

DEPREM DALGALARININ ZEMİN BÜYÜTMESİ ÜZERİNE ÖRNEKLER

Kubilay Kaptan*, Semih Tezcan

¹Afet Eğitim, Uygulama ve Araştırma Merkezi, İstanbul Aydın Üniversitesi

²İnşaat Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi, Boğaziçi Üniversitesi, Bebek, İstanbul

Özet

Nispeten yumuşak ve tabakalı zeminler içinden geçerken, taban kayadaki deprem dalgası genliklerinin büyüldüğü analitik olarak açıklanmıştır. Önce, zemin büyültmesinin yaşandığı eski depremlerden bazı örnekler verilmiş, daha sonra yumuşak zemine oturan üç ayrı bina inşaat projesi a) Emlâk Bankası Ataköy Konutları, b) Uluslararası Tekstil Ticaret Merkezi, Bursa ve c) Emlâk Bankası Mavişehir konutları, İzmir için ayrıntılı zemin bilgileri verilmiş ve zemin büyültme analizleri yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Deprem Dalgaları, Zemin Büyütmesi, Depremler.

Abstract

It is demonstrated analytically that the amplitudes of earthquake shear waves may be greatly amplified while propagating through the soft soil layers. Firstly, the real examples of soil amplification have been presented from the past earthquakes. Secondly, the case studies of soil amplification have been discussed for three separate housing projects situated at soft soil conditions. Namely, a) Emlâk Bank Housing Complex at Ataköy, Istanbul, b) International Trade Center for Textile, Bursa, c) Emlâk Bank Mavişehir Housing Complex, Izmir.

Key Words: Seismic Waves, Amplicifaction of Earthquake Shear Waves, Earthquakes.

1. Genel

Taban kayaya ulaşan deprem dalgaları, tabakalı bir zemin ortamında yukarıya doğru yayılırken, titreşimin frekans muhtevası (hakim periyodu) ve titreşimin genlikleri önemli ölçüde değişikliğe uğrayabilir. Ardışık zemin tabakalarının birbirlerine göre relâtif olarak yoğunluk, rijitlik, kalınlık, kayma dalgası hızı, sönüm oranı ve diğer fiziksel ve kinematik özellikleri ve şüphesiz yayılan deprem dalgalarının şiddeti zemin büyütmesinin nicelik ve niteliğini etkileyen en önemli parametrelerdir. Tabakalı zeminlerde büyütme analizi yapmak için, a) nokta-kütle modeli, b) kayma dalgası denklemlerinin tek boyutlu ortam modeli veya c) sonlu elemanlarla dalga denklemlerinin iki veya üç boyutlu ortam modeli kullanılabilir. Zemin tabakalarının yatay olmadığı haller [1], yayılan dalganın tabaka arakesitlerine 90 dereceden farklı bir açı ile gelmesi hali [2] ve iki boyutlu ortamda sonlu elemanlarla dalga yayılışı etüdü [3] literatürde ayrıntıları ile incelenmiştir. Bu çalışmada zemin büyütme etütleri için, esas itibarı ile, *SHAKE* paket programı [4] kullanılmıştır. Örnek bina projelerinde, zemin büyütme analizlerinin sonuçları bir kere de Boğaziçi Üniversitesinde geliştirilen *WAVE* paket programı ile kontrol edilmiştir [5, 6].

2. Eski depremlerde zemin büyütmesi

Deprem dalgalarının tabakalı zeminlerde genliklerinin ve hakim titreşim periyotlarının büyüdüğü ve yarı rezonans hadisesini oluşturarak, uzak mesafelerde önemli yapı hasarlarına neden olduğu deprem mühendisliğinde son otuz beş yıldan beri bilinen ve sık sık rastlanılan bir fenomendir. Rusya'da 1964 yılında Alma Ata Depremi'nden dolayı yaklaşık 1,050 kilometre uzaktaki Taşkent'te bazı yüksek katlı binaların yıkılması, deprem dalgalarının bu “ uzak mesafe ” etkilerinden dolayıdır. Aynı şekilde, 28 Mart 1970 Gediz Depremi'nin ($M=7.1$) odak noktasından 135 kilometre uzakta ve sağlam zeminin hakim olduğu Bursa'da hiçbir binada en ufak bir çatlak dahi olmadığı halde, Bursa Ovasında Tofaş otomobil fabrikası boya atölyesi binalarının yıkılışı depremin uzak mesafe etkilerinin ve deprem dalgası genliklerinin tabakalı yumuşak zeminler tarafından büyütülmesinin en bariz örneklerinden biridir [7, 8, 9, 10].

Romanya'da Karpat Dağları'nın eteğinde Vrancea'da meydana gelen 4 Mart 1977 Depremi'nin ($M=7.2$) odak noktasından 270 kilometre uzakta Bulgaristan-Romanya sınırını oluşturan Tuna Nehri'nin iki yakasındaki Zimnicea ve Svistov kentlerinde, bazı binaların ve fabrikaların ağır hasar görmelerinin nedeni de, yumuşak ve tabakalı zeminlerde deprem dalgalarının genliklerinin büyütülmesidir. [11]. Meksika'da meydana gelen 19 Eylül 1985 Mexico City Depremi'nde ($M=8.1$) Pasifik Okyanusu'ndaki odak noktasından yaklaşık 350 kilometre uzakta Mexico City şehrinde, kategorik olarak orta yükseklikteki, 6 ilâ 20 katlı binalar ağır hasar görmüştür. Bunun tek nedeni, orta yükseklikteki bu binaların doğal titreşim periyotlarının, yumuşak zemin yüzeyinde oluşan deprem dalgalarının hakim periyotları ile çakışması sonucu binaların deplasman davranışlarındaki beklenmedik artışlardır [12, 13].

En son olarak, 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi'nde ($M=7.4$), odak noktasından 110 kilometre uzaklıktaki Beşiktaş Barbaros Bulvarı Bayındırlık İl Müdürlüğünde sağlam zemin üzerinde maksimum yer ivmesi sadece 0.06 g olarak ölçüldüğü halde, odak noktasından 140 kilometre uzaklıktaki Avcılar Aliğa Termik Santralında maksimum yer ivmesi 0.25 g'ye yükselmiş ve bu yüksek ivme bölgede 30 kadar binanın yıkılmasına 1,000'i aşkın can kaybına ve diğer binlerce binanın da orta veya ağır şiddette hasar görmesine neden olmuştur.

