



**Prof. Dr. Atilla ANSAL**  
(Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi  
Deprem Araştırma Enstitüsü)

## İSTANBUL'DA MİKROBÖLGELEME

### GİRİŞ

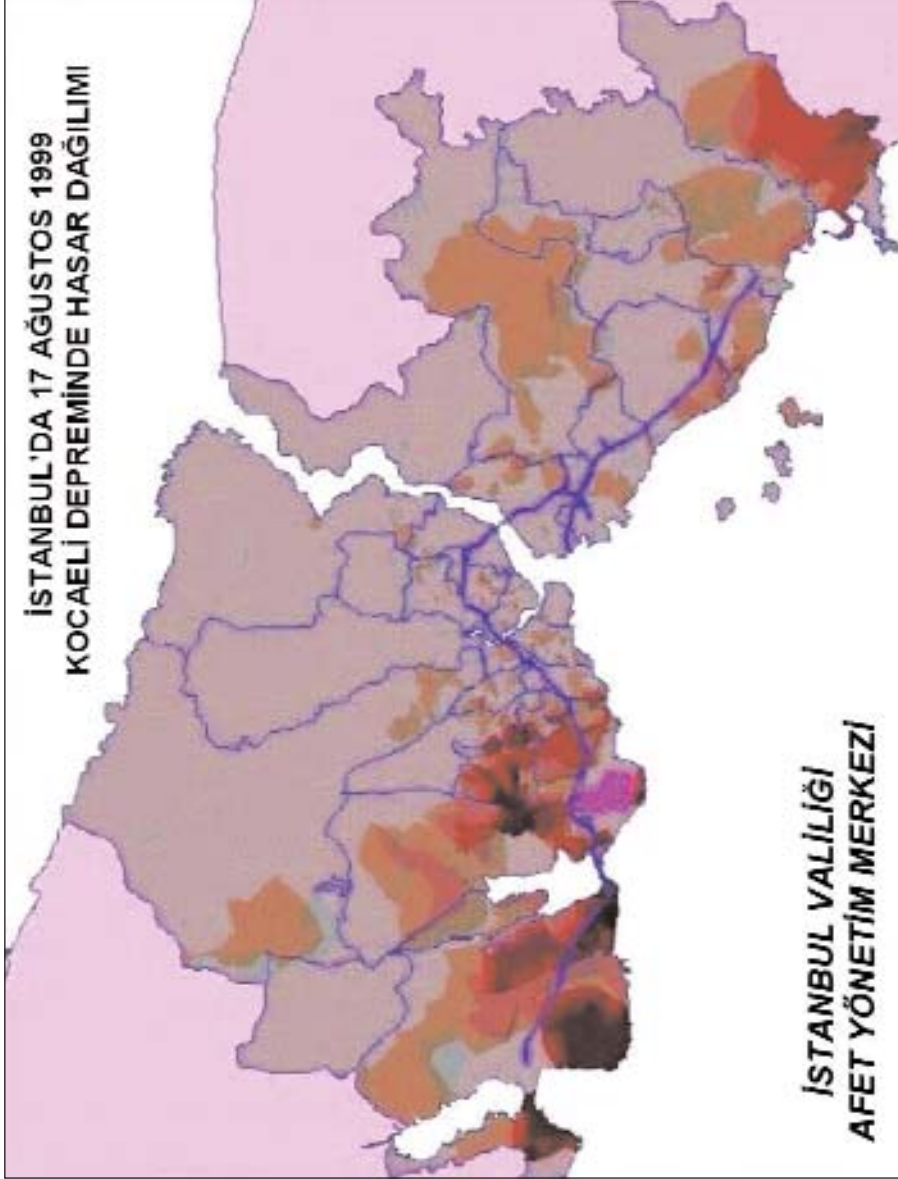
Mikrobölgeleme terimi, farklı ülkelerde farklı anlamlar taşıyabilir ama burada sözü edilen çalışmada sadece deprem etkileri göz önüne alınmıştır ve bu nedenle sismik mikrobölgeleme demek belki de daha doğru olur. Sismik mikrobölgele-

menin ana amacı kent ve bölge planlamasına ve arazi kullanım kararlarına bir altlık oluşturmaktır. Bu kapsamda ilk aşamada bölgesel deprem tehlikesi değerlendirilmekte ve bu çalışmaların sonucunda bütün inceleme alanı yumuşak kaya olarak kabul edilerek deprem özelliklerinin alan içinde değişimi tanımlanmaktadır. İkinci aşamada inceleme bölgesinde jeolojik ve geoteknik koşullar ve bunların bölge içinde değişimi arazi deney ve çalışmaları ile belirlenmektedir. Sismik mikrobölgeleme çalışmasının üçüncü ve son aşaması ilk iki aşamada elde edilen sonuçların birlikte değerlendirilerek zemin yüzeyinde oluşabilecek deprem özelliklerinin ve zemin davranışlarının tanımlanması olmaktadır.

Burada göz önünde bulundurulması gereken birinci konu; bir deprem olduğu zaman, zemin tabakalarının bir filtre gibi davranıp ana kayadan yukarı doğru çıkan deprem dalgalarının özelliklerini değiştirmesidir. Dolayısıyla ana kayada ölçülen veya kaydedilen kayıtlar ile zemin yüzeyinde kaydedilen kayıtlar, zemin cinslerine bağlı olarak farklılaşabilmekte; bazı yerde büyütme, bazı yerde küçülme olabilmektedir. İkinci bir olay da zemin tabakalarının özelliklerinin değişmesidir. Taşıma gücü, zemin emniyet gerilmesi gibi statik veyahut da deprem etkisi göz önüne alınmadan bulunmuş olan değerler deprem sırasında azalabilmektedir.

Bir bölgede imar planları yapılırken deprem etkileri birçok faktörden sadece biridir. Afet İşleri Genel Müdürlüğü'nün onaylamış olduğu yerleşime uygunluk projelerinde, özellikle de 1999 depreminden sonra, bir çok yerde kat sınırlaması getirilmiştir. Örneğin iki kattan fazla bina yapılmasına izin verilmemesi gibi. Bu aslında inşaat mühendislerine “siz bina yapmasını bilmiyorsunuz” demektir. Tabi ki bu da kabul edilemez. Burada vurgulanması gereken, yapılan bir mikrobölgeleme veya eski adıyla yerleşime uygunluk çalışmasının, kent planlaması için gereken ön bilgilerden sadece biri olduğudur. Bir kent için imar planları yapılırken, deprem özelliklerinin dışında ulaşım, ekonomik yapı, tarihsel durum, ve benzer bütün diğer faktörlerin göz önüne alınması gerekir. Ülkemizde birçok yerde depremsellik bütün bu faktörlerin önüne geçti yahut geçmeye çalıştı ve çarpıklığı biraz daha da arttırdı.

