

Depremlerde Yerel Zemin Davranışları

Deprem dalgaları, zemin tabakaları içinden geçerken depremin özelliklerinin değişmesi bir yana, bu dalgalar, zemin tabakalarının özelliklerini de etkilemekte, bir yumuşama ve dayanım (mukavemet) yitimine yol açabilmektedir. Bu nedenle, bir bölge için deprem tasarım özellikleri tanımlanırken en önemli adımlardan



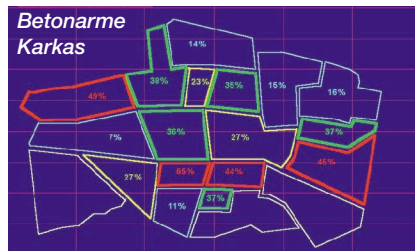
Adapazarı'nda zemin sıvılaşması nedeniyle bir binalda meydana gelen dönme (Foto:Jonathan Bray).

biri o bölgedeki zemini oluşturan tabakaların tekrarlı gerilmeler altındaki davranışlarının belirlenmesidir. Yerel zemin tabakalarının özellikleri, arazi ve laboratuvar deneylerine dayanan geniş kapsamlı bir inceleme yardımıyla istenen hassaslıkta saptanabilmektedir. Aynı biçimde, bölgede oluşabilecek bir depremin kaynak özelliklerini de önceden tahmin edebilmek için, kapsamlı bir çalışma gerekmektedir. Geçmişte olmuş depremler, her depremin bölgesel tektonik yapıya ve faylanmaya bağlı olarak farklı tekil özellikleri olabileceğini göstermiştir.

DÜŞEY ÖLÇÜM AĞLARINDA alınmış kayıtlar, zemin tabakalaşmasının ve zemin tabaka özelliklerinin zemin yüzeyinde oluşan deprem hareketinin özelliklerini önemli ölçüde değiştirdiğini göstermiştir. Ayrıca yakın mesafelerde alınmış çok sayıda deprem ivme kaydı, bir noktadan diğerine deprem özelliklerinin, deprem kaynak ve yerel geoteknik özelliklere bağlı olarak önemli derecelerde farklı olabileceğini de göstermiştir. 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi sonrası yapılan gözlemler, oluşan hasar dağılımı ve alınan aletsel kayıtlar bu açıdan önemli bulgular içeriyor.

Günümüzde depremlerde hasara yol açan başlıca etkenler biliniyor. Depreme dayanıklı yapı üretiminde araştırmalara dayalı daha güvenli tasarım ilkelerinin belirlenmesi ve bu bulgulara bağlı olarak yerleşim politikaları ve imar planlarının oluşturulması dep-

rem hasarlarını büyük ölçüde azaltacaktır. Depreme dayanıklı yapılaşma için izlenen yaklaşımda, yakın zamana değin, bölgenin sismik özelliklerinin ve kabaca sınıflandırılmış zemin türüyle yapıya ait bazı özelliklerin bilinmesinin yeterli olduğu düşünülüyordu. Oysa, 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi bunun yeterli olmadığını gösterdi. Daha açıkçası, son yirmi yıl içinde karşılaşılmış ve yorumlanabilmiş hasar türleri ve dağılımları, daha ayrıntılı çalışmalar yapılması gereğini ortaya çı-



Şekil 1. Erzincan 1992 depreminde 2-3 katlı betonarme yapılarda mahallelere göre farklılıkları açıkça gösteren hasar oranları dağılımı.

karmıştır. Depremlerde oluşan hasarlar bir noktadan diğerine büyük farklılıklar gösterebilmektedir (şekil 1); bazı bölgelerde hasar çok fazla olurken bazı bölgelerde çok daha azdır (fotoğraf 1 ve 2). Bunun dışında, gene Kocaeli depreminde de gözlenmiş olduğu gibi zemin tabakalarının davranışları açısından da önemli farklılıklar olabiliyor. İşte bütün bu gözlemler ve son depremlerde elde edilen aletsel verilerle de açıkça ortaya çıkan bu yerel farklılıkların, yapı üretim sürecinde göz önüne alınması gerekiyor.

