



Güç Sistemlerinde Gerilim Kararlılığını Etkileyen Faktörler

Ramazan BAYINDIR^{1,*}, Mehmet YEŞİLBUDAK², Ümüt ÇETİNKAYA³

¹*Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 06500, Ankara, Türkiye*

²*Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 50300, Nevşehir, Türkiye.*

³*Türkiye Elektrik İletim A.Ş., İletişim ve Bilgi Sistemleri Dairesi Başkanlığı, 06100, Ankara, Türkiye.*

Başvuru: 02/10/2015 Düzeltme: 17/11/2015 Kabul: 20/11/2015

ÖZET

Teknolojik gelişmeler sonucunda elektrik enerjisine olan talep her geçen gün artmaktadır. Arz-talep güvenliğinin sağlanabilmesi için üretim, iletim ve dağıtım sistemlerinde sürekli yeni yatırım ve yenilikler yapılmaktadır. Dolayısıyla, genişleyen elektrik şebekesinin güvenilir bir şekilde işletilmesi de önem arz etmektedir. Güç sisteminin kararlılığı; genellikle dengeli bir çalışma durumunda olması ve olası bozucu etkilerden sonra eski haline tekrar dönebilmesidir. Bu bağlamda, bir güç sisteminin gerilim kararlılığı sistemin güvenilirliği ve kontrolü için önemlidir. Bu çalışmada, DigSilent programı kullanılarak 6 baralı bir güç sisteminin gerçek şebeke parametreleri modellenmiş ve geliştirilen şebeke modeli kullanılarak aktif ve reaktif güç tüketimindeki artışların, hat uzunluğundaki değişimlerin ve transformatör kademelerinin şebeke gerilim kararlılığına etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak, gerilim kararlılığını bozucu etkenler arasında reaktif güç değişiminin en önemli unsur olduğu gözlenmiştir.

Keywords: Güç Sistemi, Gerilim Kararlılığı, Modelleme, DigSilent.

ABSTRACT

As a result of technological developments, the electricity demand is increasing day by day. New investments and innovations are consistently made on generation, transmission and distribution systems for the purpose of ensuring supply-demand security. So, it has more importance to operate the expanding grid reliably. Power system stability generally represents the stable work condition and the self-healing capability after the possible corruptive effects. In this context, the voltage stability of a power system is important for the system security and control. In this study, real grid parameters of a 6-busbar power system are modeled in the DigSilent program and the effects caused by increases in active and reactive power consumption, line length variations and transformer tapping on the voltage stability of the grid are investigated using the developed grid model. As a result, the reactive power variation is observed to be the most important factor among disruptive factors in voltage stability.

Keywords: Power System, Voltage Stability, Modelling, DigSilent.

*Corresponding author, e-mail: bayindir@gazi.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yüzyılda teknolojik yeniliklerle birlikte elektrik sistemleri sürekli gelişmekte ve geniş alanlara yayılmaktadır. Geleneksel güç sistemlerinde üretim daha çok fosil kaynaklı büyük santrallerden sağlanarak uzun mesafeli iletim hatlarıyla tüketiciye iletilmekteydi. Ancak, günümüzde yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının artması; dağıtık üretim, iletim ve dağıtım sistemlerinin yaygınlaşmasına ve yapılarında büyük değişimlere neden olmuştur [1]. Bunların yanı sıra, artan enerji talebi; güç sistemini kritik kararlılık seviyelerinde işletilmesine zorlamaktadır. Kararlılık sınırlarının azalması sebebiyle güç sisteminin gerilim kararlılığı büyük önem arz etmektedir. Gerilim kararlılığı, bir güç sistemindeki baraların gerilim genliklerini belirli işletme sınırları içinde tutabilme yeteneği olarak ifade edilebilir [2].

Genel olarak, bir güç sisteminin belirli bir noktadaki gerilim kararlılığı, gerilim değeri (V) ve reaktif güç (Q) dengesi ile ilgilidir. Bir güç sisteminin gerilimi pek çok farklı etkene sahip olabilir; örneğin reaktif güç dengesi ve gerilim değeri hem generatörlerde üretilen reaktif güce hem de iletim hatlarına ve kompanseörlere bağlıdır. Ayrıca, yük admitansının artması yükün artmasına neden olacağı için gerilim kararlılığı yük admitansına da bağlıdır [3]. Gerilim dengesizlikleri ise hem iletim hem de dağıtım sistemleri için en büyük problemlerden birisidir. Güç sisteminde talep edilen güç ile tüketilen güç dengeli değilse gerilim dengesizlikleri meydana gelebilir. Sistemdeki bir ya da daha fazla barada meydana gelebilecek yetersiz üretim veya fazla tüketim sistemdeki bazı noktalarda gerilimin düşmesine ya da gerilimin yükselmesine neden olabilmektedir. Sistemde meydana gelebilecek kesinti, arıza veya ani değişimlerde gerilimi etkilemektedir. Örneğin; bir üretim santralının devreden çıkması ya da bir kısa devre arızası gibi [4].