3. Dalga genliklerinin süper pozisyonu

Bir tabakalı zeminde T_0 = hakim titreşim periyodu, H = tabaka kalınlığı ile doğru ve v_s = zeminin kayma dalga hızı ile ters orantılıdır:

$$T_0 = 4H/(2n - 1)v_s \quad (1)$$

Burada, $n = 1, 2, 3$ gibi titreşim modunu belirleyen bir sabittir. Eğer, kayma dalgalarının yatay tabakalı bir zemin ortamında aşağıdan yukarıya sadece düşey doğrultuda ilerlediklerini kabul edersek u = yatay deplasman bileşeni için, diferansiyel dalga denklemi

$$G \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + c \frac{\partial^3 u}{\partial x^2 \partial t} = \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (2)$$

şeklinde basitleştirilebilir [6]. Burada, x = zemin yüzeyinden aşağı doğru ölçülen uzaklıklar, G = kayma modülü, ρ = birim hacim için zeminin kütlesi, c = birim kayma deformasyonunun birim hızı için viskozite katsayısı'dır. Bu katsayının birimi (gerilme x saniye) cinsindedir. Herhangi bir x - derinliğinde τ = kayma gerilmeleri ile γ = kayma şekil değiştirmesi arasındaki ilişki için

$$\tau = G\gamma + c \frac{\partial \gamma}{\partial t} \quad (\gamma = \partial u / \partial x) \quad (3)$$

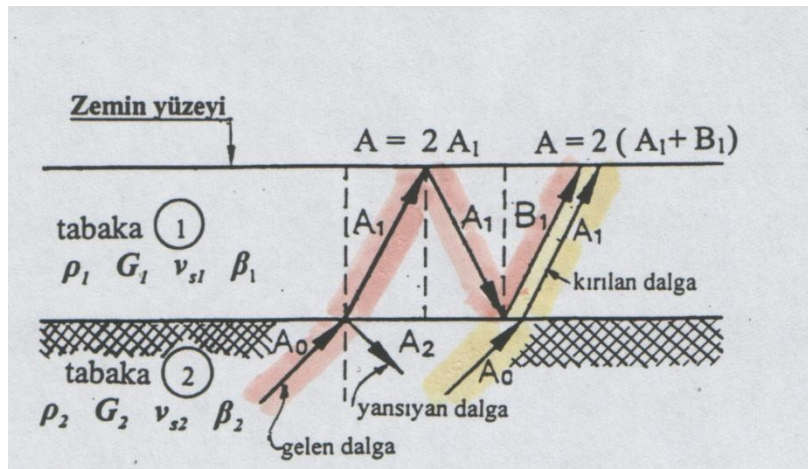
yazılır. Ayrıca, kayma modülü ile viskozite katsayısı arasında da, β = kritik sönüm oranı yardımı ile bir ilişki kurmak mümkündür. Tek kütleli bir sistem için kritik sönüm oranı $\beta = c/c_{cr}$ yazılır ve c_{cr} = kritik sönüm oranı için, k = yay katsayısı ve ω = açılal frekans cinsinden

$$\omega^2 = k/m \quad \text{ve} \quad c_{cr} = 2\sqrt{km} = 2k/\omega \quad (4)$$

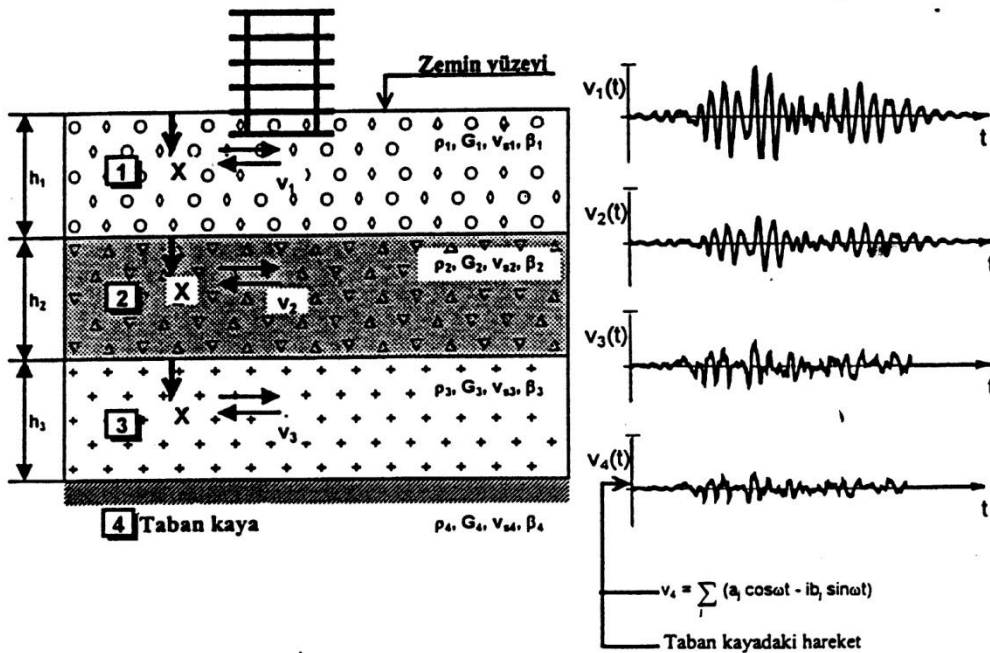
olduğu hatırlanır ve kayma deformasyonları için $k = G$ kabul edilirse

$$\beta = c/c_{cr} = c\omega/2G \quad (5)$$

bulunur.



