

IV. Oturum

Zemin Mühendisliği

Zeminlerin Sismik Yapı Hasarı Üzerindeki Etkileri: Adapazarı'ndan Öğrenilenler

B. Sadık Bakır

*Doç. Dr., Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
06531 Ankara*

Özet

17 Ağustos 1999 İzmit depreminde Adapazarı'nda meydana gelen yapısal hasar, gerek dağılımı gerekse farklı formları itibariyle deprem mühendisliği alanında çalışan araştırmacıların dünya çapında ilgisini çekmiştir. Bu makalede, zemin koşullarının Adapazarı'nda meydana gelen bina hasarları üzerindeki etkileri, depremde bu yana yürütülmekte olan bir dizi araştırmadan elde edilen bulgular ışığında ele alınmaktadır.

1. Giriş

17 Ağustos 1999 İzmit (Kocaeli) depreminde Adapazarı'nda meydana gelen yapısal hasar, gerek dağılımı, gerekse hasar formlarındaki çarpıcı farklılaşma itibariyle zeminlerin sismik yapı hasarı üzerindeki etkilerine ilişkin olarak cevaplanması gereken birçok soruyu da beraberinde getirmiştir. Kentte, özellikle 4-7 katlı betonarme binaların temellerinde farklı formlarda (oturma, dönme ve ötelenme) ve düzeylerde meydana gelen deplasmanlar geoteknik deprem mühendisliği konusunda çalışan araştırmacıların dünya çapında ilgisini çekmiş, deprem sonrasında Adapazarı'nı ziyaret eden çok sayıda ulusal ve uluslararası araştırma grubu, gözlem ve müteakip çalışmalarda elde ettikleri bulgular üzerine makaleler yayımlamıştır. Konuyla ilgili olarak halen süregelen araştırmalarda ulaşılan sonuçlar, Kentte meydana gelen yapı hasarlarına ve sismik zemin davranışına ilişkin olarak depremde hemen sonra ileri sürülen yerleşik konvansiyonel anlayış doğrultusundaki açıklama ve öngörülerle genel olarak kökten çelişir niteliktedir. Bu bakımdan Adapazarı deprem mühendisliği literatüründe şimdiden özel bir yer edinmiş bulunmaktadır.

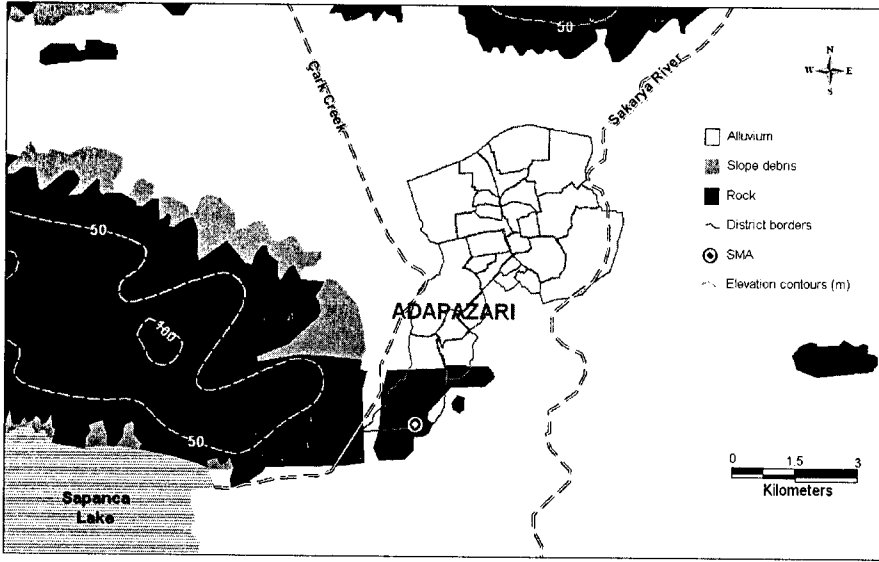
Türkiye, bir “deprem ülkesi” olmakla birlikte 17 Ağustos depremine kadar zemin etkilerinin yapı hasarı üzerinde Adapazarı’nda olduğu derecede belirleyici olarak ortaya çıktığı bir deneyim yaşamamıştır. Depremden hemen sonra yapılan değerlendirmelerde kentteki ağır yapı hasarının zemin sıvılaşmasından kaynaklandığı yönünde prematüre bir kanı oluşmuş, ve maalesef, gerek yapı hasarlarının değerlendirilmesi, gerekse önlem alınması konularında dar görüşlü bir anlayışla ve alelacele alınan kararlar sonucunda önemli mühendislik hataları yapılmıştır. Sonuç olarak büyük bir kaynak israfına yol açıldığı gibi, deprem afetini henüz atlarmış olan Adapazarlı vatandaşlarımız maddi ve manevi ağır külfetlerle karşı karşıya kalmıştır. Dolayısıyla, ileride meydana gelecek depremlerde afet yönetiminin gereği gibi yapılabilmesi bakımından 17 Ağustos depremi sonrasında Adapazarı’nda yapılan uygulamaların eleştirel bir gözle değerlendirilerek gerekli derslerin çıkarılması son derece önemlidir.

Bu makalede, Adapazarı’na ilişkin olarak Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü bünyesinde depremden hemen sonra başlanan ve halen kısmen devam etmekte olan bir dizi araştırma ve bu araştırmalardan elden edilen sonuçlar aktarılmaktadır. Makalede ayrıca, elde edilen sonuçların deprem mühendisliği disiplinine katkıları üzerinde durulmakta ve bu bulgular ışığında Adapazarı’nda deprem sonrasında yapılan uygulamalar değerlendirilmektedir. Bir bütünün parçalarını teşkil eder nitelikteki bu araştırma dizisi, makale kapsamında dört ana bölümde ele alınmaktadır. Birinci bölümde 17 Ağustos depreminde Kent merkezinde meydana gelen yapısal hasar dağılımına ilişkin gözlemler, Adapazarı’nın jeolojik ve geoteknik özellikleri dikkate alınarak değerlendirilmekte ve hasar dağılımında görülen çarpıcı farklılaşmanın nedenleri saha mukabele analizleriyle açıklanmaktadır. İkinci ve üçüncü bölümlerde ise, sırasıyla, deprem sonrasında yapılan ön değerlendirmelerde sıvılaştığı düşünülen Adapazarı yüzey zeminlerini oluşturan silt-kil karışımları üzerinde yapılan statik ve dinamik yükleme deneylerinden elde edilen sonuçlar ve yerel zeminlerdeki farklılaşmaların bina hasar dağılımı ve hasar formları üzerindeki etkilerine değinilmektedir. Son bölümde ise, Adapazarı’nda deprem sonrasında yapılan uygulamalara ilişkin değerlendirmeler yer almaktadır.

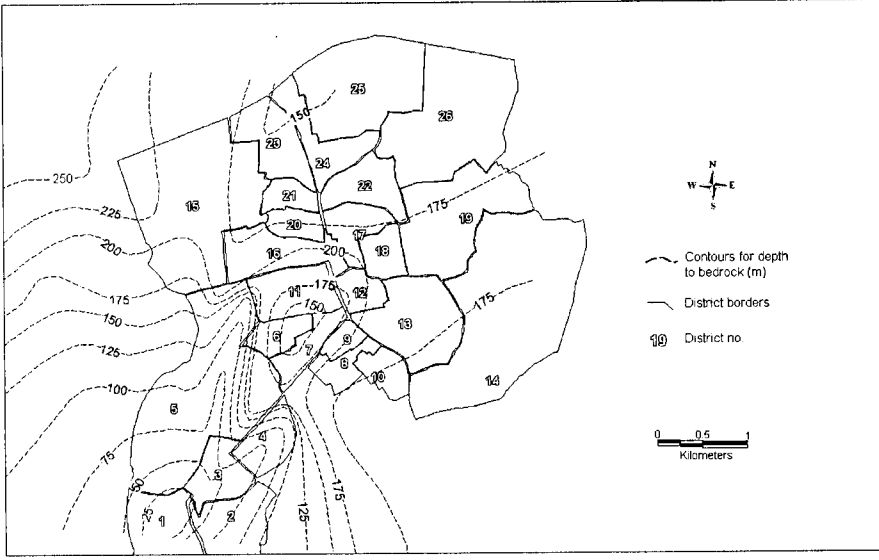
2. Jeolojik - Geoteknik Koşullar

Adapazarı, eski bir göl yatağı olan sedimanter bir basen kenarında kuruludur. Şehrin güney bölümü sığ ve sert rezidüel zeminler zeminler

üzerinde yer alırken, kuzeyde yer alan daha büyük ve nisbeten yeni bölümü Sakarya Nehri ve kolları tarafından taşınarak derin göl çökelleri üzerine istiflenmiş olan Kuvarterner aluvyon zeminler üzerine oturmaktadır. Anakaya formasyonu sedimanter zeminler altında kuzey istikametinde alçalarak Kent sınırları içerisinde 200 m civarındaki derinliklere ulaşmaktadır. Adapazarı civarının jeolojik ana hatları Şekil 1de, anakaya derinliğinin Kent merkezi altındaki değişimi ise Şekil 2de verilmektedir.



