol modellerinin kullanıldığı ve kullanılmadığı durumlarda sistemin gerilim-maksimum yüklenme parametre değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Ayrıca 3 analiz sonucundaki bara gerilim profilleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

IV. BENZETİM MODELİ SONUÇLARI

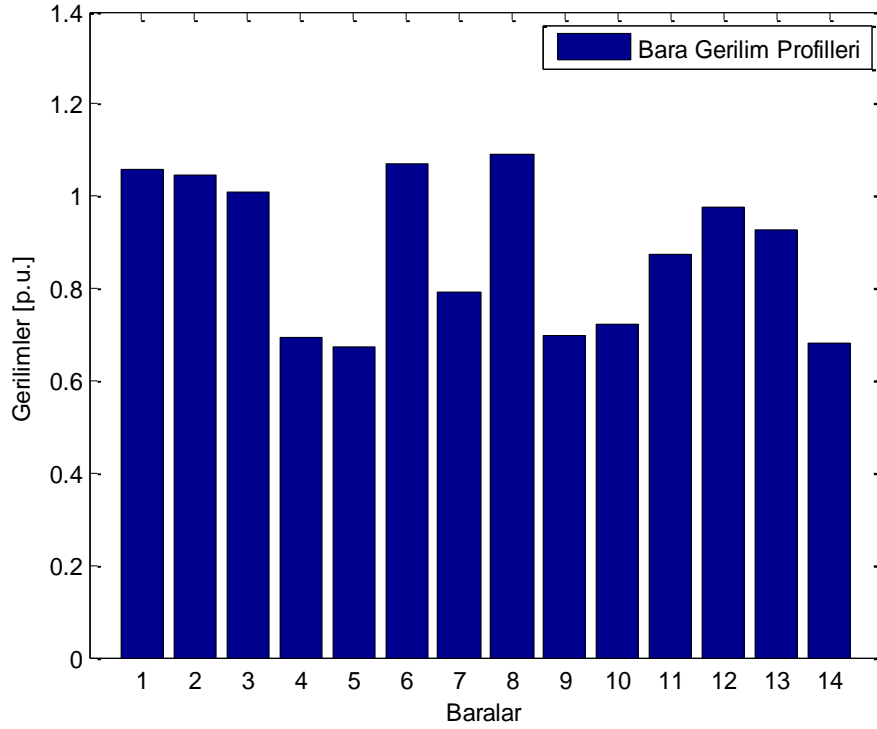
IEEE 14 baralı güç sisteminde 4-9 numaralı baralar arasında kullanılan transformatörde kademe değiştirici transformatör kullanılmıştır. Sürekli yük akışı analizi gerçekleştirilerek kademe değiştirici transformatör kullanılmadığı durumdaki yük baralarındaki maksimum yüklenme parametresi-gerilim ilişkisi şekil 3 ile şekil 4’ de verilirken, tüm bara gerilim profil değişimleri Şekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil 3. Sistemde kademe değiştirici transformatörün bağlı olmadığı durumdaki bara 4,5,7,9 ve 10 gerilim-maksimum yüklenme parametresi (2.8286)