Gerilim kararlılık analizlerinde generatörlerin aktif ve reaktif güç karakteristikleri de büyük rol oynamaktadır. Generatörlerin aktif güç sınırları türbin yapısına veya kaynak türüne (termik, hidro, yenilenebilir vb.) bağlı olduğu düşünülebilir. Ancak, reaktif güç sınırları ise daha karmaşıktır. Bununla birlikte, iletim hatlarının uzunluğu ve iletken özellikleri de güç sisteminin gerilimini etkilemektedir. Havai iletim hatları kapasitif ve endüktif karakteristiklerine göre reaktif enerjiyi artırabilir ya da azaltabilir. Yer altı kablo hatları ise genellikle normal yüklerinin altında yüklenirler ve sahip oldukları yüksek kapasitif karakteristik nedeniyle genellikle reaktif güç üretirler, böylece bağlı oldukları baralarda ihtiyaç duyulan reaktif gücü karşılayarak gerilim kararsızlığı olasılığını azaltabilirler [5-6].

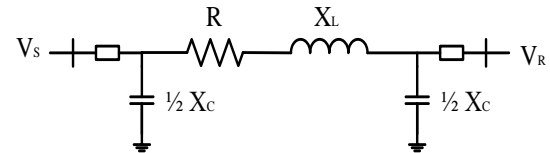
Bunlara ilaveten, artan elektrik enerjisi talebini güvenilir bir şekilde sağlamak için mevcut şebeke yapısının geliştirilmesine ve yeni iletim hattı tesislerine ihtiyaç duyulmaktadır. Çünkü, elektrik iletim sistemleri enterkonnekte güç sisteminin ana omurgasını oluşturmakta ve genellikle yüksek gerilim seviyesinde işletilmektedir [7-8]. Elektrik iletim sistemlerinin planlamasındaki asıl amaç; minimum maliyetle ihtiyaç duyulan şebeke güvenliğini sağlamaktır. Bu planlamada, artan talebe göre teknik ve ekonomik olarak uzun, orta ve kısa dönem şebeke analizleri yapılmaktadır [9].

Çoğunlukla, yük akış analizi, kısa devre analizi, harmonik ve fliker analizi, dinamik analiz, topraklama ve koruma-koordinasyon analizi yapılarak iletim tesislerinin işletme durumları belirlenmektedir [10-11].

Literatürde, STATCOM ve SVC gibi güç elektroniği tabanlı FACTS cihazlarının gerilim kararlılığına olan etkileri benzetim çalışmalarıyla incelenmiştir [12-14]. Faz kaydırıcı trafoların statik gerilim kararlılığı üzerindeki etkisi ve OLTC trafoların gerilimin kontrolündeki kullanılabilirliğini değerlendirilmiştir [15-16]. Bir iletim hattındaki seri kapasitörün devreye alınmasından önce ve sonra baralarda gerilim değişimleri analiz edilmiştir [17]. Güç sistemlerindeki gerilim çökmesi problemi çok katmanlı algılayıcı tabanlı yapay sinir ağlarıyla analiz edilmiştir [18]. Güç sistemlerinde gerilim bozulmalarını kompanze etmek için kullanılan yöntemler anlatılmıştır [19]. Rüzgâr ve güneş enerji santrallerinin güç sistemi üzerindeki gerilim kararlılığına olan etkilerini incelemiştir [20-21]. Matlab ve DigSilent programları kullanılarak gerilim çökmesi problemleri farklı senaryolara göre karşılaştırılmıştır [22]. Bu çalışmada ise, güç sisteminde meydana gelecek aktif güç ve reaktif güç değişimlerinin, iletim hattı uzunlukları ve seri kapasitör uygulamalarının, trafo kademelerinin gerilimi kararlılığı üzerindeki etkileri incelenmiştir. DigSilent programında gerçek şebeke parametrelerinin modellenmesi sonucunda etkin karşılaştırmalar yapılmıştır.

2. GÜÇ SİSTEMLERİNİN MATEMATİKSEL YAPISI (MATHEMATICAL STRUCTURE OF POWER SYSTEMS)

Güç sistemlerinde iletim hatlarının temel görevi üretilen elektriğin tüketiciye iletilmesidir. İki bara arasındaki bir elektrik iletim hattının eşdeğer devresi Şekil 1'de verilmiştir [23, 24]. Bu şekilde V_s kaynak uç gerilimini, R direnci, X_L endüktif reaktansı, X_C kapasitif reaktansı ve V_R alıcı uç gerilimini temsil etmektedir. Bu elektrik iletim hattına ait empedans ve aktif-reaktif güç ilişkileri ise Eşitlik (1), (2) ve (3)'de verilmiştir [23, 24]. Bu eşitliklerde Z toplam empedansı, P aktif gücü, Q reaktif gücü, δ kaynak ve alıcı uç gerilimleri arasındaki faz açısını temsil etmektedir.



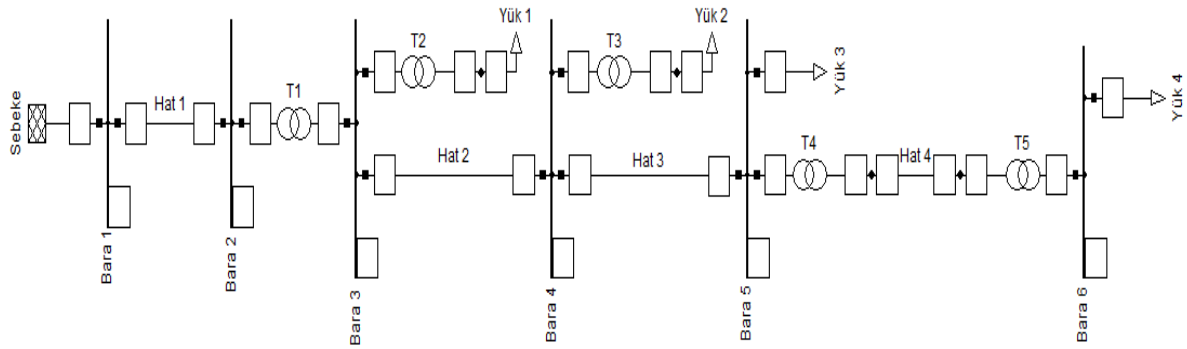
Şekil 1. İki bara arasındaki bir elektrik iletim hattının eşdeğer devresi

