

Yenilenebilir Dağıtık Üretim Koşullarının Güç Sistemlerinin Yük Akışına Etkilerinin Analizi

A Load Flow Analysis for Impacts of Renewable Distributed Generation Conditions on Power Systems

Asım Kaygusuz¹, Ozan Gül², Barış Baykant Alagöz¹

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği

İnönü Üniversitesi

asim.kaygusuz@inonu.edu.tr, baykant.alagoz@inonu.edu.tr

²Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Bingöl Üniversitesi

ozan.m.r.gul@hotmail.com

Özet

Günümüz elektrik şebekelerinde, yenilenebilir dağıtık enerji kaynaklarının güç sistemine entegrasyonu giderek yaygınlaşmaktadır. Bu nedenle, yenilenebilir dağıtık kaynakların güç sistemlerinin yük akışına etkileri analiz edilmesi önem arz etmektedir. Özellikle, yakın gelecekte akıllı şebeke uygulamaları ile birlikte güneş ve rüzgar gibi enerji üretim süreksizliğine sahip enerji kaynaklarının yoğun bir şekilde güç sistemine dağıtık entegrasyonu söz konusu olacaktır. Bu koşullarda, güç sisteminde yük akış kararlılığının sürdürülebilmesi için, sistemde oluşabilecek olumsuz durumlarının önceden görülmesi ve gerekli tedbirlerin alınması, güç sisteminin doğru ve etkin yönetimi için gerekli bir adımdır. Bu problemin çözümünde, süreksiz kaynakların güç üretim değişkenliklerini göz önünde tutan yük akış analizlerine ihtiyaç vardır. Bu tip analizler, süreksiz dağıtık üretiminin yaygınlaştığı güç sistemlerinin yönetimi ve planlamasında önemli bileşenler haline gelecektir. Bu amaçla, bu makalede saat-bazlı günlük ortalama üretim profilleri ile modellenen yenilenebilir dağıtık kaynakların sisteme katıldığı durumlar için yük akış analizi yapılmıştır. Bu analizlerde, gün içi bara gerilim seviyesi ve güç faktör değişimleri analiz edilerek değerlendirilmiştir. Dağıtık yenilenebilir kaynakların, gerilim seviyesinde ciddi bir değişime neden olmadığı, güç faktöründe ise artan üretim ile birlikte dikkate değer düşüşlerin olabileceği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Günlük saat bazlı yük akış analizi, dağıtık kaynaklar, yenilenebilir güç kaynak entegrasyonu

Abstract

In today's electric distribution grids, integration of distributed renewable energy sources to the grid is presenting an increasing trend. Hence, investigation of impacts of renewable distributed generation is a necessity. Particularly, depending on smart grids technologies, dense integration of

intermittent energy sources based on solar and wind energy, will be available in near future. In this case, detection of adverse system conditions and planning for the necessary protections are important for the management of resources effectively and reliably. For the solution of this problem, there is need for the load flow analyses that consider the variability and fluctuations of discrete renewable sources. These analyses will be useful for management and planning of the power systems containing distributed renewable energy generation. For this propose, authors conduct 24-hours load flow analyses for power system containing intermittent renewable sources. These sources are modeled by hourly generation profiles. Bus voltage and power factor changes in buses are evaluated for a day. It was observed that bus voltages did not alter considerably; however, as increasing volume of distributed renewable generation, power factors can decrease.

Keywords: load flow analysis based on daily hours, distributed sources, the integration of renewable power sources

1. Giriş

Enerji üretiminde, yenilenebilir enerji kaynaklarının payı gün geçtikçe artmaktadır. Rüzgar ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik üretiminin, küresel iklim ve çevre kirliliği üzerinde daha az olumsuz etkiye sahip olması, enerji üretimi için yakıt gerektirmemesi gibi önemli avantajlara sahip olmasından dolayı toplam enerji üretimindeki payı gün geçtikçe artmaktadır [1]. Bu tür yenilenebilir kaynakların, geleneksel güç sistemine entegre edilmesinin önündeki en önemli güçlük, üretim süreksizliği ve belirsizlikleri olarak gösterilmektedir. Üretim belirsizlikleri ve süreksizlikleri, sistemin yük akışlarında anlık değişimlere neden olabilmektedir. Bu değişimlerin sisteme negatif etkilerinin önceden tespit edilmesi, önleyici tedbirlerin ve planlamaların uygulanması, sağlıklı ve etkin güç dağıtımı için gereklidir. Bundan dolayı, yenilenebilir dağıtık enerji kaynaklarının

belirsizlik içeren karakterinin, sistemin yük akış kararlılığına etkilerinin incelenmesi oldukça önem kazanmaktadır.

Yük akış analizi için farklı matematiksel teknikler kullanılmıştır. Bu teknikler Newton-Raphson [2], Fast-Decoupled [3,4], Gauss-Seidel [5] gibi matematiksel algoritmalar. Bu matematiksel algoritmaların yanı sıra parçacık sürü optimizasyonu [6], bulanık mantık algoritması [7], diferansiyel evrim algoritması [8], tabu araştırma algoritması [9], bakteri kolonisi optimizasyonu [10] gibi modern sezgisel metotlar da kullanılmıştır.

Özellikle 1960'lı yıllarda dijital bilgisayarın icadı ve kullanımının yaygınlaşmasıyla yük akış problemleri için bir çok yöntem geliştirilmiştir [2]. Özellikle nümerik yöntemler üzerinde çalışılmış, fast-decoupled gibi Newton metodunun farklı versiyonları da yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [4]. Ray D. Zimmerman ve Hsiao-Dong Chiang da bu yöntemi kullanarak dengesiz radyal dağıtım sistemleri üzerinde yük akış çalışması yapmıştır [3]. Nümerik yöntemler özellikle Newton-Raphson metodu analizi, çözüme yakınsama hızı ve doğruluğu bakımından en yaygın kullanıma sahip temel bir metot haline gelmiştir. Newton-Raphson yöntemi çok değişkenli lineer olmayan denklemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılan bir analiz yöntemidir. Bu metoda göre başlangıçta, değişkenlerin değerleri rastgele belirlenir. Bu değerlerin kullanılması ile yeni değerler üretilir. En son üretilen iki değer arasında kabul edilebilir küçük bir fark sağlanana kadar iteratif olarak çalışma devam ettirilir. Newton-Raphson yük akışının amacı, tüm yük baralarının gerilim genlik değerleri ile salınım barası dışındaki tüm baraların açılı değerlerini belirlemektir. D. Shirmohammadi, H.W. Hong, A. Semlyen ve G.X. Luo [11] tarafından 1988'de yapılan çalışmada çok girişli kompanzasyon tekniği ve Kirchoff yasasının temel formasyonu kullanılarak zayıf ağılı dağıtım ve iletim şebekelerinin çözümü için bir yük akış metodu tarif edilmiştir. Bahsedilen metod çok iyi bir yakınsamaya sahip olup bu metodu uygulandığı bir bilgisayar programı geliştirilmiş ve radyal zayıf ağılı birkaç dağıtım ve iletim şebekesine başarıyla uygulanmıştır. Sözü edilen metod tek fazlı (dengeli) şebekelerin yanı sıra üç fazlı (dengesiz) şebekelerin çözümüne de uygulanabilmiştir. 1995 yılında Carol S.Cheng ve D. Shirmohammadi'nin [12] birlikte yaptıkları çalışmada ana dağıtım sistemlerinin gerçek zamanlı analizi için üç fazlı durumda yük akış çözümü sunulmuştur. Bu yöntem tek fazdan üç faza zayıf ağılı dağıtım sistemleri için kompanzasyon tabanlı yük akış metodunun (önceki kısımda açıklanan çalışma) doğrudan bir açılımı olup dengesiz ve dağıtılmış yükler, gerilim regülatörleri ve otomatik kontrollü paralel kapasitörler üzerine vurgu yapılmıştır. Kompanzasyon fikri, üretim baralarında gerilim genlik uyumsuzluğunu giderebilmek için başarılı bir şekilde ele alınmıştır. Bu metod dağıtım otomasyon sistemlerinde gerçek zamanlı uygulama için gereken yüksek çalışma hızını sağlamıştır.

