

MEKANDA YAYILI ENTERKONEKTE SİSTEMLERİN DEPREM GÜVENİRLİĞİ

EARTHQUAKE RELIABILITY OF SPATIALLY EXTENDED INTERCONNECTED SYSTEMS

M. Semih Yüccemcn¹ ve A. Scvtap Selçuk²

SUMMARY

Lifelines such as communication, distribution and transportation systems are interconnected systems extending over large geographical areas. This study aims at developing a comprehensive probabilistic model for the assessment of the reliability of lifeline networks under earthquake loads. A lifeline is idealized as an equivalent network with the capacity of its elements being random and spatially correlated. The seismic hazard that the network is exposed to is described by a probability distribution derived based on past earthquake occurrence data. For the evaluation of the network reliability, an efficient algorithm developed by Yoo and Deo (1988) is utilized. The methodology eliminates the CPU time and memory capacity problems that are encountered in large networks and considers the length of components explicitly. Numerical computations are carried out by a computer program (called LIFEPAK) coded for this purpose and a detailed case study is presented to show the implementation of the proposed method.

ÖZET

Candamarı (lifelines) şebekeleri olarak adlandırılan iletişim, dağıtım ve ulaşım şebekeleri, geniş coğrafi alanlara yayılmış enterkonekte sistemlerdir. Çalışmada, candamarı şebekelerinin deprem güvenirlğini istatistiksel yöntemlerle tahmin etmek üzere kapsamlı bir modelin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bir candamarı şebekesi, elemanlarının dayanımının rassal ve mekanda bağımlı olduğu bir eşdeğer ağ çizelgesine dönüştürülmekte, sistemin maruz kalacağı deprem tehlikesi ise geçmiş deprem verilerine dayanılarak çıkartılan bir olasılık dağılımı ile değerlendirilmektedir. Ağın depreme karşı sistem güvenirlği bu amaçla geliştirilen bir algoritma ile hesaplanmaktadır. Sayısal hesaplamaları yapmak üzere gerekli bilgisayar yazılımları hazırlanmış ve önerilen yöntemin uygulaması ayrıntılı bir örnek çalışma ile gösterilmiştir.

¹ Prof.Dr., O.D.T.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü ve Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi, 06531 Ankara

² Öğr.Gör., O.D.T.Ü., İstatistik Bölümü, 06531 Ankara

GİRİŞ

Sismik tehlike çalışmalarında çoğunlukla baraj, nükleer güç santralleri ve diğer enerji üretim tesisleri gibi "merkezi" yapılar göz önüne alınmış olup, bu merkezlerden çıkan ve mekanda yayılı olan iletim sistemleri ise genellikle göz ardı edilmişlerdir. Geniş bir alana yayılmış olan enterkonekte sistemlerin toplam güvenilirliği, merkez tesislerin güvenilirliği yanında, tüm elemanların davranışının da göz önünde tutulmasını gerektirmektedir.

Son yirmi yıl içinde iletişim, dağıtım ve ulaşım şebekelerinin deprem etkisi altında güvenilirliğinin istatistiksel yöntemlerle tahmini ilgi çeken bir konu olmuştur. Bu ilginin başlıca nedeni, yerleşim merkezlerinde büyük depremler sırasında ortaya çıkabilecek ikincil felaketlerin önlenmesi ve deprem sonrası kurtarma faaliyetlerinin etkin bir biçimde yürütülmesinin sağlanmasıdır. Karayolları, köprüler, boru hatları, enerji nakil hatları, haberleşme hatları, su ve doğal gaz dağıtım şebekeleri geniş bir alana hizmet götüren sistemlerdir. Çalışmamızda bu tür iletişim, dağıtım ve ulaşım şebekelerine, candamarı (lifelines) şebekeleri denilecektir. Candamarı şebekelerinin güvenilirlik analizinde, şebeke, birbirlerine bağlı düğüm (nodes) ve bağlardan (links) oluşan bir eşdeğer ağ (network) çizgesi ile tasvir edilecektir.

Candamarı şebekesini oluşturan elemanların kapasitelerindeki ve sismik tehlike parametrelerindeki belirsizlikler ve rassallıklar göz önünde tutulduğunda, candamarı şebekesinin güvenilirlik analizinin olasılık ve istatistik yöntemlerine dayanılarak yapılması en uygun yol olmaktadır. Bu analiz aşağıdaki aşamaları içermektedir (Yüccmen, 1994):

- (i) Sismik tehlike analizi: Şebekenin bulunduğu bölgede belirlenen sismik kaynaklarda meydana gelebilecek depremler nedeni ile şebeke elemanlarında oluşabilecek sismik yüklerin olasılık dağılımlarının çıkartılması.
- (ii) Dayanım analizi: Şebeke elemanlarının, belirlenen bir göçme (failure) kriterine göre deprem yüklerine dayanımının olasılık dağılımının çıkartılması.
- (iii) Güvenirlik analizi: Öngörülen bir algoritmaya göre ağ sisteminin güvenilirliğinin tahmin edilmesi.

