



## 154/380 kV Kuzeybatı Anadolu İletim Hattı için kısa devre ve reaktif arıza incelemelerinin gerçekleştirilmesi

Metin Varan\*

29.09.2016 Geliş/Received, 12.10.2016 Kabul/Accepted

doi: 10.16984/saufenbilder.35559

### ÖZ

Elektrik güç sistemleri yüksek düzeyde lineer olmayan yapıya sahip olup yüklerin, generatör çıkışlarının ve sistem parametrelerinin sürekli değişimiyle beraber bütünsel bir değişkenlik karakteristiği gösterir. Günümüzde sürekli artan elektrik güç ihtiyaçları iletim hatlarının yüklenme sınırları yakınlarında çalışmasını zorlamaktadır. Bu sınır yakınlarında çalışma olası sistem arızalarının telafi edilemez sonuçlar doğurabilmesine neden olabilir. Sistem kritik bileşenleri üzerinde olası arıza senaryoları oluşturarak sürekli güç akışı analizleri yapmak ve oluşan arızaların etkilerini ölçmek önemlidir.

Bu çalışmada 114 baralı Kuzeybatı Anadolu güç sisteminin 13 baralık kesiti üzerinde çeşitli arıza durumları oluşturularak sistem üzerindeki etkileri hesaplanmıştır. Yapılan güç akışı ve arıza hesaplamaları Powerworld yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** güç sistemleri, arıza analizi, seri kapasitör, şönt kapasitör, güç akışı analizi, kısa devre analizi

## Short circuit and reactive faults investigation on 154/380 kV Northwestern Anatolian Transmission Line

### ABSTRACT

Electrical power systems are such nonlinear systems that loads, generator outputs and the system parameters are continuously changing that results in the ever-changing working environments. In recent years, because of increasing power needs, power systems have been forced to work nearly maximum load capacity with the most efficient operating conditions. These working conditions may create inevitable destructive results on system components. Hence calculation of power flows with custom fault scenarios on critical system components is important for analysis of power systems.

In this study, 13 busbar section from 114 busbar interconnected 380 and 154 kV Northwest Anatolian power transmission lines are discussed. On that section of mentioned power system, it was performed custom fault scenarios within the critical system components. Power flow and fault calculations of mentioned power system are handled by using the Powerworld software.

**Keywords:** power systems, fault analysis, series capacitor, shunt capacitor, power flow analysis, short circuit analysis

---

\*Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Sakarya - mvaran@sakarya.edu.tr

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Elektrik güç sistemleri yüksek düzeyde karmaşık ve lineer olmayan yapıya sahip olup sisteme bağlı yük değerlerinin, generatör çıkış değerlerinin ve sistem parametrelerinin sürekli değişimiyle beraber sistem bütünsel bir değişkenlik karakteristiği gösterir. Günümüzde en yaygın olarak kullanılan enerji türünün elektrik enerjisi olması ve gelişen teknoloji ve artan dünya nüfusu ile elektrik enerjine olan talebin her geçen gün artmakta olması enerji iletim hatlarının yüklenme sınırları yakınlarında çalışmaya zorlamaktadır. Böylesi yüklenme sınırları yakınlarında çalışma durumu olası sistem arızalarının telafi edilemez sonuçlar doğurabilmesine neden olabilmektedir. Elektrik enerji sistem tasarımcılarının yaptığı tüm araştırma geliştirme çalışmalarının her türlü çalışma koşuluna rağmen temelini sistemi minimum maliyet ve maksimum verimlilikte tutmak olduğu söylenebilir. Güç sistemi bileşenlerinde devre dışı kalmalar, sistem üzerinde genişleme/daraltma yapılması gibi değişiklikler doğrudan güç sistemine ait parametrelerde de değişiklik meydana getirebilecektir [1]. Güç sisteminin kritik bileşenleri üzerinde olası arıza senaryoları oluşturarak sürekli güç akışı analizleri yapmak ve oluşan arızaların etkilerini ölçmek oldukça önemlidir.

Sürekli artan elektrik ihtiyacı talepleri sistem üzerinde yeni düzenlemeleri sürekli halde gerekli kılmakta bu da güç sistemi üzerinde ayrı tasarımlar altında sürekli güç akışlarının yapılmasını zaruri hale getirmektedir [2]. Sistem üzerinde sürekli genişleme senaryolarının oluşturularak bu durumda sistemin hangi noktalarda zayıflık oluşturduğunun analiz edilmesi bir diğer kritik konudur.

Güç akışı çözümü yapılarak sistemin en uygun çalışma noktalarının belirlenmesi gereklidir olup güç akışı çözümünden salınım barası dışında bara gerilimleri ve bara gerilim açılarının tespit edilmesi önemlidir. Bunun devamında iletim hattının parçalarından akan aktif ve reaktif güçlerin ve hatlarda meydana gelen kayıpların hesaplanması bu güç akışı içerisinde tespit edilir. Optimal güç akışı analiz yöntemleri de kullanılarak sistemin yüklenebilirlik sınırlarının en düşük birim üretim maliyetine göre belirlenmesi de mümkündür [3].

Güç sisteminin tasarlanması ve işletmeye alınması oldukça karmaşık bir problem olup bunun analiz edilmesinde bilgisayar yazılımları sıklıkla kullanılır. Bilgisayar yazılımları kullanılması bir diğer önemli sebebi güç sisteminin enterkonnekte olduğu eleman sayısının fazlalığıdır. Güç sistemlerinin lineer olmayan yapıları hesaplamalarda da sayısal yöntemlerin kullanılmasını elzem kılmakta olup yük akışı yöntemleri

Gauss-Seidel ve Newton-Raphson yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır [4]. Güç akışının hesaplanarak baralardaki gerilim ve açıların güç akışları ile ilişkilendirmeleri yapılması güç sisteminin maksimum yüklenme noktalarının tespit edilmesini kolaylaştırır. PV eğrileri de oluşturularak güç sistemleri planlama ve analizlerini daha kolay yapılmasını sağlar [5, 6].