$$Z = R + jX_L \quad (1)$$

$$P = \frac{V_s \times V_R}{Z} \times \sin \delta \quad (2)$$

$$Q = \frac{V_s \times (V_s - V_r \times \cos \delta)}{Z} \quad (3)$$

İletim hatlarının tesisinde kullanılan iletken malzemesi, hattın uzunluğu ve topolojisi güç sistemini etkilemektedir. Gerileme bağımlı ürettiği reaktif güç X_C karakteristiğine, akıma bağımlı tükettiği reaktif güç X_L karakteristiğine bağlıdır. İletim hattı normal yükün altında yüklendiğinde kapasitif, üstünde yüklendiğinde endüktif davranmaktadır. Eşitliklere göre iki bara arasındaki aktif-reaktif güç akışı ve yönü belirlenebilir. İletim hattının uzunluğu ve yapısı aktif ve reaktif güç taşıma kapasitesini etkilemektedir. Aynı zamanda, aktif



Şekil 2. DigSilent programında modellenen şebekenin tek hat diyagramı

4. BENZETİM ÇALIŞMALARI (SIMULATION STUDIES)

Bu bölümde, bir güç sisteminde gerilim kararlılığını etkileyen bir takım faktörlerin DigSilent programıyla benzetim sonuçları incelenmiştir. İlk olarak, şebekenin normal durumu belirlenmiştir. Daha sonra, normal şebeke durumu göz önünde bulundurularak şebeke üzerinde yapılan değişikliklerle farklı durum çalışmaları yapılandırılmıştır. Durum Çalışması-1'de tüketici tarafındaki aktif güç artışının; Durum Çalışması-2'de ise tüketici tarafındaki reaktif güç artışının bara gerilimlerine olan etkisi incelenmiştir. Durum Çalışması-3'te iletim hattı uzunluklarının etkileri ve seri kapasitör uygulaması gösterilmiştir. Son olarak, Durum Çalışması-4'te trafo kademelerinin gerilim kontrolündeki etkisi değerlendirilmiştir. Ayrıca, söz konusu durum çalışmaları arasında pek çok karşılaştırma yapılmıştır. Yapılan analizlerde baralardaki gerilim değerleri per-unit (pu) olarak gösterilmiştir.

4.1. Durum Çalışması-1: Aktif Güç Tüketimindeki Artış (Case Study-1: Increase in Active Power Consumption)

Normal şebeke durumunda Bara 6, 34,5 kV gerilim seviyesinde ve 10 MW'lık bir yük bulunmaktadır. Sadece aktif güç etkisinin belirlenmesi için Yük 4'ün aktif gücü artırılmış, reaktif gücü sabit kabul edilmiştir. Tablo 1'de artan aktif güç değerlerine göre bara gerilimlerinin değişimleri per-unit olarak görülmektedir. Şekil 3'te ise

ve reaktif güç miktarındaki değişimler baralardaki gerilim değerlerinde ve faz açılarında değişime neden olmaktadır.

3. TEK HAT DİYAGRAMI (SINGLE-LINE DIAGRAM)

Bu bölümde, mevcut elektrik iletim sisteminin bir bölümü ele alınmıştır. Oluşturulan güç sistemindeki işletme gerilimi 380 kV ile 34,5 kV arasındadır. Modellenen sistemde 380 kV dış şebeke bağlantıları harici şebeke olarak tanımlanmıştır. Güç sistemi 6 adet bara, 5 adet trafo ve 4 adet iletim hattından oluşmaktadır. DigSilent programında oluşturulan tek hat diyagramı Şekil 2'de verilmiştir. Elektrik iletim hatları fiziki yapısı havai olmak üzere, kullanılan iletken kesitleri 477 MCM, 795 MCM ve 1272 MCM'dir.

aktif güç-gerilim eğrisi bulunmaktadır. Aktif güç tüketimindeki artışın baralarda gerilimin düşmesine neden olduğu görülmektedir. Güç sisteminde bir tek noktadaki aktif güç tüketiminin artışı tüm sistemin gerilim profilini değiştirmektedir. Özellikle, tüketimin artmış olduğu baranın gerilimi daha çok etkilenmektedir. Tablo 2'de aktif güç artışı sonucunda hatlardaki yüklenme kapasiteleri, Şekil 4'de ise değişim eğrileri görülmektedir. Örneğin; aktif gücün 50 MW olduğu durumda Hat 2'nin yüklenme kapasitesi yaklaşık % 7 artmıştır. Aktif güç tüketiminin artışı hatların yüklenme kapasitelerini artırmıştır. Ayrıca, aktif gücün 10 MW ve 50 MW olduğu durumlar için simülasyon sonuçlarına göre hesaplamalar yapılmıştır. Bara 5 ve Bara 6 arasındaki aktif güç transferini incelediğimizde iletilen aktif güç ve Hat 4'ün yüklenme kapasitesinin sonuçları görülmektedir.

