

Kuzeybatı Anadolu Güç Sisteminde Arızalı Durum Güç Akışı İncelemelerinin Gerçekleştirilmesi

¹İsmail Öylek, ^{*2}Metin Varan

¹Sakarya Üniversitesi, Sakarya Meslek Yüksek Okulu, Bilgisayar Programcılığı Bölümü

^{*2}Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

Geliş Tarihi: 2016-09-14 Kabul Tarihi: 2016-10-08

Öz

Çalışma sınırı yakınlarında çalıştırılma başta olmak üzere, devreye sürekli girip çıkan lineer olmayan karakteristikli üretim santralleri ve yükler dolayısıyla elektrik güç sistemlerinin sürekli güç akışı analizleri farklı arıza ve yüklenme senaryolarıyla yapılması oldukça önemlidir. Sistemin sürekli artan bağlantıları da bu çalışmaların yapılmasını gerekli kılmaktadır. Elektrik iletim sistemlerinde en sık karşılaşılan arıza tiplerinden biri olan faz-faz arızası başta olmak üzere, aşırı reaktif yüklenme durumu, baraların gerilim değerlendirmeleri kritik yüklenme senaryoları oluşturularak incelenmelidir. Bu çalışmada Kuzeybatı Anadolu güç sisteminin 13 baralılık bir kesiti üzerinde faz-faz kısa devre arıza durumları, reaktif yüklenmenin yüksek olduğu iletim durumu için hattın yüklenme durumları incelenmiştir. İnceleme sırasında yapılan güç akışı ve arıza hesaplamaları Powerworld yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güç sistemleri, faz-faz kısa devre arızası, reaktif aşırı yüklenme, güç akışı analizi

Investigation on Faulty Condition Power Flow in Northwestern Anatolia Power System

¹İsmail Öylek, ^{*2}Metin Varan

¹Sakarya University, Sakarya Vocational High School, Computer Programming

^{*2}Sakarya University, Faculty of Technology, Electrical and Electronics Engineering

Received Date: 2016-09-14 Accepted Date: 2016-10-08

Abstract

Because of operating very close to limits of electrical power systems that include continuously variable production plants and loads capacity levels, it is very important holding continuous power flow analyses made in different fault and loading scenarios. Continuously increasing bus connections of the system also make such those analyses valuable. In power transmission systems, particularly the phase-phase faults those are one of the most common type of faults, the reactive load assessment on lines in respect of bus voltage changes must be inspected by creating critical load scenarios. In this study, 13 bus section in Northwestern Anatolia Power System has been investigated. Power flow and fault calculations have been made by using Powerworld software.

Keywords: power systems, phase-phase short circuit fault, reactive loading, power flow analysis.

1. Giriş

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 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. Elektrik güç sistemi işletmecisi ve tasarımcılarının tüm araştırma geliştirme çalışmalarının temelinde her türlü çalışma koşulunda sistemin minimum maliyet ve maksimum verimlilikte tutulması ana hedeftir. Güç sisteminde devre dışı kalmalar, sistem üzerinde planlı genişleme/daraltma çalışmaları güç sistemi çalışma parametrelerinde de önemli değişiklikler meydana getirebilecektir [1]. Güç sisteminin sistem üzerinde belirleyici olan bileşenleri üzerinde çeşitli arıza senaryoları oluşturularak sürekli güç akışı analizlerinin

*Sorumlu Yazar: Adres: Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 54187, Sakarya, TÜRKİYE, E-mail: mvaran@sakarya.edu.tr, Tel:+90 (264) 295 55 37

yapılması ve oluşan system üzerinde olunan arızaların etkilerini boyutlandırmak sistemin güvenilir ve kararlı işletilmesi üzerinde oldukça kritik bir fonksiyona sahiptir.

Sürekli zaman güç akışı çözümleri uygulanarak sistemin en uygun çalışma durum değerlerinin belirlenmesi temelinde salınım barasının uygun bir değerde seçilerek tanımlanması, incelemesi yapılacak bara gerilimlerinin ve bara gerilim açılarının tespit edilmesi gereklidir. Böylelikle güç sisteminin aktif ve reaktif güçleri başta olmak üzere, hatlarda meydana gelen empedans kayıpların analitik hesaplamalar kullanılarak tespit edilmesi gerçekleştirilir [2]. Optimal güç akışı analiz algoritmalarının güç akışı hesaplamalarına dahil edilmesiyle sistemin aktif ve reaktif yüklenabilirlik sınırlarının en düşük birim üretim maliyetine göre tespiti yapılabilir [3,4].

