

# GÜÇ SİSTEMLERİNDE KADEME DEĞİŞTİRİCİ TRANSFORMATÖRLERİN KAOTİK OSİLYASYONLARI

Kadir ABACI<sup>1</sup> Mehmet Ali YALÇIN<sup>2</sup> Yılmaz UYAROĞLU<sup>3</sup> Hüseyin GELBERİ<sup>4</sup>

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Sakarya Üniversitesi, Esentepe Kampüsü, Sakarya

<sup>1</sup>e-posta [kabaci@engineer.com](mailto:kabaci@engineer.com) <sup>2</sup>e-posta [yalcin@sakarya.edu.tr](mailto:yalcin@sakarya.edu.tr) <sup>3</sup>e-posta [uyaroglu@sakarya.edu.tr](mailto:uyaroglu@sakarya.edu.tr)  
<sup>4</sup>e- posta [hgelberi@sakarya.edu.tr](mailto:hgelberi@sakarya.edu.tr)

Anahtar sözcükler: Kademe Değiştirici Transformator(KDT), Yük karakteristikleri, Gerilim Kararlılığı

## ABSTRACT

*An electric power system shows a chaotic behavior on an interval of loading state. Another type of system instability is voltage collapse, when the system is too loaded. Voltage stability of a power system is related to load characteristics and voltage control devices such as under load tap changing (ULTC) transformers. In this paper, the effects of and distribution ULTCs are investigated by both static and dynamic analysis. The effect of tap dynamics modeling on system behaviour is illustrated. In the third section of this paper, the effect of the ULTC on dynamic analysis is theoretically studied for a simple test system. This paper further explores the chaotic oscillatory behavior of power supply systems with emphasis on illustrating interactions between ULTC and load dynamics. These oscillatory behavior curves serve their purpose well on the conservative side in predicting several system limits such as voltage stability limit or loadability limit. Load models are known to have profound impacts on power system behaviors. The nonlinear load model, constant current, constant power and constant impedance are popular in modeling the nonlinear behaviors of loads.*

## I.GİRİŞ

Sürekli yük artımı ile birlikte ekonomik ve çevresel baskılar güç sistemlerini kararlılık limitine yakın noktalarda çalışmaya zorladığından kararlılık sınırları azalmaya ve gerilim kararlılığı kritik bir konu olmaya başlamıştır [1]. Bu ağır şartlar altında çalışan güç sistemlerinde yavaş gerilim düşümlerinin yanı sıra gerilim çökmesi gibi dinamik davranışlar gözlenmektedir. Bu nedenle güç sistemlerinin dinamik analizine son yıllarda önemli bir şekilde ihtiyaç duyulmaktadır [2]. Gerilim çökmesi analizlerinde ,hesaplama metodları kullanılarak güç sistemlerinin çatalanma noktalarına ulaşılır. Geçmiş yıllarda güç sistemlerinin kararlılığı ve özellikle gerilim kararlılığı ile ilgili olarak bazı şirketler ciddi şikayetleri içeren raporlar sunmuş ve sistemlerinde bu konuda meydana gelen bazı olayları dile getirmişlerdir.[3].

Güç sistemlerinde parametre değişimine bağlı olarak oldukça kompleks dinamikler gözlenebilmektedir. Bunlardan en yaygın olanı yük artışının bir sonucu olarak denge noktalarının çatallaşmasıdır. Çatalaşma

teorisi güç sistemlerindeki açısız kararlılık ve gerilim kararlılığı gibi değişik sorunların analizinde kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir [4].

Çatalaşma teorisi doğrusal olmayan sistemlerin çözümünde anahtar rol oynamaktadır. Sistemdeki anlık değişiklikler, sistemi kararlı normal durumundan artarak uzaklaştırmakta, bu da elektrik güç sisteminde gerilim çökmesini ve kaos olaylarını beraberinde getirmektedir. Bir güç sisteminin dinamik davranışı bir parametre değişimiyle değiştirildiği zaman güç sistemlerinde çatalaşmalar doğmaktadır [5].

