

# ENERJİ İLETİM SİSTEMLERİNDE SERİ KAPASİTÖRLERİN GERİLİM KARARLILIĞI AÇISINDAN SİSTEM BÜYÜMELERİNE ETKİLERİ

Faruk AYDIN<sup>1</sup> Yılmaz UYAROĞLU<sup>2</sup> M. Ali YALÇIN<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye [faruk\\_aydin@ymail.com](mailto:faruk_aydin@ymail.com)

<sup>2</sup> Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye [uyaroglu@sakarya.edu.tr](mailto:uyaroglu@sakarya.edu.tr)

<sup>3</sup> Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye [yalcin@sakarya.edu.tr](mailto:yalcin@sakarya.edu.tr)

## ÖZET

Mevcut güç sistemlerinin en iyi şekilde işletilmesi kadar, gelecekte sistemlerde meydana gelebilecek gelişmelerin planlanması da oldukça önemlidir. Şebekelerdeki genel enerji durumunu tanıyabilme, hat kayıpları hakkında bilgi edinme, şebekelerin herhangi bir noktadaki güç değerleri hakkında bilgi edinme için mutlak surette yük akışı hesaplarının yapılması gerekmektedir. Şebekenin optimum işletmesi için yük akışı analizlerinin yapılması bir zorunluluktur. Yük akış analizi etütlerinde elde edilen başlıca bilgiler, her barada geriliminin genliği, faz açısı ve her hatta akan aktif ve reaktif güçlerdir. Önceleri güç sistemi analizleri ve dolayısıyla yük akış analizleri a.c. hesap boardları ile yapılırdı. Bu işlem oldukça can sıkıcı ve zaman alıcıydı. Bilgisayarlardaki hızlı gelişmelerin sonucu olarak eskiden kullanılan analiz metotları yerlerini bilgisayar analiz metotlarına bırakmak zorunda kalmıştır. Bilgisayarların sürati, güvenilirliği ve yüksek hassasiyeti, kısa zamanda güç sistemlerinin analizinde ve bilhassa yük akış analizinde en fazla kullanılan araç haline gelmelerine sebep olmuştur. Burada da Powerworld[1] programı kullanılarak seri kapasitör kullanımının enerji iletim sistemlerindeki etkileri incelenmiş 7 baralı bir sistemde örnek uygulamalar yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Seri kapasitör, yük akışı, gerilim kararlılığı, Powerworld

## 1.GİRİŞ

Bu çalışmada örnek iletim bölgeleri tasarlanarak seri kapasitörün devreye alınma öncesi ve sonrasına göre karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu karşılaştırmalarda aşırı yüklenmeler sonucu baralarda, iletim hatlarında generatör ve yüklerdeki artışlar incelenmiştir. Örnek olarak 2. baradaki mevcut sistem gücündeki değişiklikler incelenmiştir.

Sistemdeki tüm gerilimler salınım barasının gerilimi referans alınarak hesaplanır. Yük akışı probleminin

bilgisayarda çözümü matematik yönünden kesindir. Hesaplama hassasiyeti limitleri içinde kesin çözüm elde edilebilir.[2]

## 2.GERİLİM KONTROL YÖNTEMLERİ

Gerilim seviyelerinin kontrolü sistemde bütün seviyelerde reaktif güç akışı, üretimi ve çekişi kontrol edilerek sağlanır. Gerilimi kontrol etmek için kullanılan ilave cihazlar elektrik enerji sistemlerinin bütününde yer alır. Şönt kapasitör, seri kapasitör, şönt reaktör v.b. Şönt kapasitör ve seri kapasitörler pasif kompanzasyonu sağlarlar. Bunlar gerilim kontrolüne şebeke karakteristiklerini düzelterek katkı sağlarlar.

