GU J Sci, Part C, 5(3): 237-246 (2017)

Gazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Dergisi

PART C: TASARIM VE TEKNOLOJİ

dergipark.gov.tr/http-gujsc-gazi-edu-tr

Farklı Bara Sayısına Sahip Güç Sistemlerinde Yük Akışı Analiz Metotlarının Karşılaştırılması

Mehmet YEŞİLBUDAK[1,*], Salih ERMİŞ[2], Ramazan BAYINDIR[3]

[1]*Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 50300, Nevşehir, Türkiye.*

[2]*Ahi Evran Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, 40100, Kırşehir, Türkiye.*

[3]*Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 06500, Ankara, Türkiye.*

Makale Bilgisi

Başvuru: 12/05/2017
Düzeltme: 07/09/2017
Kabul: 07/09/2017

Anahtar Kelimeler

Gauss-Seidel
Newton-Raphson
Fast Decoupled
Yük Akış Analizi

Öz

Günümüzde, artan enerji talebine paralel olarak üretim ve tüketim noktaları sürekli artmakta ve güç sistemleri hızla büyümektedir. Ancak, güç sistemlerinin güvenli, verimli ve devamlılığı sağlayacak bir şekilde planlanması, tesisi ve işletilmesi oldukça önemlidir. Bu amaçla, özellikle yük akış analizi olmak üzere güç sistemlerinde koruma-koordinasyon, kısıtlılık, kararlılık, kısa devre vb. analizler yapılmaktadır. Bu çalışmada, yük akış analizinde yaygın olarak kullanılan Gauss-Seidel, Newton-Raphson ve Fast Decoupled metotlarının farklı tolerans değerleri açısından iterasyon sayılarına, hesaplama sürelerine, toplam hat kayıplarına, üretilen ve tüketilen aktif ve reaktif güçlere göre karşılaştırmaları yapılmıştır. Test sistemleri olarak IEEE'nin 6, 14, 30 ve 57 baralı güç sistemleri Matlab ortamında kullanılmıştır. Yapılan yük akış analizleri sonucunda, her üç metot için de baralardaki yük taleplerine göre generatörlerin ürettiği güçler birbirine yakın hesaplanırken, en az iterasyon sayısı ve en az güç kaybı Newton-Raphson metodu tarafından elde edilmiştir.

Comparison of Load Flow Analysis Methods in Power Systems with Different Number of Buses

Keywords

Gauss-Seidel
Newton-Raphson
Fast Decoupled
Load Flow Analysis

Abstract

Nowadays, generation and consumption points are constantly increasing in parallel with the increasing energy demand and power systems are rapidly growing. However, it is very important to plan, install and operate the power systems in a way that ensures safe, efficient and continuous operation. For this purpose, especially load flow analysis and also other analysis methods such as protection-coordination, constraints, stability, short circuit etc. are employed for power systems. In this study, the comparison of Gauss-Seidel, Newton-Raphson and Fast Decoupled methods, commonly used in load flow analysis has been made according to the number of iterations, the computation time, the total line losses and the produced and consumed active and reactive power considering different tolerance values. As the test systems, IEEE 6-, 14, 30- and 57-bus power systems have been used in the Matlab environment. In consequence of the load flow analyses conducted, the minimum number of iterations and the minimal power loss have been achieved by the Newton-Raphson method, while the power produced by generators according to load demands on the buses has been computed close to each other for all three methods.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Elektrik güç sistemlerinin büyümesi; planlama ve işletme aşamalarında detaylı analizlerin yapılma ihtiyacını ortaya çıkartmıştır. Çünkü, bir güç sisteminin verimsiz bir şekilde planlanması ve işletilmesi maliyet kayıplarına sebep olur. Geçmişte, güç sistemlerinin analizi için çok zaman alan klasik hesaplamalar yapılırdı. İşlemci teknolojilerindeki hızlı gelişmelere paralel olarak güç sistemlerinin analizinde bilgisayarların kullanılması kaçınılmaz bir hal almıştır. Bu sayede, özellikle, güç sistemlerinde yük akışı analizleri için nümerik metotların kullanımı ön plana çıkmıştır.

*İletişim yazarı, e-mail: myesilbudak@nevsehir.edu.tr

Yük akışı analizlerinde kullanılan nümerik metotlar, başlangıçta, generatörlerin talep edilen tüm yükleri ve hatlardaki kayıpları karşıladığını, güç sisteminin üç fazlı, dengeli yüklendiğini ve sürekli hal koşulları altında çalıştığını kabul eder [1]. Yapılan yük akış analizleriyle tüm baraların gerilim genlik ve açı değerlerini, iletim hatları üzerinden akan aktif ve reaktif güçleri, hatlar üzerindeki kayıpları belirlemek mümkündür [2]. Böylece, güç sistemlerinin mevcut durumu hakkında bilgi sahibi olunur ve gelecekte meydana gelebilecek olası durumların planlaması yapılır. Ayrıca, bilgisayar destekli çıkarımlar neticesinde arıza analizi, kararlılık analizi vb. konularda ilave bilgiler elde edilir.