Bu nedenle, sadece sismik verilere ve tektonik yapıya bağlı olarak oluşturulan sismik makro bölgelendirmenin ötesinde (Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası) çok daha ayrıntılı çalışmalara gereksinim vardır. Bu bağlamda yerel geoteknik özelliklere ve oluşabilecek deprem kaynak özelliklerine bağlı bir sismik mikro bölgelendirme ve noktasal olarak mühendislik uygulamalarına

yönelik çalışmaları yapılmalıdır. Bu çalışmalarda, inceleme konusu olan bölgede olması beklenen depremin kaynak özellikleri belirlenmeli, yerel zemin koşullarına bağlı olarak farklı alanlarda uyulması gerekli tasarım kuralları ve buna bağlı olarak yapılaşma yönlendirilmelidir. Bu da yeni yerleşim alanlarının depremlerden en az hasar göreceği biçimde seçilmesini ve en uygun yapı tipinin belirlenmesini sağlayacaktır.

Depremlerde yapısal hasara etki eden etkenler üç grup altında, deprem, yerel zemin ve yapı özellikleri, olarak toplanabilir. Zemin tabakalarının tür, kalınlık, yeraltı su seviyesi gibi özelliklerinin kısa mesafeler içinde çok değişebilmesi, farklı bölgelerde yapılmış aynı tip yapılarda farklı derecelerde hasar oluşmasına yol açar. Geçmiş depremlere ait ivme ve hasar kayıtları incelendiğinde de bu açıkça görülür. Dolayısıyla yapısal hasarın azaltılabilmesi için deprem sırasında farklı davranış gösterecek bölgelerin belirlenmesi gerekir. Zemin, içinden geçen deprem dalgalarının özelliklerini etkilediği kadar, deprem dalgaları da, örneğin sıvılaşma ve şev kaymalarında gözlemlendiği gibi, zemin tabakalarının dayanım (mukavemet) ve şekil değiştirme özelliklerini de etkiler. Böyle durumlarda, bu tabakalar üzerinde yer alan yapılar, sadece zemin özelliklerinin değişmesi sonucu bile büyük hasar görebilirler. Yerel zemin koşullarının yapılarda hasar oluşturacak etkilerini; zemin koşullarının deprem özelliklerini büyütmesi, zemin tabakalarında göçmenler ve oturmalar, zemin tabakalarının sıvılaşması (akışkanlaşması), yamaçlarda stabilitenin bozulması olarak sınıflandırabiliriz.

Bütün bu konuların ayrı ayrı incelenmesi ve elde edilen bulgulara dayana-



Fotoğraf 1. Kocaeli depreminde yapısal hasarın bölgesel olarak çok artabildiğini gösteren bir fotoğraf (Jonathan Bray).

arak yapılaşmanın yönlendirilmesi, olabilecek yapısal hasarın azaltılması açısından gereklidir.

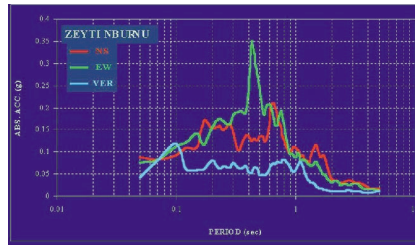
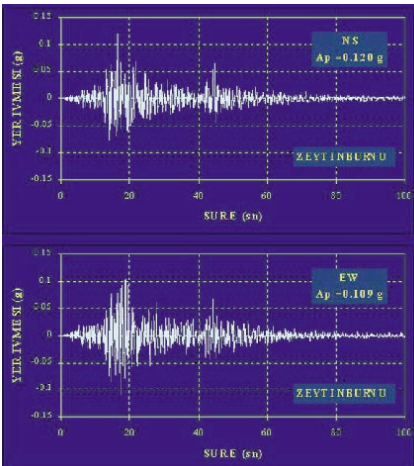
Depremler sırasında belirli bir bölgedeki yer hareketi buna neden olan faylanmanın türü, özellikleri ve oluşan dalgaların içinde yayıldığı ortamın özelliklerinden etkilenir. Bölgesel jeolojik ve topoğrafik koşullar deprem dalgalarının özelliklerini önemli ölçüde değiştirerek, aynı sismik hareketlerden etkilenen birbirine yakın bölgelerde, aynı tip yapılarda farklı derecelerde hasara yol açabilir. Depremler sırasında ortaya çıkan yapısal hasarı belirleyen en önemli etkenlerden biri de depremin büyüklüğü, süresi ve frekans içeriği gibi deprem özellikleridir (şekil 2 ve 3). Depremlere yol açabilecek fayların olası konumları ve özellikleri, bunlara bağlı olarak deprem hare-