Tüm yük akışı yöntemleri tahmin prensibiyle çalışır. Bu durumda sistemin maksimum güç noktası boyunca yük talebi sistemin dengeye geleceği bir gerilim değeri ile belirlenir. Normal şartlar altında yük akışı denklemleri muhtemel iki çözüme sahip olup bunlardan biri güç sisteminin çalışma noktasını verecektir [7, 8].

Çalışmada incelemesi yapılan güç sistemi 114 baralı Kuzeybatı Anadolu şebekesinin 13 baralık bir kesitidir. Bu kesit üzerinde çeşitli arıza durumları oluşturularak, meydana gelen arızaların sistemin güç akışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Güç akışı ve arıza hesaplamalarında Powerworld güç sistemi analizörü yazılımı kullanılmış ve değerlendirme neticeleri yorumlanmıştır.

Bu çalışmanın ikinci kısmında güç akışı problemi ve nümerik çözümü anlatılmıştır. Üçüncü kısımda kuzeybatı anadolu şebekesinin Powerworld programına tanımlanması ve yük akışlarının yapılması anlatılmıştır. Takip eden arıza analizleri bölümünde ise iletim hattına sönt kapasitör, seri kapasitör bağlanması durumu ve kısa devre olma durumları tartışılmıştır. Çalışmanın sonuç kısmında iletim hattı boyunca incelemesi yapılan arıza analizlerinin genel mukayesesi yapılmıştır.

## 2. MALZEME VE YÖNTEM (MATERIALS AND METHODS)

### 2.1. Güç Akışı Denklemlerinin Oluşturulması (Establishment of Power Flow Equations)

Bir baraya giren net kompleks gücü  $S_k = S_{gk} - S_{dk}$  olarak tanımlayabiliriz. Burada şebeke gerilimi, admitansı gibi tüm büyüklük değerleri per-unit cinsinden olup tüm hesaplamalarda tek faz güç ilişkisi kuruludur [9-11]. Bilinen ilişkileri kompleks güç için yazacak olursak  $S_k$  ifadesi:

$$S_k = V_k I_k^* \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} & Y_{14} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ Y_{n1} & Y_{n2} & Y_{n3} & Y_{n4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ V_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

N baralı bir sistemi ifade eden (2) nolu matriste herhangi bir baraya giren akımın ifadesi

$$I_k = \sum_{j=1}^N Y_{kj} V_j \quad (3)$$

şeklinde ifade edilir burada  $Y_{kj}$  terimi admitans matrisinin elemanlarını temsil etmekte olup (3) denklemi (1) de yerine yazılırsa:

$$S_k = V_k \left( \sum_{j=1}^N Y_{kj} V_j \right)^* = V_k \sum_{j=1}^N Y_{kj}^* V_j^* \quad (4)$$

$V_k$  'nın genlik ve açı değerine sahip bir büyüklük olduğunu hatırlayarak  $V_k = |V_k| \angle \theta_k$ . Ayrıca  $Y_{kj}$ , bir admitans fonsiyonu olup kompleks bir değerdedir.  $G_{kj}$  ve  $B_{kj}$  elemanları bu admitans fonsiyonunun reel ve kompleks kısımları  $Y_{kj} = G_{kj} + jB_{kj}$  şeklinde yazılabilir. Dolayısıyla (4) olan denklem tekrar düzenlenerek

$$\begin{aligned} S_k &= V_k \sum_{j=1}^N Y_{kj}^* V_j^* \\ &= |V_k| \angle \theta_k \sum_{j=1}^N (G_{kj} + jB_{kj})^* (|V_j| \angle \theta_j)^* \\ &= |V_k| \angle \theta_k \sum_{j=1}^N (G_{kj} - jB_{kj}) (|V_j| \angle -\theta_j) \\ &= \sum_{j=1}^N |V_k| \angle \theta_k (|V_j| \angle -\theta_j) (G_{kj} - jB_{kj}) \\ &= \sum_{j=1}^N (|V_k| |V_j| \angle (\theta_k - \theta_j)) (G_{kj} - jB_{kj}) \end{aligned} \quad (5)$$

Euler formu hatırlanacak olursa bir fazör büyüklük  $V = |V| \angle \theta = |V| \{ \cos \theta + j \sin \theta \}$  gibi sinusoidlerin kompleks fonsiyonu olarak tanımlanmakta ve (5) denklemi şu şekilde yazılabilir

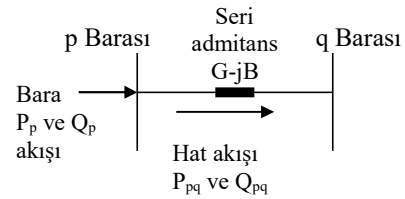
$$\begin{aligned} S_k &= \sum_{j=1}^N (|V_k| |V_j| \angle (\theta_k - \theta_j)) (G_{kj} - jB_{kj}) \\ &= \sum_{j=1}^N |V_k| |V_j| \left( \begin{array}{c} \cos(\theta_k - \theta_j) \\ + j \sin(\theta_k - \theta_j) \end{array} \right) (G_{kj} - jB_{kj}) \end{aligned} \quad (6)$$

Bu denklemde parantez içindeki iki terimin cebirsel çarpımı yapılarak reel ve imajiner kısımlar ve  $S_k = P_k + jQ_k$  ifadesi hatırlanırsa (6) denklemini aşağıdaki gibi  $P_k$  ve  $Q_k$  olarak ifade edebiliriz;

$$\begin{aligned} P_k &= \sum_{j=1}^N |V_k| |V_j| (G_{kj} \cos(\theta_k - \theta_j) + B_{kj} \sin(\theta_k - \theta_j)) \\ Q_k &= \sum_{j=1}^N |V_k| |V_j| (G_{kj} \sin(\theta_k - \theta_j) - B_{kj} \cos(\theta_k - \theta_j)) \end{aligned} \quad (7)$$

(7) deki iki denklem güç akışı denklemleri olarak bilinmekte ve güç akışı probleminin çözümünde en temel fonsiyona sahip gövde yapısındadır.