Güç sistemlerinde yük akışı analizleri için literatürde pek çok çalışma yapılmıştır. *Afolabi ve ark.* IEEE'nin 9, 30 ve 57 baralı test sistemleri için Gauss-Seidel, Newton-Raphson ve Fast Decoupled metotlarını farklı tolerans değerlerine göre yakınsama hızı, iterasyon sayıları ve hesaplama süreleri açısından karşılaştırmıştır [3]. *Singh ve ark.* IEEE'nin 30, 57 ve 118 baralı test sistemleri için Gauss-Seidel ve Newton-Raphson metotlarını iterasyon sayıları, toplam hat kayıpları ve hesaplama sürelerine göre açısından karşılaştırmıştır [4]. *Kumar ve ark.* IEEE'nin 57 baralı test sisteminde statik senkron kompanzatörün yer tespiti için Gauss-Seidel, Newton-Raphson ve parçacık sürü optimizasyonu metotlarını hesaplama süresi ve iterasyon sayıları açısından karşılaştırmıştır [5]. *Kailay ve ark.* IEEE'nin 5 ve 30 baralı test sistemleri için Gauss-Seidel ve Newton-Raphson metotlarını gerilim genlik ve açı değerlerine göre karşılaştırmıştır [6]. *Dharamjit ve ark.* IEEE'nin 30 baralı test sistemi için Newton-Raphson ve Gauss-Seidel metotlarını gerilim genlik ve açı değerleri açısından karşılaştırmıştır [7]. *T. Kulworawanichpong* IEEE'nin 5, 6, 24, 30 ve 57 baralı test sistemleri için standart Newton-Raphson ve basitleştirilmiş Newton-Raphson metotlarını iterasyon sayıları ve hesaplama sürelerine göre karşılaştırmıştır [8]. *Seng ve ark.* IEEE'nin 14, 24, 30, 39, 57 ve 118 baralı test sistemleri için geleneksel Newton-Raphson ve geliştirilmiş Newton-Raphson metotlarını iterasyon sayıları ve hesaplama süreleri açısından karşılaştırılmıştır [9]. *Mokhlis ve ark.* 664 baralı bir güç sistemi için geliştirdikleri ikinci dereceden yük akışı metoduyla Newton-Raphson ve Fast Decoupled metotlarını iterasyon, gerilim genlik ve açı değerlerine göre karşılaştırmıştır [10]. *Kamel ve ark.* IEEE'nin 9, 30 ve 118 baralı test sistemlerinde statik senkron seri kompanzatörlü ve statik senkron seri kompanzatörsüz olarak Newton-Raphson metodunu gerilim ve açı değerleri açısından karşılaştırmıştır [11]. *Borzacchiello ve ark*. IEEE'nin 14, 30 ve 57 baralı test sistemleri için geliştirdikleri yeni yük akış algoritmasıyla Gauss-Seidel, Newton-Raphson ve Fast Decoupled metotlarını iterasyon sayıları ve gerilim düşümlerine göre karşılaştırmıştır [12].

Bu çalışmada ise, IEEE'nin 6, 14, 30 ve 57 baralı test sistemlerinde yük akışı analizi için Gauss-Seidel, Newton-Raphson ve Fast Decoupled metotları farklı tolerans değerlerine göre iterasyon sayıları, hesaplama süreleri, toplam hat kayıpları, üretilen ve tüketilen aktif ve reaktif güçler açısından karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler neticesinde; söz konusu yük akışı metotlarının avantajları ve dezavantajları detaylı olarak değerlendirilmiştir.

2. YÜK AKIŞ ANALİZİ METOTLARI (LOAD FLOW ANALYSIS METHODS)

Geçtiğimiz yüzyılda güç sistemlerinde yük akışı analizi için çeşitli metotlar kullanılmıştır. Bunlardan en yaygın olanları Gauss-Seidel, Newton-Raphson ve Fast Decoupled metotlarıdır [13, 14]. Yük akışı analizi için her bir k barasındaki aktif güç (P_k), reaktif güç (Q_k), gerilim genliği (V_k) ve faz açısı (δ_k) parametrelerinin bilinmesi gerekir [15]. Bu parametrelerden herhangi ikisi biliniyorsa yük akışı analiz metotları diğer ikisini çözümleyecektir. Ayrıca, bir güç sisteminde kullanılan baralar yük barası (P-Q), üretim barası (P-V) ve salınım barası olmak üzere üç sınıfta kategorize edilir [16, 17]. Yük baralarında güç sisteminden çekilen aktif ve reaktif güçler bilinirken gerilim genliği ve faz açısı hesaplanır. Üretim baralarında aktif güç ve gerilim genliği bilinirken reaktif güç üretiminde sınırlamalar bulunur. Salınım baralarında ise gerilim genliği ve faz açısı değerleri bilinirken aktif ve reaktif güçlerin bulunması gerekir [18].

