

İSTANBUL İÇİN DEPREM RİSKİ ANALİZİ

Semih Tezcan¹, Yalçın Acar² ve Ahmet Çivi³

ÖZET

İstanbul il sınırları içinde yapısal hasara meydan verebilecek şiddetli bir depremin episantrının sadece Kuzey Anadolu fay hattı üzerinde yer alabileceği varsayılmıştır. Bu fay hattının İstanbul'a komşu olan 600 km'lik bir parçası üzerinde 1869 ve 1968 yılları arasındaki doksan dokuz sene içinde meydana gelen en şiddetli depremler göz önüne alınmış ve Gumbel'in yıllık ekstrem değerler metodu kullanılarak, 50 yıllık ekonomik ömrü olan normal bir yapı için % 15 yıllık risk ile beklenen en şiddetli depremin manyitüdü ve ayrıca İstanbul ili içinde kaya zeminlerde beklenen zemin ivmesinin maksimum değeri tahmin edilmiştir. Maksimum manyitüd ve maksimum zemin ivmesi tahminleri önemli yapılar ve nükleer santral gibi çok önemli yapılar için de yapılmıştır.

GİRİŞ

Toplanması gereken bilgiler

Herhangi bir bölgede gelecekteki şiddetli bir depremin manyitüdü, yer hareketinin ivmesi, süreci ve frekans içeriği gibi özelliklerini ihtimaller analizi yaparak tahmin edebilmek için başlıca beş hususta bilgi sahibi olmalıdır: 1) Bölgenin ve civarının sismotektonik yapısı ve özellikle deprem kaynağı olabilecek sismotektonik yörelerin tayini, 2) bölgeyi etkisi altına alabilecek depremlerin noktasal, çizgisel veya alansal nitelikte olabilen kaynaklardan hangisine ait olduğunun belirlenmesi, 3) her sismotektonik yörenin sismik aktivitesinin tarihçesinin belirlenmesi, 4) noktasal, çizgisel veya alansal kaynaklardan orijinlenecek bir depremin episantrdaki yer ivmesinin yapının bulunduğu alana gelinceye kadar yapacağı yolculuk esnasında kaybedeceği (attenuation) değerini saptanması, 5) yapı ve civarının jeolojik karakteri, zemin özelliklerinin tayini ve yapının altındaki taban kayada oluşacağı tahmin edilen bir

¹ Prof.Dr., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Boğaziçi Üniversitesi. Başkan Yardımcısı, Teknik, Yapı Merkezi A.Ş., İstanbul.

² Professor, State University of Louisiana, Baton Rouge, USA.

³ Teknik Bölüm Başkanı, Yapı Merkezi A.Ş., İstanbul.

yer hareketinin yumuşak zemin tabakalarından geçerken büyütülmesi nedeni ile, yapı temeli hizasında serbest yüzeyde meydana gelebilecek yer hareketinin özelliklerinin saptanması.

Sismotektonik yöre (seismotectonic province) tabiri, jeolojik formasyon ve jeolojik yapı itibarı ile nisbeten değişiklik arzuetmeyen bir karaktere sahip bir bölge için kullanılmaktadır.¹ Sismotektonik yörelerin belirlenmesi ile, deprem kaynaklarının noktasal, çizgisel veya alansal olarak saptanması arasında büyük bir ilişki vardır. Çünkü, bazı sismotektonik yöreler adeta nokta gibi belirli bir yöreye bazıları bir fay hattı boyunca uzunca bir çizgiye, diğerleri ise genişçe bir alana tekabül ederler. İncelemeye konu olan yapının bulunduğu yeri etkisi altında bulundurabilecek depremler bazen bu üç çeşit kaynağın her üçünden, herhangi ikisinden veya sadece birinden kaynaklanabilir.

İSTANBUL İLİ İÇİN YAPILAN KABULLER

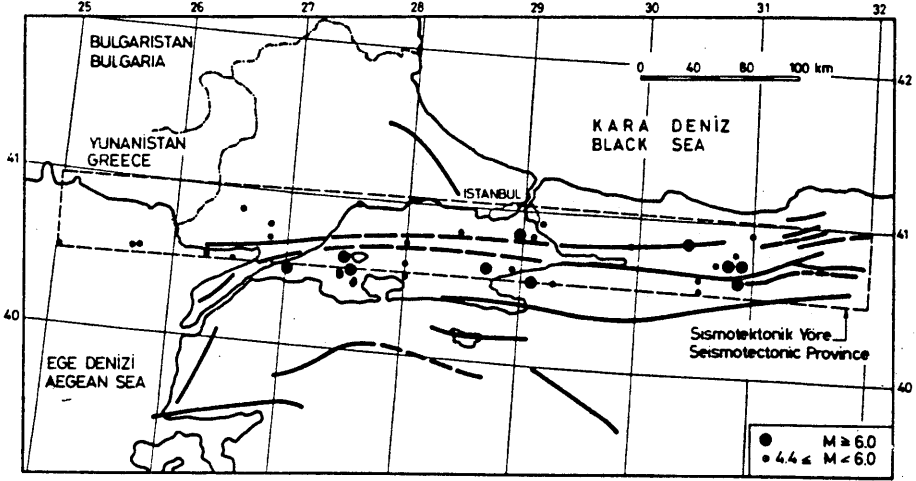
Sismotektonik yöre

İstanbul ilini etkisi altına alabilecek şiddetli bir depremin kaynağının sadece çizgisel olduğu kabul edilmiştir. Bu çizgi Kuzey Anadolu fay hattının Marmara denizi ortasından geçen uzantısıdır. Çizgisel kaynak dışında, Romanya'daki Karpatlar bölgesi noktasal bir kaynak olarak İstanbul'u etkisi altına alabilir. Ancak, Karpatlar veya Ege bölgesinde meydana gelebilecek en şiddetli ($M = 8$) bir depremin bile İstanbul'daki yer ivmesi çok küçük olur. Karpatlar'dan kaynaklanacak orta sıklıktaki bir depremin doğuracağı çok küçük ivmeli (takriben 0.02g) fakat büyük peryotlu (takriben $T = 1.5$ ila $T = 2$ san.) deprem dalgalarının yüksek binalarda yapacağı etkileri ayrıca göz önüne almak gerekir. Bunun dışında, İstanbul ilinin deprem riski analizine sadece Kuzey Anadolu fay hattının çizgisel kaynağından orijinlenecek depremleri dahil etmek yeterlidir.

İstanbul için Sismotektonik Yöre olarak Şekil 1'de gösterilen, $40.5^{\circ}N - 41.0^{\circ}N$ enlemleri ile, $25.0^{\circ} E - 32.0^{\circ}E$ boylamları arasında kalan ve takriben 55 km x 500 km boyutlarında olan ince uzun bir şerit seçilmiştir.

Sismik tarihçe

Kuzey Anadolu fay hattı boyunca meydana gelen depremler Türkiye'ye ait deprem kataloglarında mevcuttur [2,3,4]. İstanbul ilinin risk analizi için 1869-1968 yılları arasında kalan ve yukarıda adı geçen dar bir şerit içinde meydana gelen doksan dokuz senelik bir sismik tarihi peryot göz önüne alınmıştır (Tablo 1).



Şekil 1. İstanbul İçin Sismotektonik Yöre ve Episantr Haritası.

GUMBEL-YILLIK EKSTREM DEĞERLER METODU

Deprem katalogları eski devirlere ait genellikle en şiddetli depremleri ihtiva ederler. Hatta, eski devirlere ait çoğu şiddetli depremler kataloglara girmemiş olabilir. Türkiye'de meydana gelen ve katalogda verilen depremlerin sayıları çeşitli tarihsel devirler için şöyledir:

<u>YILLAR</u>	<u>ADET</u>
1371 - 1470	9
1471 - 1570	14
1571 - 1670	26
1671 - 1770	55
1771 - 1870	145
1871 - 1970	2784

Bu örnekten de görüleceği üzere, katalogdaki deprem bilgileri eski devirlere doğru gidildikçe yetersiz ve eksik kalmaktadır. Halbuki, Türkiye'nin sismisitesi yüzyıllar boyunca sabit kalmıştır. Yer kabuğunun hareketlerinden ileri gelen depremlerin ortaya çıkardığı enerjinin miktarı bir yüzyıldan diğerine önemli ölçüde değişmez. Katalogdaki deprem adedinde, eski devirlere gidildikçe bir azalma olması sismik aktivitenin değiştiğine değil, katalog bilgilerinin eksik olduğuna bir işaret sayılmalıdır.