Mikrobölgeleme çalışmaları, kent planlamasına yönelik haritalar yapıldıktan sonra sonuçlanır. Ama Zeytinburnu projesinde bugüne kadar yapılmış olan deprem senaryolarından daha kapsamlı bir senaryo çalışması yapılmakta olduğundan, mikrobölgeleme çalışmalarının bir uzantısı olarak hücre bazında, yapıların yıkılabilirliklerini değerlendirebilmek amacıyla zemin yüzeyinde oluşacak deprem özellikleri de bu çalışma kapsamında hesaplanmıştır. Bu mikrobölgeleme sonucunda parsel bazında tasarım için gerekli deprem özelliklerinin bulun-



Şekil 1: 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde İstanbul'da meydana gelen hasarın dağılımı

duğu anlamına gelmemelidir. Mikrobölgeleme, belirli bir karelay içinde (mali imkânlar kontrol eden faktörlerden biri) yapılan zemin incelemeleri (bunlar jeolojik, jeofizik incelemeleri de içeriyor) sonucunda belirli bir ölçekte (1/2000) yapılan bir çalışmadır. Bu Deprem Yönetmeliğinde öngörülen ve parsel bazında yapılması gereken çalışmaların yerine geçmemelidir.

İstanbul'daki durum nedir ve neden böyle bir çalışmanın yaygınlaştırılması gerekiyor ? İstanbul'da yapı yoğunluğu oldukça fazladır (IDMP, 2003). Kent planlaması açısından mikrobölgeleme çalışmalarından elde olunacak sonuçlardan bir tanesi de bu yoğunluklarla ilgili olacaktır. İstanbul, kendisinden yaklaşık 80 kilometre uzakta olan bir depremde, İstanbul Valiliği'nin düzenlemiş olduğu haritada (**Şekil 1**) gösterildiği gibi, birtakım yapısal hasarları yaşamıştır. Bu da bu konuya özen gösterilmesinin gerektiğini ve olası bir depremin çok daha yakın odaklı olması durumunda, senaryolarda öngörülen tahminlerin belki de üstünde hasar meydana gelebileceğine işaret etmektedir. Dolayısıyla İstanbul için hem sismik, hem jeolojik, hem de yerel zemin koşullarının doğru bir şekilde belirlenmesi, yapı incelemelerinin sağlıklı bir biçimde yapılması ve hasarın nerelerde olacağının doğru bir şekilde tahmin edilmesi gerekmektedir. Böyle bir tablo önümüzde olunca öncelikler sıralanabilir ve neler yapılması gerektiği daha doğru bir şekilde belirlenebilir.

Mühendislik doğa bilimlerinden bir miktar farklıdır, mühendisler karar verebilmek için rakamlara ihtiyaç duyarlar ve inşaat mühendisleri olarak birtakım sorumlulukları vardır. Bir mal sahibi, tanımlanmış bir süre ve belirli bir mali kaynak vardır. Bu durumda istenen yapıyı eldeki mevcut bilgiler çerçevesinde en ekonomik, en uygulanabilir ve en güvenilir çözümleri hesaplayarak yapmak zorundadırlar.

**Şekil 2**'de deprem dış merkezinin yaklaşık 80 kilometre uzaklıkta olduğu 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi sırasında alınmış kuvvetli yer hareketi kayıtlarından bulunan en büyük yata-ıvıme değerleri gösterilmiştir. Bu değerler Mecidiyeköy'de ve İstanbul Teknik Üniversitesi'nde 0.04-0.05g mertebelerinde iken, Ataköy ve Zeytinburnu'nda 0.17g, 0.12g, ve Fatih'te 0.19g mertebelerine çıkmaktadır. Buradan da görüldüğü gibi İstanbul'da bölgesel jeolojik ve zemin farklılıklarından dolayı deprem hareketinin etkisi de farklı olacaktır. Bunlar doğru bir şekilde tahmin edilebilirse ileriye yönelik kent planlamasında daha olumlu sonuçlar elde edebilir.

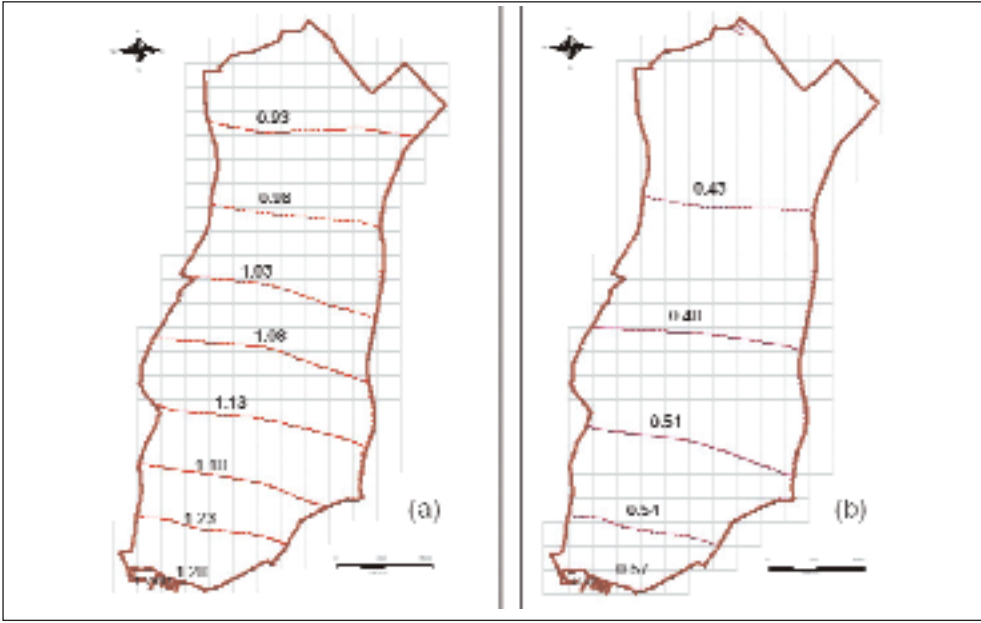
Mikrobölgeleme ülkemizde son 10 yıldır tartışılan bir konu, ama hâlâ 1970'lerden kalan ve genellikle yerleşime uygunluk çalışması denilen jeoloji ağırlıklı, bir miktar jeofizik, bir miktar inşaat mühendisliğini de içeren çalışmalar şeklinde sürmektedir. Hâlâ bir mikrobölgeleme yönetmeliği hazırlanamamış ve hâlâ kent bazında imar planlarına yönelik bir mikrobölgeleme haritası oluşturulması aşamasına gelinememiştir.

## MIKROBÖLGEME YÖNTEMİ

Türkiye deprem haritası yaklaşık 1:2.000.000 ölçeğinde bir haritadır. Örneğin bütün Adapazarı, birinci derece deprem bölgesi içinde kalmaktadır. Dolayısıyla Adapazarı'nda neresi deprem hareketleri ve zemin davranışları açısından daha elverişlidir, neresi daha elverişsizdir bilenebilir. Eğer 1:5000 ölçeğinde bir harita yapılacaksa (ki kent planlaması böyle bir



Şekil 2: İstanbul'da 17 Ağustos 1999 depreminde elde edilmiş en büyük yatay yer ivmeleri



**Şekil 3:** Bölgesel deprem tehlikesi analizlerinden 50 yılda %10 aşılma olasılığına karşı gelen spektral ivme değerlerinin (a) 0.2s; (b) 1s için değişimi