Şekil 1. Tek tabakalı bir ortamda eşit faz aralıkları ile yüzeye gelen kayma dalgalarının genliklerinin büyümesi



Şekil 2. Çok tabakalı bir ortamda kayma dalgalarının yayılışı ile ilgili parametreler

Tek tabakalı bir ortamda eşit faz aralıkları ile yüzeye gelen kayma dalgalarının genliklerinin ne şekilde büyütüldüğü Şekil 1'de görülmektedir. Çok tabakalı bir ortamda kayma dalgalarının yayılışı ile ilgili parametreler ise Şekil 2'de gösterilmiştir. Tek tabaka halinde diferansiyel dalga denkleminin çözümü için

$$u = Ae^{-ikx} e^{-i\omega t} \quad (6)$$

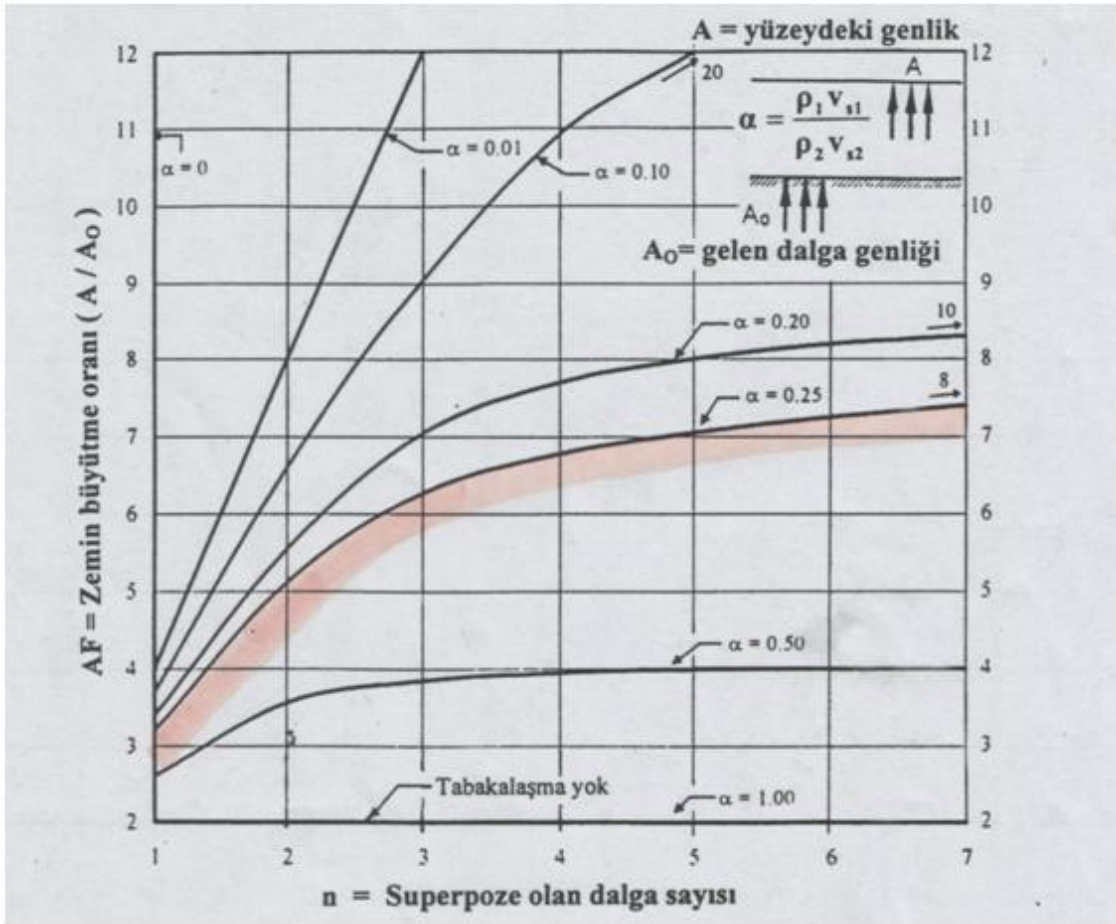
yazılır ve her iki tabakanın ara kesitinde deplasman ve gerilme sürekliliği şartları sağlanırsa kırılan (A_1) ve yansıyan (A_2) dalgalarının genlikleri için sırası ile,

$$A_1 = 2A_0 / (1 + \alpha) \quad (7)$$

$$A_2 = (1 - \alpha)A_0 / (1 + \alpha) \quad (8)$$

$$\alpha = \rho_1 v_{s1} / \rho_2 v_{s2} \quad (9)$$

elde edilir. Burada, α = yavaşlatma oranı (*impedance ratio*) dur. Çeşitli sayıda dalgaların aynı faz aralıkları ile yüzeye ardarda ulaşması halinde gelen dalgaların A_0 genliklerinin, bir tabakalı zemin yüzeyinde ne kadar büyütüleceği $AF = A / A_0$ amplifikasyon oranı halinde Şekil 3'de verilmiştir.