Kaotik olay deterministik sistemlerde var olan deterministik osilasyonların bir tipidir. Kaotik olaylardaki çalışmalar güç sistemleri kararlılık çalışmalarının önemli bir kısmıdır. İlk çalışmalarda, Ajarapu ve Lee ,Chiang [10] , Wang ve Tan , temel olarak güç sistemlerinde kaotik olayların davranışlarını yorumlamaya odaklanmışlardır. Daha sonraki çalışmalarda ise Wu , Rajesh,Yu ve Jia, Srivastava ve Abed kaotik hareket ve sistem dinamik bileşenlerinin karşılıklı olarak birbirlerini nasıl etkiledikleri ile ilgili çalışmalara başlanmış ve güç sistem kararlılık bölgesinde kaotik osilasyonların elimine edilip önlenmesi ile ilgilenmişlerdir [6].

Elektriksel yükler gerilime karşı çok duyarlıdır ve gerilim kararlılığını etkileyen en önemli faktördür. Üstelik karakteristik yapıları da oldukça farklıdır. Bu nedenle bazı yükler, gerilim değişimleri sonucunda güç sistemini olumsuz biçimde etkileyebilirler. Gerilim kararlılığı çalışmalarında yüklerin bu davranışlarının bilinmesi çok önemlidir. Gerilim kararlılığı analizlerini yaparken yük karakteristiklerini ve onlara ait modelleri iyi anlamamız gerekir [7].

Güç sisteminden çekilen yüklerde sık sık değişimler arzu edilmeyen gerilim değişimlerine neden olur. Bu problemi çözmek için kademe değiştirici transformatörlerden faydalanılır. Kademe değiştirici transformatörler (KDT) önemli bir gerilim düzenleyici araçlardır ve otomatik olarak dönüştürme oranları vasıtasıyla yük barasındaki gerilimi istenilen değerlerde tutmaya yararlar[9]. KDT'ler orta süreli gerilim kararsızlığı probleminde önemli bir etkiye sahiptir.[10] ve[11]

referanslarda statik analiz kullanılarak KDT'lerin maksimum güç transferini artırmada ve gerilim kararlılığını iyileştirmede etkileri olduğu gösterilmiştir

Bu bildiride özellikle KDT'li güç sistemlerinde, statik yük modeli kullanarak sabit güç, sabit akım ve sabit empedans gibi karakteristikleri farklı yük dinamiklerinin kaotik osilasyonları incelenmiştir. Osilasyon davranışları durum uzayında eğrilerle çizdirilmiştir. Yukarıda belirtilen yükler için çeşitli gerilim çökmesi senaryoları oluşturulmuş ve ağır yüklenme durumlarında hangi tip yüklerin nasıl bir çökme sürecine girdiği izlenmiştir.

## I. STATİK YÜK MODELİ

Elektrik güç sistemlerinde yüklerin karakteristikleri çeşitlilik göstermektedir. Gerilim değişimine karşı davranışları bakımından yükler üç ana grupta toplanabilirler.

Yüklerin bu davranışlarından dolayı onlara ait çok sayıda çeşitli model yaklaşımları yazılmıştır. Bunlar statik yük modelleri (sabit empedans, sabit güç, sabit akım ve bu modellerin kombinasyonları ile) dinamik yük modelleri (generic dynamics load modelling) olarak iki ana gruba ayrılabilir [12].

### 2.1 Üstel yük modelleri

Yaygın bir şekilde kullanılır ve üstel yük olarak bilinir.