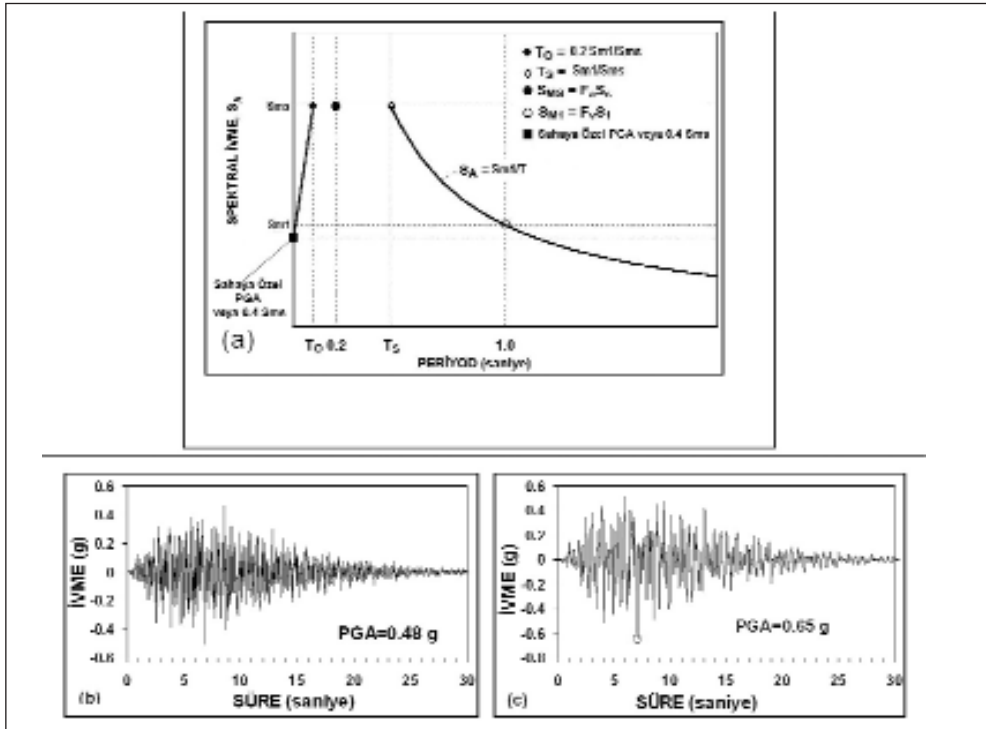
haritayı gerektiriyor) daha büyük ölçeklerde (örneğin 1:25000) deprem kaynak bölgeleri belirlenmeli ve sismik tehlike çalışmaları yapılmalıdır. Böyle bir çalışmadan elde edilen sonuçların, yerel jeolojik ve geoteknik çalışmalardan elde edilen sonuçlar ile birlikte değerlendirilmesi gerekir. Amaç, olası bir depremde zemin yüzeyinde meydana gelecek deprem ve zemin özelliklerinin nasıl değiştiğini doğru ve gerçekçi bir şekilde tahmin etmektir.

Bölgesel deprem tehlikesinden ne anlıyoruz, kısaca özetlemekte yarar var. Öncelikle deprem geçirmiş kentlerimizi bir an için unutursak, deprem yaşayacak olan kentlerimizi düşünürsek ve eğer kent planları söz konusuysa, burada en mantıklı yaklaşım, olasılıksal yaklaşım olur. Deprem Yönetmeliğinin öngördüğü, 475 yıllık dönüşüm periyodu veya 50 yıllık yapı ömründe %10 aşılma olasılığına karşı gelen deprem özelliklerinin nasıl değiştiğinin bir kareleyle, örneğin Zeytinburnu'nda yapıldığı gibi 250m x 250m, belirlenmesi doğru olur. Dolayısıyla her hücrede deprem etkisi konusunda çok daha doğru ve hassas bir bilgiye sahip olunabilir. Burada amacımız, hasarı azaltmak olduğu için, yapı tasarımına yönelik parametreler üzerinde durmalıyız. Nitekim son yıllarda geliştirilmiş olan sismik tehlike analizlerinde de spektral ivme değerleri hesaplanmaktadır. Dolayısıyla her hücrede spektral ivme değerleri bulunmalı ve bu spektral değerler ile uyumlu (burada NEHRP tasarım spektrumunu seçmiş) üretilmiş kayıtlar kullanılarak zemin davranış analizleri yapılmalıdır. Burada önerilen yöntem, son 4-5 yıldır yapılan ve Afet İşleri Genel Müdürlüğü'nün de içinde olduğu projelerde zemin özelliklerinin zemin yüzeyinde oluşacak deprem özelliklerine etkisini incelemek için önerilen yöntemdir (Ansal vd. 2004a, 2004b). İstanbul için bölgesel deprem tehlikesi, olasılıksal bir yaklaşımla, deprem kaynak modellemesi ve geri plandaki sismik etkinlikler göz önüne alınarak belirlenmiştir (Erdik vd., 2004). Zeytinburnu göz önü-

ne alındığında, böyle bir çalışmadan **Şekil 3**'te gösterilen değişimler elde edilmektedir. Zeytinburnu belediyesi sınırları içinde kalan alan 250m x 250m bir karelağ ile tanımlandığında, **Şekil 3(a)**'da 0.2s, **Şekil 3(b)**'de 1s karşı gelen spektral ivme değerlerinin değişimi gösterilmiştir.

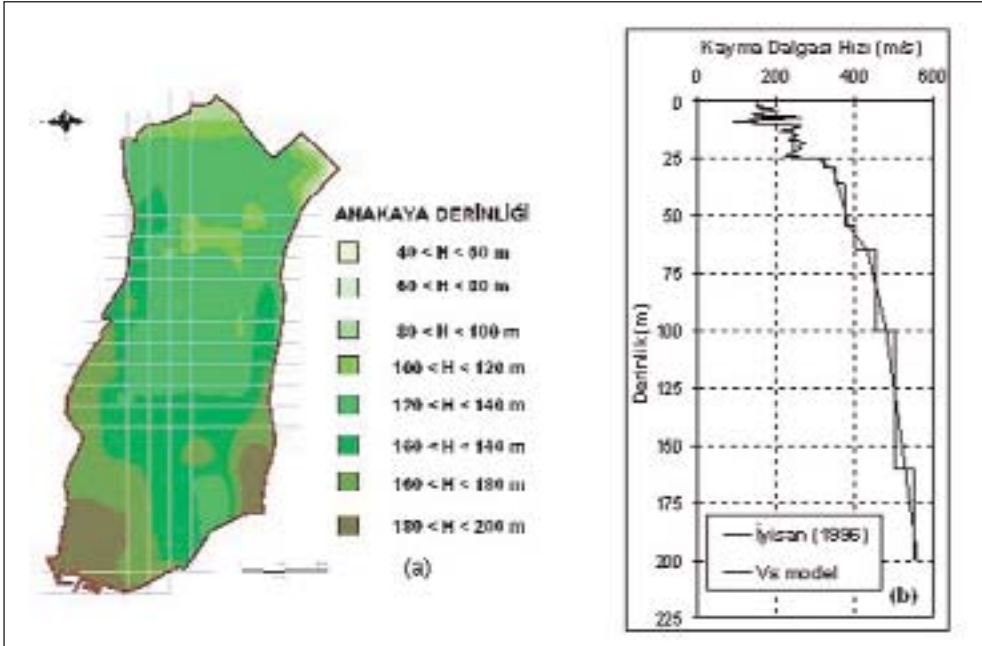
NEHRP tasarım spektrumunun (**Şekil 4(a)**) bir özelliği de yapı tasarımı ve yıkılabilirlik analizleri için daha gerçekçi değerler vermesidir. Bu tasarım spektrumu ile uyumlu deprem kayıtları üretilmiş ve bu kayıtlar kullanılarak zemin büyütme analizleri yapılmıştır. Bir örnek olarak **Şekil 4(b)**'de bu şekilde üretilmiş bir deprem ivme kaydı ve **Şekil 4(c)**'de bu kayıt kullanılarak yapılan zemin büyütme analizinde zemin yüzeyinde elde edilen deprem ivme kaydı verilmiştir.

