

K-Ortalamlar Kümesi Yöntemi İle Sistem Çökmesi Olaylarının Sezinlenmesi Blackout Detection Using K-Means Clustering Method

İsmail Nuri Bertizlioglu¹, Okan Ozgonenel²

^{1,2}Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
ismailnuri84@yahoo.com, okanoz@omu.edu.tr

Özet

Güç sistem donanımlarının normal işletme koşulları güç sistem bozuklukları ve kural dışı çalışmaları ile kesintiye uğrayabilmektedir. Bu bozukluklar ve kural dışı çalışma durumları güç sistem elemanlarının hızla yaşlanmasına ve bakım giderlerini artıran ani bozukluklara yol neden olmakta ve sistem güvenilirliğini düşürmektedir. Sonuç olarak; sistem değerlendirmeleri sınır değerlerde ve belirli aralıklarda yapılmalı ve güç sisteminin çalışma koşulları kararlılık sınırlarına yakın yerde bulunduğundan güç sistemini sorunlu ve tehlikeli durumlardan kurtarmak amacıyla ani kararlar alınmalıdır. Bu çalışma düşük maliyetli ve sağlam bir hesaplama tekniği olarak bilinen K-ortalamlar kümesi yöntemi ile sistem çökmesi sorunun algılanması üzerinedir. Temel bileşenler analizi (TBA) verilerin önışlemesi amacıyla kullanılmıştır. Önerilen hesaplama tekniği IEEE'nin 14 baralı test sistemi üzerinde denenmiştir.

Abstract

Normal operation of the equipments can be broken off by power system disturbances or anomalies. Disturbances and anomalies can cause faster aging of power apparatus and instantaneous failures which increase the cost of maintenance and reduce the system reliability. As a result, evaluations must be done for margins at limits and quick action must be taken to rescue the system from risky and dangerous conditions since normal operating system points get closer to power system stability limits. This paper proposes a low cost and robust soft computing technique called K-means clustering to detect blackout phenomenon. Principle component analysis (PCA) technique is used for preprocessing of the data. The proposed computing technique is tested on IEEE 14 bus system.

1. Giriş

Sistem çökmesi bir bölgedeki elektriksel gücün kısa veya uzun süreli olarak kayba uğraması olarak bilinir. Sistem çökmeleri sıra dışıdır ve hiçbir zaman meydana gelmiş sistem çökmesi olaylarından iki tanesi birbirine benzememektedir. Bu olayın başlama koşulları zamanında yapılması veya yapılmaması gereken olaylar, sistem topolojisi ve yük/üretim

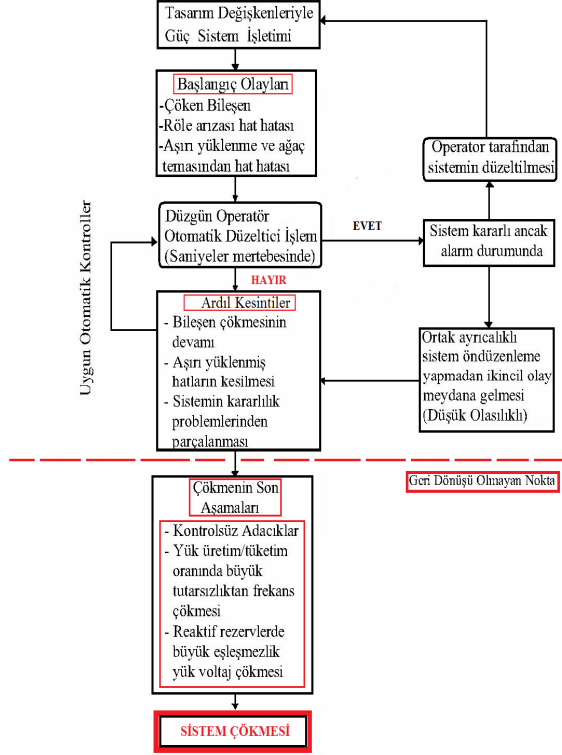
dengeleri ile doğrudan ilgilidir. Elektrik şebekelerinde sistem çökmelerinin çok sayıda nedeni olabilmektedir. Dağıtım merkezlerinde oluşan arızalar, enerji iletim hatlarında oluşan arızalar/hazalar, şalt sahaları veya iletim/dağıtım sistemlerinin diğer bölümlerinde oluşan kısa devreler, güç sistemlerindeki aşırı yüklenmeler ve operatör hataları gibi sorunlar enerji sistemini çökmeye (kesintiye) götürebilmektedir. Böyle bir durumda meydana gelen sistem çökmesinin çok sayıda olumsuz ve istenmeyen sonuçları olabilmektedir [1].