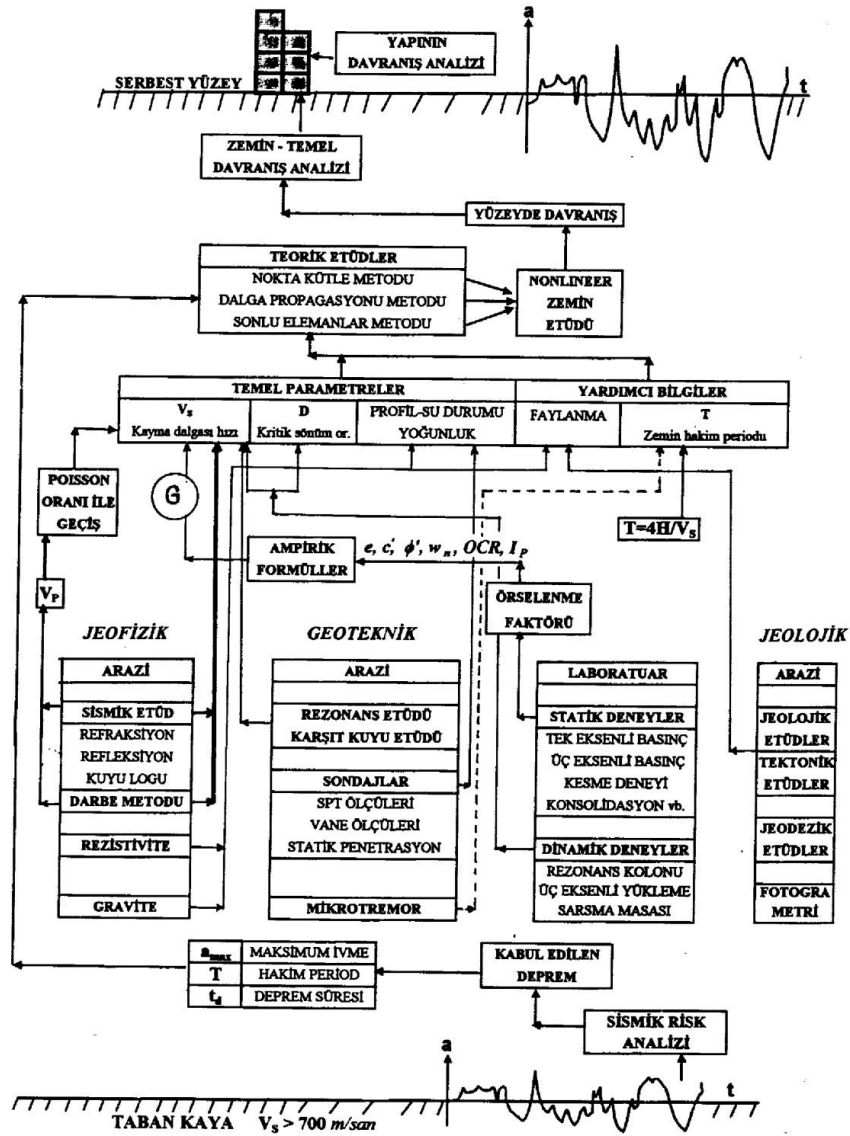


Şekil 3. Amplifikasyon oranları

Tabakalar arasındaki relatif rijitliği temsil eden $\alpha =$ yavaşlatma oranı ne kadar küçükse kısaca kayma dalgası hızları birbirlerinden ne kadar çok farkederse, zemin büyültmesini temsil eden AF faktörü de o kadar büyük olur.

4. Zeminin dinamik parametreleri

Zemin tabakalarının sismik büyültme analizini yapabilmek için, her tabakanın fiziki ve mekanik özelliklerini hassas bir şekilde hem arazi hem de laboratuvar deneyleri ile tayin etmelidir. Belirlenmesi gereken en önemli özellikler genel olarak şunlardır:



Şekil 4. Jeoloji, jeofizik ve jeoteknik mühendisliğin çalışma alanlarına giren çeşitli ölçüm teknikleri

Tabaka kalınlıkları, genel stratigrafi, ara kesitin yatayla yaptığı açılar, kayma ve basınç dayanım güçleri, elek analizleri, konsolidasyon verileri, mineral bilgileri, tabii su muhtevası, Atterberg limitleri, birim ağırlıkları, içsel sürtünme açısı, kohezyon katsayısı, relatif sıklık, aşırı konsolidasyon oranı, boşluk oranı, ion değişimi kapasitesi, duyarlılık, şişme parametreleri, sıkışma endeksi, kayma modülü, kritik sönüm oranı, Poisson oranı, kayma ve elastisite modülleri, titreşimli kayma dayanımı, sismik dalga hızları, çatlak yoğunlukları, geçirgenlik katsayısı v.b. [14, 15, 16]. Bu parametreleri gerçekçi bir şekilde tayin edebilmek ve aralarında korelasyon kurabilmek için jeoloji, jeofizik ve jeoteknik mühendisliğinin çalışma alanlarına giren [17] çok çeşitli ölçüm tekniklerinden yararlanılmalıdır (Şekil 4). Kayma modülü ile, kritik sönüm oranının birim kayma deformasyonu ile değişimlerini tayin etmek çok önemlidir. Kayma modülünü, karşıt kuyu deneyi ile arazide ölçülen kayma dalgası hızından $G = \rho v_s^2$ yolu ile bulmak en sağlıklı bir yöntemdir [18, 19, 20, 21]. Karşıt kuyu deneyi yapılmayan hallerde, kayma dalgası hızı, $N =$ penetrasyon darbe sayısı yardımı ile,

$$v_s = 92.IN^{0.33} \quad (m/san) \quad (10)$$

ampirik formülünden hesaplanabilir [22]. Zemin numunelerinin kritik sönüm oranlarını ve elastisite modüllerini bulmak için üç eksenli titreşim deneyi çok yararlıdır. Kayma modülünü bulmak için en etkin metotlardan biri de, silindirik bir zemin numunesinin, “*rezonans kolonu*” deneyi ile, burulma titreşimleri altında elde edilen gerilme-deformasyon eğrisini kullanmaktır. Zemin büyültme analizi için geliştirilen WAVE paket programında [5, 6] kayma modülü ve kritik sönüm oranını bulmak için, granüler veya kohezyonlu zeminlerde çok küçük birim kayma deformasyonu haline karşı gelmek üzere, aşağıdaki ampirik formüller kullanılmıştır [23] :

$$G_{max} = 1031(2.97 - e)^2 (OCR)^a \sqrt{\sigma_o} / (1 + e) \quad (11)$$

Burada, $e =$ boşluk oranı, $OCR =$ aşırı konsolidasyon oranı, $\sigma_o =$ ortalama düşey efektif gerilme (ton / m^2), $a =$ plastisite indisine bağlı bir sayı olup, yardımcı bağlantılar şunlardır:

$$\sigma_o = (1 + 2K_o) p_v / 3 \quad (12)$$

$$K_o = 1 - \sin \phi' \quad (13)$$

$$a = 1.33I_p - 3.33I_p^2 + 7.19I_p^3 - 7.29I_p^4 + 2.60I_p^5 \quad (14)$$

Burada, I_p = Plastisite indisi, p_v = düşey efektif gerilme, K_o = sükunetteki yatay zemin basıncı katsayısı, ϕ' = efektif kayma mukavemeti açısıdır. Laboratuvarda statik veya dinamik deneylerle veya başka metotlarla bulunmamış olduğu takdirde ve çok küçük bir birim kayma deformasyonu hali için β_{max} = maksimum kritik sönüm yüzdesi şöyle verilmektedir:

$$\beta_{max} = k - n \quad \text{kumlarda} \quad \text{ve} \quad \beta_{max} = k - m \quad \text{killerde} \quad (15)$$

$$n = 1.5 \log N \quad (16)$$

$$m = (3 + 0.03f) \sqrt{0.1\sigma_o} - 1.5 \sqrt{f} + n \quad (17)$$

Burada, kuru kumlarda $k = 33$, suya doymuş kumlarda $k = 28$ ve killerde $k = 31$, N = titreşim devir adedi, f = deprem titreşimi hakim frekansdır.