TABLO 1. İstanbul İçin Sismik Tarihçe (1869-1968).

Tarih		I ₀	Enlem Boylam h		M	
			N	E		km
31	5	1869	7.0	40.60	28.00	5.76*
3	1	1870	6.0	40.50	28.50	5.17*
13	1	1871	6.0	40.60	28.190	5.17*
17	1	1872	6.0	40.80	29.00	5.17*
9	11	1873	7.0	40.50	25.60	5.76*
3	1	1874	6.0	40.80	28.40	5.17*
23	11	1875	6.0	40.70	28.00	5.17*
13	10	1877	8.0	40.60	27.40	6.35*
19	4	1878	8.0	40.80	29.00	6.35*
4	10	1881	6.0	41.00	26.70	5.17*
0	9	1887	6.0	40.80	29.10	5.17*
28	1	1893	7.0	40.50	52.60	5.76*
0	7	1894	9.0	40.60	28.70	6.94*
0	0	1897	6.0	40.60	30.50	5.17*
0	2	1900	5.0	40.89	26.54	4.58*
0	6	1902	5.0	40.98	27.50	4.58*
9	8	1912	10.0	40.50	27.00	60 7.75
0	9	1924	6.0	40.90	29.20	5.17*
0	12	1926	6.0	40.77	29.90	5.17*
0	1	1927	6.0	40.90	31.00	5.17*
3	5	1928	7.0	40.65	26.80	5.76*
4	1	1935	9.0	40.50	27.50	6.25
20	6	1943	9.0	40.80	30.40	6.25
5	4	1944	8.0	40.60	30.90	6.35*
24	10	1954	-	40.50	28.00	5.25
26	5	1957	9.5	40.67	30.86	7.11
2	4	1959	7.0	40.50	29.18	5.76*
28	3	1961	5.0	40.50	30.50	4.70
18	9	1963	8.0	40.50	29.10	5.91
11	4	1964	-	40.50	25.00	33 5.10
23	8	1965	-	40.50	26.20	33 5.10
30	12	1966	-	40.70	30.70	31 4.20
22	7	1967	10.0	40.70	30.80	4 7.20

I₀ = Episantrda deprem şiddeti

h = Odak derinliği

M = Richter manyitudü

*M = 0.59I₀ + 1.63 bağıntısı ile hesaplanmıştır.

Hem katalogdaki bilgilerin eksikliğini gidermek hem de bir yıl içinde meydana gelen depremlerden en şiddetli olanından geri kalanlarının sonuçlara etkisini ortadan kaldırmak amacı ile, sadece yıllık en şiddetli depremin manyitüdünü esas alan bir ihtimaller hesabı geliştirilmiştir.

Gumbel [5] tarafından geliştirilen ekstrem değerler metoduna göre, yıllık maksimum şiddetli deprem manyitüdülerinin dağılımı

$$G(M) = e^{-\alpha e^{-\beta M}} \quad (1)$$

bağıntısı ile verilir. Burada, M = deprem manyitüdü, α, β = regresyon katsayıları, $G(M)$ = bir yılda manyitüdü M'den büyük depremlerin aşılmama olasılığıdır.

Gutenberg-Richter [6] tarafından aynı amaçla deprem manyitüdü M'yi bir yıldaki tüm depremlerin adedi N'ye bağlayan

$$\log N = a - b M \quad (2)$$

formülü verilmiştir. Burada, a, b = regresyon katsayıları, N = manyitüdü M veya daha büyük olan depremlerin bir yıldaki sayısıdır. Bu iki bağıntı arasında aşağıdaki matematiksel ilişkiler mevcuttur:

$$\alpha = 10^a \quad (3)$$

$$\beta = b / \log e \quad (4)$$

$$a = \log \alpha \quad (5)$$

$$b = \beta \log e \quad (6)$$

$$N = \alpha e^{-\beta M} = -\ln G \quad (7)$$

Hesaplar birer yıl içindeki maksimum deprem yerine, kendilerini T_r yılda tekrarlayan depremler için yapılsaydı, $T_r = 1$ yıl yerine, T_r yıl konulmalı idi. Sismik aktivitenin zaman içinde üniform yayılma varsayımından hareket ederek, manyitüdü M veya daha büyük depremlerin sayısı N için

$$N = T_r \alpha e^{-\beta M} \quad (8)$$

$$N = -\ln G = -\ln(e^{-\alpha T_r} e^{-\beta M}) \quad (9)$$

yazılır. Regresyon katsayılarını bulmak için, önce her yılda bir meydana gelen en şiddetli deprem manyitüdü saptanır. Daha sonra, Gumbel dağıtım sayılarını bulmak için depremler en küçük manyitüdden başlamak üzere gittikçe büyüyen sıraya dizilerek, herbirinin karşısına tekerrür sayıları, frekansları ve kümülatif Gumbel dağılımları yazılır. En küçük kareler metodu [8] kullanılarak log N değerleri ile M manyitüdlarini temsil eden doğru parçasının

$$\log N = a - bM \quad (2)$$

denkleminde ait a ve b regresyon katsayıları hesaplanır. Manyitüdlar x-ekseninde, log N değerleri y-ekseninde alınır, bu koordinatların gösterdiği data noktalarından geçen en yakın doğru parçasının

$$y = a - mx$$

$$\log N = a - bM$$

denklemlerindeki a ve b katsayıları en küçük kareler metodu ile tayin edilir.

GUMBEL METODUNUN İSTANBUL İLİNE UYGULANMASI

İstanbul sismotektonik yöresi ve son doksan dokuz yıllık süre için maksimum yıllık deprem manyitüdlari Tablo 2'de gösterilmiştir. Tablo 1'de yanlarında yıldız işareti bulunan manyitüdlar aletsel veriler bulunmadığından

$$M = 0.59 I_0 + 1.63 \quad (10)$$

ampirik formülünden hesaplanmıştır.

İstanbul için yıllık maksimum manyitüdlar ile, yukarıda açıklandığı şekilde hesaplanan Gumbel dağıtım sayıları ve log N değerleri Tablo 3'de gösterilmiştir. Bu tablodan görüleceği üzere onbeş farklı manyitüd değeri için onbeş noktadan geçen doğru parçasının denklemi, en küçük kareler metoduna göre tayin edilmiştir. Data noktaları ile, geçirilen doğru parçası Şekil 2'de gösterilmiştir. Regresyon katsayıları için $a = 2.26$, $b = 0.546$ ve regresyon uyumluluk parametresi $r = \% 94$ olarak hesaplanmıştır. Gumbel regresyon katsayıları için, yukarıda verilen ifadeler yardımı ile

$$\alpha = 10^a = 10^{2.26} = 182 \quad \text{ve} \quad \beta = b/\log e = 1.26$$

elde edilir. O halde, İstanbul ili için deprem manyitüdlarinin dağılımları

$$G = e^{-\alpha e^{-\beta M}} = e^{-182 e^{-1.26M}}$$

$$\log N = 2.26 - 0.546M$$

bağıntısına tabidir. Bu dağılımlar, bir yıllık baz süre içindir.

TABLO 2. Yıllık Maksimum Manyitüdüler.

YIL	Mmax	YIL	Mmax	YIL	Mmax
1869	5.76	1893	5.76	1943	6.25
1870	5.17	1894	6.94	1944	6.35
1871	5.17	1897	5.17	1954	5.25
1872	5.17	1900	4.58	1957	7.11
1873	5.76	1902	4.58	1959	5.76
1874	5.17	1912	7.75	1961	4.70
1875	5.17	1924	5.17	1963	5.91
1877	6.35	1926	5.17	1964	5.10
1878	6.35	1927	5.17	1965	5.10
1881	5.17	1928	5.76	1966	4.20
1887	5.17	1935	6.25	1967	7.20

Not: Deprem bulunmayan yıllar için $M_{min} = 4.40$ kabul edilmiştir.

