

Güneydoğu Anadolu Bölgesi Gerilim Çökme Problemlerinin Değerlendirilmesi

Assessment of Voltage Collapse Problems in Southeast Anatolia Region

İsmail Elma, Oğuz Yılmaz

Enerji Enstitüsü
TÜBİTAK MAM

ismail.elma@tubitak.gov.tr, oguz.yilmaz@tubitak.gov.tr

Özet

Bu bildiride Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde özellikle yaz döneminde sulama yükleri nedeniyle yaşanan gerilim çökmesi olayları incelenecektir. Öncelikle sistem gerilim kararlılığı ile ilgili teorik bilgiler sunulacaktır. Sistem gerilim kararlılığı değerlendirme yöntemi ve bu yöntemin teorik altyapısı anlatılacak daha sonra yapılacak analizlerde kullanılacak olan modeller açıklanacaktır. Ayrıca MATLAB ve DigSilent yazılımları kullanılarak temel durum üzerinde yapılan sistem gerilim kararlılığı analizleri karşılaştırılarak farklı senaryolar ile yapılacak analizlerde kullanılacak yazılım ve sonuçlar gerekçelendirilecektir. Son olarak farklı senaryolar üzerinde yapılan analizlerin sonuçları ve bölgedeki gerilim çökmesi sorununa getirilen çözüm önerileri belirtilecektir.

Abstract

In this paper, voltage collapse problem in Southeast Anatolia Region, which is encountered especially due to irrigation loads in summer time, will be investigated. First of all, theoretic background of system voltage stability will be presented. System voltage stability analysis method and its theoretical background will be explained together with the models used in analyses. In addition, base case system voltage stability analyses in MATLAB and DigSilent software will be compared. Then utilized software for the analysis of different scenarios and results will be justified. Finally, results of different analyses carried out and suggested solutions to the mentioned voltage collapse problem in the region will be presented.

Terimler

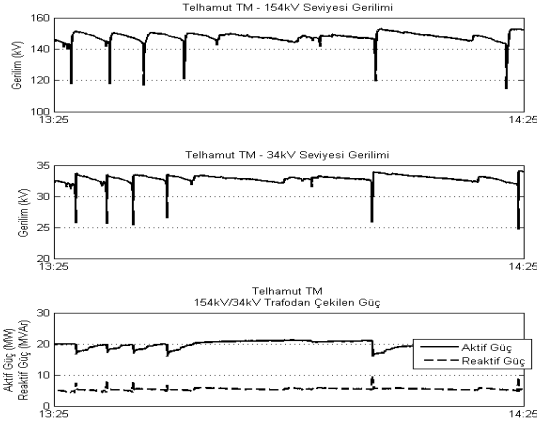
X_s : Sistemin eşdeğer reaktansı
 V_s : Sistemin nominal gerilimi
SCMVA : Sistemin kısa devre gücü
 V_{ind} : İndüksiyon motoru gerilimi
 I_{ind} : İndüksiyon motoru akımı
 R_{ind} : İndüksiyon motoru rotor direnci
 X_{ind} : İndüksiyon motoru stator ve rotor sargıları eşdeğer reaktansı
 $X_{m_{ind}}$: İndüksiyon motoru mıknatıslama reaktansı
 s : İndüksiyon motoru kayma (slip) değeri
 $P_{e_{ind}}$: İndüksiyon motoru elektriksel güç
 $P_{0_{ind}}$: İndüksiyon motoru mekanik güç
 P_{SHC} : İndüksiyon motoru kısa devre gücü
 $Q_{m_{ind}}$: Motor mıknatıslama reaktansında harcanan reaktif güç
 $Q_{s_{ind}}$: Motor yükünde harcanan reaktif güç

Q_{ind} : Toplam reaktif güç
 P_L : Genel yük modeli talep edilen aktif güç
 P_{LO} : Genel yük modeli talep edilen aktif güç (başlangıç)
 Q_L : Genel yük modeli talep edilen reaktif güç
 Q_{LO} : Genel yük modeli talep edilen reaktif güç (başlangıç)
 P_S : Genel yük modeli sistemin sağlayabileceği aktif güç
 Q_S : Genel yük modeli sistemin sağlayabileceği reaktif güç
 V_L : Yük gerilimi
 V_{LO} : Nominal yük gerilimi
 I_L : Yük akımı
 E : Sonsuz bara gerilimi
 ϕ : Yük açısı
 δ : Sonsuz bara gerilimi ile Yük gerilimi arasındaki açı
 X : Toplam reaktansı(Sistem ve iletim hattı reaktansları)