Aktif gücün 10 MW olduğu durum için;

$$P = \frac{0,9878 \text{ pu} \times 0,9723 \text{ pu} \times \sin 2,08}{0,345 \text{ pu}} = 0,101 \text{ pu} = 10,1 \text{ MW} \quad (4)$$

$$\text{Yüklenme oranı} = \frac{10,34 \text{ MVA}}{180 \text{ MVA}} \times 100 = \% 5,74 \quad (5)$$

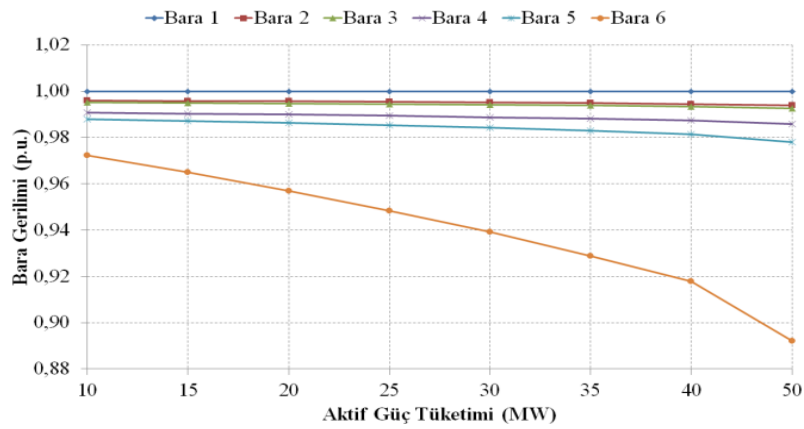
Aktif gücün 50 MW olduğu durum için;

$$P = \frac{0,9779 \text{ pu} \times 0,8922 \text{ pu} \times \sin 11,5}{0,345 \text{ pu}} = 0,504 \text{ pu} = 50,4 \text{ MW} \quad (6)$$

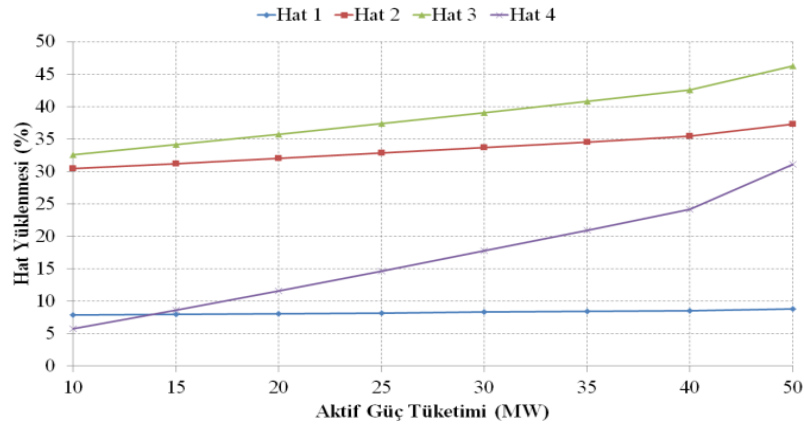
$$\text{Yüklenme oranı} = \frac{60,22\text{MVA}}{180\text{MVA}} \times 100 = \% 33,45 \quad (7)$$

Tablo 1. Durum Çalışması-1'e ait aktif güç ve gerilim değerleri

| Bara Nu. | 10 MW | 15 MW | 20 MW | 25 MW | 30 MW | 35 MW | 40 MW | 50 MW |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Bara 1 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| Bara 2 | 0,9960 | 0,9958 | 0,9956 | 0,9954 | 0,9951 | 0,9949 | 0,9945 | 0,9938 |
| Bara 3 | 0,9952 | 0,9950 | 0,9948 | 0,9945 | 0,9942 | 0,9939 | 0,9935 | 0,9925 |
| Bara 4 | 0,9907 | 0,9903 | 0,9899 | 0,9894 | 0,9888 | 0,9882 | 0,9875 | 0,9859 |
| Bara 5 | 0,9878 | 0,9871 | 0,9863 | 0,9854 | 0,9843 | 0,9830 | 0,9815 | 0,9779 |
| Bara 6 | 0,9723 | 0,9650 | 0,9570 | 0,9484 | 0,9391 | 0,9289 | 0,9178 | 0,8922 |

**Şekil 3.** Durum Çalışması-1'e ait aktif güç-gerilim eğrisi**Tablo 2.** Durum Çalışması-1'de hatların yüklenme değerleri

| Hat Nu. | 10 MW | 15 MW | 20 MW | 25 MW | 30 MW | 35 MW | 40 MW | 50 MW |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Hat 1 | 7,87 | 7,98 | 8,09 | 8,20 | 8,32 | 8,43 | 8,55 | 8,81 |
| Hat 2 | 30,44 | 31,23 | 32,04 | 32,87 | 33,71 | 34,57 | 35,46 | 37,32 |
| Hat 3 | 32,59 | 34,17 | 35,78 | 37,42 | 39,09 | 40,81 | 42,58 | 46,29 |
| Hat 4 | 5,74 | 8,66 | 11,62 | 14,66 | 17,76 | 20,94 | 24,22 | 31,22 |