2.1. Gauss-Siedel Metodu (Gauss-Siedel Method)

Gauss-Siedel metodu, doğrusal olmayan cebirsel denklemlerin çözümü için kullanılan Gauss metoduna dayalı olarak geliştirilmiştir [19]. Bu metot, *n* baralı bir güç sisteminde hesaplanan yeni bara gerilimleri ile bir önceki iterasyonda bulunan bara gerilimleri arasındaki farkın, kullanıcı tarafından belirlenen hata

değerinden küçük olduğunda hesaplamanın sonlandırılması esasına dayanır [17]. Her bir baranın güç ifadesinden yararlanılarak *i.* baranın akım ve gerilim değerleri Eşitlik (1) ve Eşitlik (2)'deki gibi olacaktır [20].

$$I_i = \frac{P_i - JQ_i}{V_i^*}, i = 1,2,\dots,n \tag{1}$$

$$V_i = \frac{1}{Y_{ii}}\left[I_i - \sum_{\substack{k=1 \\ k\neq i}}^{n} Y_{ik}V_k\right], i = 1,2,\dots,n \tag{2}$$

Eşitlik (1)'de I_i bara akımını, P_i bara aktif gücünü, Q_i bara reaktif gücünü ve V_i^* i barasına karşılık gelen en son hesaplanan gerilim değeri ifade etmektedir. Eşitlik (2)'de ise, V_i bara gerilimini, Y_{ii} baraların öz admintansı, Y_{ik} i ve k baraları arası admintansı ve V_k ilgili bara için en son hesaplanan gerilim değerini veya ilgili bara için herhangi bir iterasyon yapılmamışsa tahmini gerilimi ifade etmektedir [21] . Eşitlik (1), Eşitlik (2)'de yerine konulduğunda elde edilen Eşitlik (3) bara gerilimlerinin her iterasyonunda kullanılır [20].

$$V_i = \frac{1}{Y_{ii}}\left[\frac{P_i - JQ_i}{V_i^*} - \sum_{\substack{k=1 \\ k\neq i}}^{n} Y_{ik}V_k\right], i = 1,2,\dots,n \tag{3}$$

2.2. Newton-Raphson Metodu (Newton-Raphson Method)

Newton-Raphson metodu, iki veya daha fazla değişkenli fonksiyonların Taylor serisine açılımına ve Taylor serisi açılımında 1. dereceden büyük olan kısmi türevlerin ihmal edilmesine dayanır [17]. *n* baralı bir güç sisteminde yük baralarına ait aktif ve reaktif güç değerleri aşağıdaki gibi olacaktır [22].

$$P_i\ (Aktif\ Güç) = |V_i|\sum_{k=1}^{n}|V_k||Y_{ik}|\ cos(\theta_{ik} + \delta_k - \delta_i),\quad i = 1,2,\dots,n \tag{4}$$

$$Q_i\ (Reaktif\ Güç) = -|V_i|\sum_{k=1}^{n}|V_k||Y_{ik}|\ sin(\theta_{ik} + \delta_k - \delta_i),\ i = 1,2,\dots,n \tag{5}$$

Eşitlik (4) ve (5)'in Taylor serisine açılımı yapılır ve yüksek mertebeden kısmi türevler ihmal edilirse Eşitlik (6) ve (7) bulunur [20]. Bu eşitliklerde, Jacobian matrisi aktif ve reaktif güç değerlerindeki küçük değişimler ile gerilim-açı arasındaki değişimleri göstermektedir. $\Delta\delta_i^{(k)}$ ve $\Delta\left|V_i^{(k)}\right|$ 'deki değişimlerin kısmi türevi ise aktif ve reaktif güçteki değişimleri ifade eder. Ayrıca, 1 numaralı bara salınım barası olarak farz edilir ve salınım barasının gerilim ve açısı dâhil edilmez.

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

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \tag{7}$$

Gerilim kontrollü baralar için gerilimin büyüklüğü bilinmektedir. Dolayısıyla, n baralı bir güç sisteminde gerilim kontrollü bara sayısı m ise, n-1 adet aktif güç ve n-1-m adet reaktif güç eşitliği yazılabilir. Bu durumda, Jacobian matrisi (2*n-2-m)×(2*n-2-m) boyutundadır. J1 (n-1)×(n-1), J2 (n-1)×(n-1-m), J3 (n-1-m)×(n-1) ve J4 (n-1-m)×(n-1-m) boyutludur. Eşitlik (8) ve (9)'daki $\Delta P_i^{(k)}$ ve $\Delta Q_i^{(k)}$ terimleri hesaplanan değerler ile tahmin değerleri arasındaki farktır. Baralardaki gerilimlerin yeni değerleri ise Eşitlik (10) ve (11)'de verilmiştir [20,23].