YER İVMESİNİN UZAKLIKLA DEĞİŞİMİ

Yer ivmesinin mesafe ile nasıl azaldığını saptayabilmek için Tablo 4'de gösterildiği gibi literatürde çeşitli ampirik formüller verilmiştir. Bu ampirik formüller birbirlerinden çok farklı sonuçlar verir. Genellikle, Amerika Birleşik Devletleri, Japonya ve Meksika depremleri için önerilmiş olan bu ampirik ivme-mesafe formüllerinin, Türkiye depremlerine de geçerli olabileceğini iddia etmek güçtür.

Ayrıca zemin şartlarını ve zemin büyütmesini içine katan ampirik formüller gereğinden fazla muhafazakardır. İvme-zaman bağıntısının tayininde en gerçekçi davranış, deprem dalgalarının önce kaya içinde yayılması esnasında uğrayacağı kayıpları araştırmak, daha sonra yapı altındaki taban kayadan serbest zemin yüzüne kadar geçen yumuşak zemin ortamında dalgaların varsa büyütme analizini saptamaktır.

Deprem dalgalarının kaya içindeki ivme-mesafe ilişkileri Kaliforniya, A.B.D. eyaletindeki depremler için gerçek sismik kayıtlara dayanılarak Gutenberg-Richter⁵ ve özellikle Schnabel, Seed⁷ tarafından tayin edilmiş ve bu çalışmalara ait normalize edilmiş eğriler Şekil 3 ve 4'de verilmiştir.

Tablo 3. İstanbul İçin Gumbel Yıllık Maksimum Dağılımı Hesapları
(1869-1968).

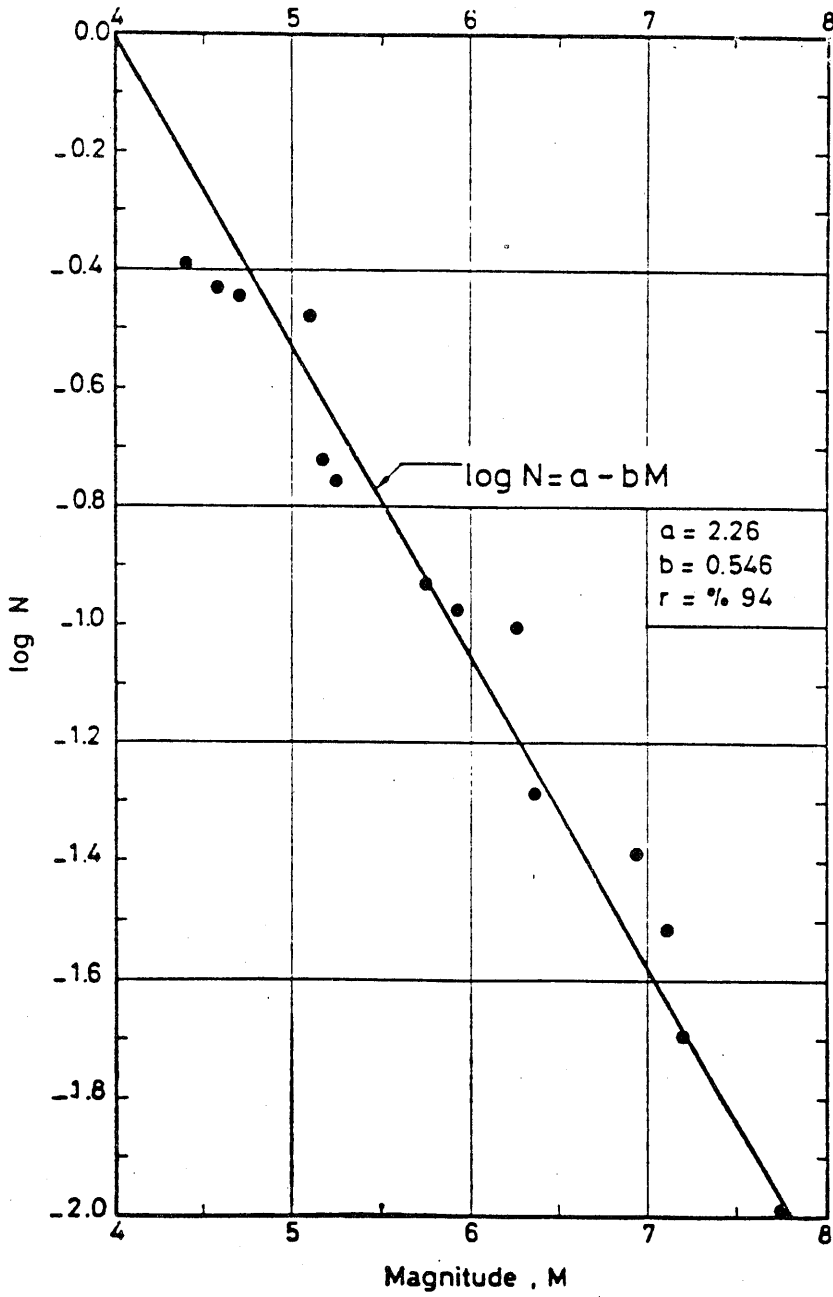
M	j	$f=j/(n+1)$	G(M)	$N=-\ln G$	logN
4.20	1	0.01	0.01	4.6052	+0.663
4.40	66	0.66	0.67	0.4005	-0.397
4.58	2	0.02	0.69	0.3710	-0.430
4.70	1	0.01	0.70	0.3567	-0.447
5.10	2	0.02	0.72	0.3285	-0.484
5.17	11	0.11	0.83	0.1863	-0.729
5.25	1	0.01	0.84	0.1743	-0.758
5.76	5	0.05	0.89	0.1165	-0.933
5.91	1	0.01	0.90	0.1054	-0.977
6.25	2	0.02	0.92	0.0834	-1.078
6.35	3	0.03	0.95	0.0513	-1.289
6.94	1	0.01	0.96	0.0408	-1.389
7.11	1	0.01	0.97	0.0304	-1.516
7.20	1	0.01	0.98	0.0202	-1.694
7.75	1	0.01	0.99	0.0100	-1.997

Not: $a=2.26$, $b=0.546$, $r=\%94$

$$\log N = a - bM = 2.26 - 0.546M$$

Kaya içinde ivmenin uzaklıkla değişimi bu eğrilerle bulunduktan sonra, yapı altında taban kayadaki ivmenin zemin yüzüne çıkıncaya kadar uğrayacağı değişiklik, dalga denklemleri kullanılarak zemin büyültme analizleri yardımı ile ayrıca tayin edilmelidir⁹.

Bu çalışmada, ivmenin sadece kaya içindeki azalışı göz önüne alınmış, ivmenin yumuşak zemin içindeki değişimini incelemeye yarayan dalga analizine yer verilmemiştir. Çünkü, dalga analizi yolu ile zemin büyütmesinin tayin edilmesi bu makalenin konusu dışındadır ve ayrıca İstanbul'da zemin durumu genellikle taban kaya tarifine girer ve kayma dalgası hızı 700 m/sn.'nin üstündedir. Kayma dalgası hızının 700 m/sn.'den daha düşük olduğu zeminlerde, ayrıca bir zemin büyültme analizi yapılması gerekir.