Şekil 1. Adapazarı civarının jeolojik ana hatları (Bakır, Sucuoğlu ve Yılmaz, 2002).



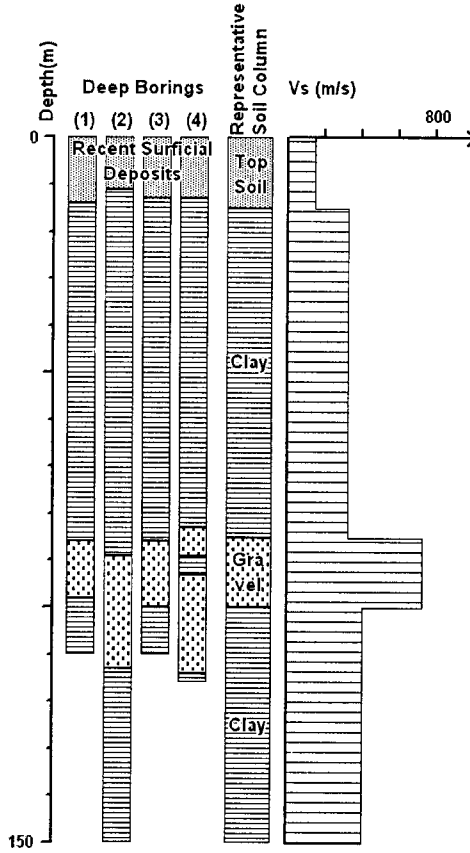
Şekil 2. Adapazari Kent merkezinde anakaya derinliğinin değişimi (Bakır, Sucuoğlu ve Yılmaz, 2002).

Deprem sonrasında Adapazari’nda mevcut zemin özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla çeşitli kaynaklardan elde edilen çok sayıda sık ve derin sondaj incelenerek tasnif edilmiştir. Kentin derin aluvyonlar üzerinde yer alan kesiminde yüzeyden itibaren yaklaşık 15 metre derinlik içerisinde yer alan zeminler, genel olarak yer yer kil ve çakıl bantları içeren ince kum, silt ve kilin farklı oranlardaki karışımlarından müteşekkildir. Normal konsolide olan bu yapı içerisindeki ince daneli zeminler büyük ölçüde düşük plastisitelidir. Bu kesimde zemin özellikleri yatay ve düşey yönlerde keskin değişiklikler göstermekte ve genel olarak artan derinlikle birlikte profilde kil zeminler baskın olmaktadır. Kentte yeraltı su tablası tutarlı olarak yüksektir ve genellikle 0.2 - 3.0 m arasındaki derinliklerde seyretmektedir (Bakır ve arkadaşları, 2002; Sucuoğlu ve arkadaşları, 2000).

Daha aşağıda ise, göl çökellerinin oluşturduğu yer yer silt ve ince kum ihtiva eden kalın kil tabakaları yer almaktadır. Kent içerisinde açılmış olan ve derinlikleri 110 – 150 m arasında değişen dört derin sondajın logları tutarlı olarak 80-110 m aralığında kesilen bir çakıl tabakası dışında tamamen kil zeminler içermektedir. Bu sondajların logları saha mukabele analizi amacıyla kullanılan idealize zemin profiliyle birlikte Şekil 3de verilmektedir.

3. Bina hasar dağılımı ve geoteknik etkenler

17 Ağustos depreminde Adapazarı'nda yapısal hasar yoğunluğu kuzey istikametinde keskin bir artış trendi göstermiştir. Alüvyon zeminlerin 200 m derinliklere ulaştığı kent merkezini oluşturan mahallelerde çöken ve ağır hasar gören bina oranları %22 seviyesine ulaşmıştır. Hasar dağılımındaki bu keskin farklılaşmalar, hareket büyütmesi (amplification) ve yüksek frekansların filtrelenmesi gibi, uzun periyotlu yapıları olumsuz etkilediği bilinen ve genel olarak kalın alüvyon tabakalarının varlığından kaynaklanan yerel geoteknik faktörlerin etkisini açıkça göstermektedir.



Şekil 3. Derin sondaj logları ve saha mukabele analizinde kullanılan idealize zemin profili (Bakır, Sucuoğlu ve Yılmaz, 2002).

Kentin özellikle ağır hasar gören merkezi kesimi deprem öncesinde yaklaşık 20 yıllık bir süre içerisinde hızla gelişmiş bulunmaktadır. Bu dönemde inşa edilmiş olan binaların hemen hemen tamamı 4-6 katlı

betonarme ve boşluklu tuğla dolgu duvarlıdır. Yeraltı suyunun yüzeye çok yakında seyretmesi nedeniyle, birkaç istisna dışında bu binaların tamamı 1.5 m civarındaki derinliklerde yer alan rijit radye temeller üzerine inşa edilmiştir. Nispeten daha eski binalar çoğunlukla bir veya iki katlı olup taş veya tuğla yığma veya tahta çerçeve içerisine tuğla dolgudur. Bu kategoriye dâhil olan binalarda çökme veya ağır hasar çok daha düşük oranlarda gerçekleşmiştir. Adapazarı'nda mevcut bina tiplerinin birinci doğal periyotları, yaklaşık olarak, yığma binalar için (1-3 katlı) 0.1-0.3 s aralığında; betonarme binalar içinse (4-7 katlı) 0.45-0.7 s aralığında hesaplanmaktadır.

Depremden en fazla etkilenen grubu teşkil eden nispeten daha yüksek betonarme binalarda hasar, birbirinden tamamen farklı iki formda ortaya çıkmıştır. Bunlar, 1) yapısal sistem hasarları, ve 2)değişik düzey ve formlarda (oturma, eğilme ve ötelenme) tezahür eden temel deplasmanlarıdır (sırasıyla, Şekil 4 ve 5). Gözlemler, temel deplasmanlarının form ve düzeylerinin yüzey zeminlerinin mukavemet özelliklerinin yanı sıra bina yüksekliği, temel boyutları oranı (genişlik/uzunluk), komşu binaların mevcudiyeti gibi faktörlerle doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. Deplasmanlar genel olarak daha yüksek ve temel boyut



Şekil 4. Yapısal sistem göçmesi formunda yapı hasarları.



Şekil 5. Temel deplasmanı formunda bina hasarları

oranları düşük binalarda çok daha belirgin olarak ortaya çıkarken, 1-2 katlı binalarda hemen hemen hiç görülmemiştir. Bitişik nizam bloklarda ise temel deplasmanları göreceli olarak daha düşük seviyelerde ve blok boyunca düzgün oturma (5-25 cm) şeklinde meydana gelmiş, blokların sonunda yer alan bina temelleri, tipik olarak, aşırı eğilmeye maruz kalmışlardır. Kentte deprem sırasında yüzey zeminlerinde sıvılaşma meydana geldiğine dair açık kanıt teşkil edebilecek kum fışkırmaları oldukça seyrek görülmüştür. Diğer taraftan, temel deplasmanlarına maruz kalan binaların çevresinde genellikle 1-2 m genişlik içerisinde yer yer kabarmalar meydana gelmiş, bazı durumlarda ise zeminde kabarma veya kum fışkırması görülmeksizin nispeten büyük oturmalar meydana gelmiştir. Temel deplasmanları bazı binalarda kullanılabilirlik açısından kabul edilebilir sınırları aşmış olmakla birlikte, radye temeller aşırı oturma ve dönme koşullarında dahi bütünlüklerini muhafaza etmişlerdir. Aşırı eğilme formunda temel deplasmanı nedeniyle deprem sonrasında kullanılmaz halde olan birçok bina daha sonra çeşitli yöntemlerle düzeltilerek kullanılabilir duruma getirmişlerdir.