Çok baralı güç sistemlerinin sürekli güç akışlarının yapılabilmesi karmaşık bir mühendislik problemi olup system üzerinden gerçek zamanlı değerlerin okunup analizlerin yapılmasında bilgisayar yazılımları sıklıkla kullanılır. Sistemlerinin lineer olmayan yapısı dolayısıyla analitik hesaplamalar baz alınarak tolere edilebilir hata değerleri sınırlarında çalışılmak kaydıyla bilgisayar destekli hesaplamalarda sayısal yöntemler kullanılmaktadır. Bu yük akışı yöntemleri arasında Gauss-Seidel ve Newton-Raphson sayısal yöntemleri iletim hesaplamalarında sıklıkla kullanılmaktadır [5,6].

Bilgisayar işlemci kabiliyetleri göz önünde bulundurulduğunda sistemin bara değerlerinin tanımlandığı yüksek boyutlu bara matrisleri kullanılarak hızlı yakınsama yapabilen sayısal hesaplama yapabilmesi oldukça önemlidir [7, 8].

Bu çalışmada incelenen 13 baralık bir Kuzeybatı Anadolu güç sistemi kesiti üzerinde faz-faz kısa devre arıza durumları ve reaktif yüklenmenin yüksek olduğu iletim durumu için hattın yüklenme değerleri incelenmiştir. Değerlendirmesi yapılan çalışma durumları için güç akışı hesaplamaları Powerworld yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

$$P_k = \sum_{j=1}^N |V_k| |V_j| (G_{kj} \cos(\theta_k - \theta_j) + B_{kj} \sin(\theta_k - \theta_j)), \quad k = 2, \dots, N$$

$$Q_k = \sum_{j=1}^N |V_k| |V_j| (G_{kj} \sin(\theta_k - \theta_j) - B_{kj} \cos(\theta_k - \theta_j)), \quad k = N_G + 1, \dots, N$$

Şebeke ile ilgili şu bilgiler bulunmaya çalışılır;

- i. Salınım barası hariç tüm baralardaki gerilim fazör açılarının tespiti (salınım barası açısı 0°) θ_k , $k=2, \dots, N$ o.ü.

Bu çalışmanın bölümleri şu şekilde oluşturmuştur. İkinci kısımda güç akışı denklemlerinin nasıl oluşturulacağı sayısal yöntem olan Newton-Raphson çözümüne uygun anlatılmıştır. Üçüncü kısımda Kuzeybatı anadolu şebekesinin Powerworld programa tanımlanması ve güç akışlarının yapımı anlatılmıştır. Sonraki bölümde kısa devre analizleri faz-faz arızası için yapılarak hattın aşırı reaktif yüklenme durumları da ayrıca incelenmiştir. Çalışmanın sonuç kısmında elde edilen analiz değerlerinin system üzerindeki etkileri ve sebepleri yorumlanmıştır.

2. Malzeme ve Yöntem

2.1. Sistem Güç Akışı Probleminin Newton-Raphson Metodu İle Çözülmesi

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 (türetim) vardır [10]. 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 system aşağıdaki adımlar gözetilerek tanımlanır:

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

3 ve 4 adımları doğrudan (1) 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.

- ii. Tüm PQ baraları için gerilim fazörlerinin genlik değerlerinin tespiti $|V_k|$, $k=N_G+1, \dots, N$ 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 [9,10].

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 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 açılar vektörü $\underline{\theta}$ (alt çizgi değişkenin bir vektör veya matris olduğunun temsil eder) ve bilinmeyen gerilim genlikleri $|\underline{V}|$ olmak üzere,

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

Değerleri bilinmeyen açı ve gerilim genlikleri vektörleri de eklenerek

$$\underline{f}(\underline{x}) = \begin{bmatrix} f_1(\underline{x}) \\ \vdots \\ f_{N-1}(\underline{x}) \\ f_N(\underline{x}) \\ \vdots \\ f_{2N-N_G-1}(\underline{x}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_2(\underline{x}) - P_2 \\ \vdots \\ P_N(\underline{x}) - P_N \\ Q_{N_G+1}(\underline{x}) - Q_{N_G+1} \\ \vdots \\ Q_N(\underline{x}) - Q_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ \vdots \\ \Delta P_N \\ \Delta Q_{N_G+1} \\ \vdots \\ \Delta Q_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} = \underline{0} \quad (6)$$

(6) 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. ΔP_k ve ΔQ_k vektörleri denklemde uyumsuzluk vektörü olarak tanımlanmıştır. Bu vektörler çözüm algoritması boyunca tüm iterasyonlar için en uygun çözümün elde edilmesinde kullanılacaktır [11,12].