5. Uygulama Örnekleri ve Deprem Yönetmeliğimiz

Yukarıda ayrıntıları ile verilen ampirik ve teorik bilgiler kullanılarak tabakalı ve özellikle yumuşak zeminlerde, deprem hareketi genliklerinin zemin yüzeyinde ne kadar büyütüleceğini bulmak için rahatlıkla kullanılabilir. Ancak, önemli olan, bazı zemin parametrelerinin, özellikle, her tabakadaki kayma dalgası hızının, boşluk oranının, içsel sürtünme açısının ise Attabrebg limitlerinin uygun arazi ve laboratuvar deneyleri ile tayin edilmesidir.

Nitekim 2007 tarihli Türkiye Deprem Yönetmeliği **Madde 2.4.4'de** yumuşak ve tabakalı zeminlerde, özel tasarım ivme spektrumu oluşturabilmek için; **“Yerel deprem ve zemin koşullarının göz önüne alınması ve özel araştırmalar yapılması”** istenmektedir. Aşağıda, bu gibi yumuşak ve tabakalı zeminlerde yapılan zemin büyültme analizlerinden gerçek örnekler verilmiştir. Bu örneklerden görüleceği üzere, eğer zemin tabakalı ve nispeten yumuşak ise, zemin yüzeyindeki ivmeler, beklenmedik oranlarda büyüyebilir ve neticede binaların taşıyıcı sistemleri, beklenmedik oranlarda zorlanmalara maruz kalabilir [24, 25].

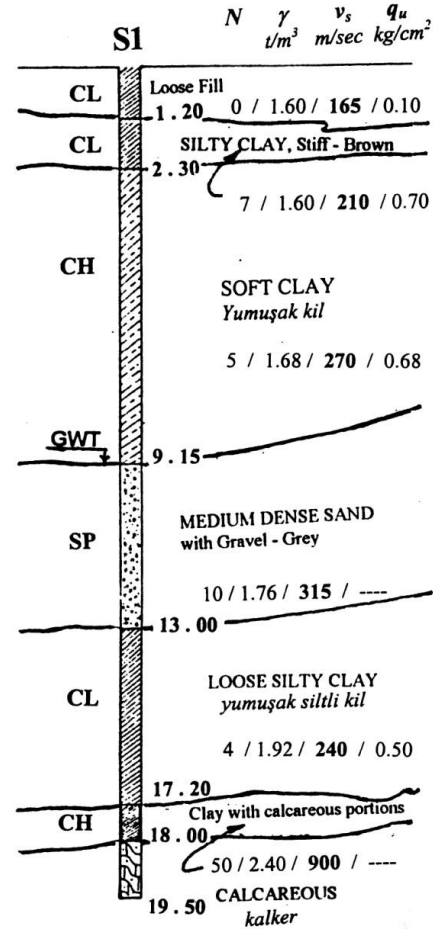
Ne yazık ki, 2007 tarihli en son Deprem Yönetmeliğimiz, yüksekliği 60 metreyi geçmeyen konut, otel, v.b. binalarda, arazi ve laboratuvar deneylerine dayanan kapsamlı bir zemin etüdünü **‘zorunlu’** görmemektedir (Madde 6).

6. Emlâk Bankası konutları, Ataköy

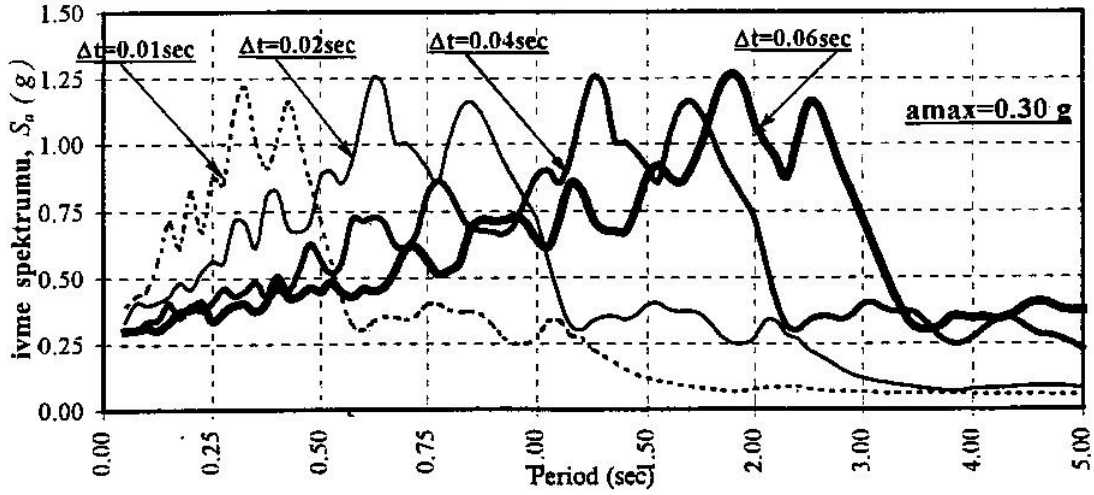
Emlâk Bankası'nın İstanbul Ataköy 6ncı kısım konutları 1980'li yıllarda inşa edilmiştir. (Şekil 5). Geoteknik şirketi tarafından 1976'da yazılan zemin raporundan alınan S1 sondajına ait bilgiler Şekil 6'da gösterilmiştir. Taban kayada 1952 Pasadena, California deprem kaydı alınmış ve $\Delta t = 0.01$ saniye ve $a_{max} = 0.30$ g kabul edilmiştir. Taban kayadaki deprem kaydının ivme spektrum eğrilerine bakıldığında (Şekil 7), büyültmenin $(1.25 \text{ g} / 0.30 \text{ g}) = 4.2$ mertebesinde ve titreşim hakim periyodunun $T_o = 0.32$ saniye olduğu görülür. Şüphesiz, Pasadena deprem kaydı için bulunan büyültme oranları, bir başka deprem kaydı için farklı olabilir. Doğru olanı, birden fazla deprem üretilmesidir [26, 27, 28, 29].