### 2.1.Seri Kapasitör

Seri kapasitörler hattın endüktif reaktansını kompanze etmek için (hattın empedansını küçültmek için) kullanılan hat iletkenine seri bağlanırlar. Bu hatta bağlanan baralar arasındaki dönüşüm reaktanslarını azaltır, iletilen maksimum gücü artırır ve etki reaktif güç kaybını azaltır. Kondansatörün kapasitif reaktansı, hattın endüktif reaktansını azaltmaya çalışır. Seri kapasitörler genellikle gerilim kontrolü için tesis edilmedikleri halde, reaktif güç dengesinin ve gerilim kontrolünün sağlanmasına katkıda bulunurlar. Seri kapasitörlerle üretilen reaktif güç iletilen güçle doğru orantılı olarak artar.

#### 2.1.1.Besleme hatlarına uygulanması

Seri kapasitörler 1930'dan beri endüstriyel besleme hatlarının ve dağıtımın gerilimini düzeltmek üzere uygulanır. Kaynak ve ark fırınları aralıklarla talep edilen ve güç faktörü düşük olan yüklerdir. Seri kapasitörler sadece sürekli durumda gerilim düşümünü azaltmaz, aynı zamanda yük akımındaki değişimlere de eşzamanlı olarak cevap verirler. Seri kapasitör, güç kaynağı ve düzensiz değişen yük arasındaki empedansı azaltarak zayıf flicker sorunlarını etkin olarak çözer. Endüstriyel dağıtım hattı uygulamalarında sistemin arıza akımlarından

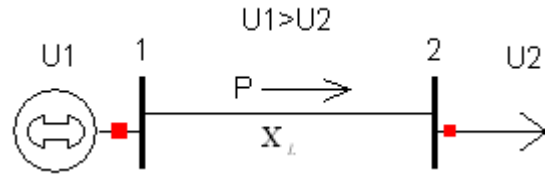
kapasitörleri korumadaki güçlük nedeniyle seri kapasitörler günümüzde fazla kullanılmamakta ancak enerji iletim sistemlerinde sıkça uygulanmaktadır. [3]

### 2.1.2 Enerji iletim hatlarına uygulanması

Seri kapasitörler uzun iletim hatlarının ekonomik yüklenmesine izin verdiği için, bunların yüksek gerilim iletim sistemlerinde uygulaması gelişmiştir. [4] Bunlar önceleri sistem kararlılığını düzeltmek ve paralel hatlar arasındaki istenen yük paylaşımını elde etmek için kullanılmıştır. Hattın tam kompanzasyonu asla göz önüne alınmaz. %100 kompanzasyonda etkin hat reaktansı sıfır olacaktır ve hat akımı güç akışı uç gerilimlerinin bağıl açılardaki değişimlere önemli ölçüde duyarlı olacaktır. Seri kompanzasyonun derecesine pratik üst sınır %80 civarındadır. Seri kapasitör grubu teorik olarak hat boyunca her yere yerleştirilebilir. Bölgeleştirmenin seçimini etkileyen faktörler maliyet, kolay devreye alınma, arıza seviyesi, koruma rölesi akımları, gerilim profili ve güç transferi özelliğini düzeltmedeki etkinliktir. Aşağıdaki durumlar bölgeleştirmede göz önüne alınmalıdır.

1. Hattın orta noktası: Kompanzasyon %50 den az ise, orta noktaya yerleştirme, koruma ihtiyaçları daha az olacağından üstünlüğe sahiptir. Ayrıca, kısa devre akımı daha düşüktür yine de gözlemleme ve güvenilirlik açısından çok uygun olduğu söylenemez.
2. Hat uçlarında: Kompanzasyonun iki kısma bölünmesi (Hattın uçlarına konacak şekilde bölünmesi) tesis hizmeti ve diğer açılardan kabul edilebilir bir durumdur. Sakıncası, daha yüksek hata akımı, karmaşıklaşmış koruma ve daha yüksek değerli kompanzasyondur.

3. Hattın 1/3 veya 1/4 noktalarına: Kompanzasyon modelinin etkinliği ilgili şönt reaktörlerin ve seri kapasitörlerin yerleştirilmesine bağlıdır.



