

# UYUMLU JENERATÖRLERİN BELİRLENMESİNDE KORELASYON YAKLAŞIMI

NERİMAN ŞERİFOĞLU

ERKAN ATMACA

*Istanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Bölümü, Türkiye, Fax. + 212 593 27 88*

**Öz –** Bu çalışmada, çok makinalı enerji sistemlerinde uyumlu jeneratör guruplarının belirlenmesine yönelik basit bir yöntem tanımlanmıştır. Jeneratörlerin uyumluluk davranışının belirlenmesinde elektriksel uzaklık kavramının kullanılması önerilmiştir. Rank-korelasyon katsayıları bu davranışın bir ölçüsü olarak tanımlanmıştır. Katsayıların elde edilmesinde sistemin tüm baraları arasındaki uzaklıklar kullanılmıştır. Türkiye enerji sisteminin yedi makinalı bir bölümünde, belirlenen gurupların geçerliliği denenmiştir. Sonuçlar tatmin edicidir. Bu sonuçlar rank-korelasyon katsayılarının jeneratörlerin uyumluluk davranışının belirlenmesinde uygun bir ölçü olduğunu göstermektedir.

## I. GİRİŞ

Modern enerji sistemleri büyük coğrafi alanlara yayılmakta, çok sayıda bara ve jeneratör içermektedir. Kararlılık incelemelerinde; hesap kolaylığı ve hızı açısından sistemi, bazı bölümlerini dinamik eşdeğerleri ile yer değiştirerek, sadeleştirmek yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir.

Dinamik eşdeğer hesaplamaları iki aşamada düşünülebilir:

- 1- Kendi aralarında uyumlu jeneratör guruplarının belirlenmesi
- 2- Her bir eşdeğer gurubun eşdeğer bir makina yoluyla bir baraya indirgenerek diğer baraların ortadan kaldırılması.

Dinamik eşdeğer hesaplamalarına yönelik çalışmalar 1960'lı yıllara kadar uzanmakta ve değişik yaklaşımları kullanılmaktadır. Bu yaklaşımlar uyumlu jeneratör guruplarının belirlenmesinde başlıca iki tekniği içermektedir. Bunlardan birisi modal eşdeğerler (modal equivalents), diğeri ise uyumluluk (coherency) tekniğidir [1-5].

'Uyumluluk'; uzaktan gelen etkiler karşısında bazı jeneratör guruplarının kendi aralarında uyumlu salınımlar yapmaları ve bu yüzden de her bir gurubun tek bir eşdeğer makina tarafından gösterilebilmesi

esasına dayanır. Bu yaklaşım, uyum gösteren jeneratörlerin arızanın yerine bağlı olarak değiştiği görüldüğünden tüm etkiler karşısında geçerli bir dinamik eşdeğerin belirlenmesinde sınırlı kalmıştır.

Bir diğer uyumluluk yaklaşımı ise uyumluluk özelliklerini arızadan bağımsız olarak sistem parametreleri ile belirlemektedir.

Literatürde, uyumlu jeneratör guruplarının belirlenmesinde kullanılan tüm bu yöntemlerin; büyük ölçekli güç sistemleri üzerinde uygulanmaları yoluyla çeşitli performans kriterleri açısından yapılan karşılaştırmaları rapor edilmiştir [6-8]. Sistemi indirgeme derecesi, bilgisayar işlem süresi ve doğruluk derecesi gibi kriterlerle yapılan bu karşılaştırmalarda; bilgisayar işlem süreleri ve doğruluk dereceleri bakımından, uygulamaya bağlı olarak, bazı farklılıklar taşıyor olsalar bile belirledikleri indirgenmiş modellerin sistemin temel davranışını yansıtmaya bakımından büyük farklar taşımadıkları ve bilgisayar işlem süresi açısından hemen hepsinin % 50 dolaylarında tasarruf sağladıkları görülmektedir.

Bu teknikler; getirdikleri tüm ilerlemelere karşın, sistemin özdeğerlerinin ya da jeneratörlerin salınım eğrilerinin hesaplanması ihtiyacını ortadan kaldırmamaktadır.