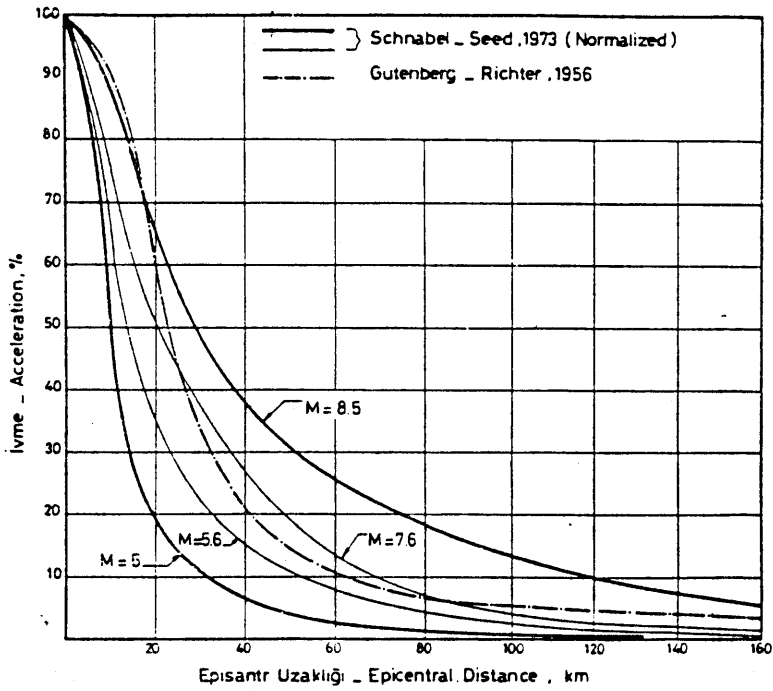


Şekil 2. Manyitüd - Log N Bağintısı

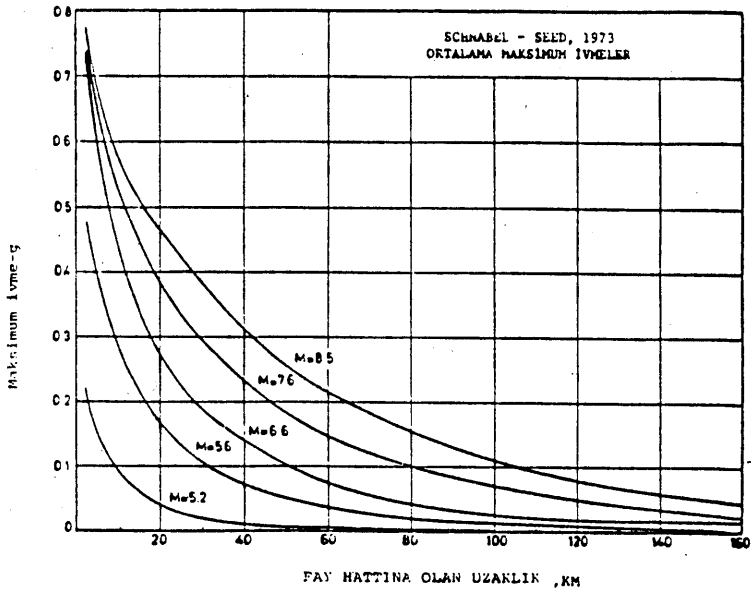
Tablo 4. Maksimum Zemin İvmesinin Uzaklıkla Değişimi için Ampirik Formüller

AMPIRİK FORMÜLLER ¹	NOT	YAZAR	ÖRNEK ²
$\log a_0 = -2.1 + 0.81M - 0.027M^2$	Uzaklık ile değişim Şekil 3'de verilmiştir.	Gutenberg, 1956	$a_0 = 177$ $a = 96$
$\log a_0 = -b + 0.81M - 0.027M^2$ $b = -1.59 + 2.47 \log(\rho v_s) - 0.41 \log^2(\rho v_s)$ $a = a_0 / (1 + (D/h)^2)$	$b = 2.0$ kaya $b = 1.2$ yumuşak zemin $\rho = \gamma/g$ $\gamma = \text{ton/m}^3$, $v_s = \text{m/sn}$.	Blume, 1956	$a_0 = 218$ $a = 79$ ($b = 2$)
$\log a = \log(5/\sqrt{T}) + 0.61M - P \log R + Q$ $P = 1.66 + 3.6/R$; $Q = 0.167 - 1.83/R$	T = Zemin hakim periyodu	Kanal, 1966	$a = 816$ $T = 0.30$
$\log v = 0.61M - P \log R - 0.631 - 1.83/R$ $a = 20v$	Nükleer Santraller için tavsiye edilmiştir.	Kanal, 1966	$v = 14$ $a = 285$
$a = 6.77 e^{0.6M} (1.1e^{1.1M} + D)^2$	—	Milne-Davenport, 1969	$a = 231$
$a = 1230 e^{0.1M} / (R + 25)^2$	—	Esteve, 1970	$a = 164$
$a = 1080 e^{0.3M} / (R + 25)^{1.1M}$	—	Donovan, 1973	$a = 235$
$a = 4.68 g 10^{M-5} / (h + 7.2 10^{M-5}) P$ $\ln P = 0.26 (D/h)^{1.5}$	Udine, İtalya'da verilen bir tebliğden	Krishna, 1977	$a = 419$

- ¹⁾ D = Episantr mesafesi, km (<10 km)
R = Hiposantr mesafesi, km
h = Odak derinliği, km
a = Maksimum ivme, cm/sn²
v = Maksimum Hız, cm/sn
- ²⁾ D = 20 km
R = 20 km
h = 15 km
M = 7



Şekil 3. Kayada İvme-Mesafe Eğrileri.



Şekil 4. Kayada İvme-Mesafe Eğrileri.

İSTANBUL İÇİN ÇEŞİTLİ İHTİMALLERİN HESABI

1. Yıllık maksimum manyitüdlerin ortalaması

$$\bar{M} = M_{\min} + 1/\beta = 4.20 + 1/1.26 = 4.99 \quad (11)$$

2. En sık vuku bulan yıllık manyitüd

$$\bar{M}_{\max} = \ln \alpha/\beta = \ln 182/1.26 = 4.13 \quad (12)$$

dür. Bu değere "modal maksimum" denir. Bu manyitüdün tekrarlama periyodu bir yıldır. Modal maksimum manyitüdün değerini bir yıllık baz süre içindeki deprem sayısını veren

$$\log N = 2.26 - 0.546M$$

denkleminde $N=1$ koymak sureti ile de bulabiliriz:

$$\bar{M}_{\max} = a/b = 2.26/0.546 = 4.13$$

3. İncelemeye konu olan sismik tarihçe $T_r=99$ yıl içinde meydana gelebilecek maksimum manyitüd, daha başka bir deyimle, tekrarlama periyodu $T_r=99$ yıl olan manyitüd

$$\log N = a - bM + \log T_r \quad (13)$$

bağıntısında $N=1$ konularak

$$\bar{M}_{\max} = \frac{a + \log T_r}{b} = \frac{4.26}{0.546} = 7.79$$

olarak bulunur. Gutenberg-Richter ihtimaller hesabı, 99 yıllık bir süre içinde meydana gelebilecek maksimum depremin manyitüdünü $M=7.79$ olarak vermektedir. Gerçekten, 1869-1968 yılları arasında, incelemeye konu olan bölgede meydana gelen en büyük manyitüd kataloğa göre, 9 Ağustos 1912 tarihli ve $M=7.75$ manyitüdü Mürefte-Şarköy depremidir. Görülüyor ki, ihtimaller hesabı ile gerçek olay arasında çok büyük bir yaklaşım ve uyum mevcuttur.