Şekil 2.1 2 baralı örnek sistem

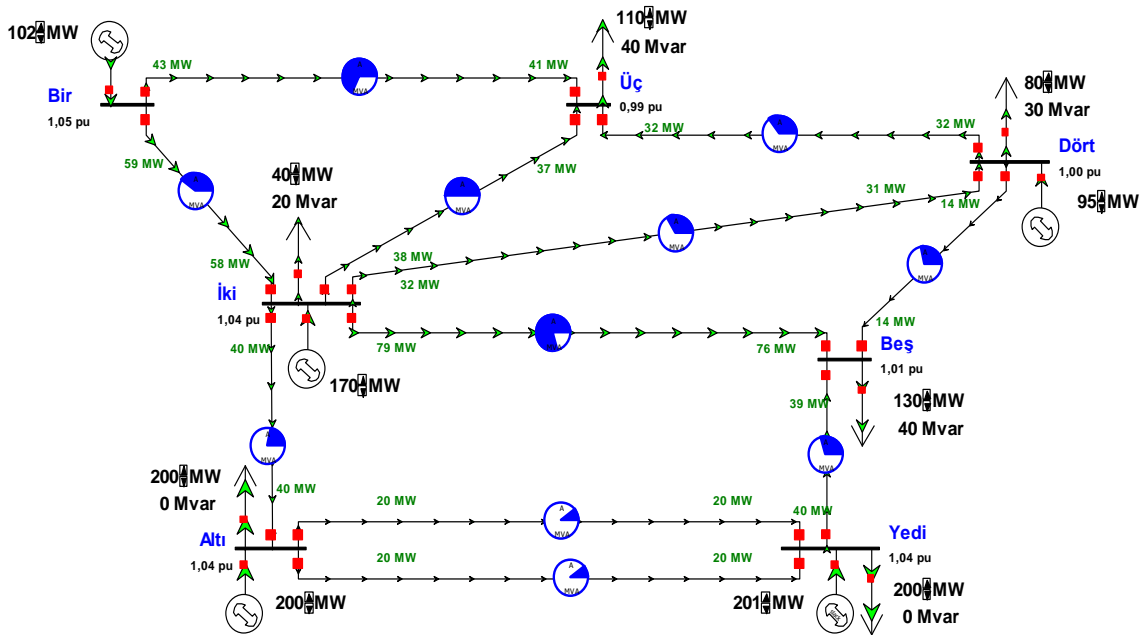
$$\sum X = X_L - X_C \quad (X_L = 2X_C \text{ olacak şekilde alınırsa})$$

$$P_{\max} = P = \frac{U_1 U_2}{\sum X} \sin \delta \text{ gereği Şekil 2.1'deki sisteme}$$

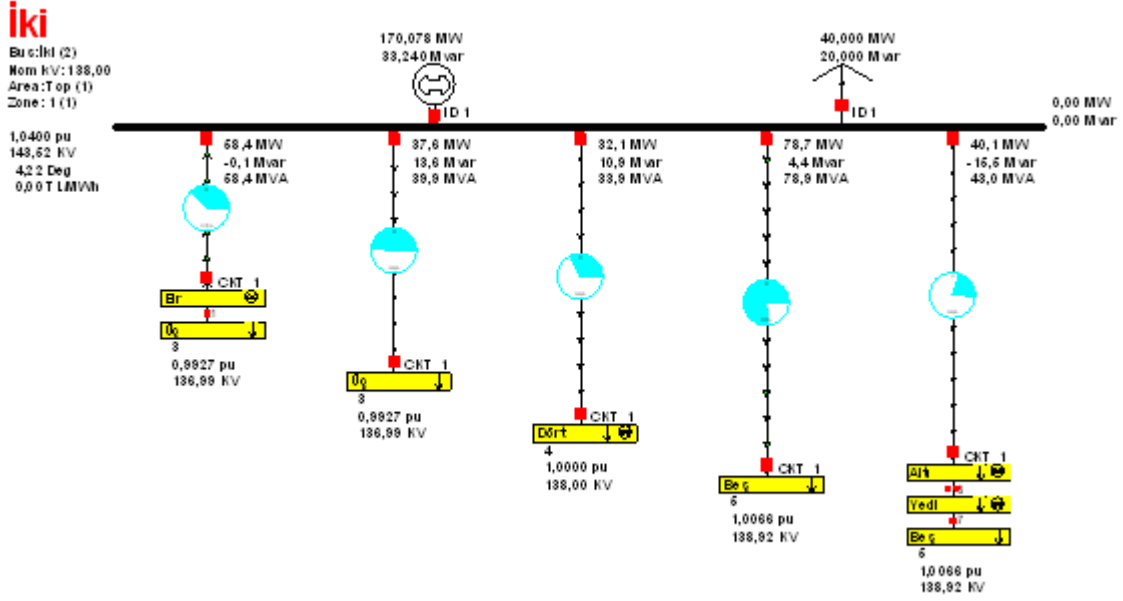
seri kapasitör eklenmesiyle hattan iletilen güç iki katına çıkarılabilir. Burada gerilimler arasında verilmiş bir faz açısı için, seri kompanzasyon yapıldıktan sonra taşınan güç daha büyüktür. Gücün sınırını arttırmakla, geçici rejimler esnasında normal yük akışı ve senkronizasyon yükünün akışı kolaylaştığı için kararlılığa da olumlu yönde etkisi olur. [5-9]