Üretilmiş deprem kayıtları, genellikle daha muhafazakâr çözümler vermektedir. Dolayısıyla olası bir deprem belki bu kadar şiddetli bir deprem olmayacaktır, ama kent planlamasında böyle bir yaklaşımın daha mantıklı olacağı düşünülmektedir. Mesela burada görüleceği gibi sert zeminde veya/ve kaya çıkısında kullandığımız bu kaydın en büyük ivme değeri yaklaşık 0.48g olmaktadır (**Şekil 4b**). İstanbul'a fayın çok yakın olduğunu, olasılıksal yöntemlerin de tabii ki yüksek sonuçlar vereceğini tahmin edebilirsiniz. Bu değeri kullanıp bir zemin büyütmesi analizi (Bardet vd., 2000) yapıldığında, yine aynı hücrede zemin yüzeyinde elde edilen ivme-zaman kaydında neredeyse 0.65g (**Şekil 4c**) mertebesinde bir ivme değeri bulunmaktadır.



**Şekil 4:** (a) NEHRP tasarım spektrumu; (b) Spektrum uyumlu girdi ivme zaman kaydı; (c) zemin yüzeyinde hesaplanmış ivme zaman kaydı

İkinci aşama, zemin özelliklerinin saptanmasıdır. 250m x 250m bazında her hücrede bir sondaj veya jeofizik yöntemler kullanılarak yapılmış bir arazi deneyi olması tercih edilir. Dolayısıyla her hücre için hücrenin ortasında yer alan temsili bir zemin profili belirlenir. Bunun bir nedeni de kullanılan coğrafi bilgi sisteminde sondaj aralarının haritalama yaparken izafi bir parametre oluşturmasını engellemektir. Diğer bir amaç da, her hücre içinde eldeki bütün bilgileri değerlendirerek güvenilir bir zemin profili elde etmektir. Ülkemizde sondaj çalışmalarındaki kalite seviyesini hepimiz biliyorsunuz, aynı şekilde jeofizik deneyleri uygulamadaki yetersizliğimizi de biliyorsunuz. Dolayısıyla bu çalışmada eldeki bütün imkânları ve jeolojik bilgileri de kullanılarak her hücre için uygun zemin kesitleri tanımlanmıştır (Yıldırım ve Savaşkan, 2002, 2003; Yıldırım, 2000; Yıldırım ve Özyayın, 1992).



Şekil 5: Zeytinburnu'nda (a) mühendislik kayası derinliğinin değişimi; (b) Tipik bir zemin profili

Tabii jeolojik ve jeoteknik araştırmalar denince, bu araştırmaların birtakım aşamalardan oluştuğu; örneğin bölgesel genel jeolojik durumun belirlenmesini, inceleme alanının mühendislik jeolojisi haritalarının yapılmasını, detaylı jeoteknik incelemelerin yapılmasını, Türkiye Deprem Yönetmeliği (1998) ve NEHRP (2001) gibi farklı yöntemlere göre bu bölgelerde zemin sınıflandırması haritalarının yapılmasını içermesi gerektiği unutulmamalıdır. Zemin büyütme analizleri çoğunlukla bir boyutlu yapılmaktadır, ama gerektiğinde iki boyutlu da yapılabilir. Bütün bu çalışmalarda amaç zemin yüzeyindeki deprem özelliklerini belirlemektir.

İncelediğimiz bölge, Zeytinburnu ile sınırlıdır. Yüzey mühendislik jeolojisi haritası açısından Zeytinburnu oldukça homojen bir jeolojik yapıya sahiptir. Dış kenarlardaki yapay dolgu ve alüvyonlar dışında, neredeyse bütün Zeytinburnu, Bakırköy formasyonu üzerinde yer

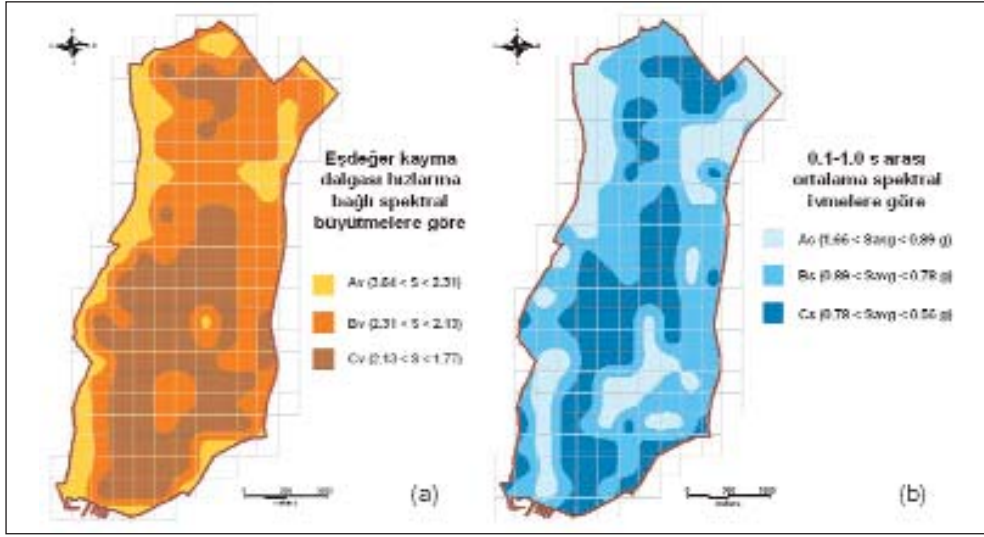
almaktadır. Ama Bakırköy formasyonu, birazdan daha detaylı gösterileceği gibi, mühendislik açısından değerlendirildiğinde, içinde çok büyük farklılıklar göstermektedir. İşte bunun içindir ki, 1970'lerden itibaren uygulanan yerleşime uygunluk çalışmalarında benimsenen jeolojik formasyon sınırlarının kullanılması, mikrobölgeleme için artık terk edilmiş bir yöntemdir.

Zeytinburnu projesi kapsamında Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü ve Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi, birlikte çalışarak oldukça kapsamlı bir inceleme yapmıştır. Zeytinburnu içinde mühendislik kayası olarak tanımlanabilen, diğer bir deyişle, kayma dalga hızının 600-700m/s arasında değiştiği derinlik **Şekil 5(a)**'da gösterilmiştir. Buradan da görüleceği gibi, Zeytinburnu içinde bu açıdan oldukça büyük farklılık bulunmaktadır. Zemin yüzeyinde meydana gelecek deprem özellikleri sadece jeolojik birimin bir fonksiyonu olmayıp mühendislik kayasının derinliği de önemli bir faktör olmaktadır. Burada gösterilmiş olduğu gibi, kuzeyde 40m'de başlayan mühendislik kayası derinliği, sahile yaklaştıkça, yaklaşık 200m'ye çıkmaktadır.