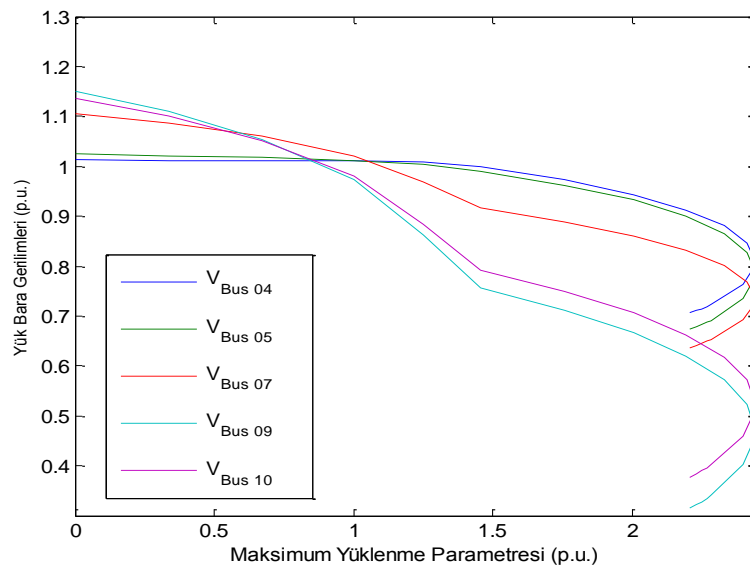


Şekil 4. Sistemde kademe değiştirici transformatörün bağlı olmadığı durumdaki bara 11,12,13 ve 14 gerilim-maksimum yüklenme parametresi (2.8286)

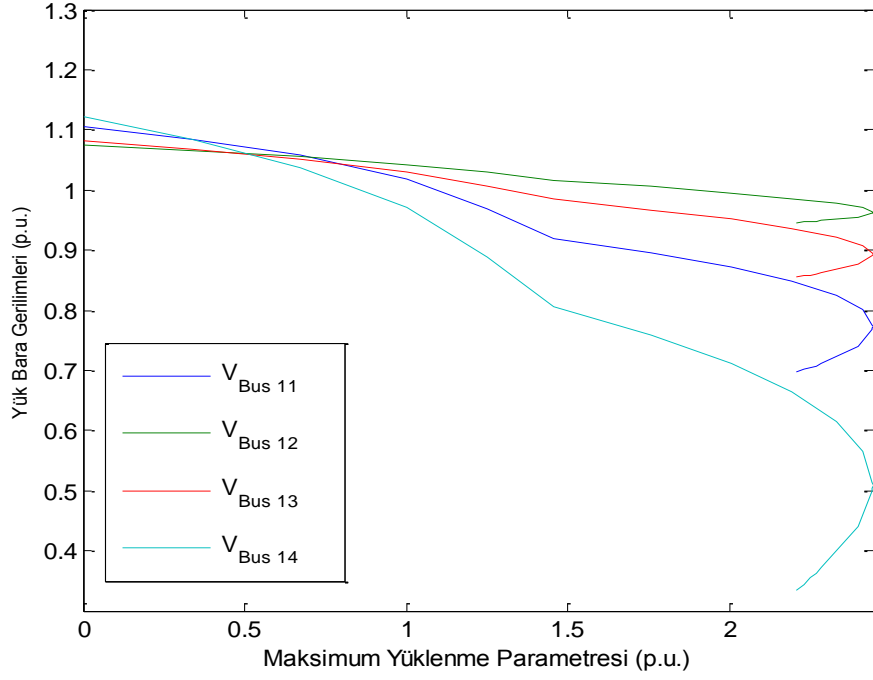


Şekil 5. Sistemde kademe değiştirici transformatörün bağlı olmadığı durumdaki tüm bara gerilim-profilleri