Candamarı şebekelerinin güvenilirliği bazı araştırmacılar tarafından, değişik sismik tehlike modelleri ve değişik ağ analiz yöntemleri kullanılarak incelenmiştir (örneğin: Panoussis, 1974; Taleb-Agha, 1977; Barlow, v.d., 1980; Moghtaderizadeh, v.d., 1982). Ülkemizde ise bu konuda yapılmış çalışmalar çok kısıtlıdır (Sankur ve Kalyoncu, 1989; Yüccmen, 1994; Yüccmen ve Selçuk, 1994). Bu araştırmanın başlıca amacı, sismik tehlike altındaki herhangi bir candamarı şebekesinin, ağ çizgesi şeklinde modellenerek güvenilirliğini hesaplayacak bir yöntem geliştirmek ve bu yöntemi bilgisayar ortamına aktararak sayısal hesaplamaları yapacak bilgisayar yazılımını hazırlamaktır. Önerilen yöntemin uygulaması bir örnek çalışma ile gösterilmiştir.

SİSMİK TEHLİKE ANALİZ MODELİ

Sismik tehlikenin bulunmasında "klasik" sismik analiz modeli (Cornell, 1968) temel alınmış, ancak bu model azalım ilişkisine ve sismik etkinlik parametrelerinin tahminine ilişkin belirsizliklerin sonuçlara yansıtılması yönünde geliştirilmiştir. Söz konusu modeldeki başlıca varsayımlar şöyledir (Yüccmen 1982):

(i) Deprem magnitüdlerinin olasılık dağılımı, alt sınırı m_0 ve üst sınırı m_1 olan doğrusal magnitüd-sıklık ilişkisinden çıkartılmıştır. Bu şekilde elde edilen olasılık yoğunluk işlevi şöyledir:

$$f_M(m) = k\beta \exp(-\beta(m-m_0)) \quad m_0 \leq m \leq m_1 \quad (1)$$

Denklem 1'de, $k = [1 - \exp(-\beta(m_1 - m_0))]^{-1}$ olup, birikimli dağılım işlevinin $m = m_1$ değerinde 1.0 olmasını sağlayan düzeltme katsayısıdır. Deprem magnitüdlerinin üst sınırı, o bölgede beklenebilecek en büyük deprem magnitüdü m_1 ile belirlenecektir. Magnitüd-sıklık ilişkisinin eğimi β ile gösterilmiştir. β değerleri bölgenin tektonik yapısı ile ilişkilidir ve sismik etkinliğin bir göstergesi olarak kabul edilir.

(ii) Geçmişte gözlenen depremlerle ilgili verilere dayanarak gelecekte beklenebilecek yer sarsıntılarının tahmini Poisson modeline göre yapılmaktadır. Poisson modelinde deprem olaylarının birbirlerinden bağımsız oldukları varsayılarak depremlerin oluşumu zaman uzayında bir Poisson süreci olarak alınır. Poisson sürecinin parametresi v , incelenen bölgede bir yıl içinde meydana gelen magnitüdü m_0 'a eşit veya m_0 'dan büyük depremlerin ortalama sayısını simgelemektedir.

(iii) En büyük zemin hareketi parametresinin kaynaktan inşaat sahasına olan azalımının şöyle olduğu varsayılmıştır:

$$Y = b_1 e^{(b_2 m)} r^{-b_3} \quad (2)$$

Burada, r deprem kaynağının inşaat sahasına olan odak uzaklığıdır. Uygulamada odak uzaklığı, r , yerine, değiştirilmiş odak uzaklığı, r_d , kullanılmaktadır. Genellikle $r_d = r + c$ şeklinde alınmakta olup, c sabit bir sayıdır. Bu değişikliğin amacı gözlemsel verilerle önerilen azalım ilişkileri arasında küçük r değerleri için daha iyi bir uyum sağlamaktır. Denklem 2'de, b_1 , b_2 ve b_3 değerleri gözlemsel verilerden hesaplanacak katsayılardır.