1. Giriş

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yaz döneminde sulama yükleri nedeniyle yaşanan gerilim çökmesi olaylarının irdelenmesi için 2011 yılında bölgede kısa süreli inceleme ve değerlendirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bölgede bulunan Viranşehir trafo merkezinde işletme operatörlerinin gözlemlerini yerinde görmek amacıyla inkıta halinde olan bir fider gerekli bilgilendirmeler neticesinde enerjilendirilmiştir. İletim gerilim seviyesi yaklaşık 150 kV, dağıtım barası gerilim seviyesi yaklaşık 33 kV nominal düzeyinde ve kararlı iken, enerjilenen fiderin, otomatik olarak devreye giren sulama motorları neticesinde 10 dakika içerisinde 40 MW düzeyine yüklendiği ve ardından da fider ampermetresinin saniyeler mertebesinde maksimum değere ulaşarak, 4-5 saniyelik bir sürenin ardından tekrar bir önceki denge noktasına geldiği, çekilen gücün bir miktar düştüğü, ve gücün yeniden 40 MW seviyesini aşmasıyla aynı olayın, fider korumaları fideri açmadan, defalarca gerçekleştiği bilfiil gözlemlenmiştir. Benzer bir durum Şekil 1'de, 2012 yılı Temmuz ayında Telhamut trafo merkezi için görülmektedir.

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde dağıtım fiderlerinin gerilim kararlılığı açısından azami yükte yüklenmeleri sebebiyle oluşan gerilim çökmesi problemi Şekil-1'de de görüldüğü gibi iletim sistemi gerilim seviyesinde de görülecek boyutlara ulaşmaktadır. Bu çalışmada tek bir dağıtım fiderinin gerilim kararlılığı üzerine analizler yapılmış ve bu analizlerin sonuçları değerlendirilerek iletim sistemi gerilim seviyesinde görülen gerilim dalgalanmalarına çözüm önerileri sunulmuştur. Öncelikle gerilim kararlılığı konusunda teorik altyapının anlatılmasından sonra yapılan analizler açıklanacaktır. Daha sonra ise bu analizlerin sonuçlarının değerlendirilmesi yapılacak, öneriler sunulacaktır.



Şekil 1: Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde görülen gerilim çökme olayları.

2. Gerilim Kararlılığı Değerlendirme Yöntemi

2.1. P-V Eğrisi Kullanarak Gerilim Kararlılığı Analizi

Sistemin gerilim kararlılığı dQ/dV kriterine göre değerlendirilirse; belirli bir noktadan çekilen belirli bir aktif güç miktarı için, gerilime bağlı olarak sistemin verebileceği reaktif güç miktarı ile, o noktada sisteme bağlı olan yükün gerilime bağlı olarak sistemden talep ettiği reaktif güç miktarı karşılaştırılarak, sistemin o noktada gerilim kararlılığı incelenebilir. [1] Bu kriter ile sistemin, bir yükün belirli bir aktif güç için talep ettiği reaktif güç miktarını karşılayabilme yeteneği incelenir.

Kararlı bir çalışma için sistem tarafından sağlanan aktif ve reaktif güçler ile yükün talep ettiği aktif ve reaktif güçler eşit olmalıdır. Gerekli incelemenin yapılabilmesi için yükün talep ettiği reaktif güç miktarının sistem gerilimine bağlı karakteristiği bulunmalı, daha sonra da sistemin gerilime bağlı sunabildiği reaktif güç karakteristiği ile yükün gerilime bağlı talep ettiği reaktif güç karakteristiği karşılaştırılmalıdır.

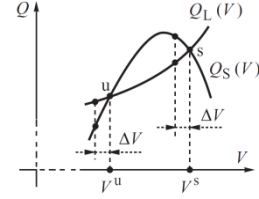
Sistem, Thevenin eşdeğeri (gerilim kaynağı ve eş değer seri reaktans) ile modellenmiştir. Tek bir generatör, iletim hattı ve yükün oluşturduğu basit bir sistemde; AVR'nin (Otomatik Gerilim Regülatörü) aktif olarak generator terminal gerilimini regüle etmek üzere çalıştığı durumda, bahsedilen gerilim kaynağı generatörün terminali, eş değer reaktans da iletim hattı reaktansı olur. AVR otomatik modda değilse, ya da generator bir limitleyici mekanizması dahilinde reaktif güç yeterlilik sınırlarında çalışıyorsa, AVR generator terminalini regüle edemeyeceği için gerilim kaynağı generatörün içinde bir noktayı temsil ederken, reaktans da iletim hattı reaktansı ile generator senkron reaktansının toplamından oluşur. Daha büyük sistemlerde bu gerilim kaynağı ve reaktansı sistemin o noktadaki kısa devre gücünden bulunabilir.