4.Yapı ekonomik ömrü bir yıl kabul edilirse, herhangi bir M veya daha büyük manyitüdü bir depremin herhangi bir yıl içinde meydana gelebilme ihtimaline, o manyitüde ait "Yıllık Risk" denir ve R ile gösterilir. Dolayısı ile, R değeri, seçilen M manyitüde veya daha

büyük bir depremin bir yıl içinde aşılabilme ihtimalidir. Yıllık risk, Gumbel dağılımının l'den olan farkıdır ve

$$R = 1 - G = 1 - e^{-\alpha e^{-\beta M}} \quad (14)$$

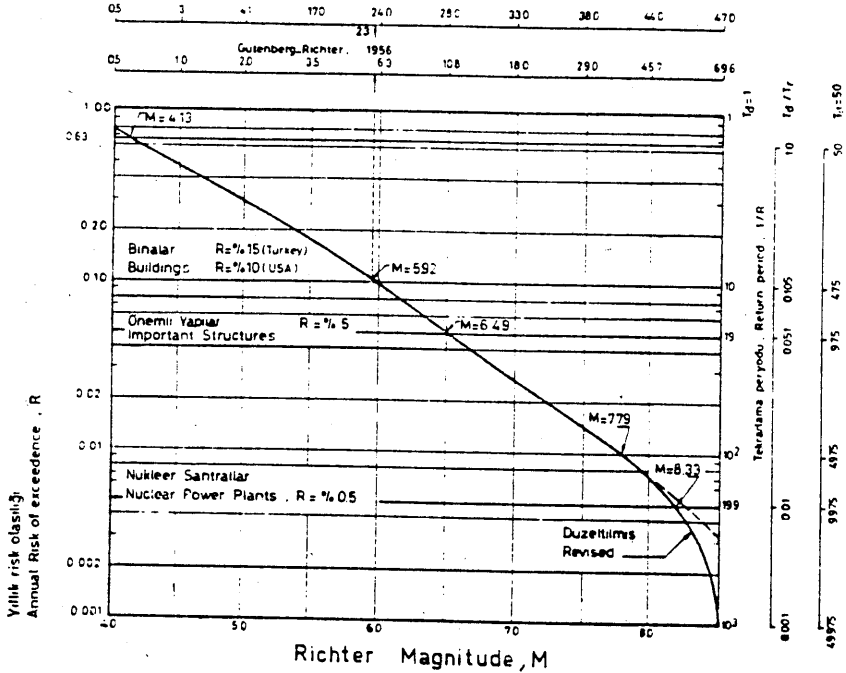
formülünden bulunur. Yıllık riskin tersi depremin tekrarlamaya periyodu olan

$$T_r = \frac{1}{R} \quad (15)$$

değerini verir. Yıllık riskin değeri R biliniyorken o riske tekabül eden manyitüdün değeri

$$M = \frac{1}{\beta} \ln \left[\frac{\alpha}{-Ln(1-R)} \right] \quad (16)$$

ifadelerinden bulunabilir. Örneğin, yıllık riski R=%1 olan manyitüdün değeri M=7.78 ve bu manyitüdün tekrarlamaya periyodu $T_r = 1/0.01 = 100$ yıldır. Yıllık riski R=%63 olan manyitüdün değeri M=4.13 ve tekrarlamaya periyodu $T_r = 1.59$ yıldır. Yıllık risk ve manyitüd değerleri Şekil 5'de grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5. Manyitüd-Risk ilişkisi.

Normal binalarda ve önemsiz yapılarda, yıllık risk $R=0.10$ ila $R=0.15$ alınır. Amerika Birleşik Devletleri'ndeki uygulamada $R=0.10$ alınmaktadır [10]. Ancak, $R=0.10$ olarak yapılan deprem hesaplarının, yönetmeliklerde öngörülen yatay yüklere göre daha muhafazakar olduğu anlaşılmıştır. Deprem yönetmelikleri ile uyum sağlanabilmesi amacıyla normal yapılarda yıllık risk miktarının bu tebliğ ile $R=0.15$ alınması önerilmektedir.

Elektrik Santralleri, postane, hastane, okul, yangın binası, su deposu, baraj ve benzeri kamu yaşantısı ile ilgili önemli yapılarda yıllık riskin $R=0.05$, nükleer santral gibi radyasyon ihtimali bulunan çok önemli yapılarda ise riskin $R=0.005$ alınması önerilmektedir. İstanbul ilinde, inşa edilecek normal yapılar ($R=10\%$), önemli yapılar ($R=5\%$) ve nükleer santraller ($R=0.5\%$) için deprem manyitüdünün değerleri Denklem 16'dan sırası ile, $M=5.92$, $M=6.49$ ve $M=8.33$ olarak hesaplanır.

5. Tekrarlama periyodu T_r yıl olan bir depremin T_r yıl içindeki sayısı $N=1$ olacağından

$$N = \alpha T_r e^{-\beta M} \quad (17)$$

ifadesinde $N=1$ konursa

$$\alpha T_r = e^{\beta M} \quad (18)$$

$$M_{\max} = \frac{\ln \alpha T_r}{\beta} \quad (19)$$

yazılır. Aynı şekilde, ekonomik ömrü T_d yıl olan bir yapının ömrü süresince meydana gelebilecek M manyitüdü veya daha büyük depremlerin meydana gelme ihtimalini veren

$$R = 1 - e^{-\alpha T_d} e^{-\beta M} \quad (20)$$

bağıntısında, $e^{\beta M} = \alpha T_r$ konursa, yıllık risk değeri ile, yapının ekonomik ömrü ve maksimum depremin tekrarlanma periyodu arasındaki

$$R = 1 - e^{-T_d/T_r} \quad (21)$$

bağıntısı bulunur. Burada, $1/T_r$ yerine yıllık risk R_1 konulursa, T_d yıl ekonomik ömür için R_d riski

$$R_d = 1 - e^{-T_d R_1} \quad (22)$$

olarak yazılır. Aynı ifadeyi, e sayısını seriye açmak R_1 'in ikinci ve yüksek dereceden terimlerini ihmal etmek suretiyle aşağıdaki şekilde yazmak kabildir:

$$e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \dots \quad (23)$$

$$R_d = 1 - (1 - R_1)^{T_d} \quad (24)$$

Örneğin, herhangi bir manyitüdün bir yıl içinde aşılma olasılığı olarak tarif edilen yıllık risk $R_1 = 0.005$ ise, $T_d = 50$ yıllık yapı ömrü süresince, aynı manyitüdün en az bir defa aşılma olasılığı, Denklem 24 yardımı ile,

$$R_d = 1 - (1 - 0.005)^{50} = 0.2217$$

$R_d = \%22$ bulunur. Normal binalarda, yıllık risk $R_1 = \%15$ alınırsa, $T_d = 50$ yıllık yapı ekonomik ömrü süresince, $M = 5.57$ manyitüdü bir depremin en az bir kere aşılma olasılığı $R_d = \%99$ ' dur. Bir depremin herhangi bir yıl içinde en az bir kere aşılma olasılığı ile aynı depremin $T_d = 30, 50$ ve 100 yıllık birer süre içinde en az birer kere aşılma olasılıkları Denklem 24'den hesaplanmış ve Tablo 5'de özetlenmiş ve ayrıca Şekil 6' da grafik olarak gösterilmiştir.

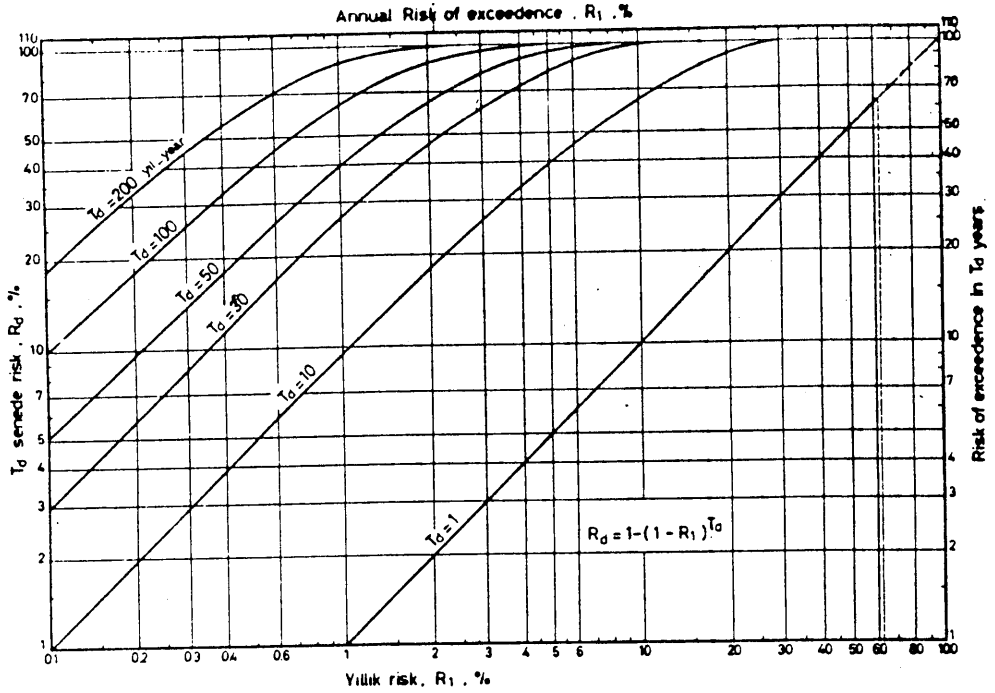
Tablo 5. Yapı Ömrü Süresinde Risk Değerleri.