**Şekil 4.** Durum Çalışması-1'e ait hat yüklenmeleri

4.2. Durum Çalışması-2: Reaktif Güç Tüketimindeki Artış (Case Study-2: Increase in Reactive Power Consumption)

Bu durum çalışmasında Bara 6'daki reaktif güç tüketimi artırılmış ve bara gerilimlerinin değişimi incelenmiştir. Sadece reaktif güç etkisinin belirlenmesi için aktif güç sabit kabul edilmiştir. Tablo 3'de artan reaktif güç değerlerine göre bara gerilimleri görülmektedir. Şekil 5'te ise reaktif güç-gerilim eğrisini bulunmaktadır. Reaktif güç tüketimindeki artışın baralarda gerilimin düşmesine neden olduğu görülmektedir. Özellikle, reaktif güç tüketiminin fazla olduğu baranın gerilimi daha çok etkilenmektedir. Durum Çalışması 2'de gerilim seviyeleri daha düşüktür. Örnek olarak, Bara 6'nın bara gerilimi aktif gücünün 50 MW olduğu durumda 0,89 pu iken 50 MVar olduğu durumda 0,65 pu olmuştur. Dolayısıyla, reaktif güç değişimi sistemin gerilim kararlılığını daha

çok etkilemektedir. Ayrıca reaktif gücün 10 MVar ve 50 MVar olduğu durumlar için simülasyon sonuçlarına göre hesaplamalar yapılmıştır. Bara 5 ve Bara 6 arasındaki reaktif güç transferini incelediğimizde iletilen reaktif güç değerlerinin talep edilen reaktif güç değerinden fazla olduğu görülmektedir. Bunun nedeni; reaktif güç bileşenin artması iletim hattındaki kapasitif reaktans kayıplarını artırmaktadır.

Reaktif gücün 10 MVar olduğu durum için;

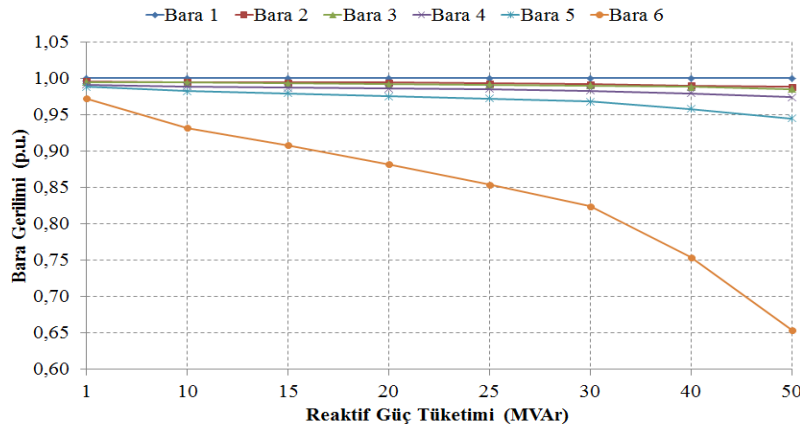
$$Q = \frac{0,982 \text{ pu} \times (0,982 \text{ pu} - 0,932 \text{ pu} \times \cos 1,56)}{0,345 \text{ pu}} = 0,143 \text{ pu} = 14,3 \text{ MVar} \quad (8)$$

Reaktif gücün 50 MVar olduğu durumda için;

$$Q = \frac{0,945 \text{ pu} \times (0,945 \text{ pu} - 0,654 \text{ pu} \times \cos 1,78)}{0,345 \text{ pu}} = 0,797 \text{ pu} = 79,7 \text{ MVar} \quad (9)$$

Tablo 3. Durum Çalışması-2'e ait reaktif güç ve gerilim değerleri

| Bara Nu. | 1 MVar | 10 MVar | 15 MVar | 20 MVar | 25 MVar | 30 MVar | 40 MVar | 50 MVar |
|----------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Bara 1 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| Bara 2 | 0,996 | 0,995 | 0,994 | 0,994 | 0,993 | 0,992 | 0,990 | 0,988 |
| Bara 3 | 0,995 | 0,994 | 0,993 | 0,992 | 0,991 | 0,990 | 0,988 | 0,985 |
| Bara 4 | 0,991 | 0,989 | 0,987 | 0,986 | 0,985 | 0,983 | 0,979 | 0,974 |
| Bara 5 | 0,988 | 0,982 | 0,979 | 0,975 | 0,972 | 0,968 | 0,958 | 0,945 |
| Bara 6 | 0,972 | 0,932 | 0,908 | 0,882 | 0,854 | 0,824 | 0,754 | 0,654 |



Şekil 5. Durum Çalışması-2'ye ait reaktif güç-gerilim eğrisi

4.3. Durum Çalışması-3: Hat Uzunluklarının Etkisi ve Seri Kapasitör Uygulaması (Case Study-3: Effects of Line Length and Series Capacitor Application)

Bu durum çalışmasında, iletim hattı uzunluklarının etkisini incelemek amacıyla Hat 1'in uzunluğu yüzdelik oranlarla artırılarak bara gerilimleri ve hat yüklenmeleri incelenmiştir. Enerji iletim hatlarında, hattın fiziki yapısına bağlı olarak oluşan kapasitif enerjinin sebep olduğu hat başı ve hat sonu gerilim değişikliğinin önlenmesi için transpozisyon işlemi yapılmaktadır. Transpozisyon işlemi; uzunluğa bağlı olarak iletim hattı boyunca hattın belirli bölümlerinde fazların birbiri ile yer