(7) denkleminde k barası p barası olarak isimlendirilirse ve bu baranın sadece bir q barasına bağlı olduğu düşünülürse, p barası güç akışı pq hattı boyunca yapılan akış gibi olup bu durum Şekil. 1' de gösterilmiştir.



Şekil 1. p Barasının Sadece q Barasına Bağlı Olduğu Durum (p Busbar Only Connected to q Busbar)

Şekil 1'de gösterilen durum dolayısıyla (7) denklemi şu şekilde yazılabilir:

$$\begin{aligned} P_p &= |V_p|^2 G_{pp} + |V_p| |V_q| G_{pq} \cos(\theta_p - \theta_q) \\ &+ |V_p| |V_q| B_{pq} \sin(\theta_p - \theta_q) \\ Q_p &= -|V_p|^2 B_{pp} + |V_p| |V_q| G_{pq} \sin(\theta_p - \theta_q) \\ &- |V_p| |V_q| B_{pq} \cos(\theta_p - \theta_q) \end{aligned} \quad (8)$$

Eğer hattın pq admitans değeri Şekil 1'de gösterildiği gibi  $y = G - jB$  olursa bu durumda  $G_{pq} = -G$  ve  $B_{pq} = B$  yazılabilir. Burada p barasına hattı şarj eden şönt bir reaktans olmadığından  $G_{pp} = G$  ve  $B_{pp} = B$  yazılabilir. Bu şartlar (8) denklemi şu şekilde yazılabilir:

$$\begin{aligned} P_p &= |V_p|^2 G - |V_p| |V_q| G \cos(\theta_p - \theta_q) \\ &+ |V_p| |V_q| B \sin(\theta_p - \theta_q) \\ Q_p &= |V_p|^2 B - |V_p| |V_q| G \sin(\theta_p - \theta_q) \\ &- |V_p| |V_q| B \cos(\theta_p - \theta_q) \end{aligned} \quad (9)$$

(9) denkleminde reaktif ifade tekrar yazılırsa

$$\begin{aligned}
P_p &= |V_p|^2 G - |V_p||V_q|G \cos(\theta_p - \theta_q) \\
&+ |V_p||V_q|B \sin(\theta_p - \theta_q) \\
Q_p &= |V_p|^2 B - |V_p||V_q|B \cos(\theta_p - \theta_q) \\
&- |V_p||V_q|G \sin(\theta_p - \theta_q)
\end{aligned} \quad (10)$$

ifadesi yazılabilir.

## 2.2. Güç Akışı Probleminin Nümerik Yöntemlerle Çözülmesi (Numerical Solutions of Power Flow Problems)

N baralı bir şebekenin olduğu baz alınarak,  $N_G$  üretim barası sayısını ifade etmekte olup sistemde bir adet salınım barası da seçilmek üzere  $N_G-1$  adet PV barası (üretim) ve  $N-N_G$  adet PQ barası (tüketim) vardır [12]. Salınım barasının 1 nolu bara olduğu Kabul edilerek PV baraları 2, 3, şeklinde  $N_G$  ye kadar PQ baralarının da  $N_G+1$  den başlamak üzere N e kadar olduğu sistem aşağıdaki adımlar gözetilerek tanımlanır:

1. Tüm seri ve şönt elemanların admitans değerleri Y-bara matrisi olmak üzere
2. Tüm üretim barası gerilim büyüklüklerinin  $V_k$ ,  $k=1, \dots, N_G$ , olmak üzere
3. Salınım barası dışındaki tüm baralara olan aktif güç akışı  $P_k$ ,  $k=2, \dots, N$  olmak üzere
4. Tüm PQ baraları için reaktif güç akışı  $Q_k$ ,  $k=N_G+1, \dots, N$  olmak üzere

3 ve 4 adımları doğrudan (7) nolu güç akışı denklemlerinin sol tarafındaki güç değerlerini temsil etmektedir. Denklem sayısı denklemde yer alan bilinmeyen sayısından bir tane az olduğu sol tarafın varlığı oldukça önemlidir. Bu denklemlerin sol tarafına eşitlenecek olan denklemlerin sayısı adım 3 de yer alan aktif güç akışının olduğu baralara adım 4 de yer alan reaktif güç akışının olduğu baraların eklenmesiyle  $(N-1) + (N-N_G) = 2N-N_G-1$  şeklinde elde edilir. Güç akışı denklemlerini burada uygun rakamları sağdan vererek tekrar oluşturursak.

$$\begin{aligned}
P_k &= \sum_{j=1}^N |V_k||V_j| \begin{pmatrix} G_{kj} \cos(\theta_k - \theta_j) \\ + B_{kj} \sin(\theta_k - \theta_j) \end{pmatrix}, k = 2, \dots, N \\
Q_k &= \sum_{j=1}^N |V_k||V_j| \begin{pmatrix} G_{kj} \sin(\theta_k - \theta_j) \\ - B_{kj} \cos(\theta_k - \theta_j) \end{pmatrix} \\
, k &= N_G + 1, \dots, N
\end{aligned} \quad (11)$$

Şebeke ile ilgili şu bilgileri bulmaya çalışırsak;

1. Salınım barası hariç tüm baralardaki gerilim fazör açıları (salınım barası açısı  $0^\circ$ )  $\theta_k$ ,  $k=2, \dots, N$  o.ü.
2. Tüm PQ baraları için gerilim fazörlerinin genlik değerleri  $|V_k|$ ,  $k=N_G+1, \dots, N$  o.ü.

