

ELEKTRİK ENERJİ SİSTEMİNİN DEPREM GÜVENİRLİLİĞİNİN DÜNYADA ve ÜLKEMİZDE ANALİZ ÖRNEKLERİ

Hacer ŞEKERCİ¹, Hakkı Anıl ABAY²

Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü, Yaşar Üniversitesi, İzmir
hacer.sekerce@yasar.edu.tr, hakki.abay@stu.yasar.edu.tr

ÖZET

Elektrik, içme suyu, kanalizasyon, gaz ve haberleşme ağları günümüzde modern yaşamın belkemiğini oluşturmaktadır. Candamarı şebekeleri olarak da adlandırılan bu sistemlerin doğa koşulları veya kişisel yapılan eylemler ile hasar görebilen söz konusu altyapılarının özellikle doğal afetlerle (doğal afet olarak deprem ele alınmıştır) uğrayacağı olası hasarların analizinin yapılması, deprem sonrası sistemlerin yeniden aktif hale gelebilmesini en kısa sürede sağlayacak çözümlerin önerilmesi hayati önem taşımaktadır. Bu çalışmada elektrik enerjisi sisteminin depreme karşı dayanıklılığı (deprem güvenirliliği) konusunda dünya çapında bir literatür incelemesi yaptıktan sonra, ülkemizin koşullarına genel bir bakış açısı getirilecektir.

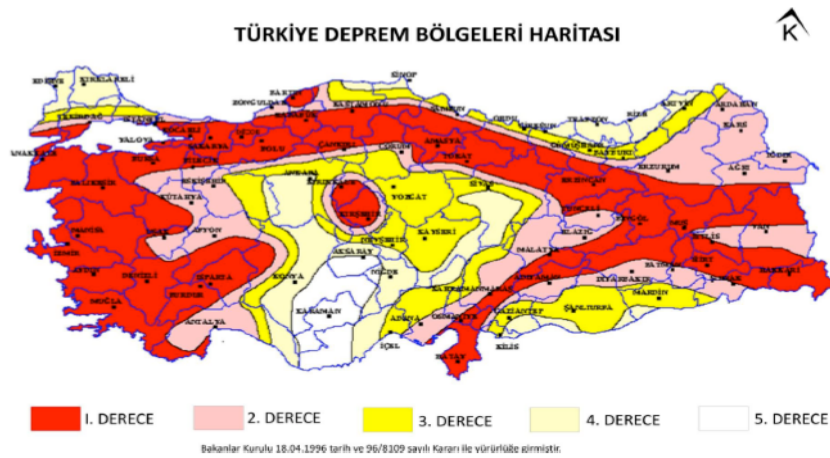
1. GİRİŞ

2010 yılı sonunda ülkemizin kurulu gücü 49 523 MW, iletim hattı uzunluğu ise 48760 km'dir. Toplam gücü 99 852 MVA olan trafo merkezlerinin ve iletim hatlarının gerilim seviyelerine göre dağılımı Tablo 1'de verilmiştir [1,2].

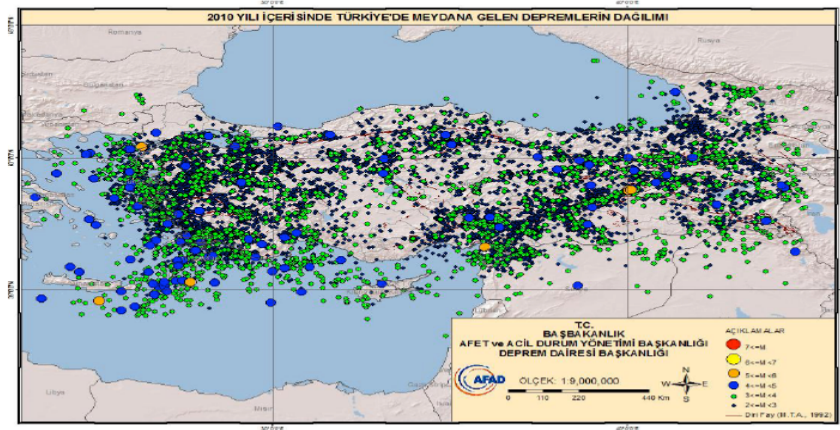
Ülkemizin önemli bir kısmı birinci derece deprem bölgesindedir. Türkiye'nin deprem haritası Şekil 1'de, 2010 yılında olan 2 şiddetinden büyük depremleri gösteren harita ise Şekil 2'de verilmiştir [3].