**Şekil 5(b)**'de tipik bir zemin profili gösterilmiştir. Tabii bu kadar derin sondaj var mıydı; hayır, Türkiye'de derin sondaj yaptırmak çok zor. Ancak eldeki jeolojik bilgilerden yararlanarak ana kaya derinliğine kadar (mesela burada 200 metreye kadar gösterilmiş ve tahmin edilen kayma dalgası hızı 550-600m/s civarında) bir zemin profili tanımlamak ve bu zemin profilini kullanarak yüzeydeki deprem özelliklerinin belirlenmesi gerekiyor. Burada NEHRP tasarım spektrumuna geri dönmek istiyorum. NEHRP, ABD'de kullanılan ve deprem yönetmeliklerine temel teşkil eden bir zemin sınıflandırması. NEHRP yönetmeliğinin bu özelliği kendi başına bir mikrobölgeleme olarak algılanabilir. Amerika'da USGS'in (Amerika Jeolojik Araştırmalar Kurumu) California bazında yüzeydeki deprem hareketini 1/5000 ölçeğinde tanımlamış olması, NEHRP zemin sınıflandırmasını kullanarak bina tasarımı için gerekli deprem özelliklerinin hesaplanmasına imkan vermektedir. Türkiye için de böyle haritalara ihtiyaç vardır.

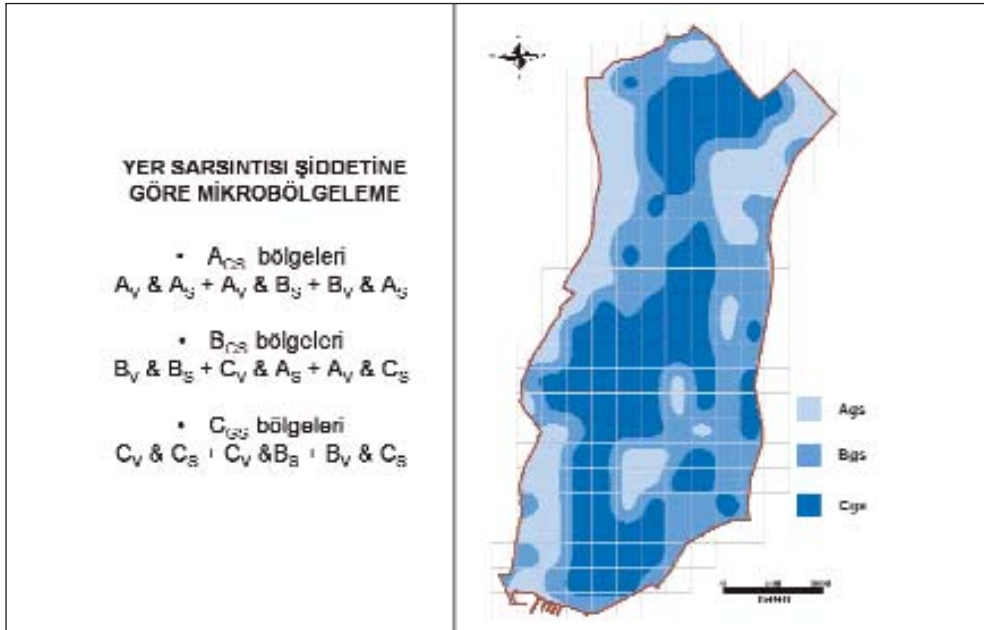
Bu çalışmada göreceli bir mikrobölgeleme yöntemi tercih edilmiştir, diğer bir deyişle bir kent ele alındığında, yer sarsıntısı şiddeti açısından en çok sarsılacak, orta sarsılacak ve en az sarsılacak, bölgeler belirlenmiştir. Bunun amacı, kent bazında yapılacak imar planlarına bir esneklik sağlamaktır. Bu bağlamda A bölgesi bir anlamda en tehlikeli, C bölgesi de en güvenli bölgeler olmaktadır.

Önerilen yöntemlerden bir tanesi, eşdeğer kayma dalgası hızından hareket ederek spektral büyütmelerin hesaplanmasıdır. Bu amaçla önerilmiş değişik yöntemler vardır; Borcherdt (1994), Midorikava (1987) gibi. Bu çalışmada Midorikava (1987) tarafından önerilen yöntem benimsenmiş ve **Şekil 6(a)**'da gösterilmiş olduğu gibi spektral büyütmeler açısından Zeytinburnu'nda yüzey sarsıntısı şiddeti A, B, C bölgeleri ile gösterilmiştir. İkinci yöntemde, tek boyutlu zemin davranış analizleri yardımıyla zemin yüzeyinde meydana gelecek ivme davranış spektrumu değerleri hesaplanmıştır. İvme spektrumunun 0.1-1 saniye arasındaki spektral değerlerin ortalaması alınarak gene üç bölgeli bir bölgeleme yapılmıştır (**Şekil 6(b)**). Sonuçta mikrobölgeleme yöntemi olarak önerilen, bu iki haritanın karşılaştırılması ve tek bir mikrobölgeleme haritasının oluşturulmasıdır. Bu yapıldığında, Zeytinburnu için yer sarsıntısı açısından **Şekil 7**'de gösterilen mikrobölgeleme haritası elde edilmektedir.



Şekil 6: Zeytinburnu (a) spektral büyütme (b) ortalama spektral ivmelere göre mikrobölgeleme

Aslında imar planlaması, şehir planlaması açısından mikrobölgeleme burada bitiyor; çünkü sismik mikrobölgeleme imar planlarına etki eden faktörlerden sadece biridir. Yerleşim fonksiyonlarını tanımlamak için kullanılabilir, nüfus yoğunluklarının dağılımı için kullanılabilir, önemli yapıların yer seçimi için kullanılabilir, altyapı tasarım ve inşaatlar için kullanılabilir.