ketinin özellikleri ancak ayrıntılı jeolojik ve jeofizik incelemelerin sonucunda belirlenebilir.

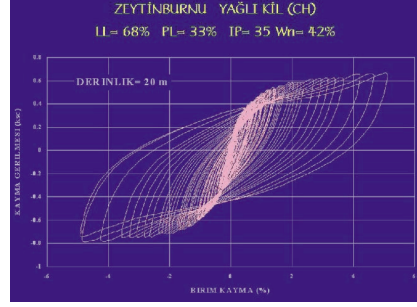
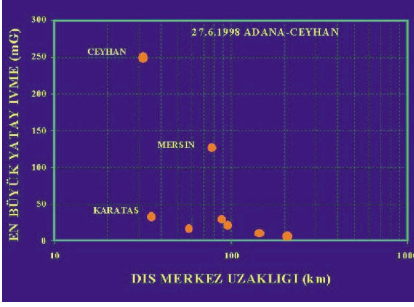
Depremlere karşı hazır olmak, korunmak ve zararları en aza indirmek için temel araştırmalar şu sorulara yanıt verebilecek yönde gelişmelidir.

Depremler nerede olabilir? Hangi büyüklüklerde ve hangi zaman aralıklarında oluşabilir? Deprem kaynağına yakın alanlarda ne tür kalıcı yer değiştirmeler görülebilir? Yapının bulunduğu noktada oluşacak bu yer hareketlerinin özellikleri ne olabilir (genlik, frekans ve süre özellikleri)? Bu özellikler deprem kaynağından uzaklaştıkça nasıl değişir? Bu özellikler incelenen bölgelerin jeomorfolojik, jeolojik, jeofiziksel ve geoteknik özellikleriyle nasıl bir ilişki gösterir?

Bu sorulara gerçekçi bir biçimde yanıt verebilmek için yeterli sayıda gözlemsel ve aletsel veriler bulunmalıdır. Aletsel veriler olarak depremlerde alınmış kuvvetli yer hareketi kayıtları başka bir deyişle deprem ivme kayıtları ve bu kayıtların alındığı noktalarda geoteknik ve jeolojik özelliklerin bilinmesi gereklidir. Deprem tehlikesi altında bulunan bölgelerdeki çeşitli jeolojik ve geoteknik ortamların ve bunların üzerindeki yapıların davranışlarını incelemek ve depreme dayanıklı yapı tasarımında güvenli ve ekonomik çözümlere ulaşmak bilimsel olarak ancak bu tür verilere dayanarak bulunabilir.



Şekil 2. 17 Ağustos Kocaeli depreminde Zeytinburnu deprem istasyonunda güney-kuzey ve doğu batı doğrultusunda kaydedilen ivme kayıtları (solda). Şekil 3. Aynı depremden Zeytinburnu deprem istasyonunda kaydedilen ivme kayıtlarından hesaplanmış ve zemin hakim periyodu ile spektral büyütme gösteren mutlak ivme spektrumları (üstte).