Gerilim Seviyesi	Havai Hat		Yer Altı		Trafo Merkezi	Trafo Adedi	Güç (MVA)
	Adet	Uzunluk	Adet	Uzunluk			
380 kV	163	15559.2	3	28,6	77	197	37 870
220 kV	2	84,5	-	-	2	2	330
154 kV	1017	32607,8	43	179,3	513	1065	61 035
66 kV	27	508,5	1	3,2	14	53	617
Toplam	1209	48760	47	211,1	606	1317	99852

Tablo 1 – Türkiye'deki trafo merkezlerinin ve iletim hatlarının gerilim seviyelerine göre dağılımı



Şekil 1 - Türkiye deprem bölgeleri haritası



Şekil 2 - 2010 yılında Türkiye’de meydana gelen M>2.0 olan depremler

2010 yılında Dünya’da büyüklükleri $5.0 \leq M < 9.0$ arasında değişen 2093 adet, Türkiye’de ise büyüklükleri $4.0 \leq M < 6.0$ arasında değişen 115 adet deprem meydana gelmiş olması[4], depremlerin hayatın kaçınılmaz bir gerçeği olduğu ve gerekli önlemlerin mutlaka alınması gerektiği gerçeğini bir kez daha çok net bir şekilde ortaya koymaktadır. Tablo-1’de verilen yüksek gerilim iletim hatlarının ve trafo merkezlerinin önemli bir kısmı birinci derece deprem bölgelerinin içinde kalmaktadır.

Enerji sistemlerinin yapımında deprem koşulunu tanımlayan yönetmelik ve standartlar araştırıldığında, iki IEEE standardına ve ülkemizde de bir yönetmeliğe rastlanmıştır. Trafo merkezleri ve santrallere yönelik standartlar mevcut olmasına rağmen, enerji nakil hatları ile ilgili bilgiye ulaşılamamıştır. T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı’nın 03.03.2007 gün ve 26454 sayılı (Değişik: 03.05. 2007 ve 26511) Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik” incelendiğinde, 1. bölümünün 1.1.5 maddesinde “enerji nakil hatlarının bu yönetmeliğin kapsamı dışında” olduğu belirtilmektedir [5]. IEEE Std 693™-2005 Recommended Practice for Seismic Design of Substations ile IEEE C57.114-1990 IEEE Seismic Guide for Power Transformers and Reactors [6,7]

standartları ise isimlerinden de anlaşılacağı üzere enerji nakil hatları üzerine değildir.

2. SİSMİK DEĞERLENDİRME

Yakın zamanlı literatürde bir inceleme yapıldığında, özellikle tarihinde depremden ciddi zararlar yaşamış ülkelerin enerji sistemlerinin bütün olarak veya her bir elemanının deprem güvenilirliği araştıran çalışmalar yaptıkları görülmüştür.

[8]’de 118 trafo merkezi ve 180’den fazla iletim hattı ile Çin’in enerji sisteminin 7.0 genlikli bir deprem senaryosundan ve hayali bir terörist saldırıdan nasıl etkileneceği araştırılmıştır. Önce mevcut sistemin gerçek veriler kullanılarak eşitlik 1’de görülen nonlinear denklem seti çözülerek güç akışı analizi yapılmış ve böylece kritik trafo merkezleri ve iletim hatları tespit edilmiştir.

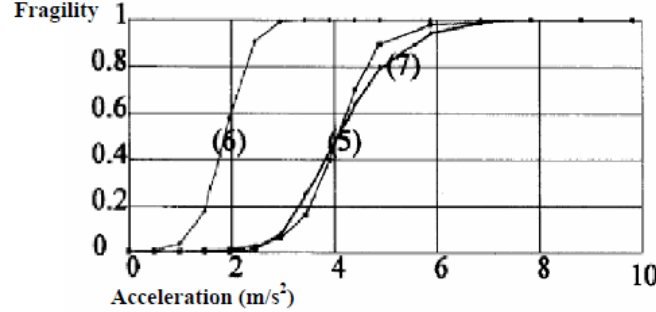
$$V Y^* V^* = S = P + jQ \quad (1)$$

Daha sonra altı adet trafo merkezinin olduğu bir bölgede hayali olarak 7.0 genlikli bir deprem senaryosu gerçekleştirilerek sismik güvenilirlik analizi yapılmıştır. Depremin toprak hareketinin şiddetini belirlemek için eşitlik 2’de verilen dairesel zayıflama kanunu (circular attenuation law) kullanılmıştır. Bu eşitlikte geçen I sismik şiddeti, M depremin genliğini ve R depremin merkez üssü ile söz konusu noktanın arasındaki mesafeyi göstermektedir.