(iv) Depremlerin mekandaki dağılımlarının gösterdiği rassallık, geçmiş deprem olaylarının nokta, çizgi ya da alan şeklindeki sismik kaynaklarla ilişkileri kurularak modellenmiştir. Bir kaynak içinde, her yerde sismik etkinliğin aynı olduğu varsayılmıştır.

Sismik tehlike analizinin çıktısı, belirlenen bir ya da bir çok coğrafi noktadaki zemin hareketine ya da deprem büyüklüğüne ilişkin parametreler için bulunan olasılık dağılımları şeklindedir. Candamarını oluşturan elemanların geniş bir coğrafi alana yayılmış olmaları nedeni ile, sismik tehlike analizinin candamarı sisteminin yer aldığı tüm alan üzerinde yapılması gerekmektedir. Bir elemana gelen deprem yükünün hesabında iki değişik yöntem kullanılmıştır. Bunlardan birincisinde, elemanın sismik tehlikeye en fazla maruz olduğu noktadaki sismik tehlike deprem yüküne esas alınmıştır. Diğer bir deyimle, mekanda belirli bir uzunluğu bulunan eleman, sismik tehlikenin en büyük olduğu yerde bir nokta elemana indirgenmiştir. Elemanın mekandaki uzunluğunun göz önünde tutulmadığı bu model "nokta" eleman modeli olarak adlandırılmıştır. İkinci modelde ise bir eleman, mekansal korelasyon (spatial correlation) değerine bağlı olarak eşit uzunlukta doğru parçalarına bölünmektedir. Bu şekilde oluşan her alt eleman ise doğru parçasının geometrik merkezinde yer alan bir nokta eleman olarak değerlendirilmektedir. "Çoklu nokta" eleman modeli olarak adlandırılan bu modelde, eleman uzunluğu güvenilirlik analizine yansımaktadır.

ELEMAN GÜVENİRLİK MODELİ

Elemanlar için sismik yük (talep) olasılık dağılımı belirlendikten sonra, her elemanın dayanımı için de bir olasılık dağılımı çıkartılmalıdır. Bu olasılık dağılımı ağ elemanlarının dayanımında, kullanılan malzeme özelliklerinden, boyutlardan ve modelleme hatalarından kaynaklanan belirsizliği yansıtmaktadır. Farklı kaynaklardan gelen belirsizliklerin dayanıma olan toplam etkisi birinci-mertebe ikinci-moment yöntemi (Ang ve Tang, 1984) kullanılarak bulunabilir.

Dayanım ve deprem yüküne bağlı olarak elemanın hasar durumu sürekli bir hasar göstergesi değişkeni ile tanımlanabilir. En basit şekilde ise tam hasar, göçme, (failure) ve hiç hasar görmeme, kalım, (survival) şeklinde iki durum düşünülebilir. Dayanım ve deprem etkisine ilişkin olasılık dağılımları bilindiğinde elemanın kalım olasılığı bulunabilir. Kalım olasılığı, çalışmamızda güvenilirlik olarak adlandırılmıştır. Eğer D_i ve Y_i , i sayılı elemanın sırasıyla sismik dayanımını (kapasitesini) ve sismik yükünü (talebi) gösteren rassal değişkenler ise, bu elemanın güvenilirliği (kalım olasılığı), P_{si} :

$$P_{si} = \Pr(D_i > Y_i) \quad (3)$$

Elemanın göçmesi ise " $D_i \leq Y_i$ " durumunda ortaya çıkacaktır ve göçme olasılığı, P_{fi} :

$$P_{fi} = \Pr(D_i \leq Y_i) = 1 - P_{si} \quad (4)$$

olur.

Yukarıda açıklanan güvenilirlik modeli nokta eleman varsayımı için geçerlidir. Çoklu nokta eleman varsayımı için her eleman, mekansal korelasyon değerine bağlı olarak eşit uzunlukta alt elemanlara bölünmektedir. Bu durumda elemanın kalımlığı, "seri" olarak bağlanmış alt elemanların tümünün kalımlılığını gerektirir. Aynı deprem etkisine maruz kaldıklarından ve dayanımı etkileyen malzeme, işçilik gibi etkenlerin aynı olması nedeni ile alt elemanların göçme olayları istatistiksel olarak kuvvetli bir bağımlılık gösterecektir.

Birbirleri ile bağlantılı olan m sayıdaki alt elemandan oluşan bir candamarı elemanın güvenilirliğini kesin olarak hesaplamak için veriler yetersiz olduğu gibi, matematiksel işlemler de uzundur. Bu nedenle, çoklu nokta eleman modelinde aşağıda verilen alt ve üst güvenilirlik sınırlarını bulmak genellikle yeterli olmaktadır.

$$\sum_{j=1}^m R_{ij} \leq R_i \leq \text{en küçük } R_{ij} \quad (5)$$

Alt ve üst güvenilirlik sınırları, alt elemanların göçme olaylarının, sırasıyla, tam bağımsız ve tam bağımlı olduğu durumlar için geçerlidir. Burada, R_i , i sayılı elemanın güvenilirliğini, R_{ij} ise i sayılı elemanın, j numaralı alt elemanın güvenilirliğini göstermektedir.