Yakın bir gelecekte, akıllı şebeke (Smart Grid) uygulamaları ile yenilenebilir dağıtık kaynakların dağıtım şebekesine entegrasyonunun gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir [1,13-21]. Bu noktada, enerji üretim süreksizliği ve belirsizliği olan enerji kaynaklarının (güneş ve rüzgar enerjisi gibi) güç dağıtım şebekesine etkilerinin analizi önem kazanmaktadır. Bu sistemlerin neden olduğu üretim dalgalanmaları durumunda şebeke koşullarının kabul edilebilir

sınırlar içinde çalışmasının sağlanması için analiz ve yönetim metodlarının geliştirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, dağıtık yenilenebilir enerji kaynaklarının güç sistemi yük akışına etkileri Newton-Raphson yük akış analizleri yardımı ile incelenmiştir. Bu amaçla, güç üretim belirsizliği ve süreksizliği sergileyen yenilenebilir kaynaklar, 24-saatlik ortalama üretim profilleri ile tanımlanmıştır. Bu kaynaklar, IEEE 39 bara güç sistemine dağıtılarak, güç sisteminin yük akış analizi saatlik bazda günlük olarak incelenmiştir. Bu analizlerde, güç sistemin gün içinde maruz kalabileceği değişken güç talep koşullarının analizlere yansıtılması için baralara bağlı yükler 24 saatlik ortalama güç talep profilleri yardımı ile dinamik olarak modellenmiştir. Bu sistemde çeşitli senaryolar için saatlik periyotla örneklenmiş yük akış analizleri, Newton-Raphson nümerik çözümleri temelinde gerçekleştirilmiş ve böylece hızlı ve düşük yakınsama hatalı, yük akış çözümlenmeleri elde edilebilmiştir [22]. Elde edilen çözümler üzerinde, istatistikî analizler yapılarak, gün içi bara gerilim seviyesi değişimleri ve bara güç faktörü değişimleri incelenmiş, değişkenlik faktörü (standart sapma / ortalama (σ / μ)) analizleri yapılmıştır.

2. Nümerik Analiz Metodu

Güç sistemlerinin analizinde karşılaşılan problemlerin çözümünde lineer olmayan denklemlerle karşılaşılır. Bu denklemleri çözmek için nümerik yöntemler kullanılır. Yük akış analizinin temel amacı verilen bir güç sisteminde, üretim ve tüketim değerleri için, baralar üzerindeki kompleks gerilim ve hatlar üzerinde akan kompleks güç değerlerini bulmaktır.

Yük akış probleminin çözümü, her bir baradaki gerilimin genliği, faz açısı ve her bir hatta akan aktif ve reaktif gücün belirlenmesini sağlar. Bir yük akış problemi çözümlenirken sistemin normal, dengeli şartlar altında çalıştığı ve tek hat diyagramıyla temsil edildiği kabul edilir. Her bir barada ele alınması gereken değişkenler, gerilim genliği ($|V|$), gerilim faz açısı (δ), aktif güç (P) ve reaktif güçtür (Q). Bazı baralar jeneratörlerle beslenir ve bu baralar üretim barası olarak isimlendirilir. Bu baralarda gerilim genliğinin ve aktif gücün bilindiği (sabit) kabul edilir. Jeneratöre bağlı olmayan diğer baralar yük barası olarak adlandırılır. Tüm baralarda kompleks yük gücünün bilindiği kabul edilir. Kısaca özetlemek gerekirse bir güç sistemindeki baralar 3 gruba ayrılır:

i-Referans bara olarak da adlandırılan salınım barası, gerilimin genliğinin ($|V|$) ve faz açısının (δ) bilindiği aktif (P) ve reaktif gücün (Q) bulunacağı baradır. Güç sistemindeki kayıpların neden olduğu üretilen güç ile planlanan yük arasındaki fark bu bara üzerinden değerlendirilir.

ii- P - Q barası olarak da adlandırılan yük baraları, aktif (P) ve reaktif gücün (Q) biliniyor bara geriliminin genliğinin ($|V|$) ve faz açısının (δ) arandığı baralardır. Yük baralarında güç harcandığı için aktif ve reaktif güç değerleri negatif değerler alır.

iii- P - V barası yada gerilim kontrollü bara adıyla da bilinen üretim baraları, aktif güç (P) ve gerilim genliğinin ($|V|$) bilindiği, gerilim faz açısının (δ) ve reaktif gücün (Q) belirleneceği baralardır.

2.1. Newton-Raphson Metodu

Newton metotları yük akışı denklemlerinin çözümü için iteratif metotlara (Gauss, Gauss-Seidel ...) göre kuadratik yakınsama karakteristiğine sahiptir [23]. Özellikle büyük çaplı güç sistemleri için Newton-Raphson metodu çok daha verimli ve uygulanabilir. En belirgin üstünlüklerinden birisi de çözüme ulaşmak için gereken adım sayısının sistemin boyutundan bağımsız olmasıdır. Fakat bu sırada çözümü elde ederken adım başına harcanan işlem yükü fazladır. Yük akış analizinde gerilim kontrollü baralar için aktif güç ve gerilim genliği bilindiğinden yük akış denklemleri kutupsal formda ifade edilir. Newton-Raphson yük akış analiz metodunu burada kısaca özetlemek gerekirse: [22].