$$I = 4.39 + 1.30M - 1.52\ln(R + 15) \quad (2)$$

Toprak hareketinin şiddetinin analizi ile trafo merkezlerinin ve bu merkezdeki bileşenlerinin Şekil 3’de görülen

kırılmalık eğrileri (fragility curve) elde edilmiştir. Kırılmalık eğrileri özünde olasılıksal bir dağılımdır ve eşitlik 3’de görüleceği gibi medyan ve standart sapmaya göre tanımlanır [9].

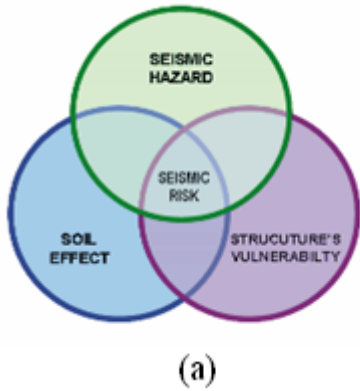


Şekil 3 - Güç kaynağı, oto trafo ve anahtarların kırılmalık eğrileri

Eşitlik – 3’teki ϕ standart log-normal kümülatif dağılım fonksiyonu, S_a spektral ivmenin genliğini, A_i inci hasardaki medyanı (expected value) ve β_c ise log-normal standart sapmanın normalize değerini göstermektedir.

$$F(S_a) = \phi \left[\frac{1}{\beta_c} \ln \left(\frac{S_a}{A_i} \right) \right] \quad (3)$$

Bu eğrileri yorumlayabilmek için Şekil 4’de görülen bölgesel koşullara göre belirlenen sismik risk haritası ile değişen depremin genliğine karşı toprak hareketinin ivmesinin (peak ground acceleration (PGA) - m/s^2) belirlenmiş olması gerekir. PGA bölgede eskiden olan deprem bilgilerine göre, eğer kayıtlı bir veri yoksa, incelenen noktaya en yakın verilerden kestirim yoluyla elde edilir [10].



(a)

Intensity	Acceleration (m/s^2)
5	0.31
6	0.63
7	1.25
8	2.5
9	5
10	10

(b)

Şekil 4 - (a) Sismik risk haritasının bileşenleri

(b) Deprem genliğine göre toprak hareketi ivmesi

Benzer bir çalışma ise California’da bulunan elektrik, doğal gaz, su benzeri alt yapılarının yetkililerinden oluşan bir grup araştırmacı tarafından (Utilities Working

Group - UWG) yapılmıştır. Bu grup 1971 ile 1994 arasında bölgede yaşanan ve genliği 5.0’den büyük olan 12 depremin 60kV, 230kV ve 500 kV trafo

merkezlerinde yarattığı hasar kayıtlarını inceleyerek gruplandırmıştır. Hasar görmeyen ancak veri tabanından kaybolan ekipman, hasarı gözle görülemeyen, hasarının türü net olmayan, hasar gören ancak çalışan, ve benzeri alt gruplara ayırarak istatistiksel analiz için veri hazırlanmıştır. Ayrıca kendi elde ettikleri kırılma eğrileri ile kayıtlı gerçek verileri karşılaştırmışlardır[11].

UWG grubu tarafından yapılan bir başka çalışmada 230 kV ve 500 kV iletim hattı ve trafo merkezleri incelenmiş, sistemdeki her bir elemanın hatta porselen izolatörlerin bile kırılma eğrilerini elde edilerek 2000 yılında 12. Dünya Deprem Mühendisliği Kongresinde (12WCEE) sunulmuştur [12].

Bir başka oldukça geniş kapsamlı çalışma California'da Puget Sound bölgesinde

bulunan 230 kV ve 500 kV trafo merkezlerinin verilerini kullanarak yapılmıştır [13]. Kesicilerin, ayırıcıların, kapasitör banklarının, trafoların, kontrol binalarının da içinde bulunduğu 5000'e yakın parçanın modellendiği, 7.1 ve 9.0 genlikli iki ayrı deprem senaryosu GIS (geographic information system) temelli risk analizi yapan bir bilgisayar programı (SERA) kullanılarak analiz edilmiştir. Bu çalışmada sonucunda 380 civarında kırılma eğrisi elde edilmiştir. Bu eğriler zemin çalkalama parametrelerinden herhangi birisine (peak ground acceleration, PGA; spectral acceleration parameter, SA; permanent ground deformation parameter, PGD) göre elde edilmiştir. Analizler sonucu her iki deprem senaryosunda hasar gören eleman sayıları Tablo-2 de verilmiştir.

