

GÜÇ SİSTEM GERİLİM KARARLILIĞINDA YÜK MODELLEMELERİNİN ÖNEMİ

Mustafa BAYSAL

Mehmet UZUNOĞLU

Celal KOCATEPE

Elektrik Mühendisliği Bölümü

Elektrik-Elektronik Fakültesi

Yıldız Teknik Üniversitesi, 34349, Beşiktaş, İstanbul

e-posta: baysal@yildiz.edu.tr

e-posta: uzunoglu@yildiz.edu.tr

e-posta: kocatepe@yildiz.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada güç sistem gerilim kararlılığında sistemde yer alan elektriksel yüklerle ait modellemelerin kararlılık analiz sonuçları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Statik gerilim kararlılığı analizlerinde kullanılan P-V eğrileri yardımıyla farklı yük modellerinin örnek bir sistem üzerindeki etkisi sayısal uygulama yapılarak gösterilmiştir. Sayısal uygulamadan elde edilen sonuçlardan aynı sistem ve yüklenme koşulları için yük modellerinin, kararlılık analizleri üzerinde önemli bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

1. GİRİŞ

Çevresel ve ekonomik faktörlerden dolayı yeni iletim sistemlerinin inşa edilmesindeki kısıtlamalar, mevcut güç sisteminin daha yüklü ve ağır koşullar altında çalışmasına neden olmaktadır. Artan güç talebini karşılamakta zorlanan güç sistemleri için gerilim kararlılığı özellikle günümüzde önemli bir konu haline gelmiştir. Yük karakteristiğinin yük akışı ve gerilim kararlılığı analizi üzerinde önemli etkisinin olduğu bilinmektedir [1]. Enerji sağlayan kuruluşlar, gerilim kararlılık sınırlarını ve maksimum güç kapasitelerini tespit etmek suretiyle sistemlerini uygun biçimde tasarlamak ve işletmek amacıyla sahip oldukları yükleri doğru biçimde modellemek zorundadırlar. Genelde yük modelleri basitleştirilmiş gerilime bağlı modelleme, bileşen tabanlı modelleme ve ölçüme dayalı modelleme olmak üzere üç farklı metot kullanılarak gerçekleştirilmektedir [2, 3].

Gerçekte yüklerin karakteristikleri ve farklı dinamiğe sahip yüklerin sistem içerisindeki düzenleri karmaşıktır. Ayrıca yükler zamanla değişebilir ve sistemin çeşitli kısımlarında farklılıklar gösterebilir. Yükün bu karmaşık karakteristiği her zaman geçerli olabilecek doğru bir yük modeli oluşturmayı zorlaştırmaktadır.

Elektrik güç sistemlerinde yer alan yükler gerilim kararlılık analizlerinde önemli bir yere sahiptir ve yüklerin modellenmesindeki farklılıklar, analiz sonuçlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Aynı

zamanda gerilim kararlılık analizi sonuçları, sistemin yüklenmesinde önemli bir etkidir. Bu nedenle sistemin kararlılık açısından emniyetli bir bölgede çalışması temin edilirken, yüklenme miktarını sistemin kapasitesinin altında tutarak verimliliği azaltacak yönde sonuçlanacak bir modellemeden kaçınılmalıdır.

Bu çalışmada farklı yük modelleri ve karakteristiklerinin, gerilim kararlılık analiz sonuçları üzerindeki etkisi gösterilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla güç akışı temeline dayanan bir algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritmada Newton-Raphson (NR) ve Newton-Raphson-Seidel (NRS) iterasyon yöntemleri birlikte kullanılmıştır. Böylece güç akış denklemlerinin çözümünün tekil olduğu noktaya yakın çalışma bölgeleri için NR iterasyon yöntemi uygulandığında ortaya çıkan yakınsamama sorunu NRS iterasyon metodu kullanılarak aşılmıştır. Geliştirilen algoritma yardımıyla dört baralı örnek bir güç sistemi üzerinde gerilim kararlılık analizleri yapılmıştır. Farklı yük modelleme yaklaşımlarına dayalı elde edilen yük modelleri kullanılarak yapılan analizler farklı açılardan kıyaslanmıştır.