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

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

$V_0$  referans gerilimi  $z$  yük tiplerine bağlıdır (motor, ışık, ısı,...).  $P$  ve  $Q$ ,  $V_0$  referans gerilimine göre  $V$  gerilimi altında tüketilen aktif ve reaktif güçlerdir. Bunlar nominal güç yükleri olarak isimlendirilir. Burada  $z = 2$  olduğunda sabit empedans yükü,  $z = 1$  olduğunda sabit akım yükü ve  $z = 0$  olursa sabit güç yükleri karakteristiğini verir [13].

## III. GÜÇ SİSTEMLERİNDE ÇATALLAŞMA ANALİZİ

Güç sistemlerinde çatallaşma bir sistemin parametrelerinin değişimleri yüzünden dinamik davranışında ki değişimdir.

Çatallanma noktası aşağıdaki denklemle bulunabilir.

$$f(x, \lambda) = \dot{x} \quad (3)$$

Burada  $x$  durum değişkeni ve  $\lambda$  sistemi bir denge noktasından diğer bir noktaya taşıyan bir sistem parametresidir [14].

Güç sistemlerinde parametre değişimine bağlı olarak oldukça kompleks dinamikler gözlenebilmektedir. Bunlardan en yaygın olanı yük artışının bir sonucu olarak denge noktalarının çatallaşmasıdır. Çatallaşma

teorisi güç sistemlerindeki açılabilir kararlılık ve gerilim kararlılığı gibi değişik sorunların analizinde kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir [4].

### Eyer-Noktası Çatallaşması

Bu çatallaşma en temel çatallaşmadır. Eyer-noktası çatallaşması sabit noktaların yaratılması veya yok edilmesini sağlayan temel mekanizmadır. Bir parametre değiştirilmedikçe iki sabit nokta birbirine doğru hareket eder, çarpışır ve birbirini yok eder [15]. Bir sistemde çatallanma şartları  $f_x(x_0, \lambda_0)$  bir tek basit özdeğere sahip olmak üzere aşağıdaki gibi verilebilir.

$$\begin{aligned} D_x f_0^T w = D_x f_0 v = 0 \\ w^T \frac{df}{d\lambda} \Big|_0 \neq 0 \\ w^T [D_x^2 f_0] v \neq 0 \end{aligned} \quad (4)$$

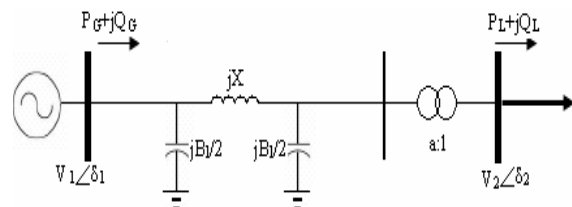
burada  $v$  sağ öz vektör  $w$  sol öz vektörü göstermektedir [16].

## IV. GÜÇ SİSTEMİNİN MODELLENMESİ

Şebeke eşitlikleri sistematik bir şekilde çeşitli formlarda yazılabilir. Güç sistemi yük akışı analizlerinde en yaygın olarak kullanılan form düğüm gerilimleri metodudur. Düğüm akımları belirlendiğinde düğüm gerilimleri için lineer eşitlik denklem takımları çözülebilir. Bir güç sisteminde akımlardan daha çok güçlerle ilgilenilir. Böylece güç akışı eşitlikleri olarak bilinen nonlineer denklem takımları elde edilir ve iteratif tekniklerle çözümlenir. Güç akışı çalışmalarını güç sistem analiz ve tasarımında temel görev üstlenir [17].

### 4.1 İki baralı Örnek Sistemin Tanıtılması

Şekil 1.de iki baralı basit bir güç sistemi gösterilmiştir. Bu sistem için temel generator modeli dinamik bağıntıları kullanılarak generator modeli, yük için frekans ve gerilime bağımlı dinamik eşitlikler aşağıdaki denklemlerde verilmiştir.