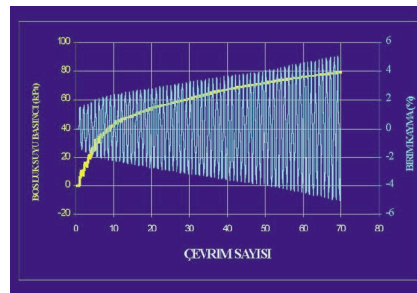
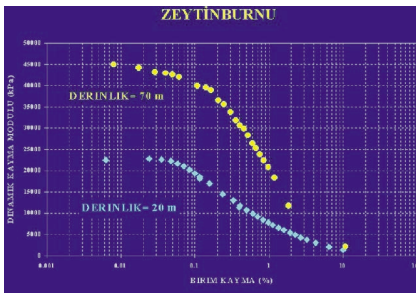
Şekil 4. Haziran 1998 Adana-Ceyhan depreminde değişik istasyonlarda kaydedilmiş en büyük ivme değerlerinin deprem dış merkezinden uzaklığa göre değişimi. Ceyhan ve Karataş dışmerkeze nerdeyse eşit uzaklıkta olmalarına rağmen Ceyhan'da ölçülen en büyük ivme değeri Karataş'da ölçülen değerden yaklaşık on katı büyük (solda). Şekil 5. Zeytinburnu deprem istasyonu yakınında yapılmış bir sondajdan elde edilen bozulmamış kil nümunesi üzerinde tekrarlı gerilmeler altında yapılmış bir deneyde, zemin elemanında ki yumuşamayı açıkça gösteren kayma gerilmesi birim kayma değişimi (sağda).

1932 yılından bu yana kaydedilmeye başlayan kuvvetli yer hareketi kayıtlarının ortaya koyduğu bir sonuç depremler nedeniyle oluşan yer hareketlerinin umulandan daha karmaşık olduğudur. Geçmiş çalışmalar aynı büyüklükteki depremlerin, aynı uzaklıkta çok farklı yer hareketi ivmesi oluşturabileceğini göstermiştir (şekil 4). Bu olgu depremin algılandığı alandaki depremin frekansı ve süresi için de geçerlidir. Bunun nedeni depremden dolayı bir noktada algılanan yer hareketlerinin bir çok unsura bağlılığıdır. Bunlar deprem kaynağının kırılma özellikleri, sismik dalgaların geçip geldikleri ortamın jeolojisi, yapının altındaki jeolojik yapı ve zemin yapısı olarak sıralanabilir.

Depremler sırasında yerel zemin tabakalarının dinamik davranış özelliklerinin yapısal hasar üzerindeki etkisi de önemlidir. Yapıların deprem kuvvetlerine karşı tasarımında üzerinde buldukları zemin tabakalarının hakim periyot, büyütme düzeyi, sıvılaşma riski gibi dinamik özelliklerinin dikkate alınması gereklidir. Bunun yanında yeni yerleşime açılacak olan

alanlarda yapılacak mikro bölgelendirme çalışmaları ile bölgelerin deprem sırasında gösterecekleri olası davranış özellikleri belirlenebilir. Ayrıca mevcut yerleşim alanlarında yapılacak çalışmalarla da, olası bir depremde hasarın ve can kaybının yoğunlaşacağı alanlar belirlenerek gerekli önlemlerin alınması yoluna gidilebilir.

Son yıllarda olan depremlerde meydana gelen hasarlar ve bu konuda yapılmakta olan araştırmalardan elde edilen sonuçlar, deprem özellikleriyle yerel zemin koşulları arasındaki karşılıklı etkileşimin önemli olduğunu göstermiştir. Deprem riskinin yüksek olduğu bölgelerde ayrıntılı sismolojik, jeolojik ve geoteknik incelemelerin yapılması gerekir. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar değerlendirilerek, bölgede oluşabilecek depremlerin özellikleri ve bu özelliklerin farklı jeolojik ve zemin koşullarında nasıl olacağı belirlenebilir. Bu etkilerde ortaya çıkan değişkenliği göz önüne alarak, tasarımda zemin yüzeyindeki deprem özelliklerini belirlerken istatistiksel bir çalışma yapılması uygun olmaktadır.