1 YIL	30 YIL	50 YIL	100 YIL
0.001	0.029	0.048	0.095
0.005	0.140	0.221	0.394
0.010	0.260	0.395	0.634
0.050	0.785	0.923	0.994
0.100	0.958	0.999	1.000
0.150	0.992	0.999	1.000
0.300	0.999	1.000	1.000
0.632	1.000	1.000	1.000
1.000	1.000	1.000	1.000

Yapı ekonomik ömrü T_d biliniyorken, maksimum tekrarlama periyodu T_r , Denklem 21'den

$$T_r = \frac{-T_d}{\ln (1 - R_1)} \quad (25)$$

olarak elde edilir. Yıllık riski $R_1 = 0.005$ olan bir depremin $T_d = 50$ yıllık yapı ömrüne tekabül eden tekrarlama periyodu, Denklem 25'den, $T_r = 9975$ yıl hesaplanır.



Şekil 6.Yıllık ve Uzun Süreli Risk İlişkileri

Çeşitli yıllık risk değerleri için hesaplanan deprem manyitüdüleri ile, bu manyitüdülerin seçilen çeşitli yapı ekonomik ömürleri için tekabül ettikleri tekrarlar peryotları Tablo 6'da gösterilmiştir. Bu tablodan görüleceği üzere, ekonomik ömrü $T_d = 50$ yıl olan bir yapının maruz kalabileceği deprem manyitüdünün $M=5.57$ veya daha fazla olması ihtimali $R=\%15$ dir ve bu depremin kendisini tekrarlar peryodu $T_r = 308$ yıldır. İstanbul ili içinde bir nükleer santral inşa edilecek olsa, bu santralin $T_d = 50$ yıllık ekonomik ömrü süresinde, maruz kalabileceği en büyük depremin $M= 8.33$ manyitüdün aşılma olasılığı $R= \% 0.5$ ve böyle bir depremin tekrarlar peryodu $T_r = 9975$ yıldır.

6.İstanbul ilini etkisi altına alabilecek sismotektonik yörelerin, İstanbul ili yerleşme alanlarına ait ağırlık merkezine olan uzaklığı ortalama $d = 20$ km olarak kabul edilebilir (Şekil 1). Kaya zeminlerde ve episantrdan uzaklığı 20 km olan bir yerde, çeşitli manyitüdü depremlerin ortalama maksimum ivmelerinin ne olacağı Schnabel ve Seed [7] tarafından eğriler halinde verilmiştir. Ayrıca, episantr bölgesinde, depremin maksimum yer ivmesi a_0 için Gutenberg-Richter [6] tarafından

Tablo 6. İstanbul için Risk, Manyitüd ve Yapı Ömrü Değerleri (1869-1968)

YAPI CİNSİ	R %	M	T _d = Deprem Tekrarlama Periyodu			
			1	30	50	100
			YIL	YIL	YIL	YIL
KULLANILMAZ	63.2	4.13	1.0	30	50	100
	30	4.95	2.8	84	140	280
	20	5.32	4.5	134	224	448
NORMAL YAPILAR ⁽¹⁾	15	5.57	6.1	185	308	615
	10	5.92	9.5	285	475	950
ÖNEMLİ YAPILAR	5	6.19	19.5	585	976	1950
	2	7.23	49.5	1485	2475	4950
	1	7.78	99.5	2985	4975	9950
NÜKLEER SANTRALLAR	0.5	8.33	199.5	5985	9975	19950

⁽¹⁾ Türkiye için önerilen

⁽²⁾ A.B.D. için kabul edilmeyen olan

R = Yıllık risk

M = Richter manyitüdü

T_d = Yapı ekono. ömür⁽³⁾

Tablo 7. İstanbul için Deprem Riski Analizi sonuçları

YAPI ÇİNSLERİ	YILLIK RİSK (1)	MANYİTÜD	YER İVMESİ		ÖNERİLEN MAKSİMUM İVME		
			Schnabel Seed, 1973	Gutenberg Richter, 1956	Kaya Yüzeyde	Taban Kayada	Yumuşak Zeminde
NORMAL YAPILAR	% 15	5.57	0.17g	0.04g	0.17g	0.08g	Dalga Analizi
(A.B.D. kabullerine göre)	% 10	5.92	0.23g	0.06g	0.23g	0.11g	Dalga Analizi
ÖNEMLİ YAPILAR	% 5	6.49	0.26g	0.11g	0.26g	0.13g	Dalga Analizi
NÜKLEER SANTRALLAR	% 0.5	8.33	0.46g	0.57g	0.45g	0.23g	Dalga Analizi

(1) R = M veya daha büyük manyitüdü bir depremin yapı ekonomik ömrü içinde yer alma ihtimali.

$$\log a_0 = - 2.1 + 0.81 M - 0.027 M$$

ampirik formülü verilmiştir. Her iki cins bilgiye dayanılarak bulunan maksimum ivmelerin değerleri Şekil 5'in üst ekseninde gösterilmiştir. Bu ivmeler, kaya zemin (kayma dalgası hızı 700 m/saniye'den büyük olan bir zemin) için geçerlidir. Yumuşak zeminler için usulüne göre zemin ivme büyültme analizleri yapılarak taban kayada kabul edilecek bir ivmenin zemin yüzeyine ne miktarda yansıtacağı saptanmalıdır [11,12] İstanbul ilinde inşa edilecek yapılar için kabul edilecek deprem manyitüdüleri ve maksimum yer ivmeleri topluca Tablo 7'de özetlenmiştir. Taban kayadaki ivmeler, fizikte dalga yansıma prensibine göre, serbest yüzeydeki ivmelerin yarısı olarak alınmıştır.

İVME DAVRANIŞ SPEKTRUMU

A. Katayama metodu ile:

İstanbul bölgesinde yıllık deprem riski, diğer bir deyimle ivmenin bir yıl içinde aşılma olasılığı, % 15 olan bir depremin kaya zemin yüzeyindeki en büyük ivmesi 0.17g olarak tahmin edilmiştir. Manyitüdü bilinen bir depremin ivme davranış spektrum eğrisi için Katayama ve arkadaşları [13] tarafından