2. YÜK MODELLERİ

Elektrik güç sistemlerinin analizinde kullanılan yük modelleri geleneksel olarak statik ve dinamik yük modelleri olmak üzere iki grupta toplanır. Statik yük modeli, herhangi bir andaki gerilim ve frekansa bağlı olarak yükün karakteristiğinin ifade edilmesidir [4]. Gerilime bağlı yük modeli üstel ve polinomsal yük modeli olarak iki sınıfa ayrılabilir. Üstel yük modeli ile temsil edilen gerilime bağlı yük karakteristiği aşağıdaki biçimde ifade edilir:

$$P = P_0 \left(\frac{V}{V_0} \right)^\alpha \quad (1)$$

$$Q = Q_0 \left(\frac{V}{V_0} \right)^\beta \quad (2)$$

burada P_0 ve Q_0 sembolleri V_0 referans gerilimine karşılık gelen aktif ve reaktif güçleri ifade ederken,

P ve Q ise V gerçek gerilimine karşılık yük tarafından çekilen aktif ve reaktif bileşenleri temsil etmektedir. α ve β üstel parametreleri, yükün tipine (motor, ısıtıcı, aydınlatma vb.) göre farklı değerler almaktadır. Tablo 1'de bazı yükler için α ve β parametrelerinin değerleri verilmiştir [5].

Tablo 1: Bazı yüklere ait parametreler

Yük Bileşeni	α	β
Akkor Flamanlı lamba	1.54	-
Oda tipi klima	0.50	2.5
Ocak fırını	0.08	1.6
Batarya şarjı	2.59	4.06
Elektronik balastlı fluoresan	0.95-1.03	0.31-0.46
Magnetik balastlı fluoresan	2.07	3.21

α ve β değerlerinin 2,1 ve 0 olarak birbirine eşit olması halinde sabit empedans-akım-güç (ZIP) modeli olarak adlandırılan özel yük durumu söz konusu olmaktadır:

$\alpha = \beta = 2$: sabit empedans yükü (Z)

$\alpha = \beta = 1$: sabit akım yükü (I)

$\alpha = \beta = 0$: sabit güç yükü (P)

Üstel yük modeline alternatif olarak ZIP modelinin yük bileşenlerinin toplamı şeklinde ifade edilen polinomsal yük modeli bulunmaktadır:

$$P = P_0 \left[p_1 \left(\frac{V}{V_0} \right)^2 + p_2 \left(\frac{V}{V_0} \right) + p_3 \right] \quad (3)$$

$$Q = Q_0 \left[q_1 \left(\frac{V}{V_0} \right)^2 + q_2 \left(\frac{V}{V_0} \right) + q_3 \right] \quad (4)$$

burada p_1 , p_2 , p_3 ve q_1 , q_2 , q_3 katsayıları sırasıyla aktif ve reaktif güçlere ait yük bileşenlerinin oranını göstermektedir ve aralarında aşağıdaki gibi bir eşitlik vardır:

$$p_1 + p_2 + p_3 = q_1 + q_2 + q_3 = 1$$

Bir sisteme ait yük modellemesi için Ref. [2]'de üç farklı yaklaşım kullanılmıştır.

- Gerilime bağlı basitleştirilmiş modelleme:* Sistem gerilimindeki değişime yükün nasıl cevap verdiği yaklaşık olarak bilindiğinde üstel veya ZIP modeli kullanılarak basit şekilde ifade edilen yük modelidir.
- Ölçüme dayalı modelleme:* Çeşitli yöntemlerle sistemin gerilimi değiştirilerek çekilen aktif ve reaktif güçlerin ölçülmesi sonucu üstel veya polinomsal yük modelindeki parametrelerin belirlenmesi temeline dayanmaktadır.
- Bileşen tabanlı modelleme:* Bu yaklaşımda sistemdeki yükler konutsal, ticari, endüstriyel, tarımsal vb. yük sınıflarına ayrılır ve her sınıf

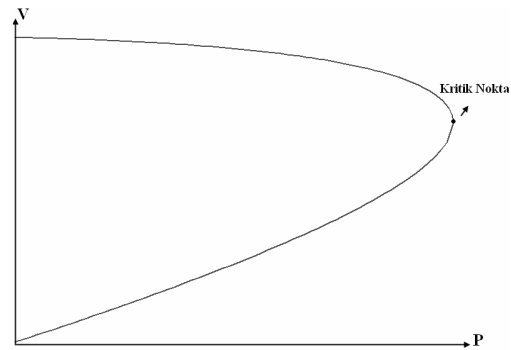
aydınlatma, ısıtma, endüksiyon motorları gibi karakteristiği bilinen yük modelleri ile temsil edilir.