AĞ GÜVENİRLİK ANALİZİ

Elemanların güvenilirliğinden tüm şebekenin güvenilirliğinin bulunması için şebekenin eşdeğer bir ağa dönüştürülmesi gerekmektedir. Bir ağ şebekesi düğüm ve bağlardan oluşan seti kapsayan bir sistemin şekilsel olarak gösterimidir. Örneğin, bir

ulaşım şebekesinde, ana yollar, tüneller ve köprüler bağları, bunların birleştikleri yerler ise düğümleri oluşturur. Ağ güvenilirliğinin hesaplanmasında çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın olarak kullanılan yöntem şebekenin küçük alt sistemlere parçalanması ve her alt sistem arasındaki işlevsel bağların araştırılmasıdır.

Yoo ve Deo (1988) ağ güvenilirlik analizi konusunda yapılmış olan dört ayrı algoritmayı karşılaştırarak çalışmamızda da kullandığımız algoritmayı önermişlerdir. Bu algoritma bilgisayar hesap süresi ve hafıza gereksinimleri bakımından etkindir.

Ağ güvenilirliği probleminde amaç her ilintili bağın kalım olasılığının bilinmesi koşulu ile herhangi belirli bir çift düğüm arasındaki kesintisiz iletişim olasılığını belirlemektir. Amaç, n adet düğüm ve m tane bağı bulunan bir şebekede s düğümünden (giriş düğümü), t düğümüne (çıkış düğümü) ulaşmaktır. Şebekedeki düğümlerin birbirleri ile olan bağlantıları 0 ve 1'den oluşan çizge $G=[g_{ij}]$ ile gösterilmektedir. g_{ij} düğüm i ile düğüm j arasında bağlantı olması durumunda 1 değerini, diğer hallerde 0 değerini alan durum değişkenidir. Her bağın göçme ya da kalım durumunda olması m boyutunda olan $E=[c_i]$ vektörü ile gösterilir. Burada

$$\begin{aligned} c_i &= 1 \quad i \text{ sayılı bağ işlevsel ise} \\ &= -1 \quad i \text{ sayılı bağ bozuk ise} \end{aligned} \quad (6)$$

olarak tanımlanmaktadır.

Girişten çıkışa giden (s-t) yolunun en kısa olanı en az bağ içeren yoldur. Şebekenin işlevsel olması, kapsadığı alternatif yolların en az bir tane (s-t) yolu içermesine bağlıdır. Genel olarak, düğümlerin göçme tehlikesinden uzak ve bağlardaki göçmenin istatistiksel olarak birbirlerinden bağımsız oldukları varsayılmaktadır. Buna göre E olayının olasılığı

$$\Pr(E) = \prod \Pr(e_i) \quad i=1,2,\dots,n \quad (7)$$

Denklemler 7'de

$$\begin{aligned} \Pr(e_i) &= P_{si} & c_i &= 1 \text{ durumunda} \\ &= P_{fi} & c_i &= -1 \text{ durumunda} \end{aligned} \quad (8)$$

olur. En az bir (s-t) yolunu içeren olayların kümesine S dersek, şebekenin güvenilirliği, R, S kümesi içindeki olayların kalım olasılıklarının toplamı olacaktır:

$$R = \sum \Pr(S_i) \quad (9)$$

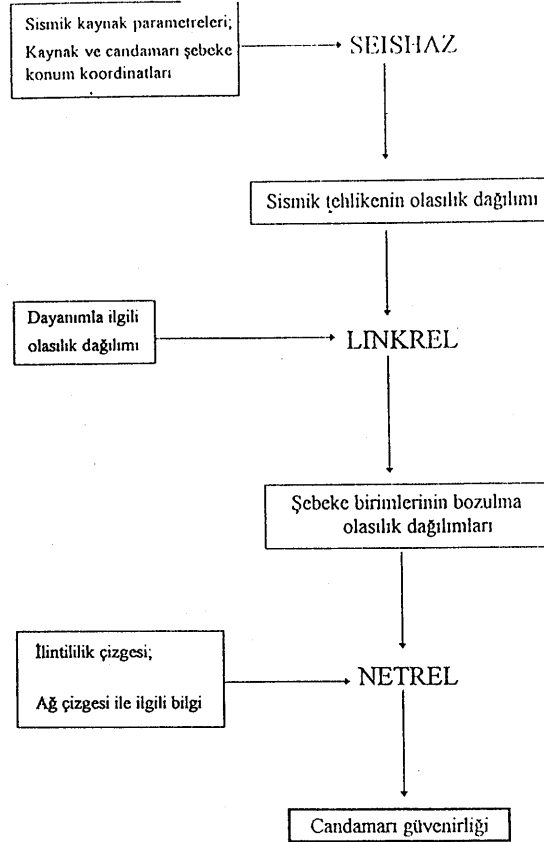
Bilgisayar hesap işlemleri makul bir sürede bitemeyecek kadar büyük bir ağ göz önüne alınırsa, zaman ve işlemden kazanmak amacı ile program k numaralı kalım ve t numaralı göçme olaylarını hesapladıktan ve ağ güvenilirliği için şu sınırları verdikten sonra durdurulabilir:

$$\sum_{i=1}^k \Pr(S_i) \leq R \leq 1 - \sum_{i=1}^l \Pr(F_i) \quad (10)$$

Burada F_i , F kümesindeki i sayılı göçme olayıdır. Mühendislik yapılarında kalım olasılıkları yüksek olduğu için genellikle alt ve üst sınır birbirlerine yakın olmaktadır.

Yukarıda açıklanan modeller ve algoritmanın gerektirdiği sayısal hesaplamaları yapacak bilgisayar yazılımları hazırlanmış ve bir yazılım paketi haline getirilmiştir.

Bu yazılım paketinin ilk ana programı olan ve SEIS-HAZ olarak adlandırılan yazılım, seçilen deprem şiddet parametresinin herhangi bir coğrafi noktadaki olasılık dağılımını hesaplamaktadır. Bu programın çıktısını bir ara program aracılığıyla girdi olarak alan LINK-REL yazılımı, candamarı şebekesini oluşturan elemanların güvenilirliğini, eleman dayanım olasılık dağılımını ve diğer varsayımları göz önünde tutarak hesaplamaktadır. Eleman güvenilirlik değerlerini girdi olarak alan NET-REL yazılımı, Yoo ve Deo (1988) tarafından geliştirilen algoritmaya göre candamarı şebekesinin sistem güvenilirliğini hesaplamaktadır. LIFEPACK adı verilen bu yazılım paketinin akış şeması Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1 LIFEPACK yazılım paketi

UYGULAMA

Panoussis (1974) ve Taleb-Agha (1977), Boston şehri ve civarındaki ana karayollarının oluşturduğu candamarı şebekesinin sismik güvenirligini

incelemişlerdir. Bu ulaşım sistemi, Şekil 2’de gösterildiği gibi 18 düğüm ve 22 bağdan oluşan bir ağ çizgesi şeklinde modellenmiştir. Söz konusu çalışmalarda amaç, bir deprem sonrasında N1 düğümünden N5 düğümüne ulaşmak olarak saptanmıştır. Burada, aynı şebekenin deprem güvenilirliği, makalede önerilen yöntemle dayanılarak hesaplanacaktır.

Boston ve civarında deprem tehlikesi yaratabilecek sismik kaynaklar ve bu kaynaklar için geçerli olan sismik parametrelerin değerleri Cornell ve Merz (1975) tarafından belirlendiği gibi alınmıştır. Sismik kaynakların coğrafi konumu Şekil 3’de gösterilmiştir. Çalışmamızda deprem şiddeti ve ulaşım sistemine gelen deprem etkisinin göstergesi olarak zemin ivmesi seçilmiştir. Denklem 2’de verilen azalım ilişkisi modeline uyan ve Cornell ve Merz (1975) tarafından bu bölge için önerilen şu azalım ilişkisi benimsenmiştir.

$$Y=5600 e^{0.8m} (r+40)^{-2} \quad (11)$$

Bu azalım ilişkisine ve sismik parametre değerlerine bağlı olarak Y’nin olasılık dağılımı herhangi bir noktada elde edilebilir. Burada ulaşım ağının deprem güvenilirliği “nokta” ve “çoklu nokta” eleman modellerine dayanılarak incelenecektir.