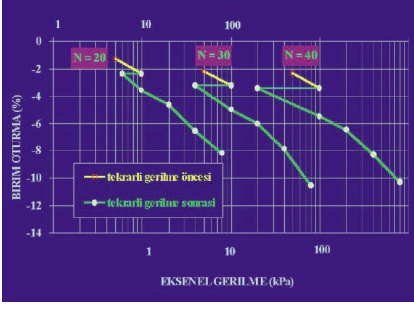
Zeminlerin Tekrarlı Gerilmeler Altında Davranışı

Zemin tabakaları depremin özelliklerini ve deprem dalgaları da zemin tabakalarının gerilme-şekil değiştirme ve kayma dayanımı özelliklerini değiştirir. Bu değişiklikler arazi deneyleri ve laboratuvar deneyleri ile belirlenebilir ve uygun analiz yöntemleri kullanılarak bir deprem sırasındaki zemin tabakalarının olası davranışları tahmin edilebilir.

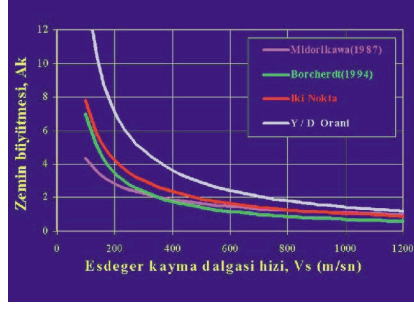
Depremler, zemin tabakaları üzerinde düzensiz tekrarlı kayma gerilmelerine yol açar. Bu gerilmeler altında zemin elemanlarının nasıl bir davranış göstereceklerinin incelenmesi ve buna göre bir değerlendirme yapılması gerekir. Zemin elemanlarının tekrarlı gerilmeler altında davranışlarını incelerken iki konu önem kazanır. Bunlardan ilki, tekrarlı kayma gerilmeleri altında kayma dayanımı, diğeri ise gerilme-şekil değiştirme özellikleridir. Diğer önemli bir inceleme konusu ise; deprem sonrası kayma dayanımı ve gerilme-şekil değiştirme özelliklerinde meydana gelen değişimlerdir.

Zemin tabakalarından alınmış örselenmemiş zemin nünuneleri üzerinde yapılan laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlar (şekil 5), zeminlerin tekrarlı gerilmeler altında gerilme-şekil değiştirme özelliklerinin değiştiğini gösteriyor. Bu değişikliği incelerken aralarında benzerlikler olmasına karşın, gözlenen davranışlardaki önemli farklılıklar nedeniyle, zemin türlerine (ince taneli zeminler, siltler ve killer, kaba taneli zeminler, kumlar ve çakıllar) bağlı olarak bir değerlendirme ya-

Şekil 6. Zeytinburnu deprem istasyonu yakınında yapılmış bir sondajdan farklı derinliklerden alınmış bozulmamış kil nünuneler üzerinde tekrarlı gerilmeler altında yapılmış iki deneyden hesaplanmış ve zemin elemanlarında şekil değiştirmeye (birim kayma) bağlı olarak oluşan yumuşamayı açıkça gösteren dinamik kayma modülü birim kayma değişimleri (solda). Şekil 7. Bir zemin nümunesi üzerinde tekrarlı gerilmelerin yol açtığı şekil değiştirme ve boşluk suyu basıncı artışları (ortada). Şekil 8. Benzer kil nünuneler üzerinde farklı tekrarlı kayma gerilmesi genliklerinde yapılmış tekrarlı yüklemelerden hesaplanmış kayma gerilmesi birim kayma ilişkisinin farklı çevrim sayılarına göre değişimi. Çevrim sayısının artması zemin elemanındaki yumuşamayı ve mukavemet kaybının artmasına yol açıyor (sağda).



Şekil 9. Benzer kil nümunelere aynı tekrarlı kayma gerilmesi genişliğinin artan çevrim sayılarında uygulanması durumunda ortaya çıkan oturmalarda ki artışı gösteren düşey gerilme birim boy kısılması değişimleri (solda). Şekil 10. Zemin tabakalarının yerel özelliklerini yaklaşık olarak yansıttığı kabul edilen eşdeğer kayma dalgası hızına göre zemin büyütmesinin değişimi (sağda).