3. GÜÇ SİSTEMLERİNDE GERİLİM KARARLILIĞI

Normal koşullarda ve bozucu etki sonrasında sistemdeki tüm baralarda kabul edilebilir gerilim seviyesini koruyabilen güç sistemleri gerilim bakımından kararlıdır [4]. Sistemin koşulları değiştiğinde, bozucu bir etki veya yükte artış olduğunda kontrol edilemeyen bir gerilim düşmesi meydana gelir ve bu durum gerilim kararsızlığına yol açar.

Önceleri özellikle zayıf güç sistemleri ve uzun hatlar söz konusu olduğunda incelenen gerilim sorunları, günümüzde aşırı yüklenmelerden dolayı son derece gelişmiş güç sistemlerinde de ilgi odağı olmaktadır [6]. Gerilim kararlılığı ile ilgili sorunlarda sistemin zayıflığı, aşırı yüklenme, yük karakteristiği, reaktif güç kompanzasyon araçlarının karakteristiği gibi çeşitli faktörler etkili olmaktadır.

Gerilim kararlılığı birbirini tamamlayıcı nitelikteki statik analiz (güç akışına dayalı) ve dinamik analiz (zaman domeninde) yöntemleriyle yapılmaktadır. Güç akışı metoduna dayalı statik analiz genelde P-V veya V-Q eğrileri kullanılarak yapılmaktadır. Bu eğriler sistemdeki P, Q, V arasındaki ilişkiyi ve gerilim kararlılığıyla ilgisi bulunan sürekli haldeki yüklenmeyi göstermektedir. Başka bir ifadeyle sistemdeki bir baradan çekilen güç arttırıldığında, o baradaki gerilimin değişimi bu eğriler ile gösterilmektedir. Herhangi bir test barasına ait karakteristik P-V eğrisi Şekil 1'de görülmektedir.

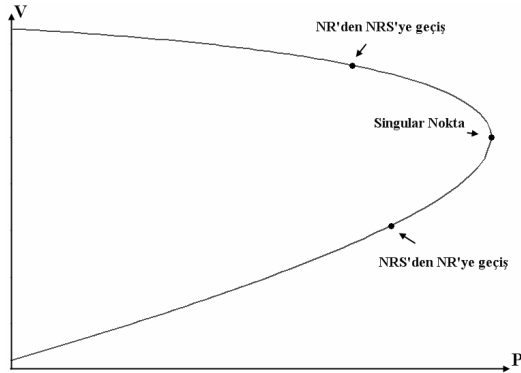


Şekil 1: Karakteristik P-V eğrisi

P-V eğrisindeki kritik noktaya karşılık gelen güç, baradan çekilecek maksimum aktif yük miktarını belirtmektedir. Eğrinin kritik noktasının üstünde kalan kısmı, kararlı çalışma bölgesini temsil etmektedir.

P-V eğrisi elde edilmek istendiğinde öncelikle cebirsel nitelikteki güç akış denklemleri