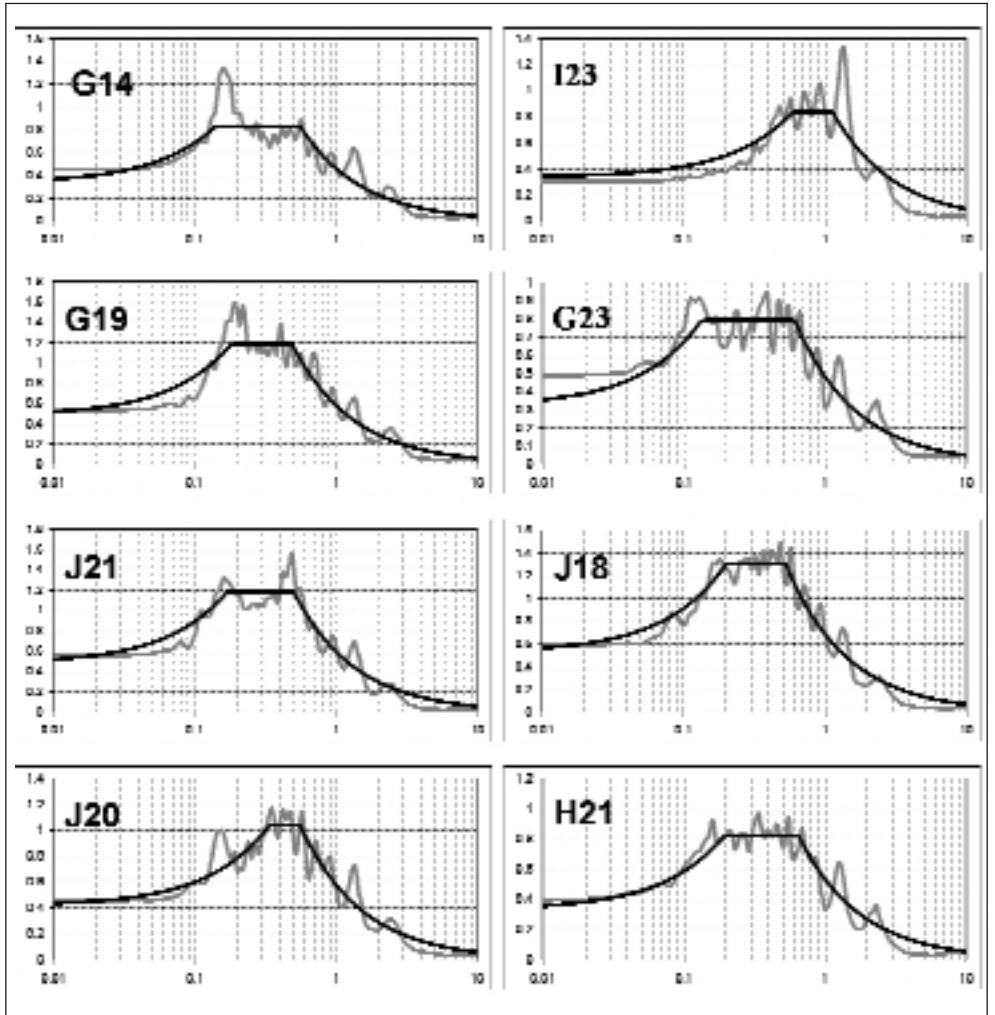


Şekil 7: Zeytinburnu yer sarsıntısı şiddetine göre mikrobölgeleme

## DEPREM SENARYOSU İÇİN DEPREM ÖZELLİKLERİ

Bu çalışmada mikrobölgelemenin yanı sıra olası yapı hasarının tespiti için zemin yüzeyinde meydana gelecek deprem özelliklerinin belirlenmesi de gerekiyordu. Bu amaçla yapılmış olan zemin büyütme analizlerinden elde edilen ivme davranış spektrumlarından NEHRP tasarım spektrumuna geçilmesi gerekiyordu. Bu amaçla iki yöntem uygulanmıştır:

(1) NEHRP spektrumundaki  $T_s=5T_0$  koşulu aranmadan, sayısal optimizasyon ile ivme spektrumuna en uygun NEHRP spektrumları hesaplanmıştır (Şekil 8).

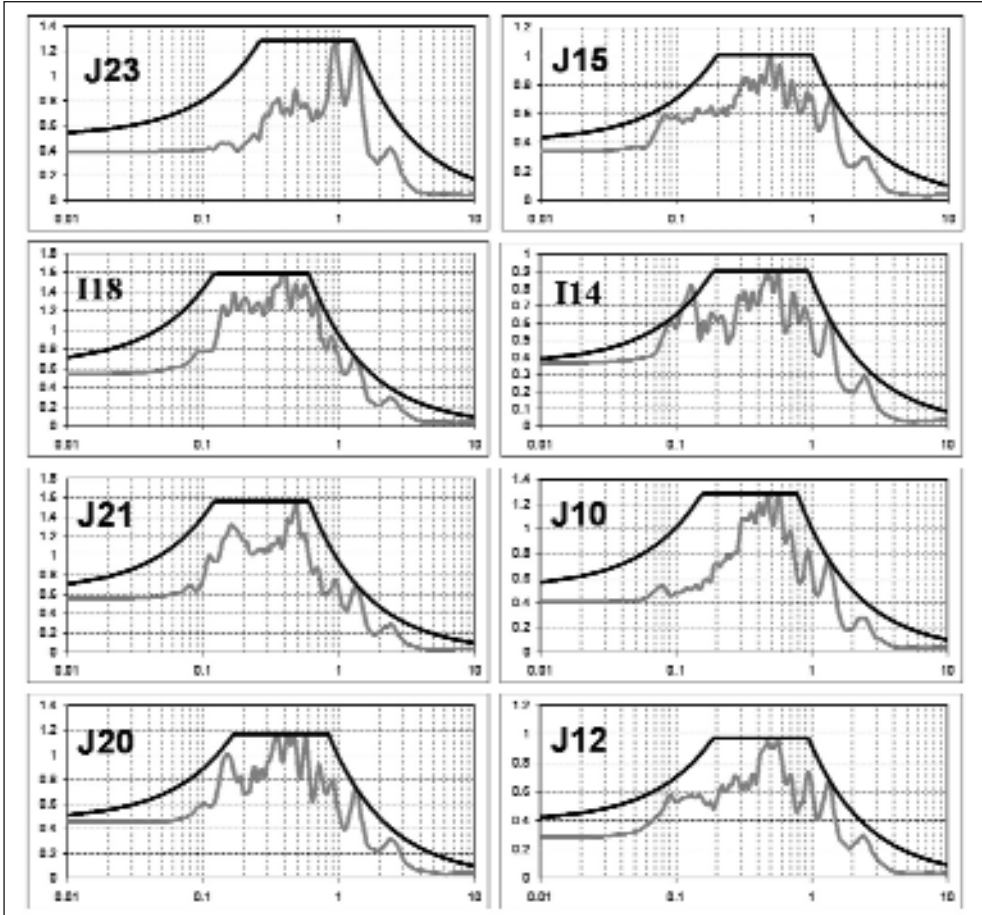


Şekil 8: Zeytinburnu zemin davranış analizlerinden elde edilen ivme davranış spektrumları ve bunlara optimizasyonla elde edilen en uyumlu NEHRP spektrumlarına örnekler

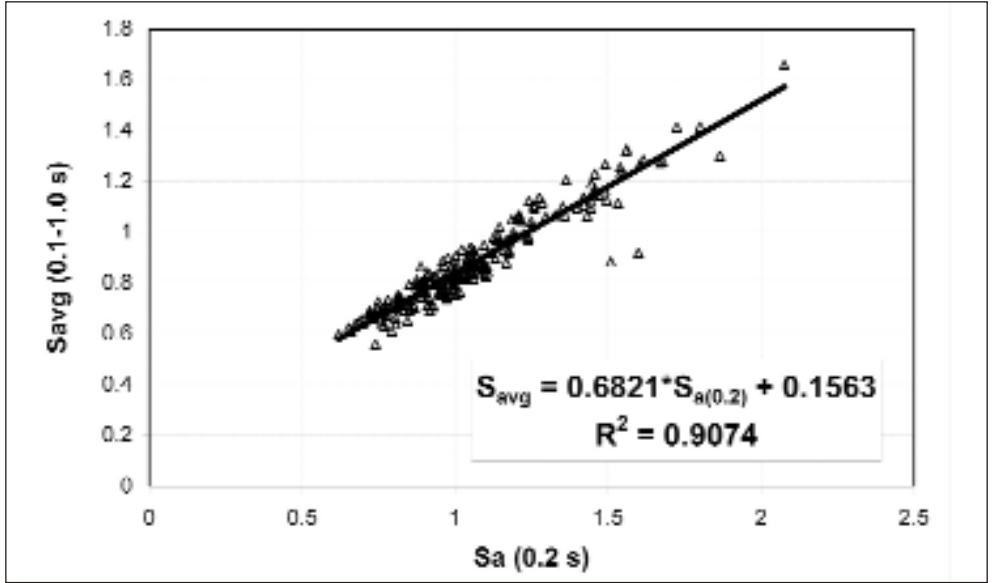
(2) İkinci bir yöntem ise zemin büyütme analizlerinden hesaplanmış ivme davranış spektrumlarına **Şekil 9**'da gösterilmiş olduğu gibi en iyi NEHRP zarf spektrumu bulunmuştur.