Fotoğraf 4. 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde Adapazarı'nda zemin sıvılaşması nedeniyle binalarda meydana gelen oturmalara bir örnek (Jonathan Bray).

pılmalıdır. Zeminlerin tekrarlı gerilmeler altında davranışlarını etkileyen önemli etkenler, birim şekil değiştirme genişliği, efektif çevre basıncı, çevrim sayısı veya deprem süresi, suya doygunluk, boşluk oranı, ince tanelerin plastisitesi, aşırı konsolidasyon (pekleşme) oranı ve meydana gelen deprem titreşimlerin frekans içeriğidir.

Zeminlerin tekrarlı gerilmeler altında gerilme-şekil değiştirme özellikleri tanımlanırken dinamik kayma modülü ve sönüm oranının değişimleri incelenir (şekil 6). Gözlenen zemin davranışlarında, diğer inşaat malzemelerinden farklı olarak, gerilme-şekil değiştirme ve dayanım davranışlarında farklı eşiklerin bulunduğu gözlenmiştir. Bu eşiklerin ilki nonlineer davranış eşiği, ikincisi ise plastik davranış eşiği olarak tanımlanabilir. Bu eşikler zemin elemanlarının elastik, elastoplastik ve plastik davranışları arasındaki sınırları oluşturur. Öte yandan, ünifom tekrarlı kayma gerilmeleri altında yapılan deneylerde, tekrarlı kayma gerilmesi genişliği-birim kayma genişliği ilişkisinden, çevrim sayısına bağlı olarak bir akma noktası, diğer bir deyişle bir dinamik kayma dayanımı tanımlanabilir

(şekil 7 ve 8). Bunun dışında, tekrarlı yüklemeye sonrası ya da deprem sonrası kayma dayanımı ve gerilme-şekil değiştirme özelliklerinde, efektif gerilmenin azalması ve tane yapısının bozulması sonucunda, bir yumuşama, statik kayma dayanımında azalmalar ve ek oturmalar ortaya çıkabilmektedir (şekil 9). Ayrıca kayma dayanımındaki azalmalar temel göçmelerine de yol açabilir (fotoğraf 3). Arazi ve laboratuvarında bulunan kayma modülü ve sönüm oranlarını etkileyen etkenler, deney yöntemi, zemin türü, örseleme, gerilme durumu, nümune hazırlama, gerilme geçmişi, deformasyon geçmişi, suya doygunluk, yüklemeye frekansı olarak sıralanabilir.

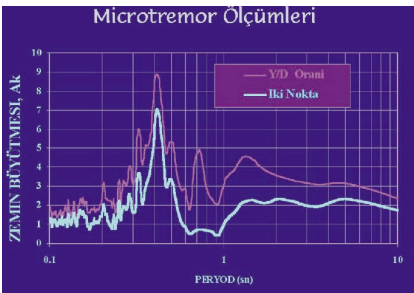
Tekrarlı gerilmeler altında kaba taneli zeminlerde karşılaşılan önemli bir olay da, sıvılaşma olarak adlandırılan, akışkan hale geçme, yani kayma dayanımının kısa bir süre için sıfır olması olayıdır. Tekrarlı gerilmeler sonucunda taneler arasında bulunan suyun, yani boşluk suyunun, basıncının artması, tanelerin birbirinden uzaklaşmasına ve zemin elemanının kısa bir süre için viskoz bir sıvı gibi davranmasına yol açar. Bunun sonucunda binada dönmeler ve

oturmalar oluşabilir (fotoğraf 4 ve 5). Sıvılaşmayı etkileyen başlıca etkenler, rölatif (bağıl) sıklılık, aşırı konsolidasyon oranı, çökmeden sonra geçen süre, tane boyutları, tane şekli ve dağılımı, nümune hazırlama yöntemi, örseleme, ince tane oranı ve plastisite olarak sıralanabilir.