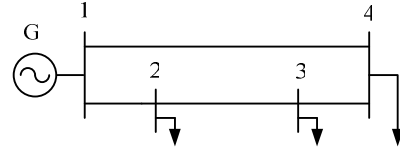
oluşturulur. Daha sonra seçilen test barasına ait başlangıç yüklenme durumu için denklemler standart Newton-Raphson iterasyon yöntemiyle çözülür. Elde edilen çözüm bir sonraki yüklenme durumu için başlangıç değeri olarak kullanılır ve yeni yüklenme durumu için denklemler çözülür. Ancak güç akış denklemlerine ait Jacobian matrisinin determinantının sıfır olduğu tekil (singular) noktaya yani P-V eğrisindeki kritik noktaya yaklaştıkça iraksama sorunu ortaya çıkar ve dolayısıyla çözüm elde edilemez. Bu sorunu aşmak için NR yönteminin yeniden düzenlenmesi gerekir. Tekil noktalara yakın bölgelerde denklemlerin çözümlerini elde etmek için geliştirilen bu yöntem Newton-Raphson-Seidel metodu olarak bilinmektedir [7]. Bu yöntemde klasik NR metodu ile elde edilen son çözüme ait en küçük pozitif özdeğer bulunur. Bulunan özdeğerden başlayıp sıfırı da kapsayacak şekilde herhangi bir negatif değere kadar farklı özdeğer değişimleri için sistemin çözümü elde edilir. Sonrasında en son negatif özdeğer için elde edilen çözümden başlanarak klasik NR yöntemiyle çözüme devam edilir. Şekil 2'de NR ve NRS yöntemlerini içeren üç aşamalı güç akış denklemleri çözüm yaklaşımının, P-V eğrisi üzerindeki uygulaması gösterilmiştir.



Şekil 2: Üç aşamalı güç akış çözüm metodu

4. TEST SİSTEMİ SONUÇLARI VE YORUMLARI

Farklı yük modellerinin elektrik güç sistemi gerilim kararlılığı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla Şekil 3'de tek hat şeması verilen örnek güç sistemi kullanılmıştır. Örnek güç sisteminin 4 nolu barası test barası olarak seçilmiş ve diğer baralardaki yüklerin farklı yaklaşımlarla modellenmesi durumunda test barasına ait P-V eğrileri elde edilerek kararlılık analizleri gerçekleştirilmiştir. P-V eğrilerinin elde edilmesinde NR ve NRS metotlarına dayalı olarak geliştirilen güç akış çözüm algoritması kullanılmıştır.



Şekil 3: Örnek güç sistemi

Örnek sisteme ait hattın karakteristik değerleri ve baralara ait parametreler per-unit (pu) olarak sırasıyla Tablo 2 ve 3'de verilmiştir. Tablo 3'de baralara ait verilen gerilimler, belirtilen güçlerin çekilmesi durumundaki değerlerdir. Test barasına ait güç faktörü değeri sabit kalmak koşulu ile aktif ve reaktif yük miktarları artırılarak kararlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Farklı yük durumları için verilen P-V eğrilerinde P aktif gücü, test barasındaki nominal yüklenmeye (P=5 pu) ilave olarak çekilen güç miktarını ifade etmektedir.

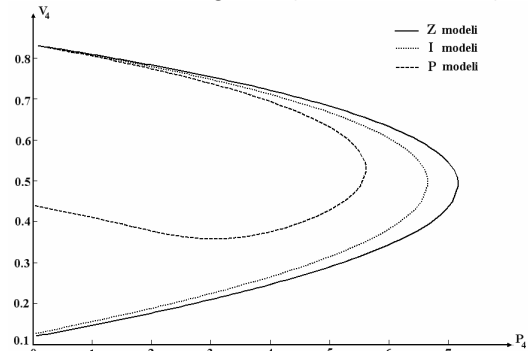
Tablo 2: Örnek sisteme ait hat karakteristikleri

Hat No	Bara No	Bara No	Z (pu)	Y (pu)
1	1	2	0.01+j0.01	$j2.1125.10^{-4}$
2	2	3	0.02+j0.08	$j8.4500.10^{-4}$
3	3	4	0.01+j0.02	$j4.2250.10^{-4}$
4	1	4	0.01+j0.02	$j4.2250.10^{-4}$

Tablo 3: Örnek sistem baralarına ait parametreler

Bara No	$P_{yük}$ (pu)	$Q_{yük}$ (pu)	V (pu)	θ (rad)
1	-	-	1	0
2	5	2.35	0.8921	-0.0351
3	3	1.41	0.7901	-0.1639
4	5	2.35	0.8327	-0.1238

Sistemdeki yüklerin sabit empedans-akım-güç (ZIP) prensibine göre modellenmesi durumunda elde edilen P-V eğrileri Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4: Yüklerin ZIP modeline göre P-V eğrileri

Şekil 4'den görüldüğü gibi sabit empedanslı (Z) yükler olduğunda kritik noktaya karşılık gelen güç değeri en büyük iken sabit güçlü yükler olduğunda ise en küçüktür. Bu durum beklenen bir sonuçtur. Çünkü yükler sabit empedans modeli ile temsil edildiğinde, test barasından çekilen gücün artması ile meydana gelen gerilim düşümüne bağlı olarak

yüklerin çektikleri güçler de gerilimin karesi ile azalacaktır. Dolayısıyla test barasına ait kritik gerilim değerine daha yüksek güçlerde ulaşılabılır. Yükler sabit güç modeli (P) ile ifade edildiğinde ise, çekilen güç sabit kaldığından test barasından çekilecek daha düşük güç değerlerinde kritik gerilim değerine ulaşılır.