Bir i barası ve bu baraya bağlı hatlar dikkate alınarak Kirchoff Akım Yasası'ndan

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle_{ij} + \delta_j \quad (1)$$

ifadesi kutupsal formda elde edilir. Bara i 'deki kompleks güç,

$$P_i - jQ_i = A = V_i I_i \quad (2)$$

olarak ifade edilir. Denklem (1) ve denklem (2) kullanılırsa

$$P_i - jQ_i = (|V_i| \angle -\delta_i) \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle_{ij} + \delta_j \quad (3)$$

elde edilir. Burada, Y_{ij} i ve j baraları arasındaki admitans değeridir. Baralar arasındaki admitans değerleri, Bara admitans matrisinde (Y_{BARA}) tanımlanarak, güç sistemi, yük akış analizi için tanımlanır. Denklem (3)'de görülen kompleks güç ifadesi gerçek ve sanal kısımlarına ayrılarak aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$P_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_i| |V_j| \cos(\angle_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (4)$$

$$Q_i = -\sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_i| |V_j| \sin(\angle_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (5)$$

Elde edilen (4) ve (5) denklemleri, bağımsız değişkenler (gerilim genliği ve gerilim faz açısı) içeren çözülecek olan nonlineer denklem sistemini oluşturur. Her bir yük barası için P_i ve Q_i denklemleri, her bir jeneratör barası için P_i denklemleri kullanılır. Bu iki denklem yüksek dereceli terimler ihmal edilerek başlangıç değeri civarında Taylor serisine açılmak sureti ile denklem (6) ile temsil edilen lineer bir denklem sistemine dönüştürülür.

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta P_n^{(k)} \\ \Delta Q_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta Q_n^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \cdots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & & & & & \\ \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \cdots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \cdots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & & & & & \\ \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \cdots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta \delta_n^{(k)} \\ \Delta |V_2^{(k)}| \\ \vdots \\ \Delta |V_n^{(k)}| \end{bmatrix} \quad (6)$$

Aşağıdaki denklemde J , Jacobian matrisi olarak adlandırılır. Burada Jacobian matrisi gerilim faz açısı ve gerilim genliğindeki değişim oranıyla aktif ve reaktif güçteki değişim oranı arasındaki ilişkiyi belirler. Jacobian matrisi bir üstteki aktif ve reaktif güç denklemlerinin açı ve genlik değişimlerine göre kısmi türevlerinden oluşur.

$$J = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P}{\partial \delta} & \frac{\partial P}{\partial V} \\ \frac{\partial Q}{\partial \delta} & \frac{\partial Q}{\partial V} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (8)$$

Denklem (8) ile ifade edilen lineer denklem sistemi, iteratif olarak aşağıdaki çözüm adımları ile hesaplanır.

$$\delta^{m+1} = \delta^m + \Delta \delta \quad (9)$$

$$|V|^{m+1} = |V|^m + \Delta V \quad (10)$$

Hesaplamalar, bir m iterasyon adımında, gerilim ve faz açısındaki değişim (ΔV ve $\Delta \delta$) önceden belirlenmiş bir hata eşliğinden küçük olunca kadar devam ettirilir.

2.2. Newton-Raphson Metodu Temelinde 24- Saatlik Dinamik Yük Akış Analizi

24-saatlik dinamik yük akışı analizlerini gerçekleştirmek için bir önceki bölümde kısaca özetlenen Newton-Raphson yük akış analiz metodundan faydalanılmıştır. Bu amaçla, dağıtık kaynaklar sürekli ve süreksiz kaynaklar olmak üzere iki farklı tipte modellenmiştir. Sürekli kaynakların, aktif ve reaktif güç değerlerinin 24 saat boyunca bir ortalama değer civarında nerede ise sabit kalabildiği varsayılmıştır. Örneğin barajların, termik santraller çıkış güçleri gibi. Süreksiz kaynaklar ise kaynak tipine (Rüzgar, güneş..vs) göre 24 saatlik aktif ve reaktif güç üretim profilleri 24 bileşenli G_p ve G_Q vektörleri

ile temsil edilmiştir. Bu kaynakların aktif ve reaktif güç değerlerinin 24 saat boyunca değişkenlik gösterdiği varsayılmıştır. Benzer yaklaşımla, bara yükleri az değişken ve değişken güç talep profillerine uygun olarak iki farklı tipte modellenmiştir. Az değişken yükler, sanayi bölgeleri gibi, gece vardiyaları nedeni ile 24 saat boyunca yüksek salınım göstermeyen yük modelleri için kullanılmıştır. Değişken güç talebi profilleri ise hane tüketicileri gibi 24 saatlik zaman dilimi içinde ciddi salınımlar gösteren yük modelleri için kullanılmıştır. Değişken yükler 24 bileşenli P_L ve Q_L vektörleri ile tanımlanmıştır. Saatlik bazda günlük yük akış analizleri, günün her saati için (1'den 24'e kadar) ilgili kaynak ve yük değerleri önceden tanımlanmış G_p , G_Q , P_L , Q_L vektörlerinden alınarak, Newton-Raphson metodu kullanılmak sureti ile gerçekleştirilmiştir. 24-Saatlik yük akış analizi için hesaplama adımları Şekil 1'de gösterilmiştir.

Bara gerilim ve güç faktörü değişimlerinin değerlendirilmesi için dinamik yük akış analizleri sonucunda

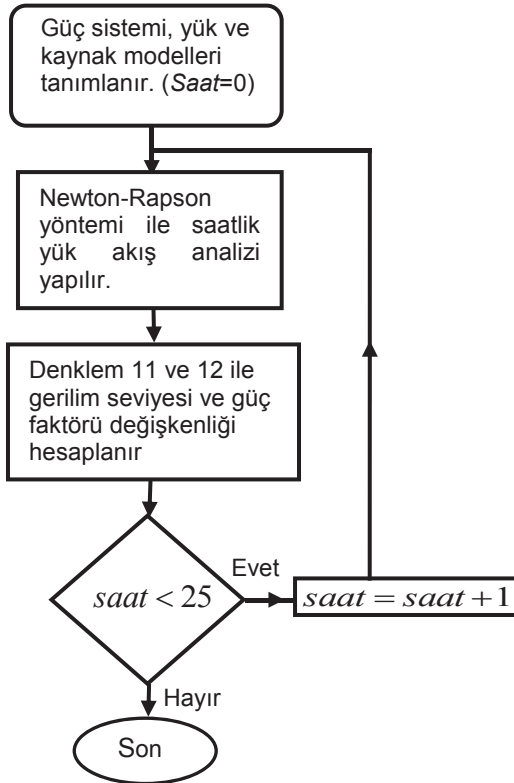
her yük barasına ait gerilim değerleri (V_d) ve güç faktörü ($\cos \theta_d$) saatlik bazda elde edilmiştir. Yük baralarında, gün içinde gerçekleşen gerilim ve güç faktörü değişimleri, istatistiki değişkenlik katsayısı (Coefficient of Variation) hesaplanmasında kullanılmıştır.

$$V_\sigma = \sigma(V_d) / \mu(V_d) \quad (11)$$

Burada $\sigma(\cdot)$ bara geriliminin günlük standart sapması ve $\mu(\cdot)$ ise bara geriliminin günlük ortalama değeridir. V_σ değişkenlik faktörü, baralardaki günlük gerilim değişimleri hakkında karşılaştırılabilir bir istatistiki veri sunmuştur. Benzer bir yaklaşımla, baralardaki güç faktöründeki değişkenlik,

$$\cos \theta_\sigma = \sigma(\cos \theta_d) / \mu(\cos \theta_d) \quad (12)$$

denklemi ile ifade edilmiştir. Burada $\cos \theta_\sigma$ güç faktöründeki değişkenliği temsil etmektedir.