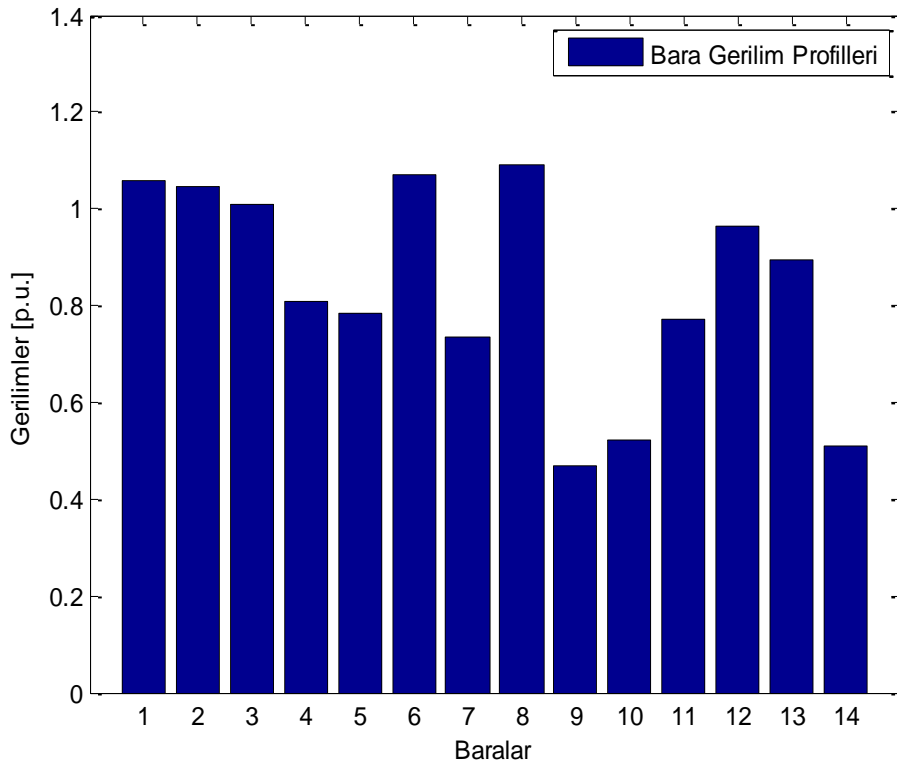
Oluşturulan ilk senaryolarda kademe değiştirici transformatör kullanılmadığı durumda sistemin maksimum yüklenme parametresi 2.8286 olmuştur. Tüm bara gerilim profillerinde en düşük gerilim değerine sahip 14 numaralı baradır. İkinci senaryoda 4-9 numaralı baralar arasında kullanılan transformatör kademe değiştirici transformatör ile değiştirilmiştir. Kademe değiştirici transformatör gerilim kontrol modelinde ayarlanmıştır. Yük baralarındaki maksimum yüklenme parametresi-gerilim ilişkisi Şekil 6 ile Şekil 7 arasında verilirken, kademe değiştirici transformatörde gerilim kontrol modelinin kullanılması ile elde edilen tüm bara gerilim profilleri Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 6. Sistemde kademe değiştirici transformatörün gerilim kontrol modelinde kullanıldığı durumdaki bara 4,5,7,9 ve 10 gerilim-maksimum yüklenme parametresi (2.4424)

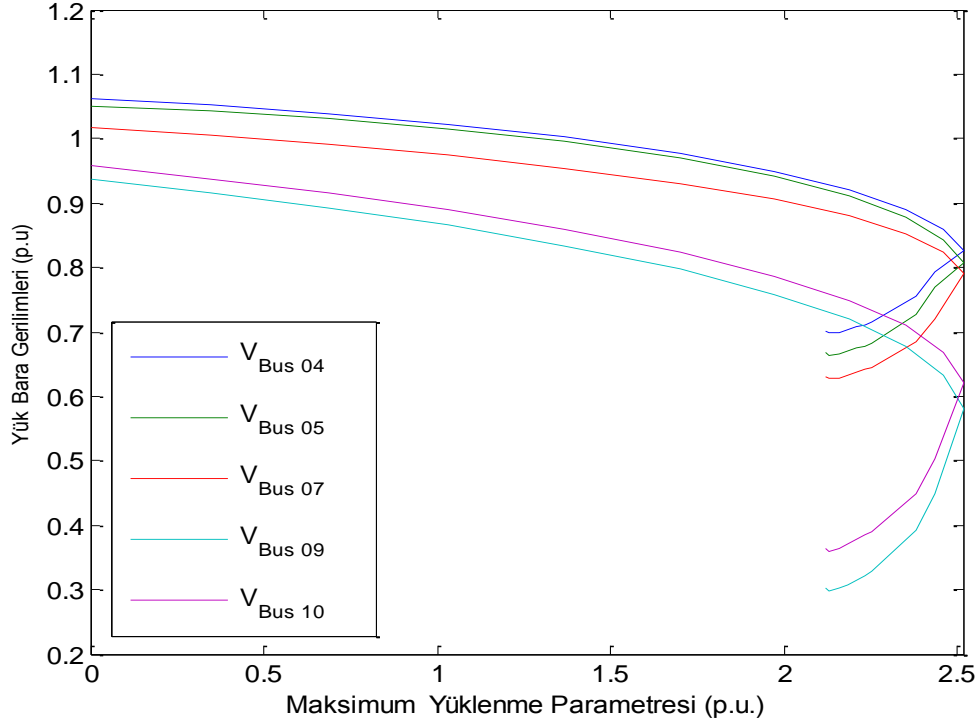


Şekil 7. Sistemde kademe değiştirici transformatörün gerilim kontrol modelinde kullanıldığı durumdaki bara 11,12,13 ve 14 gerilim-maksimum yükleme parametresi (2.4424)