Şekil 5. Emlâk Bankası'nın İstanbul Ataköy 6ncı kısım konutları

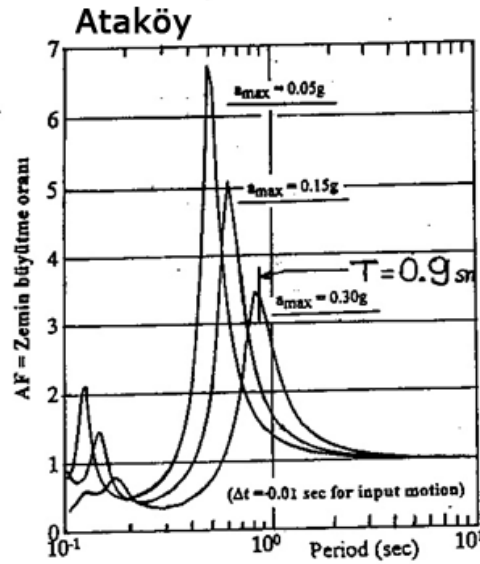


Şekil 6. Zemin raporundan alınan S1 sondajına ait bilgiler



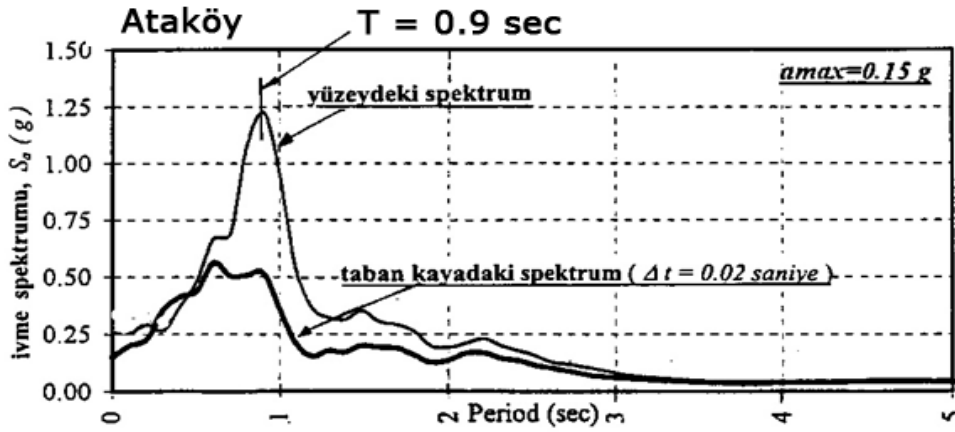
Şekil 7. Taban kayadaki deprem kaydının ivme spektrum eğrileri

Kayma dalgası büyütme analizi yapılarak taban kayada 0.05 g, 0.15 g ve 0.30 g değerindeki maksimum ivmelerin, zemin yüzeyinde sırası ile 6.7, 5.0 ve 3.5 kere büyütüleceği ve zemin hakim periyodunun $a_{max} = 0.30g$ hali için $T_o = 0.9$ saniye değerine yükseleceği hesaplanmıştır. (Şekil 8).



Şekil 8. Zemin hakim periyodu

Şekil 8'den görüleceği üzere taban kayadaki ivme değeri büyüdükçe, yer yüzeyindeki büyütme oranları küçülmektedir. Taban kayadaki ivme kaydının spektrumu ile, yüzeydeki ivme spektrumu arasındaki fark Şekil 9'da bütün çıplaklığı ile gösterilmektedir.



Şekil 9. Taban kayadaki ivme kaydının spektrumu ile, yüzeideki ivme spektrumu arasındaki fark

Emlâk Bankası Ataköy 6ncı kısımdaki binaların çoğunun 16 katlı olduğu ve dolayısı ile birinci elastik periyotlarının $T_1=1$ saniye mertebesinde olduğu düşünülürse, şiddetli bir depremde “yari rezonans” hadisesinin oluşacağı ve binaların çok önemli zorlanmalara maruz kalacağı anlaşılmaktadır [30].

7. Bursa Uluslararası Tekstil Ticaret Merkezi

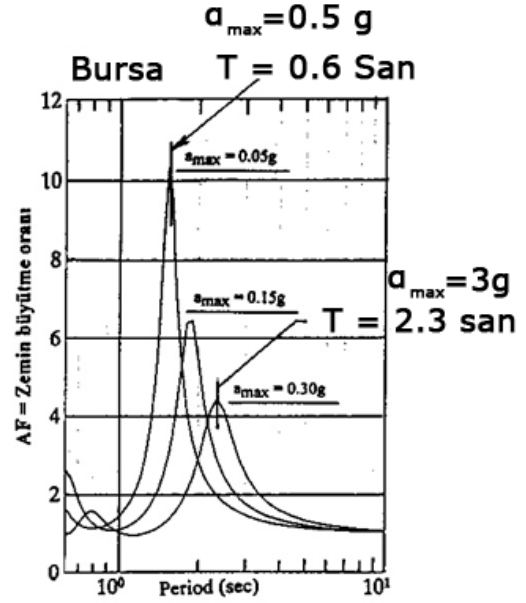
Ticaret Merkezinin çekirdek binası 25 katlı olup 1995 yılında kazıklı temeller üzerine inşa edilmiştir. (Şekil 10).



Şekil 10. Bursa Ticaret Merkezi

Geoteknik şirketinin 1990 yılında hazırladığı raporun S8 sondajı ve diğer bazı geodinamik parametreler Şekil 11’de gösterilmiştir. Taban kayada 1952 Pasadena, California depreminin ivme kaydı için $\Delta t = 0.01$ saniye zaman aralığı ve $a_{\max} = 0.05$ g, 0.15 g ve 0.30 g ivme değerleri kabul edilmiştir. Zemin yüzeyindeki büyültme oranları Şekil 12’den görüleceği üzere, sırası ile, 10.2 , 6.4 ve 4.3 ve zemin hakim periyotları $T_0 = 1.50$ saniye, $T_0 = 1.90$ saniye ve $T_0 = 2.2$ saniye olarak hesaplanmıştır. Zemin büyültme oranları ile zemin hakim periyotları için bulunan bu değerler Bursa ovasında 1973 yılında yapılan geniş kapsamlı jeofizik etütlerin sonuçları ile büyük bir uyuşum içindedir [8,9,10,11].

	h (m)	N	β (%)	γ (t/m^3)	v_s (m/s)	q_u (kg/cm^2)
Kil GWT	1,4					
Orta Siltli Kum	4	18	0,05	1,76	315	2,25
Kumlu Çakıl	9,5	34	0,05	1,76	420	-
Siltli Kil	10,3	16	0,05	1,92	295	2,00
Çakıllı Kum	13,0	29	0,05	1,76	390	-
Siltli Kumlu Kil	14,5	16	0,05	1,92	295	2,00
Siltli Çakıllı Kum	22,5	24	0,05	1,92	330	3,00
Kumlu Kil	25,0	16	0,05	1,92	295	2,00
Siltli Kil	28,3	24	0,05	1,92	330	3,00
Kıllı Kum		28	0,05	1,92	375	-
Taban Kaya	120,0	>50	0,00	2,40	900	-



Şekil 12. Zemin yüzeyindeki büyültme oranları

Şekil 11. S8 sondajı ve diğer bazı geodinamik parametreler

8. Emlâk Bankası Mavişehir konutları, İzmir

Genelde 14 katlı olarak 1996 yılında inşa edilen ve Şekil 13 de gösterilen bu konutların Zetaş şirketi tarafından yapılan zemin etütlerinden alınan S23 sondajına ait bilgiler Şekil 14’te gösterilmiştir.