Şekil 1. İki baralı örnek sistem

### Generatör Dinamik Modeli

Makine için dinamik bağıntıları aşağıdaki gibidir

$$\dot{\omega} = \frac{1}{M} (P_M - P_G - D_G \omega) \quad (5)$$

$$\dot{\delta} = \omega \quad (6)$$

## Yük Modeli

Yük barasındaki dinamik eşitlikler aşağıdaki gibidir.

$$\dot{V}_2 = \frac{1}{\tau}(Q_L - Q_D) \quad (7)$$

burada sırasıyla  $M$  ve  $D_G$  generator eylemsizlik ve sönümleme sabitleri,  $\tau$  dinamik yüke ait gerilim zaman sabitleridir [3].

Şekil 1'de verilen iki baralı sistem için güç akışı eşitlikleri kullanılarak baralardan çekilen aktif ve reaktif güçler denklem 8, 9,10 ve 11 numaralı denklemlerde verilmiştir.

$$\delta = \delta_1 - \delta_2 \quad \zeta = 1 - \frac{XB_1}{2}, \xi = 1 - \frac{XB_1}{4} \text{ olmak üzere}$$

$$P_G = \frac{B_1 \xi X + \zeta^2}{a^2 X_t \zeta + X} a V_1 V_2 \sin \delta \quad (8)$$

$$Q_G = \frac{(\zeta - a^2 X_t B_1 \xi) V_1^2 - (a B_1 \xi X + a \zeta^2) V_1 V_2 \cos \delta}{a^2 X_t \zeta + X} \quad \dots(9)$$

$$P_L = \frac{1}{a^2 X_t \zeta + X} a V_1 V_2 \sin \delta \quad (10)$$

$$Q_L = \frac{a V_1 V_2 \cos \delta - V_2^2 a^2 \zeta}{a^2 X_t \zeta + X} \quad (11)$$

Generatör barasından üretilen güç ve Yük barasından talep edilen güç sırasıyla  $P_G + jQ_G$  ve  $P_d + jQ_d$  şeklindedir. Basitleştirmek amacıyla hattın omik direnci ihmal edilmiştir.  $X$  ve  $B_1$  hattın empedansı ve şönt kapasitesini,  $a$  ve  $X_t$  ise KDT'nin dönüştürme oranı ve kaçak reaktansını göstermektedir. Generator barası gerilimi  $V_1$  sabit ve 1 p.u olarak alınmıştır.

## Sürekli kademe değiştirici modeli

Bu model  $r(t)$  'nin sürekli bir şekilde değişimine dayanır.  $r(t)$   $r_{min}$  ile  $r_{max}$  arasındaki tüm gerçek değerleri alabilir. Genellikle sürekli kademe değiştirici modelde ayarlanan band sınırlarının etkisi ihmal edilir. Bu nedenle diferansiyel eşitlik aşağıdaki gibi [13] yazılabilir.

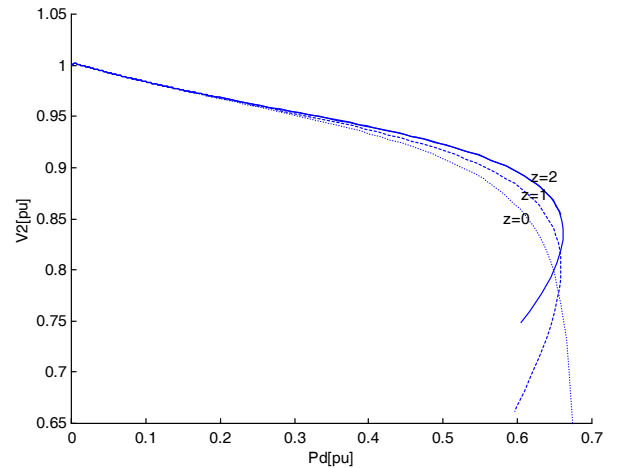
$$T_c \dot{r} = -V_2 + V_2^0 \quad r^{max} \leq r \leq r^{min} \quad (12)$$

Denklem (12) kullanıldığı zaman kademe değiştiricinin bir integral karakteristik kontrollu olarak modellendiğine dikkat edilmelidir. Sürekli kademe değiştirici modeli ayrık kademe değiştirici modellerinden daha az doğrudur, fakat faydalı bir yaklaşımdır. Özellikle analitik çözümler için elverişlidir. Zaman simülasyonlarında kullanımı sınırlıdır.  $T_c$  zaman sabiti olarak yazılabilir. Pratikte mekanik zaman gecikmesinin ( $T_m$ ) önüne

geçilemeyeceğine göre bunu kompanze etmek için daha büyük bir zaman sabitine ihtiyaç duyulur.