Burada a ve b durumları  $N-1$  adet bilinmeyen açı değeri ve  $N-N_G$  kadar bilinmeyen gerilim büyüklüğü değeri olmak üzere toplamda  $(N-1) + (N-N_G) = 2N-N_G-1$  adetlik bir bilinmeyi temsil eder [13].

Dolayısıyla sol taraftaki  $2N-N_G-1$  adet bilinen denklem sayısı, bilinmeyen  $2N-N_G-1$  adet gerilim ve açı sayısı ile eşit olup denklem çözülebilir durumdadır. Ancak (11) nolu denklemden de görüleceği üzere çarpan halde bulunan bilinmeyen elemanların varlığından dolayı bu denklemler lineer değildir. Bu lineer olmama durumundan dolayı bu denklemleri "Ax=b" formunda matris formunda yazamayıp denklemleri diğer çözüm yöntemlerinin formuna uygun hale getirmek gerekmektedir.

Bilinmeyen değerler vektörü iki adımda tanımlanır. Bilinmeyen açıları vektörü  $\underline{\theta}$  (alt çizgi değişkenin bir vektör veya matris olduğunun temsil eder) ve bilinmeyen gerilim genlikleri  $\underline{|V|}$  olmak üzere,

$$\underline{\theta} = \begin{bmatrix} \theta_2 \\ \theta_3 \\ \vdots \\ \theta_N \end{bmatrix}, \quad \underline{|V|} = \begin{bmatrix} |V_{N_G+1}| \\ |V_{N_G+2}| \\ \vdots \\ |V_N| \end{bmatrix} \quad (12)$$

İkinci olarak bilinmeyen açıları ve gerilim genlikleri vektörleri birleştirilerek

$$\underline{x} = \begin{bmatrix} \underline{\theta} \\ \underline{|V|} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \theta_2 \\ \theta_3 \\ \vdots \\ \theta_N \\ |V_{N_G+1}| \\ |V_{N_G+2}| \\ \vdots \\ |V_N| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_{N-1} \\ x_N \\ x_{N+1} \\ \vdots \\ x_{2N-N_G-1} \end{bmatrix} \quad (13)$$

Şeklinde yazılabilir. (11) denklemi tekrar düzenlenirse

$$\begin{aligned}
P_k &= P_k(\underline{x}), & k &= 2, \dots, N \\
Q_k &= Q_k(\underline{x}), & k &= N_G + 1, \dots, N
\end{aligned} \quad (14)$$

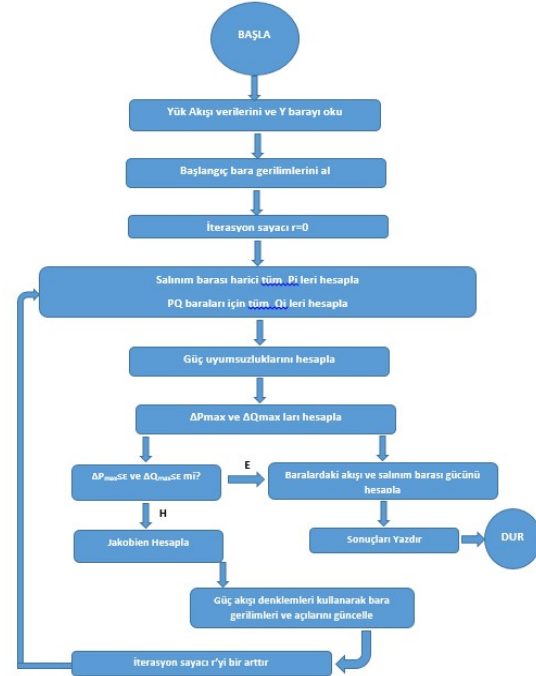
Burada  $P_k$  ve  $Q_k$  incelenen akışlar olup (bilinen sabitler), sağ taraf elemanlar bilinmeyen  $\underline{x}$  vektörünün içindeki fonksiyonlardır. Sol taraf sağ tarafa atılırsa

$$\begin{aligned} P_k(\underline{x}) - P_k &= 0, & k &= 2, \dots, N \\ Q_k(\underline{x}) - Q_k &= 0, & k &= N_G + 1, \dots, N \end{aligned} \quad (15)$$

Nihai olarak  $\underline{f}(\underline{x})$  değer fonksiyonu vektörü aşağıdaki gibi tanımlanmış olur:

$$\begin{aligned} \underline{f}(\underline{x}) &= \begin{bmatrix} f_1(\underline{x}) \\ \vdots \\ f_{N-1}(\underline{x}) \\ \hline f_N(\underline{x}) \\ \vdots \\ f_{2N-N_G-1}(\underline{x}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_2(\underline{x}) - P_2 \\ \vdots \\ P_N(\underline{x}) - P_N \\ \hline Q_{N_G+1}(\underline{x}) - Q_{N_G+1} \\ \vdots \\ Q_N(\underline{x}) - Q_N \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ \vdots \\ \Delta P_N \\ \hline \Delta Q_{N_G+1} \\ \vdots \\ \Delta Q_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ \hline 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} = \underline{0} \quad (16) \end{aligned}$$

(16) nolu denklem  $\underline{f}(\underline{x})=\underline{0}$  formunda olup, burada  $\underline{f}(\underline{x})$  is a değer fonksiyon vektörü ve  $\underline{0}$  sıfırlar vektörüdür. Her iki vektörün de boyutu  $(2N-N_G-1) \times 1$  bilinmeyenler  $\underline{x}$  vektörü boyutuna eşittir.  $\Delta P_k$  ve  $\Delta Q_k$  vektörleri denklemde uyumsuzluk vektörü olarak tanımlanmıştır. Bu vektörler çözüm algoritması boyunca tüm iterasyonlar için en uygun çözümün elde edilmesinde kullanılacaktır [14].