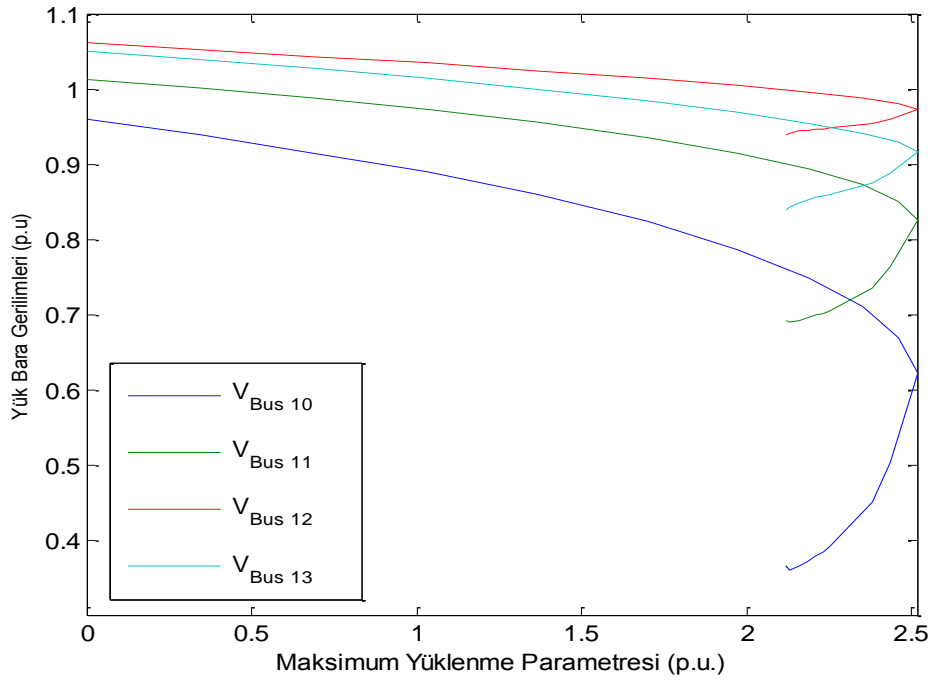


Şekil 8. Sistemde kademe değiştirici transformatörün gerilim kontrol modunda kullanıldığı durumdaki tüm bara gerilim-profilleri