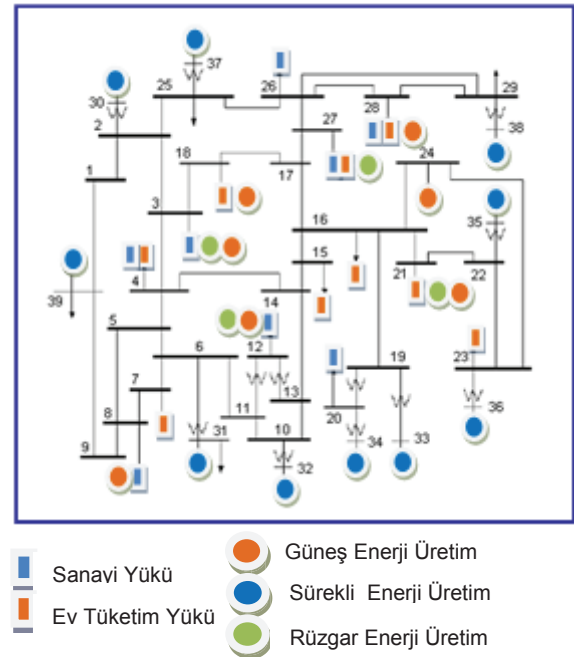


Şekil 1. 24-Saatlik yük akış analizi için hesaplama adımları akış diyagramı.

3. IEEE 39-Bus Test Güç Sistemi Üzerinde 24 saatlik Dinamik Yük Akış Analizleri

Örnek bir uygulama için enerji pazarı problemleri için sıkça kullanılan IEEE 39-bus test sistemi üzerinde saatlik bazda yük

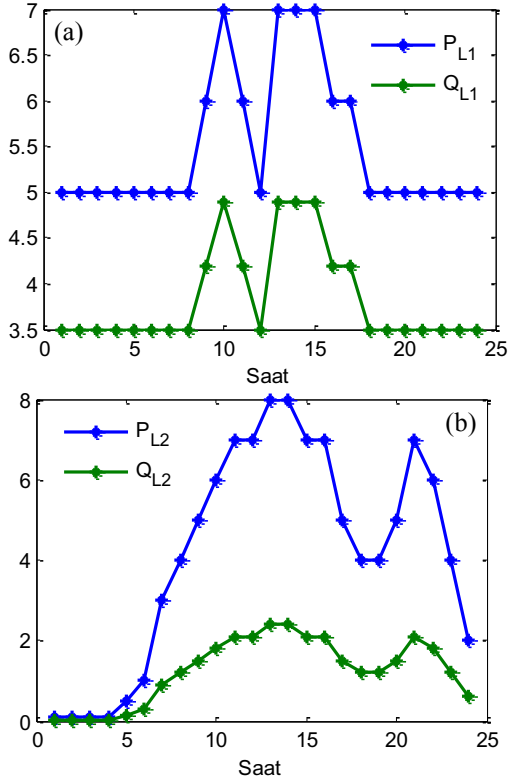
akış analizi testleri yapılmıştır. Bu test sistemine Şekil 2’de görüldüğü gibi dinamik yükler ve yenilenebilir dağıtık kaynaklar eklenerek farklı test senaryoları kurgulanmıştır. Bu amaca dönük olarak, iki tip dinamik test yükü tanımlanmıştır. Birincisi, sanayi bölgeleri gibi güç tüketim değişkenliği nispeten düşük olan yük talep profili, P_{L1}, Q_{L1} vektörleri ile temsil edilmiş ve Şekil 3(a)’de gösterilmiştir. Diğer yük modeli ise hane tüketici bölgeleri gibi güç sarfıyatı yüksek değişkenlik gösteren yük talep profili, P_{L2}, Q_{L2} ile vektörleri ile temsil edilmiş ve Şekil 3(b)’de gösterilmiştir. Bu çalışmada güç talep profilleri tüketici davranışlarına uygun olarak varsayımsal olarak belirlenmiştir. Bu yük analizi testi simulasyonunda güç sistemine enerji sağlayan üç tip kaynak profili tanımlanmıştır. Sürekli enerji kaynakları (Hidro enerji, termik enerji, nükleer enerji .vs) için üretim profili G_{P1}, G_{Q1} vektörü ile tanımlanmıştır. Süreksiz ve yüksek belirsizlik gösteren yenilenebilir kaynaklardan rüzgar enerji üretim profili G_{P2}, G_{Q2} vektörü, güneş enerji üretim profili ise G_{P3}, G_{Q3} vektörü ile tanımlanmıştır. Şekil 4’de üç tip enerji üretim kaynağı için analizde kullanılan üretim profilleri gösterilmiştir. Bu profiller, kaynakların saatlik davranışlarına uygun ve varsayımsal olarak belirlenmiştir.



Şekil 2. Örnek uygulama için IEEE 39-bus test sistemi

Yenilenebilir dağıtık kaynaklarının, bara gerilim ve güç faktörü kararlılığına etkileri iki test senaryosu kullanılarak, saatlik bazda incelenmiştir. Birinci test senaryosu, yenilenebilir dağıtık kaynakların bulunmadığı merkezi üretim durumu için yapılmıştır. Bu test senaryosu *mevcut durum* (MD) olarak adlandırılmıştır. İkinci test senaryosu, yenilenebilir dağıtık kaynakların sisteme Şekil 2’de gösterildiği gibi dağıtılması sonucu ortaya çıkan durumların

analizi için hazırlanmıştır. Bu test senaryosu *dağıtık üretim durumu* (DU) olarak adlandırılmıştır.