Eleman Tipi	7.1 genlikli deprem	9.0 genlikli deprem
Circuit breakers	23	75
Current transformers	14	38
Disconnect switches	24	242
Circuit switchers	0	3
Voltage transformers	2	23
Surge arrestors	5	45
Bus risers	21	103
Capacitor banks	15	47
Power transformers	0	13
Shunt reactors	0	1

Tablo 2 - Deprem senaryolarında hasar gören eleman sayıları

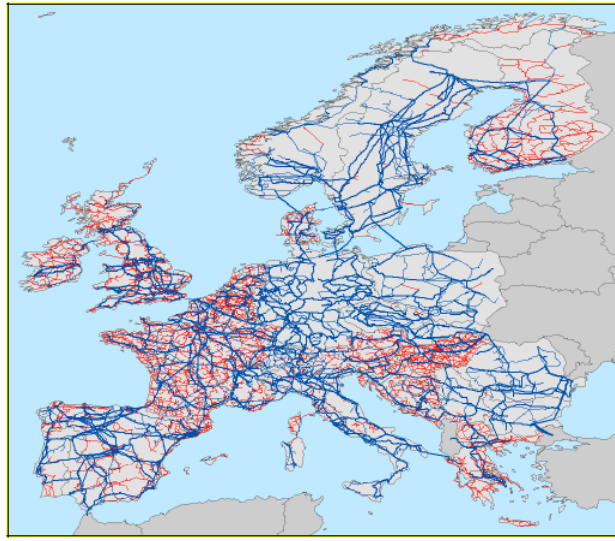
Ayrıca bu çalışmada deprem sonrası oluşan hasarın geçici tamiri ve tekrar sistemin aktif hale gelmesi için gerekecek süre de belirlenmiştir. Yapılan analiz sonucu 7.1 genlikli deprem için 30 donanımlı eleman haftada 7 gün, günde 10 saat çalışarak onarımı 11,2 ile 42,2 gün arasında bitirebilecek iken, kötü senaryo olan 9.0 genlikli deprem sonrası 100 kalifiye elemanın aynı şartlarda çalışarak 117 ile 410 gün arasında bitirilebilecektir.

Başka bir çalışmada ise Tayvan'ın elektrik güç sistemini çok sayıda çeşitli hasar- içerikli deprem senaryoları kullanarak Monte Carlo simülasyonu ile analiz edilmiştir. Bu senaryolar 1900 ile 2002 yılları arasında Taiwan'da yaşanan ve genliği 4.5'in üzerinde olan depremlerin hasar kayıtları kullanılarak geliştirilmiştir. 7 farklı büyük deprem bölgesinden elde edilen verilerle 278 adet senaryo üretilmiş ve UWG tarafından 3-fazlı 230kV ve 500kVluk trafolar için oluşturulan kırılma eğrileri de kullanılarak, 345/161

ve 161/69 kV trafoları bu analiz yöntemi uygulanmıştır. Tayvan'daki elektrik güç sistemi 4 servis bölgesine ayrılmış ve bu bölgeler incelenmiştir. Analizler sonucu ise 278 senaryodan 79'unun yıkıcı olduğu ve bunlar arasından da 39'unun güç sisteminde hatalara yol açtığı belirlenmiştir.[14].

Literatür incelemesinde karşılaşılan en önemli çalışmalardan biri ise tüm Avrupa Birliği ülkeleri üzerinde enterkonnekte olan altyapıların (bu çalışmada elektrik ve