Şekil 1. Newton- Raphson Güç Akışı İterasyonu Akış Diyagramı (Newton-Raphson Power Flow Iteration Flowchart)

Yakınsama hızının yüksekliği, iterasyon sayısının sistem boyutundan bağımsız olması özelliği, yakınsamanın salınım barasının seçimine bağlı olmaması ve hesaplama zamanının kısalığı gibi üstün özelliklerden dolayı güç akışı nümerik yöntemi olarak Newton-Raphson seçilmiştir. Powerworld analiz yazılımında öncelikle 13 baralı kesit numaraları, bara özellikleri ve büyüklük değerleri ile bara bağlantıları Newton-Raphson iterasyon seçimi de yapılarak tanımlanmıştır. Şekil 1'de incelenen sistem için Newton-Raphson iterasyon yöntemi akış diyagramı verilmiştir.

### 3. BULGULAR (FINDINGS)

#### 3.1. 154/380 kV Kuzeybatı Anadolu İletim Hattının Modellenmesi (Modeling of 154/380 kV Transmission Line)

Bu çalışmada incelenen Kuzeybatı Anadolu şebekesi ülkemiz enterkonekte sisteminin bileşenleri olan Orta Anadolu, Kuzeybatı Anadolu, Batı Anadolu, Orta Karadeniz, Güneydoğu Anadolu, Trakya, Doğu Anadolu, Doğu Akdeniz ve Batı Akdeniz bölgelerinden biridir. Kuzeybatı iletim bölgesinde 102 barada 154 kV ve 12 barada 380 kV iletim gerilimleri üzerinden yapılmaktadır. Toplamda 114 baradan oluşan bir sistem olan Kuzeybatı Anadolu iletim hattında 18 adet üretim barası ve 96 adet yük barası mevcuttur. Sistemde 5 oto-produktör güç santrali, 4 özel sektör işletmesi, 7 termal santral ve 2 adet hidrolik santral üretim elemanı olarak yer almaktadır. Tablo. 1'de bu çalışmada incelenmesi

yapılan 13 adet baranın kodları ve isimleri verilmiştir. Çalışma boyunca isimleri verilen bu baraların kodları kullanılacaktır.

Tablo 1. İncelemesi Yapılan 13 Baranın İsimleri and Kodları (Investigated Busbar Names and Codes)

Bara	Bara İsmi	Bara	Bara İsmi
1	380 Adapazarı	8	Adapazarı
2	380 Ada DGÇS1	9	Paşalar
3	Yarımcı 2	10	Hendek
4	Hyundai	11	Toyota
5	Kaynarca	12	Kuzuluk
6	Sakarya	13	Mudurnu
7	Köseköy		

İncelemesi yapılan 13 bara için empedans değerleri Tablo. 2’de verilmiştir.

Tablo. 2 154 kV 100 MVA İçin Baralar Arası İletim Hattı Empedansları (Transmission Line Impedances for 154 kV 100MVA)

Bara	R (p.u)	X (p.u)	Y (p.u)
380 Ada 380 Ada DGÇS1	0.0004	0.0043	0.0962
Adapazar Yarımcı 2	0.0177	0.0833	0.0356
Adapazar Yarımcı 2	0.0175	0.0813	0.0334
Adapazar Sakarya	0.0116	0.0578	0.0124
Sakarya Kaynarca	0.0077	0.0044	0.0088
Adapazar Hyundai	0.0246	0.0790	0.0270
Adapazar Köseköy	0.0119	0.0561	0.0240
Adapazar Köseköy	0.0124	0.0372	0.0147
Hendek Adapazar	0.0322	0.1034	0.0354
Adapazar Toyota	0.0028	0.0141	0.0054
Adapazar Kuzuluk	0.0065	0.0209	0.0071
Kuzuluk Mudurnu	0.0208	0.1081	0.0476
Adapazar Paşalar	0.0206	0.1023	0.0392
380 Adapazar Adapazar	0.0002	0.0028	0.0525

İncelemesi yapılacak bara yük açıları ve güç durumları Tablo. 3’de verilmiştir.

Tablo. 3 Bara Yük Açılı ve Güç Durumları (Busbar Load Angles and Power Values)

Bara	Aktif Güç	Reaktif Güç	Görünür Güç	Açı
380 Adapazarı	1913.1	555.9	1992.229	16.202
380 Ada DGÇS1	1660	421.1	1712.579	14.234
Yarımcı 2	47	18	50.329	20.955
Hyundai	61.6	9.1	62.268	8.403
Kaynarca	13	4.4	13.724	18.698
Sakarya	50	10.7	51.132	12.079
Köseköy	97.3	76.7	123.896	38.248
Adapazarı	300.2	205.4	363.743	34.380
Paşalar	58	28.8	64.756	26.406
Hendek	37	8.6	37.986	13.085
Toyota	63.6	22.3	67.396	19.322
Kuzuluk	22	5	22.561	12.804
Mudurnu	68.5	18.1	70.851	14.801

İncelemesi yapılan sistem üzerinde tek üretim barası aynı zamanda salınım barası olan 380 kV Ada DGÇS1 barasıdır. Bu baranın aktif güç üretimi 1432 MW ve reaktif güç üretimi 186 MVAR dır.