Hasar formlarına ilişkin olarak dikkat çekici bir husus da, iki farklı formun genel olarak birlikte görülmemiş olmasıdır. Diğer bir deyişle, çöken veya ağır yapısal hasar gören binalarda temel deplasmanı meydana gelmemiş; deplasman seviyelerinden bağımsız olarak herhangi bir formda temel deplasmanına maruz kalmış olan hiçbir binada da dikkate değer düzeyde yapısal hasar ortaya çıkmamıştır. Bu gözlem, nispeten yumuşak veya boşluk suyu basıncı artışı sonunda mukavemet kaybına uğrayarak yumuşayan zeminlerin deprem sırasında üstyapıya ulaşan sismik kuvvetleri azaltarak doğal taban izolatörü vazifesi görmüş olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, 17 Ağustos depreminde Adapazarı'nda binaların sismik davranışı ve hasar modları üzerinde yüzey zeminlerinin özellikleri belirleyici olmuştur.

4. Saha Mukabele Analizleri

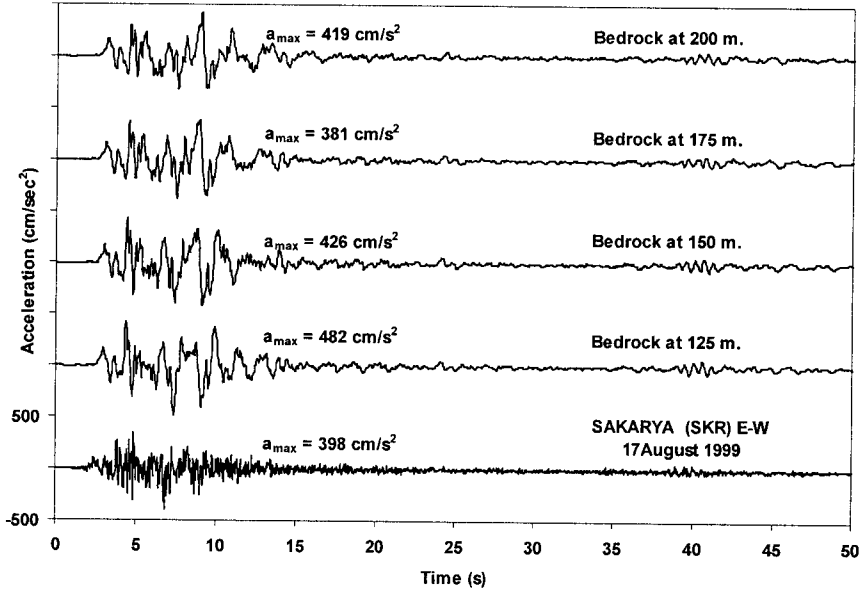
17 Ağustos depremi yer hareketi Adapazarı'nda fay yüzey kırığının 3 km kadar kuzeyinde yer alan bir istasyonda kaydedilmiştir. Ancak, cihazda meydana gelen bir arıza nedeniyle hareketin sadece yaklaşık olarak faya paralel istikametteki doğu-batı bileşeni mevcuttur. Kayıt alınan kesim anakayanın yüzeye çok yakın olduğu, Kentin güneyindeki rezidüel zeminler üzerinde yer almaktadır. Deprem sonrasında Kentte bina hasarlarının en az olduğu kesim de burasıdır. Diğer taraftan, anakayanın alüvyon zeminler altında kuzeye doğru alçalarak Kentin altında 200 m civarındaki derinliklere ulaştığı kesimlerde bina hasarlarının son derece yüksek olması, derin alüvyon tabakalarının yüzeye ulaşan deprem hareketi özelliklerini büyük ölçüde değiştirmiş olduğunu göstermektedir. Adapazarı'nda alüvyon zeminlerin yer hareketi üzerindeki etkileri Bakır ve arkadaşları (2001 ve 2002) tarafından 1-boyutlu model analizleriyle incelenmiştir. Burada kısaca bu araştırmalar ve elde edilen sonuçlar aktarılmaktadır.

Alüvyon zeminler üzerinde yer hareketinin değişimini inceleyebilmek amacıyla, derin sondajların tutarlı profiller gösteren loglarının gevşek siltli yapıdaki yüzey zeminleriyle (üst 15 m) birlikte değerlendirilmesiyle Kentin büyük bir bölümünün altında yer alan derin alüvyon zeminleri temsil eden idealize bir zemin kolonu elde edilmiştir (Şekil 3). Bu zemin kolonu kullanılarak, SHAKE programı (Schnabel ve arkadaşları, 1972) yardımıyla Kent içerisinde alınan kayıt farklı alüvyon derinlikleri için anakayadan zemin yüzeyine iletilmiştir. Kentte alınan kayıt ve farklı alüvyon derinlikleri için zemin yüzeyinde hesaplanan ivme-zaman

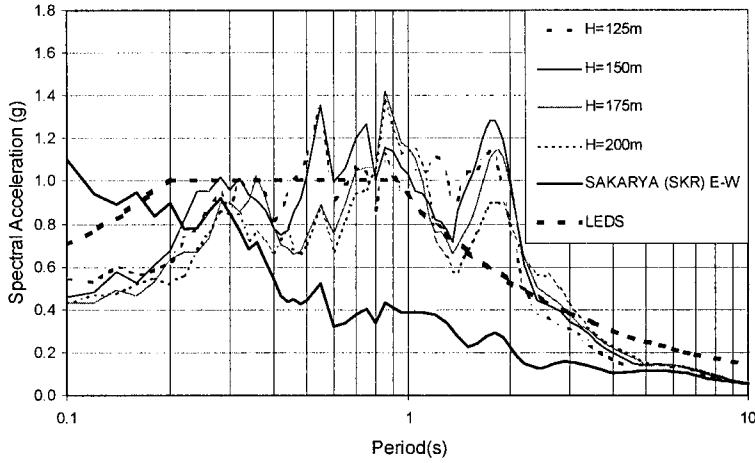
grafikleri Şekil 6da, bu ivme zaman grafikleri kullanılarak elde edilen mukabele spektrumları ise, Şekil 7de verilmektedir.

5. Saha mukabele analizlerine ilişkin sonuçlar ve değerlendirmeler

Şekil 6da verilen ivme-zaman grafiklerinden anlaşılacağı üzere, yer hareketinin maksimum ivme değerleri alüvyon zeminler üzerinde deprem ivme kaydının alındığı sağlam zeminlere oranla 1.0 - 1.2 arasında değişen bir faktörle artmaktadır. Diğer taraftan, alüvyon zeminlerin yer hareketi üzerindeki çok daha önemli etkisi hareketin yüksek frekans bileşenlerini büyük ölçüde filtre etmesidir. Sonuç olarak, yüzey hareketinin hakim periyodu çok katlı binaların birinci doğal periyoduna yaklaşımakta, dolayısıyla hareketin hasar potansiyeli büyük ölçüde artmaktadır.



Şekil 6. Adapazarı'nda 17 Ağustos depreminde alınan kayıt ve farklı alüvyon derinlikleri için zemin yüzeyinde hesaplanan ivme-zaman grafikleri (Bakır, Sucuoğlu ve Yılmaz, 2002).



Şekil 7. 17 Ağustos depreminde kaydedilen ve hesaplanan yer hareketlerinin ivme mukabele spektrumları (%5 sönüm oranı için). Kalın kesikli çizgi 1998 Deprem Yönetmeliğinin öngördüğü tasarım spektrumudur (Bakır, Sucuoğlu ve Yılmaz, 2002).

Şekil 7de yer alan mukabele spektrumları alüvyon zeminler üzerindeki spektral ivme değerlerinin 3-4 katlı betonarme binaların doğal periyot aralığında (0.25-0.5 saniye) kaydın alındığı sağlam zeminlerle kıyaslandığında yaklaşık 0.5g daha yüksek olacağını göstermektedir. Spektral ivme değerlerindeki bu fark 5-6 katlı binaların doğal periyot aralığında (0.5-0.6 saniye) 0.8g nin üzerine çıkmakta, maksimum spektral ivme değerleri ise alüvyon zeminler üzerinde alüvyon derinliğine bağlı olarak 0.9-1.4g arasında değişmektedir.