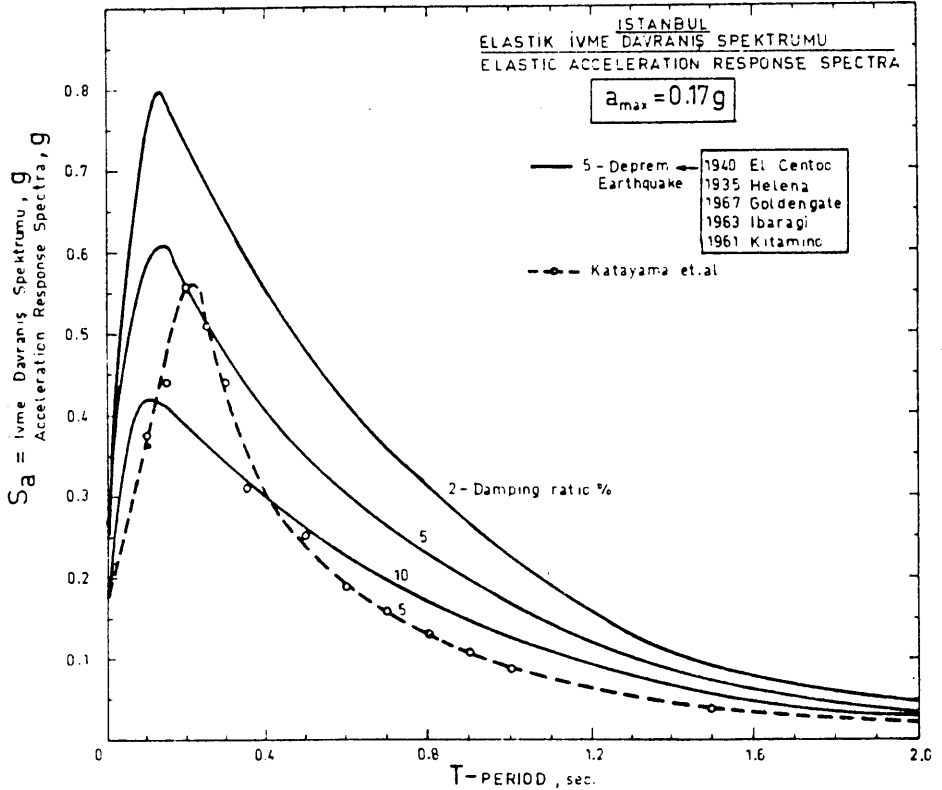
$$S_a = \alpha f_m f_d f_s \quad (26)$$

bağıntısı verilmektedir. Burada, S_a = ivme davranış spektrumu, α = ortalama değerlerinin aşılma olasılığına bağlı katsayı, f_m = manyitüde bağlı bir faktör, f_d = deprem odağına uzaklık faktörü, f_s = zemin cinsi faktörüdür. Bu faktörler, her titreşim periyodu ve % 5 sönüm yüzdesi için tablolar halinde verilmiştir. Tabloların hesaplanmasında, çeşitli manyitüde olan ve çeşitli zemin şartlarında kaydedilen 277 adet deprem kaydının spektrum eğrileri gözönüne alınmıştır. İstatistik değerlerin % 15 aşılma olasılığı için (normal yapılarda yıllık deprem riski % 15 alındığı için, tutarlılık sağlamak amacı ile, burada da aynı aşılma olasılığı kabul edilmiştir) Katayama tabloları $\alpha = 2.12$ vermektedir. Kaya zemin cinsi için f_s faktörü, odak uzaklığı $d = 6$ ila 19 km için f_d faktörü ve manyitüd aralığı $M = 5.4$ ila 6.0 için f_m faktörleri, çeşitli titreşim periyotları için Katayama tablolarından okunmuş ve ivme spektrumu Denklem 26'dan hesaplanarak grafik halinde Şekil 7'de gösterilmiştir.

B. Benzeşim yolu ile :

Kaya gibi çok sert zeminlerde kaydedilen depremlere ait spektrumlar yardımı ile, İstanbul'da kaya zemin üzerinde beklenecek şiddetli bir depremin spektrumunu tahmin etmek kabildir. Bu amaçla, Kaliforniya'daki 1940 El Centro, 1935 Helena ve 1957 Goldengate depremleri ile Japonya'daki 1963 İboragi ve 1961 Kitamino

depremlerinin ivme spektrumlarının zarf eğrisine tekabül ettiği için, bu metodu bulan ivme davranış spektrumu, yukarıda Katayama metodu ile bulunan ivme davranış spektrumuna nazaran daha muhafazakardır. Bu nedenle, normal yapılarda Katayama metodu ile bulunan ivme davranış spektrumunu kullanmak daha gerçekçi bir tutum olacaktır. Ancak, önemli olan bir husus bu spektrumların elastik davranış için geçerli olduklarıdır. Elasto-plastik davranış hali için bu spektrumdan bulunan değerleri düktilite sayısına bölmek lazımdır.



Şekil 7. İstanbul'da normal binalarda davranış spektrumu

SUNİ DEPREM KAYDI

Şekil 7'de verilen ve Katayama metodu ile bulunan spektruma tekabül eden ve maksimum ivmesi 0.17g olan bir depremin suni ivme kaydı, ters Fourier transform metodu [14,15] ile bulunmuştur. Bu ivme değerlerinden hesaplanan davranış spektrum ivmesi karşılaştırma amacı ile, noktalı çizgilerle Şekil 7'de gösterilmiştir.

İSTANBUL'DA BEKLENEN BİR DEPREHİN SUNI İVME KAYDI

(At ±0.02 sn)

-1.063	-0.032	0.512	1.819	2.106	2.162	2.079	2.450	6.469	1.507
-5.753	7.084	-4.1616	0.448	-1.786	16.910	-12.371	-9.002	-9.986	-9.986
-10.269	-12.942	18.510	17.916	27.916	18.118	-18.436	6.246	-29.261	-41.180
-23.758	-17.790	-1.159	-17.940	21.170	29.350	-8.316	27.161	-21.832	-18.390
-26.503	38.276	37.039	-40.658	-28.467	16.579	-29.205	-7.110	-79.922	-5.253
-21.086	44.117	42.429	73.917	22.950	-17.650	-46.816	-67.213	-79.922	-64.874
0.250	41.150	66.099	79.920	59.252	84.268	31.070	3.599	-29.791	-83.740
-8.503	-27.524	-98.010	-80.408	-52.007	11.024	125.720	47.912	124.806	10.510
-10.059	120.130	37.631	11.078	-19.769	-21.712	-74.718	-70.290	-1.345	-5.259
-12.481	-22.440	-2.220	102.660	87.074	5.185	-18.554	-64.082	-54.235	-37.860
-16.022	45.645	-32.736	-111.912	87.523	87.806	25.108	37.318	77.680	41.088
-70.014	-23.429	50.063	-45.434	-19.866	38.390	-28.977	125.132	20.964	-84.390
-78.317	-50.943	51.401	10.830	-24.731	-20.158	25.553	-74.550	-12.495	-90.823
-77.207	86.410	166.048	70.693	-43.061	30.734	-4.418	-4.319	-10.902	-51.818
-86.743	-58.168	12.326	40.490	40.962	32.674	67.019	-60.369	13.834	10.902
-77.093	-42.231	109.401	132.964	146.992	67.019	104.958	-63.910	-104.654	-104.654
-91.184	-64.812	-33.115	18.360	-65.325	54.927	115.510	-42.457	-104.654	-104.654
21.750	162.120	88.586	-23.850	-87.031	10.725	-75.617	-52.079	-95.409	-37.311
35.027	89.861	119.746	32.673	11.005	-36.743	-89.606	30.916	9.252	-37.311
76.166	-3.327	8.436	82.570	-20.915	-114.250	-120.620	-11.900	39.554	50.946
-3.298	-83.708	-22.285	55.160	-32.518	26.250	54.826	-107.321	-130.603	1.754
-0.757	23.670	10.901	42.603	-45.706	55.039	69.176	84.247	18.234	84.932
-97.084	38.401	-19.820	35.609	77.982	63.478	2.076	69.560	16.037	-36.630
-134.904	-90.638	77.162	32.614	11.932	106.900	34.103	64.909	16.074	-36.630
-22.766	92.025	35.714	-10.120	12.468	-94.988	-59.723	-80.466	-65.041	-92.382
-49.062	43.500	79.781	83.465	-27.818	03.489	73.686	74.587	20.656	-26.620
6.502	66.278	-153.972	-20.384	-17.946	-62.960	2.562	-1.510	-6.661	-20.177
8.993	30.276	-4.047	-50.565	32.362	102.410	5.890	13.422	9.944	12.637
-79.332	-144.607	-60.625	17.540	102.161	78.682	6.503	66.945	25.362	7.816
-47.762	-08.900	-24.371	-20.358	-25.742	11.069	-72.246	-21.983	16.332	-63.090
-08.449	18.501	20.006	39.111	75.216	115.009	49.516	7.550	-32.459	-20.355
-141.087	50.095	-20.192	-22.860	-34.585	-66.080	34.291	-25.957	76.836	27.233
-31.024	-12.445	20.101	-22.800	-69.430	26.537	-21.644	18.546	10.400	50.842
-51.337	10.160	-2.749	32.909	-14.126	73.129	-81.058	-25.320	61.550	10.510
-45.080	-92.778	-46.730	-54.212	23.543	44.659	81.737	114.790	79.050	100.523
73.083	18.920	75.617	-30.241	-20.567	49.240	1.615	7.594	31.624	28.124
2.344	-34.672	-58.287	-16.030	14.916	-60.150	-6.749	-6.749	-89.912	6.695
-105.504	-63.030	-91.763	-15.840	-46.811	117.161	-06.372	-27.016	-26.041	34.350
109.946	45.890	79.076	-20.228	-11.633	-2.268	23.719	-51.710	25.510	37.708
-26.095	87.482	48.590	-54.707	-6.205	5.990	53.017	65.862	152.739	-30.441
-37.506	-127.707	-19.982	-38.870	-125.504	30.005	-76.423	-72.349	45.944	-24.825
82.184	49.780	5.031	-70.048	4.985	52.074	124.123	16.971	-16.971	-74.440
-15.381	-109.946	8.660	57.023	30.963	-12.565	37.269	-61.530	-53.719	22.616
-70.772	-79.351	-69.289	-96.043	1.753	-59.540	40.002	-6.511	-13.634	40.299
-26.071	103.601	34.662	10.800	34.484	22.570	-0.055	32.873	27.576	-16.222
-45.004	-32.080	-73.536	-17.475	57.142	6.813	6.619	55.405	-47.452	-11.610
-06.004	129.337	92.452	100.717	162.599	21.433	-33.640	-95.190	-152.463	-136.146
-110.019	-20.317	12.604	53.472	61.477	-20.150	-17.197	-25.925	-67.936	-67.936