$$\Delta P_i^{(k)} = P_i^{(tahmin)} - P_i^{(k)} \tag{8}$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_i^{(tahmin)} - Q_i^{(k)} \tag{9}$$

$$\left|\delta_i^{(k+1)}\right| = \left|\delta_i^{(k)}\right| - \Delta \left|\delta_i^{(k)}\right| \tag{10}$$

$$\left|V_i^{(k+1)}\right| = \left|V_i^{(k)}\right| + \Delta \left|V_i^{(k)}\right| \tag{11}$$

2.3. Fast -Decoupled Metodu (Fast -Decoupled Method)

Newton-Raphson metodundaki Jacobian matrisinde birtakım ihmaller yapılarak hesaplamalar hızlandırılabilir. İşte Fast-Decoupled metodu, Jacobian matrisinde reaktif gücün faz açısına bağlılığı (J3) ve aktif gücün gerilime bağlılığı (J2) ihmal edilerek yük akışı analizlerinin yapılması esasına dayanır [17]. Bu durumda elde edilen denklem sistemleri Eşitlik (12) ve (13)'te verilmiştir. Ayrıca, Fast-Decoupled metodunun hesaplama süresini daha da kısaltmak amacıyla Jacobian matrisi başlangıç koşullarına göre oluşturulup hesaplama süresince sabit tutulursa buna sabit Jacobian'lı Fast-Decoupled metodu adı verilir [20].

$$J_1(i)\Delta\delta(i) = \Delta P(i) \tag{12}$$

$$J_4(i)\Delta V(i) = \Delta Q(i) \tag{13}$$

3. MATLAB KULLANILARAK YÜK AKIŞ ANALİZİ (LOAD FLOW ANALYSIS USING MATLAB)

Bu çalışmada, MATLAB ortamında Gauss-Seidel (G-S), Newton-Raphson (N-R) ve Fast Decoupled (FD) metotları farklı tolerans değerleri kullanılarak IEEE'nin 6, 14, 30 ve 57 baralı test sistemleri için yük akış analizleri yapılmıştır. Yük akış analizi metotlarının her bir test sistemindeki farklı tolerans değerlerine göre iterasyon sayıları Çizelge 1'de verilmiştir. Bu çizelgeye göre; tolerans değeri azaldıkça iterasyon sayılarının arttığı görülmüştür. Tolerans değerlerine göre; bara sayısı arttıkça en az iterasyon değerini ve en iyi yakınsamayı Newton-Raphson metotu sağlamıştır. Gauss-Seidel metotunda ise, bara sayısı arttıkça iterasyon sayısının sürekli arttığı ve en fazla iterasyon sayısına sahip olduğu görülmüştür. Fast Decoupled metotunda ise 57 baradan sonra analiz gerçekleşmediği görülmüştür. Dolayısıyla, 30 baralı sistemlerin üstünde Fast Decoupled metotunun kullanılmasının uygun olmadığı anlaşılmaktadır.

Çizelge 1. Yük akış analizi metotlarının tolerans değerlerine göre iterasyon sayıları

Test Sistemi	İterasyon Sayıları								
	Tolerans Değeri=0,1			Tolerans Değeri=0,001			Tolerans Değeri=0,00001		
	N-R	G-S	FD	N-R	G-S	FD	N-R	G-S	FD
6 Baralı	3	2	5	4	16	10	11	35	16
14 Baralı	4	2	4	4	25	20	7	77	43
30 Baralı	4	2	6	5	8	14	5	199	36
57 Baralı	4	2	***	11	139	***	11	308	***

Çizelge 2'de yük akış analizi metotlarının her bir test sistemindeki farklı tolerans değerlerine göre hesaplama zamanları verilmiştir. Bu çizelgeye göre; tolerans değeri azaldıkça hesaplama zamanın arttığı görülmüştür. Tolerans değerlerine göre; bara sayısı arttıkça en az hesaplama zamanını Gauss-Seidel metotu sağlamıştır. Newton-Raphson metotunda ise bara sayısı arttıkça hesaplama zamanının sürekli arttığı ve tüm tolerans değerlerinde en fazla hesaplama zamanına sahip olduğu görülmüştür. Fast Decoupled metotunda ise 57 baradan sonra analiz gerçekleşmediği için hesaplama süresi bulunamamıştır.