Bu çalışmada biz, uyumlu jeneratörlerin belirlenmesinde elektriksel uzaklık kavramını kullandık. Bir dış etki karşısında, elektriksel olarak yakın jeneratörler salınım yapmaya beraberce yöneldiklerinden; rank-korelasyon katsayılarını, (rank-order correlation coefficient) jeneratörlerin elektriksel yakınlık derecelerinin dolayısıyla uyumluluk davranışlarının bir ölçüsü olarak tanımladık. Bu katsayılar sistemin indirgenmiş bara admitans matrisinden hesaplandı. Bu ölçü, değişik kuplaj derecelerindeki jeneratörlerin guruplandırılmasında kullanıldı. Korelasyon katsayıları ayrıca sistemdeki herhangi iki bara arasındaki uzaklığın da ölçüsü olarak kullanılabilir. Belirlenmiş gurupların geçerliliğini test etmek üzere, değişik test sistemlerinde üç fazlı kısa devre arızası sonrası oluşan jeneratör salınımlarını karşılaştırdık. Sonuçlar tatmin edicidir. 39 baralı bir test sisteminde belirlenen uyumlu jeneratör gurupları [10]'da

belirlenen guruplarla aynıdır. Ayrıca, bu çalışmada sonuçları sunulan Türkiye enerji sisteminin yedi makinalı bölümünde yapılan testler de korelasyon yöntemiyle belirlenen uyumlu gurupları doğrulamaktadır.

Bu çalışma, korelasyon katsayılarının, jeneratörlerin uyumluluk davranışının belirlenmesinde uygun bir ölçü olduğunu göstermektedir.

## II. YÖNTEM

Bu çalışmada, aşağıdaki varsayımlarla birlikte sadeleştirilmiş jeneratör modelleri kullanılmıştır:

- Uyumlu jeneratör gurupları arızanın şiddetinden bağımsızdır. Bu varsayım belli bir baradaki kısa devre süresini uzatarak jeneratörlerin uyumluluk davranışlarının gözlenmesi yoluyla doğrulanabilir.
- Uyumlu jeneratör gurupları jeneratörler için kullanılan modellerden bağımsızdır. Bu nedenle, basit olmakla birlikte, uyarma sargısındaki elektromanyetik geçiş süreçlerinin de hesaba katıldığı 3. dereceden jeneratör modelleri kullanılmıştır.
- Uyumluluk karşılaştırmaları; uyarma sistemleri ve hız regülatörlerinin henüz devreye girmediği arızadan sonraki ilk 2 saniye süresince yapılmış ve bu sürede salınımları aynı faza giren jeneratörlerin uyumlu olduğu kabul edilmiştir.
- Jeneratörlerin uyumluluk davranışını belirleyen en önemli parametre aralarındaki elektriksel uzaklıktır.

### II.1. Rank Korelasyonu

Değişkenler arasındaki benzeşimin (association) en çok kullanılan ölçüsü doğrusal korelasyondur:

$$r = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 \sum_i (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

Bu çalışmada,  $x_i$  ve  $y_i$  jeneratörler arası uzaklıkları,

$\bar{x}$  ve  $\bar{y}$  ise bunların ortalamalarını göstermektedir. Ancak, gözlenen bir korelasyonun istatistiksel önemini yansıtmaması bakımından doğrusal korelasyon sınırlı kalmaktadır [11].

Doğrusal korelasyonun taşıdığı bu belirsizlik,  $x_i$ 'nin her bir değerinin, diğer değerleri arasındaki sırası ile değiştirilmesiyle aşılabilir [11]. Böylece,  $x_i$ 'nin değerleri basitçe 1,2,3,...,N ile değiştirilmiş olacaktır.

Orijinal değerlerin sıralama değerleriyle değiştirilmesi sonucu bilgi kaybı olmakla beraber, rank korelasyonu, değişkenler arası benzeşimi yansıtmaması bakımından güvenilirdir.