Bu şekilde hesaplanan NEHRP spektrumlarından bulunan ve 0.2s periyoduna karşı gelen spektral ivmeyle mikrobölgeleme için kullanılan ortalama spektral ivme karşılaştırıldığında, aradaki korelasyon katsayısı çok yüksek bir değerdedir, bu da mikrobölgeleme için seçmiş olan ortalama spektral ivmenin gerçekçi ve doğru bir parametre olduğunu göstermektedir (**Şekil 10**).

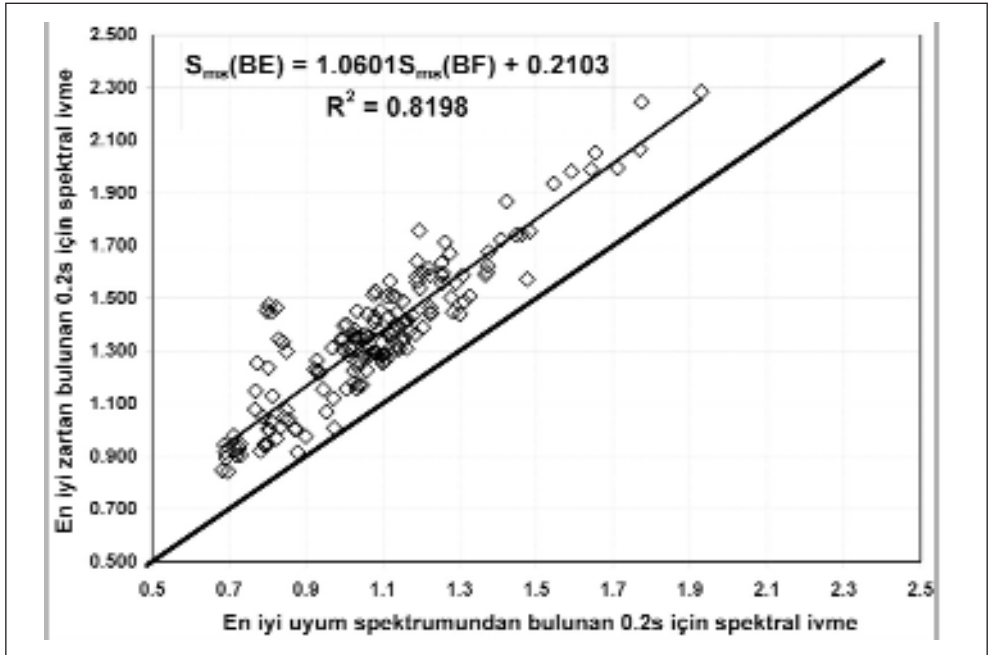
En iyi zarf spektrumundan bulunan ve 0.2s periyoduna karşı gelen spektral ivmeyle en iyi uyum spektrumundan bulunan 0.2s periyoduna karşı gelen spektral ivme karşılaştırıldığında, arada yine yüksek bir korelasyon gözlenmektedir. Burada kalın siyah doğru birebir eşitliği göstermektedir. Bu da beklendiği gibi zarf spektrumundan daha büyük değerlerin elde edildiğini işaret eder.



**Şekil 9:** Zeytinburnu zemin davranış analizlerinden elde edilen ivme davranış spektrumları ve bunlara en uyumlu zarf NEHRP spektrumlarına örnekler



**Şekil 10:** Mikrobölgeleme için kullanılan ortalama spektral ivme ile zemin davranış analizlerinden elde edilen ivme spektrumlarına en iyi uyum gösteren NEHRP spektrumlarından bulunan 0.2s periyoduna karşı gelen spektral ivmelerin korelasyonu

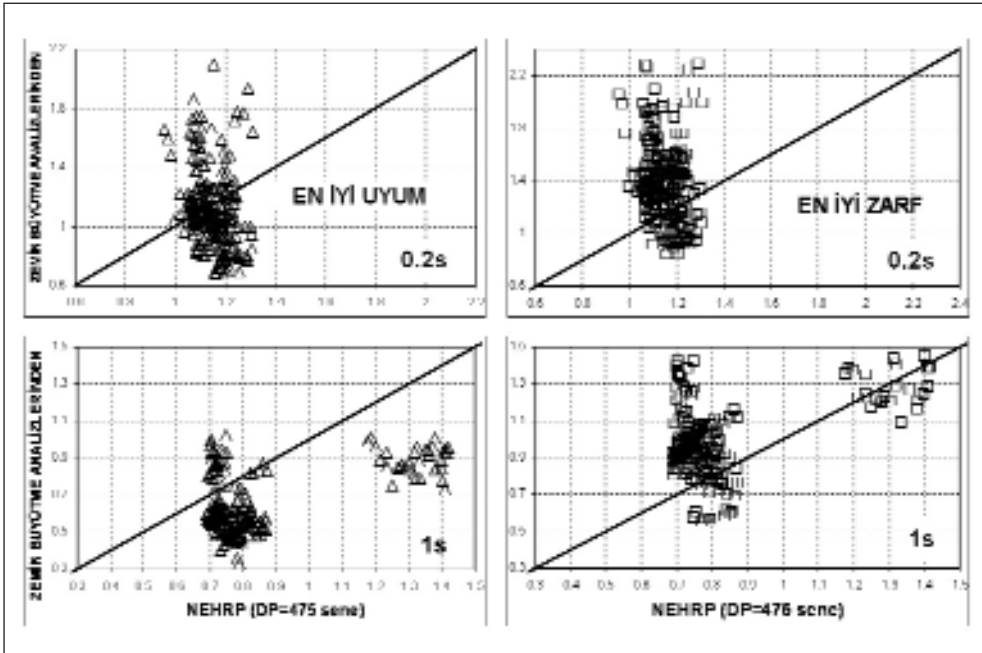


**Şekil 11:** En iyi uyum gösteren ve en iyi zarf NEHRP spektrumlarından bulunan 0.2s periyoduna karşı gelen spektral ivmelerin korelasyonu

Zemin büyütme analizlerinden elde edilen ivme davranış spektrumlarından yukarıda özetlenen iki yöntemle bulunan spektral ivme değerleri standart NEHRP tabloları kullanılarak bulunan spektral ivme değerleri ile karşılaştırıldığında, ki bugüne kadar yapılan senaryolarda (BU-KOERI, 2002, JICA, 2002) uygulanan yaklaşım budur, elde olunan sonuçlar 0.2s ve 1s periyoduna karşı gelen spektral ivmeler cinsinden **Şekil 12**'de gösterilmiştir.