Kısa devre gücü, bir noktada üç faz-toprak kısa devre olduğunda kaynağın kısa devre akımı olarak ürettiği gücü belirtir. Bu güç değerini kullanarak (1) nolu denkleme göre sistemin eşdeğer reaktansı bulunabilir.

$$X_s = \frac{[V_s(kV)]^2}{SCMVA} (\Omega) \quad (1)$$

Aslında bulunan bu değer sistemin eşdeğer empedansıdır. Sistemin eşdeğer direnci reaktansına göre çok düşük olduğu

için ihmal edilebilir, bu durumda bulunan bu değer sistemin eşdeğer reaktansına eşit olur.

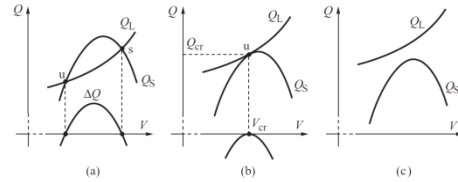


Şekil 2: Reaktif Güç Karakteristikleri. [1]

Sistem eşdeğer devresine göre aktif ve reaktif güç denklemleri kullanılarak, sistemin yükün bağlı olduğu noktada sağlayabileceği reaktif güç miktarının gerilime bağlı değişimi bulunabilir. Elde edilen bu karakteristik, yükün gerilime bağlı reaktif güç karakteristiği ile karşılaştırıldığında, Şekil-2'de görüldüğü gibi bu iki eğrinin kesiştiği noktalar sistemin çalışma noktaları olacaktır. [1]

Bu iki noktadan birisi kararlı çalışma noktası diğeri ise kararsız ya da nominal değerlere göre tanımlı olmayan çalışma noktasıdır. Sistem 'u' noktasında çalışırken, ΔV 'lik bir gerilim düşüşü durumunda, sistemin sağladığı reaktif gücün yükün talep ettiği reaktif güçten daha düşük olması, gerilimin daha fazla düşmesine sebep olacak, bu da gerilim kararsızlığına yol açacaktır. Ancak, sistem 's' noktasında çalışırken ΔV 'lik bir gerilim düşüşü durumunda, sistemin sağladığı reaktif gücün yükün talep ettiği reaktif güçten daha fazla olması, gerilimi yükselterek tekrar denge noktasına gelmesini sağlayacaktır. Bu yüzden 's' noktası kararlı çalışma noktasıdır.

Yükün çektiği aktif güç miktarı değiştiğinde sistemin ve yükün reaktif güç karakteristik eğrileri de değişecektir. Yükün çektiği aktif güç miktarı arttıkça yük karakteristik eğrisi yukarı doğru hareket ederken, sistem karakteristik eğrisi ise aşağı doğru hareket edecektir.



Şekil 3: Farklı Yüklenme Durumlarının Gösterimi. [1]

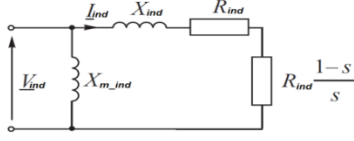
Şekil-3(a)'daki durumda biri kararlı biri kararsız iki denge noktası bulunurken Şekil-3(b)'de sistem kritik noktada ve bir denge noktası bulunmaktadır. Şekil-3(c)'de ise hiçbir denge noktası bulunmamaktadır. Bu durumda Şekil-3(a)'da sistem kararlı bir şekilde çalışırken, Şekil-3(b)'de sistem kritik noktada çalışmaktadır. Şekil-3(c)'de ise, sistem denge noktası olmadığı için bir çalışma noktasından bahsedilemez.

Sistemin dengede çalışabildiği aktif güç değerlerinin gerilime bağlı değişimi çizildiğinde yükün bağlı olduğu noktada bir güç-gerilim (P-V) eğrisi bulunabilir.