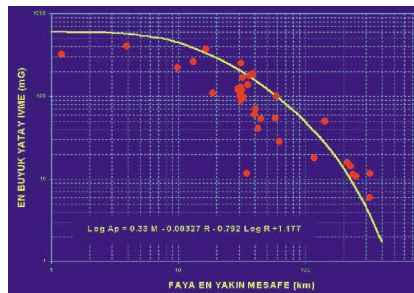
Zemin Tabakalarının Davranışları

Geoteknik yerel zemin koşullarının etkisini incelerken, yukarıda özetlenen zemin davranışlarının yanı sıra, arazideki zemin tabakalaşması, anakaya derinliği, jeolojik yapı, yeraltı su seviyesi de önemlidir. Zemin tabakalarının kalınlığı, kıvam ve esnekliği, plastisitesi, zemin büyütmesi olarak tanımlanan, zemin yüzeyindeki deprem özelliklerinin büyümesine yol açabilen etkenlerdir. Zemin tabakalarının depremler sırasında gösterecekleri bu etkilerin belirlenmesinde bu etkenlerin ayrıntılı bir biçimde incelenmesi gereklidir. Diğer yandan daha basit ve daha kolay bazı yöntemler de geliştirilmiştir. Bunlar arasında, zemin tabakalarının üst 30 m içinde kalan bölümünde ölçülen kayma dalgası hızlarının ağırlıklı ortalaması olarak tanımlanan eşdeğer kayma dalgası hızlarının kullanılması da vardır (şekil 10). Bir başka yaklaşım da, çok hassas sismograflarla alınan mikrotremor kayıtlarından yararlanılır (şekil 11).

Arazide zemin tabakalarının özelliklerinin belirlenmesinde, kayma dalgası hızlarının ölçülmesi için kayıt kuyusu, aşağı kuyu ve kuyu içi yöntemleri kullanılır. Bu yöntemler uygulanarak ve zemin türleri ve mühendislik özellikleri yeterli sayıda sondaj ve labora-



Şekil 11. Zemin büyütmesinin ve zemin hakim periyodunun yaklaşık olarak hesaplanabildiği mikrotremor deney sonuçlarına bir örnek (solda). Şekil 12. 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, ve İstanbul Teknik Üniversitesi tarafından çalıştırılan deprem istasyonlarında alınmış ivme kayıtlarından bulunmuş en büyük ivme değerlerinin oluşan faydan uzaklığa göre değişimi (sağda).





Fotoğraf 3. 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde Adapazarı'nda zemin yumuşaması ve kayma mukavemeti kaybı sonunda oluşan temel göçmelerine bir örnek (Jonathan Bray).

tuvar deneyleri ile belirlenerek, zemin yüzeyinde oluşacak deprem özellikleri tahmin edilebilir. Böyle bir inceleme sonucunda zemin tabakaları üzerinde yer alan veya alacak olan mühendislik yapılarına gelecek deprem kuvvetlerinin daha doğru ve gerçekçi bir biçimde tahmin edilmesi mümkündür.

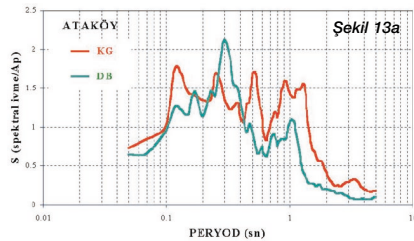
Kaynak Özellikleri

Kaynak özellikleri, tektonik yapı, fay doğrultusu, fayın yeri ve tipi, kırılma hızı, fay yüzeyi pürüzlülüğü, kırılma biçimi, gerilme düşüşü, yönlendirme etkileri olarak düşünülebilir. Aynı depremde farklı istasyonlarda alınan ivme kayıtlarında en büyük değerlerin doğrultuya göre de farklılaşabildiği gözlenmiştir. Öte yandan aynı istasyonda benzer büyüklükteki farklı depremlerde alınmış kayıtlardan bulunmuş en büyük ivme değerleri karşılaştırıldığında