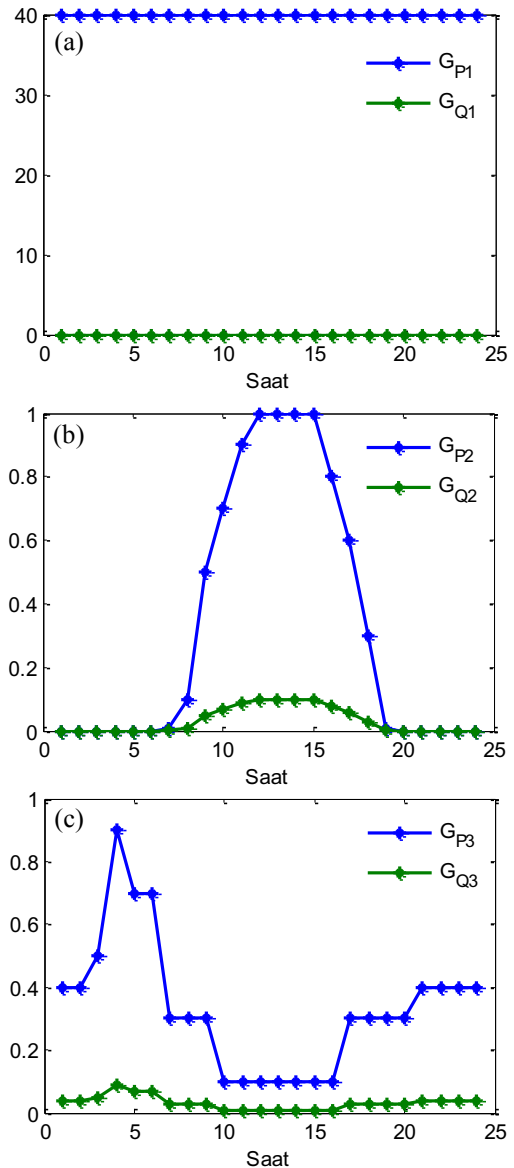


Şekil 3(a) Sanayi bölgelerinin güç tüketimini modelleyen az değişimli yük talep profili (P_{L1}, Q_{L1}). (b) Tüketici bölgeleri güç sarfiyatını modelleyen, yüksek değişkenlikli yük talep profili (P_{L2}, Q_{L2}).

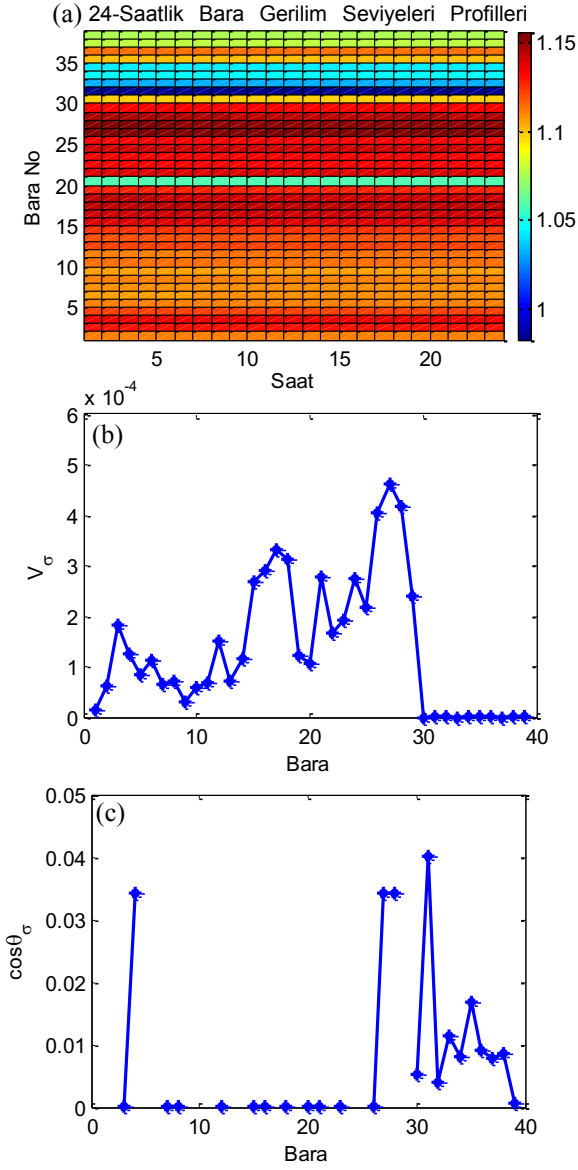
Şekil 5'de MD senaryosu için 24-saatlik yük akış analiz sonuçları verilmiştir. Şekil 5(b)'de bara numarası 30 ve daha yüksek baralar sadece üretim baraları olduğu için burada gerilim değişkenliği sıfır düzeyinde kalmıştır. Daha küçük bara numaralı baralarda ise yük baraları ile yük bağı olmayan geçiş baraları mevcuttur. Bu analizde, Bara-27 de, %0.05 düzeyinde en yüksek günlük gerilim değişkenliği görülmüştür. Şekil 5(c)'de en fazla %4 düzeyinde güç faktörü değişkenliği görülmektedir. Geçiş baralarında, yük veya kaynak bağı olmadığı için, güç faktörleri hesaplanmamıştır. Bu durum Şekil 5(c)'deki karakteristikte güç faktör değeri hesaplanmamış baralar görülmektedir.

Şekil 6(a) ve (b)'de mevcut durum (MD) ile dağıtık üretim senaryo varyantlarının (DU, DUx5, DUx8) karşılaştırılması yapılmıştır. Burada DUx5 ve DUx8 senaryoları, yenilenebilir dağıtık kaynakların enerjisinin DU'daki seviyesinin 5 katına ve 8 katına çıktığı test koşullarını temsil etmektedir. Buna göre, DU düşük güçlü yenilenebilir enerji üretim koşullarını, DUx5 orta düzey yenilenebilir enerji üretim koşullarını, DUx8 ise yaklaşık olarak bütün lokal tüketime cevap verebilecek yüksek düzeyli yenilenebilir enerji üretim koşullarını temsil etmektedir. Şekil 6(a)'de görüldüğü üzere, yenilenebilir

kaynaklar ile dağıtık üretim, bara gerilim seviyelerinin günlük değişkenliğini (V_{σ}) dikkate değer ölçüde etkilememiştir. Güç faktörlerinde ise bazı baralarda günlük ortalama değişkenlikte ($\cos \theta_{\sigma}$), %2-3 civarındaki artış dikkat çekmektedir. Bunun nedenini daha detaylı görmek için, baraların 24-saatlik gerilim seviyesi, güç faktörü, aktif ve reaktif güç profillerini daha detaylı incelememiz gerekir. Bu amaçla, aşağıda Bara-15, Bara-27 ve Bara-28'in gerilim seviyeleri, güç faktörleri, aktif ve reaktif güç durumları hesaplanmış ve yenilenebilir kaynakların üretimi ile dağıtık üretiminin etkileri tartışılmıştır.

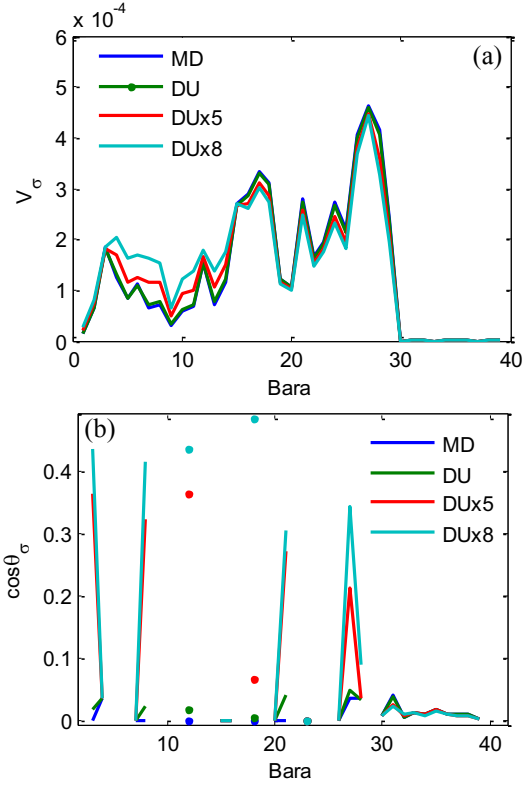


Şekil 4 (a) Sürekli enerji kaynakları üretim profili (G_{P1}, G_{Q1}). (b) Rüzgar enerji kaynakları üretim profili (G_{P2}, G_{Q2}). (c) Güneş enerji kaynakları üretim profili (G_{P3}, G_{Q3}).