Yukarıda açıklanan bulgular, 17 Ağustos depremi sırasında alüvyon zeminler üzerinde yer alan 3 ve daha çok katlı, özellikle 5-6 katlı binaların, deprem kaydının alındığı kentin güneyindeki sağlam zeminleri üzerinde yer alan binalara oranla çok daha büyük sismik yatay kuvvetlere maruz kaldığını göstermektedir. Sismik yatay kuvvetlerdeki artışlar, alüvyon kalınlığı ve bina kat sayısına bağlı olarak alüvyon zeminler üzerinde 3 kata kadar yükselmektedir. Bu sonuçlar, aynı zamanda deprem sonrasında Adapazarı'nda ortaya çıkan hasar dağılımı ve gözlemlerden elde edilen sonuçlarla uyum içerisindedir. Burada hatırlanması gereken nokta, alüvyon tabakaları üzerinde hesaplanan spektral ivme değerlerinin bina temellerinin zemine ankastre olduğu durum için geçerli olduğudur. Dolayısıyla, Şekil 7de verilen spektral ivme değerlerinin deprem sırasında temellerin kalıcı deplasmanlar yapabildiği gevşek/yumuşak (veya deprem sırasında

sıvılaşmaya bağılı olarak yumuşayan) temel zeminleri üzerinde yer alan binalar için yapı ve zemin koşullarına bağılı olarak daha düşük olması beklenmelidir.

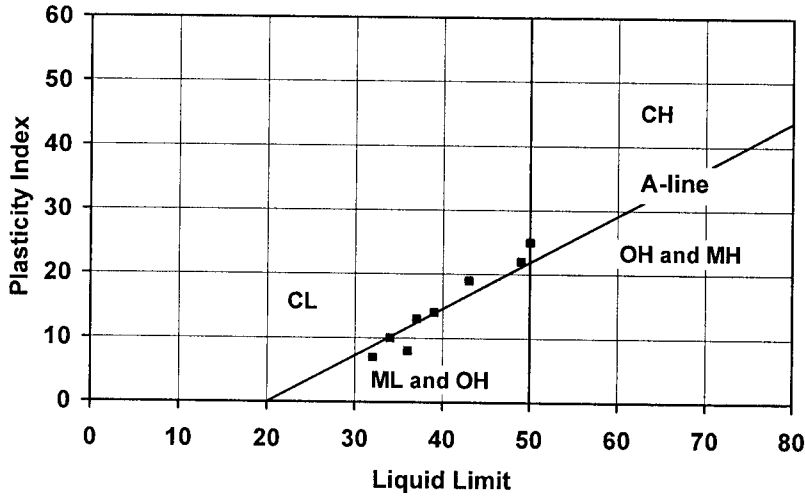
Diğer taraftan, saha mukabele analizlerinden elde edilen sonuçlar Deprem Yönetmeliğimizde tasarım spektrumuna ilişkin çok önemli bir kusurun mevcudiyetini de ortaya koymaktadır. Yönetmeliğimize göre Adapazarı'nda derin alüvyon zeminler üzerinde yer alan bir saha için (birinci derece deprem bölgesi, yerel zemin sınıfı Z4 ve bina önem katsayısı 1.0) tasarım spektrumunda maksimum spektral ivme değeri $1g$ ve kesme periyodu T_B 0,9 s olarak belirlenmektedir. Şekil 7de kentin derin alüvyon tabakaları üzerinde yer alan bölümlerinde kesme periyodu olan 0.9 saniyeden daha büyük periyotlarda, özellikle 1.5 s civarındaki saha hâkim periyotlarına karşılık gelen spektral ivme değerlerinin deprem yönetmeliğimizde verilen tasarım spektrumu değerlerini önemli ölçüde geçmiş olduğu görülmektedir. Tasarım spektral ivme değerleri ile hesaplanan değerler arasındaki farklar, alüvyon derinliği ve kayma dalgası hızlarındaki değişikliklere bağılı olarak, 0.6g seviyesinin üzerine çıkabilmektedir. Bu durumda, hakim saha periyodunun spektrum kesme periyodundan büyük olduğu sahalar üzerinde yer alan ve birinci doğal periyotları saha periyodu civarında olan ve mevcut Deprem Yönetmeliğimize uygun olarak tasarlanmış olan yapıların öngörülenin çok üzerinde sismik kuvvetlere maruz kalabilecekleri açıktır.

6. Adapazarı silt-kil karışımlarının monotonik ve dinamik yükler altında davranışının araştırılması

Geoteknik deprem mühendisliği açısından Adapazarı'nda meydana gelen yapısal hasara dair en sıra dışı olgu, şüphesiz, bina temellerinde farklı form ve seviyelerde meydana gelen temel deplasmanlarıdır. Deprem sonrasında Kentte incelemelerde bulunan çeşitli gruplarca yapılan ön değerlendirmelerde genel olarak bu deplasmanların sıvılaşma kaynaklı olduğu ileri sürülmüştür. Adapazarı'nda yüzey zeminlerinin yer yer sıvılaşma potansiyeline sahip kum tabakaları ihtiva ettiği bilinmekle birlikte, deprem sonrasında Kentte temel deplasmanlarının meydana geldiği kesimlerde farklı araştırma gruplarınca yapılan sondajlı saha araştırmalarında, kum tabakalarının (eğer mevcutsa), tutarlı olarak çok derinde ve sıvılaşmaya imkân vermeyecek derecede sıkı olduğu belirlenmiştir. Yine bu araştırmaların sonuçları, söz konusu sahalarda yüzey zeminlerinin, istisnai durumlar dışında, Birleşik Zemin Sınıflandırma

Sistemine göre siltli kil (CL) veya killi silt (ML) olarak sınıflandırılan ince daneli zeminlerden oluştuğunu göstermektedir. Bu durumda, deprem koşullarında sıvılaşmalarının mümkün olup olmadığı halen deprem mühendisliğinin tartışmalı konularından birisini teşkil eden silt-kil karışımı zeminlerin Adapazarı'nda sıvılaşmış olabileceği konusu doğal olarak gündeme gelmiştir. Adapazarı silt-kil karışımlarının genel davranış özelliklerinin ve deprem sırasında sıvılaşmış olmaları ihtimalinin araştırılması amacıyla bir araştırma projesi kapsamında ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü bünyesinde Kentte temel deplasmanlarının meydana geldiği sahalardan temin edilen örselenmemiş silt-kil karışımı zemin numuneleri üzerinde bir dizi paralel, monotonik ve dinamik üç eksenli yükleme deneyi yapılmıştır (Yılmaz, Pekcan ve Bakır, 2004). Aşağıda bu çalışmalar ve elde edilen sonuçlar özetle aktarılmaktadır.

Paralel üç eksenli testlerde tutarlı bir deney seti teşkil etmek amacıyla numune tüpü içinden aynı seviyeden alınan 2 veya 3 örselenmemiş numune, bina temelleri altındaki sığ derinliklerde yer alan zeminler üzerinde deprem öncesinde mevcut gerilme durumunun modellenenebilmesi için anizotropik koşullarda konsolide edilmişlerdir. Konsolidasyon safhasını müteakiben, her set içerisindeki numunelerden biri üzerinde üç eksenli monotonik yükleme deneyi uygulanarak mukavemet değeri belirlenirken, diğer numune(ler) üç eksenli dinamik yükleme deneyine tabi tutulmuştur. Dinamik deneylerde uygulanan gerilmeler ve yükleme frekansları 17 Ağustos depreminde Adapazarı'nda bina temelleri altındaki yüzey zeminleri üzerinde meydana gelmiş olan zorlamaları temsil edecek mertebelerde seçilmiştir. Çalışmada kullanılan numunelerin plastisite kartındaki yerleri Şekil 8de verilmektedir.



Şekil 8. Monotonik ve dinamik deneylerde kullanılan numunelerin plastisite kartındaki yerleri.