Bu durumlara ek olarak; doğal afetler, insan hataları ve tahmin edilebilen veya edilemeyen olaylar zincirinin sonucu olarak da güç iletimi ve dağıtımı kesintiye uğrayabilmektedir. Bu olaylar zincirinin doğru bir şekilde sezinlenmesi enerjinin sürekliliği ve güvenilirliği açısından çok önemlidir. Etkili bir sezinleme tekniğinden yoksun bir güç sistemi, geri dönüşü olmayan bir çökmeye doğru gidebilmektedir [2].

Ardışık olaylar başladığı zaman operatörlerin manevraları ile durdurulamayacak dinamik bir yapı ortaya çıkmaktadır. Çok sayıda iletim hattının ve üretim merkezlerinin geniş bir coğrafi bölgede sırayla devre dışı kalmaları sistemi çökmeye doğru götürmektedir. Başlangıç olayları tarafından tetiklenen güç dalgalanmaları ve gerilim iniş-çıkışları arızasız iletim hatları üzerinde yüksek akım/gerilim değişiklikleri olarak algılanır. Ardışık bir olay sonucu oluşan bu tür güç ve gerilim dalgalanmaları generatör koruma düzeneklerini çalıştırmaktadır. Değişik ve aynı anda oluşan kesintilerden dolayı düşük gerilim/yüksek akım koruma röleleri bu ayrımı yapamaz hale gelir. Bu durumun da ortaya çıkması ile daha fazla iletim hattı ve üretim merkezi devre dışı kalır ve sistem çöker [3].

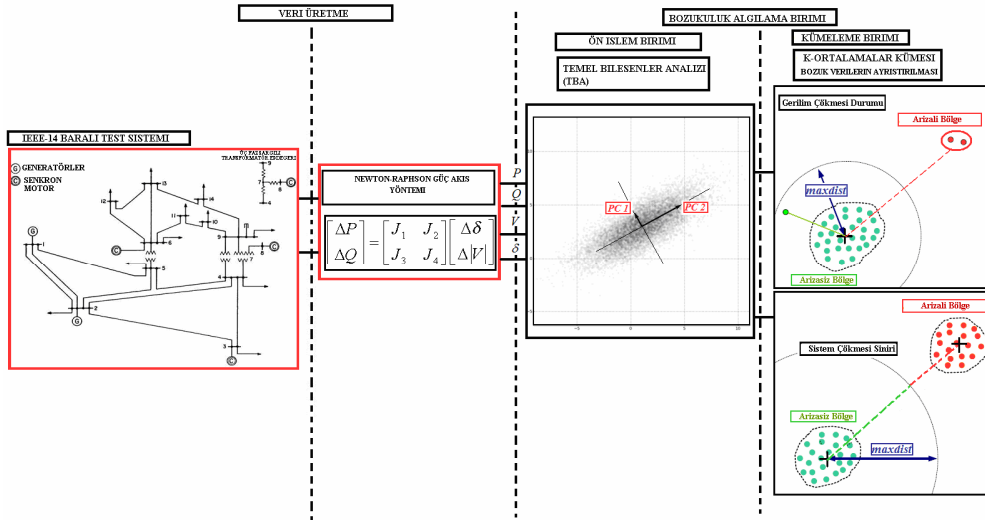
Bir olayın sezinlenmesi, verilen bir bilgi kümesi içindeki kabul edilen normal bir davranışın özelliklerine uymayan bölümlerinin sezinlenmesi anlamına gelmektedir. Sezinlemesi yapılan kümeler aykırı durum kümeleri olarak da bilinir ve çoğu zaman değişik uygulamalarda farklı değişkenlere sahip, düzensiz bilgiler içermektedir. Yük talebi her geçen gün artmakta ancak yeni iletim hatları buna koşut olarak artmamaktadır. Bu nedenden dolayı mevcut güç iletim hatları anma güç ve güç sistem kararlılığı sınırlarında çalışmaktadır. Buna ek olarak, üretim merkezleri ve büyük yük merkezleri arasındaki mesafe, şebeke boyunca gerilim