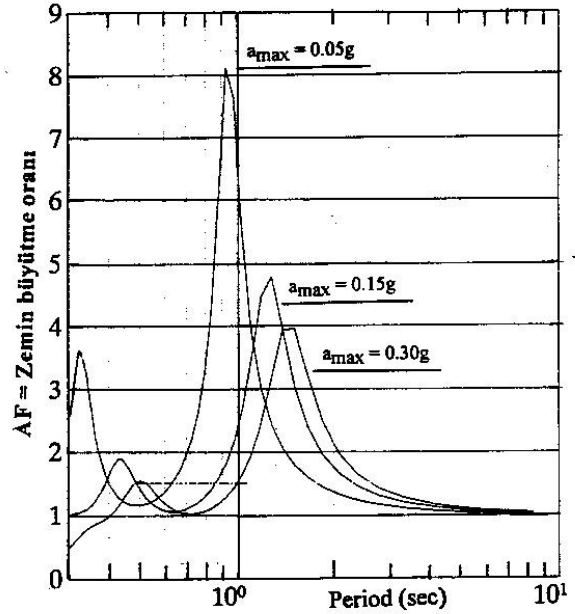


Şekil 13. Emlâk Bankası Mavişehir konutları, İzmir

Taban kayada 1952 Pasadena, California depreminin ivme kaydı için $\Delta t = 0.01$ saniye zaman aralığı ve $a_{\max} = 0.05$ g, 0.15 g ve 0.30 g ivme değerleri kabul edilmiştir. Zemin yüzeyindeki büyültme oranları, Şekil 15'den görüleceği üzere, sırası ile 8.1, 4.7 ve 4.0 ve zemin hakim periyotları $T_o = 0.90$, $T_o = 1.20$ ve $T_o = 1.30$ saniye olarak hesaplanmıştır. Kayma dalgalarının tabakalı zeminlerde yayılışı ve zemin büyütmesi ile ilgili örnek konut projeleri hakkında daha ayrıntılı bilgiler topluca bir tez çalışması içinde verilmiştir [30].

GWT	h (m)	N	β (%)	γ (t/m^3)	v_s (m/s)	q_u (kg/cm^2)
Siltli Kum	0-3	0	0,05	1,60	45	-
Siltli Kumlu Kil	3-8	5	0,05	1,92	150	1,02
Orta Sıkı Kum	8-15	13	0,05	1,92	210	-
Orta Kattı Kil	15-25	21	0,05	1,92	230	5,00
Kumlu Kil	25-30	31	0,05	1,92	270	8,00
Sıkı Çakıllı Kilitli Kum	30-34,5	42	0,05	2,00	315	-
Çakıl	34,5-60	>50	0,05	2,08	390	-
Taban Kaya	60	-	0,00	2,40	900	-

Şekil 14. S23 sondajına ait bilgiler



Şekil 15. Zemin yüzeyindeki büyültme oranları,

9. Sonuçlar

Göz önüne alınan üç ayrı bina projesinde de, yumuşak zemin tabakalarının, taban kayadaki ivme kaydının maksimum ivme değerini ve bunun yanı sıra ivme spektrumunun hakim titreşim periyodunu önemli ölçüde büyüttüğü görülmüştür. Emlâk Bankasının Ataköy projesinde, taban kayadaki maksimum ivme 0.05 g iken, yüzeyde 6.7 kere büyütülerek 0.33 g değerine yükselebilmektedir. Ayrıca, taban kayadaki ivme spektrumu hakim periyodu $T_0 = 0.32$ saniye iken, yüzeydeki ivme spektrumunun hakim periyodu $T_0 = 0.9$ saniye olmuştur. Bu gibi hallerde, Türkiye Deprem Yönetmeliğindeki tasarım ivme spektrumunu kullanmak yerine, yerel zemin koşulları göz önüne alınarak yapılacak zemin büyütme analizleri sonunda belirlenecek özel ivme spektrumları kullanılmalıdır.

10. Referanslar

- [1]. Yokohoma, H., “ *Study on Generation of Surface Wave From Side Into Plain* ”, Proceedings of the Tenth World Conference on Earthquake Engineering, 19-24 July, 1992, Madrid, Spain , Vol. 2, pp. 1111-1116, A.A. Balkema, Rotterdam, 1992.
- [2]. Zheng, J., and Tamura, C., “ *A Simple Numerical Method for the Earth Response Analysis of Surface Ground* ”, Proceedings of the Tenth World Conference on Earthquake Engineering, 19-24 July, 1992, Madrid, Spain , Vol. 2, pp. 1117-1120, A.A. Balkema, Rotterdam, 1992.
- [3]. Idriss, I. M., and H. B. Seed, “ *Seismic Response by Variable Damping Finite Elements* ”, Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 100, No. GT1, January, 1974.
- [4]. Schnabel, P. B., Lysmer, J., and H. B. Seed, “ *SHAKE: A Computer Program for Engineering Response Anaysis of Horizontally Layered Sites,* ” University of Berkeley, Engineering Research Center, Report No. EERC 72-12, California, USA, December, 1972.
- [5]. Tezcan, S. S., and M. İpek, “ *Shear Wave Propagation in Layered Soils* ”, UNESCO Seminar on Microzoning, Ministry of Reconstruction and Resettlement, Earthquake Research Institute, Ankara, Türkiye, May, 1974.
- [6]. Tezcan, S. S., and M. H. Çekirge, “ *Nonlinear Shear Wave Propagation in Layered Half-Space*”, Boğaziçi University Journal, Civil Engineering, No. 3050, Vol. 4-5, pp. 61-70, 1976-1977.
- [7]. Tezcan, S. S., and M. İpek, “ *Long Distance Effects of the March 28, 1970 Gediz Turkey Earthquake* ”, Earthquake Engineering and Structural Dynamics Vol. No. 1, pp. 203-215, 1973.
- [8]. Tezcan, S. S., Durgunoğlu, H. T., and R. V. Whitman, “ *A Field Survey to Determine Seismic Parameters at Tofaş Auto Factory Site, Bursa, Türkiye* ”, Report by Department of Civil Engineering, Boğaziçi University, İstanbul, 1974.
- [9]. Whitman, R. V., Christian, J. T., Yegian, M. K., and S. S. Tezcan, “ *Ground Motion Amplification Studies, Bursa, Türkiye* ”, M.I.T., Department of Civil Engineering Report, 1974.
- [10]. Tezcan, S. S., Seed, H. B., Whitman, R. V., Serff, N., Christian, J. T., Durgunoğlu, H. T., and M. K. Yegian, “ *Resonant Period Effects in the Gediz, Turkey Earthquake of 1970* ”, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Journal of the International Association for Earthquake Engineering, Vol. 5, No. 2, April-June 1977.