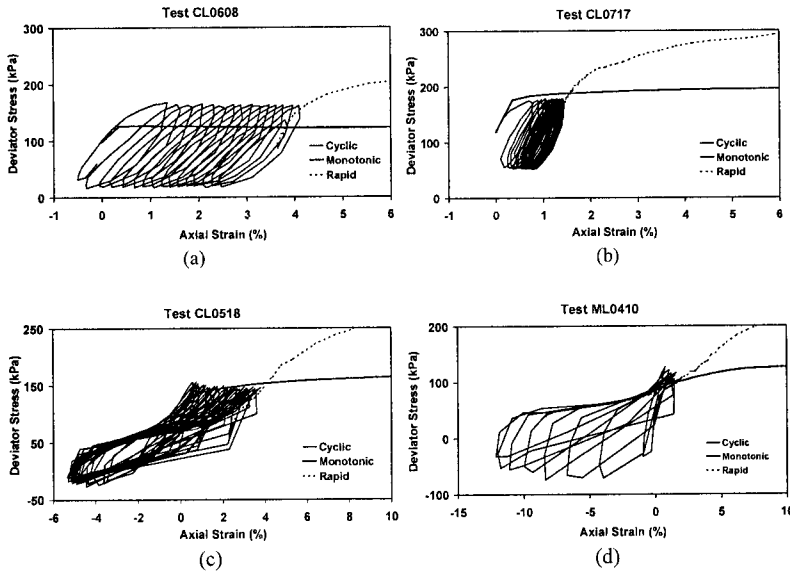
Tek yönlü (sadece basınç) ve iki yönlü (basınç ve çekme) yükleme koşullarında gerçekleştirilen dinamik deneyler, maksimum dinamik gerilme değerlerinin monotonik mukavemet değerine oranla göreceli olarak daha düşük ve daha büyük değerler aldığı iki durum için de yapılmıştır. Zeminin sismik yükler altında davranışına ilişkin önemli bir husus da, deprem sırasında maruz kalınan zorlamalar dolayısıyla statik koşullarda stabilite bozulmasına neden olabilecek bir mukavemet kaybının ortaya çıkmış olması ihtimalidir. Bu hususun araştırılması amacıyla, numuneler, dinamik yükleme safhasını müteakiben başlangıçtaki anisotropik gerilme durumu altında ve drenajsız koşullarda 5 dakika kadar bekletilmiş ve herhangi bir göçme veya deformasyon trendinin mevcut olup olmadığı gözlenmiştir. Numuneler, son olarak, deprem sırasında maruz kalabilecekleri şekilde güçlü bir zorlama (pulse) durumunda mukavemet ve deformasyon davranışının incelenmesi amacıyla ani monotonik basınç yüklemesine tabi tutulmuşlardır.

7. Dinamik ve monotonik yükleme deneylerinin sonuçları ve değerlendirmeler

Deneysel çalışmalar sonucunda, dinamik yüklemenin tek veya iki yönlü olmasına ve uygulanan gerilme seviyesinin minimum ve maksimum seviyelerine bağlı olarak keskin farklılıklar içeren trendler gözlenmiştir.

Monotonik basınç, dinamik yükleme ve müteakip ani yükleme deney sonuçlarının birlikte verildiği Şekil 9.a – d, bu genel trendleri temsil eden test sonuçlarını içermektedir.

Maksimum stres seviyesinin numunenin mukavemet değerini geçtiği tek yönlü dinamik yükleme durumunda plastik deformasyonların her çevrimde hemen hemen sabit bir oranda arttığı gözlenmiştir. Bu durumda Şekil 9.a'da yer alan türden gerilme-eksenel deformasyon grafikleri elde edilmektedir. Diğer taraftan, maksimum stres seviyesinin monotonik mukavemetin altında olduğu tek yönlü dinamik yükleme durumunda plastik deformasyonlar, yine meydana gelmekle birlikte, çevrimsel deformasyon oranları çok daha küçüktür ve deformasyonlar artan çevrim sayısı ile birlikte hızla azalarak ihmal edilebilir düzeylere düşmektedir. Şekil 9.b böyle bir deneyden elde edilen tipik gerilme-eksenel deformasyon grafiğini göstermektedir. Şekil 9.c ve 9.d ise numuneler üzerinde, sırasıyla, basınç ve çekme kuvvetleri altında plastik deformasyonların olduğu iki yönlü dinamik yüklemelerden elde edilen deformasyon grafiklerini göstermektedir.



Şekil 9. Adapazarı silt-kil numuneleri üzerinde yapılan deneylerden elde edilen gerilme-doğrusal deformasyon trendleri: (a) maksimum eksenel yük seviyesinin monotonik mukavemeti geçtiği tek yönlü (basınç) yükleme, (b) maksimum eksenel yük seviyesinin monotonik mukavemetin altında olduğu tek yönlü (basınç) yükleme, (c) numunenin basınç altında yenildiği çift yönlü yükleme ve (d) numunenin çekme altında yenildiği çift yönlü yükleme.

Testlerin bir bölümünde numunelere 17 Ağustosta Adapazarı koşullarında ortaya çıkan talebin de üzerinde yükler uygulanmış olmasına rağmen, deney serisinde hiçbir numune dinamik yüklemeyi müteakiben uygulanan başlangıç anizotropik gerilme koşulları altında dikkate değer bir deformasyon yapmamıştır. Bu gözlem, söz konusu zeminlerin 17 Ağustos depremi sırasında bina temellerinde statik koşullarda stabilite kaybına neden olabilecek düzeyde mukavemet kaybetmiş olmasının mümkün olmadığını göstermektedir. Şekil 9.a – d’de göze çarpan bir husus da, numunelere uygulanan ani basınç yüklemesinin monotonik mukavemet değerlerinde önemli zahiri artışlara neden olduğudur. Kohezyonlu zeminlere has olan bu davranış özelliği, yükleme hızının artışıyla birlikte belirginleşen viskoz tepki nedeniyle ortaya çıkmaktadır.

Deneyisel çalışmalardan elde edilen sonuçlar Adapazarı silt-kil karışımlarının 17 Ağustos depremiyle kıyaslanabilir dinamik yükler altında mukavemet ve deformasyon davranışı itibariyle “sıvılaşma” olarak yorumlanabilecek herhangi bir davranış sergilemediğini açıkça göstermektedir. Yine bu sonuçlar itibariyle, Adapazarı’nda silt-kil karışımı zeminler üzerinde yer alan bina temellerinin deprem koşullarında monotonik mukavemet parametreleriyle tanımlanan taşıma kapasitesinin aşılmadığı durumlarda büyük deplasmanlar yapmış olamayacağı anlaşılmaktadır. Sonuç olarak, Adapazarı’nda temel deplasmanlarının en azından çok büyük bir bölümünün zemin sıvılaşmasıyla ilişkilendirilebilmesinin mümkün olmadığı açıktır. Dolayısıyla, deprem sonrasında Kentte nadir de olsa görülen yüzeye kum fışkırımları deprem sırasında yer yer sıvılaşmalar meydana gelmiş olduğunu göstermekle birlikte, bu sıvılaşmalar gerçekte depremden hemen sonra düşünüldüğü derecede yaygın olmamıştır.

Diğer taraftan, bazı araştırmacılar 17 Ağustos depreminde Adapazarı’nda silt-kil karışımı zeminlerin sıvılaşmış olduğu görüşünü ileri sürmüşlerdir. Bir örnek olarak, Bray ve arkadaşları (2004) Adapazarı’nda temel deplasmanına maruz kalmış olan bazı binaları vak’a analizi olarak sunmuşlar ve temel deplasmanlarını bu sahalarda yüzey zeminlerini teşkil eden silt-kil karışımı zeminlerin sıvılaşarak mukavemet kaybetmiş olmasına bağlamışlardır. Ancak, Bakır ve Yılmaz (2005) söz konusu makalede zemin sıvılaşmasına dayanak olarak ileri sürülen argümanların geçersiz olduğunu, ve bu binaların 17 Ağustos depreminde Adapazarı’nda derin aluvyon zeminlerin yer aldığı sahalarda hesaplanan sismik talebin dikkate alınması

durumunda temel zeminlerinin taşıma gücünün, mukavemet kaybına yol açacak bir nedene (sıvılaşma gibi) ihtiyaç olmaksızın aşıldığını göstermişlerdir.

8. Adapazarı'nda geoteknik faktörlerin yapı hasarı üzerindeki etkileri: yeni bir değerlendirme

Adapazarı'nda meydana gelen bina hasarları, genel hatlarıyla olağan dışı özellikler göstermesi nedeniyle, yapısal özelliklerin ve lokal zeminlere ilişkin parametrelerin hasar üzerindeki etkilerinin detaylı olarak ayrı ayrı incelenip açıklanabilmesi amacıyla yeniden ele alınmıştır (Yakut ve arkadaşları, 2005; Bakır ve arkadaşları, 2005). Bu kapsamlı çalışmada sismik performans üzerinde etkili olabilecek yapısal özelliklerin hasar dağılım ve formlarını açıklamakta yetersiz kaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Burada, söz konusu çalışmanın geoteknik faktörlerin etkisine ilişkin bölümü ele alınacak, varılan sonuçlar sismik yapı güvenliği ve mikrobölgeleme açısından değerlendirilecektir.