Kuzeybatı anadolu şebekesinin rolü şu şekilde ifade edilebilir:

- 1.Elektrik üretim ve iletiminin müşteri ihtiyaçlarına göre provizyon edilmesi
- 2.Sistem gerilim ve frekansının belirli yük atma prosedürleri ile belirli limitler dahilinde tutulması
- 3.Manevralar arası koordinasyonun sağlanarak iletim bölgesinin kararlı bir çalışma içerisinde tutulması

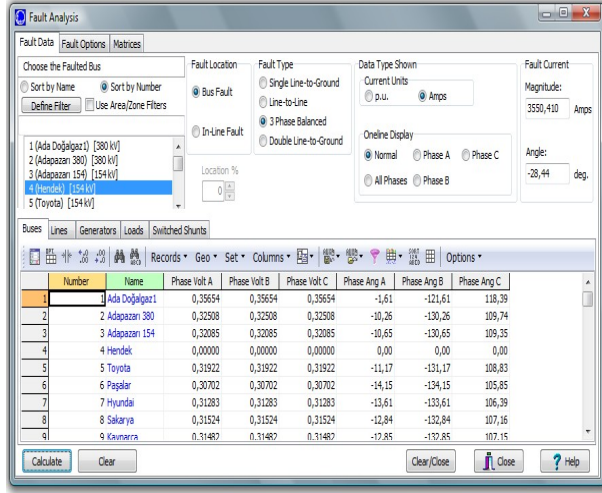
### 3.2. Arıza Analizleri (Fault Analysis)

Bu çalışmada 13 baralı güç sistemi kesitine ilişkin arıza analizleri kısa devre analizi, seri kompanzasyon etkili reaktif güç akışı durumu ve şönt kompanzasyon etkili reaktif güç akışı durumu olmak üzere üç aşamada incelenmiştir.

#### 3.2.1. Kısa Devre Analizi (Short Circuit Analysis)

Özellikle yüksek gerilim altında elektrik akımı taşıyan devrelerde kısa devre oldukça sık görülen bir arızadır. Böylesi bir arıza durumunun erken önlem alınmazsa çok büyük etkileri oluşabilir. En kötü kısa devre arıza durumu üç fazın birlikte kısa devre arızasına maruz kalmasıdır. Burada Hendek barasında 3 faz kısa devre meydana

getirilerek bir arıza senaryosu kurulmuştur. Powerworld programı üzerinden Hendek barasının 3 faz kısa devre arıza barası olarak seçilmesi ve arıza hesap arayüzü Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil. 3 Powerworld İle Hendek Barası Üzerinde Üç Faz Kısa Devre Oluşturulması (Three Phase Short Circuit Fault on Hendek Busbar Using Powerworld)

Hendek barasında oluşturulan üç faz kısa devre arızası ile Hendek barasında gerilim ve açı değerlerinin sıfırlandığı ve incelemesi yapılan tüm baralarda gerilim genlikleri çöküntüye uğradığı ve açıların yüksek salınım yaptığı ve meydana gelen bu arızanın sistemi genel bir kararsızlığa sürüklediği görülmektedir. Arıza sonuçları her barada faz başına olmak üzere Tablo.4' de verilmiştir.

Tablo. 4 Powerworld Kısa Devre Analizi Sonuçları (Powerworld Short Circuit Analysis Results)

N	Trafo Merkez i	Faz- Gerilim	Faz- Gerilim	Faz- Gerilim	Faz- Açık	Faz- Açık	Faz- Açık
1	Ada Döğlglz l	0,35	0,35	0,35	-1,6	-121	118
2	Adapazarı 380	0,32	0,32	0,32	-10	-130	109,
3	Adapazarı 154	0,32	0,32	0,32	-10	-130	109
4	Hende k	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
5	Toyota	0,31	0,31	0,31	-11	-131	108
6	Paşalar	0,30	0,30	0,30	-14	-134	105
7	Hyund ai	0,31	0,31	0,31	-13	-133	106
8	Sakarya a	0,31	0,31	0,31	-12	-132	107
9	Kaynar ca	0,31	0,31	0,31	-12	-132	107
10	Kösekö y	0,31	0,31	0,31	-11	-131	108
11	Yarımc a 2	0,31	0,31	0,31	-10	-130	109

12	Kuzulu k	0,31	0,31	0,31	-11	-131	108
13	Mudur nu	0,31	0,31	0,31	-12	-132	107

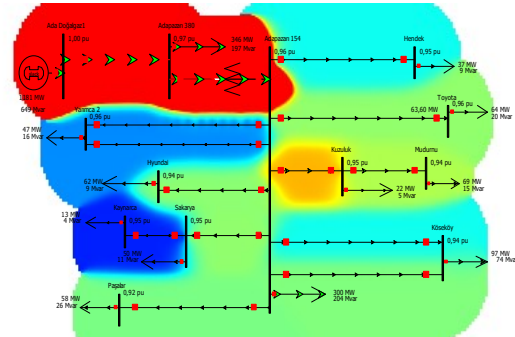
### 3.2.2. Reaktif Güç Akışı Durumu ve Seri Kompanzasyon Etkisi (Reactive Power Flow Situation and Series Compensation Effects)