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

$$\underline{x} = \begin{bmatrix} \underline{\theta} \\ |\underline{V}| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \theta_2 \\ \theta_3 \\ \vdots \\ \theta_N \\ |V_{N_G+1}| \\ |V_{N_G+2}| \\ \vdots \\ |V_N| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_{N-1} \\ x_N \\ x_{N+1} \\ \vdots \\ x_{2N-N_G-1} \end{bmatrix} \quad (3)$$

(1) denkleminin yeniden düzenlenmesi ile;

$$\begin{aligned} P_k &= P_k(\underline{x}), & k &= 2, \dots, N \\ Q_k &= Q_k(\underline{x}), & k &= N_G + 1, \dots, N \end{aligned} \quad (4)$$

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

$$\begin{aligned} P_k(\underline{x}) - P_k &= 0, & k &= 2, \dots, N \\ Q_k(\underline{x}) - Q_k &= 0, & k &= N_G + 1, \dots, N \end{aligned} \quad (5)$$

$\underline{f}(\underline{x})$ değer fonksiyonu vektörü aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

Newton-Raphson iterasyon seçimi de yapılarak tanımlanmıştır.

3. Bulgular

3.1. Kuzeybatı Anadolu İletim Hattının Modellenmesi

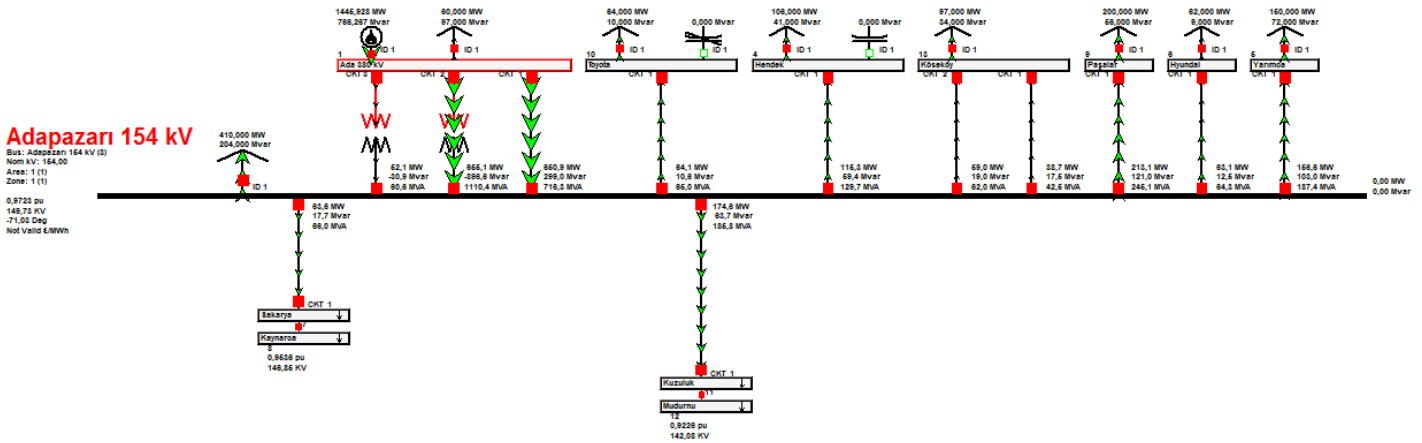
Bu çalışmada Kuzeybatı Anadolu iletim hattının 13 baralık bir kesitinde inceleme yapılmıştır. İnceleme yapılan iletim hattına ait empedans değerleri Tablo. 1'de verilmiştir.

İncelemesi yapılan sistem üzerinde tek üretim barası aynı zamanda salınım barası olan 380 kV Ada DGKÇS1 barasıdır. Bu baranın aktif güç üretimi 1485 MW ve reaktif güç üretimi 771 MVAR dır. Tek hat şeması verilen güç sistemi Powerworld ortamına Şekil-1 deki gibi tanımlanmıştır.