## 2.2 Benzetim çalışmaları

İncelenecek sistemin seri kapasitör eklenmeden önceki durumu şekil 2.2 de gösterilmektedir.



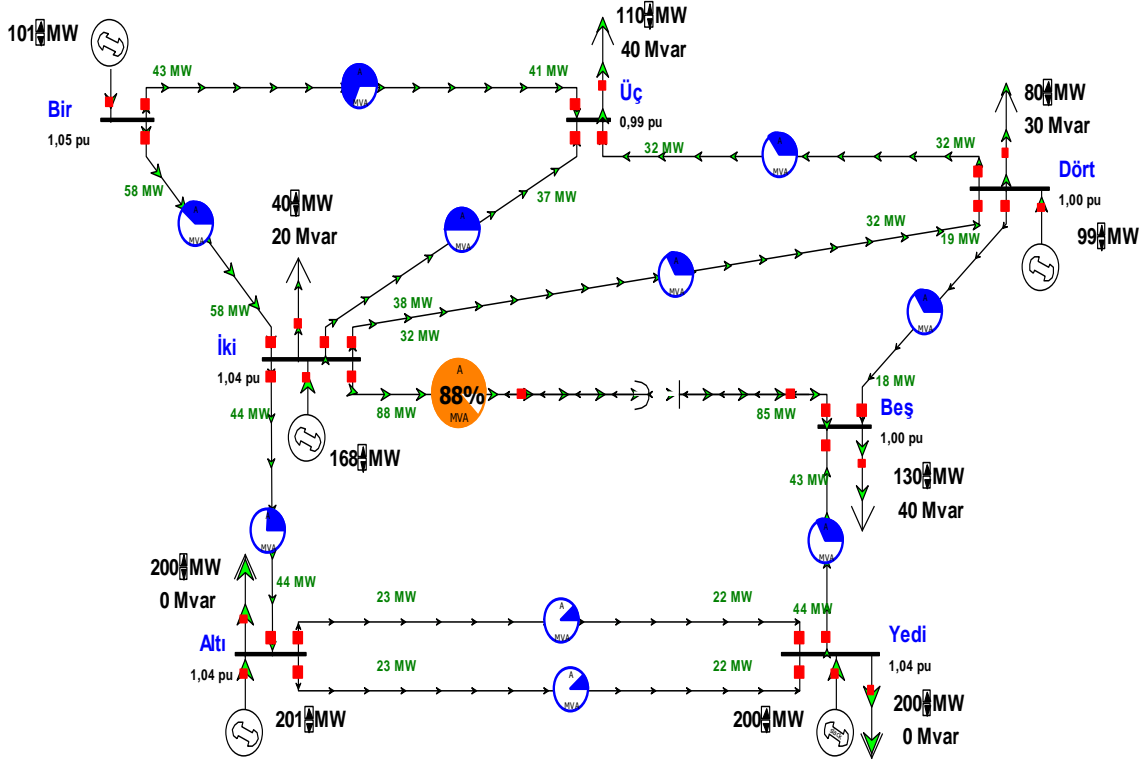
Şekil 2.2 Örnek sistemin seri kapasitör eklenmeden önceki durumu