Çizelge 2. Yük akış analizi metotlarının tolerans değerlerine göre hesaplama zamanları

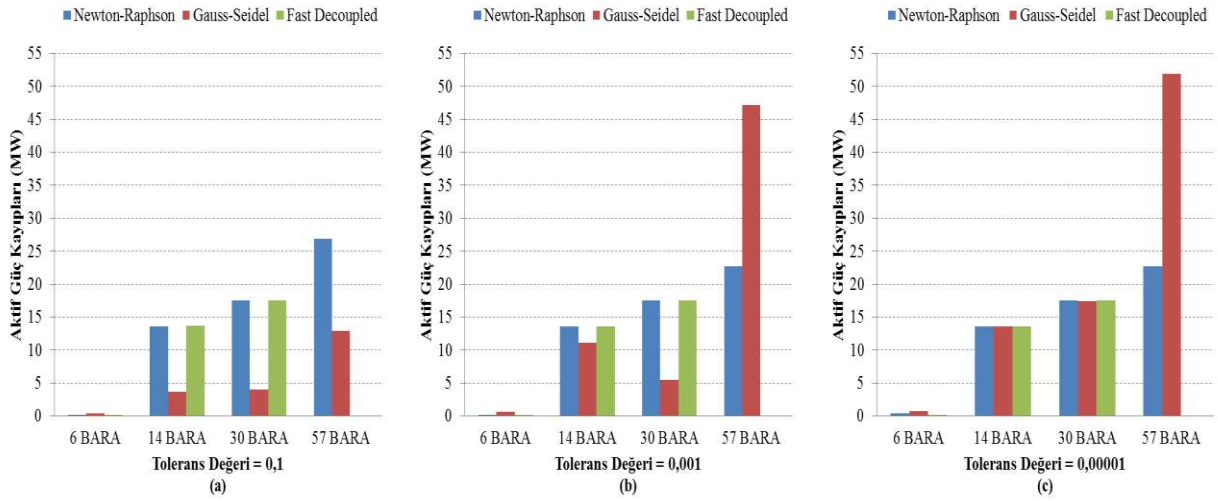
Test Sistemi	Hesaplama Zamanları (sn)								
	Tolerans Değeri=0,1			Tolerans Değeri=0,001			Tolerans Değeri=0,00001		
	N-R	G-S	FD	N-R	G-S	FD	N-R	G-S	FD
6 Baralı	0,167	0,074	0,075	0,696	0,098	0,198	0,350	0,069	0,103
14 Baralı	0,233	0,112	0,164	0,312	0,105	0,106	0,325	0,110	0,173
30 Baralı	0,437	0,164	0,220	0,401	0,142	0,166	0,384	0,276	0,314
57 Baralı	0,887	0,198	***	1,472	0,535	***	1,460	1,129	***

Çizelge 3'de yük akış analizi metotlarının tolerans değerlerine göre her bir test sistemindeki toplam aktif güç kayıpları ve toplam reaktif güç kayıpları verilmiştir. Ayrıca, yük akış analizi metotlarına göre her bir test sistemindeki toplam aktif güç kayıpları Şekil 1'de ve toplam reaktif güç kayıpları Şekil 2'de görselleştirilmiştir. Her bir test sisteminde, Gauss-Seidel metotuna göre tolerans değeri azaldıkça aktif ve reaktif güç kayıplarının arttığı, Newton-Raphson ve Fast Decoupled metotlarında ise aktif ve reaktif güç kayıplarının hemen hemen aynı olduğu görülmüştür. 14 ve 30 baralı test sistemlerinde tüm tolerans değerleri göz önüne alındığında Newton-Raphson ve Fast Decoupled metotları için aktif ve reaktif güç kayıpları hemen hemen aynı, Gauss-Seidel metotunda ise tolerans değeri azaldıkça aktif ve reaktif güç kayıplarının diğer iki yönteme yakın değerler aldığı gözlenmiştir. 57 baralı test sisteminde ise en az aktif

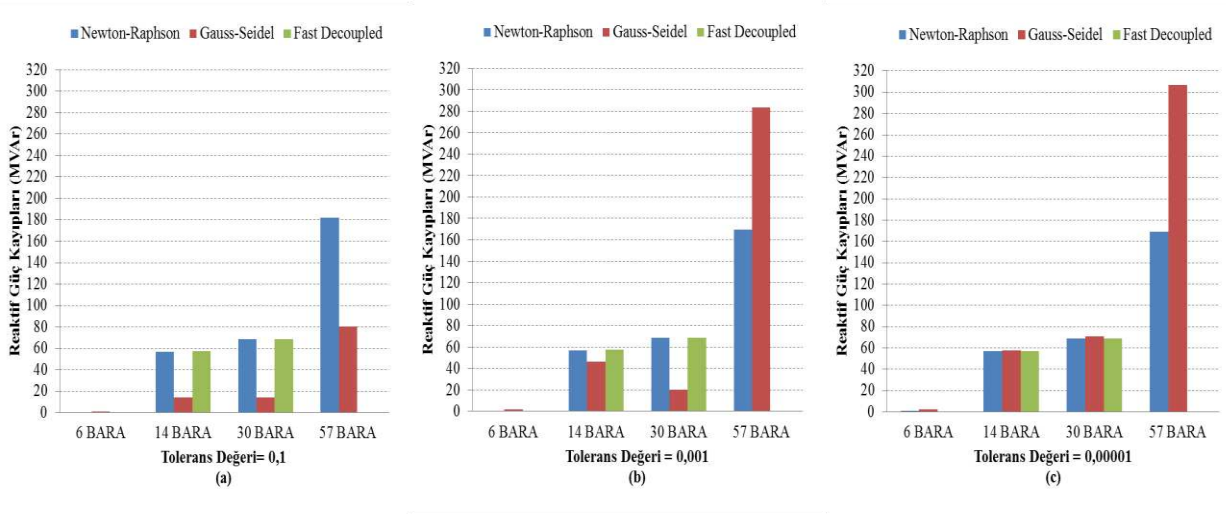
ve reaktif güç kaybı değeri Newton-Raphson metotu tarafından; en fazla aktif ve reaktif güç kaybı değeri Gauss-Seidel metotu tarafından hesaplanmıştır. Ayrıca, 57 baralı test sisteminde Fast Decoupled analizi gerçekleşmediği için kayıplar hesaplanamamıştır.