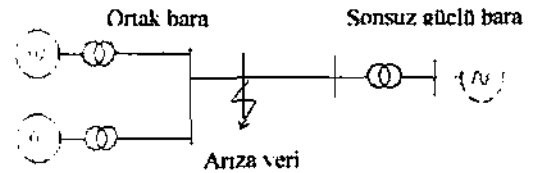
$R_i$ ,  $x_i$ 'nin diğer değerleri arasındaki sırası, rankı,  $S_i$ ,  $y_i$ 'nin diğer değerleri arasındaki rankı olsun. Bu durumda iki değişken arasındaki rank korelasyonu ranklarının doğrusal korelasyonu olarak tanımlanabilir:

$$r_s = \frac{\sum_i (R_i - \bar{R})(S_i - \bar{S})}{\sqrt{\sum_i (R_i - \bar{R})^2 \sum_i (S_i - \bar{S})^2}} \quad (2)$$

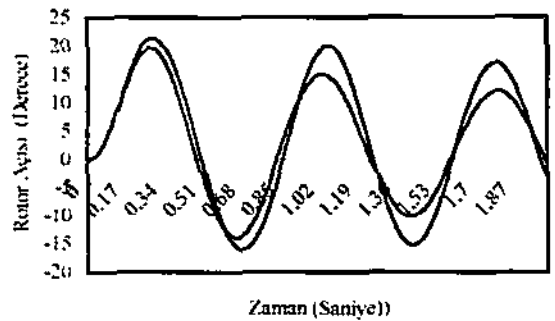
Bu çalışmada,  $x_i$  ve  $y_i$  iki jeneratörün diğer jeneratörlere olan uzaklığı, aralarındaki admitanların büyüklükleri, olmak üzere,  $R_i$  ve  $S_i$  bu uzaklıkların rankını ve  $r_s$  iki jeneratör arasındaki elektriksel yakınlığın ölçüsünü temsil etmektedir.

## III. BULGULAR

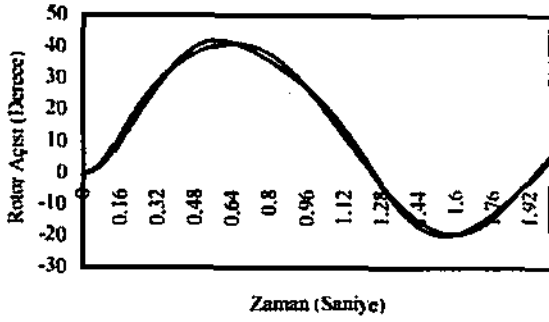
Jeneratörlerin uyumluluk davranışını belirleyen en önemli parametrenin aralarındaki elektriksel uzaklık olduğunu varsaydık. Bu varsayım; sonsuz güçlü baraya bir iletim hatı üzerinden bağlı ortak bir baraya çalışan iki makinalı bir sistemde, atalet zaman sabitleri ve arızadan uzaklıkları değişse bile iki jeneratörün arızadan sonraki ilk iki saniye içinde senkronize oldukları gözlenerek doğrulanabilir [9]. Bu durumu örneklemek amacıyla Şekil. 1'de verilen sistemde değişik noktalarındaki üç fazlı kısa devreler sonrası iki özdeş jeneratörün salınım eğrileri Şekil. 2-5'de gösterilmiştir. Jeneratörler birbirinden uzaklaştığında uyumsuz salınımlar yapmaktadır.



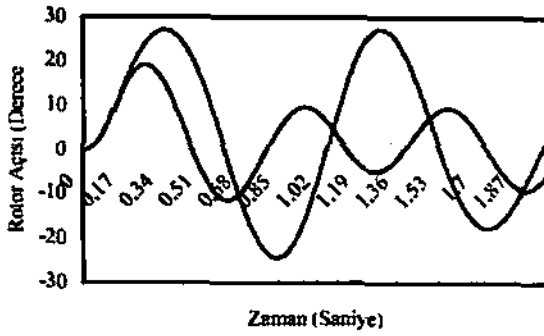
Şekil. 1. Sonsuz güçlü baraya bağlı iki makinalı güç sistemi