Farklı bir yaklaşım olan bileşen tabanlı modelleme prensibine dayanan dört farklı yüke ait karakteristikler ve bunların oluşturduğu farklı yük sınıfları sırasıyla Tablo 4 ve 5’de verilmiştir [2]. Küçük ve büyük güçlü motorlara ait aktif güç bileşenleri modellenirken gerilimin üstel değerleri, pratik açıdan sıfır kabul edilmiştir. Tablo 4’e göre rezistif, deşarj lambası ve motor yüklerine ait aktif bileşenler ZIP modeline göre ifade edilmiştir.

Tablo 4: Farklı yüklere ait karakteristikler

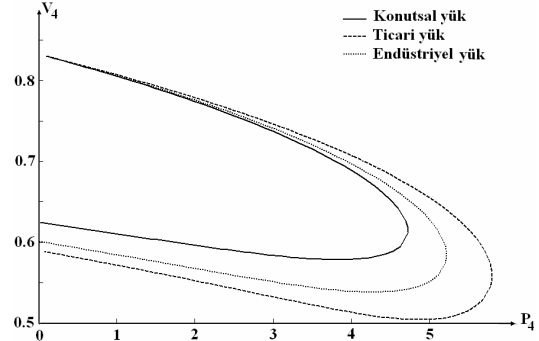
Yük Tipi	Aktif Bileşen	Reaktif Bileşen
Rezistif	$P = P_0 \left \frac{V}{V_0} \right ^2$	-
Küçük Motor	$P = P_0 \left \frac{V}{V_0} \right ^0$	$Q = Q_0 \frac{0.8 V ^{1.6} + 0.2 V ^{-3.3}}{0.8 V_0 ^{1.6} + 0.2 V_0 ^{-3.3}}$
Büyük Motor	$P = P_0 \left \frac{V}{V_0} \right ^0$	$Q = Q_0 \frac{0.747 V ^{1.54} + 0.253 V ^{-3.07}}{0.747 V_0 ^{1.54} + 0.253 V_0 ^{-3.07}}$
Deşarj Lambası	$P = P_0 \left \frac{V}{V_0} \right ^1$	$Q = Q_0 \left \frac{V}{V_0} \right ^{4.5}$

Tablo 5: Farklı sınıflara göre yük oranları

Yük Sınıfı	Yük Oranları (%)		
	Konutsal	Ticari	Endüstriyel
Rezistif	25	14	5
Küçük Motor	75	51	20
Büyük Motor	0	0	56
Deşarj Lambası	0	35	19

Sistemdeki yükler bileşen tabanlı yaklaşıma göre modellendiğinde elde edilen P-V eğrileri Şekil 5’de verilmiştir. Görüldüğü gibi konutsal yük tipinde kritik güç değeri en düşüktür. Bu sonuç kritik güç ve gerilim değerlerinin yükün sadece aktif bileşenlerine bağlı olmayıp reaktif bileşenleri ile de ilgili olduğunu göstermektedir. Zira Tablo 5’den görüldüğü gibi konutsal ve endüstriyel yüklerin içerdiği motor yükü oranları yaklaşık aynı, endüstriyel yüklerde ayrıca deşarj lambası bulunmaktadır. Yüklerin sadece aktif bileşenleri dikkate alındığında ZIP modeline göre endüstriyel yüklerin kritik güç değerinin daha düşük olması

gerekir. Fakat elde edilen sonuçlar bu doğrultuda olmadığından, yükün reaktif bileşeninin de P-V eğrisi üzerinde etkisi olduğu anlaşılmaktadır.