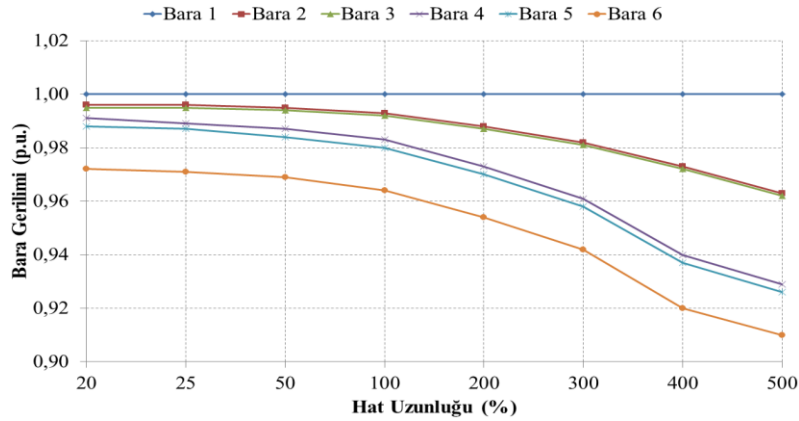
değiştirilmesidir. Ancak bu çalışmada transpozisyon dikkate alınmamıştır. Tablo 4'de baralardaki gerilim değerleri, Şekil 6'te ise gerilim değişimleri görülmektedir. İletim hattı uzunluğunun artması sonucunda bara gerilimlerinin düştüğü ve güç sisteminin genel gerilim profilini etkilediği görülmektedir. Ayrıca, iletim hattı uzunluklarının artması hatların endüktif reaktansının artmasına neden olduğu için hatların yüklenme kapasiteleri de değişmektedir. Tablo 5'te hatların yüklenme değerleri ve Şekil 7'te ise yüklenme değişimleri görülmektedir. Bu durum çalışmasında, son olarak, uzun iletim hatlarında hattın empedansını düşürmek amacıyla kullanılan seri kapasitör

uygulamalarının etkileri incelenmiştir. Hat 1 için maksimum uzunluğun olduğu durum baz alınarak, hattın iki farklı noktasına seri kapasitör eklenmiş ve bara gerilimleri değerlendirilmiştir. I,II ve III durumlarında

seri kapasitörün kondansatör değeri artırılmaktadır. Tablo 6'da baralardaki gerilim değerleri ve Şekil 8'de ise gerilim değişimleri görülmektedir. Seri kapasitör uygulamasının bara gerilimlerini arttırdığı gözlemlenmiştir.

Tablo 4. Durum Çalışması-3'e ait hat uzunluklarının değişimi oranı ve gerilim değerleri

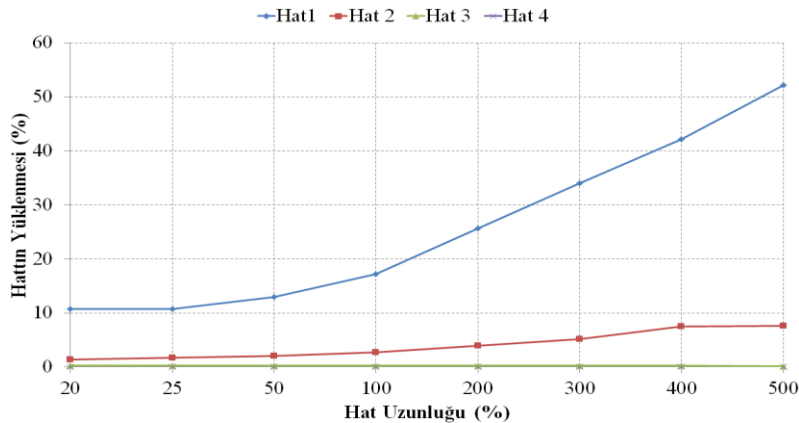
| Bara Nu. | %20 | %25 | %50 | %100 | %200 | %300 | %400 | %500 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Bara 1 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| Bara 2 | 0,996 | 0,996 | 0,995 | 0,993 | 0,988 | 0,982 | 0,973 | 0,963 |
| Bara 3 | 0,995 | 0,995 | 0,994 | 0,992 | 0,987 | 0,981 | 0,972 | 0,962 |
| Bara 4 | 0,991 | 0,989 | 0,987 | 0,983 | 0,973 | 0,961 | 0,940 | 0,929 |
| Bara 5 | 0,988 | 0,987 | 0,984 | 0,980 | 0,970 | 0,958 | 0,937 | 0,926 |
| Bara 6 | 0,972 | 0,971 | 0,969 | 0,964 | 0,954 | 0,942 | 0,920 | 0,910 |