**Şekil 12**'den görüldüğü gibi tablolardan NEHRP zemin sınıflarına göre bulunan spektral ivme değerleri zemin büyütme analizlerinden her iki yöntemle elde edilen değerler ile karşılaştırıldığında, NEHRP zemin sınıflarına göre hesaplanan değerlerin çok dar bir yayılma gösterdiği ve hasar tahmini için kullanılmalarında yeterli doğrulukta olmadıkları anlaşılmaktadır.

Diğer yandan en iyi uyum sağlayan spektrumlardan bulunan spektral ivmeler, NEHRP zemin sınıflamasına göre bulunan spektral ivmelere göre daha küçük değerlerde kalmaktadır. Bu da bu yaklaşımın güvensiz tarafta kaldığı anlamına gelmektedir. Zarf yöntemini kullanarak bulunan spektral ivmeler ise, NEHRP zemin sınıflarına göre bulunan değerlerden genelde daha büyük değerlerdedir. Burada ortaya çıkan önemli bir sonuç, zemin davranış analizlerinden bulunan değerlerin daha geniş bir dağılım gösterdiği ve zarf yöntemiyle belirlenen spektral ivme değerlerinin daha güvenli sonuçlar vermekte olduğudur. NEHRP zemin sınıflarına göre yapılan değerlendirmeler sınırlı kalmakta ve zemin tabakalaşma özelliklerinden ortaya çıkabilecek farklılıkları tam olarak yansıtamamaktadır.



**Şekil 12:** En iyi uyum gösteren ve en iyi zarf NEHRP spektrumlarından bulunan spektral ivmeler ile NEHRP zemin sınıflarına göre bulunan spektral ivmelerin karşılaştırılması

## SONUÇLAR

Bu çalışmadan elde edilen bir sonuç imar planları ve kent planlamasına yönelik mikrobölgeleme çalışmalarının, bölgesel deprem tehlikesi, yerel geoteknik koşulların belirlenmesini izleyen analiz ve göreceli değerlendirme aşamalarını içermesinin daha doğru bir yaklaşım olduğudur. Bu yapıldığı takdirde, yeterli güvenlikte, imar planlarına altlık bir sismik mikrobölgeleme oluşturmak mümkün olmaktadır.

Diğer bir sonuç ise, kent bazında yapı stoğunun olası hasarını belirlemek için yapılan çalışmalarda yerel jeolojik ve geoteknik koşulların etkisi belirlenirken, olası yaklaşımlar arasında önemli farklar oluşmasıdır. Bu da yerel koşulların kapsamlı bir şekilde incelenmesinin ve zemin davranış analizlerinin gerekli olduğunu göstermektedir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı'ndan Prof. Dr. Mustafa Erdik, Karin Şeşetyan, Mine Demircioğlu, Gökçe Tönük ve Yıldız Üniversitesi, İnşaat Fakültesi Geoteknik Anabilim Dalı'ndan Prof. Dr. Kutay Özaydın, Prof. Dr. Mustafa Yıldırım, Y. Doç. Dr. Havvanur Kılıç, Pelin Tohumcu Özener, Şenol Adatepe'nin birlikte yürüttükleri bir ekip çalışmasıdır. Kendilerine çok teşekkür ederim.

## KAYNAKLAR

- Ansal, A., Springman, S., Studer, J., Demirbaş, E., Önalp, A., Erdik, M., Giardini, D., Şeşetyan, K., Demircioğlu, M., Akman, H., Fäh, D., Christen, A., Laue, J., Buchheister, J., Çetin, Ö., Siyahi, B., Fahjan, Y., Gülkan, P., Bakır, S., Lestuzzi, P., Elmas, M., Köksal, D., ve Gökçe, O. (2004a) Belediyeler İçin Sismik Mikrobölgeleme Örnek Uygulamalar, Araştırma Raporu, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet Risk Yönetimi Dünya Enstitüsü
- Ansal, A., Laue, J., Buchheister, J., Erdik, M., Springman, S., Studer, J., and Koksall, D. (2004b) "Site characterization and site amplification for a seismic microzonation study in Turkey," 11th Int. Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering and 3rd Earthquake Geotechnical Engineering, San Francisco
- Bardet, J.P., Ichii, K., and Lin, C.H. (2000) EERA, A computer program for Equivalent linear Earthquake site Response Analysis of layered soils deposits, University of Southern California, Los Angeles
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, AİGM (1998) "Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik, Türkiye Deprem Yönetmeliği"
- Borchardt, R.D. (1994) "Estimates of Site Dependent Response Spectra For Design (Methodology And Justification)" Earthquake Spectra, Vol. 10, No. 4, pp. 617-654, 1994
- Boğaziçi University, Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute, Earthquake Engineering Department, BU-KOERI (2002) Earthquake Risk Assessment for Istanbul Metropolitan Area, American Red Cross Report
- BSSC-Building Seismic Safety Council (2001) NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program) Recommended Provisions for Seismic Regulations for new buildings and other structures, 2000 Edition, Part 1: Provisions (FEMA 368), Ch. 4, Washington, D.C.

- Deodatis, D. (1996) “Non-stationary Stochastic Vector Processes: Seismic Ground Motion Applications”, Probabilistic Engineering Mechanics Vol.11, pp.145-168
- IDMP (2003) İstanbul için Deprem Master Planı, Bogaziçi Üniversitesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, ve Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Planlama ve İmar Dairesi, Zemin ve Deprem İnceleme Müdürlüğü
- Erdik, M., Demircioglu, M., Sesetyan, K., Durukal, E., and Siyahi, B. (2004) “Earthquake Hazard in Marmara Region”, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol.24, pp.605-631
- Japan International Cooperation Agency, JICA (2002) The Study on a Disaster Prevention/Mitigation Basic Plan in İstanbul Including Seismic Microzonation in the Republic of Turkey, Metropolitan Municipality of İstanbul
- Midorikawa, S. (1987) “Prediction of Isoseismal Map in the Kanto Plain due to Hypothetical Earthquake”, Journal of Structural Eng. Vol.33B, pp.43-48
- Papageorgiou, A., Halldorsson, B., and Dong, G. (2000) Target Acceleration Spectra Compatible Time Histories, University of Buffalo, Dept. of Civil, Structural and Environmental Engrg., NY, <http://civil.eng.buffalo.edu/engseislab/>
- Yıldırım, M. ve Özaydın, K., (1992) “İstanbul Metropolitan Alanının Mühendislik Jeolojisi”, Azarbaycan Cumhuriyeti Devlet Jeoloji ve Mineral İhtiyatları Komitesi İlmi-Teknik Şurası, Bakü, Azarbaycan,
- Yıldırım, M. (2000), “İstanbul Bölgesi Kayaçlarının Mühendislik Özellikleri”, YTÜD, Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi, Sayı 2000-1, ISSN: 1200-2120, İstanbul.
- Yıldırım, M., Savaşkan, E., (2002), “İstanbul Tersiyer Çökellerinin Stratigrafisi ve Mühendislik Özellikleri”, Uluslararası Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi Bülteni, s. 18, sa.:48-62. İstanbul.
- Yıldırım, M., Savaşkan, E., (2003), "İstanbul Bölgesi Tersiyer Çökellerinin Stratigrafisine Yeni Bir Yaklaşım ve Çökellerin Mühendislik Özellikleri", İstanbul'un Jeolojisi Sempozyumu, 87-102, İstanbul.