kesitleri ve koruma rölelerinin etkin bir biçimde ayarlanamamaları nedeniyle güç sistemi tehlikeli çalışma koşullarına girebilmektedir. Bu nedenle güç sistemini tehlikeli işletme koşullarından kurtarabilecek denetim manevralarını tahmin etmek çok önemli bir hale gelmiştir. Sistem çökmesinin olay örgü şeması Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Sistem çökmesi olay örgü şeması

Bu çalışmada güç sistemini çökmeye götüren nedenlerin önceden sezinlenmesi amacıyla K-ortalamlar kümesi



Şekil 2. Önerilen gerilim çökmesi sezinleme tekniğinin gösterimi

yöntemi önerilmiştir. Önerilen sezinleme yöntemi üç faz gerilimlerin genlik değerleri üzerine kurulu bir yöntemdir ve aşağıdaki süreçleri içermektedir;

- Newton-Raphson güç akış algoritması (NRGAA) ile IEEE'nin 14 baralı test sistemi kullanılarak normal ve arızalı koşullarda bara gerilim değerlerinin elde edilmesi,
- TBA yöntemi ile verilerin ön işleme tabii tutulması ve boyutunun azaltılması,
- TBA matrisinin K-ortalamlar kümesi yardımı ile Euclidean ve Mahalanobis uzaklıklarının bulunması ve dendrogram şekillerinin elde edilmesi,
- Son olarak veri takımının normal ya da hatalı olarak ayırt edilmesi.

2. Materyal ve Metot

Güç sistemlerinin ve akıllı şebekelerin dinamik doğasını anlayabilmek ve enerji sistemini çökmeye götüren nedenleri önceden sezinlemek amacıyla K-ortalamlar kümeleme yöntemine başvurulmuştur [4]. Önerilen sezinleme tekniği genel olarak yük akış algoritmasının çözümüne dayanmaktadır. Bu çözümlemeye iletim hatlarındaki güç artırımları, generatörlerin gerilim ayar aralıkları, etkin güç üretimleri, trafoların kademe ayarları ve iletim hattı verileri kullanılmaktadır. NRGAA ile farklı yük koşullarında bara gerilimleri ve faz açıları (δ) elde edilmiştir [5]. Önerilen tekniğin matematiksel alt yapısı aşağıdaki alt başlıklar ile tanımlanmıştır (Şekil 2).

2.1. Yük Akış Modeli Algoritması

Newton-Raphson güç akış algoritması IEEE'nin 14 baralı test sistemi üzerinde çeşitli yük ve generatör ayar değerleri ile birlikte çalıştırılmıştır. Test sisteminde 1 nolu bara salınım barası, 2-5 baraları gerilim denetimli baralar ve 6-14 baraları ise yük baraları olarak kabul edilmiştir. Aşağıdaki adımlarda yöntem koşturulmaktadır [5].

Adım 1: Hat bilgileri, P (etkin güç) ve Q (tepkin güç) bilgilerini ve generatör bilgilerini oku.

Adım 2: İletim hattı admitans matrisini oluştur.

Adım 3: Ana iletim hatlarının güç değerlerini hesapla.

Adım 4: Bara gerilimlerini (V) ve faz açılarını (δ) belirle.

Adım 5: i ve j inci hatların P ve Q değerlerini hesapla.

$$P_{cal}(i) = \sum |V_i| |V_j| (Y_{ij}) \cos(\theta_{ij} - (\delta_i) + (\delta_j)) \quad (1)$$

$$Q_{cal}(i) = \sum |V_i| |V_j| (Y_{ij}) \sin(\theta_{ij} - (\delta_i) + (\delta_j)) \quad (2)$$

Adım 6: Hesaplanan etkin ve tepkin güçler arasındaki farkın hesaplanması ve durdurma kriterini ile karşılaştırılması.