Çizelge 3. Yük akış analizi metotlarının tolerans değerlerine göre her bir test sistemindeki hat kayıpları

Test Sistemi	Tolerans Değeri	Hat Kayıpları					
		Newton-Raphson		Gauss-Seidel		Fast Decoupled	
		MW	MVAr	MW	MVAr	MW	MVAr
6 Baralı	0,1	0,198	0,649	0,363	1,007	0,179	0,593
	0,001	0,130	0,392	0,652	1,886	0,198	0,648
	0,00001	0,427	1,226	0,736	2,121	0,198	0,648
14 Baralı	0,1	13,551	56,754	3,665	14,245	13,744	57,671
	0,001	13,551	56,754	11,068	46,422	13,551	57,147
	0,00001	13,593	56,910	13,564	57,815	13,551	57,147
30 Baralı	0,1	17,528	68,888	3,973	14,260	17,543	68,886
	0,001	17,528	68,888	5,439	20,150	17,528	68,888
	0,00001	17,528	68,888	17,411	71,130	17,528	68,888
57 Baralı	0,1	26,865	182,124	12,880	80,466	***	***
	0,001	22,703	169,196	47,166	283,504	***	***
	0,00001	22,703	169,196	51,842	306,778	***	***



Şekil 1. Yük akış analizi metotlarının (a) 0,1 (b) 0,001 ve (c) 0,00001 tolerans değerlerine göre her bir test sistemindeki toplam aktif güç kayıpları



Şekil 2. Yük akış analizi metotlarının (a) 0,1 (b) 0,001 ve (c) 0,00001 tolerans değerlerine göre her bir test sistemindeki toplam reaktif güç kayıpları

Farklı tolerans değerlerine göre yük akış analizi metotları için her bir test sisteminde üretilen toplam aktif ve reaktif güç değerleri ile generatörlerden baralara aktarılan toplam aktif ve reaktif güç ve yüklerin toplam aktif ve reaktif güç değerleri Çizelge 4'de verilmiştir. Bu çizelgeye göre; generatörlerden baralara aktarılan aktif ve reaktif güç toplamları ile yüklerin talep edilen aktif ve reaktif güç toplamları generatörlerin üretilen aktif ve reaktif güç toplam değerlerini vermektedir. Newton-Raphson, Gauss-Seidel ve Fast Decoupled metotları için baralardaki yük taleplerine göre generatörlerin ürettiği güç değerleri birbirine yakın hesaplanmıştır, fakat Fast Decoupled metodu için 57 baralı test sisteminde generatör gücü hesaplanamamıştır.

Çizelge 4. Yük akış analizi metotlarının tolerans değerlerine göre her bir test sisteminde üretilen toplam aktif ve reaktif güç değerleri ile yüklerin toplam aktif ve reaktif güç değerleri

Test Sistemi	Metot	Tolerans Değeri	Aktarılan Güç		Üretim		Yük	
			MW	MVAr	MW	MVAr	MW	MVAr
6 Baralı	Newton-Raphson	0,1	0,198	-57,853	2,298	-55,753	2,1	2,1
		0,001	0,13	-58,192	2,23	-56,092	2,1	2,1
		0,00001	0,427	-59,072	2,527	-56,972	2,1	2,1
	Gauss-Seidel	0,1	0,363	-54,003	2,463	-51,903	2,1	2,1
		0,001	0,652	-59,283	2,752	-57,183	2,1	2,1
		0,00001	0,736	-59,289	2,836	-57,189	2,1	2,1
	Fast Decoupled	0,1	0,179	-57,844	2,279	-55,744	2,1	2,1
		0,001	0,198	-57,853	2,298	-55,753	2,1	2,1
		0,00001	0,198	-57,852	2,298	-55,752	2,1	2,1
14 Baralı	Newton-Raphson	0,1	13,551	30,778	272,551	104,278	259	73,5
		0,001	13,551	30,778	272,551	104,278	259	73,5
		0,00001	13,593	31,009	272,593	104,509	259	73,5
	Gauss-Seidel	0,1	3,665	-8,749	262,665	64,751	259	73,5
		0,001	11,068	20,161	270,068	93,661	259	73,5
		0,00001	13,564	30,745	272,564	104,245	259	73,5
	Fast Decoupled	0,1	13,744	31,626	272,744	105,126	259	73,5
		0,001	13,551	31,171	272,551	104,671	259	73,5
		0,00001	13,551	31,171	272,551	104,671	259	73,5
30 Baralı	Newton-Raphson	0,1	17,528	20,921	300,928	147,121	283,4	126,2