Şekil 6. Durum Çalışması-3'e ait hat uzunluğu-gerilim eğrisi

Tablo 5. Durum Çalışması-3'deki hatların yüklenme değerleri

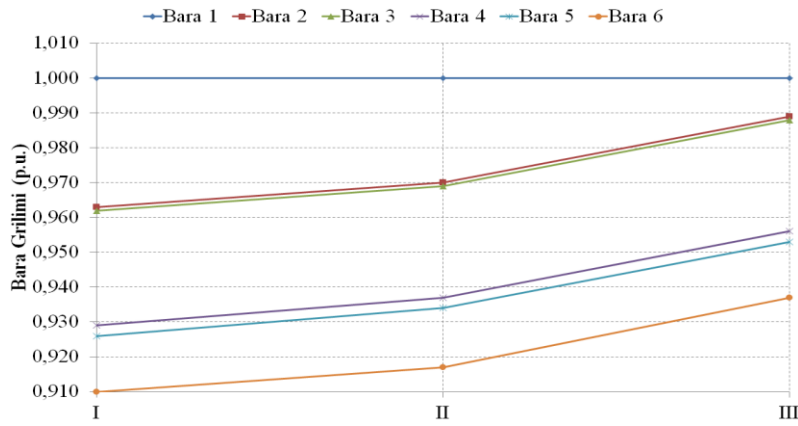
| Hat Nu. | %20 | %25 | %50 | %100 | %200 | %300 | %400 | %500 |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Hat1 | 10,786 | 10,786 | 12,930 | 17,205 | 25,682 | 34,039 | 42,178 | 52,21 |
| Hat 2 | 1,356 | 1,693 | 2,025 | 2,682 | 3,962 | 5,189 | 7,545 | 7,59 |
| Hat 3 | 0,244 | 0,243 | 0,242 | 0,240 | 0,235 | 0,229 | 0,219 | 0,21 |
| Hat 4 | 0,023 | 0,023 | 0,023 | 0,022 | 0,022 | 0,021 | 0,021 | 0,02 |



Şekil 7. Durum Çalışması-3'e ait hatların yüklenmeleri

Tablo 6. Seri kapasitörün bara gerilimlerine etkisi

| Bara Nu. | I | II | III |
|----------|-------|-------|-------|
| Bara 1 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| Bara 2 | 0,963 | 0,970 | 0,989 |
| Bara 3 | 0,962 | 0,969 | 0,988 |
| Bara 4 | 0,929 | 0,937 | 0,956 |
| Bara 5 | 0,926 | 0,934 | 0,953 |
| Bara 6 | 0,910 | 0,917 | 0,937 |

**Şekil 8.** Seri kapasitörün bara gerilimlerine etkisi

4.4. Durum Çalışması-4: Trafo Kademelerinin Etkisi (Case Study-4: Effects of Transformer Tapping)

Bu durum çalışmasında, trafo kademelerinin gerilim kontrolündeki etkisi incelemek amacıyla T1, T4 ve T5 trafolarının gerilim kademeleri ayrı ayrı değiştirilerek (kademe pozisyonları I ve II olarak tanımlanmıştır) bara gerilimleri gözlemlenmiştir. Bu çalışma için aktif tüketimin maksimum olduğu durum referans kabul edilmiştir. Tablo 7’de gerilim kademeleri değiştirilen trafoların diğer bara gerilimlerinde neden olduğu değişiklikleri göstermektedir. T5 ve T4 trafolarına bakıldığında, tüketim bölgesinde yapılan kademe değişikliği ile gerilimi kontrolü yapılabileceği görülmektedir. Ancak, iletim seviyesinde yapılan kademe değişikliğinin şebeke üzerindeki etkisi daha büyüktür.

Tablo 7. Trafo kademelerinin bara gerilimine etkisi

| Bara Nu. | 50 MW | T5 | | T4 | | T1 | |
|----------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | I | II | I | II | I | II |
| Bara 1 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| Bara 2 | 0,9938 | 0,994 | 0,994 | 0,994 | 0,994 | 0,994 | 0,995 |
| Bara 3 | 0,9925 | 0,993 | 0,993 | 0,993 | 0,993 | 1,045 | 1,102 |
| Bara 4 | 0,9859 | 0,986 | 0,986 | 0,986 | 0,986 | 1,038 | 1,096 |
| Bara 5 | 0,9779 | 0,978 | 0,978 | 0,979 | 0,979 | 1,032 | 1,090 |
| Bara 6 | 0,8922 | 0,939 | 0,990 | 0,951 | 1,015 | 0,954 | 1,019 |

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER (CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS)

Bu çalışmada, mevcut bir güç sistemindeki iletim ve dağıtım şebekesinin DigSilent programında modellenmesi yapılmış ve şebeke gerilimini etkileyen farklı durum çalışmaları incelenmiştir. Yapılan durum analizlerinde, öncelikle, gerilim kararlılığını etkileyen aktif-reaktif güç artışları ve iletim hattı uzunluklarının etkileri değerlendirilmiştir. Sonrasında, uzun iletim hatlarında kullanılan seri kapasitörlerinin etkisi ve transformatör kademelerinin etkisi incelenmiştir.

Yapılan durum analizleri sonucunda; güç sisteminde tüketici seviyesinde aktif ve reaktif güç artışının gerilim seviyelerini düşürdüğü görülmüştür. Özellikle, reaktif güç artışının sistemi daha çok etkilediği düşünülmektedir. Diğer taraftan, iletim hattı uzunluklarının artması endüktif artışa neden olduğu için hem kayıpların artmasına hem de gerilimin düşmesine neden olduğu görülmüştür. Ancak, uzun iletim hatlarında seri kapasitör kullanılması ya da hat üzerinde transpozisyon yapılmasıyla bu problem önenebilmektedir. Ayrıca, transformatör kademelerinin gerilim kontrolünde etkin bir şekilde kullanılabileceği ve özellikle, yapılan çalışmanın lisans eğitimi derslerinde yardımcı ders materyali olarak kullanılabileceği öngörülmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Y. Ates, M. Uzunoglu, A. Karakas and A.R. Boynuegri, “The case study based protection analysis