Adım7: Jakobiyen matrisi yardımıyla bara gerilimleri ve açıların hesaplanması.

$$\begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$J1 = (\partial P / \partial \delta), J2 = (\partial P / \partial V) \quad (4)$$

$$J3 = (\partial Q / \partial \delta), J4 = (\partial Q / \partial V) \quad (5)$$

Adım 8: 7. adımdaki elde edilen farkları güncelle ve adım 6.'ya git.

2.2. Temel Bileşen Analizi ve Boyut Azaltma

TBA doğasında bir alt uzay izdüşüm yöntemidir. Genellikle örüntü tanıma problemlerinde sıkça başvurulmuş bir teknik olup matrisin özdeğerlerinin hesaplanması tekniğine dayanmaktadır. TBA, değişkenlerden oluşan bir veri kümesinin değişinti/özdeğişinti yapısını, bu değişkenlerin doğrusal birleşimleri yardımıyla açıklayarak, boyut indirgemesine olanak sağlayan temelinde istatistiksel, vektör tabanlı bir yöntemdir [6].

Bir x dizisi ele alınsın ve $N \times 1$ vektör uzunluğunda olduğu kabul edilsin.

$$x = x_1, \dots, x_N \quad (6)$$

Sırasıyla aşağıdaki adımlar bilgisayar ortamında koşturulur.

Adım 1: x vektörünün ortalaması hesaplanır.

$$\bar{x} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M x_i \quad (7)$$

Adım 2: Her bir değerden ortalama değeri çıkartılır.

$$\Phi_i = x_i - \bar{x} \quad (8)$$

Adım 3: $N \times M$ boyutlu bir A matrisi oluşturulur ve özdeğişinti matrisi hesaplanır.

$$A = [\Phi_1 \Phi_2 \dots \Phi_M] \quad (9)$$

$$C = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \Phi_i \Phi_i^T = AA^T \quad (10)$$

Adım 4: C 'nin özdeğerleri hesaplanır.

$$\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_N \quad (11)$$

Adım 5: C 'nin özvektörleri hesaplanır.

$$u_1 > u_2 > \dots > u_N \quad (12)$$

Adım 6: En yüksek özdeğere sahip terimlerin seçilmesi ve boyut azaltma işlemi.

Temel bileşenler azalan önem sırasına göre elde edilir. Bir temel bileşen her zaman kendisinden sonra gelen temel bileşenden daha fazla bilgi içerir ve bu sıralama böylece devam eder.

2.3. K-Ortalamalar Kümeleme Yöntemi

Kümelerin belirli bir özelliğe göre oransal olarak K ayrı kümeleri içinde değerlerine ayrıldığı bir küme analizi algoritmasıdır. Aynı küme içinde olan nesnelerin benzer özellik değerleri bulunmaktadır. K-ortalama kümeleri aşağıdaki adımlarla bilgisayarda koşturulmaktadır.

Adım 1: K kümelerinin sayısını tanımla.

Adım 2: K küme ağırlık merkezlerini başlangıç konumuna getir.

Adım 3: İşlemi tüm nesneler üzerinde tekrar et ve bütün kümelerin centroidlerinin birbirine olan mesafelerini hesapla. Her nesneyi en yakın uzaklıktaki centroid'e göre kümelere ayır.

Adım 4: Değiştirilen her kümenin centroid'ini yeniden hesapla.

Adım 5: Centroid'ler artık değişmeye kadar Adım 2'yi tekrar et.

2.4. Kümeleme Analizinde Dendrogram Çizelgeleri

Dendrogram çizelgesi kümelerin hiyerarşik olarak nasıl oluşturulduğunu çözümlemeye yarayan ağaçsal bir çizelge biçimidir. Dendrogram şekilleri arızalı ve sağlıklı durumlar hakkında bilgi verir. Her bir yaprak bireysel bir gözlemi ifade eder. Yapraklar sırayla yatay eksen üzerine aralıklı olarak dizilir. Dikey eksen bir uzaklık veya benzersizlik durumunun ölçeğidir. Düğümün yüksekliği iki kümenin bir düğüme katıldığı zamanki birbirine olan uzaklığını ifade etmektedir [7].