		0,001	17,528	20,921	300,928	147,121	283,4	126,2
		0,00001	17,528	20,921	300,928	147,121	283,4	126,2
	Gauss-Seidel	0,1	3,973	-30,438	287,373	95,762	283,4	126,2
		0,001	5,439	-25,588	288,839	100,612	283,4	126,2
		0,00001	17,411	21,048	300,811	147,248	283,4	126,2
	Fast Decoupled	0,1	17,543	20,909	300,943	147,109	283,4	126,2
		0,001	17,528	20,921	300,928	147,121	283,4	126,2
		0,00001	17,528	20,921	300,928	147,121	283,4	126,2
57 Baralı	Newton-Raphson	0,1	26,865	-3,079	826,865	188,721	800	191,8
		0,001	22,703	-28,764	822,703	163,036	800	191,8
		0,00001	22,703	-28,764	822,703	163,036	800	191,8
	Gauss-Seidel	0,1	12,88	-60,98	812,88	130,82	800	191,8
		0,001	47,166	7,433	847,166	199,233	800	191,8
		0,00001	51,842	23,155	851,842	214,955	800	191,8
	Fast Decoupled	0,1	***	***	***	***	800	191,8
		0,001	***	***	***	***	800	191,8
		0,00001	***	***	***	***	800	191,8

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, IEEE'nin 6, 14, 30 ve 57 baralı test sistemleri Matlab ortamında modellenerek Gauss-Seidel, Newton-Raphson ve Fast Decoupled metotları aracılığıyla farklı tolerans değerlerine göre yük akış hesaplamaları yapılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapılan yük akış analizleri neticesinde; tolerans değerleri azaldıkça, Newton-Raphson ve Fast Decoupled metotlarına kıyasla en fazla iterasyon sayısı Gauss-Seidel metotunda ortaya çıkmıştır. Bara sayısı arttıkça Gauss-Seidel metodundaki iterasyon sayısı artmaktadır. Newton-Raphson metotunda hesaplama zamanı en yüksek değerde, Gauss-Seidel, ve Fast Decoupled metotlarında ise hemen hemen aynı ve en düşük hesaplama zamanları bulunmuştur. Her iterasyon için Jacobian matrisinin karmaşıklığı nedeniyle Newton-Raphson metotu daha fazla hesaplama süresine sahiptir, ancak tolerans değeri azaldıkça iterasyon sayısı diğer iki yönteme göre az hesaplanmaktadır. Newton-Raphson ve Fast Decoupled metotlarında tüm tolerans değerlerinde aktif ve reaktif güç kayıpları hemen hemen birbirine yakın hesaplanırken, Gauss-Seidel metotunda tolerans değeri azaldıkça aktif ve reaktif güç kayıplarının arttığı görülmüştür. Fast Decoupled metodunda ise Newton-Raphson metodundaki Jacobian matrisinde ihmaller yapılarak hesaplamaların hızlandırılması nedeniyle 57 baralı test sistemi için güç kayıpları hesaplanamamıştır. Her üç yük akış analizi metotunda da baralardaki yük taleplerine göre generatörlerin ürettiği güçler birbirine yakın değerler olarak hesaplanmıştır fakat Fast Decoupled metotunda 57 baralı test sistemi için generatör gücü hesaplanamamıştır. Sonuç olarak, Fast Decoupled metotunda bara sayısı arttıkça hesaplamaların yapılamaması ve Gauss-Seidel metotunda iterasyon sayısının çok fazla olması ve tolerans değeri azaldıkça kayıpların artması nedenleriyle tüm bara sistemleri için en iyi sonuçlar Newton-Raphson metodu tarafından elde edilmiştir. Ayrıca, 6, 14 ve 30 baralı test sistemlerinde Newton-Raphson ve Fast Decoupled metotlarının yük akış analizine ait sonuçları birbirine çok yakın olmasına rağmen, hesaplama süreleri açısından karşılaştırıldığında Fast Decoupled metotu yük akış analizini daha az sürede gerçekleştirmiştir. Dolayısıyla, daha hızlı yük akış analizine ihtiyaç duyulan durumlar için 30 baralı güç sistemlerine kadar Newton-Raphson metodu yerine Fast Decoupled metodu tercih edilebilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

[1] S. Tosun, "Güç sistemlerinde gerilim kararlılığının sezgisel yöntemlerle incelenmesi", Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Sayfa 15, 2011.