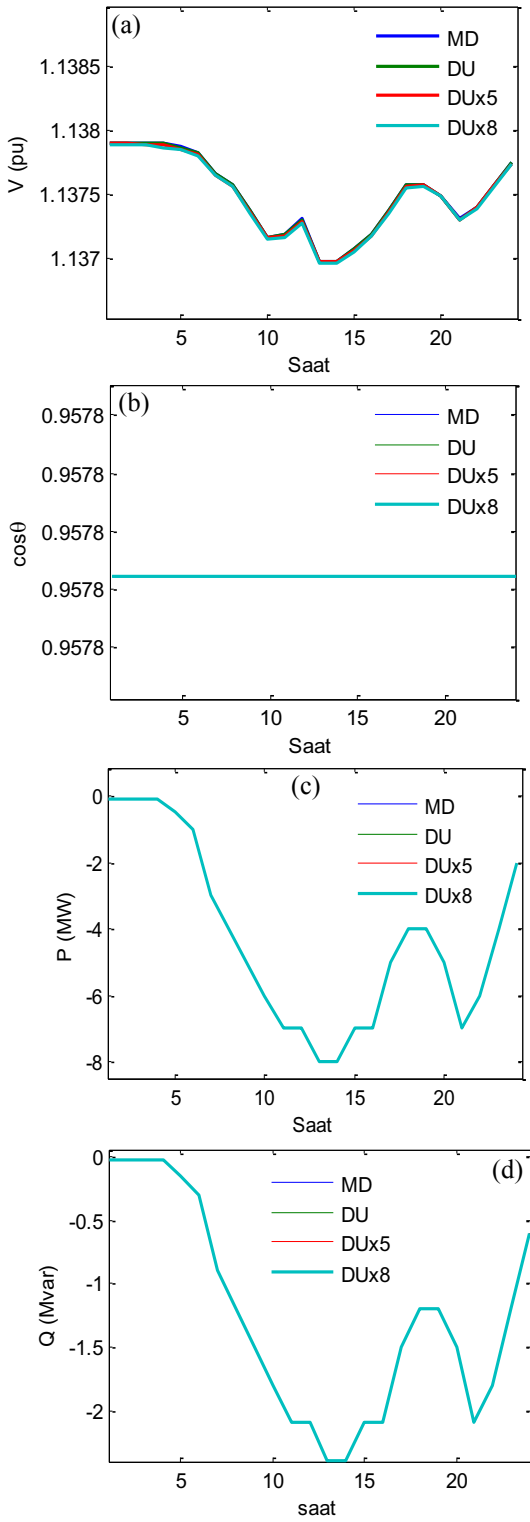
Şekil 5. IEEE-39 bus test sisteminin MD senaryosu analizinde elde edilen (a) Bara gerilim seviyesi 24-saatlik profilleri. (b) Baraların günlük gerilim değişkenlikleri (c) Baraların günlük güç faktörü değişkenlikleri

Bara-15'e sadece hane tüketim modelini (P_{L2}, Q_{L2}) temsil eden yük bağlıdır. Şekil 7'de görüldüğü gibi, yenilenebilir dağıtık kaynak barındırmayan sadece dinamik yük içeren Bara-15, diğer baralara bağlanan yenilenebilir dağıtık kaynakların üretimlerinden pek etkilenmemiştir. Baralarda aktif ve reaktif güç profilinin negatif değerli olması, barada güç tüketimi olduğuna işaret eder.

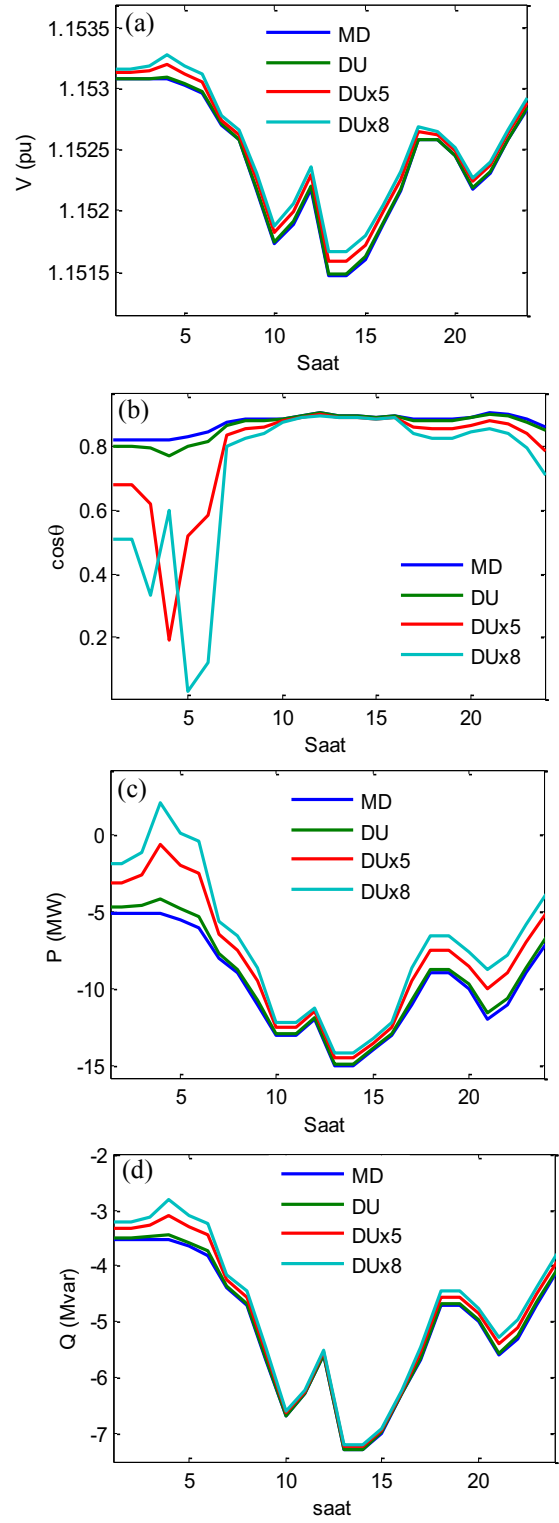


Şekil 6(a) IEEE 39-bus güç sisteminin MD, DU ve DU çeşitli enerji durum senaryoları için yapılan 24-saatlik yük akışı analizinde elde edilen günlük gerilim değişkenlikleri (b) güç faktörü değişkenliklerinin karşılaştırması