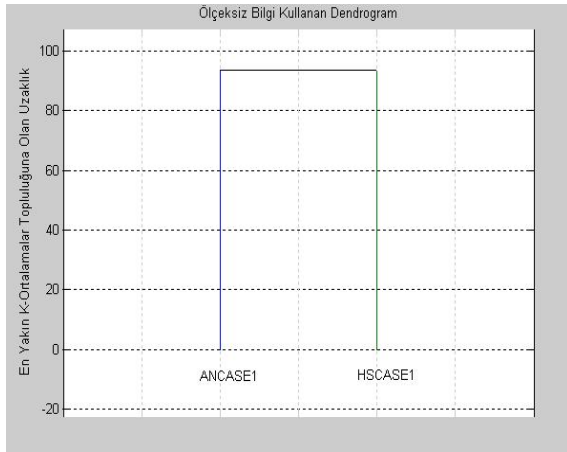
Çizelge 1. Test sistemini çökmeye uğraması

Temel Bileşenlerin Sayısı	Cov(X)'in Özdeğerleri	Değişinti Değerleri (%)	Toplam değişinti (%)
1	1.94e+003	60.36	60.36
2	6.01e+002	18.69	79.05
3	3.18e+002	9.90	88.96
4	2.16e+002	6.72	95.67
5	1.00e+002	3.12	98.80
6	3.87e+001	1.20	100.00
7	1.81e-012	0.00	100.00

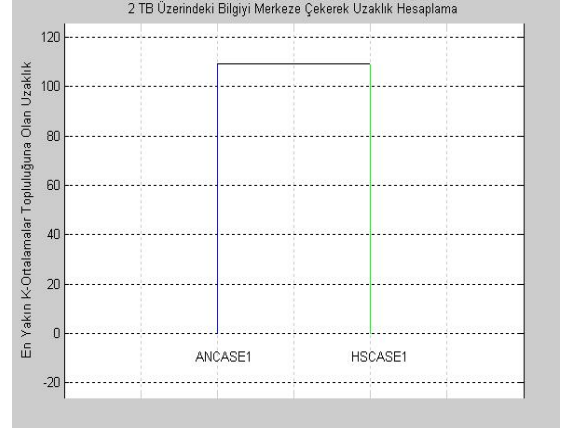
3. Benzetim Sonuçları

Önerilen sistem çökmesi sezinleme yönteminin başarımını test amacıyla IEEE'nin 14 baralı sistemi sağlıklı, arızalı ve sistem çökmeleri durumları için ele alınmıştır.

Durum 1: Şekil 3 ve Şekil 4'de 4 nolu test barasının sağlıklı ve arızalı koşulları görülmektedir. Nesneler arasındaki bağlantılar U şeklinde çizgiler şeklinde gösterilmektedir. U 'nun yüksekliği sağlıklı ve arızalı durum bilgi kümeleri arasındaki uzaklığı ifade etmektedir. Ayrıca, şekillerde incelenen durumların K-ortalama en yakın olan grupların uzaklığı da görülmektedir.



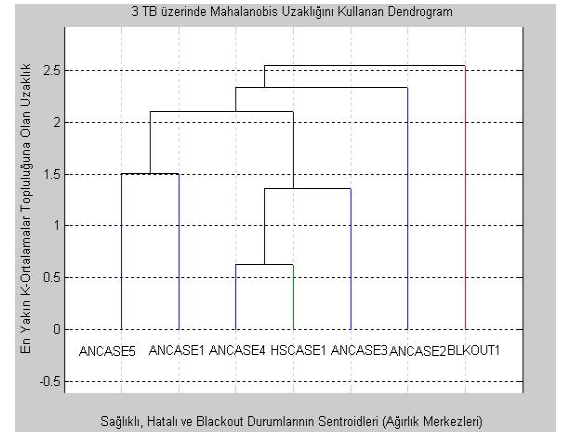
Şekil 3. Ölçeksiz bilgi kullanan Dendrogram (ANCASE1: hatalı durum, HSCASE1: sağlıklı durum)