Nokta Eleman Modeli

Bu modelde sismik tehlike analizi, her bağda sismik tehlikenin en yüksek olduğu noktayı bulmak için bağın çeşitli noktaları incelenerek yapılmaktadır. En yüksek tehlikeye maruz kalan nokta belirlendikten sonra o noktadaki sismik tehlike o bağ için sismik yük olarak kabul edilir. Diğer bir ifadeyle, mekanda yayılı bir eleman sismik tehlikenin en fazla olduğu yerde bir nokta elemana dönüştürülür. Candamarını içeren alanın sismik kaynakları kapsayan bölge içerisinde küçük bir bölüm olmasının yanında, bir bağın değişik noktalarındaki göçme olaylarının kuvvetli bir bağımlılık göstermesi de, istatistiksel açıdan bu modeli doğrulamaktadır.

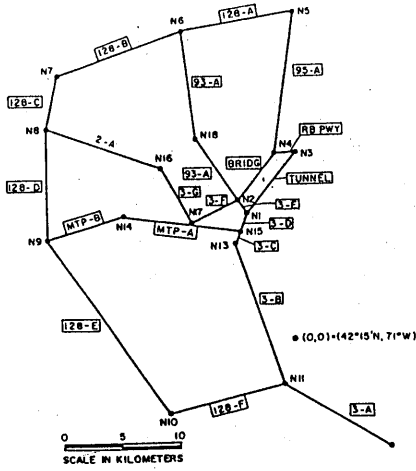
Bağların deprem etkisine olan dayanımları tek değerli (deterministik) ya da rassal olarak alınabilir. Düğümlerin tam güvenilir olduğu varsayılmıştır. İlk olarak her bağın, Taleb-Agha (1977) tarafından belirlendiği gibi, 0.075g’lik bir yer ivmesi taşıyabilecek dayanıma sahip olduğu varsayılmıştır. Bağların güvenilirliği için elde edilen sonuçlar Şekil 4(a)’da sunulmuştur. LIFEPACK yazılımı kullanılarak karayolu sisteminin bir yıllık güvenilirliği, R, için elde edilen alt ve üst sınır değerleri şöyledir:

$$0.999043 \leq R \leq 0.999045 \quad (12)$$

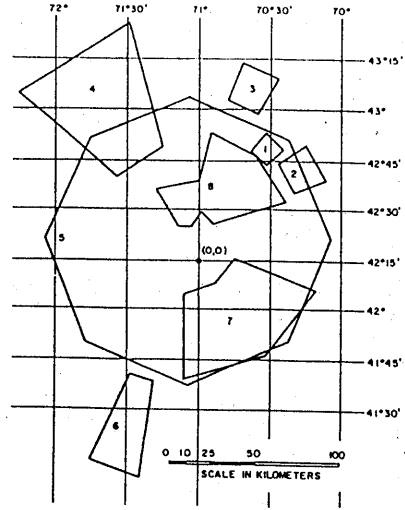
Aynı problem, Panoussis (1974) tarafından, bağ dayanımlarının ortalaması, $\mu=0.100g$ ve standard sapması, $\sigma=0.002g$ olan bir Gauss olasılık dağılımına sahip olmaları durumu için incelenmiştir. Çalışmamızda aynı değerler kullanılarak her bağın güvenilirliği hesaplanmış ve Şekil 4(b)’de gösterilmiştir. LIFEPACK yazılımından, yıllık sistem güvenilirliği için şu değerler elde edilmiştir:

$$0.999746 \leq R \leq 0.999748 \quad (13)$$

Tek değerli ve rassal dayanım durumlarını karşılaştırmak amacıyla bağ dayanımının 0.075g ortalama değerli ve 0.002g standard sapmalı bir Gauss dağılımı gösterdiği durum için hesaplar tekrarlanmış ve elde edilen bağ güvenirlilik değerleri Şekil 4(c)’de



Şekil 2 Boston ve civarındaki ana karayolları ağı çizgesi(Taleb-Agha, 1977)

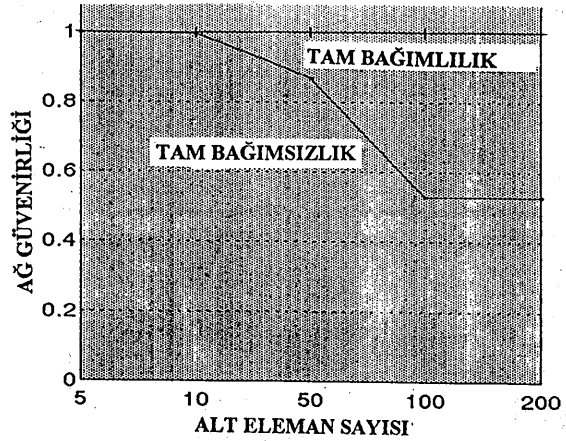


Şekil 3 Boston şehri etrafındaki sismik kaynak bölgeleri (Cornell-Merz, 1975)