Yapı temelleri altında yer alan yumuşak, veya sıvılaşma sonucunda yumuşayarak doğrusal olmayan (nonlinear) davranış gösteren zeminlerin yapıların sismik performansı üzerindeki olumlu etkileri esasen bir süredir bilinmektedir. Uluslararası literatürde, özellikle son yıllarda yayımlanmış olan çok sayıda makalede bu tür etkiler büyük depremler sonrasında yapı hasarlarının seviye ve dağılımlarının değerlendirilmesiyle, kuvvetli yer hareketinin zemin yüzeyi civarındaki değişimini veren kayıtlarla ve santrifüj deneylerinden elde edilen sonuçlarla ortaya konmuştur (Bakır ve Yılmaz, 2002; Bakır ve arkadaşları, 2005). Deprem yükleri altında doğrusal sınırlar dışında davranan yumuşak zeminlerin sismik yapı performansı üzerindeki olumlu etkisi iki farklı nedenden kaynaklanabilmektedir: birincisi, yüzeye ulaşan sismik dalga enerjisinin yüksek oranlarda sönümlenmesiyle; ve ikincisi, sismik kuvvet seviyelerine, temel ve yapı özelliklerine bağlı olarak, temel-zemin etkileşiminin doğrusal sınırlar dışında ve muhtemelen taşıma gücünün ötesinde tezahür etmesiyle. Her iki durumda da konvansiyonel yapıların birinci doğal periyotlarını içeren kısa periyot aralığında sismik talepte düşüş söz konusudur. Dolayısıyla, Adapazarı'nda yüzlerce binanın temellerinde görülen deplasmanlarla belirginlik kazanan doğrusal ötesi zemin davranışının 17 Ağustos depreminde doğal pasif izolatör vazifesi görerek üstyapıya ulaşan sismik kuvvetlerde önemli miktarlarda düşüşe neden olduğu açıktır. Kentte herhangi bir form ve düzeyde temel

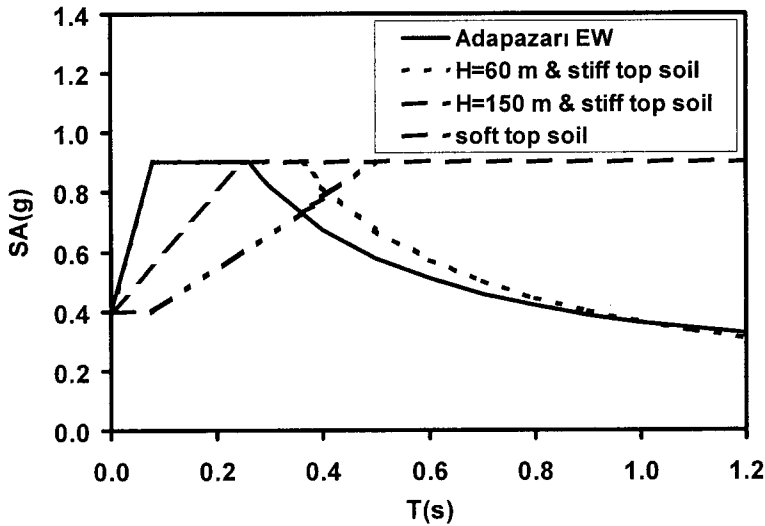
deplasmanına maruz kalmış olan hiçbir binada dikkate değer yapısal hasar gözlenmemiş olması bu konuda açık ve kesin kanıt teşkil etmektedir. Adapazarı'nda 3700 civarındaki can kaybının, birinci derecede, betonarme binaların yassı kadayıf formunda çökmesiyle meydana gelmiş olduğu göz önüne alındığında, bu olgunun bu tür çökmeleri, dolayısıyla da can kaybının daha yüksek rakamlara ulaşmasını büyük ölçüde önlemiş olduğunu söylemek mümkündür.

Geoteknik faktörlerin hasar üzerindeki etkilerinin daha detaylı araştırılabilmesi amacıyla, Adapazarı'nda 17 Ağustos depremi sırasında yüzey hareketinin değişimini gerekli hassasiyetle belirleyebilecek ve ortaya çıkan hasar dağılımını açıklayabilecek sahaya-özel bir geoteknik sınıflandırma metodolojisinin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda, yumuşak veya deprem sırasında sıvılaşmaya bağlı olarak yumuşayan temel zeminlerinin betonarme binaların sismik performansı üzerindeki olumlu etkileri yerel zemin özelliklerinin ve hesaplanan yüzey hareketi değişiminin bina hasar dağılımıyla karşılaştırılması yoluyla incelenmiştir. Depremden sonra çeşitli kaynaklardan derlenen Adapazarı'na ilişkin geoteknik veriler kullanılarak, Kent merkezinin belediye sınırları içerisinde yer alan bölümü, zeminlerin deprem hareketi üzerindeki büyütme (amplification) ve küçültme (deamplification) etkileri itibarıyla sert (stiff) ve yumuşak (soft) sahalar olarak tasnif edilmiştir. Daha sonra bu tasnife dayalı olarak bir dizi tek boyutlu mukabele analizi yapılmış ve 17 Ağustos depremiyle ilişkili olarak spektral ivme değerlerini veren sahaya-özel idealize bir spektrum seti oluşturulmuştur. Yerel zeminlerin bina hasarı üzerindeki etkileri, spektral ivme dağılımının mahalle bazında çöken bina istatistikleriyle ve coğrafik koordinatları belirlenebilen çökme vakalarının yüzey zemin özellikleriyle mukayese edilmesi yoluyla belirlenmiştir. Yukarıda genel hatlarıyla tanımlanan çalışmanın detayları Bakır ve arkadaşları (2005) tarafından, çalışmada kullanılan bina hasar istatistikleri ise, Yakut ve arkadaşları (2005) tarafından verilmektedir. Burada, özetle, elde edilen sonuçlar üzerinde durulacaktır.

Adapazarı için hazırlanmış olan sahaya-özel bir spektrum seti, örnek olarak Şekil 10da verilmektedir. Sahanın sert veya yumuşak olması ve farklı alüvyon derinlikleri kombinasyonlarına bağlı olarak hesaplanan spektrumlar, yine aynı şekil üzerinde verilen deprem kaydının idealize edilmiş formuyla karşılaştırıldığında, Adapazarı'nda mevcut 3-7 katlı betonarme binaların birinci doğal periyotlarını içeren 0.25-0.5 s aralığında derin alüvyon

zeminler üzerinde yer alan binaların Kentin güneyinde deprem kaydının alındığı sağlam zeminler üzerinde yer alanlara göre çok daha büyük kuvvetlere maruz kalmış oldukları anlaşılmaktadır. Bu bulgu, hasar dağılımına ilişkin genel eğilimler ve saha mukabele analizlerinden elde edilen sonuçlarla tutarlıdır.

Hasar dağılımı üzerinde lokal zemin koşullarının etkilerinin belirlenmesi amacıyla dört ve daha çok katlı binaların mahalle bazında çökme oranları ile zemin karakteristik özelliklerinin yüzeyden itibaren 10 m içerisindeki değişimi Şekil 11de karşılaştırılmaktadır. Bu derinlik içerisinde sıvılaşabilir nitelikteki zeminlerin (kum ve siltli kum) oranı, şekilde, sondaj noktalarında gri tonlarında daireler olarak gösterilmektedir. Bu zeminlerin yumuşak saha tanımına uyduğu durumlarda daireler kareler içerisine yerleştirilmiştir. Burada, genellikle yumuşak veya sıvılaşabilir nitelikteki yüzey zeminlerine sahip olan merkez mahallelerde (mahalle numaraları: 11, 12, 16, 17, 18 ve 20), sismik hasar potansiyeli nispeten büyük olan daha yüksek betonarme binaların yoğunlaşmış olmasına rağmen, çökme oranlarının genel olarak daha düşük olduğu görülmektedir. Diğer taraftan, yüzey zeminlerinin büyük ölçüde sert veya sıvılaşabilir nitelikte olmadığı mahallelerde çökme oranları genellikle artış trendi göstermektedir.

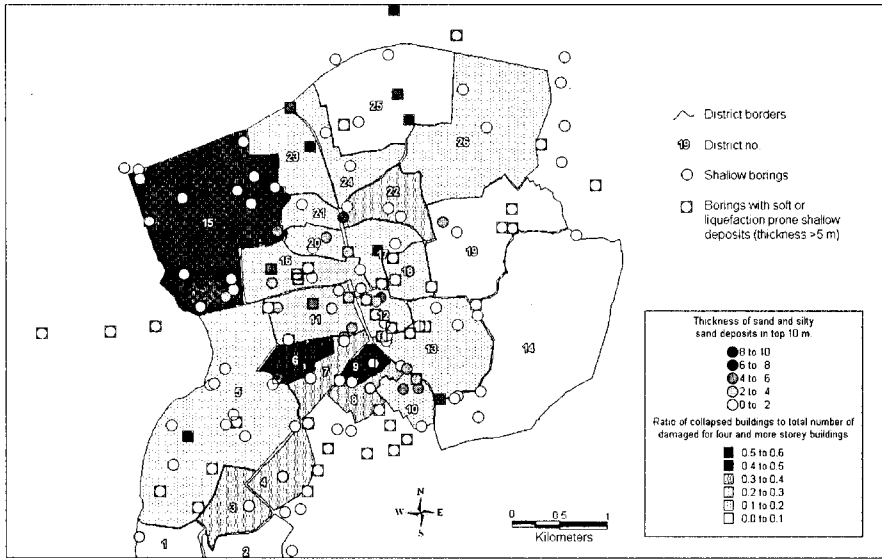


Şekil 10. Yumuşak ve sert sahalar için üretilen sahaya özel spektrum seti örneği (Adapazarı kaydı spektrumu idealize edilmiştir).