Seri kapasitör elemanları devreye endüktif reaktansı azaltmak ve dolayısıyla iletim hattının toplam empedansını azaltmak amacıyla bağlanır. Seri kapasitörler iletim hattı üzerinden taşınan reaktif güç kaybını azaltarak maksimum güç transferine katkı sağlar. Güç sistemlerinde seri kapasitör grupları hattın reaktif güç ihtiyacının pratikte %80'ler seviyesinde karşılanmasını esas alır. Seri kapasitör grubunun çok baralı iletim bölgesinde konumlandırılması arıza seviyesi, sıklığı, koruma röle akımları, gerilim profillerine göre yapılmaktadır. Pratikte kapasitörün bağlı olduğu baralar arasındaki iletim hattının tam ortasına veya uçlarına sistem kurulumu yapılır [7, 8].

$$\sum X = X_L - X_C \text{ ve } X_L = 2X_C \text{ olmak üzere}$$

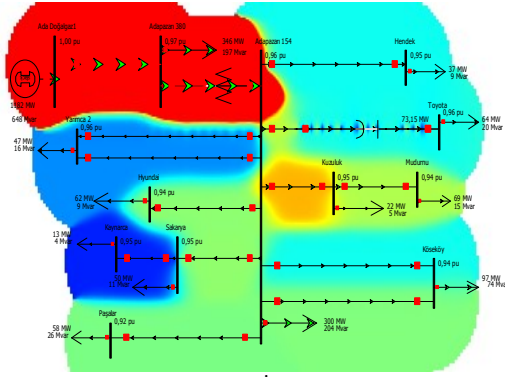
$$P_{\max} = P = \frac{U_1 U_2}{\sum X} \sin \delta \quad [17]$$

maksimum güç transferinin hattan iletilen gücün iki katına çıkarılarak sistemin kararlılığını artırılması mümkündür.

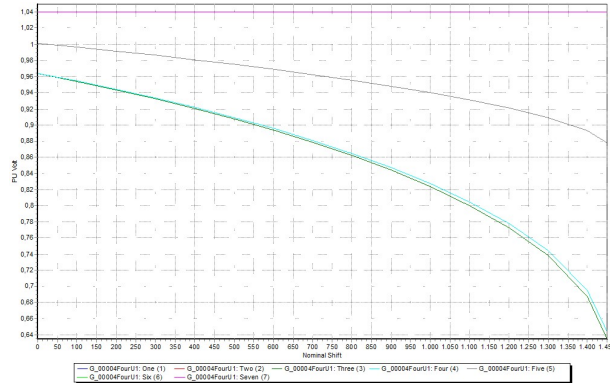


Şekil. 4 Seri Kapasitör Öncesi İletim Hattı Yükleme Durumu (Transmission Line Loading Situation Before Series Capacitor)

Şekil 4 ve Şekil 5 de mukayeseli görüldüğü üzere iletim sistemi üzerinde Adapazarı-Toyota barasına yerleştirilen seri kompanzasyon bu baralar arasında yapılan iletimin sürekli yük taşıma kapasitesini arttırmıştır.

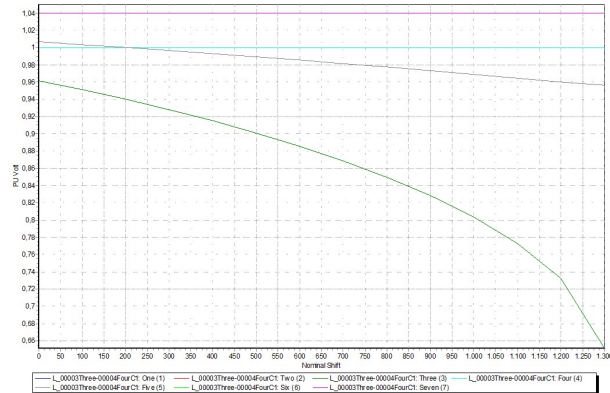


Şekil. 5 Seri Kapasitör Sonrası İletim Hattı Yüklenme Durumu (Transmission Line Loading Situation After Series Capacitor)



Şekil. 6 Seri Kapasitör Öncesi İletim Hattı PV Eğrisi (Transmission Line PV Curve Before Series Capacitor)

Şekil 6'da da görüldüğü üzere seri kapasitör devrede değilken farklı aktif güç değerleri için baralarda meydana gelen gerilim düşümleri ve gerilim çökmeleri durumları PV eğrisi üzerinden gösterilmiştir.



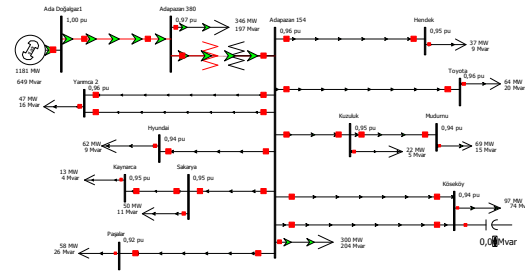
Şekil. 7 Seri Kapasitör Sonrası İletim Hattı PV Eğrisi (Transmission Line PV Curve After Series Capacitor)

Şekil 7'de de görüldüğü üzere seri kapasitör devrede farklı aktif güç değerleri için baralarda meydana gelen gerilim düşümleri ve gerilim çökmeleri ya tamamen ortadan kaldırılmış veya daha yüksek güç seviyelerinde meydana gelecek şekilde kaydırılmıştır. Mevcut güç

akışları durumu için sisteme seri kapasitör üzerinden enjekte edilen reaktif gücün sistem taşıma kapasitesini arttırdığı ve dolayısıyla gerilim kararlılığını arttırdığı görülmektedir [9-11].