## V. SİMULASYON SONUÇLARI

Bu problemi basitleştirmek için hattın direnci ( $R=0$ ) ihmal edilmiş ve  $P_M=P_d$  alınmıştır. Kullanılan parametrik değerler aşağıdaki gibi seçilmiştir.  $M=0.9, D_G=0.1, \tau=2s, T_C=120s$ . Hattın parametrik değerleri  $X=0.5$  p.u ve  $B_1=0.01$  p.u, KDT'nin kaçak reaktansı  $X_t=0.1$  p.u olarak alınmıştır. Yük barasından  $0.6 + j0.2$  p.u değerinde yük çekildiği farzedilmiştir. Elektriksel yüklerin çeşitlilik göstermeleri ve farklı karakteristik yapıda olmaları nedeniyle yük barasında bu tür yapıda yükler oluşturularak kararlılık analizleri yapılmıştır. Bu simülasyonlar yapılırken yukarıda verilen parametreler aynen kullanılmış ancak yük barasında sabit empedans, sabit akım ve sabit güç yükleri olmak üzere üç farklı tiplerde yükler olduğu farzedilmiştir.



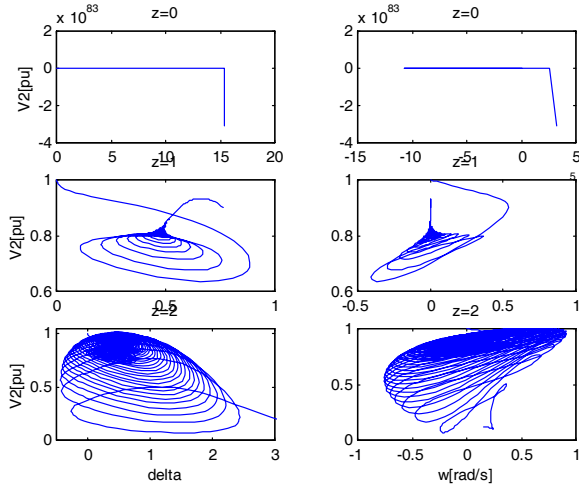
Şekil 2.  $z=0, z=1, z=2$  için KDT' li güç sistemlerinde P-V eğrileri

Bu durumda elde edilen sonuçlar Şekil' 2 de gösterilmiştir. Buna göre yük barasında sabit empedans karakteristikli ( $z=2$ ) yüklerin gerilim kararlılığı açısından daha iyi sonuçlar verdiği açıkça sabit güç yüklerinde ise ( $z=0$ ) bu tür yüklerin gerilim kararlılığı açısından en olumsuz tür olduğu görülmektedir. Bu tür yüklerin kararsızlığa daha meyilli olduğu ve daha çabuk çökme sürecine girdiği gözlenmiştir.