Tablo. 1 Baralar Arası İletim Hattı Empedansları

Bara		R (p.u)	X (p.u)	Y (p.u)
380 Adapazarı	380 Ada DGÇS1	0.000469	0.004334	0.096258
Adapazarı	Yarımcı 2	0.017758	0.083332	0.035693
Adapazarı	Yarımcı 2	0.017512	0.081327	0.033411
Adapazarı	Sakarya	0.011660	0.057846	0.012442
Sakarya	Kaynarca	0.007751	0.004417	0.008897
Adapazarı	Hyundai	0.024641	0.079038	0.027088
Adapazarı	Köseköy	0.011959	0.056119	0.024037
Adapazarı	Köseköy	0.012490	0.037254	0.014797
Hendek	Adapazarı	0.032256	0.103462	0.035458
Adapazarı	Toyota	0.002860	0.014177	0.005433
Adapazarı	Kuzuluk	0.006534	0.020957	0.007182
Kuzuluk	Mudurnu	0.020850	0.108105	0.047613
Adapazarı	Paşalar	0.020638	0.102303	0.039202
380 Adapazarı	Adapazarı	0.000260	0.002800	0.052550

Pu empedans değerlerinin oluşturulmasında baz değerler olarak $V_{BAZ}=154$ kV ve $S_{BAZ}=100$ MVA olarak alınmıştır.



Şekil. 1 İletim Hattının Tüm Güç Değerlerini Gösteren Güç Akışı Tek Hat Diyagramı

3.2. Arıza Analizleri

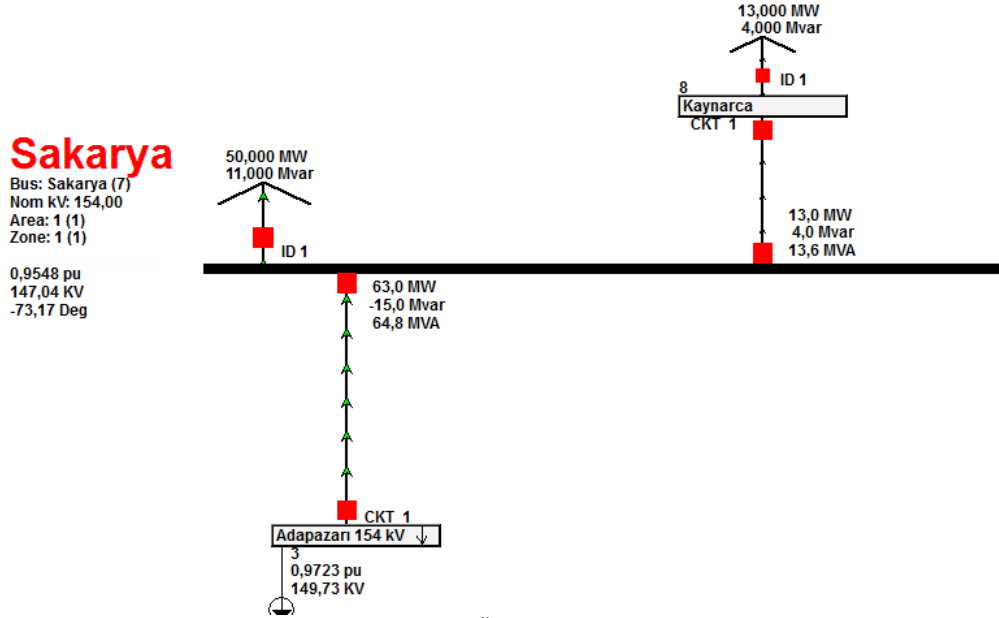
Bu çalışmada 13 baralı güç sistemi kesitine ilişkin arıza analizleri

- Faz-Faz Devre Arızası Analizi
- Aşırı Reaktif Yüklenme Durumu ve Şönt Kapasitör Etkisi

olmak üzere iki kategoride incelenmiştir.