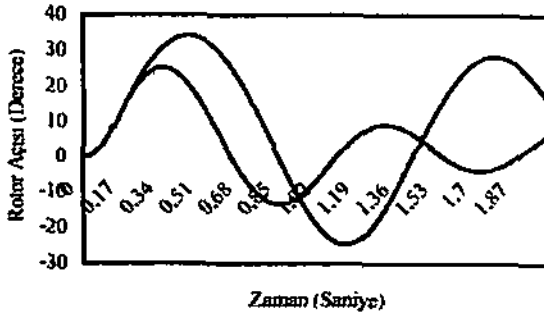
Şekil. 2. Jeneratörler trafoları üzerinden ortak bir baraya bağlıdır ve arıza bu baradadır.



Şekil 3. Jeneratörler trafoları üzerinden ortak bir baraya bağlıdır ve arıza bu baradan 5-10 trafo reaktansı uzaktadır.



Şekil 4. Jeneratörlerden birisi ortak baradan 5-10 trafo reaktansı uzaktadır ve arıza ortak baradadır.



Şekil 5. Her iki jeneratör ortak baradan 5-10 trafo reaktansı uzaktadır ve ortak bara arızadan 5-10 trafo reaktansı uzaktadır.

Türkiye enerji sisteminin yedi makinalı bölümünün baralar arası karşılıklı uzaklıklarından belirlenen rank-korelasyon matrisi Tablo. 1.'de ve korelasyon katsayısı  $\geq 0.5$ 'e göre belirlenmiş jeneratör grupları Tablo. 2.'de verilmiştir.

Tablo. 1. Yedi Makinalı Sistemin Korelasyon Matrisi

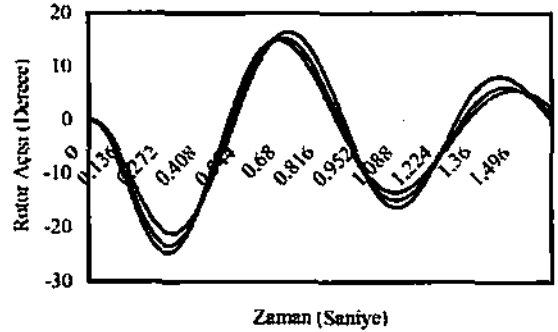
	1	2	3	4	5	6	7
1	1.00	.23	.92	-.70	-.63	.18	.19
2	.23	1.00	.24	.18	.30	.96	.97
3	.92	.24	1.00	-.70	-.63	.19	.20
4	-.70	.18	-.70	1.00	.94	.13	.14
5	-.63	.30	-.60	.94	1.00	.26	.27
6	.18	.96	.19	.13	.26	1.00	.93
7	.19	.97	.20	.14	.27	.93	1.00

Not: 1...7 jeneratör numaralarını temsil etmektedir.

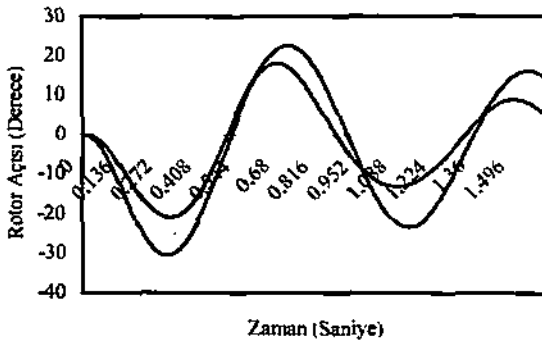
Tablo. 1. Yedi Makinalı Sistemin Uyumlu Jeneratörleri

Grup	Uyumlu Jeneratörler	Korelasyon
1	1, 3	0.92
2	2, 6, 7	0.96, 0.97, 0.93
3	4, 5	0.94