da farklılıklar ortaya çıkabilmektedir. Gözlenmiş en büyük ivme değerleri, dışmerkez uzaklığına göre üniform bir azalma göstermeyebilir (şekil 12). Bu gözlemler, yerel zemin koşulları kadar deprem özelliklerinin ve deprem özellikleriyle yerel zemin özelliklerinin karşılıklı etkileşiminin önemini gösterir. İnşaat mühendisliği uygulamalarında deprem kuvvetlerini tanımlamak için en çok kullanılan yaklaşım, ivme kayıtlarından elastik mutlak ivme ve bağıl hız tepki spektrumlarının hesaplanmasıdır. Bu spektrumlardan yararlanarak zemin hakim periyodu ve zemin büyütmesi bulunabilir. Öte yandan, farklı büyüklükteki depremlerin yol açtığı zemin büyütmesi ve zemin hakim periyodunu karşılaştırabilmek amacıyla, deprem kaydının tüm bileşenlerine ait mutlak ivme spektrumları, o kayda ait en büyük ivme değerine oranlanarak boyutsuz ivme oranları be-

lirlenebilir. Hesaplanan tepki spektrumları için kaydedilen depremlerin mutlak ivme spektrumlarına göre belirlenen zemin hakim periyodları arasında önemli farklar bulunabilir (şekil 13a ve 13b). Hatta farklı depremlerde aynı noktada kaydedilen ivme kayıtlarından hesaplanan spektral ivme değişimlerinde de farklılıklar olabilir. Zemin büyütmesi açısından ivme oranı spektrumları incelendiğinde, farklı depremlerde değişik doğrultularda kaydedilen ivme kayıtları için önemli farklılıklar da gözlenebilir (şekil 13c). Bu tür kayıtların aynı yerel zemin koşullarında, benzer büyüklükteki depremlerde ve benzer dış merkez uzaklıklarında alındığı durumlarda, bu farklılaşmanın nedeninin deprem özelliklerinden, deprem özellikleriyle, zemin özelliklerinin karşılıklı etkileşiminden kaynaklandığı kabul edilebilir. Dolayısıyla, inşaat mühendisliği uygulamalarında, yapıların depreme dayanıklı olarak tasarımında yerel zemin koşullarının gerçekçi bir biçimde belirlenmesinin yanı sıra, meydana gelebilecek bir depremin özellikleri konusunda da kapsamlı bir çalışma yapılması gereği ortaya çıkar. Bu sonuçlar, geniş alanlara yayılmış, jeolojik ve geoteknik açıdan çok farklı koşulları içeren kentlerde, güvenilir yapı tasarımı parametrelerinin elde edilebilmesi için yerel koşulların daha ayrıntılı belirlenmesini gerektirir. Bunun yanı sıra deprem tasarım parametrelerinin bunlara uygun olarak seçilmesinin, sismik mikro bölgeleme yönteminin uygulanmasının, ileride olabilecek bir depremde yapısal hasarları en aza indirmek için gerekli olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, depremler sırasında oluşan yapısal hasarlarda ve hasar dağılımlarında, yapısal özelliklerin yanı sıra deprem kaynak özelliklerinin ve yerel geoteknik koşulların önemli derecede etkili olduğu görülüyor. Yalnızca deprem özelliklerinin incelenmesi yapısal hasarda gözlenen yerel farklılıkları açıklamakta yeterli olmadığından, tabaka kalınlıkları ve zemin tabakalarının dinamik özelliklerine bağlı olarak farklılık gösteren yerel zemin özellikleri hasar dağılımında gözlenen farklılıkların nedenlerinden biri olarak ortaya çıkıyor.



17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde İTÜ Ataköy deprem istasyonunda (şekil 13a) ve İTÜ Zeytinburnu istasyonunda (şekil 13b) kaydedilmiş ivme kayıtlarından hesaplanmış boyutsuz ivme spektrumları. 1992 Erzincan depreminde Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi Erzincan deprem istasyonunda (şekil 13c) kaydedilen kuzey-güney ve doğu-batı ivme kayıtlarından hesaplanmış boyutsuz ivme spektrumları.