2.2. Analizlerde Kullanılacak Yük Modeli

Gerçekleştirilecek bir gerilim kararlılığı analizinde, sistemin modellenmesinin ardından önemli bir diğer nokta da yükün modellenmesidir. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde gerilim problemi yaşanan bölgeler ağırlıklı olarak sulama yüklerinin

olduğu bölgelerdir. Bu sulama yükleri indüksiyon motorları tarafından sürülen sulama pompalarından oluşmaktadır. Bu yüzden bu yükler, gerilimden bağımsız sabit aktif güç ve gerilime bağlı olarak değişen reaktif güç olarak modellenmiştir.



Şekil 4: İndüksiyon Motoru Basitleştirilmiş Eşdeğer Devresi.

$$P_{e_ind} = V_{ind}^2 \cdot \frac{R_{ind} \cdot s}{R_{ind}^2 + (X_{ind} \cdot s)^2} \quad (2)$$

İndüksiyon motoru aynı shaft üzerindeki sulama pompasını sürdüğü için, aktif güç talebi gerilimden bağımsız sabit bir yük olarak modellenenebilir. (2) nolu aktif güç denkleminde göre, motorun sabit aktif güç talebinin olması durumunda, gerilim düşüşüne kayma (slip) değerinin artması gerekir. Kayma değeri maksimum '1'e kadar artabilir. Bu durum motor torkunun pompa torkunu yenemediği ve motorun kısa devre gücü çekerek rotorun durması/kilitlenmesi (stall) anlamına gelir.

Tek bir indüksiyon motorunun talep ettiği reaktif güç miktarını hesaplamak için Şekil-4'de görülen indüksiyon motoru basitleştirilmiş eşdeğer devresi kullanılabilir. Buna göre bir indüksiyon motorunun reaktif güç talebinin paralel X_{m_ind} reaktansı ve seri X_{ind} reaktansının talep ettiği reaktif güç bileşenleri olmak üzere iki bileşeni vardır.[1] Bunlar :

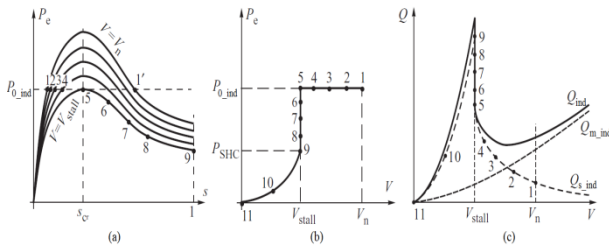
$$Q_{m_ind} = \frac{V_{ind}^2}{X_{m_ind}} \quad (3)$$

$$Q_{s_ind} = I_{ind}^2 \cdot X_{ind} = \frac{P_{e_ind} \cdot s}{R_{ind}} \cdot X_{ind} \quad (4)$$

$$Q_{s_ind} = \frac{V_{ind}^2}{2 \cdot X_{ind}} - \sqrt{\left(\frac{V_{ind}^2}{2 \cdot X_{ind}}\right)^2 - P_{0_ind}^2} \quad (5)$$

Sonuç olarak; bir indüksiyon motorunun reaktif güç talebi :

$$Q = \begin{cases} \frac{V_{ind}^2}{X_m} + \frac{V_{ind}^2}{R_{ind}^2 + X_{ind}^2} \cdot X_{ind} & , V_{ind} < V_{stall} \\ \frac{V_{ind}^2}{X_{m_ind}} + \frac{V_{ind}^2}{2 \cdot X_{ind}} - \sqrt{\left(\frac{V_{ind}^2}{2 \cdot X_{ind}}\right)^2 - P_{0_ind}^2} & , V_{ind} \geq V_{stall} \end{cases} \quad (6)$$



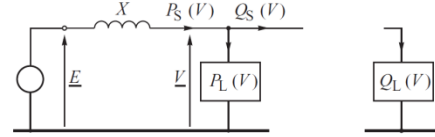
Şekil 5 : İndüksiyon Motoru Aktif - Reaktif Güç Talebi [1]

Analizlerde kullanılacak yük modeli oluşturulurken DigSilent PowerFactory programının kütüphanesinde bulunan 110 kW / 0.4 kV 2 kutuplu indüksiyon motorunun parametreleri kullanılarak tek bir indüksiyon motoru için reaktif güç talep eğrisi çıkartılmış, daha sonra istenilen başlangıç yük değerine

ölçeklendirilmiştir.