[2] P.S.R. Murthy, "Power System Analysis", 1st Ed., Hyderabad, India: BS Publications, 2007, pp. 98-124.

[3] O.A. Afolabi, W.H. Ali, P. Cofie, J. Fuller, P. Obiomon and E.S. Kolawole "Analysis of the load flow problem in power system planning studies", Energy and Power Engineering, vol. 7, pp. 509-523, September 2015.

[4] J. Singh and R. Bala, "A case study: Comparison of Newton-Raphson and Gauss-Seidel load flow solution techniques in distributed transmission and generation electricity networks", International Journal of Advance Electrical and Electronics Engineering, vol. 5, no. 1, pp. 2278-8948, 2016.

[5] S. Kumar, S. Ahmad and A. Ahmad, "Analysis of load flow study using PSO and compensate the system using FACTS device", International Journal of Engineering and Computer Science, vol. 3, pp. 6555-6560, June 2014.

[6] A.K. Kailay and Y.S. Brar, "Identification of best load flow calculation method for IEEE-30 bus system using MATLAB", International Journal of Electrical and Electronics Research, vol. 3, no. 3, pp. 155-161, September 2015.

[7] Dharamjit and D.K. Tanti, "Load flow analysis on IEEE 30 bus system", International Journal of Scientific and Research Publications, vol. 2, no. 11, pp. 1-6, November 2012.

[8] T. Kulworawanichpong "Simplified Newton–Raphson power-flow solution method" International Journal of Electrical Power and Energy Systems, vol. 32, pp. 551-558, November 2010.

[9] C.K. Seng, T.L. Tien, J. Nanda and S. Masri, "Load flow analysis using improved Newton-Raphson Method", Applied Mechanics and Materials, vol. 793, pp. 494-499, September 2015.

[10] H. Mokhlis, A. Shahriari and J.A. Laghari, "Fast and accurate second order load flow method based on fixed Jacobian matrix", Applied Mathematics and Computation, vol. 269, pp. 584-593, 2015.

[11] S. Kamel, F. Jurado and Z. Chen, "Power flow control for transmission networks with implicit modeling of static synchronous series compensator", International Journal of Electrical Power and Energy Systems, vol. 64, pp. 911-920, September 2014.

[12] D. Borzacchielloa, F. Chinestaa, M.H. Malika, R. García-Blanco and P. Diez, "Unified formulation of a family of iterative solvers for power systems analysis", Electric Power Systems Research, vol. 140, pp. 201-208, June 2016.

[13] L.L. Grigsby, "Power Systems", Electric Power Engineering Handbook, 2nd Ed., Boca Raton, United Kingdom: CRC Press, 2007, pp. 46-56.

[14] R. Anand and V. Balaji, "Power flow analysis of Simulink IEEE 57 bus test system model using PSAT", Indian Journal of Science and Technology, vol 8, no. 23, September 2015.

[15] I. Krasniqi and A. Koka, "Power flow analysis: Simulation for different buses of a system", Journal of Institute Alb-Shkenca, vol. 4, pp. 178-187, 2011.

[16] D.P. Kothari and I.J. Nagrath, "Modern Power System Analysis", 3rd Ed., New Delhi, India: McGraw Hill Education Private Limited, 2003, pp. 184-239.

[17] J.D. Glover, M.S. Sarma and T.J. Overbye, "Power System Analysis and Design", 5th Ed., Stamford, USA; Cengage Learning, 2012, pp. 294-354.

[18] K. Singhal, "Comparison between load flow analysis methods in power system using MATLAB", International Journal of Scientific & Engineering Research, vol. 5, pp. 1412-1419, May 2014.

[19] M.H. Moradia, V.B. Foroutana and M. Abedinib, "Power flow analysis in islanded Micro-Grids via modeling different operational modes of DGs: A review and a new approach", Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 69, pp. 248-262, March 2017.

[20] A.R. Bergen and V. Vittal, "Power Systems Analysis", 2nd Ed., New Jersey USA; Prentice Hall, 2000, pp. 323-364.

[21] R. Alqadi and M. Khammash, "An efficient parallel Gauss-Seidel algorithm for the solution of load flow problems", The International Arab Journal of Information Technology, vol. 4, no. 2, pp. 148-152, April 2007.

[22] M. Mohammadi, A. Shayegani and H. Adaminejad, "A new approach of point estimate method for probabilistic load flow", International Journal of Electrical Power and Energy Systems, vol. 51, pp. 54-60, March 2013.

[23] M. A. Kusekwa, "Load flow solution of the Tanzanian power network using Newton-Raphson method and MATLAB software", International Journal of Energy and Power Engineering, vol. 3, no. 6, pp. 277-286, December 2014.