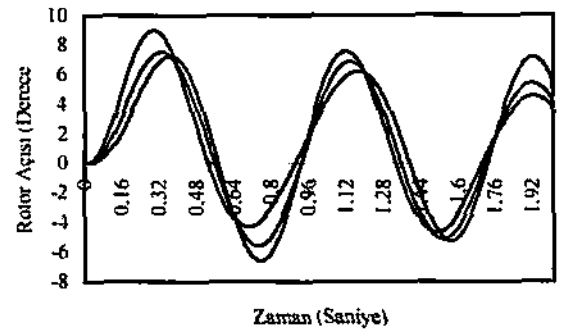
Belirlenen grupların geçerliliğini test etmek üzere 10., 13. ve 15. baralarda 0.12 saniye süreli üç fazlı kısa devreler meydana getirilmiştir. Arıza sonrası jeneratörlerin salınım eğrileri karşılaştırılmıştır. Şekil. 6-11'de verilen eğriler belirlenen grupları doğrulamaktadır.



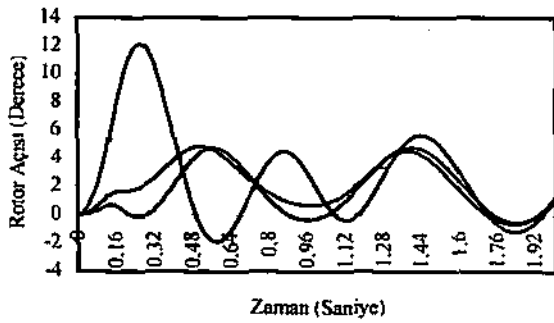
Şekil 6. Kısa devre 10. barada. Salınım eğrileri: 2., 6. ve 7. jeneratörler.



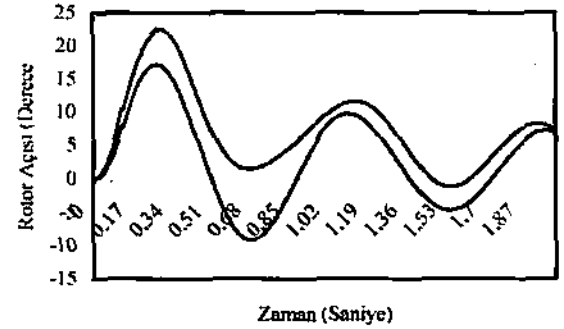
Şekil 7. Kısa devre 10. barada. Salınım Eğrileri: 4. ve 5. jeneratörler.



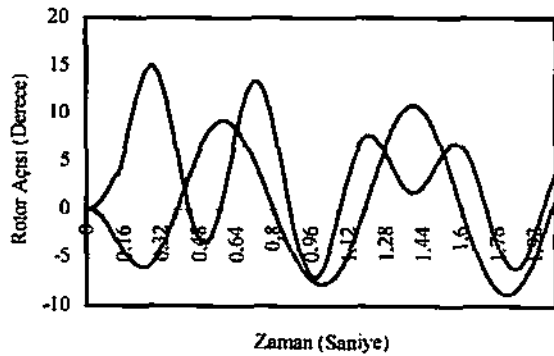
Şekil 10. Kısa devre 16. barada. Salınım eğrileri: 2., 6. ve 7. jeneratörler.



Şekil 8. Kısa devre 12. barada. Salınım eğrileri: 2., 6. ve 7. jeneratörler.



Şekil 11. Kısa devre 16. barada. Salınım eğrileri: 4. ve 5. jeneratörler.