| | | |
|--------|--------|--------|
| 0.9790 | 0.992R | 0.9450 |
| 0.9740 | 0.992B | 0.9450 |
| 0.9620 | 0.945 | 0.9450 |
| 0.9670 | 0.992B | 0.9450 |
| 0.9505 | 0.945 | 0.9450 |
| 0.9420 | 0.945 | 0.9450 |
| 0.9560 | 0.9852 | 0.9450 |
| 0.9730 | 0.992B | 0.9450 |
| 0.9850 | 0.9964 | 0.9780 |
| 0.9902 | 0.9929 | 0.9480 |
| 0.9870 | 0.9944 | 0.9870 |
| 0.9770 | 0.992B | 0.9450 |
| 0.9740 | 0.992B | 0.9460 |
| 0.9770 | 0.992B | 0.9450 |
| 0.9740 | 0.992B | 0.9450 |
| 0.9740 | 0.992B | 0.9450 |
| 0.9910 | 0.992B | 0.9450 |
| 0.9740 | 0.992B | 0.9450 |
| 0.9670 | 0.992B | 0.9450 |
| 0.9740 | 0.992B | 0.9450 |
| 0.9860 | 0.9934 | 0.9525 |
| 0.9730 | 0.992B | 0.9450 |
| 0.9545 | 0.9597 | 0.9450 |

(a) (b) (c)

Şekil 4 Bağ güvenirlik değerleri
a) Tek değerli dayanım (0.075g)
Rassal dayanım (Gauss; μ , σ)
b) $\mu = 0.100g$, $\sigma = 0.002g$
c) $\mu = 0.075g$, $\sigma = 0.002g$



Şekil 5 Ağ güvenirliğinin alt eleman sayısına duyarlılığı (Gauss; $\mu = 0.100g$ ve $\sigma = 0.002g$)

verilmiştir. Bu değerlere dayanılarak candamarı şebekesinin yıllık güvenirligi, R, LIFEPACK yazılımından

$$0.996252 \leq R \leq 0.996254 \quad (14)$$

olarak bulunmuştur.

Görüldüğü gibi Denklem 12, 13 ve 14'de elde edilen güvenirlilik sınırları birbirlerine çok yakındır. Bağ güvenirliklerinin yüksek olması ve N1 ve N5 düğüm noktalarını birleştiren alternatif ulaşım yollarının çokluğu, candamarı şebekesinin sistem güvenirliliğinin de yüksek çıkmasına neden olmuştur. Ayrıca, bağ dayanımlarının rassal değişken olarak alınması, tek değerli dayanım varsayımına göre daha düşük güvenirlilik değerleri vermektedir. Bu fark, dayanımdaki belirsizliklerin bir göstergesi olan dayanım standard sapmasının artması ile büyümektedir.

Çoklu Eleman Modeli

Bu modelde bir elemanın kalım olasılığı alt sınırı (Denklem 5), elemanın bölündüğü parça sayısına duyarlı olmaktadır. Bunun nedeni, alt güvenirlilik sınırının, alt elemanların bağımsız oldukları varsayımına göre alt elemanların güvenirliklerinin çarpımına eşit olmasıdır. Elemanın bölündüğü parça sayısı arttıkça, eleman güvenirliliği, dolayısıyla da ağ güvenirliliği azalacaktır. Çalışmamızda alt elemanların uzunluğunun, λ ile simgelenen mekansal dalgalanma ölçeğine (spatial scale of fluctuation) eşit olduğu varsayılmıştır. λ , Vanmarcke (1983) tarafından rassal süreçlerdeki korelasyon yapısını modellemek için önerilmiş bir parametredir. Fiziksel olarak, λ , sismik kapasite ve yükün mekanda kuvvetli bağımlılık gösterdiği mesafeyi belirtmektedir.

Burada $\lambda=1.0$ km alınmıştır. Gerçekte, λ 'nın sismik dayanım ve yüke ilişkin gözlenen verilere dayanılarak hesaplanması gerekir. Bağ dayanımı için ortalaması ve standard sapması sırası ile, 0.1g ve 0.002g olan Gauss dağılımı varsayımı altında ve $\lambda=1.0$ km alınarak yıllık ağ güvenirliliği hesaplanmıştır. Alt elemanların tam bir bağımlılık gösterdiği durumda

$$0.999767 \leq R \leq 0.999769 \quad (15)$$

bulunur. Tam bir bağımsızlık durumunda ise, alt ve üst güvenirlilik sınırları aynıdır ve $R=0.994130$ olur. Candamarı şebekesinin güvenirliliğinin, elemanların bölündüğü alt eleman sayısına duyarlılığı Şekil 5'de gösterilmiştir.