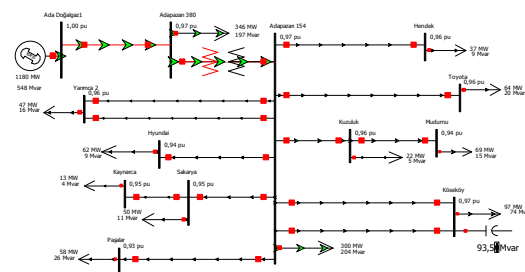
### 3.2.3. Reaktif Güç Akışı Durumu ve Şönt Kompanzasyon Etkisi (Reactive Power Flow Situation and Shunt Compensation Effects)

Şönt kapasitör bankaları kullanımının en temel amacı iletim hattının güç katsayısı iyileştirmesidir. Böylelikle iletim hattının gerilim kararlılığının artırılması ve kayıplarının minimize edilmesi mümkün hale gelir. Güç katsayısı iyileştirmesinin bir diğer faydası da iletim kapasitesinin artırılması sağlanarak güç akışının kontrolünün artırılmasıdır. Kapasitör gruplarının iletim hattına paralel olarak bağlandığı durumda bara gerilimini arttıracak ve baraya reaktif güç enjekte edecektir. Genelde şönt kapasitörler müşterinin ihtiyacı duyduğu reaktif gücün doğrudan karşılanması için kurulurlar. Böylelikle bara gerilimlerinin istenilen gerilim sınırları dahilinde kalması da garanti edilir [12-15].



Şekil. 8 Şönt Kapasitör Öncesi İletim Hattı Güç Akışı (Transmission Line Power Flow Before Shunt Capacitor)

Şönt kapasitörün Köseköy barasında iletim sistemine bağlanması ile birlikte Köseköy barasının p.u değerinin 0.93'den 0.97'ye ve Paşalar barasının 0.92'den 0.93'e iyileştiği görülmektedir. Ada DÇGS-1 üzerinden çekilen reaktif güç miktarının azalarak güç sisteminin reaktif gücünün ihtiyaç duyulan iletim kısmına kaydırıldığı Şekil 8 ve Şekil 9 mukayesesinde görülmektedir.



Şekil. 9 Şönt Kapasitör Sonrası İletim Hattı Güç Akışı (Transmission Line Power Flow After Shunt Capacitor)



#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Güç sistemlerinin analiz edilmesinde güç (yük) akışı analizleri ve arıza analizlerinin yapılması önemli bir ihtiyaç olup sistemin genişletilmesi çalışmalarında ve sistem kararlılığını artırma çalışmalarında etkin bir şekilde kullanılır. Güç sistemlerinin yüksek katmanlı yapıları ve birbirine ardışıl bağlı iç içe geçmiş yapıları dolayısıyla bilgisayar tabanlı nümerik hesaplama araçlarının kullanılması olmazsa olmazdır. Çalışmada incelemesi yapılan güç sistemi 114 baralılık Kuzeybatı Anadolu şebekesinin 13 baralılık bir kesiti olup bu kesit üzerinde üç faz kısa devre ve kapasitif arıza durumları oluşturularak, meydana gelen arızaların sistemin güç akışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Powerworld güç sistemi analizörü yazılımı güç akışı ve arıza hesaplamalarında kullanılmış ve değerlendirme neticeleri yorumlanmıştır. Buna göre sistemde en kritik arızanın 3 faz kısa devre arızası olduğu gösterilmiş bu arızanın incelemesi yapılan tüm baraların gerilimlerini çöktürdüğü ve generator açışal hız senkronizmalarını bozduğu aşıkâr görülmüştür. Sistemin taşıma kapasitesini arttıran seri ve şönt kapasitörlerin başta gerilim kararlılığı olmak üzere sistemin kararlılık marjınlarını arttırdığı, aşırı yüklenmenin olduğu bölgelerde hattın empedans değerinin de azaltılarak kayıpları minimize ettiği gösterilmiştir.

#### KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] S.B. Demircioğlu, "Real-time assessment of voltage stability limits using the parameters of the local busbar in electrical power systems", PhD Thesis, pp. 129-151, October 2006 (in Turkish)
- [2] W.F. Tinney, C.E. Hart, "Power Flow solution by Newton's Method", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, pp 86, 1967.
- [3] J.D. Glover, M.S. Sarma, "Power System Analysis and Design", 3rd ed., Brooks/Cole, 2001
- [4] M. Crow, "Computational Methods for Electric Power Systems", CRC Press, 2002
- [5] Y. Tamura, H. Mori, S. Iwamoto, "Relationship between voltage instability and multiple load flow solutions in electric power systems", IEEE Transactions on power apparatus and systems, no.5, pp. 1115-1125, May 1983
- [6] M.A. Pai, "Computer Techniques in Power System Analysis", McGraw-Hill, New Delhi, pp.110-112, 114-117, 120-126, 1979. www.powerworld.com
- [7] D. William, JR. Stevenson, "Elements of Power Systems Analysis", Fourth Edition, McGraw-Hill, pp.37-65, 68-87, 425-429, Singapore, 1982.
- [8] F. Aydın, Y. Uyaroğlu, M.A. Yalçın, "The effects of series capacitors to system grow in terms of voltage stability in power transmission systems", 3rd Energy Efficiency and the Quality Symposium, EVK'2009 21-22 May 2009, Turkey
- [9] J. Vlach, K. Singhal, "Computer Methods for Circuit Analysis and Design," Kluwer Academic Publications, 1993.
- [10] O. Elgerd, "Electric Energy Systems Theory," McGraw-Hill, New York, 1982.
- [11] J. Grainger, W. Stevenson, "Power System Analysis," McGraw-Hill, New York, 1994.
- [12] A. Bergen, V. Vittal, "Power Systems Analysis," second edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2000.
- [13] C. Gross, "Power System Analysis," John Wiley & Sons, New York, 1979.
- [14] B. Weedy, "Electric Power Systems," third edition, John Wiley & Sons, London, 1979.
- [15] G. Stagg, A. El-Abiad, "Computer Methods in Power System Analysis," McGraw-Hill, New York, 1968.