2.3. Sistemin Sağlayabileceği Reaktif Güç

Sistemin gerilim kararlılığı analizini dQ/dV kriterine göre gerçekleştirebilmek için, yük sistemden belirli bir aktif güç çekiyorken, sistemin, gerilime bağlı olarak, yükün bağlı olduğu noktaya sağlayabileceği reaktif güç ile yükün talep ettiği reaktif gücün karşılaştırılması gerekmektedir. Bunun için ise öncelikle yükün bağlı olduğu noktaya sistemin sağlayabileceği reaktif gücün hesaplanması gerekmektedir. Bunu hesaplamak için Şekil-6'da gösterilen elektriksel devre ele alınmalıdır.



Şekil 6: Sistemin Eşdeğer Tek Faz Devresi.

Şekil-6' da sistemin eşdeğer tek faz devresi oluşturulurken dirençler (generatör stator direnci, trafo sargı dirençleri, iletim hattı direnci, ...) ihmal edilmiş ve sadece reaktanslar hesaba katılmıştır. Bu durumda yükün bağlı olduğu noktada sistemin sağladığı gücün aktif ve reaktif bileşenleri (7) ve (8) nolu denklemlerle belirtilmiştir.

$$P_L(V) = P_s(V) = V_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi = \frac{E \cdot V_L}{X} \cdot \sin \delta \quad (7)$$

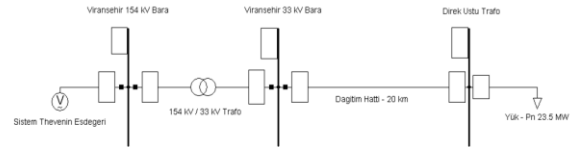
$$Q_s(V) = V_L \cdot I_L \cdot \sin \varphi = \frac{E \cdot V_L}{X} \cdot \cos \delta - \frac{V_L^2}{X} \quad (8)$$

$\sin^2 \delta + \cos^2 \delta = 1$ eşitliği kullanarak bu iki denklem tekrar düzenlendiğinde sistemin yükün bağlı olduğu noktada sağlayabileceği reaktif gücün gerilime bağlı değişimi (9) nolu denklem ile gösterilmiştir.

$$Q_s(V) = \sqrt{\left(\frac{E \cdot V_L}{X}\right)^2 - (P_L(V_L))^2} - \frac{V_L^2}{X} \quad (9)$$

2.4. Analizde Kullanılacak Model ve Parametrelerin Belirlenmesi

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde gerilim çökme probleminin yaşandığı noktalardan Viranşehir trafo merkezi 154 kV barası incelenmek üzere seçilmiştir.



Şekil 7: Analizde Kullanılan Modelin Tek Faz Diagramı.

Viranşehir trafo merkezi 154 kV barası kısa devre gücü 2010 yılı yaz puant verilerine göre 753 MVA olarak hesaplanmış ve Sistem Thevenin Eşdeğeri gerilim kaynağı ile seri olan eşdeğer empedans 31,49 Ω olarak hesaplanmıştır.

154kV/33kV trafo ve dağıtım hattı parametreleri TEİAŞ'ın 2010 yılı sistem verilerinden alınmıştır. Dağıtım hattının modellenmesi için 20 km, 33kV, 477MCM hat parametreleri kullanılmış ve toplam 23,5 MW gücünde sulama motor yüklerinin, sisteme hattın sonundan bağlı olduğu varsayılarak, en kötü durum için analizler gerçekleştirilmiştir.

3. Yapılan Analizler ve Sonuçları

3.1. MATLAB ve DigSilent kullanılarak oluşturulan PV eğrilerinin karşılaştırılması

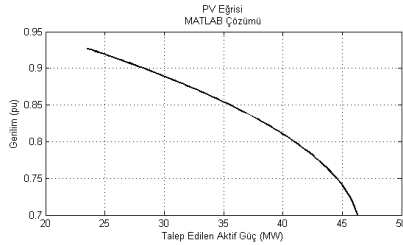
Sistem gerilim kararlılığı incelenirken, gerilime bağlı olarak sistemin yükün bağlı olduğu noktaya sağlayabileceği reaktif güç değeri ile, yine gerilime bağlı olarak yükün talep ettiği reaktif güç değeri karşılaştırılarak, talep edilen aktif güç miktarı için sistemin çalışma noktası (yükün bağlı olduğu baradaki gerilim değeri ve çekilen reaktif güç miktarı) belirlenir. Bu karşılaştırma farklı aktif güç değerleri için yapılarak yükün bağlı olduğu bara için bir Aktif Güç-Gerilim Eğrisi (PV eğrisi) çıkartılabilir.