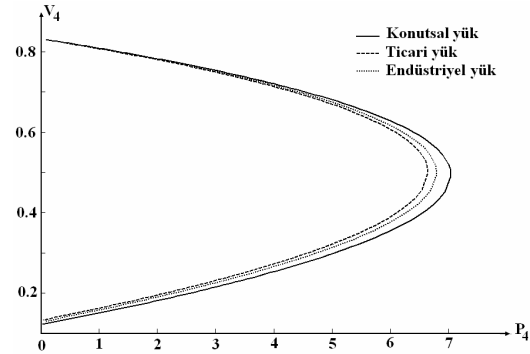


Şekil 5: Bileşen tabanlı yaklaşıma göre P-V eğrileri

Bir bölgede yapılan ölçümler sonucu elde edilen yük parametreleri Tablo 6’da verilmiştir. Bu parametrelere göre ölçüme dayalı olarak modellenen yüklere sahip sistemin P-V eğrileri Şekil 6’da görülmektedir.

Tablo 6: Ölçüm sonucu elde edilen parametreler

	Konutsal	Ticari	Endüstriyel
α (aktif güç)	1.23	0.58	0.72
β (reaktif güç)	3.28	2.39	3.12



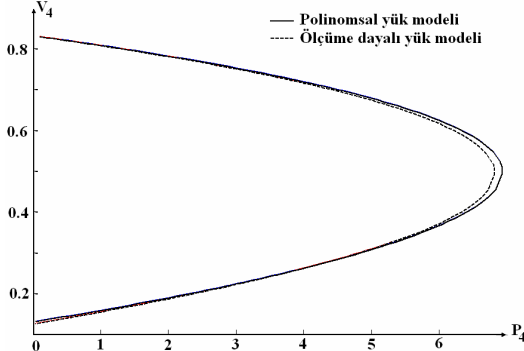
Şekil 6: Ölçüme dayalı yaklaşıma göre P-V eğrileri

Şekil 6’dan görüldüğü gibi α ve β parametrelerinin değeri küçüldükçe kritik güç değeri de küçülmektedir. Bileşen tabanlı modelde elde edilen sonuçların aksine konutsal yüke ait eğrinin kritik güç değeri en büyüktür. Bu durum yük modelleme yaklaşımının sonuçlar üzerinde ne kadar etkili olduğunu göstermektedir.

Yük sınıflarının oranı ve polinomsal modele ait katsayıları Tablo 7’de verilen yüklerin sistemde olması durumunda elde edilen P-V eğrisi, Şekil 7’de verilmiştir. Şekil 7’de ayrıca, yükün aynı oranda sınıflara sahip olması koşulu ile Tablo 6’da verilen parametreler için sistemin eğrisi yer almaktadır. Bu incelemenin amacı aynı yük profiline sahip baralarda farklı yük modellerinin sonuca etkisini kıyaslamaktır.

Tablo 7: Polinomsal model için parametreler [8]

Yük Oranları (%)			ZIP Katsayıları		
Konutsal	Ticari	Endüstriyel	p1-q1	p2-q2	p3-q3
40	51	9	P 0.16 Q 1.02	0.76 -3.70	0.08 3.68



Şekil 7: Ölçüme dayalı ve polinomsal yaklaşıma göre P-V eğrileri

Şekil 7'den görüldüğü gibi çok fark olmamakla birlikte polinomsal yaklaşıma dayalı yük modelinde kritik gerilim değerinde test barasından biraz daha fazla güç çekilmesi mümkün olmaktadır.

Şekil 4, 5 ve 6'da görülen P-V eğrilerinin kritik gerilim V_{krt} ve kritik güç P_{krt} değerleri Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8: Tüm modeller için V_{krt} ve P_{krt} değerleri

	P-V Eğrisi	V_{krt} (pu)	P_{krt} (pu)
ZIP Modeli	Sabit Empedans (Z)	0.490	7.170
	Sabit Akım (I)	0.495	6.655
	Sabit Güç (P)	0.529	5.615
Bileşen Tabanlı Model	Konutsal Yük	0.614	4.727
	Ticari Yük	0.558	5.799
	Endüstriyel Yük	0.584	5.218
Ölçüme Dayalı Model	Konutsal Yük	0.494	7.039
	Ticari Yük	0.500	6.645
	Endüstriyel Yük	0.499	6.793