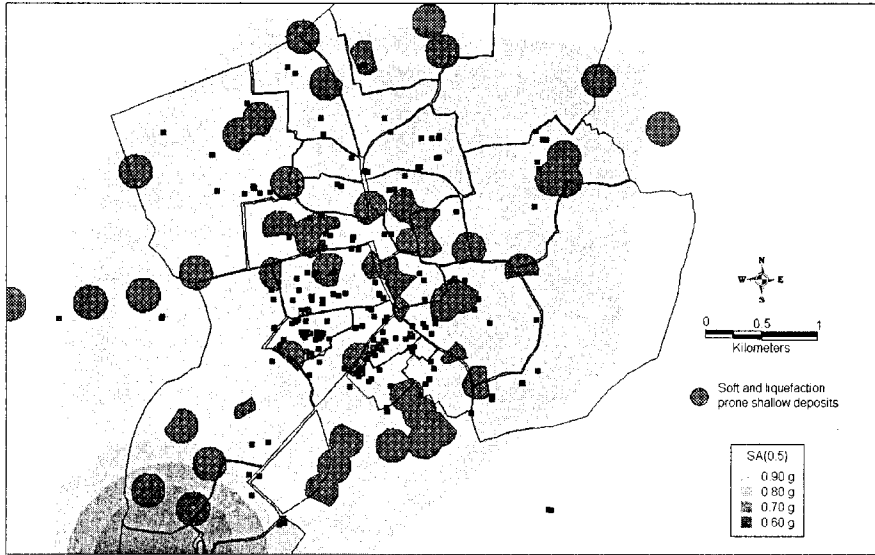
Sahaya-özel spektrum seti (Şekil 10) ve Kentin altında anakaya derinliğinin değişimi (Şekil 2) kullanılarak 4-7 katlı betonarme binaların birinci doğal periyot aralığını temsil eden 0.5 s periyoduna karşılık gelen spektral ivme değerlerinin dağılımı hesaplanmıştır. Bu dağılım, Şekil 12de sondaj noktaları itibariyle yumuşak saha olarak tanımlanan alanlar ve koordinatları belirlenebilen çöken binaların yerleriyle birlikte verilmektedir. Burada, spektral ivmelerin 0.6-0.9g aralığında değiştiği ve kuzey istikametinde alüvyon derinliğiyle birlikte arttığı görülmektedir. Çöken binaların hemen hemen tamamının en yüksek spektral ivme bölgesinde yer alıyor olması, 17 Ağustos depreminde alüvyon derinliğinin binalara etkileyen sismik kuvvet seviyeleri üzerinde ne derecede etkili olduğunu göstermektedir. Ancak, Şekil 12de çok daha çarpıcı olan husus, birkaç istisna dışında, çöken binaların yumuşak sahalar olarak belirlenen ve sismik talepte önemli azalmalar meydana gelmiş olması öngörülen alanların dışında yer alıyor olmasıdır.

9. Doğrusal olmayan zemin davranışı nedeniyle sismik talep azalımı üzerine görüşler

17 Ağustos depreminde Adapazarı'nda nispeten yakın zamanda inşa edilmiş çok sayıda betonarme binanın çökmüş olması, bu tip yapılar için tasarım kodları dışında işçilik, malzeme veya tasarımdan kaynaklanan hatalı uygulamalar sonucunda çökme ve dolayısıyla kaçınılmaz olarak can kaybının muhtemel olduğunu bir kez daha ortaya koymuştur. Diğer taraftan, bir önceki bölümde detaylı olarak açıklandığı üzere, Adapazarı'nda olduğu gibi, yumuşak veya sıvılaşabilir nitelikteki zeminler doğal taban izolatörü gibi davranarak üstyapıya etkileyen sismik kuvvetleri önemli miktarlarda azaltabilmesi söz konusudur. Bu fenomenin Adapazarı'nda tezahürünün bir sonucu olarak, yapı stokunun büyük bir bölümünü oluşturan betonarme binalarda meydana gelen yapı hasarlarının ve özellikle çökme vakalarının, ve buna bağlı olarak da can kaybının 17 Ağustos depreminde büyük ölçüde azalmış olduğunu söylemek mümkündür.



Şekil 11. Dört ve daha çok katlı binaların mahalle bazında çökme oranlarıyla zemin özelliklerinin yüzeyden itibaren 10 m içerisindeki değişiminin karşılaştırılması (Bakır ve arkadaşları, 2005).



Şekil 12. 0.5s periyoduna karşılık gelen ivme değerlerinin değişimi. Kareler çöken binaların yerlerini, koyu alanlar ise yumuşak sahaları göstermektedir (Bakır ve arkadaşları, 2005).

Yumuşak yüzey zeminlerinin doğrusal olmayan davranışına bağlı benzer olumlu etkiler 1994 Northridge, Kaliforniya depreminde tamamen farklı bir yapı kategorisi (ahşap 1-2 katlı konut binaları) için rapor edilmiştir (Trifunac ve Todorovska, 1998). Dolayısıyla, bu tür olumlu etkilerin farklı türlerdeki yapılar üzerinde ortaya çıkabileceği açıktır (Trifunac, 2005; Bakır ve arkadaşları, 2005). Araştırmacılar, bu tür olumlu etkilerin her koşulda geçerli olamayacağını, zira kuvvetli temellerin devrilme ve oturma eğilimi göstereceğini, zayıf temellerin ise, sismik zorlamalar altında bütünlüğünü muhafaza edemeyeceğini ileri sürmektedir. Adapazarı'nda ise, hemen hemen bütün betonarme binaların altında yer alan rijit radye temeller sayesinde, bu yapılar, doğrusal olmayan zemin davranışı dolayısıyla sismik talep azalması avantajından yararlanırken, temele bağlanan kolonların farklı hareketleri sonucu ortaya çıkabilecek olumsuz etkilerden korunmuşlardır.

10. Adapazarında deprem sonrası uygulamalara eleştirel bir bakış

Ülkemizde daha önce meydana gelen depremlerde, 17 Ağustos depreminde Adapazarı'nda meydana gelen temel deplasmanları dışında, binalarda – birkaç münferit vak'a dışında - temel deplasmanı meydana gelmemiştir. Hatta, bu durumun doğal bir sonucu olarak, 1999 yılı öncesinde yapı hasarı değerlendirme formlarımızda bu tür bir hasar tanımı da mevcut değildir. Dolayısıyla, gerek temel deplasmanlarının puanlama sistemiyle somut yapı hasarına tahvil edilmesi, gerekse bu hasar formuna ilişkin olarak tedbir alınması konularında bir tecrübe birikiminin mevcut olmaması dolayısıyla 17 Ağustos depremi sonrasında uygulamada bir belirsizlik dönemi yaşanmış ve sonrasında çok önemli yanlışlar yapılmıştır (Bakır ve Sucuoğlu, 2000; Bakır ve Yılmaz, 2002). Adapazarı'nda bina temellerine, veya yumuşak ve yer yer sıvılaşabilir nitelikteki yüzey zeminlerine müdahale edilmeden önce, bu türlü bir müdahalenin “gerekli” veya “doğru” bir mühendislik uygulaması olup olmayacağı sorusuna geniş bir mühendislik perspektifiyle cevap aranması gerekirdi.

Adapazarı'nda deprem sonrasında yapılan bina hasar değerlendirmelerinde, hiç bir üstyapı hasarına maruz kalmadığı halde, 10 santimetrenin üzerinde düzgün oturma yapmış olan binaların başlangıçta ağır hasarlı olarak sınıflandırılmış olması, hatalı uygulamalar zincirinin ilk halkasını oluşturmuştur. Böyle bir değerlendirme, öncelikle kategorik olarak yanlıştır; zira, ağır hasarlı olarak sınıflandırılan yapıların mevcut durumları itibarıyla kullanılamayacak durumda olduğu ve teknik veya ekonomik

nedenlerle onarımının yapılamayacağı kabul edilir ve bu binaların yıkılarak kaldırılması gerekir. Halbuki, düzgün oturmuş olan binalarda, oturma miktarına bağlı olarak hasar görebilmesi mümkün olan su, gaz vb tesisat bağlantılarının onararak binanın mevcut haliyle kullanılması, can güvenliği ve kullanılabilirlik (serviceability) bakımından herhangi bir sakınca içermemektedir. Bu konuda bir karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla, Japonya'da 1965 Niigata depremi sonrasında 3 feet (yaklaşık 90 cm) üzerinde düzgün oturma yapan binaların ağır hasarlı olarak sınıflandırılmış olduğunu belirtmekte yarar vardır (Seed ve Idriss, 1983).