### 5.1 Gerilim çökmesi senaryoları

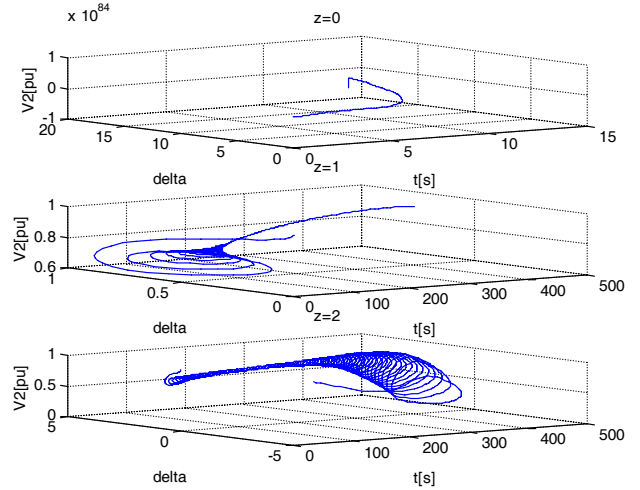
Bu bölümde Şekil 1.de gösterilen KDT üzerinden beslenen iki baralı güç sisteminin ağır yüklenme şartlarında durum uzayındaki davranışları incelenmiştir. Bir önceki bölümde verilen generatör dinamik bağıntıları, dinamik yük modeli ve KDT içinde sürekli kademe değiştirici model kullanılmıştır. Çatallanma Teorisine göre yapılan

analizler sonucu çatallanma parametresi ( $\lambda=1.1227$ ) bulunmuştur. Buna göre sistemin maksimum yüklenme değeri  $P_d^{\max} = 0.0736$  p.u aynı zamanda sistemin çatallanma noktasıdır. Elde edilen bu değere göre çeşitli gerilim çökmesi senaryoları üretilebilir. Bunlardan ilki sistemin sürekli halde  $\lambda=1.2$  yük artımı ile yani  $P_d^1 = 0.72$  p.u değerinde yüklendiğini varsayalım. Bu durumda  $P_d^1 > P_d^{\max}$  olduğundan sistem kararsız bir davranış gösterecektir. Ancak farklı yük türleri için sistemi kararsızlığa götüren süreçte farklı olacaktır. Örneğin sabit güç karakteristikli ( $z=0$ ) yükler bu ağır yüklenme şartlarında diğer yük türlerine nazaran çok kısa bir sürede sistemi kararsızlığa sürükleyecektir. Bu tür yüklenme şartlarında sabit empedans karakteristikli ( $z=2$ ) yüklerin diğer yük türlerine nazaran daha fazla bir osilasyon yaptığı ve bir müddet sonrada osilasyonların artarak kararsız yapıya dönüştükleri gözlemlenmiştir. Bu açıklamalara ilişkin simülasyon sonuçları ve durum uzayındaki davranışları şekil 3.'de verilmiştir.

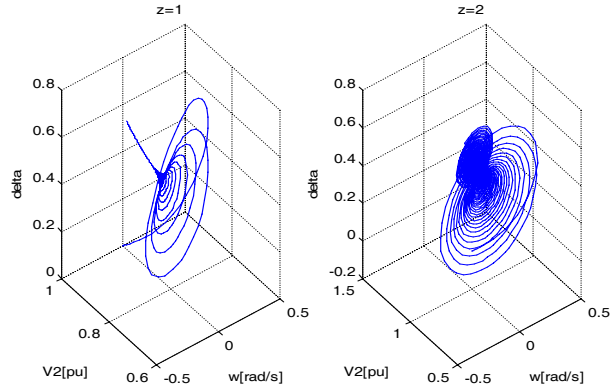


**Şekil 3.**  $P_d = 0.72$  p.u için sabit güç, sabit akım ve sabit güç karakteristiğinde yükler için faz portreleri

Şekil 4. te çizdirilen üç boyutlu faz portrelerinde ise gerilim çökmesi sürecinin yük türlerine göre zamana göre nasıl bir değişim gösterdiği açıkça anlaşılmaktadır. Buna göre en üstte çizdirilen eğri sabit güç yükü ( $z=0$ ) karakteristiğindeki yüklerle aittir. Bu tür yükler çok kısa bir sürede sistemi kararsızlığa sürüklemektedir. En alttaki eğriler ise sabit empedans yüklerinin ( $z=2$ ) davranışlarını temsil etmektedir. Burada salınım dinamiklerinin etkisi oldukça belirgindir. Sistem uzun bir osilasyon yaptıktan sonra yine artan genlikli salınımlar yaparak kararsızlığa sürüklenmektedir. Ortadaki eğriler ise sabit akım yüklerinin ( $z=1$ ) davranışını temsil etmektedir. Burada en belirgin fark bu tür yüklerin osilasyon yapmadan ani bir gerilim çökmesini oluşturmalarıdır.