3.2.1. Faz-Faz Kısa Devre Arıza Analizi

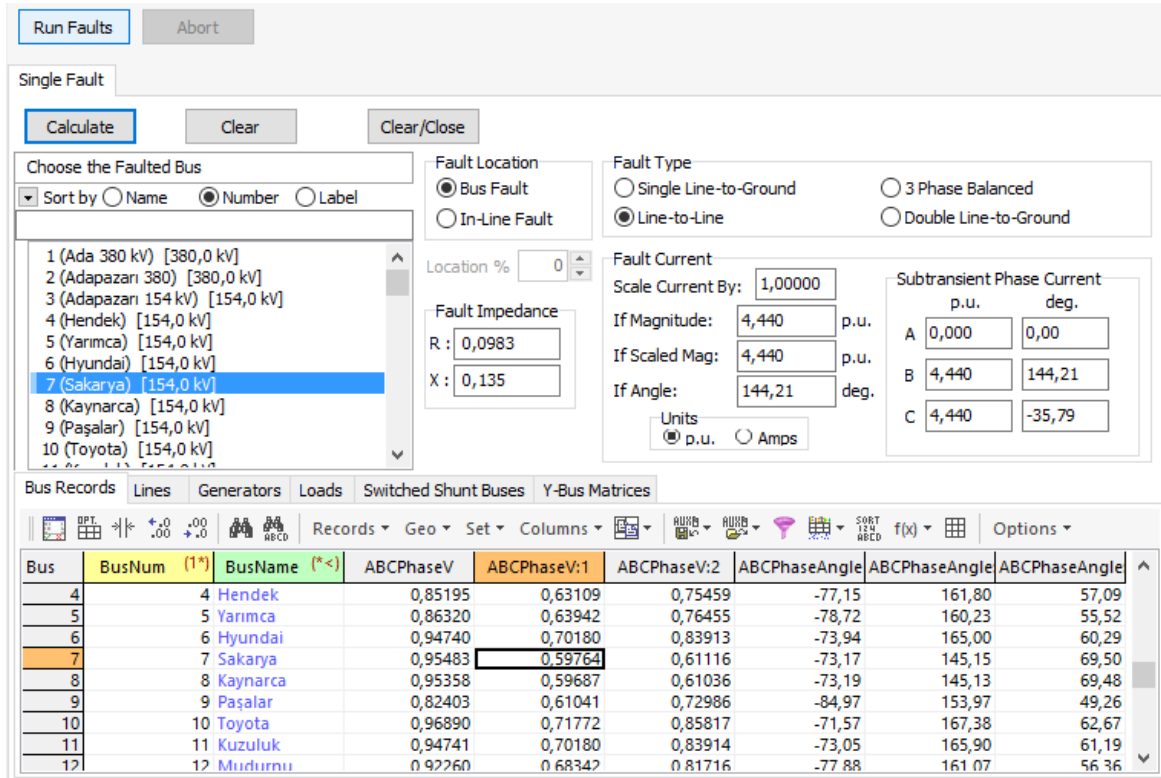
Yüksek gerilim hatlarında enerjili devrelerde kısa devre oldukça sık görülen bir arızadır. Böylesi bir arıza durumunun erken önlem alınmazsa çok büyük etkileri oluşabilir. Bu olası etkiler ölçeklenerek sistemin sağlıklı olarak işletilebilmesinde önemli role sahiptir. Sistem üzerinde olası kısa devre arıza durumlarından biride bir iletim hattına bağlı iletkenlerin faz-faz kısa devre arızasına maruz kalmasıdır.



Şekil. 1 Sakarya Barasının Arıza Öncesi Güç Akışı Tek Hat Diyagramı

Burada Sakarya barasında faz-faz kısa devre meydana getirilerek bir arıza senaryosu kurularak incelemesi yapılan 13 baraya ilişkin tüm fazlara ilişkin gerilim ve açı değerleri hesaplanarak arızanın etkileri ölçülmüştür. Şekil. 1'de Sakarya barasına ait arıza öncesi güç akışları, bara gerilimleri sisteme bağlı olan bileşenler gösterilmiştir. Burada oluşturulan arızada arıza empedans değeri $0.0983 + j0.135$ olarak alınarak güç akışı yapılmış ve bara gerilim ve açı değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

Tablo. 2'de Sakarya barasında oluşturulan faz-faz kısa devre arızası ile Sakarya barasında B ve C fazlarındaki bara gerilim değerlerinin sırasıyla 0.5976 ve 0.6111 pu olarak çöküntüye uğradığı görülmektedir. Bununla birlikte ve incelemesi yapılan tüm baralarda B fazında özellikle olmak üzere gerilim genlikleri azaldıkları ve açılarının yüksek salınım yaptığı ve meydana gelen bu arızanın sistemi lokal de olsa kararsızlığa sürüklediği görülmektedir.