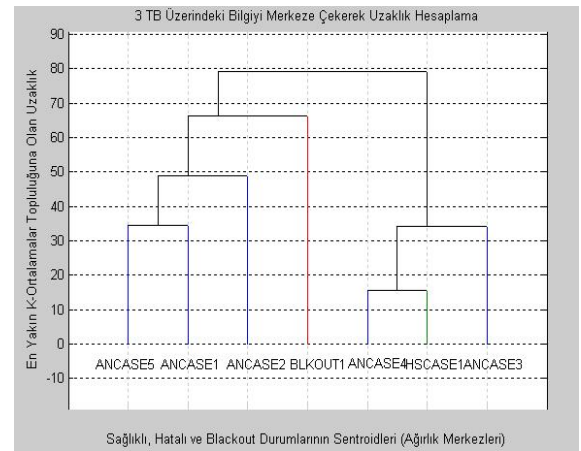
Şekil 4. 2 Temel bileşen üzerindeki bilgiyi merkeze çekerek uzaklık hesaplama

Durum 2: 2 nolu baraya doğrudan bağlı olan 4 ve 5 nolu hatlar arasında çok sayıda arızalar oluşturulmuştur ve güç sisteminin çökme durumu gözlenmiştir. Toplam değişinti değerleri %88.96 olan 3 temel bileşen seçilmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1'e ait olan dendrogram görüntüleri Şekil 5 ve Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 5. Temel bileşen üzerindeki Mahalanobis uzaklığını kullanan dendrogram (BLKOUT: Sistem çökmesi)



Şekil 6. 3 Temel Bileşen Üzerindeki Bilgiyi Merkeze Çekerek Uzaklık Hesaplama

4. Sonuçlar

Güç sistemlerinde sistem çökmeleri istenmeyen bir durum olup, sonuçları oldukça ciddi hasarlara yol açabilmektedir. Bunun yanında, enerji sisteminin güvenilirliğini de oldukça olumsuz yönde etkilemektedir. Bu çalışmada K-ortalamalar kümesi kullanılarak güç sistemlerinde sistem çökmesi olayının önceden sezinlenmesi amaçlanmıştır. IEEE'nin 14 baralı test sistemi üzerinde gerçekleştirilen bilgisayar benzetimleri yardımı ile güç sistemini çökmeye götüren olayların (arızalar ve diğer bozukluklar) önceden sezinlenmesi amaçlanmıştır. Newton-Raphson güç akış algoritması yardımı ile bara gerilim ve faz açıları hesaplanmış ve TBA yardımı ile de boyut azaltma işlemi uygulanmıştır. Dendrogram şekilleri yardımı ile de sistemi çökmeye götüren olayların ağaç şekilleri elde edilmiştir. Önerilen teknik ile ardışıl büyük çapta sistem çökmelerinin doğası daha iyi anlaşılmaktadır.

5. Kaynaklar

- [1] Cutsem T. Van and Vournas C., *Voltage Stability of Electric Power Systems*, Boston: Kluwer Academic Publishers, 2001.
- [2] Dobson I., Carreras B. A., and Newman D. E., "A probabilistic loading-dependent model of cascading failure and possible implications for blackouts", *36th Hawaii International Conference on System Sciences*, 2003.
- [3] Bei G., Hui Z., Weibao W., Xingbin Y., "The statistical law of power system blackouts", *38th North American Power Symposium*, 2006, 495-501.
- [4] Lerm A.A.P., Canizares C., and Silva A.S., "Multi-parameter Bifurcation Analysis of the South-Brazilian Power System", *IEEE Transactions in Power Systems*, 18(2), 737-746, 2002.
- [5] Darabadi M.T., Hashemi F., Ghadimi N., A. Ataei, "Newton-raphson load flow with consideration of the fuzzy load and in the presence of the distributed generations in distribution network", *10th IEEEIC Conference*, Rome, 2011.
- [6] Dong, D., and McAvoy, T.J., "Nonlinear principal component analysis – based on principal curves and neural Networks", *In Proceedings of the American Control Conference*, Baltimore, MD, USA, 1994, 1284–1288.
- [7] Everitt, B.S., Dunn, G., *Applied multivariate data analysis*, 1991, 2nd Edition, John Wiley and Sons, WILEY.