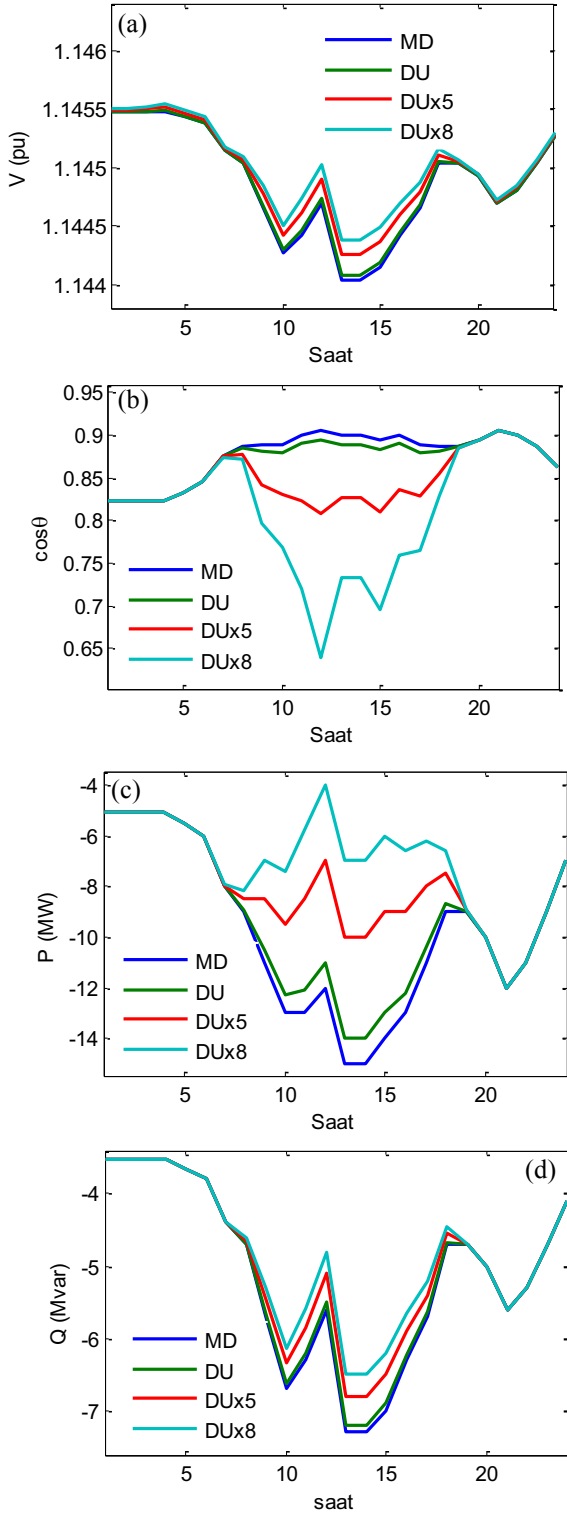
Bara-27'de ise hem sanayi tüketim modeli (P_{L1}, Q_{L1}) hem de hane tüketim modelini (P_{L2}, Q_{L2}) temsil eden iki dinamik yük bağlıdır. Ayrıca bu barada rüzgar üretim modeline (G_{P2}, G_{Q2}) sahip kaynak bağlanarak, yenilenebilir enerjiden faydalanılmıştır. Şekil 8(c) görüldüğü üzere rüzgar enerji üretiminin tepe değerlerine ulaştığı 4:00-7:00 saatleri arasında, orta ve yüksek rüzgar gücü üretim koşullarında (DUx5 ve DUx8) güç faktöründe sert düşüşler görülmüştür. Ayrıca, bu zaman diliminde, DUx8 senaryosunda sağlanan yüksek rüzgar enerji üretimi, bu baradaki lokal tüketimin tamamını karşılayabilmiş, diğer bir ifade ile Bara-27'yi bu saatler arasında kendi kendine yetebilir duruma (Islanded Operation) gelmiştir. Bu saatler arasında DUx8 senaryosunda görülen pozitif güç değerleri, üretim baralarından güç çekmeye ihtiyaç duymadan lokal talebin karşılanabildiğini ve hatta bu baranın üretici konuma gelebildiğini göstermiştir. Ancak bu saatlerdeki güç faktöründe görülen sert değişimin kompanze edilmesine dönük tedbirlerin önceden alınması, Bara-27'de enerji dağıtımı ve tüketimini daha sağlıklı ve güvenilir kılacaktır.



Şekil 7. Bara-15 için hesaplanan 24-saatlik gerilim seviyeleri (a), güç faktörleri (b), aktif ve reaktif güç (c)-(d) profilleri



Şekil 8. Bara-27 için hesaplanan 24-saatlik gerilim seviyeleri (a), güç faktörleri (b), aktif ve reaktif güç (c)-(d) profilleri



Şekil 9. Bara-28 için hesaplanan 24-saatlik gerilim seviyeleri (a), güç faktörleri (b), aktif ve reaktif güç (c)-(d) profilleri

Bara-28'de ise hem sanayi tüketim modeli (P_{L1}, Q_{L1}) hem de hane tüketim modelini (P_{L2}, Q_{L2}) temsil eden yükler bağlıdır. Ayrıca bu barada güneş üretim modeline (G_{P2}, G_{Q2}) sahip kaynak bağlanarak, yenilenebilir enerjiden faydalanılmıştır. Yenilenebilir kaynaklar gerilim seviyelerinde dikkate değer değişime neden olmalarına rağmen yüksek üretim gücünde, artan reaktif güç üretimi sonucu güç faktöründe düşümlere neden olduğu analiz sonuçlarında görülmüştür. Şekil 9(b) de saat 9:00-16:00 arasında güneş enerjiden yüksek güç üretim koşullarında (DUx8), güç faktöründe düşüş açıkça görülmektedir. Ancak, düşük üretim koşullarında (DU) bu etkinin önemsenmeyecek derecede zayıf kaldığı görülmektedir. Bu saatlerde bu baralarda güç-faktörü kararlılığına dönük tekniklerin uygulanması, güç kalitesinin korunması açısından faydalı olacaktır.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, süreksiz dağıtık üretim ve değişken güç talep durumları altında gün içi dinamik yük akış analizleri gerçekleştirilmiş ve baraların elektriksel parametrelerinin saatlik bazda değişimi hesaplanmıştır. Böylece, üretim süreksizliği gösteren kaynaklardan teşkil edilen dağıtık üretimin, gün içi değişen güç talepleri karşısında baraların gerilim ve güç faktörleri kararlılığına etkileri analiz edilebilmiştir.