Bilahare, Adapazarı'nda meydana gelen ağır yapısal hasarın - büyük bir isabetsizlikle - zemin sıvılaşmasından kaynaklandığı varsayılmış ve hasar gören binalarda üst yapı onarımı öncesinde hak sahiplerinden binanın temel zemini için sıvılaşma tahkiki ve müteakiben sıvılaşmaya karşı önlem alınması talep edilmiştir. Bu makalenin 8. ve 9. bölümlerinde ele alındığı üzere, tamamen gereksiz, ve hatta deprem sırasında üstyapıya etkileyen sismik kuvvetlerin artışına neden olması bakımından can güvenliği itibarıyla özellikle sakıncalı olan bu uygulamayla Adapazarı'nda yüzlerce yapının temel ve/veya zemininin enjeksiyon, mini kazık ve benzeri yöntemlerle güçlendirilmesi yoluna gidilmiştir. Sonuç olarak, Kentin çok uzun bir süre devasa bir şantiye halini almış olması bir yana, binalarda üstyapı ve taşıyıcı sistem hasarları için kullanılması gereken maddi kaynak da gereksiz olarak büyük ölçüde tüketilmiştir. Kentte, kanaatimizce gereksiz olarak yapılan bir uygulama da, depremi hasarsız veya az hasarlı olarak atlatmış olan binalardan kat eksiltilmesidir. Sonuç itibarıyla, Kentte depremden sonra normal yaşama geçilmesi geciktiği gibi, hasarlı konut ve bina sahipleri büyük bir mağduriyet yaşamış ve ülkenin kısıtlı kaynaklar israf edilmiştir. Dahası, bir süre sonra bu yanlış uygulamanın ülke çapında yaygınlaştırılması yoluna gidilmiş ve her çeşit yapı için sıvılaşma analizi ve gerekli tedbirlerin alınması talep edilir olmuştur.

Diğer taraftan, deprem sonrasında Adapazarı'nda mevcut binaların temel ve zeminlerine müdahale edilmeden önce maalesef göz önüne alınmamış olan bir diğer husus da, Kentte 17 Ağustos depremiyle mukayese edilebilir boyutlardaki bir sonraki depremin hangi zaman aralığıyla vuku bulacağıdır. Bölgenin bilinen sismisitesi, Adapazarı'nda etkileri bakımından 17 Ağustos depremiyle mukayese edilebilir bir depremin, Kuzey Anadolu fayı dışında Adapazarı civarında mevcut diğer faylar tarafından

üretilebilmesinin mümkün olmayacağını göstermektedir. Yıllık ortalama gerilme hızları göz önüne alındığında, Kuzey Anadolu fayının aynı yerde ve 17 Ağustos depremiyle kıyaslanabilir büyüklükte bir deprem üretebilmesi 150-200 yıl civarında bir süreyi gerektirmektedir (Barka, 1996). Açıktır ki, tekrarlama aralığı olarak öngörülen bu süre Adapazarı'nda mevcut binaların çok büyük bir bölümünün ekonomik ömrünü aşmaktadır. Diğer taraftan, Adapazarı'nı etkileyebilecek nisbeten daha küçük veya uzak depremlerin 17 Ağustos depreminde meydana gelen ölçekte yapısal hasara veya temel deformasyonlarına yol açması muhtemel görünmemektedir (örnek: 12 Kasım Düzce depremi). Dolayısıyla, Adapazarı'nda temel ve zeminlere yapılmış olan müdahaleler bu itibarla da gereksizdir.

Araştırmacı ve uygulayıcılar olarak bugün artık üstümüze düşen, Adapazarı'ndan gerekli dersleri çıkarmaktır; ve eğer yapabilirsek, bu bizim yegane kazancımız olacaktır.

Kaynakça

Bakır BS ve Sucuoğlu H. *Adapazarı Kent Merkezinde Zemin Sıvılaşması Riski Taşıyan Alanlarda Mevcut Binalar için Tedbir Alınması Konusunda Teknik Görüş Raporu*. Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara; 2000.

Bakır, B. S., H. Sucuoğlu, ve T. Yılmaz (2001). "17 Ağustos 1999 depreminde Adapazarı'nda yerel zemin koşullarının yapı hasarı üzerindeki etkileri", Prof.İsmet Ordemir'i Anma Semineri, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 23 Kasım 2001.

Bakır, B. S., H. Sucuoğlu, and M. T. Yılmaz (2002). "An overview of local site effects and the associated building damage in Adapazarı during the 17 August 1999 İzmit earthquake", *Bull. Seismological Soc. of Am.*, 92, 509-526.

Bakır, B. S. ve M. T. Yılmaz (2002). "Sıvılaşmanın sismik bina performansı üzerindeki etkileri: Adapazarı örneği", *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 9. Ulusal Kongresi*, Anadolu Üniversitesi, 21-22 Ekim, Eskişehir. Cilt I, sayfa 353-362.

Bakır BS, Yılmaz MT. Discussion of "Subsurface Characterization at Ground Failure Sites in Adapazari, Turkey" by Jonathan D. Bray, Rodolfo B. Sancio, Turan Durgunoglu, Akin Onalp, T. Leslie Youd, Jonathan P. Stewart, Raymond B. Seed, Onder K. Cetin, Ertan Bol, M. B. Baturay, C. Christensen, and T. Karadayılar. *J Geotech and Geoenv Eng-ASCE*, 2005; in press.

Bakır BS, Yılmaz MT, Yakut A, Gülkan P. Reexamination of Damage Distribution in Adapazari: Geotechnical Considerations. *Engineering Structures* 2005; 27: 1002-13.

Bakır BS, Yılmaz MT, Yakut A, Gülkan P. Closure to "Discussion of Reexamination of Damage Distribution in Adapazari: Geotechnical Considerations" by MD Trifunac *Engineering Structures* 2005; in press.

Barka, A. A. (1996). "Slip disribution along the North Anatolian Fault associated with large earthquakes of the period 1939 to 1967", *Bull. Seismological Soc. of Am.*, 86, 1238-1254.

Bray JD, Sancio RB, Durgunoğlu T, Önalp A, Youd LT, Steward JP, Seed RB, Çetin ÖK, Bol E, Baturay MB, Christensen C and Karadayılar T. "Subsurface Characterization at Ground Failure Sites in Adapazari, Turkey" *J Geotech and Geoenv Eng-ASCE* 2005; 130: 673-685.

Schnabel PB, Lysmer J, Seed HB. *SHAKE: a computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites*. Report EERC 72-12. University of California, Berkeley; 1972.

Seed, H. B., and I. M. Idriss (1983). Ground Motion and Soil Liquefaction During Earthquakes, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.

Sucuoğlu, H., P. Gülkan, S. Bakır, G. Özcebe, T. Tankut, Ç. Yılmaz, U. Ersoy, T. Yılmaz, A. Erberik, S. Akkar and T. Gür (2000). *Marmara ve Düzce Depremleri Mühendislik Raporu*, Türkiye İnşaat Mühendisleri Odası ve Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.

Trifunac MD. Discussion of "Reexamination of Damage Distribution in Adapazari: Geotechnical Considerations" by Bakır BS, Yılmaz MT, Yakut A, Gülkan P. *Engineering Structures* 2005, in press.

Trifunac MD, Todorovska MI. Nonlinear soil response as a natural passive isolation mechanism - the 1994, Northridge, California, earthquake. *Soil Dyn Earthq Eng* 1998;17: 41-51.

Yakut A, Gülkan P, Bakır SB, Yılmaz MT. Reexamination of Damage Distribution in Adapazarı: Structural Considerations. *Engineering Structures* 2005; 27: 990-01.

Yılmaz MT, Pekcan O, Bakır BS. Undrained Cyclic Shear and Deformation Behavior of Silt-Clay Mixtures of Adapazarı, Turkey. *Soil Dyn. Earthq. Eng.* 2004; 24: 497-507.