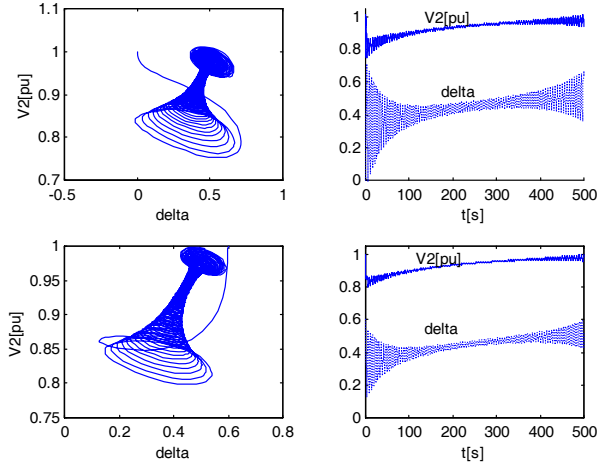
**Şekil 4.**  $P_d = 0.72$  p.u için sabit güç, sabit akım ve sabit güç karakteristiğinde yüklerin durum uzayındaki davranışları



**Şekil 5.**  $P_d = 0.66$  p.u için sabit akım ve sabit güç, üç karakteristiğinde yüklerin karşılaştırmalı faz portreleri

Yukarıda elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde sabit akım ve sabit empedans karakteristikli yüklerin gerilime bağımlılık derecelerine göre bozucu etki sonrası kararlı kalmaları yüklenme şartlarına ve bozucu etkinin ortadan kaldırılması süresine göre değişmektedir. Yani bu durumlarda kademe değiştirici transformatörlerin yavaş dinamikleri sistem kararlılığında oldukça önemli bir rol oynayacaktır. Bununla ilgili olarak sistemin  $\lambda=1.1$  miktarında yük artımı ile sürekli yüklenmesi hali için bir kararlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Bu durumda  $P_d^2 = 0.66$  p.u ve  $P_d^2 < P_d^{\max}$  olacaktır. Sistemin özellikle sabit empedans karakteristikli yükler için kararlı kalması beklenirken uzun süren ve genliği gitgide artan salınımlar sonucu bu tür yükler için sistem kaotik bir yapıya dönüşmekte ve bu osilasyonlar kararsızlığa taşımaktadır. Bu çalışmaya ait üç boyutlu faz portreleri Şekil 5.de çizdirilmiştir. Buradan rahatlıkla sabit empedans karakteristikli yüklerin ağır çalışma şartlarında kaotik osilasyonlar yaptığı söylenebilir. Kaotik

yapılar başlangıç şartlarına hassas bağımlı olduklarından özellikle bu tür yükler için başlangıç şartlarında değişimlerin etkilerini gözlemlemek amacıyla Şekil 6.'daki eğriler çizdirilmiştir. Bunun için generator ve yük açısı farkı olan ( $\delta$ ) açısının değeri  $\delta_0 = 0^0$  ve  $\delta_0 = 0.6^0$  gibi farklı başlangıç değerleri olarak analizler yapılmıştır.