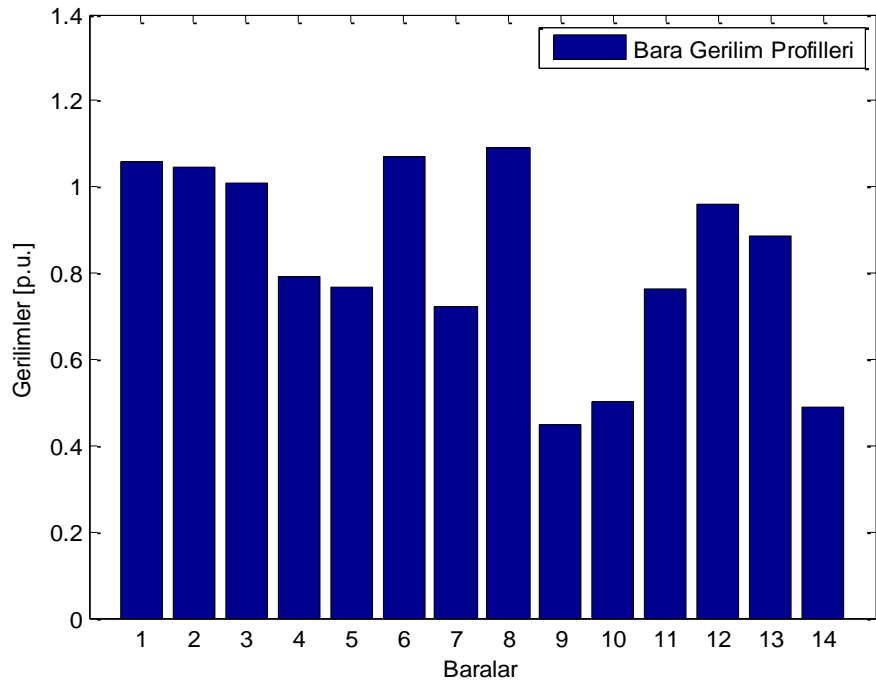
Oluşturulan ikinci senaryoda kademe değiştirici transformatörün gerilim kontrol modeli ile kullanıldığı durumda sistemin maksimum yüklenme parametresi 2.4424 olmuştur. Tüm bara gerilim profilleri incelendiğinde özellikle yük baralarında gerilim değerlerinin azaldığı görölmüştür. Son olarak oluşturulan üçüncü senaryoda 4-9 numaralı baralar arasında kullanılan transformatör kademe değiştiricisinde reaktif güç kontrol modeli kullanılmıştır. Yük baralarındaki maksimum yüklenme parametresi-gerilim ilişkisi Şekil 9 ile Şekil 10 arasında verilirken, kademe değiştirici transformatörde reaktif güç kontrol modelinin kullanılması ile elde edilen tüm bara gerilim profilleri Şekil 11’de gösterilmiştir.



Şekil 9. Sistemde kademe değiştirici transformatörün reaktif güç kontrol modelinde kullanıldığı durumdaki bara 4,5,7,9 ve 10 gerilim-maksimum yüklenme parametresi (2.517)



Şekil 10. Sistemde kademe değiştirici transformatörün reaktif güç kontrol modelinde kullanıldığı durumdaki bara 11,12,13 ve 14 gerilim-maksimum yükleme parametresi (2.517)



Şekil 11. Sistemde kademe değiştirici transformatörün reaktif güç kontrol modunda kullanıldığı durumdaki tüm bara gerilim-profilleri

Oluşturulan son senaryoda kademe değiştirici transformatörün reaktif güç kontrol modeli ile kullanıldığı durumda sistemin maksimum yüklenme parametresi değerinin 2.517 olduğu görölmüştür. generatör baraları ve salınım barası haricindeki diğer yük bara gerilim profilleri kademe değiştirici transformatör gerilim kontrol modeline göre nispeten daha az düşmüştür.

IV. SONUÇ

Yapılan bu çalışmada, IEEE 14 baralı güç sisteminde gerilim kararlılığı analizi için faz kaydırıcı transformatör yerine kademe değiştirici transformatör kullanılmıştır. 4-9 numaralı baralar arasına bağlanan kademe değiştirici transformatörde iki farklı çalışma modu kullanılmıştır. Gerilim ve reaktif güç kontrol modeline sahip olan kademe değiştirici transformatör vasıtasıyla sistemin yüklenme durumları incelenmiştir. Öncelikle sürekli yük akışı analizi ile sistemin maksimum yüklenme parametresi elde edilirken, daha sonra sırasıyla kademe değiştirici transformatör etkileri incelenmiştir. 3 analiz sonucunun karşılaştırılması kademe değiştirici transformatörün baraların çalışma limitlerini azalttığı görölmüştür. Yapılan bu çalışma sonucunda kademe değiştirici transformatör gerilim kontrol modelinde sistemin en düşük yüklenme parametre değerine sahip olduğu bulunmuştur. Nispeten kademe değiştirici transformatör reaktif güç kontrolü modeli yüklenme durumunu daha az etkilemektedir. Sistemde en yüksek maksimum yüklenme parametre değeri 2.8244 olurken, sistemdeki en düşük maksimum yüklenme parametre değeri 2.4424 olarak elde edilmiştir.