Şekil 2.3 Örnekteki seri kapasitör eklenmeden önce 2. baranın durumu

Şekil 2.2'deki 7 baralı 5 generatör, 6 yük ve 11 hattan oluşan örnekteki seri kapasitör eklenmeden önce sistemin durumu, çekilen aktif ve reaktif güçler, Şekil 2.3'de de 2. baranın ve bu baraya bağlı hattın

yüklenme durumu sırasıyla görülmektedir. 2. bara ile 5. bara arasında hattın endüktif reaktansının yarısı değerinde bir seri kapasitör yerleştirilmiştir. 7. bara salınım barası olarak seçilmiştir.



Şekil 2.4 Örnekteki seri kapasitör eklendikten sonraki durumu



Şekil 2.6 ve Şekil 2.7’de örnek sisteme seri kapasitör eklenmeden önce hattın ve PV eğrilerinin durumu verilmektedir. Şekil 2.8 ve Şekil 2.9’da sisteme seri kapasitör eklendikten sonra hatta ve PV eğrilerinde oluşan değişiklikler görülmektedir. Eklenen seri kapasitör sayesinde sistemin çökmeye gittiği kritik noktalarda bir iyileşme oluşmuş ve gerilim kararlılığına katkı sağlanmıştır. Eş yükselti eğrilerinde de görüldüğü gibi seri kapasitör eklendikten sonra hattın taşıma kapasitesi artmıştır.

### 3.SONUÇLAR

Değişik oranlarda seri kompanzasyon yapılmış bir sistemde, sürekli halde iletim hatlarının yük taşıma kapasitesinin arttığı, bara gerilimlerdeki salınımların istenen değerler arasında olduğu, generatörlerin rotor açılarındaki salınımların ise azaldığı, sistemin hem açısal hem de gerilim kararlılığının arttığı görülmüştür. Reaktif güç kontrolü ile sistemin gerilim kararlılığının sağlanmasında, seri kompanzasyon sistemlerinin kullanılması, pratik ve ekonomik bir çözümdür.

### 4.KAYNAKLAR

[1] www.Powerworld.com

[2] Paserba, J.J. “How FACTS controllers benefit AC transmission systems”, Power Engineering Society General Meeting, IEEE, Vol.2, June 2004, pp:1257 - 1262

[3]Demirören A. ,Zeynelgil L. “Elektrik enerji sistemlerinin kararlılığı, kontrolü ve çalışması” , Birsen Yayınevi, İstanbul 2004

[4]F.Garayar, M. Riccuci,“Analysis of the Venezuelan Power System Loss Variation with the Series Compensation at S/S Tablazo out of Service” 2006 IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition Latin America, Venezuela

[5] Indulkar C.S., Viswanathan B., “Effect of Series Compensation on the Voltage Instability of EHV Long Lines”, Electric Power System Research, 6, pp.185-191, 1983”

[6] Miller T.J.E, “Reactive Power Control in Electric Power Systems”, John Wiley & Sons, Inc., 1982

[7] Deterministic and Probabilistic Approach to Voltage Stability of Series Compensated EHV Transmission Lines, IEEE Transactions On Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-102, No. 7, pp.2317-2322, July 1983

[8] Indulkar C.S., Viswanathan B., Venkata S.S., Reactive Power Constrained Loadability Limits of Series Capacitor Compensated EHV Transmission Lines, IEEE Transactions On Power

[9]Yalçın M.A. , “Enerji Sistemlerinde Gerilim Kararlılığının Yeni Bir Yaklaşımla İncelenmesi”, Doktora Tezi, İTÜ, E-E Fakültesi, İstanbul, 1995