SONUÇ

Mekana yayılı enterkonekte sistemlerin deprem güvenirliliğinin değerlendirilmesi, tek bir yapının deprem güvenirliliğinin değerlendirilmesine nazaran daha karmaşık olup, önemli farklılıklar içermektedir. Çalışmada, candamarı şebekelerinin deprem güvenirliliğini istatistiksel yöntemlerle tahmin etmek üzere bir model geliştirilmiş ve modelin gerektirdiği sayısal hesaplamaları yapacak ve LIFEPACK olarak adlandırılan bir yazılım hazırlanmıştır.

Candamarı şebekelerini deprem etkilerinden zararsız ya da az zararlı kurtarma çalışmalarının başlangıç noktası bu şebekelerin sismik güvenirliliğini değerlendirmek

ve yeterli güvenilirliğin sağlanmadığı durumlarda yeni bağlar ekleyerek ya da elemanları takviye ederek güvenilirliği istenilen düzeye çıkartmaktır. Candamarı şebekelerinin güvenilirliğinin olasılık cinsinden ifade edilmesi güvenilirlik artırmaya yönelik seçeneklerin karşılaştırılmasını, karar kuramı yöntemlerinden yararlanılarak maliyet/yarar analizlerinin yapılmasını sağlayacağı gibi, mevcut ya da yeniden inşa edilecek şebekelerin güvenilirlik düzeyini, görece de olsa, niceliksel olarak ortaya koyacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu bildiriye sunulan araştırma, TÜBİTAK tarafından desteklenen İNTAG-522 nolu proje çerçevesinde yürütülmüştür.

KAYNAKLAR

1. Ang A., ve Tang W.(1984), Mühendislik Planlamasında ve Tasarımında Olasılık Kavramları: Vol.II, John Wiley and Sons, 560p, (İngilizce).
2. Barlow, R., Der Kiureghian, A. ve Satyarayana A.(1980), "Boru Hattı ve Diğer Candamarı Ağlarının Deprem Riskine Göre Analizleri için Yeni Yöntemler", ORC 80-5, University of California, Berkeley, U.S.A, (İngilizce).
3. Cornell, C.A.(1968), "Mühendislik Sismik Risk Analizi", Bull. Seism. Soc. Am., 54, pp.1583-1606, (İngilizce).
4. Cornell, C.A. ve Merz, H.A.(1975), "Boston Şehri için Sismik Risk Analizi", Journal of Structural Division of ASCE, 101, pp. 2027-2043, (İngilizce).
5. Moghtaderizadeh, M., Wood, R.K., Der Kiureghian A. ve Barlow, R.(1982), "Candamarı Ağlarının Sismik Güvenirliği", Journal of the Technical Councils of ASCE, 108, TC1, pp. 60-78, (İngilizce).
6. Panoussis, G.(1974), "Candamarı Ağlarının Sismik Güvenirliği", SDDA Report No. 15, MIT Dept. Civil Eng. Rept. R74-57, Cambridge, U.S.A, (İngilizce).
7. Sankur, B. ve Kalyoncu H.(1989), "İletişim Ağlarının Kalımlılık Analizi", 10 s.
8. Taleb-Agha, G.(1977), "Candamarı Ağlarının Sismik Risk Analizi", Bull. Seism. Soc. Am., 67, pp. 1625-1645, (İngilizce).
9. Vanmarcke, E.H.(1983), Çok Boyutlu Rassal Fonksiyonlar: Analiz ve Sentez, Cambridge, MIT Press, (İngilizce).
10. Yoo, Y.B. ve Deo, N.(1988), "Eşlendirilmiş Uçların Güvenirliği ile İlgili Algoritmaların Karşılaştırılması", IEEE Transactions on Reliability, 37, pp.210-215, (İngilizce).
11. Yüccemen, M.S.(1982), Sismik Risk Analizi, O.D.T.Ü, İdari İlimler Fakültesi Yayını, No. 41, Özgün Matbaacılık Sanayi, Ankara, 160 s.
12. Yüccemen, M.S.(1994), "Candamarı Şebekelerinin Deprem Güvenirliği", I.Ulusal İnşaat ve Çevre Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Celal Bayar Üniversitesi, ss. 27-38.
13. Yüccemen, M.S. ve Selçuk, A.S.(1994), "Candamarı Ağlarının Sismik Tehlike Altında Güvenirlikleri", Proceedings of the 5th U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Vol. 4, Chicago, pp.809-818, (İngilizce).