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

- 1.İstanbul ilinde inşa edilecek, normal önemdeki yapılar ile, önemli yapılar ve eğer inşa edilirse bir nükleer santral için kabul edilmesi uygun olacak maksimum deprem manyitüdüleri ile, kaya zeminler için maksimum yer ivmelerinin ne olacağı tayin edilmiştir.
Maksimum zemin ivmesi normal yapılarda $a= 0.17g$, önemli yapılarda $a= 0.26g$ ve bir nükleer santral için $a= 0.45g$ olarak tahmin edilmiştir.
- 2.Son 99 yıllık sismik tarihçe esas alınarak ve yıllık ekstrem değerler kullanılarak Gumbel metoduna göre yapılan ihtimaller hesabı, muhtemel şiddetli bir depremin maksimum manyitüdünü $M= 7.79$ olarak vermiştir. Son 99 yıl içinde gerçekten meydana gelen en büyük depremin manyitüdü ise $M= 7.75'$ dir. Böylece, gerçek olay ile ihtimaller hesabının büyük bir uyuşum içinde olduğu anlaşılmıştır.
- 3.Normal yapılar için yıllık risk değeri her ne kadar Amerika Birleşik Devletleri'nde % 10 kabul ediliyorsa da, deprem yönetmelikleri ile aynı paralelde kalabilmek amacı ile, yıllık risk normal yapılar için % 15 kabul edilmiştir. Yıllık risk seçildikten sonra, maksimum deprem manyitüdünün ne olacağı kendiliğinden ortaya çıkmaktadır. Ancak, yapının ekonomik ömrünün süresine göre, bu maksimum depremin tekrarlanma periyodu değişmektedir.
- 4.Önerilen maksimum yer ivmeleri kaya cinsi zeminler içindir. Kayma dalga hızı 700 m/saniye'den daha az olan yumuşak ve tabakalı zeminlerin yüzündeki ivmelerin tayini için usulüne göre, zemin büyültme analizleri yapılmalıdır.
- 5.İstanbul ili için sismotektonik yöre olarak sadece Marmara denizi ortalarında batıdan doğuya uzanan ve kuzey Anadolu fay hattını içeren dar bir şerit gözönüne alınmıştır. Romanya'nın Karpatlar yöresindeki orta sıklıktaki bir depremden veya Ege bölgesinden gelebilecek uzak orijinli bir depremin küçük ivmeli fakat yüksek periyotlu dalgaları için İstanbul'da yapılar ayrıca tahkik edilmelidir.
- 6.Dinamik analiz yolu ile bir yapının depreme karşı davranışını incelerken, şüphesiz en büyük yer ivmesinin yanısıra, deprem hareketinin frekans muhtevası ve depremin süresi de gözönünde bulundurulmalıdır.
- 7.Normal yapılarda % 15 yıllık deprem riski için bulunan 0.17 g maksimum yer ivmesine tekabül eden elastik ivme davranış spektrumu tayin edilmiştir. Ayrıca, bu spektruma uyacak suni bir deprem kaydının ivme ordinatları hesaplanmış ve tablo halinde verilmiştir. Böylece, dinamik analiz yolu ile yapıların davranışlarını hesaplayacak olanlara İstanbul bölgesi için gerekli deprem doneleri verilmiş olmaktadır.

KAYNAKLAR

- 1."Reactor Site Criteria" Federal Register, Vol. 38, No.218, Part 100, United States Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C., U.S.A., November, 1973.
- 2.Ergin, K., Güçlü, U., and Uz, Z., "A Catalogue of Earthquakes for Turkey and Surrounding Area (11 AD-1964 AD)", Technical University of Istanbul, Faculty of Mining Engineering, Pub. No.24, 1967.
- 3.Ergin, K., Güçlü, U., and Aksay, G., "A Catalogue of Earthquakes for Turkey and Surrounding Area (1965-70)", Technical University of Istanbul, Faculty of Mining Engineering, Pub. No.28, 1971.
- 4.UNDP/UNESCO Survey of the Seismicity of the Balkan Region, Catalogue of Earthquakes, Part I and II, UNESCO, Skopje, 1974.
- 5.Gumbel, E.J., "Statistics of Extremes", Colombia University Press, N.Y., U.S.A.
- 6.Gutenberg, B., and Richter, C.F., "Earthquake Magnitude, Intensity, Energy and Acceleration", Bull. Seism. Soc. of America, Vol. 32, No. 3, July.
- 7.Schnabel, P., and Seed, H.B., "Acceleration in Rock for Earthquake in the Western United States", Bull.Seism.Soc.Amer.,63,pp.501-516.
- 8.Kreyszig, E., "Advanced Engineering Mathematics", John Wiley and Sons Inc., 1967.
- 9.Tezcan, S.S., "Estimation of Design Earthquake Ground Motion", Proceedings of the VIth Unesco Regional Seminar on Earthquake Engineering, Primorsko, Bulgaria, Sept. 2-15, 1978. Boğaziçi Üniversitesi, DMAE Dahili Rapor No. 78-20E.
- 10.Algermissen, S.T., and Perkins, D.M., "A Probabilistic Estimate of Maximum Acceleration in Rock in the Contiguous United States", U.S. Geological Survey, Open File Report 76-416, 1976.
- 11.Schnabel, P.B., Lysmer, J., and Seed, H.B., "SHAKE, A Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites", Earthquake Engineering Research Center, Report EERC 72-12, Univ. of Calif., Berkeley, U.S.A.
- 12.Tezcan, S.S., and İpek, M., "Shear Wave Propagation in Layered Soils", Internal Report, Department of Civil Engineering, Boğaziçi University, Istanbul.
- 13.Katayama, T., Iwasaki, T., and Saeki, M., "Prediction of Acceleration Response Spectra for Given Earthquake Magnitude, Epicentral Distance and Site Conditions", Bulletin of Earthquake Resistance Structure Research Center, No.11, Dec. 1977, The Institute of Industrial Science, University of Tokyo.
- 14.Gasparini, D.A., and Vanmercke, E.H., "Simulated Earthquake Motions Compatible with Prescribed Response Spectra", Department of Civil Engineering, M.I.T., Publication No. R76-4, January, 1976.
- 15.Tezcan,S, Acar,Y, ve Çivi, A."İstanbul İçin Deprem Riski Analizi" Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni, Cilt 7, Sayı 26, ss.5-34