- [11]. Tezcan, S. S., Yerlici, V., and H. T. Durgunoğlu, “ *A Reconnaissance for the Romanian Earthquake of March 4, 1977* ” Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 6, pp. 379-421, 1978.
- [12]. The Mexican Earthquake of 19 September 1985, A Field Report by EEFIT (Earthquake Engineering Field Investigation Team), London, September, 1986.
- [13]. Cassaro, M. A., and E. M. Romero (editors), The Mexico City Earthquake-1985, ASCE, New York, 1987.
- [14]. Tezcan, S., Keçeli A., Özdemir Z., “ *Allowable bearing capacity of shallow foundations based on shear wave velocity* ”, Technical Note, İstanbul, 2006.
- [15]. Tüzel, B., Keçeli, A., Tezcan, S., Özçep, F., “ *Deprem-Zemin-Yapı Üçlüsünde Güvenilir Binalar İçin Nasıl Bir Model Olmalı?* ”, Jeofizik Bülteni: Yıl: 18, Sayı: 53, Sayfa: 30-46, 2008.
- [16]. Çinicioğlu, F., “ *Zeminlerde Statik ve Dinamik Yükler Altında Taşıma G,ç, Anlayışı ve Hesabı* ”, İMO, İstanbul, 2005.
- [17]. Tezcan, S. S., Durgunoğlu, H. T., “ *Jeofizik Etütlerin Yer Seçimi Problemi ve Zemin Dinamiği Yönünden Önemi* ,” Jeofizik Mühendisleri Odası Dergisi , Ankara Cilt IV, Sayı 2, Nisan, 1975. Ayrıca, Boğaziçi Üniversitesi Deprem Mühendisliği Enstitüsü, Dahili Rapor No. 75-11T, Ocak 1975, Bebek, İstanbul.
- [18]. Duke, C. M., “ *Techniques for Field Measurement of Shear Wave Velocity in Soils* ”, Proceedings of the Fifth World Conference on Earthquake Engineering, 1969, Santiago, Chile.
- [19]. Tezcan, S. S., Durgunoğlu, H. T., Ordemir, I., and Yalçın Ş. , (1976), “ *Subsoil Investigation Program for the Akkuyu Nuclear Power Plant in Turkey* ”, Proceedings of the CENTO Earthquake Seminar, Tehran, November 14-16, 1976. Also, Civil Engineering Department, Boğaziçi University , Internal Report No. 76-15E, İstanbul.
- [20]. Tezcan, S. S., Erden, S. M., and Durgunoğlu, H. T., (1975), “ *In Situ Measurement of Shear Wave Velocity at Boğaziçi University Campus* ”, Proceedings of İstanbul Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Also published as Civil Engineering Department., Boğaziçi University, Internal Report No. 75-12E, April 1975, İstanbul.
- [21]. Durgunoğlu, H. T., Tezcan, S. S., Erden, S., and Acar, Y., (1980), “ *Crosshole Survey at a Nuclear Power Plant Site* ”, Proc. of 7WCEE, İstanbul, Turkey, Sept. 8-13, 1980, Vol. III, pp. 297-304.
- [22]. Fujiwara, T., “ *Estimation of Ground Movements in Actual Destructive Earthquake* ”, Proceedings of the Fourth European Symposium on Earthquake Engineering, London, September 5-7, 1972.
- [23]. Hardin, B.O., and V. P., Drnevich, “ *Shear Modulus and Damping in Soils: Design Equations and Curves* ” , Journal of Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 98, SM 7, July, 1972.
- [24]. Uyanık, O., Kaptan, K., Gülay, G., Tezcan, S., “ *Beton Dayanımının Tahribatsız Ultrasonik Yöntemle Tayini* ”, Sismik Bülten, Sayı 1, 2011.
- [25]. (10/66, 67, 68, 69, 70) Esas Numaralı Türkiye büyük Millet Meclisi Araştırması Komisyonu Raporu, 1999.
- [26]. Tezcan, S., Durgunoğlu, H. T., “ *Jeofizik Etütlerin Zemin Büyütme Analizindeki Önemi ve Örnekler* ” Jeofizik14, 43-60, 2000.
- [27]. Tezcan, S.S., “ *Dikkat! Bursa Ovası Zemin İvmelerini Büyütüyor!* ”, TMMOB İMO Bülteni, 26, 20-22, 2001.
- [28]. Özçep, F., Aşçı, M., Alpaslan, N., Yas, T., Gündoğdu, D., “ *Statik Ve Dinamik (Deprem) Etkiler Altında Zemin Davranışı* ”, Deprem Sempozyumu, Kocaeli, 2005, pp. 1123-1129.

- [29]. Tezcan, S., Özdemir, Z., “*Sismik Yöntem ile Zemin Emniyet Gerilmesi Tayininde Temel Boyutları*”, Şantiye Dergisi, Sayı 217, pp. 106-108, 2006.
- [30]. Özgirgin, F., “*Case Studies on Soil Amplification*,” M. Sc. Thesis, Department of Civil Engineering, Boğaziçi University, Istanbul, June, 1997.