Tablo 8'de farklı yük modellerine göre kritik gerilim ve güç değerlerinin değiştiği görülmektedir. ZIP modeline göre kritik gerilim değerleri ve güç değerleri arasında büyük farklar varken, ölçüme dayalı modelde değerler birbirine oldukça yakındır.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada elektrik güç sistemlerinde bulunan yüklerin modellenmesindeki farklılıkların gerilim kararlılık analizi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu amaçla 4 baralı örnek bir güç sistemi üzerinde

farklı yük modelleri için geliştirilen algoritma yardımıyla P-V eğrileri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda ifade edilmiştir.

- Sabit empedans-akım-güç (ZIP) modelleme metodunda gerilim kararlılığı sınırları içerisinde en fazla yüklenmeye sistemdeki yükler sabit empedans (Z) yaklaşımı ile modellendiğinde ulaşılırken, en az yüklenmeye sabit güç (P) yaklaşımı uygulandığında ulaşılmaktadır.
- Bileşen tabanlı modellemede yükün aktif ve reaktif güç bileşenlerinin karakteristiği, kritik gerilim ve güç değerleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.
- Ölçüme dayalı yük modellemesinde aktif ve reaktif güç parametrelerinin değerlerine göre kararlılık analiz sonuçları farklılık göstermektedir. Ayrıca parametrelerin tespiti için yapılan ölçümlerin doğruluğu, sonuçlar üzerinde direkt olarak etkilidir.
- Polinomsal ve ölçüme dayalı modellemede kullanılan parametreler ölçüm sonuçlarından elde edildiğinden analiz sonuçları birbirine yakındır.
- Yapılan gerilim kararlılık analizlerinde farklı yük modellerinin farklı sonuçlar vermesi, incelenen sistemin yük karakteristiğinin en doğru şekilde temsil edilmesinin gerektiğini göstermektedir.
- Kritik gücün düşük değerde dikkate alınması kararlılık açısından emniyetli çalışmayı temin etmekle birlikte sınırları aşmayacak şekildeki yüklenmeye müsaade etmediğinden aynı zamanda verimsiz çalışmaya neden olabilir. Bu nedenle modeller optimum çalışmayı temin edecek şekilde göz önüne alınmalıdır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenen 105G129 nolu "Türkiye Elektrik Sisteminde Güç Kalitesine Etki Eden Değişkenleri ve Güç Kalitesini İzleme, Problemlerin Tespiti, Değerlendirilmesi ve Karşı Önlemlerin Hayata Geçirilmesi" konulu proje tarafından desteklenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Coker, M.L., Kgasoane, H., "Load Modeling", IEEE AFRICON, p 663-668, 1999.
- [2] Morison, K., Hamadani, H., Wang, L., "Practical Issues in Load Modeling for Voltage Stability Studies", IEEE Power Engineering Society General Meeting, 3, p 1392-1397, 2003.
- [3] Xu, W., Vaahedi, E., Mansour, Y., Tamby, J., "Voltage Stability Load Parameter Determination

- from Field Tests on B.C. Hydro's System", IEEE Transaction on Power Systems, Vol.12, No:3, p 1290-1297, 1997.
- [4] Kundur, P., "Power System Stability and Control", McGraw-Hill, 1994.
- [5] Cutsem, T., V., Vournas, C., "Voltage Stability Analysis of Electric Power Systems", Kluwer Academic Publishers, 1998.
- [6] Uzunoğlu, M., Onar, O., C., Alam, M., S., "Dynamic Behaviour of PEM FCPPs Under Various Load Conditions and Voltage Stability Analysis for Stand-Alone Residential Applications ", Journal of Power Sources, Vol. 168, Iss. 1, p 250-250, 2007.
- [7] Ayasun, S., Nwankpa, C., O., Kwatny, H., G., "Computation of Singular and Singularity Induced Bifurcation Points of Differential-Algebraic Power System Model", IEEE Transaction on Circuits and Systems, Vol.51, No:8, p 1525-1538, 2004
- [8] Ranade, S., J., Ellis, A., Mechenbier, J., "The Development of Power System Load Models from Measurements", Proceedings of IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition, p 201-206, 2001.