Çalışmamızda bu PV eğrisi öncelikle MATLAB kullanılarak elde edilmiştir. MATLAB'da kullanılan hesaplamalarda sistem kısa devre gücüne göre bulunan Thevenin eşdeğeri (gerilim kaynağı ve buna seri bağlanmış bir reaktans), iletim hattı ve trafoların eşdeğer seri reaktansları kullanılmıştır. Sistem Thevenin eşdeğerindeki direnç ile iletim hattı ve trafoların dirençleri ihmal edilmiştir.

Daha sonra yükün bağlı olduğu baradaki PV eğrisi DigSilent güç sistemleri analiz yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır. Burada da elde edilen sonuçların karşılaştırılabilir olması açısından dirençler ihmal edilerek hesaplamalara sadece seri reaktans değerleri katılmıştır.

3.1.1. MATLAB kullanılarak elde edilen PV eğrisi

Sistemin yükün bağlı olduğu baraya sağlayacağı reaktif güç ve yükün talep ettiği reaktif güç değerleri (6) ve (9) no'lu denklemlerle ifade edilmişti. Elde edilen eğrilerin, belirli bir aktif güç için kesiştiği noktadaki gerilim değeri, bu aktif güç için kararlı çalışma noktasındaki gerilim değerini verecektir. Bu işlem, farklı aktif güç değerleri için tekrarlandığında, PV eğrisi ve sistem gerilim kararlılığının hangi aktif güç değerinde kritik noktaya ulaştığı hesaplanabilir. (Şekil-8)



Şekil 8: MATLAB kullanılarak elde edilen PV eğrisi.

3.1.2. DigSilent yazılımı kullanılarak elde edilen PV eğrisi

DigSilent yazılımında ilgili analizi yapabilmek için indüksiyon motor yükleri aktif güç gerilimden bağımsız; reaktif güç ise gerilime bağlı olmak üzere genel yük olarak modellenmiştir. Genel yük modelinde [2] frekansa bağlı değişim ihmal edilerek sadece gerilime bağlı değişim hesaba katılmıştır. İndüksiyon motorunun gerilime bağlı aktif ve reaktif güç denklemleri kullanılarak gerilime bağlı olarak elde edilen reaktif güç değerleri eğri uydurumu (curve fitting) ile (12) ve (13) nolu denklemlere benzetilmiştir.

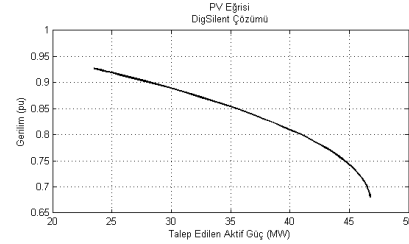
Genel Yük Modeli'nde gerilime göre aktif ve reaktif güç değerleri (12) ve (13) nolu denklemlerle belirtilebilir.

$$P_L = P_{L0} \left(aP \cdot \left(\frac{V_L}{V_{L0}} \right)^{e_{aP}} + bP \cdot \left(\frac{V_L}{V_{L0}} \right)^{e_{bP}} + (1 - aP - bP) \cdot \left(\frac{V_L}{V_{L0}} \right)^{e_{cP}} \right) \quad (12)$$

$$Q_L = Q_{L0} \left(aQ \cdot \left(\frac{V_L}{V_{L0}} \right)^{e_{aQ}} + bQ \cdot \left(\frac{V_L}{V_{L0}} \right)^{e_{bQ}} + (1 - aQ - bQ) \cdot \left(\frac{V_L}{V_{L0}} \right)^{e_{cQ}} \right) \quad (13)$$

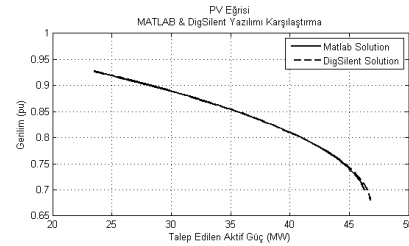
$$\begin{aligned} aP &= 1, & aQ &= 0,3963 \\ bP &= 0, & bQ &= 0,5989 \\ e_{aP} &= 0, & e_{aQ} &= 3,078 \\ e_{bP} &= 0, & e_{bQ} &= -0,3772 \\ e_{cP} &= 0, & e_{cQ} &= -7,747 \end{aligned}$$

Bu yük modeli kullanılarak elde edilen PV eğrisi (Şekil-9)'da görülmektedir.