Şekil 9. Kısa devre 12. barada. Salınım eğrileri: 4. ve 5. jeneratörler

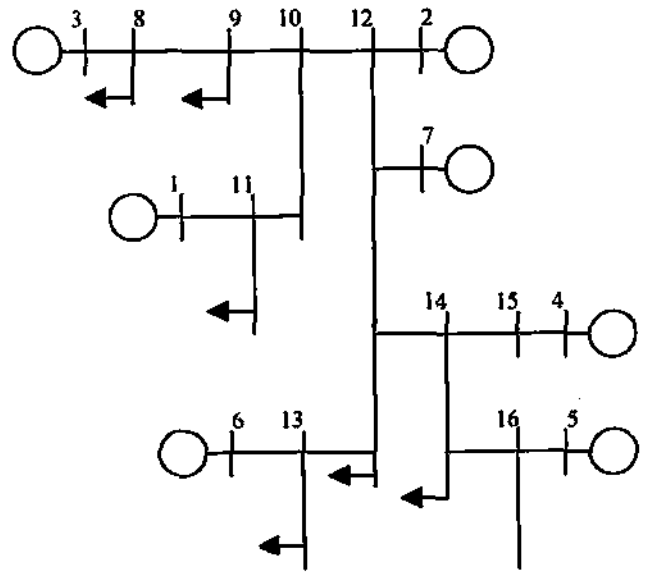
#### IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada, jeneratörler arası elektriksel uzaklığın onların uyumluluk davranışını belirleyen en önemli parametre olduğu gösterilmiştir. Elektriksel yakınlığın ve dolayısıyla uyumluluk davranışının belirlenmesinde basit ve uygun bir ölçü, jeneratörler arası korelasyon, geliştirilmiştir. Bu ölçü ise, karmaşık hesaplar yapmaksızın doğrudan sistem parametrelerinden, baralar arası elektriksel uzaklıktan, belirlenmiştir.

#### V. REFERANSLAR

1. Podmore, Robin. Identification of Coherent Generators for Dynamic Equivalents. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. Vol. PAS-97, no: 4; 1978
2. Germond, A. J.; Podmore, R. Dynamic Aggregation of Generating Unit Models. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. Vol. PAS-97, no: 4; 1978
3. Nath, R.; Lamba, S.; Prakasa Rao, K. S. Coherency Based System Decomposition Into Study and External Areas Using Weak Coupling. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. Vol. PAS-104, no: 6; 1985.

4. Troullinos, G.; Dorsey, J.; Wong, H.; Myers, J. Reducing the Order of Very Large Power System Models. *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 3, no: 1; 1988.
5. Chow, J. H.; Galarza, R.; Accari, P.; Price, W. W. Inertial and Slow Coherency Aggregation Algorithms for Power System Dynamic Model Reduction. *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 10, no: 2; 1995.
6. Newell R. J.; Risan, M. D.; Allen, L.; Rao, K. S.; Stuehm, D. L. Utility Experience with Coherency Based Dynamic Equivalents of Very Large Systems. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-97, no: 11; 1985.
7. Wang, L.; Klein, M.; Yirga, S.; Kundur, P. Dynamic Reduction of Large Power Systems for Stability Studies. *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 12, no: 2; 1997.
8. Price, W.; Gargrave, A. W.; Hurysz, B. J. Large-scale System Testing of a Power System Dynamic Equivalencing Program. *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 13, no:3; 1998.
9. Atmaca, E.; Şerifoğlu, N. A Simple Approach For Identification of Coherent Generators In Multi-Machine Power Systems. *PES 1<sup>st</sup> International Conference on Electrical and Electronics Engineering*, Turkey; 1999.
10. Podmore, R.; Germond, A. Development of Dynamic Equivalents For Transient Stability Studies. EPRI EL - 456. Final Report; April 1977.
11. Press, W. H.; Flannery, B. P.; Teukolsky, S. A.; Vetterling, W. T. *Numerical Recipes* In C. Cambridge University Press; 1988
12. Anderson, P. M.; Fouad, A. A. *Power System Control and Stability*. IEEE PRESS; 1994



Şekil 12. Yedi makinalı sistemin şeması

## VI. EKLER

Tablo 3. Yedi makinalı sistemin hat verileri

Hat No	Bara No	$Z_{\pi}$ (p.u.)
1	1 - 11	0.03j
2	2 - 12	0.03j
3	3 - 8	0.04j
4	4 - 15	0.08j
5	5 - 16	0.04j
6	6 - 13	0.07j
7	7 - 12	0.07j
8	8 - 9	0.02j
9	9 - 10	0.01j
10	10 - 11	0.03j
11	10 - 12	0.06j
12	12 - 13	0.01j
13	12 - 14	0.07j
14	14 - 15	0.03j
15	14 - 16	0.02j