Şekil. 2 Powerworld İle Sakarya Barası Üzerinde Faz-Faz Kısa Devre Oluşturulması

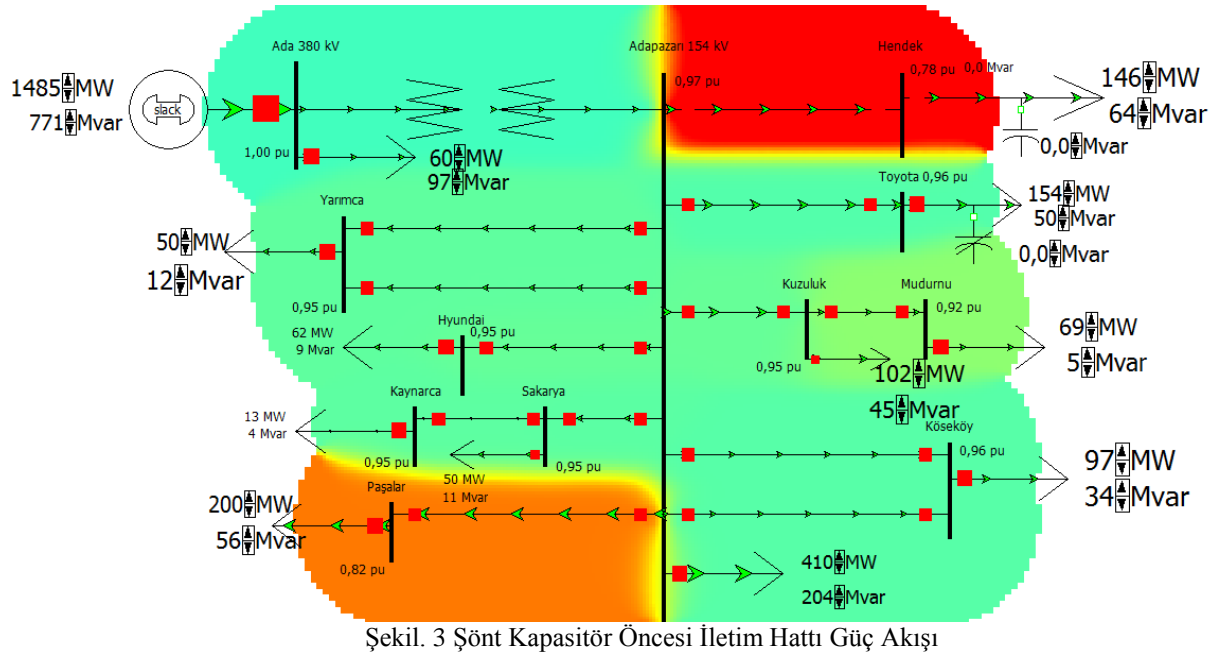
Tablo. 2 Sakarya Barası Faz-Faz Arızası Analizi Sonuçları

BARA		GERİLİM (p.u)			AÇI (O)		
No	Bara Adı	FazA	FazB	FazC	FazA	FazB	FazC
1	Ada DÇGS	1,00000	0,74874	0,89201	-70,09	169,19	63,72
2	Adapazarı 380 kV	1,00000	0,735000	0,87000	-67,00	135,00	83,00
3	Adapazarı 154	0,97229	0,72024	0,86117	-71,03	167,91	63,20
4	Hendek	0,85195	0,63109	0,75459	-77,15	161,80	57,09
5	Toyota	0,86320	0,63942	0,76455	-78,72	160,23	55,52
6	Paşalar	0,94740	0,70180	0,83913	-73,94	165,00	60,29
7	Hyundai	0,95483	0,59764	0,61116	-73,17	145,15	69,50
8	Sakarya	0,95358	0,59687	0,61036	-73,19	145,13	69,48
9	Kaynarca	0,82403	0,61041	0,72986	-84,97	153,97	49,26
10	Köseköy	0,96890	0,71772	0,85817	-71,57	167,38	62,67
11	Yarımcı 2	0,94741	0,70180	0,83914	-73,05	165,90	61,19
12	Kuzuluk	0,92260	0,68342	0,81716	-77,88	161,07	56,36
13	Mudurnu	0,95762	0,70937	0,84818	-72,24	166,71	62,00