**Şekil 6.** ( $\delta$ ) açısının iki farklı başlangıç değeri için faz portreleri ve açı ve gerilimin zamanla değişimi (üstte  $\delta_0 = 0^0$ , altta  $\delta_0 = 0.6^0$ )

## VI. SONUÇLAR

Analiz sonuçları, gerilim kararlılığının dinamik bir yapıda olduğunu ve KDT'lerin yavaş dinamikleri nedeniyle özellikle farklı karakteristik yapıdaki yükler için gerilim çökmesi sürecinde önemli bir etkiye sahip olduklarını göstermiştir. Özellikle sabit empedans grubuna giren yüklerin aşırı osilasyonlu davranışları nedeniyle güç sisteminin kaotik bir yapıya dönüşmesi gözlemlenmiş sabit güç karakteristiğine sahip yüklerin gerilim kararlılığı açısından en olumsuz yük türü olduğu gösterilmiştir. Bu nedenle bu tür yüklerde bozucu etkinin ortadan kaldırılması ve sisteme yapılacak olan müdahalenin (reaktif güç desteği, kademe oranı değişimi v.b) erken yapılması olabilecek bir gerilim çökmesini ortadan kaldıracaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] Reactive Power Reserve Work Group. Final Report, voltage stability criteria, undervoltage load shedding strategy, and reactive power reserve monitoring methodology, 1999,p.154.
- [2] Xufeng Song, "Dynamic Modeling Issues For power System Applications ", Master Thesis,Texas A&M University, December 2003
- [3] Claudio A.Canizares, "On bifurcations, voltage collapse and load modelling", IEEE Trans. on Power Systems,Vol.10,No. 1,pp.512-522,February,
- [4] Saffet Ayasun, "Tekil Noktaların Güç sistemlerin Dinamiğine olan Etkileri", Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi ,Sayfa 28-31,

- [5] Yılmaz Uyaroğlu, Mehmet A. Yalçın, "Elektrik Güç sistemlerinde Salınım Dinamiklerinin Kaotik Olaylarının incelenmesi",Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği sempozyumu, Sayfa 60-64,Bursa 2002
- [6] Yixin Yu, Hongjie Jia,Peng Li, Jifeng Su, "Power system instability and chaos",Electric Power System Research, 65,pp.187-195,2003
- [7] K.Abacı, " Gerilim kararlılığı açısından elektriksel yük Modelleri", Y.Lisans tezi, SAU,Fen Bilimleri Enstitüsü,2002,Sakarya
- [8] Chiew-Yann Chiou ,Chiang-Tsang Huang,Wen-Shiow Kao "Dynamic Load Modelling in Taipower System Stability Studies" IEEE Transactions on power systems, , Vol.10, pp. 907-913
- [9] Feng Dong, Badrul H. Chowdhury, Marieta L. Crow,Levent Acar, "Impact of Load Tap Changing Transformers on Power Transfer Capability", Electric Power Components and Systems, 32:1331-1346, 2004
- [10] T. X. Zhu, S. K. Tso, and K. L. Lo, "An investigation into the OLTC effects on voltage collapse," IEEE Trans on Power Systems, vol. 15, no. 2, pp. 515-521, 2000.
- [11] C. D. Vournas, "On the role of LTCs in emergency and preventive voltage stability control," IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, New York, NY, January 2002.
- [12]Yongsheng Wang, May 1997. Power System Load M Modelling, Preliminary report, prepared for Transpower NZ Ltd, Department of Electrical and Electronic Engineering, University of Auckland,
- [13] Thierry Van Cutsem, costas Vournas, "Voltage Stability of Electric Power Systems",Kluwer Academic Publishers, 2001
- [14] Antonio Carlos Zambroni de Souza, "New Techniques to Efficiently Determine Proximity to Static Voltage Collapse", Doctor thesis, University of Waterloo, Ontario, 1996
- [15] Steven H. Strogatz, "Nonlinear dynamics and chaos", Cambridge, Westview, 2000
- [16] Zeno T.Faur, "Effects of FACTS devices on Static Voltage Collapse Phenomena", Master's thesis, University of Waterloo, Ontario, 1996
- [17]Hadi Saadat, "Power System Analysis" McGraw Hill, 1999