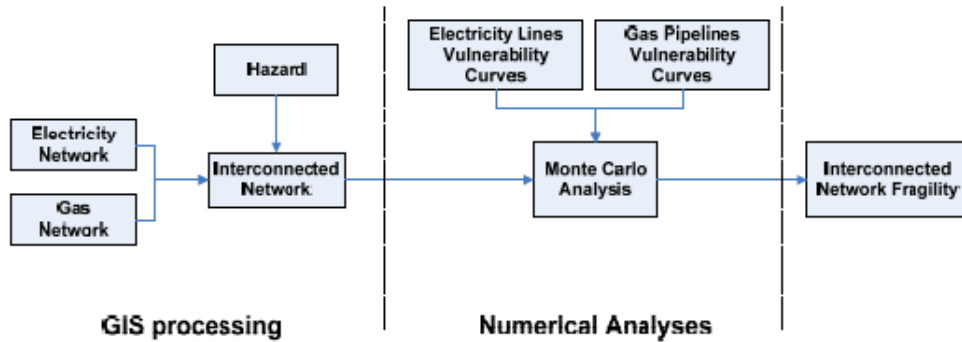
doğal gaz incelenmiştir) GIS ile alınan verilerinin sismik analizi yapılmıştır [15]. Şekil 5'de bu çalışmada incelenen elektrik ve doğal gaz boru hatları birlikte görülmektedir. Sismik hasar durumunda altyapı sistemlerinin tepkisinin yanı sıra, aralarında bağlantı bulunan doğal gaz ve elektrik altyapı sistemlerinin diğerinin hasarından nasıl etkilenebileceği (failure propagation) incelenmiştir.



Şekil 5. Avrupa Birliği'ndeki doğal gaz (mavi) ve elektrik şebekesi (kırmızı) hatları

Analiz yöntemi ise Şekil 6'de görülmektedir. Öncelikle Avrupa'nın elektrik ve doğal gaz ağına yapısal bilgiler GIS ile alınır. Farklı hasar seviyelerini veren sismik hasar haritaları da elde edildikten sonra, bağlantılı altyapı sistemlerinin bileşenlerinin kırılabilirlik

eğrileri hesaplanır. Tüm bu bilgiler kullanılarak sistemlerin olasılıksal güvenilirlik modeli oluşturulur ve nümerik yöntemler kullanılarak olasılıksal risk analizi (probabilistic risk analysis - PRA) yapılır.

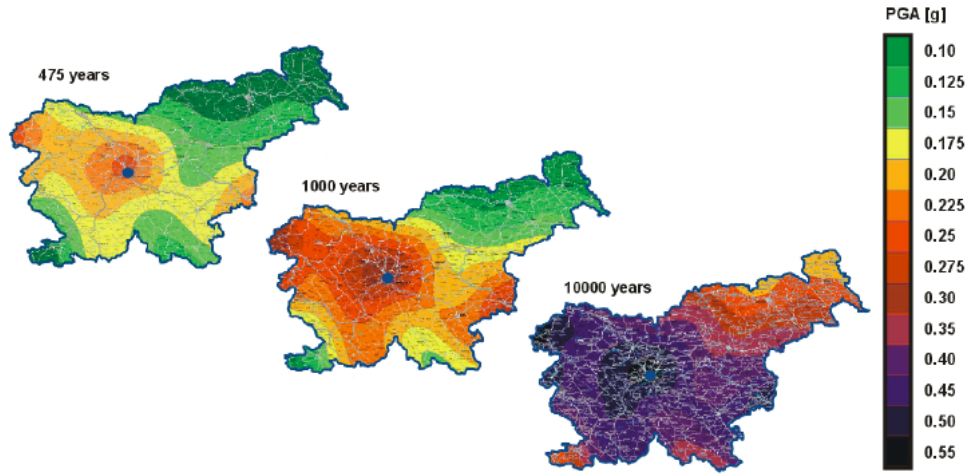


Şekil 6. Analiz yöntemi

PRA sonucunda altyapı sistemlerinde hatanın yayılması üç farklı adımda olabileceği görülmüştür. Bir elemanın hasarı aynı sistemdeki diğer elemanlardan bağımsızdır ancak tüm sistemin fonksiyonelliğini azaltabilir. İkincisi bir elemanın hasarı aynı sistemdeki diğer elemanları da etkileyecektir. Son olarak

birbirine bağlı altyapı sistemlerinin birindeki hata direk diğer sistemde de soruna yol açacaktır. Bu durumda bağımlı sistemlerin kırılabilirlikleri çok daha büyük olacaktır, yani kaskat olarak artacaktır.

Şekil 7’de ise Slovenya için elde edilen sismik hasar haritası görülmektedir.