V. KAYNAKLAR

- [1] G.M. Huang, L. Zhao, and X. Song, "A New Bifurcation Analysis for Power System Dynamic Voltage Stability Studies," IEEE In Power Engineering Society Winter Meeting, New York, USA, 2002, pp. 882-887.
- [2] A. Öztürk, "Güç Sistemlerinde Gerilim Kararlılığının Genetik Algoritma İle İncelenmesi," Doktora Tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2007.
- [3] G. Andersson, P. Donalek, R. Farmer, N. Hatziaargyriou, I. Kamwa, P. Kundur, and R. Schulz, "Causes of the 2003 Major Grid Blackouts in North America and Europe, and Recommended Means to Improve System Dynamic Performance," *IEEE Transactions on Power Systems*, , vol. 20, no. 2-4, pp. 1922-1928, 2005.
- [4] B.H. Chowdhury, and C.W. Taylor, "Stability Analysis: VQ Power Flow Simulation Versus Dynamic Simulation," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 15, no. 4, pp. 1354-1359, 2000.
- [5] M.K. Döşoğlu, M. Dursun, G. Poyraz ve B. Küçük, "Investigation of Static Voltage Stability and Power Losses of ZIP Load Modeling in Power Systems," ICAT2018, Maribor, Slovenia, 2018, pp. 41-45.
- [6] M. K. Döşoğlu, M. Dursun, M. Özbay, G. Poyraz and B. Küçük "Effects on Static Voltage Stability of the Nonlinear Load Modelling in Power Systems," IMCOFE 2017, Rome, Italy, 2017, pp. 244-253.
- [7] M. K. Döşoğlu, S. Tosun, A. Öztürk, G. Poyraz "Faz Kaydırıcı Transformatörlerin Statik Gerilim Kararlılığı Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi," *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, c. 2, s. 3, ss. 43-52, 2013.
- [8] M. K. Döşoğlu, U. Güvenç, S. Duman, M. Dursun, "3 Sargılı Transformatörün Gerilim Kararlılığı Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi," 3. Anadolu Enerji Sempozyumu, Muğla, Türkiye, 2015, ss. 292-298.
- [9] L. Pereira, D. Kosterev, P. Mackin, D. Davies, J. Undrill and W. Zhu, "An Interim Dynamic Induction Motor Model for Stability Studies in The WSCC," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 17, no. 4, pp. 1108-1115, 2002.
- [10] M. A. Kamarposhti and H. Lesani, "Effects of STATCOM, TCSC, SSSC and UPFC on Static Voltage Stability," *Electrical Engineering*, vol. 93, no. 1, pp. 33-42, 2011.
- [11] A. Sode-Yome, N. Mithulananthan, and K. Y. Lee, "Static Voltage Stability Margin Enhancement Using STATCOM, TCSC and SSSC," In Transmission and Distribution Conference and Exhibition, Dalian, China, 2005, pp. 1-6.

- [12] A. Sode-Yome and N. Mithulananthan, "Comparison of Shunt Capacitor, SVC and STATCOM in Static Voltage Stability Margin Enhancement," *International Journal of Electrical Engineering Education*, vol. 41, no. 2, pp. 158-171, 2004.
- [13] M. Dogan, S. Tosun, A. Ozturk, and M.K. Dosoglu, "Investigation of TCSC and SSSC Controller Effects on the Power System," ELECO, Bursa, Türkiye, 2011, ss. 127-131.
- [14] F. Milano, *Power System Modelling and Scripting*, 1st ed., Berlin, Germany: Springer, 2010, pp. 275-277.
- [15] A. Kazemi and B. Badrzadeh, "Modeling and Simulation of SVC and TCSC to Study Their Limits on Maximum Loadability Point," *International Journal of Electrical Power Energy Systems*, vol. 26, no. 8, pp. 619-626, 2004.
- [16] F. Milano, "An Open Source Power System Analysis Toolbox," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 20, no. 3, pp. 1199-1206, 2005.