- for smart distribution grids including distributed generation units”, 12th IET Conference on Developments in Power System Protection, pp. 1-5, 31 March-3 April 2014, Copenhagen.
- [2] A. Çiftçi, A.T. Hocaoğlu, Y. Uyaroğlu ve M.A. Yalçın, “Enerji fonksiyonu analizi ile gerilim kararlılığı incelemesi”, 4. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, 12-13 Mayıs 2011, Kocaeli, Türkiye.
- [3] B. Brusilowicz and J. Szafran, “Estimation, control and prediction of voltage level and stability at receiving node”, IEEE Eindhoven PowerTech, pp 1-6, 29 June-2 July 2015, Netherlands.
- [4] M.M. Aly and M. Abdel-Akher, “Voltage stability assessment for radial distribution power system with wind power penetration”, IEEE IET Conference on Renewable Power Generation, pp. 1-6, 6-8 September 2011, Edinburgh.
- [5] I.O. Akwukwaegbu and O.G. Ibe, “Concepts of reactive power control and voltage stability methods in power system network”, IOSR Journal of Computer Engineering, vol. 11, pp. 15-25, May-June 2013.
- [6] M.B. Keskin, “Continuation power flow and voltage stability in power systems”, Middle East Technical University, Master Thesis, 2007.
- [7] T.S. Kishore and S.K. Singal, “Optimal economic planning of power transmission lines: A review”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 39, pp. 949-974, November 2014.
- [8] Y. Huang, “Electricity distribution network planning considering distributed generation”, KTH School of Electrical Engineering, MSc Thesis, 2014.
- [9] G.A. Orfanos, P.S. Georgilakis and N.D. Hatziargyriou, “Transmission expansion planning of systems with increasing wind power integration”, IEEE Transactions on Power Systems, vol.28, no.2, pp.1355-1362, May 2013.
- [10] H.B. Çetinkaya and F. Dumlu, “Possible problems that may arise due to grid integration of dispersed generation and their grid integration analyses”, Smart Grids and Future of Turkey's Electric Grid Symposium, 26-27 April 2013, Ankara, Turkey.
- [11] IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems, IEEE Std 1547, 2003.
- [12] F. Li, J. Song and M. Wang, “A study on Statcom for voltage stability of wind power system”, IEEE International Conference on Mechatronic Science, Electric Engineering and Computer, 19-22 August, 2011, Jilin, China.
- [13] T.E. Gümüş ve M.A. Yalçın, “Facts cihazlarının gerilim kararlılığına etkisinin incelenmesi”, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 17, Sayı 2, Sayfa 161-166, 2013.
- [14] M.M. Ertay ve Z. Aydoğmuş, “Statcom ile bir enerji iletim sisteminde gerilim kontrolü”, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, syf. 91-105, sayı 21, Nisan 2010.
- [15] M.K. Döşoğlu, S. Tosun, A. Öztürk ve G. Poyraz “Faz kaydırıcı transformatörlerin statik gerilimkararlılığı üzerindeki etkilerinin incelenmesi”, İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, Cilt 2, Sayı 3, Sayfa 43-52, 2013.
- [16] C. Goa and M.A. Redfern, “A review of voltage control techniques of networks with distributed generations using on-load tap changer transformers”, IEEE 45th International Power Engineering Conference, pp. 1-6, 31 August-3 September 2010, Cardiff, Wales.
- [17] F. Aydın, Y. Uyaroğlu ve M.A. Yalçın, “ Enerji iletim sistemlerinde seri kapasitörlerin gerilim kararlılığı açısından sistem büyümelerine etkileri”, 3. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, 21-22 Mayıs 2009, Kocaeli, Türkiye.
- [18] T. Yalçınöz, H. Altun ve H. Karadal, “Farklı topolojiye sahip MLP yapay sinir ağları ile enerji sistemlerinde gerilim kararlılığı analizi”, Uluslararası Yapay Zeka ve Yapay Sinir Ağları Türk Sempozyumu, pp. 547-554, 10-11 Haziran 2004, İzmir, Türkiye.
- [19] Ö. Gencer, S. Öztürk, E.M. Yeğin ve K. Karaarslan, “Gerilim düşümü kompanze yöntemleri”, 1. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, 17-18 Mayıs 2005, Kocaeli, Türkiye.
- [20] D. Deveraj and R.Jeevajyothi, “Impact of wind turbine systems on power system voltage stability”, IEEE International Conference on Computer, Communication and Electrical Technology, pp. 411-416, 18-19 March 2011, Tamilnadu.
- [21] R. Shah, N. Mithulananthan, R.C. Bansal, K.Y. Lee and A. Lomi, “Power system voltage stability as affected by large-scale PV penetration”, IEEE International Conference on Electrical Engineering and Informatics, pp. 1-6, 17-19 July 2011, Bandung, Indonesia.
- [22] İ. Elma ve O. Yılmaz “Güneydoğu Anadolu bölgesi gerilim çökme problemlerinin değerlendirilmesi”, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, 29 Kasım - 01 Aralık 2012, Bursa, Türkiye.
- [23] J.H. Gridley, Principals of Electrical Transmission Lines in Power and Communication, Pergamon Press, London, England, 1967.
- [24] R.H. Miller and J.H. Malinowski, Power System Operation, McGraw Hill Inc., New York, USA, 1993.