Şekil 9: DigSilent yazılımı kullanılarak elde edilen PV eğrisi.

MATLAB kullanılarak hesaplanan PV eğrileri ile DigSilent yazılımı kullanılarak elde edilen PV eğrileri karşılaştırıldığında, beklenildiği gibi bu eğrilerin birebir örtüştüğü görülmüştür. (Şekil-10) Özel durumları da içeren geri kalan diğer analizler DigSilent güç sistemleri analiz programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 10: MATLAB ve DigSilent yazılımı kullanılarak elde edilen PV eğrilerinin karşılaştırılması.

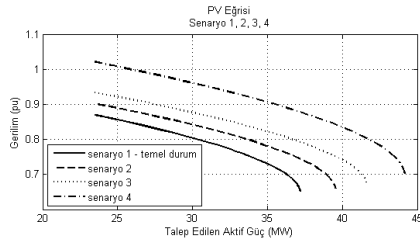
3.2. DigSilent yazılımı ile PV Analizi

MATLAB ve DigSilent yazılımlarında dirençler ihmal edilerek yapılan analizlerin karşılaştırılmasının ardından DigSilent yazılımı ile yapılan analizlerde trafo ve fider dirençleri de hesaba katılmıştır.

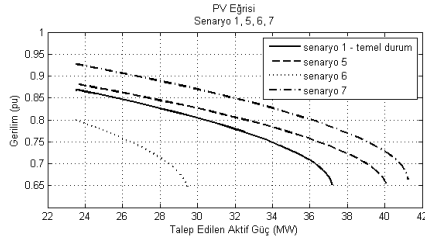
DigSilent yazılımı ile oluşturulan model üzerinde farklı senaryolar için PV analizleri yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Viranşehir trafo merkezi'ne yeni hat yapılması, olan hatların kapasitelerinin artırılması ve/veya bölgeye yeni santraller yapılmasının, sorunun çözümü konusunda sağlayacağı katkılarını incelemek için, oluşturulan model üzerinde 154 kV sistemin kısa devre gücü değiştirilerek farklı senaryolar oluşturulmuştur. Ayrıca dağıtım fiderlerinde kullanılan iletken tiplerinin sistem gerilim kararlılığına etkilerini değerlendirmek amacıyla da, model üzerinde farklı iletken tipleri kullanılarak senaryolar oluşturulmuştur. 33kV seviyesi gerilimini, 154kV/33kV trafo kademeleri ile değiştirilmesinin sistem gerilim kararlılığına etkisinin gösterilmesi amacıyla da farklı bir senaryo oluşturulmuştur. Son olarak, sisteme reaktif güç desteği sağlanmasının sistem kararlılığı açısından incelenmesi amacıyla model üzerinde

farklı noktalara kapasitörler bağlanarak farklı senaryolar oluşturulmuştur. Nihai anlamda farklı durumlar için toplamda 7 farklı senaryo değerlendirilmiştir.

1. Herhangi bir noktada kapasitör bağlı değilken, (temel durum: 20 km, 33kV 477MCM dağıtım fideri, 753 MVA bara kısa devre gücü, trafo orta kademede)
2. 154 kV/34,5 kV trafonun 154 kV tarafına kapasitör eklenmesi (Trafo merkezinde 154 kV seviyesinde kompanzasyon)
3. 154 kV/34,5 kV trafonun 34,5 kV tarafına kapasitör eklenmesi (Trafo merkezinde 34,5 kV seviyesinde kompanzasyon)
4. Dağıtım fiderinin sonuna kapasitör eklenmesi (Yükün bağlandığı noktada kompanzasyon)
5. Viranşehir 154 kV yüksek gerilim barasının kısa devre gücü 1500 MVA
6. Dağıtım fiderinde 3/0 AWG iletken kullanılması
7. Trafo kademesi minimum pozisyonunda (33 kV seviyesi geriliminin kademe değiştirilerek yükseltilmesi)



Şekil 11: Senaryo 2, 3 ve 4'ün Senaryo 1 (temel durum) ile karşılaştırılması.



Şekil 12: Senaryo 5, 6 ve 7'nin Senaryo 1 (temel durum) ile karşılaştırılması.