Bu analizlerde, yenilenebilir dağıtık kaynakların gerilim seviyesi kararlılığına ciddi bir olumsuz etkisinin olmadığı görülmüştür. Bunun nedeni, bütün sistemde enerji dengesinin (Energy Balance) sağlanmasıdır. Enerji dengesi, kayıplar dahil olmak üzere sistemde tüketilen gücün, jeneratörlerden çekilen güce eşit olması halidir. Baraya eklenen dağıtık yenilenebilir kaynak, bu enerji dengesi nedeni ile sadece bu baraya diğer kaynak baralarından akan gücü azaltmıştır. Böylece, bara gerilimi seviyesinin korunabilmesi sağlanabilmiştir. Ancak, lokal yenilenebilir kaynak, tüketimin önemli bir kısmını karşıladığı durumda, kendi aktif ve reaktif güç karakteri nedeni ile bağlı olduğu baranın toplam aktif ve reaktif bara gücünü etkileyebilmekte ve bara güç faktöründe anlık değişimlere neden olabilmektedir. Süreksiz lokal kaynakların yüksek üretim sağladıkları zaman dilimlerinde güç faktör değişimini kompanse edecek tedbirlerin alınmış olması, bara güç faktörü kararlılığının korunması için yeterli olacaktır. Bu amaçla, yenilenebilir lokal kaynakların, yüksek üretim koşullarında reaktif güç üretimleri sınırlandırılarak güç faktör kararlılığı korunabilir.

Bu tür analiz yöntemleri, süreksiz dağıtık kaynaklara sahip güç sistemlerinin yönetimi sırasında çıkabilecek problemlerinin çözümünde büyük öneme sahip olacaktır. Ortalama üretim ve güç talep profilleri ile tanımlanan dinamik güç sistemi modellerinde, saatlik veya daha düşük örnekleme periyotlu yük akış analizleri ile yük akış dengesizliklerinin ve güç dağıtımındaki kalite bozukluklarının önceden tahmin edilmesi mümkün olabilecektir. Böylece önleyici tedbirleri içeren 24-saatlik güç yönetim planlamaları daha güvenilir olarak yapılabilecektir.

5. Kaynaklar

- [1] Pecas Lopes JA, Hatziaargyriou N, Mutale J, Djapic P, Jenkins N., "Integrating distributed generation into electric power systems: A review of drivers, challenges and opportunities", *Electric Power Systems Research*, vol:77, pp.1189-1203, 2007.
- [2] W. F. Tinney and C. E. Hart, "Power Flow Solution by Newton's Method", *IEEE Trans. Power App. Syst.*, vol.86, pp.1449-1460, Nov. 1967.
- [3] R. D. Zimmerman and H. D. Chiang, "Fast Decoupled Power Flow for Unbalanced Radial Distribution Systems", *1995 IEEE PES Winter Meeting*, New York, pp. 95, 1995.
- [4] B. Stott and O. Alsag, "Fast Decoupled Load Flow", *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. 93, pp. 859-869, June 1974.
- [5] Selva Moorthy, Majid Al-Dabbagh and Michael Vawser, "Improved Phase-Cordinate Gauss-Seidel Load Flow Algorithm", *Electric Power System Research*, vol. 34, pp. 91-95, Aug. 1995.
- [6] Zhang, W. and Liu, Y., "Reactive Power Optimization Based on PSO in a Partical Power System", *Power Engineering Society General Meeting, 2004 IEEE.*, vol. 1, pp. 239-243, 6-10 June 2004.
- [7] Vlachogiannis J. G., "Fuzzy Logic Application in Load Flow Studies", *IEE Proc. Generation, Transmission and Distribution*, vol.148, pp. 34-40, 2001.
- [8] R. Storn and K. Price, "Differential Evolution-a Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Spaces", *Journal of Global Optimization*, vol.11, pp. 341-359, 1997.
- [9] Li, Z., Shi, J. and Liu, Y., "Distributed Reactive Power Optimization and Programming for Area Power System", *International Conference on Power System Technology*, vol.2, 21-24 Nov. 2004, pp.1447-1450.
- [10] Wei, H., Cong, Z., Jingyan, Y., Jianhua, Z., Zifa, L., Zhilian, W. and Dongli, P., "Using Bacterial Chemotaxis Method for Reactive Power Optimization", *Transmission and Distribution Conference and Exposition*, 21-24 April 2008, pp. 1-7.
- [11] Shirmohammadi D., Hong H.W., Semlyen A. ve Luo G.X., "Compensation-Based Power Flow Method for Weakly Meshed Distribution and Transmission Networks", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 3, pp. 753-762, Feb. 1988.
- [12] Cheng Carol S. ve Shirmohammadi D., "Three-phase Power Flow Method for Realtime Distribution System Analysis", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol.10, pp. 671-679, Feb. 1995.
- [13] Albert M, Vincent B, Maurice GCB, Johann LH, Gerard JMS., "Domestic energy management methodology for optimizing efficiency in Smart Grids.", *IEEE Bucharest PowerTech*, pp:1-7, 2009.
- [14] Ayompe LM, Duffy A, McCormack SJ, Conlon M, "Validated real-time energy models for small-scale grid-connected PV-systems.", *Energy*, vol:35:40, pp.86-91., 2010.
- [15] Prasad AR, Natarajan E., "Optimization of integrated photovoltaic-wind power generation systems with battery storage", *Energy*, vol:31:19, pp.43-54, 2006.
- [16] Lund H. "Large-scale integration of wind power into different energy systems.", *Energy*, vol:30:24, pp.02-12, 2005.
- [17] Bayod-Rujula RA., "Future development of the electricity systems with distributed generation.", *Energy*, vol:34:3, pp.77-83. 2009.
- [18] Cosentino V, Favuzza S, Graditi G, Ippolito MG, Massaro F, Sanseverino ER, Zizzo G., "Smart renewable generation for an islanded system. Technical and economic issues of future scenarios.", *Energy*, vol:39, pp.196-204, 2012.
- [19] Lund H, Andersen AN, Østergaard PA, Mathiesen BV, Connolly D. "From electricity smart grids to smart energy systems - A market operation based approach and understanding.", *Energy*, vol:42, pp.96-102, 2012.
- [20] Alagöz BB, Kaygusuz A, Karabiber A. "A User-Mode Distributed Energy Management Architecture for Smart Grid Applications", *Energy*, vol: 44, pp 167-177, 2012.
- [21] Amjad AM, Alireza S, Taher N, Mohammad RAP., "Multi-objective operation management of a renewable MG (micro-grid) with back-up micro-turbine/fuel cell/battery hybrid power source". *Energy*, vol;36:6, pp.490-507., 2011.
- [22] Saadat, H., *Power Systems Analysis*, McGraw Hill, Boston, 1999.
- [23] Abacı K. , Yalçın M. A. , Uyarlıoğlu Y., "Güç Sistemlerinde Farklı Salınım Barası Seçiminin Gerilim Kararlılığı Açısından İncelenmesi", *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, Bursa, 8-12 Aralık 2004.