3.2.2. Aşırı Reaktif Yüklenme Durumu ve Şönt Kapasitör Etkisi

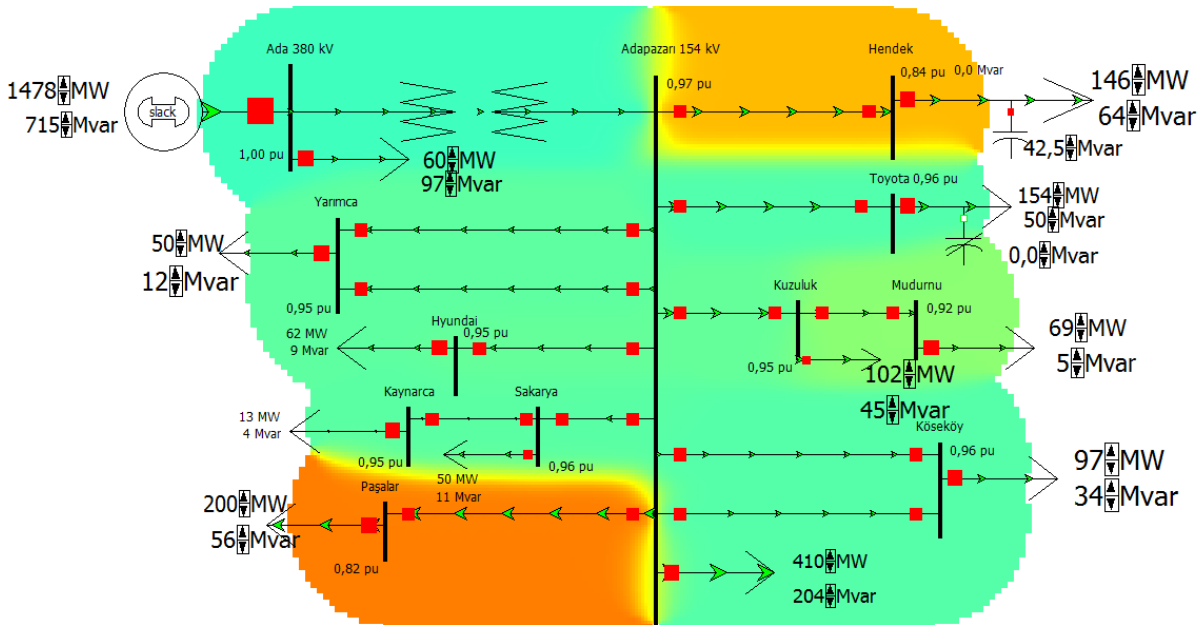
İletim hatlarında şönt kapasite kullanılarak güç katsayısı iyileştirilebilir. Böylelikle iletim hattının gerilim kararlılığının artırılması ve kayıplarının minimize edilmesi mümkün hale gelir. Güç katsayısı iyileştirmesinin bir başka faydası da iletim kapasitesinin artırılması sağlanarak güç akışının kontrolünün artırılmasıdır.

Kapasitör gruplarının iletim hattına paralel olarak bağlandığı durumda bara gerilimini arttıracak ve baraya reaktif güç enjekte edecektir. Genelde şönt kapasitörler müşterinin ihtiyaç duyduğu reaktif gücün doğrudan karşılanması için kurulurlar. Böylelikle bara gerilimlerinin istenilen gerilim sınırları dahilinde kalması da garanti edilir [13-15].

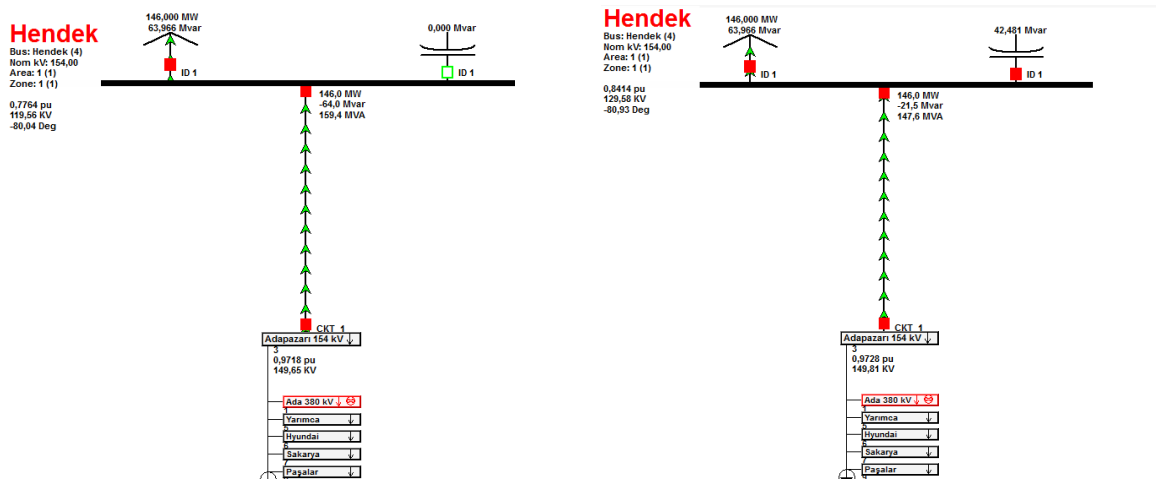


42.481 MVar lık şönt kapasitörün Hendek barasında iletim sistemine bağlanması ile birlikte Hendek barasının p.u değerinin 0.78'den 0.84'e iyileştiği görülmektedir. Ada DÇGS-1 üzerinden çekilen reaktif güç miktarının 771 MVar dan 715 MVar değerine azalarak güç sisteminin reaktif gücünün ihtiyaç duyulan iletim kısmına kaydırıldığı Şekil 3 ve Şekil 4 mukayesesinde görülmektedir.