Şekil 7 - Slovenya için farklı hasar seviyelerine göre sismik hasar haritaları

Ülkemizde bu konuda yapılan araştırmalara bakıldığında sadece 2 çalışmaya rastlanmıştır [16,17]. Bu çalışmada candamarı (lifelines) şebekelerinin deprem güvenilirliğini istatistiksel yöntemlerle tahmin etmek üzere kapsamlı bir model geliştirilmiştir. Şebeke elemanların güvenilirlik analizi olasılık ve istatistik yöntemlerle yapan LIFEPACK isimli yazılım hazırlanmıştır. Ülkemizdeki uygulaması ise, Bulgaristan-Türkiye sınırındaki Malkoçlar mevkiinden başlayıp Ankara-Yaprıcık’a kadar ulaşan doğalgaz boru hattının sismik risk analizi yapılmıştır.

3. SONUÇ

Bu çalışma, gelecekte bu konuda yapılacak çalışmalara ışık tutması amacıyla yapılan detaylı bir literatür araştırmasıdır. Normal şartlarda bile ekonominin ve halkın temel altyapı sistemlerindeki kesintilere tahammülü yok iken, deprem gibi önemli doğal afetlerde altyapı şebekelerinin çok

hızlı olarak devreye girmesi hayati önem taşımaktadır.

Avrupa Birliği ülkeleri , USA, Çin, Japonya ve Tayvan gibi dünyada depremlerden gerçekten etkilenen ülkelerde yapılan çalışmalar ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Elektrik güç sistemlerinde depremsellik ile ilgili oluşturulan standartlar yönetmelikler vb. genel itibariyle enerji üretim tesisleri ve santraller sabit yapıların depremselliği ile kısıtlı kalmıştır. Ancak gerek üniversiteler, sivil ve hükümet destekli kuruluşlarca yapılan araştırmalarla gerekse düzenlenen sempozyum ve kongrelerle, candamarı şebekelerinin önemli ve hayati bir parçası olan elektrik güç sistemlerinin deprem güvenilirliğine dikkat çekilmiştir.

Ülkemizde ise elektrik sisteminin deprem güvenilirliği üzerine yurtdışında yapılan çalışmalardaki gibi kapsamlı bir araştırmaya maalesef rastlanmamıştır.

KAYNAKLAR

1. EPDK 2010 Yılı Faaliyet Raporu
2. TEİAŞ 2010 Yılı Faaliyet Raporu
3. T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı Tanıtım Kitapçığı
4. T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı 2010 Deprem Yıllığı
5. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
6. IEEE Std 693™-2005, IEEE Recommended Practice for Seismic Design of Substations
7. IEEE C57.114-1990 , IEEE Seismic Guide for Power Transformers and Reactors
8. WU Zhigang, CHANG Liang, & SHI Shanshan.(2006). "Reliability analysis of power systems under disaster impacts." Santa Fe Institute CSSS Report, Beijing, China.
9. John B. Mander, Fragility Curve Development For Assessing The Seismic Vulnerability Of Highway Bridges" MCEER Publications, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, New York, 1999.
10. Somerville, P. and N. Smith (1999). Estimates of Ground Motions at Substations from Past Earthquakes, PEER/PGE Final Report, URS Greiner Woodward Clyde Federal Services, Pasadena, CA.
11. Thalia Anagnos (1999). Development of an Electrical Substation Equipment Performance Database for Evaluation of Equipment Fragilities, Pacific Earthquake Engineering Research Center Technical Report, No. PEER-2001/06, U. California, Berkeley.
12. Anagnos, T. and D. K. Ostrom (2000). Electrical Substation Equipment Damage Database for Updating Fragility Estimates, Proceedings Twelfth World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, January 2000
13. Leon Kempner Jr, John Eidinger, Jared Perez, & Anshel Schiff "Seismic Risk Of A High Voltage Electric Transmission Network"
14. Gee-Yu LIU , Chih-Wen LIU, Yi-Jen WANG, & Wen-Yu JEAN "Seismic Risk Analysis Of Electric Power Networks Using Hazard-Consistent Scenario Earthquakes" 13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada, August 1-6, 2004, Paper No. 9
15. K. Poljanšek, F. Bono, E. Gutiérrez, "GIS-Based Method To Assess Seismic Vulnerability Of Interconnected Infrastructure; A Case Of EU Gas And Electricity Networks" JRC-IPSC Scientific And Technical Reports
16. Yüçemen, M.S., Selçuk, A.S., Mekanda Yayılı Enterkonekte Sistemlerin Güvenirliği. "Proceedings 3rd National Earthquake Engineering Conference", - , (1995), s.256-261 .
17. A. S. Selçuk, M.S. Yucemen, Candamarı Şebekelerinin Deprem Güvenirliği (Earthquake Reliability of Lifelines). "Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences", 24, (2000), s.143-160.