Farklı senaryolar üzerinde yapılan analizler sonucunda, ele alınan örnek fiderin, yükün fider sonunda yoğunlaştığı varsayımıyla, yüklenebileceği maksimum yük miktarları ve maksimum yükte iken fider uç noktası gerilimleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Farklı senaryolar için Maksimum Yük-Gerilim Tablosu

	Maksimum Yük (MW)	Uç Noktası Gerilimi (p.u.)
Senaryo 1	37	0,65
Senaryo 2	39	0,66
Senaryo 3	42	0,67
Senaryo 4	44	0,70
Senaryo 5	40	0,65
Senaryo 6	29,5	0,64
Senaryo 7	41,2	0,66

Tablo 1'de de görüldüğü gibi, kompanzasyon yapılarak sisteme reaktif güç desteği sağlanması, fiderin kararlılık açısından yüklenebileceği maksimum yük miktarını

arttırmıştır. Kapasitörün sisteme bağlandığı nokta yüke yaklaştıkça daha iyi değerler elde edilmiştir. (Senaryo 2,3,4)

Viranşehir trafo merkezi'ne yeni hat yapılması, olan hatların kapasitelerinin artırılması ve/veya bölgeye yeni santraller yapılması ile artacak bara kısa devre gücünün etkilerini incelemek amacıyla oluşturulan Senaryo 5'in sonuçları incelendiğinde, iletim sisteminde yapılan bu değişikliklerle incelenen trafo merkezinin kısa devre gücünü yaklaşık iki katına çıkması ; ancak kısmi bir iyileştirme sağlayabilmiştir.

Senaryo 6'da havai fiderde kullanılan iletken tipinin etkileri incelenmiştir. Bu senaryonun sonuçlarına bakıldığında ise, iletken tipinin önemli bir fark yarattığı görülmektedir.

Son senaryoda ise günlük işletmede de kullanıldığı gibi, 154kV/33kV trafosunun kademelerinin değiştirilmesi ile 33kV seviyesi geriliminin iyileştirilmesinin, mevcut yük karakteristiği için, fiderin kararlılık açısından yüklenebileceği maksimum yük miktarına olumlu etkisi olacağı gösterilmiştir.

Sonuç olarak fiderin yüklenebileceği maksimum yük miktarında bir artış sağlayabilmek için sistem topolojisi iyileştirilerek trafo merkezinin kısa devre gücü artırılabilir, yüke mümkün olan en yakın noktada kompanzasyon yapılabilir, 154kV/33kV trafosunun kademesi değiştirilerek 33kV seviyesi gerilimi yükseltilebilir. Ancak yapılan analizler sonucu görüldüğü gibi; en önemli değişiklik, 33kV seviyesi havai fiderde taşıma kapasitesi yüksek, empedansı düşük iletken tipi kullanılarak sağlanacaktır.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada öncelikle gerilim çökme problemlerinin incelenmesi için izlenebilecek bir analiz metodu belirtilmiştir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde mevcut durumda da gözlemlenen problemlere örnek olması açısından Viranşehir Trafo Merkezi'ne bağlı bir dağıtım fiderinin gerilim profili, belirli varsayımlarla incelenmiş ve farklı senaryolar irdelenerek çözüm önerilerinde bulunulmuştur. Bu çözüm önerileri değerlendirildiğinde, analizler sonucunda, aşağıdaki çözümlerin uygulanabileceği söylenebilir.

- Dağıtım fiderlerinin iletken tipi iyileştirilmesi,
- Yüke mümkün olan en yakın noktada kompanzasyon yapılması,
- Maksimum yük miktarından fazla yüklenen fiderlerdeki yüklerin yeni fiderler ile beslenmesi

İfade edilen ilk iki seçenek geçici çözümler olacaktır. Fiderlerin yük miktarları maksimum yüke yaklaştıkça gerilim çökme problemleri tekrarlayacaktır. Yük artışı sınırlandırılmıyorsa ya da inkıta bir çözüm olarak değerlendirilmiyorsa, fider yükünü azaltacak şekilde mevcut yüklerin kısmi olarak oluşturulacak yeni fiderlere aktarımı daha uzun soluklu bir çözüm olarak değerlendirilebilir.

5. Kaynaklar

- [1] Machowski, J., Bialek, J.W. ve Bumby, J.R., *Power System Dynamics: Stability and Control*, John Wiley & Sons, Ltd., United Kingdom, 2008.
- [2] IEEE Task Force on Load Representation, "Standard Load Models for Power Flow and Dynamic Performance Simulation", *IEEE Transactions on Power Systems*, Cilt 10, Sayfa 1302-1313, Ağustos 1995.