Hendek barası tarafından Adapazarı barasından üzerinden çekilen 64 MVar reaktif gücün 21.MVar'ye düşürülmesi devreye 42.481 MVar lık bir şönt reaktörün bağlanmasıyla mümkün olduğu Şekil. 5' de tek hat şeması ile gösterilmiştir. Böylelikle Adapazarı bara gerilim pu değeri de 0.9718 pu seviyesinden 0.9728 pu seviyesine çıkarılmıştır.



Şekil. 4 Şönt Kapasitör Sonrası İletim Hattı Güç Akışı



Şekil. 5 Hendek Barası Şönt Kapasitör Öncesi ve Sonrası İletim Hattı Güç Akışı

4. Değerlendirme ve Sonuç

Güç sistemlerinin analiz edilmesinde güç akışı analizleri ve arıza analizlerinin yapılması önemli bir gereksinim olup sistemin genişletilmesi/daraltılması çalışmalarında ve sistem kararlılığını artırma çalışmalarında etkin bir şekilde kullanılır. Sistemin karmaşık ve yüksek boyutta

ve birbirine ardışıl bağlı iç içe geçmiş yapıları dolayısıyla bilgisayar tabanlı nümerik hesaplama araçlarının kullanılması olmazsa olmazdır. Çalışmada incelenmesi yapılan güç sistemi 114 baralı Kuzeybatı Anadolu şebekesinin 13 baralığı bir kesiti olup bu kesit üzerinde faz-faz kısa devre ve aşırı reaktif yüklenme arıza durumları oluşturularak, meydana gelen arızaların

sistemin güç akışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yapılan güç akışı ve arıza hesaplamaları Powerworld yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Buna göre sistemde faz-faz arası kısa devre arızası meydana geldiği durumda ilgili fazlara ait gerilimlerin çöktüğü ve generator açılma hız senkronizmalarını bozulduğu aşikar görülmüştür. Güç sisteminde aşırı reaktif güçlerin akması durumunda gerilim düşümünün meydana geldiği barayı uygun boyutta şönt kapasitör ilave edilmesiyle başta gerilim kararlılığının iyileştiği gösterilmiştir.

Kaynakça

- [1].Kundur, P., Definition and clasification of power system stability. IEEE Trans. Power Syst. May 2004 ; 19(2):1387-1401
- [2].C. W. Taylor, Power System Voltage Stability. New York: McGraw-Hill, 1994.
- [3].P. Kundur, Power System Stability and Control. Sections 2.12, 11.2 and Chapter 14. New York: McGraw- Hill, 1994.
- [4].W.F. Tinney, C.E. Hart, "Power Flow solution by Newton's Method", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, pp 86, 1967.
- [5].J.D. Glover, M.S. Sarma, "Power System Analysis and Design", 3rd ed., Brooks/Cole, 2001
- [6].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
- [7].M.A. Pai, "Computer Techniques in Power System Analysis", McGraw-,NewDelhi , pp.110-112, 114-117, 120-126, 1979. www.powerworld.com
- [8].M.A., Yalçın, Enerji Sistemlerinde Gerilim Kararlılığının Yeni Bir Yaklaşımla İncelenmesi. Doktora Tezi, İTÜ Elektrik- Elektronik Fakültesi, İstanbul.
- [9].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
- [10]. J. Vlach, K. Singhal, "Computer Methods for Circuit Analysis and Design," Kluwer Academic Publications, 1993.
- [11]. O. Elgerd, "Electric Energy Systems Theory," McGraw-Hill, New York, 1982.
- [12]. J. Grainger, W. Stevenson, "Power System Analysis," McGraw-Hill, New York, 1994.
- [13]. Bergen, V. Vittal, "Power Systems Analysis," second edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2000.
- [14]. Gross, "Power System Analysis," John Wiley & Sons, New York, 1979.
- [15]. Weedy, "Electric Power Systems," third edition, John Wiley & Sons, London, 1979.